گزینش برای تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) .

علی گنجعلی[۱]، محمد کافی[۱و۲]، عبدالرضا باقری[۱و۲] و فرج‌الله شهریاری[۲]

چکیده

به منظور ارزیابی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نخود و نیز تعیین مناسب‌ترین شاخص‌های مقاومت به خشکی، آزمایشی در دو منطقه، مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مشهد و ایستگاه تحقیقات کشاورزی نیشابور طی سال زراعی ۱۳۸۲ انجام شد. ۳۴ رقم و ژنوتیپ نخود در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط تنش (دیم) و بدون تنش (آبی) مورد مطالعه قرار گرفتند. شاخص‌های کمّی مقاومت و حساسیت به خشکی مانند شاخص تحمّل تنش (STI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل (TOL) و میانگین هارمونیک (HM) براساس عملکرد گیاه در شرایط تنش (Ys) و عملکرد آبی (Yp) محاسبه شدند. تفاوت‌های معنی‌داری بین ارقام و ژنوتیپ‌های نخود از نظر شاخص‌های کمّی مقاومت به خشکی بجز شاخص‌های TOL و SSI در دو منطقه مورد بررسی وجود داشت. در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۳۱ یعنی ژنوتیپ‌های ICCV93040، ICCV93042، MCC13، MCC448، MCC5 و MCC10 و MCC460 در دو منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین عملکرد دانه بودند در حالیکه در شرایط تنش تنها ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۶ و ۱۹یعنی ژنوتیپ‌های ICCV93040، MCC13 و MCC10 از این حیث برتر از سایرین بودند. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی صفات نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش دارند. بنابراین در نخود شاخص‌های فوق مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی می‌باشند. براساس این شاخص‌ها ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۹ که دارای بالاترین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند و در فضای نمودار چند متغیره بای‌پلات در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مقاومت به خشکی MP، GMP، STI و HM قرار می‌گیرند به عنوان ژنوتیپ‌های نخود متحمل به خشکی پیشنهاد می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تنش خشکی، شاخص‌های تحمل به خشکی، نخود.

مقدمه

در بین حبوبات، نخود دومین محصول جهانی است که در ۴۸ کشور جهان با سطحی بیش از ۱۱ میلیون هکتار و تولیدی بیش از ۸ میلیون تن با درصد پروتئین بالا (۲۴-۲۲ درصد) کشت می‌شود (۹). این گیاه عمدتاً در نظام‌های کشاورزی مناطق خشک و نیمه خشک کشت می‌شود و به نهاده‌های کمی نیاز دارد. خصوصیاتی همچون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوّی سبب شده است که این گیاه نقش مهمی در ثبات تولید نظام‌های زراعی ایفا نماید. با این وجود به دلیل حساسیت اغلب ارقام و ژنوتیپ‌های موجود به تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی عملکرد آن کم و ناپایدار است، به نحوی که با وجود افزایش ۸ برابری تولید غلات در سه دهه گذشته، افزایش عملکرد این گیاهان محسوس نبوده است (۲).

۱- عضو هیئت علمی پژوهشکده علوم گیاهی، و ۲- اعضاء هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

در ایران، نخود در بین حبوبات سرما دوست بیشترین سطح زیرکشت و تولید را به خود اختصاص داده است، این در حالی است که از نظر عملکرد در واحد سطح در بین کشورهای تولید کننده به همراه کشور تانزانیا با عملکرد ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در آخرین رده قرار می‌گیرد (۹). وجود تنش‌های مختلف زیستی و غیر زیستی، عدم وجود و یا دسترسی به ارقام مقاوم به تنش‌ها و عدم اعمال صحیح مدیریت زراعی از جمله دلایل اصلی کاهش عملکرد این گیاه می‌باشد. کاهش جهانی تولید نخود که ناشی از تنش خشکی است ۳/۷ میلیون تن برآورد شده است که پیشبینی می‌شود ۲/۱ میلیون تن آن را بتوان از طریق فعالیت‌های اصلاحی جبران کرد (۱۶). تلاش‌های اصلاحی، روش‌های به زراعی و استفاده از ارقام مناسب به مقدار زیادی در کاهش این فاصله مؤثر هستند (۱۳). استان خراسان یکی از مناطقی است که در اکثر مناطق آن تنش‌های مهم، بویژه تنش خشکی شدیداً عملکرد این محصول را کاهش داده است. براساس مطالعات انجام شده، از بین عوامل مختلف ایجاد کننده تنش از جمله بیماری‌ها، آفات، علف‌های هرز، خشکی، شوری و سرما، خشکی به تنهایی عملکرد این گیاه را ۴۵ درصدکاهش می دهد (۴). بیدنگر و همکاران (۶) و سلیم و همکاران (۱۷) خشکی را به عنوان مهم‌ترین تنش غیر زنده در نخود معرفی کردند. سینگ و سکسینا (۲۲) افزایش اندازه دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نخود را با انجام آبیاری نسبت به شرایط تنش خشکی گزارش کردند. سلیم و همکاران (۱۷) در آزمایش های خود روی ۲۰ واریته نخود که در شرایط دیم و آبی کشت شده بودند، گزارش کردند که عملکرد دانه به شدت تحت تأثیر رطوبت خاک قرار گرفته و در شرایط دیم بسیار کاهش می‌یابد. سینگ و سکسینا (۲۲) در ایکریست[1] افزایش عملکرد دانه را با انجام آبیاری تا ۵۶ درصد در مناطق دارای تنش خشکی گزارش کردند.

در مناطق دارای کمبود آب، افزایش بازدهی گیاه هم از طریق ایجاد تغییرات ژنتیکی در گیاه که آن را قادر می‌سازد در محیط های دارای تنش خشکی بهتر عمل نماید و هم از طریق تغییر عملیات زراعی امکان‌پذیر است. بازدهی در شرایط تنش، توسط بیوماس گیاه یا عملکرد دانه تعیین می‌شود اما غالباً بازدهی تولید براساس ثبات تولید یا عملکرد در نواحی دارای تنش خشکی سنجیده می‌شود (۱۹). انتخاب برای عملکرد یا صفات مؤثر در بهبود عملکرد در شرایط تنش خشکی و فراهمی رطوبت مشکلی است که همچنان برای متخصصان اصلاح گیاهان وجود داد. در راستای حل این مشکل معیارهای متفاوتی برای گزینش ژنوتیپ‌ها در شرایط فوق پیشنهاد شده است (۸، ۱۰، ۱۱، ۱۸و۲۱). در این رابطه برغم شناخت مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در تعداد زیادی از گیاهان زراعی، هنوز معیار عملکرد دانه و ثبات آن در محیط های دارای تنش خشکی، برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به خشکی به طور وسیع توسّط متخصصان اصلاح نباتات مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۰).

آرنون (۵) معتقد است که مقاومت به خشکی در یک گیاه به توانایی آن در جذب رطوبت محدود خاک بستگی دارد. به این معنی که درمقدار رطوبت ثابت خاک، توانایی یک ژنوتیپ از ژنوتیپ دیگراز نظر جذب آب بیشتر باشد. متخصصان اصلاح نباتات، عملکرد و پایداری عملکرد گیاه تحت تنش را به عنوان شاخص ارقام مقاوم پیشنهاد می‌نمایند. لانگر و همکاران (۱۴) اختلاف بین بالاترین و پایین‌ترین میانگین عملکرد را به عنوان معیار اولیه ثبات عملکرد برای شرایط محیطی متغیر پیشنهاد و بیان نمودند که ضرایب رگرسیون و دامنه اختلاف‌ها همبستگی بسیار بالایی با ثبات عملکرد دارند (۰/۵۹تا۰/۷۶). بلام (۷) بیان داشت که انتخاب برای مقاومت به خشکی باید با انتخاب مواد ژنتیکی برای پتانسیل عملکرد بالا در شرایط بدون تنش همراه باشد. بنابراین ارقامی که در شرایط رطوبتی مناسب و شرایط تنش خشکی عملکرد با ثبات‌تری داشته و یا لااقل تفاوت عملکرد آنها کم باشد، احتمالاً مقاومت نسبی بیشتری به خشکی

1. International Crop Research Inistitue for the Semi - Arid Tropics (ICRISAT)

خواهند داشت. فیشرو مورو (۱۲) وضعیت عملکرد دانه در شرایط تنش را به عنوان معیار مقاومت به خشکی معرفی کرد، ایشان وضعیت عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و عدم تنش را به عنوان معیار مناسب برای گزینش مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌ها، پیشنهاد نمودند. در ژنوتیپ‌های لوبیا، فرناندز (۱۰) شاخص تحمل به تنش (STI)[1] را به عنوان بهترین معیار برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی کرد. فیشر و مورر (۱۲) و رزیل (۱۵) به ترتیب شاخص حساسیت به تنش (SSI)[2] و شاخص تحمل (TOL)[3] را معرفی نمودند. فرشادفر و همکاران (۳) در ارزیابی ۲۱ لاین نخود، شاخص‌های HM[4]، MP[5]، GMP[6] و STI را مناسب‌ترین شاخص ها برای گزینش لاین‌های مقاوم به خشکی نخود پیشنهاد کردند. کانونی و همکاران (۴) دو شاخص STI و MP را به عنوان مناسب‌ترین شاخص ها برای شناسایی ارقام دارای عملکرد بالا در هر دو محیط دیم (دارای تنش) و آبی (بدون تنش) پیشنهاد نمودند.صدیق و همکاران (۲۳) اثر متقابل فنولوژی گیاه با الگوی مصرف آب و راندمان مصرف آب در گیاه را به عنوان معیارهای کلیدی سازگاری گیاه به محیط های خشک معرفی کردند.

با توجه به موارد اشاره شده ایجاد مقاومت یا تحمل به خشکی در گیاه به عنوان بخشی از یک راهکار تلفیقی، عملی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای کاهش اثرات تنش می‌باشد. در این راستا یک برنامه اصلاحی زمانی موفق خواهد بود که از یک طرف، روش‌های مختلف گزینش را مورد توجه قرار دهد و از طرف دیگر مقدار کافی تنوع در برنامه‌های اصلاحی و یا در مواد در حال تفکیک ایجاد کند (۶). بنابراین جمع‌آوری و بررسی ژرم پلاسم‌های موجود نخود و گزینش آنها برای تنش‌های مختلف از جمله تنش خشکی به عنوان یک ضرورت در اولویت قرار می‌گیرد. آزمایش حاضر با هدف ارزیابی تنوع موجود در۳۴ ژنوتیپ از کلکسیون نخود مشهد از نظر مقاومت به خشکی، بررسی شاخص‌های مقاومت به خشکی و نیز شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های نخود، تعیین بهترین شاخص‌های مقاومت به خشکی برای نخود و نیز گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، تعداد ۳۴ ژنوتیپ از کلکسیون نخود مشهد با رعایت پوشش مناسبی از مناطق مختلف کشت نخود در کشور، انتخاب شدند (جدول ۱). آزمایش در سال زراعی ۱۳۸۲ در دو محل مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مشهد و مرکز تحقیقات کشاورزی نیشابور انجام شد. عملیات تهیه بستر در هر دو محل از پاییز سال ۱۳۸۱ با انجام شخم عمیق به میزان ۳۰ سانتی‌متر آغاز شد. آماده سازی زمین با انجام شخم بهاره، دیسک و سپس تسطیح در فروردین ماه ۱۳۸۲ انجام گرفت. ژنوتیپ‌ها در دو شرایط آبی (بدون تنش) و دیم (دارای تنش) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت از ۳ ردیف بطول ۱/۵ متر تشکیل شد که بر روی هر خط ۱۵ عدد بذر بصورت دستی در عمق ۵ سانتی‌متر کشت شدند. در شرایط آبی (بدون تنش) مطابق عرف منطقه هر ۱۲ روز یک بار اقدام به آبیاری شد ولی در شرایط دیم (دارای تنش) هیچگونه آبیاری پس از کاشت تا انتهای فصل رشد انجام نگرفت. میزان بارندگی در طول فصل رشد و درجه حرارت هوا در شکل ۱ آمده است.

عملیات داشت شامل وجین، مبارزه با آفات و بیماری‌های گیاهی و آبیاری به طور دقیق در طول فصل رشد انجام گرفت. در پایان فصل رشد پس از رسیدگی کامل، عملکرد دانه هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها در هر دو آزمایش آبی و دیم برداشت شد و مورد محاسبه و تجزیه‌های آماری قرار

1. Stress Tolerance Index
2. Stress Susceptiblity Index
3. Tolerance Index
4. Harmonic Mean
5. Mean Productivity
6. Geometric Mean Productivity

گرفت. شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی با استفاده از عملکرد گیاهان در آزمایش آبی (Yp) و آزمایش دیم (Ys) با استفاده از فرمول‌های موجود به شرح زیر محاسبه شدند.

در این فرمول SI[1] شدت تنش، $\overline{Ys}$ میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در آزمایش دیم (دارای تنش) و $\overline{Yp}$ میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط آبی (بدون تنش) می‌باشند.

پس از محاسبه شاخص‌های کمّی، این شاخص‌ها بهمراه عملکرد در شرایط تنش و غیر تنش با استفاده از نرم‌افزارهای Mstat-C و Excel تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. برای تعیین روابط بین صفات، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم نمودارها و همچنین برای ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌ها، تجزیه خوشه‌ای و رسم نمودار دندروگرام از نرم افزار رایانه‌ای STATISTICA استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر کلیه شاخص‌های مقاومت به خشکی و نیز عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش به استثنای شاخص تحمل (TOL) در منطقه مشهد و شاخص حساسیت به تنش (SSI) در دو منطقه مورد آزمایش، اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۲). اختلاف‌های معنی دار دلیل بر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است که امکان انتخاب را برای دستیابی به ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی امکان پذیر ساخته است. وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها و ارقام نخود از نظر شاخص‌های کمّی مقاومت به خشکی در آزمایش های دیگران نیز گزارش شده است (۱، ۳ و۴).

جدول ۱- شماره، نام و مبدا ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش.

شماره ژنوتیپ	نام ژنوتیپ	مبداء
۱	ICCV 92944	ایکریست
۲	ICCV 93032	ایکریست
۳	ICCV 93039	ایکریست
۴	ICCV 93040	ایکریست
۵	ICCV 93042	ایکریست
۶	ICCV 9408	ایکریست
۷	ICC 93033	ایکریست
۸	ICCV 89204	ایکریست
۹	ILC 4958	ایکریست
۱۰	FLIP 99 - 34C	ایکاردا
۱۱	FLIP 98 - 55C	ایکاردا
۱۲	FLIP 98 - 107C	ایکاردا
۱۳	FLIP 98 - 130C	ایکاردا
۱۴	FLIP 98 - 131C	ایکاردا
۱۵	FLIP 99 - 48C	ایکاردا
۱۶	13[2]MCC	ایران
۱۷	MCC 448	ایران
۱۸	MCC 5	ایران
۱۹	MCC 10	ایران
۲۰	MCC 12	ایران
۲۱	MCC 116	ایران
۲۲	MCC 115	ایران
۲۳	MCC 123	ایران
۲۴	MCC 119	ایران
۲۵	MCC 183	ایران
۲۶	MCC 464	ایران
۲۷	MCC 465	ایران
۲۸	MCC 120	ایران
۲۹	MCC 441	ایران
۳۰	MCC 476	ایران
۳۱	MCC 460	ایران
۳۲	MCC 191	ایران
۳۳	MCC 14	ایران
۳۴	MCC 180	ایران

1. Stress Intensity

2. Mashhad Chickpea Collection (MCC)

۱) شاخص تحمل (TOL)

$$TOL = Yp - Ys$$

۲) شاخص بهره‌وری متوسط

$$MP = \frac{Ys + Yp}{۲}$$

۳) شاخص تحمل به تنش (STI)

$$STI = (Yp \cdot Ys) / (\overline{Y}p)^2$$

۴) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

$$GMP = \sqrt{Ys.Yp}$$

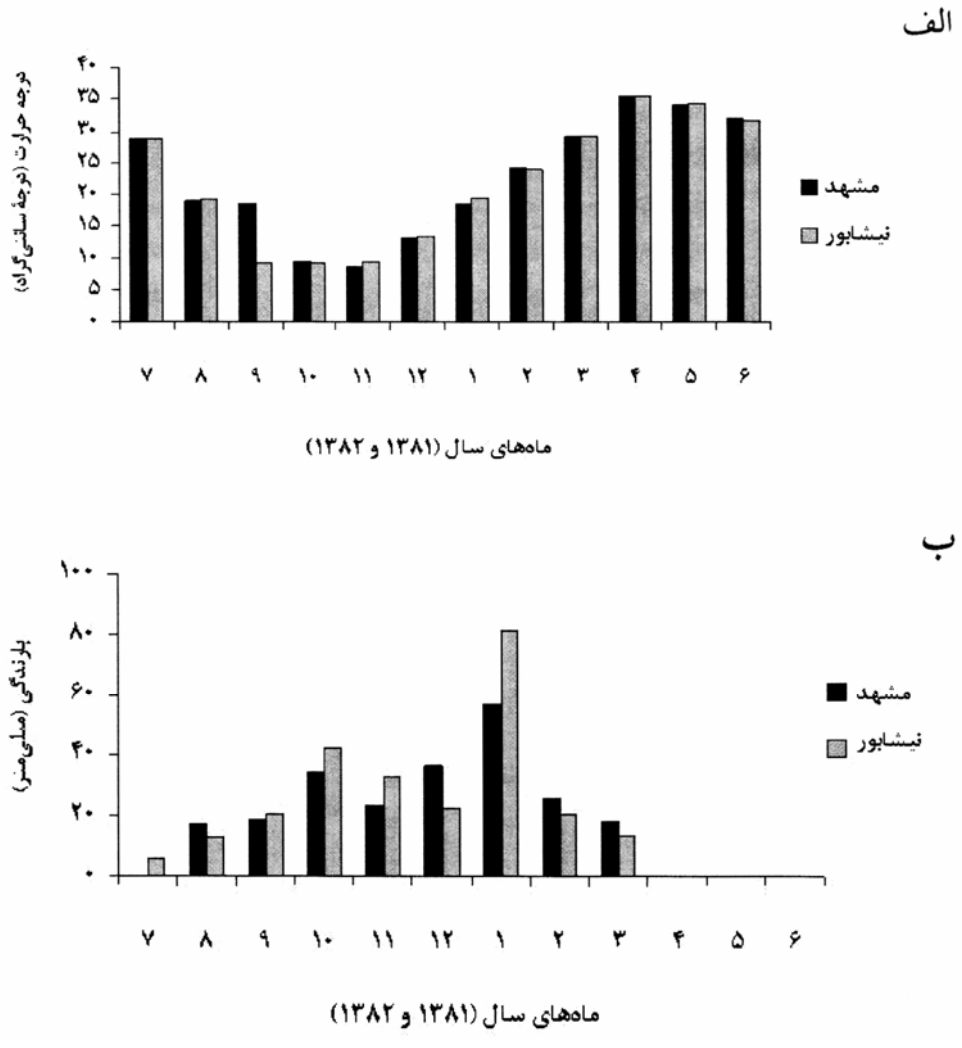
۵) شاخص میانگین هارمونیک (HM)

$$HM = ۲ (Yp. Ys) / (Yp + Ys)$$

۶) شاخص حساسیت به تنش (SSI)

$$SSI = ۱ - (Ys / Y) / SI$$

$$SI = ۱ - (\overline{Y}s / \overline{Y}p)$$



شکل ۱- تغییرات دما (الف) و بارندگی (ب) در ماه‌های بین مهر ۸۱ تا شهریور ۸۲ در مزارع تحقیقاتی مشهد و نیشابور.

در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۳۱ در هر دو منطقه دارای بیشترین عملکرد دانه بودند و اختلاف آنها از نظر آماری معنی‌دار نبود در حالیکه در شرایط تنش ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۹ در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها حائز برتری بودند (جداول ۳ و ۴). داده های جداول فوق نشان داد که در منطقه مشهد عملکرد در شرایط تنش بیش از منطقه نیشابور بوده که این موضوع احتمالاً به نزولات بیشتر و درصد رطوبت وزنی بیشتر خاک (داده ها نشان داده نشده است) این منطقه، نسبت به مزرعه نیشابور در دوران گلدهی و پس از آن مربوط می‌شود (شکل ۱). مطالعات متعدد، افزایش معنی دار عملکرد دانه نخود را با افزایش درصد رطوبت خاک در شرایط دیم گزارش کرده‌اند (۲، ۴، ۱۶، ۱۷و۲۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی و عملکرد در شرایط آبی و دیم در منطقه مشهد (الف) و نیشابور (ب).

الف

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		TOL	MP	SSI	GMP	STI	HM	YP	YS
ژنوتیپ	۳۳	۶۴/۲۴	۵۱/۴۱**	۰/۱۳۸	۴۰/۳۰**	۰/۲۴**	۳۸/۶۶**	۱۱۱/۰۷**	۲۵/۲۴**
تکرار	۲	۴۰/۱۶	۱۲۳/۷۴**	۰/۰۰۳	۱۲۸/۱۶**	۰/۴۰	۱۰۹/۰۹**	۱۸۹/۱۰**	۷۵/۸۹**
اشتباه	۶۶	۴۲/۳۷	۱۴/۸۵	۰/۱۲۱	۱۵/۵۵	**۰/۱۹**	۱۶/۶۰	۳۸/۸۹	۱۲/۲۵

ب

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		TOL	MP	SSI	GMP	STI	HM	YP	YS
ژنوتیپ	۳۳	۵۸/۹۵**	۱۸/۳۵**	۰/۰۸	۲۲/۱۲*	۰/۱۸۷**	۲۱/۱۱*	۵۹/۸۵*	۱۰/۶۶*
تکرار	۲	۳۳۴/۷۰**	۹۲/۱۸**	۰/۰۱۷	۲۰/۸۰**	۱/۳۰	۳/۱۷**	۳۵/۱۲**	۰/۱۱*
اشتباه	۶۶	۳۶/۲۸	۱۰/۴۰	۰/۰۸	۱۳/۰۶	۰/۱۰	۱۲/۹۰	۳۳/۳۴	۵/۵

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

- Ys عملکرد در شرایط تنش، Yp عملکرد در شرایط بدون تنش، HM میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمّل تنش، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به خشکی، MP میانگین بهره‌وری، TOL شاخص تحمل.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌های نخود در مشهد.

ژنوتیپ	TOL		MP		SSI		GMP		STI		HM		YP (kg/ha)		YS (kg/ha)	
۱	۷۱۹/۳۲	ad*	۵۷۴/۲۰	de	۰/۶۸	ac	۴۴۰/۲۰	cd	۰/۱۰	b	۳۴۳/۱۰	c	۸۹۹/۱۰	ce	۲۱۵/۹۰	bc
۲	۱۰۴۲/۴۲	ac	۱۱۶۱/۰۰	ae	۰/۷۶	ac	۹۵۷/۶۰	ad	۰/۵۷	b	۹۲۶/۴۰	ac	۱۶۸۲/۱۰	af	۶۳۹/۳۰	bc
۳	۱۰۹۲/۵۰	ac	۱۰۷۳/۰۰	ae	۱/۲۱	bc	۷۰۹/۷۰	bd	۰/۱۳	b	۵۲۴/۸۰	bc	۱۴۵۱/۸۳	af	۳۵۹/۷۰	bc
۴	۸۴۴/۴۵	ac	۱۵۲۲/۰۰	ad	۰/۶۰	ac	۱۴۶۲/۰۰	ad	۱/۰۶	ab	۱۴۰۵/۰۰	ac	۱۹۴۴/۷۱	af	۱۱۰۰/۰۰	ab
۵	۱۴۳۳/۹۶	ac	۱۰۸۳/۰۰	ae	۱/۱۲	ab	۷۲۸/۶۰	bd	۰/۱۶	b	۶۰۷/۳۰	bc	۱۸۰۰/۰۰	af	۳۶۵/۷۰	bc
۶	۱۲۶۳/۵۰	ac	۱۰۰۸/۰۰	ae	۱/۰۸	ab	۷۶۱/۶۰	bd	۰/۳۱	b	۶۱۱/۵۰	bc	۱۸۰۱/۳۳	af	۳۷۶/۰۰	bc
۷	۹۳۵/۸۷	ac	۱۰۲۸/۰۰	ae	۰/۹۰	ac	۹۱۳/۸۰	bd	۰/۳۸	b	۸۱۲/۷۰	bc	۱۴۹۶/۰۰	af	۵۵۹/۷۰	bc
۸	۱۱۲۷/۵۹	ac	۹۵۸/۰۰	be	۱/۰۰	ac	۷۵۰/۳۰	bd	۰/۲۷	b	۵۹۷/۷۰	bc	۱۶۱۵/۷۶	af	۳۹۴/۷۰	bc
۹	۹۰۹/۲۶	ac	۱۴۱۸/۰۰	ad	۰/۷۷	ac	۹۷۷/۳۰	ad	۰/۷۷	b	۱۱۸۰/۰۰	ab	۱۸۷۳/۰۹	af	۹۶۳/۰۰	abc
۱۰	۱۳۳۸/۳۸	ac	۸۹۸/۲۰	ce	۱/۲۴	a	۵۹۲/۲۰	cd	۰/۱۵	b	۳۹۵/۲۰	c	۱۵۶۷/۳۷	af	۲۲۸/۳۰	bc
۱۱	۷۹۲/۱۴	ad	۷۵۴/۶۰	ce	۱/۰۱	ac	۷۸۹/۰۰	bd	۰/۲۰	b	۵۲۲/۳۰	bc	۱۱۵۰/۷۰	bf	۳۵۸/۰۰	bc
۱۲	۳۸۷/۲۵	cd	۴۸۳/۴۰	de	۰/۶۸	ac	۴۱۱/۵۰	cd	۰/۰۸	b	۴۱۵/۲۰	bc	۶۸۵/۹۳	df	۲۹۸/۳۰	bc
۱۳	۴۴۱/۱۹	bd	۵۸۳/۰۰	de	۰/۷۷	ac	۵۳۶/۳۰	cd	۰/۱۰	b	۵۰۱/۶۰	bc	۸۰۵/۲۳	ef	۳۶۴/۰۰	bc
۱۴	۸۴۱/۳۴	ad	۵۴۶/۱۰	de	۱/۱۷	a	۳۱۲/۵۰	d	۰/۰۴	b	۲۰۰/۰۰	c	۹۶۶/۸۱	cf	۱۲۵/۳۰	c
۱۵	۶۸۴/۷۰	ad	۵۵۰/۹۰	de	۱/۱۱	ab	۴۲۵/۰۰	cd	۰/۰۷	b	۳۰۹/۵۰	c	۸۹۲/۷۷	cf	۲۰۸/۰۰	bc
۱۶	۸۵۶/۴۳	ad	۱۹۸۸/۰۰	a	۰/۵۳	ac	۱۹۳۱/۰۰	ad	۱/۶۰	a	۱۸۹۶/۰۰	a	۲۴۱۶/۳۳	ac	۱۵۵۹/۰۰	a
۱۷	۱۹۴۰/۰۶	a	۱۷۱۵/۰۰	ac	۱/۰۹	ab	۱۳۷۶/۰۰	ad	۰/۸۱	b	۱۱۶۶/۰۰	ab	۲۶۸۵/۰۲	ab	۷۴۴/۹۶	abc

*: در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارد ($p<0.05$).

Ys عملکرد در شرایط تنش، Yp عملکرد در شرایط بدون تنش، HM میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمّل تنش، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به خشکی، MP میانگین بهره‌وری، TOL شاخص تحمل.

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌های نخود در مشهد.

ژنوتیپ	TOL		MP		SSI		GMP		STI		HM		YP (kg/ha)		YS (kg/ha)	
۱۸	۱۵۵۵/۰۷	ac*	۱۱۴۷/۰۰	ae	۱/۰۵	ac	۸۰۸/۴۰	bd	۰/۲۸	b	۶۲۰/۹۰	bc	۱۹۲۴/۸۰	af	۳۶۹/۷۲	bc
۱۹	۱۷۹۷/۸۷	ab	۱۹۶۱/۰۰	ab	۰/۹۲	ac	۱۷۴۲/۰۰	ad	۱/۲۳	a	۱۵۴۸/۰۰	ab	۲۸۵۹/۶۶	a	۱۰۶۱/۷۹	ab
۲۰	۱۱۴۳/۹۹	ac	۹۷۹/۰۰	be	۱/۰۵	ac	۷۶۷/۳۰	bd	۰/۲۵	b	۶۱۴/۴۰	bc	۱۵۵۱/۸۲	af	۴۰۷/۸۲	bc
۲۱	۱۱۱۸/۵۲	ac	۹۸۳/۷۰	be	۱/۰۳	ac	۷۷۳/۴۰	bd	۰/۳۳	b	۶۳۱/۶۰	bc	۱۵۴۲/۹۲	af	۴۲۴/۴۰	bc
۲۲	۸۹۹/۳۶	ad	۸۳۲/۳۰	ce	۱/۰۲	ac	۶۹۸/۵۰	bd	۰/۲۱	b	۵۸۸/۰۰	bc	۱۲۸۲/۰۲	af	۳۸۲/۶۶	bc
۲۳	۹۵۰/۱۷	ac	۶۸۱/۱۰	de	۱/۱۷	bc	۴۸۸/۳۰	cd	۰/۱۴	b	۳۲۶/۷۰	bc	۱۱۵۶/۲۵	af	۲۰۶/۹۵	bc
۲۴	۱۳۱۲/۶۱	ac	۱۳۵۹/۱۰	ad	۰/۸۰	ac	۱۱۵۷/۰۰	ad	۰/۶۰	b	۹۹۳/۱۰	ab	۲۰۱۵/۵۷	af	۷۰۲/۹۵	bc
۲۵	۱۵۳۰/۰۹	ac	۱۲۵۸/۰۰	ae	۱/۰۷	ab	۹۶۶/۴۰	ad	۰/۴۰	b	۷۶۲/۰۰	bc	۲۰۲۳/۲۹	ae	۴۹۳/۲۰	bc
۲۶	۱۱۲۷/۴۹	ac	۱۱۸۳/۰۰	ae	۰/۹۱	ac	۱۰۳۱/۰۰	ad	۰/۵۲	b	۹۰۱/۶۰	ac	۱۷۴۷/۰۰	af	۶۱۹/۵۰	bc
۲۷	۱۱۱۲/۴۴	ac	۱۰۸۵/۳۰	ce	۰/۶۶	ac	۹۳۲/۶۷	bd	۰/۳۰	b	۸۰۱/۸۰	bc	۱۶۴۲/۱۵	af	۵۲۹/۷۱	bc
۲۸	۱۵۲/۲۹	d	۵۳۵/۰۰	de	/۷۷	ab	۵۲۰/۱۰	cd	۰/۱۰	b	۵۰۷/۱۰	bc	۶۱۱/۲۰	ef	۴۵۸/۰۳	bc
۲۹	۱۸۸۰/۰۸	a	۱۳۵۹/۰۰	ad	۱/۱۸	a	۹۷۰/۷۰	ad	۰/۴۱	b	۷۰۰/۸۰	bc	۲۲۹۸/۹۷	ad	۴۱۸/۸۹	bc
۳۰	۶۱۵/۸۹	bd	۶۴۵/۷۰	de	۰/۳۷	c	۳۸۶/۶۰	cd	۰/۱۴	b	۴۹۹/۱۰	bc	۹۵۳/۵۰	cf	۳۳۸/۲۷	bc
۳۱	۱۵۴۴/۶۰	ac	۱۲۱۰/۰۰	ae	۱/۰۷	ab	۷۹۷/۸۰	bd	۰/۳۰	b	۷۱۸/۶۰	bc	۱۹۸۳/۴۷	af	۴۳۸/۴۸	bc
۳۲	۱۳۳۷/۲۱	ac	۹۴۱/۴۰	ce	۱/۱۰	ab	۶۴۱/۷۰	bd	۰/۱۹	b	۴۵۲/۷۰	bc	۱۶۱۶/۱۲	af	۲۷۷/۸۴	bc
۳۳	۱۴۴۹/۴۷	ac	۱۳۴۵/۰۰	ad	۱/۰۲	ac	۱۰۷۹/۴۰	ad	۰/۴۶	b	۸۹۶/۳۰	ac	۲۰۲۴/۹۸	ae	۵۷۵/۸۳	bc
۳۴	۸۲۰/۴۹	ad	۵۰۸/۸۰	e	۱/۲۸	a	۳۰۰/۳۱	d	۰/۰۴	b	۱۷۷/۱۰	c	۹۱۸/۶۶	cf	۹۸/۱۷	c

*: در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارد ($p<0.05$).

Ys عملکرد در شرایط تنش، Yp عملکرد در شرایط بدون تنش، HM میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمّل تنش، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به خشکی، MP میانگین بهره‌وری، TOL شاخص تحمل.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌های نخود در نیشابور.

ژنوتیپ	TOL		MP		SSI		GMP		STI		HM		YP (kg/ha)		YS (kg/ha)	
۱	۱۶۵۷/۶۳	ad*	۹۹۴/۹۱	bf	۱/۳۲	a	۵۱۳/۳۰	ce	۰/۱۲	de	۲۹۱/۸۸	cd	۱۸۲۳/۷۲	ah	۱۶۶/۱۰	bc
۲	۱۶۷۱/۷۶	ad	۱۱۵۷/۱۳	af	۱/۱۸	a	۶۴۸/۸۷	be	۰/۲۱	ce	۴۶۲/۷۳	bd	۱۹۹۳/۰۱	ah	۳۲۱/۲۵	bc
۳	۱۱۶۰/۶۰	cd	۸۴۹/۸۴	df	۱/۲۲	a	۵۸۹/۴۵	be	۰/۱۸	de	۴۳۴/۴۲	bd	۱۴۳۰/۱۵	bh	۲۶۹/۵۴	bc
۴	۷۴۴/۳۸	cd	۱۳۴۰/۸۵	ae	۰/۶۲	ac	۱۲۸۸/۴۳	ac	۰/۶۷	bd	۱۲۳۷/۴۸	ab	۱۷۱۳/۰۵	ah	۹۶۸/۶۶	ab
۵	۱۵۹۳/۵۸	ad	۱۰۶۳/۰۰	af	۱/۱۵	a	۱۱۵۶/۹۰	ac	۰/۹۱	ab	۸۰۰/۵۷	ad	۲۰۷۶/۳۲	ah	۴۸۳/۶۹	ac
۶	۱۲۴۹/۴۷	cd	۹۷۶/۷۶	bf	۱/۱۳	a	۷۴۱/۴۹	be	۰/۲۵	ce	۵۶۹/۵۶	bd	۱۶۰۱/۵۰	ah	۳۵۲/۰۳	bc
۷	۱۹۹۶/۳۶	ac	۱۱۴۵/۳۸	af	۱/۳۶	a	۴۷۶/۴۱	ce	۰/۱۳	de	۲۵۷/۲۰	cd	۲۱۴۳/۵۶	ag	۱۴۷/۲۰	bc
۸	۱۹۷۸/۸۴	ac	۱۱۳۲/۴۴	af	۱/۳۴	a	۴۴۹/۱۷	ce	۰/۱۰	e	۲۴۶/۴۰	cd	۲۱۲۱/۸۶	ah	۱۴۳/۰۲	bc
۹	۱۳۹۵/۹۶	bd	۸۹۸/۲۹	cf	۱/۲۵	a	۵۳۱/۲۵	ce	۰/۱۲	de	۳۴۲/۰۶	bd	۱۵۹۶/۲۷	ah	۲۰۰/۳۱	bc
۱۰	۵۳۰/۴۸	d	۷۰۱/۲۹	ef	۰/۸۸	ac	۶۳۲/۹۷	be	۰/۲۶	be	۵۷۵/۷۰	bd	۹۶۶/۵۳	h	۴۳۶/۰۵	ac
۱۱	۱۳۲۵/۲۸	bd	۸۰۹/۰۲	df	۱/۲۹	a	۴۵۵/۵۴	ce	۰/۰۹	e	۲۶۳/۱۴	cd	۱۴۷۱/۶۷	bh	۱۴۶/۳۸	bc
۱۲	۱۱۰۶/۵۶	cd	۹۲۰/۷۵	bf	۱/۰۸	a	۷۱۹/۷۴	be	۰/۳۲	be	۵۷۳/۲۸	bd	۱۴۷۶/۰۳	bh	۳۶۷/۴۶	bc
۱۳	۱۴۳۹/۴۷	ad	۸۳۶/۸۵	df	۱/۳۴	a	۳۴۴/۴۲	e	۰/۰۷	e	۱۹۹/۱۵	cd	۱۵۵۶/۵۸	ah	۱۱۷/۱۱	c
۱۴	۱۰۰۴/۲۶	cd	۷۴۴/۶۸	df	۱/۱۴	a	۵۳۸/۵۳	ce	۰/۱۳	de	۳۹۶/۳۲	bd	۱۲۴۶/۸۱	eh	۲۴۲/۵۵	bc
۱۵	۱۲۸۹/۹۱	cd	۸۵۰/۶۳	df	۱/۲۵	a	۴۹۶/۹۴	ce	۰/۲۱	ce	۳۴۰/۸۸	bd	۱۴۹۵/۵۹	bh	۲۰۵/۶۸	bc
۱۶	۱۳۱۳/۴۱	bd	۱۷۵۵/۱۷	a	۰/۷۷	ac	۱۶۲۷/۷۵	a	۱/۰۸	a	۱۵۰۹/۱۴	a	۲۴۱۱/۸۸	ae	۱۰۹۸/۴۶	a
۱۷	۱۴۳۱/۴۵	ad	۱۱۲۱/۸۴	af	۱/۰۶	a	۷۱۷/۳۱	be	۰/۲۵	ce	۵۵۱/۵۵	bd	۱۸۳۷/۵۶	ah	۴۰۶/۱۱	ac

*: در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارد ($p<0.05$).

Ys عملکرد در شرایط تنش، Yp عملکرد در شرایط بدون تنش، HM میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمّل تنش، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به خشکی، MP میانگین بهره‌وری، TOL شاخص تحمل.

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌های نخود در نیشابور.

ژنوتیپ	TOL		MP		SSI		GMP		STI		HM		YP (kg/ha)		YS (kg/ha)	
۱۸	۱۴۸۲/۱۷	ad*	۱۶۸۵/۵۱	ac	۰/۸۸	ac	۱۴۹۴/۰۳	ac	۱/۰۷	a	۱۳۳۱/۶۷	ab	۲۴۲۶/۶۰	ac	۹۴۴/۴۳	ab
۱۹	۲۰۲۳/۵۵	ca	۱۷۲۷/۳۱	ac	۰/۹۱	ab	۱۵۲۴/۱۸	ab	۰/۹۴	ab	۱۳۴۵/۶۵	ab	۲۵۳۹/۰۸	ac	۹۱۵/۵۳	ab
۲۰	۱۶۲۳/۳۷	-d-	۱۳۴۶/۵۳	ea	۱/۳۹	a	۴۰۴/۴۴	de	۰/۰۷	e	۱۵۴/۶۱	cd	۲۶۱۰/۲۱	ab	۸۲/۸۴	c
۲۱	۱۷۵۲/۳۰	ad	۱۲۰۷/۱۲	af	۱/۱۹	a	۷۱۷/۴۶	be	۰/۲۶	ce	۴۹۴/۶۲	bd	۲۰۸۳/۲۷	ah	۳۳۰/۹۸	bc
۲۲	۱۶۹۸/۵۵	ad	۱۲۴۵/۹۸	af	۰/۹۹	ab	۷۶۷/۵۸	be	۰/۳۵	be	۵۳۱/۸۲	bd	۲۰۹۵/۲۶	ah	۳۹۶/۷۱	bc
۲۳	۸۹۷/۶۹	bd	۸۷۵/۱۹	f	۱/۳۴	a	۳۶۳/۶۲	e	۰/۰۹	e	۱۷۲/۵۶	cd	۱۶۵۸/۰۴	ah	۹۲/۳۴	c
۲۴	۱۲۲۹/۳۸	cd	۱۰۲۱/۱۸	bf	۰/۹۸	ab	۷۶۲/۴۵	be	۰/۲۸	be	۵۹۲/۵۳	bd	۱۶۳۵/۸۷	ah	۴۰۶/۴۹	abc
۲۵	۸۵۹/۹۵	cd	۹۰۴/۹۹	ef	۰/۹۲	ab	۷۳۳/۴۶	be	۰/۲۴	ce	۶۳۱/۹۲	bd	۱۳۳۴/۹۷	dh	۴۷۵/۰۲	abc
۲۶	۱۹۳۴/۱۶	ac	۱۲۲۹/۴۸	af	۱/۲۸	a	۷۲۰/۹۰	be	۰/۳۰	be	۴۵۱/۳۷	bd	۲۱۹۶/۵۶	af	۲۶۲/۴۰	bc
۲۷	۱۴۵۹/۰۶	ad	۱۰۸۷/۶۷	af	۰/۸۶	ac	۷۶۳/۳۰	be	۰/۳۸	be	۵۶۱/۴۳	bd	۱۸۱۷/۲۰	ah	۳۵۸/۱۴	bc
۲۸	۱۵۶۵/۴۷	ad	۶۲۱/۷۲	df	۱/۳۸	a	۲۷۴/۲۲	e	۰/۰۴	e	۱۵۳/۵۹	cd	۱۰۷۰/۴۶	gh	۱۷۲/۹۹	bc
۲۹	۱۱۰۳/۷۱	cd	۱۰۷۴/۶۹	af	۰/۹۶	ab	۸۴۴/۵۵	ae	۰/۴۲	be	۷۰۷/۷۷	ad	۱۶۲۶/۵۵	ah	۵۲۲/۸۴	abc
۳۰	۱۰۳۴/۲۶	cd	۹۳۴/۰۱	bf	۱/۰۶	a	۷۳۳/۳۵	be	۰/۳۴	be	۵۹۸/۳۳	bd	۱۴۵۱/۱۵	bh	۴۱۶/۸۸	abc
۳۱	۲۲۰۱/۲	a	۱۳۶۷/۸۷	ad	۰/۷۰	bc	۳۵۱/۸۵	e	۰/۰۵	e	۹۵/۱۰	d	۲۶۸۷/۱۶	a	۴۸/۵۸	abc
۳۲	۱۶۲۸/۱۵	ad	۱۱۲۵/۱۲	af	۱/۱۷	a	۶۹۱/۰۰	be	۰/۲۴	ce	۴۹۳/۶۲	bd	۱۹۳۹/۲۰	ah	۳۱۱/۰۵	bc
۳۳	۱۴۹۶/۳۱	ad	۱۰۱۹/۸۲	bf	۱/۲۸	a	۵۸۱/۰۲	be	۰/۳۸	be	۴۲۳/۳۲	bd	۱۷۶۷/۹۷	ah	۲۷۱/۶۶	bc
۳۴	۶۵۱/۶۷	cd	۶۸۹/۱۸	f	۰/۴۳	cb	۵۳۴/۸۶	ce	۰/۱۵	de	۴۳۳/۵۴	bd	۱۰۱۵/۰۱	gh	۳۶۳/۳۴	bc

*: در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری تفاوت معنی داری ندارد ($p<0.05$).

Ys عملکرد در شرایط تنش، Yp عملکرد در شرایط بدون تنش، HM میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمّل تنش، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به خشکی، MP میانگین بهره‌وری، TOL شاخص تحمل.

شاخص‌های کمّی مقاومت به خشکی شامل میانگین‌هارمونیک (HM)، شاخص تحمل به تنش (STI) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و شاخص بهره‌وری متوسط (MP) در ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۹، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ در منطقه مشهد و ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۱۶، ۱۸ و ۱۹ در منطقه نیشابور حداکثر بودند (جداول ۳ و ۴). مقاسیه میانگین‌ها، علیرغم معنی‌دار نبودن آزمون F برای شاخص حساسیت به خشکی (SSI) (جدول ۲) در سطح احتمال خطای ۵ درصد اختلافات معنی‌داری را بین برخی از ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد به طوری که کمترین شاخص حساسیت به تنش در ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۳۰ بترتیب با مقادیر ۰/۶، ۰/۵۳ و ۰/۳۷ در منطقه مشهد و ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۳۱ به ترتیب با مقادیر ۰/۶۲، ۰/۷۷ و ۰/۷۰ در منطقه نیشابور مشاهده شد (جداول ۳ و ۴).

به منظور دستیابی به بهترین معیار برای ارزیابی مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌ها از تجزیه همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش با شاخص‌های مقاومت به خشکی استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی شاخص‌های مقاومت به خشکی با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۵ خلاصه شده است. شاخص‌های MP، GMP، STI و HM در هر دو منطقه آزمایش همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش داشتند. شاخص SSI در هر دو منطقه همبستگی منفی و معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش داشت اما همبستگی آن با عملکرد در شرایط بدون تنش مثبت بود. همبستگی شاخص TOL با عملکرد در شرایط بدون تنش مثبت و معنی‌دار بود امّا همبستگی آن با عملکرد در شرایط تنش معنی‌دار نبود. کانونی و همکاران (۴)، فرشادفر و همکاران (۳) امام جمعه و همکاران (۱) و فرناندز (۱۰) در مطالعات خود به نتایج مشابه اشاره کردند. با توجه به نتایج جدول ۵ می‌توان چنین نتیجه گرفت که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM که همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش داشتند، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی خواهند بود. امام جمعه و همکاران (۱) فرشادفر و همکاران (۳) در مطالعه لاین‌های نخود، شاخص‌های فوق را به عنوان بهترین معیار برای گزینش مقاومت به خشکی پیشنهاد کردند. کانونی و همکاران (۴) در نخود و فرناندز (۱۰) در لوبیا دو شاخص MP و STI را به عنوان بهترین معیار برای شناسایی لاین‌های مقاوم به خشکی معرفی کردند. از آنجاییکه ممکن است نتایج حاصل از گزینش براساس همبستگی‌های مشاهده شده به اندازه نتایج حاصل از تک تک ژنوتیپ‌ها به صورت انفرادی مؤثر نباشد لذا برای تعیین ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی از نمودار پراکنش سه بعدی استفاده شد.

نمودار سه بعدی رابطه بین سه متغیر، عملکرد در شرایط تنش (Ys)، عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و شاخص‌های مقاومت به خشکی مانند GMP شکل (۲)، MH (شکل ۳)، MP شکل (۴) و STI شکل (۵) در دو منطقه مشهد و نیشابور را نشان می‌دهد. در نمودار پراکنش سه بعدی با تقسیم‌بندی سطح پایین نمودار (سطح X با Y) به چهار قسمت مساوی ژنوتیپ‌ها به چهارگروه مجزا دسته‌بندی شدند.

گروه A: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالایی بودند.

گروه B: ژنوتیپ‌هایی که در محیط بدون تنش دارای عملکرد بالا و در محیط تنش دارای عملکرد پایینی بودند.

گروه C: ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش دارای عملکرد بالا و در محیط بدون تنش دارای عملکرد پایینی بودند.

گروه D: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد پایینی داشتند.

جدول۵ ـ ضرایب همبستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) و شرایط بدون تنش (Yp) در مزرعه تحقیقاتی مشهد (الف) و نیشابور (ب).

الف):

متغیر	YS	YP	TOL	MP	SSI	GMP	STI	HM
YS	۱/۰۰							
YP	۰/۴۸**	۱/۰۰						
TOL	-۰/۱۴	۰/۸۵**	۱/۰۰					
MP	۰/۷۵**	۰/۹۴**	۰/۶۲**	۱/۰۰				
SSI	-۰/۵۶**	۰/۳۰*	۰/۶۵**	-۰/۰۳	۱/۰۰			
GMP	۰/۹۱**	۰/۷۴**	۰/۳۰*	۰/۹۱**	-۰/۲۶*	۱/۰۰		
STI	۰/۸۴**	۰/۳۸*	۰/۱۱	۰/۵۰**	-۰/۲۳*	۰/۵۵**	۱/۰۰	
HA	۰/۹۸**	۰/۵۹**	۰/۰۸	۰/۸۳**	-۰/۴۴**	۰/۹۶**	۰/۵۶*	۱/۰۰

ب):

متغیر	YS	YP	TOL	MP	SSI	GMP	STI	HM
YS	۱/۰۰							
YP	۰/۲۴*	۱/۰۰						
TOL	-۰/۱۶	۰/۳۵*	۱/۰۰					
MP	۰/۴۲**	۰/۹۳**	۰/۲۱*	۱/۰۰				
SSI	-۰/۷۸**	۰/۳۳*	۰/۲۸*	۰/۰۸	۱/۰۰			
GMP	۰/۸۹**	۰/۳۴*	۰/۱۲	۰/۶۷**	-۰/۵۱**	۱/۰۰		
STI	۰/۷۱**	۰/۳۴*	۰/۱۰	۰/۶۰**	-۰/۳۷*	۰/۸۷**	۱/۰۰	
HA	۰/۹۷**	۰/۴۶**	-۰/۱۶	۰/۵۴**	-۰/۶۸**	۰/۹۶**	۰/۷۹*	۱/۰۰

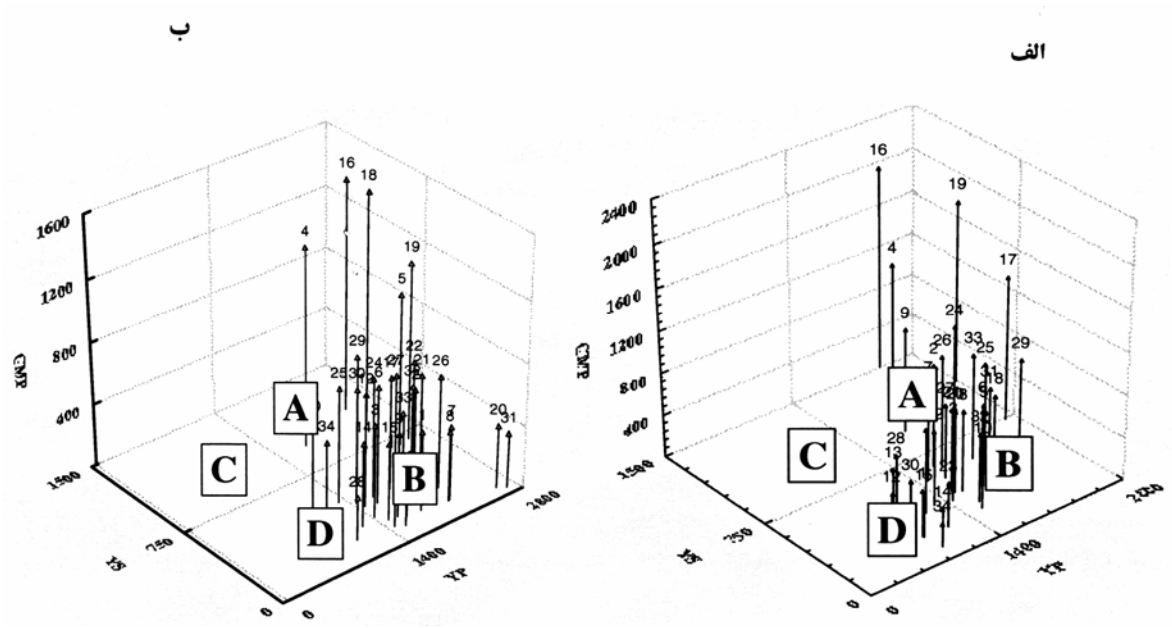
**، * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

* Ys- عملکرد در شرایط تنش، Yp عملکرد در شرایط بدون تنش، HM میانگین‌های هارمونیک، STI شاخص تحمّل تنش، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به خشکی، MP میانگین بهره‌وری، TOL شاخص تحمل.

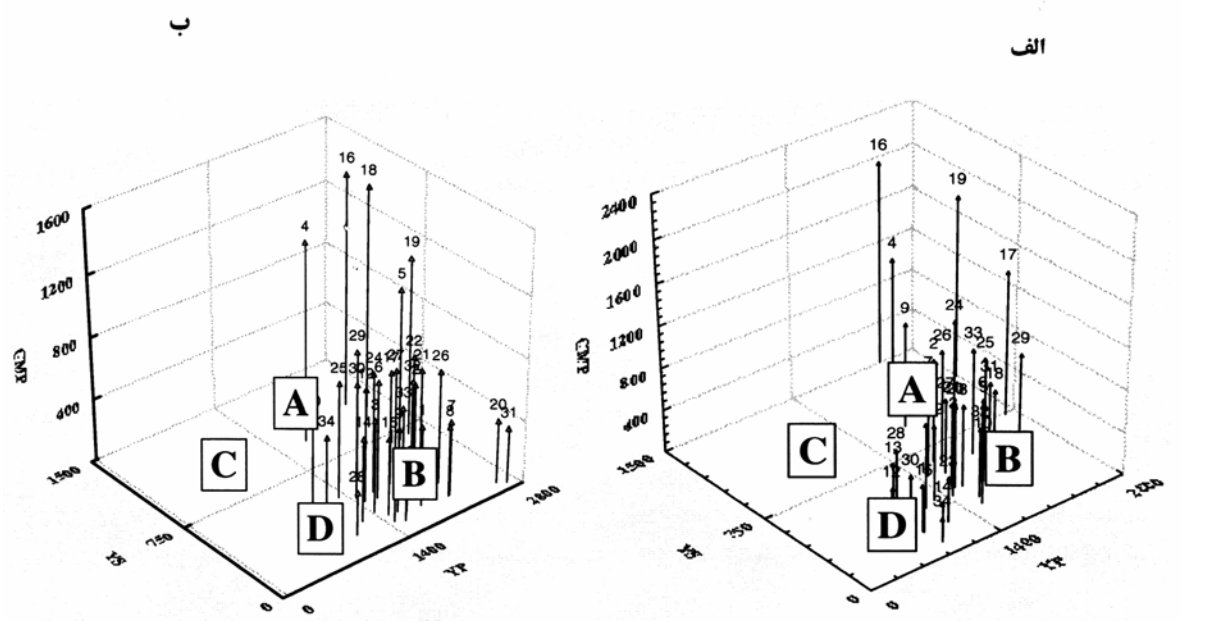
فرناندز (۱۰) بیان داشت بهترین شاخص برای تعیین ارقام و لاین‌های مقاوم به خشکی آن است که بتواند گروه A را از سایر گروه‌ها جدا نماید. نتایج حاصل از ارزیابی نمودارهای پراکنش سه بعدی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی (شکل‌های ۲ الی ۵) در دو منطقه مورد مطالعه نشان داد که ژنوتیپ‌های ۴، ۹، ۱۶، ۱۷، ۱۹ و ۲۴ در منطقهٔ مشهد و ژنوتیپ‌های ۴، ۵، ۱۶، ۱۸، ۱۹ و ۲۹ در منطقه نیشابور در گروه A قرار می‌گیرند. این ژنوتیپ‌ها ضمن اینکه عملکرد بالایی در محیط تنش داشتند در محیط بدون تنش نیز عملکردشان بالا بود. ژنوتیپ‌های ۱۲، ۱۳، ۲۸، ۳۰ و ۳۴ در منطقه مشهد و ژنوتیپ‌های ۱۰، ۲۳، ۲۸ و ۳۴ در منطقه نیشابور در گروه D قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های فوق دارای عملکرد پایین در هر دو محیط تنش و بدون تنش می‌بودند و بنابراین در گروه ارقام حساس به خشکی قرار می‌گرفتند که برای کشت در شرایط دیم و مناطق کم باران مناسب نخواهند بود. کاربرد نمودار پراکنش سه بعدی برای تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها در نخود توسط محققان مختلف گزارش شده است (۱، ۳، ۴ و ۱۰). نمودار پراکنش سه بعدی تنها رابطه سه

متغیر را بررسی می‌کند لذا در این آزمایش از نمودار چند متغیره بای‌پلات برای خلاصه کردن ماتریس داده‌های چند متغیره و ارائه آنها به صورت قابل تفسیر استفاده شد. بر این اساس ابتدا ماتریس داده‌های مربوط به شاخص‌های مقاومت به خشکی جدول‌های (۳ و ۴) به ۵ مؤلفه تقسیم گردید. نتایج حاصل از این تجزیه در جدول (۶) آمده است.

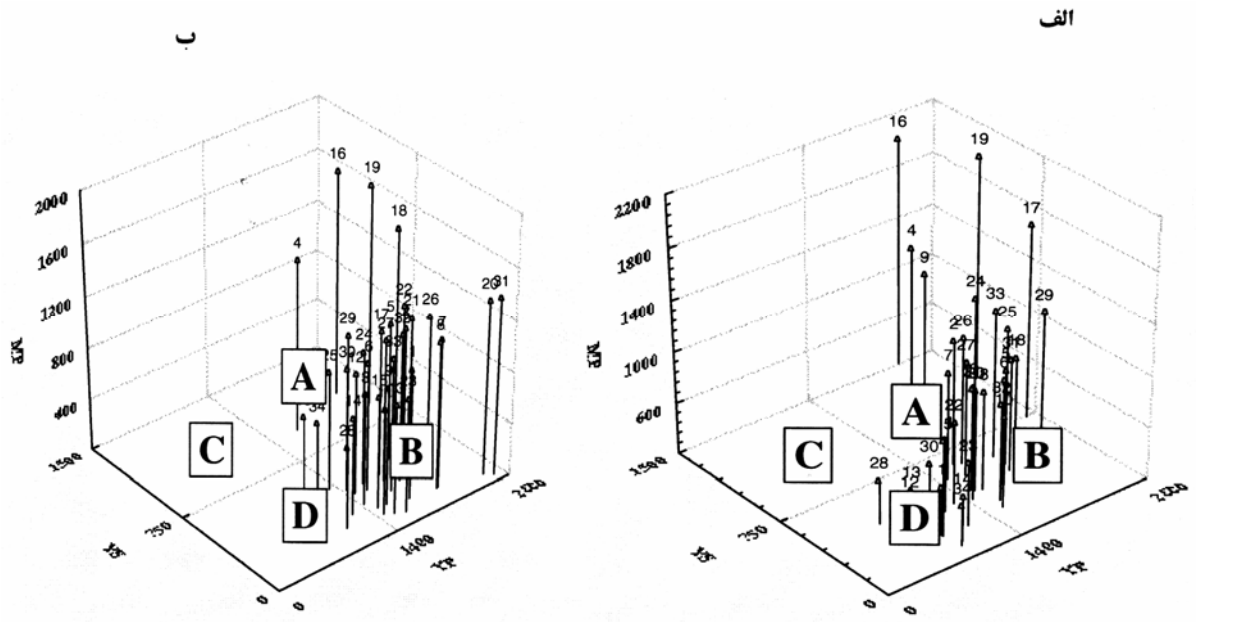
بیشترین تغییرات بین داده‌ها توسط دو مؤلفه اول (۹۴ درصد) بیان شد و حذف سایر مؤلفه‌ها تأثیر زیادی در میزان تغییرات نداشت، بنابراین بای‌پلات مربوطه بر مبنای دو مؤلفه اول و دوّم رسم شد (شکل۶). همانطور که در شکل پیدا است ژنوتیپ‌های مورد بررسی در فضای بای‌پلات در گروه‌های متفاوتی قرار گرفتند. اولین مؤلفه در منطقه مشهد و نیشابور بترتیب ۷۳ و ۶۳ درصد از کل واریانس را شامل شد که همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های HM، STI، GMP و MP داشتند. این مؤلفه با شاخص SSI و TOL همبستگی منفی داشت. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این مؤلفه قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و پرمحصول از ژنوتیپ‌های حساس به خشکی و کم محصول می‌باشد. این مؤلفه اغلب به عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمّل تنش نامیده می‌شود (۱۰). مؤلفه دوّم در منطقه مشهد و نیشابور به ترتیب ۲۱ و ۳۱ درصد از تغییرات ماتریس داده‌ها را بیان کرد. این مؤلفه با عملکرد در شرایط بدون تنش و شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری داشت. بنابراین، این مؤلفه قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های پرمحصول در شرایط بدون تنش در عین حال حساس به خشکی می‌باشد. به عبارت دیگر با مقادیر کم این مؤلفه می‌توان ژنوتیپ‌هایی را شناسایی کرد که در شرایط بدون تنش دارای عملکرد بالایی هستند ولی به شدت به تنش خشکی حساس بوده و عملکرد آنها در این شرایط کاهش می‌یابد. ژنوتیپ‌های ۸، ۲۱ و ۳۱ مشترکاً در هر دو منطقه آزمایش در مجاورت بردارهای Yp، TOL و SSI قرار گرفتند.



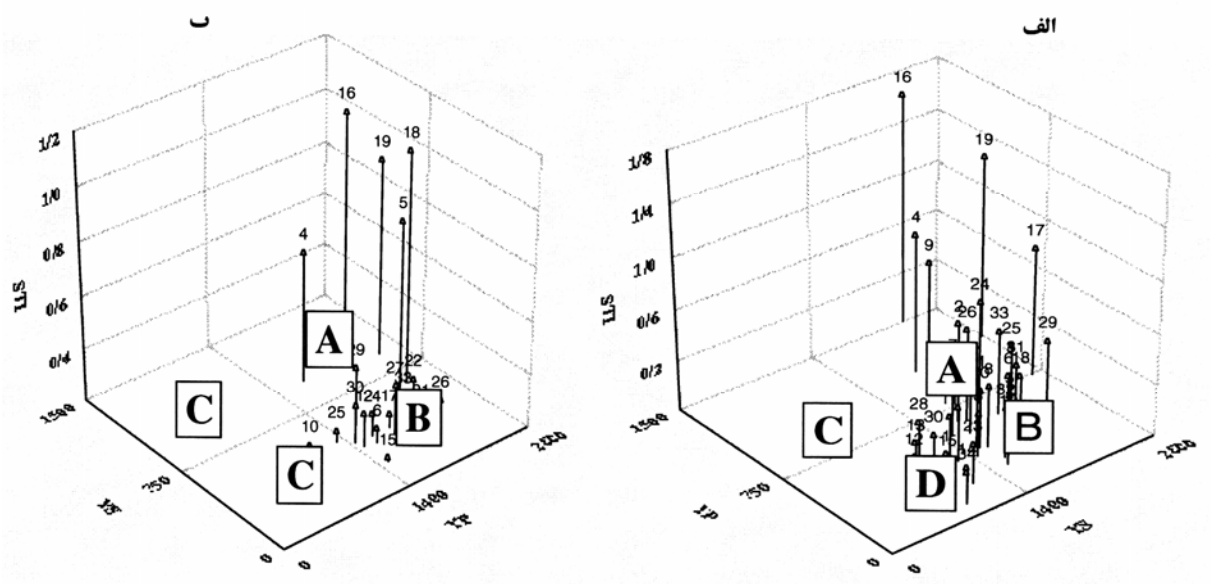
شکل ۲- نمودار پراکنش بین عملکرد بدون تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش (Ys) و شاخصGMP در منطقه مشهد (الف) و نیشابور (ب).



شکل ۳- نمودار پراکنش بین عملکرد بدون تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش (Ys) و شاخص HM در منطقه مشهد (الف) و نیشابور (ب).



شکل ۴- نمودار پراکنش بین عملکرد بدون تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش (Ys) و شاخص MP در منطقه مشهد (الف) و نیشابور (ب).



شکل ۵- نمودار پراکنش بین عملکرد بدون تنش (Yp)، عملکرد در شرایط تنش (Ys) و شاخص STI در منطقه مشهد (الف) و نیشابور (ب).

بنابراین، این ژنوتیپ‌ها در محیط بدون تنش پر محصول بوده ولی حساسیت آنها به کمبود آب و تنش خشکی شدید است. لذا می‌توان گفت ژنوتیپ‌هایی که در این ناحیه قرار می‌گیرند دارای سازگاری خصوصی به شرایط تنش هستند. نمودار بای‌پلات نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۹ در هر دو منطقه آزمایش در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص های مقاومت به خشکی MP، STI، GMP و HM و نیز عملکرد در شرایط تنش قرار می‌گیرند. بنابراین با توجه به وجود همبستگی‌های بسیار بالا و معنی‌دار بین شاخص‌های فوق با مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل تنش، ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶ و ۱۹ در گروه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی قرار می‌گیرند. وجود زاویه حاده بین بردارهای مربوط به شاخص‌های مقاوم به خشکی MP، STI، GMP و HM و مؤلفه تحمل تنش در نمودار بای‌پلات نشان دهنده همبستگی بسیار معنی‌دار شاخص‌های فوق و مؤلفه تحمل تنش می‌باشد (شکل ۶). بنابراین مجدداً تأئید می‌شود که شاخص‌های MP، STI، GMP و HM را می‌توان در نخود به عنوان بهترین معیار برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی پیشنهاد نمود. ژنوتیپ‌های ۱۱، ۲۸ و ۳۴ مشترکاً در دو منطقه مورد آزمایش در مجاورت بردار SSI قرار گرفتند بنابراین، این ژنوتیپ‌ها در دسته ژنوتیپ‌های حساس به خشکی گروه‌بندی می‌شوند. شکل۷ گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد بررسی را براساس شاخص‌های مقاومت به خشکی شامل HM، GMP، STIو MP که ازروش تجزیه خوشه‌ای استفاده شده است نشان می دهد. نمودار دندروگرام مربوط به منطقه مشهد شکل(۷ الف) نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۴، ۱۶، ۱۷ و ۱۹ که ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نیز می‌باشند در یک گروه قرار می‌گیرند و ژنوتیپ‌های ۱، ۱۵، ۱۲، ۱۳، ۲۸، ۳۴، ۲۳، ۱۴ و ۳۰ در گروه دیگری قرار گرفتند. نمودار دندروگرام مربوط به منطقه نیشابور نیز درشکل ۷ ب نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۹، ۴، ۱۶، ۱۸ و ۱۹ در گروه ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و ژنوتیپ‌های ۱، ۳۳، ۳، ۳۰، ۱۵، ۱۰، ۱۴ و ۳۴ که احتمالاً ژنوتیپ حساس به خشکی می‌باشند در گروه دیگری قرار می‌گیرند.نظر به اینکه فاصله ژنتیکی قابل توجهی بین این دو دسته از ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مربوط به عملکرد و مقاومت به خشکی وجود دارد لذا احتمال می رود که بتوان از دورگ گیری بین این ژنوتیپ‌ها به اهداف اصلاحی مورد نظر دست یافت.

جدول ۶- مقادیر ویژه حاصل از ماتریس همبستگی عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و شاخص‌های کمی مقاومت به خشکی در منطقه مشهد (الف) و نیشابور (ب).

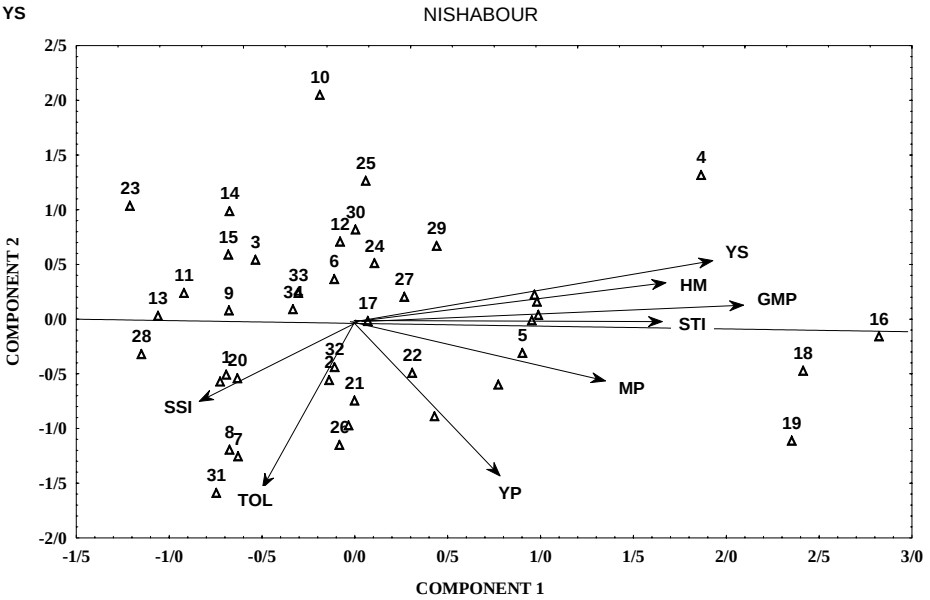
الف:

مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه	سهم تجمعی (٪)	بردارهای ویژه						
			YP	YS	HM	STI	GMP	SSI	MP	TOL
۱	۵/۷۹۵۴	۷۲/۴۴	۰/۹۳۱۵	۰/۸۹۴۳	۰/۹۷۶۴	۰/۹۵۲۷	۰/۹۸۴۶	-۰/۲۸۶۷	۰/۹۷۷۶	۰/۵۰۹۱
۲	۱/۸۰۳۷	۹۴/۹۸	۰/۳۲۸۳	-۰/۳۸۶۲	۰/۲۰۰۰	۰/۱۸۹۵	۰/۰۱۲۴	-۰/۸۷۶۱	-۰/۱۸۸۲	-۰/۸۱۶۹
۳	۰/۲۷۴۵	۹۸/۴۲	۰/۱۲۹۵	-۰/۱۳۷۰	۰/۰۵۰۲	۰/۱۴۱۴	۰/۰۷۲۵	۰/۳۸۶۶	-۰/۰۱۶۷	-۰/۲۴۷۷
۴	۰/۰۶۰۵	۹۹/۱۷	۰/۰۵۴۵	۰/۱۴۳۲	۰/۵۲۱۹	-۰/۱۵۹۹	۰/۰۰۵۸	۰/۰۲۱۹	۰/۰۰۴۵	-۰/۱۰۱۹
۵	۰/۰۳۶۴	۹۹/۶۳	۰/۰۱۳۷	۰/۰۹۰۶	۰/۰۲۰۶	۰/۰۹۳۵	-۰/۱۳۳۹	۰/۰۰۴۹	-۰/۰۱۷۷	-۰/۰۲۳۹

ب:

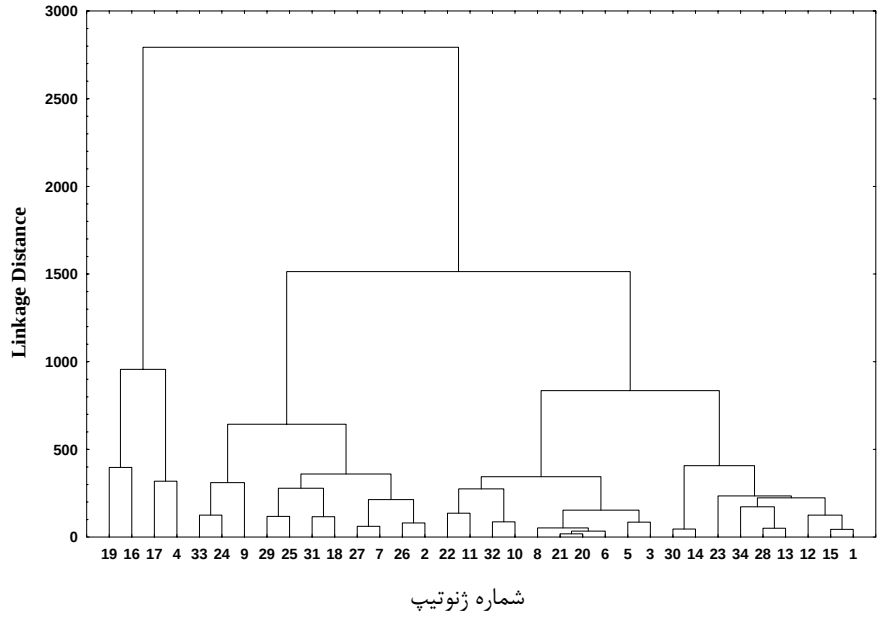
مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه	سهم تجمعی (٪)	بردارهای ویژه						
			YP	YS	HM	STI	GMP	SSI	MP	TOL
۱	۵/۰۳۹۸	۶۲/۹۹	۰/۴۵۶۷	۰/۹۶۳۳	۰/۹۵۱۸	۰/۹۵۰۹	۰/۹۸۴۰	-۰/۷۰۴۷	۰/۷۹۲۱	-۰/۰۳۲۸
۲	۲/۴۷۰۵	۹۳/۸۷	-۰/۸۷۰۶	۰/۲۳۷۹	۰/۱۴۶۳	-۰/۰۱۲۹	۰/۰۶۲۸	-۰/۵۹۹۳	-۰/۵۷۲۳	-۰/۹۷۱۳
۳	۰/۲۴۴۹	۹۶/۹۴	-۰/۱۱۸۶	-۰/۰۱۴۷	۰/۱۰۳۶	۰/۲۵۰۲	۰/۱۰۵۱	۰/۳۴۶۸	-۰/۱۶۰۷	۰/۰۰۹۲
۴	۰/۱۲۳۵	۹۸/۴۸	-۰/۰۵۳۱	-۰/۰۱۹۴	-۰/۱۸۱۲	۰/۱۳۱۷	۰/۰۷۹۱۹	-۰/۱۴۱۹	-۰/۱۱۳۲	۰/۱۷۶۲
۵	۰/۰۷۱۲	۹۹/۵۰	-۰/۱۰۴۱	۰/۰۱۷۸	۰/۱۵۰۶	-۰/۱۰۰۶	-۰/۰۰۸۰	-۰/۰۲۶۹	-۰/۰۳۸۵	۰/۱۵۷۹

* Ys عملکرد در شرایط تنش، Yp عملکرد در شرایط بدون تنش، HM میانگین هارمونیک، STI شاخص تحمّل تنش، GMP میانگین هندسی بهره‌وری، SSI شاخص حساسیت به خشکی، MP میانگین بهره‌وری، TOL شاخص تحمل تنش.

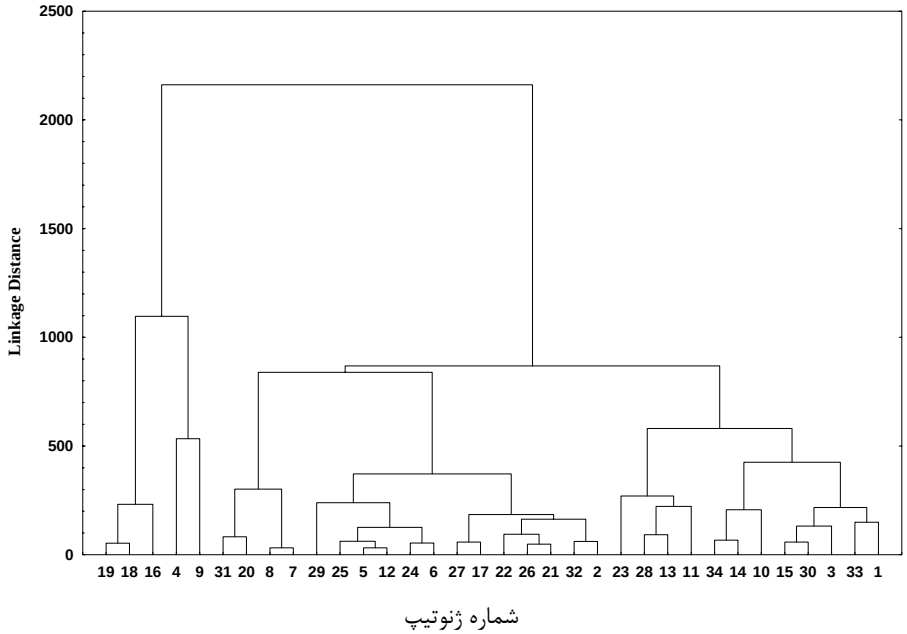


شکل۶- نمودار بای‌پلات ۳۴ ژنوتیپ نخود و شاخص‌های مقاومت به‌خشکی براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی در منطقه مشهد (الف) و نیشابور (ب).

الف)



ب)



شکل ۷- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های مهم مقاومت به خشکی GMP، MP، STI و HM در منطقه مشهد (الف) و نیشابور (ب).

منابع

۱. امام جمعه، ع. ۱۳۷۸. تعیین فاصله ژنتیکی توسط RAPD - PCR، ارزیابی شاخص‌های مقاومت به خشکی و تحلیل سازگاری در نخود ایرانی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه.

۲. باقری، ع.، ا. نظامی و م. سلطانی. ۱۳۸۰. اصلاح حبوبات سرمادوست برای تحمل به سرما. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

۳. فرشادفر، ع.، م. ر. زمانی، م. مطلبی و ع. امام جمعه. ۱۳۸۰. انتخاب برای مقاومت به خشکی در لاین‌های نخود. مجله علوم کشاورزی ایران. ج. ۳۲. ش. ۱.

۴. کانونی، ه.، ح. کاظمی، م. مقدم و م. نیشابوری. ۱۳۸۱. گزینش لاین‌های نخود زراعی(*Cicer arietinum* L.) برای مقاومت به خشکی. مجله دانش کشاورزی. ج. ۱۲، ش. ۲.

5. Arnon, J. 1972.Crop Production in Dry Region. Leonard Hill Publisher, London.
6. Bidinger, F. R.,V. Mahalakshmi and G. D. P. Rao. 1987. Assessment of drought resistance in pearal millet (*P. amerianum* L.). II. Estimation of genotype response to stress. Aust. J. Agric. Res. 98: 49 - 59.
7. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. CRC press. Boca Raton.
8. Eberhart, S. A. and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6: 36 - 40.
9. FAO. 2004. Agricultural Production Year Book. Rome. Italy.

10. 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, hanhua, Taiwan, PP. 257-270.
11. Finlay, K.W., and G. N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programe. Aust. J. Agric. Res. 14: 742 - 754.
12. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars: I-Grain yield responses. Aus. J. Agric. Res. 29: 897 - 912.
13. ICRISAT. 1982. Annual Report. pp. 102 - 103.
14. Langer, I., K. J. Freyand, and T. Bailey. 1979. Associations among productivity, production response and stability indices in oats varieties. Euphytica. 28:17 - 24.
15. Rosielle, A. A. and J. Hambling. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21: 943 - 946.
16. Saxena, N. P. 2003. Management of Agricultural Drought: Agronomic and Genetic Options. Science Publishers, Inc.
17. Silim, S. N., M. C. Saxena. and K. B. Singh. 1988. Evaluation of spring - sown chickpea for drought tolerance. Annual Report, ICARDA, Aleppo, Syria.
18. Turner, N. C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficit in crop plants. PP. 303-372. In: H. Mussel, 4., and R. C. Staples (Eds.). Stress Physiology in Crop Plants. New York, NY. John Wily.
19. Turner, N. C. 1996. Further progress in crop water relations. Adv. Agron. 58: 293-338.
20. 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
21. Turner, N. C. 2003. Adaptation to drought: Lessons from studies with chickpea. Indian. J. Plant Physiology. (Special Issue) pp: 11-17.
22. Singh, K. B. and M. C. Saxena. 1990. Studies on drought tolerance. Annual Report, ICARDA, Aleppo, Syria.
23. Siddique. K. H. M., K. L. Regan, D. Tennat and B.D.Thomson. 2001.Water use and water use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediteranean type environments. European Journal of Agronomy. 15: 267-280.

Screening for drought tolerance in chickpea genotypes (C*icer arietinum* L.).

A. Ganjeali, M. Kafi, A. Bagheri, and F. Shahriyari [1]

Abstract

In order to evaluate drought tolerance of chickpea genotypes and identifying the best indices of drought tolerance, an experiment was conducted at two regions of research field in Mashhad Collage of Agriculture and Agricultural Research Station in Nishabour in 2003 growing season. The 34 genotypes were tested using a randomized complete block design under two irrigated (non stress) and rainfed (stress) conditions. Quantitive drought tolerance and susceptibility indices such as Stress Tolerance Index (STI), Stress Susceptibility Index (SSI), Mean Productivity (MP), Harmonic Mean (HM), Tolerance Index (TOL) and Geometric Mean Productivity (GMP) based on yield in stress and non stress conditions were calculated. Significant differences were found among the genotypes for drought tolerance indices with exception of TOL and SSI .

The highest yield was found in genotype numbers of 4,5,16,17,18,19 and 31 respectively genotypes ICCV 93040, ICCV 93042, MCC 13, MCC 448, MCC 5, MCC 10, MCC 16 in non stress conditions but genotype numbers 4,16 and 19 showed merely the highest yield in stress conditions in two regions. Results of regression analysis showed that MP,GMP,STI and HM indices had positive and high significance correlation with yield in stress and non stress conditions . Theses results indicate that MP,GMP,STI and HM are the most suitable criteria for screening drought resistant genotypes. Base on these criteria , genotype numbers of 4,16 and 19 that have the highest yield in stress and non stress conditions and rest near to vectors of drought resistance indices like MP,GMP,STI and HM in multivariate biplot space, Therefore, these genotypes may be recommended as drought tolerant genotypes in this study.

Keyword: Biplot, Chickpea, Drought Tolerance Indices, Drought Stress.

1- Contribution from Research Center for Plant Science,.College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.