ارزیابی ژرم‌پلاسم نخود (*Cicer arietinum* L.) برای مقاومت به خشکی

علی گنجعلی، عبدالرضا باقری، حسن پُرسا[1]

چکیده

به‌منظور ارزیابی تنوع در ژرم‌پلاسم نخود برای مقاومت به خشکی، ۱۵۰ ژنوتیپ نخود (تیپ کابلی) در قالب آزمون مقدماتی ارزیابی عملکرد (آگومنت) در دو شرایط تنش خشکی (دیم) و بدون تنش (فاریاب) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ مورد بررسی قرار گرفتند. شاخص‌های کمّیِ مقاومت و حساسیت به خشکی شامل تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری، میانگین هارمونیک، پاسخ به خشکی و شاخص حساسیت به خشکی، بر اساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه شدند. تنوع قابل‌توجهی میان ژنوتیپ‌ها از نظر صفات کمّی مورد مطالعه شامل روز تا گل‌دهی، وزن ۱۰۰دانه، عملکرد و شاخص‌های مورد بررسی مشاهد شد. همچنین همبستگی‌های مثبت و بسیار معنی‌داری بین عملکرد دانه (تنش و بدون تنش) با شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین هارمونیک وجود داشت. شاخص‌های حساسیت به تنش و پاسخ به خشکی، همبستگی مثبت و معنی‌داری را به‌ترتیب با عملکرد در شرایط بدون تنش و دارای تنش خشکی، نشان دادند. ژنوتیپ‌های MCC544، MCC696 و MCC693، از نظر شاخص‌های مقاومت و پاسخ به خشکی، نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند. با توجه به همبستگی‌های بسیار بالای این شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های کاندیدا برای تحمل به خشکی پیشنهاد می‌شوند. کاربرد نمودار پراکنش سه بعدی و نمودار چندمتغیره بای‌پلات نیز نتایج فوق را تأیید نمود. در شرایط تنش، همبستگی منفی و معنی‌داری بین روز تا گل‌دهی و عملکرد وجود داشت و لذا ژنوتیپ‌های کاندیدا برای مقاومت به خشکی از فاصله روز تا گل‌دهی کوتاه‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، زودرسی، شاخص‌های مقاومت به خشکی، عملکرد، نخود (*Cicer arietinum* L.).

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) در دامنه وسیعی از شرایط آب هوایی از نواحی نیمه گرمسیری شبه قاره هند و شمال شرقی استرالیا تا مناطق مدیترانه‌ای غرب آسیا، شمال افریقا، جنوب و جنوب غربی اروپا کشت می‌شود (۱۳ و ۲۱). این گیاه یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده بقولات است که عمدتاً توسط کشاورزان خرده مالک در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا، جایی که اغلب با کمبود نزولات و آب آبیاری مواجه هستند، کشت می‌شود و بنابراین همه‌ساله بخش قابل توجهی از مزارع نخود با تنش خشکی مواجه می‌شوند (۳ و ۶). بررسی‌ها نشان داده است که از بین تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی، تنش خشکی به‌تنهایی علت کاهش ۵۰ درصد عملکرد نخود است (۳ و ۱۵). این مشکل در ایران جدی‌تر است چرا که اغلب نخود به‌صورت سنتی در انتهای فصل باران (اسفند یا فروردین) براساس رطوبت ذخیره شده در خاک کشت می‌شود و رشد سریع گیاه نیز همزمان با مرحله‌ای است که رطوبت خاک به‌طور فزاینده با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در بسیاری از مناطق تولید نخود و از جمله در ایران، مقدار و پراکنش بارندگی در طول فصل رشد بسیار نامناسب است و گیاهان در دوره

۱- به ترتیب: عضو هیأت علمی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد، عضو هیأت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و کارشناس ارشد پژوهشی پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

رشد رویشی با تنش خشکی متناوب و در مرحله رشد زایشی با تنش خشکی انتهایی و گرما به‌صورت توأم مواجه می‌شوند (۲۴) که نتیجه آن اختلال در گرده‌افشانی، تسریع فنولوژی، کاهش دوره پرشدن دانه‌ها و در نهایت کاهش شاخص برداشت می‌باشد (۲۳). تولید ماده خشک، رشد سریع اولیه (زودرسی)، انعطاف‌پذیری در مراحل فنولوژی و پاکوتاهی (فاصله میان‌گره کوتاه‌تر)، به‌عنوان مجموعه‌ای از خصوصیات کلیدی برای بهبود عملکرد و ثبات آن در شرایط تنش خشکی شناسایی شده‌اند (۲۶). در یک آزمایش، تنش خشکی انتهایی، عملکرد را به میزان ۵۰ تا ۸۰ درصد کاهش داده است و این کاهش عمدتاً به کاهش تعداد دانه و اندازه دانه نسبت داده شده است (۱۳).

در راستای افزایش بازدهی تولید نخود در شرایط تنش خشکی، بهبود سازگاری این گیاه به شرایط تنش مورد نیاز است. در بسیاری از گیاهان مرتعی و زراعی، اجتناب از تنش خشکی انتهایی (آخر فصل) به‌عنوان یک راهبرد اکولوژیک مطرح است. بدیهی است در این شرایط گیاه از طریق تسریع فنولوژی، قبل از وقوع تنش و مواجهه با خشکی، چرخه زندگی خود را تکمیل کرده و به نوعی از خشکی فرار می‌نماید (۲۷). انتخاب برای گیاهانی که به این شکل از تنش خشکی اجتناب می‌کنند، با موفقیت‌های زیادی همراه بوده است (۱۶ و ۲۴). با این حال، زودرسی همیشه و برای مناطق مختلف به‌ویژه مناطقی که با تنش خشکی متناوب (فصلی) مواجه هستند و وقوع بارندگی‌ها در آن مناطق قابل پیش‌بینی نیست، ممکن است امیدبخش نباشد (۱۶).

در مناطق خشک، زودگل‌دهی و تشکیل غلاف زودرس در بهبود عملکرد نخودفرنگی و باقلا (۲۸) و نخود و عدس (۲۵) که از قابلیت فرار از خشکی برخوردار می‌باشند مؤثر بوده است. تنوع ژنتیکی وسیعی از نظر روز تا گل‌دهی در ژرم‌پلاسم نخود گزارش شده است و در بسیاری از مناطق تولید نخود، کوتاه بودن روز تا گل‌دهی و بلوغ زودرس، یک امتیاز محسوب می‌شود (۱۸ و ۲۰).

ایران یکی از مراکز اصلی تنوع نخود است و در حال حاضر ذخایر ژنتیکی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف ایران که عمدتاً به‌صورت توده‌های بومی می‌باشند در داخل و خارج کشور نگهداری می‌شود. توده‌های بومی طی سالیان متمادی به‌خوبی به شرایط سخت محیطی سازگار شده‌اند و دارای مجموعه‌ای از صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و فنولوژیک هستند که در نتیجه‌ی آن از مکانیسم‌هایی برخوردار می‌باشند که موجب افزایش راندمان استفاده از آب موجود در خاک در محیط‌های خشک می‌شود (۴). بهره‌برداری از ژنوتیپ‌هایی که بیشترین سازگاری به شرایط مورد بررسی را دارند بایستی در برنامه‌های بهبود برای عملکرد و ثبات آن در محیط‌های دارای تنش از جمله تنش خشکی، انجام شود (۳ و ۱۷). در حال حاضر هیچ راه منطقی برای افزایش نزولات جوی در خلال دوره‌های بروز تنش خشکی وجود ندارد و بهترین راه مبارزه با خشکی، همراهی با آن است، یعنی گزینش ژنوتیپ‌ها و یا اصلاح ارقامی که تحمل بیشتری به دوره‌های خشکی داشته و یا به‌شکلی توان اجتناب از آن را داشته باشند.

در چشم‌انداز برنامه‌های اصلاح نخود برای تحمل به خشکی، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و شناخت مجموعه صفاتی که مرتبط با سازگاری آنها به الگوهای کمبود رطوبت خاک می‌باشد، با اهمیت است. معیار مقاومت یا تحمل به خشکی در گیاهان عمدتاً براساس ثبات تولید در نواحی دارای تنش خشکی سنجیده می‌شود. در این رابطه به‌رغم شناخت مکانیسم‌های متعدد مقاومت و تحمل به‌خشکی در گیاهان، هنوز معیار تولید و ثبات آن در محیط‌های دارای تنش، به‌طور وسیع مورد استفاده متخصصان اصلاح نباتات و فیزیولوژی قرار می‌گیرد (۲۶). سلیم و همکاران (۱۹) بر اساس شاخص پاسخ به خشکی[1]، ژنوتیپ‌هایی از نخود را معرفی کردند که ضمن این‌که متحمل به خشکی بودند، از عملکرد بالایی نیز در شرایط کمبود آب برخوردار بودند. در ایران، کانونی و همکاران (۱) در بررسی‌های خود، شاخص‌های تحمل به تنش[2] و بهره‌وری متوسط[3] را برای شناسایی ارقام متحمل و حساس به خشکی نخود معرفی کردند. در مطالعهٔ دیگری، گنجعلی و همکاران (۲) شاخص‌های تحمل به تنش، بهره وری متوسط، میانگین هارمونیک[4] و میانگین هندسی بهره‌وری[5] را به‌عنوان معیارهای مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به

1- Dr ought response index (DRI)
2- Stress tolerance index (STI)
3- Mean productivity (MP)
4- Harmonic mean (HM)
5- Geometric mean productivity (GMP)

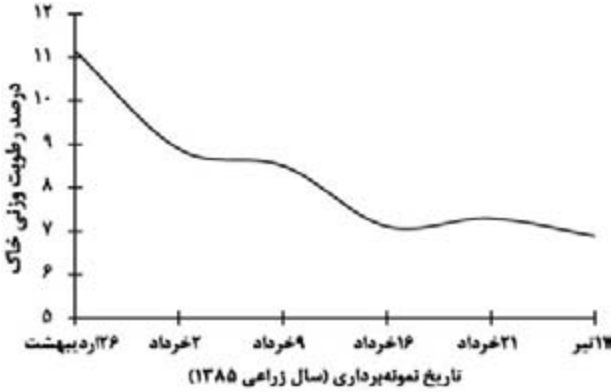
خشکی نخود پیشنهاد نمودند.

در این آزمایش، معیار انتخاب برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بر اساس نتایج عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و توانایی ژنوتیپ‌ها در مواجهه با تنش خشکی از نقطه نظر تولید و ثبات آن تعیین شده است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف: ۱- ارزیابی شاخص‌های مقاومت، حساسیت و پاسخ به خشکی؛ ۲- شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به کمبود آب و متحمل به خشکی و ۳- بررسی همبستگی‌های فنوتیپی میان عملکرد و برخی صفات زراعی با شاخص‌های مقاومت، حساسیت و پاسخ به خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۵۰ ژنوتیپ نخود (تیپ کابلی) موجود در کلکسیون نخود مشهد[1] که عمدتاً لاین‌های خالص حاصل از گزینش در توده‌های بومی هستند در دو شرایط جداگانهٔ دیم و آبی، در قالب آزمون مقدماتی ارزیابی عملکرد (آگومنت)[2] مورد ارزیابی قرار گرفتند. عملیات اجرایی از پاییز سال ۱۳۸۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با انجام شخم به عمق ۲۵ سانتی‌متر شروع شد. در اواسط فروردین‌ماه ۱۳۸۵، بذور بصورت دستی در عمق ۵ سانتی‌متری در ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر کشت شدند. با توجه به حجم بالای نمونه‌ها و بر اساس طرح مورد استفاده، نمونه‌ها در سه بلوک ناقص و بدون تکرار کشت شدند. هر واحد آزمایشی از یک کرت با یک ردیف به‌طول چهارمتر تشکیل شد که بذور هر ژنوتیپ به فاصله ۱۰ سانتی‌متری از یکدیگر روی ردیف‌ها کشت شدند. پنج نمونه نخود شامل MCC180، MCC252، MCC283، MCC358 و MCC361، به‌عنوان شاهد جهت بررسی تأثیر بلوک و تصحیح مقادیر صفات، در کلیه بلوک‌ها تکرار شد.

ژنوتیپ‌ها در دو شرایط دیم و فاریاب (آبیاری مطابق عرف منطقه هر ۱۲روز یک‌بار) در مزرعه‌ای که به‌دقت علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها در آن کنترل می‌شد، رشد نمودند. جهت اطلاع از وضعیت رطوبت خاک، درصد وزنی رطوبت خاک در عمق ۵۰ سانتی‌متری در فاصله‌ی



شکل ۱: نمودار تغییرات درصد رطوبت وزنی خاک مزرعه نخود (دیم) در فاصله‌ی ۲ تا ۹ هفته پس از کاشت در عمق ۵۰ سانتی متری سطح خاک (سال زراعی ۱۳۸۵).

زمانی ۲ تا ۹ هفته پس از کاشت، تعیین شد (شکل ۱). همچنین اطلاعات روزانهٔ مقدار بارندگی و درجه‌حرارت منطقه تهیه و نمودار تغییرات آنها در طول فصل رسم شد (شکل ۲).

به‌منظور سهولت مطالعه و به‌گزینی ژنوتیپ‌ها، تمامی ژنوتیپ‌هایی که عملکرد آن‌ها در شرایط بدون تنش کمتر از ۱۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بود از ادامه بررسی‌ها حذف و تنها حدود ۲۰ درصد از ژنوتیپ‌ها که عملکرد پتانسیل (عملکرد در شرایط فاریاب) آنها بالاتر از ۱۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (بر اساس اطلاعات جدول۱)، به‌عنوان ژنوتیپ‌های اُمیدبخش برای دستیابی به ژنوتیپ‌های کاندیدا برای تحمل به خشکی انتخاب شدند.

به‌منظور ارزیابی شاخص‌های مقاومت و حساسیت به خشکی و نیز شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، شاخص‌های پاسخ به خشکی، تحمل به خشکی، میانگین هندسی بهره‌وری، بهره‌وری متوسط، میانگین هارمونیک و شاخص حساسیت به خشکی[3] براساس عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش محاسبه شد (معادلات۱تا ۵):

۱) شاخص پاسخ به خشکی (DRI) = (Ys-Y)/(S.E.of Y), Y= a-bF+cYp

۲) شاخص بهره‌وری متوسط (MP) = (Ys+Yp)/2

۳) شاخص تحمل به تنش (STI) = (Ys.Yp) /() p)2 $\overline{Y}$

۴) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) = (Ys.Yp)1/2

۵) شاخص میانگین هارمونیک (HM) = 2(Ys.Yp)/(Ys+Yp)

1- Mashhad Chickpea Collection (MCC) 2- Augmented Designs for Preliminary Yield Trials 3- Stress susceptibility index (SSI)

شکل ۲: نمودار درجه‌حرارت متوسط و بارندگی روزانه و نیز میانگین طول مراحل فنولوژی نمونه‌های شاهد و ژنوتیپ‌های کاندیدا طی سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ در مشهد.

۶) (SSI)شاخص حساسیت به تنش)-1 =(1-(Ys/Yp))/SI, SI= 1-($\overline{Y}$ s/ $\overline{Y}$ p)

Ys: عملکرد دانه ژنوتیپ در شرایط تنش، Y: برآورد رگرسیونی عملکرد در شرایط تنش، S.E.: خطای استاندارد، F: تعداد روز تا گل‌دهی، a، b و c: ضرایب معادله رگرسیون، Yp: عملکرد دانه ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، $\overline{Y}$ p: میانگین عملکرد دانه کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، $\overline{Y}$ s: میانگین عملکرد دانه کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، SI: شدت تنش.

سپس بر اساس معیارهای فوق و با استفاده از نمودارهای پراکنش سه‌بعدی و نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌های برتر از نظر تحمل به خشکی به‌عنوان ژنوتیپ‌های کاندیدا برای تحمل به خشکی، شناسایی و پیشنهاد شدند. همبستگی‌های فنوتیپی بین صفات زراعی شامل روز تا گل‌دهی، روز تا رسیدگی، وزن ۱۰۰دانه و عملکرد، با شاخص‌های مقاومت و حساسیت به خشکی گیاه، تعیین و میزان و چگونگی روابط بین آنها مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین روابط بین صفات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودارها، از نرم افزارهای رایانه‌ای JMP و STATISTICA استفاده شد.

نتایج و بحث

تنوع قابل‌توجهی میان ژنوتیپ‌ها از نظر صفات کمّی مورد مطالعه در آزمایش مشاهده شد (جدول ۱). بین میانگین کلّی ژنوتیپ‌ها از نظر تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی برای شرایط دیم و فاریاب تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی بین ژنوتیپ‌ها از این نظر وجود داشت (جدول ۱). بنابراین به‌نظر می‌رسد تاریخ گل‌دهی در ژنوتیپ‌های نخود، کمتر به رژیم رطوبتی خاک مربوط بوده و بیشتر تحت تأثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرد. در این ارتباط بررسی‌ها نشان می‌دهند که تاریخ گل‌دهی در ژنوتیپ‌های نخود عمدتاً ژنتیکی است ولی عوامل محیطی به‌ویژه درجه‌حرارت و عرض جغرافیایی، نقش مؤثری در تعیین زمان گلدهی دارند (۱۱).

در ژنوتیپ‌های مورد بررسی، دامنه روز از کاشت تا گل‌دهی از ۳۷ روز (در MCC748 به‌عنوان زودرس‌ترین) تا ۶۵ روز (در MCC526 به‌عنوان دیررس‌ترین)، متفاوت بود. شناسایی ژنوتیپ‌های زودرس برای مناطقی که گیاهان در مرحله گل‌دهی و تشکیل غلاف‌ها با خشکی انتهای فصل مواجه می‌شوند، با اهمیت است چرا که خشکی یک عامل جدّی محدودکننده تولید است (۱۱ و ۲۷). پاندیر و همکاران (۱۴) نیز در ارزیابی ژرم‌پلاسم جهانی نخود، تنوع ژنتیکی گسترده‌ای را برای تاریخ گل‌دهی گزارش کرده‌اند.

نتایج این آزمایش نشان داد که تنش خشکی، تأثیر معنی‌داری بر وزن ۱۰۰ دانه ژنوتیپ‌ها دارد. میانگین کلی وزن ۱۰۰ دانه (میانگین ۱۵۰ ژنوتیپ) از ۲۱/۷ گرم در شرایط دیم تا ۳۰/۸ گرم در شرایط فاریاب متفاوت بود (جدول ۱). به نظر می‌رسد کاهش وزن ۱۰۰ دانه در شرایط تنش، نتیجه تأثیر منفی خشکی بر انتقال و اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و همچنین دوره کوتاه رشد زایشی است. بررسی‌های متعدد نشان داده است که تنش خشکی از طریق تسریع فنولوژی و کاهش مدت پُرشدن دانه‌ها، سبب کاهش اندازه دانه و در نهایت منجر به کاهش شدید شاخص برداشت و عملکرد دانه شده است (۲۳ و ۲۶). تنوع

جدول ۱: فراوانی ژنوتیپ‌های نخود بر اساس گروه‌بندی عملکرد آن‌ها در شرایط بدون تنش به‌همراه میانگین، انحراف‌معیار و دامنه‌ی تغییر برخی صفات کمّی این ژرم‌پلاسم‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش در مشهد (سال زراعی ۱۳۸۵)

گروه‌های عملکرد* (کیلوگرم در هکتار)	تعداد ژنوتیپ‌ها در هرگروه	شاخص‌های آماری هر گروه	تعداد روز از کاشت تا گلدهی		وزن ۱۰۰ دانه (گرم)		عملکرد دانه (کیلو گرم درهکتار)	
			تنش	بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش	بدون تنش
۳۲۰۱-۳۸۰۰	۳	میانگین	۴۴/۷	۴۵/۳	۲۴/۲	۳۰/۹	۹۰/۰	۲۵۸۰/۱
		انحراف معیار	۶/۷	۷/۴	۶/۳	۹/۴	۱۰۰/۷	۱۴۰/۰
		دامنه‌ی تغییر	۱۲/۷	۱۳/۳	۱۲/۴	۱۸/۷	۱۹۰/۳	۲۴۸/۱
۲۴۰۱-۳۲۰۰	۶	میانگین	۴۲/۷	۴۷/۲	۲۱/۲	۲۶/۱	۲۴۲/۲	۲۲۹۰/۶
		انحراف معیار	۶/۳	۵/۶	۶/۷	۵/۱	۱۹۰/۱	۶۴/۱
		دامنه‌ی تغییر	۱۶/۳	۱۵/۷	۱۶/۸	۱۱/۵	۴۹۸/۷	۱۸۷/۱
۲۰۰۱-۲۴۰۰	۲	میانگین	۴۹/۴	۴۸/۲	۲۸/۹	۳۲/۶	۱۱۴/۱	۲۰۶۳/۳
		انحراف معیار	۹/۴	۴/۸	۹/۷	۱۰/۹	۱۳۰/۲	۶۳/۱
		دامنه‌ی تغییر	۱۳/۳	۶/۷	۱۳/۷	۱۵/۴	۱۸۰/۷	۹۰/۰
۱۸۰۱-۲۰۰۰	۱۰	میانگین	۴۶/۳	۴۷/۲	۲۸/۸	۳۴/۷	۱۴۰/۰	۱۸۹۰/۱
		انحراف معیار	۷/۲	۵/۴	۶/۴	۳/۸	۱۴۱/۷	۵۰/۳
		دامنه‌ی تغییر	۱۹/۰	۱۶/۰	۲۱/۲	۱۱/۷	۴۸۴/۵	۱۷۳/۴
۱۶۰۱-۱۸۰۰	۱۷	میانگین	۴۸/۹	۴۸/۰	۲۷/۲	۳۳/۹	۸۵/۶	۱۶۹۰/۷
		انحراف معیار	۶/۷	۴/۳	۶/۱	۷/۳	۸۰/۰	۷۰/۳
		دامنه‌ی تغییر	۲۰/۰	۱۲/۳	۲۲/۵	۲۸/۰	۲۶۰/۹	۱۹۰/۲
۱۴۰۱-۱۶۰۰	۲۵	میانگین	۴۸/۱	۵۰/۱	۲۳/۱	۳۲/۵	۱۲۵/۵	۱۵۱۰/۷
		انحراف معیار	۷/۳	۵/۱	۷/۴	۶/۷	۱۳۰/۵	۵۴/۴
		دامنه‌ی تغییر	۲۱/۳	۲۱/۰	۳۵/۹	۲۳/۶	۴۶۷/۷	۱۸۹/۰
۱۲۰۱-۱۴۰۰	۱۳	میانگین	۵۱/۶	۵۱/۹	۲۴/۹	۳۳/۹	۶۶/۷	۱۳۱۰/۳
		انحراف معیار	۵/۵	۲/۹	۹/۱	۵/۸	۶۰/۱	۵/۲
		دامنه‌ی تغییر	۱۶/۰	۱۱/۷	۳۷/۶	۱۹/۷	۲۰۶/۷	۱۵۰/۲
۱۰۰۱-۱۲۰۰	۲۰	میانگین	۵۳/۱	۵۲/۱	۲۲/۴	۳۴/۵	۴۹/۱	۱۱۴۰/۴
		انحراف معیار	۶/۸	۳/۷	۱۱/۷	۵/۴	۷۰/۱	۶/۷
		دامنه‌ی تغییر	۲۷/۰	۱۳/۰	۴۰/۴	۱۸/۹	۲۴۹/۰	۱۸۴/۰
۰-۱۰۰۰	۵۴	میانگین	۴۸/۷	۵۱/۸	۱۶/۷	۲۶/۶	۵۰/۱	۵۱۰/۰
		انحراف معیار	۷/۸۳	۷/۸	۱۲/۵۱	۱۰/۵۷	۶۴/۱	۳۶/۴۰
		دامنه‌ی تغییر	۲۹/۱	۲۸/۷	۳۵/۹	۴۰/۹	۲۹۰/۱	۹۸۰/۴
کل	۱۵۰	میانگین	۴۹/۰	۵۰/۴	۲۱/۷	۳۰/۸	۸۴	۱۱۸۷
		انحراف معیار	۷/۴	۶/۱۲	۱۰/۸	۸/۷	۱۰۵	۶۳۱
		دامنه‌ی تغییر	۲۹/۱	۲۸/۷	۴۱/۸	۴۶/۸	۵۱۶	۲۷۴۰

*: بر اساس عملکرد دانه‌ی ژرم‌پلاسم‌های نخود در شرایط بدون تنش (کشت آبی)

قابل‌توجهی میان ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش وجود داشت (جدول ۱). در شرایط فاریاب، دامنه عملکرد دانه از ۲۷۴۰ کیلوگرم در هکتار در ژنوتیپ MCC759 تا ۴۳ کیلوگرم در هکتار در ژنوتیپ MCC529 و در شرایط تنش خشکی از ۵۱۶ کیلوگرم در هکتار در ژنوتیپ MCC537 تا ۱۰ کیلوگرم در هکتار در ژنوتیپ MCC525 متفاوت بود.

عملکرد ژنوتیپ‌ها، حاصل واکنش‌های سازگاری آنها به شرایط اقلیمی و زراعی مناطق مختلف رویش آنها است (۳)، لذا همان‌طورکه انتظار می‌رود تنوع گسترده‌ای میان ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و سایر صفات کمّی مورد بررسی وجود دارد. کاهش شدید نزولات به‌ویژه در فصل رویش (کمتر از ۶۰ میلی متر)، عدم پراکنش مناسب آن و درجه‌حرارت‌های بالا در مرحله رشد زایشی (شکل ۲)، احتمالاً از دلایل اصلی کاهش شدید عملکرد در شرایط تنش خشکی است. از آنجایی که عملکرد در شرایط بدون

تنش (فاریاب) یک مؤلفه مورد توجه در گزینش ژنوتیپ‌ها برای تحمل به خشکی است (۷و۲۲)، لذا برای سهولت مطالعه، تعداد ۳۰ ژنوتیپ که عملکرد پتانسیل آنها (شرایط فاریاب) بیشتر از ۱۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بود به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند. جدول ۲، عملکرد دانه و تعداد روز تا گل‌دهی آن‌ها را در شرایط فاریاب به‌همراه شرایط تنش و همچنین برخی شاخص‌های مقاومت و حساسیت به خشکی را در این ژنوتیپ‌های برتر نشان می‌دهد. مقایسه عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های فوق نشان می‌دهد که همهٔ ژنوتیپ‌هایی که در شرایط فاریاب از عملکرد بالایی برخوردار هستند، لزوماً در شرایط تنش خشکی دارای عملکرد بالایی نیستند. نتایج فوق مؤید این نکته است که در برخی از این ژنوتیپ‌ها، مکانیسم‌های مقاومت و تحمل به خشکی وجود ندارد و یا فاقد کارآیی لازم است.

بلوم (۷) معتقد است انتخاب برای تحمل به خشکی بایستی با انتخاب مواد ژنتیکی برای پتانسیل عملکرد بالا در شرایط بدون تنش همراه باشد. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در شرایط رطوبتی مناسب و نیز در شرایط تنش خشکی از عملکرد بالاتر و با ثبات‌تری برخوردار باشند احتمالاً مقاومت نسبی بیشتری به خشکی خواهند داشت. بدیهی است انتظار می‌رود این ژنوتیپ‌ها در سال‌های خشک و کم‌باران، دارای حداقل عملکرد اقتصادی و در سال‌های مرطوب، پُرمحصول ظاهر شوند. به‌عنوان مثال ژنوتیپ MCC696 در هر دو شرایط تنش و غیر تنش از عملکرد بالایی برخوردار است. این در حالی است که ژنوتیپ MCC674 با وجود تولید بالا در شرایط فاریاب، عملکرد آن در شرایط تنش بسیار ناچیز است.

محققان وضعیت نسبی عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش خشکی را به‌عنوان معیارهای مناسب برای تحمل به خشکی پیشنهاد نموده‌اند (۵ ، ۷ و۲۸). با توجه به این‌که شاخص‌های STI، HM، MP و GMP همبستگی مثبت و بسیار بالایی با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش نشان دادند (جدول ۳) می‌توان از این شاخص‌ها به‌عنوان معیارهای مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی بهره گرفت (۷، ۸، ۱۰ و ۲۸).

شاخص DRI، همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش داشت، اما همبستگی آن با عملکرد در شرایط بدون تنش معنی‌دار نبود. از آنجایی که این شاخص، تحمل به خشکی ژنوتیپ‌ها را مستقل از مکانیسم‌های فرار از خشکی ارزیابی می‌کند، لذا ژنوتیپ‌هایی که مقدار DRI آنها بیش از ۱/۳ می‌باشد، به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی که واقعاً متحمل به خشکی هستند، معرفی می‌شوند (۳)، ولی ممکن است این ژنوتیپ‌ها از عملکرد بالایی در شرایط مطلوب برخوردار نباشند. با این‌حال این شاخص، همبستگی مثبت و معنی‌داری با شاخص‌های STI، HM و GMP داشت. از آنجایی که عملکرد بالای ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش مورد نظر است لذا بر اساس شاخص‌های STI، HM، MP و GMP، ژنوتیپ‌های MCC544، MCC696، MCC693، MCC537 و MCC521، به‌عنوان ژنوتیپ‌های کاندیدا برای مقاومت به خشکی معرفی می‌شوند. در میان این ژنوتیپ‌ها به‌جز MCC521 که مقدار DRI در آن کمتر از ۱/۳ است، سایر ژنوتیپ‌ها، از DRI بالاتر از ۱/۳ برخوردار هستند (جدول ۲). نتایج فوق مؤید این است که ژنوتیپ‌های مورد بحث ضمن این‌که بالنسبه پُرمحصول هستند، از مقاومت به خشکی بالایی نیز برخوردار هستند.

در ژنوتیپ‌های کاندیدا برای مقاومت به خشکی، روز تا گل‌دهی هم در شرایط تنش و هم بدون تنش کمتر از میانگین ژنوتیپ‌های برتر و همچنین میانگین کلی ژنوتیپ‌ها می‌باشد (جدول ۲). لذا احتمالاً تسریع فنولوژی و مواجهه کمتر گیاه با دو تنش خشکی و درجه‌حرارت‌های بالا که تواماً در مرحله رشد زایشی گیاه اتفاق می‌افتد، از دیگر راه‌کارهایی است که موجب بهبود مقاومت به خشکی این ژنوتیپ‌ها شده است. این موضوع توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (۱۱و ۲۷).

استفاده از نمودار پراکنش سه‌بعدی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در مطالعات مختلف، تأیید شده است (۱، ۲ و۹). نمودار پراکنش سه‌بعدی، رابطه بین سه متغیر عملکرد در شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) و نیز شاخص‌های مقاومت به خشکی را بیان می‌نماید (شکل ۳). در این نمودارها، ژنوتیپ‌هایی که در منطقه A قرار می‌گیرند (ژنوتیپ‌های گروهA) دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش هستند. طبق نظر فرناندز (۹)

جدول ۲: میانگین عملکرد دانه، روز تا گل‌دهی و شاخص‌های مقاومت، حساسیت و پاسخ به خشکی در ۳۰ ژنوتیپ برتر نخود در مشهد (سال زراعی ۱۳۸۵).

شمارهٔ ردیف	نام ژنوتیپ (شماره MCC)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		تعداد روز از کاشت تا گلدهی		شاخص‌های مقاومت، حساسیت و پاسخ به خشکی					
		بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش	GMP	HM	STI	MP	SSI	DRI
۱	۷۵۹	۲۷۴۳/۰	۳۷/۷	۵۴/۰	۵۰/۰	۳۲۱/۶	۷۴/۴	۰/۱	۹۳۸/۲	۱/۱	-۱/۵
۲	۶۷۴	۲۵۰۵/۰	۲۰/۱	۴۱/۶	۴۷/۰	۲۴۴/۶	۴۰/۰	۰/۰	۱۳۹۰/۴	۱/۱	-۱/۹
۳	۵۵۰	۲۴۹۵/۰	۲۱۳/۰	۴۰/۶	۳۷/۰	۷۲۹/۱	۳۹۳/۰	۰/۴	۱۲۶۲/۶	۱/۰	-۰/۴
۴	۵۴۴	۲۳۹۲/۰	۳۴۲/۶	۴۳/۶	۳۸/۰	۹۰۵/۳	۵۹۹/۰	۰/۶	۱۳۵۴/۰	۰/۹	۱/۵
۵	۶۹۶	۲۳۴۰/۰	۵۱۶/۲	۴۱/۸	۳۷/۰	۱۰۹۹/۰	۸۴۶/۰	۰/۹	۱۳۶۷/۵	۰/۸	۳/۸
۶	۶۹۳	۲۲۹۰/۰	۳۵۵/۲	۴۴/۸	۳۸/۰	۹۰۱/۸	۶۱۵/۰	۰/۶	۱۴۲۸/۰	۰/۹	۱/۷
۷	۵۴۶	۲۲۸۰/۰	۱۲۹/۷	۴۳/۶	۴۵/۰	۵۴۴/۰	۲۴۵/۴	۰/۲	۱۳۲۴/۰	۱/۰	-۰/۵
۸	۵۰۸	۲۲۷۰/۰	۱۹/۳	۵۷/۶	۵۳/۰	۲۰۹/۵	۸۳/۳	۰/۰	۱۲۰۵/۰	۱/۱	-۱/۱
۹	۵۶۲	۲۲۰۶/۰	۹۱/۷	۴۷/۶	۴۵/۰	۴۵۰/۰	۱۷۶/۱	۰/۱	۱۱۴۵/۰	۱/۰	-۱/۰
۱۰	۸۰۷	۲۱۰۸/۰	۲۰/۴	۵۱/۶	۵۶/۰	۲۰۷/۵	۴۰/۴	۰/۰	۱۰۶۴/۰	۱/۱	-۰/۶
۱۱	۷۳۲	۲۰۱۹/۰	۲۰۷/۰	۴۴/۸	۴۳/۰	۶۴۶/۳	۳۷۵/۴	۰/۳	۱۱۱۲/۸	۱/۰	۰/۵
۱۲	۵۶۹	۱۹۹۲/۰	۶۴/۰	۴۷/۶	۴۷/۰	۳۵۶/۷	۱۲۴/۰	۰/۱	۱۰۲۸/۰	۱/۰	-۱/۰
۱۳	۸۰۵	۱۹۳۰/۰	۵/۰	۵۱/۶	۵۶/۰	۱۳/۹	۰/۳	۰/۰	۹۶۵/۰	۱/۱	-۱/۰
۱۴	۵۵۱	۱۹۲۱/۰	۱۴۵/۰	۴۱/۶	۳۷/۰	۵۲۷/۵	۲۶۹/۴	۰/۲	۱۰۳۳/۰	۱/۰	-۰/۲
۱۵	۷۹۱	۱۹۲۱/۰	۴۷/۳	۵۱/۶	۵۵/۰	۳۰۱/۰	۹۳/۱	۰/۱	۹۸۴/۰	۱/۱	-۰/۷
۱۶	۸۱۵	۱۹۰۶/۰	۵/۶	۵۱/۶	۵۶/۰	۱۰۳/۵	۱۱/۲	۰/۰	۹۵۶/۰	۱/۱	۰/۴
۱۷	۵۵۲	۱۸۷۰/۰	۲۲۱/۰	۴۰/۶	۴۰/۰	۶۴۳/۰	۳۹۵/۴	۰/۳	۱۰۴۶/۰	۱/۰	۰/۰
۱۸	۶۴۴	۱۸۶۴/۰	۱۵۱/۰	۵۶/۶	۴۵/۰	۹۵۰/۰	۲۷۹/۵	۰/۲	۱۰۰۷/۰	۱/۰	۴/۰
۱۹	۵۳۷	۱۸۵۴/۰	۴۸۴/۷	۴۳/۶	۴۰/۰	۹۴۸/۰	۷۶۸/۵	۰/۶	۱۱۶۹/۰	۰/۸	۱/۴
۲۰	۷۷۴	۱۸۳۲/۰	۴۷/۱	۴۲/۶	۴۵/۰	۲۹۴/۰	۹۱/۹	۰/۱	۹۴۰/۰	۱/۱	۰/۷
۲۱	۶۹۲	۱۸۱۸/۰	۲۳۳/۵	۴۴/۸	۴۱/۰	۶۵۱/۶	۴۱/۴	۰/۳	۱۰۲۶/۰	۰/۹	-۱/۶
۲۲	۵۴۳	۱۸۰۴/۰	۷۲/۳	۴۱/۶	۴۰/۰	۳۶۱/۲	۱۳۹/۱	۰/۱	۹۳۸/۲	۱/۰	۰/۴
۲۳	۷۷۷	۱۷۸۵/۰	۸۲/۰	۴۴/۶	۵۶/۰	۳۸۲/۶	۱۵۷/۰	۰/۱	۹۳۳/۶	۱/۰	۱/۶
۲۴	۷۷۰	۱۷۸۵/۰	۲۵۹/۰	۵۱/۶	۴۵/۰	۶۷۹/۶	۴۵۲/۰	۰/۳	۱۰۲۱/۷	۰/۹	-۰/۹
۲۵	۶۴۱	۱۷۶۴/۰	۷۵/۱	۴۳/۶	۴۵/۰	۳۶۴/۰	۱۴۴/۰	۰/۱	۹۱۹/۶	۱/۰	۱/۶
۲۶	۷۲۲	۱۷۶۱/۰	۱۶۶/۰	۴۴/۸	۵۶/۰	۵۴۰/۶	۳۰۳/۲	۰/۲	۹۶۳/۶	۱/۰	۱/۲
۲۷	۵۷۵	۱۷۵۵/۰	۲۸۸/۰	۴۷/۶	۴۵/۰	۶۳۴/۰	۴۰۴/۶	۰/۳	۹۹۲/۰	۰/۹	-۱/۴
۲۸	۷۷۵	۱۷۴۰/۰	۲/۹	۵۱/۶	۵۶/۰	۷۱/۲	۵/۸	۰/۰	۸۷۱/۴	۱/۱	-۰/۷
۲۹	۷۶۶	۱۷۲۳/۰	۱۴/۸	۵۱/۶	۵۴/۰	۱۵۹/۸	۲۹/۴	۰/۰	۸۶۹/۰	۱/۱	-۰/۳
۳۰	۵۲۱	۱۶۰۲/۰	۳۲۱/۴	۵۴/۰	۳۷/۰	۷۱۷/۵	۵۳۵/۳	۰/۴	۹۶۲/۰	۰/۹	۱/۰
میانگین		۲۰۰۹/۲	۱۵۲/۶	۴۷/۲	۴۶/۲	۴۹۷/۹	۲۵۶/۲	۰/۲	۱۰۷۳/۹	۱/۰	۰/۲
انحراف معیار		۲۸۰/۴	۱۳۹/۷	۵/۰	۶/۹	۲۸۴/۸	۲۳۲/۷	۰/۲	۱۶۱/۴	۰/۱	۱/۴

جدول ۳: همبستگی‌های موجود بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های مقاومت، حساسیت و پاسخ به خشکی ژنوتیپ‌های نخود مورد آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۵ در مشهد.

	Ys	Yp	STI	SSI	HM	MP	GMP	DRI
Ys	۱/۰۰							
Yp	۰/۱۲ns	۱/۰۰						
STI	۰/۸۸**	۰/۲۶ns	۱/۰۰					
SSI	۰/۰۰	۰/۲۴ns	۰/۰۳ns	۱/۰۰				
HM	۰/۹۷**	۰/۲۰ns	۰/۹۱**	۰/۰۴ns	۱/۰۰			
MP	۰/۲۳**	۰/۹۸**	۰/۳۹**	۰/۲۲**	۰/۳۲**	۱/۰۰		
GMP	۰/۸۴**	۰/۳۷**	۰/۸۶**	۰/۰۷ns	۰/۹۲**	۰/۵۱**	۱/۰۰	
DRI	۰/۵۳**	۰/۰۰	۰/۴۲**	۰/۰۰	۰/۴۷**	۰/۰۱	۰/۳۱**	۱/۰۰

- Ys و Yp، به‌ترتیب عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند.

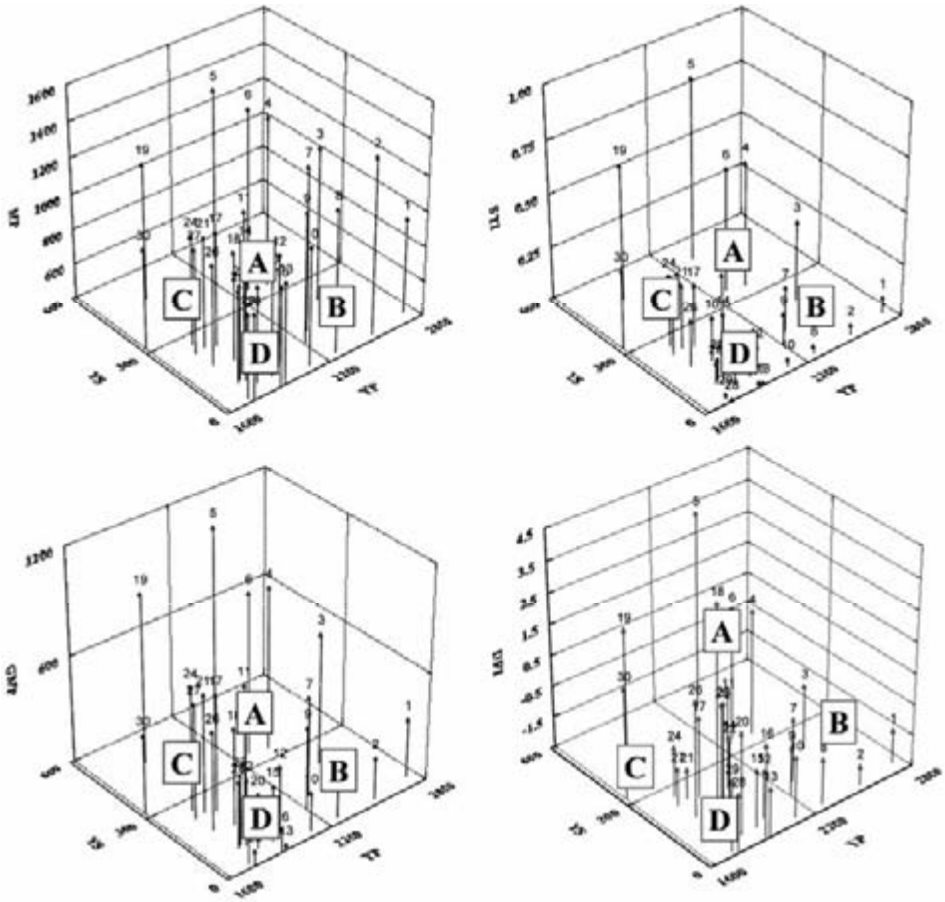
شاخص(هایی) که بتوانند گروه A را از سایر گروه‌ها تفکیک نمایند، شاخص‌های مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی هستند. نتایج حاصل از ارزیابی نمودارهای پراکنش سه‌بعدی در شکل ۳ نشان داد ژنوتیپ‌های شماره۴، ۵ و ۶ (MCC544، MCC696 و MCC693) که در منطقه A نمودار قرار گرفته و از نظر شاخص‌های مقاومت و پاسخ به خشکی برتر از سایرین بودند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های کاندیدا برای مقاومت به خشکی پیشنهاد می‌شوند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۹ و ۳۰ (MCC537 و MCC521) اگرچه در شرایط دیم از عملکرد نسبتاً بالایی برخوردارند ولی به‌دلیل عملکرد پتانسیل کم (عملکرد در شرایط فاریاب)، در گروه ژنوتیپ‌های A قرار نگرفته‌اند. از سوی دیگر ژنوتیپ‌های MCC759، MCC674، MCC550، MCC546، MCC508 و MCC562 از عملکرد بالایی در شرایط بدون تنش برخوردار بودند ولی عملکرد آنها در شرایط تنش خشکی بسیار پایین بود و لذا در گروه ژنوتیپ‌های حساس به خشکی طبقه‌بندی می‌شوند. این قبیل ژنوتیپ‌ها، عمدتاً برای زراعت‌های فاریاب و مناطقی که محدودیت آب آبیاری ندارند، قابل توصیه هستند.

از نمودار چندمتغیره بای‌پلات که امکان مطالعه رابطه بیش از سه متغیر را به‌صورت همزمان فراهم می‌آورد نیز به‌منظور گزینش دقیق‌تر ژنوتیپ‌ها استفاده شد. برای ترسیم نمودار بای‌پلات، ابتدا ماتریس داده‌های چند متغیره، به چند مؤلفه تقسیم شدند. نظر به این‌که دو مؤلفه اول و دوم حدود ۹۰ درصد از واریانس بین داده‌ها را توجیه نمودند (داده‌ها نشان داده نشده است) و حذف سایر مؤلفه‌ها تأثیر معنی‌داری در نتایج حاصله نداشت لذا بای‌پلات مربوطه بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم ترسیم شد (شکل ۴).

نتایج حاصل از بررسی‌های آماری نشان داد که مؤلفه اول، همبستگی بسیار معنی‌دار و مثبتی با عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های مقاومت و پاسخ به خشکی داشت ولی همبستگی آن با شاخص حساسیت به خشکی، منفی و معنی‌دار بود (r= ۰/۹۵ -). بنابراین با مقادیر بالای این مؤلفه، ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی و با مقادیر کم آن، ژنوتیپ‌های حساس به خشکی را می‌توان شناسایی کرد. در این آزمایش مؤلفه دوم، همبستگی معنی‌دار و مثبتی با عملکرد در شرایط بدون تنش داشت (r= ۰/۹۴ -). بنابراین بر مبنای این مؤلفه، ارقامی گزینش می‌شوند که سازگاری خصوصی به شرایط فراهمی رطوبت (کشت فاریاب) دارند (ژنوتیپ‌های منطقه C در نمودار بای‌پلات). از آنجایی‌که همبستگی بالایی بین عملکرد در شرایط تنش و همچنین شاخص‌های مقاومت به خشکی با مؤلفه اول وجود دارد و از طرفی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مؤلفه دوم و عملکرد پتانسیل وجود دارد لذا ژنوتیپ‌هایی که در فضای بالایی این دو مؤلفه قرار می‌گیرند (منطقه A) می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و پُرمحصول پیشنهاد شوند.

بر این اساس همان ژنوتیپ‌های ۴، ۵ و ۶ (MCC544، MCC696 و MCC693) که در فضای فوق قرار می‌گیرند به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی می‌شوند. ژنوتیپ‌های ۲۷، ۳۰، ۱۹ و ۲۴ (MCC575، MCC521، MCC537 و MCC770) که در مجاورت شاخص DRI قرار می‌گیرند اگرچه از عملکرد نسبتاً بالایی در شرایط تنش برخوردار هستند ولی به‌دلیل این‌که در فضای پایینی مؤلفه دوم قرار می‌گیرند (منطقه B) و از عملکرد پایینی در شرایط بدون تنش برخوردار هستند، می‌توانند به‌عنوان پایه‌های ژنتیکی برای اصلاح ارقام مقاوم به خشکی توصیه شوند.

نتایج حاصل از همبستگی‌های فنوتیپی نشان داد که عملکرد در شرایط تنش، همبستگی منفی و معنی‌دار و در شرایط بدون تنش، همبستگی مثبت و معنی‌داری با روز تا گل‌دهی دارد ولی همبستگی‌های فوق با روز تا رسیدگی معنی‌دار نبود (جدول ۴). زودرسی و تسریع فنولوژی، یک عامل مهم برای افزایش عملکرد در شرایط تنش و یک عامل منفی برای افزایش تولید در محیط‌های بدون تنش است (۱۲). افزایش رشد رویشی و به‌دنبال آن فرصت بیشتر برای سنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و یا اندام‌های ذخیره‌ای و سپس انتقال مجدد آنها در مراحل بعدی، احتمالاً مهم‌ترین دلیل همبستگی مثبت بین عملکرد و روز تا گل‌دهی در محیط‌های بدون تنش است. از طرف دیگر، زودرسی و تولید محصول قبل از مواجهه گیاه با درجه‌حرارت‌های بالا و تنش خشکی که به صورت توأم در انتهای فصل رویش به‌وقوع می‌پیوندد (فرار از خشکی) یک راه‌کار مناسب برای مقابله با تنش خشکی است (۱۳، ۱۶ و ۲۹) و احتمالاً علت اصلی همبستگی منفی و معنی‌دار عملکرد با روز تا گل‌دهی در شرایط تنش خشکی است.

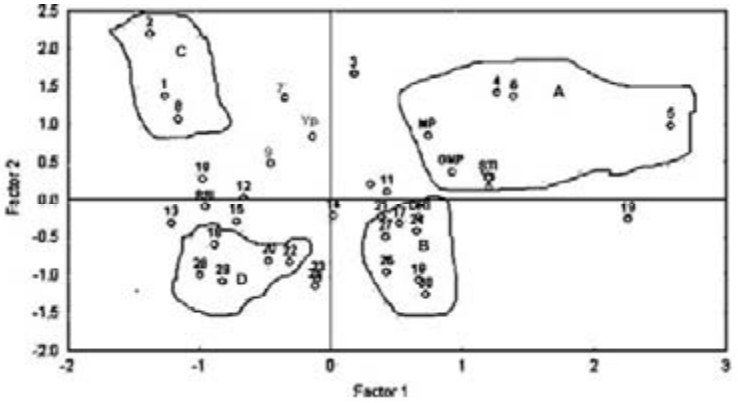


شکل ۳: نمودار پراکنش سه‌بعدی بین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های MP، STI، GMP و DRI در ۳۰ ژنوتیپ برتر نخود در مشهد (سال زراعی ۱۳۸۵).

جدول ۴: همبستگی‌های فنوتیپی بین عملکرد و برخی صفات زراعی با شاخص‌های مقاومت، حساسیت و پاسخ به خشکی ژنوتیپ‌های نخود مورد آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۵ در مشهد

	شاخص‌های مقاومت، حساسیت و پاسخ به خشکی							
صفات فنوتیپی	Ys	Yp	STI	GMP	MP	HM	SSI	DRI
روز تا گل‌دهی	-**	**	-**	-**	-**	-**	ns	ns
	(ns)a	(**)	(ns)	(ns)	(**)	(ns)	(**)	(ns)
روز تا رسیدگی	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(**)	(ns)
وزن ۱۰۰دانه	ns	**	ns	**	**	ns	**	ns
	(ns)	(**)	(ns)	(ns)	(**)	(ns)	(**)	(ns)

شاید یکی از دلایل برتری ژنوتیپ های MCC544 ، MCC696 و MCC693 از نظر عملکرد در شرایط تنش، زودرسی (فاصله کمتر بین کاشت تا گل‌دهی) واجتناب از تنش خشکی و گرمای انتهای فصل در این ژنوتیپ‌ها است. همبستگی معنی‌دار و منفی میان شاخص‌های مقاومت به خشکی و روز تاگل‌دهی در شرایط تنش خشکی (جدول ۴) محتمل است چرا که عملکرد در شرایط تنش خشکی یک مؤلفه مهم در محاسبه شاخص‌های مقاومت به خشکی است که همبستگی آن با روز تا گل‌دهی منفی است. در این رابطه گرچه همبستگی عملکرد در شرایط بدون تنش با روز تا گل‌دهی مثبت است ولی ظاهراً برآیند همبستگی، بیشتر تحت تأثیر عملکرد در شرایط تنش خشکی است.



شکل ۴: نمودار بای‌پلات بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم با بیشترین توجیه واریانس داده‌ها.

در شرایط بدون تنش نیز شاخص حساسیت به خشکی همبستگی مثبت و معنی‌داری با روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی داشت. بنابراین با افزایش روز تا گل‌دهی و توسعه دوره رشد زایشی، این احتمال وجود خواهد داشت که حساسیت ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی توأم با گرمای انتهای فصل افزایش یابد (۱۶ و ۲۵). همبستگی معنی‌دار و مثبتی بین وزن ۱۰۰دانه و عملکرد در شرایط بدون تنش وجود داشت، ولی همبستگی عملکرد در شرایط تنش با صفت فوق، معنی‌دار نبود. افزایش وزن ۱۰۰دانه نتیجه سنتز و انتقال مؤثر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها است که خود متأثر از وجود شرایط مناسب برای رشد گیاه در دوره رشد رویشی و زایشی است (۳و ۲۷) و انتظار می‌رود که این شرایط تنها در محیط بدون تنش فراهم شده باشد. شاخص پاسخ به خشکی همان‌طور که قبلاً اشاره شد، مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌ها را مستقل از روز تا گل‌دهی آنها ارزیابی می‌نماید لذا در این آزمایش همان‌طور که انتظار می‌رفت، هیچ‌گونه همبستگی معنی‌دار بین شاخص DRI و صفات فنولوژیک ژنوتیپ‌ها وجود نداشت (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

تنوع قابل‌توجهی میان ژنوتیپ‌ها از نظر صفات کمّی مورد مطالعه مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد تنوع موجود، نتیجه واکنش‌های سازگاری ژنوتیپ‌ها به شرایط مختلف محیطی و یا مربوط به حوادث ژنتیکی است که در مسیر تکاملی گیاه اتفاق افتاده است. روز تا گل‌دهی، بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی قرار گرفت تا تنش خشکی. در این راستا، تفاوت‌های معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد در حالی‌که بین میانگین روز تا گل‌دهی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش خشکی، تفاوتی وجود نداشت. تنش خشکی، تأثیر معنی‌داری بر کاهش وزن ۱۰۰ دانه ژنوتیپ‌ها داشت. به‌نظر می‌رسد کاهش وزن ۱۰۰ دانه، عمدتاً نتیجه تأثیر منفی تنش خشکی بر انتقال و اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و همچنین کاهش دوره پُرشدن دانه‌ها بوده است.

نتایج مربوط به عملکرد دانه نشان داد تنها درصد کمی از ژنوتیپ‌های پُرمحصول در شرایط فاریاب، از عملکرد بالایی در شرایط تنش نیز برخوردار هستند، لذا احتمالاً مکانیسم‌های مقاومت و تحمل به خشکی تنها در بعضی از ژنوتیپ‌ها فعال و یا از کارآیی لازم برخوردار هستند. بررسی‌های آماری نشان داد شاخص‌های STI، GMP، MP و HM، معیارهای مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی هستند. بر اساس این شاخص‌ها و نمودارهای پراکنش سه‌بعدی و بای‌پلات، ژنوتیپ‌های MCC544، MCC696 و MCC693 به‌عنوان ژنوتیپ‌های پُرمحصول و کاندیدا برای تحمل به خشکی معرفی می‌شوند. احتمالاً یکی از دلایل برتری ژنوتیپ‌های کاندیدا برای مقاومت به خشکی، برخورداری از قابلیت فرار از خشکی (زودرسی) و اجتناب از تنش خشکی انتهایی است چرا که روز از کاشت تا گل‌دهی در ژنوتیپ‌های فوق کوتاه‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها است. ژنوتیپ‌هایی که بر اساس شاخص DRI گزینش می‌شوند از مکانیسم‌های کارآمد مقاومت و تحمل به خشکی برخوردارند ولی ضرورتاً از عملکرد پتانسیل بالایی برخوردار نیستند، بنابراین از این ژنوتیپ‌ها می‌توان در برنامه‌های اصلاح برای تحمل به خشکی به‌عنوان پایه‌های ژنتیکی استفاده کرد.

منابع

۱- کانونی، ه.، ح. کاظمی، م. مقدم و م. نیشابوری. ۱۳۸۱. گزینش لاین‌های نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) برای مقاومت به خشکی. مجله دانش کشاورزی ۱۲: ۱۲۱-۱۰۹.

۲- گنجعلی، ع. ۱۳۸۴. بررسی جنبه‌های فیزیومورفولوژیک مقاومت به خشکی در ژنوتیپ‌های نخود(*Cicer arietinum* L.). رساله دوره دکتری رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

3-Anbessa, Y. and G. Bejiga. 2002. Evaluation of Ethiopian chickpea landraces for tolerance to drought. Genetic Resources and Crop Evolution 49: 557-564.

4-Ashraf, M. and F. Karim. 1991. Screening for some cultivar/line of black gram(*Vigna mungo* L.) for ressistance to water stress. Trop. Agri. 68: 57-62.

5-Arnon, I. 1972. Crop Production in Dry Region. Leonard hill Publisher, London.

6-Bejiga, G. and Y. Anbessa. 1994. Breeding chickpea for resistance to drought. International Symposium on Pulse Research. 2-6 April. New Delhi, India, pp. 145-146.

7-Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environment. CRC press. Roca Raton, FL. pp. 38-78.

8-Elshazly, M.S. and I.B. Warboys. 1989. The use of transparent flexible tubes for studying the root extension and elongation of beans. J. Experimental. Agriculture 25: 35-37.

9-Fernandes, G.C.J. 1993. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In C.G. You. (Ed.). Adaptation of Food Crop to Temperature and Water Stress, Avrrdc, Shanhua, Taiwan, pp. 257-270.

10-Fischer, R.A. 1981. Optimising the use of water and nitrogen through breeding of crops. Plant Soil 58: 249-278.

11-Kumar, J. and S. Abbo. 2001. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semi arid environments. Advances in Agronomy 72: 107-138.

12-Kumar, D. 2005. Breeding for drought resistance. pp. 145-175. In: Ashraf, M. and P.J.C. Haris (Eds), Abiotic Stresss, Plant Resistance throught Breeding and Molecular Approches. Food Products Press.

13-Leport. L., N.C. Turner, R.J. French, M.D. Barr, R. Duda, S.L. Davies, D. Tennant and K.H.M. Siddique. 1999. Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediteranean-type of environment. European Journal of Agronomy 11: 279-291.

14-Pundir, R.P.S, H.K. Jaiswal, B.D. Singh and R.M. Singh. 1984. Possible origin of desi chickpeas throght introgression of *Cicer reticulatum* genes. Inter. Chickpea Newsletter 11: 18-20.

15-Saxena, N.P. 2003. Management of Agriculture Drought "Agronomic and Genetic Options". Science Publishers Inc, NH, USA.

16-Siddique, K.H.M., S.P. Loss, K.L. Regan and R. Jettner. 1999. Adaptation of cool season grain legumes in Mediteranean-type of environment of South-Western Australia. Aus. J.Agric.Res. 50: 375-387.

17-Siddique, K.H., K.L. Regan, D. Tenat and B.D. Thomson. 2001. Water use and water use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean type of environment. European Journal of Agronomy 15: 267-280.

18-Siddique, K.H.M., S.P. Loss and B.D. Thomsons. 2003. Cool seasons grain legume in dry land Mediterranean environment of Western Australia: Significance of early flowering. pp. 151-163. In: N.P. Saxena (Ed.), Management of Agriculture Drought "Agronomic and Genetic Options". Science Publishers Inc, NH, USA.

19-Silim, S.N., M.C. Saxena and K.B. Singh. 1993. Adaptation of spring-sown chickpea to the Mediterranean basin. II. Factors influencing yield under drought. Field Crops Research 34: 137-146.

20-Singh, K.B. and M.C. Saxena. 1990. Studies on drought tolerance. Annual Reports, ICARDA, Aleppo, Syria.

21-Singh, K.B., L. Holly and G. Bejiga. 1991. A Catalog of Kabuli Chickpea Germplasm. ICARDA, Aleppo, Syria.

22-Singh, K.B. and M.C. Saxena. 1993. Breeding for Stress Tolerance in Cool-Season Food Legume. Johan Wiley and Sons Publisher.

23-Sing, G., H.S. Sekhon and J.S. Kolar. 2005. Pulses. Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India.

24-Subarao, G.V., C. Johanson, A.E., Slinkard, R.C. Nageswara Rao, N.P. Saxena and Y.S. Chauhan. 1995. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. Critic Rev. Plant Sci. 14: 469-523.

25-Thomson, B.D. and K.H. Siddique. 1997. Grain legume species in low rainfall Mediterranean environment type of environment of WA. 1. Phenology and seed yield .Field Crop Research 54: 189-199.

26-Turner, N.C. 1996. Further progress in crop water relations. Adv. Agron. 58: 293-338.

27-Turner, N.C., G.C. Wright and K.H.M. Siddique. 2001. Adaptation of grain legumes (Pulses) to water limited environments. Adv. Agron. 71: 193-231

28-Turner, N.C. 2003. Drought resistance: A comparison of two research frameworks .pp 89-102, In: N.P. Saxena (Ed.). Management of Agriculture Drought "Agronomic and Genetic Options". Science Publishers Inc, NH, USA.

29-Turner, N.C., G.C. Wright and K.H.M. Siddique. 2003. Adaptation of grain legumes to water-limited environment: Selection for physiological, biochemical and yield component characteristics for improved drought resistance. pp. 43-80. In: N.P. Saxena (Ed.). Management of Agriculture Drought "Agronomic and Genetic Options". Science Publishers Inc, NH, USA.

Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm for drought resistance

A. Ganjali, A. Bagheri, H. Porsa[1]

Abstract

In order to evaluate drought tolerance of chickpea germplasm, 150 genotypes of chickpea (Kabuli type) were tested using Augmented Designs for Preliminary Yield Trials under stress (Rainfed) and non stress (Irrigated) conditions in Research Field at Mashhad College of Agriculture during 2005-6 growing season. Quantitive drought resistance and susceptibility indices such as Stress tolerance index (STI), Mean productivity (MP), Geometric mean productivity (GMP), Harmonic mean (HM), Drought response index (DRI) and Stress susceptibility index (SSI) based on yield in stress and non stress conditions, were calculated. There were significant variations among the genotypes in their reaction to drought stress. There were positive and highly significant correlations among MP, GMP, STI and HM with yield in stress and non stress conditions. Also, there were positive and hight significant correlations for SSI and DRI with yield in non stress and stress conditions, respectively. Based on drought resistance indices and DRI, MCC544, MCC696 and MCC693 genotypes were superior to others, so they can be recommend as promising genotypes for drought resistance. These results were approved using three dimension graph and multivariate biplot graph. In stress condition, there were negative and high significant correlations between yield and days to flowering, therfore days to flowering in promising genotypes were shorter than other genotypes.

Key words: Chickpea (*Cicer arietinum* L.), drought resistance indices, drought stress, yield.

1- Contribution from Research Institute of Plant Sciences and Faculty of Agricultuer, Ferdowsi University of Mashhad.