



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹۷

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2018.13685.2228

## ارزیابی و انتخاب لاین‌های جهش‌یافته برنج بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی

برزو کازرانی<sup>۱</sup>، \*سعید نواب‌پور<sup>۲</sup>، حسین صبوری<sup>۳</sup>، سیده ساناز رمضان‌پور<sup>۴</sup>،  
خلیل زینلی‌نژاد<sup>۴</sup> و علی اسکندری<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،  
<sup>۳</sup> دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران،  
<sup>۴</sup> استادیار گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،  
<sup>۵</sup> استادیار پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** برنج از مهم‌ترین محصولات کشاورزی ایران و جهان است و خشکی عامل محدودکننده مهم در تولید این محصول است. اصلاح برای تحمل به خشکی می‌تواند روشی مؤثر برای بهبود و پایداری عملکرد در مناطق کم‌آب باشد. القای جهش شیوه‌ای مناسب در افزایش تنوع ژنتیکی گیاهان زراعی است. پژوهش حاضر به منظور شناسایی و گروه‌بندی لاین‌های جهش‌یافته برنج متحمل و حساس به تنش خشکی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** لاین‌های والدی از نسل نهم حاصل از تلاقی ارقام اهلمی طارم (نسبتاً متحمل به خشکی) و سپیدرود (نسبتاً حساس به خشکی) به دست آمد. در سال ۱۳۹۴ به منظور بهبود تنوع ژنتیکی در تحمل به خشکی پرتوتابی با پرتو گاما (۲۵۰ گری) بر روی ۳۰۰ لاین نسل نهم در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج صورت پذیرفت. با انجام غربال اولیه در نسل M<sub>1</sub> بر مبنای صفات مهم زراعی و اصلاحی، ۹۶ لاین جهش‌یافته انتخاب شدند. آزمایش حاضر با ۹۶ لاین جهش‌یافته برنج (M<sub>2</sub>) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط بدون تنش (غرقاب) و تنش خشکی در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس اجرا گردید. با استفاده از عملکرد هر ژنوتیپ و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش، شاخص‌های تحمل به تنش خشکی محاسبه شد. شاخص‌های مورد مطالعه شامل SNPI, SPI, SSPI, RDY, RDI, K<sub>2</sub>STI, K<sub>1</sub>STI, DI, ATI, STI, SSI, YI, YSI, HM, GMP, MP, TOL تعیین بهترین شاخص‌های شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول در شرایط متفاوت رطوبتی، از همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش استفاده شد. برای شناسایی ارتباط شاخص‌ها از تجزیه‌های چندمتغیره شامل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص استفاده شد. برای تعیین تعداد گروه معنی‌دار در تجزیه خوشه‌ای و محل برش دندروگرام از تابع تشخیص استفاده شد. جهت انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌های تعیین ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش خشکی بای‌پلات ترسیم شد.

\* مسئول مکاتبه: [s.navabpour@gau.ac.ir](mailto:s.navabpour@gau.ac.ir)

**یافته‌ها:** نتایج تحلیل همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه نشان داد که RDY و MP، STI، HM، GMP برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی مناسب هستند. با بررسی توأم همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه (شرایط تنش و بدون تنش) و ضریب تغییرات آن‌ها مشخص می‌گردد، شاخص STI به‌علت دارا بودن همبستگی قابل توجه در هر دو محیط و مقدار ضریب تغییرات بالا به‌عنوان شاخصی که بیش‌ترین تنوع را در شرایط متفاوت رطوبتی توجیه می‌کند، می‌توان معرفی کرد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که سه مؤلفه اصلی و مستقل ۹۹/۹۳ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. مؤلفه‌های اول، دوم و سوم با دارا بودن ۸۴/۴۷، ۱۴/۱۲ و ۱/۳۳ درصد از واریانس کل به‌ترتیب به حساسیت به تنش خشکی، مقاومت به تنش خشکی و پتانسیل عملکرد نامگذاری گردید. تجزیه خوشه‌ای با روش WARD و فاصله اقلیدوسی منجر به گروه‌بندی لاین‌های جهش‌یافته برنج شد. تجزیه تابع تشخیص نشان داد که چهار گروه معنی‌دار در تجزیه خوشه‌ای وجود دارد. گروه‌های اول تا چهارم به‌ترتیب دارای ۷، ۲۵، ۱۷ و ۴۷ ژنوتیپ بودند. ژنوتیپ‌های خوشه‌های اول و سوم به‌ترتیب به‌عنوان متحمل و حساس به تنش خشکی شناسایی شدند.

**نتیجه‌گیری:** ژنوتیپ شماره ۹۴ به‌عنوان بهترین لاین جهش‌یافته از لحاظ عملکرد و تحمل به تنش خشکی در بین منابع گیاهی موجود در پژوهش حاضر انتخاب شد. بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اول، شاخص‌های SNPI و SSPI را به‌ترتیب به‌عنوان معیارهای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش خشکی معرفی کرد.

**واژه‌های کلیدی:** برنج، تجزیه تابع تشخیص، تجزیه خوشه‌ای، تنش خشکی، تنوع ژنتیکی

#### مقدمه

کم‌آبی و تنش خشکی مشکل اصلی محدودکننده تولید برنج است (۳۰). شناسایی و گسترش ژنوتیپ‌های سازگار به تنش یکی از راه‌کارهای غلبه بر شرایط نامساعد محیطی هم‌چون تنش خشکی است (۲۰). قدم اول برای دستیابی به این هدف تهیه جمعیتی با تنوع ژنتیکی بالا است. جهش‌های کوچک یا بزرگ غیرکشنده در ژنوم گیاهان اهمیت بالایی در اصلاح گیاهان دارند (۴۱). جهش‌های القایی منبع ارزشمندی برای ایجاد تنوع لازم در برنامه‌های بهبود ژنتیکی گیاهان می‌باشند (۷). با استفاده از جهش‌های القایی ارقام پرمحصول و یا ارقام با خصوصیات کمی و کیفی بهتر در گیاهان مختلف ایجاد شده است (۴). بیش‌تر جهش‌یافته‌ها از روش پرتودهی به‌دست آمده و معرفی شده‌اند (۱). از این روش بیش از ۲۵۰۰ جهش‌یافته در دنیا معرفی شده که ۶۴ درصد آن نتیجه تأثیر پرتو گاما است (۲ و ۳۸). حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد از جهش‌یافته‌ها در نسل  $M_2$  به‌وجود می‌آیند و

تعدادی نیز در نسل‌های بعدی ظاهر می‌شوند (۹) و (۴۰). قابل توجه آن‌که اکثر جهش‌ها به‌صورت مغلوب رخ می‌دهند، از این‌رو جهش‌های مغلوب که در نسل  $M_1$  هتروزیگوت هستند، در نسل  $M_2$  پس از خودگشتی قابل تشخیص می‌باشند (۲۵). برای تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش خشکی می‌توان از شاخص‌های انتخاب استفاده کرد. این شاخص‌ها بر اساس مقایسه عملکرد دانه در شرایط تنش و غیرتنش پیشنهاد شده است. شاخصی مناسب است که ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیرتنش را از سایر ژنوتیپ‌ها تفکیک کند (۱۵). فیشر و مورر (۱۹۷۸) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index: SSI) را ارائه کردند. پژوهشگران مذکور نشان دادند که ژنوتیپ‌هایی با SSI کم‌تر از واحد به خشکی مقاوم‌تر هستند. بنابراین کاهش عملکرد آن‌ها در شرایط خشکی کم‌تر از کاهش عملکرد متوسط کل ژنوتیپ‌ها است (۲۱). فیشر و وود (۱۹۷۹) شاخص نسبی

پیشنهاد کرد. شاخص‌های STI و DI علاوه بر آن‌که توان ژنوتیپ‌ها را برای تولید عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر می‌گیرند، بلکه عملکرد مناسب در شرایط مطلوب را نیز ملاک قرار می‌دهند (۲۷).

در سال‌های اخیر شاخص‌های تحمل به تنش توسعه داده شدند. به‌عنوان نمونه فرشادفر و سوتکا (۲۰۰۲) با اصلاح شاخص STI، شاخص تحمل به تنش تغییر یافته (Modified Stress Tolerance Index :MSTI) را معرفی کردند. بر این اساس آن‌ها شاخص  $K_i$ STI را محاسبه کردند که در آن  $K_i$  ضریب تصحیح STI در شرایط متفاوت رطوبتی می‌باشد. بنابراین  $K_1$ STI و  $K_2$ STI به ترتیب شاخص‌های انتخاب بهینه در شرایط بدون تنش و تنش می‌باشند. شاخص تحمل غیرزیستی (Abiotic Tolerance Index :ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Percentage Index :SSPI) و شاخص تولید در تنش و بدون تنش (Stress-Non stress Production Index :SNPI) توسط موسوی و همکاران (۲۰۰۸) پیشنهاد شد. این سه شاخص برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط تنش و بدون تنش کاربرد دارد (۲۷). ایمر و همکاران (۲۰۱۱) شاخص کاهش نسبی عملکرد (Relative Decrease in Yield Index :RDY) را معرفی کردند. در برخی گزارش‌ها از شاخص حساسیت خشکی (Sensitive Drought Index :SDI) استفاده شده است (۱۳).

شاهمرادی و زهراوی (۲۰۱۶) و عرفانی و همکاران (۲۰۱۳) به ترتیب با مطالعه ژنوتیپ‌های جو و برنج شاخص‌های STI و GMP را به‌عنوان بهترین شاخص‌های تحمل انتخاب کردند. احمدی و اهری‌زاد (۲۰۱۴) و گراوندی و همکاران (۲۰۱۰) در گندم و چغاکبودی و زبرجدی (۲۰۱۲) در کلزا شاخص‌های STI، GMP و MP را به‌عنوان برترین شاخص‌ها

خشکی (Relative Drought Index :RDI) را معرفی کردند. RDI شاخصی مثبت برای نشان دادن تحمل به تنش است (۱۷). شاخص تحمل به تنش (Tolerance Index :TOL) و شاخص متوسط محصول‌دهی (Mean Productivity :MP) توسط روزیل و هامبلین (۱۹۸۱) معرفی شد. مقادیر بالای TOL نشان‌دهنده حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است. MP نیز به‌صورت متوسط جمع جبری عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش تعریف می‌شود (۲۱). شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index :YSI) توسط بوسلاما و شاپاق (۱۹۸۴) پیشنهاد شد. این شاخص عملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش را وابسته به عملکرد در شرایط غیرتنش آن ارزیابی کرده و می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باشد. بنابراین ژنوتیپ‌های با YSI بالاتر انتظار است که در هر دو شرایط عملکرد بالاتری داشته باشند (۲۱). فرناندز (۱۹۹۲) میانگین هندسی محصول‌دهی (Geometric Mean Productivity :GMP) و شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index :STI) را ارائه کرد. GMP در مقایسه با MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. STI به‌عنوان شاخصی برای گزینش ارقام متحمل به خشکی معرفی شد. مقادیر بالای STI نشان‌دهنده آن است که ژنوتیپ دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش است (۲۱). میانگین هارمونیک (Harmonic Index :HM) نیز از شاخص‌هایی است که در ارزیابی تحمل به تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۲). شاخص عملکرد (Yield Index :YI) توسط گاورزی و همکاران (۱۹۹۷) معرفی شد. این شاخص ژنوتیپ‌ها را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیرتنش را تشخیص نمی‌دهد (۳۹). لن (۱۹۹۸) شاخص خشکی (Drought Index :DI) را

جهت دستیابی به ارقام پرمحصول در شرایط تنش و غیرتنش معرفی کردند.

این مطالعه به منظور غربال شاخص‌های کمی تحمل به خشکی و ارزیابی و گزینش لاین‌های جهش‌یافته برنج متحمل به تنش خشکی و گروه‌بندی آن‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش انجام گرفته است.

### مواد و روش‌ها

تلاقی اولیه بین دو رقم برنج اهلمی طارم و سپیدرود در سال ۱۳۸۷ در دانشگاه گنبد کاووس انجام گردید (۳۲ و ۳۳). سپس نسل‌های در حال تفرق تا نسل نهم در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس توسعه داده شدند. ارقام برنج اهلمی طارم و سپیدرود به ترتیب متحمل و حساس به خشکی در مرحله زایشی رشد بودند (۳۴).

در سال ۱۳۹۴ به منظور بهبود تنوع ژنتیکی در تحمل به خشکی پرتوتابی با پرتو گاما (۲۵۰ گری) بر روی ۳۰۰ لاین نسل نهم در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج صورت پذیرفت. به منظور غربال اولیه، لاین‌های والدینی و جمعیت‌های جهش‌یافته ( $M_1$ ) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۹۶ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی با ارتفاع ۵۲ متر از سطح دریا کشت شدند. نشاءکاری ۳۰۰ جمعیت جهش‌یافته به صورت تک‌بوته و با فاصله  $20 \times 20$  سانتی‌متر انجام و در کنار مزرعه  $M_1$ ، لاین‌های والدینی به عنوان شاهد کشت شدند تا امکان مقایسه فنوتیپی برای ارزیابی درصد پدیده جهش در جمعیت میسر شود. در زمان گلدهی و رسیدگی بوته‌های جهش‌یافته که از نظر ریخت‌شناسی، صفات مهم زراعی و سایر صفات‌های

هدف از لاین‌های والدینی برتر بودند انتخاب و برای اندازه‌گیری صفات‌ها استفاده شدند. در نهایت پس از رسیدگی بذرها، خوشه‌های اصلی، بذرها ۹۶ بوته جهش‌یافته منتخب برداشت شده تا جمعیت  $M_2$  را تشکیل دهند. به منظور تهیه خزانه نسل بعد، ۹۶ بوته جهش‌یافته منتخب نسل اول در گلدان‌های پنج لیتری در گلخانه در اردیبهشت ۱۳۹۵ کشت شده و روزانه دو مرتبه گلدان‌ها آبیاری شدند. در گلخانه محلول‌پاشی چهار کیلوگرم کود کامل NPK مخصوص برنج در ۱۰۰۰ لیتر آب در سه مرحله ۱۰، ۱۵ و ۲۵ روز بعد از کاشت به گیاهچه‌ها انجام شد. سپس ۹۶ بوته جهش‌یافته در دو محیط جداگانه، تحت شرایط تنش خشکی و آبیاری معمول، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. به این منظور ابتدا محل نشاء بوته‌های جهش‌یافته در واحدهای آزمایشی تصادفی شده و به تعداد چهار نشاء و هر نشاء شامل سه گیاهچه روی پنج ردیف به طول دو متر و با فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر بر اساس تراکم ۱۶ بوته در مترمربع کشت شدند. جهت تامین نیاز کودی لاین‌های جهش‌یافته، کود نیتروژن به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، نصف در زمان کاشت و نصف در مرحله پنجه‌دهی و کود فسفره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در ابتدای کاشت داده شد. در طول دوره رشد مراقبت‌های زراعی لازم مانند وجین علف‌های هرز و سم‌پاشی با علف‌کش بنتازون انجام گرفت. با توجه به روند تغییرات دما و بارندگی در سال زراعی ۱۳۹۵ در گنبد کاووس (شکل ۱) و نیز با داشتن ۱۵۰-۲۰۰ روز خشک، محل آزمایش جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک محسوب می‌شود. در این منطقه قسمت اعظم نزولات آسمانی در فصل سرد به وقوع پیوسته و فصل تابستان نسبتاً گرم و خشکی دارد. در این منطقه عمق سطح آب و تراز سطح آب به ترتیب ۷/۷ و ۳۸/۵ متر است.

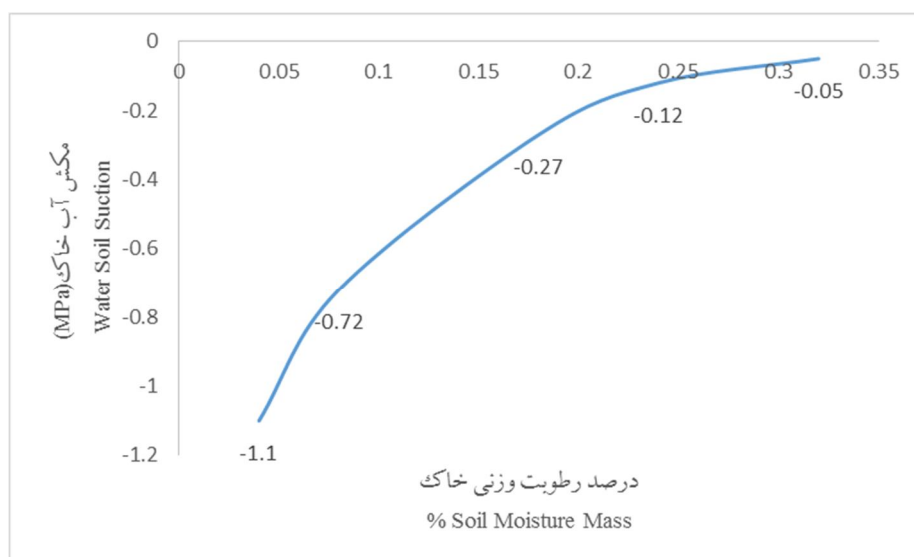


شکل ۱- روند تغییرات دما و بارندگی در سال زراعی ۱۳۹۵ در گنبد کاووس (۲۶).

Figure 1. Pattern of temperature and precipitation change in 2016 cropping season in Gonbad Kavous (26).

متناسب با ۰/۰۵، ۰/۱۲، ۰/۲۷، ۰/۷۲ و ۱/۱- مگاپاسکال تخمین زده شد (شکل ۲). از آنجائی که برنج در مرحله زایشی نسبت به تنش خشکی حساس است (۴۲)، اعمال تنش پس از مرحله رویشی (پایان مرحله پنجه‌زنی) معادل ۴۰ روز پس از نشاء انجام گرفت. برای جلوگیری از نفوذ آب از حاشیه مزرعه، فاصله بین کرت‌ها دو متر در نظر گرفته شد و پوشش پلاستیکی مانع از نفوذ آب گردید.

آبیاری در شرایط بدون تنش به صورت غرقاب در طول دوره رشد ژنوتیپ‌ها انجام شد، اما در محیط تنش آبیاری مزرعه از ۴۰ روز پس از نشاکاری (مرحله با حداکثر پنجه‌زنی) تا انتهای دوره رشد به طور کامل قطع شد (۲۲). با توجه به منحنی رطوبت خاک متناسب با مزرعه تحقیقاتی در طول دوره آزمایش با فاصله ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ روز پس از کاشت اقدام به نمونه‌گیری شده و رطوبت خاک به ترتیب ۳۲، ۲۴، ۱۸، ۸ و ۴ درصد رطوبت وزنی



شکل ۲- منحنی رطوبتی خاک.

Figure 2. Soil moisture curve.

به مدت دو ساعت قرار داده شد (این زمان از لحظه‌ای است که درجه حرارت به مقدار فوق رسید، محاسبه گردید). در هر کرت یک ردیف از طرفین جهت اثرات حاشیه حذف شد.

برای بررسی نتایج عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، ابتدا آزمون نرمال بودن (آزمون‌های چولگی و کشیدگی) برای داده‌های مورد مطالعه انجام شد، سپس شاخص‌های تحمل به تنش با استفاده از عملکرد هر ژنوتیپ در محیط تنش و بدون تنش به ترتیب  $Y_P$  و  $Y_S$  و میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش و بدون تنش به ترتیب  $\bar{Y}_P$  و  $\bar{Y}_S$  به وسیله رابطه‌های جدول یک به دست آمده است.

جهت تعیین عملکرد دانه، در مرحله رسیدگی از سطح یک و نیم مترمربع برداشت انجام و عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد در هکتار در شرایط تنش و غیرتنش محاسبه شد. رطوبت دانه بر اساس استاندارد شماره ۲۷۰۵ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) اندازه‌گیری شد (۲۳). ابتدا مقدار کمی از نمونه آسیاب و دور ریخته شد. سپس به سرعت مقداری از آزمون را که مختصری بیش از پنج گرم بود، به وسیله آسیاب نرم کرده و با دقت در ظرف فلزی که قبلاً با درب آن خشک و با ترازوی با قدرت تشخیص ۰/۰۰۱ گرم وزن شده، توزین گشت. ظرف در باز محتوی تک‌آزمونه همراه با سرپوش آن در دستگاه گرم‌کننده با درجه حرارت ۱۳۳-۱۳۰ درجه سانتی‌گراد

جدول ۱- شاخص‌های تحمل به خشکی و منابع.

Table 1. Drought tolerance indices and references.

Indices	References
$TOL=Y_P - Y_S$	Rosielle & Hamblin (1981)
$MP=(Y_P + Y_S)/2$	Rosielle & Hamblin (1981)
$GMP=\sqrt{Y_P \times Y_S}$	Fernandez (1992)
$HM=2(Y_P \times Y_S)/(Y_P + Y_S)$	Ghiassy et al. (2014)
$YSI=Y_S/Y_P$	Bousslama & Schapaugh (1984)
$YI=Y_S/\bar{Y}_S$	Gavuzzi et al. (1997)
$SSI=1 - (Y_S/Y_P)/SI$ , $SI=1 - (\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)$	Fischer & Maurer (1978)
$STI = Y_P \times Y_S/(\bar{Y}_P^2)$	Fernandez (1992)
$ATI=[(Y_P - Y_S)/(\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)] \times \sqrt{\bar{Y}_P \times \bar{Y}_S}$	Moosavi et al. (2008)
$DI=(Y_S^2/Y_P)/\bar{Y}_S$	Lan (1998)
$MSTI=K_1STI$ , $K_1=Y_P^2/\bar{Y}_P^2$ , $K_2=Y_S^2/\bar{Y}_S^2$	Farshadfar & Sutka (2002)
$RDI=(Y_S/Y_P)/(\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)$	Fischer et al. (1998)
$RDY=100-[(Y_S \times Y_P)/100]$	Emre et al. (2011)
$SSPI=[(Y_P - Y_S)/2\bar{Y}_P] \times 100$	Moosavi et al. (2008)
$SDI=(Y_P - Y_S)/Y_P$	Farshadfar et al. (2013)
$SNPI=[(Y_P + Y_S)/(Y_P - Y_S)]^{1/3} \times [Y_P \times Y_S \times Y_S]^{1/3}$	Moosavi et al. (2008)

جهش‌یافته‌های مورد مطالعه شناسایی شدند. از نظر شاخص‌های MP، GMP و HM جهش‌یافته شماره ۹۴ و ۳۹ به ترتیب با ۵/۳۱ و ۳/۱ بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص دادند. همچنین جهش‌یافته شماره ۹۴ و ۳۹ به ترتیب با ۱/۵۴ و ۰/۵۳ بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص STI را داشتند. در مورد شاخص RDY جهش‌یافته‌های شماره ۳۹ و ۹۴ به ترتیب با ۹۹/۹ و ۹۹/۷ بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را داشتند. از نظر شاخص‌های YI، DI و K<sub>2</sub>STI جهش‌یافته شماره ۹۴ به ترتیب با ۱/۴۴، ۱/۳۹ و ۲/۰۸ بیش‌ترین میزان و جهش‌یافته شماره ۶۲ به ترتیب با ۰/۷۹، ۰/۴۶ و ۰/۶۲ کم‌ترین مقدار شاخص را داشتند. در مورد شاخص‌های TOL، SSI، SSPI و SDI جهش‌یافته شماره ۶۲ به ترتیب با ۲/۰۳، ۲/۶۷، ۲۳/۶۸ و ۰/۴۲ بیش‌ترین و جهش‌یافته شماره ۴۵ به ترتیب با ۰/۰۲، ۰/۰۳، ۰/۲۴ و ۰/۰۰۵ کم‌ترین میزان شاخص را در بین ژنوتیپ‌ها نشان دادند. در مورد شاخص‌های YSI، RDI و SNPI جهش‌یافته شماره ۴۵ به ترتیب با ۰/۹۹، ۱/۱۸ و ۲۹/۷۲ بیش‌ترین مقدار و جهش‌یافته شماره ۶۲ به ترتیب با ۰/۵۸، ۰/۶۹ و ۰/۳۲ کم‌ترین میزان را داشتند. از نظر شاخص ATI جهش‌یافته‌های شماره ۷۳ و ۴۵ به ترتیب با ۱۰/۱ و ۰/۱ بیش‌ترین و کم‌ترین میزان را داشتند. شاخص K<sub>1</sub>STI جهش‌یافته‌های شماره ۷۳ و ۳۹ به ترتیب با ۱/۶۷ و ۰/۵۵ بیش‌ترین و کم‌ترین را بین جمعیت مورد مطالعه به خود اختصاص دادند (جدول عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی ارائه نشده است).

به‌منظور بررسی ارتباط شاخص‌های تحمل با یکدیگر و با عملکرد دانه در دو محیط، همبستگی ساده محاسبه شد. شاخص‌هایی که با عملکرد در هر دو محیط بیش‌ترین همبستگی را داشتند، به‌عنوان شاخص برتر شناسایی شدند. برای درک روابط علت و معلولی بین شاخص‌های تحمل و شناخت شاخص‌هایی که بیش‌ترین نقش را در عملکرد دانه ایفا می‌نمایند و نیز شناسایی عوامل پنهانی مؤثر بر عملکرد دانه از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به روش حداقل‌درست‌نمایی استفاده شد. بر اساس دو مؤلفه مهم بای‌پلات ترسیم و جهش‌یافته برتر شناسایی شد. برای تعیین اندازه فاصله ژنتیکی و گروه‌بندی ۹۶ لاین جهش‌یافته برنج بر اساس ۱۷ شاخص تحمل به تنش و عملکرد دو محیط، دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از مربع فاصله اقلیدوسی و الگوریتم WARD ترسیم شد. از انحراف میانگین کلاسترها نسبت به میانگین کل، برای تشخیص خوشه متحمل و حساس به تنش خشکی استفاده شد. برای محاسبه شاخص‌های تحمل به تنش و انحراف از میانگین کل در تجزیه خوشه‌ای از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده شد. محاسبه همبستگی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ترسیم بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص با استفاده از نرم‌افزار R 3.4.0 انجام شد.

### نتایج و بحث

در شرایط غرقاب و تنش جهش‌یافته‌های شماره ۷۳ و ۹۴ به ترتیب با ۵/۵۵ و ۵/۲۱ تن در هکتار بیش‌ترین عملکرد و جهش‌یافته‌های شماره ۳۹ و ۶۲ به ترتیب با ۳/۱۸ و ۲/۸۵ به‌عنوان کم‌محصول‌ترین

در رده پایینی قرار داشتند و با توجه به این‌که شاخص‌های مورد اشاره به‌عنوان برترین شاخص‌ها در پژوهش حاضر شناسایی شدند، می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان متحمل‌ترین لاین‌های جهش‌یافته و ژنوتیپ‌های ۳۹، ۸۶، ۹۳، ۳، ۷۵، ۶۵، ۵۹، ۸۰ و ۵۰ که کم‌ترین مقدار شاخص‌های STI، HM، GMP و MP و بیش‌ترین مقدار شاخص RDY را داشتند، به‌عنوان حساس‌ترین لاین‌های جهش‌یافته در این پژوهش معرفی کرد.

هرچه میزان تنوع یک شاخص در یک جامعه بیش‌تر باشد، آن شاخص در تفکیک و تمایز افراد آن جامعه مؤثرتر خواهد بود. البته ضریب همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش که برای انتخاب شاخص برتر مدنظر قرار می‌گیرد، به‌طور غیرمستقیم این موضوع را لحاظ می‌کند، ولی برای این‌که به‌توان تصویر واضح‌تری از توانایی ایجاد تمایز بین ژنوتیپ‌ها، توسط شاخص‌های مورد ارزیابی به‌دست آورد، بهتر است از آماره‌های پراکندگی استفاده کرد. این آماره‌ها کمک می‌کنند که در صورت وجود چند شاخص با همبستگی بالا با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش، یکی از آن‌ها را بر اساس میزان تنوع بیش‌تر انتخاب کرد (۳۷). آماره‌های توصیفی برای عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است.

عملکرد در شرایط غرقاب با شاخص‌های  $K_1STI$ ، MP، GMP، STI، RDY و HM به‌ترتیب با ۰/۹۹، ۰/۸۹، ۰/۸۷، ۰/۸۶، ۰/۸۶- و ۰/۸۴ و در شرایط تنش با شاخص‌های  $K_2STI$ ، HM، GMP، DI، STI، RDY و MP به‌ترتیب با ۰/۹۹، ۰/۹۱، ۰/۸۹، ۰/۸۹، ۰/۸۹- و ۰/۸۶ بیش‌ترین همبستگی را داشت (جدول ۲). شاخص‌هایی که در هر دو محیط دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مناسب انتخاب شوند، چرا که این شاخص‌ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط می‌باشند (۱۵). در همین رابطه با توجه به نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های مختلف و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش، می‌توان شاخص‌های GMP، HM، STI، MP و RDY را به‌عنوان شاخص‌های برتر در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی که قادرند ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا را نشان دهند انتخاب نمود. شاخص‌های HM، GMP، STI و MP با نتایج صفری و همکاران (۲۰۱۷)، نقوی و همکاران (۲۰۱۶)، بیگزاده و رشیدی (۲۰۱۶)، گیائی و همکاران (۲۰۱۴) و صفایی چائی‌کار و همکاران (۲۰۰۸) به‌ترتیب روی ژنوتیپ‌های زیره، گندم، لوبیا، برنج و برنج هم‌خوانی دارد. ژنوتیپ‌های ۹۴، ۹۵، ۴، ۱۸، ۶۷، ۴۳، ۴۸، ۸۸، ۷۳، ۳۶، ۲۸، ۴۴ و ۴۱ بر اساس شاخص‌های GMP، HM، STI و MP در رده بالا و از نظر شاخص RDY



جدول ۲- ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل خشکی با عملکرد دانه در شرایط غرقاب و تنش خشکی.

Table 2. Correlation coefficients between drought tolerance indices and grain yield under flooding and drought stress conditions.

	Y <sub>p</sub>	Y <sub>s</sub>	TOL	MP	GMP	HM	YSI	YI	SSI	STI	ATI	DI	K <sub>1</sub> STI	K <sub>2</sub> STI	RDI	RDY	SSPI	SDI	SNPI	
Y <sub>p</sub>	1																			
Y <sub>s</sub>	0.54**	1																		
TOL	0.57**	-0.39**	1																	
MP	0.89**	0.86**	0.13 <sup>ns</sup>	1																
GMP	0.87**	0.89**	0.08 <sup>ns</sup>	0.99**	1															
HM	0.84**	0.91**	0.02 <sup>ns</sup>	0.99**	0.99**	1														
YSI	-0.43**	0.52**	-0.98**	0.02 <sup>ns</sup>	0.86**	0.91**	0.52**	1												
YI	0.54**	1**	-0.39**	0.86**	0.89**	0.91**	0.52**	0.89**	1											
SSI	0.43**	-0.52**	0.98**	-0.02 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	-1**	-0.52**	0.89**	0.07 <sup>ns</sup>	0.94**	0.23*	1							
STI	0.86**	0.89**	0.08 <sup>ns</sup>	0.99**	0.99**	0.99**	0.07 <sup>ns</sup>	0.89**	-0.07 <sup>ns</sup>	1										
ATI	0.68**	-0.24*	0.98**	0.28**	0.23*	0.17 <sup>ns</sup>	-0.94**	-0.24*	0.94**	0.23*	1									
DI	0.1 <sup>ns</sup>	0.89**	-0.76**	0.54**	0.58**	0.63**	0.85**	0.89**	-0.85**	0.58**	-0.65**	1								
K <sub>1</sub> STI	0.99**	0.54**	0.56**	0.89**	0.86**	0.83**	-0.43**	0.54**	0.43**	0.86**	0.68**	0.1 <sup>ns</sup>	1							
K <sub>2</sub> STI	0.55**	0.99**	-0.37**	0.87**	0.89**	0.91**	0.5**	0.99**	-0.5**	0.9**	-0.23*	0.88**	0.55**	1						
RDI	-0.43**	0.52**	-0.98**	0.02 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	1**	0.52**	-1**	0.07 <sup>ns</sup>	-0.94**	0.85**	-0.43**	0.5**	1					
RDY	-0.86**	-0.89**	-0.08 <sup>ns</sup>	-0.99**	-0.99**	-0.99**	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.89**	0.07 <sup>ns</sup>	-1**	-0.23*	-0.58**	-0.86**	-0.9**	-0.07 <sup>ns</sup>	1				
SSPI	0.57**	-0.39**	1**	0.13 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	-0.98**	-0.39**	0.98**	0.08 <sup>ns</sup>	0.98**	-0.76**	0.56**	-0.37**	-0.98**	-0.08 <sup>ns</sup>	1			
SDI	0.43**	-0.52**	0.98**	-0.02 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.12 <sup>ns</sup>	-1**	-0.52**	1**	-0.07 <sup>ns</sup>	0.94**	-0.85**	0.43**	-0.5**	-1**	0.07 <sup>ns</sup>	0.98**	1		
SNPI	-0.08 <sup>ns</sup>	0.63**	-0.71**	0.29**	0.32**	0.35**	0.78**	0.63**	-0.78**	0.32**	-0.65**	0.82**	-0.08 <sup>ns</sup>	0.62**	0.78**	-0.32**	-0.71**	-0.78**	1	

<sup>ns</sup>, \*, and \*\* Not significant, significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively. <sup>ns</sup> و \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 5 درصد و 1 درصد.

جدول ۳- پارامترهای آمار توصیفی شاخص‌های تنش اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های برنج.

Table 3. Descriptive statistics parameters for stress indices in rice genotypes.

شاخص تنش Stress index	کمینه Min.	بیشینه Max.	میانگین Mean	انحراف معیار Standard error	درصد ضریب تغییرات C.V.(%)
Y <sub>p</sub>	3.18	5.55	4.28	0.49	11.45
Y <sub>s</sub>	2.85	5.21	3.61	0.43	11.91
TOL	0.02	2.03	0.67	0.44	65.67
MP	3.1	5.31	3.94	0.4	10.15
GMP	3.1	5.31	3.92	0.4	10.2
HM	3.1	5.31	3.9	0.4	10.26
YSI	0.58	0.99	0.85	0.09	10.59
YI	0.79	1.44	1	0.12	12
SSI	0.03	2.67	0.97	0.59	60.82
STI	0.53	1.54	0.85	0.18	21.18
ATI	0.1	10.11	3.11	2.15	69.13
DI	0.46	1.39	0.85	0.17	20
K <sub>1</sub> STI	0.55	1.68	1.01	0.24	23.76
K <sub>2</sub> STI	0.62	2.08	1.01	0.25	24.75
RDI	0.69	1.18	1.01	0.11	10.89
RDY	99.72	99.9	99.84	0.03	0.03
SSPI	0.24	23.68	7.79	5.18	66.5
SDI	0.01	0.42	0.15	0.09	60
SNPI	5.32	29.72	10.26	4.38	42.69

بودن همبستگی قابل توجه در هر دو محیط و مقدار ضریب تغییرات بالا به‌عنوان شاخصی که بیش‌ترین تنوع را در شرایط متفاوت رطوبتی توجیه می‌کند، می‌توان معرفی کرد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شش مؤلفه را نشان داد. مؤلفه اول ۸۴/۴۷ درصد از تغییرات را توجیه کرد و ارتباط مثبتی با SSPI داشت. شاخص SSPI برای تفکیک ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل و غیرمتحمل به تنش رطوبتی استفاده می‌شود (۲۸). این مؤلفه ارتباط منفی با عملکرد دانه در شرایط تنش نشان داد. بنابراین مؤلفه اول را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش معرفی کرد که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های حساس به تنش رطوبتی است (جدول ۴).

شاخص‌های ATI، SSPI، TOL، SSI، SDI، SNPI، K<sub>2</sub>STI، K<sub>1</sub>STI، STI و DI به‌ترتیب با ۶۹/۱۳، ۶۶/۵، ۶۵/۶۷، ۶۰/۸۲، ۶۰، ۴۲/۶۹، ۲۴/۷۵، ۲۳/۷۶، ۲۱/۱۸ و ۲۰ بیش‌ترین ضریب تغییرات را به خود اختصاص دادند. این موضوع نشان می‌دهد شاخص‌های مذکور بیشتر از سایر شاخص‌ها در تفکیک و تمایز ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مؤثر بودند. مقدار ضریب تغییرات Y<sub>p</sub> و Y<sub>s</sub> نزدیک به هم بود (با کمی تفاوت در جهت بیشتر برای Y<sub>s</sub>) که نشان می‌دهد تنش خشکی به‌صورت ملایمی سبب افزایش تنوع در عملکرد دانه در لاین‌های مورد مطالعه شده است. با بررسی توام همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه (شرایط تنش و بدون تنش) و ضریب تغییرات آن‌ها مشخص می‌گردد، شاخص STI به‌علت دارا

جدول ۴- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل به خشکی.

Table 4. Principal component analysis of drought tolerance indices.

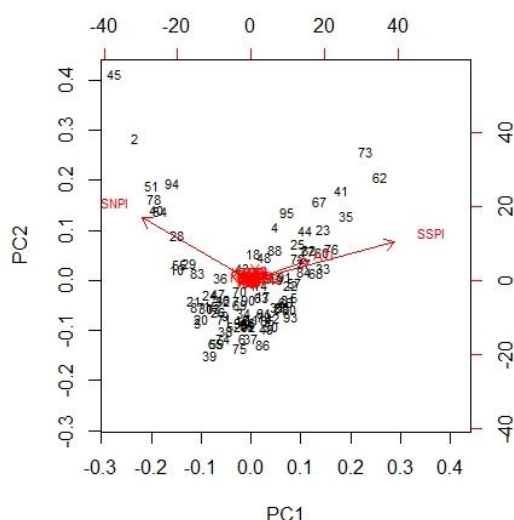
مؤلفه ششم Sixth Component	مؤلفه پنجم Fifth Component	مؤلفه چهارم Fourth Component	مؤلفه سوم Third Component	مؤلفه دوم Second Component	مؤلفه اول First Component	شاخص‌ها Indices
-0.1316	0.0928	-0.1499	0.3632	0.1152	0.0321	Y <sub>P</sub>
-0.1309	0.0763	-0.1245	0.3823	0.0731	-0.0323	Y <sub>S</sub>
-0.0007	0.0165	-0.0254	-0.0191	0.0421	0.0643	TOL
-0.1313	0.0846	-0.1372	0.3727	0.0942	-0.0001	MP
-0.1862	-0.0655	-0.1351	0.379	0.0908	-0.0032	GMP
-0.2384	-0.2067	-0.1332	0.385	0.0875	-0.0063	HM
-0.0051	0.131	0.0449	0.0149	-0.0045	0.0135	YSI
-0.0363	0.0212	-0.0345	0.1059	0.0203	-0.0089	YI
0.0326	-0.8413	-0.2885	-0.0955	0.0288	0.0865	SSI
0.4294	-0.0954	-0.0617	0.1701	0.0401	-0.0014	STI
0.0215	-0.2386	0.8395	0.2502	0.2644	0.3022	ATI
0.0496	0.2404	-0.0305	0.1006	0.0146	-0.021	DI
0.4841	0.0476	-0.0156	0.1774	0.056	0.016	K <sub>1</sub> STI
0.653	0.0253	-0.1318	0.2183	0.0432	-0.0181	K <sub>2</sub> STI
-0.006	0.1552	0.0532	0.0176	-0.0053	-0.016	RDI
-0.0785	0.0174	0.0113	-0.0311	-0.0073	0.0003	RDY
-0.0085	0.1929	-0.2967	-0.2235	0.4923	0.7523	SSPI
0.0051	-0.131	-0.0449	-0.0149	0.0045	0.0135	SDI
-0.0008	-0.013	0.0096	-0.1951	0.7965	-0.5721	SNPI
0.02429	0.0354	0.18979	0.8346	2.7186	6.6481	انحراف استاندارد Standard Deviation
0.00001	0.00002	0.00069	0.01331	0.1412	0.8447	واریانس (%) Proportion of Variance (%)
1	0.99999	0.99996	0.99928	0.986	0.8447	واریانس تجمعی (%) Cumulative Proportion (%)

بر عملکرد بالا و پایدار در شرایط بدون تنش و تنش تأکید دارد (۲۸). بنابراین می‌توان مؤلفه دوم را نماینده شاخص‌های مقاومت به خشکی که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط متفاوت رطوبتی نام‌گذاری کرد. مؤلفه سوم ۱/۳ درصد از تغییرات را توجیه می‌کرد و ارتباط بالایی با عملکرد دانه در شرایط غرقاب و تنش و شاخص‌ها MP، GMP، HM و YI داشت. بنابراین می‌توان مؤلفه سوم را پتانسیل عملکرد نام‌گذاری کرد (جدول ۴).

بار مؤلفه‌ها در مؤلفه اول نشان داد که عملکرد دانه در دو محیط بدون تنش و تنش دارای بار مؤلفه مثبت و منفی است که تأیید همبستگی منفی TOL، SSI، ATI، RDY، SSPI و SDI با Y<sub>S</sub> است. هر چه مقدار این مؤلفه کم‌تر باشد ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای مقادیر کم‌تری از شاخص‌های مذکور و عملکرد دانه بیش‌تر در شرایط تنش رطوبتی باشند. مؤلفه دوم ۱۴/۱۲ درصد از تغییرات را توجیه می‌کرد و ارتباط مثبتی با SNPI داشت. این شاخص

(۲۰۱۵) انطباق دارد. لازم به ذکر است ژنوتیپی با عملکرد مناسب تحت شرایط مطلوب، باید در شرایط کم‌تر مساعد نیز عملکرد خوبی تولید کند تا بتواند به‌عنوان ژنوتیپی مناسب برای شرایط تنش خشکی در نظر گرفته شود. بنابراین پایین بودن شاخص SSPI لزوماً بر بالا بودن عملکرد در شرایط مناسب یا تنش دلالت ندارد (۱۳)، زیرا ژنوتیپ‌هایی یافت می‌شوند که دارای حساسیت بسیار پایینی نسبت به تنش خشکی داشته، اما پتانسیل عملکرد پایینی نیز دارند (۲۸). در پاره‌ای مواقع ژنوتیپی توسط شاخص SSPI مقاوم شناخته می‌شود که عملکرد مناسبی در شرایط تنش نداشته، بلکه به‌دلیل پایین بودن درصد تغییرات عملکرد، توسط این شاخص به‌عنوان ژنوتیپ متحمل به تنش انتخاب شده است. از آنجائی‌که پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان عامل مقاومت به تنش بیش‌تر ارزش فیزیولوژی دارد تا زراعی، می‌توان نتیجه گرفت انتخاب بر اساس SSPI باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد به نسبت پایین در محیط دارای تنش می‌گردد. چنین ژنوتیپ‌هایی به‌علت عملکرد پایین از نظر زراعی نامطلوب می‌باشند (۲۷).

از آنجائی‌که ۹۸/۶ درصد از تغییرات توسط دو مؤلفه اول توجیه می‌شود و حذف سایر مؤلفه‌ها تأثیر بسیار ناچیزی در بین تغییرات داشت، ترسیم بای‌پلات بر اساس این دو مؤلفه انجام شد. به‌طورکلی ژنوتیپ‌هایی که کم‌ترین مقدار مؤلفه اول و بیش‌ترین مقدار مؤلفه دوم را داشته باشند، برای هر دو شرایط بدون تنش و تنش مطلوب خواهند بود. شاخص SNPI با  $Y_p$  همبستگی نداشته، اما ارتباط آن با  $Y_s$  مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد است (جدول ۲). بنابراین با توجه به شکل ۳ می‌توان مشاهده کرد ژنوتیپ‌هایی مانند ۹۴، ۵۱ و ۷۸ که نزدیک به نوک پیکان شاخص SNPI بودند، در محیط تنش عملکردی بالا داشته و به‌عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش خشکی معرفی می‌گردند. شاخص SSPI با  $Y_p$  و  $Y_s$  به‌ترتیب همبستگی مثبت و منفی معنی‌دار در سطح یک درصد داشت (جدول ۲). بنابراین با کاهش محصول در شرایط تنش شاخص مذکور افزایش نشان می‌دهد. بنابراین ژنوتیپ‌هایی مانند ۶۲، ۷۳، ۳۵، ۴۱ و ۷۶ که نزدیک به نوک پیکان شاخص SSPI بودند، به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی حساس به تنش خشکی شناخته شدند (شکل ۳). این مورد با نتایج محسنی و همکاران



شکل ۳- بای‌پلات شاخص‌های تحمل به خشکی در ۹۶ ژنوتیپ برنج بر اساس دو مؤلفه اول.

Figure 3. Biplot for drought tolerance indices in 96 genotypes of rice based on first two components.

گروه‌های حاصل از تابع اول مشاهده شد. برش دندروگرام در این فاصله منجر به تشکیل ۴ خوشه گردید. گروه‌های اول تا چهارم به ترتیب ۷، ۲۵، ۱۷ و ۴۷ ژنوتیپ بودند (شکل ۴).

شکل ۴ دندروگرام مربوط به تجزیه خوشه‌ای را نشان می‌دهد. زمانی که برش دندروگرام در فاصله ۶۵ صورت گرفت، سطح احتمال معنی‌دار شدن به حداقل رسید (جدول ۵). به عبارت دیگر حداکثر اختلاف بین

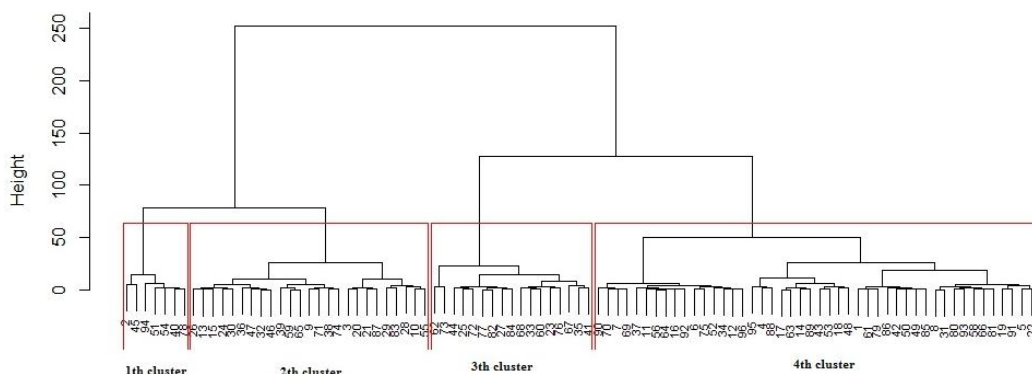
جدول ۵- تابع تشخیص کانونیک برای تعیین محل برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای.

Table 5. Canonical discriminant analysis for confirm grouping of cluster analysis.

سطح احتمال probability	کی دو Chi-square	ویلکس لامبدا Wilks' Lambda	تعداد گروه Number of groups
0.003	920.9**	0.15**	2
0.0005	1308.1**	0.02**	3
0.0001	868.1**	0.005**	4

جدول ۶ نشان داد خوشه اول از لحاظ شاخص‌های  $Y_S$ , MP, GMP, HM, YI, YSI, DI, STI, RDI, SNPI کم‌ترین مقدار را در بین خوشه‌ها داشتند. در این خوشه ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط غرقاب و حساسیت به تنش قرار داشتند. خوشه چهارم از لحاظ شاخص RDY بیش‌ترین و از نظر شاخص HM کم‌ترین مقدار را بین خوشه‌ها داشتند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی با میانگین عملکرد پایین و تحمل پایین به تنش در این خوشه قرار گرفتند. نتایج تجزیه خوشه‌ای مطالعه حاضر با پژوهش غیاثی و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی دارد.

جدول ۶ نشان داد خوشه اول از لحاظ شاخص‌های  $Y_S$ , MP, GMP, HM, YI, YSI, DI, STI, RDI, SNPI بیش‌ترین و از نظر شاخص‌های  $Y_P$ , MP, GMP, HM, STI, K<sub>1</sub>STI کم‌ترین میزان را در بین خوشه‌ها داشتند. بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین و حساس به خشکی در این خوشه وجود داشتند. خوشه سوم از لحاظ شاخص‌های  $Y_P$ ,



شکل ۴- گروه‌بندی ۹۶ ژنوتیپ برنج بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی به روش WARD.

Figure 4. Grouping of 96 rice genotypes based on drought tolerance indices by WARD's method.

جدول ۶- میانگین و انحراف از میانگین کل در گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای.

**Table 6. Mean and deviation of total mean in the groups result of cluster analysis.**

میانگین Mean	چهارم Fourth	سوم Third	دوم Second	اول First	
4.28	-0.03	0.48	-0.29	0	Y <sub>P</sub>
3.61	-0.08	-0.23	0.13	0.6	Y <sub>S</sub>
0.67	0.05	0.71	-0.42	-0.6	TOL
3.94	-0.05	0.13	-0.08	0.3	MP
3.92	-0.04	0.09	-0.06	0.32	GMP
3.9	-0.04	0.05	-0.04	0.34	HM
0.85	-0.01	-0.14	0.09	0.13	YSI
1	-0.02	-0.06	0.04	0.17	YI
0.97	0.12	0.89	-0.57	-0.87	SSI
0.85	-0.02	0.04	-0.03	0.15	STI
3.11	0.2	3.46	-1.96	-2.73	ATI
0.85	-0.03	-0.18	0.12	0.3	DI
1.01	-0.01	0.24	-0.13	0	K <sub>1</sub> STI
1.01	-0.04	-0.12	0.07	0.36	K <sub>2</sub> STI
1.01	-0.03	-0.17	0.1	0.16	RDI
99.84	0.01	0	0.01	-0.02	RDY
7.79	0.61	8.37	-4.9	-6.97	SSPI
0.15	0.02	0.14	-0.09	-0.13	SDI
10.26	-1.81	-3.35	2.22	12.38	SNPI

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج ضرایب همبستگی شاخص‌های مختلف و عملکرد تحت شرایط تنش و بدون تنش، می‌توان شاخص‌های GMP، HM، STI، MP و RDY را به‌عنوان شاخص‌های برتر در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی که قادرند ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا را نشان دهند انتخاب نمود. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شش مؤلفه را شناسایی کرد. سه عامل مهم اول تا سوم به‌ترتیب شاخص حساسیت به تنش خشکی، شاخص‌های مقاومت به خشکی و پتانسیل عملکرد نامیده شد. با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و بای‌پلات رسم شده ژنوتیپ شماره ۹۴ به‌عنوان بهترین لاین جهش‌یافته از لحاظ عملکرد و تحمل به تنش خشکی در بین منابع گیاهی موجود

در پژوهش حاضر انتخاب شد. بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اول، شاخص‌های SNPI و SSPI را به‌ترتیب به‌عنوان معیارهای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به تنش خشکی معرفی کرد. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها را به چهار خوشه تقسیم کرد، که بر این اساس ژنوتیپ‌های خوشه‌های اول و سوم به‌ترتیب به‌عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها در بین لاین‌های جهش‌یافته موجود در این مطالعه انتخاب شدند. بنابراین با توجه به وجود تنوع ژنتیکی بین لاین‌های جهش‌یافته مورد مطالعه و حضور تعدادی لاین متحمل به تنش خشکی، می‌توان از این جمعیت در جهت افزایش تحمل به تنش خشکی در ارقام پرمحصول برنج استفاده نمود.

می‌دهد. از طرفی روند تغییرات دما و بارندگی (شکل ۱) و منحنی رطوبتی خاک (شکل ۲) نتایج پژوهش حاضر را تأیید کرده و بیانگر آن است که شدت اعمال کافی تنش بوده است. بنابراین تعداد زیادی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در جمعیت گیاهی مطالعه حاضر وجود داشته، که ذخایر ژنتیکی مناسبی برای مطالعات آتی مولکولی در زمینه تحمل به تنش خشکی هستند.

نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند برای انتخاب هدفمند والدین مناسب از گروه‌های متفاوت به منظور تولید رقم‌های جدید در برنامه‌های اصلاحی استفاده نمود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد از ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شده در این مطالعه به عنوان والدین تلاقی، در برنامه‌های به‌نژادی برنج استفاده گردد. برای استفاده بهینه از برنامه‌های دورگ‌گیری در به‌نژادی باید والدین انتخابی را با توجه به صفات مورد نظر در فاصله مناسبی از هم انتخاب کرد. هرچه فاصله والدین بیش‌تر باشد شانس به‌دست آوردن  $F_1$  هتروتیک افزایش می‌یابد. این ژنوتیپ‌ها جهت تلاقی و تجزیه ژنتیکی تحمل به خشکی با استفاده از طرح دی‌آل یا تجزیه میانگین نسل‌ها و همچنین برای نقشه‌یابی QTL و انتخاب به کمک نشانگر جهت تحمل به تنش رطوبتی آخر فصل توصیه می‌شوند.

با بررسی توأم همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه (شرایط تنش و بدون تنش) و ضریب تغییرات آن‌ها مشخص می‌گردد، برای اطمینان از اعمال تنش کافی در آزمایش حاضر، شاخص شدت تنش (SI) و میزان بارندگی در شرایط اعمال تنش خشکی بررسی شد. بر این اساس میزان شدت تنش ۰/۱۶ برآورد شد که در ظاهر تنش پائینی به حساب می‌آید. به عبارتی ۰/۱۶ کاهش در عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش ایجاد شده است. با توجه به قطع آبیاری کامل در مرحله زایشی گیاه انتظار شدت تنش بیش‌تری وجود داشت. نکته دارای اهمیت آن‌که در محاسبه شدت تنش، وجود تعداد زیادی ژنوتیپ متحمل در مجموعه مواد گیاهی مورد ارزیابی، ممکن است برآورد میزان شدت تنش را اریب نماید و آن را کم‌تر از میزان واقعی نشان دهد. برای کنترل این موضوع از مقایسه عملکرد دانه ژنوتیپ شاهد در شرایط تنش و بدون تنش استفاده گردید. در این مطالعه عملکرد دانه لاین شماره ۶۲ در شرایط تنش خشکی ۰/۴۲ کاهش پیدا کرده بود. گیاهی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند با قطع آبیاری در مرحله زایشی برنج در منطقه گنبد ۰/۴۳ کاهش در عملکرد دانه در شرایط خشکی نسبت به شرایط غرقاب مشاهده شد. میزان شدت تنش ژنوتیپ شاهد با گزارش پژوهشگران مذکور انطباق قابل‌توجهی نشان

#### منابع

- Ahloowalia, B.S. and Maluszynski, M. 2001. Induced mutations- A new paradigm in plant breeding. *Euphytica* 118: 2. 167-173.
- Ahloowalia, B.S., Maluszynski, M. and Nichterlein, K. 2004. Global impact of mutation-derived varieties. *Euphytica* 135: 2. 187-204.
- Ahmadi, V. and Aharizad, S. 2014. Evaluation of bread wheat recombinant inbred lines for water deficit stress tolerance indices. *J. Sus. Agric. Prod. Sci.* 23: 4. 9-22. (In Persian)
- Ahmadikhah, A., Shojaeian, H. and Pahlevani, M.H. 2016. Mutagenesis in rice to develop drought tolerance and assessment of genetic variability of mutants using ISSR marker. *J. Cell. Mol. Res. (Iran. J. Biol.)* 29: 2. 126-140. (In Persian)
- Beigzadeh, N. and Rashidi, V. 2016. Evaluation of agro-physiological traits of bean genotypes under drought stress and non-stress conditions at reproductive stage. *Seed Plant Improve. J.* 32: 2. 215-230. (In Persian)

6. Bouslama, M. and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Sci.* 24: 5. 933-937.
7. Bughio, H.R., Asad, M.A., Odhano, I., Bughio, M.S., Khan, M.A. and Mastoi, N.N. 2007. Sustainable rice production through the use of mutation breeding. *Pak. J. Bot.* 39: 7. 2457-2461.
8. Chaghakaboodi, Z. and Zebarjadi, A.R. 2012. Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in laboratory and field conditions. *Seed Plant Improve. J.* 28: 1. 17-38. (In Persian)
9. Dubey, A.K., Yadav, J.R. and Singh, B. 2007. Studies on induced mutations by gamma irradiation in okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Prog. Agric.* 7: 1.2. 46-48.
10. Emre, I., Ozgur, T., Fatma, A.T. and Muzaffer, T. 2011. Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. *Turk. J. Field Crop.* 16: 1. 59-63.
11. Erfani, F., Shokrpour, M., Momeni, A. and Erfani, A. 2013. Evaluation of drought tolerance in rice varieties using yield-based indices at vegetative and reproductive stage. *J. Sus. Agric. Prod. Sci.* 22: 4. 135-147. (In Persian)
12. Farshadfar, A. 2000. Selection for drought resistance in bread wheat lines. *Sci. Agric. Ind. J.* 14: 161-171. (In Persian)
13. Farshadfar, E., Poursiahbidi, M.M. and Safavi, S.M. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *Int. J. Adv. Biol. Biom. Res.* 1: 2. 143-158.
14. Farshadfar, E. and Sutka, J. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agron. Hung.* 50: 4. 411-416.
15. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G., Ed., *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress*, AVRDC publication, Tainan, Taiwan, Pp: 257-270.
16. Fischer, R.A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 5. 897-912.
17. Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z.M., Condon, A.G. and Saevedra, A.L. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Sci.* 38: 1467-1475.
18. Fischer, R.A. and Wood, J.T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield association with morpho-physiological traits. *Aust. J. Agric. Res.* 30: 1001-1020.
19. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R.G., Ricciardi, G.L. and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Can. J. Plant Sci.* 77: 523-531.
20. Ghiasy, M., Farahbakhsh, H., Sabouri, H. and Mohamadi Nejad, G.H. 2014. Evaluation of rice cultivars in drought and normal conditions based on sensitive and tolerance indices. *J. Plant Prod. Res.* 6: 4. 55-75. (In Persian)
21. Geravandi, M., Farshadfar, E. and Kahrizi, D. 2010. Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field laboratory conditions. *Seed Plant Improve. J.* 26: 2. 233-252. (In Persian)
22. Golesorkhy, M., Biabani, A., Sabouri, H. and Mohammad Esmaeili, M. 2016. Studying the relationship between agronomy traits of rice under flooding and drought stress conditions. *Environ. Stress. Crop Sci.* 8: 2. 191-204. (In Persian)
23. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 1987. Determination of moisture content in cereals. Retrieved October 14, 2017, from <http://www.simabar.golestanmporg.ir>.
24. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agric. Bor-occid Sinica.* 7: 85-87.
25. Madry, W., Wosinska, A. and Ubysz-Borucka, L. 1984. Variability of pollen viability in the flowers and inflorescences of china aster (*Callistephus chinensis* Ness) M<sub>1</sub> and M<sub>2</sub> generation. *Acta Agrob.* 37: 2. 133-139.



26. Meteorological Organization of Golestan Province. 2016. Information of Meteorological in Gonbad Kavous. Retrieved October 14, 2017, from <http://www.isiri.gov.ir>.
27. Mohseni, M., Mortazavian, S.M.M., Ramshini, H.A. and Foghi, B. 2015. Evaluation of drought tolerance in some wheat genotypes based on selection indices. Iran. J. Field Crops Res. 13: 3. 524-542. (In Persian)
28. Moosavi, S.S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M.R., Zali, A.A., Dashti, H. and Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert. 12: 165-178.
29. Naghavi, M.R., Moghaddam, M., Toorchi, M. and Shakiba, M.R. 2016. Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices. J. Crop Breed. 8: 17. 192-207. (In Persian)
30. Pandey, V. and Shukla, A. 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. Rice Sci. 22: 4. 147-161.
31. Rosielle, A.A. and Hamblin, A.J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Sci. 21: 6. 943-946.
32. Sabouri, H., Biabani, A., Fakhzri Moghaddam, A., Katouzi, M. and Ebadi, A.A. 2008. Genetic analysis of agronomic and qualitative traits in Iranian rice. Final Report of Project. Gonbad Kavous University. Gonbad Kavous. 48p. (In Persian)
33. Sabouri, H., Biabani, A., Fakhzri Moghaddam, M., Sabouri, A. and Katouzi, M. 2008. Genetic analysis of agronomic traits in Iranian rice using diallel method. Final Report of Project. Gonbad Kavous University. Gonbad Kavous. 49p. (In Persian)
34. Sabouri, H., Sabouri, A., Jafarzadeh, M.R., Sajjadi, S.J., Mollashahi, M. and Jafarian, H.A. 2011. Introduction of tolerant rice cultivars for Gonbad Kavous region. Final Report of Project. Gonbad Kavous University. Gonbad Kavous. 46p. (In Persian)
35. Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H. and Esfahani, M. 2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza Sativa* L.) genotypes. Iran. J. Crop Sci. 9: 4. 315-331. (In Persian)
36. Safari, B., Mortazavian, S.M.M., Sadat Noori, S.A. and Foghi, B. 2017. Evaluation of drought tolerance in endemic ecotypes of cumin using tolerance indices. J. Plant Prod. Res. 23: 4. 185-204. (In Persian)
37. Shahmoradi, Sh. and Zahravi, M. 2016. Evaluation of drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm from warm and dry climates of Iran. Seed Plant Improve. J. 32: 2. 181-200. (In Persian)
38. Shu, Q.Y. and Lagoda, P.J.L. 2007. Mutation techniques for gene discovery and crop improvement. China Acad. J. Mol. Plant Breed. 5: 193-195.
39. Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohammadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop Res. 98: 2-3. 222-229.
40. Tripathy, S.K., Lenka, D. and Rajan, R. 2011. Maximization of mutation frequency in grasspea (*Lathyrus sativus* L.). Leg. Res. Int. J. 34: 4. 296-299.
41. Vasline, A.Y. 2013. An investigation on induced mutations in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Arch. 13: 1. 555-557.
42. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, 269p.

