به زراعی کشاورزی
دوره ۱۶ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۳
صفحه‌های ۹۸-۸۵

ارزیابی صفات مورفوفیزیولوژی رقم‌های جو زراعی و وحشی در وضعیت تنش کم‌آبیاری

ریحانه پیشکام‌راد[۱]، علی ایزدی دربندی*[۲]، مریم شهبازی[۳]، مهدی فاضل نجف‌آبادی[۴]، حمیدرضا نیکخواه[۵]، رها عابدینی[۶]، مرتضی براتی[۱]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
۲. دانشیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
۳. استادیار گروه فیزیولوژی، پژوهشکدهٔ بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، ایران.
۴. استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
۵. استادیار، بخش تحقیقات غلات، مؤسسهٔ اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر،کرج، ایران.
۶. دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی، پژوهشکدهٔ بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۲۷

چکیده

به‌منظور بررسی واکنش رقم‌های مختلف جو به خشکی، آزمایشی با دو نمونهٔ وحشی و چهار رقم زراعی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در وضعیت گلخانه در مرحلهٔ رویشی گیاه اجرا شد. در این تحقیق، ارقام جو به‌عنوان عامل اول، و تیمار آبیاری در سه سطح آبیاری ۷۰، ۳۰ و ۱۰ درصد ظرفیت نگهداری آب خاک به‌عنوان عامل دوم منظور شدند. تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی و ژنوتیپ بر خصوصیات مورفولوژی مانند تعداد پنجه، ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، سطح برگ و برخی خصوصیات فیزیولوژیک شامل درصد مادهٔ خشک، محتوای نسبی آب برگ، میزان سبزینگی برگ، پتانسیل اسمزی، تنظیم اسمزی، هدایت روزنه‌ای و دمای کانوپی معنادار بود. بین محتوای نسبی آب برگ و دو صفت درصد مادهٔ خشک و پتانسیل اسمزی، همبستگی مثبت و معناداری مشاهده شد. در تجزیهٔ علیت، پتانسیل اسمزی بیشترین اثر مستقیم را بر درصد مادهٔ خشک گیاه داشت. از بین ارقام زراعی، رقم موروکو؛ و از بین جوهای اسپانتانئوم، نمونهٔ 41-1/check S09 در مقایسه با دیگر ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش‌های اعمال‌شده حساسیت بیشتری از خود نشان دادند.

کلیدواژه‌ها: پتانسیل آبی، جو اسپانتانئوم، خشکی، رشد، مورفولوژی.

* نویسنده مسئول Email: aizady@ut.ac.ir

۱. مقدمه

تنش‌های محیطی مهم‌ترین عامل محدودکنندهٔ باروری غلات در جهان، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند که تولید موفق گندم و جو را در این مناطق همواره به مخاطره می‌اندازند. با روند فعلی رشد جمعیت، تولیدات مواد غذایی در آینده، بی‌گمان جوابگو نخواهد بود، بنابراین با در نظر گرفتن اهمیت غلات به‌عنوان اصلی‌ترین منبع غذایی انسان، هر گونه تحقیق در زمینهٔ تنش خشکی می‌تواند راهگشای موفقیت هرچه بیشتر به‌نژادی در تولید ارقام با پتانسیل عملکرد زیاد و متحمل در برابر تنش باشد [۹]. ایران با متوسط بارندگی سالیانه ۲۶۰ میلی‌متر (این مقدار یک‌سوم متوسط بارندگی در جهان است) و مقدار تبخیر ۱۸۰۰ میلی‌متر، جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. نیمی از اراضی قابل کشت کشور در این مناطق قرار دارند. از سوی دیگر، از حدود ۱۸/۵ میلیون هکتار اراضی کشاورزی، ۶/۲ میلیون هکتار (۳۳/۵ درصد) به کشت دیم اختصاص دارد [۱۰].

جو براساس ارزش تجاری چهارمین غلهٔ مهم دنیا (پس از گندم، ذرت و برنج) است. گیاه جو در مناطق خشکی که بارندگی بسیار اندک، غیرقابل پیش‌بینی و متغیر است، نقش مهمی در تغذیهٔ انسان و دام دارد. جو با سطح زیر کشت بیش از ۱/۵ میلیون هکتار در سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ که ۶۵۰ هزار هکتار آن به‌صورت فاریاب با میانگین عملکرد ۲۹۰۰ کیلوگرم در هکتار، و ۹۳۵ هزار هکتار آن به‌صورت دیم با میانگین عملکرد ۱۰۳۳ کیلوگرم در هکتار است، از عمده محصولات زراعی ایران به‌شمار می‌رود. کل تولید سالانهٔ این محصول بیش از سه میلیون تن تخمین زده می‌شود [۱]. خویشاوندان وحشی گیاهان زراعی توان زیادی از لحاظ تحمل به تنش‌های محیطی دارند. جو وحشی[1]، والد جو زراعی است و هیبرید آن با جو زراعی زایا است. جو اسپانتانئوم از نظر تعداد کروموزوم مشابه جو زراعی است و هیچ مانع بیولوژیکی برای تلاقی بین این دو گونه وجود ندارد [۲۲]. از دورگ‌گیری این دو در افزایش تنوع زیستی جو زراعی استفاده می‌شود. این گونه منبع ژن‌های مقاومت در برابر تنش شوری و خشکی در اصلاح جو محسوب می‌شود.

مطالعه در زمینهٔ تحمل به خشکی نشان می‌دهد این ژن‌های تحمل در روند اهلی شدن و زراعی شدن جو به‌دلیل تأکید بر عملکرد و صفات زراعی مناسب در گیاه جو تضعیف شده‌اند. تنوع ژنتیکی در جو زراعی به‌علت اصلاح آن به‌طور فزاینده‌ای محدود شده است. این وضعیت سبب ایجاد مشکل در سازش این گیاه با شرایط نامساعد محیطی از قبیل تنش‌های زنده مانند بیماری‌ها و تنش‌های غیرزنده نظیر خشکی و شوری شده است، از این‌رو جو اسپانتانئوم به منبع ژرم‌پلاسم مهمی برای انتقال ژن‌های متحمل به جو زراعی تبدیل شده است [۲۰]. در مورد تنش خشکی بر روی برگ گیاهان می‌توان گفت تنش خشکی در طول دورهٔ رویشی گیاه به کوچک شدن برگ‌ها، کاهش شاخص سطح برگ در دورهٔ رسیدن محصول و نیز مقدار جذب نور توسط گیاه منجر می‌شود. همچنین بیوسنتز کلروفیل در وضعیت کم‌آبی شدید متوقف می‌شود. در اثر این تنش ممکن است تغییرات متعددی در گیاه و برگ‌های آن حاصل شود. لوله‌ای شدن برگ‌ها، پیچ خوردن برگ‌ها، کاهش سطح برگ، ریزش برگ‌های مسن، صیقلی و چرمی شدن برگ‌ها، پرزدار شدن، افزایش تعداد روزنه‌ها و کاهش اندازهٔ آنها از آثار تنش خشکی در گیاهان مختلف است. نوع ژنوتیپ و مرحلهٔ رشد گیاه در شدت صدمات وارد بر گیاه، نقش تعیین‌کننده‌ای دارد [۵].

هدف از پژوهش حاضر، بررسی واکنش رقم‌های مختلف جو به خشکی ناشی از کم‌آبیاری، با اندازه‌گیری تغییرات صفات مختلف مورفولوژی و فیزیولوژی در چهار

1. Hordeum spontaneum

رقم زراعی و دو نمونهٔ وحشی در مرحلهٔ رویشی برای شناخت بیشتر راهکارهای مقاومت به خشکی است.

۲. مواد و روش‌ها

این تحقیق در مرداد سال ۱۳۸۹ در گلخانهٔ پژوهشکدهٔ بیوتکنولوژی کشاورزی ایران واقع در شهر کرج انجام گرفت. وضعیت محیطی ایجادشده در گلخانه شامل دما (۵±)۲۲، رطوبت نسبی (۵±) ۷۰ درصد و شدت روشنایی 1200 µmol.m-2.s بود. مواد گیاهی استفاده‌شده در این تحقیق، چند رقم متحمل، نیمه‌حساس و حساس به تنش خشکی شامل چهار رقم جو زراعی[1] یوسف (متحمل)، فجر ۳۰ (نیمه‌حساس)، مارتین (متحمل) و موروکو ۷۵-۹ (حساس) و دو نمونه جو وحشی[2] متحمل 02TN374 (از بانک ژن گیاهی ملی ایران) و S09 41-1/check (از ایکاردا) بود [۳، ۶ ، ۱۳]. ارقام زراعی به‌ترتیب HV1 تا HV4 و نمونه‌های وحشی نیز HS1 و HS2 نامگذاری شدند.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار شامل تیمار آبیاری در سه سطح نرمال (آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب خاک یا C)، تنش ملایم (۳۰ درصد ظرفیت نگهداری آب خاک یا T1) و تنش شدید (۱۰ درصد ظرفیت نگهداری آب خاک یا T2) در وضعیت گلخانه اجرا شد. گلدان‌ها با پیت و پرلیت به‌نسبت ۳:۱ به‌مقدار ۶۵۰ گرم پر شدند. برای چهار رقم زراعی سه تکرار و در هر تکرار هشت گلدان و در هر گلدان چهار بوته و برای دو اکوتیپ وحشی نیز سه تکرار، ولی به‌دلیل کمبود بذر در هر تکرار چهار گلدان و در هر گلدان چهار بوته در نظر گرفته شد. گلدان‌ها تا رسیدن به ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب خاک هر روز آبیاری شدند.

تیمارهای آبیاری در مرحلهٔ رویشی و در زمان دوبرگی (۱۲ روز بعد از کشت) اعمال شد. پس از رسیدن به مقدار تنش مورد نظر از برگ‌های جوان توسعه‌یافته (برگ‌های دوم و سوم از بالا) تغییرات کلروفیل با دستگاه SPAD-50L براساس تفاوت جذب کلروفیل در دو طول موج نور عبورکرده از برگ [۲۲]، دمای برگ با Portable (GMbH) Thermal Imager IVN-770-P براساس تبدیل انرژی تشعشعی به دما [۲۲]، هدایت روزنه‌ای با پرومتر (AP4) براساس اندازه‌گیری بخار آب، پتانسیل اسمزی با اسمومتر (VIESCOR VAPOR 5520) با استفاده از فرمول وانت هوت [۱۸]، درصد مادهٔ خشک، محتوای نسبی آب براساس فرمول RWC (%)= (FW-DW)/(TW-DW) که RWC : محتوای نسبی آب برگ، FW : وزن تر برگ، TW : وزن برگ آماس‌شده، و DW : وزن خشک برگ است، اندازه‌گیری شد. دیگر صفات مورفولوژیکی مانند سطح و تعداد برگ اندازه‌گیری شدند [۲۴]. با توجه به سهم مهم وزن خشک گیاه در عملکرد نهایی بذر، تعیین تغییرات مورفوفیزیولوژی بر وزن خشک گیاه تا پایان مرحلهٔ رویشی به‌عنوان یکی از اجزای مؤثر عملکرد گیاه، هدف نهایی این تحقیق است. نرم‌افزارهای آماری SAS و SPSS برای آنالیز داده‌ها به‌کار گرفته شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. ارزیابی‌های مورفولوژی

در زمان اعمال تنش و قطع آبیاری، گیاهان شاهد و تحت تیمار، تعداد برگ و ارتفاع یکسانی داشتند. پس از اعمال تنش و گذشت یک هفته در تنش شدید و بعد از سه هفته در تنش ملایم‌تر، آثار پژمردگی و کاهش ارتفاع، تعداد برگ و پنجه مشهود بود.

1. Hordeum vulgare L.
2. H. spontaneum

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس صفات مورفولوژی و فیزیولوژی مربوط به چهار رقم زراعی و دو نمونهٔ وحشی گیاه جو در وضعیت تنش خشکی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات							
		مادهٔ خشک (٪)	تعداد برگ در بوته	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	هدایت روزنه‌ای	مقدار سبزینگی (میلی‌گرم)	دمای برگ (سانتی-گراد)	پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال)
رقم	۵	۴۹۲/۶۷**	۷۰/۶۴**	۳۵۲/۲۱**	۵۷۳/۸۷**	۲۸۲/۶**	۲۵/۳۶**	۱۳/۱۵**	۰/۵۲**
رژیم آبیاری	۲	۱۰۰۵۲/۰۶**	۷۹۰/۳۵**	۴۲۱/۹۹**	۳۶۲۰/۴۲**	۲۶۵/۱۵**	۲۲۴/۸۷**	۸۷/۷۵**	۵/۳۵**
رقم × رژیم آبیاری	۱۰	۲۱۸/۳۴**	۲۱/۳۴**	۲۶/۴۶**	۴۹۲/۲۷**	۱۳۴/۶۴**	۱۰۸/۷۸**	۳/۰۷**	۰/۳۴**
خطا	۳۶	۱۴/۵۲	۱/۰۹	۸/۵۳	۱۵/۸۸	۴۱/۸	۳/۲۱	۰/۴۵	۰/۰۰۷۴
ضریب تغییرات		۴/۹۳	۹/۱۱	۲۱/۶۴	۵/۱۵	۱۲/۳۱	۲۲/۶	۲/۷۱	۵/۰۹

* و **: به‌ترتیب معنادار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۲. همبستگی صفات مورفولوژی و فیزیولوژی مربوط به چهار رقم زراعی و دو نمونهٔ وحشی گیاه جو در وضعیت تنش خشکی

	درصد مادهٔ خشک (٪)	تعداد برگ در بوته	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	محتوای نسبی آب برگ (٪)	هدایت روزنه‌ای (mmol m-2 s-1)	مقدار سبزینگی (میلی‌گرم)	دمای برگ (سانتی‌گراد)
تعداد برگ در بوته	۰/۶۹**						
سطح برگ	۰/۴۶**	۰/۴۳**					
محتوای نسبی آب برگ	۰/۷۶**	۰/۴۴**	۰/۴۶**				
هدایت روزنه‌ای	۰/۸۶**	۰/۷۵**	۰/۴۹**	۰/۶۱**			
مقدار سبزینگی	۰/۴۲**	۰/۳۹**	۰/۳۷**	۰/۵۱**	۰/۵۱**		
دمای برگ	-۰/۷۶**	-۰/۵۵**	-۰/۵۸**	-۰/۷۰**	-۰/۷۵**	-۰/۶۰**	
پتانسیل اسمزی	۰/۸۵**	۰/۵۲**	۰/۳۰*	۰/۷۸**	۰/۶۷**	۰/۱۹ns	۰/۵۵**

ns و * و** - به‌ترتیب غیرمعنادار و معنادار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

۳.۱.۱. تجزیهٔ واریانس

نتایج تجزیهٔ واریانس برای صفات مورفولوژی و فیزیولوژی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد پنجه، سطح برگ پرچم، سطح برگ توسعه‌یافته، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، مقدار سبزینگی، دمای برگ و پتانسیل اسمزی در ارقام زراعی و نمونه‌های وحشی در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اثر رقم، رژیم آبیاری و اثر متقابل آنها برای همهٔ صفات مورفولوژی اندازه‌گیری‌شده در این تحقیق در سطح احتمال یک درصد معنادار شده است. از آنجا که اثر متقابل (رقم × رژیم آبیاری) نیز معنادار شد، اثر سطوح مختلف رژیم آبیاری بر تک‌تک رقم‌ها بررسی شده است. همچنین ضریب تغییرات نیز برای همهٔ صفات برآورد شد، که با توجه به مقادیر متوسط به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که آزمایش به‌کاررفته، بسیار دقیق است.

۳.۱.۲. تجزیهٔ همبستگی

ارتباط صفات مورفولوژی و فیزیولوژی به‌صورت جدول ضرایب همبستگی ساده (پیرسون) بین صفات در جدول ۲ ارائه شده است. بیشترین همبستگی مثبت و معنادار در سطح ۱ درصد مربوط به تعداد پنجه و تعداد برگ در بوته بود (r=۰/۹۲). بنابراین مشخص است که با افزایش تعداد پنجه، تعداد ساقه و برگ افزایش می‌یابد. هدایت روزنه‌ای با تعداد برگ در بوته همبستگی قوی و منفی داشت. همچنین بین درصد مادهٔ خشک، محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل اسمزی همبستگی مثبت و زیادی دیده شد. دمای برگ همبستگی منفی و زیادی در سطح احتمال ۱ درصد نشان داد. درصد مادهٔ خشک نیز با هدایت روزنه‌ای و مقدار سبزینگی، همبستگی مثبت و زیادی در سطح احتمال ۱ درصد داشت. بین دیگر صفات همبستگی متوسط یا ضعیفی مشاهده شد.

۳.۱.۳. تجزیهٔ رگرسیون گام به‌گام

در تجزیهٔ رگرسیون مرحله‌ای به‌روش گام‌به‌گام[1]، درصد وزن خشک به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل بقیهٔ صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل بررسی شد (جدول ۳). در نهایت سه صفت در مدل مربوط باقی ماند که ضرایب رگرسیون برای همهٔ صفات معنادار بود. هدایت روزنه‌ای، اولین صفتی بود که وارد مدل شد؛ معادلهٔ رگرسیون آن به‌صورت $Y= 47.10 + 0.57\ X$ به‌دست آمد که ۷۵ درصد از تغییرات درصد وزن خشک را توجیه کرد. صفات بعدی در مدل، پتانسیل اسمزی و دمای برگ بودند که به‌ترتیب، ضرایب همبستگی چندگانه ناقص ۱۳ و ۲ درصد داشتند. این صفات در مجموع ۹۰ درصد از تغییرات درصد مادهٔ خشک را توجیه کردند. در رگرسیون چندمتغیره با سه صفت به‌عنوان متغیرهای مستقل روی درصد مادهٔ خشک، صفت پتانسیل اسمزی، دارای بزرگ‌ترین ضریب رگرسیون معنادار بود (۱۷/۷٤)، ازاین‌رو بیشترین تأثیر بر درصد مادهٔ خشک را داشت. همچنین با توجه به اینکه هم ضریب تبیین و هم کلیهٔ ضرایب رگرسیون معنادار بود، نتیجه می‌گیریم که هر یک از متغیرهای X_1 تا X_3 هم به‌تنهایی و هم با همدیگر بر درصد مادهٔ خشک تأثیر معناداری داشته‌اند.

۳.۱.۴. تجزیهٔ مسیر (علیت)

براساس نتایج حاصل از تجزیهٔ علیت، عاملی که بیشترین اثر مستقیم را بر درصد مادهٔ خشک داشت، مربوط به پتانسیل اسمزی بود (جدول ۴). همچنین مشخص شد که دمای برگ اثر مستقیم منفی بر درصد مادهٔ خشک دارد که این نتیجه در تجزیهٔ همبستگی نیز به‌دست آمد. در نهایت، تأثیرات باقی‌مانده ۰/۳۱ برآورد شد. بنابراین پنج صفت تحت بررسی در تجزیهٔ علیت توانستند ۶۹ درصد صفت درصد مادهٔ خشک را توجیه کنند.

1. Stepwise

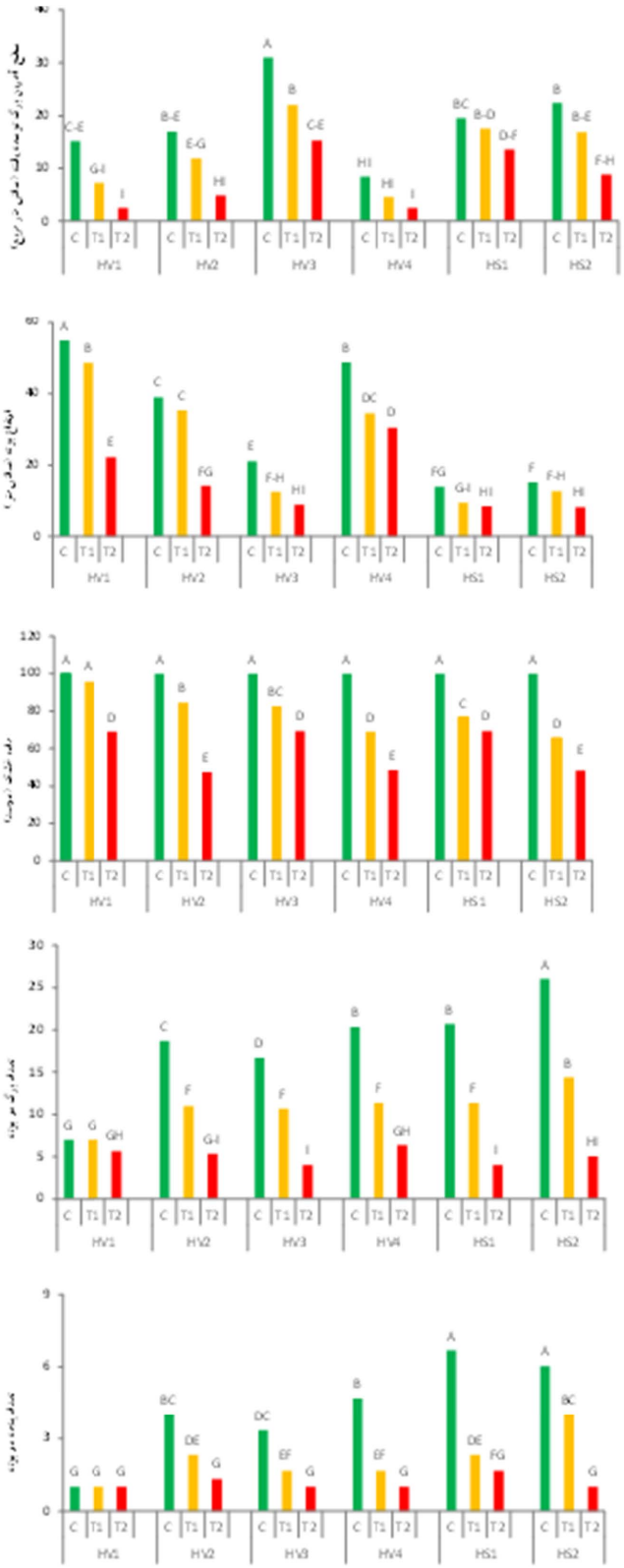
جدول ۳. تجزیهٔ رگرسیون گام‌به‌گام درصد وزن خشک (متغیر وابسته) با دیگر صفات

مرحله	صفت واردشده در مدل	a	b_1	b_2	b_3	ناقص R^2	مدل نهایی R^2
۱	هدایت روزنه‌ای ($mmol / m^2 s$)	۴۷/۱۰**	۰/۵۷**			۰/۷۵	۰/۷۵
۲	پتانسیل اسمزی (مگاپاسکال)	۹۰/۲۴**	۰/۳۵**	۱۸/۳۸**		۰/۱۳	۰/۸۸
۳	دمای برگ (سانتی‌گراد)	۱۴۱/۸۴**	۰/۲۶**	۱۷/۷۴**	−۱/۹۲**	۰/۰۲	۰/۹۰

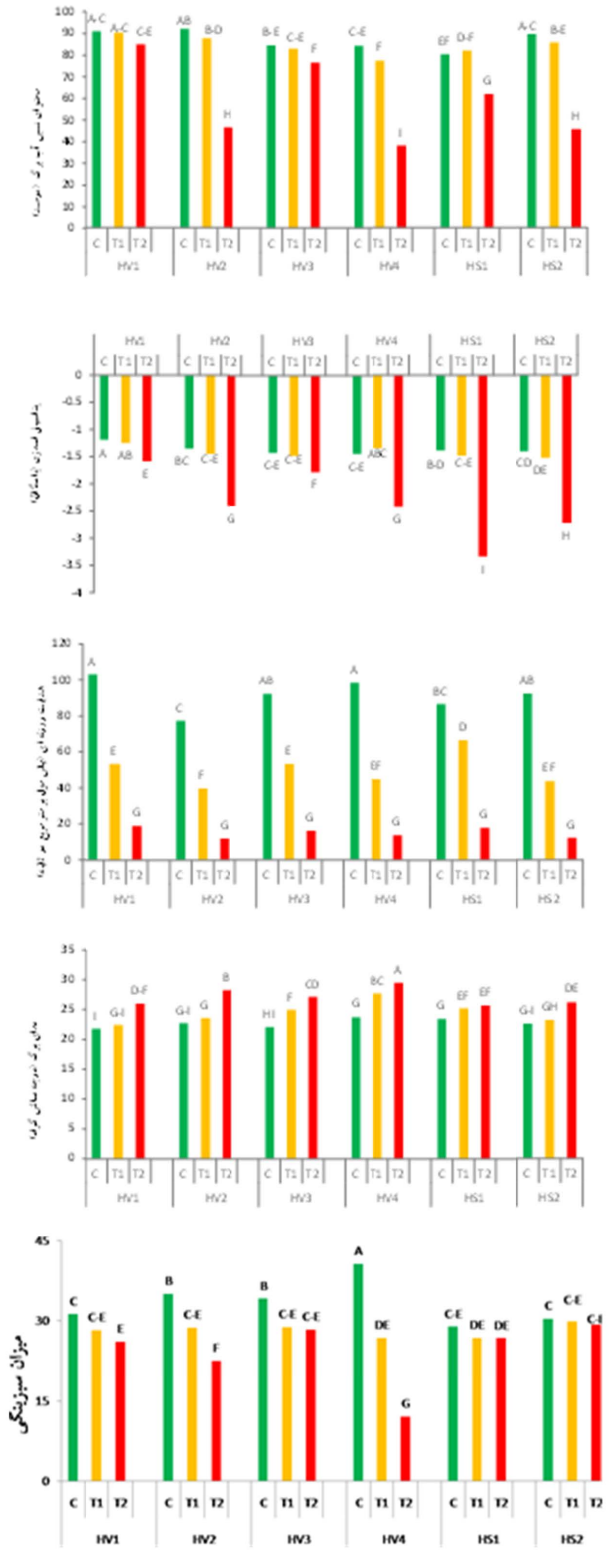
جدول ۴. تجزیهٔ علیت تأثیر صفات مختلف به‌عنوان مستقل بر صفت درصد وزن خشک (صفت وابسته)

صفت	۱	۲	۳	۴	۵	r_{xy}
تعداد برگ در بوته	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۶۹
محتوای نسبی آب برگ (٪)	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۷۶
هدایت روزنه‌ای ($mmol/ m^2 s$)	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۱۴	۰/۳۰	۰/۸۶
دمای برگ (°C)	−۰/۰۵	−۰/۰۲	−۰/۲۳	−۰/۱۹	−۰/۲۵	−۰/۷۶
پتانسیل اسمزی (mpa)	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۱۰	۰/۴۵	۰/۸۵

آزمون مقایسهٔ میانگین به‌روش دانکن انجام گرفت و روند تغییرات هر صفت برای هر رقم گیاه جو در سطوح مختلف رژیم آبیاری بررسی شد. این نمودارها برای صفات مورفولوژی در شکل ۱ آمده است که در محور افقی، رقم‌ها و سطوح رژیم آبیاری؛ و در محور عمودی، صفات اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شده‌اند. با افزایش سطح، تنش سطح برگ کاهش یافت. در بین ارقام بررسی‌شده رقم HV1 بیشترین کاهش را در سطوح تنش نسبت به شاهد نشان داد. با توجه به نمودار سطح آخرین برگ پرچم (شکل ۱)، نمونه‌های وحشی و رقم زراعی HV3 در مرحلهٔ اعمال تنش شدید به برگ پرچم نرسیده بودند. رقم HV3 دارای بیشترین سطح برگ پرچم در سطح تنش شاهد آبیاری بود و کاهش شدیدی در سطح تنش ۱۰ درصد آن مشاهده شد. تعداد برگ در بوته با افزایش سطح تنش کاهش یافت. این کاهش در همهٔ رقم‌ها مشاهده شد و افت شدیدی در نمونهٔ وحشی HS2 در سطح تنش شدید نسبت به شاهد و سطح تنش ملایم به چشم خورد (شکل ۱). برای تعداد پنجه در بوته، بیشترین میانگین مربوط به رقم‌های وحشی تحت تیمار شاهد است. اثر تیمار خشکی موجب کاهش آن به‌ویژه در تنش خشکی شدید شد و این روند کاهشی در ارقام زراعی نیز به چشم خورد. برای ارتفاع بوته همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، با افزایش سطح تنش روند کاهشی مشاهده می‌شود. کمترین ارتفاع بوته در هر سه سطح تنش مربوط به نمونه‌های وحشی بود.



شکل ۱. مقایسهٔ میانگین صفات مورفولوژی در چهار رقم زراعی و دو نمونهٔ وحشی گیاه جو در وضعیت تنش خشکی



شکل ۲. مقایسهٔ میانگین صفات فیزیولوژی در چهار رقم زراعی و دو نمونهٔ وحشی گیاه جو در وضعیت تنش خشکی ملایم

به‌دلیل تفاوت ژنتیکی بین رقم‌ها در تولید مادهٔ خشک، برای مقایسهٔ بهتر آنها و اثر تیمار خشکی، درصد مادهٔ خشک نسبت به شاهد (آبیاری ۷۰ درصد WHC) به‌جای مادهٔ خشک کل بررسی شد. با اعمال تنش خشکی و تشدید آن درصد مادهٔ خشک روند کاهشی نشان داد (شکل ۱). رقم HV1 و نمونهٔ وحشیHS1 بیشترین درصد مادهٔ خشک در تنش شدید خشکی را به خود اختصاص دادند. در بین ارقام زراعی، پس از HV1، HV3 در هر دو سطح تیمار آبیاری، درصد مادهٔ خشک بیشتری (حدود ۷۰ درصد تیمار شاهد)، و HV2 و HV4 در تنش شدید، کاهش مادهٔ خشک بیشتری (حدود ۴۵ درصد تیمار شاهد) نسبت به ارقام دیگر داشتند. بین نمونه‌های وحشی، HS1 کاهش مادهٔ خشک کمتری نسبت به HS2 در تیمارهای خشکی از خود نشان داد.

۲.۳. ارزیابی‌های فیزیولوژی

با افزایش سطح تنش، محتوای نسبی آب برگ کاهش داشت و در همهٔ ارقام به‌جز HV1، افت شدیدی در سطح تنش ۱۰ درصد نسبت به شاهد و سطح تنش ۳۰ درصد مشاهده شد (شکل ۲). مقدار سبزینگی با افزایش سطح تنش، روند کاهشی داشت و این کاهش در رقم حساس HV4 در سطح تنش ملایم نسبت به شاهد و سطح تنش ۱۰ درصد با شدت بیشتری مشاهده شد (شکل ۲). برای هدایت روزنه‌ای روند کاهشی تقریباً ثابتی برای همهٔ رقم‌ها با اعمال تنش مشاهده شد. در نمونهٔ وحشی HS1، کاهش در تنش ملایم کمتر از ارقام دیگر بود. این کاهش برای رقم‌های یوسف، موروکو و وحشی به‌ترتیب ۸۲، ۸۶ و ۸۰ درصد نسبت به وضعیت نرمال رطوبتی بود. دمای برگ در گیاهان تحت تنش خشکی شدید بسته به رقم تا ۵/۵ درجهٔ سانتی‌گراد نسبت به وضعیت نرمال افزایش نشان داد؛ بیشترین افزایش معنادار در سطح تنش ۱۰ درصد در ارقام نیمه‌متحمل HV2 و حساس HV4 مشاهده شد (شکل ۲).

با توجه به نمودار پتانسیل اسمزی، این میزان با افزایش سطح تنش کاهش پیدا کرد (منفی‌تر شد) و بیشترین کاهش در نمونه‌های وحشی به‌خصوص نمونهٔ HS1 مشاهده شد (شکل ۲). مقایسهٔ تنظیم اسمزی در تنش ملایم (OA1) و شدید (OA2) نشان می‌دهد که به‌طور کلی تنظیم اسمزی در همهٔ ارقام (به‌جز HV2 وHS1) که داده برای آن وجود ندارد و قابل مقایسه نیستند) در تنش شدید نسبت به تنش ملایم افزایش داشت (جدول ۵). به‌طور کلی، تنظیم اسمزی در رقم HV4 از همهٔ رقم‌های دیگر پایین‌تر بود. ارقام HV3 و HS2 در سطح تنش دوم نسبت به رقم حساس افزایش بیشتری داشت و این افزایش در نمونهٔ وحشی HS2 بسیار چشمگیر بود.

۲.۳.۱. تجزیهٔ کلاستر

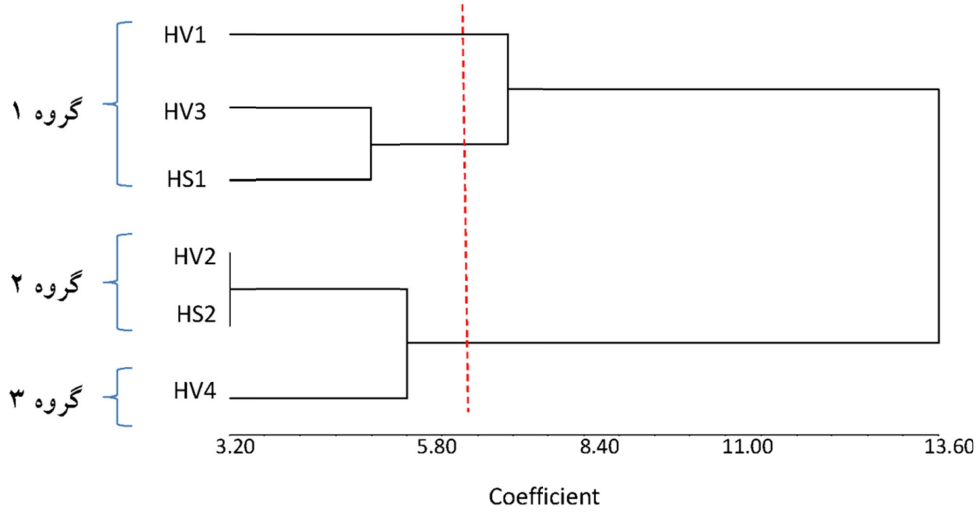
تجزیهٔ خوشه‌ای (کلاستر) رقم‌ها براساس صفات مورفولوژی و فیزیولوژی با روش وارد[1] و براساس توان دوم فاصلهٔ اقلیدسی با استفاده از نرم‌افزار NTSYS انجام گرفت (شکل ۳). ماتریس فاصله براساس توان دوم فاصلهٔ اقلیدسی تشکیل شد. برش دندروگرام‌های حاصل در مکانی که اختلاف بین سطوح گروه‌بندی زیاد باشد، صورت گرفت. به‌منظور تعیین ارزش هر یک از گروه‌ها از لحاظ صفات مختلف، درصد انحراف از میانگین هر صفت از میانگین کل آن محاسبه و در شکل ۳ ارائه شده است. گروه‌بندی و برش دندروگرام مزبور در فاصلهٔ پنج واحد به تشکیل سه گروه منجر شد. نتایج تجزیهٔ کلاستر نشان داد گروه سوم از لحاظ همهٔ صفات، میانگینی نزدیک به میانگین کل داشت. رقم‌های موجود در گروه دوم و اول از لحاظ سطح برگ در سطح بالاتری نسبت به میانگین کل قرار داشتند. گروه اول، شامل رقم‌های متحمل‌تر به خشکی است. در این گروه محتوای نسبی و هدایت روزنه‌ای نسبت به میانگین بسیار بیشتر بود (شکل ۴).

1. Ward

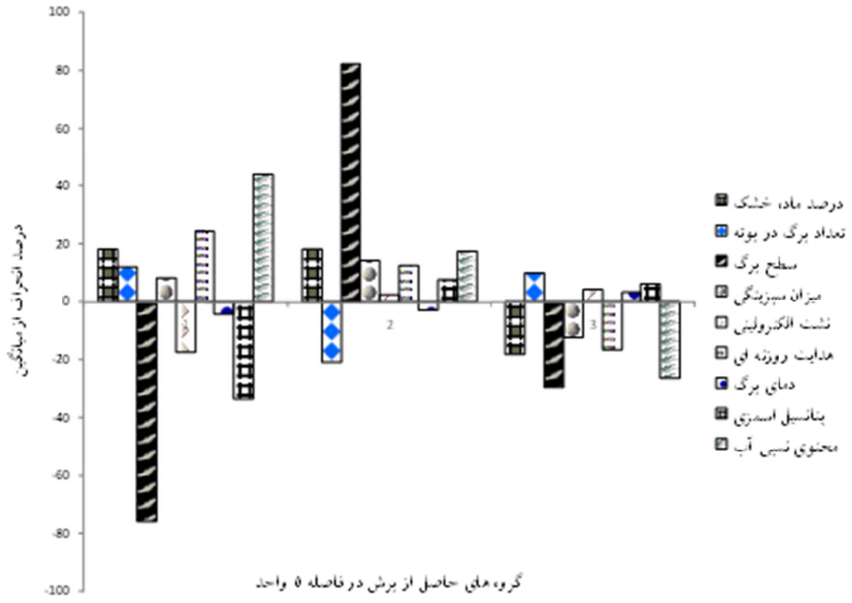
جدول ۵. مقایسهٔ میانگین تنظیم اسمزی در چهار رقم زراعی و دو نمونهٔ وحشی گیاه جو در وضعیت تنش خشکی ملایم (OA1[1]) و شدید (OA2).

تنظیم اسمزی	رقم زراعی ۱	رقم زراعی ۲	رقم زراعی ۳	رقم زراعی ۴	رقم وحشی ۱	رقم وحشی ۲
OA1	۰/۲	n.d	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۰۶
OA2	۰/۲۳	n.d	۰/۳۱	۰/۱۹	n.d	۰/۴۶

n.d: داده وجود ندارد



شکل ۳. دندروگرام چهار رقم زراعی و دو نمونهٔ وحشی گیاه جو براساس صفات مورفولوژی و فیزیولوژی



شکل ۴. درصد انحراف از میانگین کل گروه‌های حاصل از تجزیهٔ خوشه‌ای با برش در فاصلهٔ ۵ واحد

1. Osmotic adjustment (OA)

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بنابر نتایج به‌دست‌آمده، تنش خشکی تأثیر منفی بر سطح برگ داشت، اما این تأثیر در ارقام مختلف یکسان نبود. ابعاد برگ در رقم موروکو کوچک بود و ظاهراً تنش خشکی نتوانست تغییرات زیادی در کاهش سطح برگ ایجاد کند (شکل ۱). کاهش سطح برگ در ارقام و رقم‌های دیگر از جمله یوسف، اولین پاسخ به تنش خشکی بود که در جهت کاهش تعرق در وضعیت تنش صورت پذیرفت. در بررسی حاضر، تیمارهای خشکی موجب کاهش درصد مادهٔ خشک به‌ویژه در تنش خشکی شدید شدند که نتایج ارائه‌شده به گزارش‌های دیگر محققان شباهت دارد (شکل ۱) [۱۵].

رقم HV1 و نمونهٔ وحشیHS1 بیشترین درصد مادهٔ خشک در تنش شدید خشکی را به خود اختصاص دادند. با افزایش سطح تنش، درصد مادهٔ خشک روند کاهشی و معناداری را نشان داد، به‌طوری که در رقم موروکو، مادهٔ خشک در وضعیت تنش به‌مقدار ۵۲ درصد نسبت به وضعیت نرمال کاهش نشان داد. تفاوت رقم‌ها از نظر اثر پاسخ به تیمارهای خشکی نیز در سطح ۵ درصد معنادار بوده است که بیانگر این است که ارقام متحمل زیست‌تودهٔ بیشتری نگه می‌دارند و گیاه بهتر می‌تواند متابولیسم را صرف رشدونمو کند. نتایج به‌دست‌آمده با گزارش‌های دیگران مبنی بر اینکه مقدار آب در دسترس در گیاهان ارتباط مستقیمی با فعالیت فتوسنتزی، مقدار مادهٔ خشک و عملکرد آن دارد مشابه است [۲۳].

محققان معتقدند یکی از اولین نشانه‌های تنش خشکی، ممانعت از رشد است که به‌دنبال کاهش توسعهٔ سلولی اتفاق می‌افتد [۱۲]. مطابق نتایج به‌دست‌آمده در جدول [۲]، همبستگی مثبت و زیادی بین تعداد پنجه و تعداد برگ (۰/۹۲) مشاهده شد که این نتایج با یافته‌های محققان مطابقت دارد [۱۱]. آنها گزارش کردند که تعداد پنجه، همبستگی مثبتی با تعداد دانه، تعداد برگ و پتانسیل عملکرد دارد، بنابراین کاهش عملکرد در تنش خشکی شدید و متوسط از طریق توان ژنتیکی گیاه با تولید حداکثر (مناسب) پنجه برای جبران کاهش عملکرد در تعداد پنجه‌ها صورت می‌گیرد. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص می‌شود که تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ در همهٔ ارقام می‌شود، اما مقدار کاهش در ارقام حساس بیشتر از ارقام متحمل است (شکل ۲). نتایج آزمایش‌ها نیز مؤید این موضوع است [۱۹،۲].

محتوای نسبی آب برگ در واقع به‌عنوان 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 وضعیت تنش می‌شود. ارتباط مستقیم و معناداری بین شاخص محتوای نسبی آب برگ با مقدار عملکرد گندم تحت تنش خشکی در وضعیت گلخانه‌ای گزارش شده است [۱۶]. کمبود آب همراه با کاهش محتوای آب نسبی و پتانسیل آب برگ، سبب افت تورم سلولی، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز می‌شود و بنابراین به رشد و تولید محصول لطمه می‌زند. ازاین‌رو از این صفت می‌توان به‌عنوان یکی از بهترین شاخص‌های ترازمندی آب در گیاه در گزینش رقم‌ها در وضعیت تنش بهره برد. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص می‌شود که تنش خشکی سبب کاهش سبزینگی در همهٔ ارقام می‌شود، اما کاهش در ارقام حساس بیشتر از ارقام متحمل است (شکل ۲). تنش خشکی موجب کاهش هدایت روزنه‌ای در همهٔ ارقام می‌شود، اما کاهش در ارقام حساس بیشتر از ارقام متحمل است که با نتایج گزارش‌شده در مقالات دیگر مشابهت دارد (شکل ۲) [۸].

اولین پاسخ همهٔ گیاهان به کمبود آب، بستن روزنه‌ها به‌منظور کاهش اتلاف آب از طریق تعرق است [۱۸]. تحمل به خشکی بیشتر با مقادیر بیشتر هدایت مزوفیلی و تا حدی هدایت روزنه‌ای مرتبط است. بسته شدن روزنه‌ها برای

مدت طولانی می‌تواند بـه تخریـب کلروپلاسـت و کـاهش تثبیت کربن فتوسنتزی و افزایش دمـای بـرگ تـا ۶ درجـهٔ سانتی‌گراد منتهی شود. با وجود هدایت روزنـه‌ای و تعـرق بیشتر در ارقام متحمل تحت تنش، محتوای نسبی آب بـرگ در رقم‌های متحمل ۴۵ درصد بیشتر از ارقام حسـاس بـود، ازاین‌رو می‌توان گفت ارقام متحمـل بـه خشـکی، توانـایی بیشتری در جذب آب از خاک دارند (شکل ۲). بـا افـزایش سطح تنش، دمای برگ افزایش نشان داد، اما این افزایش در رقم موروکو بیشتر از ارقام یوسف و نمونهٔ وحشی بود کـه نتایج حاصل با دیگر نتایج در گیاهان حساس مطابقت دارد (شکل ۲) [۷].

پایین‌تر بودن عدد نسبی دمای برگ در رقم‌های متحمل در مقایسه با رقم‌های حساس، بیـانگر ترازبنـدی آب بهتـر است که ناشی از سازوکار جذب آب بیشتر توسط ریشه‌ها [۱۴] و حفظ و نگهداری وضـعیت آبـی مناسـب بـرگ‌هـا (هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ) است. به ایـن ترتیب روزنه‌های بیشتری باز می‌شوند که به خنک شدن از طریق تعرق می‌انجامد و معیار مناسبی برای گـزینش رقـم-های متحمل از حساس است. نتایج به‌دست‌آمـده مبنـی بـر کاهش پتانسیل اسمزی در وضعیت تـنش بـا دیگـر نتـایج ارائه‌شده مطابقت دارد [۱۷].

کاهش پتانسیل اسمزی در نتیجهٔ تجمـع مـواد محلـول سازگار صورت می‌گیرد. کم بـودن مقـدار ایـن ویژگـی در رقم‌های حساس نشان‌دهندهٔ میل جذب آب بیشـتر اسـت، یعنی در تـنش بیشـتری قـرار گرفتـه‌انـد. از سـوی دیگـر، بیوسنتز و تولید این مواد محلول می‌تواند خـود بـا صـرف انرژی موجب کاهش رشد نیز شود [۲۱].

نتایج این پژوهش و نیز محاسبات آماری پیشرفته نشان داد که بین رقم‌های وحشی و زراعی، اختلافـات معنـاداری وجود دارد و ارقام زراعی خود در دو دستهٔ ارقام متحمل و حساس قرار گرفتند. در بین ارقـام زراعـی، ارقـام HV1 و HV3 به‌دلیل داشتن حـد زیـادی از درصـد مـادهٔ خشـک، محتوای نسبی آب برگ، مقدار سبزینگی و همچنین داشتن قدرت زیاد برای جبران کم‌آبیـاری و ...، ارقـام متحمـل؛ و HV2 و HV4 به‌ترتیب به‌عنوان ارقام نیمه‌متحمل و حساس به خشکی شناخته شدند. همچنین بر همین اساس اکوتیـپ وحشی HS1 (02TN374) متحمل‌تر از HS2 (41-1/check S09) بود و به‌طورکلی در نمونـه‌هـای وحشـی در هـر دو سطح تنش، تولید مادهٔ خشک نسبی و محتـوای نسـبی آب برگ بیشتر، و پتانسیل اسمزی کمتر (منفی‌تر) مشاهده شـد که بیانگر راهبردهای متفاوت در ارقام زراعی و جو وحشی است. این نتایج می‌تواند مبنای تحقیقات بیشتر در شـناخت سازوکارهای تحمل به خشـکی در جـو وحشـی و زراعـی قرار گیرد.

منابع

۱. آمـارنامـه محصـولات کشـاورزی و دامـی. جلـد اول (۱۳۹۰) معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی. دفتـر آمـار و فناوری اطلاعات. http://www.maj.ir

۲. باقری ل (۱۳۸۰) بررسی اثر تنش خشکی بر جوانه‌زنی و برخی جنبـه‌هـای مورفولـوژیکی عملکـرد و مقـدار روغن دانه دو رقم کلزای دو صـفر پـاییزه. پایـان‌نامـه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم.

۳. زهراوی م (۱۳۸۸) ارزیابی ژنوتیپ‌های جو اسپانتانئوم (*Hordeum spontaneum*) از نظر شاخص‌های تحمل بـه خشـکی. بـه‌نـژادی نهـال و بـذر (نهـال و بـذر). ۲۵-۱(۴): ۵۳۳-۵۴۹.

٤. سرمدنیا غ و کوچکی ع (۱۳۷۳) فیزیولـوژی گیاهـان زراعی. انتشارات آستان قدس رضوی.

۵. طویلی ع (۱۳۷۸) بررسی مقاومت به خشـکی در سـه گونـه *Agropyron desertorum*, *Stipa barbata*

Agropyron cristatum. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتعداری. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه تهران.

٦. نیک‌خواه ح، یوسفی ا مرتضویان س م و آرزمجو م (۱۳۸۶) تجزیهٔ پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) با استفاده از الگوی تجزیهٔ اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI). علوم زراعی ایران. ۹ (۱ (پیاپی ۳۳)): ۱-۱۳.

7. Amiri Fahliani RA (2005) Evalution of three physiological traits for selecting drought resistant wheat genotypes. Agricultural Science and Technology. 7: 81-87.

8. Atteya AM (2003) Alteration of water relations and yield of corn genotypes in response to drought stress. Bulg. Plant Physiology. 29: 63-76

9. Bian S and Jiang Y (2009) Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. Scientia Horticulturae. 120: 264-270.

10. Chassemi F, Jakeman AJ and Nix MA (1995) Salinisation of land and water resourses. University of New South Wales Press LTD.

11. Dugagan BL, Domitruk DR and Fowler DB (2000) Yield components variation in winter wheat grown under drought stress. Plant Science. 80(4): 739-745.

12. Fang-gong G, Li-ping B, Yin-yan LU and Guang-sheng Z (2006) Effects of water Stress on the protective enzyme activities and lipid Peroxidation in roots and leaves of summer maize. Agricultural sciences in China 5(4): 101-105.

13. Guo P, Baum M, Grando S, Ceccarelli S, Bai G, Li R, Korff MV, Varshney RK, Graner, A and Valkoun J (2009) Differentially expressed genes between drought-tolerant and drought-sensitive barley genotypes in response to drought stress during the reproductive stage. Experimental Botany. 60(12): 3531-3544.

14. Hosseini Salekdeh GR, Mattew M and John B (2009) Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding. Trends in Plant Science. 14: 1360-1385.

15. Jalal A, Wahid A, Farooq M, Al-Juburi H, Somasundaram R and Pannerselvam R (2009) Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. Inter. Agriculture and Biology. 11:100-105.

16. Khakwani AA (2011) Drought tolerance screening of wheat varieties by inducing water stress conditions. Songklanakarin Journal of Science and Technology. 33: 135-142.

17. Khan MH and Panda SK (2008) Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress, Acta Physiologie Plantarum 30: 81-89.

18. Kramer PJ and Boyer JS (1995) Water relations of plants and soils. Academic Press, San Diego, CA, pp. 489.

19. Mahajan S and Tuteja N (2005) Cold, sallinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444: 139-158.

20. Pana H, Patterson WH and Poulos TL (1992) the homologous tryptophan critical for cytochrome c peroxidase function is not essential for ascorbate peroxidase activity. Biological Inorganic Chemistry. 1: 61-66.

21. Peterson L, Ostergard H and Giese H (1994) Genetic diversity among wild and cultivated barley as revealed by RFLP. Theoretical and Applied Genetics. 89: 676-681.

22. Pettygrove GS, Wick CM, Williams JF, Scardaci SC, Brandon DM and Hill JE (1994) Monitoring rice nitrogen status with a chlorophyll meter. Agronomy Fact Sheet 1994-3. Department of Agronomy and Range Science, University of California, Davis.

23. Richards RA (2004) Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water scarce environments. In "New directions for a diverse planet". Proceedings of the 4th International Crop Sciences Congress. 26 Sep. to 1 Oct. 2004. Brisbane, Australia. [Online] http://www.cropscuence.org.

24. Rodriguez-Maribona B, Tenorio JL and Ayerve L (1992) Correlation between yield and osmotic adjustment of peas (*Pisum sativum* L.) under drought stress. Field Crop Res. 29: 15-22.

25. Turpeinen T, Kulmala J and Nevo E (1999) Genome size variation in *Hordeum spontaneum* populations. Genome. 42: 1094-1099.

26. Zeid IS (2006) Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. Biologia Plantrum. 50: 635-640.