Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 48, No 1, Spring 2017 (39-45)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.202541.654065

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۶ (ص ۴۵-۳۹)

تأثیر تنش خشکی در آغاز فصل و آبیاری دوباره بر شاخص‌های فلورسانس سبزینه و برخی صفات فیزیولوژیک گندم

رضا کشاورز نیا[۱]، سیدعلی پیغمبری[۲*] و محمدرضا بی‌همتا[۲]
۱ و ۲. دانشجوی دکتری و استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۶)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی و آبیاری دوباره روی شاخص‌های فلورسانس سبزینه (کلروفیل) و صفات فیزیولوژیک گندم، این پژوهش با استفاده از سه رقم گندم زراعی با پنج سطح آبیاری به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. صفات شاخص‌های فلورسانس سبزینه (F_0، F_m، F_v و Fv/F_m) و صفات فیزیولوژیک، محتوای نسبی آب برگ، دمای برگ و محتوای نسبی سبزینه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد، در اثر اعمال تنش خشکی، میزان محتوای نسبی آب برگ و محتوای نسبی سبزینه کاهش، اما دمای برگ افزایش پیدا کرد. همچنین شاخص‌های فلورسانس سبزینه F_m ، F_v و Fv/F_m در اثر تنش خشکی کاهش ولی شاخص F_0 افزایش پیدا کرد که این تغییرپذیری‌ها در رقم‌های متحمل به خشکی (زاگرس و دز) نسبت به رقم حساس به خشکی (مرودشت) با شدت کمتری صورت گرفت. همچنین آبیاری دوبارهٔ گیاهان تحت تنش، باعث شد که صفات اندازه‌گیری‌شده تا حد زیادی به شرایط کنترل نزدیک شوند که این نزدیک شدن به شرایط کنترل در رقم حساس نسبت به رقم‌های متحمل کمتر بود. نتایج همبستگی دوبه‌دو صفات نشان داد، همهٔ صفات مورد بررسی با هم همبستگی مثبت و منفی معنی‌داری دارند که بالاترین آن بین شاخص‌های F_m و F_v ($r= ۰/۹۹۱^{**}$) و بین شاخص‌های Fv/F_m و F_0 ($r = -۰/۹۲۶^{**}$) بود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، صفات فیزیولوژیک، فلورسانس سبزینه، گندم.

The impact of seedling drought stress and recovery on chlorophyll fluorescence parameters and physiological characteristics of wheat

Reza Keshavarznia[1], Seyed Ali Peyghambari[2*] and Mohammadreza Bihamta[2]
1, 2. Ph. D. Candidate and Professor, University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Mar. 14, 2016 - Accepted: Apr. 25, 2016)

ABSTRACT

In order to examine the impact of drought stress and re-irrigation on chlorophyll fluorescence parameters and physiological traits of three wheat cultivars at five levels of irrigation, an experiment was performed in a factorial arrangement with complete randomized design in three replications. The traits comprised of chlorophyll fluorescence parameters (F_0, F_m, F_v and F_v/F_m) and physiological characteristics included relative water content, leaf temperature and relative content of chlorophyll were measured .The results showed that the relative water content and chlorophyll relative content were decreased but leaf temperature was increased under drought stress. Similarly, the chlorophyll fluorescence parameters F_m, F_v and F_v/F_m increased but F_0 decreased under drought stress and these changes in tolerant cultivars were less severe than susceptible cultivar. The re-irrigation treatment caused these traits in the stressed plants to be similar to normal conditions, where it was lower for susceptible cultivars than the resistant cultivar. The results of correlation among all traits showed significant positive and negative relations, that the highest indices was recorded between Fm and Fv parameters (r=0.991**) and between F_v/F_m. and F_0 (r=0.926**).

Keywords: Chlorophyll fluorescence, drought stress, physiological traits, wheat.

* Corresponding author E-mail: alipey@ut.ac.ir Tel: +98 26 32246074

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum L.*) مهم‌ترین گیاه زراعی بین تمام گونه‌های گیاهی می باشد. معروف است که در هر روز در نقطه‌ای از کرهٔ زمین عملیات کاشت گندم و در نقطه‌ای دیگر عملیات برداشت انجام می‌شود. این موضوع گویای توانایی سازش بسیار زیاد این گیاه با اقلیم‌های گوناگون است (Emam, 2011). نزدیک به ۳۲ درصد از مناطق کشت گندم، انواع مختلفی از تنش خشکی را در طول فصل رشد تجربه می‌کنند (Morris *et al.*, 1991). نواحی تحت تنش خشکی به نواحی گفته می‌شود که میزان بارندگی سالیانهٔ آن‌ها کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر باشد (Rajaram *et al.*, 1994). ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر از جمله مناطق خشک به شمار می‌آید. حدود ۴۵ درصد از اراضی زیر کشت گندم دیم در ایران میانگین بارش کمتر از ۳۵۰ میلی‌متر دارند. بالا بودن میزان تبخیر و تعرق، ویژگی‌های نامناسب فیزیکوشیمیایی خاک، ویژگی‌های نامناسب گیاه زراعی و مدیریت‌های نامناسب مزرعه همراه با محدودیت آبی باعث می‌شوند، عملکرد گندم به‌ویژه در مناطق دیم کاهش یابد (Emam, 2011). درصد مادهٔ خشک، محتوای نسبی آب برگ، تنظیم اسمزی و دمای برگ از جمله صفات فیزیولوژیکی هستند که می‌توانند تا حدود زیادی به‌عنوان شاخص‌هایی برای شناسایی رقم‌های متحمل به تنش به کار گرفته شوند. کاهش محتوای نسبی آب برگ، بسته شدن روزنه‌ها را تحریک می‌کند و به دنبال بسته شدن روزنه‌ها سرعت نورساخت (فتوسنتز) نیز کاهش می‌یابد. بنابراین هرچه محتوای نسبی آب برگ در یک رقم در شرایط تنش خشکی بیشتر باشد مقاومت آن نیز بیشتر خواهد بود (Altinkut *et al.*, 2001).

امروزه فلورسانس سبزینه (کلروفیل) (Chlorophll fluorescence) به‌عنوان یک معیار سنجش برای اندازه‌گیری تأثیر تنش‌های محیطی، از جمله تنش خشکی بر گونه‌های زراعی و تعیین میزان تحمل به خشکی آن‌ها پیشنهاد شده است (Moffatt *et al.*, 1990). فلورسانس در معنی لغوی بازتاب نور است. چنانچه میزان ملایمی از نور روی واحدهای نورساختی موجود در غشای تیلاکوئید تابیده شود، رنگ‌دانه‌های موجود در آنتن‌های گردآوری‌کنندهٔ نور آن را دریافت و با طول‌موج نور قرمز آن را به مراکز واکنش فتوسیستم دو (PS II) منتقل می‌کنند. اگر به هر دلیلی در زنجیرهٔ انتقال الکترون، پذیرش الکترون جدید صورت نگیرد، انرژی به‌صورت نور قرمزرنگ (فلورسانس) بازتاب خواهد کرد که به آن فلورسانس سبزینه می‌گویند (Hasibi, 2007).

مؤلفه‌های فلورسانس سبزینه شامل F_0 (کمینه فلورسانس از برگ سازگارشده با تاریکی)، F_m (بیشینه فلورسانس از برگ سازگارشده با تاریکی)، F_v (میزان فلورسانس متغیر از برگ سازگارشده با تاریکی) و F_v/F_m (بیشینه کارایی یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو در شرایط سازگار شده با تاریکی) است (Maxwell & Johanson, 2000). میزان فلورسانس سبزینه، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم دو به فتوسیستم یک نشان می‌دهد. وقتی مولکول‌های کینون (Quinone) در وضعیت کامل اکسیدشده (وضعیت باز مرکز واکنش فتوسیستم دو) هستند، سیستم کمترین فلورسانس (F_0) را دارد که به‌تدریج با افزایش احیا شدن این مولکول‌ها، فلورسانس افزایش می‌یابد. این روند تا احیای کامل مولکول‌های آن ادامه پیدا می‌کند. در چنین حالتی فتوسیستم در حالت احیای کامل بوده، بیشترین فلورسانس (F_m) را دارد. در واقع تنش خشکی ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، در نتیجه سیستم به‌سرعت به F_m می‌رسد، که نتیجهٔ آن کاهش فلورسانس متغیر (F_v) خواهد بود. بنابراین با توجه به این تغییرپذیری‌ها، تنش‌های محیطی با تأثیر بر فتوسیستم دو باعث کاهش نسبت F_v/F_m می‌شوند (Ma *et al.*, 1995). بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی در آغاز فصل و آبیاری دوباره (ریکاوری[1]) بر شاخص‌های فلورسانس سبزینه و برخی صفات فیزیولوژیک گندم انجام گرفت.

1. Recovery

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر تنش خشکی و آبیاری دوباره روی رقم‌های مورد استفاده، این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۴ و در گلخانهٔ پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران انجام گرفت. دو عامل این آزمایش شامل سه رقم گندم زراعی با پنج سطح تنش خشکی و آبیاری دوباره بودند. رقم‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل رقم زاگرس (دیم متحمل به تنش خشکی)، رقم دز (آبی متحمل به گرما و خشکی) و رقم مرودشت (آبی حساس به خشکی) (Hoseinian Khoshro *et al.*, 2013) و عامل آبیاری شامل آبیاری نرمال (FC ۱۰۰درصد)، تنش FC ۷۰درصد، تنش FC ۴۰درصد به همراه آبیاری دوباره تنش FC ۷۰درصد (R70%FC) و آبیاری دوباره، تنش FC ۴۰درصد (R40%FC) بودند.

تعداد ۴ گیاه در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی با استفاده از خاک طبیعی کاشته شدند. آبیاری گیاهان تا مرحلهٔ چهار برگی به‌صورت نرمال (FC ۱۰۰درصد) صورت گرفت و پس از آن آبیاری گیاهان تحت تنش قطع شد تا رطوبت خاک به FC مورد نظر برسد. گیاهان در این مرحله از تنش به مدت دو هفته نگهداری شدند (میزان رطوبت روزانه و به‌صورت وزنی اندازه‌گیری شد). پس از پایان مدت‌زمان تنش، نمونه‌برداری به‌منظور اندازه‌گیری صفات ارزیابی شد. پس از پایان مدت‌زمان تنش مورد نظر، به‌منظور بررسی اثر آبیاری دوباره روی رقم‌های مورد آزمایش، گیاهان تحت تنش خشکی به مدت سه روز در حد FC ۱۰۰درصد آبیاری شدند و پس از آن نمونه‌گیری آن‌ها به‌منظور اندازه‌گیری صفات ارزیابی شد.

فراسنجه‌های مربوط به فلورسانس سبزینه با استفاده از دستگاه ساخت شرکت Hansatech اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری این فراسنجه‌ها، بالاترین برگ هر گیاه انتخاب و به مدت بیست دقیقه به‌منظور جلوگیری از ورود نور به برگ با استفاده از کلیپس‌های ویژهٔ دستگاه صورت گرفت. سپس نور به مدت دو ثانیه توسط دستگاه به برگ تابیده و سپس فراسنجه‌های مورد نظر ثبت شد. این اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۸ تا ۱۰ صبح صورت گرفت. همچنین برای اندازه‌گیری میزان سبزینگی برگ از دستگاه اسپد استفاده شد.

میزان دمای برگ برای هر تکرار و در هر سطح تیماری در ساعت ۱۲ الی۱۴ توسط دستگاه فروسرخ (مادون‌قرمز) مدل OS1327D شرکت OMEGA اندازه‌گیری شد.

برای صفت محتوای نسبی آب برگ، بالاترین برگ در هر تکرار برداشت شد و بی‌درنگ وزن تر برگ‌ها اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین وزن آماسی، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم (برای آنکه کاهش وزنی در اثر فعالیت تنفسی رخ ندهد) درون آب مقطر قرار داده شدند و پس از توزین برگ‌ها در این شرایط، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجهٔ سلسیوس قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. میزان RWC از رابطهٔ زیر به دست آمد.

$$\%RWC = [(W_f - W_d) / (W_t - W_d)] \times 100$$

در این رابطه W_f وزن تازهٔ برگ، W_t وزن تورژسانس برگ و W_d وزن خشک برگ است.

تجزیهٔ واریانس داده‌ها

به‌منظور تجزیهٔ داده‌های به‌دست‌آمده، از نرم‌افزارهای SAS و SPSS استفاده شد و مقایسهٔ میانگین بر پایهٔ آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. همچنین به‌منظور رسم نمودارها از برنامهٔ Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که بین سطوح تنش برای همه صفات اندازه‌گیری‌شده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد. همچنین بین رقم‌ها و اثر متقابل رقم × تنش به جز فراسنجهٔ F_0 در دیگر صفات، در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۱).

شاخص‌های فلورسانس سبزینه

نتایج مقایسهٔ میانگین اثر متقابل رقم در تنش برای شاخص‌های فلورسانس سبزینه نشان داد، با محدود شدن میزان آبیاری و اعمال تنش خشکی، در سه رقم

مورد استفاده میزان شاخص‌های F_m، F_v و F_v/F_m کاهش و در شاخص F_0 افزایش نشان داد (جدول ۲). نکتهٔ شایان تأمل این است که این افزایش و کاهش شاخص‌های فلورسانس سبزینه برای رقم‌های متحمل زاگرس و دز کمتر از رقم حساس مرودشت بوده است. همچنین با آبیاری دوبارهٔ گیاهان تحت تنش، شاخص‌های فلورسانس سبزینه تا حد زیادی به شرایط نرمال نزدیک شد که باز هم این تغییرپذیری‌ها در رقم‌های متحمل نسبت به رقم حساس بسیار بهتر صورت گرفت، به‌گونه‌ای که آبیاری دوبارهٔ گیاهانی که تحت تنش ملایم بودند (R70%FC) توانست شاخص‌های آن‌ها را به سطح گیاهان نرمال برساند. همچنین بین دو رقم متحمل، رقم زاگرس به دلیل اینکه یک رقم دیم بود و در شرایط طبیعی با کمبود آب روبه‌رو می‌شد توانست این بازگشت را تا حدی بهتر انجام دهد. در بررسی اثر کمبود آب روی شاخص‌های فلورسانس سبزینهٔ شش رقم جو نشان داده شد،تنش خشکی باعث کاهش میزان F_m، F_v و F_v/F_m می‌شود (Mamnoei & Sharifi, 2010). در بررسی اثر تنش خشکی روی کلزا مشخص شده، با اعمال تنش خشکی میزان شاخص F_v/F_m کاهش پیدا می‌کند که این کاهش نشان‌دهندهٔ کارایی پایین فتوسیستم دو تحت تأثیر تنش خشکی است (Lotfi *et al.*, 2015). همچنین برخی از گزارش‌ها نشان می‌دهد، رقم‌های جو متحمل به شوری و خشکی نسبت F_v/F_m بالاتری نسبت به رقم‌های حساس دارند که نشان‌دهندهٔ کارایی بالاتر فتوسیستم دو در این رقم‌ها است (Ramzi & Morales, 1994).

جدول۱. میانگین مربعات صفات اندازه‌گیری‌شده در سه رقم گندم زراعی و پنج سطح تنش خشکی و آبیاری دوباره

Table 1. Mean square of traits in three wheat cultivars and five levels of drought stress and recovery

S.V	df	Mean Square (MS)						
		F_0	F_m	F_v	F_v/F_m	SPAD	RWC	Leaf temperature
Cultivar	2	21.96ns	11488**	12437**	0.005**	10.99**	0.31**	4.85**
Stress	4	458.48**	4654**	7996**	0.002**	42.10**	1.62**	19.23**
C * V	8	13.51ns	877**	982**	0.0003**	2.65**	0.11**	0.90**
Error	30	7.89	39	51	0.00005	0.70	0.013	0.27
CV%	-	3.07	1.65	2.15	2.7	2.25	2.36	3.42

ns , **: indicate non-significant and significant at 1% level. ns و **: نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد است.

جدول ۲. نتایج مقایسهٔ میانگین شاخص‌های فلورسانس سبزینه و محتوای نسبی سبزینه (SPAD)

Table 2. Mean comparisons of Chlorophyll fluorescence parameters and chlorophyll relative content (SPAD)

Cultivar	Stress	Chlorophyll fluorescence parameters				
		F_0	F_m	F_v	F_v/F_m	SPAD
Zagros	Control	252g	1480ab	1228ab	0.8300ab	38.7b
	70% FC	265bcd	1458cde	1193de	0.8183fg	36.1cd
	40%FC	271ab	1454de	1183ef	0.8134gh	34.0ef
	R70%FC	254fg	1481ab	1227ab	0.8287abc	38.4b
	R40%FC	258defg	1473bc	1214bc	0.8246bcde	35.6de
Dez	Control	252g	1490a	1239a	0.8309a	39.5ab
	70% FC	260def	1465cd	1204cd	0.8223ef	37.7bc
	40%FC	268ab	1436fg	1169fg	0.8136gh	35.9cde
	R70%FC	255efg	1481ab	1226ab	0.8276abcd	39.7ab
	R40%FC	260def	1473bc	1213bc	0.8234cdef	38.4b
Marvdasht	Control	253fg	1471bc	1218bc	0.8278abcd	41.3a
	70% FC	261cde	1425g	1164g	0.8168g	37.6bcd
	40%FC	273a	1375h	1102i	0.8015i	33.0f
	R70%FC	256efg	1445ef	1189de	0.8231def	39.3ab
	R40%FC	264cd	1389h	1125h	0.8097h	37.6bcd

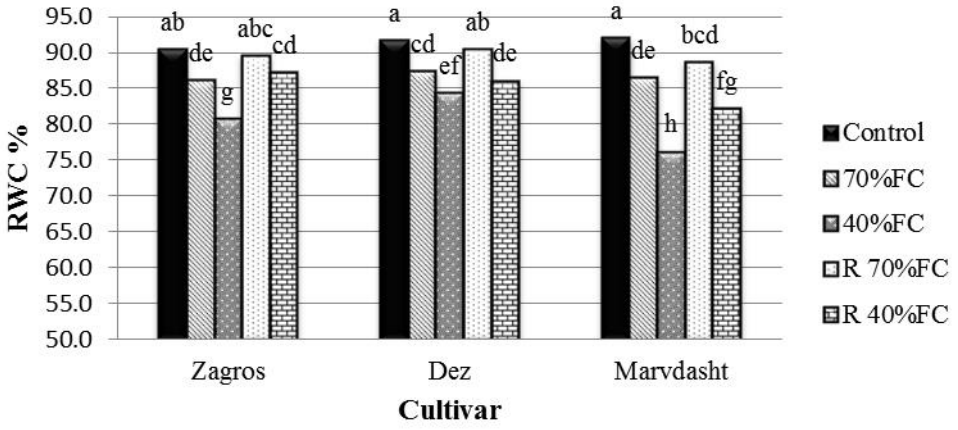
همچنین در بررسی محتوای نسبی سبزینهٔ (SPAD) رقم‌های در تنش‌های متفاوت، با افزایش محدودیت آب خواندن SPAD عدد کوچک‌تر را نشان داد که گویای کاهش میزان سبزینه است. همچنین

میزان این صفت در سه رقم مورد بررسی با آبیاری دوبارهٔ گیاهان تحت تنش افزایش پیدا کرد (جدول ۲). نتایج دیگر تحقیقات نیز نشان می‌دهد، در اثر اعمال تنش خشکی میزان نسبی سبزینه در رقم‌های مختلف جو کاهش می‌یابد (Mamnoei & Sharifi, 2010). کاهش خواندن SPAD و سبز بودن گیاه می‌تواند در نتیجهٔ تخریب سبزینه به واسطهٔ محدودیت شدید آبی باشد که به کاهش نورساخت خالص منجر خواهد شد (Johnson *et al*., 2002; Legg *et al*., 2000).

محتوای نسبی آب و دمای برگ

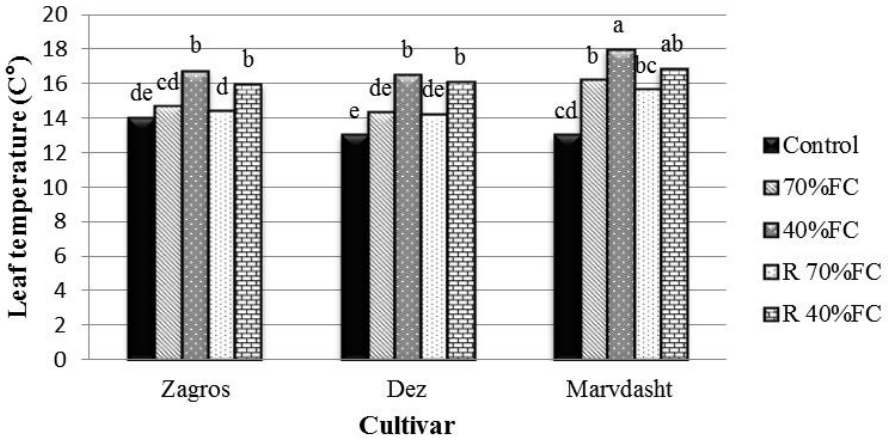
نتایج مقایسهٔ میانگین محتوای نسبی آب برگ نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود که این کاهش در رقم حساس مرودشت نسبت به رقم‌های متحمل بسیار بیشتر بود. همچنین آبیاری دوبارهٔ گیاهان تحت تنش باعث شد که میزان محتوای نسبی آب برگ به گیاهان دارای شرایط آبیاری نرمال نزدیک شود، که این افزایش در رقم‌های متحمل نسبت به رقم حساس بیشتر بود (شکل ۱). این نتایج با این گزارش‌ها در مورد کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر اعمال تنش خشکی همخوانی دارد (Keshavarz Nia *et al*., 2014). محتوای نسبی آب برگ (RWC) در واقع به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش خشکی معرفی شده است. محتوای نسبی آب بیشتر باعث افزایش میزان نورساخت و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (Farooq *et al*., 2009). ارتباط مستقیم و معنی‌داری بین شاخص محتوای نسبی آب برگ با میزان عملکرد گندم تحت تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای گزارش شده است، لذا از این صفت می‌توان به‌عنوان یکی از بهترین شاخص‌های تعادل آب در گیاه برای گزینش رقم‌های در شرایط تنش استفاده کرد (Vaezi *et al*., 2010).

نتایج مقایسهٔ میانگین دمای برگ نشان داد که در اثر اعمال تنش خشکی میزان دمای برگ نسبت به شرایط نرمال در همهٔ رقم‌ها افزایش یافت ولی این افزایش دما در رقم حساس مرودشت نسبت به رقم‌های متحمل بیشتر بود. همچنین همهٔ رقم‌ها توانستند در اثر آبیاری دوباره، دمای برگ خود را کاهش دهند ولی این کاهش در رقم حساس کمتر دیده شد (شکل ۲). این نتایج با نتایج دیگر پژوهش‌ها مبنی بر افزایش دمای برگ در اثر اعمال تنش خشکی برابری دارد (Keshavarz Nia *et al*., 2014). پایین‌تر بودن دمای برگ در ژنوتیپ‌های متحمل نسبت به حساس بیانگر تعادل بهتر آب در این گیاهان است که یکی از بهترین معیارها برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و گرما است (Siva *et al*., 2007). به نظر می‌رسد که جذب آب بیشتر توسط ریشه‌ها، حفظ و نگهداری وضعیت آبی مناسب در برگ‌ها (هدایت روزنه‌ای و محتوی نسبی آب برگ) و شمار روزنه‌های باز بیشتر درنهایت باعث خنک شدن گیاهان از راه تعرق می‌شود (Hosseini Salekdeh *et al*., 2009).



شکل ۱. مقایسهٔ میانگین محتوای نسبی آب برگ سه رقم گندم تحت تأثیر تنش خشکی و آبیاری دوباره

Figure 1. Mean comparison of relative water content of three wheat cultivars under drought conditions and recovery



شکل ۲. مقایسهٔ دمای برگ سه رقم گندم تحت تأثیر تنش خشکی و آبیاری دوباره

Figure 2. Mean comparison of leaf temperature of three wheat cultivars under drought conditions and recovery

همبستگی صفات

نتایج همبستگی دو بدو صفات نشان داد که همهٔ صفات مورد بررسی با یکدیگر همبستگی مثبت و منفی بسیار معنی‌داری دارند (جدول ۳). شاخص F_v دارای همبستگی مثبت بسیار بالا ($r=۰/۹۹۱^{**}$) و معنی‌دار با شاخص F_m و همبستگی منفی بالا ($r= -۰/۷۷۰^{**}$) و معنی‌دار با شاخص F_0 بود. این موضوع بیانگر این است که مؤلفهٔ F_m جزء مهمی از مؤلفهٔ F_v ($F_v=F_0+F_m$) بوده و تغییر مؤلفهٔ F_m باعث تغییر در میزان مؤلفهٔ F_v می‌شود. این بررسی نشان داد، شاخص F_v/F_m همبستگی مثبت بسیار بالا و معنی‌دار با شاخص‌های F_m و F_v دارد که نشان‌دهندهٔ نقش این دو مؤلفه در بیشینهٔ عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (F_v/F_m) است. نتایج دیگر تحقیقات نشان‌دهندهٔ همبستگی شاخص‌های مختلف فلورسانس سبزینه با یکدیگر تحت تأثیر تنش شوری است (Zamanian *et al*., 2013).

همچنین صفت دمای برگ با دو صفت محتوای نسبی آب برگ و شاخص بیشترین عملکرد کوانتومی فتوسیستم دو (F_v/F_m) همبستگی منفی بسیار بالا (به ترتیب $r= -۰/۸۴۷^{**}$ و $r= -۰/ ۸۲۶^{**}$) و معنی‌دار دارد. نتایج دیگر تحقیقات نیز نشان می‌دهد، دمای برگ با بسیاری از صفات فیزیولوژیک از جمله محتوای نسبی آب برگ همبستگی منفی دارد (Keshavarz Nia *et al*, 2014). هر چه دمای برگ پایین‌تر باشد نشان از ترازمندی بهتر آب توسط گیاه دارد که ناشی از جذب بیشتر آب توسط ریشه‌ها است (Hosseini salekdeh *et al.*, 2009). نگهداری آب در برگ‌ها، خنک شدن گیاه را در پی دارد. همبستگی منفی دمای برگ با دیگر صفات نشان می‌دهد، گیاه متحمل در رویارویی با تنش خشکی آسیب کمتری خواهد دید. محتوای نسبی آب پایین گیاه را در معرض تنش شدیدی قرار می‌دهد که اختلال در سیستم آنزیمی گیاه، مختل شدن نورساخت و همچنین اختلال در انتقال مواد به دیگر قسمت‌های گیاه را باعث می‌شود که خود کاهش عملکرد رقم‌های حساس در شرایط خشکی را در پی خواهد داشت (Reynolds & Jordan, 2009).

جدول ۳. ضریب‌های همبستگی صفات مورد بررسی سه رقم گندم تحت تأثیر تنش خشکی و آبیاری دوباره

Table 3. Traits correlation coefficients of three wheat cultivars under drought conditions and recovery

	RWC	Leaf temperature	SPAD	F_0	F_m	F_v	F_v/F_m
RWC	1						
Leaf temperature	-0.847**	1					
SPAD	0.808**	-0.711**	1				
F_0	-0.848**	0.760**	-0.779**	1			
F_m	0.778**	-0.748**	0.533**	-0.678**	1		
F_v	0.830**	-0.788**	0.604**	-0.770**	0.991**	1	
F_v/F_m	0.896**	-0.826**	0.732**	-0.926**	0.903**	0.952**	1

**: indicate significant at 1% level. **: نشان‌دهندهٔ معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد، تنش خشکی در همهٔ رقم‌های مورد بررسی باعث افزایش شاخص F_0 و افزایش شاخص‌های F_m، F_v و F_v/F_m شد ولی این تغییرپذیری‌ها در رقم‌های متحمل زاگرس و دز نسبت به شرایط کنترل کمتر بود. همچنین اعمال تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش دمای برگ شد. از سوی دیگر با آبیاری دوبارهٔ گیاهان تحت تنش، صفات اندازه‌گیری‌شده تا حد زیادی به شرایط نرمال نزدیک شدند که این نزدیک شدن صفات به شرایط نرمال، در رقم حساس مرودشت نسبت به رقم‌های متحمل دز و زاگرس کمتر بود.

REFERENCES

1. Altinkut, A. K. K., Ipekci, Z. & Gozukirmizi, N. (2001). Tolerance to paraquat is correlated with the traits associated with water stress tolerance in segregating F2 populations of barley and wheat. *Euphytica*, 121, 81-86.
2. Emam, Y. (2011). *Cereal Crop Production.* (4 th ed). Shiraz University Press. (in Farsi)
3. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S.M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212.
4. Hasibi, P. (2007). *Physiological study of cold stress effect in seedling stage of rice genotyps*. Ph. D. Thesis. University of Agriculture and Natural Resources of Ramin, Iran. (in Farsi)
5. Hoseinian Khoshro, H., Taleei, A., Bihamta, MR. Shahbazi, M. & Abbasi, A. R. (2013). Expression analysis of the genes involved in osmotic adjustment in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under terminal drought stress conditions. *Journal of Crop Science and Biotech*, 3, 173 -181.
6. Hosseini Salekdeh, G.R., John, R., Boyer, E. & John, M. (2009). Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding. *Trends in Plant Science,* 14, 1360-1385.
7. Johnson, R., Frey, N. M. & Dale, N. (2002). Effect of water stress on photosynthesis and transpiration of flag leaves and spikes of barley and wheat. *Crop Science*, 5, 728-731.
8. Keshavarz Nia, R., Shahbazi, M., Mohammadi, V., Hoseini, GH., Ahmadi, A. & Mohseni Fard, E. (2014). The impact of barley root structure and physiological traits on drought response. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45, 553-563. (in Farsi)
9. Legg, B. J., Day, W. D., Lawlor, W. & Parkinson, K. J. (2000). The effects of drought on barley growth: models and measurements showing the relative importance of leaf area and photosynthetic rate. *The Journal of Agricultural Science*, 92, 703-716.
10. Lotfi, R., Pessarakli, M., Gharavi, P. & Khoshvaghti, H. (2015). Physiological responses of Brassica napusto fulvic acid under water stress: Chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activity. *The Crop Journal*, 3, 434-439.
11. Ma, B. L., Morison, M. J. & Videng, H. D. (1995). Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. *Crop Science*, 35, 1411-1414.
12. Mamnoei, E. & Sharifi, S.R. (2010). Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *Journal of Plant Biology*, 5, 51-62. (in Farsi)
13. Maxwell, K. & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51, 659-668.
14. Moffatt, J., Sears, M. R. G. & Paulsen, G. (1990). Wheat height temperature tolerance during reproductive growth. Evaluation by chlorophyll fluorescence. *Crop Science*, 112, 881-885.
15. Morris, M. L., Blaid, A. & Byerlee, D. (1991). Wheat and barley production in rainfed marginal environments of the developing world. *Journal of Agricultural Science*, 137,139-145.
16. Rajaram, S., Van Ginkel, M. & Fischer, R.A. (1994). CIMMYT's wheat breeding mega-environments (ME). Proceeding of the *8th International Wheat Genetics Symposium*, China Agricultural Scientech, Beijing, China, pp.1101-1106.
17. Ramzi, B. & Morales, F. (1994). Chlorophyll flourescens as a possible tool for salinity tolerance screening in barley. *Plant Physiology*, 104, 667-673.
18. Reynolds, T.L. & Jordan, D. (2009). Abscisic acid enhances the ability of the dessication -tolerant fern Polypodium virginianum to withstand drying. *Journal of Experimental Botany,* 269, 1771-1779.
19. Siva, M.A., Da Silva, J.A. & Sharma, S. (2007). Use of physiology parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 193-201.
20. Vaezi, B., Borman, V. & Shiran, B. (2010). Screening of barley genotypes for drought tolerance by agro-physiological traits in field condition. *African Journal of Agricultural Research,* 5, 881-892.
21. Zamanian, M., Syadat. S. A., Fathi, GH., Ghogan, R., Jafari, A., Bakhshandeh, M. & Moghadam, A. (2013). Application of Chlorophyll Fluorescence Attributes in Selection for Cold Tolerance in Some Clover Species. *Seed and Plant Production Journal*, 29, 251- 267. (in Farsi)