

ارزیابی تحمل خشکی لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) با استفاده از خصوصیات
زراعی و فیزیولوژیک*
Evaluation of Drought Tolerance of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Lines
Using Agro-Physiologic Characteristics

مهدی جمشیدی مقدم، حسن پاک‌نیت و عزت‌اله فرشادفر

دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۱۳۸۴/۱۲/۹

چکیده

جمشیدی مقدم، م.، پاک‌نیت، ح. و فرشادفر، ع. ۱۳۸۶. ارزیابی تحمل خشکی لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) با استفاده از خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک. نهاد و بدر. ۲۳: ۳۴۲-۳۲۵.

به منظور بررسی واکنش لاین‌های نخود به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و مراحل بعدی رشد، تعداد ۱۷ لاین در شرایط کنترل شده در چهار سطح پتانسیل آب، و در مزرعه در دو شرایط محدود و مطلوب رطوبتی مورد مقایسه قرار گرفتند. خصوصیات فیزیولوژیک پتانسیل آب برگ، آب نسبی از دست رفته برگ و مقدار کلروفیل برگ در دو مرحله گلدهی و غلاف‌دهی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در شرایط کنترل شده با کاهش پتانسیل آب (از سطح شاهد تا ۱/۲- مگاپاسکال)، کلیه صفات مربوط به جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش یافتند. بیشترین شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI) متعلق به دو لاین بیونیچ و Flip95-48C بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین GSI و حداکثر جوانه‌زنی مشاهده شد. در مزرعه نیز اعمال تنش در هر دو مرحله گلدهی و غلاف‌دهی موجب کاهش معنی‌دار در پتانسیل آب برگ شد، در حالی که کاهش معنی‌داری در مقدار کلروفیل مشاهده نشد. بر اساس شاخص تحمل تنش (STI)، لاین‌های ۱۵-۵۹-۱۸ و Flip97-188C برتر بودند. در مرحله غلاف‌دهی لاین‌های فوق‌همراه با لاین ۳۱-۶۰-۱۲ بیشترین پتانسیل آب برگ را در شرایط محدود رطوبتی دارا بودند. در مرحله گلدهی، لاین Flip89-50C و در مرحله غلاف‌دهی دو لاین برتر از نظر STI همراه با لاین‌های Flip93-166C و Flip95-42C کمترین آب از دست‌رفته برگ را داشتند. در هر دو شرایط و در دو مرحله بیشترین میزان کلروفیل به لاین Flip94-111C تعلق داشت. در شرایط محدود رطوبتی و هر دو مرحله رشد گیاه، پتانسیل آب برگ با آب از دست رفته همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. بر اساس نتایج آزمایش، تحمل خشکی با بالا بودن محتوای آب برگ مرتبط بود. نتایج رگرسیون مرحله‌ای نشان داد که در شرایط مطلوب عملکرد بیولوژیک و در شرایط محدود در صدپوکی غلاف و وزن دانه، همراه با تعداد غلاف در بوته دارای بیشترین تأثیر بر عملکرد تک بوته بودند.

واژه‌های کلیدی: نخود، تنش جوانه‌زنی، تحمل خشکی، خصوصیات فیزیولوژیک.

* بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول در گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

مقدمه

نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) دومین گیاه مهم از گروه محصولات زراعی موسوم به حبوبات در جهان است. با توجه به اهمیت حبوبات به عنوان یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک، تلاش‌های زیادی در جهت تعیین تحمل خشکی بر اساس آزمایش‌های جوانه‌زنی با تأمین رطوبت محدود (کیانی و همکاران، ۱۳۷۷؛ Fernandez and Johnston, 1995؛ Grzesiak *et al.*, 1996b) و نیز بر اساس کاهش عملکرد در شرایط تنش آبی در مقایسه با شرایط شاهد انجام شده است (فرشادفر و همکاران، ۱۳۸۰؛ Abebe *et al.*, 1998؛ Grzesiak *et al.*, 1996a؛ Fernandez, 1993). امروزه دستیابی به معیارهای فیزیولوژیک معتبر، سریع و مرتبط با عملکرد به ویژه برای ارزیابی جمعیت‌های بزرگ در جهت بهبود مقاومت به خشکی حائز اهمیت است. استفاده از نمک‌هایی با جرم مولکولی بالا نظیر پلی اتیلن گلیکول (Polyethylene glycol) اغلب برای تهیه پتانسیل آب در مطالعه جوانه‌زنی برای ارزیابی تحمل خشکی استفاده می‌شود (Emmerich and Hardegree, 1990, 1991). بوسلاما و شاپاچ (Bousslama and Schapauch, 1984) بررسی جوانه‌زنی بیست رقم سویا با پلی اتیلن گلیکول در سطح پتانسیل آب ۰/۶- مگاپاسکال، شاخص تنش جوانه‌زنی

(Germination stress index) را معرفی کردند که یکی از معیارهای ارزیابی تحمل خشکی است و ارقام دارای GSI بالا در شرایط تنش از شانس بیشتری برای سبز شدن برخوردارند. اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه به عنوان یک شاخص مهم در شناسایی پاسخ گیاه به تنش خشکی مطرح است. گزارش‌ها حاکی از آن است که زیاد بودن میزان آب اولیه برگ و کم بودن سرعت از دست رفتن آب، نشان‌دهنده سازگاری به خشکی در ژنوتیپ‌ها است و می‌تواند به عنوان یک معیار انتخاب در جهت مقاومت به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (Sivakumar and Singh, 1987؛ Winter *et al.*, 1988). فتوسنتز تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان زراعی است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. داوان و سینگ (Dhawan and Singh, 1983) نشان دادند که سرعت فتوسنتزی و فعالیت آنزیم رایبیسکو در گیاه نخود همبستگی مثبتی با عملکرد دارد. در شرایط خشکی، عوامل محدودکننده فتوسنتز به دو دسته عوامل روزنه‌ای که منجر به کاهش انتشار CO₂ به فضای بین سلولی در اثر کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شوند و عوامل غیرروزنه‌ای که فتوسنتز را از طریق اثر مستقیم کمبود آب روی فرایندهای بیوشیمیایی فرآوری کربن محدود می‌کنند، تقسیم می‌شوند و کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش آبی می‌تواند یک عامل

دو شدت تنش مورد ارزیابی قرار داد و شاخص تحمل تنش (Stress tolerance index) را معرفی کرد که این شاخص قادر است ژنوتیپ‌هایی را که در دو محیط تنش و غیرتنش تظاهر یکسانی از خود نشان می‌دهند شناسایی کند. این تحقیق به منظور ارزیابی عکس‌العمل لاین‌های نخود به تنش خشکی در مرحله جوانه‌زنی و سایر مراحل رشد و گزینش لاین‌های برتر بر اساس برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک انجام شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق هفده ژنوتیپ نخود زراعی شامل سیزده لاین دریافتی از ایکاردا (ICARDA) و چهار لاین ایرانی (دو لاین محلی پارس و بیونج و ۲ لاین اصلاح شده ۱۵-۵۹-۱۸ و ۳۱-۶۰-۱۲) استفاده شد. برای تعیین اثر سطوح مختلف خشکی بر روی جوانه‌زنی بذرها، نخود، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در داخل اتاقک رشد با دمای 20 ± 1 درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۴ روز در تاریکی انجام شد. لاین‌ها یکی از فاکتورهای مورد مطالعه بود و فاکتور دوم سطوح پتانسیل آب بود که چهار سطح پتانسیل آب شامل صفر، $-0/4$ ، $-0/8$ و $-1/2$ مگاپاسکال در نظر گرفته شد. پتانسیل‌های آب با استفاده از پلی‌اتیلن گلاکول ۶۰۰۰ طبق دستورالعمل میچل و کافمن (Michel and Kaufman, 1973)

محدودکننده غیرروزنه‌ای به حساب آید و لذا پایداری کلروفیل به عنوان یک معیار مقاومت به خشکی برای انتخاب ارقام پیشنهاد شده است (احمدی و بیکر، ۱۳۷۹). نتایج تحقیقات یوهانسن و همکاران (Johansen et al., 1994) نشان داد که آبیاری به طور کلی ارزش اکثر صفات زراعی در گیاه نخود را افزایش داده، طوری که بین بیوماس، عملکرد دانه و آبیاری تکمیلی یک ارتباط خطی حاصل شد. در تحقیق دیگری در شرایط تنش و بدون تنش (Prabhakar and Saraf, 1990)، آبیاری باعث تجمع بیشتری ماده خشک در گیاه نخود شد و توزیع این مواد را بهتر کرد به طوری که سهم بیشتری از این مواد به غلاف‌ها اختصاص یافت. نیلسن (Nielsen, 2001) در بررسی چند ساله بر روی حبوبات (نخود، نخودفرنگی و عدس)، گزارش کرد که همبستگی بالایی بین مصرف آب و عملکرد دانه وجود دارد به طوری که بالاترین پاسخ را گیاه نخود (هر میلی‌متر افزایش در مصرف آب $10/6$ کیلوگرم در هکتار افزایش در عملکرد) نشان داد. در مناطق نیمه‌خشک که پراکنش بارندگی متناسب نیست، پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها (مقایسه میزان عملکرد در شرایط تنش و غیرتنش) به عنوان معیار مناسبی برای ارزیابی مقاومت به خشکی پذیرفته شده است (Simane et al., 1993). فرناندز (Fernandez, 1993)، ۲۱ رقم ماش را برای تعیین ارقام متحمل با پتانسیل عملکرد بالا، در

مرحله گلدهی و غلاف‌دهی به شرح زیر
اندازه‌گیری شد:

پتانسیل آب برگ

از روش محفظه فشار (Pressure chamber) استفاده شد. در گیاه نخود به علت کوتاهی دمبرگ از یک شاخه کوتاه انتهای بوته که در معرض نور خورشید قرار داشته و حاوی دست کم پنج تا هفت برگ بود، استفاده شد. سه نمونه از سه ردیف میانی در دستگاه قرار داده شد و به محض خروج شیره گیاهی از مقطع بریده شده، میزان فشار خوانده شد و میانگین سه گیاه به عنوان پتانسیل آب برگ (Ψ_L Leaf water potential) در هر کرت منظور شد (Sivakumar and Virmani, 1979).

میزان آب نسبی از دست‌رفته برگ

تعدادی برگ از بوته‌های هر کرت جدا و بلافاصله توزین شد (W_F)، سپس برگ‌ها در اتاق رشد با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰ درصد به مدت ۶ ساعت قرار داده شد (W_W)، بعد از آن برگ‌ها در ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و توزین شد (W_D) و از طریق فرمول زیر آب نسبی از دست‌رفته RWL (Relative water loss) محاسبه شد (Farshadfar, 1995).

$$RWL(\%) = (W_F - W_W) / (W_F - W_D) \times 100$$

میزان کلروفیل در برگ

برای تعیین کلروفیل برگ
Chl (Leaf chlorophyll) از هر کرت تعدادی

ایجاد شد. در طول دوره آزمایش تعداد بذرهای جوانه‌زده در روزهای دوم (nd_2)، چهارم (nd_4)، ششم (nd_6) و هشتم (nd_8) ثبت شدند و از طریق روابط زیر سرعت جوانه‌زنی (Promptness index) و شاخص تنش جوانه‌زنی محاسبه شدند (Bousslama and Schapauch, 1984); (Grzesiak *et al.*, 1996b):

$$PI (\%) = nd_2 (1.0) + nd_4 (0.75) + nd_6 (0.5) + nd_8 (0.25)$$

$$GSI (\%) = PI_{(تنش)} / PI_{(شاهد)} \times 100$$

در انتهای آزمایش نیز حداکثر جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌ها تعیین شد.

آزمایش‌های مزرعه‌ای در فصل زراعی ۸۱-۱۳۸۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در باجگاه ($29^{\circ}50'$ شمالی و $52^{\circ}46'$ شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۸۱۰ متر) انجام شد. هفده لاین موجود در دو آزمایش جداگانه تحت دو رژیم متفاوت رطوبتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. هر کرت آزمایش از پنج خط به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و طول ۳/۵ متر تشکیل شده بود. برای تعیین زمان مناسب آبیاری از میزان تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A استفاده شد. بدین صورت که در آزمایش مطلوب 5 ± 65 میلی‌متر و در آزمایش محدود رطوبتی 5 ± 125 میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک، آبیاری اعمال شد. خصوصیات فیزیولوژیک در هر دو محیط و دو

داده‌های آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار
MSTAT-C تجزیه واریانس شدند و میانگین‌ها
بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح
احتمال ۵٪ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شرایط کنترل شده

نتایج مقایسه میانگین حاکی از وجود
اختلاف معنی‌دار بین لاین‌ها و سطوح پتانسیل
برای کلیه صفات مربوط به جوانه‌زنی بود
(جدول ۱). در شرایط عدم تنش اکثر لاین‌ها از
طول ریشه‌چه نسبتاً مناسبی برخوردار بودند و با
کاهش پتانسیل آب از سطح شاهد به ۱/۲-
مگاپاسکال طول ریشه‌چه کلیه لاین‌ها به طور
معنی‌داری روند کاهشی نشان داد و از ۱۶/۹ به
۱/۹ سانتی‌متر رسید. لاین پارس از بیشترین و دو
لاین Flip94-54C و Flip95-49C از کمترین طول
ریشه‌چه برخوردار بودند. متوسط طول ساقه‌چه
نیز در سطح شاهد ۴/۸ سانتی‌متر بود و با افزایش
تنش در پتانسیل ۱/۲- مگاپاسکال رشد
بسیار ناچیزی داشت. رومو و همکاران
(Romo *et al.*, 2001) نیز در بررسی انجام شده
نتیجه گرفتند که در گیاهچه‌های نخود، تحت
تأثیر تنش ناشی از ماده PEG رشد ساقه‌چه و
ریشه‌چه کاهش معنی‌داری پیدا کرد به طوری
که میزان بازدارندگی از رشد در ساقه‌چه به طور
محسوسی بیشتر از ریشه‌چه بود. در حالی که
کلیه لاین‌ها در سطح شاهد و ۰/۴- مگاپاسکال
تقریباً به طور کامل جوانه زدند با کاهش

برگ بالغ اما جوان به صورت تصادفی انتخاب
شدند و میزان جذب نور عصاره استخراج شده،
با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج‌های
۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر تعیین شد. غلظت
کلروفیل از طریق روابط زیر به دست آمد
(Ashraf *et al.*, 1994):

$$\text{Chl}_{a,b} \text{ (mg/g)} = [20.2(D_{645}) + 8.02(D_{663})] \\ \times V/1000W_F$$

$$\text{Chl}_a \text{ (mg/g)} = [12.7(D_{663}) - 2.69 (D_{645})] \\ \times V/1000W_F$$

$$\text{Chl}_b \text{ (mg/g)} = [22.9(D_{645}) - 4.69 (D_{663})] \\ \times V/1000W_F$$

در این روابط D میزان جذب نور
در دو طول موج مورد نظر، V حجم
نمونه استخراج شده و W_F وزن تر نمونه
است.

در انتهای فصل زراعی نیز، به منظور
اندازه‌گیری عملکرد تک بوته و اجزای آن از
سه خط میانی هر کرت تعداد ده بوته به‌طور
تصادفی انتخاب و میانگین اجزاء عملکرد آن‌ها
تعیین شد و سپس با رعایت حاشیه عملکرد
دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری
شد. با استفاده از عملکرد هر ژنوتیپ
در محیط تنش (Y_S) و محیط مطلوب (Y_P)
و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در
محیط تنش (\bar{Y}_S) و محیط مطلوب (\bar{Y}_P) شاخص
تحمل تنش و شدت تنش به شرح زیر
محاسبه شد:

$$\text{STI} = (Y_S \times Y_P) / (\bar{Y}_P)^2, \text{SI} = [1 - (\bar{Y}_S / \bar{Y}_P)]$$

جدول ۱- مقایسه میانگین لاین‌های نخود وسطوح پتانسیل برای خصوصیات مختلف در شرایط کنترل شده

Table 1. Mean comparison of chickpea lines and potential levels for different characteristics in the controlled conditions

لاین‌ها Lines	طول ریشه‌چه RL (cm)	طول ساقه‌چه SL (cm)	حداکثر جوانه‌زنی G _{max} (%)	سرعت جوانه‌زنی PI (%)	شاخص تنش جوانه زنی GSI(%)
Pars	11.70 a	2.63 ab	80.20 ab	70.30 a	70.91
Bivanij	10.96 ab	1.99 fg	78.89 abc	66.14 bc	76.04
18-59-15	11.52 ab	2.47 bc	79.55 ab	63.66 cde	66.70
12-60-31	11.54 ab	2.17 c f	76.81 abc	64.35 bcd	66.10
Flip ₈₆₋₉₇ C	10.77 b	2.04 efg	73.08 cd	62.46 def	64.53
Flip ₈₇₋₃ C	11.37 ab	2.34 b e	74.85 bcd	63.39 cde	70.76
Flip ₈₉₋₅₀ C	10.88 ab	2.81 a	63.48 fg	58.20 gh	59.18
Flip ₉₃₋₅₁ C	9.81 cd	2.61 ab	82.63 a	70.05 a	70.40
Flip ₉₃₋₁₆₆ C	10.90 ab	2.38 bcd	69.80 de	60.27 efg	58.11
Flip ₉₄₋₁₁₁ C	10.94 ab	2.41 bcd	69.89 de	58.90 g	62.82
Flip ₉₄₋₅₄ C	9.22 d	2.34 be	66.68 ef	55.41 hi	48.75
Flip ₉₅₋₄₂ C	11.33 ab	1.83 gh	76.52 bc	65.09 bcd	63.05
Flip ₉₅₋₄₄ C	10.07 c	2.00 fg	69.46 de	59.60 fg	54.97
Flip ₉₅₋₄₇ C	9.86 cd	1.69 h	78.63 abc	67.38 ab	66.49
Flip ₉₅₋₄₈ C	9.32 cd	2.47 bc	77.43 abc	66.14 bc	77.62
Flip ₉₅₋₄₉ C	7.89 e	2.56 ab	60.41 g	52.62 i	66.15
Flip ₉₇₋₁₈₈ C	11.19 ab	2.11 dg	77.31 abc	62.58 def	59.38
پتانسیل‌های آب (Ψ _w)					
0.0	16.86 a	4.79 a	99.08 a	98.30 a	-
-0.4 (Mpa)	14.02 b	2.70 b	97.52 a	93.59 b	89.69
-0.8	9.35 c	1.57 c	93.46 b	76.80 c	72.70
-1.2	1.94 d	0.08 d	46.91 c	22.80 d	32.07

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5 % probability level.
RL: Root length; SL: Shoot length; G_{max}: Maximum germination; PI: Promptness index;
GSI: Germination stress index

لاین‌های پارس، Flip₉₃₋₅₁C و Flip₉₅₋₄₇C بیشترین سرعت جوانه‌زنی را دارا بودند. بر اساس شاخص تنش جوانه‌زنی (GSI)، لاین‌های بیونج و Flip₉₅₋₄₈C بالاترین و Flip₉₄₋₅₄C حساس‌ترین لاین بود. در این بررسی ارتباط بین GSI و G_{max} مثبت و معنی‌دار بود و بنابراین برای افزایش تحمل به خشکی باید

پتانسیل آب از سطح شاهد به ۱/۲- مگاپاسکال میزان جوانه‌زنی به ۴۶/۹ درصد کاهش پیدا کرد. این روند نزولی با کاهش پتانسیل رطوبتی در سرعت جوانه‌زنی هم مشاهده شد و به طور متوسط ۴/۸، ۲۱/۹ و ۷۶/۸ درصد کاهش نسبت به سطح شاهد نشان داد. سرعت جوانه‌زنی در لاین‌ها نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشت و

نتایج حاصل از همبستگی بین شاخص تحمل تنش و عملکرد دانه نشان داد که همبستگی مثبت و معنی داری بین این شاخص با عملکرد در شرایط محدود ($r=0/85^{**}$) و مطلوب رطوبتی ($r=0/64^{**}$) وجود دارد. اهمیت انتخاب شاخص STI برای غربال کردن ارقام مقاوم به خشکی برای نخود (فرشادفر و همکاران، ۱۳۸۰)، لوییا (Abebe *et al.*, 1998) و ماش (Fernandez, 1993) نیز گزارش شده است. بررسی لاین ها نشان داد که دو لاین مقاوم ۱۵-۵۹-۱۸ و Flip97-188C از قدرت جوانه زنی نسبتاً متوسطی برخوردار هستند. در حالی که دو لاین محلی پارس و بیونج که در شرایط محدود رطوبتی عملکرد پایینی داشتند از قدرت جوانه زنی مناسبی در سطوح تنش برخوردار بودند. بیشترین شاخص GSI مربوط به لاین Flip95-48C بود که شاخص تحمل تنش در حد متوسطی داشت. این نتایج باعث عدم ارتباط تنوع ژنتیکی موجود در مرحله جوانه زنی با رشد بعدی گیاه و در نهایت عملکرد دانه شد که با نتایج به دست آمده بر روی سویا (Bousslama and Schapauch, 1984) و برخی از گیاهان لگومینوز شامل نخودفرنگی، باقلا، سویا و لوبین (Grzesiak *et al.*, 1996b) تطابق داشت.

پتانسیل آب برگ

لاین های مختلف در مرحله غلاف دهی و در شرایط متفاوت رطوبتی اختلاف آماری معنی داری را نشان دادند. در شرایط مطلوب

لاین هایی با G_{max} بالا را انتخاب کرد. وجود تنوع ژنتیکی در بین ارقام از نظر صفات مرتبط با جوانه زنی در شرایط تنش در سایر مطالعات بر روی بقولات نیز گزارش شده است (کیانی و همکاران، ۱۳۷۷؛ Bousslama and Schapauch, 1984؛ Grzesiak *et al.*, 1996b).

شرایط مزرعه

در هر دو شرایط مطلوب و محدود رطوبتی، اختلاف آماری معنی داری بین لاین ها از نظر عملکرد دانه وجود داشت (جدول ۲)، بنابراین لاین های مورد بررسی بر اساس شاخص تحمل تنش (STI) و با استفاده از نمودار سه بعدی گروه بندی شدند. نمودار سه بعدی رابطه بین سه متغیر Y_p ، Y_s و STI را نشان می دهد و مناسب ترین شاخص آن است که بتواند گروه A (ژنوتیپ های دارای عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و عدم تنش) را از سایر گروه ها تمیز دهد (Fernandez, 1993). بررسی نمودار سه بعدی نشان داد که لاین های شماره ۳، ۱۳ و ۱۷ یعنی لاین های ۱۵-۵۹-۱۸، Flip95-44C و Flip97-188C در گروه A قرار دارند. لاین های شماره ۲، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۴ در گروه B (ژنوتیپ های دارای عملکرد بالا در محیط عدم تنش)، لاین های ۴، ۷، ۱۵ و ۱۶ در گروه C (ژنوتیپ های دارای عملکرد بالا در محیط تنش) و لاین های ۱، ۵، ۶ و ۹ در گروه D (ژنوتیپ های دارای عملکرد پایین در هر دو محیط تنش و عدم تنش) قرار گرفتند (شکل ۱).

جدول ۲- ارزیابی تحمل خشکی لاین‌های نخود در شرایط مزرعه (شدت تنش = ۰/۵۱)

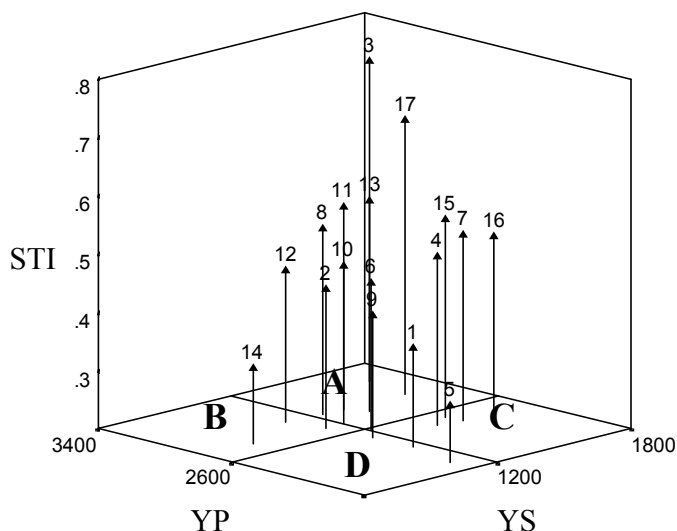
Table 2. Evaluation of drought tolerance of chickpea lines in field conditions (SI=0.51)

شماره No.	لاین‌ها Lines	عملکرد دانه (Kgha ⁻¹) Seed yield		درصد کاهش RP (%)	شاخص تحمل تنش STI
		Y _p	Y _s		
1	Pars	2241 f	1152 fg	48.59	0.37
2	Bivanij	2719 cd	1113 fg	59.07	0.44
3	18-59-15	3159 a	1641 a	48.05	0.75
4	12-60-31	2420 ef	1393 cd	42.44	0.49
5	Flip ₈₆₋₉₇ C	1929 g	1085 g	43.75	0.30
6	Flip ₈₇₋₃ C	2579 de	1211 efg	53.04	0.45
7	Flip ₈₉₋₅₀ C	2397 ef	1491 bc	37.80	0.52
8	Flip ₉₃₋₅₁ C	2895 bc	1230 ef	57.51	0.52
9	Flip ₉₃₋₁₆₆ C	2481 e	1144 fg	53.89	0.41
10	Flip ₉₄₋₁₁₁ C	2729 bcd	1199 efg	56.06	0.47
11	Flip ₉₄₋₅₄ C	2890 bc	1321 de	54.29	0.55
12	Flip ₉₅₋₄₂ C	2919 b	1086 g	62.80	0.46
13	Flip ₉₅₋₄₄ C	2804 bc	1377 cd	50.89	0.56
14	Flip ₉₅₋₄₇ C	2757 bcd	816 h	70.40	0.33
15	Flip ₉₅₋₄₈ C	2499 e	1487 bc	40.50	0.54
16	Flip ₉₅₋₄₉ C	2287 f	1549 ab	32.27	0.52
17	Flip ₉₇₋₁₈₈ C	2889 bc	1601 ab	44.58	0.67

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۰.۰۵ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5 % probability level.

Y_p : Potential yield; Y_s: Yield under stress; RP: Yield reduction percent; STI: Stress intensity;
SI: Stress tolerance index



شکل ۱- نمودار سه‌بعدی بر اساس شاخص تحمل تنش (STI)، عملکرد تنش (Y_s) و عملکرد پتانسیل (Y_p) برای تعیین لاین‌های متحمل به خشکی

Fig. 1. Three dimensional plot of STI, Y_s and Y_p for identification of drought tolerant lines

رطوبتی و در مرحله گلدهی، کمترین میزان آب نسبی از دست رفته برگ متعلق به لاین های Flip89-50C و Flip94-111C بود و اکثر لاین ها با پتانسیل عملکرد بالا با دو لاین مذکور تفاوت معنی داری نشان ندادند. در مرحله غلاف دهی نیز لاین های Flip94-111C و Flip97-188C میزان آب نسبی کمتری را از دست دادند (جدول ۳). در شرایط محدود رطوبتی و در مرحله گلدهی، لاین Flip89-50C و در مرحله غلاف دهی لاین های ۱۵-۵۹-۱۸، Flip93-166C، Flip95-42C و Flip97-188C کمترین تلفات آب برگ را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). بیشترین تلفات آب برگ نیز در هر دو شرایط در لاین Flip95-47C مشاهده شد. در هر دو شرایط مطلوب و محدود رطوبتی با پیشرفت دوره رشد گیاه، از میزان تلفات آب برگ کاسته شد. ارتباط منفی و معنی داری بین آب نسبی از دست رفته با پتانسیل آب برگ در هر دو مرحله رشد گیاه مشاهده شد (جدول ۵). تنوع ژنتیکی در جهت حفظ آب نسبی گیاه از طریق تنظیم اسمزی در حبوباتی نظیر نخود، ماش، لوبیا چشم بلبلی و لپه هندی گزارش شده است که در این حالت ارقام مقاوم قادرند در شرایط تنش تولید محصول نمایند (Muchow, 1985؛ Lecoeur et al., 1992).

کلروفیل برگ

در این آزمایش اعمال تنش رطوبتی غلظت کلروفیل a را به طور متوسط در حدود ۵٪ و کلروفیل b را ۱۰٪ در هر دو مرحله کاهش داد

لاین های ۱۵-۵۹-۱۸، Flip93-166C و Flip95-44C و در شرایط محدود رطوبتی لاین های ۱۵-۵۹-۱۸، ۳۱-۶۰-۱۲ و Flip97-188C بیشترین پتانسیل آب برگ را دارا بودند (جدول های ۳ و ۴). در مرحله گلدهی و در هر دو شرایط متفاوت رطوبتی اختلاف آماری معنی داری بین لاین ها مشاهده نشد. در این بررسی تنش خشکی میزان پتانسیل آب برگ را به طور معنی داری کاهش داد که مطابق با نتایج سایر محققین بر روی نخود و ماش بود (Wang, 1989؛ Singh et al., 1996). همچنین روند تغییرات پتانسیل آب برگ در هر دو شرایط متفاوت رطوبتی نشان داد که با پیشرفت دوره رشد گیاه، از میزان پتانسیل آب کاسته شد. در شرایط محدود رطوبتی و در هر دو مرحله گلدهی و غلاف دهی، میزان پتانسیل آب برگ با شاخص تحمل تنش ارتباط مثبت و معنی داری را در سطح احتمال ۵٪ نشان داد. همچنین نتایج حاکی از وجود ارتباط مثبت و معنی دار بین پتانسیل های آب برگ در دو مرحله گلدهی و غلاف دهی بود (جدول ۵). وجود ارتباط پتانسیل آبی بالای برگ با تحمل خشکی در نخود توسط محققین دیگر نیز تأیید شده است (Sivakumar and Virmani, 1979؛ Silim and Saxena, 1993).

میزان آب نسبی از دست رفته برگ

در هر دو شرایط مطلوب و محدود رطوبتی و در هر دو مرحله رشد اختلاف معنی داری در بین لاین ها مشاهده شد. در شرایط مطلوب

بین لاین‌ها مشاهده شد (جدول ۶). بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به لاین‌های ۱۵-۵۹-۱۸ و Flip89-50C بود. بالاترین وزن صد دانه و عملکرد بیولوژیک توسط لاین Flip97-188C تولید شد. از نظر تعداد دانه در غلاف لاین محلی یونینج بهترین بود. کمترین درصد پوکی غلاف نیز به لاین ۱۵-۵۹-۱۸ تعلق داشت. کیتینگ و کوپر (Keatinge and Cooper, 1983) سه جزء اصلی عملکرد در نخود را تعداد غلاف در گیاه، درصد غلاف‌های پوک و وزن دانه معرفی و عنوان کردند که افزایش پوکی غلاف و کاهش وزن دانه در شرایط تنش ناشی از تأثیر سوء خشکی بر روی تولید بیوماس است. تنش خشکی موجب کاهش صفات تعداد غلاف در بوته (۴۱/۸ عدد)، وزن صد دانه (۲/۸ گرم)، عملکرد بیولوژیک در بوته (۲۸/۲ گرم)، عملکرد دانه در بوته (۱۲ گرم) و عملکرد دانه در هکتار (۱۳۳۵ کیلوگرم) در سطح احتمال ۱٪ شد. لذا این مقدار کاهش عملکرد لزوم انجام آبیاری در مرحله پرشدن غلاف را علاوه بر مرحله قبل از گلدهی در مناطقی که امکان آبیاری وجود دارد تأکید می‌کند. غالب محققین نیز گزارش داده‌اند که آبیاری باعث افزایش ارزش صفات زراعی مورد مطالعه شده است (Prabhakar and Saraf, 1990؛ Nielsen, 2001؛ Johansen et al., 1994). برای صفات تعداد دانه در غلاف و درصد پوکی غلاف اختلاف معنی‌داری در دو محیط

و در مجموع در مرحله گلدهی غلظت کل کلروفیل برگ از ۲/۵۳ به ۲/۳۷ و در مرحله غلاف‌دهی از ۲/۳۲ به ۲/۱۶ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ کاهش یافت هر چند که این مقدار کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. عدم کاهش معنی‌دار در میزان کلروفیل در سطوح پایین پتانسیل آب برگ در گندم نیز گزارش شده است (احمدی و بیکر، ۱۳۷۹). کاهش جزئی در میزان کلروفیل برگ با پیشرفت دوره رشد گیاه در هر دو شرایط محدود و مطلوب رطوبتی نیز مشاهده شد. پانندی و سینگ (Pandey and Singh, 1996) در بررسی ژنوتیپ‌های نخود اشاره کردند که سرعت فتوسنتزی در مرحله گلدهی بالاتر از مرحله غلاف‌دهی است. کاهش در سرعت فتوسنتزی در مرحله رشد غلاف‌ها عمدتاً ناشی از کاهش در مقادیر کلروفیل و پروتئین برگ ذکر شده است که نشانه شروع پیری برگ است (باقری و همکاران، ۱۳۷۶). در هر دو شرایط و در هر دو مرحله بیشترین میزان کلروفیل برگ به لاین Flip94-111C و کمترین به دو لاین Flip93-51C و Flip95-49C تعلق داشت (جدول‌های ۳ و ۴). نتایج نشان داد که در هر دو مرحله گلدهی و غلاف‌دهی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت‌های کلروفیل a، b و مجموع آن‌ها در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد (جدول ۵).

عملکرد تک بوته و اجزای عملکرد

در شرایط محدود رطوبتی، اختلاف معنی‌داری برای عملکرد بوته و اجزای آن در

جدول ۶- مقایسه میانگین لاین های نخود از نظر عملکرد تک بوته و اجزای عملکرد در شرایط محدود رطوبتی

Table 6. Means comparison of chickpea lines for yield and yield components under water-limited conditions

شماره No.	لاین ها Lines	تعداد غلاف در گیاه NP/P	تعداد دانه در غلاف NS/P	وزن صد دانه GHW (g)	پوکی غلاف UP (%)	عملکرد بیولوژیک BY (g)	عملکرد بوته PY(g)
1	Pars	33.41 d g	1.26 abc	29.10 e f	11.32 cf	27.38 de	10.37 fg
2	Bivanij	29.13 g	1.37 a	36.40 b	12.76 ef	24.70 ef	10.01 fg
3	18-59-15	47.74 b	1.21 bc	30.30 d g	6.93 a	32.89 c	14.77 a
4	12-60-31	42.37 c	1.14 c	28.77 fgh	8.94 abc	28.97 cde	12.53 cd
5	Flip ₈₆₋₉₇ C	30.71 fg	1.28 ab	27.53 h	11.05 bf	24.80 ef	9.76 g
6	Flip ₈₇₋₃ C	33.09 d g	1.19 bc	31.90 cde	10.77 bf	27.93 de	10.90 efg
7	Flip ₈₉₋₅₀ C	52.72 a	1.14 c	27.93 gh	9.34 ad	30.10 cd	13.42 bc
8	Flip ₉₃₋₅₁ C	35.40 def	1.15 bc	32.20 cd	10.86 bf	31.03 cd	11.07 ef
9	Flip ₉₃₋₁₆₆ C	35.25 def	1.24 abc	31.93 cde	12.64 ef	28.07 de	10.30 fg
10	Flip ₉₄₋₁₁₁ C	33.81 def	1.17 b	31.50 c f	8.10 ab	40.42 b	10.79 efg
11	Flip ₉₄₋₅₄ C	36.05 de	1.25 abc	30.97 def	9.71 ad	31.24 cd	11.89 de
12	Flip ₉₅₋₄₂ C	31.72 efg	1.15 bc	31.50 c f	12.08 def	28.21 de	9.77 g
13	Flip ₉₅₋₄₄ C	36.95 d	1.27 abc	34.07 bc	9.97 be	30.87 cd	12.39 cd
14	Flip ₉₅₋₄₇ C	22.82 h	1.17 bc	32.50 cd	15.43 g	21.96 f	7.35 h
15	Flip ₉₅₋₄₈ C	41.62 c	1.19 bc	31.53 c f	8.87 def	38.25 b	13.38 bc
16	Flip ₉₅₋₄₉ C	42.41 c	1.22 bc	30.87 def	10.24 bc	32.58 c	13.94 ab
17	Flip ₉₇₋₁₈₈ C	33.05 d g	1.26 abc	41.07 a	9.15 ad	44.54 a	14.41 ab
Mean		36.37	1.22	31.77	10.54	30.82	11.59
Optimum		78.20	1.19	34.55	11.23	59.04	23.63
Reduction (%)		53.49	-	8.05	6.14	47.80	50.95

میانگین ها با حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی داری در سطح ۵٪ ندارند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5 % probability level.

NP/P: Number pods per plants; NS/P: Number seeds per pod; GHW: 100 seed weight; UP: Unfilled pod; BY: Biological yield; PY: Plant yield

نبودند. پس از انجام رگرسیون مرحله ای و تعیین مهم ترین اجزای مؤثر بر عملکرد تک بوته، مشخص شد که در شرایط محدود رطوبتی سه صفت تعداد غلاف در بوته، درصد پوکی غلاف و وزن صد دانه جمعاً ۹۰٪ کل تغییرات عملکرد بوته را توجیه می کنند، در حالی که در شرایط آبیاری مطلوب دو صفت، عملکرد بیولوژیک و تعداد غلاف در بوته جمعاً ۸۹٪ کل تغییرات عملکرد را توجیه کردند (جدول ۷). در

مشاهده نشد. براساس گزارش اولد و همکاران (Auld et al., 1980) تعداد دانه در غلاف در نخود به طور عمده تحت کنترل ژنتیکی است و تأثیر عوامل محیطی بر آن ناچیز است. همچنین افزایش درصد پوکی غلاف در شرایط مطلوب به علت سایه اندازی شاخ و برگ بالایی بوته های نخود (به ویژه در تیپ های نیمه ایستاده) بر روی برگ ها و غلاف های پایین بوته بود به طوری که این برگ ها و غلاف ها قادر به انجام فتوسنتز

جدول ۷- معادلات برآورد عملکرد بوته بر مبنای رگرسیون گام به گام

Table 7. Estimated equations for plant yield based on stepwise regression

Env. محیط	معادلات Equations	R ²
Optimum مطلوب	$PY_p = 0.73 + 0.71 BY + 0.41 NP/P$	0.89
Water-limited محدود رطوبتی	$PY_s = 2.12 - 0.35 UP + 0.74 NP/P + 0.21 GHW$	0.90

For legend see Table 6. برای توضیح صفات به جدول ۶ مراجعه شود.

و Flip97-188C به ترتیب با متوسط تولید ۲۴۰۰ و ۲۲۴۵ کیلوگرم در هکتار از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط جزء لاین های برتر بودند. به نظر می رسد که استفاده از پتانسیل آب برگ، توانایی مناسبی در تشخیص لاین های متحمل به خشکی داشته باشد. با توجه به دو مدل نهایی رگرسیون، اهمیت و ارزش اجزای موثر بر عملکرد بوته در دو شرایط محدود و مطلوب رطوبتی یکسان نبود.

مجموع نتایج به دست آمده در محیط کنترل شده نشان داد که لاین های نخود به تنش خشکی در مرحله جوانه زنی و استقرار گیاهچه حساس هستند و با کاهش پتانسیل آب، صفات مربوط به جوانه زنی به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافتند. در شرایط مزرعه نیز تنش خشکی بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد دانه و تعداد غلاف در بوته (به ترتیب با کاهش ۵۰/۹ و ۵۳/۵ درصد) گذاشت و در کل لاین های ۱۵-۵۹-۱۸

References

منابع مورد استفاده

- احمدی، ع.، و بیکر، د. ا. ۱۳۷۹. عوامل روزنه ای و غیرروزنه ای محدود کننده فتوسنتز در گندم در شرایط تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۱: ۸۲۵-۸۱۳.
- باقری، ع.، نظامی، ا.، گنجعلی، ع.، و پارسا، م. ۱۳۷۶. زراعت و اصلاح نخود. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۴۴ صفحه.
- فرشادفر، ع.، زمانی، م.، مطلبی، م.، و امام جمعه، ع. ۱۳۸۰. انتخاب برای مقاومت به خشکی در لاین های نخود. مجله علوم کشاورزی ایران ۳۲: ۷۷-۶۵.
- کیانی، م.، باقری، ع.، و نظامی، ا. ۱۳۷۷. عکس العمل ژنوتیپ های عدس با استفاده از پلی اتیلن گلایکول ۶۰۰۰. مجله علوم و صنایع کشاورزی ۱۲: ۵۹-۳۹.

Abebe, A., Brick, M. A., and Kirkby, R. A. 1998. Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions. Field Crops Research 58: 15-23.

- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H., and Ala, S. A. 1994.** Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum* 16: 185-191.
- Auld, D. L., Bettis, B. L., Crock, J. E., and Kephart, K. D. 1980.** Planting date and temperature effects on germination, emergence and seed yield of chickpea. *Agronomy Journal* 80: 909-914.
- Bousslama, M., and Schapauch, W. T. 1984.** Stress tolerance in soybean. I. Evaluation of free screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.
- Dhawan, R. S., and Singh, R. 1983.** Relative photosynthetic rate of leaves and pods of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars differing in seed weight. *Indian Journal of Plant Physiology* 26: 246-284.
- Emmerich, W. E., and Hardegree, S. P. 1990.** Polyethylen glycol solution contact effect on seed germination. *Agronomy Journal* 82: 1103-1107.
- Emmerich, W. E., and Hardegree, S. P. 1991.** Seed germination in polyethylen glycol solution: Effect of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Science* 31:454-458.
- Farshadfar, E. 1995.** Genetic control of drought tolerance in wheat. Ph. D. thesis. Hungarian Academy of Sciences. Budapest.
- Fernandez, G. C. J. 1993.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.) *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*. AVRDC, Shanhua, Taiwan.
- Fernandez, G., and Johnston, M. 1995.** Seed vigour testing in lentil, bean, and chickpea. *Seed Science and Technology* 23: 617-627.
- Grzesiak, S., Filek, W., Pienkowski, S., and Niziol, B. 1996a.** Screening for drought resistance: evaluation of drought susceptibility index of legume plants under natural growth conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science* 177: 237-244.
- Grzesiak, S., Filek, W., Skrudlik, G., and Niziol, B. 1996b.** Screening for drought resistance: evaluation of seed germination and seedling growth for drought resistance in legume plants. *Journal of Agronomy and Crop Science* 177: 245-252.

- Johansen, C., Krishnamurthy, L., Saxena, N. P., and Sethi, S. C. 1994.** Genotypic variation in moisture response of chickpea grown under line-source sprinklers in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research* 37: 103-112.
- Keatinge, J. D. H., and Cooper, P. J. M. 1983.** Kabuli chickpea as a winter-sown crop in northern Syria: moisture relations and crop productivity. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 100: 667-680.
- Lecoeur, J., Wery, J., and Turc, O. 1992.** Osmotic adjustment as a mechanism of dehydration postponement in chickpea (*Cicer arietinum* L.) leaves. *Plant and Soil* 144: 177-189.
- Michel, B. E., and Kaufman, M. R. 1973.** The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology* 51: 914-916.
- Muchow, R. C. 1985.** Stomatal behavior in grain legumes grown under different soil water regimes in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research* 11:291-307.
- Nielsen, D. C. 2001.** Production function for chickpea, field pea, and lentil in the central great plains. *Agronomy Journal* 93: 563-569.
- Pandey, C., and Singh, M. 1996.** Genotypic variation in photosynthetic efficiency in relation to productivity of gram (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Indian Journal of Agricultural Science* 66: 466-469.
- Prabhakar, M., and Saraf, C. S. 1990.** Dry-matter accumulation and distribution in chickpea (*Cicer arietinum* L.) as influenced by genotype, phosphorus source and irrigation level. *Indian Journal of Agricultural Science* 60: 204-206.
- Romo, S., Labrador, E., and Dopico, B. 2001.** Water stress-regulated gene expression in (*Cicer arietinum* L.) seedlings and plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 39: 1017-1026
- Silim, S. N., and Saxena, M. C. 1993.** Adaptation of spring-sown chickpea to the Mediterranean basin. II. Factors influencing yield under drought. *Field Crops Research* 34: 137-146.
- Simane, B., Struik, P. C., Nachit, M. M., and Peacock, J. M. 1993.** Ontogenetic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water – limited environments. *Euphytica* 71: 211-219.

- Singh, R. D., Yadav, V. K., and Yadava, N. 1996.** Effect of reducing sugars and proline on water–relation components in gram (*Cicer arietinum* L.) under water stress. *Indian Journal of Agricultural Science* 66: 119-123.
- Sivakumar, M. V. K., and Singh, P. 1987.** Response of chickpea cultivars to water stress in a semi–arid environment. *Experimental Agriculture* 23: 53-61.
- Sivakumar, M. V. K., and Virmani, S. M. 1979.** Measuring leaf water potential in chickpea with a pressure chamber. *Experimental Agriculture* 15: 377-383.
- Wang, S. M. 1989.** The responses of mungbean leaf water potential, osmotic potential and cell pressure potential to water deficit. *Acta Agronomica* 15: 378-380.
- Winter, S. R., Musick, J., and Porter, K. B. 1988 .** Evaluation of screening techniques for breeding drought - resistant winter wheat. *Crop Science* 28: 512-516.

آدرس نگارندگان:

مهدی جمشیدی مقدم- ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سرارود، صندوق پستی ۱۱۶۴-۶۷۱۴۵، کرمانشاه.
حسن پاک نیت- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.
عزت الله فرشادفر- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه.