مجله به‌نژادی نهال و بذر
جلد ۱-۲۶، شماره ۱، سال ۱۳۸۹

ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) با استفاده از خصوصیات فیزیولوژیکی و شاخص‌های تحمل به خشکی

Evaluation of Drought Tolerance of Barley (*Hordeum vulgare L.*) Genotypes Using Physiological Characteristics and Drought Tolerance Indices

ایمان ویسی‌مال‌امیری[۱]، رضا حق‌پرست[۲]، مصطفی آقائی سربرزه[۳]، عزت‌الله فرشادفر[۴] و رحمان رجبی[۵]

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه
۲ و ۵- به ترتیب استادیار و کارشناس ارشد، معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود)، کرمانشاه
۳- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج
۴- استاد، دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۰/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۹/۲۶

چکیده

ویسی‌مال‌امیری، ا.، حق‌پرست، ر.، آقائی سربرزه، م.، فرشادفر، ع.، و رجبی، ر. ۱۳۸۹. ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) با استفاده از خصوصیات فیزیولوژیکی و شاخص‌های تحمل به خشکی. **مجله به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۶:** ۶۰ - ۴۳.

به منظور بررسی واکنش ژنوتیپ‌های جو به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و مراحل رویشی و زایشی، بیست ژنوتیپ و دو رقم زراعی جو در شرایط کنترل‌شده و در مزرعه در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش رطوبتی مورد مقایسه قرار گرفتند. خصوصیات فیزیولوژیک، شاخص‌های مقاومت به خشکی و صفات مربوط به جوانه‌زنی ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در شرایط کنترل‌شده با کاهش پتانسیل آب (از سطح شاهد تا ۰/۱ مگاپاسکال) کلیه صفات مربوط به جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش یافتند. بیشترین مقدار شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) متعلق به دو ژنوتیپ Lingnee131/3/4679/105//Yea168.4 و CWB117-77-5-9-5 و کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ‌های 168.4 Lignee 131/ArabiAbiad و Antares / ky //7– 9 –77– CWB117 – 1294 – 63 بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین GSI و درصد جوانه‌زنی مشاهده شد. در مزرعه نیز اعمال تنش موجب کاهش معنی‌داری در سرعت رشد اولیه، محتوی آب نسبی برگ و آب نگهداری شده در برگ‌ها شد. براساس شاخص تحمل تنش (STI)، ژنوتیپ‌های Grivita/CWB117-5-9-5 و Wieselburger/Ahor 1303- 61//Sis برتر بودند. شاخص تحمل خشکی همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش، سرعت رشد اولیه و درصد جوانه‌زنی در شرایط تنش داشت، همبستگی آن با شاخص تنش جوانه‌زنی در سطح ۵٪ نیز معنی‌دار و مثبت بود. با توجه به همبستگی بالای بین STI و عملکرد در هر دو شرایط، این شاخص به عنوان بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: جو، تحمل خشکی، شاخص تنش جوانه‌زنی، خصوصیات فیزیولوژیک، شاخص تحمل خشکی.

نویسنده مسئول: wayssimallamiri@yahoo.com

مقدمه

تنش‌های محیطی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد و تولید گیاهان زراعی به شمار می‌روند و مقابله و یا تخفیف اثر تنش‌ها به عنوان راهکاری مفید در جهت افزایش عملکرد این محصولات مدنظر قرار گرفته است. تنش خشکی نیز از عمده‌ترین چالش‌ها برای تولید موفق محصولات زراعی است و از این نظر اصلاح ارقام پیشرفته و مقاوم برای مناطق خشک و نیمه‌خشک امری ضروری به نظر می‌رسد (Golparvar *et al.*, 2003). مقاومت گیاهان به خشکی نتیجه بسیاری از خصوصیات ظاهری و فیزیولوژیکی است و تنها معیار حقیقی مقاومت به خشکی قابلیت تحمل خشکی بدون وارد شدن صدمه به گیاه است (Koocheki, 1998). بلوم (Blum, 1988) معتقد است آن دسته از صفات فیزیولوژیکی که با مقاومت به خشکی مرتبط بوده و از این طریق می‌توانند سبب افزایش عملکرد شوند باید اصلاح و بهینه شوند. براین اساس شاخص‌های متفاوتی ارائه شده است که می‌توان از آن‌ها درتعیین ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی به خصوص در نسل‌های پیشرفته اصلاحی استفاده کرد.

یکی از حساس‌ترین مراحل زندگی هر محصول زمان جوانه‌زنی و سبز شدن است، زیرا در این مرحله بذر در معرض شرایط نامساعد محیطی قرار می‌گیرد و استقرار بوته در مزرعه دچار مشکل می‌شود (Albuguerque and Carvalho, 2003). به دلیل غیریکنواختی محیط خاک و عدم امکان کنترل عوامل محیطی در مزرعه، تحقیقات آزمایشگاهی اهمیت ویژه‌ای برای ارزیابی تحمل گیاهان به تنش خشکی به خصوص در مرحله جوانه‌زنی دارد (El –Sharkawi and Springuel, 1977). با توجه به این‌که دراکثر موارد بافت‌های گیاهی واکنش مناسبی در محیط‌های مصنوعی پتانسیل آب (نظیر نمک و شکر) نشان نمی‌دهند و محیط‌های مذکور با دخالت در تغذیه بافت‌ها، پتانسیل اسمزی را تعدیل می‌کنند، توجه به سمت موادی با جرم مولکولی بالا که نقشی در تغذیه بافت‌ها نداشته و جذب نمی‌شوند جلب شده است. در میان مواد با جرم مولکولی بالا پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) به دلیل ایجاد محلولی دارای شرایط طبیعی، بیشترین کاربرد را پیدا کرده است (Emmerich and Hardegree, 1991).

در مناطق خشک رشد سریع بوته (یا گیاه) در مراحل اولیه رشد، صفت مطلوبی است. در این مناطق تولید زیست توده زیاد در اوایل رشد، که آب به اندازه کافی در دسترس گیاه است بسیار مهم است. علت عمده کم محصولی در بسیاری از ارقام زودرس، رشد ضعیف در مراحل اولیه استقرار گیاه است (Whan *et al.*, 1991). محتوی آب نسبی برگ (Relative Water Content: RWC) به عنوان یک عامل مهم در بقاء گیاه به شرایط خشک

امری اجتناب‌ناپذیر است (Mohammadi, 1999). در آزمایشگاه می‌توان از میزان آب نسبی برگ‌ها به عنوان یک شاخص در تعیین میزان تنش و پژمردگی گیاه استفاده کرد (Ritchie and Henry, 1990). لاولور (Lawlor, 2002) مشاهده کرد که با کاهش محتوی نسبی آب برگ میزان هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز و فرآوری CO_2 کاهش پیدا می‌کند. ریتچی و هنری (Ritchie and Henry, 1990) گزارش کردند که محتوای آب نسبی برگ (RWC) هنگامی کاهش می‌یابد که محتوای آب خاک حدود ۶۰٪ کاهش نشان دهد. در حالی‌که هدایت روزانه‌ای دو روز پس از اعمال تنش و فتوسنتز چهار روز پس از اعمال تنش کاهش معنی‌داری را نشان داد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین آب نگهداری شده در برگ‌های جدا شده (Relative Water Loss: RWL) و عملکرد دانه در شرایط تنش مشاهده شده است ولی نتایج به دست آمده از مطالعه این صفت به شرایط محیطی و مواد ژنتیکی مورد بررسی بستگی دارد و بر این اساس نتایج این مطالعات ممکن است متفاوت باشد. همبستگی مثبت این صفت با عملکرد نمی‌تواند برای هر مطالعه‌ای مورد انتظار باشد، چون در شرایط تنش خشکی، صفات و عوامل بسیاری بر عملکرد دخالت دارند، ولی با وجود این، صفت مذکور به عنوان یکی از شاخص‌های گزینش مقاومت به خشکی مورد قبول است. نگهداری بیشتر آب در برگ واکنش مثبتی به تنش خشکی است (Blum, 1988).

چندین معیار برای گزینش ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد آن‌ها در شرایط تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است، فیشر و مورر (Fisher and Maurer, 1978) شاخص‌های تحمل (Tolerance Index: TOL) و حساسیت به خشکی (Stress Susceptibility Index: SSI) را برای ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها ارائه دادند. شاخص تحمل (TOL) عبارت است از اختلاف عملکرد ارقام در دو شرایط آبیاری و تنش. ارقامی که مقدار TOL کمتری دارند، تفاوت عملکرد دانه آن‌ها در آزمایش‌های آبی و دیم کمتر است. مقادیر بالای شاخص TOL نشانه حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است، بنابراین مقادیر کوچک شاخص TOL مطلوب است. شاخص حساسیت به خشکی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SSI= [1- (Y_S / Y_P)] / SI$$

$$SI= [1- (\bar{Y}_S / \bar{Y}_P)]$$

در این رابطه Y_S و Y_P به ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش است، $\bar{Y}_S$ میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و $\bar{Y}_P$ میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش است. مقادیر کوچک این شاخص نشانه تحمل بیشتر نسبت به تنش است. SI شدت خشکی (Stress Intensity: SI) و SSI میزان حساسیت به خشکی هر ژنوتیپ را مشخص

می‌کند. ژنوتیپ‌هایی که توسط SSI گزینش می‌شوند، عملکرد بالقوه کمی دارند، اما در شرایط تنش عملکرد آن‌ها زیاد است. مقادیر کوچک این شاخص نشانه تحمل بیشتر نسبت به تنش است. در اکثر آزمایش‌های مقایسه عملکرد، بین TOL و SSI همبستگی معنی‌داری گزارش شده است (Fisher and Maurer, 1978). فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به خشکی (Stress Tolerance Index: STI) را پیشنهاد کرد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$STI = (Y_P . Y_S)/(\bar{Y}^2_P)$$

در این رابطه، Y_S و Y_P به ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش و $\bar{Y}^2_P$ میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش است. شاخص STI ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که در هر دو شرایط عملکرد بالایی دارند. مقادیر زیاد STI نشانه تحمل زیاد تنش و عملکرد بالقوه زیاد است. با توجه به این‌که بیش از نیمی از اراضی قابل کشت در ایران در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد و از آن‌جا که جو بعد از گندم بیشترین سطح زیرکشت را به خود اختصاص داده و از دیرباز در الگوی تغذیه دام جایگاه ویژه داشته و به صورت دانه، علوفه سبز و اخیراً سیلو مورد استفاده قرار می‌گیرد، شناسایی و گزینش ارقام برتر از نظر تحمل به خشکی در مرحله جوانه‌زنی و سایر مراحل رشد از اهمیت به سزایی برخوردار است. این تحقیق به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های جو به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و مراحل رویشی و زایشی و گزینش ژنوتیپ‌های برتر بر اساس برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و شاخص‌های تحمل به خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در دو شرایط آزمایشگاه و مزرعه انجام شد. در این تحقیق به منظور ارزیابی تحمل به خشکی از ۲۲ ژنوتیپ و رقم جو استفاده شد (اسامی ژنوتیپ‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است). ارقام مورد استفاده شامل رقم محلی و رقم سرارود یک بودند. آزمایش جوانه‌زنی در آزمایشگاه فیزیولوژی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود، کرمانشاه در سال ۸۴- ۱۳۸۳، جهت تعیین شاخص استرس جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و تعیین بهترین ژنوتیپ مقاوم به خشکی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی تحت شرایط تنش و بدون تنش و در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول ژنوتیپ‌ها و فاکتور دوم تنش بود. در این آزمایش برای ضدعفونی بذرها، ابتدا ۱۲۰ بذر از هر ژنوتیپ (برای هر تکرار ۲۰ بذر) در هیپوکلریت سدیم ۲/۵٪ و سپس در قارچکش مانکوزب به نسبت یک در هزار به مدت ۳۰ ثانیه قرار داده و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. بذرها ضدعفونی شده روی کاغذ صافی در داخل تشتک پتری‌هایی که قبلاً در

دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت به منظور استریل کردن در آون قرار گرفته بودند، قرار داده شدند. در آزمایش تنش از محلول پلی‌اتیلن گلیکول با پتانسیل اسمزی ۰/۱ MPa (۱۰par) و در آزمایش بدون تنش از آب مقطر استفاده شد. برای هر تشتک پتری دیش ۱۰ میلی‌لیتر محلول در نظر گرفته شد، سپس تشتک‌ها در داخل اتاقک رشد در دمای ۲۰/ ۱۵ ^{o}C (شب/ روز) و رطوبت ۷۰٪ قرار داده شدند. در این آزمایش صفات زیر مورد بررسی قرار گرفت:

۱- سرعت جوانه‌زنی (Promptness Index: PI): براساس تعداد بذر جوانه‌زده در طی ده روز مقدار شاخص سرعت جوانه‌زنی را به طور جداگانه برای هر دو آزمایش طبق فرمول زیر محاسبه شد:

$PI= nd_2 (1) + nd_4 (0.8) + nd_6 (0.6) + nd_8 (0.4) + nd_{10} (0.2)$

در این فرمول، nd_2، nd_4، nd_6، nd_8 و nd_{10} به ترتیب درصد بذرهای جوانه زده در روزهای دوم، چهارم، ششم، هشتم و دهم را نشان می‌دهند (Rajabi and Poostini, 2004).

۲- شاخص تنش جوانه‌زنی (Germination Stress Index: GSI): این شاخص از طریق محاسبه شاخص سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش (PI_s) و نیز شرایط بدون تنش (PI_c) ، براساس روش بوسلاما و اسکاپائوگ (Bouslama and Schapaugh, 1984) محاسبه شد:

$GSI(\%) = (100) (PI_s) / (PI_c)$

۳- درصد جوانه‌زنی (Germination Percent: GP): برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از فرمول زیر استفاده شد (Agrawai, 1991).

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \frac{\text{تعداد بذرهای جوانه زده تا روز iام}}{\text{تعداد کل بذر}} \times ۱۰۰$$

از صفات دیگر مورد بررسی، طول ریشه‌چه، طول کلئوپتیل و تعداد ریشه بود، که در انتهای آزمایش (روز دهم؛ ۱۰ ,... ,۱ =i)، ۵ گیاهچه به صورت تصادفی از داخل هر تشتک پتری انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری و ثبت شد.

آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود اجرا شد. اقلیم این ایستگاه نیمه خشک سرد تا معتدل و بافت خاک اراضی ایستگاه، سیلتی رسی لوم است. ژنوتیپ‌های موجود در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش (دیم) به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. در این بررسی هر ژنوتیپ با تراکم کشت ۴۰۰ بذر در متر مربع، در کرت هایی با شش خط سه متری با فواصل ۲۰ سانتی‌متر کاشته شد. در طول دوره رشد تا رسیدن کامل صفات مهم زراعی، فیزیولوژیکی و شاخص‌های تحمل به خشکی به شرح زیر اندازه‌گیری شد:

سرعت رشد اولیه (Early Growth Rate: EGR)

به منظور اندازه‌گیری این صفت در اوایل مرحله ساقه رفتن ارتفاع بوته هر ژنوتیپ و رقم اندازه‌گیری شد و دو هفته بعد این اندازه‌گیری تکرار شد. اختلاف ارتفاع در این مقطع زمانی نمودی از سرعت رشد اولیه است و به این ترتیب ژنوتیپ‌ها و ارقام از نظر سرعت رشد اولیه غربال می‌شوند. برای محاسبه سرعت رشد اولیه از فرمول زیر استفاده شد:

$$EGR = (V_2-V_1)/(t_2-t_1)$$

در این فرمول، V_1 و V_2 به ترتیب اندازه ارتفاع بوته در نوبت‌های اول و دوم، t_1 و t_2 زمان اندازه‌گیری ارتفاع بوته است (Wayssi Mallamiri, 2007).

محتوی آب نسبی برگ (RWC)

به منظور اندازه‌گیری این صفت دیسک‌های برگی تهیه و وزن تر آن‌ها با ترازوی دقیق دیجیتالی تعیین شد. این نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در شدت نور کم در آب مقطر قرار داده شدند. سپس وزن نمونه‌های برگی در حالت تورژسانس تعیین شد، نهایتاً نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و وزن خشک آن‌ها تعیین شد. سپس با استفاده از فرمول زیر میزان آب نسبی برگ برحسب درصد محاسبه شد:

$$R.W.C\ (\%) = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100$$

در این فرمول، FW وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت اشباع است (Ritchie *et al.*, 1990؛ Siddique *et al.*, 2000).

آب نگهداری شده در برگ های جدا شده (RWL)

برای اندازه‌گیری این صفت، از هر ژنوتیپ در هر تکرار پنج نمونه برگی در مرحله ساقه رفتن جدا و بلافاصله وزن تر آن‌ها به وسیله ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها به مدت سه ساعت در شرایط دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و پس از طی این زمان مجدداً توزین شدند. از طریق رابطه زیر درصد آب نگهداری شده در این برگ‌ها محاسبه شد (Haghparast, 1996).

$$RWL = 1 - \frac{\text{وزن برگ‌ها بعد از ۳ ساعت} - \text{وزن برگ‌های تازه}}{\text{وزن برگ‌های تازه}} \times 100$$

پس از رسیدگی کامل، از سه خط میانی هر کرت نیم متر طولی انتخاب و میانگین وزن دانه آن تعیین شد و سپس با رعایت حاشیه، عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. با استفاده از عملکرد دانه هر ژنوتیپ در محیط تنش (Y_S) و محیط بدون تنش (Y_P) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش ($\bar{Y}_S$) و بدون تنش ($\bar{Y}_P$) شاخص‌های مقاومت به خشکی محاسبه شد.

شاخص تحمل خشکی:

$$STI= (Y_P)(Y_S)/(\bar{Y}^2_P)$$

شاخص حساسیت به خشکی:

$$SSI=[1-(Y_S / Y_P)] / SI$$

شدت تنش: $SI=[1-(\bar{Y}_S / \bar{Y}_P)]$

شاخص تحمل: $TOL= (Y_P - Y_S)$

کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌فزارهای آماری SPSS و STAT – C انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس(جدول ۱) و مقایسه میانگین(جدول ۲) صفات مورد بررسی نشان داد که بین ارقام و ژنوتیپ‌ها از نظر سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه، طول کلئوپتیل و تعداد ریشه در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد. صفت قدرت رویشی گیاهچه، تنها برای سطوح خشکی در سطح یک درصد معنی‌دار بود و بین ارقام و اثر متقابل ژنوتیپ وخشکی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. از مقایسه میانگین شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی در دو سطح شاهد و تنش چنین استنباط می‌شود که تنش خشکی به طور معنی‌داری این شاخص‌ها را تحت تأثیر قرار داد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که شاخص‌های طول ریشه‌چه و تعداد ریشه نسبت به دیگر شاخص‌ها کمتر تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفتند. این یافته‌ها با نتایج فالری (Falleri,1994) مطابقت دارد.

نتایج مقایسه میانگین حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال و تنش خشکی ایجاد شده توسط PEG برای صفات مربوط به جوانه‌زنی بود (جدول ۲). ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر سرعت جوانه‌زنی در دو سطح شاهد و تنش خشکی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. ژنوتیپ‌های شماره ۹ (4679/105//Yea) و ۱۷ (CWB 117–77–9–7//Antares / ky 63 – 1294) در شرایط شاهد و ۱ و ۹ در شرایط تنش بیشترین سرعت جوانه‌زنی، و رقم شماره ۲۱ کمترین سرعت جوانه‌زنی را در هر دو شرایط نشان دادند (جدول۲). میانگین کل شاخص سرعت جوانه‌زنی از ۴۹/۲۷ در شرایط شاهد به ۸/۹۳ در شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد. از نظر درصد جوانه‌زنی در شرایط شاهد و تنش خشکی بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). میانگین کل این شاخص از ۹۷/۱۹ در شرایط شاهد به ۳۱/۹۷ در شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد. در شرایط شاهد اکثر ژنوتیپ‌ها از طول ریشه‌چه نسبتاً مناسبی برخوردار بودند و با کاهش پتانسیل آب از سطح شاهد به ۰/۱ مگاپاسکال طول ریشه‌چه کلیه ژنوتیپ‌ها به طور معنی‌داری روند کاهشی نشان داد (جدول۲). میانگین کل طول ریشه‌چه از ۲۱/۰۸ در شرایط شاهد به ۵/۸۶ در شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد. از نظر طول کلئوپتیل نیز ژنوتیپ‌ها در سطح شاهد و تنش با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول۲). میانگین کل آن از ۸/۴۲ در شرایط

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف در آزمایش جوانه‌زنی در شرایط شاهد و تنش خشکی ایجاد شده توسط پلی‌اتیلن گلیکول (PEG) در آزمایشگاه

Table 1. Analysis of variance for different traits in germination test under controlled and stressed conditions made by poly ethylene glycole (PEG) in laboratory

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی df.	میانگین مربعات MS				
			سرعت جوانه‌زنی PI	درصد جوانه‌زنی GP	طول ریشه‌چه RL	طول ساقه‌چه CL	تعداد ریشه NR
Replication	تکرار	2	9.538^{ns}	18.371^{ns}	0.88^{ns}	0.114^{ns}	0.553^{ns}
Genotyp (G)	ژنوتیپ	21	71.118**	482.837**	5.415^{ns}	0.627^{ns}	2.281**
Water Stress (WS)	تنش خشکی	1	53691.734**	140401.705**	7647.289**	75.758**	140.121**
WS×G	تنش خشکی×ژنوتیپ	21	74.195**	416.387**	4.419^{ns}	0.576^{ns}	1.105^{ns}
Error	خطا	86	10.485	68.953	3.104	0.429	0.592
C.V.%	ضریب تغییرات		11.130	12.860	13.080	8.540	18.070

ns , * و ** : به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, * and ** : Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

PI: Promptness Index; GP: Germination Percent; RL: Radicle length; CL: Coleoptil length; NR: Number of Root.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مختلف در آزمایش جوانه زنی در شرایط شاهد و تنش خشکی ایجاد شده توسط پلی اتیلن گلیکول (PEG) در آزمایشگاه

Table 2. Mean comparison of different traits in germination test under controlled (c) and stressed (s) conditions made by Poly Ethylen Glycole (PEG) in laboratory

شماره ژنوتیپ Genotype No.	سرعت جوانه‌زنی PI(%)		درصدجوانه‌زنی GP(%)		طول ریشه‌چه RL (cm)		طول کلئوپتیل CL (cm)		تعداد ریشه NR		شاخص تنش جوانه‌زنی GSI
	شاهد (c)	تنش (s)	شاهد (c)	تنش (s)	شاهد (c)	تنش (s)	شاهد (c)	تنش (s)	شاهد (c)	تنش (s)	
1	45.73d	19.60a	96.67ab	81.67 a	21.06abcd	6.59a	8.52abcde	7.76ab	6.00a	4.66ab	43.33a
2	45.40d	11.33bc	98.33a	40.00bcdef	19.65bcd	6.42a	8.10defg	7.40abc	5.33abc	4.00abc	25.67bc
3	49.40cd	9.33bcde	98.33a	48.33bc	20.89abcd	5.59ab	8.51abcde	7.19abc	4.33d	2.00cd	19.00bcdef
4	43.20d	11.78b	100.00a	56.67b	20.66abcd	5.68ab	8.76ab	7.00abc	5.00bcd	3.33abcd	27.33b
5	43.47d	9.73bcde	100.00a	43.33bcd	20.83abcd	5.96ab	8.55abcd	7.09abc	4.66cd	2.66bcd	22.33bcd
6	46.80d	5.86ef	98.33a	16.67ghi	47.22abc	5.83ab	8.02fg	6.75abc	5.00bcd	2.33cd	13.00def
7	50.67bcd	10.20bcd	98.33ab	35.00cdefgh	23.66abc	6.26ab	8.52abcd	7.92a	5.66ab	3.66abcd	21.33bcde
8	47.07d	8.20bcdef	95.00ab	31.67cdefgh	24.03ab	6.45a	8.14defg	7.12abc	5.66ab	3.00abcd	17.67bcdef
9	58.33a	12.20b	96.67ab	46.67bcd	21.45abcd	6.57a	8.36bcdefg	7.70ab	4.66cd	3.66abcd	21.00bcde
10	55.93abc	6.66def	96.67ab	13.33hi	19.86bcd	5.38ab	8.45abcdef	6.68abc	6.00a	5.00a	12.00ef
11	56.40abc	6.80def	96.67ab	13.33hi	24.93a	5.33ab	8.70abc	6.68abc	5.00bcd	4.00abc	12.00ef
12	49.40abc	6.26def	96.67ab	20.00fghi	21.47abcd	5.33ab	8.38bcdefg	6.24abc	5.00bcd	1.66d	12.67def
13	56.07abc	10.40bcd	100.00a	38.33bcdefg	22.29abc	6.16ab	8.78ab	7.62abc	4.33d	3.33abcd	18.33bcdef
14	44.80d	9.66bcde	100.00a	41.67bcde	19.81bcd	6.15ab	8.58abcd	7.27abc	6.00a	3.33abcd	21.67bcde
15	45.27d	7.46def	90.00b	21.67efghi	18.86cd	5.70ab	8.42abcdefg	6.89abc	5.00bcd	4.00abc	16.67cdef
16	45.40d	7.00def	96.67ab	20.00fghi	17.42d	5.33ab	7.96g	6.39abc	5.00bcd	3.33abcd	15.33def
17	57.93ab	5.80ef	98.33a	18.33fghi	21.41abcd	5.36ab	8.88a	6.02bc	5.66ab	2.00cd	10.00f
18	44.93d	8.20bcdef	98.33a	26.67defghi	21.27abcd	5.33ab	8.54abcd	6.40abc	5.33abc	3.00abcd	18.33bcdef
19	57.80ab	8.60bcdef	98.33a	35.00cdefgh	20.09bcd	6.26ab	8.04efg	6.92abc	6.00a	3.66abcd	15.00def
20	56.87ab	8.86bcdef	98.33a	26.67defghi	20.97abcd	6.53a	8.38bcdefg	7.00abc	6.00a	4.00abc	15.67def
21	35.07e	5.13f	96.67ab	8.33i	19.03cd	5.00b	8.47abcdef	5.89c	5.33abc	1.66d	14.67def
22	48.00d	7.33cdef	95.00ab	20.00fghi	21.72abcd	5.30ab	8.27cdefg	6.07bc	5.33abc	2.66bcd	15.00def
Mean	49.27	8.92	97.42	31.97	22.20	5.84	8.42	6.90	5.28	3.49	18.54

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different.

PI: Promptness Index; GP: Germination Percent; RL: Radicle Length; CL: Coleoptil Length; NR: Number of Root; GSI: Germination Stress Index

برای شجره ژنوتیپ‌ها به جدول ۴ مراجعه شود.

For pedigree of genotypes see Table 4.

شاهد به ۶/۹۱ در شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد. ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر تعداد ریشه در دو سطح شاهد و تنش خشکی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۲). میانگین کل شاخص مذکور از ۵/۲۸ در شرایط شاهد به ۳/۲۲ در شرایط تنش خشکی کاهش پیدا کرد. از نظر شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) بین ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. به طوری که ژنوتیپ‌های شماره ۱ و ۴ بیشترین مقدار و ژنوتیپ‌های ۱۰ و ۱۷ کمترین مقدار را داشتند (جدول۲). ژنوتیپ‌های شماره ۱ (Lingnee131/3/4679/105//Yea168.4) و ۴ (CWB117-77-5-9-5) از نظر دیگر شاخص‌های جوانه‌زنی نیز در شرایط تنش بهتر بودند و می‌توان گفت که مقاومت بیشتری نسبت به تنش خشکی داشتند. بوسلاما و اسکاپائوگ (Bouslama and Schapaugh, 1984) نیز با بررسی جوانه‌زنی بیست رقم سویا با پلی‌اتیلن گلیکول، شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) را به عنوان یکی از معیارهای ارزیابی تحمل خشکی است معرفی کردند و نتیجه گرفتند ارقام دارای GSI بالا در شرایط تنش از شانس بیشتری برای سبز شدن برخوردارند. بر اساس گزارش بوسلاما و اسکاپائوگ (۱۹۸۴) لاین‌هایی که مقدار تنش جوانه‌زنی (GSI) بالاتری دارند، مقاومت به خشکی بالاتری خواهند داشت.

آزمایش محتوی نسبی آب برگ (RWC)

در این تحقیق درصد محتوی نسبی آب برگ از ۸۶/۱۵٪ در شرایط آبیاری نرمال به ۵۵/۹۱٪ در شرایط تنش کاهش پیدا کرد، به این معنی که خشکی باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ شده است. ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر میزان RWC در شرایط آبیاری و تنش اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۳). نتایج این تحقیق با یافته‌های اسلوان و همکاران (Sloane *et al.*, 1990) و اونیایار و همکاران (Unyayar *et al.*, 2004) مطابقت دارد. اسلوان و همکاران اظهار داشتند که در شرایط تنش خشکی پتانسیل آب برگ (Ψ_w) و مقدار آب نسبی برگ (RWC) کاهش پیدا می‌کند و فرآیندهائی نظیر فتوسنتز، توسعه برگ و نیز تراکم و اندازه روزنه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در این تحقیق بیشترین مقدار RWC متعلق به ژنوتیپ شماره ۱۳ بود که این ژنوتیپ از نظر STI نیز جزء ژنوتیپ‌های برتر بود. مطالعات سایرام و سریو استاوا (Sairam and Srivastava, 2002) روی دو رقم مقاوم و حساس گندم نشان داد که کاهش مقدار نسبی آب برگ در ارقام مقاوم کمتر بوده است.

آزمایش آب نگهداری شده در برگ‌های جدا شده (RWL)

ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر آب نگهداری شده در برگ‌های جدا شده در شرایط آبیاری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند که ژنوتیپ‌های شماره ۱۲ و ۲۰ بیشترین مقدار و

جدول ۳ – مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های جو از نظر خصوصیات فیزیولوژیک مختلف در شرایط آبیاری نرمال و تنش

Table 3. Mean comparison of barley genotypes for different physiologic characteristic in normal irrigation (i) and stress conditions (s)

شماره ژنوتیپ Genotype No.	محتوی آب نسبی برگ RWC		آب نگهداری شده در برگ‌های جدا شده RWL		سرعت رشد اولیه EGR	
	آبیاری (i)	تنش (s)	آبیاری (i)	تنش (s)	آبیاری (i)	تنش (s)
1	83.18b	49.02cd	88.67bc	74.67a	49.00ab	32.33g
2	78.54ab	60.94abcd	89.33ab	79.33a	48.00ab	34.53efg
3	86.63ab	53.73abcd	85.67defg	77.67a	45.07abc	35.53defg
4	85.88ab	55.48abcd	89.00bc	78.67a	43.87bcd	34.13efg
5	89.07ab	59.25abcd	87.00bcdef	80.67a	46.87ab	36.93bcdefg
6	85.27ab	51.93abcd	89.00bc	74.33a	43.67bcd	38.33bcdefg
7	87.50ab	61.19abcd	89.33ab	84.00a	43.53bcd	39.80abcdef
8	87.97ab	51.04abcd	83.33ghi	80.00a	38.67def	40.27abcde
9	84.51ab	51.35abcd	89.00bc	77.33a	45.33abc	33.40fg
10	85.05ab	61.38abc	87.33bcde	83.00a	45.40abc	37.93bcdefg
11	86.63ab	50.64bcd	86.67bcdef	79.00a	47.07ab	39.73abcdef
12	85.47ab	67.42a	89.33ab	82.33a	39.73cde	39.53abcdef
13	90.31a	51.32abcd	88.00bcde	79.33a	50.60a	40.93abcde
14	86.13ab	59.44abcd	81.67i	83.67a	46.80ab	41.87abcd
15	86.91ab	58.04abcd	85.33efg	77.33a	36.73ef	36.33cdefg
16	83.44b	54.82abcd	82.67hi	84.00a	38.80def	39.47abcdef
17	86.97ab	44.95d	88.33bcd	80.00a	36.07efg	40.53abcde
18	84.57ab	54.38abcd	85.67defg	77.67a	37.00ef	41.80abcd
19	86.27ab	48.90cd	84.33fgh	74.67a	33.53fgh	43.73ab
20	85.72ab	66.78ab	91.67a	84.67a	28.60hi	43.13abc
21	85.94ab	52.95abcd	86.33cdef	78.3	31.20ghi	45.40a
22	84.43ab	59.23abcd	88.33bcd	79.67a	27.73i	40.93abcde
Mean	85.74	55.64	87.09	79.55	41.05	38.93

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different.

PI: Promptness Index; GP: Germination Percent; RL: Radicle Length; CL: Coleoptil Length; NR: Number of Root; GSI: Germination Stress Index

For pedigree of genotypes see Table 4. برای شجره ژنوتیپ‌ها به جدول ۴ مراجعه شود.

ژنوتیپ‌های شماره ۱۴ و ۱۶ کمترین مقدار را داشتند (جدول ۳). در شرایط تنش ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و تنها از نظر مقدار عددی، ژنوتیپ‌های شماره ۱۶ و ۲۰ بیشترین مقدار و ژنوتیپ‌های شماره ۶ و ۱۹ کمترین مقدار را نشان دادند (جدول ۳). در این بررسی درصد آب نگهداری شده در برگ‌های جدا شده در شرایط آبیاری ۸۷/۰۹ و در شرایط تنش۷۹/۵۶ بود. نتایج این بررسی با یافته‌های ددیو (Dedio, 1975) مطابقت دارد. نامبرده دریافت که بین ارقام گندم نان و دوروم از نظر آب نگهداری شده در برگ‌های جدا شده اختلاف وجود دارد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین این صفت و عملکرد دانه در شرایط تنش مشاهده شده است. در این تحقیق کمترین میزان آب نسبی از دست رفته برگ در هر دو شرایط متعلق به ژنوتیپ‌های شماره ۶ و۱۴ بود که از نظر شاخص تحمل خشکی نیز برتر

بودند که با نتایج تحقیق لکور و همکاران (Lecoeur *et al.*, 1992) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که تنوع ژنتیکی در جهت حفظ آب نسبی گیاه از طریق تنظیم اسمزی است و در این حالت ارقام مقاوم قادرند در شرایط تنش تولید محصول کنند. همچنین نتایج مطالعات والنتویج و همکاران (Valentovic *et al.*, 2006) بر روی دو رقم حساس و مقاوم ذرت نشان داد که رقم مقاوم قدرت حفظ آب بیشتری را در مقایسه با رقم حساس به خشکی از خود نشان داد. ولی باید توجه داشت که نتایج بدست آمده از مطالعه این صفت به شرایط محیطی و مواد ژنتیکی مورد بررسی بستگی دارد و بر این اساس نتایج این مطالعات ممکن است متفاوت باشد.

آزمایش سرعت رشد اولیه (EGR)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین سرعت رشد اولیه نشان داد که تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر صفت مذکور وجود دارد. در هر دو شرایط ژنوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند و مقایسه میانگین انجام شده نشان داد که در شرایط آبیاری ژنوتیپ‌های شماره ۱ و ۱۳بیشترین مقدار و ژنوتیپ شماره ۲۰ و رقم سرارود ۱ (شماره ۲۲) کمترین مقدار را نشان دادند. در شرایط تنش ژنوتیپ شماره ۱۹ و رقم شماره ۲۱ بیشترین مقدار و ژنوتیپ‌های شماره ۱و ۹ کمترین مقدار را نشان دادند (جدول ۳).

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های SSI , STI , TOL

عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی و همچنین شاخص‌های مقاومت به خشکی TOL, STI, SSI محاسبه شده برای هر ژنوتیپ در جدول ۴ آمده است. شاخص تحمل خشکی (STI) با استفاده از مدل پیشنهادی فرناندز (Fernandez,1992) محاسبه شد. با استفاده از شاخص STI می‌توان ارقام و ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی با عملکرد زیاد را انتخاب کرد. بالاترین عملکرد در شرایط مطلوب از ژنوتیپ‌های شماره ۱۳ و ۱۴ و در شرایط تنش از ژنوتیپ‌های شماره ۶ و ۱۸ به دست آمد. با توجه به جدول ۴ ژنوتیپ‌های شماره ۶ و ۱۴بیشترین مقدار شاخص تحمل خشکی را داشتند. همچنین ژنوتیپ‌های مذکور در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش از عملکرد بیشتری نیز نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها و ارقام برخوردار بودند. در این بررسی ژنوتیپ‌های شماره ۱۷ و ۱۸ کمترین مقدار TOL را داشتند، اما شاخص تحمل خشکی این ژنوتیپ‌ها و به عبارت دیگر عملکرد این ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ‌های شماره ۶ و۱۴ کمتر بود. باید این نکته را در نظر داشت که کم بودن مقدار TOL، معیار مناسبی برای شناسایی ارقام پر محصول و متحمل به خشکی نیست، چون ارقامی با عملکرد کم در هر دو شرایط و مقدار TOL کمتر، ارقام مطلوبی نیستند. پس ژنوتیپ‌های ۶ و ۱۴ نسبت به ژنوتیپ‌های شماره

۱۷ و ۱۸ مطلوب‌تر هستند. با وجود این پایداری ژنوتیپ‌ها و ارقام در دو شرایط آبیاری و تنش نکته مهمی است که باید در نظر گرفته شود. در این تحقیق ژنوتیپ‌های شماره ۶ و ۱۴ دارای بیشترین شاخص تحمل خشکی بودند و از بین این دو، ژنوتیپ شماره ۶ با مقدار TOL کمتر بهتر است (جدول ۴). در این آزمایش ژنوتیپ‌های شماره ۱۷ و ۱۸ نیز به ترتیب کمترین مقدار SSI را داشتند که در همین ژنوتیپ‌ها کمترین مقدار TOL نیز مشاهده شد. در اکثر آزمایش‌های مقایسه عملکرد، این همبستگی گزارش شده است (Fisher and Maurer, 1978).

گزینش بهترین شاخص مقاومت به خشکی در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی اختلاف آماری معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه وجود داشت (جدول ۴). ضریب همبستگی ساده بین عملکرد دانه در شرایط آبیاری و تنش مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). عملکرد دانه در شرایط تنش همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص تحمل خشکی (STI) داشت. عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال نیز با شاخص‌های STI، TOL و SSI همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. با توجه به نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌ها (STI، TOL و SSI) مشاهده می‌شود که شاخص تحمل خشکی (STI) به علت همبستگی بالا و معنی‌داری که با عملکرد در هر دو شرایط دارد شاخص مناسبی است که می‌توان از آن برای تخمین پایداری عملکرد و دستیابی به عملکرد بالا در هر دو شرایط استفاده کرد. شاخص STI توسط فرناندز (Fernandez, 1992) به عنوان بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی شد. شاخص تحمل (TOL) و شاخص حساسیت به تنش (SSI) تنها با عملکرد دانه در شرایط آبیاری همبستگی معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان دادند. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش بیانگر افزایش یا کاهش هم جهت عملکرد دانه تحت دو شرایط فوق است (جدول ۵).

در شرایط تنش خشکی ایجاد شده توسط PEG اکثر صفات مورد بررسی همبستگی مثبت و بالایی با یکدیگر داشتند. درصد جوانه‌زنی بیشترین همبستگی را با سرعت جوانه‌زنی و STI همبستگی مثبت و معنی‌داری با سرعت رشد اولیه داشت. این شاخص با درصد جوانه‌زنی در شرایط تنش و با شاخص تنش جوانه‌زنی نیز در سطح ۵٪ معنی‌دار و مثبت بود. با توجه به نتایج به دست آمده و همبستگی مثبت و بالایی که بین شاخص تحمل به خشکی و صفات مذکور وجود داشت، برای ارزیابی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی تحقیقات گسترده (مزرعه‌ای و آزمایشگاهی) ضرورت دارد تا با بررسی تک تک صفات، معیارهای مؤثر در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شود. عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال با شاخص‌های STI، TOL و SSI همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد، بنابراین در گزینش ژنوتیپ‌های

جدول ۴ - ارزیابی ژنوتیپ‌های جو بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی (TOL، STI و SSI)

Table 4. Evaluation of barley genotypes based on drought tolerances (TOL, STI and SSI) indices

شماره No.	شجره Pedigree	عملکرد آبی $Y_p(gm^{-2})$	عملکرد دیم $Y_s(gm^{-2})$	STI	TOL	SSI
1	Lingnee131/3/4679/105//Yea 168.4	293	165	0.656	128	1.227
2	Roho//Alger/Ceres 362-1-1/3/Alpha / Durra	298	198	0.801	100	0.943
3	Alpha/Gumhuriybt//Sonja	311	170	0.717	141	1.275
4	CWB 117-77-5-9-5-1	221	132	0.396	89	1.132
5	CWB117-77-5-9-5 -2	263	143	0.510	120	1.109
6	Grivita/ CWB117-5-9-5	291	207	0.818	84	0.811
7	Tipper/3/HI33-81/Mal//Yea 196-6	264	174	0.623	90	0.957
8	CWB117-77-9-7/3/Roho/Alger/362-1-1	276	198	0.742	78	0.794
9	4679/105//Yea	266	175	0.632	91	0.963
10	168.4 Lignee 131/ArabiAbiad	296	161	0.647	135	1.283
11	Lignee 131/3/4679/105//Yea 168.4	257	179	0.624	78	0.853
12	Lignee 131/3/4679/105//Yea 168.4	257	183	0.638	74	0.808
13	CWB117-77-9-7/3/Roho//Alger/Ceres 362-1-1	317	187	0.805	130	1.154
14	Wieselburger/Ahor 1303-61//Sis	318	187	0.807	131	1.157
15	Roho//Alger/Ceres 362-1-1/3/Alpha/ Durra	315	175	0.748	140	1.250
16	Sis/Bda	247	180	0.603	67	0.764
17	CWB 117 – 77– 9 – 7// Antares / ky 63 – 1294	228	182	0.563	46	0.567
18	ICB – 102893 /3/Alpha // sul / Nacta	254	208	0.717	46	0.511
19	Sadik 8(Alph/ Durra // Antares /Arabi Abiad)	234	156	0.495	78	0.938
20	Antares / ky 63 – 1294 // Lignei 131	264	177	0.634	87	0.926
21	Local check (Mahali)	235	151	0.481	84	1.005
22	Sararood -1	265	157	0.565	108	1.146

Y_P: Potential yield; Y_S: Yield under stress; STI: Sterss Tolerance Index; TOL: Tolerance Index; SSI: Stress Susceptibility Index

تحمل‌کننده تنش خشکی شاخص‌های STI، TOL و SSI حائزاهمیت هستند. برای تعیین شاخص‌های مطلوب برای این هدف، معیارهایی که همبستگی بالایی با عملکرد دو محیط دارند شناسایی می‌شوند (Fernandez,1992). نتایج مطالعه انجام شده نشان داد که شاخص STI همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد در هر دو شرایط دارد (شرایط تنش $r= ۰/۸۴۱^{**}$ و شرایط آبیاری نرمال $r =۰/۸۸۶^{**}$). به طور کلی شاخصی که هم در شرایط تنش و هم در شرایط بدون تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشد، به عنوان بهترین شاخص شناخته شد. اهمیت انتخاب شاخص STI برای غربال کردن ارقام مقاوم به خشکی برای نخود (Farshadfar *et al.*, 2000)، لوبیا (Abebe *et al.*, 1988)، ماش (Fernandez, 1992) و گندم (Haghparast, 1996) نیز گزارش شده است. بیشترین شاخص GSI مربوط به ژنوتیپ شماره ۱ بود که از عملکرد دانه و شاخص تحمل تنش خوبی برخوردار بود. این نتایج با نتایج تحقیقات بوسلاما و اسگاپائوگ (Bouslama and Schapaugh, 1984) بر روی سویا و گرزسیاک و همکاران (Grzesiak *et al.*, 1996) بر روی برخی از

جدول ۵- ماتریس ضرایب همبستگی‌های ساده عملکرد ژنوتیپ‌های جو در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی با شاخص‌ها و برخی از صفات مرتبط با تحمل به خشکی

Table 5. Simple correlation cofficient matrix of barley genotypes grain yield in normal irrigation and water stress conditions to indices and some of characteristics related to drought tolerance

traits	Y_p	Y_s	STI	TOL	SSI	EGR_{ir}	EGR_s	PI_S	GP_S	CL_S
Y_s	0.500*									
STI	0.886**	0.841**								
TOL	0.828**	-0.072	0.476*							
SSI	0.593**	-0.392	0.162	0.936**						
EGR_{ir}	0.508*	0.206	0.439*	0.452*	0.351					
EGR_s	0.423*	0.376	0.476*	0.024	0.091	0.807**				
PI_S	0.219	0.154-	0.066	0.352	0.386	0.496*	0.314			
GP_S	0.447*	0.439*	0.495*	0.351	0.404	0.506*	0.347	0.944**		
CL_S	0.501*	0.174	0.414	0.464*	0.392	0.647**	0.617**	0.750**	0.726**	
GSI	0.557**	0.513*	0.532*	0.651*	0.555*	0.462*	0.282	0.951**	0.913**	0.640**

* و ** : به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

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

گیاهان لگومینوز تطابق دارد. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با شاخص تحمل خشکی، طول کلئوپتیل در شرایط تنش، درصد جوانه‌زنی و سرعت رشد اولیه نشان داد که برای دسترسی به ارقام و ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، شاخص تحمل خشکی بالا، طول کلئوپتیل بیشتر، درصد جوانه‌زنی بالا و سرعت رشد اولیه بیشتر به عنوان معیارهای مؤثر در انتخاب مورد توجه قرار گیرند. همبستگی بین TOL و SSI مثبت و معنی‌داری بود، در اکثر آزمایش‌های مقایسه عملکرد این همبستگی گزارش شده است (Fisher and Maurer, 1978). طول کلئوپتیل همبستگی مثبت و معنی‌داری با سرعت رشد اولیه داشت. همبستگی سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، طول کلئوپتیل در شرایط تنش و همچنین شاخص تنش جوانه‌زنی با شاخص تحمل خشکی (STI) می‌تواند به عنوان یک روش برای گزینش ژنوتیپ‌های با قابلیت تحمل بیشتر در آزمایشگاه مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع نتایج به دست آمده نشان داد که ژنوتیپ‌های جو به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه حساس هستند و با کاهش پتانسیل آب، کلیه صفات مربوط به جوانه‌زنی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافتند. در شرایط مزرعه نیز تنش خشکی بیشترین تأثیر بر روی عملکرد دانه گذاشت و ژنوتیپ‌های شماره ۶ (Grivita/CWB117-5-9-5) و ۱۴ (Wieselburger/Ahor 1303-61//Sis) به

ترتیب با متوسط عملکرد ۲۴۹۰ و ۲۵۲۵ کیلوگرم در هکتار از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط جزء ژنوتیپ‌های برتر بودند. به نظر می‌رسد که استفاده از شاخص‌های GSI در شرایط آزمایشگاهی و STI در شرایط مزرعه‌ای می‌تواند برای تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مناسب باشند.

References

Abebe, A., Brick, M. A., and Kirkby, R. A.1998. Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions. Field Crops Research 58: 15-23.

Agrawai,R. L. 1991. Seed Technology.Oxford & IBH . Pablishing. 258 pp.

Albuguerque M. F. E., and Carvalho, N. M. 2003. Effects of the type of environmental stress on the emergence of sunflower *(Helinanthus annus*), soybean (*Glycine max* L.) merril and maize (*Zea mays* L.) seeds with different levels of vigor. Seed Science and Technology 31: 465 – 479.

Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environment. CRC Press Boca Raton, Floria.

Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybeans. Evaluation of three screening techniques for heat and drough tolerance. Crop Science 24: 933 – 937.

Dedio, W. 1975. Water relations of wheat leaves as screen tests for drought resistance. Canadian Journal of Plant Science 55: 369- 378.

El-Sharkawi, H. M., and Springuel, I. 1977. Germination of some crop plant seed under reduced water potential. Seed Science and Technology 5: 677-688.

Emmerich .W. E., and Hardegree, S. P. 1991. Polyethylen glycole solution contact effect on seed germination. Agronomy Journal 83: 1103 - 1107.

Falleri, E.1994. Effect of water stress on germination in six provenances of *Pinus pinaster* Ait. Seed Science and Technology 22: 591 – 599.

Farshadfar, E., Zamani. M., Matlabi. M., and Imam Jomeh. E. 2000. Selection for drought resistance in chick pea (*Cicer arietinum* L.) Lines. Iranian Journal of Agricultural Science 32: 65 - 67.

Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257- 270. In: Kuo, C. G. (ed.) Adaptation of Food to Temperature and Water Stess. AVRDC, Shanhua, Taiwan.

Fischer. R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897 – 912.

Golparvar, A. R., Majidi Harvan, I., and Ghassemi Pirbaloti, E. 2003. Genetic improvement yield potential and water stress resistance in wheat genotypes (*Triticum aestivum*). Aridity Seasonal and Agricultural Drought 13:13 – 21.

Grzesiak, S., Filek, W., Skrudlik, G., and Niziol, B. 1996. Screening for drought resistance: evaluation of seed germination and seedling growth for drought resistance in legume plants. Journal of Agronomy and Crop Science 177: 245- 252.

Haghparast, R. 1996. Selection for drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum*). M.Sc. Thesis, College of Agricalture. Tabriz University, Iran.

Koocheki, A. 1998. Production and Improvement of Crops for Dryland. Jihad-e-Daneshgahi Mashhad Publications, Mashhad, Iran (in Farsi).

Lawlor, D.W. 2002. Limitation to photosynthesis in water stressd leaves: Stomata VS. metabolism and the role of ATP. Annals of Botany 89: 871-885.

Lecoeur, J., Wery, J., and Turc, O. 1992. Osmotic adjustment as a mechanism of dehydration postponement in chickpea (*Cicer arietinum* L.) leaves. Plant and Soil 144: 177- 189.

Mohammadi, R. 1999. The assignment of the chromosome' s location of the controlled drought resistance genes in rye and agropyron. M.Sc. Thesis, Colloge of Agriculture. Razi University, Kermanshah, Iran (in Farsi).

Rajabi, R., and Poostini, K. 2004. Effects of NaCl salinity on seed germination of 20 wheat cultivars. Journal of Agricultural Science 28: 28- 44.

Ritchie, S. W., Nyvgen, H. I., and Henry, A. S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105 – 111.

Sairam, R. K., and Srivastava, G.C. 2002. Changes in antioxidant activity in sub – cellular fraction of tolerant and susceptible wheat genotypes to long term salt stress. Plant Science 162: 897 – 904.

Siddique, A., Hamide, A., and Islam, M. S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. Bot. Bull. Acad. Sin. 41: 35 – 39.

Sloane, R. J., Patterson, R. P., and Carter, T. G. 1990. Field drought tolerance of soybean plant introduction. Crop Science 30: 118 – 123.

Unyayar, S., Keles, Y., and Unal, E. 2004. Prolin and ABA levels in two sunflower genotypes subjected to water stress. Bulgarian Journal of Plant Physiology 30 (3-4): 34-47.

Valentovic. P., Luxova, M., Kolarovic, L., and Gasparikova, O. 2006. Effects of osmotic stress on compatible solutes content membrane stability and water relations in two maize cultivars. Plant Soil Environment 52(4): 186- 191.

Wassy Mallamiri, I. 2007. Genetic variation utilization for grain filling in barley genotypes. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University Kermanshah Branch, Kermanshah, Iran (in Farsi).

Whan, B. R., Anderson, W. K., Gilmour, R. F., Regan, K. L., and Turner, N. C. 1991. A role of physiology in breeding for improved wheat yield under drought stress. pp. 179-194. In: Acevedo, E., Conesa, A. P., Monneveux, P., and Srivastava, J. P. (eds.), Physiology–Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments. INRA, Paris.