نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال سیزدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۴۹ تا ۶۶

ارزیابی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های برنج (*Oryza sativa* L.) کشورهای آسیای مرکزی و غربی

سهیل کرم‌نیا[۱]، مسعود اصفهانی[۲*]، مهرزاد اله‌قلی‌پور[۳]، علیرضا ترنگ[۳] و عباس شهدی کومله[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۹)

چکیده

با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در ژرم‌پلاسم برنج، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و ۷۰ ژنوتیپ برنج با منشاء کشورهای آسیای مرکزی و غربی به‌صورت گلدانی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در سال ۱۳۹۹ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت اجرا شد. بر اساس نتایج سال اول، ۱۹ ژنوتیپ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی در سال ۱۴۰۰ در مؤسسه تحقیقات برنج ایران (رشت) کشت و مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت و نتایج تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های برنج به دو گروه تفکیک و بر اساس مقایسه میانگین‌ها و انحراف از میانگین کل، ژنوتیپ‌های گروه دوم شامل شیرودی و ندا (ایران) Sela-Zodras و Shisham-Bagh-2014 (افغانستان) و Dijla (عراق) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شناخته شدند. همچنین با تجزیه بای‌پلات شش ژنوتیپ ندا و شیرودی (ایران)، D3 (عراق)، Sela-Zodras، Jalal Abad Indica-2014 و Shisham Bagh-2014 (افغانستان) و روش رتبه‌دهی هفت ژنوتیپ شیرودی، ندا و گیلانه (ایران)، Sela-Zodras، Jalal Abad Indica-2014، Shisham Bagh-2014 (افغانستان) و D3 (عراق) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند. در مجموع بر اساس روش‌های تجزیه خوشه‌ای، بای‌پلات و رتبه‌دهی، ژنوتیپ‌های شیرودی و ندا (ایران)، Sela-Zodras و Shisham Bagh-2014 (افغانستان) به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند. بر اساس نتایج این آزمایش از ژنوتیپ‌ها منتخب یاد شده می‌توان در پیشبرد برنامه‌های اصلاحی و توسعه ارقام جدید برنج با تحمل بیشتر به تنش خشکی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تجزیه‌خوشه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، رتبه‌بندی

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکتری تخصصی و استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.
۳. دانشیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: esfahani@guilan.ac.ir و mesfahan@yahoo.com

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از اصلی‌ترین محصولات غذایی در میان غلات برای حدود نیمی از جمعیت جهان به‌شمار می‌رود. این گیاه بزرگترین مصرف‌کننده آب شیرین در دنیا بوده و تولید پربازده آن نیازمند مصرف مقدار زیادی آب است (۷ و ۲۲). در حدود ۵۰ درصد از مزارع تولید برنج در دنیا و بیش از ۲۳ میلیون هکتار از مزارع برنج آسیا در معرض تنش خشکی قرار دارند و خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده عملکرد برنج در دنیا محسوب می‌شود (۴ و ۲۰).

مرحله رشد زایشی گیاه برنج از مراحل مهمی است که در صورت مواجه شدن با تنش خشکی، باعث کاهش قابل‌توجه عملکرد دانه گیاه برنج می‌شود (۲۴). وقوع تنش خشکی در طی مرحله زایشی می‌تواند منجر به اختلال در ظهور خوشه، عقیمی گلچه‌ها، پوکی دانه‌ها، کندی سرعت پر شدن دانه، کاهش وزن دانه و در نهایت کاهش عملکرد شود (۲۵ و ۲۹). از راه‌های غلبه بر شرایط نامساعد محیطی همچون تنش خشکی، شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار و متحمل به تنش خشکی و استفاده از آنها برای توسعه کشت و یا تلاقی با سایر ارقام رایج با هدف انتقال صفات مربوط به تحمل خشکی به آنها است (۱۶). یکی از روش‌های شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، تجزیه و تحلیل صفات زایشی از جمله تغییرات عملکرد در شرایط تنش می‌باشد (۲۵). فرناندز (۱۲) ژنوتیپ‌های گندم را بر اساس عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی به چهار گروه تقسیم‌بندی کرد. گروه A ژنوتیپ‌هایی هستند که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالایی دارند، ژنوتیپ‌های گروه B فقط عملکرد بالایی در محیط بدون تنش دارند، ژنوتیپ‌های گروه C فقط عملکرد بالایی در محیط تنش دارند و گروه D شامل ژنوتیپ‌هایی هستند که در هر دو محیط عملکرد پایینی دارند. بر این اساس مناسب‌ترین معیار انتخاب برای شرایط تنش، معیاری است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها متمایز کند (۱۲). از دیگر روش‌های گزینش ژنوتیپ‌های برنج در مواجهه با تنش خشکی محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش می‌باشد (۹). گزارش شده است که شاخص‌های تحمل (TOL)، میانگین حسابی بهره‌وری (MP)، میانگین عملکرد نسبی (MRP) و شاخص کارایی نسبی (REI) با داشتن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در گیاه برنج هستند (۲۷). بخشی‌پور و همکاران (۲) با بررسی ژنوتیپ‌های محلی و اصلاح شده برنج ایرانی به‌وسیله شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی گزارش نمودند که مناسب‌ترین ارقام بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه، هاشمی، علی‌کاظمی، شیرودی و سپیدرود می‌باشند. نتایج گزارش این محققان نشان داد که برای گزینش بهترین ارقام برنج بر اساس عملکرد می‌توان از شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (TOL)، شاخص میانگین هندسی (GM) و شاخص میانگین هارمونیک (HM) استفاده کرد. فلاح‌شمسی و همکاران (۱۰) نیز با غربالگری ژنوتیپ‌های برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل و روش‌های چند متغیره در شرایط تنش خشکی گزارش نمودند که در مجموع سه روش تجزیه خوشه‌ای، رتبه‌بندی و بای‌پلات، ژنوتیپ‌های درفک، قائم، لاین ۸۳۱ (IR67017-180-2-1-2)، اهلمی‌طارم و جلودار متحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

پژوهشگران پیش‌بینی کرده‌اند که بالا رفتن نیاز جهانی جهت تأمین غذا، باعث افزایش قابل ملاحظه تقاضا در میزان تولید محصولات کشاورزی، از جمله برنج شود (۲۱)؛ بنابراین با توجه به کاهش منابع آب برای کشاورزی در سراسر جهان، نیاز به اصلاح و دستیابی به ارقام برنج متحمل به خشکی، به‌طور فزاینده‌ای اهمیت می‌یابد (۲۵). هدف از این پژوهش، غربالگری ژنوتیپ‌های مختلف برنج از نظر تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی و روش‌های آماری چندمتغیره و شناسایی ارقام متحمل به تنش بوده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های برنج کشورهای آسیای مرکزی و غربی به تنش خشکی انتهای فصل، آزمایش‌هایی به صورت گلدانی و مزرعه‌ای در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) طی دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا شد. ارقام برنج مورد آزمایش شامل ۲۴ ژنوتیپ برنج اصلاح شده و محلی ایرانی به همراه ۴۶ ژنوتیپ برنج از کشورهای آسیای مرکزی و غربی و مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج (ایری) بودند (جدول ۱).

سال اول (آزمایش گلدانی)

در سال اول (۱۳۹۹)، آزمایش به‌صورت گلدانی و به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در زیر بارانگیر اجرا شد. اطراف بارانگیر مورد نظر کاملاً باز بوده و دما و رطوبت نسبی با محیط بیرون از بارانگیر تفاوت معنی‌داری نداشت. گلدان‌های مورد استفاده دارای قطر دهانه بالای ۲۵ سانتی‌متر، قطر کف ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۲/۵ سانتی‌متر بوده و با حدود هشت کیلوگرم خاک مزرعه برنج (گلخراب شده) پر شدند. بذرپاشی در خزانه به‌صورت جوی و پشته‌ای در تاریخ ۲۷ فروردین انجام شد. عناصر غذایی مورد استفاده برای هر گلدان شامل نیتروژن از منبع اوره به مقدار ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل به مقدار ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم به مقدار ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بودند که پیش از نشاکاری به خاک هر گلدان افزوده شدند. سپس در تاریخ ۲۱ اردیبهشت (۲۵ روزگی) در هر گلدان یک کپه با تراکم ۳ گیاهچه‌ای در مرحله ۳ تا ۵ برگی نشاکاری شد. به‌منظور مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج همزمان با پیک هجوم پروانه ساقه‌خوار طی دو مرحله در تاریخ‌های اواسط تیر ۱۳۹۹ و اواسط مرداد ۱۳۹۹ با استفاده از سم دیازینون گرانول ۱۰ درصد، گرانول‌پاشی انجام شد. برای کنترل بیماری قارچی بلاست از قارچ‌کش تری‌سیکلازول استفاده شد.

آبیاری در دو گروه گلدان‌های بدون تنش و تنش، تا انتهای مرحله پنجه‌زنی (براساس دستورالعمل زراعی مؤسسه تحقیقات بین‌المللی برنج، ایری) به‌صورت غرقابی بوده و اعمال تنش خشکی در گروه تنش با قطع آبیاری در مرحله آبستنی (مرحله پنج کدبندی SES) (۱۸) شروع شد. با مشاهده فاصله گرفتن خاک از جداره گلدان (حدود ۲/۵ تا ۳ سانتی‌متر از طرفین گلدان؛ به‌ترتیب معادل ۲۸۱ و ۹۰۰ کیلوپاسکال مکش اشباع) (۲۸) که نشان‌دهنده وقوع تنش می‌باشد، آبیاری گلدان‌های تیمار تنش از سر گرفته شد. آبیاری‌های بعدی در گلدان‌های تحت تنش، با مشاهده لوله‌ای شدن برگ‌ها که در ساعات ۱۰ تا ۱۵:۳۰ پایش می‌شدند، انجام شد (۶). لوله‌ای شدن تدریجی برگ‌های گیاه برنج قبل از خشک شدن کامل برگ در اثر تنش خشکی مشاهده می‌شود. این شاخص براساس میزان لوله‌ای شدن برگ‌ها از صفر (عدم لوله‌ای شدن؛ بدون تنش) تا ۹ (لوله‌ای شدن کامل؛ تنش شدید خشکی) برای ژنوتیپ‌های برنج تعیین شد (۱۸). در انتهای دوره رشد و با سخت شدن دانه‌ها در خوشه، خوشه‌های هر ژنوتیپ برداشت و دانه‌ها جداسازی و در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک، توزین و عملکرد دانه برحسب رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. تجزیه خوشه‌ای جهت گروه‌بندی و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. معنی‌داری توابع شناسایی شده حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از آزمون تابع تشخیص لامبدای ویلکس انجام و صحت گروه‌بندی نیز انجام شد.

سال دوم (آزمایش مزرعه‌ای)

ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شده حاصل از آزمایش گلدانی در سال دوم آزمایش (۱۴۰۰) در یک آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مؤسسه تحقیقات برنج کشور (با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی) مورد مقایسه قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی شامل ژنوتیپ‌های برنج منتخب سال اول که شامل ۱۹ ژنوتیپ (۱۷ ژنوتیپ از گروه A فرناندز و یک ژنوتیپ از گروه حساس

جدول ۱. ژنوتیپ‌های برنج محلی و اصلاح شده داخلی و ارقام کشورهای آسیای مرکزی و غربی مورد استفاده در آزمایش

شماره	ژنوتیپ	منشاء	شماره	ژنوتیپ	منشاء	شماره	ژنوتیپ	منشاء
۱	Marjan	قزاقستان	۲۵	محمدی	ایران	۴۹	Avangard	آذربایجان
۲	Jalal Abad Indica	افغانستان	۲۶	علی‌کاظمی	ایران	۵۰	کادوس	ایران
۳	Osmancik-97	ترکیه	۲۷	سالاری	ایران	۵۱	IR36	ایری
۴	Halibey	ترکیه	۲۸	گیلانه	ایران	۵۲	IR50	ایری
۵	V20-8-2	قزاقستان	۲۹	Ak-ypyk	قرقیزستان	۵۳	دم‌سیاه	ایران
۶	V20-48 (awn)	قزاقستان	۳۰	IR30	ایری	۵۴	شاه‌پسند	ایران
۷	QazNIIR-7	قزاقستان	۳۱	دم‌زرد	ایران	۵۵	Dijla	عراق
۸	Syl Sulu	قزاقستان	۳۲	اهلمی طارم	ایران	۵۶	شیرودی	ایران
۹	Shisham Bagh	افغانستان	۳۳	بینام	ایران	۵۷	TosyaGunesi	ترکیه
۱۰	A16	عراق	۳۴	Xazaz Hazar	آذربایجان	۵۸	Tarona	ازبکستان
۱۱	Pasali	ترکیه	۳۵	Hikkan Hashimi	آذربایجان	۵۹	Mishkab2	عراق
۱۲	Mis-2013	ترکیه	۳۶	آبجی بوجی	ایران	۶۰	Iba	عراق
۱۳	حسن‌سرایی	ایران	۳۷	خزر	ایران	۶۱	Mustakillik	ازبکستان
۱۴	Kapa	قرقیزستان	۳۸	بجار	ایران	۶۲	Mishkab1	عراق
۱۵	هاشمی	ایران	۳۹	Iskander	ازبکستان	۶۳	Tantana	ازبکستان
۱۶	Okean	آذربایجان	۴۰	C10	عراق	۶۴	Ghadeer	عراق
۱۷	Dular	هند	۴۱	غریب	ایران	۶۵	Anbar33	عراق
۱۸	IR64	ایری	۴۲	صالح	ایران	۶۶	Sumer	عراق
۱۹	حسنی	ایران	۴۳	IR28	ایری	۶۷	Furat1	عراق
۲۰	Cakmak	ترکیه	۴۴	Siyavar Hasimi	آذربایجان	۶۸	Amber albalaka	عراق
۲۱	M1	عراق	۴۵	دم‌سفید	ایران	۶۹	Labypma	ازبکستان
۲۲	Sela-Zodras	افغانستان	۴۶	سنگ طارم	ایران	۷۰	ندا	ایران
۲۳	D3	عراق	۴۷	ساحل	ایران			
۲۴	Shalawangi	افغانستان	۴۸	عنبربو	ایران			

(Hikkan Hashimi) و یک ژنوتیپ از گروه با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش (Shisham Bagh-2014) به‌عنوان عامل فرعی و سطوح آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح بدون تنش و تنش خشکی (در دو مزرعه مجزا) در نظر گرفته شدند.

شروع شخم دو مزرعه آزمایشی با شخم اولیه در نیمه دوم فروردین ماه آغاز شد؛ شخم دوم نیز در ۲۳ اردیبهشت به‌منظور گلخرابی و آماده‌سازی کرت‌های آزمایشی انجام شد. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۲×۲ متر و تراکم ۱۶ بوته در مترمربع در نظر گرفته شدند. برای جلوگیری از ورود آب و همچنین تخلیه سریع آب، در اطراف مزرعه تنش زه‌کش‌هایی به عرض یک متر با عمق ۱/۵۰ سانتی‌متر احداث شد. بذرپاشی در خزانه به‌صورت جوی و پشته‌ای یکم اردیبهشت صورت پذیرفت. تاریخ نشاءکاری اول خرداد و تاریخ قطع آب در ژنوتیپ‌های زودرس و دیررس به‌ترتیب ۱۵ و ۲۹ تیر بود. کود شیمیایی

جدول ۲. میزان رطوبت وزنی و پتانسیل آب خاک بعد از قطع آبیاری (آزمایش مزرعه‌ای)

زمان اندازه‌گیری	رطوبت وزنی خاک (درصد)	پتانسیل آب خاک (کیلوپاسکال)
۱۰ روز بعد از قطع آبیاری	۵۳/۷	-۰/۷
۱۴ روز بعد از قطع آبیاری	۴۶/۹	-۳۱
۱۷ روز بعد از قطع آبیاری	۳۹/۶	-۱۷۸
۲۱ روز بعد از قطع آبیاری	۳۰/۷	-۵۲۵
۲۴ روز بعد از قطع آبیاری	۲۶/۳	-۱۳۵۶

جدول ۳. اطلاعات هواشناسی سال ۱۴۰۰ در مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت

ماه	میانگین دما (سانتی‌گراد)		مجموع بارندگی (میلی‌متر)	مجموع ساعات آفتابی	میانگین رطوبت نسبی (درصد)		مجموع تبخیر (میلی‌متر)
	حداقل	حداکثر			حداقل	حداکثر	
فروردین	۹/۷۸	۲۲/۱	۱۳/۲	۱۸۰	۵۳/۹	۹۱/۰	۹۰/۱
اردیبهشت	۱۴/۸	۲۴/۴	۳۰/۳	۱۸۰	۶۵/۵	۹۵/۶	۱۸۰
خرداد	۲۰/۱	۲۹/۴	۶/۶۵	۲۲۹	۶۰/۲	۹۲/۶	۲۲۹
تیر	۲۲/۴	۳۲/۳	۲۱/۸	۲۲۴	۵۸/۶	۹۳/۸	۲۲۴
مرداد	۲۱/۶	۳۳/۱	۵۲/۵	۲۱۰	۵۲/۳	۹۲/۸	۲۱۰
شهریور	۵/۶۹	۳۰/۴	۴۴/۱	۱۷۶	۵۷/۲	۹۴/۲	۱۷۶

مورد استفاده شامل نیتروژن (از منبع اوره)، فسفر (از منبع سوپر فسفات تریپل) و پتاس (از منبع سولفات پتاسیم) به‌ترتیب ۲۰۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند. تمامی کود فسفر و پتاس همرا با ۴۰ درصد نیتروژن در هنگام تهیه زمین اصلی به خاک اضافه شدند. ۶۰ درصد باقیمانده از کود نیتروژن در دو مرحله به‌صورت مساوی (۳۰ درصد) در ابتدای مرحله پنجه‌زنی و تشکل جوانه اولیه خوشه به‌صورت سرک به خاک اضافه شد. به‌منظور مبارزه با علف‌های‌هرز ۷ روز بعد از نشاکاری با استفاده از سم پرتیلار به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار اقدام شد. همچنین در طول مراحل رشد از وجین دستی نیز برای کنترل جمعیت علف‌های‌هرز مزرعه اقدام شد. به‌منظور مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج همزمان با پیک هجوم پروانه ساقه‌خوار طی دو مرحله در دهه اول تیر ۱۴۰۰ و دهه اول مرداد ۱۴۰۰ با استفاده از سم دیازینون گرانول ۱۰ درصد در هر مرحله به میزان ۱۵ کیلوگرم در هکتار (گرانول‌پاشی) استفاده شد.

آبیاری در مزرعه بدون تنش به‌صورت غرقابی تا یک هفته قبل از برداشت ادامه داشت؛ در مزرعه تنش پس از مرحله حداکثر پنجه‌زنی (آغازش خوشه) اقدام به قطع آبیاری شد؛ عدم آبیاری تا مرحله رسیدگی ادامه داشت. همچنین ۱۰ روز پس از قطع آبیاری پتانسیل آب خاک هر ۳ روز یکبار ثبت شد (جدول ۲). جدول داده‌های ایستگاه هواشناسی مجاور مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور نشان داد که فروردین سال ۱۴۰۰ با میانگین دمای حداقل ۹/۷۸ درجه سانتی‌گراد و مرداد سال ۱۴۰۰ با میانگین دمای حداکثر ۳۳/۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب سردترین و گرم‌ترین ماه‌های دوره رشد بودند (جدول ۳).

برای تعیین عملکرد دانه، در انتهای دوره رشد و با سخت شدن دانه‌ها در خوشه (رسیدگی فیزیولوژیک) محصول هر

جدول ۴. شاخص‌های تحمل/ حساسیت به تنش خشکی مورد استفاده برای ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج

شاخص	رابطه	برخی از ویژگی‌ها	منبع
شاخص حساسیت به تنش Stress susceptibility index	$SSI = (1 - (Ysi/Yni))/SI$ $SI = 1 - (Ys/Yn)$	مقادیر پایین این شاخص نشان‌دهنده تحمل بالای ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش است. توانایی تفکیک گروه B و C از سایر گروه‌ها در تقسیم‌بندی فرناندز	(۱۲)
شاخص تحمل Tolerance Index	$TOL = Yni - Ysi$	مقادیر پایین این شاخص نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش.	(۲۶)
میانگین حسابی بهره‌وری Mean Productivity	$MP = (Yni + Ysi)/2$	مقادیر پایین‌تر این شاخص دلالت بر حساسیت بیشتر ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش خشکی. امکان تفکیک ژنوتیپ‌های گروه B و C از یکدیگر بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز.	(۲۶)
میانگین هندسی بهره‌وری Geometric Mean Productivity	$GMP = \sqrt{Yni \times Ysi}$	شناسایی گروه A، مقدار بالای این شاخص نشان‌دهنده تحمل نسبی بیشتر به تنش خشکی.	(۲۶)
شاخص تحمل به تنش Stress Tolerance Index	$STI = (Yni \times Ysi)/(Yn)^2$	هر چه عدد شاخص تحمل کوچکتر باشد، حساسیت ژنوتیپ به شرایط تنش کمتر و مطلوب‌تر است. عدم تفکیک گروه A و C از یکدیگر.	(۱۲)
شاخص عملکرد Yield Index	$YI = Ysi/Ys$	ژنوتیپ‌های با مقادیر بالای این شاخص مناسب برای شرایط تنش. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها فقط در شرایط تنش	(۱۵)
شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index	$YSI = Ysi/Yni$	این شاخص نشان‌دهنده میزان تحمل ژنتیکی رقم به شرایط تنش می‌باشد.	(۵)
میانگین هارمونیک Harmonic Mean	$HM = (2 \times Yni \times Ysi)/(Yni + Ysi)$	مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده تحمل نسبی به شرایط تنش است	(۱۲)
شاخص خشکی نسبی Relative Drought Index	$RDI = (Ysi/Yni)/(Ys/Yn)$	شاخصی مثبت برای نشان دادن تحمل به تنش می‌باشد	(۱۴)
شاخص تحمل غیرزنده Abiotic Tolerance Index	$ATI = ((Yni - Ysi)/(Yn/Ys)) \times (\sqrt{Yni \times Ysi})$	همبستگی مثبت با شاخص TOL و SSI و همچنین همبستگی منفی با شاخص RDI	(۲۳)
شاخص درصد پایداری تنش Stress Susceptibility Percentage Index	$SSPI = ((Yni - Ysi)/(2 \times Yni)) \times 100$	همبستگی مثبت با شاخص TOL و SSI و همچنین همبستگی منفی با شاخص RDI	(۲۳)
شاخص کارایی نسبی Relative Efficiency Index	$REI = (Ysi/Ys) \times (Yni/Yn)$	همبستگی مثبت با شاخص‌های STI، GMP و MRP	(۱۷)
شاخص تغییر یافته تحمل تنش Modified Stress Tolerance index	$K1STI = (Ysi^2)/(Ys^2)$ $K2STI = (Yni^2)/(Yn^2)$	تصحیح شده شاخص STI، K_i ضریب تصحیح STI در شرایط متفاوت رطوبتی می‌باشد	(۱۱)

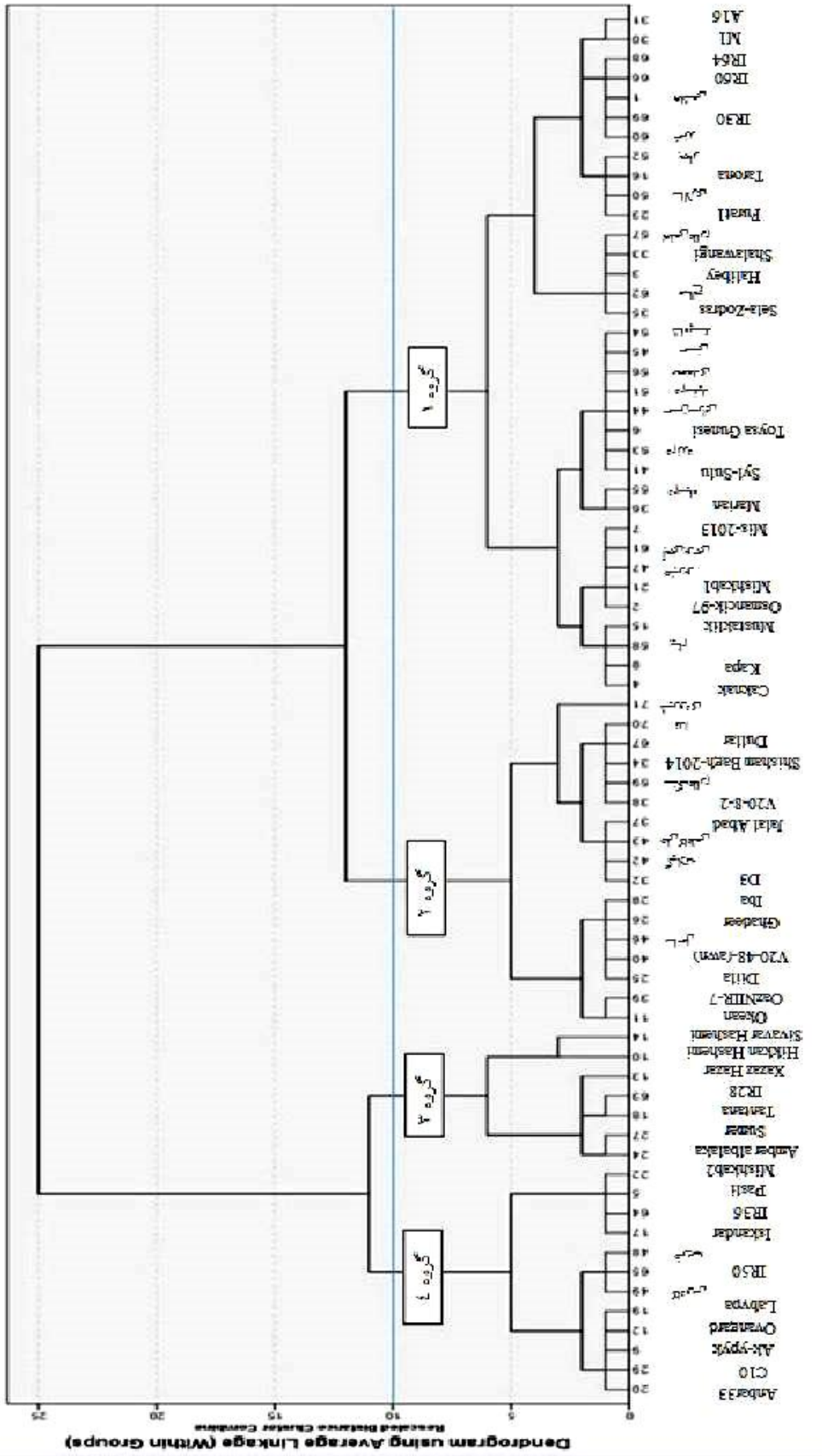
ژنوتیپ از مساحت یک مترمربع از هر کرت برداشت و عملکرد بر حسب رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. برای ارزیابی تحمل یا حساسیت ژنوتیپ‌های برنج به تنش خشکی انتهای فصل از شاخص‌های مندرج در جدول ۴ استفاده شد. تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام و معنی‌داری توابع شناسایی شده حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از آزمون تابع تشخیص لامبدای ویلکس انجام و صحت گروه‌بندی نیز انجام شد. همچنین تجزیه بای‌پلات و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT نسخه ۲۰۱۹ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از ارزیابی ژنوتیپ‌ها در سال اول آزمایش نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش به ژنوتیپ‌های شیرودی (۳۳/۷۲ گرم در بوته) و Siyavar Hasimi (۶/۴۳ گرم در بوته) و همچنین بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی مربوط به ژنوتیپ‌های ندا و Hikkan Hashimi (به‌ترتیب ۲۳/۵۲ و ۰/۰۰ گرم در بوته) بود (جدول ۵). بر اساس عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی، شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محاسبه و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای با روش میانگین پیوند (dendrogram using average linkage (within groups)) به چهار گروه تقسیم شدند (شکل ۱). بر اساس آزمون تابع تشخیص لامبدای ویلکس برای سه تابع شناسایی شده بسیار معنی‌دار و صحت گروه‌بندی ۱۰۰ درصد بود. بر اساس نتایج

جدول ۵. زمان برداشت عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yn) و تنش خشکی (Ys) و میزان کاهش عملکرد (YR) ژنوتیپ‌های برنج (آزمایش گلدانی)

ژنوتیپ‌های برنج	زمان (روز پس از نشاکاری)		عملکرد		کاهش عملکرد	ژنوتیپ‌های برنج	زمان (روز پس از نشاکاری)		عملکرد		کاهش عملکرد (درصد)
	بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش	(درصد)		بدون تنش	تنش	بدون تنش	تنش	
			(گرم در بوته)						(گرم در بوته)		
Marjan	۱۱۴	۱۱۷	۱۲/۷۵	۷/۶۴	-۴۰/۰۶	آبجی‌بوجی	۱۲۵	۱۲۸	۱۸/۴	۹/۲۶	-۴۹/۶
Jalal Abad	۱۰۹	۱۱۰	۲۸/۰۶	۱۹/۳	-۳۱/۱	خزر	۱۲۸	۱۳۳	۲۵/۶	۱۴/۶	-۴۳/۰
Osmancik-97	۱۱۴	۱۱۳	۱۵/۳۱	۸/۱۸	-۴۶/۵	بجار	۱۴۱	۱۴۳	۲۸/۶	۱۳/۱	-۵۳/۹
Halibey	۱۱۶	۱۱۳	۲۵/۱۸	۱۶/۲	-۳۵/۵	Iskander	۱۴۶	۱۴۴	۲۶/۳	۸/۱	-۶۹/۱
V20-8-2	۱۱۷	۱۱۷	۲۶/۲۴	۲۰/۵	-۲۱/۹	C10	۱۲۴	۱۲۹	۱۶/۵	۶/۰۶	-۶۳/۴
V20-48 (awn)	۱۱۶	۱۱۴	۱۸/۸۰	۱۵/۳	-۱۸/۴	غریب	۱۴۴	۱۴۱	۲۴/۵	۸/۷۲	-۶۴/۳
QazNIIR-7	۱۱۴	۱۱۱	۱۸/۰۹	۱۳/۳	-۲۶/۷	صالح	۱۲۲	۱۲۴	۲۷/۴	۱۷/۳	-۳۶/۸
Syl Sulu	۱۱۵	۱۱۵	۲۲/۱۴	۱۳/۱	-۴۰/۶	IR28	۱۴۶	۱۴۵	۱۳/۵	۳/۱۷	-۷۶/۵
Shisham Bagh	۱۱۶	۱۱۳	۲۵/۲۱	۱۹/۷	-۲۱/۶	Siyavar Hasimi	۱۴۰	۱۴۴	۶/۴۴	۰/۳۹	-۹۳/۹
A16	۱۲۲	۱۲۲	۲۹/۷۸	۱۵/۷	-۴۷/۲	دم‌سفید	۱۴۴	۱۴۳	۱۷/۵	۹/۷۸	-۴۴/۲
Pasali	۱۲۴	۱۲۳	۲۹/۷۹	۸/۵	-۷۵/۲	سنگ‌طارم	۱۲۳	۱۲۹	۲۶/۳	۲۰/۱۵	-۳۲/۳
Mis-2013	۱۱۷	۱۱۵	۱۹/۷۳	۹/۲	-۵۳/۲	ساحل	۱۲۶	۱۳۲	۱۹/۹	۱۶/۱	-۱۹/۲
حسن‌سرایی	۱۲۴	۱۲۳	۱۶/۹۷	۹/۷	-۴۲/۶	عنبربو	۱۲۹	۱۳۴	۱۷/۴	۸/۴۳	-۵۱/۶
Kapa	۱۲۳	۱۲۳	۱۹/۹۴	۷/۹	-۵۷/۹	Ovangard	۱۴۶	۱۴۹	۱۶/۶	۴/۹۳	-۷۰/۳
هاشمی	۱۱۶	۱۱۶	۲۴/۸۱	۱۳/۹	-۴۳/۹	کادوس	۱۴۶	۱۴۵	۲۰/۶	۶/۷۸	-۶۷/۲
Okean	۱۱۷	۱۲۰	۱۵/۴۸	۱۱/۴	-۲۶/۲	IR36	۱۴۴	۱۴۳	۲۵/۹	۷/۳۸	-۷۱/۵
Dular	۱۲۴	۱۲۸	۲۷/۷۷	۲۱/۸	-۲۱/۵	IR50	۱۴۶	۱۴۶	۲۱/۵	۷/۳۰	-۶۶/۰
IR64	۱۲۳	۱۲۵	۲۴/۵۴	۱۲/۹	-۴۷/۱	دم‌سیاه	۱۳۸	۱۴۲	۱۴/۷	۹/۱۶	-۳۷/۸
حسنی	۱۲۴	۱۲۹	۲۰/۵۲	۱۱/۳	-۴۴/۷	شاه‌پسند	۱۴۵	۱۴۷	۱۹/۳	۱۰/۴	-۴۷/۰
Cakmak	۱۲۵	۱۲۶	۱۷/۷۹	۷/۳۶	-۵۸/۶	Dijla	۱۴۶	۱۴۷	۱۷/۷	۱۴/۴	-۱۸/۵
M1	۱۲۳	۱۲۹	۳۱/۴۷	۱۵/۶	-۵۰/۲	شیرودی	۱۴۶	۱۴۹	۳۳/۷	۲۲/۱۳	-۳۴/۳
Sela-Zodras	۱۲۴	۱۲۴	۲۸/۴۵	۱۸/۰	-۳۶/۶	TosyaGunesi	۱۴۴	۱۴۲	۱۹/۴	۱۱/۹	-۳۸/۴
D3	۱۲۹	۱۳۳	۲۵/۳۰	۱۸/۴	-۲۷/۳	Tarona	۱۵۱	۱۴۸	۲۵/۷	۱۲/۲	-۵۲/۴
Shalawangi	۱۲۴	۱۲۵	۲۴/۱۳	۱۵/۳	-۳۶/۷	Mishkab2	۱۴۶	۱۴۵	۳۰/۹	۷/۴۴	-۷۵/۶
محمدی	۱۲۳	۱۲۶	۱۸/۲۹	۱۰/۷	-۴۱/۵	Iba	۱۴۷	۱۴۴	۲۲/۶	۱۷/۴	-۲۳/۰
علی‌کاظمی	۱۲۴	۱۲۰	۲۷/۲۶	۱۹/۷	-۲۷/۵	Mustakillik	۱۴۹	۱۵۱	۱۴/۹	۶/۹۳	-۵۳/۵
سالاری	۱۲۴	۱۳۱	۲۴/۶۱	۱۱/۳	-۵۴/۰	Mishkab1	۱۴۶	۱۵۰	۱۶/۰	۸/۴۳	-۴۷/۳
گیلانه	۱۱۹	۱۲۱	۲۵/۹۳	۱۸/۴	-۲۸/۸	Tantana	۱۴۹	۱۴۸	۱۵/۷	۲/۹۵	-۸۱/۲
Ak-ypyk	۱۲۴	۱۳۴	۱۷/۰۴	۴/۸	-۷۱/۹	Ghadeer	۱۴۶	۱۴۷	۲۱/۱	۱۷/۸	-۱۵/۷
IR30	۱۲۴	۱۳۰	۲۶/۳۴	۱۴/۶	-۴۴/۳	Anbar33	۱۴۸	۱۴۷	۱۶/۰	۵/۸۱	-۶۳/۷
دم‌زرد	۱۴۱	۱۴۲	۲۱/۵۵	۱۲/۹	-۴۰/۱	Sumer	۱۴۸	۱۴۸	۹/۱۹	۱/۴۵	-۸۴/۲
اهلمی‌طارم	۱۳۳	۱۳۶	۲۱/۹۰	۱۴/۴	-۳۴/۲	Furat1	۱۴۸	۱۴۶	۲۴/۹	۱۱/۷	-۵۲/۸
بینام	۱۲۴	۱۲۸	۱۷/۶۴	۷/۶۷	-۵۶/۵	Amber albalaka	۱۴۴	۱۴۷	۱۱/۷	۲/۲۱	-۸۱/۱
Xazaz Hazar	۱۲۵	۱۲۸	۱۸/۹۷	۴/۱۰	-۷۸/۴	Labypma	۱۴۸	۱۵۱	۱۳/۶	۴/۰۹	-۶۹/۹
Hikkan Hashimi	۱۲۴	۱۲۹	۱۱/۴۷	۰/۰۰	-۱۰۰	ندا	۱۴۰	۱۴۶	۲۸/۴۵	۲۳/۵۲	-۱۷/۳۲



شکل ۱. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج به روش گروه‌بندی میانگین پیوند (آزمایش گلدانی)

از راست به چپ گروه اول شامل: Caknak، kapa، بینام، Mustaklik، Osmancik-97، Mlshkab1، عنبربو، آبجی‌بوجی، Marjan، Mis-2013، دم‌سیاه، Syl sulu، دم‌زرد، Toysa، Gunesi، حسن‌سرایی، دم‌سفید، محمدی، حسنی، شاه‌پسند، Sela-zodras، صالح، Shalawangi، اهلمی‌طارم، Halibey، سالاری، Furat1، بجار، خزر، Tarona، IR30، هاشمی، IR60، Shisham، A16، M1، IR64؛ گروه دوم شامل: Okean، QazNIIR-7، Dijla، V20-48(awn)، ساحل، Ghadeer، D3، گیلانه، علی‌کاظمی، Iba، Jalal Abad، V20-8-2، سنگ طارم، Dullar، Bagh-2014، نا، شیرودی؛ گروه سوم شامل: Amber albalaka، IR28، Tantana، Sumer، Siyavar hashimi، Hikkan hashimi، Xazaz Hazar، IR50، غریب، Labypa، Ovangard، Ak-ypyk، C10، Anbar33، Mishkab2، Pasali، IR36، Iskandar، کادوس؛ و گروه چهارم شامل:

حاصل از تجزیه خوشه‌ای (شکل ۱)، ژنوتیپ‌های گروه دوم شامل Okean، QazNIIR-7، Dijla، V20-48(awn)، ساحل، Ghadeer، Iba، D3، گیلانه، علی‌کاظمی، Jalal Abad، V20-8-2، سنگ طارم، Shisham Bagh-2014، Dullar، ندا و شیرودی به‌دلیل میانگین عملکرد مناسب در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی (به‌ترتیب ۲۴/۰ و ۱۸/۲۶ گرم در بوته) جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بودند و در تقسیم‌بندی فرناندز در گروه A قرار گرفتند (جدول ۶). مقایسه میانگین شاخص‌های مورد مطالعه در این گروه نشان داد که شاخص‌های Yn، Ys، YR، MP، GMP، STI، YI و HM مقادیر بالاتر از میانگین کل و از نظر شاخص‌های TOL و SSI مقادیر پایین‌تر از میانگین کل را دارا بودند (جدول ۶). ژنوتیپ‌های گروه سوم شامل Amber albalaka، Sumer، Tantana، IR28، Xazaz Hazar، Hikkan hashimi، Siyavar hashimi با داشتن عملکرد پایین در شرایط بدون تنش و تنش خشکی (به‌ترتیب با ۱۳/۴۳ و ۲/۰۴ گرم در بوته) جزء گروه D در تقسیم‌بندی فرناندز قرار گرفتند. مقایسه میانگین شاخص‌های مورد مطالعه در این گروه نشان داد که شاخص‌های Yn، Ys، YR، MP، GMP، STI، YI و HM مقادیر پایین‌تر از میانگین کل و از نظر شاخص‌های TOL و SSI مقادیر بالاتر از میانگین کل را داشتند (جدول ۶). ژنوتیپ‌های گروه چهارم شامل Anbar33، C10، Ak-ypyk، Ovangard، Labypa، کادوس، IR50، غریب، Iskandar، IR36، Pasali، Mishkab2 در محیط بدون تنش دارای عملکرد دانه مناسب (۲۱/۵۹ گرم در بوته) ولی در محیط تنش کاهش عملکرد ۶۸/۷۱ درصدی را داشتند (۶/۶۷ گرم در بوته) و در گروه B تقسیم‌بندی فرناندز قرار گرفتند. همچنین ژنوتیپ‌های گروه اول شامل Caknak، kapa، بینام، Mustaklik، Osmancik-97، MIshkab1، عنبربو، آبجی‌بوجی، Mis-2013، Marjan، دم‌سیاه، Syl sulu، دم‌زرد، Toysa Gunesi، حسن‌سرایی، دم‌سفید، محمدی، حسنی، شاه‌پسند، Sela-zodras، صالح، Halibey، Shalawangi، اهلمی‌طارم، Furat1، سالاری، Tarona، بجار، خزر، IR30، هاشمی، IR60، IR64، M1، A16 با دارا بودن عملکرد دانه مناسب‌تر در محیط تنش نسبت به دو گروه قبل (۱۱/۶۴ گرم در هر بوته) و عملکرد پایین‌تر نسبت به گروه دوم (A) در شرایط بدون تنش (۲۱/۴۱ گرم در بوته) در تقسیم‌بندی فرناندز در گروه C قرار گرفتند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از خوشه‌بندی ۷۰ ژنوتیپ مورد بررسی در آزمایش گلدانی، ژنوتیپ‌های جای گرفته در گروه A تقسیم‌بندی فرناندز به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد مناسب در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی انتخاب و همراه با ژنوتیپ Hikkan Hashimi با منشاء آذربایجان (حساس با عملکرد ۰/۰ گرم در بوته در شرایط تنش، گروه D تقسیم‌بندی فرناندز) و Sela-zodras با منشاء افغانستان (عملکرد بالا در شرایط تنش (۱۸/۰۳ گرم در بوته)، گروه C تقسیم‌بندی فرناندز) انتخاب شدند (جدول ۷). فلاح‌شمسی و همکاران (۱۰) نیز با ارزیابی ۴۰ ژنوتیپ با استفاده تجزیه خوشه‌ای و تقسیم‌بندی فرناندز در یک آزمایش گلدانی (سال اول آزمایش)، ۱۴ ژنوتیپ متحمل (از گروه A) همراه با ۳ ژنوتیپ از گروه‌های دیگر را انتخاب و در سال دوم آزمایش در شرایط مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند.

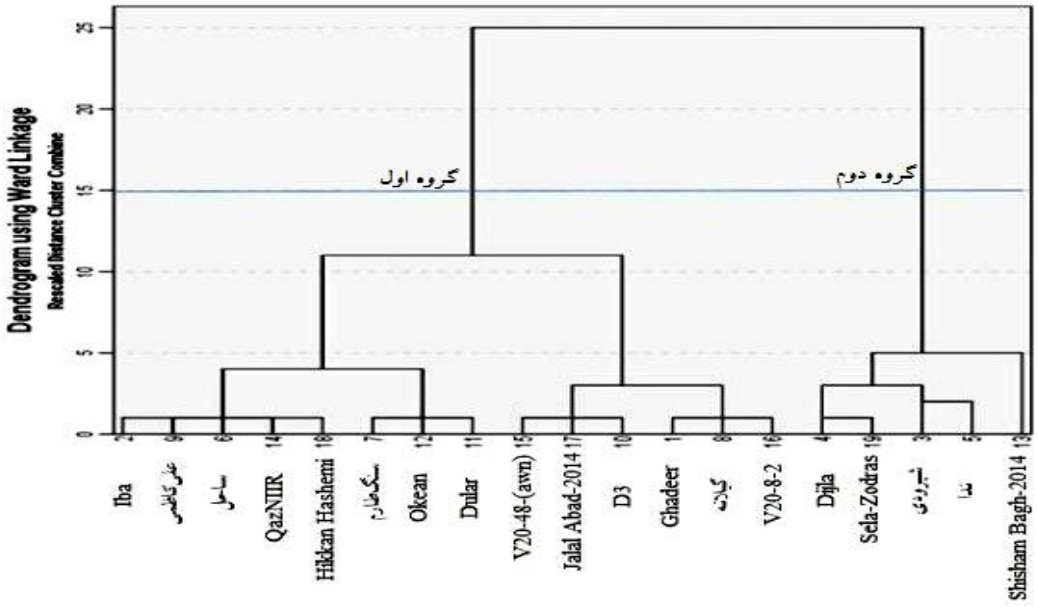
براساس نتایج آزمایش مزرعه‌ای، در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ Shisham Bagh-2014 (افغانستان) با عملکرد ۶۹۶۳ و ژنوتیپ Hikkan Hashimi (آذربایجان) با عملکرد ۳۱۴۰ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را داشتند؛ در شرایط تنش خشکی نیز بیشترین و کمترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ ندا (ایران) و Hikkan Hashimi (آذربایجان) با عملکردهای ۴۷۰۰ و ۹۸۰ کیلوگرم در هکتار بودند؛ همچنین بیشترین و کمترین افت عملکرد در سال دوم آزمایش در ژنوتیپ‌های Dijla با منشاء عراق (۶۹/۱۵-) و Okean با منشاء آذربایجان (۱۲/۸۹-) ثبت شد (جدول ۷). تجزیه خوشه‌ای ۱۹ ژنوتیپ انتخاب شده آزمایش گلدانی با استفاده از روش گروه‌بندی حداقل واریانس وارد انجام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به دو گروه تقسیم شدند (شکل ۲). بر اساس نتایج آزمون تابع تشخیص، لامبدای ویلکس معنی‌دار و

جدول ۶. میانگین گروه و انحراف از میانگین کل برای شاخص‌های تحمل و حساسیت تنش ژنوتیپ‌های برنج (آزمایش گلدانی)

گروه		شاخص									
		Yn	Ys	YR	SSI	TOL	MP	GMP	STI	YI	HM
۱	میانگین گروه	۲۱/۴	۱۱/۶	−۴۴/۸	۰/۸۹	۹/۷۶	۱۶/۵	۱۵/۷	۰/۵۷	۱/۰۱	۱۵/۰
	انحراف از میانگین کل	۰/۰۹	۰/۱۵	۲/۴۴	−۰/۰۷	−۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۴۱	−۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۵۳
۲	میانگین گروه	۲۴/۰	۱۸/۲	−۲۳/۴	۰/۴۶	۵/۷۵	۲۱/۱	۲۰/۹	۰/۹۹	۱/۵۹	۲۰/۷
	انحراف از میانگین کل	۲/۶۹	۶/۷۶	۲۴/۸	−۰/۵۱	−۴/۰۷	۴/۷۲	۵/۵۷	۰/۴۰	۰/۵۹	۶/۲۱
۳	میانگین گروه	۱۲/۴	۲/۰۴	−۸۵/۱	۱/۸۰	۱۰/۴	۷/۲۳	۴/۶۴	۰/۰۷	۰/۱۸	۳/۴۰
	انحراف از میانگین کل	−۸/۹	−۹/۴۶	−۳۶/۸	۰/۸۳	۰/۵۷	−۹/۱۷	−۱۰/۷۱	−۰/۵۳	−۰/۸۲	−۱۱/۱
۴	میانگین گروه	۲۱/۶	۶/۶۷	−۶۸/۷	۱/۴۰	۱۴/۹	۱۴/۱	۱۱/۹	۰/۳۳	۰/۵۸	۱۰/۱
	انحراف از میانگین کل	۰/۲۷	−۴/۸۳	−۲۰/۴	۰/۴۳	۵/۱۰	−۲/۲۸	−۳/۳۷	−۰/۲۶	−۰/۴۲	۹/۶۴

جدول ۷. زمان برداشت و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yn) و تنش خشکی (Ys) و میزان کاهش عملکرد (YR) ژنوتیپ‌های برنج انتخابی (آزمایش گلدانی و مزرعه‌ای) (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰)

ژنوتیپ‌های برنج	زمان برداشت مزرعه (روز پس از نشاکاری)		عملکرد بدون تنش		عملکرد تنش خشکی		کاهش عملکرد	
	بدون تنش	تنش	گلدان (گرم در بوته)	مزرعه (کیلوگرم در هکتار)	گلدان (گرم در بوته)	مزرعه (کیلوگرم در هکتار)	گلدان (درصد)	مزرعه (درصد)
Ghadeer	۱۴۲	۱۴۷	۲۱/۱	۴۶۴۴	۱۷/۸	۲۷۴۷	−۱۵/۷	−۴۰/۸
Iba	۱۴۶	۱۴۷	۲۲/۶	۴۲۸۴	۱۷/۴	۳۰۴۷	−۲۳/۰	−۲۸/۸
شیرودی	۱۳۹	۱۴۳	۳۳/۷	۶۴۹۲	۲۲/۱	۴۳۹۰	−۳۴/۳	−۳۲/۳
Dijla	۱۴۰	۱۴۷	۱۷/۷	۵۸۳۴	۱۴/۴	۱۸۰۰	−۱۸/۵	−۶۹/۱
ندا	۱۴۲	۱۴۶	۲۸/۴	۶۴۲۹	۲۳/۵	۴۷۰۰	−۱۷/۳	−۲۶/۹
ساحل	۱۲۲	۱۲۸	۱۹/۹	۴۴۶۱	۱۶/۱	۳۱۸۷	−۱۹/۲	−۲۹/۴
سنگ‌طارم	۱۱۵	۱۱۹	۲۶/۳	۳۴۴۳	۲۰/۱	۲۶۳۰	−۲۳/۴	−۲۳/۶
گیلانه	۱۱۳	۱۱۶	۲۵/۹	۴۸۰۰	۱۸/۴	۳۱۹۳	−۲۸/۸	−۳۳/۴
علی‌کاظمی	۱۱۹	۱۱۹	۲۷/۲	۳۷۲۳	۱۹/۷	۲۱۴۳	−۲۷/۵	−۴۲/۴
D3	۱۳۲	۱۳۴	۲۲/۳	۵۴۲۷	۱۸/۴	۳۸۲۰	−۲۷/۳	−۲۹/۶
Dular	۱۲۰	۱۲۳	۲۷/۷	۴۵۰۳	۲۱/۸	۳۷۵۰	−۲۱/۵	−۱۶/۷
Okean	۱۱۸	۱۱۹	۱۵/۵	۴۲۰۵	۱۲/۱	۳۶۶۳	−۲۱/۸	−۱۲/۹
Shisham Bagh-2014	۱۱۱	۱۱۱	۲۵/۲	۶۹۶۳	۱۹/۷	۳۳۹۳	−۲۱/۶	−۵۱/۲
QazNIIR-7	۱۱۲	۱۱۴	۱۸/۱	۴۲۴۰	۱۳/۳	۳۱۳۰	−۲۶/۲	−۲۶/۲
V20-48(awn)	۱۱۰	۱۱۰	۱۸/۸	۴۶۲۰	۱۵/۳	۲۰۷۳	−۱۸/۴	−۵۵/۱
V20-8-2	۱۰۹	۱۱۱	۲۶/۲	۵۲۸۰	۲۰/۵	۴۰۸۳	−۲۱/۹	−۲۲/۶
Jalal Abad	۱۰۹	۱۱۲	۲۸/۰	۵۴۱۳	۱۹/۳	۳۵۳۰	−۳۱/۱	−۳۴/۸
Hikkan Hashimi	۱۱۸	۱۲۱	۱۱/۷	۳۱۴۰	۰/۰	۹۸۰	−۱۰۰	−۶۸/۸
Sela-Zodras	۱۲۳	۱۲۵	۲۸/۴	۶۴۱۳	۱۸/۰	۳۷۲۳	−۳۶/۶	−۴۱/۹



شکل۲. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های برنج به روش حداقل واریانس وارد (آزمایش مزرعه‌ای)

صحت گروه‌بندی ۱۰۰ درصد بود. با بررسی مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه ژنوتیپ‌های گروه اول شامل Iba، علی‌کاظمی، ساحل، Qaz-NIIR-7، Hikkan Hashimi (شاهد حساس)، سنگ‌طارم، Okean، Dullar، V20-48(awn)، Jalal Abad Indica-2014، D3، Ghadeer، گیلانه و V-20-8-2 در شاخص‌های YSI و RDI دارای مقادیر بالاتر و در شاخص‌های Yn، Ys، SSI، TOL، MP، GMP، STI، YI، HM، ATI، SSPI، REI، K1STI و K2STI مقادیر کمتر از متوسط کل را داشتند. همچنین ژنوتیپ‌های گروه دوم شامل شیرودی و ندا با منشاء ایران Sela-Zodras و Shisham-Bagh-2014 با منشاء افغانستان و ژنوتیپ Dijla با منشاء عراق، در شاخص‌های Yn، Ys، SSI، TOL، MP، GMP، STI، YI، HM، ATI، SSPI، REI، K1STI و K2STI مقادیر بالاتر از میانگین کل و از نظر شاخص‌های YSI و RDI مقادیر پایین‌تر از میانگین کل را داشته و به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند (جدول ۸). نتایج مربوط به گزینش ژنوتیپ‌های داخلی حاصل از تجزیه خوشه‌ای این پژوهش با نتایج منتشر شده مقاله فلاح‌شمسی و همکاران (۱۰) مطابقت داشت؛ این محققان با بررسی شاخص‌های تحمل ۴۰ ژنوتیپ داخلی از طریق تجزیه خوشه‌ای گزارش نمودند که ژنوتیپ‌های ندا و شیرودی جزو ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی بودند (۱۰). همچنین براساس نتایج بخشی‌پور و همکاران (۲) با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، رقم شیرودی جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شد.

به‌منظور ارزیابی همزمان ژنوتیپ‌های برنج بر اساس کلیه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی در سال دوم آزمایش، از روش بای‌پلات استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای داده‌های مربوط به ۱۷ شاخص و ۱۹ ژنوتیپ نشان داد که بیش از ۹۸/۶۶ درصد از تغییرات کل، توسط دو مؤلفه اصلی اول و دوم قابل تفسیر بود (جدول ۹). سهم مؤلفه اصلی اول و دوم در توجیه نتایج به‌ترتیب ۵۴/۸۵ و ۴۳/۸۶ بود. مؤلفه اصلی اول برای شاخص‌های Yn، Ys، Mp، GMP، STI، YI، HM، ATI، REI، K1STI و K2STI مقادیر بالا با ضرایب مثبت داشت؛ از این رو مؤلفه اول به‌عنوان مؤلفه تحمل به تنش خشکی نامگذاری شد. با توجه به مقادیر مثبت و بالای ضرایب این مؤلفه می‌توان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را انتخاب نمود. همچنین مؤلفه دوم با شاخص‌های RDI و YSI دارای همبستگی مثبت با

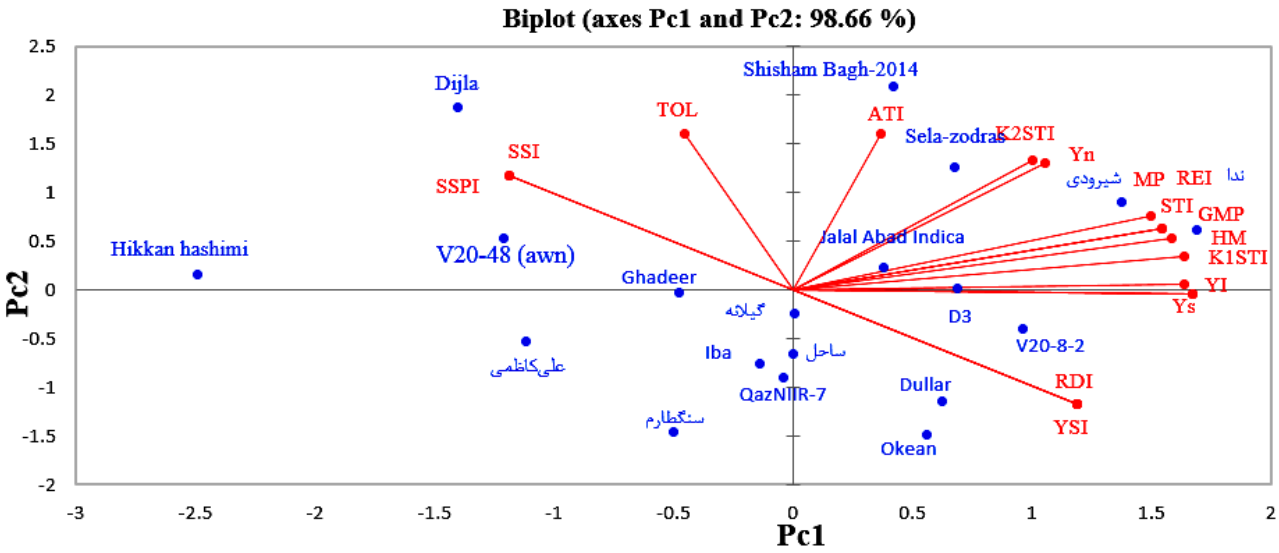
جدول ۸. میانگین و انحراف از میانگین کل هر گروه برای شاخص‌های تحمل و حساسیت تنش ژنوتیپ‌های برنج (آزمایش مزرعه‌ای)

گروه	ژنوتیپ‌های برنج		شاخص							
			Yn	Ys (کیلوگرم در هکتار)	SSI	TOL	MP	GMP	STI	YI
گروه ۱	۱-۲-۶-۷-۸-۹-۱۰-۱۱-۱۲-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸	میانگین	۴۴۴۱	۲۹۹۸	۰/۹۵	۱۴۴۳	۳۷۲۰	۳۶۲۸	۰/۵۵	۰/۹۲
		انحراف از میانگین کل	-۵۲۲	-۱۵۸	-۰/۰۸	-۳۶۳	-۳۴۰	-۲۹۹	-۰/۱۰	-۰/۰۵
گروه ۲	۳،۴،۵،۱۳،۱۹	میانگین	۶۴۲۶	۳۶۰۱	۱/۲۷	۲۸۲۴	۵۰۱۳	۴۰۲۵	۰/۹۴	۱/۱۱
		انحراف از میانگین کل	۱۴۶۲	۴۴۴	۰/۲۳	۱۰۱۸	۱۰۱۷	۸۳۷	۰/۲۸	۰/۱۴
			شاخص							
			YSI	HM	RDI	ATI	SSPI	REI	K1STI	K2STI
گروه ۱	۱-۲-۶-۷-۸-۹-۱۰-۱۱-۱۲-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸	میانگین	۰/۶۷	۳۵۴۲	۱/۰۲	۳۳۲۱۳۵۸	۱۶/۶	۰/۸۵	۰/۹۱	۰/۸۱
		انحراف از میانگین کل	۰/۰۳	-۲۶۲	۰/۰۴	-۱۳۳۳۰۱۶	-۱/۴۷	-۰/۱۶	-۰/۱۱	-۰/۲۳
گروه ۲	۳-۴-۵-۱۳-۱۹	میانگین	۰/۵۶	۴۵۵۳۸	۰/۸۵	۸۳۸۶۸۲۰	۲۲/۱	۱/۴۴	۱/۳۲	۱/۶۶
		انحراف از میانگین کل	-۰/۰۸	۷۳۴	-۰/۱۳	۳۷۳۲۴۴۶	۴/۱	۰/۴۴	۰/۳۰	۰/۶۳

۱- Ghadeer ۲- Iba ۳- شیرودی ۴- Dijla ۵- ندا ۶- ساحل ۷- سنگ‌طارم ۸- گیلانه ۹- علی‌کاظمی ۱۰- D3 ۱۱- Dullar ۱۲-Okean ۱۳- Shisham Bagh-2014 ۱۴- QazNIIR-7 ۱۵- Sela-Zodras ۱۹- Hikkan Hashimi ۱۸- Jalal Abad Indica-2014 ۱۷- V20-8-2 ۱۶- V20-45(awn)

جدول ۹. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مورد استفاده برای ژنوتیپ‌های برنج

شاخص	مؤلفه اصلی اول	مؤلفه اصلی دوم
Yn	۰/۹۴	-۰/۳۰
Ys	۰/۸۲	۰/۵۶
SSI	-۰/۲۱	-۰/۹۷
TOL	۰/۲۹	-۰/۹۴
MP	۰/۹۹	۰/۱۱
GMP	۰/۹۶	۰/۲۴
STI	۰/۹۷	۰/۱۹
YI	۰/۸۲	۰/۵۶
YSI	۰/۲۱	۰/۹۷
HM	۰/۹۳	۰/۳۵
RDI	۰/۲۱	۰/۹۷
ATI	۰/۷۰	-۰/۶۸
SSPI	-۰/۲۱	-۰/۹۷
REI	۰/۹۴	۰/۱۹
K1STI	۰/۸۳	۰/۵۰
K2STI	۰/۹۳	-۰/۳۴
مقادیر ویژه	۱۰/۶	۶/۱۱
درصد واریانس (درصد)	۵۴/۸	۴۳/۸
درصد تجمعی	۵۴/۸	۹۸/۶



شکل ۳. نمودار بای‌پلات مربوط به ۱۹ ژنوتیپ برنج و شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی براساس اولین و دومین مؤلفه اصلی

مقادیر بالا و با شاخص‌های SSI، TOL و SSPI دارای همبستگی منفی با مقادیر بالا بود (جدول ۹) که مؤلفه حساسیت به تنش نامگذاری شد، بنابراین هرچه مولفه دوم کمتر باشد مطلوب‌تر است. پس ژنوتیپ‌ها با دارا بودن مقادیر بالا برای مؤلفه اصلی اول و مقادیر پایین برای مؤلفه اصلی دوم متحمل به تنش شناخته شدند. با مراجعه به نمودار بای‌پلات ترسیم شده می‌توان نتیجه گرفت ژنوتیپ‌هایی که در سمت راست و قسمت بالای نمودار بای‌پلات قرار دارند متحمل به تنش خشکی می‌باشند (شکل ۳)؛ بر این اساس ژنوتیپ‌های ندا و شیرودی با منشاء ایران، ژنوتیپ D3 با منشاء عراق و ژنوتیپ‌های Sela-Zodras، Jalal-Abad Indica-2014 و Shisham Bagh-2014 با منشاء افغانستان جزء ارقام متحمل به تنش خشکی هستند. همچنین ژنوتیپ‌های قرار گرفته در قسمت بالا سمت چپ نمودار بای‌پلات (Dijla (عراق)، Hikkan Hashimi (آذربایجان) و V20-48(awn) (قزاقستان)) دارای عملکرد پایین در شرایط تنش خشکی و عملکرد نسبتاً مناسب در شرایط بدون تنش می‌باشند. ژنوتیپ‌های V-20-8-2 (با منشاء قزاقستان)، Dullar (با منشاء هند) و Okean (با منشاء آذربایجان) واقع در سمت راست قسمت پایین نمودار بای‌پلات دارای عملکرد نسبتاً مناسب در شرایط تنش و عملکرد پایین‌تر نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش می‌باشند (شکل ۳). محققان با ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی براساس شاخص‌های تحمل و رسم نمودار بای‌پلات گزارش نمودند که ژنوتیپ‌هایی که در نمودار بای‌پلات نزدیک نوک پیکان شاخص SSPI بودند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی شناخته می‌شوند (۱۹). غیاثی اسکوئی و همکاران (۱۶) با ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج در شرایط تنش خشکی گزارش نمودند که مؤلفه اول ۷۳/۸ درصد از تغییرات را توجیه کرده و ارتباط بالایی با عملکرد در شرایط بدون تنش (Yn) و تنش (Ys) و شاخص‌های STI، HM، GMP و MP داشت، درنتیجه می‌توان مؤلفه اول را پتانسیل عملکرد یا نماینده شاخص‌های تحمل به خشکی که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط تنش بود، نامگذاری کرد. همچنین دومین مؤلفه ۱۹/۴ درصد از تغییرات را توجیه نمود و ارتباط مثبتی با شاخص‌های TOL و SSI داشت، بنابراین به عنوان مؤلفه حساسیت به تنش معرفی شد که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های حساس به تنش رطوبتی است. فلاح شمسی و همکاران (۱۰) نیز با بررسی ژنوتیپ‌های برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل و روش‌های چند متغیره در شرایط تنش خشکی گزارش نمود که بیش از ۹۸ درصد از تغییرات کل،

توسط دو مؤلفه اصلی اول و دوم قابل تفسیر است و همچنین بیان نمودند که مؤلفه اول دارای ضرایب مثبت برای شاخص‌های STI، MP، GMP، HM، YI، YSI، RDI، K2STI و Ys بود. از این رو مؤلفه اول به عنوان مؤلفه تحمل به تنش خشکی معرفی شد و با ترسیم نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌های درفک، اهلمی‌طارم، ساحل، قائم، جلودار، شیرودی و لاین ۸۳۱ به‌دلیل واقع شدن در سمت این شاخص‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند. همچنین مؤلفه اصلی دوم با دارا بودن همبستگی منفی با شاخص‌های YSI، Pi (شاخص برتری) و RDI، مؤلفه حساسیت به تنش خشکی معرفی شدند. در منابع مختلف گزارش شده است که شاخص‌های تحمل به خشکی مانند STI، MP، GMP، MRP، HM، RDI، ATI، REI و MISTIK1 به‌طور موثر در انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و با عملکرد بالا در گیاهان زراعی مختلف استفاده می‌شوند (۱، ۳، ۸ و ۱۱).

روش رتبه‌بندی یکی دیگر از روش‌های تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی می‌باشد. در این روش از جمع نمره میانگین رتبه ژنوتیپ در تمامی شاخص‌های محاسبه شده (R) با نمره انحراف از معیار شاخص‌های هر ژنوتیپ (SDR)، مجموع رتبه هر ژنوتیپ (RS) به‌دست می‌آید. از این روش می‌توان به‌صورت مکمل در کنار سایر روش‌های آماری مانند تجزیه خوشه‌ای و بای‌پلات استفاده کرد. نتایج رتبه‌بندی ۱۹ ژنوتیپ با استفاده از ۱۶ شاخص نشان داد که ژنوتیپ‌های شیرودی، ندا و گیلانه (با منشاء ایران)، Sela-Zodras، Jalal Abad Indica-2014 و Shisham Bagh-2014 (با منشاء افغانستان) و ژنوتیپ D3 (با منشاء عراق) نمره‌های پایین‌تر را کسب کرده، ارقام متحمل به تنش خشکی بودند (جدول ۱۰). نتایج مربوط به گزینش ژنوتیپ‌های داخلی حاصل از روش رتبه‌بندی این پژوهش با نتایج منتشر شده مقاله فلاح‌شمسی و همکاران (۱۰) مطابقت داشت؛ این محققان با بررسی شاخص‌های تحمل ۴۰ ژنوتیپ داخلی از طریق رتبه‌بندی، ژنوتیپ‌های ندا و گیلانه را نیز جزء ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی گزارش نمودند (۱۰). در پژوهشی دیگر به‌منظور ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی جهت انتخاب ژنوتیپ‌های برنج با عملکرد بالا و تحمل به تنش، ۱۰ رقم برتر (HK-06، HK-07، ADN-04، KMD-01، ALR-01، PMK-01، NGR-022، ADN-05، MGP-01 و SBD-02) بر اساس میانگین رتبه عملکرد دانه انتخاب شدند. در این میان هفت رقم از آنها جزء ۱۰ ژنوتیپ برتر در شاخص‌های خشکی STI، GMP، MP، HM، REI، ATI، YI، SNPI، Yn و Ys بودند. این یافته‌ها حاکی از آن است که انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بر اساس میانگین رتبه چند شاخص خشکی مؤثر بوده، اما سایر روش‌های انتخاب شامل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات نیز مورد نیاز است تا انتخاب موثرتر باشد (۲۲).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از روش‌های مختلف آماری شامل گروه‌بندی به روش تجزیه خوشه‌ای و میانگین صفات نشان داد که ارقام شیرودی و ندا با منشاء ایران، Sela-Zodras و Shisham-Bagh-2014 با منشاء افغانستان و ژنوتیپ Dijla با منشاء عراق جزء ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی بودند. از طریق روش بای پلات نیز شش ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شدند که شامل ندا و شیرودی با منشاء ایران، D3 با منشاء عراق، Sela-Zodras، Jalal-Abad Indica-2014 و Shisham Bagh-2014 با منشاء افغانستان بودند. همچنین با استفاده از روش رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های با منشاء ایران (شیرودی، ندا و گیلانه)، افغانستان (Sela-Zodras، Jalal Abad Indica-2014 و Shisham Bagh-2014) و عراق (D3) رتبه‌های بهتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۱۱). در مجموع بر اساس سه روش مورد استفاده ژنوتیپ‌های شیرودی و ندا با منشاء داخلی، Sela-Zodras و Shisham Bagh-2014 با منشاء افغانستان به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی شناخته شده که می‌توان در پیشبرد برنامه‌های اصلاحی و توسعه ارقام جدید برنج با تحمل بیشتر به تنش خشکی استفاده نمود.

جدول ۱۰. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی (آزمایش مزرعه‌ای)

ژنوتیپ	شاخص																رتبه نهایی
	K2STI	K1STI	REI	SSPI	ATI	RDI	RDI	YSI	YI	STI	GMP	MP	TOL	SSI	Ys	Yn	
Ghadeer	۱۰	۱۴	۱۴	۷	۹	۱۳	۱۴	۱۳	۱۴	۱۴	۱۴	۱۳	۷	۷	۱۴	۱۰	۱۰
Iba	۱۴	۱۳	۱۳	۱۲	۱۳	۸	۱۳	۸	۱۳	۱۳	۱۳	۱۵	۱۴	۱۲	۱۳	۱۴	۱۴
شیرودی	۲	۲	۲	۱۰	۴	۱۰	۲	۱۰	۲	۲	۲	۲	۶	۱۰	۲	۲	۲
Dijla	۵	۱۸	۱۵	۱	۳	۱۹	۱۷	۱۹	۱۸	۱۵	۱۵	۱۲	۱	۱	۱۸	۵	۵
ندا	۳	۱	۱	۱۴	۵	۶	۱	۶	۱	۱	۱	۱	۹	۱۴	۱	۳	۳
ساحل	۱۳	۱۱	۱۱	۱۳	۱۲	۷	۱۱	۷	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۳	۱۳	۱۱	۱۳	۱۳
سنگ طارم	۱۸	۱۵	۱۷	۱۶	۱۸	۴	۱۵	۴	۱۵	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۶	۱۵	۱۸	۱۸
گیلانه	۹	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۹
علی کاظمی	۱۷	۱۶	۱۸	۵	۱۴	۱۵	۱۸	۱۵	۱۶	۱۸	۱۸	۱۸	۱۲	۵	۱۶	۱۷	۱۷
D3	۶	۴	۶	۱۱	۸	۹	۶	۹	۴	۶	۶	۶	۱۱	۱۱	۴	۶	۶
Dular	۱۲	۵	۸	۱۸	۱۷	۲	۸	۲	۵	۸	۸	۸	۱۸	۱۸	۵	۱۲	۱۲
Okean	۱۶	۷	۹	۱۹	۱۹	۱	۹	۱	۷	۹	۹	۱۰	۱۹	۱۹	۷	۱۶	۱۶
Shisham Bagh	۱	۹	۴	۴	۱	۱۶	۵	۱۶	۹	۴	۴	۳	۲	۴	۹	۱	۱
QazNIIR-7	۱۵	۱۲	۱۲	۱۵	۱۵	۵	۱۲	۵	۱۲	۱۲	۱۲	۱۴	۱۶	۱۵	۱۲	۱۵	۱۵
V20-48 (awn)	۱۱	۱۷	۱۶	۳	۷	۱۷	۱۶	۱۷	۱۷	۱۶	۱۶	۱۶	۴	۳	۱۷	۱۱	۱۱
V20-8-2	۸	۳	۵	۱۷	۱۱	۳	۴	۳	۳	۵	۵	۵	۱۵	۱۷	۳	۸	۸
Jalal Abad Indica	۷	۸	۷	۸	۶	۱۲	۷	۱۲	۸	۷	۷	۷	۸	۸	۸	۷	۷
Hikkan Hashimi	۱۹	۱۹	۱۹	۲	۱۶	۱۸	۱۹	۱۸	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۵	۲	۱۹	۱۹	۱۹
Sela-Zodras	۴	۶	۳	۶	۲	۱۴	۳	۱۴	۶	۳	۳	۴	۳	۶	۶	۴	۳
R	۱۱/۷	۱۲/۵	۴/۳۸	۱۱/۴	۴/۲۵	۱۱/۲	۱۴/۹	۹/۹	۱۴/۹	۷/۰۶	۹/۶۳	۱۱/۰	۵/۷۵	۱۲/۴	۱۲/۷	۴/۷	۲/۷
SDR	۲/۷	۱/۹	۳/۴	۷	۴/۴	۱/۸	۴/۳	۰/۶	۴/۱	۲/۴	۵/۴	۶/۰	۴/۷	۳/۲	۵/۳	۴/۹	۱/۶
RS	۱۴/۴	۱۴/۴	۷/۷۸	۱۸/۴	۸/۶۳	۱۳	۱۹/۲	۱۰/۵	۱۹	۹/۴۵	۱۵	۱۷	۱۰/۴	۱۵/۶	۱۸	۱۲/۱	۹/۵۸
	۱۰	۱۰	۱	۱۵	۲	۹	۱۷	۷	۱۶	۴	۱۱	۱۳	۶	۱۲	۱۴	۸	۵

R= میانگین رتبه‌ها، SDR= انحراف معیار رتبه‌ها و RS= مجموع رتبه‌ها

جدول ۱۱. ژنوتیپ‌های برنج متحمل به تنش خشکی انتخاب شده براساس روش‌های مختلف آماری

روش‌های آماری	ژنوتیپ‌های برنج
تجزیه خوشه‌ای	شیرودی و ندا (ایران)، Sela-Zodras و Shisham-Bagh-2014 (افغانستان) و Dijla (عراق)
بای‌پلات	ندا و شیرودی (ایران)، Sela-Zodras، Jalal-Abad Indica-2014 و Shisham Bagh-2014 (افغانستان)، D3 (عراق)
رتبه‌بندی	شیرودی، ندا و گیلانه (ایران)، Sela-Zodras، Jalal Abad Indica-2014، Shisham Bagh-2014 (افغانستان)، D3 (عراق)
مجموع سه روش	شیرودی و ندا (ایران) Sela-Zodras و Shisham-Bagh-2014 (افغانستان)

سپاسگزاری

نگارندگان به‌پاس همکاری و کمک در اجرای این پژوهش، از مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تمامی کارکنان، محققان، اعضای هیئت علمی و مدیریت

منابع مورد استفاده

1. Ali, M. B. and A. El-Sadek. 2016. Evaluation of drought tolerance indices for wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigated and rainfed conditions. *Commun. Biometry and Crop Science* 11: 77-89.
2. Bakhshipour. S., J. Kambouzia, K. Khoshbakht, A. Mahdavi Damghani and M. Hosseini Chaleshtori. 2018. Comparative assessment of tolerance and sensitivity indices of Iranian native and improved rice genotypes under normal and drought conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 11: 491-502. (In Farsi).
3. Bennani, S., N. Nsarellah, M. Jlibene, W. Tadesse, A. Birouk and H. Ouabbou. 2017. Efficiency of drought indices under different severities for bread wheat selection. *Australian Journal of Crop Science* 11: 395-405.
4. Bouman, B. A., S. Peng, A. R. Castaneda and R. M. Visperas. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management* 74: 87-105.
5. Bouslama, M. and W. T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24: 933-937.
6. Cabulsay, G. S., O. Ito and A. A. Alejar. 2002. Physiological evaluation of response of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. *Plant Sciences* 163: 815-827.
7. Carrijo, D. R., M. E, Lundy and B. A. Linquist. 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. *Field Crops Research* 20: 173-180.
8. Dadbakhsh, A., A. Yazdansepas and M. Ahmadizadeh. 2011. Study drought stress on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by drought tolerance indices. *Advances in Environmental Biology* 5: 1804-1810.
9. Dixit, S., A. Singh and A. Kumar. 2014. Rice breeding for high grain yield under drought: a strategic solution to a complex problem. *International Journal of Agronomy* 491: 701-716.
10. Fallah-Shamsi, S. A., H. Pirdashti, A. A. Ebadi, M. Esfahani and M. Raeini. 2017. Screening of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for drought tolerance using tolerance indices and multivariate analysis. *Iranian Journal of Crop Sciences* 18: 347-363. (In Farsi).
11. Farshadfar, E. and J. Sutka. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica* 50: 411-416.
12. Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crop to Temperature and Water Stress, Taiwan.
13. Fischer, R. A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897-912.
14. Fischer, R. A. and T. Wood. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars III. Yield association with morphological traits. *Australian Journal of Agricultural Research* 30: 1001-1020.

15. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campaline, G. L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 523-531.
16. Ghiasy, M., H. Farahbakhsh, H. Sabouri and G. H. Mohamadinejad. 2012. Evaluation of rice cultivars in drought and normal conditions based on sensitive and tolerance indices. *Crop Production* 6: 55-75. (In Farsi).
17. Hossain, A. B. S., A. G. Sears, T. S. Cox and G. M. Paulsen. 1990. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science* 30: 622-627.
18. IRRI (International Rice Research Institute). 2014. Standard Evaluation System for Rice (SES). Loss Banos, Leguna, Philippines.
19. Kazerani, B., S. Navabpour, H. Sabouri, S. S. Ramezanpour, K. Zaynali Nezhad and A. Eskandari. 2019. Evaluation and selection of rice mutant lines based on drought tolerance indices. *Journal of Plant Production* 25: 15-31. (In Farsi).
20. Kumar, S., S. K. Dwivedi, S. S. Singh, B. P. Bhatt, P. Mehta, R. Elanchezhian, V. P. Singh and O. N. Singh. 2014. Morphophysiological traits associated with reproductive stage drought tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes under rainfed condition of eastern indo-gangetic plain. *Indian Journal of Plant Physiology* 19: 87-93.
21. Kumbhar, S. D., P. L. Kulwal, J. V. Patil, C. D. Sarawate, A. P. Gaikwad and A. S. Jadhav. 2015. Genetic diversity and population structure in landraces and improved rice varieties from India. *Rice Science* 22: 99-107.
22. Lv, Y., L. Xu, K. Dossa, K. Zhou, M. Zhu, H. Xie, S. H. Tang, Y. Yu, X. Guo and B. Zhou. 2019. Identification of putative drought-responsive genes in rice using gene co-expression analysis. *Bioinformation*. 15: 480.
23. Moosavi, S. S., B. Yazdi Samadi, M. R. Naghavi, Zali, A. A. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert* 12: 165-178.
24. Mukamuhirwa, A., H. P. Hovmalm, R. Ortiz, O. Nyamangyoku, M. L. Prieto Linde, A. Ekholm and E. Johansson. 2019. Effect of intermittent drought on grain yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) grown in Rwanda. *Journal of Agronomy and Crop Science* 206: 252-262.
25. Pandey, V. and A. Shukla. 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Science* 22: 147-161.
26. Rosielle, A. A. and A. J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science* 21: 943-946.
27. Tabkhkar, N., B. Rabiei, H. Samizadeh Lahiji and M. Hosseini Chaleshtori. 2017. Assessment of rice genotypes response to drought stress at the early reproductive stage using stress tolerance indices. *Journal of Crop Production and Processing* 7: 83-106. (In Farsi).
28. Yazdani, M. R. 2012. Investigation on trend of cracking in paddy fields and management recommendation for percolation reduction. Irrigation Ph.D. thesis, University of Tehran. Tehran, Iran. (In Farsi).
29. Yue, B., W. Xue, L. Xiong, X. Yu, L. Luo, K. Cui, D. Jin, Y. Xing and Q. Zhang. 2006. Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: Separation of drought tolerance from drought avoidance. *Genetics.* 172: 1213-1228.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 13, No. 1, Spring 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Tolerance to Drought Stress in Rice Genotypes (*Oryza sativa* L.) from Central and West Asian Countries

S. Karamniya[1], M. Esfahani[2*], M. Allahgholipour[3], A. Tarang[3] and A. Shahdi Kumleh[3]

(Received: January 14-2023; Accepted: February 28-2023)

Abstract

To identify genotypes tolerant to drought stress in rice germplasm, a factorial pot experiment was carried out in the form of a completely randomized design with three replications and 70 rice genotypes originating from Central and West Asian countries in non-stress and drought-stress conditions at the Rice Research Institute of Iran, Rasht, north of Iran, in 2019. Based on the results of this year (i.e. 2019), 19 genotypes selected and cultivated in the form of randomized complete block design with three replications in two environments (normal and drought stress) in 2020. Based on tolerance and sensitivity indices and the results of cluster analysis, rice genotypes were divided into two groups, and based on the comparison of means and deviations from the total mean, genotypes of the second group (Shirodi and Neda (Iran), Sela-Zodras and Shisham-Bagh-2014 (Afghanistan) and Dijla (Iraq) recognized as stress-tolerant genotypes. Also, six genotypes (Nada and Shiroudi (Iran), D3 (Iraq), Sela-Zodras, Jalal-Abad Indica-2014, and Shisham Bagh-2014 (Afghanistan)) were identified by biplot analysis and the ranking method of seven genotypes (Shirodi, Neda and Gilaneh (Iran) Sela-Zodras, Jalal Abad Indica-2014 and Shisham Bagh-2014 (Afghanistan) and D3 (Iraq) were recognized as drought stress tolerant genotypes. Altogether, based on the methods of cluster analysis, biplot, and ranking, the genotypes of Shiroudi and Neda (Iran), Sela-Zodras, and Shisham Bagh-2014 (Afghanistan) were recognized as drought tolerant genotypes. The mentioned selected genotypes can be used in advancing breeding programs for developing new rice genotypes with higher tolerance to drought stress.

Keywords: Biplot, Cluster analysis, Principal component analysis, Ranking method

1, 2. PhD Student and Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Guilan University, Guilan, Iran.
3. Associate Professor, Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
*: Corresponding Author, Email: mesfahan@yahoo.com, esfahani@guilan.ac.ir