

ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم نان بر اساس صفات فیزیولوژیک در شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل

رضا امیری^۱، صحبت بهرامی‌نژاد^{۲*} و شهریار ساسانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی، ۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات و گروه پژوهشی بیوتکنولوژی مقاومت به خشکی دانشگاه رازی، ۳- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۹)

چکیده

به منظور مطالعه تنوع ژنتیکی و اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیک گندم نان، مطالعه‌ای با ۸۰ ژنوتیپ گندم نان در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در شرایط تنش خشکی آخر فصل و نرمال (بدون تنش) انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اختلاف بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از لحاظ تمامی صفات مورد بررسی، به استثنای محتوای کلروفیل b و کل وجود دارد. اثر محیط نیز روی عملکرد دانه، دوره‌ی پرشدن دانه و وزن دانه در سطح احتمال یک درصد و روی محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در اثر تنش خشکی به طور متوسط، محتوای کلروفیل a به میزان ۳/۵۴ درصد، عدد کلروفیل متر به میزان ۲ درصد و محتوای نسبی آب برگ به میزان ۱۰ درصد کاهش و محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب ۶/۱۶ و ۲/۶۸ درصد افزایش یافت. همچنین، در اثر تنش خشکی به طور متوسط، ۲۳/۴۸ درصد از عملکرد دانه، ۱۹/۱۴ درصد از طول دوره پرشدن دانه و ۱۸ درصد از وزن تک دانه کاسته و ۲/۲۰ درصد به سرعت پر شدن دانه افزوده شد. در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، بین محتوای کلروفیل a و b و نیز بین سرعت پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه، همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری مشاهده شد، در حالی که همبستگی بین محتوای کلروفیل b و کل و نیز بین سرعت پر شدن دانه و وزن تک دانه مثبت و بسیار معنی‌دار بود و در مقابل، همبستگی معنی‌داری بین عملکرد دانه با سایر صفات دیده نشد. نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی آخر فصل اثر معنی‌داری بر اغلب صفات مورد مطالعه و به خصوص بر عملکرد دانه داشت. بنابراین، در مناطق با اقلیم مشابه که خطر خشکی آخر فصل وجود دارد، باید از ارقامی استفاده شود که سازگار با شرایط منطقه و متحمل به تنش خشکی باشند و از اینرو، ارقام زودرسی که پتانسیل عملکرد دانه بالایی نیز دارند، در این شرایط موفق‌تر می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: دوره پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، عملکرد دانه، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

از صفات فیزیولوژیک مرتبط با محتوای آب گیاه همچون محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content: RWC) می‌توان برای اصلاح مقاومت به خشکی استفاده کرد (Ramirez-Vallejo and Kelly, 1998). محتوای نسبی آب که تحت تأثیر تنظیم اسمزی، جذب آب و میزان تعرق قرار داشته و نیز وراثت‌پذیری بالایی را در شرایط تنش خشکی نشان داده است، به‌عنوان معیار انتخاب برای تحمل خشکی پیشنهاد شده است (Siddique et al., 2000). بنابراین، ژنوتیپ‌هایی که بدون بستن روزنه‌های خود توانایی حفظ آب بیشتری دارند، برای مناطق خشک مناسب‌تر می‌باشند (Blum et al., 1981).

تنش خشکی در دوره بعد از گلدهی موجب تسریع پیری بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌شود (Hafsi et al., 2007) که زرد شدن برگ از علائم آن است. زرد شدن برگ هنگامی رخ می‌دهد که محتوای کلروفیل برگ حدود ۵۰٪ نسبت به برگ سبز طبیعی کاهش یابد. مشاهده‌ی پیری با استفاده از اندازه‌گیری‌های کلروفیل برگ امکان‌پذیر است (Cha et al., 2002). تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل برگ می‌شود (Saeidi et al., 2010)، لذا این کاهش می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده‌ی غیر روزنه‌ای به حساب آید (Behra et al., 2002). از طرفی حفظ غلظت کلروفیل در تنش خشکی به ثبات فتوسنتز کمک می‌کند. بنابراین می‌توان آن را از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک تحمل خشکی به‌شمار آورد (Pessarkli, 1999).

اغلب، هدف نهایی به‌نژادگران افزایش عملکرد گیاهان زراعی است و با توجه به وجود روابط مستقیم بین سرعت و طول دوره‌ی پرشدن دانه با عملکرد و اجزای عملکرد دانه، گزینش بر اساس این صفات می‌تواند یک روش ارزیابی فیزیولوژیک مناسب است و محققان را در انتخاب غیرمستقیم یاری نماید (Brdar et al., 2008). هرچند سرعت پرشدن دانه بیشتر توسط ژنوتیپ و مدت پرشدن آن بیشتر از سوی محیط تحت تأثیر قرار می‌گیرد، اما محیط روی هردوی آن‌ها مؤثر است (Quarrie and Jones, 1979). تنش خشکی طی مرحله‌ی پرشدن دانه، به ویژه اگر با گرما نیز همراه است، می‌تواند از طریق تسریع پیری برگ‌ها و کاهش دوره و سرعت پرشدن دانه، موجب کاهش وزن دانه و عملکرد دانه شود (Stone and

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) اولین غله و مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا است که غذای اصلی حدود یک سوم جمعیت جهان است. تولید جهانی گندم در سال ۲۰۱۱ حدود ۷۰۴ میلیون تن برآورد شد که ایران در جایگاه چهاردهم قرار گرفت (FAO, 2011). در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ سطح زیر کشت گندم در ایران بیشتر از هفت میلیون هکتار برآورد شده که ۳۶/۶ درصد آن آبی و ۶۳/۴ درصد دیم بوده است. میزان تولید آن حدود ۱۳/۵ میلیون تن بود که ۵۹ درصد آن از کشت آبی و ۴۱ درصد آن از کشت دیم به دست آمد. این درحالی است که استان کرمانشاه از نظر سطح زیر کشت در رتبه‌ی چهارم و از نظر میزان تولید در رتبه‌ی پنجم کشور قرار دارد (Jehade-Agriculture, 2011). در این استان تنش خشکی به خصوص در اواخر فصل رشد یکی از عمده‌ترین عوامل محدودکننده‌ی تولید محسوب می‌شود. خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل تنش‌زای محیطی و محدودکننده‌ی تولید محصولات زراعی از جمله گندم در دنیا و ایران است (Andrew et al., 2000). نود درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه خشک قرار دارد (FAO, 2010). کاهش منابع آب سبب شده است که تکامل ارقام زراعی با سازگاری بهبود یافته به خشکی، هدف مهمی در بسیاری از برنامه‌های اصلاحی گیاهان شود (Sivamani et al., 2000). گندم در اکثر نقاط جهان در مراحل انتهایی رشد و اغلب در طی پر شدن دانه با کمبود آب مواجه است که این امر منجر به محدودیت عملکرد دانه می‌شود (Nicolas and Turner, 1993).

معمولاً در مناطقی چون کرمانشاه که جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود، اراضی زیر کشت گندم از اواسط بهار با تنش خشکی آخر فصل مواجه می‌شوند و کاهش چشمگیری در عملکرد آنها به وقوع می‌پیوندد. از اینرو، بررسی پاسخ گندم به خشکی و تعیین صفات فیزیولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی که یکی از راهکارهای مقابله با عوارض این تنش است، بیش از پیش احساس می‌شود؛ لذا لازم است جنبه‌های فیزیولوژیک تحمل خشکی را که با پایداری عملکرد در شرایط تنش مرتبط هستند، مطالعه نموده و از صفات مناسب برای گزینش استفاده نمود (Mohammadi et al., 2006).

در طول اجرای طرح از هیچ نوع کودی استفاده نشد و کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام گرفت. برداشت در اواخر تیر ماه سال ۱۳۹۱ صورت گرفت و شدت تنش (Stress intensity) بر طبق فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{Stress intensity} = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p) \quad (1)$$

که در آن \bar{Y}_p و \bar{Y}_s به ترتیب عبارتند از میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش و محیط تنش خشکی (Fischer and Maurer, 1978). صفات مورد بررسی به شرح زیر تعیین و ثبت شدند:

محتوای کلروفیل‌های a, b و کل: میزان کلروفیل a, b و کل بر حسب میکروگرم بر میلی‌لیتر متانول به روش هیپکینز و بیکر (Hipkins and Baker, 1986) محاسبه شدند.

درجه سبزی‌نگی برگ: به منظور اندازه‌گیری سبزی‌نگی برگ با استفاده از دستگاه SPAD (SPAD-502, Minolta, Japan)، بدون تخریب بافت‌های گیاهی از هر ژنوتیپ، پنج برگ پرچم سالم انتخاب و از سه قسمت ابتدا، میانه و انتهای برگ اندازه‌گیری انجام شد، به طوری که در مجموع برای هر ژنوتیپ، ۱۵ قرائت انجام گرفت و میانگین اعداد ثبت شد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC): به منظور اندازه‌گیری این صفت تعداد ۱۰ برگ پرچم از هر کرت انتخاب شد و این برگ‌ها در داخل کیسه‌های نایلونی توسط فلاسک یخ سریعاً به آزمایشگاه منتقل شد. ابتدا وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس به منظور تعیین وزن تورژسانس، برگ‌ها به مدت ۴ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق، در داخل آب مقطر غوطه ور شد. در پایان به منظور تعیین وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس RWC از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه شد.

$$\text{RWC}\% = \left[\frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \right] \times 100 \quad (2)$$

در این رابطه، FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت اشباع است (Egert and Tevini, 2002).

(Nicolas, 1994; Royo et al., 2000). افزایش وزن دانه که یکی از اجزای اصلی عملکرد دانه است، از طریق طول دوره و سرعت پرشدن دانه میسر است و همبستگی قوی بین وزن نهایی دانه و دوره‌ی پرشدن دانه گزارش شده است (Gebeyhou et al., 1982 a, b).

بررسی تعدادی از ارقام گندم معرفی شده کشور و برخی ژنوتیپ‌ها طی سال‌های گذشته نشان داده است که تنوع قابل توجهی در فرآیندهای مختلف فیزیولوژی و نیز تفاوت‌های ژنتیکی زیادی در بین رقم‌ها و ژنوتیپ‌ها وجود دارد که مطالعه‌ی این تنوعات می‌تواند ما را در بهبود برنامه‌های اصلاحی آینده یاری نماید؛ لذا با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان یک گیاه استراتژیک و نیز اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، پژوهش حاضر به منظور ارزیابی عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ۸۰ ژنوتیپ گندم نان و مطالعه‌ی اثر تنش خشکی آخر فصل بر آن‌ها اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه با مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی روی ۸۰ ژنوتیپ گندم نان آبی تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل اجرا شد. بافت خاک محل اجرای آزمایش رسی بود. به منظور جلوگیری از آلودگی به سیاهک، بذره‌های کلیه ژنوتیپ‌ها قبل از کاشت با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام (Vitawax) به نسبت ۲/۵ در هزار ضد عفونی شدند. کاشت در ۱۵ آبان ۱۳۹۰ به صورت دستی انجام گرفت. هر کرت شامل ۵ خط کشت ۱/۲ متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع بود. قطع آبیاری از تاریخ ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۱ در محیط تنش اعمال شد که تا مرحله برداشت تداوم یافت، ضمن آنکه در بازه زمانی اجرای تیمار قطع آبیاری هیچ‌گونه بارندگی روی نداد (شکل ۱)، اما محیط بدون تنش تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک در سه نوبت مورد آبیاری قرار گرفت.

برگ در محیط بدون تنش، اختلاف بسیار معنی‌داری در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی آخر فصل وجود داشت که بیانگر وجود تنوع و تفاوت‌های ژنتیکی زیاد بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است. جهت انجام تجزیه واریانس مرکب، آزمون یکنواختی واریانس‌ها (آزمون بارتلت) انجام شد. به دلیل غیریکنواخت بودن واریانس صفت سرعت پر شدن دانه، این صفت وارد تجزیه واریانس مرکب نشد. بر مبنای نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب ۸۰ ژنوتیپ برای هر دو محیط بدون تنش و تنش خشکی (جدول ۳)، بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ همه صفات مورد بررسی بجز محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل اختلاف بسیار معنی‌داری وجود دارد.

درصد تغییر میانگین صفات در اثر تنش خشکی در جدول ۴ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که شدت تنش (Stress intensity) به میزان ۰/۲۳ محاسبه شد. مثبت بودن درصد تغییر صفت به معنی کاهش مقدار آن صفت و منفی بودن آن به منزله افزایش مقدار آن صفت در اثر تنش خشکی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنش خشکی بیشترین اثر را بر میزان عملکرد دانه گذاشته است، به طوری که موجب کاهش ۲۳/۴۸ درصدی آن نسبت به شرایط بدون تنش شده است.

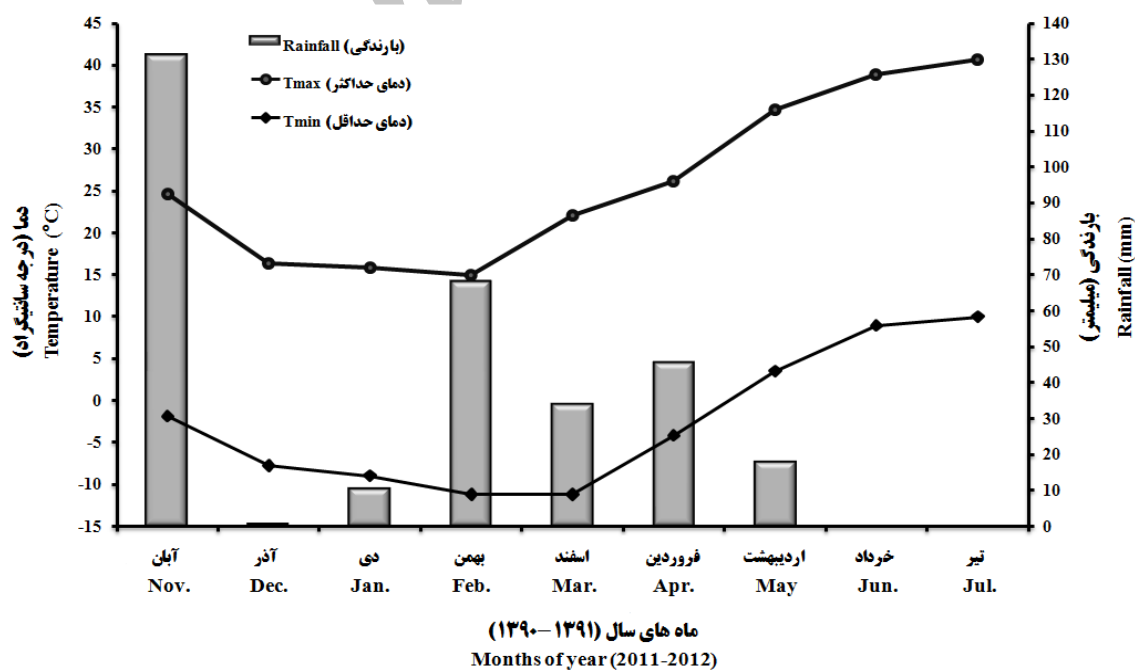
سرعت و طول دوره‌ی پرشدن دانه: فاصله‌ی زمانی بین ۵۰ درصد ظهور بساک بر سنبله هر رقم تا رسیدن فیزیولوژیک به‌عنوان طول دوره پرشدن دانه در نظر گرفته شد. از حاصل تقسیم وزن تک دانه بر طول دوره‌ی پرشدن دانه نیز، میانگین سرعت پرشدن دانه به میلی‌گرم در دانه در روز بدست آمد.

عملکرد دانه: برای اندازه‌گیری این صفت، دو ردیف میانی از هر کرت برداشت و بعد از خرم‌کوبی، وزن کل بذرهاي آن به عنوان عملکرد دانه در سطح مزبور در نظر گرفته و واحد آن به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد.

درصد تغییرات صفات در اثر تنش خشکی، از طریق تقسیم مقدار کاهش هر صفت در اثر تنش، بر همان صفت در محیط بدون تنش و ضرب عدد حاصل در ۱۰۰ محاسبه شد. تجزیه واریانس ساده و مرکب و مقایسه میانگین برای صفات اندازه‌گیری شده با نرم افزار SAS انجام گرفت. برای محاسبه‌ی ضریب همبستگی بین صفات مورد مطالعه از نرم افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

همان‌طور که از جدول ۲ قابل مشاهده است، بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ اغلب صفات مورد بررسی به استثنای محتوای کلروفیل در هر دو شرایط و محتوای نسبی آب



شکل ۱- مقدار کل بارندگی (میلی‌متر) و دمای حداکثر و حداقل (درجه سانتی‌گراد) ماهیانه در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱.
Figure 1. Monthly total rainfall (mm) and temperature (°C) (Max. and Min.) in 2011-2012 cropping season.

جدول ۱- نام و شماره ژنوتیپ‌های مطالعه شده

Table 1. Name and code of studied genotypes

شماره Code	ژنوتیپ Genotype	شماره Code	ژنوتیپ Genotype	شماره Code	ژنوتیپ Genotype	شماره Code	ژنوتیپ Genotype
1	کرج-۱ Karaj-1	21	الموت Alamot	41	کاوه Kaveh	61	افلاک Aflak
2	کرج-۲ Karaj-2	22	الوند Alvand	42	رسول Rasool	62	باز Baz
3	کرج-۳ Karaj-3	23	زرین Zarrin	43	تجن Tajan	63	شاه‌پسند Shahpasand
4	آزادی Azadi	24	MV-17	44	شیرودی Shiroodi	64	امید Omid
5	قدس Ghods	25	گاسپارد Gaspard	45	دریا Darya	65	روشن Roshan
6	مهدوی Mahdavi	26	گاسکوژن Gaskojen	46	آرتا Arta	66	طیسی Tabasi
7	نیک‌نژاد Niknejad	27	سایسون Sayson	47	مروارید Morvarid	67	شعله Sholeh
8	مروداشت Marvdasht	28	شهریار Shahryar	48	N-85-5	68	سرخ‌تخم Sorkhetokhm
9	پیش‌تاز Pishtaz	29	توس Toos	49	اروند Arvand	69	عدل Adl
10	شیراز Shiraz	30	پیش‌گام Pishgam	50	چناب Chenab	70	سبلان Sabalan
11	سپاهان Sepahan	31	میهن Mihan	51	بیات Bayat	71	بک‌کراس بهاره روشن Roshan spring backcross
12	بهار Bahar	32	اوروم Urom	52	فلات Falat	72	بک‌کراس زمستانه روشن Roshan winter backcross
13	پارسی Parsi	33	زارع Zare	53	هیرمند Hirmand	73	کراس شاهی Cross Shahi
14	سیوند Sivand	34	اینیا Inia	54	داراب-۲ Darab-2	74	مارون Maroon
15	M-85-7	35	خزر-۱ Khazar-1	55	اتراک Atrak	75	کوبر Kavir
16	WS-82-9	36	مغان-۱ Moghan-1	56	چمران Chamran	76	هامون Hamoon
17	سیروان Sirvan	37	مغان-۲ Moghan-2	57	استار Star	77	بم Bam
18	DN-11	38	مغان-۳ Moghan-3	58	دیز Dez	78	اکبری Akbari
19	بزوستایا Bezostaya	39	گلستان Golestan	59	ویریناک Virinak	79	سیستان Sistan
20	نوید Navid	40	البرز Alborz	60	لاین A Line A	80	نورستار Noorstar

واکنش یکسانی داشتند. بنابراین، در ادامه تنها به مقایسه میانگین دو محیط (تجزیه مرکب) پرداخته می‌شود. محتوای کلروفیل برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان دهنده وجود اختلاف بسیار معنی‌دار بین

برای کلیه صفات مورد بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در تجزیه مرکب معنی‌دار نشد، به این معنی که ژنوتیپ‌ها از نظر این صفات در شرایط مختلف محیطی

کلروفیل a برگ‌ها کاسته شده درحالی که بر محتوای کلروفیل b در برگ‌ها افزوده می‌شود و از آنجا که سهم کلروفیل b در محتوای کلروفیل کل چیرگی دارد، لذا در صورت بروز خشکی آخر فصل، محتوای کلروفیل کل در برگ‌ها با فزونی نه چندان معنی‌دار مواجه می‌شود (جدول ۵).

عدد کلروفیل متر: ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عدد کلروفیل متر اختلاف بسیار معنی‌داری داشتند، اما اثر محیط بر آن معنی‌دار نبود (جدول ۳). بر اساس جدول ۴، تنش خشکی به‌طور میانگین باعث کاهش دو درصدی عدد کلروفیل متر شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین متوسط دو محیط، بک‌کراس زمستانه روشن (۷۲) و لاین A (۶۰) به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار عدد کلروفیل متر را دارا بودند. در این آزمایش همبستگی معنی‌داری در شرایط تنش خشکی و نرمال بین عدد کلروفیل متر و عملکرد دانه مشاهده نشد (جدول ۶). به طور کلی به نظر می‌رسد میزان عدد کلروفیل متر در ارقام زمستانه بیشتر از ارقام بهاره است.

محتوای نسبی آب برگ: بررسی تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳) نشان داد که اثر محیط در سطح احتمال پنج درصد و اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد برای محتوای نسبی آب معنی‌دار بود. این مطلب نشان می‌دهد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری روی این صفت داشته است به‌طوری که باعث کاهش ۱۰/۱۹ درصدی آن شده است (جدول ۴). بیشترین میزان کاهش RWC در ژنوتیپ‌های شماره ۲۲ (الوند)، ۳۱ (میهن) و ۷۱ (بک کراس بهاره روشن) به‌ترتیب با ۲۶، ۲۴ و ۲۰ درصد، مشاهده شد. ژنوتیپ‌های شماره ۲۵ (گاسپارد) و ۶۸ (سرخ‌تخم) به‌ترتیب بیشترین و کمترین محتوای نسبی آب برگ را در مقایسه میانگین متوسط دو محیط به خود اختصاص دادند (جدول ۵). امام و نیک‌نژاد (Emam and Niknejhad, 2004) ابراز داشتند که کاهش محتوای نسبی آب برگ از اولین آثار تنش خشکی بوده و موجب کاهش میزان عملکرد نیز می‌شود. سیدیکو و همکاران (Siddique et al., 2000)، سایرام و سربواستاوا (Sairam and Srivastava, 2001) و مولنار و همکاران (Molnar et al., 2002) نیز اعلام کردند که در شرایط تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد.

ژنوتیپ‌ها از نظر محتوای کلروفیل a و عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها از نظر محتوای کلروفیل b و کل بود (جدول ۳). همچنین اثر محیط روی محتوای هر سه نوع کلروفیل معنی‌دار نبود. این مطلب نشان می‌دهد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری روی آن‌ها نداشته است. این مهم ممکن است به دلیل ساختار ژنتیکی خود ژنوتیپ‌ها و نیز اعمال تنش خشکی در انتهای فصل و ملایم بودن شدت تنش است. زیرا طبق نظر احمدی و بیکر (Ahmadi and Baker, 1998) یک حداقل شدت یا طول دوره‌ی تنش خشکی لازم است تا غلظت کلروفیل برگ بالغ تحت تأثیر قرار گیرد. با این وجود واکنش ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی اعمال شده متفاوت بود به‌طوری که در اثر تنش خشکی، به‌طور میانگین محتوای کلروفیل a به میزان ۳/۵۴ درصد کاهش یافت اما محتوای کلروفیل b و کلروفیل کل به ترتیب به‌طور میانگین ۶/۱۶ و ۲/۶۸ درصد افزایش نشان دادند (جدول ۴). در گیاهان زراعی گزارش‌هایی مبنی بر عدم تأثیر تنش خشکی بر غلظت کلروفیل ارائه شده است (Kulshreshtha et al., 1987). اشرف و همکاران (Ashraf et al., 1994) گزارش دادند بین تحمل خشکی در گندم و تغییرات غلظت کلروفیل تحت تنش خشکی رابطه‌ای وجود ندارد، با این حال تنش خشکی غلظت کلروفیل b را بیشتر از کلروفیل a کاهش می‌دهد. در ارتباط با کاهش کلروفیل a به‌نظر می‌رسد در اثر تنش خشکی، تولید رادیکال‌های اکسیژن افزایش یافته و این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون (Wise and Naylor, 1989) و در نتیجه تجزیه‌ی این رنگیزه می‌شوند (Schutz and Fangmeir, 2001).

نتایج مقایسه میانگین متوسط دو محیط نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت کلروفیل a به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۴۱ (کاوه) و ۴ (آزادی) بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد بین کلروفیل a و b رابطه‌ی عکس وجود داشته به‌طوری که نتایج تجزیه‌ی همبستگی نیز حاکی از وجود همبستگی منفی و بسیار معنی‌دار بین آن‌ها در شرایط تنش ($r = -0/813^{**}$) و بدون تنش ($r = -0/325^{**}$) بود (جدول ۶). بین محتوای کلروفیل برگ پرچم و عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد. این نتیجه با یافته‌های فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2008) مطابقت داشت. به طور کلی به نظر می‌رسد که در صورت بروز شرایط خشکی آخر فصل از محتوای

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance for studied traits under non-stress and stress conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean Squares)					
		کلروفیل a		کلروفیل b		کلروفیل کل	
		Chlorophyll a		Chlorophyll b		Total Chlorophyll	
		بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش
		Non-stress	Stress	Non-stress	Stress	Non-stress	Stress
تکرار Replication	2	323.8557**	31.3006**	12433.5904**	2678.7730**	9623.8534**	2197.1809**
ژنوتیپ Genotype	79	5.6187 ^{ns}	5.4099 ^{ns}	162.5333 ^{ns}	166.0361 ^{ns}	151.7976 ^{ns}	125.5275 ^{ns}
خطا Error	158	4.5602	4.6920	176.6099	164.1995	163.0149	128.6814
ضریب تغییرات C.V %	-	8.61	9.05	29.98	27.23	18.29	15.82

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

^{ns}, * and **: Non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 2. Continued

ادامه جدول ۲

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean Squares)					
		عدد کلروفیل متر		محتوای نسبی آب برگ		وزن تک دانه	
		SPAD		Relative Water Content		Kernel Weight	
		بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش
		Non-stress	Stress	Non-stress	Stress	Non-stress	Stress
تکرار Replication	2	13.4925*	30.4605**	2.8225 ^{ns}	821.402263**	101.3954**	103.8685*
ژنوتیپ Genotype	79	18.0734**	17.5140**	19.4223 ^{ns}	55.929154**	64.6990**	57.8046**
خطا Error	158	3.7273	5.3028	15.4739	35.19178	11.6802	23.1081
ضریب تغییرات C.V %	-	3.53	4.30	5.03	8.44	8.59	14.74

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

^{ns}, * and **: Non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 2. Continued

ادامه جدول ۲

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean Squares)					
		سرعت پر شدن دانه		دوره پر شدن دانه		عملکرد دانه	
		Kernel Filling Rate		Kernel Filling Duration		Kernel Yield	
		بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش
		Non-stress	Stress	Non-stress	Stress	Non-stress	Stress
تکرار Replication	2	0.0521*	0.0742 ^{ns}	2.9542 ^{ns}	13.0875 ^{ns}	12450131.8*	4363472.5 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype	79	0.1024**	0.1513**	30.5649**	29.1897**	5224359.3**	3148554.2*
خطا Error	158	0.0149	0.0531	6.5238	8.5854	3216520.2	2103065.2
ضریب تغییرات C.V %	-	10.63	19.67	7.27	10.31	27.00	28.54

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

^{ns}, * and **: Non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای صفات مورد مطالعه تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 3. Combined analysis of variance for studied traits under non-stress and stress conditions

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean Squares)			
			کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	عدد کلروفیل متر SPAD
Environment (En)	محیط	1	92.8092 ^{ns}	893.7311 ^{ns}	420.5879 ^{ns}	143.3360 ^{ns}
Replication / En	تکرار درون محیط	4	177.5781	7556.1818	5910.5171	21.9765
Genotype (G)	ژنوتیپ	79	6.8979 ^{**}	193.0620 ^{ns}	156.5053 ^{ns}	33.8980 ^{**}
En × G	ژنوتیپ × محیط	79	4.1306 ^{ns}	135.5074 ^{ns}	120.8198 ^{ns}	1.6894 ^{ns}
Error	اشتباه آزمایشی	316	4.6261	170.4046	145.8481	4.5150
C.V. %	ضریب تغییرات (%)	-	8.83	28.57	17.07	3.93

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns، * and **: Non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

Table 3. Continued

ادامه جدول ۳

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean Squares)			
			محتوای نسبی آب برگ Relative Water Content	وزن تک دانه Kernel Weight	دوره پر شدن دانه Kernel Filling Duration	عملکرد دانه Kernel Yield
Environment (En)	محیط	1	7538.0223 [*]	6145.5728 ^{**}	5447.27 ^{**}	291860113.3 ^{**}
Replication / En	تکرار درون محیط	4	412.1124	102.6320	7.94	8406802.2
Genotype (G)	ژنوتیپ	79	45.9884 ^{**}	102.3787 ^{**}	54.73 ^{**}	6350298.7 ^{**}
Env × G	ژنوتیپ × محیط	79	29.3631 ^{ns}	20.1248 ^{ns}	5.25 ^{ns}	2022614.8 ^{ns}
Error	اشتباه آزمایشی	316	25.3328	17.3942	7.52	2659793
C.V. %	ضریب تغییرات (%)	-	6.78	11.53	8.63	27.82

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns، * and **: Non significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- میانگین و درصد تغییرات صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 4. Means and variations percentage of the studied traits in bread wheat genotypes under non-stress and stress conditions

Trait	صفت	بدون تنش Non-stress	تنش Stress	تغییرات (%) Variations (%)
Chlorophyll a (µg/ml)	کلروفیل a	24.81	23.93	3.54
Chlorophyll b (µg/ml)	کلروفیل b	44.33	47.06	-6.16
Total Chlorophyll (µg/ml)	کلروفیل کل	69.82	71.69	-2.68
SPAD	عدد کلروفیل متر	54.62	53.53	2.00
Relative Water Content (%)	محتوای نسبی آب برگ	78.22	70.25	10.19
Kernel Weight (mg)	وزن تک دانه	39.77	32.61	18.00
Kernel Filling Rate (mg.day ⁻¹)	سرعت پر شدن دانه	1.15	1.17	-2.20
Kernel Filling Duration (Day)	دوره پر شدن دانه	35.15	28.42	19.14
Kernel Yield (Kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه	6641	5082	23.48

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 5. Mean comparison of studied traits in two non-stress and stress conditions

ژنوتیپ Genotype	کلروفیل a Chlorophyll a ($\mu\text{g/ml}$)	عدد کلروفیل متر SPAD	محتوای نسبی آب برگ Relative Water Content (%)	وزن تک دانه Kernel Weight (mg)	دوره پر شدن دانه Kernel Filling Duration (Day)	عملکرد دانه Kernel Yield ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
1	23.633	52.017	71.780	39.392	29.333	4410.9
2	25.013	50.283	72.555	34.617	29.333	4458.2
3	25.327	54.283	75.265	28.317	31.333	5807.6
4	21.586	53.967	76.258	30.650	26.500	6364.9
5	23.050	55.517	73.398	29.545	32.833	8185.6
6	24.363	53.683	72.795	35.920	32.000	6958.7
7	24.663	55.700	75.378	32.417	32.500	5369.6
8	23.255	53.767	78.832	30.318	31.500	8036.9
9	23.911	52.500	73.607	36.020	33.167	5912.5
10	25.576	57.250	80.542	31.615	34.667	5820.3
11	22.995	53.450	75.422	33.785	32.667	6123.1
12	24.928	50.450	70.287	35.500	33.500	6443.6
13	25.629	56.467	72.405	38.902	35.833	6464.6
14	24.297	53.017	74.603	32.222	30.000	5355.2
15	24.512	56.383	77.503	34.963	30.833	5142.1
16	24.859	52.000	72.348	42.883	23.333	6344.1
17	25.576	52.550	72.717	38.793	33.167	6217.9
18	25.051	56.167	73.335	35.112	30.167	6383.5
19	24.575	55.067	76.420	36.557	28.667	5691.2
20	23.535	55.017	75.797	32.523	28.500	6647.5
21	23.058	54.933	74.598	37.942	30.167	5130.8
22	25.282	50.733	67.963	35.902	30.333	7299.9
23	25.240	53.233	77.107	33.497	28.333	6920.9
24	25.600	57.267	73.047	28.042	34.500	6030.9
25	25.881	57.867	84.065	34.038	29.833	4995.9
26	23.332	58.867	76.297	32.810	34.333	4152.2
27	22.917	53.617	76.822	26.325	32.667	4994.0
28	25.677	54.867	76.003	34.412	32.333	4878.2
29	24.295	56.100	75.560	30.718	28.833	6196.1
30	22.983	54.117	75.898	38.940	34.167	6236.4
31	24.132	55.117	74.337	35.885	31.500	5904.7
32	24.033	56.767	76.812	36.735	34.167	4245.9
33	23.705	56.733	74.983	35.820	29.167	7544.7
34	21.999	53.133	73.358	33.092	33.167	5994.7
35	25.027	55.633	69.580	38.030	34.500	5087.3
36	23.901	55.700	78.268	34.423	34.667	5782.9
37	23.781	55.017	73.765	30.172	33.333	5886.2
38	24.021	52.550	75.587	35.660	32.000	5069.0
39	26.030	51.867	76.227	37.220	32.333	5709.8
40	23.676	50.067	73.755	43.675	25.333	5439.4
41	26.616	52.200	74.488	37.262	31.333	6461.8
42	23.389	53.333	74.985	40.478	33.333	4557.0
43	24.843	52.367	72.628	33.297	31.333	6101.8
44	22.704	56.750	73.112	42.492	26.667	6422.0
45	25.640	54.250	76.518	35.275	33.667	4580.1
46	23.009	54.300	78.410	34.505	35.000	6414.4
47	24.558	56.250	75.683	33.483	38.667	4725.7
48	25.674	51.217	79.095	37.748	31.000	6289.4
49	22.455	52.600	69.713	41.158	30.833	7035.1
50	23.984	56.417	72.593	34.335	21.833	5462.4
51	24.316	52.550	71.363	39.015	29.833	6510.2
52	24.420	57.183	73.352	37.865	28.833	7238.7
53	24.783	55.050	72.758	40.738	33.667	6010.0
54	22.352	52.983	74.918	35.793	32.000	7450.7
55	23.884	51.450	72.465	34.605	31.833	7636.8
56	23.961	54.433	73.692	33.607	31.500	6283.1
57	22.777	55.100	76.678	37.128	34.333	4819.5
58	24.192	50.867	72.182	33.000	28.833	5988.6

Table 5. Continued

ادامه جدول ۵

ژنوتیپ Genotype	کلروفیل a Chlorophyll a ($\mu\text{g/ml}$)	عدد کلروفیل متر SPAD	محتوای نسبی آب برگ Relative Water Content (%)	وزن تک دانه Kernel Weight (mg)	دوره پر شدن دانه Kernel Filling Duration (Day)	عملکرد دانه Kernel Yield (Kg.ha^{-1})
59	24.795	52.833	75.808	34.778	31.500	5883.0
60	24.400	47.317	70.880	36.885	31.833	4588.7
61	26.347	53.850	77.235	37.688	35.000	6655.4
62	25.306	51.917	72.367	35.655	31.000	4829.7
63	25.910	53.217	74.392	39.040	30.333	4014.4
64	24.262	51.750	74.467	39.913	30.000	5228.5
65	26.032	55.717	69.145	46.902	33.000	6960.8
66	24.122	53.150	72.732	42.462	36.667	5912.1
67	24.317	52.667	71.027	39.557	37.833	4523.9
68	25.410	55.717	67.938	40.623	36.333	4963.0
69	25.595	52.050	73.737	35.327	33.500	6852.2
70	23.146	51.000	70.258	37.347	30.000	5970.6
71	24.832	56.583	71.168	37.208	30.833	6159.7
72	24.337	59.033	72.012	39.347	34.333	8119.3
73	23.610	52.167	72.393	35.620	36.667	5422.4
74	23.772	51.667	72.313	40.162	32.000	4692.7
75	26.092	54.583	74.142	37.355	37.333	6048.5
76	24.498	56.317	75.482	42.197	28.167	6148.8
77	25.509	57.450	77.008	43.673	34.333	5882.2
78	24.178	58.200	76.853	43.718	30.833	5610.4
79	24.660	57.300	76.350	39.423	33.500	6516.6
80	23.937	48.650	73.295	24.895	28.500	2310.9
حداکثر Maximum	26.616	59.033	84.065	46.902	38.667	8185.6
حداقل Minimum	21.586	47.317	67.938	24.895	21.833	2310.9
میانگین Mean	24.369	54.077	74.261	36.187	31.794	5861.5
LSD 5%	2.4432	2.4137	5.72	4.7376	3.1154	1852.6
LSD 1%	3.2181	3.1792	7.53	6.2401	4.1035	2440.1

های مورد آزمایش از لحاظ وزن و طول دوره پر شدن دانه اختلاف بسیار معنی‌داری داشته و نیز اثر محیط بر آنها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳) و نشان دهنده اینکه تنش خشکی تأثیر بسیار معنی‌داری روی این صفات داشته است، به نحوی که به طور میانگین ۱۸ درصد از وزن تک دانه و ۱۹/۱۴ درصد از طول دوره پر شدن دانه را کاهش داده است (جدول ۴). درصد تغییرات پایین سرعت پر شدن دانه، نشان دهنده حساسیت بیشتر مدت پر شدن دانه به تغییرات شرایط محیطی است و اینکه سرعت پر شدن دانه بیشتر از مدت پر شدن دانه تحت کنترل ژنتیک گیاه است. گودینگ و همکاران (Gooding *et al.*, 2003) نیز گزارش دادند که اعمال تنش خشکی در گندم باعث کوتاه کردن طول دوره پر شدن دانه می‌شود.

صفائی چائی‌کار و همکاران (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008) نیز ابراز داشتند که تنش خشکی در برنج باعث کاهش ۱۷/۹۱ درصدی محتوای نسبی آب برگ شده است. در این آزمایش همبستگی معنی‌داری در شرایط تنش خشکی و بدون تنش بین محتوای نسبی آب و عملکرد دانه در هر دو شرایط مشاهده نشد (جدول ۶).

وزن، سرعت و طول دوره‌ی پر شدن دانه: تجزیه واریانس ساده سرعت پر شدن دانه نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از لحاظ این صفت اختلاف بسیار معنی‌داری در هر دو شرایط داشتند (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، ژنوتیپ‌های شماره ۱۶ (WS-9-82) و ۴۰ (البرز) بیشترین، و ژنوتیپ‌های شماره ۳ (کرج-۳) و ۸۰ (نورستار) کمترین سرعت پر شدن دانه را به ترتیب در شرایط بدون تنش و تنش خشکی داشتند (جدول ۷). تجزیه واریانس مرکب نشان داد که ژنوتیپ‌

Table 6. Simple correlation coefficients between different traits in bread wheat genotypes under non-stress and stress conditions

Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Chlorophyll a	1	-0.813**	-0.735**	0.094	0.104	0.117	-0.029	0.154	0.062
2 Chlorophyll b	کلروفیل a	1	0.993**	-0.121	-0.172	-0.032	0.053	-0.054	-0.040
3 Total Chlorophyll	کلروفیل کل	کلروفیل کل	1	-0.121	-0.178	-0.013	0.055	-0.031	-0.034
4 SPAD	عدد کلروفیل متر	عدد کلروفیل متر	0.037	0.033	1	0.195	-0.006	0.095	0.145
5 Relative Water Content	محتوای نسبی آب برگ	محتوای نسبی آب برگ	-0.116	-0.132	0.364**	1	-0.114	0.005	-0.141
6 Kernel Weight	وزن تک دانه	وزن تک دانه	0.107	0.125	0.024	-0.130	0.693**	0.120	0.066
7 Kernel Filling Rate	سرعت پر شدن دانه	سرعت پر شدن دانه	0.093	0.093	-0.095	-0.131	0.754**	1	-0.601**
8 Kernel Filling Duration	دوره پر شدن دانه	دوره پر شدن دانه	0.005	0.029	0.224*	0.028	-0.032	-0.663**	1
9 Kernel Yield	عملکرد دانه	عملکرد دانه	-0.089	-0.101	0.179	0.152	0.098	0.012	-0.071

* and **. Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

مطالعات سایر محققین مبنی بر کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی مطابقت داشت (Guttieri *et al.*, 2001; Nourmand *et al.*, 2001). در آزمایش رامشینی و همکاران (Ramshini *et al.*, 2012) نشان داده شد که در اثر تنش خشکی در مرحله‌ی گرده‌افشانی، عملکرد ژنوتیپ‌ها ۲۶ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین دو محیط نشان داد که به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۸۰ (نورستار) و ۵ (قدس) با میانگین ۲۳۱۰ و ۸۱۸۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). در این آزمایش ژنوتیپ‌های چناب، تجن، سپاهان، قدس، DN-11، رسول، N-85-5 و دریا به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با کمترین درصد کاهش عملکرد و ژنوتیپ‌های نورستار، سلان، شاه‌پسند، پیشگام، کویر، بم، شهریار، داراب-۲، عدل، سیستان و مغان-۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با بیشترین درصد کاهش عملکرد شناخته شدند.

نتایج همبستگی ساده صفات (جدول ۶) حاکی از عدم وجود همبستگی معنی‌دار بین عملکرد دانه با سایر صفات مورد مطالعه در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش بود. به‌طور کلی به نظر می‌رسد از آنجا که طول دوره پرشدن دانه در ارقام زمستانه طولانی‌تر است این ارقام در مواجهه با شرایط خشکی آخر فصل بیشتر متأثر شده و از کاستی عملکرد قابل ملاحظه‌ای در قیاس با ارقام بهاره برخوردار باشند. با توجه به عدم وجود همبستگی معنی‌دار بین صفات مختلف فیزیولوژیک و عملکرد دانه در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی به‌طور جداگانه، درصد کاهش یا افزایش کلیه صفات در اثر تنش خشکی در کلیه ژنوتیپ‌ها محاسبه و مجدداً همبستگی ساده فنوتیپی محاسبه شد (داده‌ها گزارش نشده‌اند). نتایج این بررسی حاکی از وجود همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار بین درصد کاهش عملکرد دانه با درصد کاهش وزن تک دانه بود. همچنین نشان داده شد که بین درصد کاهش دوره پر شدن دانه و درصد کاهش وزن تک دانه رابطه مثبت و بسیار معنی‌داری وجود دارد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین درصد کاهش وزن تک دانه و کاهش سرعت پر شدن دانه با محتوای نسبی آب برگ نیز مشاهده شد.

در اقلیم‌هایی که گندم با تنش‌های آخر فصل از جمله خشکی و گرما مواجه است، استفاده از ارقامی که همزمان با افزایش وزن دانه، سرعت پرشدن دانه نیز در آن‌ها زیاد است، می‌تواند یکی از راهکارهای مناسب گیاه گندم برای فرار از تنش‌های آخر فصل است. ژنوتیپ‌های شماره ۴۷ (مروارید) و ۵۰ (چناب) به ترتیب بیشترین و کمترین متوسط (بدون تنش و تنش خشکی) طول دوره‌ی پرشدن دانه را داشتند (جدول ۴). رقم چناب با وجود محتوای بالای کلروفیل برگ پرچم، به علت تبخیر و تعرق زیاد، محتوای نسبی آب برگ آن کاهش یافته و در نتیجه انجام فتوسنتز با محدودیت روبرو شده و طول دوره‌ی پرشدن دانه‌ی آن کاهش یافته است. بر اساس گزارش تالبرت و همکاران (Talbert *et al.*, 2008) ارقامی از گندم که تحت شرایط گرم و خشک و مواجهه با تنش خشکی در دوره‌ی رسیدگی فیزیولوژیک، سرعت پرشدن دانه بیشتر و طول دوره‌ی پرشدن دانه کمتری دارند، از عملکرد دانه‌ی بیشتری برخوردارند. ضرایب همبستگی بین سرعت، طول دوره‌ی پرشدن دانه و وزن تک دانه که سه فاکتور اصلی از فرایند پرشدن دانه می‌باشند، در جدول ۶ ارایه شده است. در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش، همبستگی بین سرعت پرشدن دانه با طول دوره‌ی پرشدن منفی و بسیار معنی‌دار ولی با وزن تک دانه مثبت، شدید و بسیار معنی‌دار بود، در صورتی که همبستگی بین طول دوره‌ی پرشدن دانه با وزن تک دانه معنی‌دار نبود.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد آزمایش از لحاظ عملکرد دانه اختلاف بسیار معنی‌داری داشتند (جدول ۳). همچنین اثر محیط بر آن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و نشان دهنده اینکه تنش خشکی تأثیر بسیار معنی‌داری روی آن داشته است، به نحوی که اعمال تنش خشکی به‌طور متوسط باعث کاهش ۲۳/۴۸ درصدی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها شد که در دامنه شدت متوسط (۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش) قرار می‌گیرد (Blum, 2011).

با توجه به معنی‌دار شدن اثر محیط و کاهش عملکرد کلیه ارقام در حالت تنش خشکی نسبت به محیط بدون تنش، می‌توان نتیجه گرفت که از نظر عملکرد دانه بین ۲ محیط اختلاف معنی‌داری وجود دارد. این نتایج با

جدول ۷- مقایسه میانگین سرعت پر شدن دانه تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 7. Mean comparison of Kernel Filling Rate under stress and non-stress conditions

ژنوتیپ Genotype	سرعت پر شدن دانه		ژنوتیپ Genotype	سرعت پر شدن دانه	
	Kernel Filling Rate (mg.day ⁻¹)			Kernel Filling Rate (mg.day ⁻¹)	
	بدون تنش Non-stress	تنش Stress		بدون تنش Non-stress	تنش Stress
1	1.36	1.33	41	1.18	1.19
2	1.21	1.15	42	1.19	1.26
3	0.84	1.00	43	1.07	1.06
4	1.14	1.19	44	1.53	1.82
5	0.90	0.91	45	1.04	1.07
6	1.21	1.01	46	0.93	1.06
7	1.02	0.98	47	0.88	0.85
8	1.05	0.87	48	1.18	1.26
9	1.11	1.06	49	1.40	1.29
10	0.88	0.98	50	1.52	1.90
11	1.04	1.03	51	1.26	1.45
12	1.08	1.05	52	1.31	1.36
13	1.11	1.06	53	1.29	1.14
14	1.00	1.18	54	1.12	1.12
15	1.16	1.12	55	1.06	1.12
16	1.89	1.83	56	1.03	1.11
17	1.26	1.07	57	1.05	1.12
18	1.19	1.15	58	1.18	1.10
19	1.18	1.43	59	1.03	1.19
20	1.18	1.10	60	1.07	1.27
21	1.25	1.26	61	1.05	1.10
22	1.21	1.19	62	1.20	1.14
23	1.24	1.12	63	1.27	1.33
24	0.80	0.83	64	1.37	1.30
25	1.13	1.15	65	1.30	1.58
26	0.91	1.02	66	1.21	1.10
27	0.75	0.90	67	1.00	1.11
28	1.14	0.99	68	1.15	1.09
29	1.10	1.03	69	1.11	1.00
30	1.12	1.18	70	1.28	1.21
31	1.16	1.12	71	1.38	1.00
32	1.06	1.10	72	1.15	1.14
33	1.20	1.28	73	0.97	0.98
34	0.98	1.02	74	1.23	1.29
35	1.11	1.09	75	1.00	1.00
36	0.97	1.03	76	1.44	1.59
37	0.87	0.97	77	1.25	1.30
38	1.01	1.27	78	1.39	1.46
39	1.12	1.20	79	1.23	1.15
40	1.55	1.99	80	0.91	0.84
	بدون تنش Non-stress			تنش Stress	
Max. حداکثر	1.89			1.99	
Min. حداقل	0.84			0.84	
Mean میانگین	1.15			1.17	
LSD 5%	0.20			0.37	
LSD 1%	0.26			0.49	

تنوع ژنتیکی بسیار بالایی در خزانه ژنی گندم‌های موجود در ایران وجود دارد که می‌تواند به عنوان ذخیره ژنتیکی غنی مورد استفاده به‌نژادگران قرار گیرد.

سپاسگزاری

منابع مالی این پژوهش توسط دانشگاه رازی کرمانشاه تأمین شده که بدین‌وسیله اعلام قدردانی می‌شود.

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی آخر فصل اثر بارزی بر اغلب صفات مورد مطالعه و به‌خصوص عملکرد دانه دارد. بنابراین، در مناطق با اقلیم مشابه که خطر خشکی آخر فصل وجود دارد، باید از ارقامی استفاده شود که سازگار با شرایط منطقه و متحمل به تنش خشکی باشند. از اینرو ارقام زودرس که در عین حال از پتانسیل عملکرد دانه‌ی بالایی نیز برخوردار باشند، در این شرایط موفق‌ترند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که

References

- Ahmadi, A. and Baker, D. A. 1998.** Stomatal and non stomatal photosynthesis limitation factors on wheat under drought condition. **Iranian Journal of Agriculture Science** 31: 813-825. (In Persian).
- Andrew, K. B., Hammer, G. L. and Henzell, R. G. 2000.** Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II. Dry matter production and yield. **Crop Science** 40: 1037-1048.
- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R. Khan, A. H. and Ala, S. A. 1994.** Effect of water on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. **Acta Physiologiae Plantarum** 16: 185-191.
- Behra, R. K., Mishra, P. C. and Choudhury, N. K. 2002.** High irradiance and water stress induce alterations in pigment composition and chloroplast activities of primary wheat leaves. **Journal of Plant Physiology** 159: 967-973.
- Blum, A., Gozlan, G. and Mayer, J. 1981.** The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germplasm. **Crop Science** 21: 495-499.
- Blum, A. 2011.** Plant breeding for water-limited environments. Springer Verlag.
- Brdar, M. D., Kraljevic-Balalic, M. M. and Borislav, D. 2008.** The parameters of grain filling and yield components in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. Durum). **Central European Journal of Biology** 3 (1): 75-82.
- Cha, K. W., Lee, Y. J., Koh, H. J., Lee, B. M., Nam, Y. W. and Peak, N. C. 2002.** Isolation, characterization, and mapping of the stay green mutant in rice. **Theoretical and Applied Genetics** 104: 526- 532.
- Egert, M. and Tevini, M. 2002.** Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium choenoprasum*). **Environmental and Experimental Botany** 48: 43-49.
- Emam, Y. and Niknejhad, M. 2004.** An introduction to the physiology of crop yield. Shiraz University Press. Shiraz, Iran. pp: 571. (In Persian).
- Farshadfar, E., Ghasempour, H. and Vaezi, H. 2008.** Molecular aspects of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum*). **Pakistan Journal of Biological Sciences** 11 (1): 118-121.
- Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. 1. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research** 29: 897-912.
- FAO. 2010.** Food and Agriculture Organization. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved November, 2010. From <http://fao.org/crop/statistics>.
- FAO. 2011.** Food and Agriculture Organization. Statistics: FAOSTAT agriculture. Retrieved May, 2012. From <http://fao.org/crop/statistics>.
- Gebeyhou, G., Knott, D. R. and Baker, R. J. 1982a.** Relationships among duration of vegetative and Grain filling phases, yield components and grain yield in durum wheat cultivars. **Crop Science** 22: 287-290.
- Gebeyhou, G., Knott, D. R. and Baker, R. J. 1982b.** Rate and duration of filling in durum wheat cultivars. **Crop Science** 22: 337-340.

- Gooding, M. J., Ellis, R. H., Shewry, P. R. and Schofield, J. D. 2003.** Effects of restricted water availability and increased temperature on grain filling, drying and quality of winter wheat. **Journal of Cereal Science** 37: 295-309.
- Guttieri, M. J., Stark, J. C., O'Brien, K. and Souza, E. 2001.** Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. **Crop Science** 41: 327-335.
- Hafsi, M., Akhter, J. and Monneveux, P. 2007.** Leaf senescence and carbon isotope discrimination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under severe drought conditions. **Cereal Research Communications** 35: 71-80.
- Hipkins, M. F. and Baker, N. R. 1986.** Photosynthesis energy transduction. Spectroscopy. IRL Press. Oxford, Washington. pp. 51-101. In: Horii, A., McCu, P. and Shetty, K. (Eds.), Seed vigour studies in corn, soybean and tomato in response to fish protein hydrolysates and consequences on phenolic-linked responses. **Bioresource Technology** 98: 2170-2177.
- Jehade-Agriculture. 2011.** Annual reports. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Islamic Republic of Iran. (2009-2010 cropping season). From <http://www.maj.ir/portal/Home>. (In Persian).
- Kulshreshtha, S., Mishra, D. P. and Gupta, R. K. 1987.** Changes in content of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplast and chloroplast membrane fractions at different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotypes of wheat. **Photosynthetica** 21: 65- 70.
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Aghaee-Sarbarzeh, M. and Abdollahi, A. 2006.** Evaluation of drought tolerance of advanced durum wheat genotypes based on physiological criteria and related traits. **Journal of Agricultural Science of Iran** 3 (1-37): 563-575. (In Persian).
- Molnar, S., Gaspar, L., Stehi, L., Dulai, S., Sarvari, E., Kiraly, I., Galiba, G. and Molnar Long, M. 2002.** The effects of drought stress on the photosynthetic processes of wheat and of aegilops biuncialis genotypes originating from various habitats. **Acta Biologica Szegediensis** 46 (3-4): 115-116.
- Nicolas, M. E. and Turner, N. C. 1993.** Use of chemical desiccants and senescing agent to select wheat lines maintaining stable grain size during post-anthesis drought. **Field crops Research** 31: 155-171.
- Nourmand, F., Rostami, M. A. and Ghannadha, M. R. 2001.** A study of morpho-physiological traits of bread wheat, relationship with grain yield under normal and drought stress conditions. **Iranian Journal of Agricultural Science** 32: 185-194. (In Persian).
- Pessarkli, M. 1999.** Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc. 697 Pages.
- Quarrie, S. A. and Jones, H. G. 1979.** Genotypic variation in leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid concentration in spring wheat subjected to artificial drought stress. **Annals of Botany** 44: 323-332.
- Ramirez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. 1998.** Traits related to drought resistance in common bean. **Euphytica** 99: 127-136.
- Ramshini, H., Fazel Najafabadi, M. and Bihamta, M. R. 2012.** Inheritance of some traits in bread wheat using diallel method at normal and drought stress conditions. **Cereal Research** 2 (1): 1-15. (In Persian).
- Royo, C., Abaza, M., Blanco, R. and García del Moral, L. F. 2000.** Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing and simulated drought stress. **Australian Journal of Plant Physiology** 27: 1051-1059.
- Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Spehri, R., Najafian, G. and Shabani, A. 2010.** The effects of terminal water stress on physiological characteristics and sink- source relations in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. **Iranian Journal of Crop Sciences** 12 (4): 92-408. (In Persian).
- Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H. and Esfahani, M. 2008.** Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences** 9 (4): 315-331. (In Persian).
- Sairam, R. K. and Srivastava, G. C. 2001.** Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. **Journal of Agronomy and Crop Science** 186: 63-70.
- Schutz, M. and Fangmeir, E. 2001.** Growth and yield responses of spring wheat (*triticum aestivum* L. cv.Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. **Environmental Pollution** 114: 187-194.

- Siddique, M. R. B., Hamid, A. and Islam, M. S. 2000.** Drought stress effects on water relations of wheat. **Butanical Bullecin of Academia Sinica** 41: 35-38.
- Sivamani, E., Bahieldin, A., Wraith, J. M., Al- Niemi, T., Dyer, W. E., Ho, T. H. D. and Qu. R. 2000.** Improved biomass productivity and water use efficiency under water deficit conditions in transgenic wheat constitutively expressing the barley HVA1 gene. **Plant Science** 155 (1): 1-9.
- Stone, P. J. and Nicolas, M. E. 1994.** Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. **Functional Plant Biology** 21: 887-900.
- Talbert, L. E., Lanning, S. P., Murphy, R. L. and Martin, J. M. 2008.** Grain Fill Duration in Twelve Hard Red Spring Wheat Crosses Genetic Variation and Association with Other Agronomic Traits. **Crop Science** 41: 1390-1395.
- Wise, R. R. and Naylor, A.W. 1989.** Chilling enhanced photo-oxidation, the peoxidative destruction of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultrasructure. **Plant physiology** 83: 278-282.

Archive of SID

Evaluation of genetic diversity of bread wheat genotypes based on physiological traits in non-stress and terminal drought stress conditions

Reza Amiri¹, Sohbah Bahraminejad^{2*} and Shahryar Sasani³

1. M.Sc. Student of Plant Breeding, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, 2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding and Biotechnology for Drought Resistance, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, 3. Research Assist. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Kermanshah

(Received: October 2, 2012- Accepted: January 28, 2013)

Abstract

To study genetic variation and terminal drought stress on kernel yield and some physiological traits in bread wheat, an experiment was conducted using 80 irrigated bread wheat genotypes in a randomized complete block design (RCBD) with three replications under normal and terminal drought stress conditions in research farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, during 2011-2012 cropping season. The result of combined analysis of variance indicated high significant differences among genotypes for all studied traits except "chlorophyll b" and total chlorophyll. Moreover, effect of the environment on relative water content, kernel yield, kernel filling duration and kernel weight was highly significant. Terminal drought stress reduced "chlorophyll a", SPAD and relative water content as much as 3.54%, 2% and 10%, respectively but it increased "chlorophyll b" and total chlorophyll by 6.16 and 2.68%, respectively. In addition, drought stress caused reduction in kernel yield (23.48%), kernel filling duration (19.14%) and kernel weight (18%) but it increased kernel filling rate by 2.20%. There were high negative significant correlation between "chlorophyll a" and "chlorophyll b" and between kernel filling rate and kernel filling duration, whereas, correlation between "chlorophyll b" and total chlorophyll and between kernel filling rate and kernel weight were highly significant and positive. Correlation coefficients exhibited no significant associations between kernel yield and other traits in both normal and drought stress conditions.

Keywords: Chlorophyll content, Kernel filling duration, Kernel filling rate, Kernel yield, Relative water content

*Corresponding author: sohbah72@hotmail.com