نشریهٔ پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۳، شمارهٔ ۱، صفحهٔ ۹۲-۸۱، نیمهٔ اول ۱۳۹۱

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 3, No. 1, 2012, p. 81-92

ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌های نخود به سطوح کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش

علیرضا عیوضی[1*]، حسن تقی‌خانی[2]، شهرام شیرعلیزاده[3]، محمد رضایی[1] و سیدحیدر موسوی انزابی[4]

۱- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی
۲- دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد رشته زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی
۳- کارشناس پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی
۴- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۶/۲۸

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد ژنوتیپ‌های نخود، تعیین بهترین شاخص تحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ متحمل، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ساعتلو ارومیه اجرا گردید. آزمایش به صورت کرت‌های خُردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد که فاکتور اصلی، سطوح آبیاری شامل تنش خشکی با قطع آبیاری در مراحل ۶-۵ برگی، گل‌دهی و غلاف‌بندی و آبیاری معمول و هفت ژنوتیپ نخود به‌عنوان فاکتور فرعی شامل قزوین، بیونیچ، FLIP97-111C، FLIP98-134C، FLIP98-143C، FLIP99-1C و ILC3279 در نظر گرفته شد. تنش خشکی اثر معنی‌داری بر تعداد غلاف دانه‌دار، تعداد دانه در غلاف، وزن دانهٔ تک‌بوته، عملکرد دانه و مادهٔ خشک کل داشت. بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد بررسی، اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. شاخص‌های HAR، GMP، MP و STI نشان دادند که نخود در مرحلهٔ ۶-۵ برگی حداکثر تحمل را به خشکی داشت و لاین‌های FLIP99-1C و FLIP98-143C متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی بودند. همبستگی بین شاخص‌ها با عملکرد دانه نشان داد که MP، GMP، HAR و STI، مناسب‌ترین شاخص برای غربال ژنوتیپ‌ها می‌باشند. بر اساس دو مؤلفهٔ اصلی اول، رقم قزوین تحت تنش خشکی در مرحله ۶-۵ برگی، در ناحیه مطلوب بای‌پلات قرار گرفت. صفت تعداد دانه در غلاف، به‌عنوان مهم‌ترین جزء در تعیین عملکرد دانه، تحت تنش خشکی در مرحله ۶-۵ برگی بود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، ژنوتیپ‌های نخود، شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

مقدمه

در حدود ۴۰درصد از اراضی کرهٔ زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند که استان آذربایجان غربی نیز دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. عکس‌العمل گیاهان و حتی ارقام مختلف یک گونه به تنش خشکی، متفاوت است (Koocheki, 1997; Singh *et al*., 1995). حبوبات، دومین منبع مهم غذای بشر به‌شمار می‌روند و نخود به‌عنوان منبع مهم پروتئین در تغذیهٔ بشر اهمیت خاصی دارد (Miller *et al*., 2002). تنوع ژنتیکی گسترده‌ای در نخود، برای صفات روزهای لازم تا ۵۰درصد گل‌دهی و رسیدگی، مادهٔ خشک کل و عملکرد دانه تحت تنش خشکی گزارش شده است که از آن، در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بهره‌برداری می‌شود (Krishnamurthy *et al*., 2010). اِعمال تنش خشکی، علاوه بر این‌که صفات کمّی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بر صفات کیفی نیز اثرگذار است به‌طوری‌که تحت تنش خشکی، میزان پروتئین دانه در لوبیا افزایش یافته و متعاقب آن، دانه دیرپز می‌شود (Mohammadi *et al*., 2011). بیشترین حساسیت به تنش خشکی در نخود رقم جم، تحت شرایط گلخانه‌ای مرحلهٔ گل‌دهی می‌باشد. تنش خشکی در این مرحله، باعث کاهش تعداد دانه در بوته، وزن خشک تجمعی، سرعت رشد نسبی و سرعت فتوسنتز خالص می‌شود (Amiri Deh Ahmadi *et al*., 2011). ژنوتیپ‌های نخود به اقتضای الگوی رشدی خود در مراحل مختلف فنولوژیکی، واکنش‌های متفاوتی را به تنش خشکی نشان

* **نویسنده مسئول:** ارومیه، کیلومتر ۳ جادهٔ سلماس، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌غربی، بخش تحقیقات نهال و بذر، صندوق پستی: ۳۶۵
تلفن: ۰۹۱۴۱۴۵۱۵۷۰، alirezaeivazi@yahoo.com

می‌دهند و گزینش برای یک صفت در مرحله‌ای از فنولوژی گیاه بایستی انجام شود که صفت مذکور در آن مرحله دارای بیشترین اثرگذاری باشد (Ganjeali & Bagheri, 2011). Kumar *et al.* (2004) گزارش کردند که تعداد غلاف در ژنوتیپ‌های کابلی، تحت شرایط آبیاری در مقایسه با دیم، ۲۶-۲۱درصد افزایش یافت. Soltani *et al.* (2001) نشان دادند که خشکی انتهایی دورهٔ رشد، عملکرد دانه را در نخود به میزان ۶۷درصد کاهش داد. در تحقیق دیگری مشخص شد که در بین مراحل فنولوژیک نخود، مرحلهٔ تشکیل و پُرشدن دانه، حساس‌ترین مرحله به کمبود آب است (Mohammadi *et al.*, 2007). Blum (1988) اظهار داشت که انتخاب برای تحمل به تنش خشکی، بایستی با انتخاب برای پتانسیل عملکرد بالا تحت شرایط آبیاری معمول همراه باشد. تعداد برگ و شاخه‌های ثانویه در نخود نسبت به سرعت رشد برگ، در تنش خشکی بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند و هر دوی این صفات با عملکرد دانه و تعداد غلاف در بوته در ارتباط هستند (Basu *et al.*, 2004). تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و غلاف‌بندی نخود، عملکرد دانه و اجزای آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد در حالی‌که تنش، در مرحلهٔ رویشی موجب کاهش ارتفاع گیاه، شاخه‌دهی، وزن خشک و اندازهٔ ریشه می‌شود (Million *et al.*, 2005). وقوع خشکی در انتهای دورهٔ رشد نخود، علاوه بر عدم تکامل غلاف و گل، بر مادگی بیشتر از دانه گرده تأثیرگذار است (Fang *et al.*, 2010). شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی و تعیین تحمل آنها ارائه شده است. Fischer & Maurer (1978) شاخص SSI[1] را پیشنهاد کردند. Rosielle & Hamblin (1981) شاخص TOL[2] و MP[3] را معرفی نمودند. Fernandez (1992) و Kristin *et al.* (1997)، شاخص GMP[4] را پیشنهاد نمودند. شاخص HAR[5] شاخص دیگری برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی می‌باشد (Farshadfar *et al.*, 2002). ایشان در ارزیابی ۲۱لاین نخود، جهت شناسایی مقاومت به خشکی دریافتند که HAR، STI[6]، GMP و MP، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال لاین‌ها می‌باشند. هدف از این تحقیق، تعیین بهترین شاخص برای تحمل به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه نخود، شناسایی حساس‌ترین مرحلهٔ رشدی و متحمل‌ترین ژنوتیپ نخود به تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی ساعتلو، واقع در ۲۷ کیلومتری شمال غرب شهرستان ارومیه اجرا شد. نوع اقلیم منطقه، نیمه خشک با زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. میزان بارندگی منطقه بر اساس میانگین دراز مدت ۱۰ ساله، ۲۳۶/۷ میلی‌متر است. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به اجرا در آمد. فاکتور اصلی سطوح آبیاری، شامل تنش خشکی در مراحل ۶-۵ برگی، گل‌دهی، غلاف‌بندی و آبیاری معمول و فاکتور فرعی، هفت ژنوتیپ نخود به اسامی قزوین، بیونیچ، FLIP99-1C، FLIP98-143C، FLIP98-134C، FLIP97-111C و ILC3279 بود. هر کرت اصلی شامل هفت کرت فرعی به طول دو و نیم متر و عرض یک متر که شامل چهار ردیف با فاصله بیست و پنج سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها در روی ردیف ده سانتی‌متر بود، هم چنین فاصله‌ی بین کرت‌های اصلی برای جلوگیری از نشت رطوبت، دو متر در نظر گرفته شد. کاشت در نیمه اول اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۷ به صورت دستی و در عمق پنج سانتی‌متر انجام شد. تنش خشکی در کرت‌ها، با توجه به مراحل فنولوژیک و رشد گیاه اعمال شد. بعد از رسیدگی کامل دانه‌ها و خشک شدن غلاف‌ها، بوته‌های نخود از قسمت طوقه برداشت شدند. از هر کرت آزمایشی، تعداد هفت بوته به طور تصادفی برداشت گردید و تعداد غلاف دانه‌دار، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه‌ی تک بوته برای هر تکرار و تیمار محاسبه و میانگین آنها ثبت شد. از هر کرت ۱۰۰ گرم دانه توزین و در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، درصد پروتئین دانه اندازه گیری شد (Bremner & Mulvaney, 1982). شاخص‌های تحمل به تنش خشکی به شرح زیر محاسبه گردیدند (Emamjome, 2000):

۱- شاخص تحمل به تنش (STI):

$$STI = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(\bar{Y}_P)^2}$$

۲- شاخص میانگین هندسی بهره وری (GMP):

$$GMP = \sqrt{(Y_P)(Y_S)}$$

۳- شاخص تحمل (TOL):

$$TOL = Y_P - Y_S$$

1. Stress Susceptible Index (SSI)
2. Tolerance Index (TOL)
3. Mean Productivity (MP)
4. Geometric Mean Productivity (GMP)
5. Harmonic Index (HAR)
6. Stress Tolerance Index (STI)

۴- شاخص بهره وری متوسط (MP):

$$MP = \frac{Y_P + Y_S}{2}$$

۵- شاخص حساسیت به تنش (SSI):

$$SSI = \frac{1 - \left[\frac{Y_S}{Y_P}\right]}{SI}$$

$$SI = 1 - \left[\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}\right]$$

۶- میانگین هارمونیک (HAR):

$$HAR = \frac{2(Y_P . Y_S)}{Y_P + Y_S}$$

Yp و Ys به‌ترتیب عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی می‌باشد. محاسبات آماری، شامل تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسهٔ میانگین‌ها، همبستگی صفات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیهٔ علیت با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات نشان داد که بین سطوح آبیاری برای صفات تعداد غلاف دانه‌دار، تعداد دانه در غلاف، وزن دانهٔ تک بوته، عملکرد دانه، مادهٔ خشک کل و بین ژنوتیپ‌ها برای کلیهٔ صفات، اختلاف آماری معنی‌داری حداقل در سطح احتمال پنج‌درصد وجود داشت. اثر متقابل سطوح آبیاری و ژنوتیپ نیز به‌غیر از صفات مادهٔ خشک کل و درصد پروتئین دانه، برای سایر صفات اندازه‌گیری‌شده، معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول۱- میانگین مربعات منابع تغییر برای صفات ارقام نخود تحت شرایط مزرعه‌ای

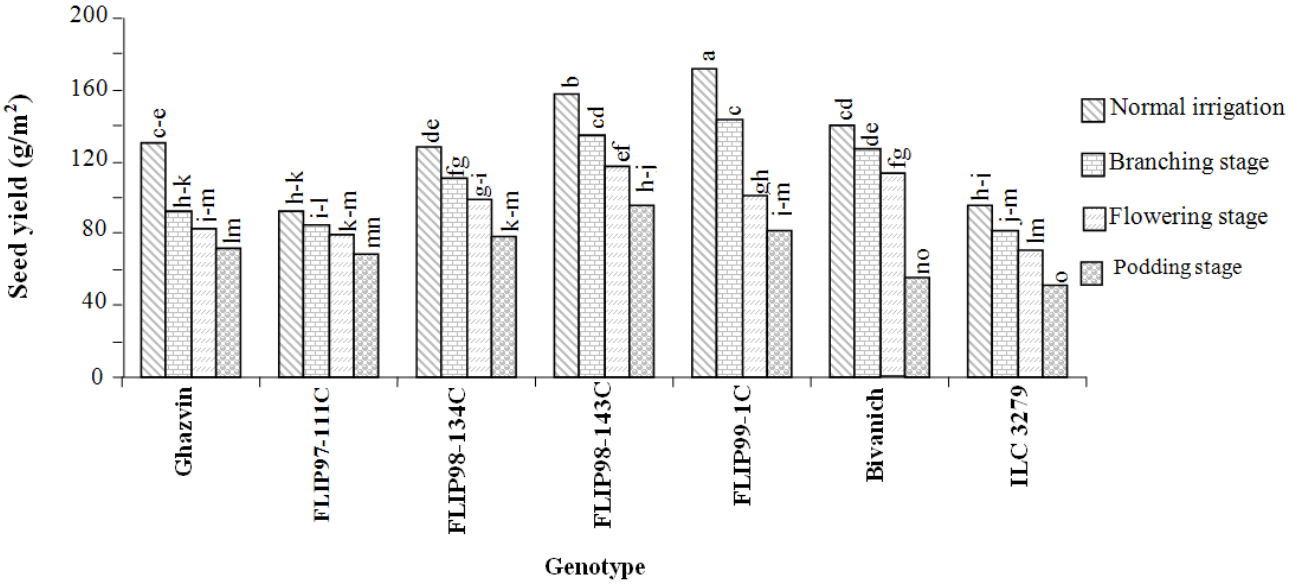
Table 1. Mean squares sources of variance for traits of chickpea genotypes under field conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)					
		عملکرد دانه Seed yield	مادهٔ خشک‌کل Total dry matter	تعداد غلاف دانه‌دار Number of seeded pod	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن دانهٔ تک‌بوته Seed weight per plant	پروتئین دانه Seed protein
تکرار Replication	3	405.24	5949.03	6.60	0.24	1.15	5.06
آبیاری (I) Irrigation	3	17594.03**	153982.31**	695.00**	6.13**	68.44**	11.82^{ns}
خطای الف Ea	9	36.93	4825.93	6.20	0.10	0.51	4.65
ژنوتیپ (G) Genotype	6	6457.49**	20656.59**	61.68**	4.54**	4.33**	0.18*
آبیاری × ژنوتیپ I×G	18	595.91**	2537.63^{ns}	40.79**	1.00**	2.29**	0.12^{ns}
خطای ب Eb	72	87.87	2793.32	9.70	0.17	0.63	0.07
ضریب تغییرات (درصد) C. V (%)		9.19	21.95	20.71	23.76	18.84	1.22

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در در سطح 0.05 =α و 0.01 =α.

ns :Non-significant, *and **: Significant at α= 0.05 & α= 0.01, respectively.

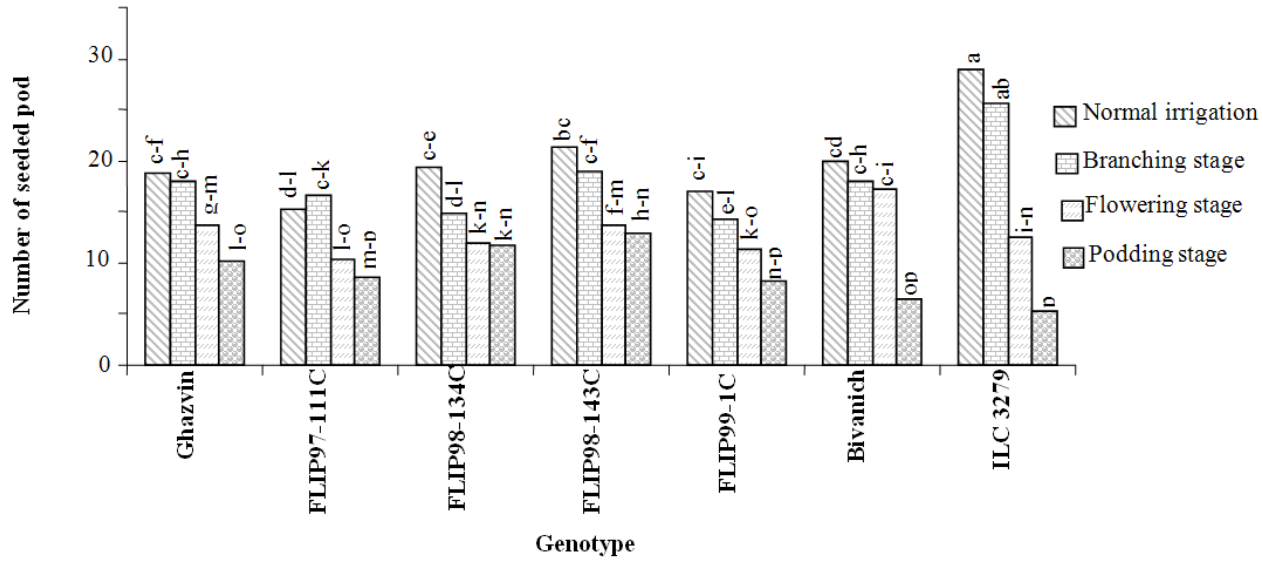
مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که گیاهان در شرایط تنش خشکی، طی مرحلهٔ غلاف‌بندی، دارای کمترین وزن مادهٔ خشک، عملکرد دانه، تعداد غلاف دانه‌دار، تعداد دانه در غلاف و وزن دانهٔ تک‌بوته شدند، درحالی‌که بیشترین مقدار، برای آبیاری معمول به‌دست‌آمد. نتایج مذکور توسط Ghasemi *et al.* (1998)، Misra (1991) و Colom & Vazzana (2002) گزارش شد. رقم بیونیچ، بیشترین مادهٔ خشک را داشت. بالابودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول، در پی دورهٔ طولانی پُرشدن دانه و تعداد بیشتر غلاف در بوته ناشی شد. Silim & Saxena (1993) اظهار داشتند که بالابودن درصد پوشش سبز، به‌ویژه در دورهٔ بحرانی پُرشدن دانه، تبخیر آب از سطح خاک را کاهش داده و به بهبود وضعیت رطوبتی خاک و افزایش میزان آب در دسترس گیاه منجر می‌شود. نقش تنش خشکی انتهای فصل رشد، در کاهش عملکرد دانه نخود، در شرایط دیم در بررسی Soltani *et al.* (2001) نیز گزارش شده است. لاین FLIP98-143C، بیشترین و ILC3279، کمترین عملکرد دانه در واحد سطح را داشتند. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ نشان داد که در آبیاری معمول، لاین FLIP99-1C بیشترین عملکرد دانه و در تنش خشکی در مرحله غلاف‌بندی، لاین ILC3279 کمترین مقدار را داشت (شکل ۱). در آبیاری معمول، گیاه از طول دورهٔ زایشی طولانی‌تری برخوردار می‌باشد و تولید گل و غلاف در مدت زمان بیشتری صورت می‌گیرد. در شرایط کمبود آب، ریزش گل، افزایش و تعداد غلاف در هر بوته کاهش یافت. تأثیر کمبود آب، بر کاهش تعداد غلاف در بوتهٔ نخود توسط Ghasemi *et al.* (1998) و Singh & Saxena (1991) نیز گزارش شده است.



شکل ۱- اثر متقابل ژنوتیپ در سطوح آبیاری برای صفت عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های نخود

Fig 1. Interactions of genotype by irrigation levels for seed yield in chickpea genotypes

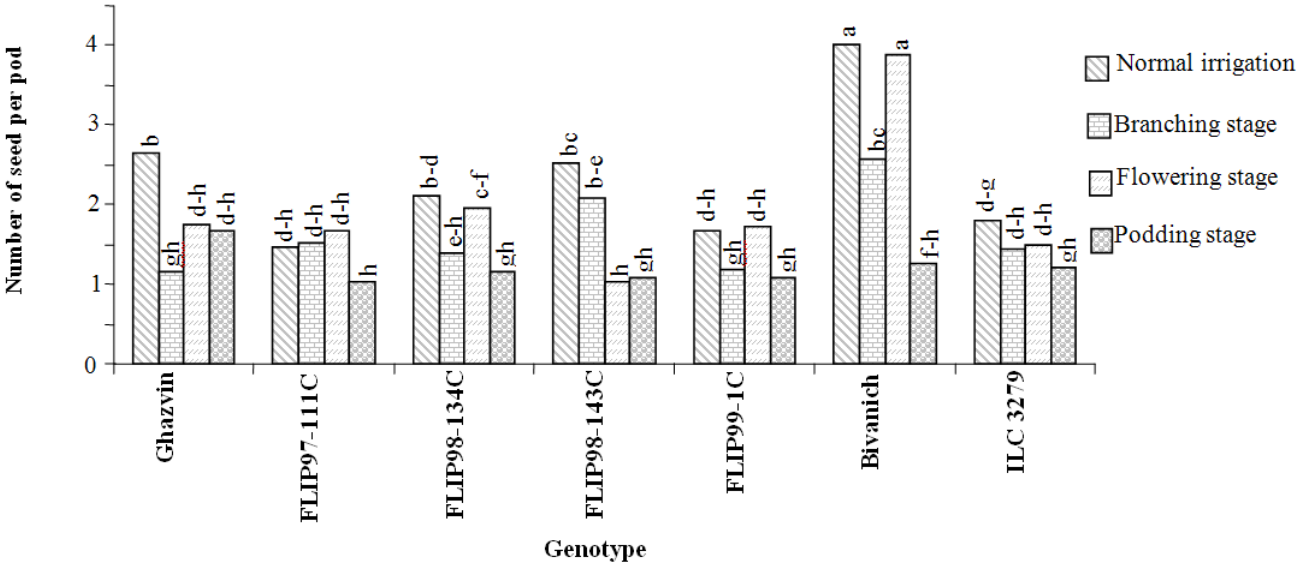
تعداد غلاف دانه‌دار در لاین ILC3279، به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و از سوی دیگر، کمترین تعداد در لاین FLIP97-111C حاصل شد. اثر متقابل تنش خشکی و ژنوتیپ نشان داد که در آبیاری معمول، لاین ILC3279 بیشترین تعداد غلاف دانه‌دار و تنش خشکی در مرحلهٔ غلاف‌بندی بر روی همان لاین، موجب کمترین تعداد غلاف دانه‌دار شد (شکل ۲).



شکل ۲- اثر متقابل ژنوتیپ در سطوح آبیاری برای صفت تعداد غلاف دانه‌دار در ژنوتیپ‌های نخود

Fig 2. Interactions of genotype by irrigation levels for number of seeded pod in chickpea genotypes

وجود رطوبت کافی در مرحلهٔ پُرشدن دانه، باعث ادامهٔ رشد آنها و افزایش دودانه‌ای‌شدن غلاف‌ها شد. کاهش تعداد دانه در غلاف، در سطوح تنش آبی نسبت به شاهد با نتایج Chaiechi *et al.* (2004) و Leport *et al.* (1999) مبنی بر کاهش تعداد دانه در غلاف در شرایط تنش خشکی، مشابه می‌باشد. رقم بیونیچ دارای بیشترین تعداد دانه در غلاف و لاین FLIP97-111C، دارای کمترین تعداد دانه در غلاف بود. اثر متقابل آبیاری معمول با رقم بیونیچ، دارای بیشترین تعداد دانه در غلاف و اثر تنش خشکی طی مرحله‌ی غلاف‌بندی در لاین FLIP97-111C، دارای کمترین تعداد دانه بود (شکل ۳).



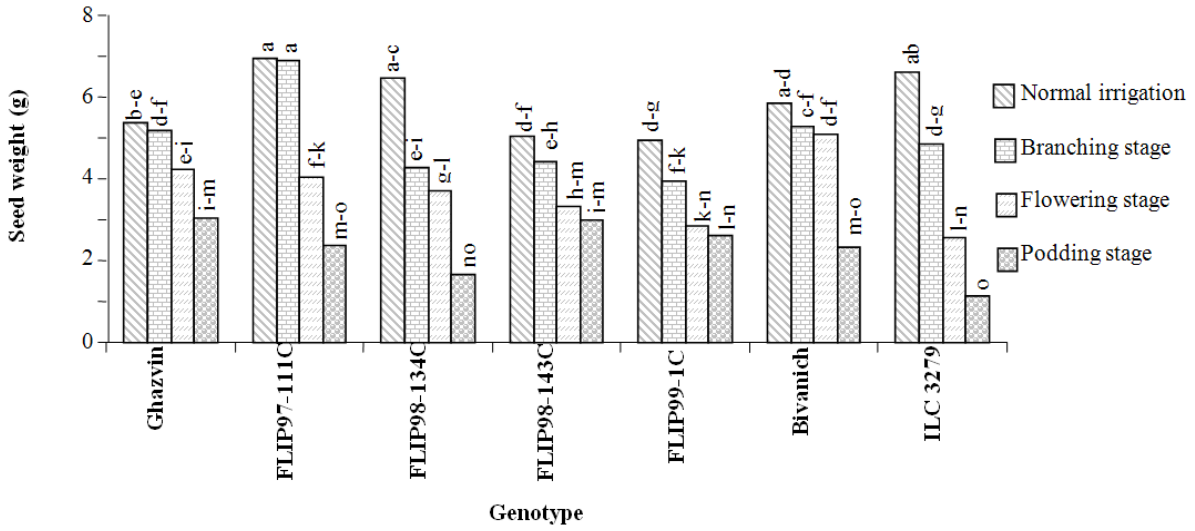
شکل ۳- اثر متقابل ژنوتیپ در سطوح آبیاری برای صفت تعداد دانه در غلاف در ژنوتیپ‌های نخود

Fig 3. Interactions of genotype by irrigation levels for number of seed per pod in chickpea genotypes

تنش خشکی در مرحلهٔ گل‌دهی، باعث کمترشدن تعداد گل و در نتیجه وزن کمتر دانه در مقایسه با دیگر تیمارها شد. تنش خشکی در مرحله غلاف‌بندی نیز باعث کوچک و چروکیده‌شدن دانه‌ها و کمترشدن وزن آنها شد. این نتایج در آزمایش Chaiechi *et al.* (2004) نیز گزارش شد. بیشترین وزن دانهٔ تک‌بوته مربوط به لاین FLIP97-111C و کمترین وزن دانهٔ تک‌بوته در لاین ILC3279 مشاهده گردید. همچنین اثر متقابل فاکتورها نشان داد که در آبیاری معمول، لاین FLIP97-111C بیشترین وزن دانهٔ تک‌بوته و در تنش خشکی در مرحلهٔ غلاف‌بندی، لاین ILC3279 کمترین مقدار را داشت (شکل ۴). اثر تنش خشکی بر درصد پروتئین دانه و اثر متقابل آن با ژنوتیپ، اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۱)؛ درصورتی‌که بین ژنوتیپ‌ها اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین درصد پروتئین دانه، در رقم قزوین و کمترین مقدار در لاین FLIP98-134C بود. شاید دلیل عدم وجود اختلاف آماری معنی‌دار برای درصد پروتئین دانه در تیمارهای مختلف آبیاری، کوتاه‌بودن دورهٔ رشد و نمو گیاه نخود باشد. به‌نظر می‌رسد میزان پروتئین بر خلاف عملکرد دانه، به‌عنوان یک صفت کیفی مطرح بوده و توسط تعداد کمی ژن کنترل شده و تأثیر شرایط محیطی بر روی آن، کم‌تر است (Beihaghi *et al.*, 2010).

قطع آبیاری در مرحلهٔ ۶-۵ برگی رشد نخود، دارای بیشترین مقدار شاخص‌های STI، MP، GMP و HAR و در مرحلهٔ غلاف‌بندی، دارای کمترین مقدار شاخص‌های مذکور شد که بیانگر متحمل به خشکی بودن مرحلهٔ ۶-۵ برگی نسبت به دیگر مراحل رشدی می‌باشد. در ارزیابی شاخص TOL برای مراحل مختلف تنش خشکی، مرحلهٔ غلاف‌بندی دارای بیشترین مقدار و به‌عنوان حساس‌ترین مرحلهٔ رشدی و مرحلهٔ ۶-۵ برگی، دارای کمترین مقدار گردید و به‌عنوان مقاوم‌ترین مرحلهٔ رشدی شناخته شد. در میان ژنوتیپ‌ها نیز FLIP99-1C با بیشترین مقدار شاخص‌های STI، MP، GMP و HAR، مقاوم‌ترین و لاینILC3279 دارای کمترین مقدار و به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ تعیین گردید. لاین FLIP99-1C دارای بیشترین مقدار شاخص TOL و حساس به تنش خشکی و FLIP97-111C دارای کمترین مقدار و متحمل شناخته شد. در بین ژنوتیپ‌ها، رقم قزوین دارای

بیشترین مقدار شاخص SSI بود و به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ به خشکی معرفی شد و FLIP97-111C نیز دارای کمترین مقدار این شاخص بود و به‌عنوان لاین متحمل، معرفی شد (جدول ۲). در بررسی Farshadfar *et al.* (2002) روی لاین‌های نخود، شاخص‌های MP، GMP، HAR و STI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در نظر گرفته شدند.



شکل ۴- اثر متقابل ژنوتیپ در سطوح آبیاری برای صفت وزن دانه در ژنوتیپ‌های نخود

Fig 4. Interactions of genotype by irrigation levels for seed weight in chickpea genotypes

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد ژنوتیپ‌های نخود

Table 2. Values of drought tolerance indices at different growth stages in chickpea genotypes

تنش Stress	ژنوتیپ Genotype	STI	MP	GMP	SSI	TOL	HAR
مرحلهٔ ۶-۵ برگی Branching stage	Ghazvin	0.70	111.3	109.6	1.81	37.7	107.9
	FLIP97-111C	0.45	88.5	88.3	0.54	7.5	88.2
	FLIP98-134C	0.83	119.6	119.2	0.88	17.7	118.9
	FLIP98-143C	1.24	146.3	145.8	0.94	23.2	145.2
	FLIP99-1C	1.43	157.7	157.1	1.01	27.5	156.4
	Bivanich	1.05	134.0	133.8	0.64	13.5	133.6
	ILC3279	0.45	88.3	88.0	0.99	14.7	87.7
مرحلهٔ گلدهی Flowering stage	Ghazvin	0.62	106.6	103.8	1.45	47.2	101.2
	FLIP97-111C	0.42	85.6	85.2	0.53	13.2	84.8
	FLIP98-134C	0.74	113.7	112.7	0.81	29.5	117.7
	FLIP98-143C	1.08	137.7	136.1	0.92	40.5	134.6
	FLIP99-1C	1.00	136.2	131.3	1.46	70.5	126.6
	Bivanich	0.93	126.8	126.0	0.71	27.7	125.3
	ILC3279	0.39	83.1	82.1	0.95	25.2	81.1
مرحلهٔ غلاف‌بندی Podding stage	Ghazvin	0.53	100.7	96.1	1.14	59.0	91.8
	FLIP97-111C	0.36	80.1	79.0	0.58	24.2	78.0
	FLIP98-134C	0.58	103.2	100.0	0.84	50.5	96.7
	FLIP98-143C	0.88	127.0	122.9	0.84	62.0	119.0
	FLIP99-1C	0.81	126.7	118.3	1.12	89.5	110.4
	Bivanich	0.45	98.2	88.3	1.32	85.0	79.4
	ILC3279	0.28	73.5	70.0	1.11	44.5	66.7

نتایج حاصل از تجزیهٔ همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه نشان داد که بین شاخص‌های MP، GMP، HAR و STI با عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی، در هر سه مرحلهٔ رشدی، همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. بنابراین می‌توان این شاخص‌ها را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی نخود که در شرایط آبیاری معمول و تنش، عملکرد بالایی دارند، در نظر گرفت (جدول ۳). نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی هشت شاخص و هفت ژنوتیپ نشان داد که در تنش ۶-۵ برگی، ۹۹/۸۷درصد از تغییرات مورد نظر بین داده‌ها توسط دو مؤلفهٔ اصلی اول صورت گرفت (جدول ۴). اولین مؤلفه، ۷۶/۵۸درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کرد و همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط آبیاری معمول (Y_P)، دارای تنش (Y_S) و شاخص‌های STI، MP، GMP و HAR داشت و در مقابل، همبستگی مثبت و پایینی با شاخص‌های SSI و TOL داشت. بنابراین مؤلفهٔ اول، به‌عنوان مؤلفهٔ متحمل به تنش خشکی نام‌گذاری شد. این مؤلفه، ارقام با پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به خشکی را از لاین‌های با عملکرد پایین و حساس، جدا نمود. مؤلفهٔ اصلی دوم، ۲۴/۱۸درصد از تغییرات کل داده‌ها را بیان کرد و همبستگی منفی با عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های MP، GMP، HAR و STI داشت. از سوی دیگر، این مؤلفه با شاخص‌های SSI و TOL، همبستگی مثبت و بالایی داشت. بنابراین این مؤلفه را می‌توان مؤلفهٔ حساسیت به تنش خشکی نام‌گذاری کرد.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه تحت شرایط معمول و تنش خشکی در مراحل۶-۵ برگی، گلدهی و غلاف‌بندی

Table 3. Correlation coefficient between drought tolerance indices and seed yield in normal and drought stress at branching, flowering and podding stages conditions

تنش Stress	شاخص تحمل به تنش خشکی Drought tolerance index	STI	MP	GMP	SSI	TOL	HAR	Y_P
مرحلهٔ ۶-۵ برگی Branching stage								
	MP	0.99^{**}						
	GMP	0.99^{**}	0.99^{**}					
	SSI	-0.02^{ns}	0.02^{ns}	0.003^{ns}				
	TOL	0.38^{ns}	0.41^{ns}	0.40^{ns}	0.91^{**}			
	HAR	0.99^{**}	0.99^{**}	0.99^{**}	-0.01^{ns}	0.38^{ns}		
	Y_P	0.97^{**}	0.98^{**}	0.98^{**}	0.17^{ns}	0.55^{ns}	0.98^{**}	
	Y_S	0.98^{**}	0.98^{**}	0.98^{**}	-0.15^{ns}	0.24^{ns}	0.99^{**}	0.94^{**}
مرحلهٔ گلدهی Flowering stage								
	MP	0.99^{**}						
	GMP	0.99^{**}	0.99^{**}					
	SSI	0.25^{ns}	0.33^{ns}	0.28^{ns}				
	TOL	0.60^{ns}	0.66^{ns}	0.61^{ns}	0.89^{**}			
	HAR	0.99^{**}	0.99^{**}	0.99^{**}	0.22^{ns}	0.56^{ns}		
	Y_P	0.94^{**}	0.97^{**}	0.95^{**}	0.53^{ns}	0.82^{*}	0.93^{**}	
	Y_S	0.94^{**}	0.92^{**}	0.94^{**}	-0.04^{ns}	0.31^{ns}	0.96^{**}	0.80^{*}
مرحلهٔ غلاف‌بندی Podding stage								
	MP	0.98^{**}						
	GMP	0.99^{**}	0.99^{**}					
	SSI	0.05^{ns}	0.20^{ns}	0.07^{ns}				
	TOL	0.54^{ns}	0.67^{ns}	0.56^{ns}	0.81^{*}			
	HAR	0.99^{**}	0.96^{**}	0.99^{**}	-0.04^{ns}	0.44^{ns}		
	Y_P	0.89^{**}	0.95^{**}	0.90^{*}	0.45^{ns}	0.85^{*}	0.84^{*}	
	Y_S	0.91^{**}	0.83^{*}	0.90^{**}	-0.33^{ns}	0.16^{ns}	0.95^{**}	0.64^{ns}

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در در سطح α= 0.05 و α= 0.01.

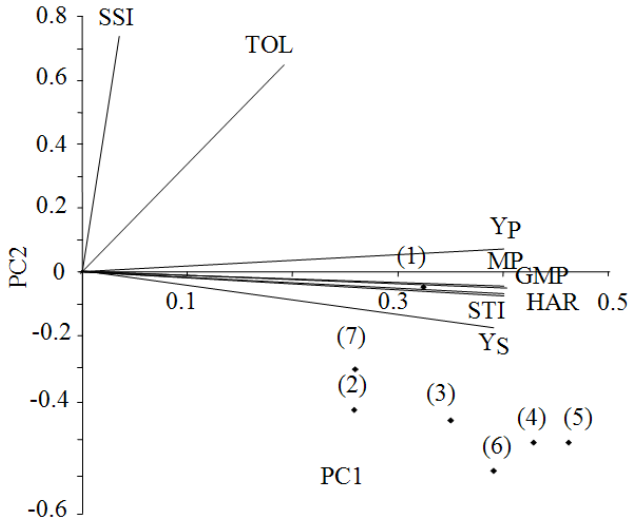
ns :Non-significant, *and **: Significant at α= 0.05 & α= 0.01, respectively.

جدول ۴- مقادیر ویژه، سهم تجمعی و بردارهای ویژهٔ شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در مرحلهٔ ۶-۵ برگی

Table 4. Eigen values, cumulative proportion and eigen vectors of drought tolerance indices at branching stage

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigen values	سهم تجمعی Cumulative proportion	STI	MP	GMP	SSI	TOL	HAR
1	6.12	76.58%	0.401	0.403	0.403	0.035	0.192	0.402
2	1.86	99.87%	-0.080	-0.047	-0.061	0.729	0.644	-0.076

این مؤلفه، قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط تنش و مقادیر بالای SSI و TOL می‌باشد؛ بنابراین قسمت مطلوب بای‌پلات، ناحیهٔ سمت راست و پایین شکل خواهد بود. چنین نتایجی توسط Ebrahimi (2002) در مورد ۳۰رقم لوبیاسفید و ۳۰رقم لوبیاقرمز نیز دیده شده است. نمودار بای‌پلات (شکل ۵) نشان داد که رقم قزوین در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، HAR و STI قرار دارد ولی بقیهٔ ژنوتیپ‌ها، در گروه دیگر و در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل به خشکی قرار نداشتند ولی در قسمت مطلوب بای‌پلات قرار گرفته بودند که نشانگر نیمه‌حساس‌بودن این ژنوتیپ‌ها به خشکی می‌باشد.



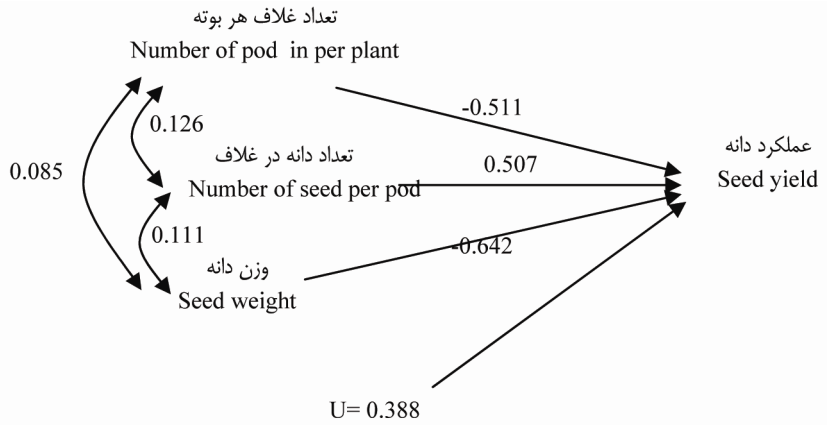
شکل ۵- نمایش بای‌پلات عملکرد ژنوتیپ‌های نخود در هشت شاخص تحمل به خشکی بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم تحت شرایط تنش خشکی در مرحله ۶-۵ برگی

۱) قزوین، ۲) FLIP97-111C، ۳) FLIP98-134C، ۴) FLIP98-143C، ۵) FLIP99-1C، ۶) بیونیچ، ۷) ILC3279

Fig 5. The biplot display of chickpea genotypes yield in eight drought tolerance indices based on the first and second main components under drought stress at branching stage

1) Ghazvin, 2) FLIP97-111C, 3) FLIP98-134C, 4) FLIP98-143C, 5) FLIP99-1C, 6) Bivanich, 7) ILC3279

نتایج تجزیهٔ علیت برای تعیین اثرات اجزای عملکرد بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی طی مرحلهٔ رشدی ۶-۵ برگی نشان داد که صفت تعداد دانه در غلاف، دارای بیشترین اثر مستقیم و مثبت (۰/۵۰۷) بر عملکرد دانه بود. تعداد دانه در غلاف، دارای همبستگی نسبتاً زیادی نیز با عملکرد دانه بود که ناشی از اثر مستقیم این صفت بوده است (شکل ۶). Viakumar *et al.* (1991) و Uddin (1990)، تعداد دانه در غلاف را به‌عنوان مهم‌ترین صفت تأثیرگذار بر عملکرد بوته اعلام نمودند. Auld *et al.* (1980) و Khanna-Chopra & Sinha (1988)، تعداد غلاف در بوته را دارای بالاترین همبستگی با عملکرد دانه گزارش کردند.



شکل ۶- ضرایب مسیر بین عملکرد و اجزای اصلی آن با استفاده از همبستگی‌ها، تحت شرایط تنش خشکی در مرحلهٔ ۶-۵ برگی (U، اثرات باقیمانده می‌باشد)

Fig. 6. Coefficients of direction between yield and main parts of that with use correlations under drought stress at branching stage (U is residual effects)

نتیجه‌گیری

صفات عملکرد دانه، مادهٔ خشک کل، تعداد غلاف دانه‌دار، تعداد دانه در غلاف و وزن دانهٔ تک‌بوته، تحت تنش خشکی در هر سه مرحلهٔ رشدی ۶-۵ برگی، گل‌دهی و غلاف‌بندی، نسبت به آبیاری معمول، کاهش یافتند. در بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی، شاخص‌های STI، MP، GMP و HAR، نشان دادند که مرحلهٔ غلاف‌بندی به‌عنوان حساس‌ترین مرحله برای تحمل به تنش خشکی و مرحلهٔ ۶-۵ برگی، کمترین خسارت را از تنش خشکی در گیاه نخود دریافت نمود. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، دو مؤلفهٔ اول و دوم، بیش از ۹۹درصد تغییرات داده‌ها را نشان دادند که بر اساس آن، رقم قزوین در تیمار تنش خشکی در مرحلهٔ ۶-۵ برگی، در ناحیهٔ مطلوب بای‌پلات قرار گرفت. در بین اجزای اصلی عملکرد، صفت تعداد دانه در غلاف، دارای بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی در مرحلهٔ ۶-۵ برگی بود. در بین ژنوتیپ‌ها، ILC3279 حساس‌ترین ژنوتیپ به تنش خشکی شناسایی شد. همچنین لاین‌های FLIP98-143C و FLIP99-1C به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند و دارای پتانسیل عملکرد بالایی می‌باشند. به‌نظر می‌رسد کشت این ژنوتیپ‌ها در حالت کم‌آبیاری تحت شرایط ارومیه، عملکرد مناسبی تولید خواهد نمود. آبیاری در مراحل رشدی حساس به تنش خشکی نظیر گل‌دهی و غلاف‌بندی می‌تواند موجب افزایش عملکرد و استفادهٔ بهینه از منابع آب موجود گردد.

منابع

1. Amiri Deh Ahmadi, S.R., Parsa, M., Nezami, A., and Ganjeali, A. 2011. The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse conditions. Iranian Journal of Pulses Research 1: 69-84. (In Persian with English Summary).
2. 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 8: 909-914.
3. Basu, P.S., Masoos, A., and Chaturvedi, S.K. 2004. Adaptation of photosynthetic components of chickpea to water stress. Abstract Book of the 4th International Crop Science Congress, May 22-24, New Delhi, India. p. 143.
4. Beihaghi, M., Bagheri, A., Bahrami, A.R., Shahriari, F., and Nezami, A. 2010. The possible role of Phosphoenolpyrovate Carboxykinase (PEPCK) in protein content of chickpea seeds (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Pulses Research 1: 57-64. (In Persian with English Summary).
5. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. Boca Raton Publishers.
6. Bremner, J.M., and Mulvaney, R.L. 1982. Nitrogen-Total. In: S.H. Mickelson and J.M. Bigham (Eds.). Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, p. 595-622.
7. Chaiechi, M., Rostamzadeh, M., and Esmaielian, K.S. 2004. Examination for resistance of black chickpea genotypes to drought stress under different irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Natural Source 10: 126-135. (In Persian with English Summary).

8. Colom, M.R., and Vazzana, C. 2002. Water stress effect on three cultivars *Eragrostis curvula*. Italian Journal of Agronomy 6: 127-132.
9. Ebrahimi, M. 2002. Study of red and white beans for reaction to limited irrigation. M.Sc. Thesis. University of Tehran, Iran. (In Persian with English Summary).
10. Emamjome, A. 2000. Evaluation of drought indices and assimilation of agreement on Persian chickpea. M.Sc. Thesis. University of Razi, Iran. (In Persian with English Summary).
11. Fang, X., Turner, N.C., Yan, G., Li, F., and Siddique, K.H.M. 2010. Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. Journal of Experimental Botany 61: 335-345.
12. Farshadfar, A., Zamani, M.R., Motallebi, M., and Emamjome, A. 2002. Selection of chickpea genotypes for resistance to drought. Iranian Journal of Agricultural Science 32: 65-77. (In Persian with English Summary).
13. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceeding of the 6th Symposium of Crop Science, Jun 17-19, Taiwan. p. 257.
14. Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars: I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.
15. Ganjeali, A., and Bagheri, A. 2011. Evaluation of morphological characteristics of root chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 1: 101-110. (In Persian with English Summary).
16. Ghasemi-Golazani, K., Movahhedi, M., Rahimzadeh Khooie, F., and Moghaddam, M. 1998. Effect of insufficiency of water on growth and yield of two chickpea genotypes at different crowds. Journal of Agricultural Science 7: 17-42. (In Persian with English Summary).
17. Khanna-Chopra, R., and Sinha, S.K. 1988. Physiology aspect of growth and yield in the chickpea. In: M.C. Saxena and K.B. Singh (Eds.). Chickpea. CAB International, Oxon, U.K. p. 163-169.
18. Koocheki, A. 1997. Cultivation on Dry Zones. Mashhad Jahad-e-Daneshgahie Publishers. (In Persian).
19. Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Gaur, P.M., Upadhyaya, H.D., and Vadez, V. 2010. Sources of tolerance to terminal drought in the chickpea (*Cicer arietinum* L.) minicore germplasm. Field Crops Research 119: 322-330.
20. Kristin, A.S., Serna, R.R., Peraz, F.I., Enriques, B.C., Gallegos, J.A.A., Vallego, P.R., Wassimi, N., and Kelly, J.D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science 37: 43-50.
21. Kumar, J., Dhiman, N., Yadav, S.S., Berger, J., Turner, N.C., and Singh, D. 2004. Moisture stress studies in different chickpea types. Abstract Book of the 4th International Crop Science Congress, May 22-24, New Delhi, India. p. 268.
22. Leport, L., Turner, N.C., French, R.J., Barr, M.B., Dude, R.S., Davies, L., Tennant, D., and Siddique, K.H.M. 1999. Physiological response of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean type environment. European Journal of Agronomy 11: 279-291.
23. Miller, P.R., Mekay, K.N., and Jenks, B.A. 2002. Growing chickpea in the Northern Great Plains. Montana State University Publishers.
24. Million, E., Naseri, W., and Haddad, I. 2005. Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to soil moisture stress at different growth stages. Field Crops Research 30: 331-341.
25. Misra, R.C. 1991. Stability of heritability, genetic advance and character association estimates in chickpea. International Chickpea Newsletter 25: 10-11.
26. Mohammadi, A., Bihamta, M.R., and Dorri, H. 2011. Effects of factors affecting cooking characteristics and protein content in 15 red bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) under normal irrigation and drought stress conditions. Iranian Journal of Pulses Research 1: 143-152. (In Persian with English Summary).
27. Mohammadi, G.H., Ghasemi-Golazani, K., Javanshir, A., and Moghaddam, M. 2007. Effect of water limitation on yield of three chickpea genotypes. Journal of Science and Technology of Agriculture 2: 109-120. (In Persian with English Summary).
28. Rosielle, A.A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21: 943-946.
29. Silim, S.N., and Saxena, M.C. 1993. Adaptation of spring-sown chickpea to the Mediterranean basin. I. Response to moisture supply. Field Crops Research 34: 121-136.
30. Singh, I.S., Hussain, M., and Gupta, A.K. 1995. Correlation studies among yield and yield contributing traits in F_2 and F_3 chickpea populations. International Chickpea and Pigeon Pea Newsletter 2: 11-13.

31. Singh, K.B., and Saxena, M.C. 1991. Studies on drought tolerance in legume program. ICARDA, Aleppo, Syria.
32. Soltani, A., Khooie, F.R., Ghassemi-Golezani, K., and Moghaddam, M. 2001. A simulation study of chickpea crop response to limit irrigation in semiarid environment. Agricultural Water Management 49: 225-237.
33. Uddin, N. 1990. Variability, correlation and path analysis in chickpea. Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics 12: 87-93.
34. Viakumar, C., Salmath, P.M., Goud, J.V., and Parameshw, R. 1991. Genetic variability and genotype environment interaction in chickpea. Journal of Maharashtra Agriculture University 16: 37-39.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 3, No. 1, 2012, p. 81-92

Evaluation of response of chickpea genotypes to water deficit at different growth stages by using drought tolerance indices

Eivazi[1*], A., Taghikhani[2], H., Shiralizadeh[3], SH., Rezaei[1], M. & Mousavi Anzabi[4], S.H.

1- Assistant Professor of Agricultural Research Center of Western Azerbaijan
2- Graduated Student of Islamic Azad University, Khoy Branch
3- Expert Researcher of Agricultural Research Center of Western Azerbaijan
4- Assistant Professor of Islamic Azad University, Khoy Branch

Received: 7 February 2011
Accepted: 19 September 2011

Abstract

In order to investigate the effects of water deficit at different growth stages of chickpea genotypes, determining the best drought tolerance index and genotypes, an experiment carried out in the Saatlu Agricultural Research Station of Uromia in 2008-2009. The experiment was split plot based on the randomized complete blocks design with four replications, in which, four levels of irrigation as the main plots based on water withholding at branching, flowering and podding stages and normal irrigation, and genotypes including Ghazvin, Bivanich, FLIP97-111C, FLIP99-1C, FLIP98-134C, ILC3279 and FLIP98-143C as subplots. Results showed that water deficit decreased number of seeded pods, seeds per pod, seed weight per plant, seed yield and total dry matter, significantly. There were significant differences among varieties in all measured traits. Indices of stress tolerance (STI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP) and harmonic mean (HAR) showed that chickpea in branching stage and FLIP99-1C and FLIP98-143C lines were the most tolerant to water deficit. Correlation coefficients between indices and seed yield indicated that for screening chickpea genotypes, STI, MP, GMP and HAR indices were suitable. Principal component analysis showed that with the base of two factors, withholding irrigation at branching stage in Ghazvin cultivar was in desired area of biplot. Withholding irrigation at branching stage, seeds per pod resulted as the most important component in determining of seed yield.

Key words: Chickpea genotypes, Drought tolerance indices, Yield component

[*] **Corresponding Author:** E-mail: alirezaeivazi@yahoo.com, Mobile.: 09141451570