ارزیابی برخی ارقام هیبرید گوجه‌فرنگی فضای باز با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره برای اجرای برنامه‌های به‌نژادی

پیمان عینی‌زاده[۱]، حمید دهقانی[۲*] و مصطفی خدادادی[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۲۸)

چکیده

گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) یکی از گیاهان مهم خانواده سولاناسه است که در بیشتر مناطق جهان کشت می‌شود. شناسایی بهترین هیبریدهای موجود در کشور برای استفاده از آنها می‌تواند راه را برای برنامه‌های به‌نژادی هموار کند. به‌منظور شناسایی بهترین ارقام هیبرید گوجه‌فرنگی از نظر برخی ویژگی‌های عملکردی و کیفیتی مربوط به میوه و معرفی آنها برای انجام پروژه‌های به‌نژادی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس در تهران در سال ۱۳۹۶ روی ۲۰ رقم هیبرید تجاری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این تحقیق ویژگی‌های تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا شروع میوه‌دهی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های اولیه، تعداد خوشه‌های اولیه، تعداد میوه در بوته، عملکرد میوه هر بوته، شاخص کلروفیل برگ، میزان اسیدیته آب میوه، میزان هدایت الکتریکی آب میوه، میزان شوری آب میوه، میزان مواد جامد محلول، درصد بریکس و محتوای لیکوپن میوه مورد ارزیابی قرار گرفتند. هیبریدها با دو روش تحلیل خوشه‌ای به‌همراه نقشه گرافیکی هیت‌مپ و روند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process; AHP) به‌عنوان یک شاخص چندمتغیره با هم مقایسه شدند. از بین چهارده ویژگی مورد بررسی، چهار ویژگی تعداد روز تا گلدهی، شاخص کلروفیل برگ، میزان هدایت الکتریکی آب میوه و میزان شوری آب میوه به‌دلیل داشتن وراثت‌پذیری کم و همبستگی پایین فنوتیپی و ژنتیکی با عملکرد میوه حذف شده و سایر ویژگی‌ها به‌روش‌های چندمتغیره مورد ارزیابی قرار گرفتند. هیبریدهای های‌پیل ۱۰۸ و کوییتی به‌ترتیب در ویژگی محتوای لیکوپن میوه و عملکرد میوه از دیگر هیبریدها برتر بودند و همچنین این دو هیبرید دارای اسیدیته آب میوه مناسب برای فرآوری در صنایع غذایی بودند. هیبریدهای کوییتی، آدورا، برلینا و های‌پیل ۱۰۸ به‌دلیل دارا بودن بیشترین مقادیر AHP و بیشترین فاصله‌های ژنتیکی، برای کشت در مناطقی با شرایط اقلیمی تقریباً مشابه با محل اجرای آزمایش و همچنین تشکیل جمعیت اصلاحی نسل بعد مناسب‌ترین ارقام بودند. این هیبریدها نه‌تنها در عملکرد میوه، بلکه در همه ویژگی‌ها به‌طور متوسط برتر از هیبریدهای دیگر بودند.

واژه‌های کلیدی: انتخاب تک‌بوته، درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار، شاخص چندمتغیره، انتخاب غیرمستقیم، وراثت‌پذیری، هیت‌مپ

۱ و ۲. دانشجوی دکتری و استاد گروه ژنتیک و بهنژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۳. استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: dehghanr@modares.ac.ir

مقدمه

بررسی تنوع ژنتیکی برای ویژگی‌های مرتبط با عملکرد می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب مؤثر باشد و باعث افزایش کمی و کیفی محصول شود. پاسخ به انتخاب توسط گیاه بستگی به وراثت‌پذیری ویژگی‌ها و شدت انتخاب دارد. وراثت‌پذیری به دو صورت عمومی و خصوصی مطرح می‌شود که وراثت‌پذیری عمومی نسبت واریانس ژنتیکی به واریانس فنوتیپی است. از طرف دیگر، وراثت‌پذیری خصوصی به نسبت واریانس افزایشی به واریانس فنوتیپی گفته می‌شود (۱۰). به‌دلیل کمبود امکانات و منابع، به‌نژادگران مجبور هستند که تا حد امکان تعداد افراد کمتری را به نسل بعد منتقل کنند. بنابراین وجود روش‌های مختلف انتخاب با توجه به وراثت‌پذیری ویژگی‌ها می‌تواند امر مهمی در بهبود ویژگی‌های گیاهی باشد. از طرفی مشخص شده است که استفاده از شاخص پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار همراه با وراثت‌پذیری می‌تواند مؤثرتر از استفاده از وراثت‌پذیری به‌تنهایی باشد (۱۴).

مطالعات نشان می‌دهد که انتخاب مستقیم برای اکثر صفات اقتصادی از جمله عملکرد که تنوع کمی نشان می‌دهند و همچنین در برنامه‌های اصلاحی که هدف از انتخاب بهبود همزمان چندین صفت است از کارآیی بالایی برخوردار نخواهد بود (۴ و ۶). بنابراین انتخاب غیرمستقیم برای صفت اقتصادی مورد نظر (مانند عملکرد) از طریق صفاتی که دارای وراثت‌پذیری بالاتر از عملکرد هستند و همچنین همبستگی بالایی با عملکرد دارند، کارآیی بیشتری نسبت به انتخاب مستقیم خواهد داشت (۹). در این صورت وجود روش‌های چندمتغیره و یا استفاده از شاخص‌های چندمتغیره برای شناسایی بهترین افراد و استفاده از آنها در نسل‌های بعدی برای بهبود پایدار و همزمان چندین ویژگی می‌تواند حائز اهمیت باشد (۵). از این رو پژوهشگران، از روش گروه‌بندی ویژگی‌ها و ژنوتیپ‌ها و همچنین نمایش گرافیکی هیت‌مپ در سال‌های اخیر به‌وفور به‌عنوان یک روش انتخاب چندمتغیره استفاده می‌کنند (۷، ۹ و ۱۳).

تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به‌صورت تصمیم‌گیری چندمنظوره و یا تصمیم‌گیری چندشاخصه انجام شود که در سال‌های اخیر توسط پژوهشگران در زمینه‌های پژوهشی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۱۵ و ۱۹). در این راستا برخی از شاخص‌های چندمتغیره مانند روند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process; AHP) در سال‌های گذشته توسعه یافته‌اند (۲۲). استفاده از این روش ساده است و می‌تواند به پژوهشگر کمک کند تا با ترکیب معیارهای ملموس و غیرملموس بهترین تصمیم را بگیرد (۱۱ و ۲۸). در این روش ابتدا صفات اندازه‌گیری شده بر اساس اهمیت آنها نمره‌دهی می‌شوند و سپس ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی بر اساس مقادیری که در هر صفت نمره‌دهی شده دارند طبقه‌بندی و گروهبندی می‌شوند (۲۲).

از آنجایی که ویژگی عملکرد یک ویژگی چندمتغیره است و برای به‌نژادی آن باید چندین ویژگی مرتبط با آن مورد مطالعه قرار گیرد، این پژوهش با هدف شناسایی بهترین ارقام هیبرید گوجه‌فرنگی از نظر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی از بین چند هیبرید معروف مورد کشت در کشور با استفاده از دو روش تحلیل خوشه‌ای با نقشه گرافیکی هیت‌مپ و روند تحلیل سلسله مراتبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط آزمایش

به‌منظور شناسایی بهترین ارقام هیبرید گوجه‌فرنگی و بهبود همزمان و پایدار چندین ویژگی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶ در مزرعه پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد (میانگین بارندگی منطقه ۲۴۰ میلی‌متر و بافت خاک شنی لومی). در این پژوهش از ۲۰ هیبرید تجاری معمول که در بیشتر نقاط کشور مورد کشت قرار می‌گیرند استفاده شد (جدول ۱). تولید نشا در اسفندماه سال ۱۳۹۵ در گلخانه شیشه‌ای انجام شده و پس از مرحله چهار برگی، نشاها به‌صورت

جدول ۱. کد و نام ارقام هیبرید مورداستفاده در این تحقیق

کد	نام	کد	نام	کد	نام	کد	نام
۱	پتوپراید ۶	۶	های‌پیل ۱۰۸	۱۱	پی اس ۶۱۱۵	۱۶	ایدن
۲	های‌پیل ۵۱۳	۷	برلینا	۱۲	کوییننتی	۱۷	دانای
۳	آماپولا	۸	وادیستار	۱۳	زمان	۱۸	آدورا
۴	های‌پیل ۳۰۳	۹	پتوپراید ۲	۱۴	فیرنزه	۱۹	سوپرست
۵	تی ام اس جی ۶۶۹	۱۰	پتوپراید ۵	۱۵	اسپیدی	۲۰	کومودورو

جوی و پشته با فاصله ردیف‌های ۱/۵ متر و فاصله بوته روی ردیف ۰/۵ متر به مزرعه منتقل شدند. پیش از کشت ابتدا مزرعه با گاوآهن برگردان‌دار شخم خورده و پس از عملیات تسطیح جوی و پشته‌ها با ابعاد گفته شده ایجاد شد. پس از کاشت آبیاری در زمان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد تا تنشی به بوته‌ها وارد نشود و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

ویژگی‌های مورد ارزیابی و نحوه اندازه‌گیری

در این پژوهش ۱۴ ویژگی مهم و مرتبط با عملکرد میوه شامل تعداد روز تا اولین گلدهی (DFF)، تعداد روز تا اولین میوه‌دهی (DFFS)، ارتفاع بوته (PH)، تعداد شاخه‌های اولیه (PBN)، تعداد خوشه‌های اولیه (PCN)، تعداد میوه در بوته (FNPP)، عملکرد میوه هر بوته (FYPP)، شاخص کلروفیل برگ (LCI)، میزان اسیدیته آب میوه (JA)، میزان هدایت الکتریکی آب میوه (JEC)، میزان شوری آب میوه (JS)، میزان مواد جامد محلول (TDS)، درصد بریکس (TSS) و محتوای لیکوپن میوه (LC) مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ارزیابی ویژگی‌ها از هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته به تصادف انتخاب و میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده روی این بوته‌ها به‌عنوان دادهٔ هر واحد درنظر گرفته شد. همچنین پس از برداشت، برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی مربوط به میوه از هر واحد آزمایشی پنج بوته به تصادف انتخاب و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده روی میوه‌های آن به‌عنوان داده هر واحد آزمایشی درنظر گرفته شد.

شاخص کلروفیل برگ توسط دستگاه SPAD (SPAD-502 Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan) میزان اسیدیته آب میوه توسط pH متر (HANNA HI-2020, USA)، میزان هدایت الکتریکی، شوری و مواد جامد محلول آب میوه توسط EC متر (Model, CR-30, Colorado, Denver instrument) و درصد بریکس توسط رفرکتومتر دیجیتالی (GMK-701 AC, Korea) اندازه‌گیری شدند. استخراج لیکوپن به‌روش امیری و عباسی (۲) به‌کمک محلول استون: هگزان: اتانول (۱:۲:۱) انجام شد و مقدار آن توسط اسپکتروفتومتر (Shimadzu Corp., Kyoto, Japan) در طول موج ۵۰۳ نانومتر قرائت شد. سپس محتوای لیکوپن برای هر نمونه توسط رابطه ۱ به‌دست آمد:

$$LC(mg.g^{-1}) = \frac{A_{503} \times 536.9 \times V}{w \times 17.2 \times 10^4 \times 1000} \quad (۱)$$

که در آن A_{503} عدد جذب فاز غیرقطبی هگزان و لیکوپن در طول موج ۵۰۳ نانومتر، ۵۳۶/۹ وزن مولکولی لیکوپن ($g.mol^{-1}$)، V حجم فاز غیر قطبی ، w وزن نمونه (۰/۰۰۰۵ kg) و $۱۷/۲ \times ۱۰^۴$ ضریب خاموشی لیکوپن هستند.

محاسبات آماری- ژنتیکی و شاخص AHP

وراثت‌پذیری عمومی و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار (Expected Genetic Advance; EGA) برای هر ویژگی به‌کمک رابطه‌های ۲ تا ۵ محاسبه شدند:

$$\sigma_g^2 = (MSg - MSE) / r \quad (۲)$$

$$\sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_e^2 / r \quad (۳)$$

$$h_b^2 = \sigma_g^2 / \sigma_p^2 \quad (۴)$$

$$EGA\% = ((i \times h_b^2 \times \sigma_p) / \overline{X}) \times 100 \quad (۵)$$

که در این رابطه‌ها σ_g^2، σ_p^2 و σ_e^2 به‌ترتیب برآوردهای واریانس‌های ژنتیکی، فنوتیپی و خطا، MSg و MSE به‌ترتیب میانگین مربعات ژنتیکی و خطا، r تعداد تکرار، h_b^2 وراثت‌پذیری عمومی، σ_p برآورد انحراف معیار فنوتیپی، $\overline{X}$ میانگین کل ویژگی، EGA پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار و i شدت گزینش با درنظر گرفتن انتخاب ۱۰ درصد افراد برابر با ۱/۷۶ است (۱۰).

همبستگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی به روش هلند (۱۲) محاسبه شدند. سپس ویژگی‌هایی که وراثت‌پذیری و پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار بالایی داشتند و همچنین همبستگی ژنتیکی آنها با ویژگی عملکرد میوه و ویژگی‌های مرتبط با کیفیت میوه بالا بود شناسایی شدند و از آنها برای تجزیه خوشه‌ای ویژگی‌ها و هیبریدها، ترسیم نقشه گرافیکی هیت‌مپ و محاسبه شاخص AHP استفاده شد.

لازم به ذکر است که دلیل استفاده از ویژگی‌های با وراثت‌پذیری قابل ملاحظه و همبستگی بالا با عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با کیفیت، تأثیرپذیری کم این ویژگی‌ها از محیط و افزایش اطمینان از نتیجه این تحلیل برای نسل‌های بعد بود. پس از استاندارد کردن داده‌ها گروه‌بندی هیبریدها و ویژگی‌ها به‌روش وارد و هوک (۲۵) و ضریب مربع فاصله اقلیدسی انجام شد و نقشه هت‌مپ مربوطه ترسیم شد. سپس شاخص AHP در سه مرحله به‌شرح زیر محاسبه شد:

الف) زیر هم چینی ویژگی‌ها و هیبریدها (شکل ۱). بر اساس هدف انجام پژوهش ابتدا ویژگی‌های مورد بررسی و در زیر آنها ژنوتیپ‌های مورد مقایسه قرار داده می‌شوند. از آنجایی که همه ویژگی‌ها روی همه ژنوتیپ‌ها اندازه‌گیری شده‌اند بنابراین یک خط از هر ویژگی به هر ژنوتیپ رسم می‌شود.

ب) تشکیل ماتریس‌های مقایسه دو به دوی هیبریدها بر اساس هر کدام از ویژگی‌های استاندارد شده و محاسبه بردار ویژه ماتریس‌های حاصل. هر کدام از درایه‌های بردار ویژه این ماتریس وزن مربوط به ژنوتیپ متناظر با آن درایه در ویژگی مورد نظر است.

ج) محاسبه شاخص AHP برای هر هیبرید با کنار هم چینی بردارهای ویژه و محاسبه حاصل‌جمع درایه‌های متناظر در هر بردار.

لازم به ذکر است که ماتریس مقایسه دو به دو ماتریسی مربعی است که تعداد ردیف‌های آن برابر با تعداد هیبریدها است و به‌ازای هر ویژگی یک ماتریس مقایسه دو به دو تشکیل می‌شود. در این ماتریس‌ها رابطه زیر برقرار است (رابطه ۶)؛

$$A_{ij} = 1 / A_{ji} \quad (۶)$$

اگر به‌جای استفاده از اعداد صحیح ۱ تا ۹ از خود داده‌ها به‌عنوان ارزش هر هیبرید در هر ویژگی برای مقایسه هیبریدها استفاده شود در این صورت ماتریس مقایسه دو به دو برای هر ویژگی یک ماتریس کاملاً سازگار خواهد بود (۱ و ۲۱). ماتریس سازگار ماتریسی است که رابطه زیر در آن صادق باشد (رابطه ۷)؛

$$\forall i, j, k; A_{ij} \times A_{jk} = A_{ik} \quad (۷)$$

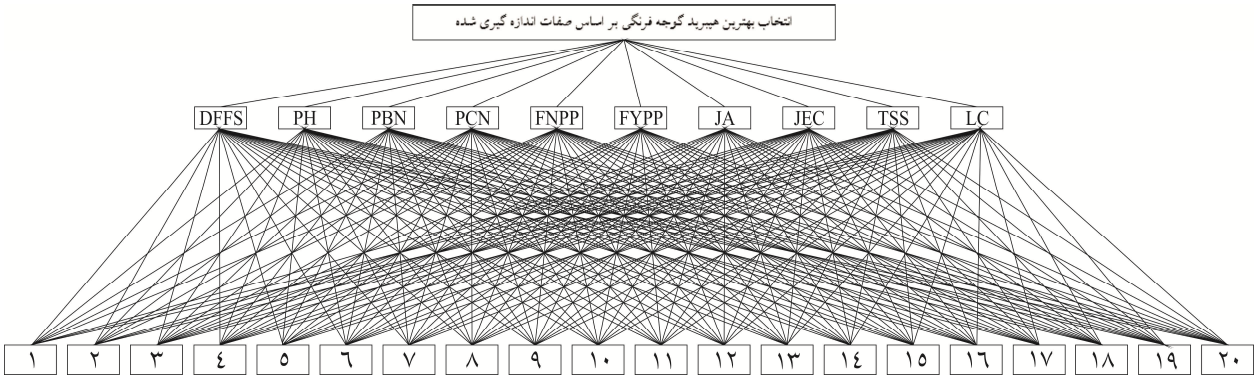
(به‌ازای هر مقدار عددی دلخواه برای i، j و k (هر سه این اعداد کوچک‌تر یا مساوی با تعداد سطر یا ستون ماتریس هستند)؛ حاصل‌ضرب درایهٔ با سطر i و ستون j و درایهٔ با سطر j و ستون k برابر با درایهٔ با سطر i و ستون k می‌شود.)

برای انجام تجزیه واریانس، برآوردهای وراثت‌پذیری عمومی، درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار، همبستگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی و محاسبه شاخص AHP از نرم‌افزار MATLAB ver. R2016a (۲۶) استفاده شد. همچنین برای انجام تجزیه‌های خوشه‌ای و ترسیم نقشه گرافیکی هیت‌مپ از نرم‌افزار metaboanalyst 3.0 (۲۷) استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و برآورد وراثت‌پذیری عمومی و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای ویژگی‌های مرتبط با عملکرد و کیفیت

با توجه به تجزیه واریانس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده روی



شکل ۱. زیرهم چینی ویژگی‌ها و هیبریدها برای به‌دست آوردن شاخص AHP

DTFS، تعداد روز تا شروع میوه‌دهی؛ PH، ارتفاع بوته؛ PBN، تعداد شاخه‌های اولیه؛ PCN، تعداد گروه‌های اولیه ؛ FNPP، تعداد میوه در بوته؛ FYPP، عملکرد میوه هر بوته؛ JA، میزان اسیدیته آب میوه؛ JEC، میزان هدایت الکتریکی آب میوه؛ TSS، درصد بریکس و LC، محتوای لیکوپن میوه (اعداد ۲۰-۱ هیبریدهای مورد بررسی هستند.)

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس و برآورد وراثت‌پذیری عمومی و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در ارقام هیبرید مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	MS						
		DFF	DFFS	PH	PBN	PCN	FNPP	FYPP
تکرار	۲	۸۲/۲	۱۵/۰۵	۱۳/۹۵	۱/۲۷	۲۷/۹۵	۶۳/۶۵	۰/۱
ژنوتیپ	۱۹	۱۲۲/۷۵**	۱۴۷/۰۷**	۱۱۶/۳۵**	۹/۳۸**	۶۷۷/۱۴**	۲۹۶/۷۵**	۰/۸۶*
خطا	۳۸	۱۲/۵۴	۱۴/۵۶	۱۹/۴۲	۲/۱۶	۷۹/۳۹	۳۸/۴۷	۰/۴۸
h_b^2		۰/۹	۰/۹	۰/۸۳	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۴۵
EGA%		۱۳/۱۶	۱۲/۱۸	۱۶/۲۳	۱۸/۶۱	۴۹/۱۴	۶۵/۳	۳۱/۴۵

ادامه جدول ۲.

منابع تغییر	درجه آزادی	MS						
		LCI	JA	JEC	TDS	JS	TSS	LC
تکرار	۲	۱۳/۹۶	۰/۱۲	۰/۸۹	۱/۲۵	۰/۷۱	۰/۲۳	۰/۲۴
ژنوتیپ	۱۹	۷۹/۸۳*	۱/۱۳**	۳/۳۹**	۰/۹۲	۱/۱۴	۸/۱۳**	۱/۴۰**
خطا	۳۸	۱۱/۵۴	۰/۴۱	۰/۹۵	۰/۴۷	۰/۶۳	۱/۳۹	۰/۲۹
h_b^2		۰/۸۶	۰/۶۴	۰/۷۲	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۸۳	۰/۷۹
EGA%		۱۳/۲۶	۱۴/۶۳	۲۲/۹۵	۱۵/۴۹	۱۴/۵۷	۴۰/۰۴	۱۰۲/۵۷

* و **به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

DFF، تعداد روز تا گلدهی؛ DFFS، تعداد روز تا شروع میوه‌دهی؛ PH، ارتفاع بوته؛ PBN، تعداد شاخه‌های اولیه؛ PCN، تعداد گروه‌های اولیه؛ FNPP، تعداد میوه در بوته؛ FYPP، عملکرد میوه هر بوته؛ LCI، شاخص کلروفیل برگ؛ JA، میزان اسیدیته آب میوه؛ JEC، میزان هدایت الکتریکی آب میوه؛ JS، میزان شوری آب میوه؛ TDS، میزان مواد جامد محلول؛ TSS، درصد بریکس، LC، محتوای لیکوپن میوه؛ h_b^2، وراثت‌پذیری عمومی و EGA%، درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار

هیبریدهای مورد بررسی اختلاف ژنوتیپ‌ها بر اساس بیشتر ویژگی‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

بنابراین وجود این اختلاف بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین هیبریدها است.

مقادیر وراثت‌پذیری و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار با یک نسل انتخاب با شدت ۱۰ درصد در جدول ۲ درج شده است. ویژگی‌های تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا شروع میوه‌دهی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های اولیه در بوته، شاخص کلروفیل برگ و میزان اسیدیته آب میوه دارای وراثت‌پذیری بالا و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار به‌نسبت پایینی بودند. نتایج نشان داد که احتمالاً این ویژگی‌ها بیشتر به‌صورت ژنتیکی و به‌کمک ژن‌های با اثر غالبیت کنترل می‌شوند (۱۶).

ویژگی‌های تعداد گروه، تعداد میوه، EC آب میوه، درصد بریکس و محتوای لیکوپن میوه دارای وراثت‌پذیری و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار بالا بودند (جدول ۲). بنابراین احتمالاً ژن‌های با اثر افزایشی مسئول کنترل این ویژگی‌ها هستند که درنتیجه انتخاب می‌تواند هم باعث افزایش ژن‌های مناسب در نسل‌های بعد و هم باعث بهبود این ویژگی‌ها شوند. نتایج این آزمایش از نظر وراثت‌پذیری و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار ویژگی‌ها ارتفاع بوته، عملکرد و تعداد شاخه‌های اولیه با تحقیقات پیشین مطابقت داشت (۳، ۲۰ و ۲۳). همچنین سینک و شیما (۲۴) برای درصد بریکس و میزان اسیدیته آب میوه وراثت‌پذیری بالایی مشاهده کردند. در تحقیق دیگری وراثت‌پذیری بالایی برای محتوای لیکوپن میوه مشاهده شد (۱۸).

عملکرد میوه، وراثت‌پذیری و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار متوسطی داشت که احتمالاً انتخاب می‌تواند تا حدی در بهبود این ویژگی مؤثر باشد. در پژوهش کومار و همکاران (۱۷) درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای عملکرد ۴۳/۲۴ محاسبه شد درحالی که وراثت‌پذیری برای این ویژگی ۰/۹۷ محاسبه شده بود که برای درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار نتایج مشابهی با تحقیق حاضر داشت اما وراثت‌پذیری بیشتر از تحقیق حاضر برآورد شده بود که می‌تواند به‌دلیل تفاوت در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه باشد. ویژگی‌های شوری و مواد جامد محلول آب میوه دارای وراثت‌پذیری و درنتیجه درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار پایینی بودند که نشان‌دهنده تأثیر بالای عوامل محیطی بر این ویژگی‌ها است. همچنین این ویژگی‌ها تنوع قابل ملاحظه‌ای در بین هیبریدهای مورد بررسی نشان ندادند و در تجزیه واریانس اثر ژنوتیپ معنی‌دار نبود.

برآورد همبستگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی برای ویژگی‌ها مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه

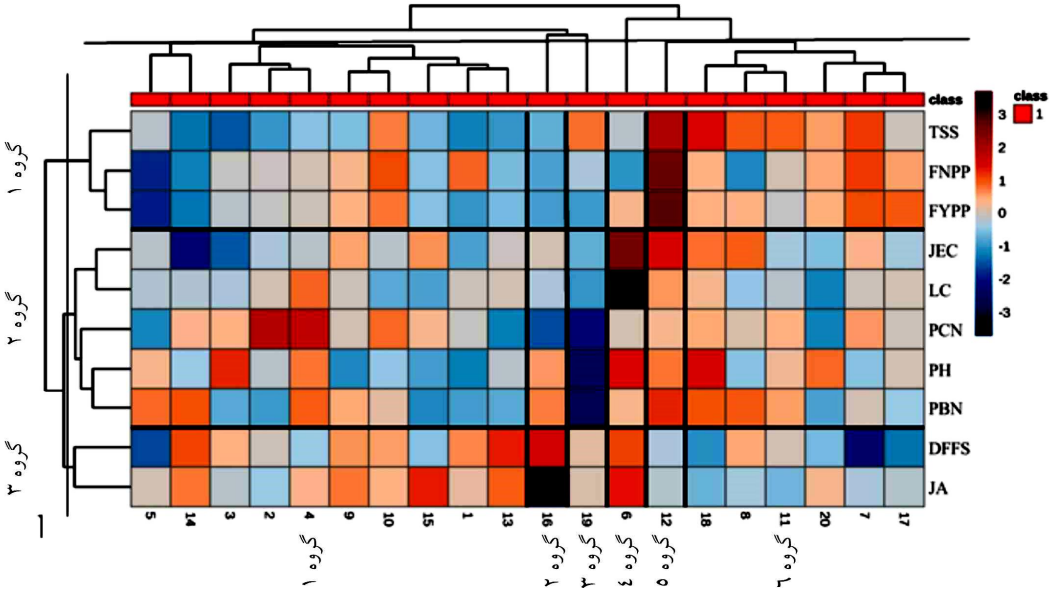
با توجه به اینکه صفات زراعی نظیر عملکرد دارای توارث پیچیده‌ای هستند، توسط تعداد زیادی ژن کنترل و تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند. از این‌رو انتخاب غیرمستقیم یعنی گزینش از طریق صفات دیگر، صفات دارای وراثت‌پذیری بالا و همبستگی ژنتیکی قوی با عملکرد اقتصادی، کارآیی بیشتری نسبت به انتخاب مستقیم خواهد داشت. برآورد همبستگی‌های ژنتیکی و فنوتیپی برای همه ویژگی‌ها در جدول ۳ مشاهده می‌شود. به‌جز ویژگی‌های تعداد روز تا گلدهی، اسیدیته آب میوه، شاخص کلروفیل برگ و محتوای لیکوپن میوه سایر ویژگی‌ها یا همبستگی ژنتیکی و یا همبستگی فنوتیپی به‌نسبت بالایی با عملکرد میوه داشتند؛ از طرفی ویژگی‌های تعداد روز تا گلدهی، اسیدیته آب میوه و شاخص کلروفیل برگ همبستگی بالایی با درصد بریکس و محتوای لیکوپن میوه هم نداشتند (جدول ۳). مقادیر برابر با یک به‌جز در قطر اصلی در واقع مقادیر بسیار نزدیک به یک هستند که در نرم‌افزار به‌صورت گرد شده آمده است. در این موارد کوواریانس ژنتیکی صفات بسیار نزدیک به حاصل‌ضرب انحراف معیار ژنتیکی آنها بوده و این بدان معنا است که در ژنوتیپ‌های مورد بررسی تغییرات این صفات بسیار هماهنگ با هم بوده و می‌توانند معیار مناسبی برای گزینش غیرمستقیم باشند.

در تحقیق دسوزا و همکاران (۸) و کومار و همکاران (۱۷) روی گیاه گوجه‌فرنگی، همبستگی ژنتیکی بالایی بین تعداد میوه در بوته و تعداد گروه در بوته با عملکرد میوه مشاهده شد و همچنین در تحقیقی دیگر همبستگی بالایی بین صفات تعداد میوه در بوته،

جدول ۳. همبستگی‌های ژنتیکی (بالای قطر) و فنوتیپی (پایین قطر) ویژگی‌ها و خطای معیار مربوطه داخل پرانتز

	DFF	DFFS	PH	PBN	PCN	FNPP	FYPP	LCI	JA	JEC	TDS	JS	TSS	LC
DFF	۱/۰۰	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۲۸*	۰/۱۴	−۰/۲۰	−۰/۰۹	−۰/۲۱	۰/۳۶**	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۰۸	−۰/۱۰	۰/۲۸
DFFS	۰/۰۵	۱/۰۰	−۰/۱۰	۰/۰۰	−۰/۱۷	−۰/۱۰	−۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	−۰/۰۱	۰/۰۴	−۰/۳۱**	۰/۱۳
PH	۰/۳۴	−۰/۰۶	۱/۰۰	۰/۴۱	۰/۲۰	−۰/۰۲	۰/۱۴	−۰/۰۶	−۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۳**	۰/۰۰	۰/۳۲**
PBN	۰/۳۸	−۰/۰۱	۰/۶۷**	۱/۰۰	۰/۲۴	−۰/۰۱	۰/۲۴**	−۰/۱۵	−۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۱۷	۰/۲۳*	۰/۱۷	۰/۱۸
PCN	۰/۱۸	−۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۴۲**	۱/۰۰	۰/۲۳	۰/۳۱**	−۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۲	−۰/۰۱	−۰/۰۳	۰/۱۵
FNPP	−۰/۲۰	−۰/۳۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۳۴	۱/۰۰	۰/۵۰**	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۳۸**	−۰/۰۲
FYPP	−۰/۰۶	−۰/۵۵	۰/۵۶*	۰/۴۱	۰/۴۲	۱/۰۰**	۱/۰۰	۰/۰۳	−۰/۰۴	۰/۳**	۰/۲۵**	۰/۲۴*	۰/۳۵**	۰/۰۷
LCI	−۰/۳۴	۰/۰۷	−۰/۱۷	−۰/۲۹	−۰/۴۵**	۰/۳۳	۰/۱۱	۱/۰۰	−۰/۰۶	۰/۰۱	−۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۱	−۰/۰۶
JA	۰/۶۷**	۰/۰۰	−۰/۳۳	−۰/۲۳	۰/۲۳	−۰/۰۶	۰/۰۹	−۰/۰۹	۱/۰۰	−۰/۰۷	−۰/۱۱	−۰/۰۳	−۰/۲۲*	۰/۱۶
JEC	۰/۲۱	−۰/۱۰	۰/۴۰*	۰/۳۰	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۹۱**	۰/۰۶	۰/۳۰	۱/۰۰	۰/۶۵**	۰/۵۹**	۰/۴۸**	۰/۳۸**
TDS	۰/۳۲	−۰/۱۰	۰/۷**	۰/۴۶	۰/۰۸	۰/۱۸	۱/۰۰**	۰/۲۲	۰/۴۸	۱/۰۰**	۱/۰۰	۰/۵۲**	۰/۳۵**	۰/۴۱**
JS	۰/۴۱	−۰/۱۳	۰/۴۰	۰/۴۵	۰/۱۴	۰/۲۴	۱/۰۰**	۰/۰۹	۰/۳۴	۱/۰۰**	۱/۰۰**	۱/۰۰	۰/۱۹	۰/۳**
TSS	−۰/۲۲	−۰/۵۶**	۰/۱۲	۰/۲۸	−۰/۰۴	۰/۵۵	۱/۰۰**	۰/۰۰	−۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۶۴	۰/۸۸**	۱/۰۰	−۰/۰۴
LC	۰/۳۸	۰/۲۰	۰/۶۱**	۰/۵۱**	۰/۳۳	−۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۸۴**	۰/۹۲**	۱/۰۰**	−۰/۰۱	۱/۰۰

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، DFF، تعداد روز تا گل‌دهی؛ DFFS، تعداد روز تا شروع میوه‌دهی؛ PH، ارتفاع بوته؛ PBN، تعداد شاخه‌های اولیه؛ PCN، تعداد گروه‌های اولیه؛ FNPP، تعداد میوه در بوته؛ FYPP، عملکرد میوه هر بوته؛ LCI، شاخص کلروفیل برگ؛ JA، میزان اسیدیته آب میوه؛ JEC، میزان هدایت الکتریکی آب میوه؛ JS، میزان شوری آب میوه؛ TDS، میزان مواد جامد محلول؛ TSS، درصد بریکس و LC، محتوای لیکوپن میوه



شکل ۲. تجزیه خوشه‌ای ویژگی‌ها، هیبریدها و نقشه گرافیکی هیت‌مپ، DTFS، تعداد روز تا شروع میوه‌دهی؛ PH، ارتفاع بوته؛ PBN، تعداد شاخه‌های اولیه؛ PCN، تعداد گروه‌های اولیه ؛ FNPP، تعداد میوه در بوته؛ FYPP، عملکرد میوه هر بوته؛ JA، میزان اسیدیته آب میوه؛ JEC، میزان هدایت الکتریکی آب میوه؛ TSS، درصد بریکس و LC، محتوای لیکوپن میوه (اعداد ۲۰-۱ هیبریدهای مورد بررسی هستند.)

محتوای لیکوپن میوه، ارتفاع بوته و تعداد شاخه اولیه با عملکرد گزارش شد.

از آنجایی که ویژگی اسیدیته آب میوه یک ویژگی مربوط به کیفیت میوه است و با توجه به وراثت‌پذیری بالا امکان انتخاب برای بهبود این ویژگی وجود دارد، بنابراین برای تجزیه‌های چندمتغیره حفظ شد. ویژگی‌های شوری و مواد جامد محلول آب میوه به‌دلیل وراثت‌پذیری و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار پایین و ویژگی‌های شاخص کلروفیل برگ و تعداد روز تا گلدهی به‌دلیل نبود همبستگی معنی‌دار با ویژگی‌های عملکردی و کیفیتی برای انجام تجزیه‌های چندمتغیره و تشکیل شاخص AHP به‌منظور انتخاب غیرمستقیم حذف شدند.

نقشه گرافیکی هیت‌مپ و تجزیه خوشه‌ای هیبریدها و ویژگی‌های مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه

پس از استانداردسازی داده‌ها سه تحلیل چندمتغیره شامل تجزیه خوشه‌ای ویژگی‌ها، تجزیه خوشه‌ای هیبریدها و نقشه گرافیکی هیت‌مپ انجام شد (شکل ۲). در این شکل ویژگی‌ها در سه گروه و ارقام هیبرید در ۶ گروه قرار گرفتند. چهار هیبرید هایپیل ۱۰۸ (کد ۶)، کوییتی (کد ۱۲)، ایدن (کد ۱۶) و سوپرست (کد ۱۹) هر کدام به‌تنهایی یک گروه تشکیل دادند. تنوع مشاهده شده در رنگ‌های خانه‌های هیت‌مپ نشان‌دهنده این اختلاف است. هیبرید هایپیل ۱۰۸ (کد ۶) دارای مقدار بالایی لیکوپن در میوه بود و این موضوع با توجه به نام این هیبرید که برای مصارف فرآوری و پوست‌کنی اصلاح شده است، دارای پوست ضخیمی بوده و بیشترین مقدار لیکوپن نیز در پوست میوه وجود دارد. هیبرید کوییتی (کد ۱۲) از نظر عملکرد و تعداد میوه در سطح بالاتری نسبت به دیگر هیبریدها قرار داشت. این دو هیبرید همچنین اسیدیته بیشتری داشتند که از نظر گوجه‌فرنگی‌هایی که مصرف صنعتی دارند یک ویژگی مهم محسوب می‌شود. هیبرید هایپیل ۱۰۸ (کد ۶) از نظر عملکرد میوه و هیبرید کوییتی (کد ۱۲) از نظر محتوای لیکوپن

میوه هیبریدهای کاملاً متوسطی بودند. از طرفی هیبریدهای ایدن (کد ۱۶) و سوپرست (کد ۱۹) به‌نظر برای بیشتر ویژگی‌ها دارای مقادیر پایین‌تری بودند و از این نظر از سایر هیبریدها متمایز شدند. گروه اول شامل هیبریدهای پتوپراید ۶ (کد ۱)، های‌پیل ۵۱۳ (کد ۲)، آماپولا (کد ۳)، های‌پیل ۳۰۳ (کد ۴)، تی ام اس جی ۶۶۹ (کد ۵)، پتوپراید ۲ (کد ۹)، پتوپراید ۵ (کد ۱۰)، زمان (کد ۱۳)، فیرنزه (کد ۱۴) و اسپیدی (کد ۱۵) که اغلب از نظر صفات عملکردی و کیفی ژنوتیپ‌های متوسط رو به پایینی بودند و از نظر صفات فنولوژیکی هم اغلب دیررس بودند. بنابراین احتمال گزینش ژنوتیپ مناسب از این گروه پایین بود. گروه ششم شامل هیبریدهای برلینا (کد ۷)، وادیستار (کد ۸)، پی اس ۶۱۱۵ (کد ۱۱)، دانای (کد ۱۷)، آدورا (کد ۱۸) و کومودورو (کد ۲۰) بود که در مورد صفات عملکردی و کیفتی میوه در شرایط بهتری نسبت به گروه اول قرار داشته و در عین حال اغلب این هیبریدها نیز دیررس بودند. در میان هیبریدهای موجود در این گروه می‌توان گفت که هیبریدهای برلینا (کد ۷) و دانای (کد ۱۷) بر اساس ویژگی‌های مورد بررسی موقعیت بهتری نسبت به سایرین داشتند.

برای مشخص کردن بهترین هیبریدها بر اساس همه ویژگی‌های مورد بررسی به‌صورت کمی و همچنین مشخص کردن فاصله ژنتیکی آنها بر اساس این ویژگی‌ها از روش AHP به‌عنوان یک شاخص چندمتغیره استفاده شد.

ارزشیابی هیبریدهای مورد بررسی از نظر عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه به‌کمک شاخص AHP

گفتنی است که مقادیر پایین برای برخی از ویژگی‌ها مانند تعداد روز تا تشکیل میوه و میزان اسیدیته آب میوه برای ژنوتیپ‌ها حائز اهمیت است. بنابراین از نظر این ویژگی‌ها به‌جای داده‌های اصلی از انحراف دادهٔ هر رقم از بیشترین داده مربوط به آن ویژگی استفاده شد که با این کار هدف انتخاب برای همه ویژگی‌ها یکسان و در جهت افزایش آنها باشد.

وزن‌های مربوط به هیبریدها در هر ویژگی (درایه‌های بردار ویژه هر ماتریس مقایسه دو به دو) و مقدار AHP برای هیبریدها در جدول ۴ مشخص شده است. به‌ترتیب هیبریدهای کوییتی (کد ۱۲)، آدورا (کد ۱۸)، برلینا (کد ۷) و های‌پیل ۱۰۸ (کد ۶) بیشترین امتیازها را داشته و از نظر جمیع ویژگی‌ها بهترین هیبریدها بودند. همچنین ملاحظه می‌شود که دو هیبرید برلینا (کد ۷) و دانای (کد ۱۷) که در گروه ۶ تجزیه خوشه‌ای قرار داشتند در این روش پتانسیل خود را به نمایش گذاشته و بالاتر از برخی هیبریدهای دیگر قرار گرفتند. دو هیبرید ایدن (کد ۱۶) و سوپرست (کد ۱۹) که در تجزیه خوشه‌ای در گروه‌های جداگانه قرار گرفته بودند کمترین مقادیر AHP را داشته و جزء ضعیف‌ترین هیبریدها به‌شمار می‌آمدند. از آنجایی که ویژگی‌های استفاده شده برای محاسبه این شاخص بر اساس همبستگی با عملکرد و وراثت‌پذیری انتخاب شده‌اند بنابراین، می‌توان گفت که انتخاب بر اساس این شاخص هم دارای تأثیر مستقیم روی عملکرد است و هم به‌طور غیرمستقیم از طریق سایر ویژگی‌ها روی عملکرد میوه تأثیر دارد.

با توجه به جدول ۴ می‌توان هیبریدهایی که بیشترین فاصله ژنتیکی را بر اساس ویژگی‌های مورد بررسی داشتند مشخص کرد. اختلاف در مقادیر AHP در واقع فاصله ژنتیکی بیشتر بین هیبریدها را نشان می‌دهد. در این پژوهش هیبریدهای کوییتی (کد ۱۲)، آدورا (کد۱۸)، برلینا (کد ۷) و های‌پیل ۱۰۸ (کد ۶) به‌عنوان بهترین هیبریدها، بیشترین فاصله ژنتیکی را با هیبریدهای سوپرست (کد ۱۹)، فیرنزه (کد ۱۴) و زمان (کد ۱۳) داشتند. بنابراین برای انجام مطالعات مربوط به فاصله ژنتیکی، هیبریدهای کوییتی (کد ۱۲) و سوپوست (کد ۱۹) به‌عنوان دورترین هیبریدها از نظر ژنتیکی بر اساس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معرفی می‌شوند. با توجه به مطالب گفته شده از روش AHP می‌توان برای انتخاب تک‌بوته در نسل‌های در حال تفرق استفاده کرد و بهترین بوته‌های هر لاین را شناسایی کرد. همچنین با استفاده از میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در بوته‌های هر لاین می‌توان بهترین لاین را نیز شناسایی و برای تشکیل جمعیت اصلاحی نسل بعدی از آن استفاده کرد.

جدول ۴. نتایج وزن‌های اولیه مربوط به هر ویژگی و مقدار شاخص AHP هیبریدهای مورد بررسی بر اساس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده

هیبریدها	کد	DTFS	H	PBN	PCN	FN	Yld	pH	EC	TSS	LC	مقادیر AHP
پتوپراید ۶	۱	-۰/۱۵	-۰/۲۷	-۰/۲	-۰/۰۲	۰/۲	-۰/۲۲	-۰/۰۴	-۰/۱۹	-۰/۲۶	-۰/۰۱	-۱/۱۶
هایپیل ۵۱۳	۲	۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۲۱	-۰/۰۲	۰/۴۳	-۰/۰۲	۰/۱	-۰/۰۷	-۰/۲۱	۰/۰۱	-۰/۰۲
آماپولا	۳	-۰/۰۹	۰/۳	-۰/۱۸	۰/۰۹	-۰/۰۲	-۰/۰۳	۰/۰۴	-۰/۳۴	-۰/۳۴	-۰/۰۷	-۰/۶۴
هایپیل ۳۰۳	۴	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۴	۰	-۰/۰۱	-۰/۰۸	-۰/۰۴	-۰/۱۲	۰/۲	۰/۸۴
تی ام اس جی ۶۶۹	۵	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۱۹	-۰/۲۶	-۰/۴۱	-۰/۴۲	۰	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۵	-۰/۵۸
هایپیل ۱۰۸	۶	-۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۰۷	۰/۰۱	-۰/۲۳	۰/۰۷	-۰/۳۱	۰/۵۷	-۰/۰۴	۰/۸۵	۱/۰۷
برلینا	۷	۰/۵	-۰/۱۱	۰	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۲۶	-۰/۰۱	۱/۴۱
وادیستار	۸	-۰/۱۱	-۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۰۱	-۰/۲۵	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۲۲	-۰/۱	۰/۲۵
پتوپراید ۲	۹	-۰/۱۴	-۰/۲۵	۰/۱	۰	۰/۰۷	۰/۰۹	-۰/۱۸	۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۰۱	-۰/۳۲
پتوپراید ۵	۱۰	-۰/۱۲	-۰/۱	۰/۰۴	۰/۲	۰/۲۵	۰/۱۸	-۰/۰۸	-۰/۰۴	۰/۱۷	-۰/۱۷	۰/۳۱
پی اس ۶۱۱۵	۱۱	۰	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۹	۰	-۰/۰۳	۰/۱۴	-۰/۰۸	۰/۲۱	-۰/۰۳	۰/۴۸
کوییتی	۱۲	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۳	۰/۰۶	۰/۶	۰/۶۳	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۱۳	۲/۸
زمان	۱۳	-۰/۳	-۰/۰۳	-۰/۱۷	-۰/۲۸	-۰/۱۳	-۰/۱۴	-۰/۲۲	-۰/۰۲	-۰/۲۲	۰/۰۱	-۱/۵
فیرنزه	۱۴	-۰/۲۵	-۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۰۷	-۰/۲۷	-۰/۲۹	-۰/۱۸	-۰/۴۸	-۰/۳	-۰/۰۵	-۱/۵۹
اسپیدی	۱۵	۰/۱۲	-۰/۲	-۰/۲۵	۰/۰۷	-۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۳	۰/۱۴	-۰/۱۴	-۰/۱۹	-۰/۹۹
ایدن	۱۶	-۰/۳۷	۰/۱۳	۰/۱۷	-۰/۳۵	-۰/۱۹	-۰/۲	۰/۷۸	۰	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۲۶
دانای	۱۷	۰/۲۹	۰/۰۱	-۰/۰۹	-۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۰۵	-۰/۰۸	-۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۵۱
آدورا	۱۸	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۰۶	۱/۸۲
سوپرست	۱۹	-۰/۰۳	-۰/۵۷	-۰/۶	-۰/۴۷	-۰/۰۷	-۰/۲۱	-۰/۰۲	-۰/۱۶	۰/۱۸	-۰/۲۲	-۲/۱۷
کومودورو	۲۰	۰/۱۴	۰/۲	-۰/۱۹	-۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۱	-۰/۰۶	-۰/۱۲	۰/۱۲	-۰/۲۷	-۰/۲۴

DTFS، تعداد روز تا شروع میوه‌دهی؛ H، ارتفاع بوته؛ PBN، تعداد شاخه‌های اولیه؛ PCN، تعداد گروه‌های اولیه ؛ FN، تعداد میوه در بوته؛ Yld، عملکرد میوه هر بوته؛ pH، میزان اسیدیته آب میوه؛ EC، میزان هدایت الکتریکی آب میوه؛ TSS، درصد بریکس و LC، محتوای لیکوپن میوه

نتیجه‌گیری کلی

نتایج تجزیه واریانس و برآوردهای وراثت‌پذیری عمومی و درصد پیشرفت ژنتیکی مورد انتظار برای همه ویژگی‌ها به‌جز میزان شوری و مواد جامد محلول آب میوه نشان داد که انتخاب می‌تواند در بهبود آنها مؤثر باشد. به‌دلیل پایین بودن وراثت‌پذیری ویژگی عملکرد، انتخاب غیرمستقیم بر اساس ویژگی‌های وابسته به کیفیت و عملکرد میوه پیشنهاد شد. به‌دلیل پایین بودن همبستگی دو ویژگی شاخص کلروفیل برگ و تعداد روز تا گلدهی با ویژگی‌های مربوط به عملکرد و کیفیت از آنها برای انتخاب غیرمستقیم استفاده نشد. بنابراین از ۱۰ ویژگی با وراثت‌پذیری و همبستگی بالا با کیفیت و عملکرد میوه برای تجزیه‌های چندمتغیره و تشکیل شاخص AHP استفاده شد. نتایج به‌نسبت مشابهی بین هر دو روش چندمتغیره از نظر گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها به‌دست آمد ولی روش AHP به‌دلیل نشان دادن ارزش ارقام به‌صورت ضریب عددی، با دقت بالاتری توانست اختلاف بین آنها را نشان دهد. درنهایت مشخص شد که به‌ترتیب هیبریدهای کوییتی (کد ۱۲)، آدورا (کد۱۸)، برلینا (کد ۷) و هایپیل ۱۰۸ (کد ۶) دارای بیشترین مقادیر شاخص AHP بودند.

بزرگی این شاخص نشان‌دهنده مناسب بودن ژنوتیپ مورد

بررسی در انتخاب برای افزایش عملکرد میوه است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که برای تشکیل جمعیت‌های اصلاحی نسل بعد به‌دلیل تجمع ویژگی‌های مطلوب به‌ویژه ویژگی عملکرد میوه از این چهار هیبرید استفاده شود. این هیبریدها بیشترین فاصله ژنتیکی از لحاظ ویژگی‌های مرتبط با عملکرد و کیفیت میوه را با هیبریدهای سوپرست (کد ۱۹)، فیرنزه (کد ۱۴) و زمان (کد ۱۳) (با کمترین مقادیر شاخص AHP) داشتند. بنابراین برای انجام مطالعات مربوط به فاصله ژنتیکی هیبریدهای کوییتی (کد ۱۲) و سوپرست (کد ۱۹) به‌عنوان دورترین هیبریدها از نظر ژنتیکی بر اساس ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معرفی می‌شوند.

منابع مورد استفاده

1. Alonso, J. A. and M. T. Lamata. 2006. Consistency in the analytic hierarchy process, a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 14: 445-459.
2. Amiri-Rigi, A. and S. Abbasi. 2016. Microemulsion-based lycopene extraction: Effect of surfactants, co-surfactants and pretreatments. *Food Chemistry* 197: 1002-1007.
3. Basavaraj, N., R. M. Hosamani and B. C. Patil 2010. Genetic variability in tomato (*Solanum lycopersicon* [Mill]. Wettsd.). *Journal of Agricultural Science* 23: 536-537.
4. Blum, A. 2011. Plant Breeding for Water Limited Environments. Boca Raton, FL. Springer.
5. Brčić-Kostić, K. 2010. Quantitative Genetics and Evolution. *Periodicum Biologorum* 112: 395-402.
6. Clarke, J. M., I. Romagosa and R. M. Depauw. 1991. Screening durum wheat germplasm for dry growing conditions: morphological and physiological criteria. *Crop Science* 31: 770-775.
7. Dai, Z. W., C. Léon, R. Feil, J. E. Lunn, S. Delrot and E. Gomès. 2013. Metabolic profiling reveals coordinated switches in primary carbohydrate metabolism in grape berry (*Vitis vinifera* L.), a non-climacteric fleshy fruit. *Journal of Experimental Botany* 64: 1345-1355.
8. de Souza, L. M., P. C. T. Melo, R. R. Luders and A. M. T. Melo. 2012. Correlations between yield and fruit quality characteristics of fresh market tomatoes. *Horticultura Brasileira* 30: 627-631.
9. Eynizadeh, P., H. Dehghani and M. Khodadadi. 2018. Selection and breeding of Iranian drought tolerant endemic coriander ecotypes based on univariate and multivariate indices. *Journal of Crop Production and Processing* 8(3): 99-111. (In Farsi).
10. Falconer, D. S. and T. F. Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. Elsevier.
11. Ghodsypour, S. H. and C. O'Brien. 1998. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics* 56: 199-212.
12. Holland, J. B. 2006. Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. *Crop Science* 46: 642-654.
13. Hugo, W., J. M. Zaretsky, L. Sun, C. Song, B. H. Moreno, S. Hu-Lieskovan, B. Berent-Maoz, J. Pang, B. Chmielowski and G. Cherry. 2016. Genomic and transcriptomic features of response to anti-PD-1 therapy in metastatic melanoma. *Cell* 165: 35-44.
14. Johnson, H. W., H. F. Robinson and R. E. Comstock. 1955. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agronomy Journal* 47: 314-318.
15. Keshtkar, A. R., H. Shariatmadari, H. R. Naseri and M. Tazeh. 2018. Application of analytical hierarchy process (AHP) in watershed management (Case study: Nahrein catchment, Tabas). *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources* 21: 29-42.
16. Khodadadi, M., H. Dehghani, M. Jalali-Javaran, S. Rashidi-Monfared and J. T. Christopher. 2016. Numerical and graphical assessment of relationships between traits of the Iranian *Coriandrum sativum* L. core collection by considering genotype × irrigation interaction. *Scientia Horticalture* 200: 73-82.
17. Kumar, A., K. R. Reddy, K. S. V. R. Reddy, S. R. Pandravada and P. Saidaiah. 2017. Heritability studies in dual purpose tomato genotypes for growth, yield and quality attributes. *Plant Archives* 16(2): 885-889.
18. Kumar, V., R. Nandan, K. Srivastava, S. K. Sharma, D. R. Godwal and A. Kumar. 2013. Genetic parameters and correlation study for yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Archives* 12(1): 554-561.
19. Pohekar, S. D. and M. Ramachandran, 2004. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8: 365-381.
20. Reddy, B. R., D. S. Reddy, K. Reddaiah and N. Sunil. 2013. Studies on genetic variability, heritability and genetic advance for yield and quality traits in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 2: 238-244.
21. Saaty, R. W. 1980. The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resources Allocation. McGraw:

New York.
22. Saaty, R. W. 1987. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling* 9: 161-176.
23. Shankar, A., R. Reddy, M. Sujatha and M. Pratap. 2013. Genetic variability studies in F1 generation of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science* 4: 31-34.
24. Singh, H. and D. S. Cheema. 2005. Studies on genetic variability and heritability for quality traits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under heat stress conditions. *Journal of Applied Horticulture* 7: 55-57.
25. Ward Jr, J. H. and M. E. Hook. 1963. Application of an hierarchical grouping procedure to a problem of grouping profiles. *Educational and Psychological Measurement* 23: 69-81.
26. Works, M. 1995. MATLAB [computer software]. Stanford. USA.
27. Xia, J. and D. S. Wishart. 2016. Using MetaboAnalyst 3.0 for Comprehensive Metabolomics Data Analysis. *Current Protocols in Bioinformatics* 25: 10-14.
28. Yahya, S. and B. Kingsman. 1999. Vendor rating for an entrepreneur development programme: a case study using the analytic hierarchy process method. *Journal of the Operational Research Society* 50: 916-930.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 10, No. 4, Winter 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Some Field-Grown Tomato Hybrids Using Multivariate Statistical Methods for Breeding Programs

P. Eynizadeh[1], H. Dehghani[2*] and M. Khodadadi[3]

(Received: December 07-2018; Accepted: July 18-2020)

Abstract

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the important horticultural crop species world-wide. Identifying superior genotypes with a high yield and acceptable fruit quality can pave the way for breeding programs. In order to identify the best tomato cultivars for some of fruit quality and yield related traits, a 3-replicate experiment with 20 commercial tomato hybrids in randomized complete block design was conducted in research field of Tarbiat Modares University in Tehran, in 2017. The examined traits included number of days to flowering, number of days to first fruit-set, plant height, number of primary branches, number of primary clusters, number of fruits per plant, fruit yield per plant, leaf chlorophyll index, fruit juice acidity, fruit electrical conductivity, water salinity, total dissolved solids, percentage of brix and fruit lycopene content. Hybrids were compared by two methods of the heatmap clustering and the analytical hierarchy process as a multivariate indicator. Among the 14 tested traits, four traits including number of days to flowering, leaf chlorophyll index, water salinity, and total dissolved solids, indicated low heritability and genotypic/phenotypic correlation with fruit yield and hence were denied for multivariate analysis. Hybrids Hypeel 108 and Queenty were superior to the other hybrids in fruit lycopene content and fruit yield, respectively, and both hybrids had an acceptable fruit juice acidity for processing in the food industry. Hybrids Queenty, Adora, Berlina, and Hypeel 108 indicated the highest AHP values and the highest genetic distances. Thus, they were found to be the most suitable genotypes for cultivating in areas with similar climatic conditions and formation of next breeding generation. These hybrids were superior to other hybrids, not only in fruit yield but also in a great majority of the traits.

Keywords: Single Plant Selection, Genetic Advance Percentage, Multivariate Index, Indirect Selection, Heritability, Heatmap

1, 2. PhD Student and Professor, Respectively, Plant Genetics and Breeding Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*: Corresponding Author, Email: dehghanr@modares.ac.ir