

بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه سه ژنوتیپ ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)

عباس خرمی^۱، عنایت‌الله توحیدی‌نژاد^{۲*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۲. استادیار بخش زراعت دانشگاه شهید باهنر کرمان.

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۰۳

چکیده

کمبود آب گرایش به سمت کاشت ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی را افزایش داده است. در نواحی خشک شبیه بیشتر مناطق ایران، اغلب اکوتیپ‌ها و گونه‌های محلی مقاومت بیشتری در برابر خشکی از خود نشان می‌دهند. این تحقیق به صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی که در آن تنش خشکی (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان کرت اصلی و ژنوتیپ (پیشاهنگ، رابر و گلباف) به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شده بود، اجرا گردید. نتایج نشان داد که صفات پتانسیل آب برگ، قندهای احیاء، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر تیمار تنش خشکی قرار گرفتند. اثر ساده ژنوتیپ نیز برای صفات مذکور و همچنین محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی معنی‌دار گردید. بر طبق نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل ژنوتیپ×تنش تنها برای صفات نشت یونی و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش خشکی به طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک، محتوی نسبی آب برگ و عملکرد دانه را کاهش داد این در حالی بود که نشت یونی و محتوای قندهای احیاء به طور معنی‌داری افزایش یافتند. بیشترین عملکرد بیولوژیک هم در شرایط نرمال و هم تنش مر بوط به رقم پیشاهنگ بود. همبستگی ساده بین صفات نشان داد که عملکرد بیولوژیک، محتوی نسبی آب برگ و قندهای احیاء بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشته‌اند. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که اکوتیپ گلباف بالاترین عملکرد دانه را در مقایسه با ژنوتیپ‌های پیشاهنگ و رابر در شرایط تنش خشکی داشت.

واژگان کلیدی: ارزن، اکوتیپ، مقاومت به خشکی، عملکرد دانه.

مقدمه

علت اصلی تنش آب در گیاه افزایش میزان تلفات آب یا کافی نبودن رطوبت خاک و یا ترکیبی از هر دو عامل است که بر اثر آن میزان تلفات آب ناشی از تعرق از میزان جذب آن توسط ریشه‌ها بیشتر شده و میزان تنش افزایش می‌یابد (Hajebi and Hydari sharifabad, 2005). فتوسنتز یکی از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاه است و شدت آن در کمبود آب کاهش می‌یابد (Gusegnova et al., 2006). دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. در طی تنش، کلروفیل‌ها در کلروپلاست، تجزیه و ساختارهای

تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی یکی از عوامل مهم محدودکننده رشد و نمو گیاهان در اغلب نقاط دنیا بوده و از موانع اصلی رسیدن به عملکرد بالقوه گیاهان زراعی است. لذا شناسایی ارقام مقاوم و نیز مطالعه سازوکارهای افزایش‌دهنده مقاومت به خشکی از راهکارهای مناسب جهت مقابله با عوارض تنش خشکی خواهد بود (Fischer and Maurer, 1978). با توجه به تغییر الگوهای بروز خشکی در طی دوره رشد گیاه، عملکرد بالا و ثبات عملکرد تحت شرایط کمبود آب خاک بهترین روش گزینش ارقام متحمل به خشکی است (Siddique et al., 2000).

شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی) با میانگین بارندگی ۱۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۷۵۴ متر از سطح دریا انجام شد. آب‌وهوای محل انجام آزمایش بر اساس روش آمبرژه خشک نیمه بیابانی (Kardavani, 1999) و خاک محل آزمایش دارای بافت لومی شنی، با هدایت الکتریکی ۴/۴ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته ۷/۴ بود (جدول ۱). آزمایش به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمار آبیاری با سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان کرت اصلی و سه ژنوتیپ ارزن معمولی شامل پیشاهنگ، رابر و گلباف در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. طول هر کرت سه متر و شامل چهار خط کشت با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود و فاصله بذرها روی ردیف‌ها ۲ تا ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌منظور اطمینان از عدم تداخل آبیاری، بین کرت‌های اصلی ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد. در مرحله آماده‌سازی زمین کود فسفر به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع فسفات آمونیوم، نیتروژن ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در مرحله پایه و سرک به خاک افزوده شد. تا مرحله پنجه‌زنی آبیاری هر هفت روز یک‌بار انجام شد و پس از استقرار کامل گیاه تیمار تنش آبیاری اعمال گردید. میزان آب موردنیاز تیمارهای آبیاری با استفاده از لایسیمتر تعبیه‌شده در مجاورت مزرعه اندازه‌گیری و با استفاده از کنتور حجم آب آبیاری کنترل گردید.

اندازه‌گیری رنگی‌های فتوسنتزی

سنجش کلروفیل و کارتنوئید با استفاده از روش لیچنتنالر صورت گرفت (Lichtenthaler, 1987). ۱۰۰ میلی‌گرم برگ تازه گیاه در هاون چینی حاوی ۱۵ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد ساییده شده و پس از صاف کردن با دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-visible مدل Cary50 ساخت شرکت واریان (varian) با طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ نانومتر خوانده شد. جهت کالیبراسیون از استن ۸۰ درصد به‌عنوان شاهد استفاده شد. غلظت رنگی‌های گیاهی با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شد:

$$\text{Chl.a} = (12.25A_{663.2} - 2.79A_{648.8}) \quad [1]$$

$$\text{Chl.b} = (21.21A_{646.8} - 5.1 A_{663.2}) \quad [2]$$

$$\text{Chl.T} = \text{Chl.a} + \text{Chl.b} \quad [3]$$

تیلاکوئید ناپدید می‌گردند. تنش خشکی ملایم بر روی مقدار کلروفیل در دو گیاه سردسیری *Poa pratensis* و *Festuca* اثری نداشته ولی خشکی شدید مقدار کلروفیل را در این دو گیاه کاهش داد (Hauny, 2001). همچنین تحت تنش خشکی و گرما، غشاء سلولی پایداری خود را ازدست‌داده و در صورت قرار گرفتن برگ در یک محیط آبی مواد محلول از سلول‌های آن تراوش می‌یابد، لذا پایداری غشاء به‌وسیله ارزیابی تراوش یون‌ها از آن تعیین می‌شود. میزان هدایت الکتریکی در محیط آبی خسارت تنش خشکی و یا تنش گرمایی را به غشاء سلولی نشان می‌دهد و میزان پایداری غشاء سلولی به‌خوبی با تحمل سایر فرآیندهای گیاهی به تنش از جمله فتوسنتز مرتبط است و به‌عنوان شاخصی از تحمل به تنش گزارش شده است (Sairam, 1998). قندهای محلول نیز گروهی از اسمولیت‌های سازگارند که در شرایط خشکی تجمع یافته و به‌عنوان عامل محافظت‌کننده اسمزی عمل می‌نمایند و افزایش قندها در اثر تنش با تنظیم اسمزی و حفظ آماس و همچنین با پایدار کردن غشاءها و پروتئین‌ها در ارتباط است (Bohnert et al., 1995). بسیاری از محققین معتقدند که تحمل به تنش خشکی به مفهوم افزایش پتانسیل عملکرد بوده و این امر از طریق اصلاح صفات فیزیولوژیک امکان‌پذیر است (Quarrie et al., 1999; Richards, 1996).

ارزن یکی از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود که از تحمل بالایی نسبت به تنش خشکی و شوری برخوردار است. بااینکه این گیاه در کشاورزی سنتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است در رابطه با اثرات تنش خشکی بر عملکرد و اجزاء عملکرد و صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک مؤثر در عملکرد در این گیاه، تحقیقات کمی صورت گرفته است (Kusaka, 2005). همچنین گیاه ارزن یکی از بهترین محصولات برای تولید علوفه موردنیاز دام و تولید دانه است (Emam, 2004). هدف از انجام این پژوهش مقایسه بین ژنوتیپ‌های ارزن معمولی در شرایط تنش خشکی و بررسی مقاومت توده‌های محلی کرمان در مقایسه با رقم اصلاح‌شده‌ی پیشاهنگ است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان واقع در ۶ کیلومتری جنوب شرقی کرمان (طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۵۶ دقیقه

اندازه‌گیری قندهای احیا

برای اندازه‌گیری مقدار قندهای احیاکننده از روش سوموگی (Somogy) استفاده شد. ۲۰۰ میلی‌گرم از اندام هوایی گیاه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در هاون چینی سائیده شد و تا نقطه‌جوش حرارت داده شد سپس محتوای بشر با کاغذ صافی واتمن صاف گردید و ۲ میلی‌لیتر محلول سولفات مس به آن اضافه و به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم ۱۰۰ درجه منتقل شد. پس از سرد شدن ۲ میلی‌لیتر محلول فسفومولیبدیک اسید به آن اضافه شد. شدت جذب محلول‌ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت قندهای احیاکننده محاسبه گردید (Somogy, 1952).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری پارامترها، با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1) آنالیز و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۳) استفاده شد.

$$Car = [(1000A_{470} - 1.8Chl.a - 85.02Chl.b) / 198] \quad [4]$$

در این روابط Chl.a محتوای کلروفیل a، Chl.b محتوای کلروفیل b، Chl.T، b محتوای کلروفیل کل، Car محتوای کاروتنوئید، A عدد جذب می‌باشند.

محتوی نسبی آب برگ

محتوای نسبی آب برگ از رابطه Wheutherley محاسبه شد (Wheutherley, 1950).

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad [5]$$

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب برگ، FW وزن تر، DW وزن خشک، TW وزن اشباع می‌باشند.

اندازه‌گیری نشت یونی

میزان نشت یونی با استفاده از روش کایا و همکاران (2006) Kaya et al., انجام شد. در این روش ابتدا میزان نشت یونی با استفاده از نسبت $EC_1 / EC_2 \times 100$ محاسبه گردید. در این رابطه EC_1 و EC_2 به ترتیب هدایت الکتریکی قرائت شده در زمان اول و دوم می‌باشند.

جدول ۱. تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل انجام آزمایش در اعماق مختلف

Table 1. Physical and Chemical analysis of the site experiment soil in different depths

عمق Depth (cm)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil Texture	چگالی ظاهری Apparent density	چگالی حقیقی Real density	تخلخل Porosity (%)
0-30	18	33.6	48.4	لوم	1.45	2.65	45.3
30-60	18	45.6	36.4	لوم	1.40	2.65	47.2
عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی Ec (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کلسیم Ca (meq.lit ⁻¹)	منیزیم Mg (meq.lit ⁻¹)	سدیم Na (meq.lit ⁻¹)	پتاسیم K (meq.lit ⁻¹)	
0-30	4.64	9.11	21.25	20	20.47	3.46	
30-60	8.75	8.7	85	80	31.78	2.12	

نتایج و بحث

نسبی آب برگ، قندهای احیاء، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین برهمکنش تنش و ژنوتیپ در مورد صفات عملکرد بیولوژیک و نشت یونی معنی‌دار گردید (جدول ۲). بالاترین نشت یونی مربوط به توده محلی گلباف در آبیاری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی بر صفات پتانسیل آب برگ، قندهای احیاء، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردیدند. همچنین اثر ژنوتیپ بر صفات محتوای

نشت یونی را داشت با ژنوتیپ پیشاهنگ که نشت یونی کمتری داشت اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (شکل ۱). همچنین همبستگی منفی اما غیر معنی‌داری بین نشت یونی و عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۵). پریماکاندر و همکاران (Premachandra et al., 1992) در طی بررسی اثر تنش خشکی بر روی چهار رقم سورگم گزارش کردند که میزان پایداری غشا پلاسمايي در بین ارقام مختلف متفاوت بود و با افزایش تنش آب کاهش یافت و نیز مشخص شد که پایداری غشا سیتوپلاسمی تحت تأثیر میزان موم اپی‌کوتیکولی، ضخامت کوتیکول و پتانسیل آب برگ‌ها قرار گرفت.

۷۵٪ ظرفیت زراعی و کمترین آن در همین توده در آبیاری ۵۰٪ ظرفیت زراعی بود (شکل ۱). آبیاری بر اساس ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در توده محلی گلباف در مقایسه با سطح آبیاری ۱۰۰٪ باعث افزایش نشت یونی (کاهش پایداری غشاء) گردید این در حالی بود که در سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی این شاخص کاهش یافت. به نظر می‌رسد اکوتیپ گلباف با سازوکارهای مقاومتی خود توانسته است با کاهش نشت یونی مقاومت خود را در برابر شرایط تنش افزایش دهد؛ اما در مورد دو ژنوتیپ دیگر، تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف آبیاری از لحاظ میزان نشت یونی مشاهده نشد. در تنش ۷۵٪ ظرفیت زراعی بین توده گلباف که بالاترین درصد

جدول ۲. تجزیه واریانس خصوصیات عملکردی و فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های ارزن معمولی تحت تأثیر تنش خشکی

Table 2. Analysis of variance for performance and physiological characteristics of common millet genotypes under drought stress.

منابع تغییرات S. O.V	درجه آزادی df	نشت یونی Ion leakage	پتانسیل آب برگ RWC	قندهای احیاء Reduced sugars	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain Yield
تکرار Replication	2	538.8**	55.3 ^{ns}	25.9 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.08**
تنش خشکی Drought stress	2	8.48 ^{ns}	983.3**	1068**	11.9**	0.82**
خطا Error a	4	372.7	42.8	41.5	0.26	0.02
ژنوتیپ Genotype	2	119.8 ^{ns}	158.1*	375.7*	13.2**	0.20**
ژنوتیپ × تنش Stress × Genotype	4	351.7*	73.5 ^{ns}	86.6 ^{ns}	3.98**	0.02 ^{ns}
خطا Error b	12	107.5	42.1	103.4	0.24	0.01
ضریب تغییرات CV (%)		20.51	10.90	26.25	14.10	14.03

^{ns}, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

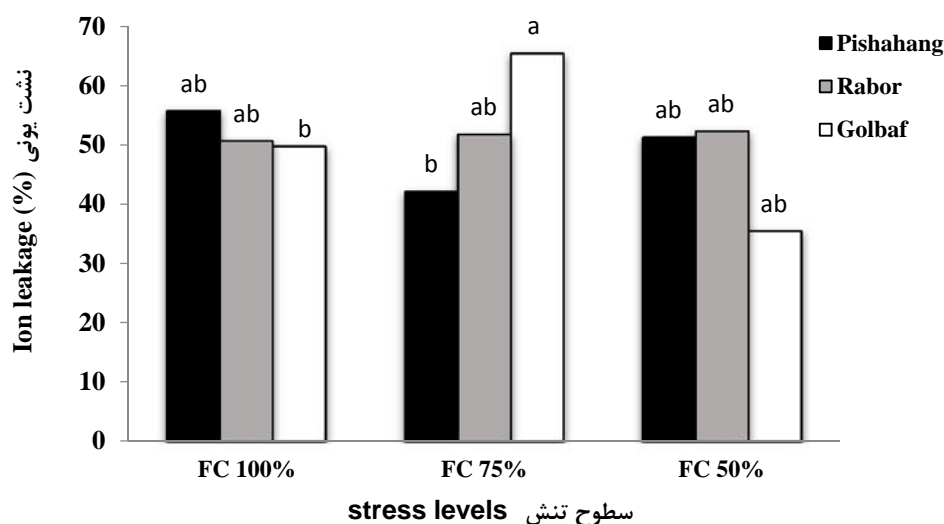
^{ns}, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

بوده‌اند (Abdalla and El-Khoshiban, 2007; Sajjadinia et al., 2010). نتایج نشان داد همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوی نسبی آب برگ و عملکرد وجود دارد (جدول ۵). شونفلد و همکاران (Schonfeld et al., 1998) مشاهده کردند که در شرایط تنش خشکی محتوی نسبی آب برگ در گندم کاهش یافت. محققان یکی از مهم‌ترین عوامل حفظ بقاء در شرایط تنش را قدرت بالای گیاه در حفظ آب سلولی می‌دانند (Sairam et al., 1998). سانچز رودریگز و

تنش خشکی تأثیر معنی‌داری در رابطه با میزان محتوی نسبی آب ایجاد کرد (جدول ۲). بر اساس جدول مقایسه میانگین‌ها محتوی نسبی آب برگ به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت به‌طوری‌که محتوی نسبی آب برگ در آبیاری ۷۵٪ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به آبیاری کامل به ترتیب ۱۹ و ۴۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). محققین در رابطه با انواع گیاهان گزارش کرده‌اند که ارقام مقاوم دارای محتوی آب نسبی بالاتری نسبت به ارقام حساس

طرف دیگر برگ‌هایی که محتوی نسبی آب بالاتری دارند به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای فتوسنتز بیشتری انجام داده، در نتیجه میزان انتقال مجدد از برگ‌ها در خلال دوره‌ی پر شدن دانه کاهش یافته و دوام سطح برگ افزایش می‌یابد (Lawlor, 2002).

همکاران (Sanchez-Rodriguez et al., 2010) گزارش کردند که مقایسه محتوای نسبی آب برگ یکی از بهترین شاخص‌ها برای تمایز ارقام حساس و غیر حساس بوده و این صفات همبستگی بالایی با سایر پارامترهای فیزیولوژیک نظیر میزان آنتی‌اکسیدان‌ها و شاخص‌های رشدی داشته است. از



شکل ۱. اثر متقابل تنش × ژنوتیپ بر روی نشت یونی ارزن.

Fig. 1. Interaction of stress*genotype on the ion leakage of millet

همکاران (Subbaro et al., 2000) گزارش شده است. از آنجایی که در گیاهان پتانسیل اسمزی بستگی به تعداد مولکول‌های ماده محلول نیز دارد، تنظیم اسمزی از مسیر تبدیل پلی ساکاریدهایی نامحلول مانند نشاسته و فروکتان به قندهای محلول مانند اولیگوساکاریدها، ساکارز و گلوکز تنظیم می‌شود (Hendry, 1993). از مهم‌ترین منابع مواد محلول، ترکیبات فتوسنتزی هستند که یا به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم از هیدرولیز ترکیباتی مانند فروکتان حاصل می‌شوند. فتوسنتز و رشد گیاه هر دو تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند اما رشد گیاه بیشتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و با توقف رشد میزان محصولات فتوسنتزی افزایش می‌یابد (Kriedemann, 1980). حسین و همکاران (Hossain et al., 1990) اظهار داشتند که غلظت هیدرات-های کربن محلول برگ در ۱۴ تا ۲۱ روز بعد از گلدهی بسته به رقم از ۱/۱ درصد تا ۱۰/۴ درصد متغیر بوده و تنش خشکی نیز در ارقام مختلف ممکن است غلظت این ترکیبات را در برگ افزایش و یا کاهش دهد.

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری ($p \leq 0.01$) بر قندهای احیا داشته است (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان قندهای محلول افزایش یافته به طوری که کمترین میزان قند (۲۷/۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مربوط به تیمار شاهد (آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و بیشترین میزان آن (۴۹/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مربوط به تیمار آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۳). بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.05$) در بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفت مذکور وجود داشت (جدول ۲). بیشترین میزان قند احیا مربوط به ژنوتیپ پیشاهنگ و کمترین آن مربوط به توده محلی رابر به دست آمد (جدول ۳). برهمکنش تنش و ژنوتیپ در مورد این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). همبستگی بین قند احیا و عملکرد دانه منفی و بسیار معنی‌دار مشاهده شد یعنی با افزایش میزان قند احیا در گیاه به سبب بالا رفتن مقاومت به خشکی، عملکرد گیاه کاهش یافته است (جدول ۵). تجمع قندهای محلول در شرایط تنش خشکی در گیاه لوبیا توسط ساپارو و

جدول ۳. مقایسه میانگین خصوصیات عملکردی و فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های ارزن معمولی در سطوح مختلف تنش خشکی.

Table 3. Mean comparison of performance and physiological characteristics of millet genotypes in different levels of drought stress.

Experiment treatments	محتوای		کلروفیل a Chlorophyll a (mg/g ⁻¹ .fw)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg/g ⁻¹ .fw)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g ⁻¹ .fw)	کاروتنوئید Carotenoid (mg/g ⁻¹ .fw)	عملکرد دانه Grain Yield (kg/ha)
	نسبی آب برگ RWC (%)	قند احیا reduction sugar (mg/g ⁻¹ .fw)					
تیمارهای آبیاری							
Irrigation treatments							
صددرد صد طرفیت زراعی FC100%	70.34 ^a	27.54 ^c	12.56 ^a	4.59 ^a	17.15 ^a	2.59 ^a	1080 ^a
75 درصد طرفیت زراعی FC 75%	58.72 ^b	39.54 ^b	13.03 ^a	4.58 ^a	17.62 ^a	2.66 ^a	710 ^b
50 درصد طرفیت زراعی FC 50%	49.48 ^c	49.19 ^a	14.07 ^a	5.03 ^a	19.10 ^a	2.89 ^a	480 ^c
ژنوتیپ							
Genotype							
توده محلی گلباف Golbaf ecotype	64.32 ^a	36.66 ^{ab}	10.89 ^b	3.59 ^b	14.48 ^b	2.16 ^b	930 ^a
توده محلی رابر Rabor ecotype	57.59 ^b	33.55 ^b	14.52 ^a	5.64 ^a	20.16 ^a	3.10 ^a	690 ^b
رقم پیشاهنگ Pishahang cultivar	56.63 ^b	45.97 ^a	14.25 ^a	4.98 ^a	20.24 ^a	2.87 ^a	640 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Means with the same letters are not significantly different using Duncans Multiple Range Test method at 5% probability level.

محتوای نسبی آب برگ، کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز باشد. پژوهشگران دیگری نیز کاهش عملکرد بیولوژیک و عملکرد ماده خشک گیاه ارزن را تحت تأثیر تنش خشکی گزارش کرده‌اند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Moosavi, 2014; Keshavars et al., 2012; Pooryousef et al., 2011).

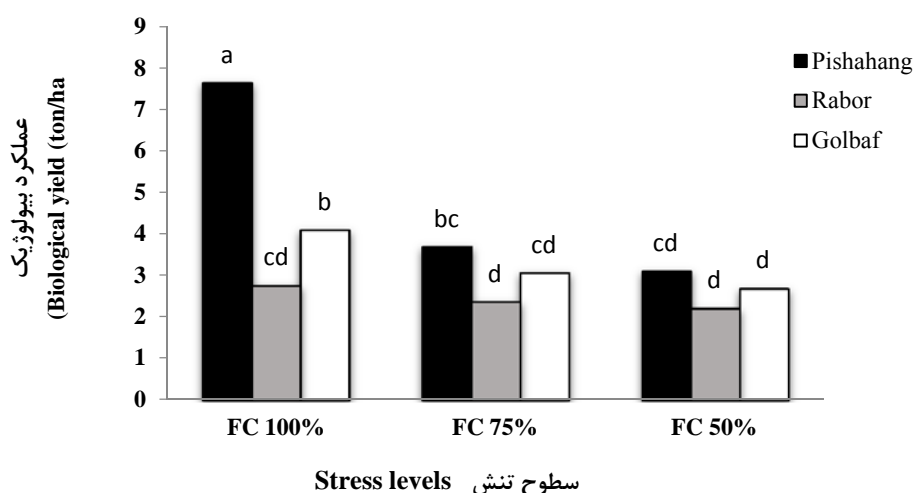
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید. بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد با ۱۰۸۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد مربوط به تیمار تنش شدید (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) با ۴۸۰ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در بین ارقام نیز از نظر عملکرد دانه اختلاف قابل توجهی ($p \leq 0.01$) وجود دارد. به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۹۳۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به توده محلی گلباف و بعد از آن توده محلی رابر با میانگین عملکرد ۶۹۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه با متوسط عملکرد ۶۴۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به ژنوتیپ پیشاهنگ بود. اثر متقابل

نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، ژنوتیپ و برهمکنش این دو عامل در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک با ۷/۶۶ تن در هکتار، مربوط به ژنوتیپ پیشاهنگ در شرایط آبیاری ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی و کمترین این صفت مربوط به ژنوتیپ رابر (که در تیمارهای مختلف آبیاری تفاوتی از نظر آماری با یکدیگر نداشتند) بود (شکل ۲). نتایج نشان داد که رقم پیشاهنگ بیشتر تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار گرفته و با کاهش میزان آبیاری کاهش شدیدی نسبت به ژنوتیپ‌های محلی داشته است (شکل ۲). همچنین همبستگی بسیار معنی‌دار و مثبتی بین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۵). کمبود آب منجر به کاهش عملکرد بیولوژیک گردید. کمبود آب در مراحل ابتدایی رشد رویشی منجر به کاهش سطح برگ می‌شود (Cakir, 2004). پاندی و همکاران (Pandey et al., 2000) گزارش نمودند که کمبود آب در هر دو مرحله از رشد رویشی و زایشی باعث کاهش شاخص سطح برگ می‌شود. کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط کم‌آبی می‌تواند به دلیل کاهش

بیدینجر (Mahalakshmi and Bidinger, 1985) گزارش کردند، تنش خشکی در طی مراحل پر شدن دانه و پس از آن عملکرد دانه را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد. کوچکی و سرمدنیا (Koocheki and Sarmadnia, 1999) تسریع در گلدهی و کوتاه شدن دوره رشد را به‌عنوان یکی از دلایل کاهش عملکرد گیاهی بیان کرده‌اند. به نظر می‌رسد مصرف متعادل آب طی مراحل مختلف نمو در شاهد منجر به بهبود عملکرد دانه می‌گردد. همچنین بهره‌مندی بیشتر از امکانات محیطی در شاهد با افزایش طول رسیدگی می‌تواند در ارتقاء کمی و کیفی محصول نقش بسزایی داشته باشد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک با تحقیقات موروگان و نیرمالاکومار (Murugan and Nirmalakumar, 2006) در یک راستا بود.

تنش × ژنوتیپ در مورد این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف ارزن معمولی نشان می‌دهد که ژنوتیپ گلباف بیشترین عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی داشته است (جدول ۲). با بررسی صفات اندازه‌گیری شده می‌توان دریافت که کاهش عملکرد دانه به‌ویژه در شرایط تنش رطوبتی تحت تأثیر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه قرار گرفته است.

آزمایش‌های مختلفی کاهش عملکرد دانه ارزن بر اثر تنش خشکی را گزارش کرده‌اند (Bruck et al., 2000). محققان در بررسی معیارها برای شناسایی ارقام ارزن مرواریدی سازگار با شرایط تنش و بدون تنش نشان دادند که عملکرد دانه در محیط‌های تنش‌زا ۸۲۸ تا ۱۱۳۶ کیلوگرم در هکتار و در محیط‌های بدون تنش ۳۱۲۳ تا ۳۹۴۲ کیلوگرم در هکتار بود (Yadav et al., 2001). ماهاالاکشمی و



شکل ۲. اثر متقابل تنش × ژنوتیپ بر روی عملکرد بیولوژیک ارزن

Fig. 2. Interaction of stress*genotype on the biological yield of millet

تنش تقریباً ثابت بوده یا تا حدی افزایش یافته است، نتایج به‌دست‌آمده با نتایج خمسی و همکاران همسو است (Khamssi et al., 2010). عامل اصلی که باعث کاهش فتوسنتز در طی فقدان آب می‌شود، کاهش CO₂ در دسترس است که به‌موجب محدودیت انتشار از طریق روزنه و مزوفیل است (Flexas et al., 2006; Campos et al., 2011). تایز و زایگر (Taiz and Zayger, 2001) بیان کردند احتمالاً در شرایط تنش ملایم با کاهش سطح برگ غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد. هرچه تلفات آب و انقباض

تنش خشکی و اثر متقابل تنش × ژنوتیپ بر رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید تأثیر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). در بین ژنوتیپ‌ها مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مذکور مشاهده گردید (جدول ۴). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در توده گلباف کمتر از ژنوتیپ‌های دیگر به دست آمد. میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (Jiang and Huang, 2001). میزان کلروفیل در شرایط

کاهش و در برخی باعث افزایش محتوی کلروفیل (با توجه به شرایط تنش) می‌گردد. وارد و همکاران (Ward et al., 1992) اشاره نمودند که از دست رفتن سریع رطوبت، می‌تواند موجب بالاتر بودن مقدار کلروفیل شود در صورتی که وقتی سرعت افت رطوبت کند است مقدار کلروفیل (به‌خصوص در دانه) کمتر خواهد بود.

سلول‌ها بیشتر شود غلظت محلول سلول افزایش می‌یابد، همچنین در شروع تنش آب، ممانعت از رشد سلول منجر به کاهش توسعه برگ‌ها می‌شود اما تنش شدید باعث توقف کلروفیل سازی می‌گردد به‌طور کلی تأثیر تنش آب بر کلروفیل بسیار متنوع و متغیر است و بستگی به شرایط محیطی و ژنوتیپی گیاه دارد، در بعضی از گونه‌ها تنش خشکی باعث

جدول ۴. تجزیه واریانس رنگیزه‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های ارزن معمولی تحت تأثیر تنش خشکی

Table 4. Analysis of variance for photosynthetic pigments of common millet genotypes under drought stress.

منابع تغییرات S O.V	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
تکرار	2	7.3 ^{ns}	3.69 [*]	21.3 ^{ns}	0.62 [*]
Replication					
تنش خشکی	2	5.36 ^{ns}	0.58 ^{ns}	9.32 ^{ns}	0.22 ^{ns}
Drought stress					
خطا	4	1.35	0.44	2.96	0.07
Error a					
ژنوتیپ	2	36.9 ^{**}	9.83 ^{**}	83.6 ^{**}	2.15 ^{**}
Genotype					
ژنوتیپ × تنش	4	7.95 ^{ns}	2.14 ^{ns}	16.9 ^{ns}	0.38 ^{ns}
Stress × Genotype					
خطا	12	4.37	0.83	6.79	0.15
Error b					
ضریب تغییرات CV (%)		15.81	19.30	14.50	14.38

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

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

ژنوتیپ گلباف کمترین آسیب را از خسارت نشت یونی در شرایط تنش خشکی دریافت کرد. در خصوص رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز در سطوح مختلف آبیاری اختلافات معنی‌دار نبود اما در بین ژنوتیپ‌ها، توده ژنوتیپ رابر و پیشاهنگ دارای محتوی کلروفیل و کارتنوئید بالاتری نسبت به ژنوتیپ گلباف بودند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق به نظر می‌رسد که توده محلی گلباف در شرایط آب‌وهوایی کرمان، به دلیل مقاومت فیزیولوژیکی بیشتر به شرایط تنش خشکی دارای سازگاری و عملکرد دانه بالاتری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که ژنوتیپ گلباف بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ و عملکرد دانه را داشت. با توجه به اینکه در شرایط تنش غلظت قندها و متابولیت‌های ثانویه افزایش پیدا می‌کند نتایج این پژوهش نیز نشان داد که در شرایط آبیاری ۵۰٪ ظرفیت زراعی میزان قند نسبت به سطح آبیاری ۱۰۰٪ افزایش یافت و در بین ژنوتیپ‌ها نیز، میزان قند در ژنوتیپ‌های محلی کمتر از رقم پیشاهنگ بود که احتمالاً این می‌تواند به خاطر مقاومت بالای ژنوتیپ‌های محلی باشد که کمتر تحت تأثیر تنش قرار گرفتند. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه

Table 5. Correlation coefficients between the studied characteristics

صفات (Traits)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 عملکرد دانه Grain Yield	1								
2 عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.61*	1							
3 محتوای نسبی RWC	0.88**	0.34	1						
4 قند احیا Reduction sugar	-0.79*	-0.13	-0.78*	1					
5 نشت یونی Ion leakage	-0.08	0.17	-0.38	0.29	1				
6 کلروفیل a Chlorophyll a	-0.60	0.14	-0.67*	0.33	0.40	1			
7 کلروفیل b Chlorophyll b	-0.41	0.09	-0.57	0.12	0.54	0.92**	1		
8 کلروفیل کل Total chlorophyll	-0.55	0.12	-0.65*	0.25	0.45	0.99**	0.96**	1	
9 کارتنوئید Carotenoid	-0.52	0.07	-0.65*	0.22	0.49	0.97**	0.98**	0.99**	1

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال 5 و 1 درصد.

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

منابع

- Abdalla, M., El-Khoshiban, N.H., 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*. 3, 2072-2062.
- Bohnert, K.H., Nelson, D.E., Jensen, R.G., 1995. Adaptations to environment stresses. *Plant Cell*. 7, 1099-1111.
- Bruck, H., Payne, W.A., Sattelmacher, B., 2000. Effects of phosphorus and water supply on yield, transpiration, water-use efficiency and carbon isotope discrimination of pearl millet. *Crop Science*. 40, 120-125.
- Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crop Research*, 89, 1-16.
- Campos, M.K.F., De Carvalho, K., De Souza, F.S., 2011. Drought tolerance and antioxidant enzymatic in transgenic 'Swingle' citrumelo plants over-accumulating proline. *Environmental and Experimental Botany*. 72(2), 242-250.
- Emam, Y., 2004. Cereal production, Shiraz University Press, Iran. pp 97-114. [In Persian].
- Flexas, J., Bota, J., Galmes, J., Medrano, H., Ribas-carbo, M., 2006. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum*. 127, 343-352.
- Fischer, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 879-912.
- Hajebi, A., Hydari sharifabad, H. 2005. Effect of drought on growth and nodulation of three clover species. *Journal of Research and development Agriculture and Gardening*. 66, 13-21. [In Persian with English Summary].
- Hauny, B., 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation two season grasses to localized drought stress.

- Enviromental and Experimental Botany. 45, 105-114.
- Hendry, G., 1993. Evolutionary origins and natural functions of fructane. *New Phytologist*. 123, 3-14.
- Hossain, A.B.S., Sears, R.G., Cox, T.S., Paulses, G.M., 1990. Desiccation tolerance and relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*. 30, 622-627.
- Gusegnova, I.M., Suleymanov, S., Aliyev, J.A., 2006. Protein composition and native state of pigments of thylakoid membrane of Wheat genotypes differently tolerant to water stress. *Biochemistry*. 71, 223-228.
- Jiang, Y., Huang, N., 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. *Crop Science*. 41, 436-442.
- Kardavani, P., 1999. Arid Areas, Tehran University Press, Iran. [In Persian].
- Kaya, C., Kiank, H., Higges, D., Satali, K., 2002. Supplementary calcium enhances plant growth fruit in strawberry cultivars growth at high (NaCl) salinity. *Journal of Scientia Horticulture*. 93, 65-74.
- Keshavars, L., Farahbakhsh, H., Golkar, P., 2012. The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphological traits of pear millet (*Pennisetum glaucum*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 3(1), 148-154
- Khamssi, N.N., Ghassem Golezani, K., 2010. Effects of water deficit stress on field performance of chickpea cultivars. *African Journal of Agriculture Research*. 15, 1973-1977.
- Koocheki, A., Sarmadnia, G., 1999. Physiology of crop plants. *Jahad-e- Daneshghahi of Mashhad*. [In Persian].
- Kriedemann, P.E., 1980. Stomatal and photosynthetic limitations to leaf growth. *Plant Physiology*. 13, 15-31.
- Kusaka, M., Lalusin, A.G., Fujimura, T., 2005. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* Leeke) cultivars with different root structures and osmoregulation under drought stress. *Plant Science*. 168, 1-14.
- Lawlor, D.W., 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. Metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*. 89, 871- 885.
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 148, 350-382.
- Mahalakshmi, V., Bidinger, F.R., 1985. Flowering response of pearl millet to water stress during panicle development. *Annals of Applied Biology*. 106, 571-578.
- Moosavi, S.G.H., 2014. Effect of water stress and N fertilizer levels on yield and water use efficiency of forage millet. *Annual Research and Review in Biology*. 4(14), 2318-2326.
- Murugan, R., Nirmalakumari, A., 2006. Generic divergence in foxtail millet [*Setaria italica* (L.) Beauv]. *The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 66(4), 339-340.
- Pandey, R.K., Maranville, J.W., Chetima, M.M., 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in a sahelian environment. *Shoot growth. Agricultural Water Management*. 46, 15-27.
- Pooryousef Myandoab, M., Sharifi Topragh Ghaleh, S., Hosseini Mansoub, N., 2011. Study on yield and some physiological criteria of pearl millet under effect of drought stress and nitrogen fertilizer. *Journal of Applied Environmental and Biological Science*. 12, 569-571.
- Premachandra, G.S., Saneoka, H., Fujita, K., Ogata, S., 1992. Seasonal changes in leaf water relations and cell membrane stability in Orchard grass. *Journal of Agricultural Science* 121: 169-175.
- Quarrie, S.A., Stojanovic, J., Pekic, S., 1999. Improving drought tolerance in small-grain cereals: A case study, progress and prospects. *Plant Growth Regulation*. 29, 1-21.
- Richards, R.A., 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation* 20: 157-166.
- Sairam, R.K., Deshmukh, P.S., Saxna, D.C., 1998. Role of antioxidant systems in Wheat genotype tolerance to water stress. *Biologia Plantarum*. 41, 387-394.
- Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M., Gholami, M., 2010. Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. *American Journal of Agricultural Economics*. 1, 1-6.
- Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M.,

- Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., Ruiz, J.M., 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Science*. 178, 30-40.
- Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B., Morhinweg, D.W., 1988. Water relation in winter wheat as drought resistance indicator. *Crop Science*. 28, 526-531.
- Siddique, M.R.B., hamid, A., Islam, M.S., 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 41, 35-39
- Somogy, M., 1952. Notes on sugar determination. *Journal Biological Chemistry* 195, 19-23.
- Subbaro, G., Nam, N.H., Chauhan, Y.S., Johansen, C., 2000. Osmotic adjustment, water relation and carbohydrate remobilization in pigeon pea under water deficits. *Journal of Plant Physiology*. 157, 651-659.
- Taiz, A., Zayger, A., 2001. *Plant Physiology*. In: Kafi, M., Zand, E., Kamkar, B., Sharifi, H., Goldani, M., (Eds.) Iranian Academic Center for Education, Culture and Research, Mashhad. pp 220. [In Persian].
- Ward, K., Scarth, R., Daun, J., Mcvetty, P.B.E., 1992. Effects of genotype and environment on seed chlorophyll degradation during ripening in four cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Canadian Journal of Plant Science*. 72, 643-649.
- Wheatherley, P.E., 1950. Studies in water relations of cotton plants. The field measurement of water deficit in leaves. *New phytologist*. 49, 81-87.
- Yadav, O.P., Bhatnagar, S.K., 2001. Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non- stress conditions. *Field Crops Research*. 70, 201-208.