



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی تحمل به تنش خشکی در لاین‌های جو با استفاده از شاخص‌های تحمل

پروانه اسلامی^۱، ایرج برنوسی^۲، سعید اهری‌زاد^۳ و جعفر جعفرزاده^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (نویسنده مسول: i.bernosi@urmia.ac.ir)
۳- استاد، گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۴- استادیار مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
تاریخ دریافت: ۹۹/۹/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲
صفحه: ۷۱ تا ۸۳

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی کاهش عملکرد دانه جو می‌باشد و با وجود پیشرفت‌های اخیر در اصلاح این گیاه، هم‌چنان نیاز به بهبود ارقام جو متحمل به تنش خشکی در کشور احساس می‌شود. در تحقیق حاضر، تعداد ۸۱ لاین جو طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۹۹-۱۳۹۸ در دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی در مرحله پنجه‌زنی در دانشگاه تبریز مورد بررسی قرار گرفتند. تنش خشکی با استفاده از تشتک تبخیر برحسب ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک اعمال گردید. ارزیابی تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش مختلف ضمن تأیید وجود تنوع ژنتیکی، نشان داد که لاین‌های شماره ۳۸، ۴۸ و ۶۷ با دارا بودن میانگین عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط از تحمل به تنش خشکی بالایی برخوردار هستند. اکثر شاخص‌ها با میانگین عملکرد همبستگی معنی‌داری داشتند، اما بیشترین مقدار همبستگی با عملکرد مربوط به شاخص‌های K1STI، MP و GMP در شرایط تنش خشکی و شاخص‌های YI، WGMI، K2STI و HM تحت شرایط آبیاری معمولی بود. با تجزیه خوشه‌ای، لاین‌ها در چهار گروه قرار گرفتند که لاین‌های موجود در گروه اول و تا حدودی گروه دوم از نظر عملکرد در هر دو شرایط محیطی و نیز شاخص‌های تحمل به تنش وضعیت قابل قبولی داشتند، در حالی که بیش از نیمی از لاین‌ها حساس به تنش خشکی بودند. در نهایت نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی هم‌خوانی خوبی با نتایج سایر روش‌ها داشت. اطلاعات پژوهش حاضر را می‌توان در آزمایشات مقایسه عملکرد و سایر برنامه‌های به‌نژادی آبی مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تنش غیرزیستی، جو، شاخص میانگین هندسی وزنی

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌عنوان چهارمین غله پراهمیت جهان شناخته می‌شود و یکی از محصولات زراعی قدیمی و اصلی در مناطق مدیترانه‌ای است (۸). این گیاه در ایران به سبب وسعت اراضی دیم به دومین غله پر اهمیت تبدیل گشته است. گیاه جو علاوه بر اهمیت تغذیه‌ای و صنعتی به دلیل عواملی همچون دوره رشد کوتاه، خودباروری و دیپلوئیدی بودن با تعداد نسبتاً کم از کروموزوم‌های بزرگ به‌عنوان یک مدل ژنتیکی در تحقیقات گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (۳۳،۳۰).

تقریباً یک سوم از سطح کره زمین خشک و نیمه‌خشک است و در بیشتر مناطق دیگر زمین اغلب، خشکی‌های غیرمنتظره اقلیمی به‌طور دوره‌ای رخ می‌دهد (۷). همچنین انتظار می‌رود با تغییرات الگوهای آب و هوایی طی سالیان آینده و کاهش منابع آب، احتمال رخداد خشکی در سراسر جهان، بیشتر شود (۶). تنش کم‌آبی در ایران و سایر اراضی که جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند، عامل اصلی محدودیت در عملکرد جو می‌باشد (۲۲). بنابراین با وجود پیشرفت‌های اخیر در اصلاح جو، هم‌چنان نیاز به بهبود ارقام متحمل به تنش خشکی در کشور احساس می‌شود.

از دیدگاه به‌نژادی، تحمل به خشکی صفتی پیچیده و کمی بوده و روش اندازه‌گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد که این امر باعث مشکل شدن شناسایی لاین‌های متحمل به

خشکی می‌شود. با این حال، تاکنون شاخص‌های مختلفی با ماهیت‌های گوناگون برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی پیشنهاد شده است (۳۴). موسوی و همکاران (۱۸) با بیان این نکته که هیچ ژنوتیپی مقاومت کامل در برابر تنش‌های غیرزیستی ندارد، اقدام به مقایسه شاخص‌های قدیمی و جدید تحمل به تنش کردند و بیان داشتند که شاخص‌های قدیمی ATI و SSPI و شاخص جدید SNPI شاخص‌های مطلوبی می‌باشند. در تحقیقی آهک‌پز و همکاران (۲) با مطالعه ۱۰۸ لاین و رقم جو زراعی تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی گزارش کردند که شاخص‌های GMP، MP، STI، YI و SSPI بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در هر دو شرایط داشتند و بر اساس آن‌ها تعداد ۲۵ ژنوتیپ مقاوم به خشکی قابل شناسایی بودند. واعظی و احمدی‌خواه (۳۱) در ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های اصلاح شده جو نشان دادند که شاخص‌های حساسیت TOL، LOS و SSI در شرایط دیم با عملکرد دانه همبسته نبودند حال آن‌که شاخص‌های تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، STI و HAR در هر دو شرایط آبی و دیم با عملکرد دانه همبستگی داشتند. نتایج مشابهی از این دست در دیگر لاین‌های اصلاح شده جو توسط سلیمانی (۲۷) و در لاین‌های بین‌المللی جو توسط کوچکی و همکاران (۱۵) گزارش شده است.

در تحقیقات مختلف همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های تحمل به خشکی با عملکرد تحت شرایط تنش و

پیاده شد و جهت اجرای آن از لوله‌های PVC به قطر ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر استفاده شد. لوله‌های PVC پس از ایجاد زهکش با خاک زراعی پر شده و به‌منظور نشست خاک، آبیاری شدند. تنش خشکی در مرحله پنجه‌زنی با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A برحسب ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در هر آزمایش اعمال گردید. این مقادیر بر اساس آزمایشات قبلی انتخاب شدند که در آن ۷۵ میلی‌متر تبخیر به‌عنوان نرمال و ۵۰ میلی‌متر تبخیر به‌عنوان شرایط تنش خشکی در نظر گرفته شد. همچنین از پوشش پلاستیکی مناسب با طرح به‌منظور کنترل شرایط محیطی به ویژه بارش‌ها استفاده گردید. در نهایت عملکرد دانه بر حسب گرم در بوته یادداشت شد.

به‌منظور شناسایی لاین‌های متحمل به تنش خشکی، شاخص‌های مختلف بر مبنای روابط زیر در برنامه Excel 2016 محاسبه شدند. درصد کاهش^۱:

$$PR = ((Y_p - Y_s) / Y_p) \times 100$$

شاخص تحمل^۲ (۲۵):

$$TOL = Y_p - Y_s$$

میانگین تولید^۳ (۲۵):

$$MP = (Y_p - Y_s) / 2$$

میانگین هندسی تولید^۴ (۱۰):

$$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$$

شاخص تحمل تنش^۵ (۱۰):

$$STI = (Y_p \times Y_s) / (\bar{Y}_p)^2$$

شاخص‌های تحمل تنش تغییر یافته^۶ (۱۹):

$$K1STI = Y_p^2 / \bar{Y}_p^2$$

$$K2STI = Y_s^2 / \bar{Y}_s^2$$

شاخص تحمل تنش غیر زیستی^۷ (۱۸):

$$ATI = [(Y_p - Y_s) / (\bar{Y}_p / \bar{Y}_s)] \times [\sqrt{Y_p \times Y_s}]$$

شاخص حساسیت به تنش^۸ (۱۲):

$$SSI = [(1 - (Y_s / Y_p))] / [(1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p))]$$

بدون تنش به‌عنوان معیاری از مناسب بودن شاخص‌ها مطرح می‌باشد (۳۴، ۱۹، ۱۸، ۴). با این حال، رحیمی و همکاران (۲۳) با استفاده از رویکرد شبکه عصبی مصنوعی نتیجه گرفتند که شاخص‌های MP و YI به‌ترتیب بیشترین اهمیت نسبی را در غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی دارند. سامدور و همکاران (۲۶) با اشاره به محدودیت‌های شاخص‌های مختلف به‌ویژه SSI، شاخص جدیدی به نام میانگین هندسی وزنی را معرفی نمودند و بر مناسب و قابل اعتماد بودن آن تأکید داشتند، زیرا گزینش بر مبنای شاخص ذکر شده منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا می‌گردد.

بر مبنای عملکرد در شرایط تنش، بدون تنش و شاخص‌های تحمل به خشکی می‌توان ژنوتیپ‌ها و لاین‌ها را گروه‌بندی نمود تا با در نظر گرفتن تمامی شاخص‌ها، دید جامعی از تحمل به خشکی فراهم گردد. چنانچه مهدوی و همکاران (۲۶) در ارزیابی تعداد ۲۰ ژنوتیپ پیشرفته جو، نیکخواه و همکاران (۲۱) در جمعیت لاین‌های نوترکیب جو و سلیمانی و همکاران (۲۸) در ارقام بهاره جو اقدام به گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی کردند. از سویی دیگر، نظر به بالا بودن درصد توجیه واریانس موجود در داده‌ها توسط دو مؤلفه اول در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، این روش می‌تواند برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل مفید باشد (۲). با توجه به مواد فوق، تحقیق حاضر به‌منظور تعیین معیار مناسب جهت گزینش لاین‌های جو متحمل به تنش خشکی و شناسایی لاین‌هایی که در هر دو محیط آبیاری معمولی و تنش خشکی، بهترین واکنش را دارند، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

تعداد ۸۱ لاین و رقم جو زراعی دیم و آبی شامل لاین‌های امیدبخش، ارقام داخلی، خارجی و برخی ژنوتیپ‌های بانک ژن مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر (جدول ۱)، طی دو سال زراعی متوالی ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار

1- Percentage reduction

4- Geometric mean productivity

2- Tolerance-index

5- Stress tolerance index

3- Mean productivity

جدول ۱- مشخصات لاین‌های جو مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of studied barley lines

| تعداد رديف | عادت رشدی | شجره یا کد | کد | تعداد رديف | عادت رشدی | شجره یا کد | کد |
|---------------|--------------|--|----|---------------|--------------|--|----|
| ۲ | SP | Efes98 | ۴۲ | ۶ | W | Bahman (WA 2196-68/NY6005-18, F1//Scotia I) | ۱ |
| ۲ | SP | Cumhariyet50 | ۴۳ | ۶ | F | Bereke 54 | ۲ |
| ۲ | SP | Catalhuyuk2001 | ۴۴ | ۶ | F | Radical/Birgit//Pamir-154 | ۳ |
| ۲ | SP | Keser | ۴۵ | ۶ | SP-F | Michailo/Dobrynya | ۴ |
| ۲ | F | Sahand / Obruk-86 IRDBC05-06-188-OMH-OMh-OMh-OMH-5MH | ۴۶ | ۶ | SP-F | Bahtim 7DL/79-W40762//Deir Alla106 | ۵ |
| ۲ | F | Antares/Ky36-1294//Srlcbh-0383 /3/ Sahand IRDBC05-06-295-OMH-OMh-OMh-OMH-4MH | ۴۷ | ۶ | W | Michailo/K-096M3 | ۶ |
| ۲ | F | Yea168.4/Ywa605.5 Yea206-4A-3 // Dictoo IRDBC05-06-215-OMH-OMh-OMh-OMH-5MH | ۴۸ | ۶ | W | Pamir-168 | ۷ |
| ۲ | F | Yea168.4/Ywa605.5 Yea206-4A-3 // Denmark IRDBC05-06-220-OMH-OMh-OMh-OMH-2MH | ۴۹ | ۶ | SP-F | Ste/L.640//Hml-02/Arabi Abiad*2/3/1-BC-80593 | ۸ |
| ۲ | F | ORZA96 | ۵۰ | ۶ | SP-F | Bereke-54/Alanda | ۹ |
| ۲ | F | R018 UK | ۵۱ | ۶ | F | L.1242/ZARJOW//L.B. Iran/Una8271 //Gloria"S"/Com"S | ۱۰ |
| ۶ | W | PI-549081 | ۵۲ | ۶ | W | //L.527 Schuyler/3/M.Rnb86.80/NB2905 | ۱۱ |
| ۶ | W | PI-560331 | ۵۳ | ۲ | SP-F | Bolgali/4/Roho//Alger/Ceres362-1-1/3/CWB117-77-9-7 | ۱۲ |
| ۲ | F | C-25041//Yea168.4/Ywa605.5 Yea206-4A-3 IRB-07-029_0MH-0MH-0MH-0MH-5MH | ۵۴ | ۲ | SP | Gara arpa | ۱۳ |
| ۲ | F | Dayton/Ranney/4/K-88 M1/3/Rhn-03/lignee 640//ICB-107766 IRB-07-071_0MH-0MH-0MH-0MH-4MH | ۵۵ | ۲ | F | Sahand | ۱۴ |
| ۶ | F | Zarjau/80-5151//DZ-40-66/3/Alanda ICB06-1897-29AP-0AP-0AP | ۵۶ | ۲ | F | Abidar | ۱۵ |
| ۲ | F | Sahand/3/Alpha/Gumhuriyet//Sonja IRB-07-273_0MH-0MH-0MH-0MH-5MH | ۵۷ | ۲ | F | Ansar | ۱۶ |
| ۲ | F | Abidar/4/K-88 M1/3/Rhn-03/lignee 640//ICB-107766 IRB-07-278_0MH-0MH-0MH-0MH-5MH | ۵۸ | ۲ | F | Kuban-06 | ۱۷ |
| ۲ | F | Icb-100059/3/Tipper/ICB-102854//Alpha/Durra IRB-07-285_0MH-0MH-0MH-0MH-4MH | ۵۹ | ۲ | F | PAMIR-158/ZDM1454 ICBH95-0211-0AP-0Shi-0Shi-0Shi-5Shi | ۱۸ |
| ۲ | SP-F | 71411 | ۶۰ | ۲ | F | TOKAK//STEPTO/ANTARES | ۱۹ |
| ۲ | W | 71426 | ۶۱ | ۲ | F | Uzno-Kazakastan/3/CWB117-77-9-7//Alpha/Durra | ۲۰ |
| ۶ | W | 71538 | ۶۲ | ۲ | F | Orza-96/4/Tokak/3/CWB117-77-9-7//Alpha/Durra | ۲۱ |
| ۲ | SP-F | 71576 | ۶۳ | ۲ | F | Roho/Masurka//ICB-103020/3/Alpha/Durra//Slr | ۲۲ |
| ۶ | W | 71608 | ۶۴ | ۲ | F | ChiCm/An57//Albert/3/ICB-102379/4/GkOmega/5/Tokak ICB01-1743-OAP-OMh-4Mh-OMh | ۲۳ |
| ۲ | SP-F | 71850 | ۶۵ | ۲ | F | Ste/Antares//YEA762-2/YEA605-5/3/Slr//Alpha/Durra ICB01-1402-OAP-OMh-1Mh-OMh | ۲۴ |
| ۶ | W | 72368 | ۶۶ | ۲ | F | Sahand/C-25041 IRB-04-059-OMh-OMh-OMh-2Mh | ۲۵ |
| ۲ | W | 72439 | ۶۷ | ۲ | F | ARM-ICB-123199/3/Zarjau/80-5151//Skorohod ICB04-1466-0AP-0MH-OMh-OMh-1Mh | ۲۶ |
| ۲ | SP-F | 72550 | ۶۸ | ۲ | F | Yea168.4/Ywa605.5//Radical | ۲۷ |
| ۶ | W | 72562 | ۶۹ | ۲ | F | Unknown-F6-88-9 | ۲۸ |
| ۶ | W | 72602 | ۷۰ | ۲ | F | Sahand/Radical IRB-003-003-OMh-OMh-OMh-2Mh | ۲۹ |

Continue of the Table 1

| ادامه جدول ۱ | | | | | | | |
|--------------|------|---|----|---|------|--|----|
| ۶ | W | 72646 | ۷۱ | ۲ | F | Schuyler//Alpha/Durra/3/Radical IRB-003-004-OMh-OMh-OMh-1Mh | ۳۰ |
| ۲ | SP-F | 72647 | ۷۲ | ۲ | F | Uzno-Kazakestan/3/CWB117-5-9-5//YEA389-3/YEA475-4 ICBO3-1856-OAP-OMh-OMh-OMh-1Mh | ۳۱ |
| ۶ | W | 72703 | ۷۳ | ۲ | SP-F | Fasih | ۳۲ |
| ۶ | W | 72726 | ۷۴ | ۲ | F | Taram | ۳۳ |
| ۶ | W | 72482 | ۷۵ | ۶ | SP | Reyhan-03 | ۳۴ |
| ۶ | W | 72744 | ۷۶ | ۲ | F-WF | Bulbul | ۳۵ |
| ۲ | F | 72747 | ۷۷ | ۶ | F | Dubrinia | ۳۶ |
| ۲ | F | Obruk-86 | ۷۸ | ۶ | F | Dictoo | ۳۷ |
| ۶ | F | Star/4/M25-84/Attiki//Cr366-15-2/NopalS/3/Skorohod ICB06-1646-0AP-8AP-0AP | ۷۹ | ۲ | F | Dayton/Runney | ۳۸ |
| ۶ | W | Viringa'S//Radical//Mattina ICB06-1675-0AP-8AP-0AP | ۸۰ | ۲ | F | Nader | ۳۹ |
| ۶ | F | Alanda/Regina ICB06-1821-50AP-0AP-0AP | ۸۱ | ۶ | W | Radical | ۴۰ |
| | | | | ۲ | SP | Cumra 2001 | ۴۱ |

W: پاییزه، SP: بهاره، F: بینابینی

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه لاین‌های جو نشان داد که بین شرایط تنش و عدم تنش و لاین‌های مورد مطالعه اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در هر دو سال وجود داشت. چنین نتیجه‌ای برای اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نیز ملاحظه گردید (جدول ۲). رحمتی و همکاران (۲۴) در شرح معنی‌داری اثر متقابل بیان داشتند که معنی‌داری این اثر نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی می‌باشد و می‌توان بر اساس تحمل به تنش خشکی اقدام به گزینش ژنوتیپ‌های محتمل کرد. معنی‌داری اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای لاین‌های جو تحت شرایط تنش خشکی در مطالعه آهک‌پز و همکاران (۱) نیز گزارش شده است. میانگین عملکرد لاین‌ها در هر دو شرایط به همراه شاخص‌های مختلف تحمل به تنش خشکی در جدول ۳ ارائه شده است. لاین‌های شماره ۳۸، ۱۲ و ۷۸ در شرایط معمولی و لاین‌های ۶۷، ۴۸ و ۳۸ در شرایط تنش خشکی بیشترین میانگین عملکرد دانه را داشتند. از سویی دیگر لاین‌های شماره ۵۶، ۴ و ۵۳ در شرایط آبیاری معمولی و لاین‌های ۴، ۵۳ و ۸۰ در شرایط تنش خشکی به ترتیب کمترین میانگین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. بر خلاف نتایج سلیمانی و همکاران (۲۹)، در تحقیق حاضر لاین‌هایی با عملکرد بالا جزء لاین‌های دو ردیفه بودند. همان‌طور که انتظار می‌رفت، عملکرد دانه در شرایط تنش کمتر از شرایط بدون تنش بود. لاین شماره ۶۷ کاهشی ۸ درصدی در عملکرد نشان داد در حالی که لاین‌های شماره ۲۵، ۹، ۶۶، ۴۹ و ۴۰ به ترتیب کاهش عملکرد بیش از ۵۰ درصدی داشتند. در همین باره، آکاش و همکاران (۳) اثر منفی تنش خشکی در ژنوتیپ‌های جو را بین ۱۳ تا ۳۷ درصد گزارش نمودند. در پژوهشی دیگر، میانگین درصد کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو تحت شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی ۳۶ درصد عنوان شد (۲۹).

شاخص درصد حساسیت به تنش^۱ (۱۸):

$$S\ SPI = [(Y_p - Y_s) / 2(\bar{Y}_p)] \times 100$$

شاخص پایداری عملکرد^۲ (۵):

$$YSI = Y_s / Y_p$$

شاخص عملکرد^۳ (۱۳):

$$YI = Y_s / \bar{Y}_s$$

شاخص حساسیت به خشکی^۴ (۹):

$$SDI = (Y_p - Y_s) / Y_p$$

شاخص خشکی نسبی^۵ (۱۱):

$$RDI = (Y_s / Y_p) / (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$$

میانگین هارمونیک^۶ (۱۴):

$$HM = (2(Y_p \times Y_s)) / (Y_s + Y_p)$$

شاخص مقاومت به خشکی^۷ (۱۶):

$$DRI = (Y_s \times (Y_s \times Y_p)) / \bar{Y}_s$$

شاخص میانگین هندسی وزنی^۸ (۲۶):

$$WGMI = Antilog \frac{W_1 \log Y_p + W_2 \log Y_s}{W_1 + W_2}$$

$$W_1 = Y_p / Y_s \quad W_2 = Y_p / Y_p = 1$$

در روابط فوق، Y_p و Y_s به ترتیب بیان‌گر عملکرد هر یک از لاین‌ها تحت شرایط تنش خشکی و آبیاری معمولی می‌باشند. همچنین \bar{Y}_p و \bar{Y}_s به ترتیب نشان‌دهنده متوسط عملکرد تمامی لاین‌ها تحت شرایط تنش خشکی و آبیاری معمولی هستند. جهت بررسی روابط بین شاخص‌های تحمل به تنش، ضرایب همبستگی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 25 محاسبه شدند. همچنین تجزیه واریانس مرکب، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای به ترتیب در بسته‌های آماری agricolae، factextra و d3heatmap نرم‌افزار R 3.5.2 انجام گرفت. در تجزیه خوشه‌ای و رسم Heatmap از روش Ward و فاصله اقلیدسی استفاده شد.

1- Stress susceptibility percentage index

2- Yield stability index

3- Yield index

4- Sensitivity drought index

5- Relative drought index

6- Harmonic mean

7- Drought response index

8- Weighted geometric mean index

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه لاین‌های جو تحت دو شرایط نرمال و تنش در دو سال مورد مطالعه

Table 2. Analysis of variance of barley grain yield under normal and stress conditions in the two years studied

| میانگین مربعات | | درجه آزادی | | منابع تغییرات |
|----------------|---------|------------|--|---------------|
| سال دوم | سال اول | | | |
| ۸۰/۹۸** | ۱۰۱/۵** | ۱ | | محیط |
| ۰/۳۶۱ | ۰/۲۲۵ | ۴ | | تکرار (محیط) |
| ۳/۲۴۸** | ۲/۸۰۲** | ۸۰ | | ژنوتیپ |
| ۰/۶۵۴** | ۰/۶۶۱** | ۸۰ | | ژنوتیپ × محیط |
| ۰/۳۷۶ | ۰/۳۷۷ | ۳۲۰ | | خطا |

** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

۸ و ۵۶ به‌عنوان متحمل‌ترین لاین‌ها انتخاب شدند، با این تفاوت که در شاخص نخست مقادیر پایین و در شاخص دوم مقادیر بالا نشان‌دهنده تحمل به خشکی می‌باشند. بر پایه شاخص HM لاین‌های ۳۸، ۴۸ و ۶۷ متحمل و لاین‌های ۴، ۵۶ و ۵۳ حساس بودند. همانند HM، به لحاظ شاخص DRI نیز لاین‌های شماره ۳۸، ۴۸ و ۶۷ بیشترین مقدار را داشتند و از تحمل نسبی خوبی در برابر تنش خشکی برخوردار بودند. در نهایت مطابق با شاخص WGMI لاین‌های شماره ۳۸، ۴۸ و ۶۷ متحمل‌ترین لاین‌ها بودند. شاخص WGMI شاخص مناسب‌تر و قابل اعتمادتری می‌باشد زیرا اطلاعات مربوط به عملکرد بالاتر همراه با تحمل به خشکی را فراهم می‌آورد (۲۶). نتایج شاخص‌های فوق در مجموع حکایت از وجود تنوع ژنتیکی لاین‌های جو نسبت به تنش خشکی داشت.

همبستگی

ضرایب همبستگی شاخص‌های مختلف تحمل به تنش خشکی نشان داد که عمدتاً بین آن‌ها روابط معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). شاخص‌های K1STI ($r=0.98^{**}$)، MP ($r=0.97^{**}$) و GMP ($r=0.96^{**}$) با عملکرد تحت شرایط تنش خشکی و شاخص‌های YI ($r=1^{**}$) و WGMI ($r=0.99^{**}$)، K2STI ($r=0.98^{**}$) و HM ($r=0.98^{**}$) با عملکرد تحت شرایط آبیاری معمولی بیشترین همبستگی را داشتند. نکته جالب این‌که تمامی شاخص‌های تحمل به تنش با عملکرد در شرایط نرمال همبستگی معنی‌داری داشتند که در مطالعه آهک‌پز و همکاران (۲) و نیکخواه و همکاران (۲۱) نیز این چنین بود. در توافق با نتایج پژوهش حاضر، کوچکی و همکاران (۱۵) گزارش کردند که شاخص‌های STI، GMP و MP در هر دو شرایط دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه جو می‌باشند. در پژوهشی دیگر، شاخص‌های YI، HM، GMP و STI با عملکرد تحت شرایط تنش خشکی همبستگی بالایی داشتند (۲۳). همانند نتایج این تحقیق، بسحاق و همکاران (۴) نشان دادند که عملکرد در شرایط نرمال دارای بیشترین همبستگی مثبت با شاخص K1STI می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه گردید همبستگی میان برخی از شاخص‌ها کامل و مقدار آن برابر با یک بود، چنین نتیجه‌ای در مطالعه یاراحمدی و همکاران (۳۴) نیز مشاهده شده بود. گرچه در تحقیق حاضر اکثر شاخص‌های تحمل به تنش با عملکرد دانه همبستگی داشتند اما شاخص‌های K1STI، MP و GMP به دلیل همبستگی بالا با عملکرد تحت شرایط تنش خشکی و شاخص‌های YI،

بر مبنای شاخص TOL که نشان‌دهنده تفاوت عملکرد لاین در دو شرایط مختلف است، لاین‌های شماره ۵۶، ۶۷ و ۱۹ به‌ترتیب کمترین مقدار را داشتند و به‌طور نسبی متحمل به تنش خشکی بودند و از بین آن‌ها تنها لاین ۶۷ عملکرد بالایی داشت؛ در حالی‌که لاین‌های ۷۸، ۴۹ و ۱۲ با وجود عملکرد مطلوب از تحمل کمتری به تنش برخوردار بودند (جدول ۳). مقادیر بالای شاخص‌های MP و GMP بیان‌گر تحمل به تنش است لذا بر اساس این دو شاخص، لاین‌های شماره ۳۸، ۴۸ و ۶۷ متحمل و لاین‌های ۴، ۵۳ و ۵۶ حساس بودند. بر اساس شاخص STI لاین‌های ۳۸، ۴۸ و ۶۷ بیشترین مقدار را داشتند و به‌عنوان متحمل‌ترین لاین‌ها انتخاب شدند. برتری شاخص STI در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب در جو و سایر گیاهان قبلاً به اثبات رسیده است (۲، ۱۰، ۲۰، ۳۲). همچنین بر اساس شاخص‌های تغییر یافته STI یعنی شاخص K1STI لاین‌های ۳۸، ۱۲ و ۷۸ و از نظر شاخص K2STI لاین‌های ۶۷، ۴۸ و ۳۸ از تحمل به تنش بیشتری برخوردار بودند. استفاده از شاخص‌های تغییر یافته STI برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی پیش از این گزارش شده است (۴، ۱۹). علاوه بر این، لاین‌های ۳۸، ۱۲ و ۷۸ بیشترین مقدار شاخص ATI را هم داشتند، لذا از نظر این شاخص نیز به‌عنوان متحمل‌ترین لاین‌ها برگزیده شدند (جدول ۳).

بر اساس شاخص SSPI لاین‌های ۵۶، ۶۷ و ۱۹ و بر پایه شاخص SSI لاین‌های ۶۷، ۸ و ۵۶ متحمل‌ترین لاین‌ها بودند (جدول ۳). یاراحمدی و همکاران (۳۴) گزارش کردند که شاخص‌های SSPI و SSI به همراه دو شاخص دیگر، ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط نرمال ولی حساس به تنش را مورد گزینش قرار می‌دهند. در همین راستا، سامدور و همکاران (۲۶) بیان داشتند که گرچه شاخص SSI کاربرد فراوانی دارد اما این شاخص دارای محدودیت‌های خاصی نیز می‌باشد.

شاخص دیگر YSI می‌باشد که مقادیر بالای این شاخص برای یک لاین نشان‌دهنده تحمل بیشتر به تنش خشکی می‌باشد. بر اساس این شاخص لاین‌های ۶۷، ۸ و ۵۶ متحمل و لاین‌های ۴۰، ۴۹ و ۶۶ نسبت به سایرین حساس به تنش خشکی بودند (جدول ۳). همانند شاخص قبلی در شاخص YI نیز مقادیر بیشتر نشان از تحمل بالاتر است بنابراین لاین‌های ۶۷، ۴۸ و ۳۸ متحمل و لاین‌های ۴، ۵۳ و ۸۰ حساس بودند (جدول ۳). بر طبق شاخص‌های SDI و RDI لاین‌های ۶۷،

نسبت به میانگین عملکرد برخوردار بودند که نشان از عدم همبستگی یا همبستگی ضعیف این شاخص‌ها با عملکرد دانه می‌باشد. چنین نتیجه‌ای به طور دقیق توسط ضرایب همبستگی قبلاً تأیید گردید. ژنوتیپ‌های ۱۲، ۳۸، ۴۸، ۶۷، ۷۷ و ۷۸ با پراکنشی نزدیک به میانگین عملکرد از وضعیت مطلوبی برخوردار بودند. چنانچه پیش‌تر نیز ملاحظه گردید این ژنوتیپ‌ها از نظر اکثر شاخص‌ها مورد گزینش قرار گرفتند. هم‌خوانی بالای نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با سایر روش‌ها ناشی از آن است که دو مؤلفه اصلی، درصد بسیار بالایی از تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه می‌نمایند (۲). چنین یافته‌هایی توسط بسیاری از محققین دیگر نیز گزارش شده است (۴، ۱۹، ۲۴، ۳۴).

WGMI، K2STI و HM به خاطر همبستگی شدید با عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری معمولی، به‌عنوان مطلوب‌ترین شاخص‌ها در غربال‌گری تحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه اول و دوم به‌ترتیب ۶۱/۸ و ۳۶/۲ درصد از تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه نمودند. بای‌پلات حاصل از این دو مؤلفه که در مجموع ۹۸ درصد از تغییرات را توجیه می‌کرد، در شکل ۱ ترسیم شده است. بر این اساس میانگین عملکرد دانه در هر دو شرایط و نیز بسیاری از شاخص‌های تحمل به تنش با اولین مؤلفه همبستگی معنی‌داری داشتند، در حالی‌که شاخص‌های SSI، YSI، DRI و DRI از زاویه‌ای ۹۰ درجه

جدول ۳- شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در لاین‌های جو بر اساس میانگین عملکرد دانه در دو سال زراعی

Table 3. Drought tolerance indices in barley lines based on mean grain yield of two crop years

| WGMI | DRI | HM | RDI | SDI | YI | YSI | SSPI | SSI | ATI | K2STI | K1STI | STI | GMP | MP | TOL | PR | Ys | Yp | No. |
|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|-----|
| ۲/۳۷ | ۷/۵۵ | ۲/۴۰ | ۱/۱۳ | -/۲۶ | ۱/۲۸ | -/۷۴ | ۹۱/۱ | -/۷۵ | ۲/۷۱ | ۱/۶۴ | ۱/۲۸ | -/۹۵ | ۲/۴۳ | ۲/۴۶ | -/۷۳ | ۲۵/۸۹ | ۲/۰۹ | ۲/۸۲ | ۱ |
| ۱/۵۲ | ۱/۹۸ | ۱/۵۴ | ۱/۱۳ | -/۲۶ | -/۸۲ | -/۷۴ | ۵۹/۳ | -/۷۶ | ۱/۱۳ | -/۶۷ | -/۵۳ | -/۳۹ | ۱/۵۵ | ۱/۵۷ | -/۴۸ | ۲۶/۲۴ | ۱/۳۴ | ۱/۸۱ | ۲ |
| ۱/۳۲ | ۱/۳۳ | ۱/۳۶ | -/۹۳ | -/۴۰ | -/۶۷ | -/۶۰ | ۸۹/۳ | ۱/۱۴ | ۱/۵۴ | -/۴۵ | -/۵۳ | -/۳۲ | ۱/۴۱ | ۱/۴۵ | -/۷۲ | ۳۹/۵۰ | ۱/۱۰ | ۱/۸۱ | ۳ |
| ۱/۰۲ | -/۶۲ | ۱/۰۶ | -/۱۸۶ | -/۴۴ | -/۵۱ | -/۵۶ | ۸۱/۲ | ۱/۲۷ | ۱/۱۰ | -/۲۶ | -/۳۵ | -/۲۰ | ۱/۱۱ | ۱/۶ | -/۶۵ | ۴۲/۹۲ | -/۸۳ | ۱/۴۸ | ۴ |
| ۱/۶۸ | ۲/۶۸ | ۱/۷۲ | -/۹۹ | -/۳۵ | -/۸۷ | -/۶۵ | ۹۵/۵ | ۱/۰۱ | ۲/۰۶ | -/۷۵ | -/۷۶ | -/۴۹ | ۱/۷۶ | ۱/۸۰ | -/۷۷ | ۳۵/۰۹ | ۱/۴۲ | ۲/۱۸ | ۵ |
| ۱/۸۱ | ۳/۳۷ | ۱/۸۲ | ۱/۲۱ | -/۲۱ | ۱/۰۰ | -/۷۹ | ۵۴/۹ | -/۶۱ | ۱/۲۴ | ۱/۰۰ | -/۶۹ | -/۵۴ | ۱/۸۴ | -/۴۴ | -/۶۴ | ۲۱/۲۶ | ۱/۶۳ | ۲/۰۷ | ۶ |
| ۱/۴۵ | ۱/۷۴ | ۱/۴۹ | -/۹۸ | -/۳۶ | -/۷۵ | -/۶۴ | ۸۶/۱ | ۱/۰۴ | ۱/۶۱ | -/۵۶ | -/۵۹ | -/۳۷ | ۱/۵۲ | ۱/۵۷ | -/۶۹ | ۳۶/۱۳ | ۱/۲۲ | ۱/۹۱ | ۷ |
| ۲/۷۲ | ۱/۱۷ | ۲/۷۲ | ۱/۳۶ | -/۱۱ | ۱/۵۸ | -/۸۹ | ۴۰/۰ | -/۳۲ | ۱/۳۳ | ۲/۴۸ | ۱/۳۴ | ۱/۱۹ | ۲/۷۳ | ۲/۷۳ | -/۳۲ | ۱۱/۰۷ | ۲/۵۷ | ۲/۸۹ | ۸ |
| ۱/۵۰ | ۲/۱۱ | ۱/۶۰ | -/۷۳ | -/۵۲ | -/۷۲ | -/۴۸ | ۱۶۱/۷ | ۱/۵۱ | ۳/۳۹ | -/۵۲ | -/۹۸ | -/۴۷ | ۱/۷۱ | ۱/۸۳ | ۱/۳۰ | ۵۲/۳۲ | ۱/۱۸ | ۲/۴۸ | ۹ |
| ۲/۰۸ | ۵/۰۸ | ۲/۱۰ | ۱/۱۵ | -/۲۵ | ۱/۱۳ | -/۷۵ | ۷۶/۲ | -/۷۲ | ۱/۹۸ | -/۹۶ | -/۷۲ | -/۴۷ | ۲/۱۲ | ۲/۱۵ | -/۶۱ | ۲۴/۹۰ | ۱/۸۴ | ۲/۴۵ | ۱۰ |
| ۲/۴۴ | ۸/۳۳ | ۲/۴۸ | ۱/۰۷ | -/۳۰ | ۱/۲۹ | -/۷۰ | ۱۱۳/۰ | -/۸۷ | ۳/۴۹ | ۱/۶۷ | ۱/۴۶ | ۱/۰۲ | ۲/۵۲ | ۲/۵۶ | -/۹۱ | ۳۰/۰۲ | ۲/۱۱ | ۳/۰۲ | ۱۱ |
| ۳/۰۶ | ۱/۷۲ | ۳/۲۲ | -/۱۸۰ | -/۴۸ | ۱/۵۰ | -/۵۲ | ۳۷۸/۴ | ۱/۳۷ | ۱/۱۵۶ | ۲/۲۶ | ۱/۵۱ | ۱/۸۴ | ۳/۳۹ | ۳/۵۷ | ۲/۲۳ | ۴۷/۶۵ | ۲/۴۵ | ۴/۶۸ | ۱۲ |
| ۱/۶۲ | ۲/۳۸ | ۱/۶۴ | ۱/۰۹ | -/۲۹ | -/۷۱ | -/۸۶ | ۷۰/۵ | -/۸۳ | ۱/۴۴ | -/۶۲ | -/۶۲ | -/۴۴ | ۱/۶۹ | ۱/۶۹ | -/۵۷ | ۱/۲۶۸ | ۱/۴۱ | ۱/۹۷ | ۱۳ |
| ۱/۴۶ | ۱/۸۰ | ۱/۵۱ | -/۹۲ | -/۴۰ | -/۷۴ | -/۶۰ | ۹۹/۳ | ۱/۱۴ | ۱/۹۰ | -/۵۵ | -/۶۴ | -/۳۹ | ۱/۶۶ | ۱/۶۱ | -/۸۰ | ۳۹/۶۵ | ۱/۲۱ | ۲/۰۱ | ۱۴ |
| ۱/۵۷ | ۲/۱۹ | ۱/۶۱ | -/۹۸ | -/۳۶ | -/۸۱ | -/۶۴ | ۹۱/۸ | ۱/۰۳ | ۱/۸۵ | -/۶۵ | -/۶۸ | -/۴۴ | ۱/۶۵ | ۱/۶۹ | -/۷۴ | ۳۵/۷۷ | ۱/۳۲ | ۲/۰۶ | ۱۵ |
| ۱/۶۷ | ۲/۶۴ | ۱/۷۱ | -/۹۹ | -/۳۶ | -/۸۶ | -/۶۴ | ۹۶/۸ | ۱/۰۳ | ۲/۰۸ | -/۷۴ | -/۷۶ | -/۴۹ | ۱/۷۵ | ۱/۷۹ | -/۷۸ | ۳۵/۵۵ | ۱/۴۱ | ۲/۱۸ | ۱۶ |
| ۱/۲۶ | ۱/۱۵ | ۱/۳۰ | -/۹۳ | -/۳۹ | -/۶۴ | -/۶۱ | ۸۴/۳ | ۱/۱۳ | ۱/۳۹ | -/۴۱ | -/۳۹ | -/۲۹ | ۱/۳۴ | ۱/۳۸ | -/۶۸ | ۳۹/۲۴ | ۱/۰۵ | ۱/۳۳ | ۱۷ |
| ۲/۳۳ | ۷/۵۱ | ۲/۴۴ | -/۱۸۲ | -/۴۷ | ۱/۱۵ | -/۵۳ | ۲۰۴/۱ | ۱/۳۵ | ۶/۴۱ | ۱/۳۱ | ۱/۹۷ | ۱/۰۵ | ۲/۵۶ | ۲/۶۹ | ۱/۶۴ | ۴۶/۶۵ | ۱/۸۷ | ۳/۵۱ | ۱۸ |
| ۱/۴۸ | ۱/۸۶ | ۱/۴۹ | ۱/۲۴ | -/۱۹ | -/۸۳ | -/۸۱ | ۳۹/۳ | -/۵۵ | -/۷۲ | -/۶۸ | -/۴۴ | -/۳۶ | ۱/۵۰ | ۱/۵۱ | -/۳۲ | ۱۸۹/۲ | ۱/۳۵ | ۱/۶۷ | ۱۹ |
| ۱/۱۸ | -/۹۳ | ۱/۲۱ | -/۹۶ | -/۳۷ | -/۶۰ | -/۶۳ | ۷۳/۰ | ۱/۰۷ | ۱/۱۱ | -/۳۶ | -/۴۰ | -/۲۵ | ۱/۲۴ | ۱/۲۸ | -/۵۹ | ۳۷/۲۶ | -/۹۹ | ۱/۵۷ | ۲۰ |
| ۲/۴۲ | ۷/۹۷ | ۲/۴۶ | ۱/۰۷ | -/۳۰ | ۱/۲۸ | -/۷۰ | ۱۱۳/۰ | -/۸۷ | ۳/۴۶ | ۱/۶۳ | ۱/۴۳ | ۱/۰۰ | ۲/۵۴ | ۲/۵۴ | -/۹۱ | ۳۰/۳۷ | ۲/۰۹ | ۲/۹۹ | ۲۱ |
| ۱/۸۱ | ۳/۳۵ | ۱/۸۵ | -/۹۹ | -/۳۵ | -/۹۳ | -/۶۵ | ۱۰۳/۰ | ۱/۰۱ | ۲/۳۹ | -/۸۷ | -/۸۹ | -/۵۷ | ۱/۸۹ | ۱/۹۴ | -/۸۳ | ۳۵/۱۱ | ۱/۵۳ | ۲/۳۵ | ۲۲ |
| ۱/۷۲ | ۲/۹۱ | ۱/۷۴ | ۱/۲۰ | -/۲۲ | -/۹۵ | -/۷۸ | ۵۳/۱ | -/۶۲ | ۱/۱۴ | -/۹۰ | -/۶۳ | -/۴۹ | ۱/۷۵ | ۱/۷۶ | -/۴۳ | ۲۱/۵۲ | ۱/۵۵ | ۱/۹۸ | ۲۳ |
| ۲/۲۱ | ۶/۰۹ | ۲/۲۵ | ۱/۰۲ | -/۳۳ | ۱/۱۵ | -/۶۷ | ۱۱۶/۱ | -/۹۵ | ۳/۲۷ | ۱/۳۳ | ۱/۲۷ | -/۸۵ | ۲/۳۰ | ۲/۳۵ | -/۹۳ | ۳۳/۱۰ | ۱/۸۸ | ۲/۱۱ | ۲۴ |
| ۱/۴۳ | ۱/۸۱ | ۱/۵۲ | -/۷۴ | -/۵۲ | -/۶۸ | -/۴۸ | ۱۵۱/۱ | ۱/۵۰ | ۳/۰۰ | -/۴۸ | -/۸۷ | -/۴۲ | ۱/۶۲ | ۱/۷۳ | ۱/۲۱ | ۵۱/۸۲ | ۱/۱۳ | ۲/۴۴ | ۲۵ |
| ۲/۱۱ | ۵/۳۸ | ۲/۱۸ | -/۹۱ | -/۴۰ | ۱/۰۶ | -/۶۰ | ۱۴۷/۳ | ۱/۱۷ | ۴/۰۶ | ۱/۱۳ | ۱/۳۶ | -/۸۱ | ۲/۲۵ | ۲/۳۳ | ۱/۱۸ | ۴۰/۴۸ | ۱/۷۴ | ۲/۹۲ | ۲۶ |
| ۲/۳۸ | ۷/۶۰ | ۲/۴۰ | ۱/۱۴ | -/۲۵ | ۱/۲۹ | -/۷۵ | ۸۸/۶ | -/۷۳ | ۲/۶۴ | ۱/۶۶ | ۱/۲۷ | -/۹۵ | ۲/۴۳ | ۲/۴۶ | -/۷۱ | ۲۵/۳۷ | ۲/۱۰ | ۲/۸۱ | ۲۷ |
| ۱/۳۷ | ۱/۱۹ | ۱/۳۲ | -/۹۱ | -/۴۱ | -/۶۴ | -/۵۹ | ۸۹/۳ | ۱/۱۷ | ۱/۴۹ | -/۴۱ | -/۵۰ | -/۳۰ | ۱/۳۶ | ۱/۴۱ | -/۷۲ | ۴۰/۵۱ | ۱/۰۵ | ۱/۷۷ | ۲۸ |
| ۱/۲۷ | ۱/۱۷ | ۱/۲۹ | ۱/۰۸ | -/۲۹ | -/۶۸ | -/۷۱ | ۵۶/۸ | -/۸۴ | -/۹۱ | -/۴۶ | -/۳۹ | -/۲۸ | ۱/۳۱ | ۱/۳۳ | -/۴۶ | ۲۹/۱۷ | ۱/۱۱ | ۱/۵۶ | ۲۹ |
| ۱/۵۲ | ۲/۰۰ | ۱/۵۴ | ۱/۱۹ | -/۲۲ | -/۸۴ | -/۷۸ | ۴۸/۷ | -/۶۴ | -/۹۲ | -/۷۰ | -/۴۹ | -/۲۸ | ۱/۵۵ | ۱/۵۶ | -/۳۹ | ۲۲/۲۲ | ۱/۳۷ | ۱/۷۶ | ۳۰ |
| ۱/۲۲ | ۱/۰۴ | ۱/۲۶ | -/۹۰ | -/۴۱ | -/۶۱ | -/۵۹ | ۸۷/۴ | ۱/۱۹ | ۱/۴۰ | -/۳۸ | -/۴۶ | -/۲۷ | ۱/۳۰ | ۱/۳۵ | -/۷۰ | ۴۱/۱۸ | ۱/۰۰ | ۱/۷۰ | ۳۱ |
| ۲/۲۳ | ۶/۲۱ | ۲/۲۶ | ۱/۰۷ | -/۳۰ | ۱/۱۸ | -/۷۰ | ۱۰۳/۶ | -/۸۷ | ۲/۹۲ | ۱/۳۸ | ۱/۲۱ | -/۸۵ | ۲/۳۰ | ۲/۳۴ | -/۸۳ | ۳۰/۱۸ | ۱/۹۲ | ۲/۷۵ | ۳۲ |
| ۲/۳۸ | ۷/۶۳ | ۲/۴۱ | ۱/۱۱ | -/۲۷ | ۱/۲۸ | -/۷۳ | ۹۷/۴ | -/۷۹ | ۲/۹۲ | ۱/۶۳ | ۱/۳۳ | -/۹۶ | ۲/۴۴ | ۲/۴۸ | -/۷۸ | ۲۷/۳۳ | ۲/۰۹ | ۲/۸۷ | ۳۳ |
| ۱/۲۳ | ۱/۰۴ | ۱/۲۵ | ۱/۰۴ | -/۳۲ | -/۶۴ | -/۶۸ | ۶۱/۸ | -/۹۲ | -/۹۶ | -/۴۱ | -/۲۸ | -/۲۶ | ۱/۳۷ | ۱/۳۰ | -/۵۰ | ۳۳/۰۴ | ۱/۰۵ | ۱/۵۵ | ۳۴ |
| ۱/۲۶ | ۱/۱۲ | ۱/۲۷ | ۱/۱۱ | -/۲۷ | -/۶۷ | -/۷۳ | ۵۱/۸ | -/۷۹ | -/۸۲ | -/۴۵ | -/۳۷ | -/۲۷ | ۱/۲۹ | ۱/۳۱ | -/۴۲ | ۲۷/۳۹ | ۱/۱۰ | ۱/۵۲ | ۳۵ |
| ۱/۴۹ | ۱/۸۶ | ۱/۵۲ | ۱/۰۲ | -/۳۳ | -/۷۸ | -/۶۷ | ۷۸/۷ | -/۹۶ | ۱/۴۹ | -/۶۰ | -/۵۸ | -/۳۸ | ۱/۵۵ | ۱/۵۸ | -/۶۳ | ۳۳/۲۵ | ۱/۲۷ | ۱/۹۰ | ۳۶ |
| ۲/۶۲ | ۱/۰۱ | ۲/۶۷ | ۱/۰۲ | -/۳۳ | ۱/۳۷ | -/۶۷ | ۱۳۷/۳ | -/۹۵ | ۴/۵۹ | ۱/۸۷ | ۱/۱۸ | ۱/۱۹ | ۲/۷۳ | ۲/۷۸ | ۱/۱۰ | ۳۳/۰۳ | ۲/۳۳ | ۲/۳۳ | ۳۷ |
| ۳/۹۵ | ۳۵/۱ | ۴/۰۶ | -/۹۵ | -/۳۸ | ۲/۰۲ | -/۶۲ | ۳۴۹/۷ | ۱/۰۹ | ۱۲/۷۷ | ۴/۰۷ | ۴/۴۹ | ۲/۷۹ | ۴/۱۷ | ۴/۲۹ | ۲/۰۰ | ۳۷/۸۱ | ۳/۲۹ | ۵/۲۹ | ۳۸ |
| ۱/۲۷ | ۱/۱۶ | ۱/۳۱ | -/۹۲ | -/۴۰ | -/۶۴ | -/۶۰ | ۸۶/۸ | ۱/۱۵ | ۱/۳۳ | -/۴۱ | -/۴۹ | -/۲۹ | ۱/۳۵ | ۱/۲۹ | -/۷۰ | ۳۹/۹۴ | ۱/۰۵ | ۱/۷۴ | ۳۹ |
| ۱/۹۳ | ۴/۹۱ | ۲/۱۱ | -/۶۳ | -/۵۹ | -/۹۱ | -/۴۱ | ۲۶۸/۴ | ۱/۷۱ | ۷/۶۵ | -/۸۳ | ۲/۱۲ | -/۸۷ | ۲/۳۲ | ۲/۵۶ | ۲/۱۵ | ۵۹/۱۵ | ۱/۴۹ | ۲/۶۴ | ۴۰ |

ادامه جدول ۳

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|----|
| ۱/۶۶ | ۲/۶۴ | ۱/۷۲ | -/۹۰ | -/۴۲ | -/۸۳ | -/۵۸ | ۱۲۰/۵ | ۱/۲۰ | ۲/۶۳ | -/۶۹ | -/۸۷ | -/۵۱ | ۱/۷۸ | ۱/۸۴ | -/۹۷ | ۴۱/۵۱ | ۱/۳۶ | ۲/۳۳ | ۴۱ |
| ۲/۳۳ | ۱/۱۵ | ۲/۳۷ | ۱/۰۵ | -/۳۱ | ۱/۲۳ | -/۶۹ | ۱۱۴/۲ | -/۹۱ | ۳/۳۸ | ۱/۵۰ | ۱/۳۶ | -/۹۴ | ۲/۴۱ | ۲/۴۶ | -/۹۲ | ۳۱/۳۹ | ۲/۰۰ | ۲/۹۲ | ۴۲ |
| ۱/۶۳ | ۲/۴۶ | ۱/۶۷ | -/۹۷ | -/۳۷ | -/۸۴ | -/۶۳ | ۹۸/۶ | ۱/۰۶ | ۲/۰۷ | -/۷۰ | -/۷۴ | -/۴۷ | ۱/۷۳ | ۱/۷۶ | -/۷۹ | ۳۶/۶۶ | ۱/۳۷ | ۲/۱۶ | ۴۳ |
| ۱/۵۴ | ۲/۱۳ | ۱/۶۰ | -/۸۵ | -/۴۵ | -/۷۶ | -/۵۵ | ۱۲۴/۸ | ۱/۲۹ | ۲/۵۶ | -/۵۸ | -/۸۱ | -/۴۵ | ۱/۶۷ | ۱/۷۵ | ۱/۰۰ | ۴۴/۵۴ | ۱/۲۵ | ۲/۲۵ | ۴۴ |
| ۱/۶۹ | ۲/۷۵ | ۱/۷۱ | ۱/۱۴ | -/۲۵ | -/۹۲ | -/۷۵ | ۶۳/۷ | -/۷۳ | ۱/۳۵ | -/۸۴ | -/۶۴ | -/۴۸ | ۱/۷۳ | ۱/۷۵ | -/۵۱ | ۲۵/۴۴ | ۱/۵۰ | ۲/۰۱ | ۴۵ |
| ۱/۲۳ | ۱/۰۶ | ۱/۲۶ | ۱/۰۲ | -/۳۳ | -/۶۴ | -/۶۷ | ۶۵/۵ | -/۹۶ | ۱/۰۳ | -/۴۱ | -/۴۰ | -/۲۷ | ۱/۲۹ | ۱/۳۱ | -/۵۳ | ۳۳/۳۳ | ۱/۰۵ | ۱/۵۸ | ۴۶ |
| ۱/۶۰ | ۲/۳۲ | ۱/۶۳ | ۱/۰۲ | -/۳۳ | -/۸۳ | -/۶۷ | ۸۵/۵ | -/۹۷ | ۱/۷۵ | -/۶۹ | -/۶۷ | -/۴۵ | ۱/۶۷ | ۱/۷۰ | -/۶۹ | ۳۳/۵۰ | ۱/۳۶ | ۲/۰۵ | ۴۷ |
| ۳/۸۰ | ۳۰/۹ | ۳/۸۵ | ۱/۱۱ | -/۳۷ | ۲/۰۳ | -/۷۳ | ۱۵۶/۱ | -/۷۹ | ۱/۴۵ | ۴/۱۴ | ۳/۲۵ | ۲/۴۳ | ۳/۹۰ | ۳/۹۵ | ۱/۲۵ | ۳۷/۳۵ | ۳/۳۳ | ۴/۵۷ | ۴۸ |
| ۲/۰۶ | ۶/۰۰ | ۲/۲۵ | -/۶۳ | -/۵۹ | -/۹۷ | -/۴۱ | ۲۸۵/۳ | ۱/۷۰ | ۸/۶۸ | -/۹۵ | ۲/۴۱ | -/۹۹ | ۲/۴۸ | ۲/۷۳ | ۲/۲۹ | ۵۸/۹۷ | ۱/۵۹ | ۳/۸۸ | ۴۹ |
| ۱/۴۷ | ۱/۷۹ | ۱/۴۷ | ۱/۲۳ | -/۲۰ | -/۸۲ | -/۸۰ | ۴۰/۶ | -/۵۷ | -/۷۴ | -/۶۶ | -/۴۴ | -/۳۵ | ۱/۴۸ | ۱/۴۹ | -/۳۳ | ۱۹/۶۴ | ۱/۳۳ | ۱/۶۶ | ۵۰ |
| ۱/۵۷ | ۲/۳۱ | ۱/۶۵ | -/۸۲ | -/۴۶ | -/۷۸ | -/۵۴ | ۱۳۶/۱ | ۱/۴ | ۲/۸۸ | -/۶۰ | -/۸۹ | -/۴۸ | ۱/۷۳ | ۱/۸۱ | ۱/۰۹ | ۴۶/۲۸ | ۱/۲۷ | ۲/۳۶ | ۵۱ |
| ۲/۲۲ | ۶/۱۸ | ۲/۲۴ | ۱/۱۷ | -/۲۴ | ۱/۲۱ | -/۷۶ | ۷۶/۲ | -/۶۸ | ۲/۱۱ | ۱/۳۷ | ۱/۰۷ | -/۸۲ | ۲/۲۶ | ۲/۲۸ | -/۶۱ | ۳۳/۶۰ | ۱/۹۸ | ۲/۵۹ | ۵۲ |
| ۱/۰۹ | -/۷۵ | ۱/۳۲ | ۱/۱۳ | -/۳۹ | -/۵۵ | -/۶۱ | ۱/۱۳ | ۱/۰۴ | ۱/۱۳ | ۱/۳۶ | -/۳۶ | -/۲۲ | ۱/۱۶ | ۱/۲۰ | -/۵۹ | ۳۹/۲۶ | ۱/۲۰ | ۳/۹۰ | ۵۳ |
| ۱/۶۳ | ۲/۴۵ | ۱/۶۴ | ۱/۲۱ | -/۳۱ | -/۹۰ | -/۷۹ | ۴۹/۳ | -/۶۱ | ۱/۰۰ | -/۸۱ | -/۵۵ | -/۴۴ | ۱/۶۵ | ۱/۶۶ | -/۴۰ | ۲۱/۲۴ | ۱/۳۷ | ۱/۸۶ | ۵۴ |
| ۱/۹ | ۱/۵۲ | ۱/۴۲ | ۱/۰۱ | -/۳۴ | -/۷۳ | -/۶۶ | ۷۵/۵ | -/۹۸ | ۱/۳۴ | -/۵۳ | -/۵۱ | -/۳۴ | ۱/۴۸ | ۱/۴۸ | -/۶۱ | ۳۳/۸۹ | ۱/۱۸ | ۱/۷۹ | ۵۵ |
| ۱/۱۲ | -/۸۰ | ۱/۱۲ | ۱/۲۵ | -/۱۸ | -/۶۳ | -/۸۲ | ۲۸/۷ | -/۵۳ | -/۴۰ | -/۳۹ | -/۲۵ | -/۲۰ | ۱/۱۳ | ۱/۱۴ | -/۲۳ | ۱۸/۴۰ | ۱/۰۲ | ۱/۲۵ | ۵۶ |
| ۱/۶۸ | ۲/۶۹ | ۱/۷۳ | -/۹۹ | -/۳۶ | -/۸۷ | -/۶۴ | ۱۷۹/۲ | ۱/۰۳ | ۲/۱۰ | -/۷۵ | -/۷۷ | -/۵۰ | ۱/۷۶ | ۱/۸۱ | -/۷۸ | ۳۵/۵۴ | ۱/۲۰ | ۲/۲۰ | ۵۷ |
| ۲/۴۰ | ۷/۷۷ | ۲/۴۲ | ۱/۱۴ | -/۲۵ | ۱/۳۰ | -/۷۵ | ۸۹/۹ | -/۷۳ | ۲/۷۰ | ۱/۶۸ | ۱/۲۹ | -/۹۶ | ۲/۴۵ | ۲/۴۸ | -/۷۲ | ۲۵/۴۰ | ۲/۱۲ | ۲/۸۴ | ۵۸ |
| ۲/۱۰ | ۵/۳۰ | ۲/۱۶ | -/۹۷ | -/۳۶ | ۱/۰۸ | -/۶۴ | ۱۲۶/۱ | ۱/۰۵ | ۳/۲۲ | ۱/۱۷ | ۱/۳۴ | -/۷۹ | ۲/۲۱ | ۲/۲۷ | ۱/۰۱ | ۳۶/۴۰ | ۱/۷۷ | ۲/۷۸ | ۵۹ |
| ۱/۶۲ | ۲/۴۴ | ۱/۶۷ | -/۹۱ | -/۴۰ | -/۸۲ | -/۶۰ | ۱۱۲/۴ | ۱/۱۶ | ۲/۳۸ | ۱/۱۶ | -/۸۰ | -/۴۸ | ۱/۷۳ | ۱/۷۴ | -/۹۰ | ۴۰/۳۷ | ۱/۳۴ | ۲/۷۸ | ۶۰ |
| ۲/۱۹ | ۵/۹۶ | ۲/۲۱ | ۱/۱۸ | -/۳۳ | ۱/۲۰ | -/۷۷ | ۷۳/۷ | -/۶۷ | ۲/۰۱ | ۱/۴۴ | ۱/۰۴ | -/۸۰ | ۲/۲۳ | ۲/۲۵ | -/۵۹ | ۳۳/۱۸ | ۱/۹۶ | ۲/۵۵ | ۶۱ |
| ۲/۲۲ | ۶/۱۷ | ۲/۲۳ | ۱/۲۱ | -/۲۱ | ۱/۲۲ | -/۷۹ | ۶۶/۸ | -/۶۱ | ۱/۸۴ | ۱/۵۰ | ۱/۰۳ | -/۸۱ | ۲/۲۵ | ۲/۲۶ | -/۵۴ | ۲۱/۱۵ | ۲/۰۰ | ۲/۵۳ | ۶۲ |
| ۱/۷۹ | ۲/۳۹ | ۱/۸۷ | -/۸۵ | -/۴۴ | -/۸۹ | -/۵۶ | ۱۴۴/۸ | ۱/۲۸ | ۳/۴۶ | -/۸۰ | ۱/۱۰ | -/۶۱ | ۱/۹۵ | ۲/۰۴ | ۱/۱۶ | ۴۴/۳۶ | ۱/۴۶ | ۲/۶۲ | ۶۳ |
| ۲/۳۵ | ۷/۵۳ | ۲/۴۴ | -/۸۷ | -/۴۳ | ۱/۱۷ | -/۵۷ | ۱۷۹/۲ | ۱/۲۴ | ۵/۵۶ | ۱/۳۸ | ۱/۸۰ | ۱/۰۲ | ۲/۵۳ | ۲/۶۳ | ۱/۴۴ | ۴۲/۸۴ | ۱/۹۲ | ۲/۳۵ | ۶۴ |
| ۱/۶۶ | ۲/۵۸ | ۱/۶۹ | ۱/۰۲ | -/۳۳ | -/۸۶ | -/۶۷ | ۸۸/۰ | -/۹۶ | ۱/۸۶ | -/۷۵ | -/۷۲ | -/۴۸ | ۱/۷۳ | ۱/۷۶ | -/۷۱ | ۳۳/۳۳ | ۱/۴۱ | ۲/۱۲ | ۶۵ |
| ۲/۰۷ | ۵/۶۲ | ۲/۲۱ | -/۷۳ | -/۵۳ | ۱/۰۰ | -/۴۷ | ۳۲۷/۳ | ۱/۵۲ | ۶/۶۱ | ۱/۰۰ | ۱/۹۱ | -/۹۰ | ۲/۳۷ | ۲/۵۴ | ۱/۸۲ | ۵۲/۷۵ | ۱/۶۳ | ۲/۴۵ | ۶۶ |
| ۳/۶۶ | ۲/۸۸ | ۳/۶۶ | ۱/۴۱ | -/۰۸ | ۲/۱۵ | -/۹۲ | ۳۸/۷ | -/۳۳ | ۱/۷۴ | ۲/۳۴ | ۲/۳۴ | ۲/۱۵ | ۳/۶۶ | ۲/۶۷ | -/۳۱ | ۸/۱۲ | ۲/۵۱ | ۲/۸۲ | ۶۷ |
| ۱/۴۰ | ۱/۵۶ | ۱/۴۱ | ۱/۱۹ | -/۳۲ | -/۷۷ | -/۷۸ | ۴۴/۹ | -/۶۴ | -/۷۸ | -/۵۹ | -/۴۲ | -/۳۳ | ۱/۴۲ | ۱/۴۴ | -/۳۶ | ۲۲/۲۹ | ۱/۲۶ | ۱/۶۲ | ۶۸ |
| ۲/۱۸ | ۵/۹۶ | ۲/۲۵ | -/۹۰ | -/۴۱ | ۱/۰۹ | -/۵۹ | ۱۵۷/۹ | ۱/۲۰ | ۴/۵۲ | ۱/۲۰ | ۱/۴۹ | -/۸۷ | ۲/۳۳ | ۲/۴۲ | ۱/۳۷ | ۴۱/۴۸ | ۱/۷۹ | ۲/۰۵ | ۶۹ |
| ۲/۳۱ | ۷/۰۱ | ۲/۳۶ | ۱/۰۲ | -/۳۳ | ۱/۲۱ | -/۶۷ | ۱۲۱/۷ | -/۹۶ | ۳/۵۹ | ۱/۴۶ | ۱/۳۹ | -/۹۳ | ۲/۴۱ | ۲/۴۶ | -/۹۸ | ۳۳/۱۱ | ۱/۹۷ | ۲/۹۵ | ۷۰ |
| ۲/۶۷ | ۱۰/۸ | ۲/۶۸ | ۱/۲۳ | -/۲۰ | ۱/۴۸ | -/۸۰ | ۷۴/۳ | -/۵۷ | ۲/۴۶ | -/۸۰ | ۱/۴۶ | ۱/۱۷ | ۲/۷۰ | ۲/۷۲ | -/۶۰ | ۱۹/۷۳ | ۲/۴۲ | ۲/۰۲ | ۷۱ |
| ۱/۳۸ | ۱/۵۰ | ۱/۴۲ | -/۹۵ | -/۳۸ | -/۷۰ | -/۶۲ | ۸۶/۸ | ۱/۰۹ | ۱/۵۵ | -/۵۰ | -/۵۵ | -/۳۴ | ۱/۴۶ | ۱/۵۰ | -/۷۰ | ۳۷/۶۷ | ۱/۱۵ | ۱/۸۵ | ۷۲ |
| ۲/۶۳ | ۱۰/۳ | ۲/۶۶ | ۱/۱۵ | -/۲۵ | ۱/۴۳ | -/۷۵ | ۹۶/۸ | -/۷۲ | ۳/۱۸ | ۲/۰۳ | ۱/۵۴ | ۱/۶۶ | ۲/۶۸ | ۲/۷۱ | -/۷۸ | ۲۵/۰۰ | ۲/۳۳ | ۲/۱۰ | ۷۳ |
| ۲/۴۵ | ۸/۳۳ | ۲/۴۸ | ۱/۱۴ | -/۲۵ | ۱/۳۳ | -/۷۵ | ۹۱/۸ | -/۷۳ | ۲/۸۲ | ۱/۷۶ | ۱/۳۵ | ۱/۰۱ | ۲/۵۳ | ۲/۵۳ | -/۷۴ | ۲۵/۳۴ | ۲/۱۷ | ۲/۹۰ | ۷۴ |
| ۲/۱۳ | ۵/۸۵ | ۲/۲۵ | -/۷۹ | -/۴۹ | ۱/۰۴ | -/۵۱ | ۳۰۰/۴ | ۱/۴۰ | ۵/۸۲ | ۱/۰۹ | ۱/۷۵ | -/۹۰ | ۲/۳۷ | ۲/۵۰ | ۱/۶۱ | ۴۸/۵۶ | ۱/۷۰ | ۲/۳۱ | ۷۵ |
| ۲/۴۳ | ۸/۰۵ | ۲/۴۷ | ۱/۰۶ | -/۳۰ | ۱/۳۸ | -/۷۰ | ۱۱۴/۲ | -/۸۸ | ۳/۵۱ | ۱/۶۴ | ۱/۴۵ | ۱/۰۱ | ۲/۵۱ | ۲/۵ | -/۹۲ | ۳۰/۴۵ | ۲/۰۹ | ۲/۰۱ | ۷۶ |
| ۳/۱۷ | ۱۸/۲ | ۳/۲۶ | -/۹۶ | -/۳۷ | ۱/۶۲ | -/۶۳ | ۱۹۷/۳ | ۱/۰۸ | ۸/۱۰ | ۲/۶۴ | ۲/۸۷ | ۱/۸۰ | ۳/۲۵ | ۳/۴۴ | ۱/۵۸ | ۳۷/۳۵ | ۲/۳۶ | ۴/۳۳ | ۷۷ |
| ۲/۹۰ | ۱۵/۰ | ۳/۰۷ | -/۷۷ | -/۵۰ | ۱/۴۱ | -/۵۰ | ۲۸۵/۹ | ۱/۴۴ | ۱۱/۴۱ | ۲/۰۰ | ۳/۳۹ | ۱/۷۰ | ۳/۲۵ | ۳/۴۵ | ۲/۲۹ | ۴۹/۸۴ | ۲/۱۶ | ۴/۶۰ | ۷۸ |
| ۱/۶۱ | ۲/۳۸ | ۱/۶۵ | -/۹۹ | -/۳۵ | -/۸۳ | -/۶۵ | ۹۲/۴ | ۱/۰۲ | ۱/۹۱ | -/۶۹ | -/۷۱ | -/۴۶ | ۱/۶۹ | ۱/۷۳ | -/۷۴ | ۳۵/۲۴ | ۱/۶۶ | ۲/۱۰ | ۷۹ |
| ۱/۱۳ | -/۸۳ | ۱/۱۷ | -/۹۰ | -/۴۱ | -/۵۷ | -/۵۹ | ۸۱/۲ | ۱/۱۹ | ۱/۲۰ | -/۳۳ | -/۴۰ | -/۲۳ | ۱/۲۱ | ۱/۲۵ | -/۶۵ | ۴۱/۲۷ | -/۹۳ | ۱/۵۸ | ۸۰ |
| ۱/۵۳ | ۲/۰۴ | ۱/۵۷ | -/۹۷ | -/۳۷ | -/۷۸ | -/۶۳ | ۹۳/۶ | ۱/۰۷ | ۱/۸۵ | -/۶۲ | -/۶۶ | -/۴۲ | ۱/۶۱ | ۱/۶۶ | -/۷۵ | ۳۶/۹۵ | ۱/۲۸ | ۲/۰۳ | ۸۱ |

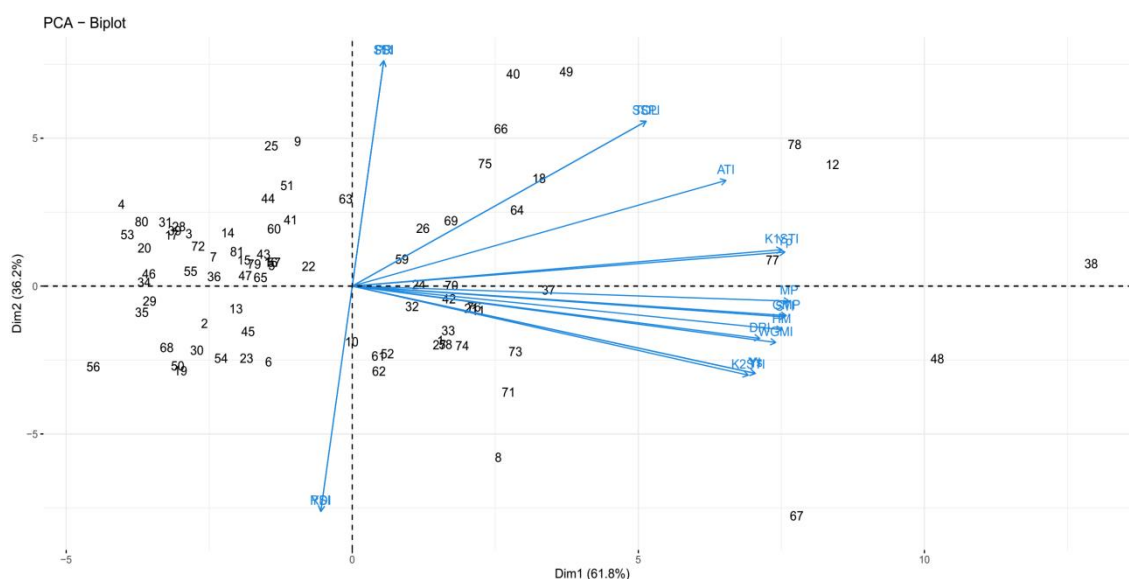
Continue Table 3

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین میانگین‌های عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل تحت شرایط نرمال و تنش خشکی در دو سال زراعی

Table 4. Correlation coefficients between grain yield averages and tolerance indices under normal and stress conditions in two crop years

| DRI | HM | SDI | YI | YSI | SSPI | SSI | ATI | K2STI | K1STI | STI | GMP | MP | TOL | PR | Yp | Ys | Yp |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------|--------------------|---------|---------------------|---------|---------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------|---------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | ۰/۸۵** | Yp |
| | | | | | | | | | | | | | | | -۰/۳۱** | ۰/۲۱ ^{ns} | PR |
| | | | | | | | | | | | | | | ۰/۷۵** | ۰/۳۳** | ۰/۷۸** | TOL |
| | | | | | | | | | | | | | ۰/۶۳** | ۰/۰۱ ^{ns} | ۰/۹۴** | ۰/۹۷** | MP |
| | | | | | | | | | | | | ۰/۹۹** | ۰/۵۷** | -۰/۰۶ ^{ns} | ۰/۹۶** | ۰/۹۶** | GMP |
| | | | | | | | | | | | ۰/۹۸** | ۰/۹۸** | ۰/۵۵** | -۰/۰۶ ^{ns} | ۰/۹۵** | ۰/۹۴** | STI |
| | | | | | | | | | | ۰/۹۵** | ۰/۹۳** | ۰/۹۵** | ۰/۷۸** | ۰/۲۲* | ۰/۸۲** | ۰/۹۸** | K1STI |
| | | | | | | | | | ۰/۸۱** | ۰/۹۶** | ۰/۹۴** | ۰/۹۱** | ۰/۲۹** | -۰/۳۱** | ۰/۹۸** | ۰/۸۲** | K2STI |
| | | | | | | | | ۰/۵۶** | ۰/۹۴** | ۰/۷۸** | ۰/۷۷** | ۰/۸۱** | ۰/۹۳** | ۰/۵۰** | ۰/۵۸** | ۰/۹۱** | ATI |
| | | | | | | | ۰/۵۰** | -۰/۳۱** | ۰/۲۲* | -۰/۰۶ ^{ns} | -۰/۰۶ ^{ns} | ۰/۰۱ ^{ns} | ۰/۷۵** | ۱/۰۰** | -۰/۳۱** | ۰/۲۱ ^{ns} | SSI |
| | | | | | | ۰/۷۵** | ۰/۹۳** | ۰/۲۹** | ۰/۷۸** | ۰/۵۵** | ۰/۵۷** | ۰/۶۳** | ۱/۰۰** | ۰/۷۵** | ۰/۳۳** | ۰/۷۸** | SSPI |
| | | | | | -۰/۷۵** | -۱/۰۰** | -۰/۵۰** | ۰/۳۱** | -۰/۲۲* | ۰/۰۶ ^{ns} | ۰/۰۶ ^{ns} | -۰/۰۱ ^{ns} | -۰/۷۵** | -۱/۰۰** | ۰/۳۱** | -۰/۲۲ ^{ns} | YSI |
| | | | | ۰/۳۱** | ۰/۳۳** | -۰/۳۱** | ۰/۵۸** | ۰/۹۸** | ۰/۸۲** | ۰/۹۵** | ۰/۹۶** | ۰/۹۴** | ۰/۳۳** | -۰/۳۱** | ۱/۰۰** | ۰/۸۵** | YI |
| | | | | -۱/۰۰** | ۰/۷۵** | ۱/۰۰** | ۰/۵۰** | -۰/۳۱** | ۰/۲۲* | -۰/۰۶ ^{ns} | -۰/۰۶ ^{ns} | ۰/۰۵ ^{ns} | ۰/۷۵** | ۱/۰۰** | -۰/۳۱** | ۰/۲۳ ^{ns} | SDI |
| | | -۰/۱۳ ^{ns} | | ۰/۱۳ ^{ns} | ۰/۵۱** | -۰/۱۳ ^{ns} | ۰/۷۳** | ۰/۹۵** | ۰/۹۱** | ۰/۹۸** | ۰/۹۹** | ۰/۹۹** | ۰/۵۱** | -۰/۱۳ ^{ns} | ۰/۹۸** | ۰/۹۴** | HM |
| | ۰/۱۱ ^{ns} | -۰/۹۹** | | ۰/۳۱** | ۰/۹۹** | -۰/۷۵** | -۱/۰۰** | -۰/۵۰** | ۰/۳۱** | -۰/۲۲* | ۰/۰۶ ^{ns} | ۰/۰۶ ^{ns} | -۰/۰۱ ^{ns} | -۰/۷۵** | -۱/۰۰** | ۰/۳۱** | DRI |
| ۰/۱۷ ^{ns} | ۰/۹۹** | -۰/۱۷ ^{ns} | ۰/۹۹** | ۰/۱۷ ^{ns} | ۰/۴۶** | -۰/۱۷ ^{ns} | ۰/۶۹** | ۰/۹۶** | ۰/۸۹** | ۰/۹۸** | ۰/۹۹** | ۰/۹۸** | ۰/۴۶** | -۰/۱۷ ^{ns} | ۰/۹۹** | ۰/۹۲** | WGMI |

ns: * و **: به ترتیب غیر معنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.



شکل ۱- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر پایه میانگین دو سال عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به تنش
Figure 1. Principal component analysis based on the mean of two years of grain yield under normal irrigation and drought stress conditions and stress tolerance indices in 81 barley lines

۴۶، ۵۰، ۵۶ و ۶۸ در گروه سوم به همراه سایر لاین‌ها موجود در گروه چهارم از نظر عملکرد و تحمل به تنش خشکی نامطلوب‌ترین لاین‌ها بودند.

به نظر می‌رسد الگوی خوشه‌بندی با اطلاعات مربوط به تعداد ردیف‌های سنبله و نیز عادت رشدی لاین‌ها انطباق برجسته‌ای ندارد. با این حال چنین گروه‌بندی از لاین‌ها که برآیندی از اطلاعات تمام شاخص‌های مورد مطالعه است، می‌تواند دید جامعی از تحمل به تنش خشکی ارائه دهد. نیکخواه و همکاران (۲۱) با انجام تجزیه خوشه‌ای، لاین‌های جو را به چهار گروه شامل پتانسیل بالای عملکرد و متحمل به خشکی، پتانسیل بالا و حساس به خشکی، نیمه متحمل و پتانسیل عملکرد پایین و حساس به خشکی گروه‌بندی نمودند. چنین تقسیم‌بندی ژنوتیپ‌ها به چهار خوشه توسط شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در گزارش مهدوی و همکاران (۱۷) نیز مشاهده شده است. آهک‌پز و همکاران (۲) بر اساس شاخص‌های مختلف تحمل به تنش به ترتیب ۲۵ و ۱۹ رقم و لاین متحمل و حساس به خشکی را در گیاه جو شناسایی کردند. واعظی و همکاران (۳۲) بیان داشتند که روند تغییرات عملکرد با شاخص‌ها و نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس تجزیه خوشه‌ای با یک‌دیگر هم‌خوانی خوبی دارند. علاوه بر موارد فوق، تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در سایر غلات از جمله گندم نیز استفاده شده است (۱۹، ۲۴).

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بین مواد ژنتیکی مورد مطالعه تنوع مطلوبی از نظر تحمل به تنش خشکی وجود داشت. در مجموع بر مبنای شاخص‌های مختلف لاین‌های شماره ۳۸، ۴۸ و ۶۷ با دارا بودن میانگین عملکرد

تجزیه خوشه‌ای

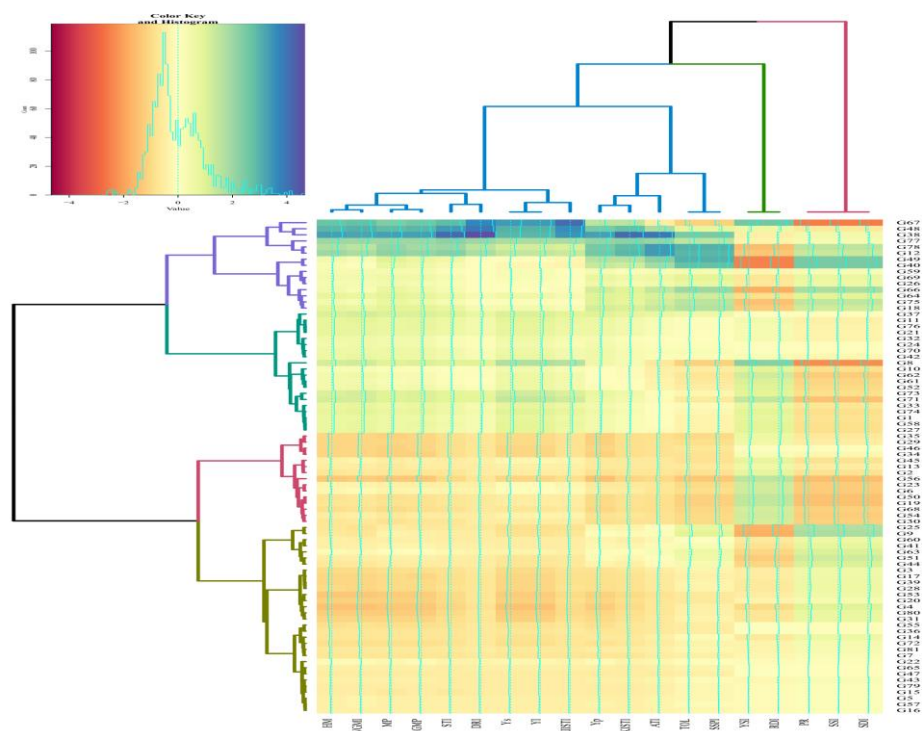
بر طبق شکل ۲ شاخص‌های تحمل به تنش به سه گروه تقسیم شدند. در گروه نخست عملکرد دانه تحت شرایط معمولی و تنش خشکی به همراه اکثر شاخص‌ها تحمل به تنش یعنی *YI*، *DRI*، *STI*، *GMP*، *MP*، *WGM*، *HM*، *K1STI*، *TOL*، *ATL*، *K2STI* و *SSPI* قرار داشتند. گروه دوم شامل شاخص‌های *YSI* و *RDI* بود و شاخص‌های *PR*، *SDI* و *SSI* در گروه سوم جایابی شدند. این یافته‌ها در راستای نتایج ضریب همبستگی بین شاخص‌ها بود، به طوری که شاخص‌هایی که با عملکرد در هر دو شرایط همبستگی داشتند، در یک گروه قرار گرفتند. در سویی دیگر، لاین‌های مورد مطالعه بر مبنای عملکرد در شرایط نرمال و تنش خشکی و نیز بر اساس شاخص‌های مختلف تحمل به تنش، به چهار خوشه تقسیم شدند. در گروه اول ۱۵ لاین شامل لاین‌های شماره ۱۲، ۱۸، ۲۶، ۳۸، ۴۰، ۴۸، ۴۹، ۵۹، ۶۴، ۶۶، ۶۷، ۷۵، ۷۷ و ۷۸ حضور داشتند که از نظر عملکرد دانه در هر دو شرایط و نیز شاخص‌های تحمل به تنش وضعیت مناسبی داشتند و مطلوب‌ترین لاین‌ها بودند. بنابراین می‌توان لاین‌های این خوشه را برای کشت در اراضی که احتمال روبه‌رو شدن با تنش خشکی وجود دارد، معرفی نمود. ۲۰ لاین شامل لاین‌های شماره ۱، ۸، ۱۰، ۱۱، ۲۱، ۲۴، ۲۷، ۳۲، ۳۳، ۳۷، ۴۲، ۵۲، ۵۸، ۶۱، ۶۲، ۷۰، ۷۱، ۷۳، ۷۴ و ۷۶ در گروه دوم جایابی شدند و به لحاظ عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی در حالی حدواسط قرار داشتند. با توجه به این که لاین‌های این خوشه به طور تقریبی از نظر عملکرد تحت شرایط تنش مقادیر بالایی داشتند، می‌توان آن‌ها را همانند گروه اول برای کشت و مطالعات آبی به‌نژادی توصیه کرد. لاین‌های شماره ۲، ۶، ۱۳، ۱۹، ۲۳، ۲۹، ۳۰، ۳۴، ۳۵، ۴۵،

شاخص‌های YI ، $WGMI$ ، $K2STI$ و HM به خاطر همبستگی شدید با عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری معمولی، به‌عنوان مطلوب‌ترین شاخص‌ها در غربال‌گری تحمل به تنش خشکی شناخته شدند.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر فرهاد آهک‌پز عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور به خاطر همکاری و در اختیار قرار دادن مواد ژنتیکی مورد مطالعه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

دانه بالا در هر دو شرایط از تحمل به تنش خشکی بالایی برخوردار هستند. علاوه بر لاین‌های فوق، با تجزیه خوشه‌ای مشخص شد که ۱۲ لاین دیگر نیز از این ویژگی مطلوب برخوردار هستند در حالی که بیش از نیمی از لاین‌های مورد مطالعه حساس به تنش خشکی بودند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به دلیل توجیه درصد بسیار بالایی از تغییرات توسط دو مؤلفه اول، هم‌خوانی خوبی با نتایج سایر روش‌ها داشت. گرچه اکثر شاخص‌های تحمل به تنش با عملکرد دانه همبستگی داشتند اما شاخص‌های $K1STI$ ، MP و GMP به دلیل همبستگی بالا با عملکرد تحت شرایط تنش خشکی و



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای بر پایه میانگین دو سال عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش خشکی و شاخص‌های تحمل به تنش در ۸۱ لاین جو
Figure 2. Cluster analysis based on the mean of two years of grain yield under normal irrigation and drought stress conditions and stress tolerance indices in 81 barley lines

منابع

- Ahakpaz, F., H. Abdi, E. Nevestani, A. Hesami, B. Mohammadi, K.N. Mahmoudi, G. Abedi-Asl, M.R.J. Noshabadi, F. Ahakpaz and H. Alipour. 2021. Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. *Agricultural Water Management*, 245:106665.
- Ahakpaz, F., I. Bernosi, B. Abdollahi, S. Golkari, J. Jafarzadeh and S. Udupa. 2020. Evaluation of barley genotypes based on morpho-physiological traits and drought tolerance indices under rainfed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 8(2): 153-176 (In Persian).
- Akash, M.W., A.M. Al-abdallat, H.M. Saoub and J.Y. Ayad. 2009. Molecular and field comparison of selected barley cultivars for drought tolerance. *Journal of New Seeds*, 10(2): 98-111.
- Boshagh, B., H. Astraki and P. Pezashkipour. 2018. Evaluation of faba bean genotypes using drought tolerance indices and multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding*, 10(27): 1-9 (In Persian).
- Bousslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24: 933-937.
- Ceccarelli, S. 2010. Drought and drought resistance. *Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food*, 1: 205-207.

7. Fang, Y. and L. Xiong. 2015. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and molecular Life Sciences*, 72(4): 673-689.
8. FAO. 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
9. Farshadfar, E. and J. Javadinia. 2011. Evaluation of chickpea (*Cicer arietum* L.) genotypes for drought tolerance. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(4): 517-537 (In Persian).
10. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo, C.G. (eds.) *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*, AVRDC Publication, Tainan, Taiwan, 257-270.
11. 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.
12. 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.
13. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campanile, 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(4): 523-531.
14. Keistin, A.S., R.R. Serna, F.L. Perez, B.C. Enriquez, H.A.A. Gallegos, P.R. Valleji, N. Wassimi and J.D. Kelley. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37: 43-50.
15. Koocheki, A.R., A. Amini, M. Sharifalhoseiniand and H.R. Komaili. 2011. Short Communication: Evaluation and selection of international barley lines under late season drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 4(1): 87-91 (In Persian).
16. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7: 85-87.
17. Mahdavi, A.M., B. Sorkhi Allahlou, S. Ahmadi and H. Zare Manesh. 2012. Evaluation of drought tolerance in barley genotypes using stress tolerance indices. *Journal of Crop Production Research*, 4(2): 121-133 (In Persian).
18. Moosavi, S.S., S.B. Yazdi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashti and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12: 165-178.
19. Naghavi, M.R., M. Moghaddam, M. Toorchi and M.R. Shakiba. 2016. Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices. *Journal of Crop Breeding*, 8(17): 192-207 (In Persian).
20. Nazari, L. and H. Pakniyat. 2010. Assessment of drought tolerance in barley genotypes. *Journal of Applied Sciences*, 10(2): 151-156.
21. Nikkhah, H.R., M.R. Naghavi, V. Mohammadi and H. Soltanloo. 2014. Physiological and agronomic traits related to drought tolerance in barley recombinant inbred line population (Arigashar × Igr). *Seed and Plant Improvement Journal*, 4: 1-30 (In Persian).
22. Pham, A.T., A. Maurer, K. Pillen, C. Brien, K. Dowling, B. Berger, J.K. Eglinton and T.J. March. 2019. Genome-wide association of barley plant growth under drought stress using a nested association mapping population. *BMC plant biology*, 19(1): 134.
23. Rahimi, Y., M.R. Bihamta, A. Taleei, H. Alipour and P.K. Ingvarsson. 2019. Applying an artificial neural network approach for drought tolerance screening among Iranian wheat landraces and cultivars grown under well-watered and rain-fed conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41(9): 156.
24. Rahmati, H., A. Nakhzari Moghadam, A. Rahemi Karizaki and Z. Evarsaji. 2020. Evaluation of drought tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, 12(33): 174-183 (In Persian).
25. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selections for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21:943-946.
26. Samdur, M.Y., P.D. Patroli, H.S. Talwar, K.K. Sharma, V.A. Tonapi, M. Elangovan and Y.S. Kshirsagar. 2020. Weighted geometric mean index: A model to evaluate drought tolerance in post-rainy season sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Cereal Research Communications*, 1-8.
27. Soleimani, A. 2016. Evaluation of drought tolerance in barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) by using drought tolerance indices. *Crop Physiology Journal*, 8(31): 95-110 (In Persian).
28. Soleimani, A., M. Valizadeh, R. Darvishzadeh, H. Hatami Maleki, S. Aharizad and H. Alipour. 2015. Screening of drought tolerance cultivars in spring barley. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 104: 18-25 (In Persian).
29. Soleimani, A., M. Valizadeh, R. Darvishzadeh, S. Aharizad and H. Alipour. 2017. Evaluation of yield and yield component of spring barely genotypes under late season drought stress. *Journal of Crop Breeding*, 9(23): 105-116 (In Persian).
30. Stein, N. and G.J. Muehlbauer. 2018. *The Barley Genome*. Springer.
31. Vaezi, B. and A. AhmadiKhah. 2010. Evaluation of drought tolerance of twelve improved barley genotypes in dry and warm condition. *Journal of Plant Production*, 17(1): 23-44 (In Persian).
32. Vaezi, B., V. Bavei, M. Ghanavati and F. Ebrahimipour. 2013. Evaluation of barley lines for drought tolerance under field condition. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 97: 10-20 (In Persian).
33. Wang, O., G. Sun, X. Ren, J. Wang, B. Du, C. Li and D. Sun. 2017. Detection of OTLs for seedling characteristics in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under hydroponic culture condition. *BMC genetics*, 18(1): 94.
34. Yarahmadi, S., G. Nematzadeh, H. Sabouri and H. Najafi Zarini. 2020. Relationships between drought stress tolerance indices and their use in wheat screening programs. *Journal of Crop Breeding*, 12(33): 29-41 (In Persian).

Evaluation of Drought Stress Tolerance in Barley Lines Using Tolerance Indices

Parvaneh Eslami¹, Iraj Bernousi², Saeed Aharizad³ and Jafar Jafarzadeh⁴

1- PhD Student, Department of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Urmia University, Urmia, Iran

(Corresponding author: i.bernosi@urmia.ac.ir)

3- Professor, Plant Breeding and Biotechnology Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

Received: June 19, 2021

Accepted: May 23, 2021

Abstract

Drought stress is one of the most important environmental factors in reducing barley grain yield and despite recent advances in breeding this crop, there is still a need to improve drought tolerant barley cultivars in the country. In the present study, 81 barley lines were studied during the cropping years of 2018-2019 and 2019-2020 in both normal irrigation and drought stress conditions in the tillering stage. Drought stress was applied using evaporation pan in terms of 50 mm evaporation from the pan. Evaluation of drought stress tolerance using different stress tolerance indices while confirming the existence of genetic diversity, showed that lines No. 38, 48 and 67 with high grain yield in both conditions have high drought tolerance. Most indices had a significant correlation with average yield but the highest correlation with yield was related to K1STI, MP and GMP indices under drought stress and YI, WGMI, K2STI and HM indices under normal irrigation conditions. By cluster analysis, the genotypes were divided into four groups. The genotypes in the first group and to some extent in the second group were acceptable in terms of performance in both environmental conditions and stress tolerance indices, while more than half of genotypes were sensitive to drought stress. Finally, the results of principal component analysis were in good agreement with the results of other methods. The information of the present study can be used in performance comparison experiments and other future breeding programs.

Keywords: Abiotic stress, Barley, Cluster analysis, Weighted geometric mean index