

## نقش ساختار ریشه و صفات فیزیولوژیک جو در پاسخ به تنش خشکی

رضا کشاورز نیا<sup>۱</sup>، مریم شهبازی<sup>۲</sup>، ولی‌اله محمدی<sup>۳\*</sup>، قاسم حسینی سالکده<sup>۴</sup>، علی احمدی<sup>۵</sup> و احسان محسنی فرد<sup>۶</sup>

۱. دانشجوی دکتری مهندسی ژنتیک، دانشگاه تهران

۲ و ۴. استادیار و دانشیار، مؤسسه بیوتکنولوژی کشاورزی سازمان آموزش، تحقیقات و ترویج کشاورزی

۳ و ۵. دانشیار و استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۶. دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۴/۱۰)

### چکیده

تنش خشکی در اکثر مناطق جهان مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شود. تنظیم اسمزی و داشتن سیستم ریشه‌ای قوی و عمیق از طریق افزایش جذب و بازده مصرف آب، سبب افزایش تحمل به خشکی در غلات می‌شود. در این تحقیق، تأثیر ساختار ریشه و صفات فیزیولوژیک در پاسخ به تنش خشکی در سه رقم جو زراعی یوسف (متحمل)، موروکو (حساس) و فجر ۳۰ (نیمه‌متحمل) و یک اکوتیپ جو غیرزراعی اسپانانتوم (متحمل) بررسی شد. بذور جو در لوله‌های پی‌وی سی ۱ متری با قطر ۱۰ سانتی‌متر کشت شدند و تنش خشکی به میزان ۲۰ درصد مقدار آب در دسترس اعمال شد و آبیاری در حد ظرفیت زراعی به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. خصوصیات ریشه و صفات فیزیولوژیک در ابتدای مرحله گلدهی اندازه‌گیری شد. نتایج حاکی از این بود که در اثر خشکی، میزان هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب برگ و پتانسیل اسمزی در همه ارقام کاهش و دمای برگ افزایش یافت. ارقام متحمل دارای کمترین افت پتانسیل آب، پتانسیل اسمزی و محتوای نسبی آب برگ بودند. رقم حساس دارای کمترین و ارقام متحمل دارای بیشترین میزان تنظیم اسمزی بودند. تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک و حجم ریشه نسبت به شرایط کنترل شد. عمق ریشه در تمام ارقام متحمل و نیمه‌متحمل در اثر تنش افزایش یافت، در حالی که در رقم حساس کاهش نشان داد. نتایج نشان داد ارقام مقاوم ارقامی اند که در شرایط تنش می‌توانند با افزایش عمق ریشه، آب بیشتری جذب کنند و در نتیجه دارای تنظیم اسمزی و محتوای نسبی آب بیشتری باشند. این ارقام در شرایط تنش به دلیل محتوای نسبی آب بیشتر، هدایت روزنه‌ای بیشتری دارند و از این رو دمای برگ را در سطح پایین‌تری نگه می‌دارند.

**واژه‌های کلیدی:** تنش خشکی، تنظیم اسمزی، حجم ریشه، عمق ریشه، محتوای نسبی آب برگ.

### مقدمه

می‌شود و به‌همین علت اختلاف زیادی بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه محصولات زراعی دیده می‌شود. به‌دلیل اثر تنش‌های غیرزیستی، عملکرد گیاهان زراعی

رشد و عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق دنیا تحت تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی محدود

کاهش تبخیر از سطح خاک می‌تواند سبب افزایش جذب آب شود (Hosseini Salekdeh et al., 2009).

در شرایط محدودیت آب مزرعه‌ای، کارایی مصرف آب در ارقام دارای کنترل روزنه‌ای، بیشتر است. در شرایط محدودیت آب مزرعه‌ای، ژن‌های پاسخ به آبسزیک اسید سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. تأخیر در پیری برگ (سبزمانی) نیز معیاری برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی در گیاهانی مانند سورگوم گزارش شده است. ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌های محلول در آب در ساقه غلات و متعاقب آن انتقال مجدد آنها به دانه به‌طور مستقیم می‌تواند سبب افزایش شاخص برداشت به‌خصوص در مرحله گلدھی شود (Hosseini Salekdeh et al., 2009).

درصد ماده خشک، محتوای نسبی آب برگ، تنظیم اسمزی و دمای گیاه از جمله صفات فیزیولوژیکی اند که می‌توانند تا حدود زیادی به‌عنوان شاخص‌هایی برای شناسایی ارقام مقاوم به تنش به‌کار گرفته شوند. کاهش محتوای نسبی آب برگ، بسته شدن روزنه‌ها را تحریک می‌کند و به‌دنبال بسته شدن روزنه‌ها سرعت فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد. بنابراین هرچه محتوای نسبی آب برگ در یک رقم در شرایط خشکی بیشتر باشد مقاومت آن نیز بیشتر خواهد بود (Korines et al., 2000).

شناخت نقش ریشه و صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک در پاسخ به تنش خشکی می‌تواند به‌نژادگران را در اتخاذ راهبرد مناسب برای تهیه ارقام متحمل به خشکی یاری کند. از آنجا که تاکنون تحقیقات محدودی درباره صفات ریشه در تنش خشکی و ارتباط آنها با صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک اندام هوایی جو صورت گرفته است، هدف این تحقیق بررسی نقش ساختار ریشه و صفات فیزیولوژیک جو در پاسخ به تنش خشکی بود.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش با استفاده از ارقام جو زراعی (*Hordeum vulgare* L.) یوسف و فجر ۳۰ (تهیه‌شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر و نهال)، رقم موروکو (تهیه‌شده از مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی مناطق خشک-ایکارد) و یک اکوتیپ جو غیرزراعی اسپانتانوم (*Hordeum vulgare* ssp. *Spontaneum* L. TN۰۲-۳۷۴) (از بانک ژن

در سراسر جهان ۵۰ درصد ظرفیت ژنتیکی آنها تخمین زده می‌شود. ایران با میانگین ۲۵۰ میلی‌متر بارندگی در سال (یک‌سوم میانگین بارندگی در جهان) و ۱۸۰۰ میلی‌متر تبخیر جزء مناطق خشک دنیا محسوب می‌شود (Ghamarnia, 2005). افزایش بی‌رویه جمعیت جهان، قرار گرفتن بیش از ۲۶ درصد از مناطق قابل استفاده کره زمین در معرض خشکی (Demirevska et al., 2008) و نیز کمبود آب شیرین تهدیدهای جدی برای تولید کشاورزی جهانی و امنیت غذایی محسوب می‌شوند (Garg et al., 2002). یکی از راهکارهای اقتصادی افزایش ثبات در تولید محصولات کشاورزی، اصلاح ژنتیکی گیاهان برای تحمل تنش‌های غیرزیستی است (Nevo et al., 2010).

جو چهارمین غله تجاری دنیا بعد از گندم، برنج و ذرت است و در تغذیه دام، انسان و همچنین تولید مالت اهمیت بسزایی دارد. در مناطق مدیترانه‌ای، جو یکی از محصولات زراعی اصلی است، زیرا از تحمل خشکی به‌نسبت بیشتری در مقایسه با غلات دیگر و سایر گونه‌های گیاهی برخوردار است. در این مناطق وقوع تنش خشکی در دوره رشد این گیاه اجتناب‌ناپذیر است. از آنجا که تولید این محصول با تنش خشکی و دمای زیاد محدود می‌شود، پژوهشگران در پی یافتن ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد زیاد و خصوصیات فیزیولوژیکی و ریخت‌شناختی قوی برای مقابله با خشکی اند (Gonzalez et al., 1999).

فرمول پاسیورا (جذب آب  $\times$  کارایی مصرف آب  $\times$  شاخص برداشت = عملکرد دانه) چارچوب نظری را برای شناسایی سازوکارهای مقاومت به خشکی فراهم می‌کند (Passioura, 1988). صفات مرتبط با جذب آب شامل عمق ریشه، تنظیم اسمزی، قدرت گیاهچه و پوشش گیاهی زمین است. عمق ریشه صفت مهمی برای به‌دست آوردن آب از قسمت‌های پایین‌تر از منطقه ریشه است. گسترش ریشه در مراحل ابتدایی رشد بسیار مهم‌تر از گسترش ریشه در مراحل انتهایی است، ولی انتخاب مستقیم برای خصوصیات ریشه با مشکلاتی همراه است. با این حال اندازه‌گیری صفات مرتبط با هدایت روزنه‌ای، مانند درجه حرارت پوشش گیاهی، از شاخص‌های غیرمستقیم جذب آب توسط ریشه است. قدرت رویش گیاهچه نیز از طریق

برداشت نمونه پس از رسیدن رطوبت خاک به نقطه مورد نظر انجام گرفت.

صفات مورفولوژیک شامل وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، عمق ریشه و حجم ریشه بود. برای اندازه‌گیری حجم ریشه از یک استوانه مدرج که تا حجم خاصی درون آن آب وجود داشت استفاده شد و تغییر حجم آب بعد از قرار گرفتن ریشه گیاه درون استوانه مدرج، حجم ریشه در نظر گرفته شد. به‌منظور اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک نمونه‌گیری از بالاترین برگ‌های گیاهان تحت تنش و شاهد انجام گرفت و صفات فیزیولوژیک به‌شرح زیر با استفاده از این برگ‌ها اندازه‌گیری شد.

#### محتوای نسبی آب برگ (RWC)

بالاترین برگ گیاه در هر تکرار برداشت و بلافاصله وزن تر برگ‌ها اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین وزن آماس، برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم (برای آنکه کاهش وزنی در اثر فعالیت تنفسی رخ ندهد) در داخل آب مقطر قرار داده شدند و پس از اندازه‌گیری وزن برگ‌ها در این شرایط، برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آن ۷۰ درصد سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک آنها با ترازوی دقیق ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. مقدار RWC از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\%RWC = [(W_f - W_d) / (W_t - W_d)] \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه  $W_f$  وزن تازه برگ،  $W_t$  وزن آماس برگ، و  $W_d$  وزن خشک برگ است.

#### هدایت روزنه‌ای

به‌منظور بررسی هدایت روزنه‌ای از دستگاه پورومتر (Delta-T AP4, Delta-T Devices, Cambridge, UK) استفاده شد. برای این منظور قسمت میانی بالاترین برگ گیاه در محفظه دستگاه قرار گرفت و پس از ۳۰ ثانیه عدد دستگاه یادداشت شد. به‌منظور اجتناب از اثر تغییرات دمای هوا و شرایط نوری بر بسته شدن روزنه‌ها، این اندازه‌گیری بین ساعت‌های ۷ تا ۹ صبح انجام گرفت.

#### دمای برگ

دمای برگ برای هر واحد آزمایشی و در هر سطح

ملی گیاهی ایران) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۰ در گلخانه پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران انجام گرفت. رقم یوسف، رقم متحمل؛ رقم فجر ۳۰، رقم نیمه‌حساس به خشکی (Nik khah, 2007)؛ و رقم موروکو، رقم حساس (Guo et al., 2009) به‌شمار می‌روند. اکوتیپ جو غیرزراعی اسپانانثوم نیز متحمل به خشکی است که از بین حدود ۱۰۰ اکوتیپ جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور انتخاب شده است (Zahravi, 2009).

کشت بذور در ترکیبی از خاک مزرعه، ماسه و کود حیوانی به‌ترتیب به نسبت‌های ۱:۲:۲ انجام گرفت. براساس آزمایش‌های انجام‌گرفته بر روی خاک مورد نظر توسط آزمایشگاه خاک‌شناسی مؤسسه نهال و بذر، مشخص شد که این خاک دارای بافت شنی سیلتی با ظرفیت زراعی (FC) ۱۳/۷ درصد رطوبت وزنی و نقطه پژمردگی (PWP) ۷/۷ درصد رطوبت وزنی بود. برای کشت ارقام از گلدان‌هایی از جنس لوله پی‌وی‌سی به ارتفاع ۱ متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. در ابتدا یک سری پلاستیک به ارتفاع ۱ متر و ۲۰ سانتی‌متر درون این لوله‌ها قرار داده شد و سپس با خاک پر شد. این کار به‌منظور سهولت مشاهده عمق ریشه در طول آزمایش و جدا کردن ریشه‌ها از خاک در زمان برداشت انجام گرفت. پس از آن در هر گلدان پنج بذر کشت شد که بعد از جوانه زدن، سه بوته در هر گلدان نگهداری شد. آبیاری گلدان‌ها تا قبل از مرحله چهاربرگی به‌صورت طبیعی و در حد ظرفیت زراعی برای همه گلدان‌ها انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل یک سطح آبیاری طبیعی در حد ظرفیت زراعی در طول دوره رشد و تنش ۲۰ درصد آب در دسترس (که از تفاضل مقدار رطوبت خاک در ظرفیت زراعی خاک و نقطه پژمردگی محاسبه می‌شود) بود. پس از قطع آبیاری نمونه‌برداری به‌صورت روزانه انجام گرفت و میزان تخلیه رطوبتی خاک محاسبه شد. برای این منظور یک رشته گلدان اضافی که تحت تأثیر تنش قرار گرفته بودند وجود داشت که به‌صورت روزانه از آنها یک نمونه خاک از اعماق مختلف (به‌وسیله اوگر) گرفته و مقدار تخلیه رطوبتی محاسبه می‌شد. رطوبت گلدان‌ها بعد از حدود ۶۰ روز از قطع آبیاری (ابتدای گلدهی) به حد ۲۰ درصد آب در دسترس رسید.

یونیزاسیون (معادل ۱)، R ثابت عمومی گازها برابر با  $۰/۰۰۸۳۱۴$ ؛ و T دما بر حسب درجه کلوین ( $۲۷۳ + ^\circ\text{C}$ ) است که در این صورت پتانسیل اسمزی  $\Psi_s$  بر حسب بار محاسبه شد.

برای محاسبه مقدار تنظیم اسمزی کل در گیاه از اختلاف پتانسیل اسمزی برگ‌های گیاهان شاهد و تحت تنش در شرایط آماس کامل مطابق فرمول زیر استفاده شد (Blum *et al.*, 1989):

$$OA_{tot} = \Psi_{Sc}^{100} - \Psi_{Ss}^{100} \quad (3)$$

در این معادله  $OA_{tot}$  مقدار تنظیم اسمزی کل؛  $\Psi_{Sc}^{100}$  مقدار پتانسیل اسمزی گیاه شاهد در صددرصد آماس؛ و  $\Psi_{Ss}^{100}$  مقدار پتانسیل اسمزی گیاه تحت تنش در صددرصد آماس است.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در تنش ۲۰ درصد آب در دسترس نشان داد تأثیر تنش بر کلیه صفات معنی‌دار است. به‌علاوه بین ارقام مختلف از لحاظ تمام صفات مورد بررسی به‌جز پتانسیل آبی اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین در کلیه صفات بین ارقام و رژیم آبیاری اثر متقابل معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۱).

تیماری در ساعت ۲ تا ۳ بعدازظهر (Reynolds *et al.*, 2009) توسط دستگاه دماسنج مادون قرمز مدل IVN-770-P اندازه‌گیری شد.

### پتانسیل آب برگ

برای اندازه‌گیری این صفت بالاترین برگ گیاه جدا شد و بلافاصله پتانسیل آب آن با استفاده از بمب فشاری ساخت شرکت PMS آمریکا اندازه‌گیری شد. دستگاه بمب فشار دارای یک محفظه است که برگ در آن قرار داده شده و فشار هوا سبب خارج شدن حباب‌های ریز آب از نوک برگ می‌شود که با ذره‌بین بررسی شده و پس از مشاهده اولین قطره آب خارج‌شده از برگ، عدد مربوط که پتانسیل آب کل به‌شمار می‌رود یادداشت می‌شود.

### پتانسیل اسمزی و تنظیم اسمزی

از برگ‌های استفاده‌شده برای اندازه‌گیری پتانسیل آب به‌منظور به‌دست آوردن پتانسیل اسمزی استفاده شد. از دستگاه اسمومتر مدل Wescor-5520 شرکت Eletech فرانسه برای اندازه‌گیری این شاخص استفاده شد و مقدار پتانسیل اسمزی برگ (برحسب بار) محاسبه شد (Kramer, 1995).

$$\Psi_s = -MIRT \quad (2)$$

در این معادله، M مولاریته محلول برحسب مول بر لیتر (عدد خوانده‌شده توسط دستگاه)؛ I ضریب

جدول ۱. میانگین مربعات صفات مختلف در سه رقم جو زراعی و یک اکوتیپ وحشی مورد مطالعه در پاسخ به تنش خشکی ۲۰ درصد

آب در دسترس

منبع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	هدایت روزنه‌ای	پتانسیل آبی	پتانسیل اسمزی	وزن خشک هوایی	عمق ریشه	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	دمای برگ
رژیم آبیاری	۱	۵۵۱/۷**	۲۳۱۳۸**	۳۱۵/۳**	۲/۵۶**	۲/۰۰**	۲۸۷**	۳۰/۲**	۰/۲۴۸**	۳۹/۵۲**
رقم	۳	۲۵۸/۴**	۳۲۳۵**	۲/۱ <sup>ns</sup>	۰/۱۲**	۱/۱۱**	۱۵۹۶**	۵۱/۲۷**	۰/۳۶۷**	۷/۱۰**
رقم × رژیم آبیاری	۳	۱۴/۵۲**	۲۶۲**	۶/۴*	۰/۰۷۵**	۰/۰۵۶*	۷۶/۳*	۳/۷۱**	۰/۰۳۴**	۱/۲۴**
خطا	۱۶	۱/۸۲	۱۱	۱/۲۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۶	۱۷/۶۲	۰/۱۳۹	۰/۰۰۳	۰/۱۳۰
ضریب تغییرات (درصد)	۸	۱۱	۸/۵	۷	۱۲	۱۰	۱۰	۹	۸	۸

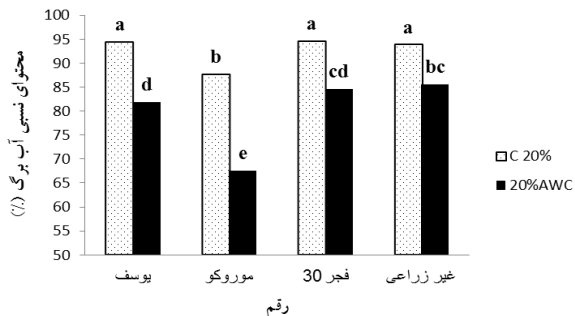
ns، \* و \*\* غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

است. رقم حساس موروکو دارای بیشترین کاهش محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد است، درحالی که این کاهش در ارقام متحمل بسیار کمتر است. میزان

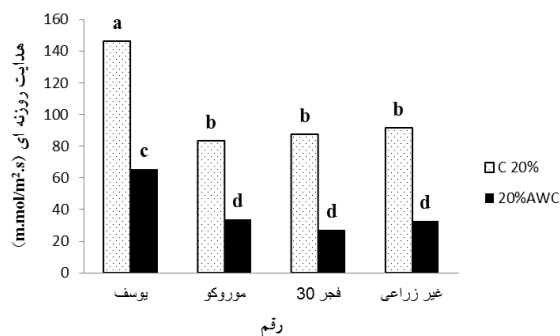
### نتایج صفات مرتبط با روابط آبی

نتایج مقایسه میانگین صفت محتوای نسبی آب برگ برای تنش ۲۰ درصد آب در دسترس در شکل ۱ آمده

آبی در شرایط تنش با یافته‌های Khan *et al.* (2010) مطابقت دارد. پتانسیل آب علاوه بر اهمیت آن در انتقال آب، معیار مفیدی از وضعیت آبی گیاهان نیز محسوب می‌شود. طبق فرمول  $\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s$  غلظت مواد محلول و فشار هیدرواستاتیک دو عامل اصلی مؤثر بر پتانسیل آب است (Taiz & Zeiger, 2002). پتانسیل آب سلول‌های گیاهی از طریق جذب یا از دست دادن آب با محیط به تعادل می‌رسد. کاهش پتانسیل اسمزی در نتیجه تجمع مواد محلول سازگار صورت می‌گیرد. این مواد محلول تجمع‌یافته درون سلول نه تنها می‌توانند به‌عنوان اسمولیت در تسهیل نقل و انتقال آب و نگهداری آن درون سلول‌ها مؤثر باشند، بلکه در محافظت و پایدار کردن درشت‌مولکول‌ها، اندامک‌ها، ساختارهایی نظیر کلروپلاست‌ها و غیره در مقابل تنش نیز تأثیر دارند. کم بودن مقدار این ویژگی (منفی‌تر بودن) اغلب نشان‌دهنده میل جذب آب بیشتر است و می‌تواند شاخصی برای تعیین ژنوتیپ‌های حساس محسوب شود (Richards *et al.*, 2004).



شکل ۱. مقایسه محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط کنترل (C20%) و تنش ۲۰ درصد آب در دسترس (20% AWC)



شکل ۲. مقایسه هدایت روزانه‌ای برگ تحت شرایط کنترل (C20%) و تنش ۲۰ درصد آب در دسترس (20% AWC)

مطلق محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی در رقم یوسف نسبت به سایر ارقام بیشتر است. این نتایج با گزارش‌های اخیر در مورد کاهش محتوای نسبی آب برگ در اثر اعمال تنش خشکی مطابقت دارد (Altinkut *et al.*, 2001; Kocheva *et al.*, 2003; Vaezi *et al.*, 2010). محتوای نسبی آب برگ، شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش خشکی معرفی شده است. محتوای نسبی آب بیشتر سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (Farooq *et al.*, 2009). ارتباط مستقیم و معنی‌داری بین شاخص محتوای نسبی آب برگ با مقدار عملکرد گندم تحت تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای گزارش شده است (Khakwani *et al.*, 2011). در نتیجه از این صفت می‌توان به‌عنوان یکی از بهترین شاخص‌های ترازمندی آب در گیاه در گزینش ارقام در شرایط تنش بهره برد (Vaezi *et al.*, 2010).

ارقام حساس و نیمه‌متحمل موروکو و فجر ۳۰ دارای بیشترین کاهش صفت هدایت روزانه‌ای بودند، درحالی که این کاهش در ارقام متحمل به‌مراتب کمتر بود (شکل ۲). همچنین میزان مطلق هدایت روزانه‌ای در شرایط تنش در رقم یوسف نسبت به سایر ارقام بیشتر است. به‌طور کلی با اعمال تنش، هدایت روزانه‌ای در تمام ارقام کاهش پیدا کرد که با یافته‌های دیگر محققان مشابهت دارد (Mahajan *et al.*, 2005; Atteya *et al.*, 2003). اولین پاسخ همه گیاهان به کمبود آب، بستن روزنه‌ها به‌منظور کاهش اتلاف آب از طریق تعرق است (Mahajan *et al.*, 2005). بسته شدن روزنه‌ها موجب حفظ و نگهداری آب در شرایط کم‌آبی می‌شود، اگرچه کاهش تبادلات گازی فتوسنتزی را نیز سبب خواهد شد (Chaves *et al.*, 2003; Mahajan *et al.*, 2005).

نتایج بررسی پتانسیل آب و پتانسیل اسمزی نشان داد که این صفات با افزایش شدت تنش در رقم حساس، کاهش شدیدی داشتند (منفی‌تر بودند) درحالی که این کاهش در ارقام مقاوم بسیار کمتر بود. پتانسیل آبی و پتانسیل اسمزی در اثر اعمال تنش در تمام ارقام کاهش پیدا کرد. همچنین رقم حساس موروکو دارای کمترین پتانسیل آب و اسمزی است (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده مبنی بر کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل

جدول ۲. نتایج مقایسه میانگین پتانسیل آبی، پتانسیل اسمزی و تنظیم اسمزی ژنوتیپ‌های مختلف جو در شرایط کنترل (c) و تنش ۵۰ درصد (50%AWC) و ۲۰ درصد آب در دسترس (20%AWC)

رقم	پتانسیل آبی (بار)		پتانسیل اسمزی (بار)		تنظیم اسمزی (بار)
	AWC20%	C20%	AWC20%	C20%	AWC20%
یوسف	-۱/۰۶۶a	-۱/۷۵۰bc	-۱/۴۲۷a	-۱/۹۵۴c	۰/۳۳۳a
موروکو	-۱/۰۶۶a	-۱/۹۶۶c	-۱/۳۳۲a	-۱/۸۷۷c	۰/۱۴۱b
فجر ۳۰	-۱/۰۰۰a	-۱/۸۶۶bc	-۱/۲۹۹a	-۲/۱۸۸d	۰/۳۱۲a
غیرزراعی	-۱/۱۵۰a	-۱/۶۰۰b	-۱/۶۲۹a	-۲/۰۹۸d	۰/۳۴۲a

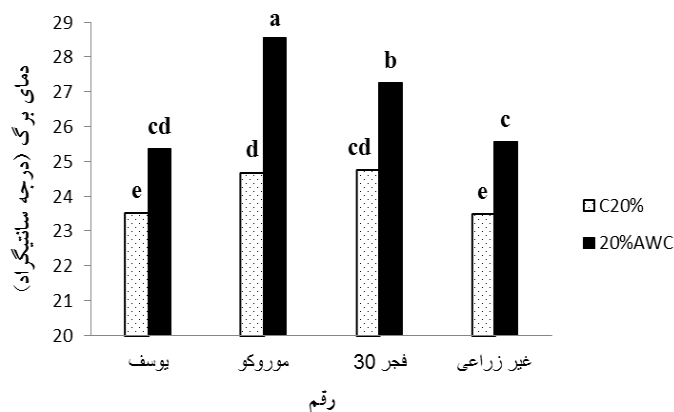
ارقام حساس بود که می‌توان به‌عنوان شاخص شناسایی ارقام متحمل از آن استفاده کرد. همچنین رقم متحمل یوسف دارای کمترین دمای برگ است (شکل ۳). این یافته‌ها با نتایج Reynolds *et al.* (2009) مطابقت دارد. کمتر بودن دمای برگ در ژنوتیپ‌های متحمل نسبت به حساس بیانگر ترازبندی بهتر آب در این گیاهان است که یکی از بهترین معیارها برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و گرماس است (Oliveres-Villegas, 2007; Siva *et al.*, 2007). به‌نظر می‌رسد جذب آب بیشتر توسط ریشه‌ها، حفظ و نگهداری وضعیت آبی مناسب در برگ‌ها (هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ) و تعداد روزنه‌های باز بیشتر، در نهایت سبب خنک شدن گیاهان از طریق تعرق می‌شود (Hosseini, 2009; Salekdeh *et al.*, 2009).

نتایج مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی نشان داد که اعمال تنش خشکی سبب کاهش این صفت در تمام ارقام می‌شود (شکل ۴). از طرف دیگر، در شرایط شاهد و تنش، وزن خشک اندام هوایی در رقم حساس نسبت به سایر ارقام بسیار کمتر است که می‌تواند معیاری برای انتخاب ارقام متحمل و حساس باشد. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های دیگر پژوهشگران مبنی بر کاهش وزن خشک اندام هوایی در اثر تنش خشکی مشابه است (Galeshi *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2008). مقدار تولید ماده تر و خشک گیاهی ارتباطی قوی با میزان سطح برگ و نور جذب‌شده توسط کانوبی دارد که کاهش هر یک از این شاخص‌ها می‌تواند سبب کاهش وزن تر و خشک گیاه شود. کاهش مداوم آب در خاک، به کاهش اندازه برگ و سطح برگ و در نتیجه کاهش ماده خشک اندام هوایی منجر می‌شود (Wanldron *et al.*, 1987).

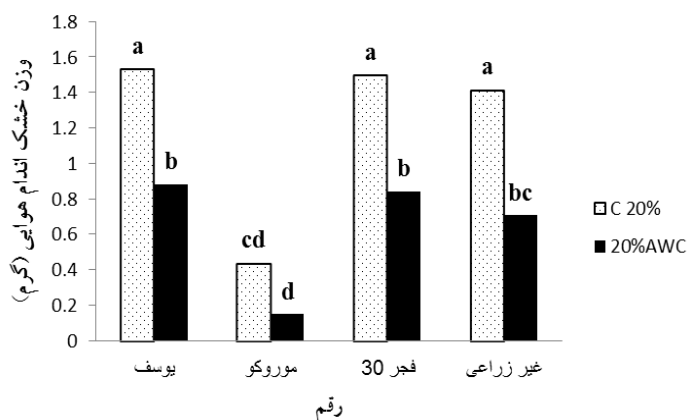
نتایج مقایسه میانگین داده‌های تنظیم اسمزی از زیاد بودن این صفت در ارقام متحمل نسبت به ارقام حساس در شرایط تنش خشکی حکایت دارد. همچنین اکوتیپ جو غیرزراعی اسپانتانوم دارای بیشترین میزان تنظیم اسمزی است (جدول ۲). وقتی گیاه با کاهش رطوبت خاک مواجه می‌شود، پتانسیل اسمزی ( $\Psi_s$ ) برگ‌های خود را کاهش می‌دهد. نقش تنظیم اسمزی به‌عنوان یک سازوکار افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی در برخی از گیاهان زراعی گزارش شده است (Chimenti *et al.*, 2002; Niknam *et al.*, 2003). همچنین مشخص شده که تنظیم اسمزی به‌عنوان عامل حفظ فشار آماسی در گیاهان عمل می‌کند (Kumar *et al.*, 1996; Wright *et al.*, 1998). نتایج سایر تحقیقات نشان داد که ژنوتیپ‌های کلزای برخوردار از توان زیاد تنظیم اسمزی، بهتر می‌توانند آماس سلولی خود را حفظ کنند (Kumar *et al.*, 1998). در شرایط تنش کمبود آب، تنظیم اسمزی از طریق تجمع اسمولیت‌های سازگار در سلول‌های گیاهی سبب تنظیم روزنه‌ای و فتوسنتزی (Morgan *et al.*, 1989)، رشد برگ‌ها (Turner *et al.*, 1986)، رشد ریشه و استخراج آب از خاک (Chimenti *et al.*, 2002)، تأخیر در پیر شدن برگ‌ها (Hsiao *et al.*, 1984)، حفظ رشد و عملکرد زیاد (Niknam *et al.*, 2003) می‌شود.

#### نتایج صفات مرتبط با اندام هوایی

نتایج نشان داد که دمای برگ ارقام متحمل در شرایط تنش نسبت به شاهد افزایش کمتری یافت، درحالی که این افزایش در ارقام حساس و نیمه‌متحمل بیشتر بود. دمای برگ ارقام متحمل در شرایط شاهد نیز کمتر از



شکل ۳. مقایسه دمای برگ تحت شرایط کنترل (C20%) و تنش ۲۰ درصد آب در دسترس (20% AWC)

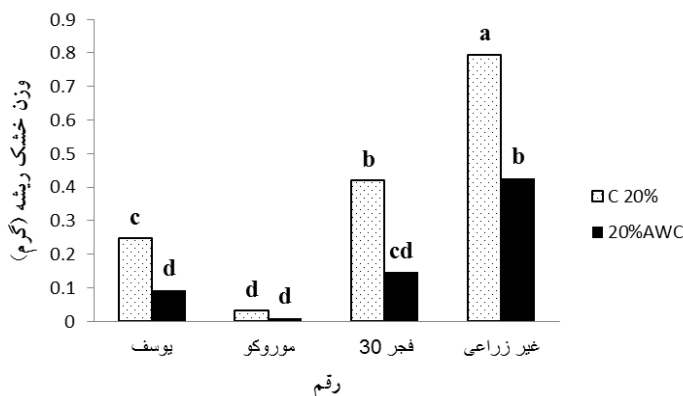


شکل ۴. مقایسه وزن خشک اندام هوایی تحت شرایط کنترل (C20%) و تنش ۲۰ درصد آب در دسترس (20% AWC)

نتیجه آن، وزن ریشه کاهش می‌یابد. گیاه در برابر خشکی، ترجیح می‌دهد بیشتر تولید فتوسنتز خود را به تجمع ماده خشک در ریشه اختصاص دهد تا این ماده را در ساقه و اندام هوایی ذخیره کند، زیرا با این کار توانایی خود را برای جذب مقدار بیشتری از آب موجود در خاک حفظ خواهد کرد (Asseng et al., 1998; Gregory et al., 1991).

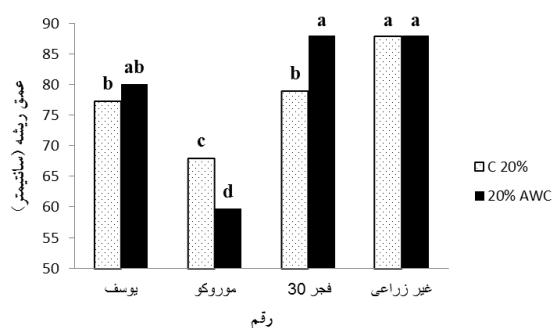
#### نتایج صفات مرتبط با ریشه

وزن خشک ریشه با اعمال تنش خشکی در تمام ارقام بررسی شده کاهش پیدا کرد. اکوتیپ جو غیرزراعی اسپانانئوم و رقم یوسف دارای بیشترین وزن خشک ریشه‌اند (شکل ۵). نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داده است که با محدود شدن مقدار آب درون خاک، رشد ریشه و در



شکل ۵. مقایسه وزن خشک ریشه تحت شرایط کنترل (C20%) و تنش ۲۰ درصد آب در دسترس (20% AWC)

عملکرد را در گیاهانی که به‌ویژه با محدودیت تنظیم اسمزی مواجه‌اند، افزایش می‌دهد. بنابر گزارش محققان در صورتی که رشد ریشه هم به‌واسطه خشکی خاک محدود شود، گیاه به تنظیم اسمزی و بیوسنتز یا جذب اسمولیت‌های سازگار مبادرت می‌ورزد. در صورت مواجهه گیاه با تنش خشکی، برای انتخاب ارقام پرمعمکرد می‌توان انتخاب را براساس قابلیت افزایش عمق ریشه به اعماق خاک و جذب آب انجام داد. این انتخاب به‌ویژه برای ژنوتیپ‌هایی که تنظیم اسمزی محدودی دارند مناسب‌تر است (Tuberosa, 2011).

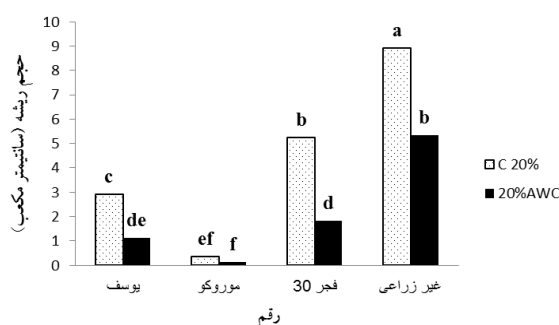


شکل ۷. مقایسه عمق ریشه تحت شرایط کنترل (C20%) و تنش ۲۰ درصد آب در دسترس (20% AWC)

#### همبستگی صفات اندازه‌گیری شده

محتوای نسبی آب، شاخص تنش خشکی و بهترین صفت برای بیان وضعیت آبی گیاه در شرایط تنش خشکی به‌شمار می‌رود. محتوای نسبی آب با صفات هدایت روزنه‌ای، تنظیم اسمزی، عمق ریشه، وزن خشک اندام هوایی، حجم ریشه و وزن خشک ریشه دارای همبستگی مثبت و با صفت دمای برگ دارای همبستگی منفی و معنی‌دار بود (جدول ۳). تنظیم اسمزی با تمام صفات مورد بررسی به‌جز پتانسیل اسمزی همبستگی مثبت و با دمای برگ و پتانسیل آبی همبستگی منفی نشان داد. هر چه دمای تاج پوشش گیاه کمتر باشد نشان از ترازبندی بهتر آب توسط گیاه دارد که ناشی از جذب بیشتر آب توسط ریشه‌هاست (Hosseini, Salekdeh *et al.*, 2009). نگهداری آب در برگ‌ها خنک شدن گیاه را در پی دارد. همبستگی منفی دمای برگ با سایر صفات نشان می‌دهد که گیاه متحمل در مواجهه با تنش خشکی آسیب کمتری خواهد دید. محتوای نسبی آب کم، گیاه را در معرض تنش شدیدی قرار می‌دهد که

مشابه وزن خشک ریشه، حجم ریشه نیز با افزایش شدت تنش در تمام ارقام کاهش پیدا کرد. همچنین اکوتیپ جو غیرزراعی اسپانانوم دارای بیشترین حجم ریشه است (شکل ۶). سایر تحقیقات نیز نشان داده‌اند که در اثر تنش خشکی و محدود شدن آب، مقدار ریشه در واحد حجم خاک کاهش پیدا می‌کند (Asseng *et al.*, 1998; Gregory *et al.*, 1991). با توجه به اینکه یکی از راهکارهای اصلی گیاه برای مقابله با تنش خشکی، افزایش توسعه ریشه است، این دو صفت (وزن و حجم ریشه) می‌توانند معیارهای مناسبی برای انتخاب ارقام متحمل از حساس باشند.



شکل ۶. مقایسه حجم ریشه تحت شرایط کنترل (C20%) و تنش ۲۰ درصد آب در دسترس (20% AWC)

عمق ریشه به‌واسطه قدرت جذب آب از قسمت‌های پایین خاک که در تنش خشکی نسبت به سطح خاک دارای رطوبت بیشتری است، بسیار اهمیت دارد. نتایج نشان داد که در ارقام متحمل و نیمه‌متحمل، عمق ریشه در شرایط تنش نسبت به شاهد افزایش پیدا کرده است، در حالی که تنش خشکی در رقم حساس سبب کاهش عمق ریشه نسبت به شرایط شاهد شده است که این عامل محدودیتی اساسی برای ارقام حساس است. همچنین در تنش اعمال‌شده اکوتیپ جو غیرزراعی اسپانانوم دارای بیشترین عمق ریشه است (شکل ۷). محققان دیگر نیز نتایج مشابهی را مبنی بر افزایش عمق ریشه بر اثر تنش خشکی و محدودیت آب گزارش کرده‌اند (Asseng *et al.*, 1998). در شرایط تنش خشکی اگر مقدار رطوبت در لایه‌های زیرین خاک بیشتر باشد، به‌طور معمول ریشه‌ها عمیق‌تر می‌شوند و سرعت رشد ریشه افزایش می‌یابد، که این کار با افزایش جذب آب،



اسمولیت‌های سازگار است. گیاه از این طریق آب زیادی را جذب می‌کند و توانایی خود را برای باز نگه داشتن روزه‌ها افزایش می‌دهد. نتیجه این فرایند تولید فراورده‌های فتوسنتزی بیشتر در گیاهان متحمل به خشکی است (Richards et al., 2004).

اختلال در سیستم آنزیمی گیاه، مختل شدن فتوسنتز و همچنین اختلال در انتقال مواد به سایر قسمت‌های گیاه را سبب می‌شود که خود، کاهش عملکرد ارقام حساس در شرایط خشکی را در پی خواهد داشت (Reynolds et al., 2009). زیاد بودن تنظیم اسمزی ناشی از تجمع

جدول ۳. ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی در تنش ۲۰ درصد آب در دسترس (20% AWC)

هدایت روزنه‌ای	پتانسیل آبی	وزن خشک اندام هوایی	عمق ریشه	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	محتوای نسبی آب برگ	دمای برگ	پتانسیل اسمزی	تنظیم اسمزی
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۰/۷۹۳**	۰/۶۷۲**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**
۰/۶۷۲**	۰/۶۱۱**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**
۰/۱۲۷	۰/۶۱۱**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**
۰/۵۳۶**	۰/۶۱۱**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**
۰/۶۰۴**	۰/۶۱۱**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**
۰/۵۸۰**	۰/۶۱۱**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**
۰/۴۰۲	۰/۶۱۱**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**
۰/۷۲۹**	۰/۶۱۱**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**
۰/۸۳۷**	۰/۶۱۱**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**
۰/۷۵۷**	۰/۶۱۱**	۰/۱۲۷	۰/۵۳۶**	۰/۶۰۴**	۰/۵۸۰**	۰/۴۰۲	۰/۷۲۹**	۰/۸۳۷**	۰/۷۵۷**

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

تنش به دلیل محتوای نسبی آب بیشتر، ترقق بیشتری دارند و از این رو دمای برگ را در سطح پایین‌تری نگه می‌دارند. از طرف دیگر در رقم حساس، در شرایط تنش، عمق ریشه و به دنبال آن، محتوای نسبی آب برگ و تنظیم اسمزی کاهش می‌یابد و دمای برگ در اثر کمی هدایت روزنه‌ای افزایش پیدا می‌کند.

### سپاسگزاری

از همکاری صمیمانه مسئولان، پژوهشگران و کارکنان پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران در تأمین اعتبار این تحقیق از پروژه مصوب "بررسی تغییرات محتوای پروتئین گیاه جو در پاسخ به تنش خشکی با استفاده از روش پروتئومیکس" و همچنین از جناب آقای دکتر علی دهقانی و جناب آقای مهندس محمد حسین‌زاده برای مشاوره در مورد نحوه آبیاری و اعمال تنش‌ها تشکر و قدردانی می‌گردد.

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که ارقام متحمل به خشکی در شرایط تنش دارای تنظیم اسمزی، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای و عمق ریشه بیشتر و دمای برگ کمتری نسبت به شرایط کنترل‌اند و به همین دلایل کمترین خسارت زیست‌توده را نشان می‌دهند. از طرف دیگر به دلیل اینکه عمق ریشه رقم حساس در شرایط تنش نسبت به شاهد کاهش یافته و میزان تنظیم اسمزی نیز اندک است، این رقم با محدودیت جذب مواجه شده و خسارت زیادی به زیست‌توده آن وارد آمده است. صفت تنظیم اسمزی با صفات عمق ریشه و محتوای نسبی آب برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و با دمای برگ دارای همبستگی منفی و معنی‌دار است. بنابراین ارقام مقاوم، در شرایط تنش می‌توانند با افزایش عمق ریشه، آب بیشتری جذب کنند و در نتیجه دارای تنظیم اسمزی و محتوای نسبی آب بیشتری باشند. این ارقام در شرایط

### REFERENCES

- Altinkut, A.K.K., Ipekci, Z. & Gozukirmizi, N. (2001). Tolerance to paraquat is correlated with the traits associated with water stress tolerance in segregating F2 populations of barley and wheat. *Euphytica*, 121, 81-86.

2. Asseng, A., Ritchie, J.T. & Smuchker, A.J.M. (1998). Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. *Plant and Soil*, 201, 265-273.
3. Atteya, A. (2003). Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. *Bulgarian Journal Plant physiology*, 29, 63-76.
4. Blum, A. (1989). Osmotic Adjustment and Growth of Barley Genotypes under Drought Stress. *Crop Science Journal*, 29, 230-233.
5. Chaves, M.M., Junica, M. & Pereira, J.S. (2003). Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30, 239-264.
6. Chimenti, C.A., Ppearson, J. & Hall, A.J. (2002). Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crop Research*, 10, 235-246.
7. Demirevska, K., Samina, L., Vassileva, V., Vaseva, I., Grigorova, B. & Feller, U. (2008). Drought-induced leaf protein alterations in sensitive and tolerant wheat varieties. *Gen App Plant Physiol*, 34, 79-102.
8. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S.M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212.
9. Garg, A.K., Owens, T.G., Ranwala, A.P., Choi, Y.D., Kochian, L.V. & Wue, R.J. (2002). Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 15898-15907.
10. Ghamarnia, H. & Gorge, J. (2005). Effect of water stress on three wheat cultivars. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 15-19.
11. Gonzalez, A., Morgan, I. & Ayerbe, L. (1999). Barley yield in water-stress conditions the influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field crops research*, 62, 23-34.
12. Gregory, P., Baum, A. & Yambao, J. (1991). The fate of carbon in pulse-labelled crops of barley and wheat. *Plant & Soil Science*, 136, 205-213.
13. Guo, P., Grando, S., Ceccarelli, S., Bai, G., Li, R., Von korff, M., Varshney, R.K., Graner, A. & Valkoun, J. (2009). Differentially expressed genes between drought-tolerant and drought-sensitive barley genotypes in response to drought stress during the reproductive stage. *Journal of Experimental Botany*, 60, 3531-3544.
14. Hosseini Salekdeh, G.R., John, R., Boyer, E. & John, M. (2009). Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding. *Trends in Plant Science*, 14, 1360-1385.
15. Hsiao, T.C., Yambao, E.B. & Turner, N.C. (1984). Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant physiology Journal*, 75, 338-341.
16. Khakwani, A.A., Dearin, M. & Munir, M. (2011). Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 33, 135-142.
17. Khan, S. (2010). Resistance mechanisms in plants under stress conditions. *Journal if American Science*, 6, 34-41.
18. Kocheva, K. & Gorgek, G. (2003). Evaluation of the reaction of two contrasting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in response to osmotic stress with PEG 6000. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 49, 290-294.
19. Kramer, P.J. & Benjamin, J. (1995). Water relations of plants and soils. *Academic Press, San Diego*, 69, 489-500.
20. Kumar, A. & Samjen, D. (1998). Use of Physiological Indices as a Screening Technique for Drought Tolerance in Oilseed Brassica Species." *Annals of Botany*, 81, 413-420.
21. Li, R., Baum, M., Grando, M. & Ceccarelli, S. (2008). Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agriculture Science in China*, 5, 751-757.
22. Mahajan, S. & Amania, T. (2005). Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Arch. of biochem. Biophysical Journal*, 444, 139-158.
23. Morgan, J.M., Antonia, C. & Arevana, G. (1989). Water-use, grain yield and osmoregulation in wheat. *Australian Journal Plant Physiology*, 13, 523-532.
24. Nevo, E. & Comar, G. (2010). Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell & Environment*, 33, 670-685.
25. Niknam, S.R., Morgan, Q. & Turner, D.W. (2003). Osmotic adjustment and seed yield of Brassica napus and B. juncea genotypes in a water-limited environment in south-western Australia. *Australian journal of experimental agriculture*, 43, 1127-1135.
26. Nik khah, A.R. (2007). The final report of the project terminal drought tolerance in barley cultivars and advanced lines. Page 72. *Registration number: 86/1495*. (In Farsi)
27. Olivares-Villegas, J. M., Reynolds, M. & Mcdonald, R. (2007). Drought-adaptive attributes in the Seri/Babax hexaploid. *Australian journal of experimental agriculture*, 43, 1127-1135.
28. Passioura, J.B. (1988). Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soils. *Austrlian Journal Plant Physiology*, 15, 687-693.

29. Reynolds, T.L. & Jordan, D. (2009). Abscisic acid enhances the ability of the desiccation -tolerant fern *Polypodium virginianum* to withstand drying. *Journal of Experimental Botany*, 269, 1771-1779.
30. Richards, R. A. (2004). Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water scarce environments. In New directions for a diverse planet. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Crop Sciences Congress. Brisbane, Australia, 26 September - 1 October 2004.
31. Siva, M.A., Da Silva, J.A. & Sharma, S. (2007). Use of physiology parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 193-201.
32. Taiz, L. & Zeiger, E. (2002). Plant physiology. (3<sup>rd</sup> edn). Sunderland, MA. *Sinauer Associates Publishers*.
33. Tuberosa, R. (2011). Phenotyping for drought tolerance of crop in the genomics era: Key concepts, issues and approaches. *University of Bologna, Italy. Frontiers in Physiology Journal*, 3, 1-26
34. Turner, N. (1986). Crop water deficits: a decade of progres. *Advances in Agronomy*, 39, 1-15.
35. Vaezi, B., Borman, V. & Shiran, B. (2010). Screening of barley genotypes for drought tolerance by agro-physiological traits in field condition. *African Journal of Agricultural Research*, 5, 881-892.
36. Wright, P.R., Morgan, J. & Jessop, R.S. (1996). Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits. *Plant water relations and growth Field crops research*, 49, 51-64.
37. Zahravi, M. (2009). Evaluation of Genotypes of Wild Barley (*Hordeum spontaneum*) Based on Drought Tolerance Indices. *Seed and Plant Journal*, 25, No. 4-Volume 1. (In Farsi).