

## اثر سامانه کودی هیدروژل - اوره کندرها بر مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل و مورفولوژیکی جو تحت تنش خشکی

شیوا اکبری<sup>۱</sup>، ایرج اله‌دادی<sup>۲\*</sup>، مجید قربانی جاوید<sup>۳</sup>، کوروش کبیری<sup>۴</sup>، الیاس سلطانی<sup>۵</sup>

۱ و ۳ و ۵ - به ترتیب دانشجوی، استاد، استادیار و دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران. ۴ -

دانشیار، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۴)

### چکیده

به منظور بررسی اثر سامانه کودی هیدروژلی کندرها حاوی اوره بر مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل و مورفولوژیکی جو تحت تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷ در گلخانه پردیس ابوریحان دانشگاه تهران انجام شد. ترکیب سطوح فاکتوریل به صورت عامل کودی حاوی نیتروژن از منبع اوره در پنج سطح عدم کاربرد کود نیتروژن، معادل ۱۲۵ و ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به صورت فاقد و دارای سامانه هیدروژلی و عامل تنش خشکی در سه سطح ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی بودند. تنش خشکی سبب کاهش سطح برگ پرچم شد و کمترین مقدار (۱۳/۱۲ سانتی‌متر مربع) متعلق به تنش شدید بود. همچنین کاهش وزن خشک برگ پرچم، تعداد پنجه و SPAD را در پی داشت. تیمارهای دارای سامانه و مقدار بیشتر نیتروژن فاقد سامانه، سبب حصول بیشترین مقادیر فلئورسانس ماکزیمم ( $F_m$ ) و متغیر ( $F_v$ ) شدند. در تنش ملایم، تیمارهای دارای نیتروژن، بیشترین مقدار  $F_v/F_o$  را داشتند و تیمارهای دارای سامانه هیدروژلی، بیشترین مقدار شاخص کارایی بر پایه جذب ( $PI_{ABS}$ ) را تولید کردند که برابر با ۱/۶۶ و ۱/۶۰ بود. در تنش خشکی شدید، کمترین مقدار فلئورسانس حداقل ( $F_o$ )، به مقدار بیشتر نیتروژن حاوی سامانه برابر با ۱۰۹۱۳ تعلق داشت. سامانه کودی حاوی بالاترین مقدار نیتروژن، باعث ایجاد بیشترین سطح برگ پرچم (۱۶/۸ سانتی‌متر مربع)، قطر ساقه (۴/۲ میلی‌متر) و SPAD (۴۳/۶) شد. می‌توان نتیجه گرفت که فراهم بودن بهتر نیتروژن در رقم گوهران، اثر مطلوبی بر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و رشدی، به خصوص در تنش خشکی داشت و کاربرد سامانه هیدروژلی می‌تواند سبب بهبود این صفات شود.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای فلئورسانس کلروفیل، سطح برگ پرچم، قطر ساقه،  $PI_{ABS}$ ،  $F_v/F_o$ .

### Effect of slow release urea-hydrogel complex on chlorophyll fluorescence and morphological traits of barley under drought stress

Shiva Akbari<sup>1</sup>, Iraj Alahdadi<sup>2\*</sup>, Majid Ghorbani Javid<sup>3</sup>, Kouros Kabiri<sup>4</sup> and Elias Soltani<sup>5</sup>

1,2,3,5. Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, College of Aburaihan, University of Tehran, 4. Iran  
Polymer and Petrochemical Institute.

(Received: October 22, 2020- Accepted: November 14, 2020)

### ABSTRACT

To study the effect of slow release hydrogel-urea complex (SRHUC) on chlorophyll fluorescence and morphological parameters of barley under drought stress, an experiment was performed in 2017-2018 as factorial in Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications in the greenhouse of Aburaihan campus of University of Tehran. The combination of factorial levels were as fertilization factor containing nitrogen (N) from urea source in five levels of no N application, equivalent 125 and 65 and with SRHUC as CU-N<sub>125</sub>, CU-N<sub>65</sub>, SRHUC-N<sub>125</sub> and SRHUC-N<sub>65</sub>, respectively and kg.ha<sup>-1</sup> N without drought stress in three levels of 70, 50 and 30% FC. Drought stress decreased flag leaf area and the lowest value (13.12 cm<sup>2</sup>) belonged to 30% FC. Furthermore it decreased flag leaf dry weight, total number of tiller and SPAD index. SRHUC-N<sub>125</sub>, SRHUC-N<sub>65</sub> and CU-N<sub>125</sub> have showed the highest values of maximum ( $F_m$ ) and variable ( $F_v$ ) fluorescences. In 50% FC, N-containing treatments had the highest  $F_v/F_o$  and SRHUC treatments showed the highest performance index based on absorption ( $PI_{ABS}$ ) that were equal to 1.66 and 1.60. In 30% FC, the lowest value (10913) of minimum fluorescence ( $F_o$ ) was related to SRHUC-N<sub>125</sub>. SRHUC-N<sub>125</sub> caused the highest flag leaf area (16.8cm<sup>2</sup>), stem diameter (4.2 mm) and SPAD index (43.6). It can be concluded that better N availability in Goharan cultivar, had favorable effects on chlorophyll fluorescence and growth parameters, especially in drought stress, and SRHUC application might result in more appropriate chlorophyll fluorescence and growth characteristics.

**Keywords:** Chlorophyll fluorescence parameters,  $F_v/F_o$ , flag leaf area,  $PI_{ABS}$ , stem diameter.

\* Corresponding author E-mail: alahdadi@ut.ac.ir

## مقدمه

می‌باشد (Akbari *et al.*, 2019). تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی همانند ویژگی‌های برگ و زیست‌توده گیاهی و فیزیولوژیکی نظیر فتوسنتز، مقدار کلروفیل، فعالیت فتوسیستم دو و در نهایت بر عملکرد گیاه اثرگذار است و با وقوع تنش خشکی، گیاه با کاهش یا توقف رشد به آن واکنش نشان می‌دهد (Pandey & Shukla, 2015).

نیترژن در مقادیر مطلوب و بهینه، نقش مهمی در مقابله با تنش خشکی ایفاء می‌کند. در شرایط تنش خشکی، به سبب کاهش توانایی گیاه در دریافت مقادیر مطلوب نیترژن از خاک به دلیل اختلال در متابولیسم‌های فیزیولوژیکی و بروز مشکل در انتقال مطلوب این عنصر در گیاه در نتیجه اختلالات روزنه‌ای (Waraich *et al.*, 2011; Xiong *et al.*, 2018)، فراهمی مقادیر مطلوب و کافی این عنصر از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

جو با نام علمی *Hordeum vulgare* L. گیاهی دیپلوئید ( $2n=14$ ) و از مهم‌ترین غلات است و از نظر تولید جهانی در رتبه چهارم قرار دارد (Agegnehu *et al.*, 2016). در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ تولید جو حدود ۱۴/۱۵ درصد از تولید غلات و برابر با ۲۹۷۴۰۳۹ تن بود که پس از گندم و شلتوک، بیشترین محصول غله را به خود اختصاص داد (Ahmadi *et al.*, 2018). هدف کاربردی محصول جو، در میزان مصرف نیترژن، تعیین‌کننده می‌باشد و در اهداف تغذیه‌ای و علوفه‌ای میزان کاربرد کود نیترژن، بیشتر از اهداف کاربردی آن در صنایع مالت‌سازی است (Agegnehu *et al.*, 2016). جو به‌طور نسبی به کمبود آب مقاوم است، اما در مراحل میانی و انتهایی دوره رشد خود، به کمبود آب حساس می‌باشد (Dugdale *et al.*, 2012).

فلئورسانس کلروفیل، یک شاخص فیزیولوژیک معتبر جهت مشخص نمودن تغییرات القاء شده در دستگاه فتوسنتزی است و بدون تخریب بافت گیاهی، عملیات ارزیابی این شاخص در کمترین زمان صورت می‌پذیرد (Thwe & Kasemsap, 2014). ثابت شده است که کاربرد مقادیر مختلف نیترژن بر مؤلفه‌های فلئورسانس

نیترژن از عناصر پر مصرف لازم برای رشد و نمو گیاهان زراعی است زیرا محصولات زراعی جهت فعالیت‌های فتوسنتزی خود که نقش مهمی در عملکرد دارند، به نیترژن نیازمندند (Hawkesford, 2014). دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی به‌خصوص نیترژن، بر تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها مؤثر است (Hamzei & Babaei, 2017). کمبود نیترژن از طریق کاهش سرعت فتوسنتز و گسترش سطح برگ، سبب کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (Lin *et al.*, 2016).

کاربرد اوره متداول در خاک، خطر آبیویی نیترژن، انتشار آمونیاک، زیان‌های اقتصادی و آلودگی‌های زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد (Yang *et al.*, 2017). مصرف بیش از حد کود نیترژن‌دار، به محیط زیست خسارت می‌زند و مصرف کمتر از حد مورد نیاز نیز کاهش عملکرد را در پی دارد؛ بنابراین محققین بر مصرف متعادل کود نیترژن تأکید دارند (Fanoodi *et al.*, 2017). در نتیجه، جهت استفاده بهینه‌تر از کودهای نیترژن، باید تمهیدی اندیشیده شود که از جمله این راه‌کارها می‌توان به کاربرد کودهای نیترژن کندرها را توجه کرد.

آزاد شدن عناصر غذایی از کودهای کندرها در طول فصل رشد، با سرعت آهسته‌تری انجام می‌پذیرد و در این صورت گیاهان قادرند که عناصر غذایی بیشتری را جذب نمایند و اتلاف این عناصر از طریق آبیویی کمتر خواهد بود (Hou *et al.*, 2015). گزارش شده است که پلیمرهای سوپر جاذب برای کنترل تهویه خاک و نگهداری مواد غذایی در خاک در حیطه کشاورزی، مثرم‌نم می‌باشند (Xiao *et al.*, 2016). کاربرد اوره با رهایش تدریجی، گزینه‌ای مناسب جهت کاهش اتلاف نیترژن است و این کودها می‌توانند از طریق افزودن برخی ترکیبات به اوره و یا از روش پلیمریزاسیون اوره، اتلاف اوره را کاهش دهند (Yang *et al.*, 2017).

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محیطی محدودکننده رشد و نمو گیاهان است و کاهش رشد در اثر تنش خشکی، به مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی

پژوهشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران انجام گرفت. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده (عمق صفر-۳۰ سانتی‌متر) در جدول ۱ آمده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام پذیرفت و برای هر تیمار در هر تکرار، پنج گلدان قرار داده شد. ترکیب سطوح فاکتوریل به‌صورت عامل کودی حاوی نیتروژن از منبع اوره در پنج سطح معادل عدم کاربرد کود نیتروژن، معادل ۱۲۵ و ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به تنهایی (فاقد سامانه هیدروژلی کندها) و معادل ۱۲۵ و ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در قالب سامانه هیدروژلی کندها و عامل تنش خشکی در سه سطح ۳۰، ۵۰ و ۷۰ (آبیاری مطلوب، شاهد) درصد رطوبت ظرفیت زراعی بود. برای کاشت از بذرهایی جو رقم جدید گوهران (متحمل به خشکی آخر فصل) (Nikkhah *et al.*, 2018)، تهیه شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، استفاده شد. در اواسط آبان ماه، در هر گلدان (ارتفاع گلدان ۲۵ و قطر گلدان ۲۰)، ۱۱ بذر کشت شد و پس از تنک کردن، نهایتاً نه گیاهچه باقی ماند. تیمارهای تنش خشکی پس از رسیدن رطوبت خاک به سطوح مورد نظر، آبیاری شدند و آبیاری تیمارها هر بار تا حد شاهد انجام می‌گرفت. تنش خشکی در اواسط مرحله طویل شدن ساقه اعمال شد و تا آخرین مرحله آبیاری که چند روز پیش از برداشت بود، ادامه یافت. تعیین میزان رطوبت خاک بر اساس تعیین میزان پتانسیل آب خاک صورت پذیرفت (Saxton *et al.*, 1986; Saxton & Rawls, 2006). در این روش، میزان رطوبت لازم خاک برای رسیدن به سطوح مورد نظر بر اساس بافت خاک، قابل تعیین است.

دو سوم از مقادیر تیمارهای کودی، در زمان کاشت و مقدار باقیمانده به‌صورت سرک در اواسط مرحله طویل شدن ساقه، کمی قبل از اعمال تنش، استفاده شد. سامانه کودی کندها از طریق بارگذاری اوره در ترکیب هیدروژلی کندها و با بهره‌گیری از ترکیبات پلیمری، در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران و آزمایشگاه مرکزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران تولید شد. این

کلروفیل اثر گذار بوده است (Lin *et al.*, 2013). در گیاهان، قابلیت دسترسی به نیتروژن، سبب عملکرد مطلوب‌تر فتوسنتزی برگ می‌شود (Saud *et al.*, 2017) و کمبود نیتروژن می‌تواند حداکثر عملکرد کواتومی اولیه فتوسیستم دو ( $F_v/F_m$ ) را کاهش دهد و اثرات مخربی بر فتوسیستم داشته باشد (Ghasemi *et al.*, 2017). افزایش  $F_v/F_m$  در اثر کاربرد کود اوره کندهای دارای پوشش پلیمری در مقایسه با تیمار اوره متداول، گزارش شده است (Yang *et al.*, 2016).

از اثرات تنش خشکی بر فتوسنتز، کاهش کارایی فتوسنتز از طریق افزایش فلئورسانس کلروفیل است و به‌منظور تعیین وضعیت فیزیولوژی گیاه و میزان خسارت وارده به دستگاه فتوسنتزی، از سنجش فلئورسانس کلروفیل استفاده می‌شود (Baghbani-Arani *et al.*, 2019). بررسی فلئورسانس کلروفیل با استفاده از پروتکل OJIP<sup>۱</sup> یکی از روش‌های مفید در مطالعه اثرات تنش‌های محیطی و غیرزنده بر فتوسنتز می‌باشد و از راه‌کارهای مؤثر برای بررسی عملکرد فتوسیستم دو و تغییرات پارامترهای فلئورسانسی در شرایط محیطی گوناگون است (Kalaji *et al.*, 2012; Bayat *et al.*, 2018; Seifi Kalhor *et al.*, 2018; Bayat *et al.*, 2020). در زنجیره انتقال الکترون، فتوسیستم دو نسبت به تنش‌های محیطی از فتوسیستم یک حساس‌تر است و یکی از دلایل این حساسیت بیشتر، وجود کمپلکس تجزیه‌کننده آب در این فتوسیستم است (Yousufinia & Ghasemian, 2016).

با توجه به اهمیت مصرف کود نیتروژن در فرایندهای فتوسنتزی و رشدی گیاه زراعی جو و ضرورت بهبود دسترسی به این عنصر کلیدی در شرایط تنش خشکی، این پژوهش با هدف بررسی اثرات سامانه جدید هیدروژل - اوره کندها بر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و خصوصیات مورفولوژیکی گیاه جو، انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در گلخانه

<sup>۱</sup> - OJIP – fast chlorophyll fluorescence transient

هزار لیتر آب، همراه با آب آبیاری به تمامی گلدان‌ها به مقدار یکسان داده شد. متوسط دمای گلخانه ۱۳-۲۵ درجه سانتیگراد (شب/روز)، رطوبت نسبی بین ۴۰-۴۵ درصد و شدت تشعشع فعال فتوسنتزی حدود ۵۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه بود.

ترکیبات شامل پلی‌آکریل آمید، پلی‌اتیلن گلیکول دی‌آکریلات (PEGDA) و آغازگر واکنش آمونیوم پرسولفات (APS) بود که جهت اصلاح سطح مورد استفاده قرار گرفتند. در اواخر پنجه‌زنی در دو روز مجزا، کود فسفات پتاس معادل یک و نیم لیتر در هزار لیتر آب و کود ترکیبی عناصر میکرو معادل یک لیتر در

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Physicochemical characteristics of the experimental soil

Soil properties	K (mg/kg)	P (mg/kg)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil Texture	Nitrogen (%)	pH	Ec (ds/m)
	286.6	13.2	56	32	12	Sandy loam	0.04	7.92	1.66

جدول ۲ آمده است.

داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت مقایسات میانگین، از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد استفاده شد و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی انجام شد و مقایسه میانگین‌ها توسط دستور means صورت پذیرفت.

## نتایج و بحث

### پارامترهای فلئورسانس کلروفیل

فلئورسانس کلروفیل به‌عنوان ابزاری برای مطالعه فیزیولوژی گیاه، با اثر بر روی غشاء تیلاکوئید برگ است که می‌تواند توسط القای سریع فلئورسانس کلروفیل  $a$  با استفاده از پروتکل OJIP بررسی شود (Bayat et al., 2020). نتایج نشان داد که عامل کودی بر فلئورسانس ماکزیمم ( $F_m$ ) و فلئورسانس متغیر ( $F_v$ ) در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۳). اثر متقابل کود و تنش خشکی بر فلئورسانس حداقلی ( $F_0$ )، فلئورسانس متغیر نسبی در مرحله I ( $V_i$ )، کارایی کمپکس تجزیه آب در سمت دهنده الکترون در فتوسیستم دو ( $F_v/F_0$ ) و شاخص کارایی بر پایه جذب ( $PI_{ABS}$ ) معنی‌دار بود (جدول ۳).  $F_v$  و  $F_m$  در تیمارهای بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن در قالب سامانه هیدروژلی و بیشترین مقدار نیتروژن فاقد سامانه، بیشترین مقدار را داشتند و بین این سطوح تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما مقدار کمتر نیتروژن فاقد

جهت اندازه‌گیری قطر ساقه در مرحله خمیری شدن دانه، از کولیس استفاده شد و طول ریشک پس از برداشت توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. در مرحله شیری شدن دانه، سطح برگ پرچم توسط دستگاه سطح برگ سنج مدل Delta-T ساخت انگلستان و وزن خشک برگ پرچم با استفاده از ترازویی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری شاخص کلروفیل SPAD، در اواخر مرحله طویل شدن ساقه از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502, Konica Minolta, Japan) استفاده شد و اندازه‌گیری پارامترهای فلئورسانس کلروفیل در مرحله گلدهی صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری ظرفیت فتوسنتزی و سلامت سیستم زنجیره انتقال الکترون آن، از پروتکل پلی‌فازیک فلئورسانس کلروفیل  $a$  (OJIP) و از دستگاه فلورپن FP 100-MAX (Photon System, Instruments, Drasov, Czech Republic) استفاده شد. از دستورالعمل OJIP جهت مطالعه خصوصیات بیوفیزیکی مرتبط با فتوسیستم دو استفاده شد (Bayat et al., 2018). اندازه‌گیری از برگ دوم از بالا برای هر تیمار و به‌صورت غیرتخریبی انجام شد و اندازه‌گیری پس از سازگارسازی گیاهان به تاریکی به مدت حداقل ۲۰ دقیقه صورت گرفت. سنجش فلئورسانس زودگذر توسط یک پالس نوری اشباع که با شدت ۳۰۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه القاء شد، صورت پذیرفت. شاخص‌های اولیه و شاخص‌های بیوفیزیکی حاصل از القای زودگذر فلئورسانس کلروفیل  $a$  در

سامانه و تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن، سبب کاهش مقادیر  $F_v$  و  $F_m$  شد (جدول ۴). افزایش نیتروژن سبب افزایش  $F_m$  در جو بهاره شده است (Mowludi *et al.*, 2013). با افزایش نیتروژن در مقایسه با کمترین مقدار کود،  $F_v$  و  $F_m$  در یولاف بدون پوسته، به طور معنی داری افزایش یافتند (Lin *et al.*, 2013). کاهش در  $F_v$  و  $F_m$  در اثر کاهش دسترسی به نیتروژن می تواند به علت تقلیل محتوی کلروفیل باشد (De Melo *et al.*, 2017).

جدول ۲- مؤلفه‌ها، معادلات و توصیف آن‌ها با استفاده از نتایج القای زودگذر فلئورسانس کلروفیل  $a$

Table 2. Parameters, formula and their descriptions using data extracted from chl  $a$  fluorescence (OJIP)

Description	Fluorescence parameter
Fluorescence intensities at 50 $\mu$ s, considered as the minimum fluorescence	$F_0$
Fluorescence intensities at the J-step (2 ms) and at the I-step (60 ms)	$F_j$ و $F_i$
Maximum fluorescence	$F_m$
Variable fluorescence	$F_v = F_m - F_0$
Relative variable fluorescence at the J-step (2 ms)	$V_j = (F_j - F_0)/(F_m - F_0)$
Relative variable fluorescence at the I-step (60 ms)	$V_i = (F_i - F_0)/(F_m - F_0)$
Approximated initial slope of the fluorescence transient	$M_0 = TR_o/RC - ET_o/RC$
Maximum quantum efficiency of PSII photochemistry	$F_v / F_m$
Efficiency of the water-splitting complex on the donor side of PSII	$F_v / F_0$
Reaction center	RC
Maximum quantum yield of primary photochemistry	$\phi_{Po} = 1 - (F_0/F_m) = F_v/F_m$
Probability that a trapped excitation moves an electron into the electron transport chain beyond QA <sup>-</sup>	$\psi_{Eo} = ET_o/TR_o = 1 - V_j$
Absorption flux per RC	$ABS/RC = (M_0/V_j) / \phi_{Po}$
Performance index (PI) on absorption basis	$PI_{ABS} = (RC/ABS)(\phi_{Po}/(1 - \phi_{Po})) (\psi_{Eo}/(1 - \psi_{Eo}))$

(Jiang *et al.*, 2008; Kalaji *et al.*, 2012; Bartak *et al.*, 2015; Bayat *et al.*, 2018)

جدول ۳- تجزیه واریانس پارامترهای فلئورسانس کلروفیل جو، تحت اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و سه سطح تنش خشکی

Table 3. Variance analysis of the effects of different N fertilizers on chlorophyll fluorescence parameters of barley under three levels of drought stress.

S.O.V	df	mean of squares									
		$F_0$	$F_j$	$F_i$	$F_m$	$F_v$	$V_j$	$V_i$	$PI_{ABS}$	$F_v/F_0$	$F_v/F_m$
Replication	2	880290.7 <sup>ns</sup>	14558994.5 <sup>*</sup>	53945007.3 <sup>*</sup>	46703380.1 <sup>*</sup>	36705359 <sup>*</sup>	0.00105 <sup>**</sup>	0.0029 <sup>**</sup>	0.160 <sup>**</sup>	0.098 <sup>*</sup>	0.000126 <sup>**</sup>
Fertilizer (N)	4	810408.4 <sup>ns</sup>	6879488.9 <sup>ns</sup>	29709226.1 <sup>ns</sup>	30903519.9 <sup>*</sup>	22565623.6 <sup>*</sup>	0.000186 <sup>ns</sup>	0.00014 <sup>ns</sup>	0.020 <sup>ns</sup>	0.037 <sup>ns</sup>	0.000047 <sup>ns</sup>
Drought stress (DS)	2	42441.8 <sup>ns</sup>	641981.7 <sup>ns</sup>	1238309.1 <sup>ns</sup>	1488525.3 <sup>ns</sup>	1468731.8 <sup>ns</sup>	0.000004 <sup>ns</sup>	0.00021 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.015 <sup>ns</sup>	0.000023 <sup>ns</sup>
DS $\times$ N	8	1174573.3 <sup>*</sup>	9219204.8 <sup>ns</sup>	25350490.1 <sup>ns</sup>	22496064.5 <sup>ns</sup>	14618234.2 <sup>ns</sup>	0.000371 <sup>*</sup>	0.00034 <sup>ns</sup>	0.063 <sup>*</sup>	0.061 <sup>*</sup>	0.000073 <sup>ns</sup>
Error	28	494282.1	4199534.1	11193342.3	10733067.5	7262993.5	0.000143	0.00018	0.020	0.026	0.000034
CV(%)		6.04	5.58	6.15	5.27	5.33	1.42	2.70	9.33	3.67	0.71

\*\*\*: معنی دار در سطح احتمال (P  $\leq$  0.01)، \*: معنی دار در سطح احتمال (P  $\leq$  0.05)، ns = غیر معنی دار، SOV: منبع تغییر، CV: ضریب تغییرات

ns, \*, and \*\*: Non-significant and significant at P  $\leq$  0.05 and P  $\leq$  0.01, respectively. SOV: Source of the variation; CV: Coefficient of variation

تنش‌بیشترین (۱۲۴۳۰/۳) و کمترین (۱۰۹۱۳) مقدار این ویژگی در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، به ترتیب مربوط به تیمار بدون کود نیتروژن و بیشترین مقدار کود نیتروژن در قالب سامانه هیدروژلی کندها بود (جدول ۵).

گزارش شده است که در شرایط تنش، مصرف نیتروژن سبب کاهش در  $F_0$  شد (Sanayei *et al.*, 2014). تغییرات  $F_0$  می تواند متأثر از ترکیب عوامل پیچیده‌ای باشد؛ مطالعات مختلف نشان داده‌اند که  $F_0$  یکی از معیارهای تخمین تعداد رنگریزه‌های آنتن در مرکز

در شرایط مطلوب رطوبتی، مقدار  $F_0$  در تیمارهای دارای کود نیتروژن نسبت به عدم کاربرد کود نیتروژن (۱۰۴۷۹/۳) بیشتر بود و بیشترین مقدار (۱۲۱۵۹/۳)، به تیمار سامانه کودی حاوی مقدار کمتر نیتروژن تعلق داشت که به ترتیب ۲/۵، ۲/۶، ۵/۴ و ۱۶ درصد بیشتر از تیمارهای بیشترین مقدار نیتروژن فاقد و دارای سامانه هیدروژلی، مقدار کمتر نیتروژن فاقد سامانه و تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن بود. در سطح تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، تفاوتی بین مقدار این ویژگی در تیمارهای کودی وجود نداشت، اما در اثر افزایش شدت

واکنش دو می‌باشد. از طرفی، کمبود نیتروژن می‌تواند سبب کاهش رنگریزه‌های فتوسنتزی شود که این امر موجب افت  $F_0$  می‌شود و از طرف دیگر، کمبود نیتروژن، تشعشع بالا و شرایط تنش‌زا می‌تواند منجر به آسیب به مراکز واکنش دو شود که می‌تواند با افزایش  $F_0$  مرتبط باشد (Huang *et al.*, 2004). آسیب به مراکز واکنش می‌تواند سبب شود تا انرژی نورانی دریافتی به جای طی مسیر انتقال الکترون و ایجاد انرژی احیایی،

به‌صورت فلئورسانس بازتابش شود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که عدم کاربرد کود نیتروژن در شرایط مطلوب رطوبتی، سبب کاهش رنگریزه‌های آنتن و کاهش  $F_0$  شده است، اما در تنش شدید، کمبود نیتروژن و وجود شرایط تنش‌زا سبب افزایش آسیب به مرکز واکنش دو و افزایش این مقدار شده است.

جدول ۴- اثر عامل کودی نیتروژن بر برخی پارامترهای فلئورسانس کلروفیل در جو.

Table 4. Effect of nitrogen fertilizer on some chlorophyll fluorescence parameters of barley.

N treatments	$F_m$	$F_v$
N1	60608 ± 1500.470 b	49218 ± 1177.610 b
N2	63975 ± 1266.970 a	52065 ± 1038.100 a
N3	61735 ± 1310.810 ab	50363 ± 1119.580 ab
N4	60304 ± 1245.000 b	48817 ± 1080.200 b
N5	64260 ± 941.976 a	52259 ± 790.214 a

N1 = فاقد کود نیتروژن، N2 = معادل ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن فاقد هیدروژل، N3 = معادل ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دارای سامانه هیدروژلی کندرها، N4 = معادل ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن فاقد هیدروژل، N5 = معادل ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دارای سامانه هیدروژلی کندرها. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون مطابق آزمون (LSD)، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند. مقادیر ارائه شده عبارتند از میانگین‌ها ± خطای استاندارد.

Means with the same letters in the same column are not significantly different at 5% of probability level using LSD test. N1: no N fertilizer, N2 and N4: equivalent amount of 125 and 65 kg.ha<sup>-1</sup> nitrogen in form of conventional urea without slow release hydrogel complex, respectively; N3 and N5: equivalent amount of 125 and 65 kg.ha<sup>-1</sup> nitrogen in form of slow-release hydrogel-urea complex, respectively. Values are means ± SE (standard error).

جدول ۵- اثر متقابل عامل کودی و تنش خشکی بر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و طول ریشک جو.

Table 5. Interaction effect of nitrogen fertilizer and drought stress on chlorophyll fluorescence parameters and awn length of barley.

Drought stress	N fertilizers	$F_0$	$V_i$	$F_v/F_0$	$PI_{ABS}$	Awn length (cm)
70% FC	N1	10479.3 ± 439.785 b	0.829 ± 0.012 b	4.618 ± 0.021 a	1.785 ± 0.053 a	11.933 ± 0.335 a
	N2	11866.7 ± 536.413 a	0.847 ± 0.008 ab	4.295 ± 0.104 b	1.508 ± 0.111 b	10.850 ± 0.265 bc
	N3	11856.0 ± 217.611 a	0.849 ± 0.006 a	4.325 ± 0.091 b	1.431 ± 0.115 b	10.600 ± 0.104 c
	N4	11541.3 ± 277.778 ab	0.843 ± 0.011 ab	4.173 ± 0.157 b	1.388 ± 0.112 b	11.450 ± 0.100 ab
	N5	12159.3 ± 97.333 a	0.856 ± 0.003 a	4.367 ± 0.034 ab	1.452 ± 0.033 b	10.567 ± 0.164 c
50% FC	N1	11259.7 ± 423.205 a	0.838 ± 0.001 a	4.178 ± 0.020 b	1.362 ± 0.023 b	10.383 ± 0.164 b
	N2	12245.7 ± 319.170 a	0.857 ± 0.008 a	4.455 ± 0.020 a	1.575 ± 0.066 ab	11.000 ± 0.306 ab
	N3	11346.7 ± 407.317 a	0.845 ± 0.004 a	4.547 ± 0.042 a	1.662 ± 0.059 a	10.667 ± 0.044 b
	N4	11780.0 ± 606.540 a	0.843 ± 0.014 a	4.312 ± 0.168 ab	1.443 ± 0.168 ab	10.717 ± 0.291 b
	N5	11509.0 ± 380.865 a	0.846 ± 0.007 a	4.403 ± 0.062 ab	1.599 ± 0.065 a	11.433 ± 0.344 a
30% FC	N1	12430.3 ± 650.357 a	0.865 ± 0.013 a	4.216 ± 0.176 a	1.435 ± 0.157 a	10.650 ± 0.058 b
	N2	11617.3 ± 568.288 ab	0.847 ± 0.007 ab	4.377 ± 0.117 a	1.511 ± 0.109 a	10.583 ± 0.464 b
	N3	10913.0 ± 367.035 b	0.835 ± 0.010 b	4.414 ± 0.086 a	1.623 ± 0.057 a	12.000 ± 0.551 a
	N4	11140.3 ± 234.511 b	0.833 ± 0.004 b	4.272 ± 0.043 a	1.546 ± 0.087 a	10.067 ± 0.033 b
	N5	12332.7 ± 299.147 a	0.847 ± 0.002 ab	4.302 ± 0.133 a	1.500 ± 0.129 a	10.750 ± 0.176 b

N1 = فاقد کود نیتروژن، N2 = معادل ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن فاقد هیدروژل، N3 = معادل ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دارای سامانه هیدروژلی کندرها، N4 = معادل ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن فاقد هیدروژل، N5 = معادل ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دارای سامانه هیدروژلی کندرها. در هر ستون و هر سطح تنش خشکی، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس برش‌دهی از دستور LSMEANS در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند. مقادیر ارائه شده عبارتند از میانگین‌ها ± خطای استاندارد.

Means with the same letters in the same column and water regimes are not significantly different at 5% of probability level using the slice option of the LSMEANS statement. N1: no N fertilizer, N2 and N4: equivalent amount of 125 and 65 kg.ha<sup>-1</sup> nitrogen in form of conventional urea without slow release hydrogel complex, respectively; N3 and N5: equivalent amount of 125 and 65 kg.ha<sup>-1</sup> nitrogen in form of slow-release hydrogel-urea complex, respectively. Values are means ± SE (standard error).

بیشتر بود و تیمارهای دارای کود نیتروژن، به خصوص تیمارهای حاوی مقادیر بیشتر این عنصر توانستند در این شرایط، مقادیر این پارامتر را بالاتر نگاه دارند. در تنش شدید، می‌توان چنین احتمال داد که اثر تنش خشکی بر این پارامتر بیشتر از اثر تیمارهای کودی بوده است. گزارش شده است که کمبود نیتروژن سبب کاهش نسبت  $F_v/F_o$  شد که این کاهش، نشان‌دهنده آسیب به دستگاه فتوسنتزی و کاهش کارایی تبدیل انرژی نوری و افزایش حساسیت به اشباع نوری در اثر کمبود نیتروژن می‌باشد (Zhao et al., 2017).  $(F_v/F_o)$  کارایی کمپلکس آزاد کننده اکسیژن (OEC) در فتوسیستم دو (Kalaji et al., 2012) و یا به عبارت دیگر، کارایی کمپلکس تجزیه آب در سمت دهنده الکترون در فتوسیستم دو می‌باشد. کاهش  $F_v/F_o$  نشان می‌دهد که کمپلکس آزاد کننده اکسیژن در فتوسیستم دو در اثر کمبود نیتروژن، به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد و منجر به غیرفعال شدن این کمپلکس می‌شود. در اثر کمبود نیتروژن، ظرفیت سنتز پروتئین‌ها کاهش می‌یابد و سنتز آنزیم‌های اکسید کننده آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Zhao et al., 2017). همچنین در بالای این کمپلکس، اسید آمینه تیروزین وجود دارد که در دریافت الکترون از این کمپلکس ایفای نقش می‌کند (Liang et al., 2019)؛ کمبود نیتروژن می‌تواند این اسید آمینه را تحت تأثیر قرار دهد.

در تیمار عدم کاربرد نیتروژن و در رطوبت مطلوب ۷۰ درصد ظرفیت زراعی،  $PI_{ABS}$  به طور معنی‌داری بیشتر بود و در تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). مشخص شده است که این پارامتر نسبت به پارامترهای متداول مانند  $F_v/F_m$ ، نسبت به اثرات محیطی حساس‌تر می‌باشد (Brestic & Zivcak, 2013).  $PI_{ABS}$  یکی از شاخص‌های مهم مورد بررسی می‌باشد که اولین مرحله آن، با جذب شار انرژی شروع می‌شود و تا احیای کوئینون ادامه دارد (Bayat et al., 2020) و به خوبی با ظرفیت فتوسنتزی که از طریق اسیمیلاسیون  $CO_2$  اندازه‌گیری می‌شود در ارتباط است (Zivcak et al., 2014). مقدار بیشتر این ویژگی در

در تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، بیشترین مقدار  $V_i$  ( $0/865$ )، به تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن تعلق داشت (جدول ۵). گزارش شده است که کمبود نیتروژن در برگ‌ها سبب افزایش  $V_i$  شده است که این امر نشان می‌دهد که گیرنده‌های الکترون سمت فتوسیستم دو تحت شرایط کمبود نیتروژن، بیشتر در حالت احیاء قرار دارند (Lin et al., 2016). در تیمارهای دارای سامانه هیدروژلی در اثر اعمال و تشدید تنش خشکی، مقدار  $V_i$  افزایش نیافت، اما در بقیه تیمارهای کودی، در اثر اعمال و تشدید تنش، مقدار  $V_i$  افزایش نشان داد. گزارش شده است تنش خشکی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش مقدار  $V_i$  شده است که نشان دهنده انباشتگی گیرنده‌های کوئینون اولیه احیا شده ( $Q_A$ ) و پلاستوکوئینون و یا عدم توانایی آن‌ها در انتقال الکترون‌ها به واکنش‌های تاریکی می‌باشد که در مجموع سبب بازدارندگی نوری می‌شود (Francic et al., 2017). می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد سامانه هیدروژلی به‌خصوص تحت شرایط تنش، دستیابی به نیتروژن را فراهم‌تر نموده است و به‌علت حفظ شرایط رطوبتی مطلوب‌تر، اثرات تنش خشکی را نیز تقلیل داده است.

بیشترین مقدار  $F_v/F_o$  در ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن تعلق داشت. در تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، تیمارهای کودی دارای نیتروژن، بیشترین مقادیر را دارا بودند، اما در تیمار عدم کاربرد نیتروژن، این مقدار به‌طور معنی‌داری در مقایسه با مقادیر بیشتر کاربرد نیتروژن حاوی سامانه هیدروژلی و فاقد آن، کاهش یافت. در تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، تفاوت معنی‌داری بین مقادیر این صفت در بین تیمارهای کودی نبود (جدول ۵). بالاتر بودن مقدار این پارامتر در شرایط مطلوب رطوبتی، در تیمار عدم کاربرد نیتروژن را می‌توان به کمتر بودن زیست‌توده گیاه در این تیمار نسبت داد که در این صورت، به‌علت برگ‌های کمتر و رقابت کمتر برای دریافت نیتروژن، توانسته است شرایط نوری فتوسنتزی برگ را در حالت مناسبی حفظ نماید. اما در شرایط تنش ملایم، حساسیت به کمبود نیتروژن

معنی‌داری بر کارایی فتوسنتزی در فتوسیستم دو در برگ دوم نداشته‌اند. در اثر کمبود نیتروژن در جوان‌ترین برگ گیاه گندم، کاهش در حداکثر کارایی کوانتومی فتوشیمیایی فتوسیستم دو مشاهده نشد (Zivcak *et al.*, 2014).

#### شاخص SPAD و صفات مورفولوژیک و رشدی

اثر عامل کودی بر وزن خشک و سطح برگ پرچم، قطر ساقه و تعداد پنجه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و همچنین تنش خشکی نیز بر وزن خشک و سطح برگ پرچم و تعداد پنجه در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار داشت (جدول ۶). اثر متقابل عامل کودی و تنش خشکی بر طول ریشک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقدار بیشتر نیتروژن در قالب سامانه هیدروژلی و فاقد آن، سبب حصول بیشترین وزن خشک و سطح برگ پرچم شد و پس از آن‌ها، مقدار کمتر نیتروژن در قالب سامانه هیدروژلی، بیشترین میزان این صفات را به دنبال داشت و در مقدار کمتر نیتروژن فاقد سامانه و عدم کاربرد نیتروژن، این صفات کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۷). افزایش دسترسی به نیتروژن، باعث جذب بیشتر نیتروژن و متابولیسم آن در گیاه می‌شود و به علت تحریک رشد رویشی و ماده‌سازی و اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به برگ پرچم، باعث افزایش وزن و مساحت این برگ می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2017). کاربرد کود نیتروژن کندها، سبب افزایش سطح برگ پرچم در گندم شده است (Hassanein *et al.*, 2013). تنش خشکی سبب کاهش معنی‌داری در وزن خشک و سطح برگ پرچم شد (جدول ۸). احتمالاً کاهش پتانسیل آب در سلول‌های مریستمی در شرایط تنش خشکی، موجب کاهش پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌شو و طولی شدن سلول‌ها و تقسیم سلولی که لازمه رشد است، مختل می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2017). بیشترین قطر ساقه به تیمار مقدار بیشتر نیتروژن در قالب سامانه هیدروژلی تعلق داشت و پس از آن مقدار، بیشتر نیتروژن فاقد سامانه، بیشترین مقدار قطر ساقه را تولید نمود (جدول ۷). با کاربرد و افزایش مقدار نیتروژن،

تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن احتمالاً می‌تواند به علت کاهش زیست‌توده در این تیمار باشد که به‌علت برگ‌های کمتر و رقابت کمتر برای دریافت نیتروژن، شرایط بیوفیزیکی فتوسنتزی برگ تا حدودی در حالت متعادل حفظ شده است. تیمارهای حاوی سامانه در تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، دارای بیشترین مقدار  $PI_{ABS}$  بودند که با مقدار این ویژگی در تیمارهای نیتروژن فاقد سامانه تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما این پارامتر در تیمار عدم کاربرد نیتروژن، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). در تنش ۵۰ درصد، کاربرد سامانه هیدروژلی، سبب فراهم‌سازی بهتر نیتروژن و رطوبت برای گیاه شد و در تیمار عدم کاربرد نیتروژن، فقدان این عنصر و درک تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار در  $PI_{ABS}$  شد. گزارش شده است که در تیمار عدم کاربرد نیتروژن، این ویژگی به‌طور معنی‌داری کمتر بود که این امر به سبب محتوی کمتر نیتروژن و کلروفیل برگ بوده است و می‌تواند نشان‌دهنده کارایی فتوسنتزی کمتر باشد (Zivcak *et al.*, 2014). نیتروژن در رشد، مقدار کلروفیل و ساخت آنزیم‌های لازم در اسیمیلاسیون  $CO_2$  گیاه، نقش تعیین‌کننده‌ای دارد؛ بنابراین تأثیرپذیری و کاهش  $PI_{ABS}$  در اثر کمبود فراهمی نیتروژن قابل انتظار است (Stirbet *et al.*, 2018). در تنش ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، تفاوت معنی‌داری در مقدار این پارامتر بین تیمارهای کودی وجود نداشت (جدول ۵). می‌توان احتمال داد که اثر شدت تنش در این سطح بر گیاه، بیشتر از شدت اثرگذاری تیمارهای کودی بوده است. همچنین اثرگذاری نیتروژن در تنش ملایم، بیشتر از تنش شدید بود که این امر می‌تواند به کاهش شدیدتر ظرفیت انتقال الکترون‌ها در طی تنش شدید نسبت داده شود. اثر کود و تنش بر حداکثر کارایی کوانتومی فتوشیمیایی فتوسیستم دو ( $F_v/F_m$ ) معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقدار  $F_v/F_m$  نشان‌دهنده ظرفیت انتقال الکترون فتوسیستم دو و کارایی کوانتومی فتوسیستم دو در تبدیل نور جذب شده به انرژی شیمیایی می‌باشد و عدم ایجاد تغییرات معنی‌دار در این ویژگی تحت اثر تنش و کود، نشان‌دهنده این امر است که این دو عامل، اثر



در تیمار مطلوب رطوبتی، بیشترین طول ریشک (۱۱/۹ سانتیمتر) متعلق به تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن بود و این مقدار در تنش خشکی ۵۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، به ترتیب مربوط به تیمارهای مقدار کمتر و بیشتر نیتروژن دارای سامانه بود (جدول ۵). می‌توان چنین نتیجه گرفت که در رطوبت مطلوب، طول ریشک به کمبود نیتروژن حساس نبود، اما در تنش خشکی، به کمبود و یا عدم کاربرد نیتروژن واکنش نشان داد و هرچه تنش شدیدتر شد، به فراهم بودن نیتروژن واکنش بهتری نشان داد. فراهم بودن عناصر تغذیه‌ای و آب بیشتر می‌تواند موجب بهبود فتوسنتز و رشد و افزایش طول ریشک و برگ پرچم شود. برگ پرچم و ریشک، به واسطه تداوم فتوسنتز پس از گرده افشانی و فاصله اندک به مخزن، نقش مؤثری در پر شدن دانه و حصول عملکرد بالاتر دارد (Jiriae et al., 2014).

قطر ساقه گندم افزایش یافت که می‌تواند در اثر بهبود انتقال مواد غذایی از ریشه به قسمت‌های فعال گیاه باشد (Agami et al., 2018). مقدار بیشتر نیتروژن در قالب سامانه هیدروژلی و فاقد سامانه و مقدار کمتر نیتروژن در قالب سامانه هیدروژلی سبب تولید بیشترین تعداد پنجه شد که این تعداد در تیمارهای مقدار کمتر نیتروژن فاقد سامانه هیدروژلی و عدم کاربرد نیتروژن، کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۷). در تیمارهای دارای سامانه هیدروژلی کندرها و در مقدار بیشتر نیتروژن فاقد سامانه هیدروژلی، به علت تأمین مناسب‌تر نیتروژن، گیاه موفق به تولید تعداد پنجه‌های بیشتری شده است. کود نیتروژن، یکی از مؤثرترین و متداول‌ترین مواد برای افزایش تعداد پنجه می‌باشد (Wang et al., 2017). تنش کم‌آبی سبب کاهش معنی‌داری در تعداد پنجه‌های تولیدی شد (جدول ۸).

جدول ۶- تجزیه واریانس برخی صفات مورفولوژیک و شاخص SPAD جو تحت اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و سه سطح تنش خشکی

Table 6. Variance analysis of the effect of different N fertilizers on some morphological traits and SPAD index of barley under three levels of drought stress.

S.O.V	df	Flag leaf area	Flag leaf dry weight	Stem diameter	Total number of tiller	Awn length	SPAD index
Replication	2	6.068*	0.00055 <sup>ns</sup>	0.055 <sup>ns</sup>	0.650 <sup>ns</sup>	0.896*	13.908 <sup>ns</sup>
Fertilizer (N)	4	28.097**	0.002635**	0.926**	4.050**	0.170 <sup>ns</sup>	249.493**
Drought stress (DS)	2	29.640**	0.000994**	0.049 <sup>ns</sup>	2.379**	0.329 <sup>ns</sup>	32.211**
DS × N	8	1.153 <sup>ns</sup>	0.000096 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>	0.624 <sup>ns</sup>	1.450**	8.950 <sup>ns</sup>
Error	28	1.325	0.000071	0.022	0.382	0.174	5.946
CV (%)		7.86	13.53	3.96	11.48	3.82	6.20

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال (P ≤ 0.01)، \* معنی‌دار در سطح احتمال (P ≤ 0.05)، ns = معنی‌دار نبودن. SOV: منبع تغییر، CV: ضریب تغییرات

ns, \*, and \*\*: Non-significant and significant at P ≤ 0.05 and P ≤ 0.01, respectively. SOV: Source of the variation; CV: Coefficient of variation.

محتوی کلروفیل در گیاه بیشتر بوده است و شاخص SPAD نیز بیشتر شده است. کاربرد کود اوره کندرها با پوشش پلیمری، سبب تأخیر در پیری برگ و مقدار SPAD بالاتری در برگ گیاه در مقایسه با کود اوره متداول شد و این امر نشان‌دهنده تأمین نیتروژن کافی برای گیاه در طول دوره رشد در تیمارهای اوره دارای پوشش پلیمری بوده است (Yang et al., 2016). همچنین افزایش SPAD در اثر کاربرد کود اوره کندرها با پوشش پلیمری در مقایسه با کاربرد اوره متداول در مراحل مختلف دوره رشدی نیز گزارش شده است

اثر ساده کود و نیز تنش کم‌آبی در سطح یک درصد بر شاخص کلروفیل SPAD معنی‌دار بود (جدول ۶). شاخص کلروفیل SPAD در اواخر مرحله طویل شدن ساقه در تیمارهای مقدار بیشتر و کمتر نیتروژن در قالب سامانه هیدروژلی کندرها و مقدار بیشتر نیتروژن فاقد سامانه هیدروژلی کندرها، بیشترین مقادیر را داشت و با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند و کم‌ترین مقدار این صفت نیز مربوط به تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن بود (جدول ۷). بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که در صورت فراهم بودن مقدار مطلوب نیتروژن،

(Geng *et al.*, 2016). تنش خشکی در سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، سبب کاهش معنی‌داری در شاخص SPAD شد (جدول ۸). کاهش در رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر تنش خشکی، به کاهش سنتز

کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، صدمه اکسیداتیو به لیبیدهای کلروپلاست، رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها نسبت داده می‌شود (Hamzei & Babaei, 2017).

جدول ۷- اثر کودی نیتروژن بر قطر ساقه، وزن خشک و سطح برگ پرچم، تعداد پنجه و شاخص SPAD در جو.

Table 7. Effect of nitrogen fertilizer on stem diameter, flag leaf area and dry weight, number of tiller and SPAD

N treatments	Stem diameter (mm)	Flag leaf area (cm <sup>2</sup> )	Flag leaf dry weight (g)	Number of tiller	SPAD index
N1	3.333 ± 0.045 d	12.608 ± 0.444 c	0.041 ± 0.003 d	4.389 ± 0.236 c	31.144 ± 1.290 c
N2	3.970 ± 0.075 b	15.750 ± 0.657 ab	0.079 ± 0.005 a	5.972 ± 0.226 a	42.944 ± 0.946 a
N3	4.158 ± 0.054 a	16.772 ± 0.467 a	0.078 ± 0.003 a	5.833 ± 0.083 a	43.633 ± 0.587 a
N4	3.599 ± 0.023 c	13.087 ± 0.422 c	0.049 ± 0.002 c	5.000 ± 0.328 b	36.956 ± 0.603 b
N5	3.722 ± 0.029 c	15.049 ± 0.782 b	0.065 ± 0.004 b	5.722 ± 0.284 a	41.911 ± 1.150 a

N1 = فاقد کود نیتروژن، N2 = معادل ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن فاقد هیدروژل، N3 = معادل ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دارای سامانه هیدروژلی کندرها، N4 = معادل ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن فاقد هیدروژل، N5 = معادل ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دارای سامانه هیدروژلی کندرها. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند. مقادیر ارائه شده عبارتند از میانگین‌ها ± خطای استاندارد.

Means with the same letters in the same column are not significantly different at 5% of probability level using LSD test. N1: no N fertilizer, N2 and N4: equivalent amount of 125 and 65 kg.ha<sup>-1</sup> nitrogen in form of conventional urea without slow release hydrogel complex, respectively; N3 and N5: equivalent amount of 125 and 65 kg.ha<sup>-1</sup> nitrogen in form of slow-release hydrogel-urea complex, respectively. Values are means ± SE (standard error).

جدول ۸- اثر تنش خشکی بر وزن خشک و سطح برگ پرچم، تعداد پنجه و شاخص SPAD در جو.

Table 8- Effect of drought stress on flag leaf area and dry weight, number of tiller and SPAD index of barley.

Drought stress	Flag leaf area (cm <sup>2</sup> )	Flag leaf dry weight (g)	Number of tiller	SPAD index
70% FC	15.877 ± 0.585 a	0.071 ± 0.006 a	5.817 ± 0.273 a	40.213 ± 1.334 a
50% FC	14.964 ± 0.503 b	0.061 ± 0.004 b	5.300 ± 0.181 b	40.113 ± 1.409 a
30% FC	13.118 ± 0.467 c	0.055 ± 0.004 b	5.033 ± 0.225 b	37.627 ± 1.502 b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، مطابق آزمون LSD، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشند. مقادیر ارائه شده عبارتند از میانگین‌ها ± خطای استاندارد.

Means with the same letters in the same column are not significantly different at 5% of probability level using LSD test. Values are means ± SE (standard error).

## نتیجه‌گیری کلی

مطالعات جهت ارزیابی شرایط تنش‌زا برای گیاه استفاده می‌شود. تیمارهای کودی دارای سامانه هیدروژلی کندرها و مقادیر بالای نیتروژن، سبب رشد بهتر و شاخص SPAD بالاتر بودند. تنش خشکی نیز سبب کاهش رشد و شاخص SPAD شد. می‌توان چنین نتیجه گرفت که در جو رقم گوهران، فراهم بودن بهتر نیتروژن، اثر مطلوبی بر پارامترهای فلئورسانس کلروفیل و رشدی، به‌خصوص در شرایط تنش خشکی داشت و به نظر می‌رسد که کاربرد سامانه هیدروژلی از طریق تأمین مطلوب‌تر نیتروژن و شرایط رطوبتی سبب ایجاد مقادیر مناسب‌تر مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل، صفات رشدی و شاخص SPAD شود.

فلئورسانس کلروفیل، یک شاخص فیزیولوژیک معتبر جهت مشخص نمودن تغییرات القا شده در دستگاه فتوسنتزی است. مؤلفه‌های فلئورسانس کلروفیل در شرایط دسترسی مطلوب‌تر به نیتروژن، مقادیر بهتری را حاصل کسب کردند. همچنین تحت شرایط تنش خشکی، کاربرد سامانه هیدروژلی، سبب کسب مقادیر مطلوب‌تری در رابطه با پارامترهای فلئورسانس کلروفیل شد. کاربرد سامانه هیدروژلی تحت شرایط تنش ملایم، سبب حصول شاخص کارایی بر پایه جذب بالاتری شد. این پارامتر نسبت به پارامترهای متداول‌تر، به اثرات محیطی و تغذیه‌ای حساس‌تر است و در بسیاری از

## REFERENCES

1. Agami, R. A., Almari, S. A. M., El-Maghd, T. A. A., AbbouSekken, M. S. M. & Hashem, M. (2018). Role of exogenous nitrogen supply in alleviating the deficit irrigation stress in wheat plants. *Agricultural Water Management*, 210, 261-270.
2. Agegnehu, G., Nelson, P. N. & Bird, M. I. (2016). The effects of biochar, compost and their mixture and nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of barley grown on a nitisol in the highlands of Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 569-570, 869-879.
3. Ahmadi, K., Ebadzade, H. R., Abdshah, H., Kazemian, A. & Rafiee, M. (2018). *Agricultural Statistics Report, Crop year 2016-2017*. First volume: Crops, Ministry of Agriculture-Jahad. Deputy of Planning and Economic Affairs, Center for Information and Communication Technology, 116 P. (In Persian)
4. Akbari, S., Alahdadi, I., Ghorbani Javid, M., Kabiri, K. & Soltani, E. (2019). The Effect of slow release urea-containing hydrogel complex on yield, yield components, and physiological traits of barley under water deficit stress. *Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture)*, 21(2), 181-193. (In Persian)
5. Baghbani-Arani, A., Modares-Sanavi, A. M., Mashhadi, M., Boojar, A., Adavi, Z. & Deghanzade-Jezi, H. (2019). The effect of water deficit stress on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, trigoneline and grain yield in fenugreek in response to zeolite and N. *Nova Biologica Reperta*, 6(2), 229-240. (In Persian)
6. Bartak, M., Trnkova, K., Hansen, E. S., Hazdrova, J., Skacelova, K., Hajek, J. & Forbelska, M. (2015). Effect of dehydration on spectral reflectance and photosynthetic efficiency in *Umbilicaria arctica* and *U. hyperborean*. *Biologia Plantarum*, 59(2), 357-365.
7. Bayat, L., Arab, M., Aliniaiefard, S., Seif, M., Lastochkina, O. & Li, T. (2018). Effects of growth under different light spectra on the subsequent high light tolerance in rose plants. *Aob Plants*, 10(5), ply052.
8. Bayat, L., Arab, M. & Aliniaiefard, S. (2020). Effects of different light spectra on high light stress tolerance in rose plants (*Rosa hybrida* cv. 'Samurai'). *Journal of Plant Process and Function*, 9(36), 93-103. (In Persian)
9. Brestic, M. & Zivcak, M. (2013). In: Rout G., Das A. (Ed), *PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: Protocols and Applications*. (pp. 87-131). Molecular Stress Physiology of Plants. Springer.
10. De Melo, H. F., De Souza, E. R. & Cunha, J. C. (2017). Fluorescence of chlorophyll *a* and photosynthetic pigments in Atriplex nummularia under abiotic stresses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(4), 232-237.
11. Dugdale, H., Harris, G., Neilsen, J., Richards, D., Wigginton, D. & Williams, D. (2012). Waterpak- a guide for irrigation management in cotton and grain farming systems. *Cotton Research & Development Corporation*, 486 P.
12. Fanoodi, F., Khazaei, H. R., Kafi, M. & Goldani, M. (2017). Effect of nitrogen application rate on nitrogen use efficiency in barley cultivars in Mashhad and Damghan conditions. *Applied Field Crops Research*, 30(3), 1-13. (In Persian)
13. Franic, M., Galic, V., Ledencan, T., Jambrovic, A., Brkic, I., Zdunic, Z., Brkic, A., Brkic, J. & Simic, D. (2017). Changes of chlorophyll *a* fluorescence parameters in water limited maize IBM population. *52nd Croatian & 12th International Symposium on Agriculture*, 12-17 February, Dubrovnik, Croatia. 208-211.
14. Geng, J., Ma, Q., Chen, J., Zhang, M., Li, C., Yang, Y., Yang, X., Zhang, W. & Liu, Z. (2016). Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf senescence of cotton. *Field Crops Research*, 187, 87-95.
15. Ghasemi, H., Esmaeili, M. A. & Mohammadian, R. (2017). Effects of nitrogen on chlorophyll fluorescence and the relationship between chlorophyll content and spad values in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under drip-tape system. *ARP Journal of Agricultural and Biological Science*, 12(3), 117-122.
16. Hamzei, J. & Babaei, M. (2017). Response of morphological traits, yield components and yield of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) to the integrated management of irrigation interval and nitrogen fertilizer. *Journal of Crop Production*, 9(4), 17-35. (In Persian)
17. Hassanein, M. S., Amal, G. A., Nabila, M. Z., El-Alia, H. I. & Tawfik, M. M. (2013). Response of two wheat cultivars grown in newly cultivated lands to iron and slow release N fertilizers. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1), 498-505.

18. Hawkesford, M. J. (2014). Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*, 59(3), 276-283.
19. Hou, J., Dong, Y. J., Liu, C. S., Gai, G. S., Hu, G. Y., Fan, Z. Y. & Xu, L. L. (2015). Nutrient release characteristics of coated fertilizers by superfine phosphate rock powder and its effects on physiological traits of Chinese cabbage. *Journal of Plant Nutrition*, 38(8), 1254-1274.
20. Huang, Z. A., Jiang, D. A., Yang, Y., Sun, J. W. & Jin, S. H. (2004). Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzymes in leaves of rice plants. *Photosynthetica*, 42(3), 357-364.
21. Jiang, H. X., Chen, L. S., Zheng, J. G., Han, S., Tang, N. & Smith, B. R. (2008). Aluminum-induced effects on Photosystem II photochemistry in *Citrus* leaves assessed by the chlorophyll *a* fluorescence transient. *Tree Physiology*, 28, 1863-1871.
22. Jiriaie, M., Fateh, E. & Aynehband, A. (2014). Evaluation the morph physiological changes in wheat cultivars from the use of Mycorrhiza and Azospirillum. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), 841-851. (In Persian)
23. Kalaji, H. M., Carpentier, R., Allakhverdiev, S. I. & Bosa, K. (2012). Fluorescence parameters as early indicators of light stress in barley. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 112, 1-6.
24. Liang, H. Z., Zhu, F., Wang, R. J., Huang, X. H. & Chu, J. J. (2019). Photosystem II of *Ligustrum lucidum* in response to diferent levels of manganese exposure. *Scientific Riports*, 9, 12568.
25. Lin, Y. C., Hu, Y. g., Ren, C. Z., Guo, L. C., Wang, C. L., Jiang, Y., Wang, X. J., Phendukani, H. & Zeng, Z. H. (2013). Effects of nitrogen application on chlorophyll fluorescence parameters and leaf gas exchange in Naked Oat. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(12), 2164-2171.
26. Lin, Z. H., Zhong, Q. S., Chen, C. S., Ruan, Q. C., Chen, Z. H. & You, X. M. (2016). Carbon dioxide assimilation and photosynthetic electron transport of tea leaves under N deficiency. *Botanical Studies*, 57, 37.
27. Mohammadi, A., Moosavi, G. R. & Seghatoleslami, M. J. (2017). Effect of irrigation interval and N fertilizer application on morphological traits, yield and yield components of millet (*Panicum miliaceum* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(2), 225-235.
28. Movludi, A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Davari, M. & Parmoon, G. (2013). Effects of water stress and nitrogen application on chlorophyll fluorescence and cell membrane stability in spring barley. *The First National Conference on Planning and Environmental Protection*, 21 February., Islamic Azad University Hamedan Branch, Hamedan, Iran, pp. 1-13. (In Persian)
29. Nikkhah, H., Yousefi, A., Qazvini, H., Sorkhi, B., Jasemi, S. S., Patpoor, M., Taheri, M., Abdi, H., Saberi, H., Tajalli, H., Arazmjoo, M., Mahlooji, M., Sharif-Al-Hossaini, M., Attahosaini, S. M., Aghnoom, R., Niazifard, A. S., Tabatabaie, S. A., Safari, S. A. & Mohammadi, S. (2018). Goharan, A new terminal drought tolerant barley cultivar with high water use productivity for cultivation in the moderate agro-climate zone of Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 7(1), 83-95.
30. Pandey, V. & Shukla, A. (2015). Acclimation and tolerance strategies of Rice under drought stress. *Rice Science*, 22(4), 147-161.
31. Sanayei, S., Ebadi, A., Parmoon, G. & Gholizadeh, L. (2014). Effect of mineral nitrogen on fluorescence changes of photosynthetic pigments of alfalfa under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal*, 6(23), 5-20. (In Persian)
32. Saud, S., Fahad, S., Yajun, C., Ihsan, M. Z., Hammad, H. M., Nasim, W., Jr, A., Arif, M. & Alharby, H. (2017). Effects of nitrogen supply on water stress and recovery mechanisms in Kentucky Blue grass plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 983.
33. Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S. & Papendick, R. I. (1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society America Journal*, 50(4), 1031-1036.
34. Saxton, K. E. & Rawls, W. J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrological solutions. *Soil Science Society America Journal*, 70, 1569-1578.
35. Seifi Kalhor, M., Aliniaiefard, S., Seif, M., Javadi Asayesh, E., Bernard, F. & Hassani, B. (2018). Enhanced salt tolerance and photosynthetic performance: Implication of  $\gamma$ -amino butyric acid application in salt-exposed lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130, 157-172.
36. Stirbet, A., Lazar, D., kromdijk, J. & Govindjee, R. (2018). Chlorophyll *a* fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? *Photosynthetica*, 56(1), 86-104.

37. Thwe, A. & Kasemsap, P. (2014). Quantification of OJIP fluorescence transient in tomato plants under acute ozone stress. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 48, 665-675.
38. Wang, Y., Lu, J., Hussain, S., Guo, C., Wang, S., Cong, R. & Li, X. (2017). Effects of nitrogen and tiller type on grain yield and physiological responses in rice. *AoB Plants*, 9, 1-14.
39. Waraich, E. A., Ahmad, R., Saifullah, U., Ashraf, M. Y. & Ehsanullah, E. (2011). Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 764-777.
40. Xiao, X., Yu, L., Xie, F., Bao, X., Liu, H., Ji, Z. & Chen, L. (2016). One-step method to prepare starch based superabsorbent polymer for slow release of fertilizer. *Chemical Engineering Journal*, 309, 607-616.
41. Xiong, X., Chang, L., Khalid, M., Zhang, J. & Huang, D. (2018). Alleviation of drought stress by nitrogen application in *Brassica campestris* ssp. *Chinensis* L. *Agronomy*, 8(66), 1-15.
42. Yang, X., Geng, J., Li, C., Zhang, M. & Tian, X. (2016). Cumulative release characteristics of controlled-release N and K fertilizers and their effects on soil fertility, and cotton growth. *Scientific Reports*, 6, 39030.
43. Yang, Y., Ni, X., Zhou, Z., Yum L., Liu, B., Yang, Y. & Wu, Y. (2017). Performance of matrix-based slow-release urea in reducing N loss and improving maize yields and profits. *Field Crops Research*, 212, 73-81.
44. Yousufinia, M. & Ghasemian, A. (2016). Evaluation of salinity effects on photosynthesis and chlorophyll *a* fluorescence of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Developmental Biology*, 8(1), 35-44. (In Persian)
45. Zhao, L. S., Li, K., Wang, Q. M., Song, X. Y., Su, H. N., Xie, B. B., Zhang, X. Y., Huang, F., Chen, X. L., Zhou, B. C. & Zhang, Y. Z. (2017). Nitrogen starvation impacts the photosynthetic performance of porphyridium cruentum as revealed by chlorophyll *a* fluorescence. *Scientific Reports*, 7, 8542.
46. Zivcak, M., Olšovská, K., Slamka, P., Galambosova, J., Rataj, V., Shao, H. B. & Brestič, M. (2014). Application of chlorophyll fluorescence performance indices to assess the wheat photosynthetic functions influenced by nitrogen deficiency. *Plant Soil Environment*, 60(5), 210-215.