



ارزیابی لاین‌های اینبرد نو ترکیب عدس با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

محمدحسن رحیمی^{۱*}، سعداله هوشمند^۲ و محمود خدامباشی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۱۵

چکیده

به منظور تحمل به خشکی ۱۶۸ لاین اینبرد نو ترکیب عدس حاصل از تلاقی رقم هندی L3685 (پر محصول، با عادت رشدی ایستاده و زودرس) به عنوان والد مادری و رقم ایرانی قزوین (با عادت رشدی خوابیده و دیررس) به عنوان والد پدری، آزمایشی تحت دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی پایان دوره رشد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به اجرا درآمد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها در شرایط فوق نشان داد که بین شرایط و همچنین بین لاین‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار ($P < 0.01$) وجود دارند. معنی‌دار بودن اثر متقابل لاین \times شرایط، بیانگر وجود اختلاف در لاین‌ها از نظر عملکرد دانه نسبت به تنش خشکی پایان دوره بود. لاین‌های ۱۶۰، ۱۲۵ و ۱۲۹ در هر دو شرایط به عنوان متحمل‌ترین لاین‌ها به خشکی از لحاظ عملکرد دانه شناخته شدند. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های تحمل و عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش، بیانگر برتری شاخص‌های STI، MP، HARM، GMP در شناسایی لاین‌های متحمل و حساس می‌باشند. بر اساس شاخص‌های فوق لاین‌های ۱۶۰، ۱۲۵، ۴۸، ۱۰۳ و ۱۲۹ به عنوان لاین‌های متحمل شناخته شدند. با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه اول و دوم در مجموع ۹۷/۸ درصد از تنوع موجود در میان لاین‌ها برای شاخص‌های مقاومت به خشکی را توجیه نمودند. توزیع لاین‌ها در فضای بای پلات وجود تنوع ژنتیکی بین آنها نسبت به تنش خشکی را نشان داد و بر این اساس لاین‌های ۱۶۰، ۱۲۵، ۴۸، ۱۲۹ و ۱۰۳ به عنوان لاین‌های متحمل و با عملکرد بالا شناسایی شدند.

واژگان کلیدی: شاخص‌های تحمل به خشکی، عدس، عملکرد دانه، لاین اینبرد نو ترکیب، همبستگی.

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(* نگارنده‌ی مسئول)

moh124000@gmail.com

۲- استاد گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

مقدمه

در میان عوامل محدود کننده طبیعی، خشکی مهم‌ترین عاملی است که به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان موجب محدودیت کاشت و نیز کاهش تولیدات گیاهی می‌شود (Wang *et al.*, 2003). در حال حاضر، تنش کمبود آب تقریباً موجب محدودیت تولید در ۲۵ درصد از اراضی جهان شده و به‌طور متوسط ۵۰ درصد از عملکرد بالقوه گیاهان زراعی را می‌کاهد (Muscolo *et al.*, 2015). ایران جزو مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می‌شود، در چنین مناطقی نوسانات بارندگی نیز زیاد بوده و ممکن است برخی از مراحل مهم رشدی گیاه به دلیل کم آبی تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب خاک قرار گیرد. علاوه بر این بالا بودن میزان تبخیر و تعرق، محدودیت منابع آبی و سایر عوامل تأثیرگذار بر رشد گیاهان زراعی در این مناطق باعث توجه بیشتری به مطالعه در مورد اثرات تنش خشکی در گیاهان زراعی مختلف شده است (Noroozi and Kazemini, 2012).

عدس (*Lens culinaris* Medik.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حبوبات در سطح جهان شناخته شده و به‌موجب برخورداری از پروتئین بالا و نیز ریزمغذی‌هایی مانند آهن، روی و بتاکاروتن، در تغذیه انسانی و حیوانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Erksine *et al.*, 2011). بر طبق آمار ارائه‌شده توسط سازمان خواربار و جهانی (FAO, 2013)، میزان کل تولید جهانی عدس ۴/۹ میلیون تن با میانگین عملکرد ۹۷۰ کیلوگرم در هکتار بوده است؛ درحالی‌که در ایران با اختصاص ۱۲۰ هزار هکتار به کشت آن، میانگین عملکرد ۶۰۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمده است (FAO, 2013). قابل تأکید است که در شرایط اقلیمی

خشک و نیمه‌خشک، خشکی و گرما از مهم‌ترین عواملی هستند که عملکرد دانه عدس را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند (Fouad *et al.*, 2011). ایران نیز که با متوسط بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر جزو مناطق خشک محسوب می‌شود (Heidari Sharifabad, 2008)، کشت عدس اغلب پس از فصل بارندگی و در خاک‌هایی با رطوبت کم صورت می‌گیرد؛ در نتیجه گیاه در مراحل انتهایی رشد خود با کمبود رطوبت خاک مواجه شده و در نتیجه بلوغ زودرس، عملکرد آن به‌شدت کاهش می‌یابد (Kumar *et al.*, 2012). در این راستا، شناسایی لاین‌هایی که بتوانند در شرایط تنش خشکی عملکرد مناسبی از خود نشان دهند، ضروری به نظر می‌رسد.

به‌منظور شناسایی ارقام مقاوم به خشکی، شاخص‌های کمی مختلفی توسط محققین معرفی و به‌کار گرفته شده است. هر یک از این شاخص‌ها دارای مزایا و معایبی هستند و پیشنهاد یک شاخص خاص که به‌نژادگران از آن بتوانند در انتخاب ارقام دارای عملکرد بالا استفاده کنند، مشکل است (Firuzi *et al.*, 2012).

روزیل و هامبلین (Rosielle and Hambilin, 1981) با ارایه دو شاخص تحمل^۱ (TOL) و میانگین بهره‌وری^۲ (MP) بیان کردند که مقدار بالای TOL نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش است. ارقامی که در شرایط آبیاری مناسب و محدود، عملکرد یکسانی داشته باشند و یا لاقل تفاوت عملکرد آنها کم باشد، نسبت به خشکی تحمل نسبی دارند (Farshadfar *et al.*, 2001).

۱- Tolerance Index

۲- Mean Productivity

سیف‌زاده و همکاران (Seyfzadeh *et al.*, 2014) اشاره کرد که با استفاده از ژنوتیپ‌های عدس به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های MP و GMP برای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش خشکی مناسب هستند. عزیزی چاخرحمان و همکاران (Azizi Chakherchaman *et al.*, 2009) در بررسی لاین‌های امیدبخش عدس در شرایط تنش و بدون تنش اظهار داشتند که شاخص‌های MP، HARM^۱ و GMP در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه هستند و به‌خوبی می‌توانند ارقام دارای عملکرد بالا را در هر دو شرایط شناسایی نمایند. بابایوا و همکاران (Babayeva *et al.*, 2014) با مطالعه ۹۶ ژنوتیپ عدس، STI را به‌عنوان مطلوب‌ترین شاخص تحمل به خشکی معرفی کردند. در این راستا محققین دیگری نیز همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص STI را مثبت و معنی‌دار گزارش کرده‌اند (Neyestani and Azimzadeh, 2003; Seyfzadeh *et al.*, 2015). صالحی و همکاران (Salehi *et al.*, 2005) به‌منظور شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، تعداد ۲۰ ژنوتیپ عدس را در دو شرایط تنش و بدون تنش مورد مطالعه قرار دادند و با توجه به همبستگی معنی‌دار شاخص‌های MP، HARM، GMP و STI با عملکرد دانه در هر شرایط، این شاخص‌ها را برای تعیین ارقام متحمل به خشکی مناسب تشخیص دادند.

هدف از انجام این آزمایش، ارزیابی تنوع لاین اینبرد نوترکیب عدس از نظر تحمل به تنش خشکی آخر فصل، انتخاب مناسب‌ترین شاخص‌های تحمل تنش خشکی و شناسایی

فیشر و مائورر (Fisher and Maurer, 1978) معیاری به نام شاخص حساسیت به تنش^۱ (SSI) را بر اساس عملکرد و ثبات آن برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها از لحاظ واکنش به تنش خشکی پیشنهاد کردند که بر مبنای عملکردهای محیط واجد تنش و فاقد تنش بوده و مقادیر پایین‌تر آن نشان‌دهنده تحمل بالاتر ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی است.

هنگامی که اختلاف نسبی زیادی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش وجود داشته باشد، شاخص MP دارای آریبی به سمت عملکرد در شرایط بدون تنش می‌شود. برای رفع این مشکل، شاخص میانگین هندسی عملکرد^۲ (GMP) که بر اساس میانگین هندسی عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط تنش و بدون تنش محاسبه می‌شود، توسط فرناندز (Fernandez, 1992) ارائه شد.

از آنجایی که شاخص GMP به مقادیر متفاوت عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش حساسیت کمتری دارد، فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص دیگری به نام شاخص تحمل به تنش^۳ (STI) را معرفی کرد که می‌تواند گروه‌های B و C را از یکدیگر تفکیک کند. از نظر فرناندز (Fernandez, 1992) در تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، مقادیر بالای GMP و STI مورد نظر است و مناسب‌ترین معیار، شاخصی است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها تشخیص دهد. پژوهش‌های بسیاری در زمینه شناسایی مؤثرترین شاخص‌ها جهت انتخاب لاین‌های متحمل به تنش خشکی، توسط محققین مختلف صورت گرفته است. از آن جمله می‌توان به مطالعه

۱- Stress Susceptibility Index

۲- Geometric Mean Productivity

۳- Stress Tolerance Index

۴- Harmonic mean

متحمل‌ترین لاین‌ها به خشکی در راستای معرفی در منطقه شهرکرد است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. ارتفاع این محل از سطح دریا ۲۰۶۱ متر بوده و در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی واقع است. بر پایه اطلاعات هواشناسی، اقلیم این منطقه از نوع معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک است. در این پژوهش تعداد ۱۶۸ لاین اینبرد نو ترکیب عدس نسل F7 حاصل از تلاقی رقم هندی L3685 (نسبتاً متحمل به خشکی، پرمحصول، دارای عادت رشدی ایستاده و زودرس) به‌عنوان والد مادری و لاین ایرانی قزوین (نسبتاً حساس به خشکی، دارای عادت رشدی خوابیده و دیررس) به‌عنوان والد پدری مورد بررسی قرار گرفتند. طرح آزمایشی مورد استفاده در این پژوهش، بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود که برای هر یک از شرایط تنش و بدون تنش توزیع تصادفی جداگانه انجام شد. بافت خاک محل آزمایش لومی - رسی و متوسط pH خاک حدود هفت بود. عملیات تهیه زمین شامل شخم و دیسک زنی قبل از کاشت و اضافه نمودن ۵۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 و ۳۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن اجرا شد (Tadayyon *et al.*, 2011). در این طرح هر لاین در دو ردیف یک متری با فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها، فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و عمق کاشت ۵-۳ سانتی‌متر کشت شد. عملیات کاشت در تاریخ ۱۳۹۱/۱۲/۱۷ به‌صورت دستی و با قرار دادن سه بذر در هر کپه انجام شد. در مرحله سه تا چهار برگی عمل تنک صورت گرفت تا نهایتاً

یک بوته در هر کپه باقی بماند. کنترل علف‌های هرز در چندین مرحله در طول فصل کشت و به‌صورت وجین دستی صورت گرفت. عملیات آبیاری در محیط تنش تا زمانی که ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت آزمایشی وارد مرحله گلدهی شده بودند، صورت پذیرفت و پس از آن، با قطع آبیاری تنش خشکی اعمال شد. با توجه به این‌که برخی از لاین‌های مورد مطالعه دارای طول دوره رشد متفاوتی بودند، بنابراین شروع اعمال تنش خشکی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی لاین‌های مزبور به‌صورت جداگانه انجام شد. در محیط بدون تنش انجام آبیاری به‌صورت جوی و پشت‌های، هر ۱۰ روز یک‌بار انجام شد. پس از رسیدگی لاین‌ها، از هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه به آزمایشگاه منتقل شدند.

با در نظر گرفتن، Y_p : میانگین عملکرد لاین‌های مختلف در شرایط بدون تنش، Y_s : میانگین عملکرد لاین‌های مختلف در شرایط تنش، \bar{Y}_p : میانگین عملکرد کلیه لاین‌ها در شرایط بدون تنش و \bar{Y}_s : میانگین عملکرد کلیه لاین‌ها در شرایط تنش باشد، شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی به شرح زیر محاسبه شد:

شاخص میانگین بهره‌وری (Rosielle and

$$MP = \frac{Y_p + Y_s}{2} \quad \text{(Hambilin, 1981)}$$

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

$$SSI = \frac{1 - (Y_s / Y_p)}{1 - (Y_s / Y_p)}$$

شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (Fernandez, 1992):

دانه اختلاف معنی‌دار ($P < 0.01$) وجود دارد که این امر نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بالا در میان لاین‌ها از لحاظ این صفت است (جدول ۱). اختلاف بین دو شرایط بدون تنش و تنش نیز معنی‌دار به دست آمد. از سوی دیگر معنی‌دار بودن اثر متقابل لاین \times شرایط، بیانگر واکنش متفاوت لاین‌های مورد مطالعه از لحاظ عملکرد دانه در شرایط تنش و عدم تنش خشکی است.

به‌طور کلی، تنش خشکی موجب کاهش ۴۵/۱۴ درصدی متوسط عملکرد دانه در لاین‌های مورد مطالعه شد (شکل ۱). با توجه به وجود اختلاف معنی‌دار بین لاین‌ها و به‌منظور شناسایی لاین‌های متحمل، مقادیر شاخص‌های تحمل به خشکی برای لاین‌های مورد مطالعه برآورد گردیدند (جدول ۲). همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود در شرایط بدون تنش و تنش، بیشترین عملکرد دانه در هکتار متعلق به لاین شماره ۱۶۰ ($Y_p = 2369/30$ و $Y_s = 977/30$) و کمترین عملکرد در شرایط بدون تنش با متوسط ۱۷۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به لاین شماره ۹۳ بود. همچنین، لاین شماره ۱۲۵ نیز به‌دلیل داشتن عملکرد بالا ($Y_p = 1954/81$ ، $Y_s = 977/07$) نسبت به مابقی لاین‌ها، می‌تواند به‌عنوان دیگر لاین برتر از لحاظ عملکرد معرفی شود. پس از آن می‌توان به لاین‌های شماره ۱۲۹، ۴۸ و ۱۰۳ نیز اشاره کرد که متوسط عملکرد بالایی در دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند. در پژوهش حاضر، لاین شماره ۹۸ با داشتن متوسط ۷۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه در هکتار در شرایط تنش را به خود اختصاص داد.

با بررسی لاین‌ها از لحاظ شاخص SSI، لاین‌های شماره ۱۵۴، ۱۵۵، ۹۴، ۱۲۴، ۹۷ و ۸

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$$

شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Y_p - Y_s$$

شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{Y_p \times Y_s}{(\bar{Y}_p)^2}$$

شاخص عملکرد (Gavuzzi et al., 1997):

$$YI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

شاخص پایداری عملکرد (Bousslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$$

میانگین هارمونیک عملکرد (Kristin et al., 1997):

$$HARM = \frac{2 \times Y_p \times Y_s}{Y_p + Y_s}$$

برای بررسی وجود اختلاف معنی‌دار بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه در هکتار در ابتدا تجزیه مرکب بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار برای ۱۶۸ لاین اینبرد نوترکیب عدس به همراه والدین در دو شرایط بدون تنش و تنش در مرحله گلدهی انجام شد.

قابل ذکر است که قبل از انجام تجزیه واریانس، مفروضات آن مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت. به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Excel 2010، SAS 9.1 و Statistica 5.5 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بین لاین‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد

در پژوهش حاضر لاین‌هایی که بیشترین تحمل به خشکی (کمترین TOL) را داشتند، از عملکرد مناسبی در شرایط بدون تنش و تنش برخوردار نبودند. با ارزیابی لاین‌ها بر اساس شاخص YI لاین‌های شماره ۱۲۵، ۱۶۰، ۴۸، ۱۰۳ و ۱۴۹ بیشترین و لاین‌های شماره ۹۸، ۹۳، ۵۵، ۹۰، ۲۱ و ۴ کمترین میزان تحمل را از خود نشان دادند (جدول ۲). درحالی‌که شاخص YSI لاین‌های شماره ۱۵۵، ۱۵۴، ۹۴، ۱۲۴ و ۹۷ را به‌عنوان مقاوم‌ترین و لاین‌های شماره ۵۵، ۱۵۱ و ۷۵ را به‌عنوان حساس‌ترین لاین‌ها به تنش خشکی معرفی نمود (جدول ۲).

بر اساس شاخص‌های HARM، MP، STI و GMP لاین‌های شماره ۱۶۰، ۱۲۵، ۴۸، ۱۰۳ و ۱۲۹ به‌عنوان متحمل‌ترین و لاین‌های شماره ۹۸، ۹۳، ۹۰، ۲۱، ۴ و ۹۲ به‌عنوان حساس‌ترین لاین‌ها شناخته شدند (جدول ۲). این امر نشان می‌دهد که این چهار شاخص در واقع یک جنبه مشترک از مقاومت به خشکی در عدس را تبیین می‌نمایند. گزینش بر اساس این شاخص‌ها منجر به افزایش میانگین عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خواهد شد. از آنجایی‌که در اکثر آزمایش‌های عملکرد، شاخص MP دارای همبستگی مثبت با Y_p و Y_s است، بنابراین انتخاب بر اساس MP، موجب انتخاب لاین‌هایی می‌شود که متوسط عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند (گروه B) ولی قادر به شناسایی لاین‌های گروه A از گروه B نیست (Dhanda et al., 2004). از سوی دیگر، بالا بودن مقادیر مربوط به شاخص GMP نیز نشان‌دهنده آن است که لاین یا ژنوتیپ مورد نظر دارای مقاومت بالایی نسبت به شرایط تنش است. شاخص مذکور در شناسایی لاین‌هایی که عملکرد

به‌عنوان لاین‌های متحمل و لاین‌های شماره ۷۵، ۱۵۱، ۵۵، ۱۴۶ و ۱۰۴ حساس‌ترین لاین‌ها شناخته شدند (جدول ۲). مقادیر پایین‌تر SSI بیانگر تحمل بیشتر به تنش خشکی است. به‌عبارت‌دیگر، هرچه مقدار Y_s به Y_p نزدیک‌تر باشد، تحمل آن لاین به کمبود رطوبت بیشتر بوده و در نتیجه SSI آن لاین کوچک‌تر است. با توجه به اینکه مبنای این شاخص حداقل رساندن کاهش عملکرد در شرایط تنش در مقایسه با شرایط بدون تنش است، بنابراین به نظر می‌رسد شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی و همچنین لاین‌هایی که پاسخ ضعیفی به شرایط مطلوب نشان می‌دهند با استفاده از این شاخص ممکن نیست. از اینرو این شاخص قادر به تشخیص ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط عملکرد بالایی دارند نیست (Pour-Siahbidi and Pour- (Aboughadareh, 2013).

بیشترین مقادیر شاخص TOL به‌ترتیب به لاین‌های شماره ۱۶۰، ۱۰۴ و ۵۹ اختصاص داشت (جدول ۲). با توجه به این‌که هر چه مقدار عددی این شاخص کوچک‌تر باشد، لاین متحمل‌تر است؛ بنابراین لاین‌های شماره ۱۵۵، ۹۴، ۱۵۴، ۱۰۵، ۹۷ و ۱۲۴ به‌عنوان لاین‌های متحمل به تنش معرفی شدند. با مطالعه این شاخص چنین استنباط می‌شود که لاین‌هایی که از عملکرد بالایی برخوردار بودند، تحمل مطلوبی به تنش نشان ندادند. در واقع شاخص TOL بیان‌کننده تغییر حاصل در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش است. لاین‌هایی که در شرایط تنش، کاهش عملکرد کمتری نسبت به شرایط بدون تنش دارند، شاخص TOL کمتری داشته و در نتیجه بر اساس این شاخص باید بیان‌کننده تحمل به تنش بیشتری نیز باشند (Ouk et al., 2006).

بدون تنش مثبت و معنی‌دار بوده است. یافته‌های حاضر با نتایج شفیع‌ی خورشیدی و همکاران (Shafiei Khorshidi *et al.*, 2013) مطابقت داشت. از دیگر نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، می‌توان به همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص TOL با شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM اشاره کرد. این موضوع نشان می‌دهد که لاین‌های متحمل‌تر از نظر شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM، از لحاظ شاخص TOL حساس‌تر محسوب می‌شوند. در عین حال این همبستگی‌ها از ضریب تبیین پایینی برخوردار بودند (جدول ۳).

عملکرد دانه در شرایط تنش با شاخص‌های STI، MP، GMP، YI و HARM بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را داشت (جدول ۳). از سوی دیگر، در شرایط بدون تنش بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با شاخص‌های STI، MP، GMP، TOL و HARM مشاهده شد. به عقیده فرناندز (Fernandez, 1992) بهترین شاخص آن است که در هر دو شرایط نرمال و تنش دارای همبستگی معنی‌دار و بالایی با عملکرد باشد و بر اساس نوع همبستگی موجب افزایش عملکرد در هر دو شرایط شود. بر این اساس در پژوهش حاضر، شاخص‌های STI، MP، GMP و HARM که مقادیر بالای آنها نشان‌دهنده تحمل لاین‌ها نسبت به تنش خشکی است، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن لاین‌های متحمل به خشکی که در شرایط نرمال و تنش خشکی عملکرد بالایی دارند، شناسایی شدند. نتایج پژوهش حاضر با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های سایر محققین (Golparvar *et al.*, 2004;) مطابقت داشت.

بالاتری در شرایط بدون تنش و تنش دارند، مفید است (Fernandez, 1992). در کل، به‌منظور بهبود و پایداری عملکرد دانه عدس، ضروری است از شاخص‌هایی استفاده شود که لاین‌های دارای بازده بالا را به‌خوبی شناسایی نمایند.

همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص‌های تحمل به خشکی تحت شرایط بدون تنش و تنش در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل، همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با شاخص MP ($r=0/95^{**}$) و در شرایط تنش بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با شاخص YI ($r=0/99^{**}$) نشان داد. یافته‌های حاضر با نتایج مقدس‌زاده و همکاران (Moghaddaszadeh *et al.*, 2011) و محمد علی‌پور و همکاران (Mohammad Alipour *et al.*, 2011) مطابقت داشت.

شاخص حساسیت به تنش (SSI) همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد در شرایط تنش نشان داد (جدول ۳)، بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌ها با مقادیر کمتر این شاخص باعث انتخاب لاین‌هایی می‌شود که عملکرد بالا در شرایط تنش و عملکرد پایین در شرایط بدون تنش دارند. از سوی دیگر انتخاب لاین‌ها بر اساس مقادیر کمتر شاخص پایداری عملکرد (YSI) نیز منجر به انتخاب لاین‌هایی می‌شود که عملکرد بالایی در شرایط بدون تنش و عملکرد پایین در شرایط تنش می‌شود. شاخص‌های مذکور برای شناسایی لاین‌های متحمل مفید نیستند. همبستگی شاخص TOL نیز با عملکرد در شرایط

بررسی این شکل‌ها ملاحظه شد که لاین‌های شماره ۱۶۰، ۱۲۵، ۴۸، ۱۲۹، ۱۰۳ و ۷۹ جزو لاین‌هایی بودند که در گروه A (که نشان‌دهنده عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش) قرار گرفتند. استفاده از نمودارهای سه‌بعدی برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها در لوبیای معمولی (Shafiei Khorshidi *et al.*, 2013)، نخود (Farshadfar *et al.*, 2001; Ganjali *et al.*, 2009; Pouresmael *et al.*, 2005)، گندم نان (Bakhshayeshi and Shekarchezade, 2015)، گندم دوروم (Zebarjadi *et al.*, 2013) نیز مورد استفاده و تأیید قرار گرفته است. نمودار سه‌بعدی فقط رابطه بین سه متغیر را بررسی می‌کند، برای بررسی رابطه بین بیش از سه متغیر از یک نمودار موسوم به بای‌پلات استفاده می‌شود (Fernandez, 2001; Nourmand Moayyed, 1992). بدین منظور ابتدا تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر مبنای شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش برای ۱۷۰ لاین انجام شد (جدول ۴). البته، با توجه به وجود رابطه خطی بین شاخص YI با Ys و نیز شاخص YSI با SSI، شاخص‌های YI و YSI در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی آورده نشدند (Mohammad Alipour *et al.*, 2011). بای‌پلات مربوط بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم که بیشترین سهم تغییرات را در هر دو شرایط توجیه نمودند (شکل ۴)، رسم شد. در فضای بای‌پلات، لاین‌ها در گروه‌های مشخصی قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آنها به کمبود آب بود؛ بنابراین بر اساس نمودار بای‌پلات ترسیم‌شده، لاین‌های شماره ۱۶۰، ۱۲۵، ۴۸، ۱۲۹ و ۱۰۳ که در ناحیه با پتانسیل تولید بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم

Golabadi *et al.*, 2006; Mohammadi *et al.*, 2010)

برخی از محققین، تلاش‌هایی را در جهت تعیین بهترین معیار به‌منظور انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب عدس برای مناطق خشک انجام داده‌اند. نارویی‌راد و همکاران (Naroui Rad *et al.*, 2009) گزارش کرده‌اند که شاخص‌های STI و GMP در یافتن ژنوتیپ‌هایی که پتانسیل عملکرد بالایی داشته و متحمل به تنش می‌باشند، از سایر شاخص‌های معرفی‌شده موفق‌تر هستند. جهانی و همکاران (Jahani *et al.*, 2014) در تحقیقی بر روی ۱۷ ژنوتیپ عدس دریافتند که از شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص STI در جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A مؤثرتر است. بعد از آنکه بهترین شاخص‌های کمی تحمل به خشکی شناسایی شدند، به‌منظور گزینش لاین‌های متحمل به خشکی و با عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش، از نمودار سه‌بعدی استفاده شد (شکل‌های ۲ و ۳). نمودار سه‌بعدی رابطه بین سه متغیر Yp، Ys و یکی از شاخص‌های تحمل را نشان می‌دهد که در آن عملکرد در محیط بدون تنش روی محور Xها، عملکرد در محیط تنش روی محور Yها و شاخص‌های تحمل روی محور Zها نمایش داده می‌شوند. با توجه به این سه معیار، لاین‌ها به چهار گروه A، B، C و D تقسیم می‌شوند و از نظر فرناندز (Fernandez, 1992) مناسب‌ترین شاخص آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها متمایز سازد. با توجه به کارایی شاخص‌های STI، GMP، HARM و MP در تعیین لاین‌های گروه A و از آنجایی که همبستگی بسیار زیادی بین این چهار شاخص وجود دارد، تنها نمودار سه‌بعدی مربوط به GMP و HARM ارائه شده است. در

عدس خواهد بود و با توجه بای پلات حاصله می‌توان ارقام متحمل به خشکی با عملکرد بالا را انتخاب کرد. دومین مؤلفه که ۲۳/۷۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد، با شاخص‌های SSI و TOL همبستگی مثبت و بالایی نشان داد (جدول ۴). از آنجایی که مقادیر پایین شاخص‌های مذکور نشان‌دهنده مقاومت به خشکی است، بنابراین بر مبنای این مؤلفه ارقامی انتخاب می‌شوند که سازگاری خصوصی به شرایط بدون تنش دارند (منطقه C در شکل ۴). به همین دلیل می‌توان مؤلفه دوم را به‌عنوان مؤلفه حساسیت به خشکی نام‌گذاری کرد. از آنجایی که همبستگی بالایی بین عملکرد در شرایط تنش و همچنین شاخص‌های تحمل به خشکی با مؤلفه اول وجود دارد و همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز بین مؤلفه دوم و عملکرد در شرایط بدون تنش وجود دارد، لذا لاین‌هایی که در فضای بالای این دو مؤلفه قرار گیرند (منطقه A در شکل ۴)، می‌توانند به‌عنوان لاین‌های متحمل به خشکی و پر محصول پیشنهاد شوند.

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از روش‌های به‌زراعی و لاین‌های مقاوم به تنش خشکی در مناطقی که در معرض کمبود آب قرار دارند، منجر به استفاده بهینه از امکانات و نیز بهبود سطح زیر کشت این مناطق می‌شود.

با توجه به افزایش جمعیت جهان و نیاز روزافزون به منابع غذایی و همچنین بروز خشک‌سالی‌های مکرر، شناسایی ارقام متحمل عدس که در شرایط تنش‌زا عملکرد قابل قبولی داشته باشند، امری ضروری به نظر می‌رسد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، لاین‌های شماره ۱۶۰، ۱۲۵، ۱۲۹، ۴۸ و ۱۰۳ با داشتن

تحمل به خشکی (STI و HARM, GMP, MP) قرار دارند، به‌عنوان لاین‌های متحمل با عملکرد بالا شناخته شدند. لاین‌های شماره ۱۰۴، ۵۹، ۱۳۸ و ۸۲ که در ناحیه‌ای با عملکرد پایین در شرایط تنش و حساسیت بالا به خشکی و در مجاورت شاخص‌های مهم حساسیت به خشکی (TOL و SSI) قرار گرفته‌اند، به‌عنوان لاین‌های دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های آبی شناخته شدند.

با توجه به اینکه زاویه بین بردارها میزان همبستگی بین متغیرها را نشان می‌دهد، همان‌طور که ملاحظه می‌شود زاویه تند بین شاخص‌های STI، HARM، GMP، MP و STI نشان‌دهنده همبستگی شدید بین این شاخص‌ها است. نتایج حاصل از این نمودار (شکل ۴) نتایج نمودارهای سه‌بعدی (شکل‌های ۱ و ۲) را تأیید می‌کند. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات برای تفکیک ارقام نسبت به تنش خشکی در لوبیا توسط فرناندز (Fernandez, 1992) و در نخود توسط فرشادفر و همکاران (Farshadfar et al., 2001)، گنجعلی و همکاران (Ganjali et al., 2005) و پوراسماعیل و همکاران (Pouresmael et al., 2009) مورد استفاده و تأیید قرار گرفته است.

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول و دوم در مجموع ۹۷/۹ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه می‌نمایند. جدول ۴ نشان می‌دهد که ۷۴/۱۴ درصد از تغییرات کل داده‌ها مربوط به مؤلفه اول بود که دارای همبستگی مثبت و بالایی با Yp، Ys، STI، MP، GMP و HARM داشت؛ بنابراین بالا بودن میزان مؤلفه اول نشان‌دهنده بیشتر بودن مقادیر شاخص‌های مذکور در لاین‌های خالص

تنش خشکی واقع شدند؛ بنابراین، به‌طور کلی می‌توان لاین‌های مورد نظر را لاین‌های برتر از لحاظ عملکرد دانه در نظر گرفت. رسم نمودارهای سه‌بعدی و نیز انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نتایج فوق را تأیید نمود.

عملکرد بالا در دو شرایط تنش و بدون تنش، در زمهری برترین لاین‌ها از لحاظ عملکرد دانه بودند. افزون بر این لاین‌های مذکور از نظر شاخص‌های STI، MP، HARM و GMP از ارزش بالایی برخوردار بوده و در زمهری لاین‌های متحمل به

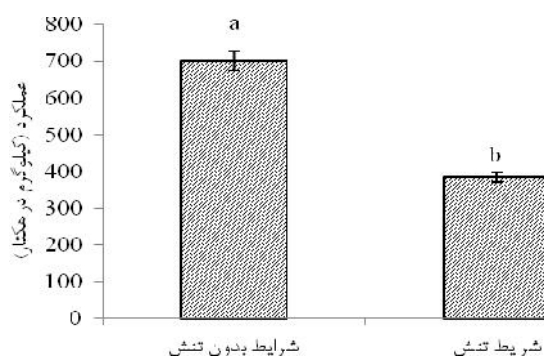
جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در لاین‌های اینبرد نو ترکیب عدس در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 1- Combined analysis of variance of grain yield in recombinant inbred lines of lentil under normal and drought stress conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS
شرایط Condition	1	26084712.11 **
تکرار درون شرایط Replication within Condition	4	682.73
لاین Line	169	392790.02 **
لاین × شرایط Line × Condition	169	122583.46 **
خطا Error	676	735.55
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.96

***: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

***: significant at 0.01 probability level.



شکل ۱- میانگین عملکرد دانه لاین‌های اینبرد نو ترکیب عدس در سطوح مختلف آبیاری

Figure 1- Means of grain yield of lentil recombinant inbred lines under different irrigation levels

ادامه جدول ۲
Table 2- Continued

Line	Yp	Ys	STI	MP	SSI	GMP	TOL	YI	YSI	HARM
127	516.20	328.22	0.34	422.21	0.81	411.62	187.98	0.85	0.64	401.29
128	484.07	281.39	0.28	382.73	0.93	369.07	202.68	0.73	0.58	355.90
129	1643.41	766.71	2.56	1205.06	1.18	1122.50	876.70	1.99	0.47	1045.60
130	1112.32	700.44	1.58	906.38	0.82	882.68	411.87	1.82	0.63	859.59
131	810.16	540.74	0.89	675.45	0.74	661.88	269.42	1.41	0.67	648.58
132	291.30	212.04	0.13	251.67	0.60	248.53	79.26	0.55	0.73	245.43
133	254.07	155.56	0.08	204.81	0.86	198.80	98.52	0.40	0.61	192.97
134	450.25	256.05	0.23	353.15	0.96	339.54	194.20	0.67	0.57	326.45
135	889.55	315.18	0.57	602.37	1.43	529.50	574.37	0.82	0.35	465.45
136	1169.93	344.61	0.82	757.27	1.56	634.96	825.32	0.90	0.29	532.40
137	782.95	351.85	0.56	567.40	1.22	524.86	431.10	0.91	0.45	485.52
138	1507.41	442.59	1.36	975.00	1.56	816.80	1064.81	1.15	0.29	684.27
139	733.95	440.37	0.66	587.16	0.89	568.52	293.58	1.14	0.60	550.46
140	646.05	307.68	0.40	476.87	1.16	445.85	338.37	0.80	0.48	416.85
141	682.64	313.89	0.44	498.26	1.20	462.90	368.75	0.82	0.46	430.04
142	1110.39	338.78	0.76	724.59	1.54	613.33	771.62	0.88	0.31	519.16
143	675.06	557.04	0.76	616.05	0.39	613.22	118.02	1.45	0.83	610.40
144	667.79	171.85	0.23	419.82	1.64	338.76	495.93	0.45	0.26	273.36
145	1438.89	620.00	1.81	1029.44	1.26	944.52	818.89	1.61	0.43	866.59
146	1032.96	216.89	0.46	624.93	1.75	473.33	816.07	0.56	0.21	358.50
147	982.89	238.70	0.48	610.80	1.68	484.37	744.18	0.62	0.24	384.12
148	1251.78	469.54	1.19	860.66	1.38	766.65	782.24	1.22	0.38	682.91
149	1008.98	889.63	1.82	949.30	0.26	947.43	119.35	2.31	0.88	945.55
150	817.78	504.91	0.84	661.34	0.85	642.57	312.87	1.31	0.62	624.34
151	1147.78	181.22	0.42	664.50	1.87	456.07	966.55	0.47	0.16	313.02
152	749.54	372.15	0.57	560.84	1.12	528.15	377.39	0.97	0.50	497.36
153	644.44	380.09	0.50	512.27	0.91	494.92	264.35	0.99	0.59	478.17
154	458.89	440.25	0.41	449.57	0.09	449.47	18.63	1.14	0.96	449.38
155	343.33	335.13	0.23	339.23	0.05	339.21	8.21	0.87	0.98	339.18
156	1047.78	566.30	1.21	807.04	1.02	770.29	481.48	1.47	0.54	735.22
157	755.55	292.96	0.45	524.26	1.36	470.48	462.59	0.76	0.39	422.21
158	659.63	372.78	0.50	516.20	0.96	495.88	286.85	0.97	0.57	476.35
159	982.31	507.04	1.01	744.68	1.07	705.74	475.28	1.32	0.52	668.84
160	2369.30	977.30	4.70	1672.80	1.30	1520.90	1393.01	2.54	0.50	1382.80
161	956.11	446.85	0.87	701.48	1.18	653.64	509.26	1.16	0.47	609.05
162	870.00	590.37	1.04	730.18	0.71	716.67	279.63	1.53	0.68	703.41
163	698.15	461.33	0.65	579.74	0.75	567.52	236.81	1.20	0.66	555.56
164	485.51	388.21	0.38	436.86	0.44	434.14	97.30	1.01	0.80	431.44
165	698.00	410.76	0.58	554.38	0.91	535.46	287.24	1.07	0.59	517.18
166	682.59	312.72	0.43	497.65	1.20	462.01	369.88	0.81	0.46	428.93
167	386.85	144.17	0.11	265.51	1.39	236.16	242.68	0.37	0.37	210.05
168	383.06	278.70	0.22	330.88	0.60	326.74	104.35	0.72	0.73	322.65
قزوین	617.78	287.78	0.36	452.78	1.18	421.64	330.00	0.75	0.47	392.65
L3685	843.33	510.00	0.87	676.67	0.88	655.82	333.33	1.33	0.60	635.62
LSD 5%	59.976	14.044	-	-	-	-	-	-	-	-

Yp: میانگین عملکرد لاین‌های مختلف در شرایط بدون تنش، Ys: میانگین عملکرد لاین‌های مختلف در شرایط تنش، MP: میانگین بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، TOL: شاخص تحمل، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد و HARM: شاخص میانگین هارمونیک عملکرد.

Yp: Mean yield in non-stress condition; Ys: Mean yield in stress condition; MP: Mean Productivity; SSI: Stress Susceptibility Index; GMP: Geometric Mean Productivity; TOL: Tolerance index; STI: Stress Tolerance Index; YI: Yield Index; YSI: Yield Stability Index; HARM: Harmonic mean.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های تحمل در لاین‌های اینبرد نوترکیب عدس

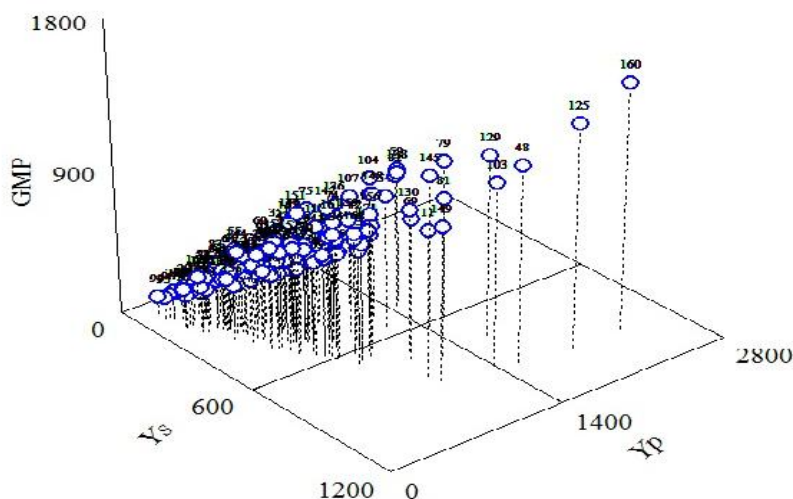
Table 3- Correlation coefficients between drought tolerance indices under non stress and stress conditions in recombinant inbred lines of lentil

	Yp	Ys	STI	MP	SSI	GMP	TOL	YI	YSI	HARM
Ys	0.676**	1								
STI	0.874**	0.862**	1							
MP	0.962**	0.852**	0.942**	1						
SSI	0.380**	-0.358**	-0.027 ^{ns}	0.137 ^{ns}	1					
GMP	0.905**	0.923**	0.953**	0.986**	-0.001 ^{ns}	1				
TOL	0.859**	0.204**	0.563**	0.686**	0.755**	0.561**	1			
YI	0.676**	1.000**	0.862**	0.852**	-0.358**	0.923**	0.204**	1		
YSI	-0.380**	0.358**	-0.027 ^{ns}	-0.137 ^{ns}	-1.000**	0.001 ^{ns}	-0.755**	0.358**	1	
HARM	0.833**	0.940**	0.949**	0.951**	-0.127 ^{ns}	0.989**	0.436**	0.966**	0.127 ^{ns}	1

ns, *, **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪. ns, *, **: non-significant, significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

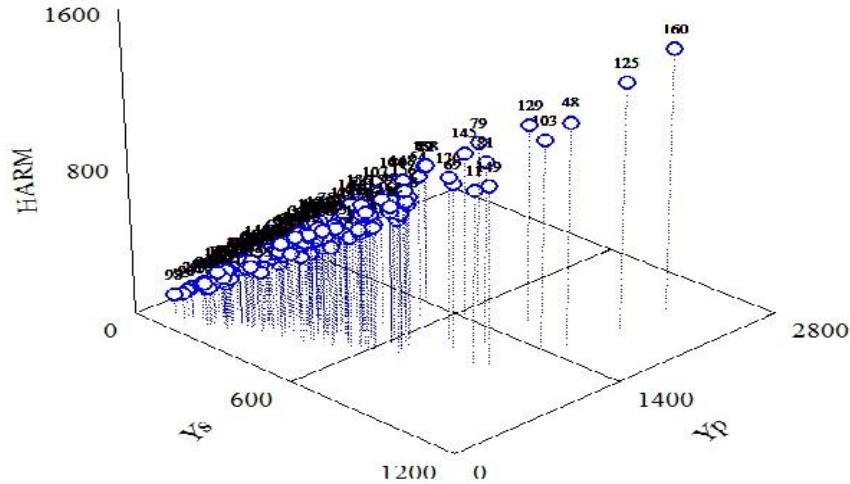
Yp: میانگین عملکرد لاین‌های مختلف در شرایط بدون تنش، Ys: میانگین عملکرد لاین‌های مختلف در شرایط تنش، MP: میانگین بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، TOL: شاخص تحمل، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد و HARM: شاخص میانگین هارمونیک عملکرد.

Yp: Mean yield in non-stress condition; Ys: Mean yield in stress condition; MP: Mean Productivity; SSI: Stress Susceptibility Index; GMP: Geometric Mean Productivity; TOL: Tolerance index; STI: Stress Tolerance Index; YI: Yield Index; YSI: Yield Stability Index; HARM: Harmonic mean.



شکل ۲- نمودار پراکنش سه‌بعدی لاین‌های اینبرد نوترکیب عدس متحمل به تنش خشکی بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش خشکی (Ys) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

Figure 2- Diagram of 3D plot for determination of tolerant recombinant inbred lines of lentil based on Mean yield in non-stress condition (Yp), Mean yield in stress condition (Ys) and Geometric Mean Productivity (GMP) index



شکل ۳- نمودار پراکنش سه بعدی لاین‌های اینبرد نوترکیب عدس متحمل به تنش خشکی بر اساس عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش خشکی (Ys) و میانگین هارمونیک عملکرد (HARM)

Figure 3- Diagram of 3D plot for determination of tolerant recombinant inbred lines of lentil based on Mean yield in non-stress condition (Yp), Mean yield in stress condition (Ys) and Harmonic mean (HARM) index

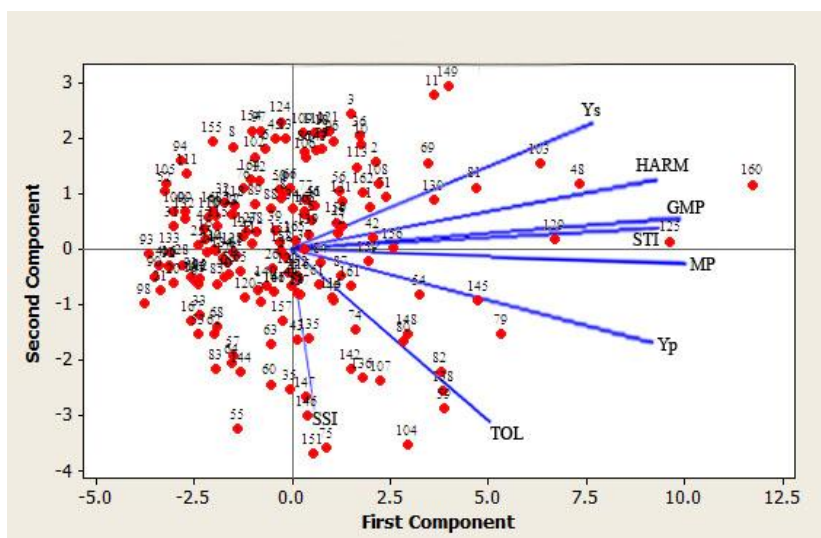
جدول ۴- مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم تجمعی شاخص‌های تحمل و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در لاین‌های اینبرد نوترکیب عدس

Table 4- Eigen values and vector values and cumulative variance of tolerance indices, Yp and Ys in recombinant inbred lines of lentil

HARM	TOL	GMP	SSI	MP	STI	Ys	Yp	درصد تجمعی Cumulative of variance (%)	مقادیر ویژه Eigen values	مؤلفه اصلی Principal component
0.394	0.273	0.406	0.050	0.410	0.394	0.354	0.391	74.14	5.931	1
-0.192	0.529	-0.094	0.704	0.016	-0.070	-0.358	0.210	97.86	1.897	2

Yp: میانگین عملکرد لاین‌های مختلف در شرایط بدون تنش، Ys: میانگین عملکرد لاین‌های مختلف در شرایط تنش، MP: میانگین بهره‌وری، SSI: شاخص حساسیت به تنش، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، TOL: شاخص تحمل، STI: شاخص تحمل به تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد و HARM: شاخص میانگین هارمونیک عملکرد.

Yp: Mean yield in non-stress condition; Ys: Mean yield in stress condition; MP: Mean Productivity; SSI: Stress Susceptibility Index; GMP: Geometric Mean Productivity; TOL: Tolerance index; STI: Stress Tolerance Index; YI: Yield Index; YSI: Yield Stability Index; HARM: Harmonic mean.



شکل ۴- نمودار بای پلات لاین اینبرد نوترکیب عدس در شاخص‌های تحمل به خشکی بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم
Figure 4- Biplot diagram recombinant inbred line of lentil at drought tolerance indices on the basis of first and second principal components

References

منابع مورد استفاده

- Azizi Chakherchaman, Sh., H. Kezemi Arbat, M. Yarnia, and H. Mostafaei. 2009. Evaluation of drought tolerance in some improved lines and varieties of lentil (*Lens culinaris* L.) using stress suscebility and tolerance indices. *Journal of Crop Production in Environmental Stress*. 1(1): 1-12. (In Persian).
- Babayeva, S., Z. Akparov, A. Damania, V. Izzatullayeva, G. Aslanova, and M. Abbasov. 2014. Genetic diversity for drought tolerance in lentils from central Asia and the Caucasus: CACLentil. *Albanian Journal of Agricultural Science*. 13(2): 1-8.
- Bakhshayeshi, M., and M. Shekarchezade. 2015. Evaluation of genotypes of bread wheat (*Triticum Aestivum*) using drought tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*. 7 (16): 49-59. (In Persian).
- Bouslama, M., and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 24: 933- 937.
- Dhanda, S.S., G.S. Sethi, and R.K. Behl. 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 190: 6-12.
- Erksine, W., A. Sarker, and S. Kumar. 2011. Crops that feed the world 3. Investing in lentil improvement toward a food secure world. *Food Security*. 3(2): 127-139.
- FAO. 2013. <http://faostat.fao.org/>. Accessed November, 2013.

- Farshadfar, E., M. Zamani, M. Motallebi, and A. Imamjomeh. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 32(1): 65-77. (In Persian).
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In Proceeding of the Symposium. Taiwan, 13-16 Aug. pp. 257-270.
- Firuzi, B., A. Sofalian, M. Shekarpour, A. Rasulzadeh, and F. Ahmadpour. 2012. Evaluation of spring wheat genotypes using drought tolerance indices and principal components analysis. *Environmental Stress in Crop Science*. 5(2): 99-133. (In Persian).
- Fisher, R.A., and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29: 897-912.
- Fouad, M., M. Imtiaz, S. Kumar, and R. Malhotra. 2011. Breeding food legumes for enhanced drought and heat tolerance to cope with climate change. In: Solh, M. and M.C. Saxena (Eds), Food Security and Climate Change in Dry Areas. Proceedings of International Conference. pp. 244-254.
- Ganjali, A., A. Kafi, A. Bagheri, and F. Shahriyari. 2005. Screening for drought tolerance in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 3 (1): 103-122 (In Persian).
- Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi, and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*. 77: 523- 531.
- Golabadi, M., A. Arzani, and S.A.M. Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*. 5: 162-171.
- Golparvar, A.R., A. Majidi Heravan, and A. Ghasemi Pir Bloti. 2004. Genetic improvement of yield potential and drought resistance in wheat genotypes (*T. aestivum*). *Journal of Dryness and Drought Agricultural Extension*. 3: 23-13.
- Heidari Sharifabad, H. 2008. Drought mitigation strategies for the agriculture sector. The 10th Iranian Congress of Crop Science, 18-20 Aug. Karaj, Iran, pp. 47-62.
- Jahani, J., Z. Yaghoobi Sagherchi, and A. Imani. 2014. Investigate the interaction of genotypes on the environment in terms of drought tolerance indices in the lentil genotypes. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. 4(3): 278-285.
- Kristin, A.S., R.R. Senra, F.I. Perez, B.C. Enriques, J.A.A. Gallegos, P.R. Vallego, N. Wassimi, and J.D. Kelley. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*. 37: 43-50.
- Kumar, J., P.S. Basu, E. Srivastava, S.K. Chaturvedi, N. Nadarajan, and S. Kumar. 2012. Phenotyping of traits imparting drought tolerance in lentil. *Crop and Pasture Science*. 63(6): 547-554.

- Moghaddaszadeh, M., M. Moghaddam Vahed, S. Aharizad, and S.A. Mohammadi. 2011. Evaluation of recombinant inbred lines of spring wheat under drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 6(1): 37-56. (In Persian).
- Mohammad Alipour, H., M.R. Bihamta, S.A. Peighambari, and M.R. Naghavi. 2011. Evaluation of drought tolerance in Kabuli type chickpea genotypes. *Seed and Plant Improvement Journal*. 27(3): 393-409. (In Persian).
- Mohammadi, R., M. Armion, D. Kahrizi, and A. Amri. 2010. Efficiency of screening techniques for evaluating durum wheat genotypes under mild drought conditions. *International Journal of Plant Production*. 4(1): 11-24.
- Muscolo, A., A. Junker, C. Klukas, K. Weigelt-Fischer, D. Riewe, and T. Altmann. 2015. Phenotypic and metabolic responses to drought and salinity of four contrasting lentil accessions. *Journal of Experimental Botany*. 66 (18): 5467-5480.
- Naroui Rad, M.R., A. Ghasemi, and A. Arjmandinejad. 2009. Study of limit irrigation on yield of lentil (*Lens culinaris*) genotypes of national plant gene bank of Iran by drought resistance indices. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 6 (3): 352-355.
- Neyestani, A., and M. Azimzadeh. 2003. Study of drought tolerance of 15 lentil varieties. *Journal of Agricultural Science*. 5(1): 61-69. (In Persian).
- Noroozi, M., and S.A.R. Kazemini. 2012. Effect of water stress and plant density on growth and seed yield of safflower. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 10 (4): 781-788. (In Persian).
- Nourmand Moayyed, F., M.A. Rostami, and M.R. Ghanadha. 2001. Evaluate the indices of drought resistance in wheat. *Iranian Journal of Agriculture Science*. 32(4): 795-805. (In Persian).
- Ouk, M., J. Basnayake, M. Tsubo, S. Fukai, K.S. Fischer, M. Cooper, and H. Nesbitt. 2006. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. *Field Crops Research*. 99: 48-58.
- Pouresmael, M., M. Akbari, S. Vaezi, and S. Shahmoradi. 2009. Effects of drought stress gradient on agronomic traits in kabuli chickpea core collection. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 11(4): 307-324 (In Persian).
- Pour Siahbidi, M.M., and A. Pour Aboughadareh. 2013. Evaluation of grain yield and repeatability of drought tolerance indices for screening chickpea (*Cicer aritimum* L.) genotypes under rainfed conditions. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2: 28-37.
- Rosielle, A.A., and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21: 943-946.
- Salehi, M., A. Hagnazari, F. Shekari, and N. Nemati. 2005. The study of drought resistance indices in lentil (*Lens Culinaris* Medik). The 1st Iranian Pulses Symposium. Mashhad, Iran, 20-21 November. pp. 230-234. (In Persian).

- Seyfzadeh, S., J. Babaei Aghdam, A. Koochi-ghooshkhane, and M. Hanifi. 2014. Evaluation of seed yield and drought resistance indices in some lentil varieties. *Journal of Crop Production Research*. 6(1): 39-49. (In Persian).
- Seyedzavar, J., M. Norouzi, and S. Aharizad. 2015. Evaluating tolerance indices of some new maize hybrids imposed to drought stress. *Journal of Crop Ecophysiology*. 9(4): 503-520.
- Shafiei Khorshidi, M., M.R. Bihamta, F. Khialparast, and M.R. Naghavi. 2013. Comparison of some common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for drought tolerance. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 44(1): 95-107. (In Persian).
- Tadayyon, A., Hashemi, L. and M. Khodambashi. 2011. Effective morphological and phenological traits on seed and biological yield in lentil genotypes in Shahrekord region. *Iranian Journal of Pulses Research*. 2(2): 47-62. (In Persian).
- Wang, W., B. Vinocur, and A. Altman. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*. 218: 1-14.
- Zebarjadi, A., S. Tavakoli, A. Etminan, and R. Mohammadi. 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotype using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal*. 29(1): 1-12. (In Persian).

Evaluation of Lentil Recombinant Inbred Lines using Drought Tolerance Indices

Mohammad Hassan Rahimi^{1*}, Sadollah Houshmand², and Mahmood Khodambashi²

Received: October 2015, Revised: 10 January 2016, Accepted: 13 September 2016

Abstract

To identify drought tolerant lines among 168 recombinant inbred lines derived from a cross between Hindi variety of L3685 (high yielding, erect type and early growth) as female parent and Iranian variety of Qazvin (with prostrate growth and late growth) as male parent, two experiments were conducted in randomized complete block design with three replications under non-stress and drought stress conditions at the experimental Field of Shahrekord University in 2013. Results of combined analysis of variance showed that there were significant differences among lines under study in both experimental conditions in terms of grain yield ($P < 0.01$). Significant interaction of line \times conditions revealed that lines responded differently to drought stress based on grain yield. Results also indicates that lines 160, 125 and 129 were promising lines under both conditions in terms of grain yield. Positive and significant correlation between tolerance indices and grain yield under stress and non-stress conditions indicated that the STI, MP, HARM and GMP indices may identify promising from non promising lines. Based on the above criteria, lines 160, 125, 48, 103 and 129 were recognized as drought tolerant lines. According to the results of principal components analysis, the first and second components determined 97.8% of the total variations among genotypes under study for drought resistance indices. The distribution of lines in the biplot showed genetic variations to the drought stress and thus lines 160, 125, 48, 129 and 103 were identified as high yielders under drought stress condition.

Key words: Correlation, Drought tolerance indices, Grain yield, Lentil, Recombinant inbred line.

1- Ph.D. Student of Plant Breeding, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

2- Prof., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

* *Corresponding Author:* moh124000@gmail.com

