Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 3, Autumn 2021 (189-207)
DOI: 10.22059/IJFCS.2020.300277.654707

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۰ (ص۲۰۷-۱۸۹)

ارزیابی ژنوتیپ‌های توتون شرقی (*Nicotiana tabacum* L.) با استفاده از شاخص‌های گزینش، تحت شرایط حضور و عدم حضور گل‌جالیز

مریم طهماسب عالی[۱]، رضا درویش‌زاده[۲]*، امیر فیاض مقدم[۳]

۱و۲- به‌ترتیب دانشجو، استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه.

۳- دانشیار پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه ارومیه.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۲۱)

چکیده

توتون (*Nicotiana tabacum* L.) از جمله گیاهان صنعتی است که در اقتصاد بسیاری از کشورها، اهمیت اساسی دارد. اصلاح‌گران نبات معمولاً علاقمندند که در پروژه‌های اصلاحی، چندین صفت را با هم اصلاح نمایند. انتخاب شاخص گزینش برای چندین صفت به‌صورت همزمان و بر مبنای یک شاخص ساده است. به‌منظور ارزیابی ژنوتیپ‌های توتون شرقی با استفاده از شاخص‌های گزینش، ۹۲ ژنوتیپ توتون شرقی و تنباکو در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و حضور گل‌جالیز در طی دو سال در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات توتون ارومیه از لحاظ صفات آگروبیولوژیک بررسی شدند. شاخص‌های گزینش بهینه (اسمیت-هیزل)، پایه (بریم)، سود مطلوب (پسک- بیکر) و رابینسون بر اساس همه صفات مورد مطالعه (شامل تاریخ گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی) برای ژنوتیپ‌های توتون و تنباکو در هر یک از شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و حضور گل‌جالیز محاسبه شدند. نتایج پاسخ مستقیم و همبسته صفات نشان داد که ژنوتیپ‌هایی با سطح برگ و وزن تر برگ و اندام هوایی بیشتر، از پتانسیل عملکرد بالاتری برخوردار می‌باشند. نتایج این بررسی نشان داد که انتخاب بر مبنای شاخص اسمیت-هیزل و بریم که بالاترین کارایی انتخاب (ΔH) را در هر دو شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و حضور گل‌جالیز داشتند، باعث افزایش سطح و وزن تر برگ در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و افزایش سطح برگ و وزن تر بوته در شرایط حضور گل‌جالیز شد. از طرفی وزن تر برگ و وزن بوته، صفاتی با پاسخ همبسته بالا با عملکرد (وزن خشک برگ) بودند؛ بنابراین این دو شاخص با داشتن بالاترین همبستگی با ارزش اصلاحی و داشتن سودمندی نسبی بالای گزینش، به عنوان شاخص‌های برتر معرفی شدند و بر این اساس، ژنوتیپ ۲٤ (H.T.I) به‌عنوان ژنوتیپ برتر در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و حضور گل‌جالیز معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب شاخص، پاسخ همبسته، تنش گل‌جالیز، توتون، عملکرد.

Evaluation of oriental tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes using selection indices under the presence and absence of broomrape

Maryam Tahmasbali[1], Reza Darvishzadeh[2]*, Amir Fayaz Moghaddam[3]

1,2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Iran. 3. Institute of Biotechnology, Urmia University, Iran.

(Received: April 4, 2020 - Accepted: June 10, 2020)

ABSTRACT

Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) is one of the industrial plants and is important in the economy of many countries. Plant breeders are usually interested in modifing and breeding several traits simultaneously in their breeding programs. Index selection is the selection of several traits simultaneously based on a simple index. In order to construct and evaluate tobacco genotypes using selection indices, 92 oriental and water pipe's tobacco genotypes were studied in terms of agro-biological traits using a randomized complete block design with three replications under normal (absence of broomrape) and presence of broomrape conditions during two successive years in Urmia Tobacco Research Centre. Selection indices including optimal selection (Smith-Hazel), Base (Brim), desired gain (Pesek-Baker) and Robinson were calculated based on all the studied traits (including: flowering date, plant height, number of leaves, leaf area, fresh and dry weights of leaf, fresh and dry weights of root, fresh and dry weights of aerial parts) for studied genotypes in both normal (absence of broomrape) and broomrape presence conditions. The results of the direct and correlated response of traits showed that the genotypes with more value for leaf area and fresh weight of leaf and aerial parts had potentially a higher performance. Selection based on Smith-Hazel and Brim indices which had the highest selection efficiency (DH) in both normal (absence of broomrape) and

* Corresponding author E-mail: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

presence of broomrape, resulted in increasing the leaf area and fresh weight in normal conditions and leaf area and fresh weight of aerial parts in broomrape stress conditions. On the other hand, fresh weight of leaf and aerial parts were the traits with highest correlated response with dry weight of leaf, therefore, these two indices with the highest correlation with breeding value and with the highest relative efficiency of selection were presented as the best indices. Accordingly, genotype 24 (H.T.I) was introduced as the best genotype under normal (without broomrape stress) and broomrape stress conditions.
Keywords: Broomrape stress, correlated response, index selection, tobacco, yield.

مقدمه

توتون (*Nicotiana tabacum* L.) از خانواده *Solanaceae*، به‌عنوان یک آمفی‌پلوئید طبیعی به‌وجود آمده از هیبریداسیون *N. sylvestris* و *N. tomentosiformis* شناخته می شود (Ren & Timko, 2001; Murad *et al.*, 2002). توتون از گیاهان زراعی صنعتی است که از لحاظ خصوصیات گیاهشناسی، ژنتیکی، نیازهای زراعی، عمل‌آوری، اجزای تشکیل دهنده کیفیت و استفاده‌های تجاری، انواع متفاوتی دارد (Darvishzadeh *et al.*, 2011). توتون‌های شرقی[1] یک گروه از واریته‌های آفتاب خشک[2] می‌باشند که از نظر صفاتی مانند داشتن برگ‌های کوچک، بافت ظریف، دود ملایم و عطر نافذ، از دیگر گروه‌های توتون مجزا هستند و از اجزای اصلی سازنده خرمن سیگارت‌ها می‌باشند (Chaplin, 1975). گل‌جالیز از جنس *Orobanche* و *Phelipanche* متعلق به خانواده Orobanchaceae، انگل اجباری گیاهان است (Bennett & Mathews, 2006; Tank *et al.*, 2006; Joel, 2009). انگل از طریق اندامی بنام مکینه[3] به گیاهان میزبان متصل می‌شود و آب و مواد غذایی لازم برای رشد خود را از میزبان جذب می‌نماید (Westwood, 2013). اکثر گونه‌های گل‌جالیز، گیاهان وحشی میزبان را در اکوسیستم‌های طبیعی بیمار می‌کنند؛ با این حال، هفت گونه گل‌جالیز، *Orobanche crenata*، *O. cernua*، *O. cumana*، *O. foetida*، *O. minor*، *Phelipanche aegyptiaca* و *P. ramose* با حمله به محصولات زراعی، باعث ایجاد مشکلات زیادی در کشاورزی در منطقه مدیترانه، مرکز و شرق اروپا و آسیا می‌شوند (Parker, 2009).

به‌طورکلی، بیشترین خسارت گل‌جالیز در گیاهان خانواده کاسنی[4]، شب‌بویان[5]، چتریان[6]، بقولات[7] و بادنجانیان[8] دیده شده است (Parker & Riches, 1993). خسارت وارده از سوی گل‌جالیز در محصولات مختلف، بسته به ترکیب میزبان-گل‌جالیز متفاوت است. به‌طورکلی، محصولات زراعی که توسط انگل بیمار می‌شوند، کاهش زیست‌توده کل را تجربه می‌کنند (Barker *et al.*, 1996; Manschadi *et al.*, 1996; Lins *et al.*, 2007). در برخی محصولات زراعی، زیست‌توده از دست رفته معادل با مقدار زیست‌توده انباشته شده در انگل است که به فعالیت تغذیه‌ای انگل نسبت داده می‌شود (Barker *et al.*, 1996; Manschadi *et al.*, 1996; Hibberd *et al.*, 1998). با این حال، در مواردی آسیب‌های ناشی از گل‌جالیز، فراتر از جذب آسیمیلات‌ها است. در این موارد، گل‌جالیز از طریق اثرات منفی روی ماشین فتوسنتزی گیاه و تعادل هورمونی آن، ماهیت توسعه‌دهنده بیماری در محصولات را نشان می‌دهد (Stewart & Press, 1990; Mauromicale *et al.*, 2008). هیچ آمار و ارقام دقیقی از کل مناطق تحت سیطره علف‌هرز گل‌جالیز وجود ندارد (Parker, 2009). در ایران ۳۹ گونه از جنس *Orobanche* شناسایی شده است که از این تعداد، ۹ گونه به‌عنوان گونه‌های بومی ایران شناخته شده است (Schiman-Czeika, 1964). بیشتر گونه‌های *Orobanche* در غرب و شمال غربی ایران یافت می‌شوند و برخی از گونه‌ها مانند *O. aegyptiaca* و

[1] -Oriental tobacco
[2]- Sun cured
[3]- Haustorium

[4]-*Asteraceae*
[5]-*Brassicaceae*
[6]-*Apiaceae*
[7]-*Fabaceae*
[8]-*Solanaceae*

O. cernua Loefl به‌طور گسترده در سراسر کشور توزیع شده‌اند (Saeidi *et al*., 2010). گل‌جالیز مصری، مهم‌ترین هولوپارازیت توتون است و تلفات عملکردی آن تا ۱۰۰ درصد نیز ثبت شده است. نگرانی از افت عملکرد در شمال غربی ایران بیشتر است، چرا که یکی از مناسب‌ترین مناطق برای کشت توتون‌های شرقی است (Darvishzadeh *et al*., 2010). Khan *et al* (2004) گزارش کردند که آلودگی گل‌جالیز در توتون-های هوا خشک[1] شدیدتر از توتون‌های گرمخانه‌ای[2] است. مناطقی در یونان وجود دارد که در حداقل ۶۰ درصد از مزارع توتون، گل‌جالیز جدی‌ترین و مخرب-ترین علف‌هرز است و خسارات عملکردی قابل توجهی را حتی تا ۱۰۰ درصد در برخی سال‌ها موجب می‌شود (Lolas, 1984, 1986).

به‌منظور انتخاب صفات چندگانه، طرح‌های گزینشی مختلف از قبیل گزینش پشت سر هم[3] (Hazel & Lush, 1942)، گزینش مستقل هازل و لوش (Hazel & Lush, 1942) و انتخاب شاخص (Smith, 1936; Hazel, 1943) پیشنهاد شده است. هدف شاخص گزینش این است که بتواند ارزش ژنتیکی واقعی یا ارزش ارثی را با استفاده از یک ترکیب خطی از ارزش‌های فنوتیپی برآورد نماید (Falconer & Mackay, 1996). شاخص‌های انتخاب از نظر این‌که چگونه بُردار وزن شاخص‌ها به‌دست می‌آیند، متفاوت هستند. شاخص اسمیت-هیزل (شاخص مطلوب)، کوواریانس‌های ژنتیکی و فنوتیپی بین صفات و وزن اقتصادی هر صفت را در محاسبه بُردار وزن شاخص در نظر می‌گیرد (Smith, 1936; Hazel, 1943). شاخص پایه توسط Brim *et al*. (1959) پیشنهاد شد که در آن، وزن‌های اقتصادی مستقیماً به‌عنوان وزن به‌کار می‌روند. هر دو شاخص مطلوب و پایه، نیاز به اطلاعات وزن‌های اقتصادی صفات دارند. مقادیر مربوط به وزن را می‌توان از سود حاصل از سرمایه‌گذاری برای هر صفت به‌دست آورد. Pesek & Baker (1970)، شاخص سود مطلوب را پیشنهاد کردند که در آن، نیاز به اطلاعات مربوط به واریانس و کوواریانس ژنوتیپی بین صفات و مقدار سود حاصل از انتخابی که برای هر صفت مطلوب است، می‌باشد.

استفاده از شاخص‌های انتخاب می‌تواند یکی از روش‌های مؤثر انتخاب غیر مستقیم باشد (Modarresi *et al*., 2004). باید توجه داشت که برای انتخاب بر مبنای شاخص، باید فنوتیپ همه افراد اندازه‌گیری شود؛ بنابراین افراد باید نشانه‌گذاری شوند که بتوان آن‌ها را تا زمانی که نیاز به اندازه‌گیری همه خصوصیات هست، نگهداری کرد که به‌طور بالقوه بسیار پرهزینه است و یکی از عمده‌ترین دلایلی است که باعث شده است تا انتخابِ شاخص، زیاد توسعه پیدا نکند. برای انتخاب چندین صفت کمّی به‌طور همزمان در تعدادی از محصولات، از شاخص‌های انتخاب استفاده شده است؛ به‌عنوان نمونه، Amini-Zadeh Bazjanji *et al.* (2018) در مطالعه کاربرد شاخص‌های گزینشی در بهبود عملکرد دانه گندم نان در شرایط تنش خشکی نشان دادند که شاخص پسک- بیکر، بالاترین کارایی انتخاب را دارا بوده است و می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای تلاقی‌ها و برنامه‌های اصلاح گندم نان مورد استفاده قرار گیرد. برای ترویج استفاده از شاخص‌های انتخاب، برنامه‌های رایانه‌ای مختلفی برای محاسبه وزن و سود ژنتیکی حاصل از استفاده از شاخص‌های انتخاب، توسعه یافته است (Shiri & Ebrahimi, 2018).

یکی از اهداف مهم در اصلاح توتون، افزایش عملکرد (مقدار برگ خشک در واحد سطح) است. یافتن شاخص‌های مناسب در شرایطی که گیاه توتون با تنش گل‌جالیز مواجه است می‌تواند جهت اعمال گزینش برای بهبود عملکرد برگ خشک توتون نقش بسزایی داشته باشد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، تعیین شاخص مناسب برای انتخاب ژنوتیپ-های توتون، به‌منظور افزایش وزن خشک برگ در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و حضور گل‌جالیز می‌باشد.

[1]-Air cured
[2]-Flue cured
[3]-Tandem selection

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و طرح آزمایشی

در این آزمایش، واکنش فنوتیپی ۹۲ ژنوتیپ توتون شرقی و تنباکو (فایل تکمیلی ۱) در دو شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و در حضور گل جالیز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات توتون ارومیه در شرایط گلدانی طی سال های زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ بررسی شد. برای این منظور، گلدان‌های سفالی به حجم ۱۰ لیتر انتخاب و با خاکی که از مزرعه یونجه تهیه شده بود پر شدند. در تیمارهای آلوده به گل جالیز، خاک گلدان‌ها قبل از پُر شدن با ۰/۰۶ گرم بذرِ گل‌جالیز (*O. cernua*) مخلوط شدند. نشای 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 انجام گرفت. برگ‌های ژنوتیپ‌های توتون در زمان رسیدگی صنعتی برداشت و در جلوی آفتاب خشک شدند. در این مطالعه و در هر یک از شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز) و حضور گل جالیز، صفات روز تا گلدهی (روز)، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد برگ، سطح برگ (سانتی‌متر مربع)، وزن تر و خشک برگ (عملکرد، گرم)، وزن تر و خشک ریشه (گرم)، وزن تر و بوته (گرم) اندازه‌گیری شدند.

توسعه شاخص‌های انتخاب

برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های انتخاب، ابتدا برای هر ژنوتیپ و بر اساس معادله (۱)، ارزش شاخص(ها) (I) محاسبه شد.

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots + b_nx_n = \sum b_ix_i \quad (1)$$

که در این معادله، هر صفت (X) با ضریبی که وزن شاخص (b) نامیده می‌شود، وزن دار می‌شود (Smith, 1936; Hazel, 1943; Kang, 1994; Modarresi *et al.*, 2004). برآورد بُردار وزن شاخص (ها) (b)، مطابق با فایل تکمیلی ۲ انجام گرفت.

ارزیابی شاخص‌های انتخاب

ارزیابی و مقایسه شاخص‌های مختلف انتخاب بر اساس معیارهایی که در فایل تکمیلی ۳ گفته شده است، انجام گرفت. کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم صفات برای بهبود عملکرد نسبت به انتخاب مستقیم آن‌ها، برای تک تک صفات و در هر یک از شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز، از تقسیم مقدار عددی "پاسخ همبسته برای عملکرد از طریقِ هر یک از صفات"، بر مقدار عددی پاسخ مستقیم به انتخاب در صفت عملکرد (R_i) محاسبه شد. پاسخ همبسته برای عملکرد (وزن خشک برگ)، بر اساس انتخاب از طریق شاخص‌های انتخاب با معادله شماره ۷ ($CR_i = Kh_ir_{gij}\delta_{gi}$) در فایل تکمیلی ۳ محاسبه شد. در این معادله، K: شدت انتخاب ۱۰ درصد (۱/۷۵۵)، h_i: جذر وراثت‌پذیری هر صفت، r_{gij}: همبستگی ژنتیکی صفات i و j و σ_{gi}: انحراف معیار ژنتیکی هر صفت می‌باشد. همبستگی بین عملکرد و شاخص‌های مختلف محاسبه شد و ژنوتیپ‌های توتون بر مبنای هر کدام از شاخص‌ها و عملکرد (وزن خشک برگ) رتبه‌بندی شدند و ۲۵ درصد از بهترین ژنوتیپ-ها از لحاظ شاخص با ۲۵ درصد از بهترین‌ها بر مبنای عملکرد، مقایسه شدند. به‌منظور محاسبه شاخص‌های انتخاب، از برنامه ارایه شده توسط Shiri & Ebrahimi (2018) استفاده شد. این برنامه در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و با استفاده از PROC IML تحت سیستم عامل Microsoft Windows اجرا شد.

نتایج و بحث

پاسخ مستقیم و همبسته به انتخاب

هم در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و هم در شرایط حضور گل جالیز، صفات سطح و وزن تر برگ به‌ترتیب بیشترین پاسخ مستقیم به انتخاب (R_i) و نیز بالاترین انحراف معیار ژنتیکی (S_{gi}) را داشتند؛ بنابراین در هر یک از شرایط فوق؛ انتخاب مستقیم برای این صفات نسبت به سایر صفات می‌تواند موثرتر باشد (فایل تکمیلی ۴). در هر دو شرایط، صفت وزن خشک ریشه، کمترین پاسخ مستقیم به انتخاب (Ri) و انحراف معیار ژنتیکی (S_{gi}) را داشت. این نتایج نشان

می‌دهد که انتخاب مستقیم برای این صفت نسبت به سایر صفات مورد بررسی، از تاثیر کمتری برخوردار بود (فایل تکمیلی ۴). با توجه به فایل تکمیلی ۴ و ۵ و جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت که پاسخ مستقیم به انتخاب برای برخی صفات (Ri) در مقایسه با پاسخ همبسته آن‌ها از طریق صفات دیگر، بیشتر است.

بیشترین کارایی نسبی انتخاب غیر مستقیم در هر دو شرایط نرمال و حضور گل جالیز برای عملکرد (وزن خشک برگ)، از طریق صفت وزن خشک ریشه و سپس وزن خشک گیاه دیده شد (جدول ۱) و این نشان می‌دهد که انتخاب غیر مستقیم از طریق این صفات می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی به بهبود عملکرد (وزن خشک برگ) کمک نماید. درحالی‌که پاسخ مستقیم به انتخاب برای صفت سطح برگ در هر دو شرایط نرمال و حضور گل‌جالیز، مقداری بسیار بالاتر از وزن خشک ریشه بود، ولی کارایی نسبی انتخاب غیر مستقیم برای عملکرد از طریق سطح برگ، پایین‌تر از وزن خشک ریشه و تمام صفات مورد بررسی بود که دلیل آن با توجه به فرمول کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم قابل توجیه است؛ چراکه مقدار پاسخ مستقیم سطح برگ که عددی بزرگتر می باشد، در فرمول کارایی نسبی در مخرج کسری قرار می‌گیرد که صورت آن کسر، عددی چندین برابر کوچکتر است. به عبارتی، هرچند صفت از لحاظ پاسخ غیرمستقیم در بین سایر صفات مورد بررسی در وضعیت خوبی قرار داشت، ولی پاسخ مستقیم به انتخاب آن بسیار بزرگتر از پاسخ غیرمستقیم بود و وقتی در فرمول کارایی قرار گرفتند، عددی پایین برای انتخاب غیرمستقیم آن به‌دست آمد. Dabholkar (1992) بیان کرد که کارایی انتخاب غیرمستقیم، زمانی افزایش می‌یابد که همبستگی ژنتیکی بین دو صفت و وراثت‌پذیری صفت همبسته به انتخاب، بالا باشد.

جدول ۱- کارایی نسبی انتخاب غیرمستقیم نسبت به انتخاب مستقیم برای وزن خشک برگ (عملکرد) از طریق صفات مورد بررسی در توتون شرقی و تنباکو

Table 1. Relative efficiency of indirect to direct selections for leaf dry weight (yield) based on studied traits in oriental and water pipe's tobacco

شرایط	FD (day)	PH (cm)	NL	LA (cm^2)	FWL (g)	FWR (g)	DWR (g)	APFW (g)	APDW (g)
Normal (without broomrape conditions)	0.29	0.15	0.80	0.01	0.24	0.55	1.83	0.24	0.98
Broomrape stress conditions	0.18	0.05	0.37	0.00	0.26	0.24	1.02	0.17	0.67

تاریخ گلدهی (FD)، ارتفاع بوته (PH)، تعداد برگ (NL)، سطح برگ (LA)، وزن تر برگ (FWL)، وزن تر ریشه (FWR)، وزن خشک ریشه (DWR)، وزن تر اندام هوایی به جزء برگ (APFW)، وزن خشک اندام هوایی به جزء برگ (APDW).

Flowering date (FD), Plant height (PH), Number of leaf (NL), Leaf area (LA), Fresh weight of leaf (FWL), Fresh weight of root (FWR), Dry weight of root (DWR), Aerial part fresh weight without leaf (APFW), Aerial part dry weight without leaf (APFW).

در مقایسه پاسخ‌های همبسته عملکرد (وزن خشک برگ) از طریق صفات تاریخ گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، وزن تر برگ و ریشه، وزن خشک ریشه و وزن تر و خشک بوته مشاهده شد که پاسخ همبسته در شرایط نرمال، بیش از شرایط تنش گل جالیز بود (فایل تکمیلی ۵ و ۶). پاسخ همبسته برای عملکرد (وزن خشک برگ) در هر دو شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز) و حضور گل‌جالیز از طریق صفات تاریخ گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر برگ، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، وزن تر بوته و وزن خشک بوته مثبت بود؛ یعنی با افزایش این صفات، عملکرد وزن خشک برگ نیز افزایش می‌یابد. در هر دو شرایط محیطی و مخصوصاً در شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز)، پاسخ همبسته بالایی برای عملکرد از طریق وزن تر برگ و از طریق وزن تر بوته مشاهده شد؛ یعنی با افزایش وزن تر برگ و وزن تر بوته، عملکرد (وزن خشک برگ) افزایش می‌یابد و این می‌تواند به دلیل همبستگی ژنتیکی بیشتر صفات وزن

تر برگ و بوته با عملکرد (وزن خشک برگ) باشد. در همین راستا و در بین صفات مورد بررسی، صفت وزن تر برگ و بوته، هم در شرایط نرمال و هم در شرایط تنش گل جالیز، همبستگی ژنتیکی بالایی را با وزن خشک برگ داشتند و میزان این همبستگی‌ها در شرایط نرمال بیشتر از شرایط تنش گل‌جالیز بود (فایل تکمیلی ۵ و ۶). بنابراین می‌توان وزن تر برگ و بوته را به‌عنوان صفاتی مناسب برای انتخاب غیرمستقیم برای بهبود عملکرد (وزن خشک برگ) معرفی نمود. از آن‌جاکه عملکرد، یکی از صفاتی است که به شدت تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد و به‌طور معمول از وراثت‌پذیری پایینی برخوردار است، انتخاب پایدارتر بهتر است بر مبنای اجزای عملکرد صورت پذیرد (Dehghan Kouhestani *et al*., 2017).

بررسی های انجام گرفته در ارتباط با توسعه شاخص-های گزینش در توتون بسیار محدود است که از آن جمله می‌توان به بررسی‌های Devanand *et al*. (2003) و Matzinger *et al*. (1989) اشاره کرد. Devanand *et al* (2003) امکان توسعه شاخص انتخاب برای بهبود همزمان عملکرد برگ خشک و محتوای نیکوتین را در توتون بررسی کردند. در بررسی آن‌ها، شاخصی که شامل عملکرد برگ تر و نیکوتین برگ بود، بالاترین کارایی نسبی را در بین شاخص‌ها دارا بود. Matzinger *et al* (1989) امکان توسعه شاخص گزینش برای افزایش سطح آلکالوئید کل ضمن حفظ عملکرد برگ خشک در توتون را بررسی کردند. با توجه به این‌که همبستگی ژنتیکی منفی بین عملکرد و آلکالوئید کل در توتون وجود داشت (۰/۶۷-)، آن‌ها یک شاخص گزینش محدود شده[1] را در جمعیت NC13×MCnair135 به کار گرفتند. بعد از سه دور گزینش با شاخص در خانواده‌های تنی، آلکالوئید کل به میزان ۲/۵ درصد میانگین در هر چرخه افزایش یافت و در مقابل هیچ تغییر معنی‌داری در میانگین عملکرد برگ خشک مشاهده نشد.

با این‌که پاسخ همبسته بین عملکرد و سایر صفات مهم است، با این حال توجه به واکنش‌های همبسته بین صفات نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. در هر دو شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز) و حضور گل جالیز، پاسخ همبسته برای صفت وزن تر بوته از طریق سطح برگ، مقدار مثبت و بالایی داشت (فایل تکمیلی ۵ و ۶)؛ بنابراین از طریق انتخاب برای سطح برگ بیشتر می‌توان باعث بهبود وزن تر بوته شد. همچنین در بررسی پاسخ همبسته برای تعداد برگ با توجه به صفات مؤثر بر آن مشاهده شد که در هر دو شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز، مقدار پاسخ همبسته از طریق ارتفاع بوته، مثبت و بالا بود؛ بنابراین از طریق انتخاب برای ارتفاع بوته بیشتر می‌توان به صفت تعداد برگ بیشتر دست یافت. پاسخ همبسته برای وزن خشک بوته در هر دو شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز از طریق وزن تر بوته، بیشترین مقدار را داشت. در شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز) و حضور گل‌جالیز، پاسخ همبسته برای سطح برگ در بین صفات مؤثر بر آن از طریق صفت تعداد برگ بیشتر بود.

شاخص‌های انتخاب

در شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز) در شاخص اسمیت- هیزل، صفت تعداد برگ، بالاترین ضریب مثبت و صفت وزن خشک بوته، بالاترین ضریب منفی را داشتند (جدول ۲). در شاخص پسک- بیکر، صفت وزن خشک ریشه، بالاترین ضریب مثبت و عملکرد (وزن خشک برگ)، بالاترین ضریب منفی را گرفتند. در شاخص رابینسون، صفت عملکرد (وزن خشک برگ) و تعداد برگ، بالاترین ضرایب مثبت را داشتند (جدول ۲). در جمع‌بندی نتایج در این شرایط (شرایط نرمال)، صفت تعداد برگ وزن بالایی را در دو شاخص اسمیت- هیزل و رابینسون داشت (جدول ۲). در این شرایط (نرمال؛ عدم حضور گل‌جالیز)، از ۲۳ ژنوتیپ برتر از نظر عملکرد (وزن خشک برگ)، ۱۵ ژنوتیپ از نظر شاخص اسمیت- هیزل، ۱۴ ژنوتیپ از نظر شاخص بریم، هفت ژنوتیپ از نظر شاخص پسک- بیکر و ۲۲ ژنوتیپ از نظر شاخص رابینسون، جزو ۲۵ درصد ژنوتیپ‌های برتر بودند (فایل تکمیلی ۷). در این شرایط (نرمال؛ عدم حضور گل‌جالیز) از نظر شاخص اسمیت- هیزل (مطلوب یا بهینه)، ژنوتیپ‌های

[1]-Restricted index selection

C.H.T.209.12e، H.T.I و L 17 برتر بودند؛ این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد به‌ترتیب در رتبه‌های یک، دو و ۲۵ قرار داشتند (فایل تکمیلی ۷). از نظر شاخص بریم، ژنوتیپ‌های H.T.I، L 17 و Izmir 7 برتر بودند؛ این ژنوتیپ ها از نظر عملکرد به‌ترتیب در رتبه‌های دو، ۲۵ و ۲۴ قرار داشتند. از نظر شاخص پسک- بیکر، ژنوتیپ‌های H.T.I، Mutant 4 و Samsun 959 برتر بودند؛ این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد به‌ترتیب در رتبه-های دو، ۶۸ و ۱۴ قرار داشتند. از نظر شاخص رابینسون، ژنوتیپ‌های H.T.I، C.H.T.209.12e و C.H.T.209.12e×F.K.40-1 برتر بودند؛ این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد به‌ترتیب در رتبه‌های یک، دو و سه قرار داشتند (فایل تکمیلی ۷). بنابراین در شرایط نرمال، همگرایی خوبی در معرفی ژنوتیپ‌های برتر بر اساس شاخص رابینسون با ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد وجود داشت (فایل تکمیلی ۷).

در شرایط تنش گل‌جالیز، صفت وزن خشک برگ، بالاترین ضریب مثبت و صفت تعداد برگ، بالاترین ضریب منفی را در شاخص اسمیت- هیزل دارا بودند (فایل تکمیلی ۸). در این شرایط در شاخص پسک-بیکر، صفت تعداد برگ، بالاترین ضریب منفی و صفت وزن تر برگ، بالاترین ضریب مثبت را داشتند. در شاخص رابینسون، صفت تعداد برگ، بالاترین ضریب منفی و صفت وزن خشک برگ، بالاترین ضریب مثبت را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). علامت منفی ضرایب هر یک از صفات در شاخص‌ها، نشان‌دهنده اثر کاهشی آن صفت در شاخص و علامت مثبت، حاکی از اثر افزاینده صفت مورد نظر در شاخص می‌باشد. در این شرایط (حضور گل‌جالیز) مشاهده شد که صفت تعداد برگ با داشتن بیشترین ضریب منفی در سه شاخص اسمیت- هیزل، پسک- بیکر و رابینسون (جدول ۲)، بیشترین اثر کاهشی را در شاخص‌ها داشت.

جدول ۲- ضرایب هر یک از صفات مورد بررسی در شاخص‌های انتخاب در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و تنش گل جالیز (حضور گل جالیز) در توتون شرقی و تنباکو

Table 2. Coefficients of studied traits in the constructed indices in oriental and water pipe's tobacco under normal (without broomrape) and broomrape stress conditions

Trait (unit)	Normal conditions				Broomrape stress conditions			
	Smith–Hazel index	Pesek-Baker index	Robinson index	Brim index	Smith–Hazel index	Pesek-Baker index	Robinson index	Brim index
FD (day)	6.30	0.11	0.10	1	64.79	-1.84	0.41	1
PH (cm)	2.03	-0.06	-0.08	1	58.95	2.35	0.15	1
NL	22.48	-0.06	0.23	1	-263.21	-4.98	-1.08	1
LA (cm^2)	0.34	0.00	0.00	1	0.63	-0.03	0.00	1
FWL (g)	2.46	0.06	0.04	1	-53.21	2.56	-0.26	1
DLYP (g)	8.62	-0.40	0.34	1	199.89	2.19	1.00	1
FWR (g)	4.97	-0.17	0.04	1	20.04	-1.07	0.14	1
DWR (g)	-19.50	0.92	0.14	1	-17.10	-0.39	-0.05	1
APFW (g)	7.76	-0.03	0.03	1	18.07	-0.39	0.12	1
APDW (g)	-30.74	0.24	-0.06	1	-16.35	-0.77	-0.06	1

تاریخ گلدهی (FD)، ارتفاع بوته (PH)، تعداد برگ (NL)، سطح برگ (LA)، وزن تر برگ (FWL)، وزن تر ریشه (FWR)، وزن خشک ریشه (DWR)، وزن تر اندام هوایی به جزء برگ (APFW)، وزن خشک اندام هوایی به جزء برگ (APDW) و وزن خشک برگ‌های بوته (DLYP).

Flowering date (FD), Plant height (PH), Number of leaf (NL), Leaf area (LA), Fresh weight of leaf (FWL), Fresh weight of root (FWR), Dry weight of root (DWR), Aerial part fresh weight without leaf (APFW), Aerial part dry weight without leaf (APFW), Dry leaf yield per plant (DLYP).

در شرایط تنش گل جالیز، از ۲۳ ژنوتیپ برتر از نظر عملکرد (وزن خشک برگ)، ۱۴ ژنوتیپ از نظر شاخص بریم و پسک- بیکر، ۱۳ ژنوتیپ از نظر شاخص اسمیت- هیزل و ۱۶ ژنوتیپ از نظر شاخص رابینسون، برتر بودند (فایل تکمیلی ۸). در این شرایط (حضور گل جالیز)، ژنوتیپ های Mutant 3، C.H.T.209.12e×F.K.40-1 و Basma 12-2 از نظر شاخص اسمیت- هیزل برتر بودند؛ این ژنوتیپ ها از

نظر عملکرد به‌ترتیب در رتبه‌های ۱۴، یک و هفت قرار داشتند (فایل تکمیلی ۸). از نظر شاخص بریم، ژنوتیپ‌های H.T.I، C.H.T.273-38 و SPT 420 برتر بودند؛ این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در رتبه‌های سه، ۲۳ و ۸۹ بودند. از نظر شاخص پسک- بیکر، ژنوتیپ-های Ohdaruma، Line 20 و Basma 12-2 برتر بودند؛ این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد در رتبه‌های شش، ۳۴ و هفت قرار داشتند. از نظر شاخص رابینسون، ژنوتیپ‌های Mutant 3، C.H.T.209.12e×F.K.40-1 و Basma 12-2 برتر بودند؛ این ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد (وزن خشک برگ) به‌ترتیب رتبه‌های ۱۴، یک و هفت را به خود اختصاص دادند (فایل تکمیلی ۸). جمع-بندی نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های اسمیت-هیزل و رابینسون، ژنوتیپ‌های یکسانی را به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر معرفی نمودند.

در مجموع در شرایط نرمال، شاخص اسمیت- هیزل و رابینسون به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر معرفی شدند. در این شرایط (نرمال)، ژنوتیپ H.T.I از نظر شاخص اسمیت- هیزل و پسک-بیکر در رتبه اول قرار داشت؛ این ژنوتیپ از نظر عملکرد (وزن خشک برگ) در رتبه دوم قرار داشت. از نظر شاخص رابینسون، ژنوتیپ C.H.T.209.12e در رتبه اول قرار داشت؛ این ژنوتیپ از نظر عملکرد نیز رتبه اول را دارا بود. از نظر شاخص بریم، ژنوتیپ L 17 رتبه اول را داشت، اما از نظر عملکرد در رتبه ۲۵ قرار گرفت. در شرایط تنش گل‌جالیز از نظر شاخص اسمیت- هیزل، ژنوتیپ Mutant 3 رتبه اول را به خود اختصاص داد؛ این ژنوتیپ از نظر عملکرد، در رتبه ۱۴ قرار داشت. از نظر شاخص بریم، ژنوتیپ H.T.I رتبه اول را دارا بود؛ این ژنوتیپ از نظر عملکرد، رتبه سه را داشت. از نظر شاخص پسک- بیکر، ژنوتیپ Ohdaruma در رتبه اول قرار گرفت، اما از نظر عملکرد در رتبه شش بود. از نظر شاخص رابینسون، ژنوتیپ C.H.T.209.12e×F.K.40-1 رتبه اول را داشت؛ این ژنوتیپ از نظر عملکرد نیز پرمحصول‌ترین ژنوتیپ در بین سایر ژنوتیپ‌ها بود. در مجموع در دو شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز، ژنوتیپ‌های C.H.T.209.12e و C.H.T.209.12e×F.K.40-1 (کد ۳۹ و ۴۰) از نظر عملکرد و چهار شاخص مورد بررسی در هر دو شرایط، جزو ۲۵ درصد ژنوتیپ‌های برتر بودند.

در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) در بین شاخص‌ها، شاخص رابینسون دارای بالاترین همبستگی ژنتیکی با عملکرد و بیشترین سودمندی نسبی گزینش بود. ۲۲ ژنوتیپ برتر بر اساس این شاخص از لحاظ عملکرد نیز برتر بودند (فایل تکمیلی ۷). در شرایط تنش گل‌جالیز همانند شرایط نرمال، بالاترین همبستگی ژنتیکی با عملکرد، بالاترین کارایی نسبی گزینش و کمترین درصد ضریب تغییرات، به شاخص رابینسون تعلق داشت. در این شرایط، ۱۶ ژنوتیپ برتر بر اساس این شاخص از لحاظ عملکرد نیز برتر بودند. در هر دو شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز، کمترین همبستگی ژنتیکی با عملکرد، کمترین کارایی نسبی گزینش و بالاترین درصد ضریب تغییرات، مربوط به شاخص پسک- بیکر بود (فایل تکمیلی ۷ و ۸). C.H.T.209.12e×F.K.40-1 ژنوتیپی است که به‌طور مشترک در هر دو شرایط نرمال و تنش گل جالیز از نظر شاخص رابینسون، جزو ژنوتیپ‌های برتر بود؛ این ژنوتیپ از نظر عملکرد در شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز)، رتبه سوم و در شرایط تنش گل جالیز، رتبه اول را دارا بود. بر طبق گزارشات Hashemzehi *et al.* (2013) در کل، شاخصی که در هر دو شرایط نرمال و تنش، دارای بالاترین همبستگی با عملکرد باشد، به‌عنوان بهترین شاخص معرفی می-شود (Hashemzehi *et al.*, 2013)؛ بر این اساس، شاخص رابینسون به‌عنوان بهترین شاخص معرفی می-شود.

از طرف دیگر، با بررسی معیارهای بازدهی مورد انتظار برای هر صفت از طریق شاخص (ΔG) و بهره مورد انتظار برای هر شاخص (ΔH) (جدول ۳) مشاهده شد که دو شاخص رابینسون و پسک- بیکر از این نظر، مطلوب نبودند؛ بنابراین در گزینش برترین شاخص، نمی‌توان تنها به همبستگی ژنتیکی شاخص با عملکرد اکتفا کرد. نتایج پژوهش Dehghan Kouhestani *et al.*(2017) در گلرنگ نشان داد که راندمان شاخص

اسمیت- هیزل (شاخص بهینه) برای بهبود همزمان صفات تعداد غوزه در بوته و دانه در غوزه و وزن هزار دانه، از شاخص پسک- بیکر (سود مطلوب) بیشتر بود؛ بنابراین پیشنهاد شد که این شاخص برای بهبود همزمان صفات در این گیاه دانه روغنی استفاده شود. مقایسه شاخص‌های بهینه و پایه نشان داد که ضریب همبستگی شاخص و ارزش اصلاحی و میزان پیشرفت ژنتیکی برای همه صفات در شاخص‌های پایه، کمتر از شاخص‌های بهینه بود، درحالی‌که میزان پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای صفات در هر دو شاخص، نزدیک به هم بود (Sabouri *et al.*, 2012) که این نتیجه در توافق با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.

جدول ۳- کارایی انتخاب از طریق شاخص (ΔH) و پاسخ صفات به گزینش از طریق شاخص (ΔG) در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و تنش گل جالیز (حضور گل‌جالیز) در ژنوتیپ‌های توتون شرقی و تنباکو

Table 3. Efficiency of selection through index (ΔH) and response of traits to selection based on index (ΔG) in oriental and water pipe's tobacco genotypes under normal and broomrape stress conditions

Conditions	Index	ΔG										ΔH
		FD (day)	PH (cm)	NL	LA (cm^2)	FWL (g)	DLYP (g)	FWR (g)	DWR (g)	APFW (g)	APDW (g)	
Normal conditions	Smith-Hazel index	5.71	16.00	7.74	1129.38	40.21	10.25	12.17	3.96	38.82	7.85	980.74
	Brim index	3.43	10.57	5.37	1046.62	30.34	7.94	8.67	2.70	28.78	6.31	1150.73
	Pesek-Baker index	3.03	7.27	2.83	453.39	14.97	4.06	5.02	2.13	14.59	3.42	0.00
	Robinson index	4.84	11.43	7.18	889.10	45.76	12.59	13.12	4.89	38.71	8.14	0.00
Broomrape stress conditions	Smith-Hazel index	5.34	10.54	-1.36	498.89	3.53	5.33	10.73	5.02	15.84	0.48	241.43
	Brim index	3.14	9.03	5.44	820.64	19.27	4.91	6.60	2.14	20.97	4.81	896.97
	Pesek-Baker index	0.17	0.47	0.18	23.90	0.76	0.24	0.29	0.12	0.74	0.21	0.00
	Robinson index	3.90	3.46	1.18	459.53	11.00	5.75	7.59	3.05	15.77	2.65	0.00

تاریخ گلدهی (FD)، ارتفاع بوته (PH)، تعداد برگ (NL)، سطح برگ (LA)، وزن تر برگ (FWL)، وزن تر ریشه (FWR)، وزن خشک ریشه (DWR)، وزن تر اندام هوایی به جزء برگ (APFW)، وزن خشک اندام هوایی به جزء برگ (APDW) و وزن خشک برگ‌های بوته (DLYP).

Flowering date (FD), Plant height (PH), Number of leaf (NL), Leaf area (LA), Fresh weight of leaf (FWL), Fresh weight of root (FWR), Dry weight of root (DWR), Aerial part fresh weight without leaf (APFW), Aerial part dry weight without leaf (APFW), Dry leaf yield per plant (DLYP).

پاسخ صفات به انتخاب بر اساس شاخص (ΔG) و کارآیی انتخاب از طریق شاخص (ΔH) در شرایط نرمال و تنش گل‌جالیز در جدول ۳ آورده شده است. بازدهی مورد انتظار برای هر صفت از طریق شاخص (ΔG)و بهره مورد انتظار برای هر شاخص (ΔH) در تمام صفات و تمام شاخص‌های مورد مطالعه در شرایط تنش گل‌جالیز نسبت به شرایط نرمال کاهش یافت (جدول ۳). در شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز)، صفت سطح برگ، بالاترین بازدهی مورد انتظار را در بین صفات و در تمامی شاخص‌های بررسی شده دارا بود و بعد از آن، صفت وزن تر برگ قرار داشت. بنابراین در شرایط نرمال، صفات سطح و وزن تر برگ، بالاترین پاسخ به انتخاب را در همه شاخص‌ها نشان دادند (جدول ۳). در شرایط تنش گل‌جالیز و در همه شاخص‌ها، صفت سطح برگ، بالاترین بهره را نشان داد. در این شرایط (تنش گل‌جالیز) در شاخص‌های اسمیت-هیزل و بریم و رابینسون، بعد از صفت سطح برگ، صفت وزن تر بوته قرار داشت؛ این در حالی است که در شاخص پسک- بیکر، صفت وزن تر برگ در رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۳). پاسخ به انتخاب برای صفت تعداد برگ در شرایط نرمال بر اساس شاخص اسمیت-هیزل مثبت و در شرایط تنش گل-جالیز، منفی است (جدول ۳). بنابراین انتخاب بر مبنای شاخص اسمیت-هیزل در شرایط تنش گل-جالیز، ژنوتیپ‌هایی با تعداد برگ کمتر و سطح برگ و وزن تر بوته بیشتر را غربال کرد و موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی با تعداد برگ کمتر و سطح برگ بیشتر شد. در هر دو شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و حضور گل‌جالیز و بر اساس تمامی شاخص‌های مورد بررسی، بهره صفت سطح برگ از سایر صفات بالاتر بود؛ به عبارتی می‌توان چنین گفت که انتخاب بر اساس تمام شاخص‌های اسمیت-هیزل، بریم، پسک-

بیکر و رابینسون در هر دو شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و حضور گل‌جالیز، ژنوتیپ‌های با سطح برگ بیشتر را غربال کرد. در رابطه با صفت وزن خشک برگ (عملکرد) در هر دو شرایط نرمال و تنش گل جالیز، بیشترین پاسخ بر اساس شاخص رابینسون و سپس شاخص اسمیت-هیزل حاصل شد.

در هر دو شرایط نرمال و تنش گل جالیز، کمترین کارایی انتخاب (ΔH)، در شاخص‌های رابینسون و پسک-بیکر و بالاترین بهره مورد انتظار (ΔH) در درجه اول در شاخص بریم و سپس شاخص اسمیت-هیزل مشاهده شد (جدول ۳). پایین بودن مقدار به‌دست آمده برای کارایی مورد انتظار در شاخص‌های رابینسون و پسک-بیکر با توجه به فرمول محاسبه ($\Delta H = Kr_{HI}\sigma_H$) می‌تواند به عامل همبستگی شاخص با ارزش اصلاحی (RHi)_تعلق داشته باشد که رابطه مستقیم با ΔH دارد و با وجود سودمندی نسبی بالای این شاخص (RE-RA)، طبق محاسبات انجام گرفته در هر دو شرایط برای این دو شاخص، مقداری حداقل و نزدیک به صفر شد.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، نتایج این بررسی نشان داد که انتخاب بر مبنای شاخص اسمیت-هیزل و بریم که بالاترین کارایی انتخاب (ΔH) را در هر دو شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز) و حضور گل‌جالیز داشتند، باعث افزایش سطح و وزن تر برگ در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و نیز باعث افزایش سطح برگ و وزن تر بوته در شرایط حضور گل‌جالیز خواهد شد. از طرفی وزن تر برگ و بوته، صفاتی با پاسخ همبسته بالا با عملکرد (وزن خشک برگ) بودند؛ بنابراین این دو شاخص با داشتن بالاترین همبستگی با ارزش اصلاحی و داشتن سودمندی نسبی بالای گزینش، به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی شد و بر این اساس، ژنوتیپ ۲۴ (H.T.I) به‌عنوان ژنوتیپ برتر در شرایط نرمال (عدم حضور گل‌جالیز) و حضور گل‌جالیز معرفی شد. به‌طورکلی برای مقایسه شاخص‌ها، نیاز به کاربرد عملی هر یک از آن‌ها در جمعیت مورد ارزیابی دارد و معیارهای به‌دست آمده، تنها مقادیر قابل انتظار را به‌دست می‌دهند.

REFERENCES

1. Amini-Zadeh Bazjanji, S., Mohammadinejad, G. & Abdolshahi, R. (2018). Application of selection indices for grain yield improvement in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress condition. *Journal of Crop Breeding*, 10(27), 152-159. (In Persian)
2. 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.
3. Bennett, J. R. & Mathews, S. (2006). Phylogeny of the parasitic plant family Orobanchaceae inferred from phytochrome A. *American Journal of Botany*, 93(7), 1039-1051.
4. Brim, C. A., Johnson, H. W. & Cockerham, C. C. (1959). Multiple selection criteria in soybeans 1. *Agronomy Journal*, 51(1), 42-46.
5. Chaplin, J. (1975). Genetic influence on chemical constituents of tobacco leaf and smoke. *Beiträge zur Tabakforschung/Contributions to Tobacco Research*, 8(4), 233-240.
6. Dabholkar, A. (1992). *Elements of Biometrical Genetics Concept*. Publishing Company, New Delhi.
7. Darvishzadeh, R., Alavi, R. & Sarrafi, A. (2010). Resistance to Powdery Mildew (*Erysiphe cichoracearum DC.*) in oriental and semi-oriental tobacco germplasm under field conditions. *Journal of Crop Improvement*, 24(2), 122-130.
8. Darvishzadeh, R., Alavi, R. & Sarrafi, A. (2011). Genetic variability for chlorine concentration in oriental tobacco genotypes. A*rchive of Agronomy and Soil Science*, 57(2), 167-177.
9. Dehghan Kouhestani, R., Majidi, M. M. & Saeidi, G. (2017). Direct and indirect selection responses for seed yield improvement in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 7(1), 115-125. (In Persian)
10. Devanand, V., Manjunath, A., Rangaiah, S. & Nehru, S. (2003). Selection indices for cured leaf yield and nicotine content in tobacco (*Nicotiana tobacum* L.). *Indian Journal of Genetics Plant Breeding*, 63(3), 279-280.

11. Falconer, D. S. & Mackay, T. F. C. (1996). Introduction to quantitative genetics. *Pearson, Harlow, UK*.
12. Hashemzehi, M., Moradgholi, A. & Ghasemi, A. (2013). Evaluation of responses of mung bean (*Vigna radiata*) genotypes to drought stress using different stress tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, 5(12), 112-122. (In Persian)
13. Hazel, L. & Lush, J. L. (1942). The efficiency of three methods of selection. *Journal of Heredity*, 33, 393–399.
14. Hazel, L. N. (1943). The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, 28(6), 476-49.
15. Hibberd, J., Quick, W., Press, M. & Scholes, J. (1998). Can source–sink relations explain responses of tobacco to infection by the root holoparasitic angiosperm *Orobanche cernua*? *Plant, Cell Environment*, 21(3), 333-340.
16. Joel, D. (2009). The new nomenclature of Orobanche and Phelipanche. *Weed Research*, 49, 6-7.
17. Kang, M. (1994). Applied quantitative genetics. Kang. In: MS Publisher, Baton Rouge, LA, USA.
18. Khan, H., Marwat, K. B., Khan, M. A. & Khan, N. (2004). Distribution and control of Broomrape (*Orobanche spp*.) and other major weeds in district Swabi, NWFP. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 10(3-4), 193-200.
19. Lins, R. D., Colquhoun, J. B. & Mallory-Smith, C. A. (2007). Effect of small broomrape (*Orobanche minor*) on red clover growth and dry matter partitioning. *Weed Science*, 55(5), 517-520.
20. Lolas, P. (1984). Effective control of broomrape (*Orobanche ramosa*) in tobacco. Paper presented at the 8th international Tobacco Scientific Congress, Vienna.
21. Lolas, P. C. (1986). Control of broomrape (*Orobanche ramosa*) in tobacco (*Nicotiana tabaccum*). *Weed Science*, 34(3), 427-430.
22. Manschadi, A., Kroschel, J. & Sauerborn, J. (1996). Dry matter production and partitioning in the host-parasite association *Vicia faba*-*Orobanche crenata*. *Angewandte Botanik*, 70(5-6), 224-229.
23. Matzinger, D., Wernsman, E. & Weeks, W. J. C. S. (1989). Restricted index selection for total alkaloids and yield in tobacco. *Crop Science*, 29(1), 74-77.
24. Mauromicale, G., Monaco, A. L. & Longo, A. M. (2008). Effect of branched broomrape (*Orobanche ramosa*) infection on the growth and photosynthesis of tomato. *Weed Science*, 56(4), 574-581.
25. Modarresi, M., Kheradnam, M. & Asad, M. (2004). Selection indices as indirect selection in corn hybrids (*Zea mays* L.) for increasing grain yield. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(1), 115-127. (In Persian)
26. Murad, L., Lim, K. Y., Christopodulou, V., Matyasek, R., Lichtenstein, C. P., Kovarik, A. & Leitch, A. R. (2002). The origin of tobacco's T genome is traced to a particular lineage within *Nicotiana tomentosiformis* (*Solanaceae*). *American Journal of Botany*, 89(6), 921-928.
27. Parker, C. (2009). Observations on the current status of Orobanche and Striga problems worldwide. *Pest Management Science*: *formerly Pesticide Science*, 65(5), 453-459.
28. Parker, C. & Riches, C. R. (1993). *Parasitic weeds of the world: biology and control*: CAB international.
29. Pesek, J. & Baker, R. (1970). An application of index selection to the improvement of self-pollinated species. *Canadian Journal of Plant Science*, 50(3), 267-276.
30. Ren, N. & Timko, M. P. (2001). AFLP analysis of genetic polymorphism and evolutionary relationships among cultivated and wild *Nicotiana* species. *Genome*, 44(4), 559-571.
31. Robinson, H. F., Comstock, R. E. & Harvey, P. H. (1951). Genotypic and phenotypic correlation and their implications in selection. *Agronomy Journal*, 43, 282-287.
32. Saeidi, M. S., Torabi, A. & Aghabeygi, F. (2010). Notes on the genus Orobanche (*Orobanchaceae*) in Iran. *Iranian Journal of Botany*, 16(1), 107–113. (In Persian)
33. Schiman-Czeika, H. (1964). Orobanche. in K. H. Rechinger (ed.). *Flora Iranica*, *5*, 2- 20- Graz.
34. Shiri, M. & Ebrahimi, L. (2018). Comprehensive SAS code for computing several selection indices. *Journal of Crop Improvement*, 32(2), 225-238.
35. Smith, H. F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*, 7(3), 240-250.
36. Stewart, G. R. & Press, M. C. (1990). The physiology and biochemistry of parasitic angiosperms. *Annual Review of Plant Biology*, 41(1), 127-151.
37. Tank, D. C., Beardsley, P. M., Kelchner, S. A. & Olmstead, R. G. (2006). Review of the systematics of Scrophulariaceae s.l. and their current disposition. *Australian Systematic Botany*, 19(4), 289-307.

فایل تکمیلی ۱- اسامی ژنوتیپ‌های توتون شرقی و تنباکو مورد مطالعه

Supplementary file 1. Name of studied oriental and water pipe's 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	L 16a	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	L 16b
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	Pz17	43	C.H.T.273-38	66	SPT 410	89	L 17
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

فایل تکمیلی ۲- روش محاسبه ضرایب صفات در شاخص‌های مختلف انتخاب

Supplementary file 2. Method of trait coefficients calculating in different selection indices

Selection index	Formula	Reference	Explanations
Smith and Hazel index	$b = P^{-1}Ga$	Hazel, 1943; Smith, (1936)	که در آن b بردار ضرایب شاخص، P ماتریس واریانس کوواریانس فنوتیپی m × m، G ماتریس واریانس کوواریانس ژنوتیپی m × m و a بردار ارزش‌های نسبی (ضرایب مسیر، ضرایب رگرسیون، وراثت‌پذیری و یا وزنه‌های اقتصادی صفات بررسی شده در شاخص) است. وزنه‌های اقتصادی توسط اصلاحگر تعیین می‌شوند.
Brim index	$b = a$	(Brim *et al.*, 1959)	-
Desired gain index (Pesek-Baker index)	$b = G^{-1} h$	Pesek & Baker, (1970)	که در آن h بردار سودهای بهینه؛ که داویک (Davik, 1989) آن را (h را) برابر با انحراف استاندارد فنوتیپی در نظر گرفته است.
Robinson index	$b = P^{-1}g$	(Robinson, 1951)	که در آن g بردار کوواریانس ژنوتیپی عملکرد با دیگر صفات است.

فایل تکمیلی ۳- برخی معیارهای ارزیابی و مقایسه شاخص‌های مختلف انتخاب
Supplementary file 3. Some criteria to evaluate and compare the selection indices

No.	Criteria to evaluate and compare the selection indices	Symbol	Formulas	Reference	Explanations
1	Correlation coefficient between genotypic worth and index	RHI	$R_{HI} = \sqrt{\frac{b'Pb}{a'Ga}}$	(Baker, 1986)	که در آن a´ و b´ به ترتیب برگردان بردارهای a و b هستند. توجه کنید که برای شاخص پسک- بیکر a با h (بردار سودهای ژنتیکی) در معادله جایگزین می‌شود و برای شاخص رابینسون a با g در معادله جایگزین می‌شود (بردار کوواریانس ژنوتیپی عملکرد با دیگر صفات).
2	Relative efficiency (RE) of index compared with direct selection for yield (Y)	RE	$RE = \frac{R_I}{R_Y} = \frac{r_{G(Y)I}}{h_Y}$ $r_{G(Y)I} = \frac{\sigma_{G(Y)I}}{\sqrt{\sigma^2_{G(Y)} \times \sigma^2_I}} = \frac{b'_g}{\sqrt{\sigma^2_{G(Y)} \times b'Pb}}$	(Baker, 1986)	که در آن RI پاسخ مورد انتظار برای صفت Y بر اساس شاخص گزینش و RY پاسخ مورد انتظار بر اساس گزینش مستقیم برای صفت Y است، $r_{G(Y)I}$ ضریب همبستگی بین ارزش ژنوتیپی عملکرد(Y)و شاخص گزینش و h_Y جذر وراثت‌پذیری صفت Y است.
3	Expected genetic advance for all studied traits	ΔH	$\Delta H = Kr_{HI}\sigma_H$	(Baker, 1986)	که در آن K دیفرانسیل گزینش استاندارد شده، r_{HI} همبستگی بین شاخص گزینش و ارزش اصلاحی و σ_H انحراف استاندارد ارزش اصلاحی است.
4	Expected gain for each trait from index selection	Δ	$\Delta = \frac{KGb}{\sqrt{b'Pb}}$	(Baker, 1986)	که در آن K دیفرانسیل گزینش استاندارد شده، G ماتریس واریانس کوواریانس ژنوتیپی، P ماتریس واریانس کوواریانس فنوتیپی، b بردار ضرایب شاخص و b´ برگردان بردار b می‌باشد.
5	Phenotypic coefficient of variation (CVi) for indices	CV_i	$CVi = \frac{\sigma_I}{\bar{X}} \times 100$	Rahimi & Rabiei, 2011)	که در آن σ_I انحراف استاندارد فنوتیپی شاخص و $\bar{x}$ میانگین ارزش‌های شاخص برای همه افراد است.
6	Response to selection	R_i	$R_i = Kh_i\delta_{gi}$	Falconer & Mackay, 1996)	که در آن δ_{gi} انحراف معیار ژنتیکی هر صفت، h_i جذر وراثت‌پذیری صفت و K شدت انتخاب است که با گزینش ۱۰ درصد از ژنوتیپ‌ها برابر ۱/۷۶ می‌باشد (Falconer & Mackay, 1996).
7	Correlated response	CR_i	$CR_i = Kh_ir_{gij}\delta_{gi}$	Falconer & Mackay, 1996)	در این فرمول r ضریب همبستگی بین صفت مورد نظر برای بهبود و صفتی است که انتخاب بر مبنای آن انجام می‌شود.

فایل تکمیلی ۴- مقادیر انحراف معیار ژنتیکی (S_{gi})، وراثت‌پذیری (h^2) و پاسخ مستقیم به انتخاب (R_i) برای صفات توتون شرقی و تنباکو تحت شرایط نرمال (بدون حضور گل‌جالیز) و تنش گل جالیز (حضور گل‌جالیز)
Supplementary file 4. Estimation of genotypic standard deviation, heritability and direct response to selection for oriental and water pipe's tobacco traits under normal and broomrape stress conditions

Trait (unit)	Normal (without broomrape conditions)			Broomrape stress conditions		
	S_{gi}	h^2	Ri	S_{gi}	h^2	R_i
FD (day)	7.92	0.88	13.08	6.27	0.80	9.87
PH (cm)	18.29	0.81	28.97	14.87	0.62	20.61
NL	6.63	0.67	9.55	6.08	0.68	8.82
LA (cm^2)	855.31	0.43	987.12	662.63	0.46	790.97
FWL (g)	32.86	0.60	44.80	16.87	0.28	15.71
DLYP (g)	8.70	0.59	11.76	5.17	0.25	4.55
FWR (g)	11.22	0.62	15.55	8.70	0.55	11.36
DWR (g)	4.08	0.47	4.92	2.71	0.33	2.74
APFW (g)	30.73	0.53	39.37	19.86	0.43	22.92
APDW (g)	7.22	0.51	9.07	5.10	0.35	5.31

تاریخ گلدهی (FD)، ارتفاع بوته (PH)، تعداد برگ (NL)، شاخص سطح برگ (LA)، وزن تر برگ (FWL)، وزن تر ریشه (FWR)، وزن خشک ریشه (DWR)، وزن تر اندام هوایی به جزء برگ (APFW)، وزن خشک اندام هوایی به جزء برگ (APDW) و وزن خشک برگ‌های بوته (DLYP).

Flowering date (FD), Plant height (PH), Number of leaf (NL), Leaf area (LA), Fresh weight of leaf (FWL), Fresh weight of root (FWR), Dry weight of root (DWR), Aerial part fresh weight without leaf (APFW), Aerial part dry weight without leaf (APFW), Dry leaf yield per plant (DLYP).

فایل تکمیلی ۵- مقادیر پاسخ همبسته به انتخاب برای بهبود صفت Y از طریق انتخاب برای صفت X در شرایط نرمال (بدون حضور گل جالیز) در توتون شرقی و تنباکو

Supplementary file 5. Correlated response to selection for improving character Y via selection for X in oriental and water pipe's tobacco under normal (without broomrape) conditions

Y (unit)	X (unit)	Correlated response	Genetic correlation	Y (unit)	X (unit)	Correlated response	Genetic correlation
FD (day)	PH (cm)	8.10	0.62	DLYP (g)	FD (day)	3.82	0.32
	NL	6.38	0.49		PH (cm)	4.30	0.37
	LA (cm^2)	4.19	0.32		NL	7.65	0.65
	FWL (g)	4.18	0.32		LA (cm^2)	8.30	0.71
	DLYP (g)	4.25	0.32		FWL (g)	10.97	0.93
	FWR (g)	4.78	0.37		FWR (g)	8.53	0.73
	DWR (g)	5.13	0.39		DWR (g)	9.01	0.77
	APFW (g)	4.71	0.36		APFW (g)	9.62	0.82
	APDW (g)	3.85	0.29		APDW (g)	8.91	0.76
PH (cm)	FD (day)	17.95	0.62	FWR (g)	FD (day)	5.69	0.37
	NL	21.52	0.74		PH (cm)	9.40	0.60
	LA (cm^2)	12.32	0.43		NL	10.28	0.66
	FWL (g)	12.47	0.43		LA (cm^2)	9.18	0.59
	DLYP (g)	10.58	0.37		FWL (g)	11.70	0.75
	FWR (g)	17.52	0.60		DLYP (g)	11.28	0.73
	DWR (g)	17.16	0.59		DWR (g)	13.70	0.88
	APFW (g)	18.43	0.64		APFW (g)	11.46	0.74
	APDW (g)	17.57	0.61		APDW (g)	9.46	0.61
NL	FD (day)	4.66	0.49	DWR (g)	FD (day)	1.93	0.39
	PH (cm)	7.09	0.74		PH (cm)	2.92	0.59
	LA (cm^2)	5.91	0.62		NL	3.30	0.67
	FWL (g)	5.85	0.61		LA (cm^2)	2.39	0.49
	DLYP (g)	6.21	0.65		FWL (g)	3.45	0.70
	FWR (g)	6.32	0.66		DLYP (g)	3.77	0.77
	DWR (g)	6.40	0.67		FWR (g)	4.34	0.88
	APFW (g)	7.58	0.79		APFW (g)	3.29	0.67
	APDW (g)	7.09	0.74		APDW (g)	2.85	0.58
LA (cm^2)	FD (day)	316.07	0.32	APFW (g)	FD (day)	14.19	0.36
	PH (cm)	419.68	0.43		PH (cm)	25.05	0.64
	NL	611.07	0.62		NL	31.24	0.79
	FWL (g)	700.24	*0.71*		LA (cm^2)	28.21	*0.72*
	DLYP (g)	696.66	0.71		FWL (g)	34.98	0.89
	FWR (g)	582.58	0.59		DLYP (g)	32.20	0.82
	DWR (g)	478.80	0.49		FWR (g)	29.03	0.74
	APFW (g)	707.28	*0.72*		DWR (g)	26.35	0.67
	APDW (g)	653.01	0.66		APDW (g)	35.63	0.90
FWL (g)	FD (day)	14.31	0.32	APDW (g)	FD (day)	2.67	0.29
	PH (cm)	19.28	0.43		PH (cm)	5.50	0.61
	NL	27.45	0.61		NL	6.73	0.74
	LA (cm^2)	31.78	*0.71*		LA (cm^2)	6.00	0.66
	DLYP (g)	41.77	0.93		FWL (g)	7.00	0.77
	FWR (g)	33.70	0.75		DLYP (g)	6.87	0.76
	DWR (g)	31.40	0.70		FWR (g)	5.52	0.61
	APFW (g)	39.80	0.89		DWR (g)	5.25	0.58
	APDW (g)	34.55	0.77		APFW (g)	8.21	0.90

تاریخ گلدهی (FD)، ارتفاع بوته (PH)، تعداد برگ (NL)، شاخص سطح برگ (LA)، وزن تر برگ (FWL)، وزن تر ریشه (FWR)، وزن خشک ریشه (DWR)، وزن تر اندام هوایی به جزء برگ (APFW)، وزن خشک اندام هوایی به جزء برگ (APDW) و وزن خشک برگ‌های بوته (DLYP).

Flowering date (FD), Plant height (PH), Number of leaf (NL), Leaf area (LA), Fresh weight of leaf (FWL), Fresh weight of root (FWR), Dry weight of root (DWR), Aerial part fresh weight without leaf (APFW), Aerial part dry weight without leaf (APFW), Dry leaf yield per plant (DLYP).

فایل تکمیلی ۶- مقادیر پاسخ همبسته به انتخاب برای بهبود صفت Y از طریق انتخاب برای صفت X در شرایط تنش گل جالیز (حضور گل‌جالیز) در توتون شرقی و تنباکو

Supplementary file 6. Correlated response to selection for improving character Y via selection for X in oriental and water pipe's tobacco under broomrape stress conditions

Y (unit)	X (unit)	Correlated response	Genetic correlation	Y (unit)	X (unit)	Correlated responses	Genetic correlation
FD (day)	PH (cm)	6.11	0.62	DLYP (g)	FD (day)	1.80	0.40
	NL	6.38	0.65		PH (cm)	1.09	0.24
	LA (cm^2)	3.71	0.38		NL	3.05	0.67
	FWL (g)	5.07	0.51		LA (cm^2)	3.68	0.81
	DLYP (g)	3.91	0.40		FWL (g)	4.01	0.88
	FWR (g)	2.39	0.24		FWR (g)	2.69	0.59
	DWR (g)	3.78	0.38		DWR (g)	2.79	0.61
	APFW (g)	4.09	0.41		APFW (g)	3.84	0.84
	APDW (g)	4.23	0.43		APDW (g)	3.55	0.78
PH (cm)	FD (day)	12.75	0.62	FWR (g)	FD (day)	2.75	0.24
	NL	16.91	0.82		PH (cm)	5.74	0.51
	LA (cm^2)	11.03	0.54		NL	6.56	0.58
	FWL (g)	8.29	0.40		LA (cm^2)	6.96	0.61
	DLYP (g)	4.95	0.24		FWL (g)	7.43	0.65
	FWR (g)	10.41	0.51		DLYP (g)	6.73	0.59
	DWR (g)	10.42	0.51		DWR (g)	9.74	0.86
	APFW (g)	12.47	0.61		APFW (g)	8.23	0.73
	APDW (g)	11.05	0.54		APDW (g)	7.17	0.63
NL	FD (day)	5.70	0.65	DWR (g)	FD (day)	1.05	0.38
	PH (cm)	7.24	0.82		PH (cm)	1.39	0.51
	LA (cm^2)	6.64	0.75		NL	1.47	0.54
	FWL (g)	7.02	0.80		LA (cm^2)	1.69	*0.62*
	DLYP (g)	5.92	0.67		FWL (g)	1.75	0.64
	FWR (g)	5.10	0.58		DLYP (g)	1.68	0.61
	DWR (g)	4.73	0.54		FWR (g)	2.35	0.86
	APFW (g)	7.36	0.83		APFW (g)	1.69	0.62
	APDW (g)	7.07	0.80		APDW (g)	1.61	0.59
LA (cm^2)	FD (day)	297.51	0.38	APFW (g)	FD (day)	9.50	0.41
	PH (cm)	423.37	0.54		PH (cm)	13.87	0.61
	NL	594.95	0.75		NL	19.12	0.83
	FWL (g)	718.41	*0.91*		LA (cm^2)	18.95	*0.83*
	DLYP (g)	639.46	0.81		FWL (g)	20.63	0.90
	FWR (g)	484.93	0.61		DLYP (g)	19.32	0.84
	DWR (g)	487.46	*0.62*		FWR (g)	16.62	0.73
	APFW (g)	653.79	*0.83*		DWR (g)	14.11	0.62
	APDW (g)	675.66	0.85		APDW (g)	22.60	0.99
FWL (g)	FD (day)	8.07	0.51	APDW (g)	FD (day)	2.27	0.43
	PH (cm)	6.32	0.40		PH (cm)	2.85	0.54
	NL	12.49	0.80		NL	4.26	0.80
	LA (cm^2)	14.27	*0.91*		LA (cm^2)	4.54	0.85
	DLYP (g)	13.84	0.88		FWL (g)	4.81	0.91
	FWR (g)	10.28	0.65		DLYP (g)	4.14	0.78
	DWR (g)	10.02	0.64		FWR (g)	3.35	0.63
	APFW (g)	14.14	0.90		DWR (g)	3.11	0.59
	APDW (g)	14.23	0.91		APFW (g)	5.24	0.99

تاریخ گلدهی (FD)، ارتفاع بوته (PH)، تعداد برگ (NL)، شاخص سطح برگ (LA)، وزن تر برگ (FWL)، وزن تر ریشه (FWR)، وزن خشک ریشه (DWR)، وزن تر اندام هوایی به جزء برگ (APFW)، وزن خشک اندام هوایی به جزء برگ (APDW) و وزن خشک برگ‌های بوته (DLYP).

Flowering date (FD), Plant height (PH), Number of leaf (NL), Leaf area (LA), Fresh weight of leaf (FWL), Fresh weight of root (FWR), Dry weight of root (DWR), Aerial part fresh weight without leaf (APFW), Aerial part dry weight without leaf (APFW), Dry leaf yield per plant (DLYP).

فایل تکمیلی ۷- عملکرد (وزن خشک برگ)، مقادیر شاخص‌های انتخاب و پارامترهای وابسته در ژنوتیپ‌های توتون شرقی و تنباکو تحت شرایط نرمال (بدون حضور گل‌جالیز)

Supplementary file 7. Yield (leaf dry weight), the value of selection indices and other parameters in oriental and water pipe's tobacco genotypes under normal conditions

Names of genotypes	Yield	Rank	Smith–Hazel index	Rank	Brim index	Rank	Pesek-Baker index	Rank	Robinson index	Rank
Kharmanli 163	21.08	20	2408.88	17	2069.66	43	6.93	67	20.90	17
Nevrokop	11.80	46	1947.34	42	2016.43	45	8.09	56	15.13	46
Trabozan	12.05	44	1869.37	48	2139.28	40	9.14	43	15.42	44
Krumovgraid	37.48	5	2396.07	18	3565.98	9	8.16	54	26.06	7
Basma.S.31	14.20	34	2120.94	31	2243.78	35	7.88	57	16.75	32
Triumph	21.25	18	1687.00	53	2108.65	42	10.68	31	19.62	20
Xanthi	8	70	1669.86	55	1709.00	56	11.75	19	14.59	49
Matianus	9.20	60	1487.03	66	1659.43	59	10.09	35	13.31	59
Immni 3000	16.20	29	2448.81	15	3051.35	17	10.96	28	18.69	26
Melkin 261	16.88	26	1913.85	46	1613.98	63	8.57	49	18.80	24
Tyk-Kula	8.70	64	1563.57	62	1447.65	69	5.10	90	12.25	68
Ss-289-2	16.68	28	2197.79	25	3128.60	15	12.26	12	18.81	23
Ohdaruma	30	7	2035.78	35	2247.95	34	7.87	58	24.02	14
Ploudive 58	9.15	61	1973.54	38	1888.45	51	8.10	55	14.48	50
Line 20	10	51	1427.38	71	1969.38	47	11.42	(20)	12.22	69
T-B-22	23.93	15	2852.43	6	3334.93	14	11.00	26	24.62	9
Ts 8	13.58	38	2054.28	34	2124.08	41	8.40	51	17.19	29
Alborz23	14.40	32	2174.34	27	2530.38	29	5.61	84	16.52	33
F.K.40-1	34.53	6	3082.45	4	3536.57	10	6.94	66	29.32	5
Pz17	29.65	8	2654.10	10	3527.68	11	10.43	32	25.45	8
K.P.Ha	21.10	19	2560.42	11	3526.73	12	15.96	4	24.60	10
K.B	19.70	21	1634.16	57	2171.80	39	8.82	46	16.78	31
G.D.165	25.40	12	2420.73	16	2631.90	28	8.74	47	24.44	11
H.T.I	43.55	2	3714.28	1	5353.28	2	17.93	1	34.73	2
Kramograd N.H.H. 659	14.38	33	2095.14	33	2731.85	23	11.84	17	15.62	41
T.K.23	16.83	27	2143.52	30	2652.23	27	10.27	33	18.72	25
L 16a	12.45	43	2277.62	22	2874.78	19	12.68	11	15.23	45
Izmir 7	17.73	24	2714.25	9	4616.73	3	7.29	62	15.55	43
Mutant 3	9.95	52	1319.95	74	1476.98	67	12.23	13	13.68	56
Mutant 4	8.40	68	2529.39	13	4257.56	5	17.11	2	14.38	51
Pobeda 1	15.75	30	2367.26	21	2697.95	25	12.03	15	18.10	27
Pobeda 2	8.10	69	2143.56	29	2681.20	26	10.83	29	14.09	53
Rustica	9.65	56	1390.92	72	1201.15	78	5.00	91	10.57	72
Samsun 959	24.13	14	3027.41	5	3620.35	8	16.85	3	28.50	6
Samsun dere	10.85	49	1970.77	40	1803.08	55	11.24	23	16.49	35
OR-205	14.43	31	2271.32	23	3020.45	18	11.21	25	15.66	40
OR-345	9.40	57	1928.42	44	1915.16	50	6.48	72	12.53	66
OR-379	6.95	74	1563.04	63	1412.98	72	9.59	40	12.60	65
C.H.T.209.12e	47.48	1	3703.12	2	4594.63	4	12.07	14	38.64	1
C.H.T.209.12e×F.K.40-1	38.95	3	2793.10	8	3683.45	7	14.43	7	32.27	3
C.H.T.266-6	9.80	53	1625.67	58	1923.90	48	9.62	39	13.33	58
C.H.T.283-8	25.03	13	2558.64	12	3098.93	16	8.26	52	23.52	15
C.H.T.273-38	38.35	4	2804.47	7	3889.50	6	13.44	8	29.68	4
Basma 12-2	29.55	9	1782.81	49	1553.40	66	7.86	59	24.41	12
Basma 16-10	27.70	10	1978.03	37	1622.38	62	5.19	89	23.24	16
Basma 104-1	21.73	17	2463.00	14	2759.23	22	5.97	78	19.51	21
Basma 181-8	13.95	37	2149.92	28	2223.90	36	9.88	37	17.13	(30)
Zichna	7.60	71	1745.63	51	1864.65	52	7.51	61	11.93	70
Izmir	13	41	1579.80	61	1839.80	53	6.01	77	12.76	63
P.D.324	9.05	63	1955.18	41	2178.80	38	11.90	16	13.98	55
P.D.325	13.38	39	1918.69	45	2300.25	32	10.26	34	16.14	38
P.D.406	8.60	66	1504.61	65	1584.88	65	10.97	27	14.05	54
P.D.328	14	36	1099.78	83	1458.85	68	5.23	88	12.29	67
P.D.329	13.25	40	1524.16	64	1628.08	60	15.01	6	15.55	42
P.D.336	14.13	35	1971.76	39	2066.28	44	11.80	18	17.85	28
P.D.345	8.58	67	1692.60	52	1401.06	73	7.08	65	13.16	60
P.D.364	9.13	62	2178.71	26	2704.80	24	11.41	21	14.89	47
P.D.365	9.80	54	1482.80	68	1623.35	61	9.14	42	12.85	61
P.D.371	11.70	47	1667.14	56	1427.55	70	5.73	80	14.73	48
P.D.381	11.85	45	2217.05	24	2256.65	33	9.04	44	16.50	34
SPT 403	6.86	76	1174.28	79	1239.29	76	6.85	69	9.46	84
SPT 405	5.85	81	1052.58	85	1174.35	80	11.21	24	9.91	79
SPT 406	6.50	79	1228.94	78	1270.35	74	7.10	64	10.10	76
SPT 408	7.13	72	953.47	87	1119.95	82	13.29	9	10.35	74

SPT 409	5.30	83	737.57	92	587.38	90	5.32	85	8.64	88
SPT 410	6.33	80	1431.20	69	1256.28	75	5.30	86	10.50	73
SPT 412	5	85	1235.91	77	887.65	86	5.70	81	10.33	75
Esfahan5	9.25	59	1125.62	81	1037.68	83	5.92	79	10.01	78
SPT 420	3.38	87	801.98	91	565.05	91	6.42	74	7.60	91
SPT 430	3.18	88	1052.25	86	887.33	87	8.24	53	8.96	86
SPT 432	8.70	65	1589.75	59	1836.20	54	10.05	36	14.24	52
SPT 433	4.60	86	1244.37	76	1661.93	58	8.86	45	9.88	80
SPT 434	18.65	22	2106.74	32	2485.95	31	9.53	41	19.22	22
SPT 436	3.05	89	947.95	90	737.60	89	5.24	87	7.90	90
SPT 439	6.65	78	948.15	89	865.23	88	4.59	92	8.96	87
SPT 441	9.75	55	1430.67	70	1599.30	64	8.59	48	13.56	57
Esfahan2	2.30	92	951.74	88	404.10	92	8.51	50	8.97	85
SPT 413	6.73	77	1271.91	75	1185.33	79	6.74	70	10.07	77
Esfahani	3.05	90	1753.01	50	3437.10	13	10.79	(30)	5.84	92
Jahrom14	6.90	75	1358.79	73	1424.10	71	6.47	73	8.54	89
Borazjan	3	91	1137.30	80	1133.25	81	6.53	71	9.78	82
L 16b	10.80	50	1678.10	54	2011.55	46	11.35	22	12.66	64
Balouch	5.55	82	1123.99	82	916.75	85	6.20	76	9.86	81
Lengeh	7.10	73	1485.47	67	1223.65	77	5.65	83	11.01	71
Saderati	9.30	58	1582.08	60	1670.35	57	6.37	75	12.78	62
Eraghi	5.30	84	1089.86	84	940.35	84	5.66	82	9.71	83
Shahroudi	12.70	42	1939.04	43	2205.15	37	7.73	60	16.48	36
T.K.L	11.70	48	2371.06	(20)	2495.70	(30)	7.24	63	15.99	39
L 17	17.25	25	3177.93	3	5361.15	1	12.81	10	16.26	37
C.H.T.269-12e	18.15	23	2030.77	36	1920.91	49	6.92	68	20.43	18
Samsun 1	22.63	16	2384.04	19	2784.65	21	15.12	5	24.03	13
Samsun katenizi	26.13	11	1874.27	47	2828.08	20	9.75	38	20.23	19
NSG	23		15		14		7		22	
$r_{G(A)I}$			0.67		0.52		0.26		0.82	
RHi			0.77		0.70		0.00000125		0.00000159	
RE			0.869		0.672		0.34		1.067	
%CV			33.12		47.68		33.04		39.32	

NSG: تعداد ژنوتیپ‌های برتر بر اساس شاخص انتخاب و عملکرد. $r_{G(A)I}$: ضریب همبستگی بین ارزش ژنتیکی عملکرد و شاخص انتخاب. RHi: همبستگی بین شاخص انتخاب و ارزش اصلاحی. RE: کارایی نسبی شاخص در مقایسه با انتخاب مستقیم برای عملکرد. CV%: ضریب تغییرات فنوتیپی برای شاخص‌ها.

NSG: Number of superior genotypes based on both selection index and yield; $r_{G(A)I}$: correlation coefficient between genotypic value of yield (Y) and selection index; RHi: correlation between selection index and breeding value; RE: relative efficiency of index compared with direct selection for yield (Y); %CV: Phenotypic coefficient of variation (CVi) for indices.

فایل تکمیلی ۸- عملکرد وزن خشک برگ، شاخص‌های انتخاب و سایر پارامترهای وابسته در ژنوتیپ‌های توتون شرقی در شرایط تنش گل جالیز (حضور گل‌جالیز)

Supplementary file 8. Yield (leaf dry weight), the value of selection indices and other parameters in oriental and water pipe's tobacco genotypes under broomrape stress conditions

Names of genotypes	Yield	Rank	Smith–Hazel index	Rank	Brim index	Rank	Pesek-Baker index	Rank	Robinson index	Rank
Kharmanli 163	10	48	3737.88	39	2212.14	24	-2.46	11	20.56	59
Nevrokop	9.13	53	3251.78	65	1270.21	64	-47.17	42	20.64	57
Trabozan	9.15	52	1601.96	89	1821.73	39	-99.27	88	13.55	90
Krumovgraid	22.40	9	5202.21	5	2512.76	14	-55.96	49	32.29	5
Basma.S.31	9.40	51	3617.89	47	2589.95	12	-86.80	83	21.35	53
Triumph	13.25	27	3270.68	63	2500.76	15	-54.93	47	20.52	60
Xanthi	9.50	50	3602.65	50	1334.24	60	-56.18	50	21.25	54
Matianus	4.32	85	4015.28	24	1112.03	74	-94.93	86	24.50	20
Immni 3000	11.62	33	3096.48	70	1743.24	43	-24.29	27	19.36	70
Melkin 261	24.87	8	5739.41	4	2610.57	11	17.30	9	32.19	6
Tyk-Kula	6.83	67	1171.70	92	1302.54	62	-85.64	81	10.91	91
Ss-289-2	15.07	21	2177.71	85	2443.73	17	-74.31	72	18.07	77
Ohdaruma	26.75	6	4826.61	11	1770.41	41	63.27	1	30.14	9
Ploudive 58	9.80	49	4877.61	10	2209.50	25	-109.58	91	29.11	10
Line 20	11.40	34	3906.23	28	1627.20	46	53.04	3	21.83	47
T-B-22	20.47	12	3763.55	36	2975.74	8	-78.88	77	25.73	17
Ts 8	17.47	15	3508.12	53	2316.86	22	-66.80	61	24.44	21
Alborz23	12.92	29	1450.09	90	2095.95	27	-101.41	90	13.58	89
F.K.40-1	26.78	5	5088.52	6	2454.33	16	24.96	8	31.25	7
Pz17	13.50	24	3330.49	58	1613.72	48	-37.69	34	22.06	40
K.P.Ha	15.73	18	2308.03	83	3051.92	7	-56.55	51	20.40	62
K.B	13.17	28	2769.89	77	1785.68	40	-26.06	28	19.75	68
G.D.165	21.95	11	3782.56	34	2170.70	26	46.80	4	25.45	18
H.T.I	31.53	3	5012.34	7	4771.07	1	-21.41	24	31.23	8
Kramograd N.H.H. 659	10.57	42	4033.25	22	2021.89	31	-46.47	41	22.02	41
T.K.23	11.30	35	1644.28	88	1562.86	52	-73.68	71	15.19	86
L 16a	8.68	55	4934.24	9	1891.05	36	-13.67	17	26.16	13
Izmir 7	10.57	43	2755.45	78	2078.42	28	-65.70	58	18.19	76
Mutant 3	17.67	14	7084.08	1	1537.09	53	-14.36	18	37.98	2
Mutant 4	10.87	39	4125.18	19	2353.35	19	-17.80	20	23.20	29
Pobeda 1	8.60	58	1299.66	91	2077.90	29	-8.87	15	10.77	92
Pobeda 2	11.15	38	3208.34	66	2575.11	13	-58.67	54	18.90	73
Rustica	7.68	64	3116.33	68	784.75	87	-36.95	33	18.04	78
Samsun 959	13.45	25	2237.01	84	2319.61	21	-85.97	82	17.68	81
Samsun dere	12.83	30	3664.01	44	3735.23	5	-23.20	26	20.57	58
OR-205	10.57	44	4403.40	16	1246.03	66	-57.15	52	25.81	15
OR-345	8.65	56	4667.35	14	1574.46	51	-68.62	63	25.80	16
OR-379	6.77	68	3958.44	27	1760.34	42	-96.94	87	22.96	30
C.H.T.209.12e	32	2	4942.42	8	3237.22	6	-7.65	13	33.31	4
C.H.T.209.12e×F.K.40-1	38.83	1	6353.72	2	2771.33	9	39.88	5	39.65	1
C.H.T.266-6	9.05	54	2077.49	86	1617.23	47	-73.08	70	15.05	87
C.H.T.283-8	15.33	20	2701.72	80	1481.21	55	3.04	10	18.33	75
C.H.T.273-38	14.17	23	4751.58	12	4565.63	2	-135.89	92	27.70	11
Basma 12-2	25.07	7	6123.48	3	1827.06	38	56.76	2	34.82	3
Basma 16-10	27.23	4	3820.35	32	1582.71	50	28.87	7	24.30	23
Basma 104-1	17.15	16	4286.05	17	1966.80	35	29.00	6	24.31	22
Basma 181-8	10.38	46	2963.56	71	1350.45	59	-44.08	38	19.75	67
Zichna	21.97	10	4022.44	23	1701.03	44	-21.04	23	24.04	24
Izmir	13.28	26	3348.80	57	952.84	78	-8.26	14	20.18	64
P.D.324	10.70	40	3603.68	49	1176.13	72	-27.94	29	21.96	43
P.D.325	8.65	57	3287.50	62	1594.42	49	-87.83	84	20.98	55
P.D.406	7.73	63	3673.56	43	1213.32	69	-66.55	60	22.77	32
P.D.328	12.77	31	3968.79	25	1456.46	56	-41.51	35	23.94	25
P.D.329	7.97	62	3140.51	67	1666.37	45	-69.79	67	18.59	74
P.D.336	11.67	32	3485.28	55	1858.03	37	-61.76	56	22.65	34
P.D.345	5.42	77	3573.52	51	1184.79	70	-76.61	74	20.88	56
P.D.364	11.30	36	3727.29	40	2265.75	23	-17.20	19	21.54	50
P.D.365	10.60	41	3256.96	64	1219.45	67	-50.41	45	19.73	69
P.D.371	5.62	74	4175.40	18	1040.50	77	-72.19	69	23.38	27
P.D.381	11.18	37	3771.41	35	2003.59	33	-30.53	30	21.93	45
SPT 403	6.27	69	2833.49	72	1256.61	65	-22.67	25	16.75	85
SPT 405	10.47	45	3829.55	31	1149.22	73	-36.36	32	22.71	33
SPT 406	6.03	70	4060.86	21	1329.27	61	-74.53	73	24.67	19
SPT 408	4.53	82	3372.32	56	799.74	85	-58.05	53	20.05	65

SPT 409	6	71	3304.09	60	916.51	81	-41.52	36	19.86	66
SPT 410	5.57	76	2009.83	87	1293.21	63	-68.32	62	14.67	88
SPT 412	4.13	86	2795.52	75	1044.86	76	-69.71	66	17.77	80
Esfahan5	5.90	73	3904.18	29	1214.62	68	-7.12	12	20.29	63
SPT 420	3.97	89	3696.79	41	433.48	3	-62.93	57	22.09	39
SPT 430	3.97	90	3653.26	45	857.77	82	-88.41	85	21.74	49
SPT 432	4.13	87	3313.93	59	952.22	79	-100.64	89	21.51	51
SPT 433	4.33	84	2820.91	73	816.56	84	-46.33	40	17.86	79
SPT 434	8.38	60	3749.07	37	1086.93	75	-49.13	44	22.27	38
SPT 436	3.97	91	3499.51	54	749.17	89	-82.15	79	21.48	52
SPT 439	4.58	81	3555.13	52	792.41	86	-77.99	76	21.83	48
SPT 441	7.50	65	2733.51	79	1384.89	58	-44.79	39	17.10	82
Esfahan2	5	79	3102.52	69	940.69	80	-77.76	75	19.11	72
SPT 413	3.43	92	2576.87	82	522.54	91	-69.45	65	16.75	84
Esfahani	4.50	83	3604.26	48	601.02	90	-47.95	43	20.40	61
Jahrom14	8.20	61	4747.25	13	1408.77	57	-36.35	31	25.82	14
Borazjan	4.13	88	3748.58	38	393.68	4	-70.87	68	22.64	35
L 16b	5.13	78	2676.53	81	842.84	83	-69.34	64	16.88	83
Balouch	4.73	80	3682.14	42	769.03	88	-65.76	59	21.95	44
Lengeh	10.17	47	3840.64	30	2060.41	30	-79.15	78	22.91	31
Saderati	5.60	75	3964.14	26	1495.98	54	-41.67	37	22.52	36
Eraghi	8.57	59	3628.54	46	1979.16	34	-59.34	55	22.00	42
Shahroudi	7.17	66	4100.50	20	507.34	92	-19.50	21	23.37	28
T.K.L	6	72	2787.05	76	1177.00	71	-85.20	80	19.20	71
L 17	14.33	22	3786.29	33	2353.36	18	-11.01	16	23.58	26
C.H.T.269-12e	15.53	19	3296.96	61	2629.40	10	-50.53	46	22.51	37
Samsun 1	19.47	13	2797.63	74	2015.26	32	-20.24	22	21.92	46
Samsun katenizi	16.75	17	4573.92	15	2329.17	20	-55.67	48	27.43	12
NSG	23		13		14		14		16	
$r_{G(A)I}$			0.59		0.54		0.027		0.63	
RHi			0.44		0.71		0.000006		0.0000019	
RE			1.17		1.078		0.054		1.264	
%CV			28.675		47.33		-87.30		23.10	

NSG: تعداد ژنوتیپ‌های برتر بر اساس شاخص انتخاب و عملکرد. $r_{G(A)I}$: ضریب همبستگی بین ارزش ژنتیکی عملکرد و شاخص انتخاب. RHi: همبستگی بین شاخص انتخاب و ارزش اصلاحی. RE: کارایی نسبی شاخص در مقایسه با انتخاب مستقیم برای عملکرد. CV%: ضریب تغییرات فنوتیپی برای شاخص‌ها.

NSG: Number of superior genotypes based on both selection index and grain yield; $r_{G(A)I}$: correlation coefficient between genotypic value of yield (Y) and selection index; RHi: correlation between selection index and breeding value; RE: relative efficiency of index compared with direct selection for yield (Y); %CV: Phenotypic coefficient of variation (CVi) for indices.