

شناسایی اکسشن‌های متحمل به تنش خشکی انتهایی فصل در ارزن با استفاده از شاخص‌های تحمل

آزیتا نخعی^{۱*}، الیاس آرزومجو^۲، محمد رضا عباسی^۳

۱. کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی؛ ۲. کارشناس ارشد زراعت، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی؛ ۳. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۱۸

چکیده

به منظور مقایسه واکنش ۱۳ اکسشن ارزن مربوط به کلکسیون بانک ژن نسبت به تنش خشکی انتهایی فصل در جهت تکمیل بانک اطلاعاتی ذخایر توارثی گیاهان و ارزیابی تخصصی و یافتن بهترین شاخص‌های تحمل به تنش، دو آزمایش مجزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان جنوبی از سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ به مدت دو سال اجرا گردید. آزمایش اول در شرایط آبیاری نرمال و آزمایش دوم در شرایط تنش خشکی (قطع آبیاری در مرحله ۱۰٪ ظهور پانیکول) انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۱۳ اکسشن ارزن بودند. نتایج نشان داد که اکسشن‌های ۱۴۳-۱۵ (خراسان جنوبی) و ۲۴-۱۵ (یزد) دارای بیشترین میانگین دو ساله عملکرد دانه و علوفه خشک و اکسشن ۱۳۲-۱۵ (همدان) دارای کمترین عملکرد دانه در بین اکسشن‌های مورد بررسی بودند. ارزیابی اکسشن‌ها از نظر تحمل به خشکی با استفاده از شاخص‌های GMP, SSI, TOL, MP, HARM و STI انجام شد. با توجه به میزان همبستگی این شاخص‌ها با عملکردهای دانه و علوفه خشک در دو شرایط تنش و غیر تنش، شاخص‌های HARM, GMP, STI بهترین شاخص‌ها در تفکیک اکسشن‌های متحمل به خشکی بودند. با استفاده از روش ترسیمی سه بعدی و وضع قرار گرفتن اکسشن‌ها در آن، اکسشن‌های ۱۴۳-۱۵ (خراسان جنوبی)، ۱۳۱-۱۵ (خراسان جنوبی) و ۲۴-۱۵ (یزد) به عنوان اکسشن‌های پرمحصول و متحمل به تنش شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: اکسشن، ارزن، قطع آبیاری، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش

مقدمه

امروزه یک سوم زمین‌های زراعی دنیا با کمبود آب مواجه است و انتظار می‌رود این نسبت تا سال ۲۰۲۵ به حدود دو سوم برسد (Annan, 2001). با وجود این که آب فراوان‌ترین مایع در سطح زمین است، اما محدودیت در دسترسی به آن موجب کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌شود (Pospisilova et al., 2000). از آنجا که بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف کننده آب به شمار می‌آید، هر گونه صرفه‌جویی در این بخش کمک موثری به صرفه‌جویی در منابع آب تلقی می‌شود. زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق و محدودیت منابع آبی در طول دوره رشد گیاهان زراعی، توجه بیشتر به مطالعه در مورد آثار تنش خشکی و انتخاب

ارقام مقاوم به خشکی و همچنین ذخیره آب و مصرف کارآمد آن را طلب می‌کند (Sarmadnia, 1993). ارزن از مهمترین گیاهان علوفه‌ای در مناطق خشک می‌باشد که مقاومت نسبی بالایی به تنش خشکی داشته و به علت همین سازگاری و بالا بودن کارایی مصرف آب می‌تواند در این شرایط عملکرد رضایت بخشی تولید کند (Mirlohi et al., 2000). رشد سریع، تطابق بالا در نواحی گرمسیری، مقاومت نسبی در مقابل خشکی و شوری، درصد بالای پروتئین، پربرگی و خوشخوراکی و عدم وجود اسید پروسیک، چهارکربنه بودن، توانایی تولید بالای آن در نواحی گرم و خشک و بالا بودن کارایی مصرف آب آن

مقاومت به خشکی (STI) را ارائه نمود که موجب انتخاب ارقام مقاوم با عملکرد بالا می‌شود. هرچه مقدار این شاخص زیادتر باشد، تحمل بیشتر رقم را نسبت به خشکی نشان می‌دهد. علاوه بر این‌ها، شاخص‌های متفاوت دیگری نیز برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آنها ارائه شده‌اند. روزیل و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1987) شاخص تحمل (TOL) و میانگین بهره‌وری (MP) را معرفی نمودند. مقدار بالای TOL نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش بوده و انتخاب ژنوتیپ‌ها براساس مقادیر کم TOL صورت می‌گیرد. با استفاده از شاخص‌های TOL و MP امکان تفکیک ژنوتیپ‌های گروه دوم و سوم از یکدیگر براساس تقسیم بندی فرناندز (Fernandez, 1992) وجود دارد. فرناندز (Fernandez, 1992) از شاخص دیگری تحت عنوان میانگین هندسی (GMP) برای شناسایی ارقام مقاوم به خشکی در لوبیا استفاده کرد و بیان داشت که همبستگی بین GMP و STI برابر یک است.

این پژوهش به منظور ارزیابی مقاومت به خشکی در منابع ژنتیکی ارزن دم روباهی علوفه ای (*Setaria italica*) مربوط به کلکسیون بانک ژن در جهت تکمیل بانک اطلاعاتی ذخایر توارثی گیاهان و یافتن بهترین شاخص تحمل به خشکی در این گیاه، اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش مزرعه‌ای از سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ به مدت دو سال در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی واقع در ۲۰ کیلومتری جاده بیرجند-خوسف (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه، ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۱۴۰ میلی متر) در یک خاک رسی انجام شد. قبل از اجرای آزمایش در هر دو سال از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌گیری انجام و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری گردید (جدول ۱) تا بر اساس آن کود مورد نیاز تعیین شود.

نسبت به گونه‌های سه کربنه، همگی باعث شده که به صورت گیاه علوفه‌ای ایده‌آلی برای کشت در نواحی گرم و خشک که با محدودیت آب مواجه هستند، محسوب گردد (Nakhoda et al., 2000; Kusaka et al., 2005).

یکی از متداولترین روش‌های شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، استفاده از شاخص‌های مقاومت به خشکی است. گروهی از به‌نژادگران گیاهی، عملکرد و پایداری در شرایط تنش را به عنوان شاخص‌های گزینش ارقام مقاوم پیشنهاد کرده‌اند. البته باید در نظر داشت که عملکرد بالا در شرایط تنش، به تنهایی نمی‌تواند بیانگر مقاومت به خشکی یک ژنوتیپ باشد، زیرا جنبه فرار از خشکی و یا توانایی ژنوتیپی نیز باید مورد توجه قرار گیرد (Wanjura and Upcharch, 2002). به عقیده برخی محققان، گزینش برای عملکرد بالا تحت شرایط بدون تنش می‌تواند باعث بهبود عملکرد گیاهان در شرایط تنش شود (Fernandez et al., 1996; Dencic et al., 1996; Blum, 2001). برعکس، گزینش برای تحمل در شرایط تنش غالباً به کاهش عملکرد گیاهان به هنگام کاشت در شرایط بدون تنش منجر می‌شود (Ortiz-Ferrara et al., 1991). در مواردی، گزینش در شرایط بدون تنش برای عملکرد بالا تا حدودی می‌تواند به طور غیرمستقیم موجب افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی شود (Cattivelli et al., 2008) که نمونه بارز آن آزادسازی رقم جو گرافیک بود که برای شرایط آبی اصلاح شد، ولی در شرایط کم‌آبی اکثر نواحی مدیترانه ای اروپا نیز دارای عملکرد و پایداری بالایی بود (Tambussi et al., 2005).

فیشر و مائورر (Fischer and Maurer, 1978) یک شاخص حساسیت به خشکی (SSI) را برای گندم ارائه نمودند که مستقل از اثر پتانسیل عملکرد بود. هر چقدر SSI یک رقم کمتر باشد، مقاومت آن به خشکی بیشتر می‌گردد. شاخص SSI بیانگر مناسبترین شاخص حساسیت برای ارزیابی تحمل یا حساسیت ارقام مختلف نخود نسبت به خشکی بوده است (Saxena, 1980). فرناندز (Fernandez, 1992) اعلام نمود که شاخص حساسیت به خشکی (SSI) موجب گزینش ارقام مقاوم به خشکی ولی با عملکرد پائین می‌گردد. بنابراین وی نوعی شاخص

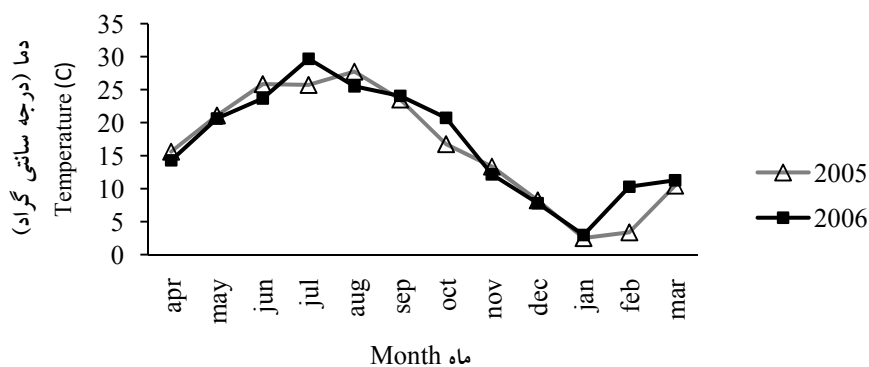
جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو سال زراعی ۱۳۸۳-۸۴ و ۱۳۸۴-۸۵

Table 1. Physico-chemical properties of soil for 2004-2005 and 2005-2006 cropping seasons

سال	عمق	بافت خاک	اسیدیته	مواد	فسفر	پتاسیم	هدایت	درصد	کربنات	گچ	سیلت
year	Depth (cm)	Soil texture	گل اشباع	آلی	P	K	الکتریکی	اشباع بازی	کلسیم	Gyp	Silt
			pH	O.C. (%)	----(mg.kg ⁻¹)----		EC (ds.m ⁻¹)	sp	CaCo ³ (%)		
۱۳۸۳-۸۴ 2004-2005	0-30	Clay	7.83	0.15	4.5	219.4	4.5	40.9	15.5	1.39	17.4
۱۳۸۴-۸۵ 2005-2006			7.83	0.16	4.6	218	4.3	40	15.8	1.40	17

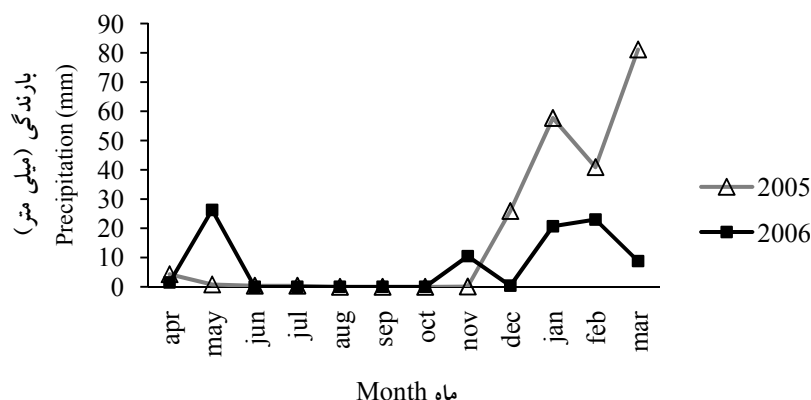
و لولر آماده گردید و مقدار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیم و ۷۰ کیلوگرم در هکتار اوره به خاک اضافه گردید. هر کرت آزمایش شامل ۴ خط ۵ متری به فاصله ۵۰ سانتی متر بود، به این ترتیب که هر نمونه بذر ارزن روی ۴ خط و بین هر نمونه تا نمونه بعدی یک خط نکاشت قرار داشت. بذور به فاصله ۸ سانتی متر از هم روی خطوط کشت شدند. پس از کاشت، تمام کرت ها به طور همزمان و یکنواخت آبیاری شد تا سبز شدن یکنواخت حاصل گردد. عمق کاشت ۲-۳ سانتی متر در نظر گرفته شده و متعاقباً در دو نوبت و با فاصله زمانی کم، آبیاری اولیه صورت گرفت و پس از سبز شدن بذور، با انجام واکاری و تنک، تراکم حدود ۴۰۰ الی ۶۰۰ هزار بوته در هکتار تامین گردید. کلیه عملیات داشت شامل مبارزه با علف های هرز و آفات و بیماری ها بطور یکسان در کلیه کرت ها انجام گرفت. اندازه گیری عملکرد دانه و علوفه خشک زمانی انجام شد که برگ های پائینی در اکسشن ها به زردی گرائید و پانیکول ها به رنگ زرد درآمدند.

شرایط آب و هوایی (میانگین دما و بارندگی) در دو فصل زراعی ۱۳۸۳-۸۴ و ۱۳۸۴-۸۵ نیز در شکل های ۱ و ۲ آورده شده است. پژوهش به صورت دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۳ تیمار اجرا گردید. در آزمایش اول آبیاری با آغاز گلدهی (۱۰٪ ظهور پانیکول) قطع شده و در آزمایش دوم، شرایط نرمال آبیاری به صورت عادی و با مدار هر ۷ روز یک بار اعمال گردید. تیمارهای آزمایش شامل ۱۳ اکسشن ارزن دم روباهی با کدهای ۱۵-۱۲۵ (کرمان)، ۱۵-۲۴ (یزد)، ۱۵-۸۹ (مازندران)، ۱۵-۱۳۱ (خراسان جنوبی)، ۱۵-۱۴۳ (خراسان جنوبی)، ۱۵-۶۸ (کرمان)، ۱۵-۱۳۲ (همدان)، ۱۵-۸۰ (خراسان جنوبی)، ۱۵-۱۰۱ (مازندران)، ۱۵-۶۱ (خراسان جنوبی)، ۱۵-۱۲۹ (خراسان جنوبی)، ۱۵-۲۱ (مازندران) و ۱۵-۱۲۷ (خراسان جنوبی) بودند که از کلکسیون بخش تحقیقات ژنتیک و ذخایر توارثی بانک ژن گیاهی موسسه تحقیقات اصلاح و نهال و بذر کرج تهیه شدند. قبل از کاشت، زمین مورد نظر با انجام شخم، دیسک



شکل ۱. نمودار میانگین دمای ماهانه دو سال (۱۳۸۴-۸۵ و ۱۳۸۳-۸۴)

Fig. 1. Monthly average temperature for two years (2004-2005 and 2005-2006)



شکل ۲. نمودار میانگین بارندگی ماهانه دو سال (۱۳۸۴-۸۵ و ۱۳۸۳-۸۴)

Fig. 2. Monthly average precipitation for two years (2004-2005 and 2005-2006)

خشک در شرایط تنش و بدون تنش، شاخص‌های MP، GMP، HARM، TOL، STI و SSI محاسبه شده و با استفاده از نرم افزار SAS، همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد دانه و علوفه خشک بررسی و با استفاده از نرم افزار STATISTICA، نمودار پراکنش سه بعدی هر یک از اکسشن‌ها در محدوده‌های A، B، C و D ترسیم گردید.

نتایج و بحث

مقادیر عملکرد دانه و علوفه خشک در شرایط بدون تنش (Y_{pi}) و در شرایط تنش (Y_{si}) و شاخص‌های ارزیابی تحمل به خشکی اکسشن‌های مورد مطالعه به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. در این پژوهش، شدت تنش (SI) برای عملکرد دانه و علوفه خشک به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۶۵ برآورد شد. شاخص‌های حساسیت به خشکی که در این بررسی استفاده گردیدند، شامل دو شاخص TOL و SSI بوده که مقادیر کوچکتر آنها نشان دهنده حساسیت کمتر به خشکی می باشد. با این توصیف، از نظر شاخص TOL و با توجه به عملکرد دانه، اکسشن‌های ۱۳۲-۱۵، ۸۹-۱۵ و ۱۰۱-۱۵ (به ترتیب با ۴۵۴/۸۸، ۵۳۴/۵۷ و ۵۸۶/۰۶ کیلوگرم در هکتار کاهش در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری کامل) (جدول ۲) و با توجه به عملکرد علوفه خشک، اکسشن‌های ۱۳۲-۱۵، ۲۱-۱۵ و ۱۰۱-۱۵ (ترتیب با ۷۹۱/۸۸، ۸۸۲/۰۴ و ۹۱۷/۴۶ کیلوگرم در هکتار کاهش در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری کامل) از حساسیت کمتری در برابر خشکی برخوردار بودند (جدول ۳). بر اساس شاخص SSI، غیرحساس‌ترین

برای ارزیابی عملکرد با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت، عملکرد هر اکسشن در سطح ۴ متر مربع اندازه گیری گردید. شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش نیز به شرح زیر محاسبه گردید:
نرخ کاهش عملکرد:

$$Y_r = 1 - (Y_{si} / Y_{pi}) \quad [1]$$

شدت تنش (Fischer and Maurer, 1978):

$$SI = 1 - (Y_s / Y_p) \quad [2]$$

شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978):

$$SSI = (1 - (Y_{si} / Y_{pi})) / SI \quad [3]$$

شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1984):

$$TOL = Y_{pi} - Y_{si} \quad [4]$$

شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = (Y_{pi} \times Y_{si}) / (Y_p)^2 \quad [5]$$

شاخص میانگین بهره‌وری (Rosielle and Hamblin, 1984):

$$MP = (Y_{pi} + Y_{si}) / 2 \quad [6]$$

میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992):

$$GMP = (Y_{pi} \times Y_{si})^{0.5} \quad [7]$$

میانگین هارمونیک بهره‌وری (Fernandez, 1992):

$$HARM = (2 \times (Y_{pi} \times Y_{si})) / (Y_{pi} + Y_{si}) \quad [8]$$

در روابط فوق، Y_p و Y_s به ترتیب میانگین عملکرد کلیه اکسشن‌ها در شرایط آبیاری و تنش خشکی و Y_{pi} و Y_{si} نیز میانگین عملکرد هر یک از اکسشن‌ها در این دو شرایط می باشد. در پایان پس از تعیین عملکرد دانه و علوفه

عملکرد رقمی در شرایط عادی پائین باشد و در شرایط تنش نیز با افت عملکرد کمتری همراه باشد که باعث کوچک شدن شاخص TOL شود و در نتیجه این رقم به عنوان رقم متحمل معرفی گردد (Moghaddam and Hadizade, 2002).

شاخص‌های تحمل به خشکی مورد بررسی در این آزمایش شامل MP، GMP، STI و HARM بودند. هرچه مقدار این شاخص‌ها بالاتر باشد، تحمل در برابر خشکی بیشتر است (Dencic et al., 1996; Blum, 2001). نتایج بررسی این شاخص‌ها نشان داد که بر اساس شاخص‌های STI و GMP، هم برای عملکرد دانه و هم برای عملکرد علوفه خشک، اکسشن‌های ۱۵-۲۴، ۱۵-۱۳۱ و ۱۵-۱۴۳ در برابر قطع آبیاری از تحمل نسبی بالاتری نسبت به سایر اکسشن‌ها برخوردار هستند (جداول ۲ و ۳). مقاومترین اکسشن‌ها در برابر تنش خشکی بر اساس شاخص MP، اکسشن‌های ۱۵-۲۴ و ۱۵-۱۴۳ و بر اساس شاخص HARM، اکسشن‌های ۱۵-۱۳۱ و ۱۵-۱۴۳ برای هر دو صفت عملکرد دانه و عملکرد علوفه خشک بودند (جداول ۲ و ۳).

اکسشن‌ها به کاهش عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری همان اکسشن‌های مشخص شده توسط شاخص TOL یعنی اکسشن‌های ۱۵-۱۳۲، ۱۵-۸۹ و ۱۵-۱۰۱ به ترتیب با مقادیر ۰/۸۶، ۰/۷۷ و ۰/۸۸ بودند (جدول ۲)، اما بر اساس عملکرد علوفه خشک، اکسشن‌های ۱۵-۱۲۷، ۱۵-۸۰ و ۱۵-۱۳۱ با مقادیر ۰/۷۷، ۰/۸۱ و ۰/۸۷، غیرحساس ترین اکسشن‌ها به کاهش عملکرد در شرایط خشکی شناخته شدند (جدول ۳). بر اساس نتایج همبستگی در جداول ۴ و ۵، این دو شاخص همبستگی پائینی با عملکرد دانه و علوفه خشک در هر دو شرایط داشتند. نتایج محققین (Taghvaei, et al., 2007; Schnider et al., 1997) نیز نشان داده است که انتخاب بر اساس شاخص حساسیت به تنش (SSI) و تحمل به تنش (TOL) باعث گزینش ارقامی با عملکرد به نسبت پائین در محیط عادی و عملکرد پائین در محیط دارای تنش می‌گردد که چنین ارقامی به علت عملکرد پائین، از نظر زراعی نامطلوب می‌باشند. همچنین در مورد شاخص TOL مشخص شده که پائین بودن مقدار این شاخص الزاماً به دلیل بالا بودن عملکرد رقم در محیط تنش نمی باشد، چرا که ممکن است

جدول ۲. میانگین دو ساله عملکرد دانه اکسشن‌ها در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های تنش

Table 2. Two years average for grain yield of accessions under stress and non-stress conditions and drought indices

اکسشن	میانگین عملکرد در شرایط معمول	میانگین عملکرد در شرایط تنش	شاخص تحمل	شاخص حساسیت به تنش	شاخص تحمل به تنش	شاخص میانگین بهره‌وری	میانگین هندسی بهره‌وری	میانگین هارمونیک بهره‌وری
Accession	Y _{pi}	Y _{si}	TOL	SSI	STI	MP	GMP	HARM
	------(kg. ha ⁻¹)-----							
15-125	2179.95	289.42	1890.53	1.06	0.25	1234.68	794.30	510.99
15-24	2644.02	292.61	2351.41	1.08	0.30	1468.31	879.58	526.91
15-89	849.82	315.25	534.57	0.77	0.11	582.53	517.60	459.90
15-131	1759.50	446.17	1313.33	0.91	0.31	1102.83	886.02	711.83
15-143	2700.42	389.08	2311.33	1.04	0.41	1544.75	1025.03	680.17
15-68	1515.28	207.96	1307.33	1.05	0.12	861.62	561.35	365.72
15-132	646.00	191.13	454.88	0.86	0.05	418.56	351.38	294.98
15-80	1429.54	348.54	1081.00	0.92	0.20	889.04	705.87	560.44
15-101	812.02	225.96	586.06	0.88	0.07	518.99	428.35	353.54
15-61	2002.00	361.04	1640.96	1.00	0.28	1181.52	850.18	611.76
15-129	2250.40	323.83	1926.57	1.04	0.29	1287.12	853.67	566.19
15-21	846.20	171.00	675.20	0.97	0.06	508.60	380.39	284.51
15-127	1106.85	165.62	941.23	1.04	0.07	636.23	428.15	288.12
میانگین Mean	1595.54	286.74	1308.80	0.97	0.19	941.14	666.30	478.08

جدول ۳- میانگین دو ساله عملکرد علوفه خشک اکسشن‌ها در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های تنش
 Table 3- Two years average for dry forage yield of accessions under stress and non-stress conditions and drought indices

اکسشن	میانگین عملکرد در شرایط معمول	میانگین عملکرد در شرایط تنش	شاخص تحمل	شاخص حساسیت به تنش	شاخص تحمل به تنش	شاخص میانگین بهره‌وری	میانگین هندسی بهره‌وری	میانگین هارمونیک بهره‌وری
Accession	Ypi	Ysi	TOL	SSI	STI	MP	GMP	HARM
	------(kg.ha ⁻¹)-----							
15-125	4089.12	1216.92	2872.20	1.07	0.44	2653.02	2230.72	1875.64
15-24	5434.47	1342.60	4091.87	1.15	0.64	3388.53	2701.17	2153.24
15-89	2175.17	900.33	1274.83	0.90	0.17	1537.75	1399.42	1273.53
15-131	4044.58	1743.63	2300.95	0.87	0.62	2894.11	2655.61	2436.77
15-143	5381.32	1663.37	3717.95	1.06	0.78	3522.34	2991.84	2541.24
15-68	3802.95	1014.13	2788.82	1.12	0.34	2408.54	1963.85	1601.26
15-132	1690.00	898.12	791.88	0.72	0.13	1294.06	1232.00	1172.91
15-80	3487.90	1643.97	1843.93	0.81	0.50	2565.93	2394.58	2234.66
15-101	1566.10	648.64	917.46	0.90	0.09	1107.37	1007.89	917.34
15-61	3965.89	1416.33	2549.56	0.98	0.49	2691.11	2370.03	2087.25
15-129	4671.43	1041.88	3629.55	1.19	0.43	2856.66	2206.15	1703.77
15-21	1520.40	638.36	882.04	0.89	0.09	1079.38	985.17	899.18
15-127	2090.78	1035.18	1055.61	0.77	0.19	1562.98	1471.17	1384.74
میانگین Mean	3378.47	1169.50	2208.97	0.96	0.38	2273.98	1969.97	1713.96

بودند (جدول ۴). نتایج همبستگی شاخص‌ها با عملکرد علوفه خشک نیز نشان داد که شاخص HARM و پس از آن شاخص‌های GMP، STI و MP دارای همبستگی بالایی با عملکرد علوفه خشک اکسشن‌ها در شرایط تنش خشکی هستند. مشابه با همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط مطلوب، همبستگی تمامی شاخص‌ها با عملکرد علوفه خشک در این شرایط در سطح یک درصد معنی دار بود و در این بین شاخص‌های MP، TOL و GMP دارای بیشترین همبستگی با عملکرد علوفه خشک در شرایط آبیاری مطلوب بودند (جدول ۵). البته خود این شاخص‌ها نیز به صورت دو به دو با یکدیگر همبستگی معنی داری داشتند که در این جا اهمیت چندانی ندارد، زیرا آنچه که یک به نژادگر نیاز دارد، یافتن یک شاخص مطلوب دارای همبستگی بالا با عملکرد در شرایط تنش است تا بتوان به کمک آن، ارقام، لاین‌ها، ژنوتیپ‌ها و یا اکسشن‌های مطلوب را برای شرایط تنش خشکی گزینش نماید (Fernandez et al., 1996).

مناسبت‌ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای همبستگی نسبتاً بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش باشد. بنابراین با ارزیابی میزان همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد دانه در دو محیط، شناسایی مناسب‌ترین شاخص امکان‌پذیر می‌باشد. نتایج همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد دانه در جدول ۴ نشان می‌دهد که شاخص HARM دارای بیشترین همبستگی (۰/۹۸ = r) با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی است و پس از آن، شاخص‌های GMP و STI (به ترتیب با مقادیر ۰/۸۴ و ۰/۸۳) دارای بیشترین همبستگی با عملکرد دانه در این شرایط بودند؛ همبستگی شاخص‌های TOL و SSI با عملکرد دانه تحت تنش غیر معنی‌دار و MP معنی‌دار در سطح پنج درصد بود. رابطه شاخص‌های مورد بررسی با عملکرد دانه در شرایط مطلوب متفاوت بود بطوری که رابطه همه این شاخص‌ها با عملکرد دانه در این شرایط در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و در این میان شاخص‌های TOL و MP دارای بیشترین میزان همبستگی

جدول ۴. همبستگی بین شاخص های تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد دانه

Table 4. Correlation between tolerance and sensitivity indices and grain yield

شاخص ها	عملکرد در شرایط تنش	عملکرد در شرایط معمول	شاخص تحمل	شاخص حساسیت به تنش	شاخص تحمل به تنش	شاخص میانگین بهره‌وری	میانگین هندسی بهره‌وری	میانگین هارمونیک بهره‌وری
Indices	Ys	Yp	TOL	SSI	STI	MP	GMP	HARM
Ys	1.00							
Yp	0.60*	1.00						
TOL	0.51 ^{ns}	0.99**	1.00					
SSI	-0.04 ^{ns}	0.72**	0.78**	1.00				
STI	0.83**	0.93**	0.89**	0.48 ^{ns}	1.00			
MP	0.67*	0.99**	0.98**	0.66*	0.96**	1.00		
GMP	0.84**	0.94**	0.89**	0.48 ^{ns}	0.99**	0.96**	1.00	
HARM	0.98**	0.75**	0.67*	0.17 ^{ns}	0.92**	0.81**	0.93**	1.00

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و ns عدم معنی داری می باشد.

* and ** are significantly different at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$, respectively and ns is non-significant

جدول ۵- همبستگی بین شاخص های تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد علوفه خشک

Table 5- Correlation between tolerance and sensitivity indices and dry forage yield

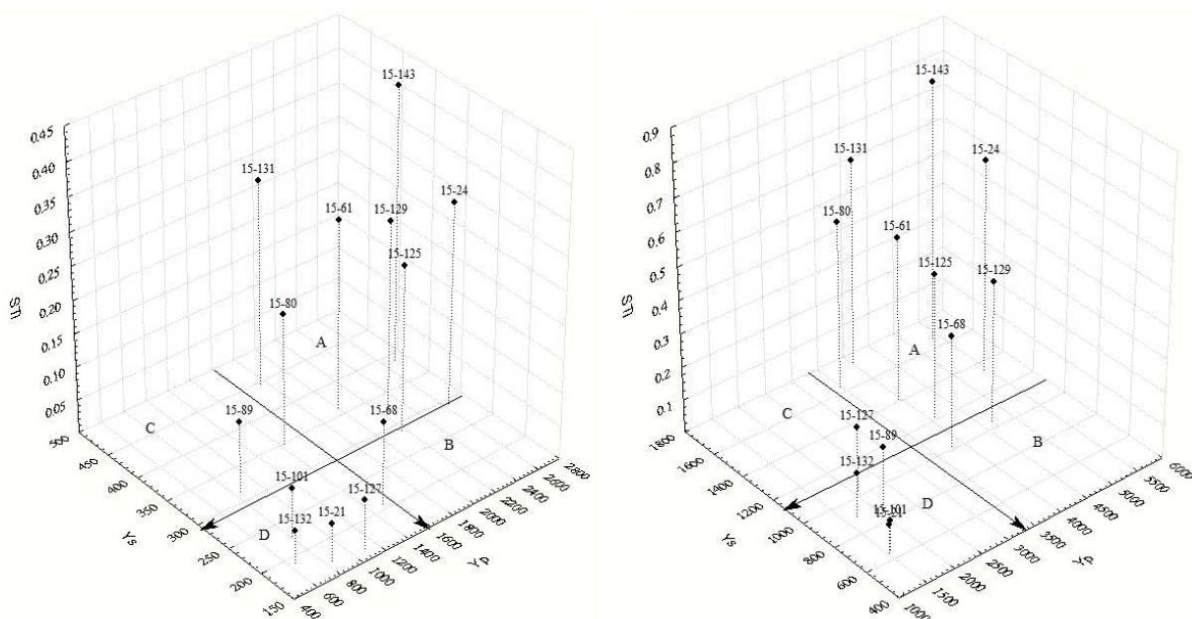
شاخص ها	عملکرد در شرایط تنش	عملکرد در شرایط معمول	شاخص تحمل	شاخص حساسیت به تنش	شاخص تحمل به تنش	شاخص میانگین بهره‌وری	میانگین هندسی بهره‌وری	میانگین هارمونیک بهره‌وری
Indices	Ys	Yp	TOL	SSI	STI	MP	GMP	HARM
Ys	1.00							
Yp	0.73**	1.00						
TOL	0.57*	0.98**	1.00					
SSI	0.14 ^{ns}	0.76**	0.87**	1.00				
STI	0.91**	0.93**	0.84**	0.50 ^{ns}	1.00			
MP	0.82**	0.99**	0.93**	0.66*	0.97**	1.00		
GMP	0.91**	0.95**	0.86**	0.52 ^{ns}	0.99**	0.98**	1.00	
HARM	0.97**	0.86**	0.73**	0.35 ^{ns}	0.97**	0.93**	0.98**	1.00

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و ns عدم معنی داری می باشد.

* and ** are significantly different at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$, respectively and ns is non-significant

نمودارهای سه بعدی Y_{si} ، Y_{pi} و شاخص STI، همانطور که ملاحظه می شود، اکسشن های ۱۵-۱۳۱، ۱۵-۶۱، ۱۵-۱۴۳ و ۱۵ و ۱۲۹-۱۵ در نمودار سه بعدی مربوط به عملکرد دانه و اکسشن های ۱۵-۱۳۱، ۱۵-۸۰، ۱۵-۶۱، ۱۵-۱۴۳، ۱۵-۲۴ و ۱۵ و ۱۲۵-۱۵ در نمودار سه بعدی مربوط به عملکرد علوفه خشک، در گروه A قرار گرفتند، یعنی هم متحمل به تنش کم آبی هستند و هم محصول آنها در محیط آبی و خشکی بالاست (شکل ۳). استفاده از نمودارهای سه بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه ها توسط برخی دیگر از محققان نیز مورد استفاده و تایید قرار گرفته است (برای مثال، Shirinzadeh et al., 2009; Poriamchi et al., 2011).

پس از آنکه بهترین شاخص های کمی تحمل به خشکی شناسایی شدند، به منظور گزینش اکسشن های متحمل به خشکی و با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش، از نمودار سه بعدی استفاده شد (شکل ۳). نمودار سه بعدی، رابطه بین سه متغیر Y_{si} ، Y_{pi} و یکی از شاخص های تحمل را نشان می دهد که در آن عملکرد در محیط تنش روی محور Y ها، عملکرد در محیط بدون تنش روی محور X ها و شاخص های تحمل روی محور Z ها نمایش داده می شوند. با توجه به این سه معیار، اکسشن ها به چهار گروه A، B، C و D تقسیم می شوند و از نظر فرناندز (Fernandez, 1992) مناسبترین شاخص آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه ها متمایز سازد. بر اساس



شکل ۳. نمودار پراکنش سه بعدی اکسشن‌ها بر اساس عملکرد دانه (چپ) و عملکرد علوفه خشک (راست) در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) و شاخص STI

Fig. 3. 3D plot of accessions scattering on the basis of grain yield (left) and dry forage yield (right) on Yp, Ys and STI index

اکسشن‌های ارزش به تنش خشکی آخر فصل شناسایی گردیدند. این نمونه‌های منتخب متحمل به تنش خشکی به عنوان ژرم‌پلاسماهای غنی و ارزشمند و مقاوم به شرایط سخت، جهت استفاده به‌نژادگران در طرح‌های به‌نژادی، در بانک اطلاعاتی بخش تحقیقات ژنتیک و ذخایر توارثی گیاهی ایران ثبت و نگهداری می‌گردد. بدیهی است حفاظت از منابع ژنتیکی به عنوان سرمایه ملی در توسعه کشاورزی پایدار بسیار حائز اهمیت است.

جمع بندی نتایج حاصل از بررسی همبستگی عملکرد دانه و علوفه خشک اکسشن‌های ارزش در شرایط تنش خشکی انتهای فصل و بدون تنش با شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی در این بررسی نشان می‌دهد که شاخص‌های HARM، GMP، STI بهترین شاخص‌ها برای گزینش و تعیین اکسشن‌های متحمل به تنش آخر فصل در بین اکسشن‌های ارزش می‌باشند. اکسشن‌های ۱۴۳-۱۵ (خراسان جنوبی)، ۱۳۱-۱۵ (خراسان جنوبی) و ۲۴-۱۵ (یزد) نیز توسط شاخص‌های مختلف به عنوان متحمل‌ترین

منابع

- Annan, K. 2001. Water for sustainable agriculture in developing regions-more crop for every scarce drop. In: Proceeding of 8th JIRCAS International Symposium. 27-28 Nov., 2001. Epochal Tsukuba, Tsukuba Science City, Japan. pp. 132-133.
- Blum, A. 2001. Wheat cellular thermo tolerance is related to yield under heat stress. *Emph.* 117, 117-123.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A., Stanca, A.M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crop Res.* 115, 1-14.

- Dencic, S., Kereski, B., Skoric, D., Kovacevic, L., Ivanovic, M. 1996. The possibilities of genetic and breeding in increasing of tolerance to drought stress. In: Proceeding of International Symposium of Drought and Plant Production, Lepenski Vir. pp. 13-23.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication, Tania, Taiwan.
- Fernandez, C.J., McInnes, K.J., Cothren, T.J. 1996. Water status and leaf area production in water and nitrogen stress cotton. *Crop Sci.* 36, 1224-1233.
- Fischer, R.A., Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. *Aust. J. Agr. Res.* 29, 897- 912.
- Kusaka, M., Lalusin, A.G., Fujimura, T. 2005. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L] Leeke) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. *Plant Sci.* 168, 1-14.
- Mirlohi, A., Bozorgvar, N., Bassiri, M. 2000. Effect of Nitrogen Rate on Growth, Forage Yield and Silage Quality of Three Sorghum Hybrids. *JWSS - Isfahan University of Technology.* 4(2), 105-116. [In Persian with English summary].
- Moghaddam, A., and Hadizade, M.H. 2002. Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Plant Seed J.* 18(3), 255-272. [In Persian with English summary].
- Nakhoda, B., Hashemi Dezfouli, A. and Banisadr, N. 2000. Water stress effect on forage yield and quality of pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Var. Nutrifeed). *Iranian J. Agric. Sci.* 31, 701-712. [In Persian with English summary].
- Ortiz-Ferrara, G., Yau, S.K., Assad Moussa, M., 1991. Identification of agronomic traits associated with yield under stress conditions. In: Acevedo, E., Conesa, A.P., Monneveux, P., Arivastava, J.P. (eds), *Physiology-Breeding of Winter Cereals for Stressed Mediterranean Environments.* INRA. Paris. pp. 68-87.
- Poriamchi, H.M.A., Bihamta, M.R., Peighambari, S.A., Naghavi, M.R. 2011. Evaluation of Drought Tolerance in Kabuli Type Chickpea Genotypes. *Seed Plant Improv. J.* 27(3), 393-409.
- Pospisilova, J., Synkova, H., Rulcova, J. 2000. Cytokinins and water stress. *Biol. Plant.* 43(3), 321-328.
- Rosielle, A.A., Hamblin, J., 1987. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 21, 943-946.
- Sarmadnia, Gh., 1993. The importance of environmental stress in agriculture. The key paper of the First Iranian Agronomy and Plant Breeding Congress. Agriculture University of Tehran. pp. 157-172. [In Persian].
- Saxena, M.C. 1980. Recent advance in chickpea improvement. *ICAISAT.* pp. 98-99.
- Schnider, K.A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta- Gallegos, J.A., Ramirez-Allejo, P., Wassimi, N., Kelly, J.D., 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sci.* 37, 43-50.
- Shirinzadeh, A., Zarghami, R., Shiri, M.R., 2009. Evaluation of drought tolerance in late and medium maize hybrids -using stress tolerance indices. *Iranian J. Crop Sci.* 10(40), 416-427. [In Persian with English summary].

- Taghvaei, M., Chaeichi, M., Sharifzadeh, F., Ahmadi, A., 2007. Evaluation of drought stress on yield and yield components and drought tolerance indices in hull-less and coated barley cultivars. *Iranian J. Agric. Sci.* 38(1), 67-78. [In Persian with English summary].
- Tambussi, E.A., Nogués, S., Ferrio, J.P., Voltas, J., Araus, J.L., 2005. Does a higher yield potential improve barley performance under Mediterranean conditions: A case study. *Field Crop Res.* 91, 149-160.
- Wanjura, D.F., Upcharch, D.R., 2002. Water status response of corn and cotton to altered irrigation. *Crop Sci.* 43, 321-325.