



ارزیابی تحمل به خشکی اکوتیپ های یونجه (*Medicago sativa*) با استفاده از شاخص های تحمل به خشکی

محمود باصفا^{۱*}، مجید طاهریان^۲

۱ و ۲. اعضاء هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی- ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور

تاریخ دریافت: ۸۹/۹/۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۱

چکیده

خشکی از تنش های محیطی مهم در کاهش رشد و تولید گیاهان می باشد. این بررسی به منظور ارزیابی تحمل به خشکی اکوتیپ های یونجه با استفاده از شاخص های تحمل به خشکی طی سال های زراعی ۸۸-۱۳۸۷، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور اجرا شد. آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت های اصلی به سه تیمار عدم تنش، تنش ملایم و تنش شدید (دور آبیاری ۰.۷ و ۱.۴ روز) و کرت های فرعی به ۱۱ اکوتیپ یونجه اختصاص داشتند. شاخص های تحمل به تنش (STI)، تحمل به خشکی (TOL)، حساسیت به تنش (SSI)، میانگین هندسی تولید (GMP)، میانگین حسابی تولید (MP) و میانگین هارمونیک (HARM)، با استفاده از عملکرد علوفه خشک در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) محاسبه شدند. همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد علوفه خشک در شرایط تنش و عدم تنش و شاخص ها نشان داد که در تنش ملایم و شدید، شاخص های GMP، MP، HARM و STI مناسب ترین شاخص ها هستند ($r^2 = 0.97$, $p \leq 0.01$). با توجه به این شاخص ها و مقادیر Yp و Ys بالا و همچنین نمودار چند متغیره بای پلات مشخص شد که اکوتیپ های قارقلوق و ملک کندی در تنش ملایم و فامنین در تنش شدید متحمل ترین اکوتیپ ها بودند. گروه بندی اکوتیپ ها نشان داد که بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و مقادیر شاخص های انتخابی، آن ها در سه گروه حساس، متحمل و نیمه حساس به تنش قرار می گیرند.

واژه های کلیدی: یونجه، عملکرد، همبستگی، بای پلات، تجزیه خوشه ای

مقدمه

میزان عملکرد در شرایط تنش و مطلوب، به عنوان معیارهای مناسب تری برای واکنش ارقام به تنش رطوبتی می باشند. به نظر می رسد ارقامی که در شرایط آبیاری مناسب و آبیاری محدود، عملکرد یکسانی داشته باشند یا حداقل تفاوت عملکرد آنها کم باشد نسبت به خشکی دارای مقاومت نسبی هستند (Abdemishani and Jafarishabestar, 1988). به نظر محققان معیار مقاومت به خشکی، وضعیت عملکرد در شرایط خشک می باشد (Fiseher and Maurer, 1978). بنابراین، وضعیت عملکرد نسبی ژنوتیپ ها در شرایط تنش خشکی و در شرایط مطلوب به عنوان یک نقطه شروع برای شناسایی صفات مربوط به خشکی و انتخاب ژنوتیپ ها برای اصلاح در محیط های خشک است (Ehdaie, 1993). پایداری عملکرد بوسیله ساختار ژنتیکی یعنی واکنش گونه های آن به صورت فردی و نیز در قالب جمعیت مشخص می شود

آب مهم ترین عامل محدودکننده در رشد و تولید عملکرد گیاهان زراعی می باشد و از آنجا که بخش عظیمی از اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه خشک واقع شده اند، تعیین تحمل نسبی به خشکی در گیاهان زراعی از اهمیت ویژه برخوردار است. یک راه حل اساسی ارزیابی ژنوتیپ هایی از هر گیاه زراعی است که دارای مجموعه ای از صفات مطلوب و با قابلیت توارث زیاد بوده و تحت شرایط کم آبی قادر به ارائه عملکرد نسبتاً قابل قبول باشند. در این صورت می توان آنها را در نواحی خشک و نیمه خشک با اطمینان بیشتری کشت نمود. یونجه به عنوان یکی از محصولات علوفه ای بوده که میزان آب مصرفی در آن بالا است و زمان مناسب و مصرف بهینه آب آبیاری در آن باعث افزایش عملکرد می شود.

میزان عملکرد در شرایط تنش بهترین معیار مقاومت به خشکی محسوب نمی شود، بلکه پایداری عملکرد و مقایسه

براساس واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی با تنش یا بدون تنش می‌توان آنها را به ۴ دسته تقسیم کرد (Fernandez, 1992). گروه A: ارقامی که در هر دو شرایط عملکرد مناسبی دارند. گروه B: ارقامی که فقط در شرایط بدون تنش عملکرد مناسبی دارند. گروه C: ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش عملکرد خوبی دارند، و گروه D: ارقامی که عملکرد پائینی در هر دو محیط دارند. بهترین معیار گزینش آن است که قادر به تفکیک گروه A از سه گروه دیگر باشد.

شاخص MP در جهت بالا بردن پتانسیل عملکرد عمل کرده و در اکثر آزمایش‌های عملکرد، همبستگی میان MP و Ys نیز مثبت است (Rosielle and Hamblin, 1981). بنابراین گزینش بر اساس MP عمدتاً منجر به بهبود عملکرد در محیط تنش و بدون تنش شده ولی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از گروه B نیست. این امر به دلیل ویژگی میانگین حسابی بوده که در صورت اختلاف نسبتاً زیاد بین Ys و Yp حاصل آن به سمت بالا اریب است. در مطالعه (Ghagar Sepanlo et al. (2000) بر روی گندم همبستگی بالا و مثبت میان شاخص مذکور و عملکرد بالقوه و با عملکرد در شرایط تنش بدست آمد. مقدار بالای TOL نشانه حساسیت ژنوتیپ به تنش بوده و انتخاب ژنوتیپ بر اساس مقادیر کم TOL و مقادیر بالای MP است. گزینش بر اساس TOL منجر به کاهش پتانسیل عملکرد در شرایط بدون تنش و عملکرد بیشتر در شرایط تنش می‌شود. همبستگی میان TOL و Yp در اغلب آزمایش‌های عملکرد منفی ولی میان TOL و Ys مثبت است (Rosielle and Hamblin, 1981). به این دلیل شاخص مذکور در تفکیک گروه A از C ناموفق است. اما با این دو شاخص امکان تفکیک ارقام گروه B و C از یکدیگر بر اساس تقسیم‌بندی (Fernandez 1992) وجود دارد.

هر چه مقدار عددی شاخص SSI کوچکتر باشد حاکی از تحمل بیشتر به تنش است. همبستگی مثبتی بین TOL و SSI وجود دارد (Fernandez, 1992). این شاخص نیز مانند TOL قادر به تفکیک گروه A و C از هم نیست. شاخص STI برعکس شاخص SSI بر مبنای میانگین هندسی طراحی شده است. در میانگین هندسی که از

(Farshadfar, 2000). در اغلب گیاهان زراعی، انتخاب براساس عملکرد تحت شرایط تنش رطوبت منجر به بهبود ژنتیکی عملکرد بالقوه دانه و تحمل به خشکی می‌شود. معیارهای مختلفی جهت گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس نمودشان در محیط‌های واجد یا فاقد تنش پیشنهاد شده است. (Rosielle and Hamblin (1981 شاخص تحمل به تنش¹ (TOL) را به شکل تفاوت میان عملکرد در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) و شاخص بهره‌وری متوسط² (MP) را به صورت متوسط عملکرد Ys و Yp معرفی کردند:

$$TOL = Yp - Ys, \quad [1]$$

$$MP = (Yp + Ys) / 2 \quad [2]$$

شاخص حساسیت به تنش³ (SSI) توسط Fiseher

(1978) and Maurer بر طبق روابط ذیل بیان شد:

$$SSI = 1 - (Ys / Yp) / SI \quad [3]$$

$$SI = 1 - [\bar{Y}s / \bar{Y}p] \quad [4]$$

در روابط فوق SSI و SI به ترتیب شاخص حساسیت

به تنش و سختی محیط (شدت تنش) هستند. همبستگی ژنتیکی بین Ys و Yp و نسبت واریانس‌های ژنتیکی بین $\sigma^2 Ys$ و $\sigma^2 Yp$ تعیین کننده نتیجه گزینش ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌های TOL و MP است (Rosielle and Hamblin, 1981). تحت اکثر شرایط آزمایش‌های عملکرد، همبستگی بین Ys و Yp صفر تا ۰/۵ و نسبت واریانس ژنتیکی کمتر از یک است ($[\sigma^2 Ys / \sigma^2 Yp] < 1$). از این رو در گزینش یک ژنوتیپ برای صفت عملکرد در شرایط بدون تنش، متوسط عملکرد تحت شرایط بدون تنش افزایش یافته و با انتخاب ژنوتیپ در شرایط تنش، متوسط عملکرد در شرایط تنش نیز افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های انتخاب شده در شرایط تنش در بهبود عملکرد در همان شرایط کارایی داشته و در شرایط بدون تنش دارای کارایی ضعیفی هستند. Fernandez (1992) شاخص تحمل به تنش⁴ (STI) را بر طبق فرمول ذیل پیشنهاد کرد:

$$STI = [Yp / \bar{Y}p][Ys / \bar{Y}s][\bar{Y}s / \bar{Y}p] = (Yp)(Ys) / (\bar{Y}p)^2 \quad [5]$$

1- Tolerance Index

2- Mean Productivity

3- Stress Susceptibility Index

4- Stress Tolerance Index

همبستگی مثبت و معنی داری بین این شاخص‌ها با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی وجود داشت.

Ahmadzadeh (1997) در تحقیق خود با استفاده از روش بای پلات^۲ شاخص‌های مختلف STI، SSI، TOL، MP و GMP را در شرایط تنش و بدون تنش در سه گروه رسیدگی دیررس، متوسط‌رس و زودرس ذرت محاسبه کرد. نتایج حاکی از آن بود که دو شاخص SSI و TOL در شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی موفق نبودند و دو شاخص MP و GMP در نتیجه همبستگی بالا با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به عنوان شاخص‌های برتر انتخاب شدند.

این مطالعه با هدف ارزیابی تحمل اکوتیپ‌های یونجه به خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و همچنین شناسایی بهترین شاخص تحمل به خشکی جهت ارزیابی میزان حساسیت و تحمل اکوتیپ‌های مختلف یونجه انجام شد تا با تعیین اکوتیپ‌های مناسب، بتوان از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی و تهیه ارقام متحمل به خشکی استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تاثیر تنش خشکی روی برخی از اکوتیپ‌های سردسیری یونجه (*Medicago sativa*)، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی نیشابور خراسان رضوی در طی سال‌های زراعی ۸۸-۱۳۸۷ انجام شد. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۳۲۰ متر، میانگین بارش سالیانه آن ۲۲۳ میلیمتر و در ۵۸ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی واقع می‌باشد. قابلیت هدایت الکتریکی آب مورد استفاده (EC) ۰/۶۴ دسی‌زیمنیس بر متر، نسبت جذب سدیم (SAR) برابر با ۲/۱ و pH آن ۷/۹، میزان سدیم، منیزیم و کلسیم آن به ترتیب ۲/۹، ۲/۰ و ۱/۶ و میزان سولفات، کلر و بی‌کربنات آن به ترتیب ۱/۵، ۱/۸ و ۳/۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر می‌باشد که از نظر طبقه‌بندی برای آبیاری در کلاس C2S1 قرار می‌گیرد.

۱۱ اکوتیپ مناطق سردسیری کشور انتخابی از آزمایشات نهایی به ترتیب با اسامی قهواند، اردوباد، چالستر،

فرمول زیر تبعیت می‌کند حساسیت کمتری به مقادیر بسیار متفاوت Ys و Yp وجود دارد:

$$GMP = \sqrt{(Y_s \times Y_p)} \quad [6]$$

STI و TOL به لحاظ همبستگی رتبه، در یک مرتبه قرار می‌گیرند و هر چه مقدار STI بزرگتر باشد، تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد ژنوتیپ بالاتر است. در شاخص STI شدت تنش دخیل بوده و انتظار می‌رود که شاخص مذکور در تفکیک گروه A از گروه B و گروه C موفق باشد. همچنین شاخص میانگین هارمونیک^۱ (Harm) توسط Rosielle and Hamblin (1981) معرفی شد. مقدار عددی بالای این شاخص نشان‌دهنده تحمل نسبی بیشتر ژنوتیپ‌ها در برابر تنش است.

$$HARM = 2(Y_p \times Y_s) / (Y_p + Y_s) \quad [7]$$

در کلیه فرمول‌ها، Yp عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط بدون تنش، Ys عملکرد بالقوه هر ژنوتیپ در محیط تنش، و \bar{Y}_p و \bar{Y}_s به ترتیب میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در دو محیط بدون تنش و تنش هستند.

(Esfandiary et al. (2008) با استفاده از شاخص‌های MP، GMP، SSI و HARM، TOL و DTI، پنج گونه یونجه یکساله را از نظر تحمل به تنش گروه‌بندی نموده و گزارش کردند تنوع بسیار معنی‌داری در بین گونه‌ها وجود داشته و اثر گونه در تمامی شاخص‌ها در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. Sadeghzadeh Ahari et al. (2009) در بررسی تحمل به خشکی توده‌های شنبلیله، در بین شاخص‌های تحمل به خشکی گزارش کردند شاخص‌های GMP، STI و MP همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه و ماده خشک در شرایط تنش خشکی دارند. Baheri et al. (2003) با ارزیابی برخی از شاخص‌های تحمل به خشکی در چند ژنوتیپ جو بهاره همبستگی معنی‌داری بین شاخص STI با شاخص‌های HARM، MP و GMP در شرایط تنش و بدون تنش گزارش کردند. Shafazadeh et al. (2004) به منظور بررسی تحمل به تنش خشکی آخر فصل در ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم زمستانه و بینابین با استفاده از شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش گزارش کردند که رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها برای میانگین حسابی (MP)، میانگین هندسی (GMP)، و شاخص تحمل به خشکی (TOL) یکسان بود و از طرفی

نتایج و بحث

به منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های) کمی تحمل به خشکی با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد علوفه خشک در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی، شاخص‌های تحمل مورد ارزیابی قرار گرفته و مناسب‌ترین شاخص‌ها انتخاب گردیدند (جدول ۱ و ۲). به طور کلی، شاخص‌هایی که در محیط تنش و مطلوب دارای همبستگی مثبت و بالا با عملکرد باشند، به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند، زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند (Fernandez, 1992).

با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد علوفه خشک در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM، این شاخص‌ها به عنوان بهترین شاخص‌های تحمل به خشکی در تنش ملایم و شدید انتخاب شدند (جدول ۱ و ۲). در مطالعه‌ای که توسط Golestani and Pakniyat (2007) روی لاین‌های کنجد صورت گرفت، شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در نظر گرفته شدند. Fernandez (1992) دو شاخص MP و STI را برای انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی در لوبیا در نظر گرفت. قابل ذکر است که در تنش ملایم و شدید، همبستگی شاخص STI فقط با عملکرد علوفه خشک در شرایط تنش معنی‌دار بود. همچنین شاخص تحمل (TOL) در تنش شدید تنها با عملکرد علوفه خشک در شرایط بدون تنش همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. بنابراین شاخص TOL تنها برای غربال کردن ارقام متحمل به خشکی در شرایط آبیاری، مطلوب می‌باشد.

به عقیده Fernandez (1992) با استفاده از TOL و SSI ژنوتیپ‌های با عملکرد کم در شرایط بدون تنش و با عملکرد زیاد در شرایط تنش انتخاب می‌شوند و به همین دلیل Ramirez and Kelly (1998) قادر به جداسازی این ژنوتیپ‌ها از یکدیگر در لوبیا نبودند. به عقیده آنها اگرچه از مقدار کم TOL می‌توان به عنوان اساس انتخاب ارقام برای مقاومت به تنش آب استفاده کرد، اما احتمال انتخاب ارقامی با عملکرد کم و تفاضل کم عملکرد را می‌توان انتظار داشت.

قره قوزلو، قارقلوق، صدقیان، ملک کندی، همدانی، فامنین، گله بانی و مهاجران، با استفاده از کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار از نظر تاثیر دوره‌های مختلف آبیاری بر عملکرد ماده خشک آنها بررسی شدند.

فاکتور اصلی شامل دور آبیاری در سه سطح بدون تنش (دور آبیاری ثابت ۷ روز)، تنش ملایم (دور ثابت آبیاری ۱۰ روز) و تنش شدید (دور آبیاری ثابت ۱۴ روز) و فاکتور فرعی اکوتیپ‌ها بودند. میزان آب مصرفی برابر با ۱۰ لیتر بر ثانیه و مدت زمان آبیاری در هر تیمار ۸ ساعت (تا اشباع شدن خاک منطقه نفوذ ریشه در عمق حدود ۶۰ سانتی-متر) بود. ابعاد هر کرت برابر با ۱۰ مترمربع (چهار ردیف ۵ متری با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین دو ردیف مجاور) بود و دو خط وسط هر کرت برای بررسی عملکرد مورد استفاده قرار گرفت. میزان بذر مصرفی بر مبنای ۲۵ کیلوگرم در هکتار تنظیم شد. مقدار مصرفی عناصر شیمیایی اصلی براساس آنالیز خاک و توصیه کودی برابر با ۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۲۰۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار بودند. برای کنترل علف‌های هرز از سم علف‌کش داکتال به مقدار ۱۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت و در مراحل پس از استقرار گیاه از وجین دستی استفاده شد. سال اول به عنوان سال استقرار با آبیاری یکنواخت برای کلیه تیمارها در نظر گرفته شد و تیمارهای تنش آبیاری از سال دوم اعمال شدند. در سال دوم به منظور کاهش اثرات نزولات بهاره، یادداشت‌برداری‌ها از ابتدای فصل تابستان و برای سه برداشت متوالی انجام گرفت. با استفاده از عملکرد علوفه خشک در سه محیط، مقاومت به خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی و حساسیت (فرمول‌های ۱ تا ۷) محاسبه شدند. همچنین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مورد مطالعه انجام شد و با توجه به روابط مؤلفه‌ها و شاخص‌های مورد بررسی، نمودار بای‌پلات برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی ترسیم گردید (Gabriel, 1971). برای شناسایی اکوتیپ‌هایی که دارای بیشترین فاصله ژنتیکی با یکدیگر از نظر شاخص‌های مورد نظر بودند از تجزیه خوشه‌ای استفاده شد.

داده‌ها و نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS، STATGRAPH، JMP و EXCEL تجزیه و تحلیل و ترسیم شدند.

جدول ۱. نتایج همبستگی دو جانبه شاخص‌های تحمل با عملکرد علوفه خشک در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) تیمار آبیاری ۷ (شاهد) و ۱۰ روز (تنش خشکی ملایم)

Table 1. Paired correlation coefficients between drought indices and forage dry matter yield under non-stress (Yp) and stress (Ys) conditions, with irrigation intervals of 7 (control) and 10 days (moderate stress).

شاخص‌های تحمل Stress indices	شاخص‌های تحمل Stress indices						
	Yp	Ys	SSI	ToL	MP	GMP	HARM
Ys	0.50 ^{ns}						
SSI	0.31 ^{ns}	-0.67*					
TOL	0.48 ^{ns}	-0.52 ^{ns}	0.98**				
MP	0.85**	0.88**	-0.23 ^{ns}	-0.05 ^{ns}			
GMP	0.85**	0.88**	-0.23 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	1.00**		
HARM	0.83**	0.89**	-0.27 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	1.00**	1.00**	
STI	0.88**	0.80**	-0.12 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.97**	0.97**	0.97**

ns, * و ** : عدم معنی داری و معنی‌دار در سطح آماری پنج و یک درصد.
 ns, * and ** means non-significant, and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.
 Yp: yield in normal condition; Ys: yield in stress condition; SSI: Stress Susceptibility Index; TOL: Tolerance; MP: mean productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; HARM: Harmonic Mean, and STI: Stress Tolerance Index

جدول ۲. نتایج همبستگی دو جانبه شاخص‌های تحمل با عملکرد علوفه خشک در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) تیمار آبیاری ۷ (شاهد) و ۱۴ روز (تنش خشکی شدید)

Table 1: Paired correlation coefficients between drought indices and forage dry matter yield under non-stress (Yp) and stress(ys) condition, with irrigation intervals of 7 (control) and 14 days(severe stress)

شاخص‌های تحمل Stress indices	شاخص‌های تحمل Stress indices						
	Yp	Ys	SSI	ToL	MP	GMP	HARM
Ys	0.25 ^{ns}						
SSI	0.59 ^{ns}	-0.63 *					
TOL	0.74 **	-0.46 ^{ns}	0.97 **				
MP	0.85 **	0.72 *	0.08 ^{ns}	0.28 ^{ns}			
GMP	0.79 **	0.79 **	-0.02 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.99 **		
HARM	0.72 *	0.85 **	-0.12 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.98 **	0.99 **	
STI	0.79 **	0.77 **	-0.01 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.98 **	0.99 **	0.98 **

ns, * و ** : عدم معنی داری و معنی‌دار در سطح آماری پنج و یک درصد.
 ns, * and ** means non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

اصلاحی باید براساس عملکرد در دو محیط و همراهی این شاخص‌ها باشد. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های انتخابی بر اساس این شاخص‌ها، ضمن اینکه از پایداری عملکرد بالاتری برخوردارند، دارای میانگین عملکرد بالایی در هر دو محیط نیز هستند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که مقدار بالایی از

استفاده از شاخص‌های منتخب در غربال نمودن ژنوتیپ‌های مختلف جهت تحمل به خشکی باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش می‌شود و می‌توان آن‌ها را به طور توأم برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب برای هر دو شرایط توصیه نمود. در واقع هدایت برنامه‌های

انتخابی مرحله اول دو ژنوتیپ قارقولوق و ملک‌کندی که بیشترین عملکرد علوفه خشک در شرایط تنش ملایم (Ys) را داشتند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل انتخاب شدند. مقادیر شاخص‌ها برای یازده ژنوتیپ در شرایط تنش شدید در جدول ۴ آورده شده است. براساس شاخص‌های MP، GMP، HARM و STI، ژنوتیپ ۹ به عنوان متحمل-ترین ژنوتیپ به تنش شدید شناخته شد.

شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM را داشته باشند به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته می‌شوند. در شرایط تنش ملایم مقادیر شاخص‌ها برای یازده ژنوتیپ در جدول ۳ آورده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، ژنوتیپ‌های قارقولوق، ملک‌کندی و فامنین براساس MP، GMP، HARM و STI به عنوان ژنوتیپ-های متحمل شناخته شدند. به منظور حصول اطمینان از پایداری عملکرد در شرایط تنش ملایم، از بین سه ژنوتیپ

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی برای علوفه خشک در دور آبیاری ۷ (شاهد) و ۱۰ روز (تنش خشکی ملایم)

Table 3. Values of drought tolerance indices for dry matter yield in irrigation intervals of 7 (control) and 10 days (moderate stress).

اکوتیپ‌ها	Ecotypes	Yp [§] (ton ha ⁻¹)	Ys	شاخص‌های تحمل Stress indices					
				SSI	TOL	MP	GMP	HARM	STI
قهانوند	Gahavand	9	9.1	-0.1	-0.1	9.1	9.0	9.0	0.8
اردوباد	Ardobad	10.1	8.6	1.0	1.5	9.4	9.3	9.3	0.9
چالشر	Chalashtra	8.9	7.2	1.3	1.7	8.1	8.0	8.0	0.7
قره قوزلو	Ghareh- ghozlo	9.5	8.4	0.8	1.1	9.0	8.9	8.9	0.8
قارقولوق	Ghargolog	11.1	9.3	1.1	1.8	10.2	10.2	10.1	1.1
صدقیان	Sedghyan	9.2	7	1.6	2.2	8.1	8.0	8.0	0.7
ملک‌کندی	Malekkandi	10	9.5	0.3	0.5	9.8	9.7	9.7	1.0
همدانی	hamadani	10.3	8.8	1.0	1.5	9.6	9.5	9.5	0.9
فامنین	Famaneain	11.3	8.3	1.8	3.0	9.8	9.7	9.6	1.0
گله بانی	Gelehbanani	9.5	8.7	0.6	0.8	9.1	9.1	9.1	0.9
مهاجران	Mohajeran	9.1	7.4	1.3	1.7	8.3	8.2	8.2	0.7

[§] Yp: yield in normal condition; Ys: yield in stress condition

جدول ۴: مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی برای علوفه خشک (دور آبیاری ۷ (شاهد) و ۱۴ روز (تنش خشکی شدید))

Table 4: Values of drought tolerance indices for dry matter, irrigation intervals 7(control) and 14 days (severe stress).

اکوتیپ‌ها	Ecotypes	Yp [§] (ton ha ⁻¹)	Ys	شاخص‌های تحمل Stress indices					
				SSI	TOL	MP	GMP	HARM	STI
قهانوند	Gahavand	11	9	0.9	2.0	10.0	9.9	9.9	1.2
اردوباد	Ardobad	12	9	1.2	3.0	10.5	10.4	10.3	1.4
چالشر	Chalashtra	10	8	1.0	2.0	9.0	8.9	8.9	1.0
قره قوزلو	Ghareh- ghozlo	10	8	1.0	2.0	9.0	8.9	8.9	1.0
قارقولوق	Ghargolog	11	10	0.4	1.0	10.5	10.5	10.5	1.4
صدقیان	Sedghyan	13	8	1.8	5.0	10.5	10.2	9.9	1.3
ملک‌کندی	Malekkandi	11	10	0.4	1.0	10.5	10.5	10.5	1.4
همدانی	hamadani	12	9	1.2	3.0	10.5	10.4	10.3	1.4
فامنین	Famaneain	13	10	1.1	3.0	11.5	11.4	11.3	1.6
گله بانی	Gelehbanani	11	8	1.3	3.0	9.5	9.4	9.3	1.1
مهاجران	Mohajeran	10	9	0.5	1.0	9.5	9.5	9.5	1.1

[§] Yp: yield in normal condition; Ys: yield in stress condition

تنش ملایم و شدید را شامل می‌شود. در این بررسی مؤلفه اول همبستگی مثبت و نسبتاً بالایی با عملکرد و شاخص-های MP، GMP، STI و HARM داشت، لذا به عنوان مؤلفه عملکرد بالقوه و تحمل به خشکی نامگذاری شد. هرچه مقدار این مؤلفه بیشتر باشد مناسب‌تر است. این مؤلفه، ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از ژنوتیپ‌های با میانگین عملکرد پائین و حساس جدا می‌کند. ژنوتیپ‌های انتخاب شده براساس این مؤلفه دارای SSI و TOL پائین هستند. مؤلفه دوم را که همبستگی منفی با Ys و همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های TOL و SSI در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید داشت به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش نامگذاری شد. هرچه مقدار این مؤلفه کمتر باشد مطلوب‌تر است. این مؤلفه قادر به جداسازی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پائین در شرایط تنش و مقادیر بالای TOL و SSI می‌باشد. با توجه به دو مؤلفه اول و دوم، ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخص قرار می‌گیرند که مرتبط با میانگین عملکرد علوفه خشک و تحمل به تنش آنها است.

جهت بررسی همزمان روابط بین ژنوتیپ‌ها و شاخص-های کمی تحمل به خشکی، از نمودار چند متغیره موسوم به بای‌پلات استفاده گردید. ماتریسی که ردیف‌های آن یازده ژنوتیپ یونجه و ستون‌های آن شاخص‌های محاسبه شده بود، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی گردید. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ژنوتیپ‌های یونجه از نظر شاخص‌های مقاومت به خشکی در جداول ۵ و ۶ به طور خلاصه آورده شده است. تجزیه داده‌های حاصله نشان داد که بیشترین تغییرات موردنظر بین داده‌ها توسط دو مؤلفه اصلی بیان می‌شود (به ترتیب ۹۹/۲۳ و ۹۹/۸۹ در دو تنش ملایم و شدید). استفاده از این دو مؤلفه و چشم‌پوشی از سایر مؤلفه‌ها، تنها موجب از دست رفتن بخش بسیار ناچیزی از تغییرات شده و تفسیر نتایج بر اساس دو مؤلفه اول و دوم دارای کارایی بالاتری می‌باشد. بدین لحاظ ترسیم نمودارهای بای‌پلات براساس دو مؤلفه اول و دوم صورت گرفت. در فضای بای‌پلات ژنوتیپ‌ها در گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آنها به کمبود آب است. داده‌های جداول ۵ و ۶ نشان می‌دهد که مؤلفه اول درصد بالایی از کل تغییرات در هر دو شرایط

جدول ۵: بردارها و مقادیر ویژه برای شاخص‌های مورد استفاده در اکتیپ‌های یونجه تحت تنش ملایم (فواصل آبیاری ۷ و ۱۰ روز)

Table 5. Vectors and Eigen values of used indices for alfalfa ecotypes in moderate stress (7 and 10 days Irrigation intervals).

مؤلفه	مقدار ویژه	واریانس	واریانس تجمعی	شاخص‌های تحمل Stress indices							
				Yp	Ys	SSI	TOL	MP	GMP	HARM	STI
1	5.58	69.719	69.719	0.334	0.392	-0.139	-0.068	0.42	0.422	0.423	0.422
2	2.42	30.208	99.227	0.395	-0.245	0.607	-0.635	0.081	0.052	0.026	0.058

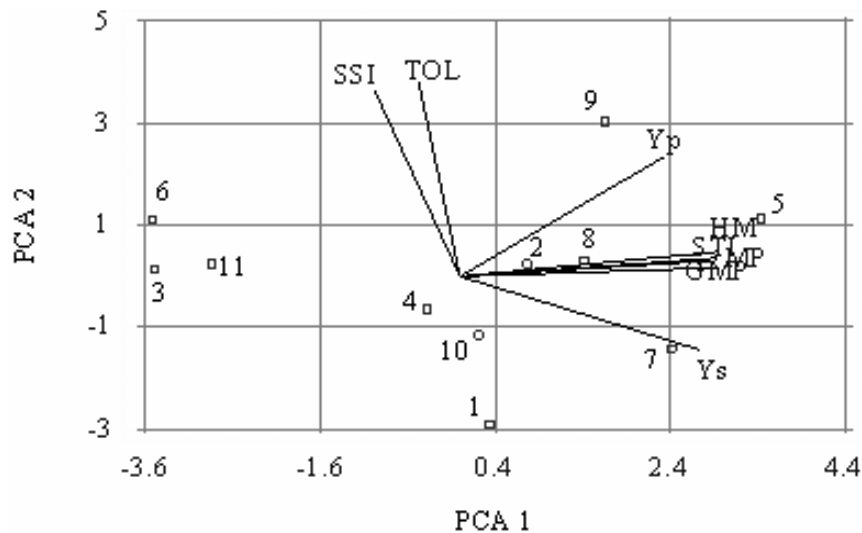
جدول ۶: بردارها و مقادیر ویژه برای شاخص‌های مورد استفاده در اکتیپ‌های یونجه تحت تنش شدید (فواصل آبیاری ۷ و ۱۴ روز)

Table 6. Vectors and Eigen values of used indices for alfalfa ecotypes in severe stress (7 and 14 days Irrigation intervals).

مؤلفه	مقدار ویژه	واریانس	واریانس تجمعی	شاخص‌های تحمل Stress indices							
				Yp	Ys	SSI	TOL	MP	GMP	HARM	STI
1	5.28	65.903	65.903	0.365	0.320	0.046	0.114	0.435	0.434	0.428	0.434
2	2.72	33.989	99.893	0.329	-0.41	0.602	0.585	0.0146	-0.0479	-0.1101	-0.0498

به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی قرار نداشتند و بیشتر به سمت بردارهای TOL و SSI تمایل داشتند. بنابراین این ژنوتیپ‌ها حساس به خشکی می‌باشند. ژنوتیپ فامنین که در بین شاخص‌های مهم تحمل به خشکی و شاخص‌های حساس به خشکی قرار داشت از تحمل به خشکی نسبتاً خوبی برخوردار بود، ولی با نگاهی به شاخص‌های SSI و TOL بالا برای این ژنوتیپ مشخص می‌شود که از پایداری عملکرد مناسبی برخوردار نیست. از طرفی این ژنوتیپ در مجاورت بردار Yp قرار دارد که بیانگر این مطلب است که تحمل به خشکی این ژنوتیپ مربوط به عملکرد بالای آن در محیط بدون تنش می‌باشد.

نمودار بای پلات (شکل ۱) نشان داد که در شرایط تنش ملایم ژنوتیپ‌های قارقلو و ملک‌کندی در مجاورت بردارهای مربوط با شاخص‌های مهم تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، HARM و STI قرار دارند. ژنوتیپ ملک‌کندی در مقایسه با شاخص‌های مهم تحمل به خشکی در مجاورت Ys قرار دارد و این نشان می‌دهد که تحمل به خشکی در این ژنوتیپ بیشتر به علت عملکرد بالای آن در شرایط تنش خشکی است. در حالی که ژنوتیپ قارقلو در بین بردارهای Yp و Ys قرار دارد و بیانگر این است که تحمل به خشکی در این ژنوتیپ به علت عملکرد بالای آن در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بوده است. ژنوتیپ‌های چالستر، مهاجران و صدقیان در مجاورت بردارهای مربوط



شکل ۱. نمایش گرافیکی بای پلات ۱۱ اکوتیپ یونجه در هشت شاخص تحمل به خشکی براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی در تنش ملایم (SI=۰/۱۴۵).

Fig. 1. Graphical biplot display for 11 alfalfa ecotypes in 8 drought tolerance indices on the basis of first and second components in moderate stress (SI= 0.145).

این دو ژنوتیپ در مقایسه با ژنوتیپ فامنین، بیشتر مربوط به عملکرد بالا در محیط تنش است. ژنوتیپ‌های اردوباد و همدانی هم از تحمل به تنش خوبی بر اساس شاخص‌های مهم تحمل به خشکی برخوردار بودند و با توجه به این که در مجاورت بردار Yp قرار دارند، می‌توان بیان نمود تحمل به خشکی در این دو ژنوتیپ به علت عملکرد بالای آنها در شرایط بدون تنش می‌باشد. ژنوتیپ صدقیان که در مجاورت بردارهای SSI و TOL قرار داشت، به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ در نظر گرفته شد. این ژنوتیپ متمایل

در تنش شدید بر اساس نمودار بای پلات (شکل ۲) مشخص شد ژنوتیپ‌های فامنین، ملک‌کندی و قارقلو دارای تحمل به خشکی مطلوبی هستند. ژنوتیپ فامنین که کاملاً در مجاورت شاخص‌های مهم تحمل به خشکی و در بین بردارهای Yp و Ys قرار داشت، بالاترین میزان تحمل به خشکی از نظر شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM و نیز بالاترین مقادیر عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش را دارا بود.

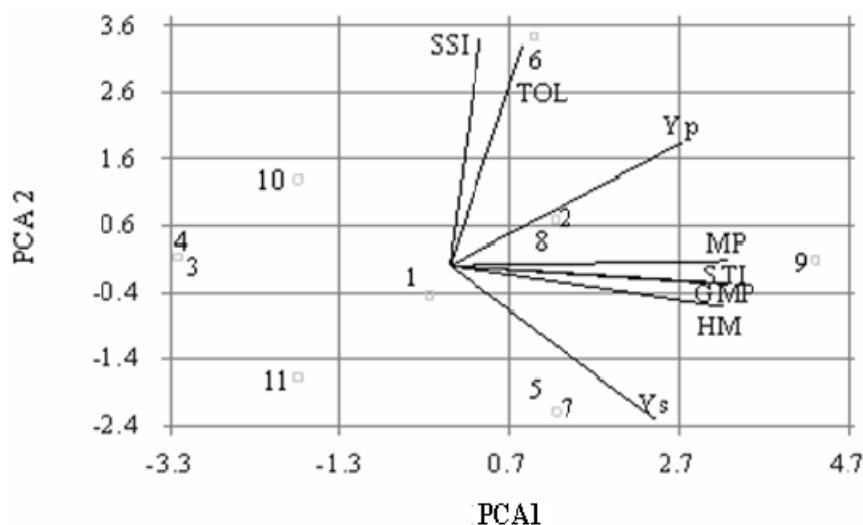
ژنوتیپ‌های قارقلو و ملک‌کندی در مجاورت بردار Ys قرار داشتند که نشان می‌دهد تحمل نسبتاً بالا به تنش در

قائمه نشان‌دهنده رابطه نزدیک صفر و زاویه حاده نشان دهنده رابطه مثبت بین شاخص‌ها است.

با توجه به زوایای بین شاخص‌ها در هر دو سطح تنش، می‌توان استنباط نمود که شاخص‌های MP، STI، HARM و GMP که همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد علوفه خشک در شرایط بدون تنش و تنش دارند، بهترین شاخص‌ها می‌باشند. همچنین وجود همبستگی بالا بین دو شاخص TOL و SSI نسبت به سایر شاخص‌ها در نمودارهای بای پلات مشهود است..

به بردار Y_p بود که بیانگر عملکرد بالای آن در شرایط آبیاری و بدون تنش است.

ژنوتیپ‌های گله‌بانی، قره‌قولوزلو و چالشر دارای عملکرد پائین بوده و حساسیت زیادی به تنش نشان دادند که به عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته می‌شوند. در نمودار بای پلات ضریب همبستگی بین هر دو شاخص تقریباً با کسینوس زاویه بین بردارهایشان برابر است، به طوری که $\cos 0^\circ = 1$ و $\cos 90^\circ = 0$ و $\cos 180^\circ = -1$ می باشد (Yan and Rajcan, 2002). بنابراین زاویه منفرد بین بردارها نشان‌دهنده رابطه منفی شدید، زاویه



شکل ۲: نمایش گرافیکی بای پلات ۱۱ اکوتیپ یونجه در هشت شاخص تحمل به خشکی براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی در تنش شدید (SI= ۰/۲۲).

Fig. 2. Graphical biplot display for 11 alfalfa ecotypes in 8 drought tolerance indices on the basis of first and second components in severe stress (SI= 0.24).

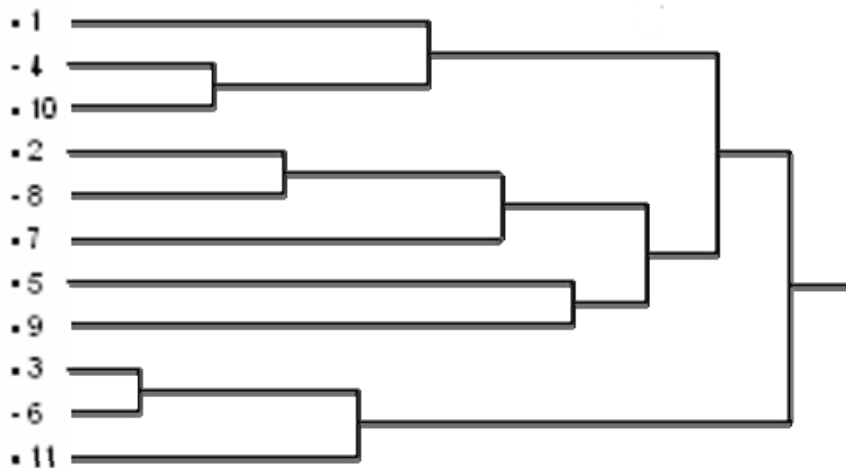
۴). هدف از تجزیه خوشه‌ای شناسایی اکوتیپ‌هایی بود که دارای بیشترین فاصله ژنتیکی با یکدیگر از نظر معیارهای مذکور بودند. در شرایط تنش ملایم (شکل ۳) با توجه به شاخص‌های مذکور، ژنوتیپ‌ها در ۳ گروه مجزا قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های چالشر، صدقیان و مهاجران در یک گروه قرار گرفتند. این گروه دارای Y_p و Y_s پائینی بودند و از نظر شاخص‌های فوق در حد پائینی قرار داشتند. لذا این ژنوتیپ‌ها حساس به خشکی هستند. ژنوتیپ‌های قارقلوق، ملک‌کندی، فامنین، اردوباد و همدانی نیز در یک گروه مجزا قرار گرفتند. در این میان ژنوتیپ‌های قارقلوق و ملک-

استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات برای انتخاب ژنوتیپ یا رقم متحمل توسط تعدادی از پژوهشگران از جمله Farshadfar et al. (2001) در نخود، Zarea et al. (2004) در سویا، Karami et al. (2006) در جو، Golestani and Pakniyat (2007) در کنجد، Fernandez (1992) در لوبیا و Golabadi et al. (2006) در گندم مورد توجه قرار گرفته است.

ژنوتیپ‌ها بر مبنای Y_p ، Y_s ، MP، GMP، HARM و STI با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و روش Ward گروه بندی شدند و دندوگرام مربوطه رسم گردید (شکل‌های ۳ و

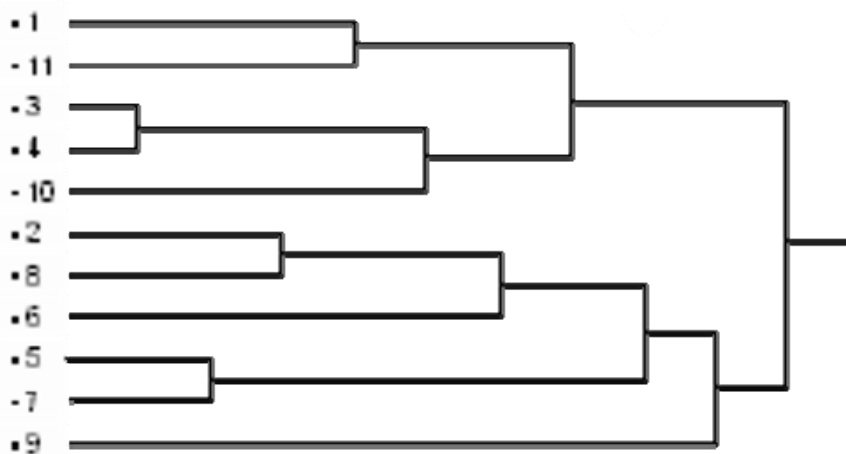
این ژنوتیپ‌ها حساس به خشکی می‌باشند. ژنوتیپ فامنین به تنهایی در یک گروه قرار گرفت که دارای Yp و Ys بالا و بالاترین مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی بود. لذا این ژنوتیپ متحمل‌ترین اکوتیپ به تنش خشکی می‌باشد. سایر ژنوتیپ‌ها از نظر معیارهای یادشده در حد متوسطی قرار داشتند که در این میان می‌توان ژنوتیپ‌های قارقلوک و ملک‌کندی را به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب مورد توجه قرار داد.

کندی متحمل‌تر و پایدارتر از بقیه بودند. ژنوتیپ‌های قره-قوزلو، گله‌بانی و قهاوند در گروه سوم قرار داشتند که ژنوتیپ‌های نیمه حساس به تنش خشکی شناخته شدند. در شرایط تنش شدید با توجه به شاخص‌های یاد شده، ژنوتیپ‌ها در ۳ گروه مجزا قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های چالستر، قره‌قوزلو، قهاوند، گله‌بانی و مهاجران در یک گروه قرار گرفتند. این گروه از نظر شاخص‌های ذکر شده در حد پائینی قرار داشتند و دارای Yp و Ys پائینی بودند. پس



شکل ۳. دندوگرام تجزیه خوشه‌ای برای اکوتیپ‌های یونجه بر مبنای شاخص‌های مختلف در تنش ملایم (روش وارد)

Fig. 3. Dendrogram of cluster analysis of alfalfa ecotypes based on different drought indices in moderate stress (Ward method).



شکل ۴. دندوگرام تجزیه خوشه‌ای برای اکوتیپ‌های یونجه بر مبنای شاخص‌های مختلف در تنش شدید (روش وارد)

Fig. 4. Dendrogram of cluster analysis of alfalfa ecotypes based on different drought indices in severe stress (Ward method).

قارقلوق و ملک‌کندی، مناسبترین شاخص‌های تحمل به خشکی MP، GMP، STI و HARM و بهترین اکوتیپ-ها برای دورگ‌گیری که دارای بیشترین فاصله ژنتیکی با یکدیگر بودند، اکوتیپ‌های متحمل قارقلوق و ملک‌کندی و اکوتیپ‌های حساس چالشر، صدقیان و مهاجران، تشخیص داده شدند.

همچنین در شرایط تنش شدید، بهترین اکوتیپ‌های متحمل به خشکی، اکوتیپ فامنین، مناسبترین شاخص-ها MP، GMP، STI و TOL و بهترین اکوتیپ‌ها برای دورگ‌گیری که دارای بیشترین فاصله ژنتیکی بودند اکوتیپ متحمل فامنین و اکوتیپ‌های حساس چالشر، قره قولوزلو و گله بانی تشخیص داده شدند.

با توجه به فاصله ژنتیکی اکوتیپ‌های حساس و متحمل می‌توان برای مطالعات ژنتیکی مربوط به این معیارها از دورگ‌گیری بین این اکوتیپ‌ها استفاده کرد. این روش برای گروه‌بندی لاین‌های متحمل به خشکی در گندم نان بر مبنای TOL، MP و STI توسط (Farshadfar (2000) و بر مبنای MP، GMP و STI که در لاین‌های نخود توسط (Farshadfar et al. (2001) و بر مبنای Ys، Yp، MP، GMP، HARM و STI در لاین‌های کنجد توسط Golestani and Pakniyat (2007) مورد بررسی و استفاده قرار گرفته بود.

نتیجه گیری

به طور کلی بر طبق شرایط این آزمایش برای تنش ملایم بهترین اکوتیپ‌های متحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های

منابع

- Abdemishani, S., Jafarishabestari, J., 1988. Evaluation of tolerance to drought in wheat varieties. *Iranian J. Agric. Sci.* 19 (1,2), 37-42. [In Persian with English summary].
- Ahmadzadeh, A., 1997. Determination of the most appropriate drought resistance index in corn lines. MSc. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Iran. 238p. [In Persian with English summary].
- Baheri, S.F., Javanshir, A., Kazemi, H.A., Aharizad, S., 2003. Evaluation of different drought tolerance indices in some spring barley genotypes. *J. Agric. Sci. (University of Tabriz)*, 13(3), 95-105. [In Persian with English summary].
- Clark, J.M., Depauw, R.M., Townedy-Smith, T.F., 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Sci.* 32: 723-728.
- Ehdaie, B., 1993. Selection for resistance to drought in wheat. Main Articles of Proceedings of 1th Iranian Crop Sciences Congress. College of Agriculture, University of Tehran, Iran, pp.43-62. [In Persian].
- Esfandiary, S., Hasanli, A.M., Safari, H., Farshadfar, M., 2008. Study on drought resistance of five annual medics in Kermanshah province. *Iranian J. Range Desert Res.* 15(2), 283-294. [In Persian with English summary].
- Farshadfar, E., 2000. Selection for drought tolerance in bread wheat. *J. Agric. Sci. Technol.* 14 (2), 161-171. [In Persian with English summary].
- Farshadfar, E., Zamani, R., Motlebi, M., Emamjomeh, A., 2001. Selection for drought resistance in chick pea genotypes. *Iranian J. Agric. Sci.* 32(1), 65-77. [In Persian with English summary].
- Fernandez, G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (Ed.), *Proceeding of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops to Temperature and Water Stress.* 13-16 Aug. Shanhua, Taiwan. pp. 257-270.

- Fiseher, R.A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aus. J. Agric. Res.* 29, 897-912.
- Gabriel K.A., 1971. The biplot graphical display of matrices with applications to principal component analysis. *Biometrika.* 58, 453-467.
- Ghagar Sepanlo, M., Siyadat, H., Mirlatifi, M., Mirnia, S.Kh., 2000. Effect of cutting of irrigation in different growth stage on yield and water use efficiency and comparison of some drought resistance index in four wheat varieties. *Soil Water Sci.* 12(10), 64-75. [In Persian with English summary].
- Golabadi, M., Arzani, A., Mirmohammadi Maibodi, S.A.M., 2006. Assessment of drought tolerance in segregating population in durum wheat. *J. Sci. Technol. Agric. Natural Res.* 1, 162-171.
- Golestani, M., Pakniyat, H., 2007. Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. *J. Sci. Technol. Agric. Natural Res.* 11(41), 141-150. [In Persian with English summary].
- Karami, E., Ghannadha, M.R., Naghavi, M.R., Mardi, M., 2006. Identification of drought resistance genotypes in barley. *Iranian J. Agric.* 2, 371-379. [In Persian with English summary].
- Ramirez Vallejo, P., Kelly, J.D., 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica.* 99, 127-136.
- Rosielle, A.A., Hambelen, J., 1981. Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Sci.* 21, 943-946.
- Sadeghzadeh Ahari, D., Kashi, A.K., Hassandokht, M.R., Amri, A., Alizadeh, K., 2009. Assessment of drought tolerance in Iranian fenugreek landraces. *J. Food Agric. Environ.* 7 (3&4), 414-419. [In Persian with English summery].
- Shafazadeh, M.K., Yazdansepas, A., Amini, A., Gannadha, M.R., 2004. Study of terminal drought tolerance in promising winter wheat and facultative wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using stress susceptibility and tolerance indices. *Seed Plant.* 20, 57-71. [In Persian with English summery].
- Yan, W., Rajcan, I., 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 32, 51-57.
- Zarea, M., Zeynali Khaneghah, H., Daneshian, J., 2004. Evaluation the drought resistance in some soybean genotypes. *Iranian J. Agric. Sci.* 35(4), 859-867. [In Persian with English summary].



Evaluation of drought tolerance in alfalfa (*Medicago sativa*) ecotypes using drought tolerance indices

M. Basafa¹, M. Taherian²

1 & 2. Faculty members of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research Center, Neyshabour Agricultural and Natural Resource Research Station

Abstract

Risk of weather variability is amongst factors that always affect the cereal production in many areas. In order to determine the freezing tolerance of five barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under controlled conditions, a factorial experiment based on CRD carried out with three replications at the crop physiology Laboratory of College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Treatments were barley genotype with five levels, including Makouei, Karun×Kavir, lokht, Reyhan and Valfajr, and temperature in six levels (0, -4, -8, -12, -16 and -20 °C). Plants were kept under natural conditions until 4-6 leaf stage to provide the acclimation period and then were transferred to a thermo-gradient freezer to apply freezing stress. The cell membrane stability of genotypes was measured through electrolyte leakage (EL) and the LT_{50el} (temperature for killing 50% of samples according to the electrolyte leakage) was also determined. Furthermore, survival percentage, plant height, dry weight, LT_{50su} (temperature for killing 50% of samples according to survival) and RDMT₅₀ (reduced dry matter temperature) were determined after three weeks recovery in the glasshouse. Results showed that leakage percentage from leaf and crown after freezing was significantly different (P<0.01) amongst cultivars. The greatest (69.4) and the lowest (58.5) leakage percentage from leaf samples were observed in Valfajr and Karun×Kavir cultivars, respectively. Reyhan cultivar showed the highest (78.9) and Makouei, Karun×Kavir, lokht and Valfajr cultivars showed the lowest leakage percentage from crown samples. Plant height, dry weight and LT_{50su} of cultivars were significantly different after freezing. For instance, the dry weight of plants after three weeks recovery was 978 and 480 mg/plant for Karun×Kavir and Valfajr cultivars, respectively. Most studied traits were significantly reduced under temperatures lower than -12°C compared to the control.

Keywords: alfalfa, forage yield, correlation, biplot, cluster analysis

*Correspondent author: Mahmoud Basafa. Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research Center, Neyshabour Agricultural and Natural Resource Research Station. P.O. Box 587. Neyshabour, Khorasan Razavi, Iran. E-Mail: nbasafa@yahoo.com