

ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های اینبرد نوترکیب برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

## Evaluation of Drought Tolerance in Rice Recombinant Inbred Lines Using Stress Tolerance Indices

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

- ۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
۲- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
۳- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.  
۴- استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.  
۵- استادیار، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۰

### چکیده

کازرانی، ب.، نواب‌پور، س.، صبوری، ح.، رمضان‌پور، س. س.، زینلی‌نژاد، خ.، و اسکندری، ع. ۱۳۹۸. ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های اینبرد نوترکیب برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش. *مجله به‌زراعی نهال و بذر* ۲-۳۵: ۸۱-۵۹.

به‌منظور ارزیابی لاین‌های اینبرد نوترکیب برنج حاصل از تلاقی دو رقم برنج اهلمی طارم و سپیدرود به ترتیب متحمل و حساس به تنش خشکی، آزمایشی در بهار سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس اجرا گردید. یکصد و شانزده لاین لاین اینبرد نوترکیب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط (بدون تنش و تنش خشکی) بررسی و ارزیابی شد. شاخص‌های  $K_1STI$ ,  $HM$ ,  $RDY$ ,  $STI$ ,  $GMP$ ,  $MP$  و  $K_2STI$  با عملکرد دانه در هر دو محیط (تنش و بدون تنش) همبستگی بالایی داشتند، بنابراین به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت انتخاب لاین‌های متحمل به تنش خشکی شناسایی شدند. تجزیه بای‌پلات بر اساس دو مولفه اول نشان داد که لاین‌های شماره ۱۲، ۱۱۲ و ۱۱۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و لاین‌های شماره ۴۳، ۵۰، ۶۴ و ۸۹ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته شدند. بای‌پلات شاخص‌های  $SNPI$  و  $SSPI$  را نیز به‌عنوان معیارهای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی کرد. بر اساس ۱۷ شاخص تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش گروه‌بندی لاین‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش WARD انجام گرفت و چهار گروه تشکیل شد. خوشه‌های دوم و چهارم به ترتیب با بیشترین و کمترین مقدار  $K_2STI$  به ترتیب معرف ژنوتیپ‌های متحمل و حساس بودند. در مجموع بر اساس تجزیه بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای لاین‌های شماره ۱۱۲ و ۶۴ به ترتیب به‌عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر شناسایی شدند. عملکرد دانه لاین شماره ۱۱۲ در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب ۵۱۹۰ و ۶۶۴۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد دانه لاین شماره ۶۴ در شرایط تنش و بدون تنش به ترتیب ۱۶۴۰ و ۲۲۴۰ کیلوگرم در هکتار بود.

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

## مقدمه

برنج غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان است. برنج و مشتقات آن ۷۰-۶۰ درصد انرژی مورد نیاز آن‌ها را تامین می‌کند (Marathi *et al.*, 2012). در سال ۱۳۹۵ در ایران ۵۹۶ هزار هکتار زیر کشت برنج رفت. در همین سال میانگین تولید شلتوک برنج در ایران ۴۹۰۱ کیلوگرم در هکتار بود (Anonymous, 2016).

تنش خشکی مشکل اصلی و محدود کننده تولید برنج است (Pandey and Shukla, 2015). در گذشته تصور می‌شد که عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی دارای وراثت‌پذیری پایینی بوده و این به دلیل کنترل ژنتیکی پیچیده آن و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد (Dixit *et al.*, 2014). امروزه نظریه اخیر منسوخ شده، بنابراین انتخاب مستقیم بر اساس عملکرد دانه به جای صفات ثانویه (همچون ساختار ریشه، تنظیم اسمزی، پتانسیل آب ریشه، پتانسیل آب برگ و محتوی آب نسبی) توصیه می‌شود (Kumar *et al.*, 2008). در این راستا یکی از راه‌های بهبود عملکرد، ایجاد ارقام نوترکیب متحمل به تنش خشکی و استفاده از شاخص‌های مناسب برای گزینش لاین‌های برتر بویژه از نظر عملکرد دانه در شرایط تنش می‌باشد (Ahmadi and Aharizad, 2014).

در مزرعه برای تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش خشکی از شاخص‌های

انتخاب استفاده می‌شود. این شاخص‌ها بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و غیر تنش پیشنهاد شده است. شاخصی مناسب است که ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیر تنش را از سایر ژنوتیپ‌ها تفکیک کند (Fernandez, 1992).

فیشـــــر و مـــــورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index = SSI) را ارائه کردند. آنها نشان دادند که ژنوتیپ‌هایی با SSI کمتر از واحد، به خشکی مقاوم‌تر هستند. بنابراین کاهش عملکرد آن‌ها در شرایط خشکی کمتر از کاهش میانگین عملکرد دانه کل ژنوتیپ‌ها است (Geravandi *et al.*, 2010).

شاخص تحمل به تنش (Tolerance Index = TOL) و شاخص میانگین محصول دهی (Mean Productivity = MP) توسط روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) معرفی شد. مقادیر بالای TOL نشان‌دهنده حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است. MP نیز به صورت میانگین جمع جبری عملکرد دانه یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش تعریف می‌شود (Geravandi *et al.*, 2010).

شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index = YSI) توسط بوسلاما و شاپاگ (Boslama and Schapaugh, 1984) پیشنهاد

(Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006).  
 لن (Lan, 1998) شاخص خشکی (Drought Index = DI) را پیشنهاد کرد. این شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش است (Taghipour *et al.*, 2014). در شاخص DI و STI نه تنها عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، بلکه عملکرد مناسب در محیط بدون تنش را نیز در نظر می‌گیرند (Farshadfar *et al.*, 2012).  
 فرشادفر و سوتکا (Farshadfar and Sutka, 2002) شاخص STI را به شاخص تحمل به تنش تغییر یافته (Modified Stress Tolerance Index: MSTI) اصلاح 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 غیر زیستی (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 (Moosavi *et al.*, 2008) پیشنهاد شد. این سه شاخص برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط تنش و بدون تنش کاربرد

شد. این شاخص عملکرد دانه ژنوتیپ در شرایط تنش را وابسته به عملکرد دانه در شرایط غیر تنش آن ارزیابی کرده و می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باشد. بنابراین انتظار می‌رود که ژنوتیپ‌های با YSI بالاتر در هر دو شرایط، عملکرد دانه بالاتری داشته باشند (Geravandi *et al.*, 2010).

فرناندز (Fernandez, 1992) میانگین هندساری (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. مقادیر بالای STI نشان‌دهنده آن است که ژنوتیپ دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش است (Geravandi *et al.*, 2010).

میانگین هارمونی (Harmonic Index = HM) نیز از شاخص‌هایی است که در ارزیابی تحمل به تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Farshadfar, 2000). شاخص عملکرد (Yield Index = YI) توسط گاووزی و همکاران (Gavuzzi *et al.*, 1997) معرفی شد. این شاخص ژنوتیپ‌ها را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند. این شاخص ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیر تنش را تشخیص نمی‌دهد

و RDY را به عنوان شاخص‌های برتر جهت انتخاب لاین‌های متحمل به تنش خشکی پیشنهاد کردند. شاهمرادی و زهراوی (Shahmoradi and Zahravi, 2016) و عرفانی و همکاران (Erfani et al., 2013) به ترتیب با مطالعه ژنوتیپ‌های جو و برنج شاخص‌های STI و GMP را به‌عنوان بهترین شاخص‌های تحمل انتخاب کردند. احمدی و اهری‌زاد (Ahmadi and Aharizad, 2014) و گراوندی و همکاران (Geravandi et al., 2010) در گندم و چغاکبودی و زبرجدی (Chaghakaboodi and Zebarjadi, 2012) در کلزا شاخص‌های STI، GMP و MP را به‌عنوان برترین شاخص‌ها جهت دستیابی به ارقام پر محصول در شرایط تنش و غیر تنش معرفی کردند.

این پژوهش به منظور ارزیابی تحمل به تنش خشکی در لاین‌های اینبرد نوترکیب برنج و انتخاب و گروه‌بندی آن‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش انجام شد.

### مواد و روش‌ها

تلاقی اولیه بین دو رقم برنج اهلمی طارم و سپیدرود در سال ۱۳۸۷ در دانشگاه گنبد کاووس انجام شد (Sabouri et al., 2008a) و پس از تلاقی ارقام والدینی و اداره نسل‌ها، بذر نسل نهم (F<sub>9</sub>) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع

درد (Mohseni et al., 2015). فیشر و وود (Fischer and Wood, 1979) شاخص نسبی خشکی (Relative Drought Index = RDI) را معرفی کردند. ایمر و همکاران (Emre et al., 2011) شاخص کاهش نسبی عملکرد (Relative Decrease in Yield Index = RDY) را معرفی کردند. در برخی گزارشات از شاخص حساسیت خشکی (Sensitive Drought Index = SDI) استفاده شده است (Farshadfar et al., 2013).

در مطالعات متعددی برای پاسخ به تنش خشکی بر روی برنج شاخص‌های GMP، MP، HM و STI به علت همبستگی بالا با عملکرد دانه در محیط تنش و بدون تنش، به عنوان شاخص‌های مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌ها معرفی شده‌اند. به عنوان نمونه صفائی چایی کار و همکاران (Safaei Chaeikar et al., 2018) با ارزیابی ۴۹ ژنوتیپ ایرانی، خارجی و چند رقم آپلند برنج، طبخ‌کار و همکاران (Tabkhkar et al., 2018) با بررسی ۸۳ ژنوتیپ برنج و رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2013) با تلاقی ارقام برنج سپیدرود و غریب و ارزیابی ۱۵۰ لاین F<sub>5</sub> به نتایج فوق رسیدند.

در پژوهشی دیگر کازرانی و همکاران (Kazerani et al., 2019a) با مطالعه ۹۶ لاین نسل نهم حاصل از تلاقی ارقام اهلمی طارم و سپیدرود، شاخص‌های GMP، HM، STI، MP

گرم و خشک محسوب می‌شود. در این منطقه قسمت عمده نزولات آسمانی در فصل سرد به نازل می‌شود و فصل تابستان نسبتاً گرم و خشکی دارد. در این منطقه عمق سطح آب و تراز سطح آب به ترتیب  $7/7$  و  $38/5$  متر است.

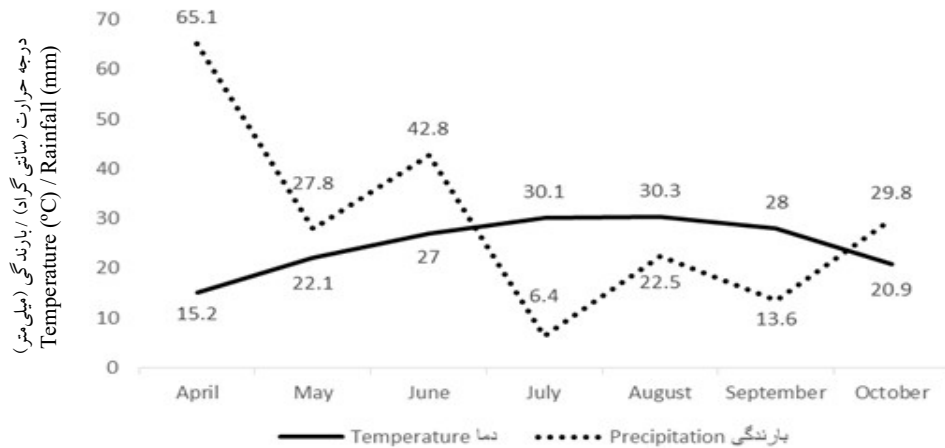
آبیاری در شرایط بدون تنش به صورت غرقاب در طول دوره رشد ژنوتیپ‌ها انجام شد، اما در محیط تنش  $40$  روز پس از نشاکاری (مرحله حداکثر پنجه‌زنی) تا انتهای دوره رشد آبیاری به طور کامل قطع شد (Golesorkhy et al., 2016; Kazerani et al., 2019b). با توجه به منحنی رطوبت خاک متناسب با مزرعه تحقیقاتی در طول دوره آزمایش با فاصله  $50$ ،  $60$ ،  $70$ ،  $80$  و  $90$  روز پس از نشاکاری اقدام به نمونه‌گیری شده و رطوبت خاک به ترتیب  $32$ ،  $24$ ،  $18$ ،  $8$  و  $4$  درصد رطوبت وزنی متناسب با  $0/05$ ،  $0/12$ ،  $0/27$ ،  $0/72$  و  $1/1$  - مگاپاسکال تخمین زده شد (شکل ۲). از آنجائیکه برنج در مرحله زایشی به تنش خشکی حساس است (Yoshida, 1981)، اعمال تنش پس از مرحله رویشی (حداکثر پنجه‌زنی) انجام شد.

برای تعیین عملکرد دانه، در مرحله رسیدگی از سطح یک و نیم متر مربع برداشت انجام و عملکرد دانه با رطوبت  $14$  درصد در هکتار در شرایط تنش و غیر تنش محاسبه شد. این شاخص‌های با استفاده از عملکرد هر ژنوتیپ در محیط تنش ( $Y_S$ ) و بدون تنش ( $Y_P$ ) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش ( $\bar{Y}_S$ ) و

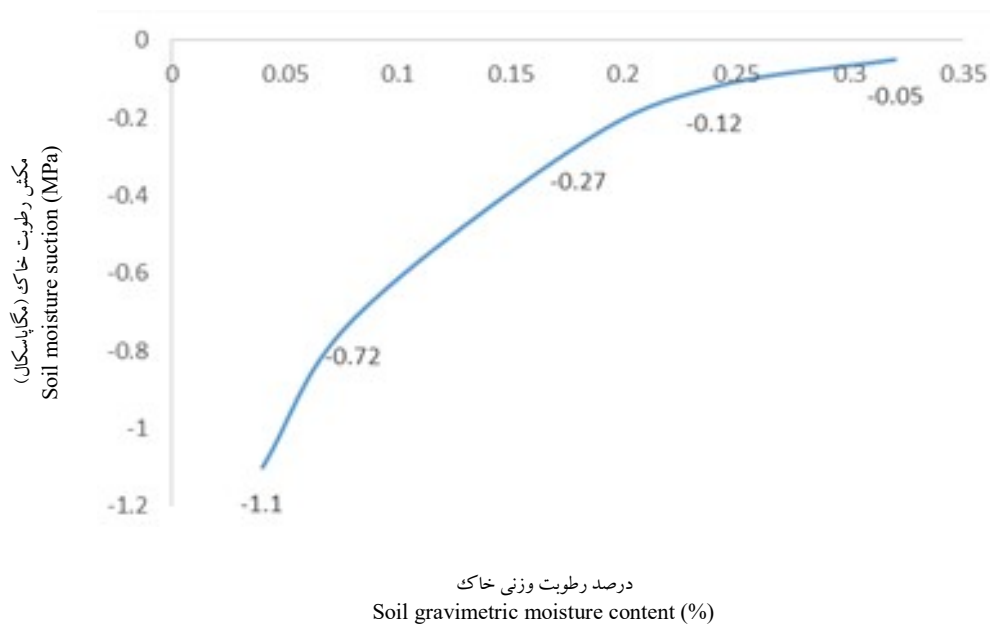
طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، با طول جغرافیایی  $53$  درجه و  $45$  دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی  $96$  درجه و  $36$  دقیقه شمالی با ارتفاع  $52$  متر از سطح دریای آزاد کشت شدند. به منظور تهیه خزانه،  $116$  لاین در گلدان‌های پنج لیتری در گلخانه در اردیبهشت  $1395$  کشت شد و روزانه دو مرتبه گلدان‌ها آبیاری شدند. در گلخانه دو مرحله کود کامل NPK مخصوص برنج به گیاهچه‌ها داده شد. پس از تصادفی کردن محل نشاء لاین‌ها در واحدهای آزمایشی به تعداد چهار نشاء و هر نشاء شامل سه گیاهچه روی پنج ردیف به طول دو متر و با فاصله ردیف  $25$  سانتی متر بر اساس تراکم  $16$  بوته در مترمربع در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط جداگانه، بدون تنش (غرقاب) و تنش خشکی در سال زراعی  $1395$  در مزرعه تحقیقاتی مذکور کشت شدند.

بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، کود نیتروژن به میزان  $150$  کیلوگرم در هکتار، نصف در زمان کاشت و نصف در مرحله پنجه‌دهی و کود فسفره به میزان  $100$  کیلوگرم در هکتار در ابتدای کاشت داده شد. در طول دوره رشد مراقبت‌های زراعی لازم از قبیل وجین علف‌های هرز و کنترل علف‌های هرز با استفاده از علف کش بتازون انجام شد.

با توجه به روند تغییرات دما و بارندگی در سال  $1395$  در منطقه گنبد کاووس (شکل ۱) و نیز با داشتن  $200$ - $150$  روز خشک، محل آزمایش جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای



شکل ۱- روند تغییرات دما و بارندگی در سال زراعی ۱۳۹۵ در گنبد کاووس  
 Fig. 1. Variation in the trend of temperature and rainfall in 2016 cropping season in Gonbad Kavous



شکل ۲- درصد رطوبت وزن خاک محل آزمایش  
 Fig. 2. Soil gravimetric moisture content curve of experimental site

شاخص‌هایی که با عملکرد در هر دو محیط  
 بیشترین همبستگی را داشتند، به‌عنوان شاخص  
 برتر شناسایی شدند.  
 برای درک روابط علت و معلولی بین

بدون تنش ( $\bar{Y}_D$ ) به‌وسیله فرمول‌های جدول ۲  
 به‌دست آمد. به‌منظور بررسی ارتباط  
 شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی،  
 ضرایب همبستگی ساده محاسبه شد.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۰-۳۰ سانتی متر

Table 1. Physico- chemical properties of soil of experimental site in 0-30 cm depth

بافت خاک Soil Texture			پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	درصد نیترژن کل	درصد کربن آلی	درصد مواد خنتی شونده	اسیدیته گل اشباع	هدایت الکتریکی	درصد اشباع خاک
ماسه (%)	سیلت (%)	رس (%)	(میلی گرم در کیلوگرم)	(میلی گرم در کیلوگرم)	Total N (%)	Organic Carbon (%)	Neutralizing Materials (%)	Saturated soil paste acidity	Electrical Conductance	Soil saturation (%)
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Available K (ppm)	Available P (ppm)	Total N (%)	Organic Carbon (%)	Neutralizing Materials (%)	Saturated soil paste acidity	Electrical Conductance	Soil saturation (%)
10	60	30	505	28	0.13	1.33	9	7.5	2.9	45.9

جدول ۲- شاخص های تحمل به خشکی، فرمول ها و منابع

Table 2. Drought tolerance indices, formulas and references

Index	شاخص	Formulas	فرمول	Reference	منبع
Tolerance		$TOL = Y_p - Y_s$		Rosielle & Hamblin (1981)	
Mean Productivity		$MP = (Y_p + Y_s) / 2$		Rosielle & Hamblin (1981)	
Geometric Mean Productivity		$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$		Fernandez (1992)	
Harmonic		$HM = 2(Y_p \times Y_s) / (Y_p + Y_s)$		Ghiasi <i>et al.</i> (2014)	
Yield Stability Index		$YSI = Y_s / Y_p$		Bousslama & Schapaugh (1984)	
Yield Index		$YI = Y_s / \bar{Y}_s$		Gavuzzi <i>et al.</i> (1997)	
Stress Susceptibility Index		$SSI = 1 - (Y_s / Y_p) / SI$ , $SI = 1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$		Fischer & Maurer (1978)	
Stress Tolerance Index		$STI = Y_p \times Y_s / (\bar{Y}_p^2)$		Fernandez (1992)	
Abiotic Tolerance Index		$ATI = [(Y_p - Y_s) / (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)] \times \sqrt{\bar{Y}_p \times Y_s}$		Moosavi <i>et al.</i> (2008)	
Drought Index		$DI = (Y_s^2 / Y_p) / \bar{Y}_s$		Lan (1998)	
Modified Stress Tolerance Index		$MSTI = K_1 STI$ , $K_1 = Y_p^2 / \bar{Y}_p^2$ , $K_2 = Y_s^2 / \bar{Y}_s^2$		Farshadfar & Sutka (2002)	
Relative Drought Index		$RDI = (Y_s / Y_p) / (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$		Fischer <i>et al.</i> (1998)	
Relative Decrease in Yield		$RDY = 100 - [(Y_s \times Y_p) / 100]$		Emre <i>et al.</i> (2011)	
Stress Susceptibility Percentage Index		$SSPI = [(Y_p - Y_s) / 2\bar{Y}_p] \times 100$		Moosavi <i>et al.</i> (2008)	
Sensitive Drought Index		$SDI = (Y_p - Y_s) / Y_p$		Farshadfar <i>et al.</i> (2013)	
Stress- Non Stress Production Index		$SNPI = [(Y_p + Y_s) / (Y_p - Y_s)]^{1/2} \times [Y_p \times Y_s \times Y_p]^{1/2}$		Moosavi <i>et al.</i> (2008)	

متغیر بودن اجزاء عملکرد در آن‌ها و همچنین واکنش متفاوت نسبت به شرایط محیطی مرتبط دانست (Mohseni et al., 2015).

از نظر شاخص‌های MP، GMP، HM، YI، STI،  $K_1STI$  و  $K_2STI$  لاین شماره ۱۱۲ به ترتیب با ۵/۵۹، ۵/۵۸، ۵/۵۶، ۱/۵۵، ۱/۵۱، ۲/۶۳ و ۳/۶۱ متحمل‌ترین و لاین شماره ۶۴ به ترتیب با ۱/۹۴، ۱/۹۲، ۱/۸۹، ۰/۴۹، ۰/۱۸، ۰/۰۴ و ۰/۰۴ حساس‌ترین لاین مورد مطالعه بودند. هر چه مقدار عددی این شاخص‌ها بیشتر باشد نشان‌دهنده تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد بیشتر آن لاین در هر دو شرایط می‌باشد.

انتخاب بر اساس MP سبب‌گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا می‌شود (Fernandez, 1992). یکی از خواص مهم میانگین هندسی آن است که کمتر تحت تاثیر داده‌های پرت قرار می‌گیرد، بنابراین GMP نسبت به MP به میزان کمتری تحت تاثیر مقادیر متفاوت  $Y_P$  و  $Y_S$  قرار می‌گیرد (Jalalifar et al., 2012).

شاخص YI ارقام را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را مشخص نمی‌کند (Sio-Se Mardeh et al., 2006).

شاخص STI گزینش را به طرف انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و متحمل به خشکی سوق می‌دهد و هر چه مقدار این شاخص زیاد

شاخص‌های تحمل و شناخت شاخص‌هایی که بیشترین نقش را در عملکرد دانه ایفا می‌نمایند و نیز شناسایی عوامل پنهانی موثر بر عملکرد دانه از تجزیه به مولفه‌های اصلی به روش حداکثر درست‌نمایی استفاده شد. بر اساس دو مولفه مهم بای‌پلات ترسیم و لاین‌های برتر شناسایی شدند. برای تعیین اندازه فاصله ژنتیکی و گروه‌بندی ۱۱۶ لاین برنج بر اساس ۱۷ شاخص تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد دو محیط، دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از الگوریتم WARD ترسیم شد. از نسبت انحراف میانگین خوشه‌ها به میانگین کل، برای تشخیص خوشه متحمل و حساس به تنش خشکی استفاده شد. برای محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و انحراف از میانگین کل در تجزیه خوشه‌ای از نرم افزار Excel 2013 استفاده شد. محاسبه ضرایب همبستگی، تجزیه به مولفه‌های اصلی، ترسیم بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص با استفاده از نرم افزار R 3.4.0 انجام شد.

## نتایج و بحث

در شرایط بدون تنش و تنش لاین شماره ۱۱۲ به ترتیب با ۶۶۴۰ و ۵۱۹۰ کیلوگرم در هکتار پر محصول‌ترین لاین بود. لاین شماره ۶۴ در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب با ۲۲۴۰ و ۱۶۴۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان کم‌محصول‌ترین لاین مورد مطالعه شناسایی شد. تغییرات پتانسیل عملکرد در لاین‌ها را می‌توان با



تحمل به تنش را به ترتیب در شرایط عدم تنش و تنش بهتر از شاخص‌های دیگر انجام می‌دهند (Moosavi *et al.*, 2008). بر اساس شاخص SNPI لاین‌های شماره ۹۲ و ۶۴ به ترتیب با ۴۰/۶۳ و ۳/۳۸ به عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین لاین‌های مورد مطالعه شناسایی شدند.

از نظر شاخص‌های SSI و SDI لاین شماره ۸۵ به ترتیب با ۲/۳ و ۰/۶ حساس‌ترین و لاین شماره ۹۲ به ترتیب با ۰/۰۱ و صفر متحمل‌ترین لاین بودند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص SSI، مواد آزمایشی را صرفاً بر اساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند. به عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد (Fischer and Maurer, 1978). بنابراین به منظور یافتن ژنوتیپ‌های متحمل این شاخص کارایی بالایی دارد. در واقع شاخص SSI تغییر یا آسیب وارده به ژنوتیپ‌ها را در شرایط تنش مدنظر قرار می‌دهد. به این معنی که اگر ژنوتیپی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالاتری باشد اما درصد تغییرات زیادی را نشان دهد، به عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی نمی‌شود.

با بررسی عملکرد لاین‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مشخص شد که شاخص‌های TOL، SSI و SSPI در گزینش ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای

باشد نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی و در نتیجه عملکرد بالا است (Fernandez, 1992). لاین‌های شماره ۱۰ و ۸۵ به ترتیب با ۱/۴۷ و ۰/۲۴ به عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ از نظر شاخص DI انتخاب شدند. 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 (Mohseni *et al.*, 2015).

از نظر شاخص‌های TOL، ATI و SSPI لاین شماره ۸۰ به ترتیب با ۳/۸۶، ۲۲/۳۷ و ۴۲/۵۱ بیشترین و لاین شماره ۹۲ به ترتیب با ۰/۰۱، ۰/۰۹ و ۰/۱۵ کمترین مقدار را داشتند. هر چه مقدار عددی شاخص ATI افزایش و شاخص‌های TOL و SSPI کاهش یابد نشان‌دهنده آن است که حساسیت به تنش کمتر و تحمل نسبی لاین‌ها به تنش رطوبتی بیشتر می‌باشد. بنابراین شاخص‌های ATI لاین‌های شماره ۸۰ و ۹۲ را به ترتیب به عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین لاین معرفی کردند. اما عکس این موضوع با شاخص TOL و SSPI تعیین شد. گزینش لاین‌های متحمل به خشکی بر مبنای هر کدام از شاخص‌ها و یا عملکرد به تنهایی مشکل بوده و حتی گاهی نتایج ضد و نقیضی به دنبال دارد (Zebarjadi *et al.*, 2013). بنابراین نیاز به استفاده از تعداد بیشتری از شاخص‌های تحمل به تنش وجود دارد. شاخص‌های SSPI و SNPI تفکیک میزان

هدایت برنامه به‌نژادی به سوی انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین می‌شود (Fernandez, 1992). از نظر شاخص‌های YSI و RDI لاین شماره ۹۲ به‌ترتیب با ۱ و ۱/۳۵ متحمل‌ترین و لاین شماره ۸۵ به‌ترتیب با ۰/۴ و ۰/۵۴ حساس‌ترین لاین‌ها شناخته شدند. شاخص RDI شاخصی مثبت برای نشان دادن تحمل به تنش است (Fischer *et al.*, 1998). شاخص RDY لاین‌های شماره ۶۴ و ۱۱۲ به‌ترتیب با ۹۹/۹۶ و ۹۹/۶۹ را به‌عنوان حساس‌ترین و متحمل‌ترین لاین‌ها معرفی کرد (جدول عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی ارائه نشده است).

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 ۰/۲۶ برآورد شد که به نظر تنش پائینی به حساب می‌آید. به‌عبارتی ۰/۲۶ کاهش در عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش ایجاد شد. با توجه به قطع آبیاری کامل در مرحله زایشی گیاه انتظار شدت تنش بیشتری وجود داشت. نکته حائز 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

عملکرد مناسب باشند، موفق نبود. در واقع این شاخص‌ها به نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیان می‌کند. به‌عبارتی ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار پایینی از این شاخص‌ها باشند تغییرات کمتری را نشان می‌دهند. پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان عامل تحمل به تنش، ارزش زراعی کمی دارد و بیشتر دارای ارزش فیزیولوژیک است. انتخاب بر اساس این شاخص‌ها باعث گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد نسبتاً پایین در محیط بهینه و عملکرد پایین در شرایط تنش می‌شود، که چنین ژنوتیپ‌هایی به‌علت پایین بودن عملکرد از نظر زراعی مناسب نیستند (Schneider *et al.*, 1997).

پایین بودن این شاخص‌ها الزاماً به معنی بالا بودن عملکرد در شرایط بدون تنش نیست، بلکه ممکن است عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش پایین باشد و در شرایط تنش نیز با کاهش کمتری همراه باشد که این باعث کوچک ماندن این شاخص‌ها شود و در نتیجه این ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی شوند (Moghaddam and Hadizade, 2002). به‌عنوان نمونه لاین‌های شماره ۵۰ و ۱۱۵ که در هر دو شرایط رطوبتی دارای عملکرد نسبتاً کمی نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بودند، اما به‌دلیل کاهش اندک عملکرد در شرایط تنش بر اساس این شاخص به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند، در حالی که شاخص SSI این ژنوتیپ را حساس به تنش معرفی کرد. گزینش بر اساس شاخص TOL سبب

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 (Fernandez, 1992). در همین رابطه با توجه به ضرایب همبستگی شاخص‌های مختلف و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش، می‌توان شاخص‌های  $MP$ ،  $GMP$ ،  $STI$ ،  $RDY$ ،  $HM$ ،  $K_1STI$  و  $K_2STI$  را به‌عنوان شاخص‌های برتر در هر دو شرایط غرقاب و تنش خشکی که قادرند ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا را شناسایی کنند انتخاب نمود. این نتایج در مورد شاخص‌های  $MP$ ،  $GMP$ ،  $STI$ ،  $HM$  و  $MP$  با یافته‌های صفری و همکاران (Safari et al., 2017)، نقوی و همکاران (Naghavi et al., 2016)، بیگ‌زاده و رشیدی (Beigzadeh and Rashidi, 2016)، غیائی و همکاران (Ghiasy et al., 2014) و صفایی چائی کسار و همکاران (Safaei Chaeikar et al., 2008) به‌ترتیب بر روی ژنوتیپ‌های زیره، گندم، لوبیا، برنج و برنج همخوانی دارد.

لاین‌های شماره ۱۰، ۱۲، ۴۲، ۱۱۲ و ۱۱۳ بر اساس شاخص‌های  $MP$ ،  $GMP$ ،  $STI$ ،  $HM$  و  $K_1STI$  در رده بالا و از نظر شاخص  $RDY$  در رده پایینی قرار داشتند و با توجه به اینکه شاخص‌های مورد اشاره به‌عنوان شاخص‌های برتر در پژوهش حاضر شناسایی شدند، می‌توان این لاین‌ها را به‌عنوان ژرم‌پلاسم متحمل دانست. لاین‌های شماره ۳، ۴۳، ۵۰، ۶۴، ۸۹ و ۱۰۰

استفاده شد. در این مطالعه عملکرد دانه لاین شماره ۸۱ در شرایط تنش خشکی ۰/۴۵ کاهش پیدا کرد. قیاسی و همکاران (Ghiasy et al., 2014) 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. شدت تنش وارده به ژنوتیپ شاهد با گزارش محققان مذکور انطباق قابل توجهی نشان می‌دهد. از طرفی روند تغییرات دما و بارندگی (شکل ۱) و منحنی رطوبتی خاک (شکل ۲) نتایج پژوهش حاضر را تایید می‌کنند و مویید آن است که شدت اعمال تنش کافی بود.

برای بررسی مقاومت به خشکی شاخصی مطلوب است که همبستگی بالا بین شاخص مورد نظر و پتانسیل عملکرد وجود داشته باشد (Fernandez, 1992). در این راستا همبستگی شاخص‌ها با عملکرد بررسی گردید. در شرایط غرقاب شاخص‌های  $K_1STI$ ،  $MP$ ،  $GMP$ ،  $STI$ ،  $RDY$ ،  $HM$  و  $K_2STI$  به‌ترتیب با ۰/۸۸، ۰/۸۵، ۰/۷۸، ۰/۷۷، ۰/۷۷، -۰/۷۷، ۰/۷۲ و ۰/۵۸ در شرایط تنش شاخص‌های  $HM$ ،  $K_2STI$ ،  $GMP$ ،  $STI$ ،  $RDY$ ،  $MP$ ،  $K_1STI$ ،  $RDI$ ،  $SDI$  و  $SNPI$  به‌ترتیب با ۰/۹۵، ۰/۹۴، ۰/۹۲، ۰/۹۲، ۰/۹۲، ۰/۸۷، ۰/۷۳، ۰/۷۱، ۰/۷۱، -۰/۷۱ و ۰/۷ همبستگی بالایی را با عملکرد دانه داشتند (جدول ۳).

شاخص‌هایی که در هر دو محیط دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند می‌توانند

جدول ۳- ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل خشکی با عملکرد دانه در شرایط غرقابی و تنش خشکی

Table 3. Correlation coefficients between drought tolerance indices and grain yield in 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	SNP <sub>I</sub>	
Y <sub>p</sub>	1																			
Y <sub>s</sub>	0.47**	1																		
TOL	0.47**	-0.55**	1																	
MP	0.85**	0.87**	-0.06 <sup>ns</sup>	1																
GMP	0.78**	0.92**	-0.17 <sup>ns</sup>	0.99**	1															
HM	0.72**	0.95**	-0.27**	0.98**	0.99**	1														
YSI	-0.27**	0.71**	-0.96**	0.28**	0.38**	0.46**	1													
YI	0.47**	1**	-0.56**	0.87**	0.92**	0.95**	0.71**	1												
SSI	0.27**	-0.71**	0.96**	-0.28**	-0.38**	-0.46**	-1**	-0.71**	1											
STI	0.77**	0.92**	-0.19*	0.98**	0.99**	0.99**	0.39**	0.92**	-0.39**	1										
ATI	0.65**	-0.35**	0.96**	0.15 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>	-0.87**	-0.36**	0.87**	0.03 <sup>ns</sup>	1									
DI	0.17 <sup>ns</sup>	0.94**	-0.78**	0.66**	0.73**	0.79**	0.89**	0.94**	-0.89**	0.74**	-0.63**	1								
K <sub>1</sub> STI	0.88**	0.73**	0.1 <sup>ns</sup>	0.94**	0.92**	0.89**	0.1 <sup>ns</sup>	0.73**	-0.11 <sup>ns</sup>	0.94**	0.32**	0.5**	1							
K <sub>2</sub> STI	0.58**	0.94**	-0.39**	0.89**	0.92**	0.94**	0.54**	0.94**	-0.54**	0.95**	-0.2*	0.84**	0.85**	1						
RDI	-0.27**	0.71**	-0.96**	0.28**	0.38**	0.46**	1**	0.71**	-1**	0.39**	-0.87**	0.89**	0.1 <sup>ns</sup>	0.54**	1					
RDY	-0.77**	-0.92**	0.19*	-0.98**	-0.99**	-0.99**	-0.38**	-0.91**	0.39**	-1**	-0.03 <sup>ns</sup>	-0.74**	-0.94**	-0.95**	-0.38**	1				
SSPI	0.47**	-0.55**	1**	-0.06 <sup>ns</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	-0.27**	-0.96**	-0.56**	0.96**	-0.19*	0.96**	-0.78**	0.1 <sup>ns</sup>	-0.39**	-0.96**	0.19*	1			
SDI	0.27**	-0.71**	0.96**	-0.28**	-0.38**	-0.46**	-1**	-0.71**	1**	-0.39**	0.87**	-0.89**	-0.1 <sup>ns</sup>	0.54**	-1**	0.38**	0.96**	1		
SNP <sub>I</sub>	0.04 <sup>ns</sup>	0.7**	-0.66**	0.44**	0.49**	0.53**	0.75**	0.7**	-0.75**	0.49**	-0.58**	0.81**	0.28**	0.6**	0.75**	-0.49**	-0.66**	-0.75**	1	

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.  
ns: غیر معنی‌دار.

\* and \*\*: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.  
ns: Not- significant.

Note: for abbreviation, please refer to Table 2.

توجه: برای اختصارات لطفاً به جدول ۲ مراجعه شود.

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 (Shahmoradi and Zahravi, 2016). آماره‌های توصیفی برای عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است.

شاخص‌های  $K_2STI$ ,  $TOL$ ,  $SSPI$ ,  $ATI$ ,  $SDI$ ,  $K_1STI$ ,  $SSI$  و  $SNPI$  به ترتیب با  $0.79/0.35$ ،  $0.68/0.64$ ،  $0.68/0.47$ ،  $0.68/0.38$ ،  $0.64$ ،  $0.61/0.9$ ،  $0.61/0.86$  و  $0.60/0.39$  ضریب تغییرات بالایی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). این موضوع نشان می‌دهد شاخص‌های مذکور بیشتر از سایر شاخص‌ها در تفکیک و تمایز ژنوتیپ‌های مورد مطالعه موثر بودند. مقدار ضریب تغییرات  $Y_P$  و  $Y_S$  نزدیک به هم بود (با کمی تفاوت در جهت بیشتر برای  $Y_S$ ) که نشان می‌دهد تنش خشکی به صورت ملایمی سبب افزایش تغییرات در عملکرد دانه در لاین‌های مورد مطالعه شد.

با بررسی توام ضرایب همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه (شرایط تنش و بدون تنش) و ضریب تغییرات آن‌ها مشخص می‌شود، شاخص  $K_1STI$  به علت دارا بودن همبستگی قابل توجه در هر دو محیط و مقدار ضریب تغییرات بالا به عنوان شاخصی که بیشترین تغییرات را در شرایط متفاوت رطوبتی توضیح داد، شناسایی شد (جدول ۴).

مقدار شاخص‌های  $MP$ ،  $GMP$ ،  $STI$ ،  $HM$  و  $K_1STI$  کمتر و مقدار شاخص  $RDY$  بیشتری داشتند، بنابراین به عنوان لاین‌های حساس شناسایی شدند.

لاین‌های شماره ۱۳ و ۱۶ در شرایط تنش دارای عملکرد نسبتاً یکسانی بودند ولی به دلیل بالا بودن عملکرد لاین شماره ۱۳ در شرایط غرقاب شاخص‌های  $MP$ ،  $GMP$ ،  $STI$ ،  $HM$  و  $K_1STI$  آن بیشتر و شاخص  $RDY$  آن پائین تر از لاین شماره ۱۶ بود. بنابراین شاخص‌های مذکور زمانی قابل اعتماد هستند که با عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر گرفته شوند. به طور کلی عکس‌العمل گیاهان زراعی و ارزیابی آن‌ها برای حداکثر عملکرد در شرایط محیطی متنوع وابسته به توانایی متفاوت آن‌ها در استفاده از شرایط محیطی است. این امر از طریق تنظیم اجزای عملکرد و اثر متقابل ژنوتیپ‌ها به هنگام بروز شرایط نامطلوب و مطلوب امکان‌پذیر است (Ghiyasi et al., 2014).

هر چه تغییرات یک شاخص در یک جامعه بیشتر باشد، آن شاخص در تفکیک و تمیز افراد آن جامعه موثرتر خواهد بود. البته ضریب همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش که برای انتخاب شاخص برتر مدنظر قرار می‌گیرد، به طور غیر مستقیم این موضوع را لحاظ می‌کند، ولی برای این که بتوان تصویر واضح‌تری از توانایی ایجاد تمایز بین ژنوتیپ‌ها، توسط شاخص‌های مورد ارزیابی به دست آورد، بهتر است از آماره‌های

جدول ۴- آماره‌های توصیفی برای شاخص‌های تحمل به تنش برآورد شده برای ژنوتیپ‌های برنج  
Table 4. Descriptive statistics for estimated stress tolerance indices for rice genotypes

شاخص تنش Stress index	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار (±) Standard error (±)	درصد ضریب تغییرات C.V.(%)
Y <sub>P</sub>	2.24	6.64	4.54	0.76	16.74
Y <sub>S</sub>	1.64	5.19	3.36	0.81	24.11
TOL	0.01	3.86	1.18	0.81	68.64
MP	1.94	5.59	3.95	0.67	16.96
GMP	1.92	5.58	3.88	0.69	17.78
HM	1.89	5.56	3.81	0.71	18.64
YSI	0.4	1.00	0.75	0.16	21.33
YI	0.49	1.55	1.00	0.24	24.00
SSI	0.01	2.3	0.97	0.6	61.86
STI	0.18	1.51	0.75	0.26	34.67
ATI	0.09	22.37	6.04	4.13	68.38
DI	0.24	1.47	0.77	0.31	40.26
K <sub>1</sub> STI	0.04	2.63	0.84	0.52	61.9
K <sub>2</sub> STI	0.04	3.61	0.92	0.73	79.35
RDI	0.54	1.35	1.01	0.21	20.79
RDY	99.69	99.96	99.84	0.05	0.05
SSPI	0.15	42.51	12.97	8.88	68.47
SDI	0.003	0.60	0.25	0.16	64.00
SNPI	3.38	4.63	8.81	5.32	60.39

شاخص‌های مذکور و عملکرد دانه بیشتر در شرایط تنش رطوبتی باشند.

مولفه دوم ۱۱/۷۸ درصد از تغییرات را توضیح داد و ارتباط مثبتی با SNPI داشت. این شاخص بر عملکرد بالا و پایدار در شرایط دون‌تنش و تنش تاکیس دارد (Moosavi et al., 2008). بنابراین می‌توان مولفه دوم را نماینده شاخص‌های مقاومت به خشکی که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط متفاوت رطوبتی نام‌گذاری کرد. مولفه سوم ۲/۰۵۵ درصد از تغییرات را توضیح داد و ارتباط بالایی با عملکرد دانه در شرایط غرقابی و تنش و شاخص‌ها Y<sub>P</sub>، Y<sub>S</sub>، MP، GMP، HM و ATI داشت. بنابراین می‌توان مولفه سوم را مولفه پتانسیل عملکرد نام‌گذاری کرد (جدول ۵). از آنجائیکه ۹۷/۷۰ درصد از تغییرات توسط دو

تجزیه به مولفه‌های اصلی سه عامل را نشان داد (جدول ۵). مولفه اول ۸۵/۹۱ درصد از تغییرات را توضیح داد و ارتباط مثبتی با SSPI داشت. شاخص SSPI برای تفکیک ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل و غیرمتحمل به تنش رطوبتی استفاده می‌شود (Moosavi et al., 2008). این مولفه ارتباط منفی با عملکرد دانه در شرایط تنش نشان داد. بنابراین مولفه اول را می‌توان به‌عنوان مولفه حساسیت به تنش معرفی کرد که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های حساس به تنش رطوبتی بود. بار عامل‌ها در مولفه اول نشان داد که عملکرد دانه در دو محیط بدون تنش و تنش دارای بار عاملی مثبت و منفی است که تایید همبستگی منفی ATI، SSI، TOL، که تایید همبستگی منفی ATI، SSI، TOL، SSPI، RDY و SDI با Y<sub>S</sub> بود. هر چه مقدار این مولفه کمتر باشد ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای مقادیر کمتری از

جدول ۵- تجزیه به مولفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی  
Table 5. Principal component analysis for drought tolerance indices

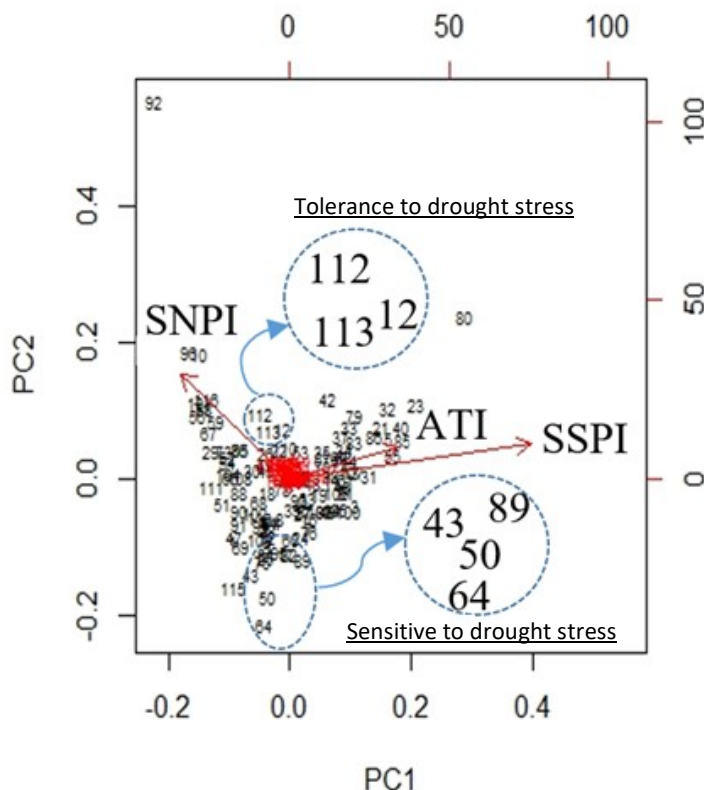
شاخص تنش Stress index	مولفه اول First component	مولفه دوم Second component	مولفه سوم Third component
Y <sub>p</sub>	0.0307	0.1253	0.2924
Y <sub>s</sub>	-0.0453	0.099	0.3164
TOL	0.076	0.0263	-0.0244
MP	-0.0073	0.1122	0.3041
GMP	-0.0144	0.1079	0.317
HM	-0.021	0.1038	0.3284
YSI	-0.0144	0.0023	0.0179
YI	-0.0135	0.0295	0.0943
SSI	0.0557	-0.0091	-0.0693
STI	-0.0058	0.0401	0.1221
ATI	0.3749	0.2554	0.413
DI	-0.024	0.0285	0.0822
K <sub>1</sub> STI	0.003	0.081	0.244
K <sub>2</sub> STI	-0.03	0.0971	0.2952
RDI	-0.0195	0.0032	0.0242
RDY	0.0012	-0.0081	-0.0251
SSPI	0.8377	0.2904	-0.2711
SDI	0.0144	-0.0023	-0.0179
SNPI	-0.3776	0.8774	-0.2917
انحراف استاندارد Standard deviation	10.5015	3.8893	1.624
واریانس (%) Variance (%)	0.8591	0.1178	0.02055
واریانس تجمعی (%) Cumulative variance (%)	0.8591	0.977	0.99752

به خشکی را می‌توان در مطالعات ژنتیکی و فیزیولوژیکی مربوط به نحوه توارث سازوکار تحمل به تنش خشکی مورد استفاده قرار داد. در مقابل لاین‌هایی مانند ۴۳، ۵۰، ۶۴ و ۸۹ که دارای مقادیر حداقلی از مولفه‌های اول و دوم بودند، به عنوان لاین‌های حساس به تنش خشکی شناخته شدند. بهترین شاخص‌های تحمل نسبی و مقاومت نسبی به ترتیب SSPI و SNPI هستند (Moosavi *et al.*, 2008).

دندروگرام مربوط به تجزیه خوشه‌ای در شکل ۴ ارائه شده است. زمانی که برش دندروگرام در فاصله ۶۵ صورت گرفت، سطح احتمال معنی‌دار شدن به حداقل رسید (جدول ۶).

مولفه اول و دو توضیح داده شد و حذف سایر مولفه‌ها تاثیر بسیار ناچیزی در بین تغییرات داشت، ترسیم بای‌پلات بر اساس این دو مولفه انجام شد.

به‌طور کلی لاین‌هایی که کمترین مقدار مولفه اول و بیشترین مقدار مولفه دوم را داشته باشند، برای هر دو شرایط بدون تنش و تنش مطلوب خواهند بود. بنابراین با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی (جدول ۵) و بای‌پلات رسم شده (شکل ۳) می‌توان مشاهده کرد لاین‌هایی مانند ۱۲، ۱۱۲ و ۱۱۳ که نزدیک به شاخص SNPI بودند، در هر دو محیط عملکردی بالایی داشته و به عنوان لاین‌های متحمل به تنش خشکی شناسایی شدند. این ژنوتیپ‌های متحمل



شکل ۳- بای پلات برای شاخص‌های تحمل به خشکی در ۱۱۶ ژنوتیپ برنج بر اساس مولفه اول و دوم  
 Fig. 3. Biplot for drought tolerance indices in 116 genotypes of rice based on first and second components

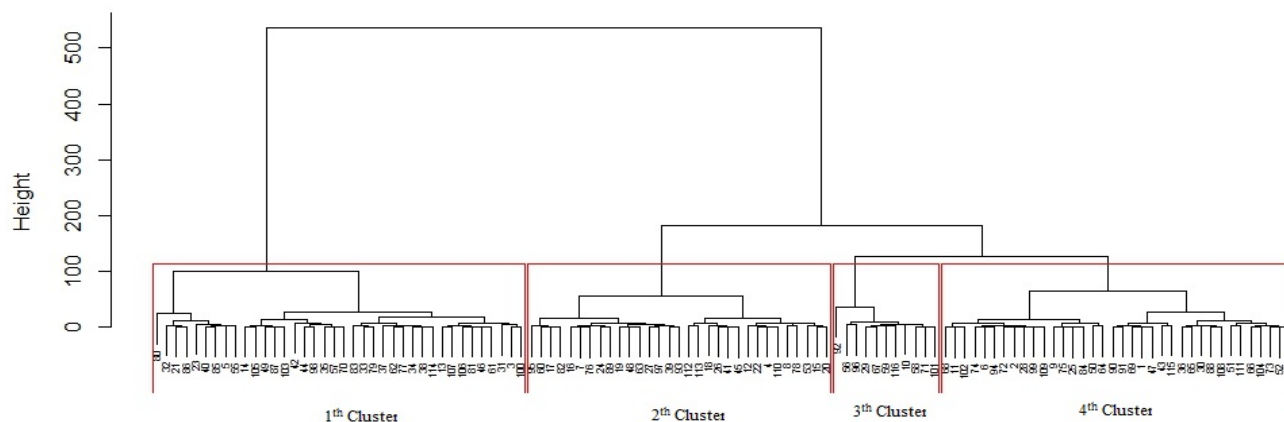
غرقاب و حساس به تنش قرار داشتند. خوشه دوم دارای بیشترین مقدار  $K_1STI$  بود. لاین‌های خوشه دوم دارای میانگین عملکرد بالا و تحمل نسبی به تنش بودند.

خوشه سوم از لحاظ  $Y_s$ ,  $MP$ ,  $GMP$ ,  $HM$ ,  $SNPI$  و  $RDI$ ,  $K_2STI$ ,  $DI$ ,  $STI$ ,  $YI$ ,  $YSI$  بیشترین و از نظر  $TOL$ ,  $ATI$ ,  $RDY$ ,  $SSPI$  و  $SDI$  کمترین مقدار را بین خوشه‌ها داشت. بنابراین در این خوشه لاین‌هایی با میانگین عملکرد بالا و متحمل به تنش قرار داشتند. خوشه چهارم دارای کمترین مقدار  $K_1STI$ ,  $Y_p$

به عبارت دیگر حداکثر تفاوت بین گروه‌های حاصل از تابع اول مشاهده شد. برش دندروگرام در این فاصله منجر به تشکیل چهار خوشه گردید. خوشه‌های اول تا چهارم به ترتیب شامل ۳۸، ۳۱، ۱۱ و ۳۶ ژنوتیپ بودند (شکل ۴).

خوشه اول از لحاظ شاخص‌های  $Y_p$ ,  $TOL$ ,  $SSI$ ,  $ATI$ ,  $RDY$  و  $SSPI$  بیشترین و از نظر شاخص‌های  $Y_s$ ,  $MP$ ,  $GMP$ ,  $HM$ ,  $YSI$ ,  $SNPI$  و  $RDI$ ,  $DI$ ,  $STI$ ,  $YI$  در بین خوشه‌ها داشتند (جدول ۷). در این خوشه لاین‌هایی با عملکرد بالا در شرایط





شکل ۴- گروه‌بندی ۱۱۶ ژنوتیپ برنج بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از روش Ward  
 Fig. 4. Grouping of 116 rice genotypes based on drought tolerance indices using Ward's method

جدول ۶- تابع تشخیص کانونیک برای تعیین محل برش دندروگرام

Table 6. Canonical discriminant function analysis for determination of cutting point of dendrogram

تعداد گروه Number of groups	ویلکس لامبدا Wilks' Lambda	کای اسکور Chi-square	سطح احتمال Probability (%)
2	0.15**	920.9**	0.003
3	0.02**	1308.1**	0.0005
4	0.005**	868.1**	0.0001

جدول ۷- میانگین و انحراف از میانگین کل در خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای

Table 7. Mean and deviation for total mean in the cluster resulted from cluster analysis

شاخص Stress index	میانگین Mean	خوشه Cluster			
		اول First	دوم Second	سوم Third	چهارم Fourth
Y <sub>p</sub>	4.54	0.44	0.12	-0.21	-0.51
Y <sub>s</sub>	3.36	-0.52	0.16	0.87	0.14
TOL	1.18	0.96	-0.04	-1.08	-0.65
MP	3.95	-0.04	0.14	0.33	0.18
GMP	3.88	-0.13	0.17	0.40	-0.12
HM	3.81	-0.22	0.19	0.46	-0.07
YSI	0.75	-0.18	0.00	0.23	0.12
YI	1.00	-0.15	0.05	0.26	0.04
SSI	0.97	0.68	0.00	-0.89	-0.45
STI	0.75	-0.06	0.07	0.15	-0.05
ATI	6.04	4.71	0.07	-5.41	-3.38
DI	0.77	-0.28	0.02	0.45	0.14
K <sub>1</sub> STI	0.84	0.06	0.15	0.05	-0.21
K <sub>2</sub> STI	0.92	-0.34	0.20	0.63	-0.01
RDI	1.01	-0.24	0.00	0.31	0.16
RDY	99.84	0.02	-0.01	-0.03	0.01
SSPI	12.97	10.53	-0.41	-11.85	-7.14
SDI	0.25	0.18	0.00	-0.23	-0.12
SNPI	8.73	-3.37	-1.07	12.37	0.70

حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. با بررسی توام همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه (شرایط تنش و بدون تنش) و ضریب تغییرات آن‌ها مشخص شد که شاخص K<sub>1</sub>STI به‌علت دارا بودن همبستگی بالا با عملکرد دانه در هر دو محیط و مقدار ضریب تغییرات بالا به‌عنوان شاخصی که بیشترین تغییرات را در شرایط متفاوت رطوبتی توضیح داد، تعیین شد. پیشنهاد می‌شود از لاین‌های برتر شناسایی شده در این پژوهش به‌عنوان والدین تلاقی در برنامه‌های به‌نژادی برنج استفاده شود.

و K<sub>2</sub>STI بود. لاین‌های این خوشه دارای میانگین عملکرد و تحمل پایین به تنش بودند. بنابراین با توجه به نتایج تجزیه خوشه‌ای، لاین‌های خوشه‌های دوم و چهارم به ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و حساس در میان لاین‌های نو ترکیب مورد بررسی در این پژوهش حاضر انتخاب شدند. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد شاخص K<sub>2</sub>STI بیشترین تنوع را در شرایط متفاوت رطوبتی توجیه می‌کند. این مورد نتایج تجزیه خوشه‌ای را تایید می‌کند. خوشه‌های دوم و چهارم به ترتیب با بیشترین و کمترین مقدار K<sub>2</sub>STI به ترتیب معرف متحمل‌ترین و

**References**

- Ahmadi, V., and Aharizad, S. 2014.** Evaluation of bread wheat recombinant inbred lines for water deficit stress tolerance indices. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 23 (4): 9-22 (in Persian).
- Anonymous, 2016.** Statistic of agriculture. 1<sup>st</sup> Volume. Crop production, growing season 2016. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran.
- 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 and Plant Improvement Journal* 32 (2): 215-230 (in Persian).
- Bousslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984.** Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science* 24(5): 933-937.
- Chaghakaboodi, Z., and Zebarjadi, A. R. 2012.** Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in laboratory and field conditions. *Seed and Plant Improvement Journal* 28 (1): 17-38 (in Persian).
- Dixit, S., Singh, A., and Kumar, A. 2014.** Rice breeding for high grain yield under drought: a strategic solution to a complex problem. *International Journal of Agronomy* 1-15.
- Emre, I., Ozgur, T., Fatma, A. T., and Muzaffer, T. 2011.** Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. *Turkish Journal of Field Crops* 16 (1): 59-63.
- 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. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 22 (4): 135-147 (in Persian).
- Farshadfar, A. 2000.** Selection for drought resistance in bread wheat lines. *Sciences and Agricultural Industries Journal* 14: 161-171 (in Persian).
- Farshadfar, E., Jamshidi, B., and Aghaee, M. 2012.** Biplot analysis of drought tolerance in bread wheat landraces of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4 (5): 226-233.
- 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.

- International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1 (2): 143-158.
- Farshadfar, E., and Sutka, J. 2002.** Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica* 50 (4): 411-416.
- Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing stress tolerance. Pp. 257-270. 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.
- Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29 (5): 897-912.
- 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 Science* 38: 1467-1475.
- Fischer, R. A., and Wood, J. T. 1979.** Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield association with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agriculture Research* 30: 1001-1020.
- 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. *Canadian Journal of Plant Science* 77: 523-531.
- 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. *Journal of Plant Production Research* 6(4): 55-75 (in Persian).
- Geravandi, M., Farshadfar, E., and Kahrizi, D. 2010.** Evaluation of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field laboratory conditions. *Seed and Plant Improvement Journal* 26 (2): 233-252 (in Persian).
- Golesorkhy, M., Biabani, A., Sabouri, H., and Mohammad Esmaceli, M. 2016.** Studying the relationship between agronomy traits of rice under flooding and drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 8 (2): 191-204 (in Persian).
- Jalalifar, S., Moosavi, S. S., Abdollahi, M. R., Chaichi, M., and Mazaherylaghab, H. 2012.** Evaluation of tolerance to drought stress in some bread wheat cultivars using old and new indices. *Plant Production Technology* 12 (1): 15-26 (in Persian).

- Kazerani, B., Navabpour, S., Sabouri, H., Ramezanpour, S. S. Zaynali Nezhad, K., and Eskandari, A. 2018.** Determination of the best selection indices in mutant lines of rice at different moisture conditions. *Journal of Crops Improvement* 20 (1): 173-189. (in Persian).
- Kazerani, B., Navabpour, S., Sabouri, H., Ramezanpour, S. S. Zaynali Nezhad, K., and Eskandari, A. 2019a.** Evaluation and selection of rice mutant lines based on drought tolerance indices. *Journal of Plant Production Research* 25 (4): 15-31 (in Persian).
- Kazerani, B., Navabpour, S., Sabouri, H., Ramezanpour, S. S. Zaynali Nezhad, K., and Eskandari, A. 2019b.** Evaluation of proline content and enzymatic defense mechanism in response to drought stress in rice. *Iranian Journal of Plant Physiology* 9 (2): 2749-2785.
- Kumar, A., Bernier, J., Verulkar, S., Lafitte, H. R., and Atlin, G. N. 2008.** Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and use of drought-tolerant donors in upland and lowland adapted populations. *Field Crops Research* 107: 221-231.
- Lan, J. 1998.** Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-Occid Sinica* 7: 85-87.
- Marathi, B., Guleria, S., Mohapatra, T., Parsad, R., Mariappan, N., Kurungara, V. K., Atwal, S. S., Prabhu, K. V., Singh, N. K., and Singh, A. K. 2012.** QTL analysis of novel genomic regions associated with yield and yield related traits in new plant type based recombinant inbred lines of rice (*Oriza sativa* L.). *BMC Plant Biology* 12: 137-155.
- Moghaddam, A., and Hadizade, M. H. 2002.** Response of corn (*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Seed and Plant Journal* 18(3): 255-272 (in Persian).
- 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. *Iranian Journal of Field Crops Research* 13 (3): 524-542 (in Persian).
- 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.

- Naghavi, M. R., Moghaddam, M., Toorchi, M., and Shakiba, M. R. 2016.** Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices. *Journal of Crop Breeding* 8 (17): 192-207 (in Persian).
- Pandey, V., and Shukla, A. 2015.** Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Science* 22 (4): 147-161.
- Rahimi, M., Dehghani, H., Rabiei, B., and Tarang, A. R. 2013.** Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5 (3): 194-199.
- Rosielle, A. A., and Hamblin, A. J. 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science* 21 (6): 943-946.
- 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. 48 pp. (in Persian).
- Sabouri, H., Biabani, A., Fakhzri Moghaddam, Mollashahi, 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. 49 pp. (in Persian).
- 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. 46 pp. (in Persian).
- Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., and Rahimi, M. 2018.** Evaluation of drought tolerance indices in rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *Journal of Crop Breeding* 10 (25): 7-18 (in Persian).
- Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H., and Esfahani, M. 2008.** Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 9 (4): 315-331 (in Persian).
- 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. *Journal of Plant Production Research* 23 (4): 185-204 (in Persian).

- Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Allejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J. D. 1997.** Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science* 37: 43-50.
- Shahmoradi, Sh., and Zahravi, M. 2016.** Evaluation of drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm from warm and dry climates of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal* 32 (2): 181-200 (in Persian).
- Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006.** Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98 (2-3): 222-229.
- Tabkhkar, N., Rabiei, B., Samizadeh Lahiji, H., and Hosseini Chaleshtori, M. 2018.** Assessment of rice genotypes response to drought stress at the early reproductive stage using stress tolerance indices. *Journal of Crop Production and Processing* 7(4): 83-106 (in Persian).
- Taghipour, Z., Asghari Zakaria, R., Zare, N., and Shaikh Zadeh Mosadegh, P. 2014.** The application of stress tolerance indices for evaluation of *Aegilops triuncialis* ecotypes to terminal drought tolerance. *Journal of Crop Production* 7 (1): 79-93 (in Persian).
- Yoshida, S. 1981.** Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines. 269 pp.
- Zebarjadi, A. R., Tavakoli Shadpey, S., Etminan, A. R., and Mohammadi, R. 2013.** Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Seed and Plant Improvement Journal* 29 (1): 1-12 (in Persian).