پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۹ (۴): ۸۳-۱۰۰ (۱۳۹۹)

DOI: 10.22034/ARPP.2021.12247

گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گل‌جالیز *Orobanche cernua* در توتون‌های شرقی *Nicotiana tabacum* با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

دریافت: ۹۹/۶/۵ بازنگری: ۹۹/۸/۲ پذیرش: ۹۹/۸/۲۹

مریم طهماسب عالی[۱]، رضا درویش‌زاده[۲،۳]✉، امیر فیاض مقدم[۴]، هادی علیپور[۵]

[۱و۲] به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه. [۳] استاد، پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه ارومیه (✉r.darvishzadeh@urmia.ac.ir). [۴و۵] دانشیار و استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه.

چکیده

توتون یکی از مهم‌ترین گیاهان صنعتی و اقتصادی در بسیاری از کشورهای دنیاست که عمدتاً به خاطر برداشت و جمع‌آوریِ برگ‌هایِ آن کشت می‌شود. به منظور مطالعهٔ پاسخ ۹۲ ژنوتیپ توتون شرقی به تنش گل‌جالیز، آزمایشی در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت دو شرایط نرمال (بدون تنش گل‌جالیز) و تنش گل‌جالیز در دو سال زراعی ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ انجام شد. نُه شاخص شامل شاخصِ تحمل (TOL)، شاخص تنش نسبی (RSI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخصِ تحملِ تنش (STI) و شاخص عملکرد (YI) بر اساس وزن خشک برگ (عملکرد) در شرایط نرمال (Y_p) و تنش گل‌جالیز (Y_s) محاسبه شدند. بالاترین میانگین وزن خشک برگ (عملکرد) تحت شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز در ژنوتیپ‌های ۴۰، ۳۹ و ۲۴ مشاهده شد. بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن خشک برگ (عملکرد) در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز با شاخص‌های MP، HM، GMP، STI و YI مشاهده شد. با استفاده از روش رتبه‌بندی، ژنوتیپ‌های ۴۰، ۱۰ و ۴۵ به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش گل‌جالیز معرفی شدند. براساس نتایج نمودار بای‌پلات، ژنوتیپ‌های ۴۰، ۳۹، ۲۴، ۱۹ و ۴ به عنوان ژنوتیپ‌های پُرمحصول و متحمل و ژنوتیپ‌های ۷۰، ۶۹، ۷۲، ۶۷، ۷۸، ۷۱ و ۸ به عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش گل‌جالیز شناسایی شدند. در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها به روش Ward نیز ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و متحمل به تنش گل‌جالیز شامل ژنوتیپ‌های ۴۰، ۳۹، ۲۴، ۱۹ و ۴ در یک گروه طبقه‌بندی شدند و ژنوتیپ‌های با عملکردِ پایین در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز و حساس به تنش گل‌جالیز شامل ژنوتیپ‌های ۷۰ و ۶۹ در گروه دیگر قرار گرفتند. با توجه به تنوع بالای مشاهده شده در بین ژنوتیپ‌ها از نظر واکنش به تنش گل‌جالیز، می‌توان از آنها به عنوان والدین مناسب در برنامه‌های به‌نژادی و همچنین تولید جمعیت‌های متنوع جهت شناسایی مکان‌های ژنی کنترل کننده تحمل به تنش گل‌جالیز و بررسی تغییرات بیان ژن‌های مربوط به تحمل تنش گل‌جالیز استفاده نمود.

کلمات کلیدی: بای‌پلات، تجزیه کلاستر، توتون شرقی، روش رتبه‌بندی، شاخص‌های تحمل، گل‌جالیز

Selection of tolerant genotypes to broomrape *Orobanche cernua* stress in oriental tobacco *Nicotiana tabacum* genotypes using stress tolerance indices

Maryam Tahmasbali[1], Reza Darvishzadeh[2,3]✉ID, Amir Fayaz Moghaddam[4], Hadi Alipour[5]

[1,2]Respectively, PhD Student and Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. [3]Professor, Institute of Biotechnology, Urmia University, Urmia, Iran (✉r.darvishzadeh@urmia.ac.ir). [4,5]Respectively, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.

Abstract

Tobacco is one of the most important industrial and economic plants in many countries of the world which is cultivated mainly for harvesting and collecting its leaves. In order to study the response of 92 oriental tobacco genotypes to broomrape stress, an experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications under normal (without broomrape) and broomrape stress conditions during 2007 and 2008 cropping seasons. Nine stress tolerance indices including tolerance index (TOL), relative stress index (RSI), mean productivity (MP), harmonic mean (HM), yield stability index (YSI), geometric mean productivity (GMP), stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI) and yield index (YI) were calculated based on leaf dry weight (yield) under normal (Yp) and broomrape stress conditions (Ys). Genotypes 24, 39 and 40 had the highest mean yield in normal and broomrape stress conditions. Yield value in stress (Ys) and non-stress (Yp) conditions were significantly and positively correlated with MP, HM, GMP, STI and YI indices. Using the ranking method, genotypes 40, 10 and 45 were introduced as the most tolerant genotypes to broomrape stress. Based on the results of biplot, genotypes 40, 39, 24, 19 and 4 were identified as high yielding and tolerant genotypes and genotypes 70, 69, 72, 67, 78, 71 and 8 as the most sensitive genotypes to broomrape stress. Grouping of genotypes by Ward method also classified high yielding and stress tolerant genotypes including genotypes 40, 39, 24, 19 and 4 in one group. Susceptible and low yield genotypes under stress and normal conditions including genotypes 70 and 69 were classified in the other group. Due to high diversity among the studied genotypes in view of response to broomrape stress, it is possible to select appropriate parents for breeding programs, produce diverse populations for identifying genetic loci controlling broomrape stress tolerance and study changes in the expression of tolerance genes.

Keywords: Biplot, Broomrape, Cluster analysis, Oriental tobacco, Ranking method, Tolerance indices

How to cite:

Tahmasbali M, Darvishzadeh R, Fayaz Moghaddam A, Alipour H, 2020. Selection of tolerant genotypes to broomrape *Orobanche cernua* stress in oriental tobacco *Nicotiana tabacum* genotypes using stress tolerance indices. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 9 (4): 83–100.

مقدمه

توتون با نام علمی *Nicotiana tabacum* L. یکی از گیاهان مهم زراعی، صنعتی و تجاری از تیره بادنجانیان است که در اقتصاد کشورهای تولید کننده و مصرف کننده نقش مهمی دارد و درآمد حاصل از فرآورده‌های مختلف این گیاه، سهم مهمی از درآمد ملی کشورهای تولید کننده را تشکیل می‌دهد (Rezvani Moghadam *et al.* 2002). ارزش اقتصادی آن به طور عمده به برگ‌های آن مربوط بوده (Bozhinova 2006; Mohsenzadeh Golfazani *et al.* 2012) و یکی از گیاهان پرکاربرد در تحقیقات بیوتکنولوژی است که در زراعت مولکولی از آن برای تولید دارو و واکسن به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود (Brandle & Bai 1999). توتون‌های شرقی یک گروه از ژنوتیپ‌های آفتاب خشک می‌باشند که از نظر صفاتی نظیر داشتن برگ‌های کوچک، بافت ظریف، دود ملایم و عطر نافذ از دیگر گروه‌ها متمایز بوده و از اجزای اصلی سازنده خرمن سیگارت‌ها می‌باشند (Darvishzadeh *et al.* 2011).

تنش‌ها یکی از مهمترین عوامل کاهش دهندهٔ عملکرد و تولید گیاهان زراعی به شمار می‌روند و مقابله و یا کاهش اثر تنش‌ها به عنوان راهکاری مفید در جهت افزایش عملکرد این محصولات مد نظر قرار گرفته است (Golparvar *et al.* 2003). تنش‌های محیطی را می‌توان به دو دسته تنش‌های زیستی و غیرزیستی تقسیم‌بندی کرد (Chaves & Oliveira 2004). گیاهان در شرایط مزرعه‌ای در معرض تنش‌های زیستی و غیرزیستی متفاوتی قرار دارند. گزارش شده است که تنش‌ها بطور بالقوه عملکرد گیاهان زراعی را بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Vij & Tyagi 2007). از دسته تنش‌های زیستی، گونه‌های گل‌جالیز (*Orobanche* spp.) به عنوان گیاه عالی انگلی بسیار مهم در کاهش کیفیت و عملکرد بسیاری از محصولات زراعی مانند آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، توتون (*Nicotiana tabacum* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.) و حبوبات شناخته می‌شوند. بسته به شدت آلودگی، انگل گل‌جالیز منجر به کاهش عملکرد در محصولات مختلف از ۲۰ تا ۱۰۰ درصد می‌شود (Parker & Riches 1993; Barker *et al.* 1996). این انگل انعطاف‌پذیری بالای فنوتیپی داشته و تحمل گسترده به شرایط محیطی نامطلوب نشان می‌دهد (Müller & Distler 1989) و گونه‌های مختلف آن به طور گسترده در بلغارستان، اروپای جنوبی، روسیه، خاورمیانه و شمال آفریقا شیوع پیدا کرده است. تقریباً ۱۶ میلیون هکتار از اراضی زراعی به دلیل حضور گل‌جالیز در حوالی دریای مدیترانه و در غرب آسیا مورد تهدید قرار گرفته و به عنوان یک محدودیت بزرگ اقتصادی مطرح شده است (Delavault 2015). به طور کلی خسارت ناشی از آلودگی گل‌جالیز در محصولات زراعی مختلف از طریق روش‌های زراعی و استفاده از علف‌کش‌ها به حداقل می‌رسد. کاهش کامل تلفات ناشی از این انگل از طریق روش‌های سنتی و استفاده از علف‌کش‌ها موجب آسیب به سلامتی خاک و گیاه میزبان می‌شود و استفاده از این روش‌ها مستلزم صرف هزینه‌ی زیادی می‌باشد. کنترل بیولوژیک از طریق اصلاح گیاه میزبانِ مقاوم یک استراتژی معقول برای ریشه‌کن کردن این علف‌هرز مشکل‌ساز است. شناخت چرخه‌ی زندگی گل‌جالیز و رابطه‌ی میزبان با انگل می‌تواند راهکارهای مختلفی را برای به‌نژادی واریته‌های متحمل به این انگل فراهم آورد (Baghyalakshmi *et al.* 2019).

ارزیابی مواد پیشرفته اصلاحی تحت شرایط نرمال و تنش این امکان را فراهم می‌آورد که علاوه بر شناسایی لاین‌های دارای پایداری عملکرد در هر دو شرایط، ژنوتیپ‌هایی شناسایی شوند که عملکرد مطلوبی در شرایط نرمال و تنش داشته باشند. Fernandez (1992) براساس واکنش ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی نرمال و تنش، ژنوتیپ‌ها را در چهار گروه دسته‌بندی نمود: گروه A: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارند. گروه B: ژنوتیپ‌هایی که فقط عملکرد خوبی در محیط بدون تنش دارند. گروه C: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد خوبی در محیط تنش دارند. گروه D: ژنوتیپ‌هایی که عملکرد پایین در هر دو محیط دارند.

شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین مقاومت و حساسیت آنها ارائه شده است. طبق نظر Fernandez (1992) مناسب‌ترین معیار جهت انتخاب در محیط‌های تنش، معیاری است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد و شاخص‌هایی که در هر دو محیط نرمال و تنش دارای همبستگی بالایی با عملکرد باشند به عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند. یکی از شاخص‌های انتخاب، شاخص حساسیت به تنش (Stress susceptibility index; SSI) می‌باشد که Fischer & Maurer (1978) آن را پیشنهاد دادند. مقدار کم شاخص SSI نشان‌دهنده‌ی تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و در نتیجه پایداری بیشتر آن است. یکی از مهم‌ترین معایب شاخص SSI این است که این

شاخص نسبت عملکرد در شرایط تنش به شرایط بدون تنش را برای هر ژنوتیپ در مقایسه با این نسبت برای کل ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش اندازه‌گیری می‌کند. لذا دو ژنوتیپ با عملکرد بالا و پایین می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند، چون اختلاف عملکرد بین شرایط تنش و بدون تنش برای هر دو ژنوتیپ می‌تواند یکسان باشد. بنابراین این شاخص قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از گروه C نمی‌باشد. Rosielle & Hamblin (1981) شاخص‌های تحمل (Tolerance; TOL) و میانگین بهره‌وری (Mean productivity; MP) را معرفی نمودند. مقدار بالای TOL نشانه‌ی حساسیت ژنوتیپ به تنش بوده و انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر کم آن می‌باشد (Koocheki *et al.* 2006). Fernandez (1992) شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric mean productivity; GMP) را معرفی نمود و اشاره کرد که هنگامی که اختلاف نسبی عملکرد در شرایط بدون تنش (Yp) و عملکرد در شرایط تنش (Ys) زیاد باشد شاخص MP چنین اریبی را نخواهد داشت و به همین دلیل قادر به تفکیک بهتری از ژنوتیپ‌های گروه A می‌باشد و با توجه به این مسأله شاخص دیگری تحت عنوان شاخص تحمل به تنش (Stress tolerance index; STI) بر مبنای GMP را پیشنهاد کرد. شاخص STI قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و غیرتنش بوده و مقادیر بالای آن نشانگر تحمل بیشتر گیاه به تنش است. شاخص پایداری عملکرد (YSI) که از نسبت عملکرد در شرایط تنش به شرایط بدون تنش محاسبه می‌شود توسط Bouslama & Schapaugh (1984) پیشنهاد شد. این شاخص نشان‌دهنده‌ی میزان مقاومت ژنتیکی رقم به تنش است. مقادیر عددی بیشتر از واحد در شاخص پایداری عملکرد نشان‌دهنده- حساسیت ژنوتیپ و ضعف پایداری عملکرد در شرایط تنش می‌باشد. با توجه به وجود اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط، محققان به دنبال ژنوتیپ‌هایی هستند که در شرایط مختلف بتوانند با استفاده‌ی بیشتر از امکانات محیط، عملکرد و تظاهر قابل پذیرش‌تری داشته باشند. Hassani *et al.* (2008) در مطالعه بر روی ارقام توتون ویرجینیا، شاخص‌های STI، MP و GMP را به عنوان بهترین شاخص در تفکیک ارقام توتون متحمل به خشکی معرفی کردند. ایشان با استفاده از روش ترسیمی بای‌پلات روی شش رقم، مقایسه‌ی مقادیر شاخص‌های برتر برای هر رقم و مشاهده‌ی وضع قرارگرفتن ارقام در بای‌پلات مذکور، رقم کنتاکیاف ۳۲۶ را به عنوان رقم پرمحصول و متحمل و رقم کوکِر ۳۴۷ را به عنوان حساس‌ترین رقم نسبت به تنش خشکی شناسایی کردند. Sadeghi *et al.* (2010) شاخص‌های STI، MP و GMP را به عنوان بهترین شاخص برای غربال ژنوتیپ‌های توتون متحمل به خشکی گزارش کردند. Karimi Torki *et al.* (2012) در ارزیابی میزان تحمل ۴۹ ژنوتیپ نخود به علف‌هرز بیان نمودند که شاخص‌های میانگین حسابی، هارمونیک، هندسی و شاخص تحمل (STI) مناسب‌ترین شاخص‌ها جهت تعیین میزان تحمل ژنوتیپ‌های نخود می‌باشند. Mohammaddoust Chamanabad *et al.* (2014) در بررسی شاخص‌های تحمل در ۱۸ ژنوتیپ گندم تحت تنش علف‌های هرز گزارش کردند که در بین شاخص‌های تحمل، شاخص تحمل علف‌های هرز و توانایی رقابت علف‌های هرز در گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم از نظر تحمل علف‌های هرز کارایی بیشتری دارند.

تحقیق حاضر به منظور شناسایی ژنوتیپ‌های توتون شرقی متحمل به تنش گل‌جالیز و گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی آتی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

تعداد ۹۲ ژنوتیپ توتون شرقی از نظر وزن خشک برگ (عملکرد) در دو شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز (*Orobanche cernua* Loefl.) در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شدند (جدول ۱). آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۸۶و ۱۳۸۷ در محوطه مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات توتون ارومیه با طول جغرافیایی ۴۴/۵۸ درجه و عرض جغرافیایی ۳۷/۳۴ درجه با ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا به صورت کشت گلدانی انجام شد. برای این منظور گلدان‌های سفالی به حجم ۱۰ لیتر انتخاب و با خاکی که از مزرعه یونجه تهیه شده بود پُر شدند. در شرایط تنش گل‌جالیز، خاک گلدان‌ها قبل از پر شدن با ۰/۰۶ گرم بذر گل‌جالیز مخلوط شد. نشاء هر یک از ژنوتیپ‌های توتون در خزانه تهیه شد و وقتی گیاهچه‌های توتون به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر رسیدند، به گلدان‌ها منتقل شدند. تمامی عملیات زراعی در طول دوره رشد توتون با توجه به استانداردهای موجود برای توتون‌های شرقی انجام گرفت. برگ‌های ژنوتیپ‌های توتون در زمان رسیدگی صنعتی برداشت و جلوی آفتاب خشک شدند.

جدول ۱. اسامی ژنوتیپ‌های توتون شرقی مورد مطالعه.

Table 1. Name of studied oriental tobacco genotypes.

No	Name of genotypes	No	Name of genotypes	No	Name of genotypes	No	Name of genotypes
1	Kharmanli 163	24	H.T.I	47	Basma 181-8	70	SPT 430
2	Nevrokop	25	Kramograd N.H.H. 659	48	Zichna	71	SPT 432
3	Trabozan	26	T.K.23	49	Izmir	72	SPT 433
4	Krumovgraid	27	L16a	50	P.D.324	73	SPT 434
5	Basma.S.31	28	Izmir 7	51	P.D.325	74	SPT 436
6	Triumph	29	Mutant 3	52	P.D.406	75	SPT 439
7	Xanthi	30	Mutant 4	53	P.D.328	76	SPT 441
8	Matianus	31	Pobeda 1	54	P.D.329	77	Esfahan2
9	Immni 3000	32	Pobeda 2	55	P.D.336	78	SPT 413
10	Melkin 261	33	Rustica	56	P.D.345	79	Esfahani
11	Tyk-Kula	34	Samsun 959	57	P.D.364	80	Jahrom14
12	Ss-289-2	35	Samsun dere	58	P.D.365	81	Borazjan
13	Ohdaruma	36	OR-205	59	P.D.371	82	L16b
14	Ploudive 58	37	OR-345	60	P.D.381	83	Balouch
15	Line 20	38	OR-379	61	SPT 403	84	Lengeh
16	T-B-22	39	C.H.T.209.12e	62	SPT 405	85	Saderati
17	Ts 8	40	C.H.T.209.12e×F.K.40-1	63	SPT 406	86	Eraghi
18	Alborz23	41	C.H.T.266-6	64	SPT 408	87	Shahroudi
19	F.K.40-1	42	C.H.T.283-8	65	SPT 409	88	T.K.L
20	PI7	43	C.H.T.273-38	66	SPT 410	89	L17
21	K.P.Ha	44	Basma 12-2	67	SPT 412	90	C.H.T.269-12e
22	K.B.	45	Basma 16-10	68	Esfahan5	91	Samsun 1
23	G.D.165	46	Basma 104-1	69	SPT 420	92	Samsun katenizi

با در نظر گرفتن تداخل گیاهان عالی انگل از جمله گل-جالیز به عنوان یک تنش زیستی، می‌توان همچون سایر تنش‌ها از شاخص‌های تحمل برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل استفاده نمود (Abdulahi & Mohammadi 2008). بنابراین بعد از برآورد میانگین وزن خشک برگ (عملکرد) در دو سال مورد بررسی تحت شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز، محاسبه‌ی شاخص‌های مختلف تحمل و حساسیت (جدول ۲) با استفاده از برنامه‌ی iPASTIC (Pour-Aboughadareh *et al.* 2019) انجام شد. برای مقایسات میانگین عملکرد در شرایط نرمال و عملکرد در شرایط تنش گل‌جالیز از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. تجزیهٔ خوشه‌ای و تجزیه‌ی تابع تشخیص در نرم‌افزار SPSS v.21 انجام شد. لازم به توضیح است که برای ژنوتیپ‌هایی که تحت شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال عملکرد بالاتری نشان داده بودند آزمون t انجام شد.

نتایج و بحث

تنوع فنوتیپی گل‌جالیز

بر اساس میانگین داده‌های دو سال، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط نرمال هیچ گونه آلودگی با گل‌جالیز نداشتند. در حالی که در شرایط تلقیح شده، اکثر ژنوتیپ‌ها آلودگی نشان دادند. در شرایط تلقیح شده وزن خشک گل جالیز از صفر تا ۲۳/۹۲ گرم متغیر بود (جدول ۳). تعدای از ژنوتیپ‌ها از قبیل ۴ (Krumovgraid)، ۱۶ (T-B-22)، ۲۳ (G.D.165)، ۲۵ (Kramograd N.H.H. 659)، ۳۹ (C.H.T.209.12e)، کمترین مقدار گل جالیز ظهور یافته را به خود اختصاص دادند.

شاخص‌های تحمل

با توجه به جدول ۳ مشاهده شد که در رابطه با اکثر ژنوتیپ‌ها میانگین عملکرد در شرایط نرمال بیش از تنش بوده و در رابطه با تعدادی مقدار عددی آزمونِ t معنی‌دار می‌باشد که

بیانگر اختلاف معنی‌دار بین عملکرد این ژنوتیپ‌ها در دو شرایط مورد مطالعه می‌باشد. بررسی شاخص‌های تحمل به تنش نشان داد، بیشترین مقدار عملکرد در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز مربوط به ژنوتیپ‌های ۳۹ (C.H.T.209.12e) (Yp = ۴۷/۴۸g)؛ (Ys =۳۲/۰۰g)، ۲۴ (H.T.I) (Yp = ۴۳/۵۵g)؛ (Ys =۳۱/۵۳g) و ۴۰ (C.H.T.209.12e×F.K.40-1) (Yp =۴۷/۹۵g)؛ (Ys =۳۸/۸۳g) و کمترین مقدار عملکرد در شرایط نرمال مربوط به ژنوتیپ-های ۷۷ (Esfahan2) (Yp =۲/۳۰g)، ۸۱ (Borazjan) (۳/۰۰g = Yp)، ۷۴ (SPT 436) (Yp =۳/۰۵g) و ۷۹ (Esfahani) (Yp = ۳/۰۵g) و در شرایط تنش گل‌جالیز مربوط به ژنوتیپ‌های ۷۸ (SPT 413) (Ys = ۳/۴۳g)، ۷۴ (SPT 436) (Ys = ۳/۹۷g)، ۷۰ (SPT 430) (Ys = ۳/۹۷g)، ۶۹ (SPT 420) (Ys = ۳/۹۷g)، ۸۱ (Borazjan) (Ys = ۴/۱۳g)، ۷۱ (SPT 432) (Ys = ۴/۱۳g) و ۶۷ (SPT 412) (Ys = ۴۶/۱۳g) بود (جدول ۳ و ۴).

جدول ۲. فرمول ریاضی شاخص‌های تحمل و حساسیت محاسبه شده توسط نرم‌افزار *i*PASTIC.

Table 2. Mathematical formulas of tolerance and susceptibility indices calculated by *i*PASTIC software.

Index	Formula	Pattern of selection	Reference
TOL: Tolerance	$\mathrm{Tol} = Y_p - Y_s$	Minimum value	Rosielle & Hamblin (1981)
MP: Mean productivity	$\mathrm{MP} = \frac{(Y_P + Y_S)}{2}$	Maximum value	Rosielle & Hamblin (1981)
GMP: Geometric mean productivity	$\mathrm{GMP} = \sqrt{(Y_s)(Y_p)}$	Maximum value	Fernandez (1992)
HM: Harmonic mean	$\mathrm{HARM} = \frac{2(Y_s)(Y_p)}{Y_s + Y_p}$	Maximum value	Bidinger *et al.* (1987)
SSI: Stress susceptibility index	$\mathrm{SSI} = \frac{1 - Y_s/Y_p}{1 - \bar{Y}_s/\bar{Y}_p}$	Minimum value	Fischer & Maurer (1978)
STI: Stress tolerance index	$\mathrm{STI} = \frac{(Y_s)(Y_p)}{(\bar{Y}_p)^2}$	Maximum value	Fernandez (1992)
YI: Yield index	$\mathrm{YI} = \frac{Y_s}{\bar{Y}_s}$	Maximum value	Gavuzzi *et al.* (1997)
YSI: Yield stability index	$\mathrm{YSI} = \frac{Y_s}{Y_p}$	Maximum value	Bouslama & Schapaugh (1984)
RSI: Relative stress index	$\mathrm{RSI} = \frac{(Y_s/Y_p)}{(\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)}$	Maximum value	Fischer & Wood (1979)

Y_S and Y_P are orobanche stress and optimal (potential) yield of a given genotype, respectively. $\bar{Y}_s$ and $\bar{Y}_p$ are average yield of all genotypes under orobanche stress and optimal conditions, respectively.

بیشترین میانگین شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI در ژنوتیپ‌های ۴۰ (C.H.T.209.12e×F.K.40-1)، ۳۹ (C.H.T.209.12e) و ۲۴ (H.T.I) مشاهده گردید. همچنین این ژنوتیپ‌ها با داشتن بالاترین عملکرد در هر دو شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز، از نظر شاخص‌های تولیدی؛ YSI و RSI نیز مقادیر بالایی داشتند. البته ژنوتیپ ۴۰ از نظر شاخص تحمل و حساسیت به تنش و نیز شاخص RC کمترین مقدار مثبت را داشت که در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر کمترین کاهش عملکرد را تحت تنش گل‌جالیز در مقایسه با شرایط نرمال نشان داد (جدول ۳). ژنوتیپ‌های ۴۸ (Zichna)، ۷۷ (Esfahan2)، ۶۲ (SPT 405) و ۲۹ (Mutant 3) علی‌رغم داشتن تحمل بالا به شرایط تنش گل‌جالیز و حتی عملکرد نسبی بالا در شرایط تنش، عملکرد بسیار پایینی در هر دو شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز داشتند و مسلماً نمی‌توان آنها را به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب برای کشت معرفی نمود.

شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل بر اساس یک شاخص به تنهایی می‌تواند مشکل‌ساز و گیج کننده باشد. اما می‌توان با برآورد متوسط مجموع رتبه‌ها براساس تمامی شاخص‌ها، گزینش بهتری برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر انجام داد. بدین صورت که هرچه مقدار این آماره کمتر باشد ژنوتیپ برتر خواهد بود (Pour-Aboughadareh *et al.* 2019). با در نظر گرفتن متوسط مجموع رتبه‌ها، ژنوتیپ‌های ۴۰ (C.H.T.209.12e×F.K.40-1)،

۱۰ (Melkin 261)، ۴۵ (Basma 16-10)، ۱۷ (Ts 8)، ۲۹ (Mutant 3) و ۱۳ (Ohdaruma) بهترین میانگین رتبه و کمترین انحراف استاندارد رتبه را نشان دادند و از این رو آنها به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به گل‌جالیز شناسایی شدند (جدول ۴). همچنین چنانچه در مقدمه اشاره شد بر اساس روش Fernandez (1992) ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر توان عملکرد و تحمل به تنش به چهار گروه A، (ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد بالایی دارند)، B (ژنوتیپ‌هایی که فقط در شرایط محیطی بدون تنش عملکرد بالایی دارند)، C (ژنوتیپ-هایی که فقط در شرایط تنش عملکرد نسبتاً بالایی دارند) و گروه D (ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد پایینی دارند)، تفکیک می‌شوند. براین اساس و با توجه به جدول ۴ ژنوتیپ‌های ۴۰ (C.H.T.209.12e × F.K.40-1)، ۱۰ (Melkin 261) و ۴۵ (Basma 16-10) با داشتن عملکر بالا در هر دو محیط تنش و بدون تنش، جزو ژنوتیپ‌های گروه A و ژنوتیپ‌های ۱۷ (Ts 8)، ۲۹ (Mutant 3) و ۱۳ (Ohdaruma) که فقط در شرایط تنش عملکرد نسبتا بالایی دارند جزو ژنوتیپ‌های گروه C طبقه-بندی می‌شوند. فراوانی شاخص‌های مختلف محاسبه شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۳. عملکرد (وزن خشک برگ) ۹۲ ژنوتیپ توتون شرقی تحت شرایط نرمال (Yp) و تنش گل‌جالیز (Ys) همراه با درصد تغییرات نسبی (RC) و شاخص‌های تحمل و حساسیت محاسبه شده با نرم‌افزار *i*PASTIC.

Table 3. Yield (leaf dry weight) of 92 oriental tobacco genotypes under normal (Yp) and broomrape stress (Ys) conditions along with the percentage of relative change (RC) and tolerance and susceptibility indices calculated by *i*PASTIC software**.**

Genotype	Yp	Ys	RC	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	t-student test	DWB (g) (Mean ± standard error)
g01	21.08	10.00	52.55	11.08	15.54	14.52	13.56	2.78	1.02	0.86	0.47	0.59	2.39^{ns}	23.18 ± 15.12
g02	11.80	9.13	22.60	2.67	10.47	10.38	10.30	1.20	0.52	0.78	0.77	0.95	0.90^{ns}	4.82 ± 2.24
g03	12.05	9.15	24.07	2.90	10.60	10.50	10.40	1.27	0.53	0.78	0.76	0.94	1.04^{ns}	4.80 ± 1.12
g04	37.48	22.40	40.23	15.08	29.94	28.97	28.04	2.13	4.06	1.92	0.60	0.74	1.51^{ns}	0.20 ± 0.09
g05	14.20	9.40	33.80	4.80	11.80	11.55	11.31	1.79	0.65	0.81	0.66	0.82	1.27^{ns}	6.30 ± 2.80
g06	21.25	13.25	37.65	8.00	17.25	16.78	16.32	1.99	1.36	1.14	0.62	0.77	1.53^{ns}	18.13 ± 5.75
g07	8.00	9.50	-18.75	-1.50	8.75	8.72	8.69	-0.99	0.37	0.81	1.19	1.46	-0.40^{ns}	23.92 ± 9.81
g08	9.20	4.32	53.04	4.88	6.76	6.30	5.88	2.81	0.19	0.37	0.47	0.58	4.36^{**}	13.03 ± 4.83
g09	16.20	11.62	28.29	4.58	13.91	13.72	13.53	1.50	0.91	1.00	0.72	0.88	2.40^{*}	2.83 ± 1.62
g10	16.88	24.87	-47.36	-7.99	20.87	20.48	20.11	-2.51	2.03	2.13	1.47	1.82	-0.89^{ns}	16.18 ± 1.60
g11	8.70	6.83	21.46	1.87	7.77	7.71	7.65	1.14	0.29	0.59	0.79	0.97	0.94^{ns}	6.12 ± 2.47
g12	16.68	15.07	9.64	1.61	15.87	15.85	15.83	0.51	1.22	1.29	0.90	1.11	0.24^{ns}	15.32 ± 7.39
g13	30.00	26.75	10.83	3.25	28.38	28.33	28.28	0.57	3.88	2.29	0.89	1.10	0.33^{ns}	6.72 ± 6.62
g14	9.15	9.80	-7.10	-0.65	9.48	9.47	9.46	-0.38	0.43	0.84	1.07	1.32	-0.29^{ns}	0.47 ± 0.02
g15	10.00	11.40	-14.00	-1.40	10.70	10.68	10.65	-0.74	0.55	0.98	1.14	1.41	-0.27^{ns}	4.72 ± 1.44
g16	23.93	20.47	14.45	3.46	22.20	22.13	22.06	0.77	2.37	1.76	0.86	1.05	0.62^{ns}	0.00 ± 0.00
g17	13.58	17.47	-28.67	-3.89	15.52	15.40	15.28	-1.52	1.15	1.50	1.29	1.59	-0.84^{ns}	5.37 ± 5.33
g18	14.40	12.92	10.30	1.48	13.66	13.64	13.62	0.55	0.90	1.11	0.90	1.11	0.56^{ns}	1.43 ± 0.42
g19	34.53	26.78	22.42	7.74	30.65	30.41	30.17	1.19	4.47	2.30	0.78	0.96	0.66^{ns}	6.78 ± 3.18
g20	29.65	13.50	54.47	16.15	21.58	20.01	18.55	2.88	1.94	1.16	0.46	0.56	6.52^{**}	6.12 ± 2.22
g21	21.10	15.73	25.43	5.37	18.42	18.22	18.03	1.35	1.61	1.35	0.75	0.92	0.72^{ns}	9.90 ± 3.43
g22	19.70	13.17	33.16	6.53	16.43	16.11	15.78	1.76	1.25	1.13	0.67	0.82	3.22^{*}	1.10 ± 0.63
g23	25.40	21.95	13.58	3.45	23.68	23.61	23.55	0.72	2.70	1.88	0.86	1.07	0.45^{ns}	0.05 ± 0.05
g24	43.55	31.53	27.59	12.02	37.54	37.06	36.58	1.46	6.64	2.70	0.72	0.89	1.16^{ns}	2.53 ± 1.64
g25	14.38	10.57	26.49	3.81	12.47	12.32	12.18	1.40	0.73	0.91	0.74	0.91	0.86^{ns}	0.00 ± 0.00

g26	16.83	11.30	32.84	5.53	14.06	13.79	13.52	1.74	0.92	0.97	0.67	0.83	1.80^{ns}	3.00	±	0.88
g27	12.45	8.68	30.25	3.77	10.57	10.40	10.23	1.60	0.52	0.74	0.70	0.86	0.87^{ns}	0.58	±	0.41
g28	17.73	10.57	40.39	7.16	14.15	13.69	13.24	2.14	0.91	0.91	0.60	0.74	0.84^{ns}	3.50	±	1.16
g29	9.95	17.67	-77.55	-7.72	13.81	13.26	12.73	-4.11	0.85	1.51	1.78	2.19	-0.88^{ns}	0.87	±	0.20
g30	8.40	10.87	-29.37	-2.47	9.63	9.55	9.48	-1.55	0.44	0.93	1.29	1.59	-0.83^{ns}	1.42	±	0.82
g31	15.75	8.60	45.40	7.15	12.18	11.64	11.13	2.40	0.66	0.74	0.55	0.67	1.41^{ns}	1.97	±	1.24
g32	8.10	11.15	-37.65	-3.05	9.63	9.50	9.38	-1.99	0.44	0.96	1.38	1.70	-1.19^{ns}	4.04	±	1.35
g33	9.65	7.68	20.38	1.97	8.67	8.61	8.56	1.08	0.36	0.66	0.80	0.98	0.52^{ns}	4.60	±	1.13
g34	24.13	13.45	44.25	10.68	18.79	18.01	17.27	2.34	1.57	1.15	0.56	0.69	1.72^{ns}	3.25	±	1.49
g35	10.85	12.83	-18.28	-1.98	11.84	11.80	11.76	-0.97	0.67	1.10	1.18	1.46	-0.78^{ns}	2.92	±	0.94
g36	14.43	10.57	26.75	3.86	12.50	12.35	12.20	1.42	0.74	0.91	0.73	0.90	1.94^{ns}	12.22	±	2.73
g37	9.40	8.65	7.98	0.75	9.03	9.02	9.01	0.42	0.39	0.74	0.92	1.13	0.44^{ns}	4.58	±	1.41
g38	6.95	6.77	2.64	0.18	6.86	6.86	6.86	0.14	0.23	0.58	0.97	1.20	0.11^{ns}	0.40	±	0.15
g39	47.48	32.00	32.60	15.48	39.74	38.98	38.23	1.73	7.35	2.74	0.67	0.83	1.51^{ns}	0.13	±	0.06
g40	38.95	38.83	0.30	0.12	38.89	38.89	38.89	0.02	7.32	3.33	1.00	1.23	0.01^{ns}	4.23	±	1.95
g41	9.80	9.05	7.65	0.75	9.43	9.42	9.41	0.41	0.43	0.78	0.92	1.14	0.27^{ns}	4.58	±	2.58
g42	25.03	15.33	38.73	9.69	20.18	19.59	19.02	2.05	1.86	1.31	0.61	0.76	1.40^{ns}	1.78	±	0.81
g43	38.35	14.17	63.06	24.18	26.26	23.31	20.69	3.34	2.63	1.21	0.37	0.46	2.99*	11.55	±	3.74
g44	29.55	25.07	15.17	4.48	27.31	27.22	27.12	0.80	3.58	2.15	0.85	1.05	0.40^{ns}	2.67	±	0.94
g45	27.70	27.23	1.68	0.47	27.47	27.47	27.46	0.09	3.65	2.34	0.98	1.21	0.03^{ns}	2.15	±	0.74
g46	21.73	17.15	21.06	4.58	19.44	19.30	19.17	1.11	1.80	1.47	0.79	0.97	0.74^{ns}	4.12	±	1.58
g47	13.95	10.38	25.57	3.57	12.17	12.04	11.91	1.35	0.70	0.89	0.74	0.92	1.16^{ns}	1.73	±	0.36
g48	7.60	21.97	-189.04	-14.37	14.78	12.92	11.29	-10.01	0.81	1.88	2.89	3.56	*-2.66**	5.02	±	1.37
g49	13.00	13.28	-2.18	-0.28	13.14	13.14	13.14	-0.12	0.84	1.14	1.02	1.26	-0.04^{ns}	2.17	±	0.45
g50	9.05	10.70	-18.23	-1.65	9.88	9.84	9.81	-0.97	0.47	0.92	1.18	1.46	-0.46^{ns}	16.12	±	3.90
g51	13.38	8.65	35.33	4.73	11.01	10.76	10.51	1.87	0.56	0.74	0.65	0.80	1.40^{ns}	2.22	±	0.81
g52	8.60	7.73	10.08	0.87	8.17	8.16	8.14	0.53	0.32	0.66	0.90	1.11	0.50^{ns}	0.37	±	0.14
g53	14.00	12.77	8.81	1.23	13.38	13.37	13.35	0.47	0.86	1.09	0.91	1.12	0.56^{ns}	4.35	±	1.01
g54	13.25	7.97	39.87	5.28	10.61	10.27	9.95	2.11	0.51	0.68	0.60	0.74	12.90**	4.50	±	2.30
g55	14.13	11.67	17.40	2.46	12.90	12.84	12.78	0.92	0.80	1.00	0.83	1.02	0.87^{ns}	1.68	±	1.31
g56	8.58	5.42	36.83	3.16	7.00	6.82	6.64	1.95	0.22	0.46	0.63	0.78	1.44^{ns}	0.47	±	0.12
g57	9.13	11.30	-23.84	-2.18	10.21	10.15	10.10	-1.26	0.50	0.97	1.24	1.53	-0.56^{ns}	1.15	±	0.50
g58	9.80	10.60	-8.16	-0.80	10.20	10.19	10.18	-0.43	0.50	0.91	1.08	1.33	-0.43^{ns}	8.30	±	1.61
g59	11.70	5.62	51.99	6.08	8.66	8.11	7.59	2.75	0.32	0.48	0.48	0.59	2.08^{ns}	10.27	±	3.01
g60	11.85	11.18	5.63	0.67	11.52	11.51	11.51	0.30	0.64	0.96	0.94	1.16	0.43^{ns}	4.97	±	1.01
g61	6.86	6.27	8.68	0.60	6.56	6.56	6.55	0.46	0.21	0.54	0.91	1.13	0.45^{ns}	4.28	±	1.55
g62	5.85	10.47	-78.92	-4.62	8.16	7.82	7.51	-4.18	0.30	0.90	1.79	2.21	-0.94^{ns}	1.75	±	0.85
g63	6.50	6.03	7.18	0.47	6.27	6.26	6.26	0.38	0.19	0.52	0.93	1.14	0.39^{ns}	9.29	±	4.47
g64	7.13	4.53	36.37	2.59	5.83	5.68	5.54	1.93	0.16	0.39	0.64	0.78	1.79^{ns}	8.12	±	3.36
g65	5.30	6.00	-13.21	-0.70	5.65	5.64	5.63	-0.70	0.15	0.51	1.13	1.40	-0.71^{ns}	3.78	±	1.31
g66	6.33	5.57	11.99	0.76	5.95	5.93	5.92	0.63	0.17	0.48	0.88	1.09	0.40^{ns}	13.37	±	4.87
g67	5.00	4.13	17.33	0.87	4.57	4.55	4.53	0.92	0.10	0.35	0.83	1.02	2.00^{ns}	5.28	±	1.37
g68	9.25	5.90	36.22	3.35	7.58	7.39	7.20	1.92	0.26	0.51	0.64	0.79	2.01^{ns}	7.13	±	1.75
g69	3.38	3.97	-17.53	-0.59	3.67	3.66	3.65	-0.93	0.06	0.34	1.18	1.45	-0.53^{ns}	1.18	±	0.23
g70	3.18	3.97	-24.94	-0.79	3.57	3.55	3.53	-1.32	0.06	0.34	1.25	1.54	-1.02^{ns}	2.63	±	0.68

g71	8.70	4.13	52.49	4.57	6.42	6.00	5.60	2.78	0.17	0.35	0.48	0.59	2.36^{ns}	2.58	±	2.18
g72	4.60	4.33	5.80	0.27	4.47	4.46	4.46	0.31	0.10	0.37	0.94	1.16	0.35^{ns}	3.63	±	1.44
g73	18.65	8.38	55.05	10.27	13.52	12.50	11.57	2.91	0.76	0.72	0.45	0.55	3.20*	7.13	±	3.61
g74	3.05	3.97	-30.06	-0.92	3.51	3.48	3.45	-1.59	0.06	0.34	1.30	1.60	-1.29^{ns}	5.05	±	1.94
g75	6.65	4.58	31.08	2.07	5.62	5.52	5.43	1.65	0.15	0.39	0.69	0.85	2.02^{ns}	3.57	±	1.09
g76	9.75	7.50	23.08	2.25	8.63	8.55	8.48	1.22	0.35	0.64	0.77	0.95	0.72^{ns}	0.23	±	0.08
g77	2.30	5.00	-117.39	-2.70	3.65	3.39	3.15	-6.21	0.06	0.43	2.17	2.68	-1.81^{ns}	4.47	±	0.82
g78	6.73	3.43	48.95	3.29	5.08	4.81	4.55	2.59	0.11	0.29	0.51	0.63	0.98^{ns}	3.27	±	1.39
g79	3.05	4.50	-47.54	-1.45	3.78	3.70	3.64	-2.52	0.07	0.39	1.48	1.82	-3.44**	0.85	±	0.27
g80	6.90	8.20	-18.84	-1.30	7.55	7.52	7.49	-1.00	0.27	0.70	1.19	1.47	-0.71^{ns}	1.67	±	0.52
g81	3.00	4.13	-37.78	-1.13	3.57	3.52	3.48	-2.00	0.06	0.35	1.38	1.70	*-2.92**	2.83	±	0.83
g82	10.80	5.13	52.47	5.67	7.97	7.45	6.96	2.78	0.27	0.44	0.48	0.59	1.94^{ns}	-	-	-
g83	5.55	4.73	14.72	0.82	5.14	5.13	5.11	0.78	0.13	0.41	0.85	1.05	1.49^{ns}	0.43	±	0.14
84g	7.10	10.17	-43.19	-3.07	8.63	8.50	8.36	-2.29	0.35	0.87	1.43	1.77	-0.87^{ns}	1.27	±	0.71
g85	9.30	5.60	39.78	3.70	7.45	7.22	6.99	2.11	0.25	0.48	0.60	0.74	3.50**	2.47	±	1.31
g86	5.30	8.57	-61.64	-3.27	6.93	6.74	6.55	-3.26	0.22	0.73	1.62	1.99	-1.44^{ns}	2.37	±	0.75
g87	12.70	7.17	43.57	5.53	9.93	9.54	9.16	2.31	0.44	0.61	0.56	0.70	4.00**	1.80	±	1.14
g88	11.70	6.00	48.72	5.70	8.85	8.38	7.93	2.58	0.34	0.51	0.51	0.63	2.02^{ns}	6.10	±	0.57
g89	17.25	14.33	16.91	2.92	15.79	15.72	15.66	0.90	1.20	1.23	0.83	1.02	0.59^{ns}	0.14	±	0.08
g90	18.15	15.53	14.42	2.62	16.84	16.79	16.74	0.76	1.36	1.33	0.86	1.06	0.77^{ns}	0.83	±	0.44
g91	22.63	19.47	13.96	3.16	21.05	20.99	20.93	0.74	2.13	1.67	0.86	1.06	0.53^{ns}	-	-	-
g92	26.13	16.75	35.89	9.38	21.44	20.92	20.41	1.90	2.12	1.44	0.64	0.79	5.03**	-	-	-
LSD $_{0.05}$	8.09	8.09														

^{ns}, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively. DWB; dry weight of broomrapes.

جدول ۴. رتبه‌بندی عملکرد (وزن خشک برگ) ژنوتیپ‌های توتون تحت شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز به همراه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محاسبه شده با نرم‌افزار *i*PASTIC.

Table 4. Yield (leaf dry weight) rankings of 92 oriental tobacco genotypes under normal (Yp) and broomrape stress (Ys) conditions along with the tolerance and susceptibility indices calculated by *i*PASTIC software.

Genotype	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI	SR	AR	Std.
g01	20	48	87	25	26	27	88	26	48	88	88	571	51.91	29.79
g02	46	53	49	49	48	47	54	48	53	54	54	555	50.45	3.14
g03	44	52	50	47	46	46	56	46	52	56	56	551	50.09	4.57
g04	5	9	89	5	5	6	78	5	9	78	78	367	33.36	37.72
g05	34	51	69	42	42	41	68	42	51	68	68	576	52.36	13.43
g06	18	27	82	20	21	21	74	21	27	74	74	459	41.73	27.39
g07	70	50	14	60	59	59	17	59	50	17	17	472	42.91	21.80
g08	60	85	70	75	76	78	89	76	85	89	89	872	79.27	9.21
g09	29	33	67	30	28	28	62	28	33	62	62	462	42.00	16.99
g10	26	8	2	15	14	14	7	14	8	7	7	122	11.09	6.44
g11	64	67	42	68	67	65	52	67	67	52	52	663	60.27	9.03
g12	28	21	41	23	23	22	36	23	21	36	36	310	28.18	7.55
g13	7	6	54	6	6	5	39	6	6	39	39	213	19.36	19.00
g14	61	49	23	56	56	54	24	56	49	24	24	476	43.27	15.83

g15	51	34	16	45	45	44	21	45	34	21	21	377	34.27	12.58
g16	15	12	58	11	11	10	44	11	12	44	44	272	24.73	18.50
g17	38	15	5	26	25	25	13	25	15	13	13	213	19.36	9.23
g18	32	29	40	32	30	26	38	30	29	38	38	362	32.91	4.74
g19	6	5	81	4	4	4	53	4	5	53	53	272	24.73	29.00
g20	8	24	91	12	15	17	90	15	24	90	90	476	43.27	37.53
g21	19	18	72	19	18	18	57	18	18	57	57	371	33.73	21.82
g22	21	28	78	22	22	23	67	22	28	67	67	445	40.45	23.53
g23	12	11	57	10	9	9	41	9	11	41	41	251	22.82	18.15
g24	2	3	88	3	3	3	61	3	3	61	61	291	26.45	33.57
g25	33	42	62	38	38	36	59	38	42	59	59	506	46.00	11.21
g26	27	35	73	29	27	29	66	27	35	66	66	480	43.64	19.42
g27	43	55	61	48	47	48	63	47	55	63	63	593	53.91	7.65
g28	24	42	80	28	29	31	79	29	42	79	79	542	49.27	24.39
g29	52	14	3	31	32	34	4	32	14	4	4	224	20.36	16.60
g30	68	39	10	54	53	53	12	53	39	12	12	405	36.82	21.52
g31	30	58	79	39	41	43	82	41	58	82	82	635	57.73	20.29
g32	69	38	8	55	55	56	10	55	38	10	10	404	36.73	23.21
g33	56	64	43	61	60	60	50	60	64	50	50	618	56.18	6.91
g34	14	25	86	18	19	19	81	19	25	81	81	468	42.55	31.66
g35	49	30	12	41	40	38	18	40	30	18	18	334	30.36	12.25
g36	31	42	63	37	37	35	60	37	42	60	60	504	45.82	12.24
g37	57	56	33	58	58	58	33	58	56	33	33	533	48.45	12.27
g38	74	68	27	74	72	72	28	72	68	28	28	611	55.55	22.12
g39	1	2	90	1	1	2	65	1	2	65	65	295	26.82	35.89
g40	3	1	26	2	2	1	26	2	1	26	26	116	10.55	12.27
g41	53	54	33	57	57	55	32	57	54	32	32	516	46.91	11.70
g42	13	20	84	16	16	16	75	16	20	75	75	426	38.73	30.70
g43	4	23	92	9	10	12	92	10	23	92	92	459	41.73	40.25
g44	9	7	64	8	8	8	46	8	7	46	46	257	23.36	22.08
g45	10	4	29	7	7	7	27	7	4	27	27	156	14.18	10.69
g46	17	16	66	17	17	15	51	17	16	51	51	334	30.36	19.78
g47	37	46	59	40	39	37	58	39	46	58	58	517	47.00	9.41
g48	71	10	1	27	34	42	1	34	10	1	1	232	21.09	22.71
g49	41	26	25	35	33	32	25	33	26	25	25	326	29.64	5.46
g50	63	40	13	53	52	52	19	52	40	19	19	422	38.36	17.76
g51	39	56	68	44	44	45	69	44	56	69	69	603	54.82	12.16
g52	66	63	37	65	64	63	37	64	63	37	37	596	54.18	13.65
g53	36	31	39	34	31	30	35	31	31	35	35	368	33.45	2.84
g54	40	62	71	46	49	51	77	49	62	77	77	661	60.09	13.84
g55	35	32	46	36	35	33	49	35	32	49	49	431	39.18	7.35
g56	67	77	52	72	73	73	73	73	77	73	73	783	71.18	6.88
g57	62	35	11	50	51	50	15	51	35	15	15	390	35.45	18.61
g58	53	41	20	51	50	49	23	50	41	23	23	424	38.55	13.48
g59	47	74	77	62	65	66	85	65	74	85	85	785	71.36	11.81
g60	45	37	32	43	43	40	29	43	37	29	29	407	37.00	6.31

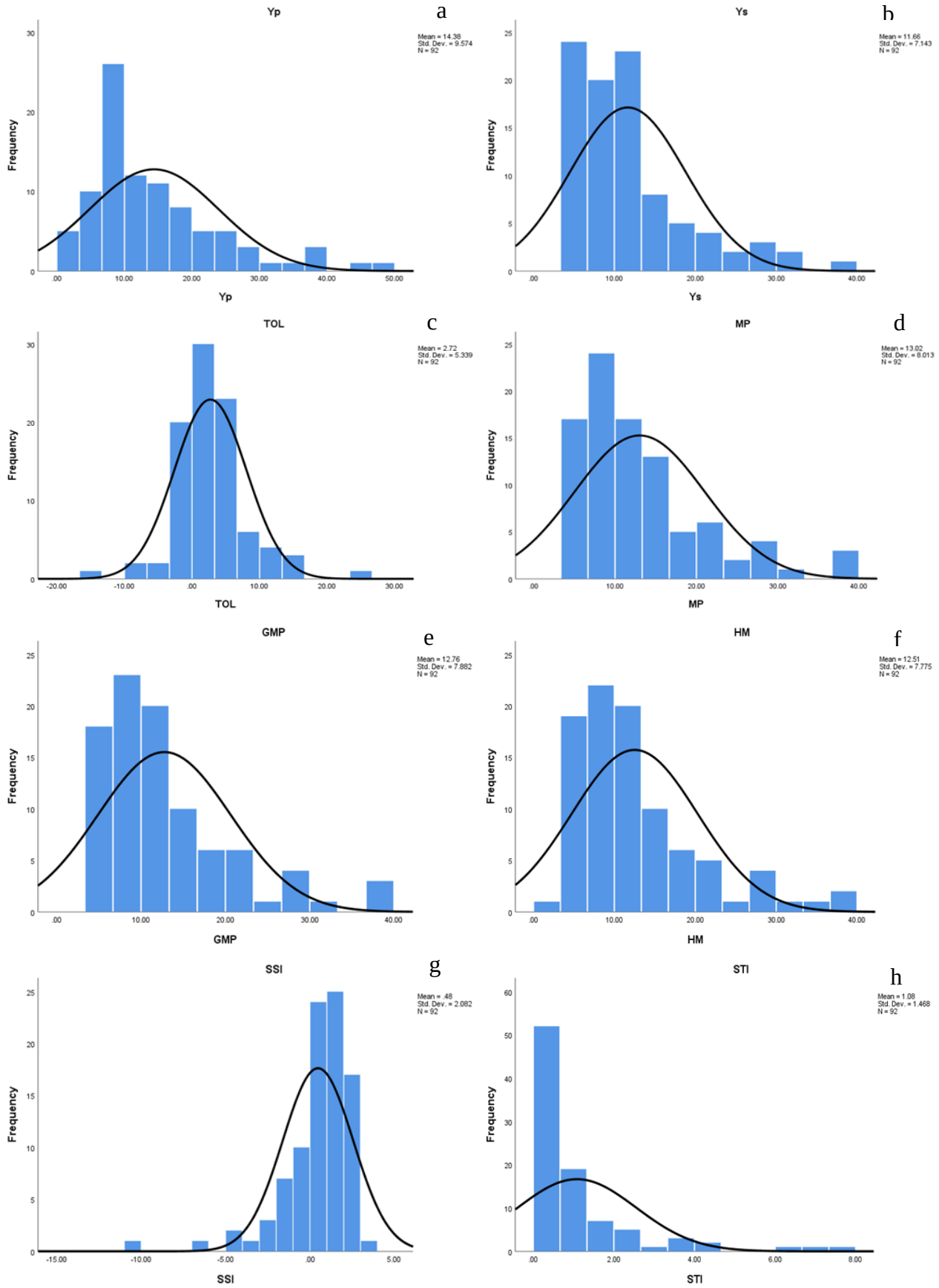
g61	76	69	31	76	75	74	34	75	69	34	34	647	58.82	20.43
g62	81	45	4	66	66	67	3	66	45	3	3	449	40.82	31.44
g63	79	70	30	78	77	76	31	77	70	31	31	650	59.09	22.66
g64	72	82	47	80	80	81	72	80	82	72	72	820	74.55	10.13
g65	83	71	22	81	81	79	22	81	71	22	22	635	57.73	28.59
g66	80	76	35	79	79	77	40	79	76	40	40	701	63.73	19.89
g67	85	86	37	85	85	85	48	85	86	48	48	778	70.73	20.43
g68	59	73	56	69	70	69	71	70	73	71	71	752	68.36	5.57
g69	87	89	24	88	88	87	20	88	89	20	20	700	63.64	33.83
g70	88	89	21	90	89	89	14	89	89	14	14	686	62.36	37.01
g71	64	86	65	77	78	80	87	78	86	87	87	875	79.55	8.45
g72	86	84	28	86	86	86	30	86	84	30	30	716	65.09	28.23
g73	22	60	85	33	36	39	91	36	60	91	91	644	58.55	26.93
g74	89	89	19	92	91	91	11	91	89	11	11	684	62.18	39.07
g75	78	81	44	82	82	82	64	82	81	64	64	804	73.09	12.49
g76	55	65	45	64	61	61	55	61	65	55	55	642	58.36	6.04
g77	92	79	9	89	92	92	2	92	79	2	2	630	57.27	42.74
g78	77	92	55	84	84	84	84	84	92	84	84	904	82.18	9.91
g79	89	83	15	87	87	88	6	87	83	6	6	637	57.91	39.49
g80	75	61	17	70	68	68	16	68	61	16	16	536	48.73	26.03
g81	91	86	18	91	90	90	9	90	86	9	9	669	60.82	39.41
g82	50	78	75	67	69	71	86	69	78	86	86	815	74.09	10.72
g83	82	80	36	83	83	83	45	83	80	45	45	745	67.73	19.99
g84	73	47	7	63	62	62	8	62	47	8	8	447	40.64	27.06
g85	58	75	60	71	71	70	76	71	75	76	76	779	70.82	6.31
g86	83	59	6	73	74	75	5	74	59	5	5	518	47.09	33.87
g87	42	66	74	52	54	57	80	54	66	80	80	705	64.09	13.24
g88	47	71	76	59	63	64	83	63	71	83	83	763	69.36	11.51
g89	25	22	51	24	24	24	47	24	22	47	47	357	32.45	12.40
g90	23	19	48	21	20	20	43	20	19	43	43	319	29.00	12.21
g91	16	13	53	14	12	11	42	12	13	42	42	270	24.55	16.35
g92	11	17	83	13	13	13	70	13	17	70	70	390	35.45	30.23

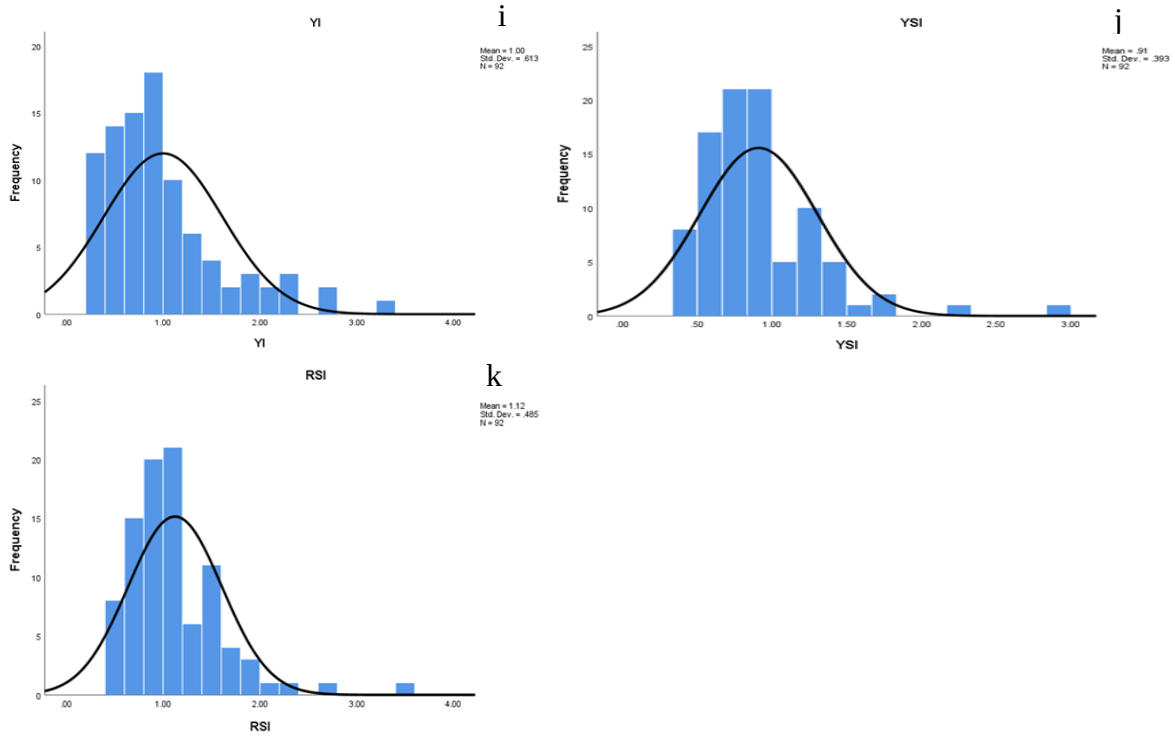
همبستگی شاخص‌ها

برای تعیین بهترین شاخص‌های تحمل یا حساسیت که بتوانند برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل استفاده شوند، ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل و عملکرد (وزن خشک برگ) در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز محاسبه شدند (جدول ۵). نتایج حاصل از تجزیه همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز نشان داد که بین شاخص‌های MP، HM، GMP، STI و YI با عملکرد در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز در سطح احتمال یک درصد همبستگی معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵). بنابراین می‌توان این شاخص‌ها را بعنوان مناسب‌ترین شاخص برای غربال کردن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گل‌جالیز در نظر گرفت.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

هدف از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی کاهش حجم داده‌هاست. در این روش، با بررسی همبستگی بین متغیرها می‌توان به روابط بین صفات پی برد. در تجزیه به مؤلفه‌ها، رابطه همبستگی بین تعداد زیادی متغیر وابسته به وسیله چند مؤلفه مستقل بیان می‌شود. با توجه به اینکه ریشه‌ی مشخصهٔ دو مؤلفه اول بیشتر از یک شد، در نتیجه از دو مؤلفه اول که ۹۷ درصد از تنوع را توجیه می‌کردند، برای بررسی استفاده شد (جدول ۶). در مؤلفه


a
Yp
Mean = 14.38
Std. Dev. = 9.574
N = 92
Frequency
Yp
b
Ys
Mean = 11.66
Std. Dev. = 7.143
N = 92
Frequency
Ys
c
TOL
Mean = 2.72
Std. Dev. = 5.339
N = 92
Frequency
TOL
d
MP
Mean = 13.02
Std. Dev. = 8.013
N = 92
Frequency
MP
e
GMP
Mean = 12.76
Std. Dev. = 7.882
N = 92
Frequency
GMP
f
HM
Mean = 12.51
Std. Dev. = 7.775
N = 92
Frequency
HM
g
SSI
Mean = .48
Std. Dev. = 2.082
N = 92
Frequency
SSI
h
STI
Mean = 1.08
Std. Dev. = 1.468
N = 92
Frequency
STI



شکل ۱. نمودار فراوانی شاخص‌های تحمل به تنش در ۹۲ ژنوتیپ توتون شرقی. ستون عمودی فراوانی شاخص و ستون افقی محدودهٔ عددی شاخص مشاهده شده در ژنوتیپ‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. **a-b.** فراوانی نسبی عملکرد تحت شرایط نرمال (a) و تنش گل‌جالیز (b) در ۹۲ ژنوتیپ توتون شرقی، **c-d.** فراوانی نسبی (c) شاخص تحمل (TOL)، (d) شاخص میانگین تولید (MP)، (e-f) فراوانی نسبی (e) میانگین هندسی تولید (GMP) و (f) میانگین هارمونیک (HM)، **g-h.** فراوانی نسبی (g) شاخص حساسیت به تنش (SSI) و (h) شاخص تحمل به تنش (STI)، **i-j.** فراوانی نسبی (i) شاخص عملکرد (YI) و (j) شاخص پایداری عملکرد (YSI)، (k) فراوانی نسبی شاخص تنش نسبی (RSI).

Figure 1. Frequency chart of stress tolerance indices in 92 oriental tobacco genotypes. Vertical column shows frequency of index and the horizontal column shows the numerical range of the observed index among the studied genotypes. **a–b.** Relative frequency of yield (dry leaf weight) under (a) normal and (b) broomrape stress conditions in 92 oriental tobacco genotypes. **c–d.** Relative frequency of (c) tolerance index (TOL) and (d) mean productivity (MP) indices, **e–f.** Relative frequency of (e) geometric mean productivity (GMP) and (f) harmonic mean (HM) indices**, g–h.** Relative frequency of (g) stress susceptability index (SSI) and (h) stress tolerance index (STI), **i–j**. Relative frequency of (i) yield index (YI) and (j) yield stability index (YSI) indices and (k) relative frequency relative stress index (RSI).

جدول ۵. ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد (وزن خشک برگ) ژنوتیپ‌های توتون.

Table 5. Simple correlation coefficient among tolerance indices and yield (leaf dry weight) of oriental tobacco genotypes.

	Yp	Ys	RC	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI
Ys	0.835**	1									
RC	0.382**	-0.08ns	1								
TOL	0.676**	0.16ns	0.796**	1							
MP	0.969**	0.944**	0.19ns	0.475**	1						
GMP	0.962**	0.951**	0.19ns	0.454**	0.999**	1					
HM	0.953**	0.955**	0.19ns	0.432**	0.995**	0.999**	1				
SSI	0.382**	-0.08ns	1.000**	0.796**	0.19ns	0.19ns	0.19ns	1			
STI	0.917**	0.915**	0.15ns	0.421**	0.956**	0.960**	0.961**	0.15ns	1		
YI	0.835**	1.000**	-0.08ns	0.16ns	0.944**	0.951**	0.955**	-0.08ns	0.915**	1	
YSI	-0.382**	0.08ns	-1.000**	-0.796**	-0.19ns	-0.19ns	-0.19ns	-1.000**	-0.15ns	0.08ns	1
RSI	-0.382**	0.08ns	-1.000**	-0.796**	-0.19ns	-0.19ns	-0.19ns	-1.000**	-0.15ns	0.08ns	1.000**

ns, * and **: Not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

اول، اهمیت و سهم صفات در توجیه تنوع ژنتیکی که بیشترین درصد را شامل بودند مربوط به ویژگی‌های عملکرد در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز و شاخص‌های MP، GMP، HM و STI بود. بنابراین انتخاب بر اساس مؤلفه اول، ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که عملکرد بالایی در هر دو محیط تنش و بدون تنش داشته و تحمل بالایی به تنش گل‌جالیز دارند. در مؤلفه‌ی دوم، مهم‌ترین شاخص‌های TOL، SSI، YSI و RSI قرار گرفتند (جدول ۶). نمودار بای‌پلات (شکل ۲) نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۳۹ (C.H.T.209.12e)، ۲۴ (H.T.I)، ۴۰ (C.H.T.209.12e×F.K.40-1)، ۴۴ (Basma 12-2)، ۱۳ (Ohdaruma) و ۱۹ (F.K.40-1) در مجاورت شاخص‌های مهم MP، GMP، HM و STI قرار دارند. همچنین با توجه به نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌های ۴۳ (C.H.T.273-38)، ۲۰ (P17)، ۳۴ (Samsun 959)، ۲۸ (Izmir 7)، ۷۳ (SPT 434) و ۱ (Kharmanli 163) در مجاورت شاخص‌های SSI و TOL قرار دارند که به معنی پایین بودن عملکرد آنها در شرایط تنش گل‌جالیز و در عین حال حساسیت آنها به تنش می‌باشد و ژنوتیپ‌های ۳۹ (C.H.T.209.12e)، ۲۴ (H.T.I)، ۴۰ (C.H.T.209.12e×F.K.40-1)، ۴ (Krumovgraid)، ۱۹ (F.K.40-1)، ۴۵ (Basma 16-10)، ۴۳ (C.H.T.273-38)، ۱۳ (Ohdaruma) و ۴۴ (Basma 12-2) از نظر مؤلفه اول یعنی مؤلفه پتانسیل عملکرد بیشترین مقدار دارند. در کل این نوع نحوه‌ی توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات را می‌توان حاکی از تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها در مقابل تنش گل‌جالیز دانست.

در حالت کلی ژنوتیپ‌های ۳۹ (C.H.T.209.12e)، ۲۴ (H.T.I)، ۴۰ (C.H.T.209.12e×F.K.40-1)، ۱۳ (Ohdaruma) و ۱۹ (F.K.40-1) بر اساس نتایج بای‌پلات در دو حالت تنش گل‌جالیز و بدون تنش می‌توانند به عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش گل‌جالیز در این مطالعه در نظر گرفته شوند. در بین ژنوتیپ‌های انتخابی، ژنوتیپ‌های ۳۹ (C.H.T.209.12e)، ۲۴ (H.T.I)، ۴۰ (C.H.T.209.12e×F.K.40-1) دارای بالاترین عملکرد در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز می‌باشند بنابراین می‌توان آنها را به عنوان بهترین ژنوتیپ در نظر گرفت. ژنوتیپ‌های ۷۰ (SPT 430)، ۶۹ (SPT 420)، ۷۲ (SPT 433)، ۶۷ (SPT 412)، ۷۸ (SPT 413)، ۷۱ (SPT 432) و ۸ (Matianus) نیز در ناحیهٔ حساسیت به تنش گل‌جالیز و عملکرد پایین در دو شرایط قرار گرفته و جزو ژنوتیپ‌های حساس به تنش گل‌جالیز شناسایی شدند. استفاده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای‌پلات برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل در توتون (Hassani *et al.* 2008; Alavi *et al.* 2014)، گندم (Kamrani *et al.* 2018; Etminan *et al.* 2019; Molla Heydari Bafghi *et al.* 2017)، نخود (Seyedi *et al.* 2013)، کلزا (Khalili *et al.* 2012)، گندم دوروم (Etminan *et al.* 2019) و لوبیا (Beshagh *et al.* 2018) بررسی و مورد توجه قرار گرفته و در این مطالعات نیز صفت عملکرد در شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های تحمل به تنش در دو مؤلفه گروه‌بندی شدند. در این مطالعات همچون مطالعهٔ اخیر عملکرد در شرایط نرمال و تنش و شاخص‌های تحمل با بار عاملی مثبت در مؤلفه اول طبقه‌بندی شدند که بر مبنای این مؤلفه ژنوتیپ‌های با عملکرد نسبتاً بالا در شرایط نرمال و تنش و متحمل به تنش شناسایی شدند.

تجزیه خوشه‌ای شاخص‌های تحمل به تنش

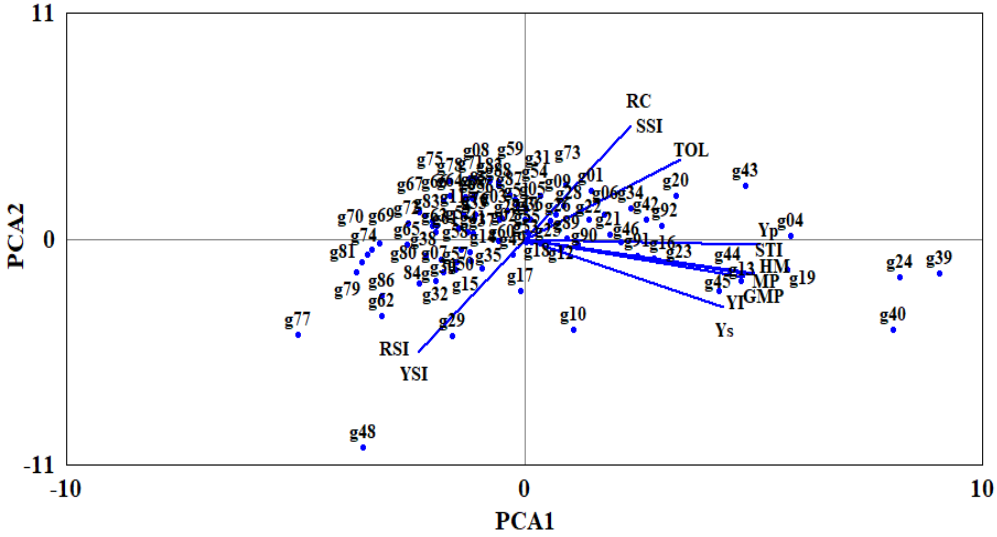
گروه‌بندی ژنوتیپ‌های توتون بر مبنای عملکرد تحت شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز و شاخص‌های تحمل به تنش با استفاده از الگوریتم Ward انجام گرفت (شکل ۳). ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سه گروه طبقه‌بندی شدند. خوشهٔ اول شامل ۴۸ ژنوتیپ، خوشهٔ دوم شامل ۲۰ ژنوتیپ و خوشهٔ سوم شامل ۲۴ ژنوتیپ بود (شکل ۳ و جدول ۷). برای مشخص کردن اهمیت گروه‌ها از نظر صفات مورد بررسی، میانگین خوشه‌ها و انحراف از میانگین کل، برای هر کدام از شاخص‌ها و عملکرد برآورد گردید (جدول ۷). انحرافات از میانگین نشان‌دهندهٔ وجود تنوع در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است. از آنجایی که ژنوتیپ‌های موجود در هر یک از گروه‌ها دارای قرابت ژنتیکی بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های موجود در گروه‌های متفاوت هستند، بنابراین در صورت نیاز به دورگ‌گیری می‌توان از ژنوتیپ‌های موجود در گروه‌های مختلف و ارزش میانگین شاخص‌ها برای هر گروه، برای بهره‌وری بیشتر از پدیده‌هایی همچون هتروزیس و تفکیک متجاوز، استفاده نمود. ژنوتیپ‌های گروه‌بندی شده در خوشهٔ دوم از نظر عملکرد در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI بیشترین مقادیر را داشتند (جدول ۷ و ۸) و در نمودار بای‌پلات در ناحیهٔ A مربوط به ژنوتیپ‌های متحمل طبقه‌بندی شدند (شکل ۲). ژنوتیپ‌های خوشهٔ اول کاهش عملکرد بالایی در شرایط تنش گل‌جالیز داشته و در نمودار بای‌پلات در ناحیهٔ حساس به تنش گل‌جالیز طبقه‌بندی شدند. ژنوتیپ‌های خوشهٔ سوم، ژنوتیپ‌هایی بودند که در تحت

شرایط نرمال عمکرد بسیار پایینی داشتند و مقادیر بالای شاخص‌های RSI، YSI، SSI، RC و TOL را داشتند (شکل ۳ و جدول ۷) و در نمودار بای‌پلات نیز در ناحیهٔ D به عنوان ژنوتیپ‌های حساس به تنش گل‌جالیز گروهبندی شده‌اند (شکل ۲). تجزیه خوشه‌ای برای بررسی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی جوامع مختلف، به طور گسترده‌ای توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Rad & Abbasian 2011; Khalili *et al.* 2012; Aliakbari *et al.* 2014; Afshari *et al.* 2017; Tabkhkar *et al.* 2018; Soleimani *et al.* 2019).

جدول ۶. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی مقادیر شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد (وزن خشک برگ) ژنوتیپ‌های توتون شرقی در شرایط نرمال (Yp) و تنش گل‌جالیز (Ys).

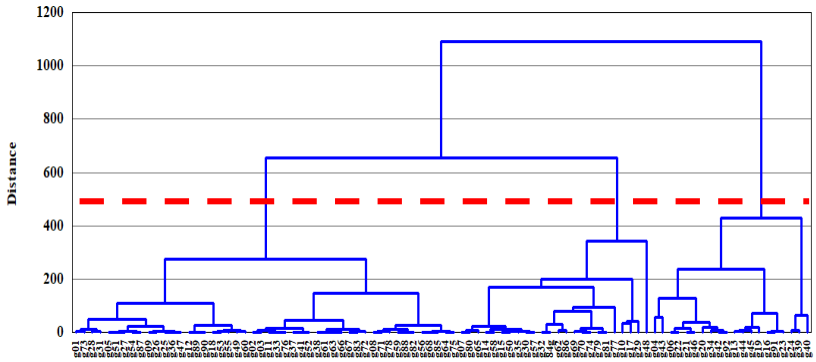
Table 6. Results of principal components analysis on stress tolerance indices and yield (leaf dry weight) of oriental tobacco genotypes in normal (Yp) and broomrape stress (Ys) conditions.

Principal component	Cumulative % variance	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
		Stres tolerance indices										
PC1	0.64	0.37	0.34	0.22	0.37	0.37	0.37	0.13	0.36	0.34	-0.13	-0.13
PC2	0.97	-0.04	0.23	-0.37	0.08	0.08	0.09	-0.49	0.1	0.23	0.49	0.49



شکل ۲. نمودار بای‌پلات ژنوتیپ‌های توتون بر اساس دو مؤلفه اول حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی شاخص‌های تحمل که در آن موقعیت شاخص‌ها و ژنوتیپ‌ها مشخص است.

Figure 2. Bioplate diagram of tobacco genotypes based on the first two components from principal components analysis on tolerance indices in which the position of the indices and genotypes are observed.



شکل ۳. دندروگرام حاصل از گروه‌بندی ژنوتیپ‌های توتون براساس شاخص‌های تحمل با استفاده از روش وارد.

Figure 3. Dendrogram of classification of oriental tobacco genotypes based on tolerance indices using Ward's method.

جدول ۷. تعداد اعضای گروه‌های به دست آمده از تجزیه کلاستر همراه با میانگین و میزان انحراف از میانگین برای شاخص‌های تحمل در ژنوتیپ‌های توتون شرقی مورد مطالعه.

Table 7. The number of groups members resulting from cluster analysis together with mean and deviation from maen for tolerance indices in the studied oriental tobacco genotypes.

Cluster	Item	Yp	Ys	RC	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
I (n=48 genotypes)	Group mean	11.58	8.31	26.89	3.27	9.94	9.74	9.55	1.42	0.51	0.71	0.73	0.90
	Deviation from total mean	-2.80	-3.35	17.89	0.55	-3.08	-3.01	-2.95	0.95	-0.57	-0.29	-0.18	-0.22
II (n=20 genotypes)	Group mean	29.41	21.25	27.33	8.16	25.33	24.82	24.33	1.45	3.21	1.82	0.73	0.90
	Deviation from total mean	15.03	9.59	18.32	5.45	12.31	12.06	11.82	0.97	2.13	0.82	-0.18	-0.23
III (n=24 genotypes)	Group mean	7.45	10.38	-42.04	-2.92	8.92	8.73	8.56	-2.23	0.45	0.89	1.42	1.75
	Deviation from total mean	-6.93	-1.28	-51.04	-5.64	-4.11	-4.03	-3.95	-2.70	-0.63	-0.11	0.51	0.63
	Total mean	14.38	11.66	9.00	2.72	13.02	12.76	12.51	0.48	1.08	1.00	0.91	1.12

جدول ۸. رتبه‌بندی گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس میانگین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های توتون شرقی مورد مطالعه.

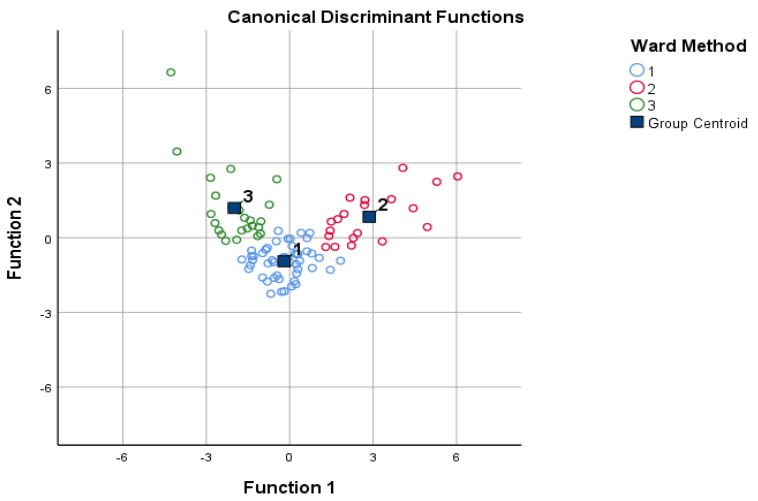
Table 8. Ranking groups resulting from cluster analysis based on mean of the studied traits in oriental tobacco genotypes.

Cluster	Yp	Ys	RC	TOL	MP	GMP	HM	SSI	STI	YI	YSI	RSI
I	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
II	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
III	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1

تجزیه تابع تشخیص

نتایج تجزیه تابع تشخیص در شکل ۴ و جدول ۹ آمده است. با توجه به نتایج، قرارگیری ژنوتیپ‌ها در گروه اول ۱۰۰ درصد صحیح بود. صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در گروه‌های دوم و سوم به ترتیب برابر با ۹۵ و ۹۵/۸ درصد بود (جدول ۹). بنابراین تجزیه خوشه‌ای و بای‌پلات ژنوتیپ‌های توتون، روشی مناسب برای دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر واکنش به تنش گل‌جالیز بودند. برای نشان دادن قابلیت تجزیه تابع تشخیص در متمایز نمودن ژنوتیپ‌ها از یکدیگر، پلات دو بعدی بر اساس دو متغیر کانونیکی اول و دوم رسم گردید (شکل ۴) که در آن سه گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای به خوبی قابل تفکیک بودند. همانطور که مشاهده می‌گردد، بیشترین فاصله بین گروه‌های سه و دو و کمترین فاصله بین گروه‌های یک و سه است (شکل ۴). ژنوتیپ‌های گروه دوم هم از نظر متغیر کانونیکی اول و هم از نظر متغیر کانونیکی دوم، بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های گروه دوم دارای شاخص میانگین عملکرد خوبی هستند، در برنامه‌های به‌نژادی جهت معرفی ژنوتیپ‌های با میانگین عملکرد بالا، می‌توان از ژنوتیپ‌های داخل این گروه استفاده کرد. محققان زیادی به عنوان نمونه در پنبه (Taghizadeh *et al.* 2018)، کلزا (Kakaei *et al.* 2011)، برنج (Tabkhkar *et al.* 2018) از روش تجزیه تابع تشخیص برای بررسی صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس شاخص‌های تحمل به تنش استفاده نموده اند.

در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد (وزن خشک برگ) در هر دو شرایط نرمال و تنش گل-جالیز داشتند و به عنوان بهترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ-های متحمل به تنش گل‌جالیز معرفی شدند. بر اساس این شاخص‌ها و تجزیه‌های آماری چند متغیره روی شاخص‌های تحمل به تنش و عملکرد در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز، ژنوتیپ‌های ۴۰ (C.H.T.209.12e×F.K.40-1)، ۳۹ (C.H.T.209.12e) و ۲۴ (H.T.I) به‌عنوان ژنوتیپ‌های پُرمحصول و متحمل به تنش گل‌جالیز انتخاب شدند.



شکل ۴. گروه‌بندی حاصل از تجزیه تابع تشخیص ژنوتیپ‌های توتون با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش.

Figure 4. Classification of oriental tobacco genotypes using discriminant analysis on stress tolerance indices.

جدول ۹. نتایج تابع تشخیص کانونیک برای بررسی صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های توتون شرقی مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های تحمل.

Table 9. Results of canonical discriminant functions for investigating classification accuracy of the studied oriental tobacco genotypes based on tolerance indices.

Ward method			Predicted group membership			Total
			1	2	3	
Original	Count	1	48	0	0	48
		2	1	19	0	20
		3	1	0	23	24
	%	1	100	0	0	100
		2	5	95	0	100
		3	4.2	0	95.8	100
97.8% of genotypes were correctly classified.						

References

Abdulahi A, Mohammadi R, 2008. Evaluating the response of bread wheat genotypes to weed interference under dryland conditions. *Journal of Crop Production and Processing* 11(42): 93–102 (in Persian with English abstract).

Afshari R, Sabouri A, Esfahani M, Kafi Ghasemi A, 2017. Evaluation of tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes using tolerance indices and biplot analysis. *Iranian Journal of Field Crop Science* 48(3): 843–854 (in Persian with English abstract).

Alavi SR, Darvishzadeh R, Deylami MS, Basirnia A, Pirzad A, 2014. Evaluation of drought tolerance indices in Virginia tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes. *Research in Field Crop* 1(2): 1–10 (in Persian with English abstract).

Aliakbari M, Razi H, Kazemeini SA, 2014. Evaluation of drought tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars using drought tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 2(3): 696–705.

Baghyalakshmi K, Sarala K, Prabhakararao K, Reddy DD, 2019. Orobanche menace in crop plants: Host resistance as a potential tool to control. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* SP2: 93–102.

Barker E, Press M, Scholes J, Quick W, 1996. Interactions between the parasitic angiosperm *Orobanche aegyptiaca* and its tomato host: growth and biomass allocation. *New Phytologist* 133(4): 637–642.

Beshagh B, Sadat Esilan K, Pezeshkpour P, 2018. Evaluation of faba bean genotypes using drought tolerance indices and multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding* 10 (27): 1–9 (in Persian with English abstract).

Bidinger F, Mahalakshmi V, Rao GDP, 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research* 38(1)P: 49–59.

Bouslama M, Schapaugh W, 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance 1. *Crop Science* 24(5): 933–937.

Bozhinova PR, 2006. Coefficients for determination of the leaf area in three Burley tobacco varieties. *Journal of Central European Agriculture* 7(1): 7–12.

Brandle J, Bai D, 1999. Biotechnology: uses and applications in tobacco improvement. In: Davis N, (Ed). Tobacco: Production, Chemistry and Technology. Wiley-Blackwell, Oxford, United Kingdom. Pp. 49–65.

Chaves M, Oliveira M, 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany* 55(407): 2365–2384 .

Darvishzadeh R, Alavi SR, Sarafi A, 2011. Genetic variability for chlorine concentration in oriental tobacco genotypes. *Archives of Agronomy Soil Science* 57(2): 167–177.

Delavault P, 2015. Knowing the parasite: Biology and genetics of Orobanche. *Helia* 38(62): 15–29.

Etminan A, Pour-Aboughadareh A, Mohammadi R, Shooshtari L, Yousefiazarkhanian M, *et al.*, 2019. Determining the best drought tolerance indices using artificial neural network (ANN): Insight into application of intelligent agriculture in agronomy and plant breeding. *Cereal Research Communications* 47(1): 170–181.

Fernandez GC, 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. August 13-16, Shanhua, Taiwan. Pp. 257–270.

Fischer R, Maurer R, 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29(5): 897–912.

Fischer R, Wood J, 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research* 30(6): 1001–1020.

Gavuzzi P, Rizza F, Palumbo M, Campanile R, Ricciardi G, *et al.*, 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science* 77(4): 523–531.

Golparvar A, Majidi Harvan I, Ghassemi Pirbaloti E, 2003. Genetic improvement yield potential and water stress resistance in wheat genotypes (*Triticum aestivum*). *Aridity Seasonal and Agricultural Drought* 13: 13–21.

Hassani, S., Pirdashti, H., Mesbah R. Babaeian Jelodar N, 2008. Evaluation of drought tolerance indices in yield of six cultivars of Virginia tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Seed and Plant Journal* 42: 129–144 (in Persian with English abstract).

Kakaei M, Zebarjadi A, Mostafaie A, Rezaeizad A, 2011. Determination of drought tolerant genotypes in *Brassica napus* L. based on drought tolerance indices. *Journal of Crop Production* 3(4): 107–124 (in Persian with English abstract).

Kamrani M, Mehraban A, Shiri M, 2018. Identification of drought tolerant genotypes in dryland wheat using drought tolerance indices. *Journal of Crop Breeding* 10 (28):13–26 (in Persian with English abstract).

Karimi Torki B, Hassanian Khoshro H, Bihamta MR, Moradi P, Mohammad Ali Pour Yamchi H, 2012. Evaluation of tolerance of chickpea genotypes to weed competition. *Seed and Plant Production Journal* 28-2(4): 471–487 (in Persian with English abstract).

Khalili M, Naghavi M R, Aboughadareh AP, Talebzadeh S J, 2012. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science* 4(11): 78–85.

Koocheki AR, Yazdansepas A, Nikkhah HR, 2006. Effects of terminal drought on grain yield and some morphological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 8(1): 14–29 (in Persian with English abstract).

Mohammaddoust Chamanabad H, Bakhshi M, Asghari A, Mohammad Nia S, 2014. Evaluation of weed tolerance and competition indices of 18 wheat genotypes. *Iranian Journal of Weed Science* 10(2): 155–166 (in Persian with English abstract).

Mohsenzadeh Golfazani M, Aalami A, Samizadeh HA, Shoaei Daylami M, Talesh Sasani S, 2012. Study of relationship between yield and yield components in tobacco genotype using path analysis method. *Journal of Crop Breeding* 4(9): 26–40 (in Persian with English abstract).

Molla Heydari Bafghi R, Baghizadeh A, Mohammadinezhad G, 2017. Evaluation of salinity and drought stresses tolerance in wheat genotypes using tolerance indices. *Journal of Crop Breeding* 9(23): 27–34 (in Persian with English abstract).

Müller F, Distler B, 1989. Translocation of glyphosate in the hostparasite system *Vicia faba* and *Orobanche crenata*. Progress in Orobanche research, Eberhard-Karls-Universität, Tübingen, FRG, 226, p. 233.

Parker C, Riches CR, 1993. Parasitic weeds of the world: Biology and Control. CAB International, Wallingford, United Kingdom. 332 pp.

Pour-Aboughadareh A, Yousefian M, Moradkhani H, Moghaddam Vahed M, Poczai P, *et al.*, 2019. iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in Plant Sciences* 7(7): p.e11278.

Rad AHS, Abbasian A, 2011. Evaluation of drought tolerance in rapeseed genotypes under non stress and drought stress conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 39(2): 164–171 .

Rezvani Moghadam P, Mohsenzadeh R, Ahifar H, 2002. A survey of quality and chemical characteristics of six tobacco cultivars (*Nicotiana tabacum*). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 8(4): 85–98 (in Persian with English abstract).

Rosielle A, Hamblin J, 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. *Crop Science* 21(6): 943–946.

Sadeghi SM, Samizadeh Lahiji H, Shoaei Deylami M, Javid F, Fatehi F, 2010. Identification of drought tolerant hybrids in virginia tobacco. *Iranian Journal of Field Crop Science (Iranian Journal of Agricultural Sciences)* 41(4): 791–802 (in Persian with English abstract).

Seyedi SJ, Nabipour AR, Vazan S, 2013. Defining selection indices for drought tolerance in chickpea under terminal drought stresses. *Journal of Crop Breeding* 5 (11): 98–114 (in Persian with English abstract).

Soleimani A, Bihamta M R, Peyghambari S A, Maali Amiri R, 2019. Evaluation of late season drought in barley genotypes using some drought tolerance indices. *Journal of Crop Breeding* 9(23): 166–176 (in Persian with English abstract).

Tabkhkar N, Rabiei B, Samizadeh Lahiji H, 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 with English abstract).

Taghizadeh N, Ranjbar G, Nematzadeh G, Ramzanimoghdam M, 2018. Evaluation of salinity tolerance in allotetraploid cotton (*Gossypium* sp.) genotypes, using multivariate statistical methods and stress tolerance indices at germination stage. *Iranian Journal of Seed Research* 4(2): 93–110 (in Persian with English abstract).

Vij S, Tyagi AK, 2007. Emerging trends in the functional genomics of the abiotic stress response in crop plants. *Plant Biotechnology Journal* 5(3): 361–380.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org /licenses/by-nc/2.0/)