نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹
۲۴۳-۲۶۲
http://jopp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jopp.2020.16165.2464

ارزیابی صفات کمی و کیفی در برخی از ژنوتیپ‌های توت‌فرنگی با راهکار PLS-PM

مجید شاه‌محمدی[۱]، *علی آرمینیان[۲]، عبدالرحمان محمدخانی[۳] و امیر عزیزیان[۴]

[۱]دانشجوی دکتری گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه شهرکرد، ایران،
[۲]استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ایلام، ایران،
[۳]دانشیار علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهرکرد، ایران،
[۴]مربی مدیریت سازمان جهاد کشاورزی، دیواندره، کردستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: تعیین ارتباط بین ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و زیست-شیمیایی (کیفی)، جهت حصول افزایش تولید و کیفیت محصولات باغی از جمله توت‌فرنگی ضرورت دارد. با گذشت زمان، راهکارهای آماری متنوعی جهت درک روابط واقعی متغیرها ظهور پیدا کرده و راهکارهای آماری قدیمی‌تر، به‌تدریج جای خود را به انواع جدید، به‌دلیل برآورد و حصول علمی‌تر و مطمئن‌تر نتایج داده‌اند. در این بین، راهکار جدید PLS-PM به‌دلیل روش نوین و نتایج معتبر و جذاب‌تر، کاربرد زیادی نسبت به روش‌های آماری قدیمی دارد. هدف از این پژوهش، بررسی ارتباط میان صفات ریخت‌شناسی و زیست-شیمیایی (کیفی) با عملکرد میوه توت‌فرنگی و شناسایی مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد میوه و تعیین میزان نسبی نقش هر یک از آن‌ها به‌منظور یافتن شاخص‌های مهم گزینش در اصلاح گیاه توت‌فرنگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: صفات ریخت‌شناسی شامل گل، میوه، کیفی (زیست-شیمیایی) و عملکرد در ۸ ژنوتیپ توت‌فرنگی طی ٤ سال در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مطالعه گردید. از راهکارهای مختلف آماری همانند برآورد ضرایب همبستگی، رگرسیون گام‌به‌گام، تجزیه مسیر ساده و جهت درک دقیق‌تر روابط، الگوریتم تحلیل داده‌ها با راهکار پیشرفته PLS-PM (شامل آلفای کرونباخ، ضرایب بار عاملی، معناداری ضرایب مسیر و ضریب تبیین، نیکویی برازش و بارهای عاملی متقاطع) استفاده گردید.

یافته‌ها: با وجود تنوع ژنتیکی بین ارقام، بین عملکرد میوه با ویژگی‌های میوه، تعداد برگ، ویژگی‌های گل‌آذین و تعداد طوقه در بوته و نیز بین اندازه میوه و میزان آنتوسیانین همبستگی بالا و مثبتی مشاهده شد. تعداد گل‌آذین، اندازه و حجم و تعداد میوه، تاریخ تشکیل ساقه‌رونده و طول دوره گلدهی ۸۸/۳ درصد از تغییرات عملکرد را تبیین و مهم‌ترین اجزاء آن شناخته شدند. تعداد وحجم میوه بیش‌ترین اثر مستقیم را بر افزایش عملکرد میوه داشتند. گل‌دهی، بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد میوه داشته و سپس صفات ریخت‌شناختی بیش‌ترین تأثیر را بر صفات زیست-شیمیایی و گل‌آذین داشتند. اندازه و حجم میوه، بیش از بقیه، تحت‌تأثیر صفات ریخت‌شناختی بود.

* مسئول مکاتبه: a.arminian@ilam.ac.ir

نتیجه‌گیری: در این پژوهش، از راهکارهای آماری مختلفی جهت درک ارتباطات صفات با ماهیت متفاوت توت‌فرنگی استفاده گردید، که هیچ‌کدام به اندازه راهکار جدید ولی ناشناخته PLS-PM نشان‌دهنده تأثیر مهم صفات گل‌دهی در افزایش عملکرد میوه توت‌فرنگی نبود. با به‌کارگیری روش جدید PLS-PM در مقایسه با روش‌های قدیمی آماری و با انجام دسته‌بندی صفات، با توجه به ماهیت متفاوت آن‌ها، نتیجه گرفته شد که در بحث افزایش عملکرد میوه توت‌فرنگی، صفات گل‌دهی از بقیه صفات موردنظر، مؤثرتر بوده و صفات ریختی شامل ارتفاع گل‌آذین، تعداد برگ، طول گوشوارک، تعداد طوقه، تاریخ شروع و تعداد ساقه‌رونده و سطح برگ نیز از جمله صفات تأثیرگذار بوده که بر اساس آن‌ها می‌توان برنامه‌های اصلاحی و تولید اقتصادی توت‌فرنگی را مدیریت نمود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مسیر، چندمتغیره، ریخت‌شناسی، زیست- شیمیایی، PLS

مقدمه

عدم توجه کافی به ارتباط بین صفات متعدد در برنامه‌های اصلاحی، ممکن است نتایج مطلوبی را به همراه نداشته باشد (۱۱). تعیین همبستگی و روابط علت و معلولی بین عملکرد میوه و اجزاء آن، به به‌نژادگران فرصت می‌دهد تا مناسب‌ترین ترکیب اجزاء منتهی به عملکرد بالا را انتخاب نمایند (۱۷). اما گاهی ضرایب همبستگی رابطه بین صفات را به‌صورت کاملاً مشخص نشان نمی‌دهد، زیرا روابط مستقیم و غیرمستقیم بین صفات، ممکن است از طریق صفات دیگر خنثی شوند (۲۸). هم‌چنین به‌دلیل وجود همبستگی منفی بین برخی از صفات مؤثر بر عملکرد، انتخاب بر اساس همبستگی ساده به تنهایی کاملاً مطمئن نبوده و ضرورتاً اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها با راهکار تجزیه مسیر (علیت) تعیین می‌گردند (۱۶). در تجزیه مسیر، می‌توان تعداد زیادی متغیر دسته اول[1] و دوم[2] را هم‌زمان بررسی نمود (۳۹) که انتخاب متغیرها طبق روابط علت و معلولی، دانش قبلی محقق از ارتباط موجود در بین متغیرها، روابط فیزیولوژیکی بین صفات و یا با رگرسیون مرحله‌ای انجام می‌شود (۳۱). جهت بررسی عملکرد و اجزای عملکرد دانه یا میوه و روابط بین این ویژگی‌ها و نیز استخراج اثرات مستقیم و غیرمستقیم اجزاء عملکرد بر یکدیگر و نیز گزینش غیرمستقیم صفات وابسته به عملکرد در انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول، راهکار تجزیه مسیر به‌کار گرفته شده است (۷، ۱۹، ۲۱ و ۲۳).

بیش‌تر مطالعات انجام‌شده در کشاورزی با روش‌های معمول و متداول (سنتی) آماری مانند تجزیه ضرایب مسیر رایت[3] انجام شده که معایب زیادی داشته است و بنابراین تمامی صفات مورد مطالعه به‌صورت هم‌زمان و یا مرحله‌ای ولی بدون درنظرگرفتن ماهیت ذاتی آن‌ها به‌صورت متغیرهای مستقل یا برون‌زا، بر صفت وابسته نهایی همانند عملکرد تأثیر گذاشته و ممکن است برخی از صفاتی که بر عملکرد نهایی به‌صورت مستقیم تأثیرگذار نیستند (همانند صفات زیست-شیمیایی)، نیز وارد شده که چنین استنباط می‌شود که چنین صفات یا متغیرهایی از اهمیت کم‌تری برخوردارند. هر چند که در راهکار تجزیه مسیر زنجیری، متغیرها یا صفات به‌صورت زنجیروار بر هم تأثیر گذاشته و در نهایت برخی نیز بر صفت وابسته نهایی تأثیرشان بررسی می‌شود (٤٤). این راهکار، بهتر از راهکار ساده بوده ولی بازهم کارایی راهکار پیشرفته PLS-PM را ندارد. بنابراین استفاده از حداقل مربعات‌جزئی[4]، معایب روش‌های قدیمی‌تر

1- Exogenous
2- Endogenous
3- Sewal wright
4- PLS: partial least squares

را نداشته و تحت عنوان نسل دوم روش‌های مدل‌یابی معادلات ساختاری نامیده شده است و افق نوینی را به روی پژوهشگران باز نموده و به‌عنوان روشی جایگزین بر روش‌های OLS رگرسیون، رگرسیون متعارف، و مدل‌یابی معادلات ساختاری (SEM)[1] در تحقیقاتی شامل متغیرهای مستقل و وابسته، استفاده می‌شود. روش PLS مبتنی بر مؤلفه و در موارد زیر به‌کار می‌رود: بررسی تاثیر چند متغیر مستقل بر یک یا چندین متغیر وابسته بدون برقراری پیش‌فرضیات رگرسیون مثل عدم نرمالیت توزیع فراوانی متغیرها، تعدد متغیرهای مستقل و مشکل تشخیص متغیرهای مؤثر، وجود هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل (مشکل رایج در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یا PCA)، کم بودن حجم نمونه. هم‌چنین PLS زمانی که هدف پژوهشگر پیش‌بینی یا مدل‌سازی اکتشافی باشد به‌کار رفته و حتی در مقابل داده‌های گم‌شده نیز پایداری دارد. راهکار PLS از نظر تفاوت فنی با دیگر روش‌های رگرسیونی، به‌جای در نظر گرفتن متغیرهای مستقل، با استفاده از راهکار PCA متغیرهای مستقل را در چند عامل کلی دسته‌بندی نموده به‌طوری‌که این عوامل بیش‌ترین تغییرات متغیرهای وابسته را تفسیر می‌نمایند[2]. راهکار PLS به‌دلیل‌های مختلفی از جمله عدم وابستگی زیاد به اندازه نمونه و مقیاس اندازه‌گیری و توزیع باقی‌مانده، از روش‌های قدرتمند تحلیل مسیر می‌باشد که دلیل عدم استفاده آن را می‌توان نبود برنامه‌های رایانه‌ای دانست (۲).

توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* L.)، گیاه علفی دائمی تیره Rosaceae و از جنس *Fragaria* بوده که مهم‌ترین گونه آن *F. ananassa* L. می‌باشد (۳۲). رائو و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی روابط صفات مختلف توت‌فرنگی دریافتند که بیش‌ترین همبستگی مثبت عملکرد به‌ترتیب با عرض میوه، طول میوه و تعداد گل در بوته بود (۲۹). وب و همکاران (۱۹۷٤) نیز بیان داشتند عرض میوه توت‌فرنگی بیش‌ترین اثر مستقیم را با عملکرد دارد و تعداد گل در بوته در جایگاه دوم قرار گرفته و پیشنهاد نمودند که در برنامه‌های اصلاحی بهبود عملکرد میوه، بهتر است به عرض میوه و تعداد گل در بوته توجه نمود (٤۳). بیسواس و همکاران (۲۰۰۸) نیز معتقدند در اصلاح صفات به‌منظور بهبود عملکرد، باید بیش‌تر بر صفاتی همانند تعداد میوه در بوته و وزن میوه توجه نمود (۱۲). به‌عنوان نمونه، رابطه مثبت عملکرد با وزن میوه، تعداد آکن در میوه، طول میوه و تعداد گل (۲۹)، رابطه مثبت عملکرد با تعداد میوه، تعداد گل‌آذین و تعداد برگ (۲۵) و نیز رابطه مثبت و معنی‌دار عملکرد با ارتفاع گیاه، تعداد برگ، تعداد ساقه‌رونده، تعداد گل، تعداد میوه و تعداد گره در ساقه (٤) در توت‌فرنگی، به کرات گزارش گردیده است.

در این رابطه عرب‌طاژان‌دره و همکاران (۲۰۱٦a و ۲۰۱٦b) با بررسی گروه‌بندی ۲۰ ژنوتیپ توت‌فرنگی برای خصوصیات مورفو- فنولوژیکی، بیان نمودند که هدف اصلی از روش‌های چندمتغیره، گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بوده و در بررسی ارتباطات صفات، صرفاً از راهکار تجزیه مسیر و رگرسیون حداقل مربعات عمومی استفاده نموده که معایبی دارند (۵ و ٦). ازجمله، صفاتی همانند کیفی/زیست-شیمیایی و عملکرد با هم در یک مؤلفه قرار گرفته که قرابت چندانی با هم نداشته و کم بودن مقدار سهم مؤلفه مذکور (۲۹/۵۷ درصد) نیز گواه این مدعاست. این پژوهشگران، عنوان نمودند که در راهکار PCA، مؤلفه اول فقط ۲۹/۵۷ و ٤ مؤلفه اول، حداکثر ٦۸/٦۲ درصد از تغییرات کل را توجیه نموده که مقدار خیلی کمی است. مؤلفه اول دربرگیرنده کلروفیل‌های a، b و

۱- راهکار SEM بر خلاف روش‌های معمول آماری چندمتغیره همانند تحلیل عاملی، به بررسی مجموعه‌ای از روابط همبستگی به‌طور همزمان می‌پردازد.

2- http://www.tahlil-amari.com

ab، میزان آنتوسیانین و عملکرد و مؤلفه دوم نیز گل‌دهی و خصوصیات میوه‌دهی را دربر گرفته که همگن نیستند و بنابراین به‌کارگیری راهکاری که عوامل همگن را در کلاس‌های مشابهی قرار دهد، ارزش زیادی خواهد داشت، راهکاری همانند PLS-PM که هم جدید بوده و هم مشکلات راهکارهای قبلی را نداشته و در پژوهش حاضر به‌کار رفت، زیرا راهکاری (PLS-PM) جدید و معتبر بوده و هم این‌که دسته‌بندی صفات را براساس ماهیتشان انجام می‌دهد. به‌عنوان نمونه، صفات زیست-شیمایی همیشه با هم و صفات ریختی نیز با هم قرار می‌گیرند که منطقی است. راهکار ابتدایی PLS در پژوهش‌های پژوهشگران داخلی (۱، ۸ و ۳۸) استفاده گردیده است. هم‌چنین وو و همکاران (۲۰۱۸) نیز در علوم وابسته به کشاورزی از راهکار PLS-PM استفاده نموده‌اند (٤٥).

هدف از این پژوهش، بررسی ارتباط میان صفات ریخت‌شناسی و زیست-شیمیایی (کیفی) با عملکرد میوه توت‌فرنگی و شناسایی مهم‌ترین صفات موثر بر عملکرد میوه و تعیین میزان نسبی نقش هر یک از آن‌ها به‌منظور یافتن شاخص‌های مهم گزینش در اصلاح گیاه توت‌فرنگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تعداد هشت ژنوتیپ توت‌فرنگی: Kurdistan، Merak، Selva و Camarosa (از شهرستان مریوان) و Pajaro، Parus، Queen elisa و Gaviota (از شهرستان هشتگرد) تهیه و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌مدت چهار سال در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد، مطالعه گردید. پس از کاشت و استقرار نشاها در اواسط آبان ماه در خاک، با شروع رشد رویشی بوته‌ها در بهار، عملیات داشت از جمله آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز، کوددهی، مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام شد و برخی صفات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی همانند زمان رسیدن، وزن میوه، عملکرد میوه در بوته، اندازه میوه، تعداد ساقه‌رونده از هر بوته در طی فصل رویشی، تراکم گلدهی (تعداد گل‌آذین در هر بوته و تعداد گل و میوه در هر گل‌آذین)، یادداشت شدند. نظر به این‌که در توت‌فرنگی عملکرد محصول از سال دوم تا چهارم افزایش می‌یابد و سپس، به‌تدریج کاهش می‌یابد، بنابراین این طرح برای مدت ٤ سال ادامه یافت تا برآورد صحیحی از عملکرد محصول در منطقه به‌دست آمده و اطلاعات چهار سال در هم ترکیب و تجزیه و تحلیل گردد.

جهت تحلیل مسیر با راهکار PLS، تعداد ۲۲ ویژگی ریخت‌شناسی/زیست-شیمیایی توت‌فرنگی بر اساس ماهیتشان به ٦ بلوک دسته‌بندی‌شده و در شبکه‌ای ارتباطی به برآورد اثرات هر متغیر مستقل بر متغیرهای وابسته به آن اقدام گردید. تعداد ٥ بلوک ویژگی تأثیرگذار (تحت‌تأثیر) و یا مکنون[1] برون‌زا[2] و و بقیه از نوع مکنون درون‌زا[3] و یک متغیر وابسته یا پاسخ نهایی (عملکرد) وجود دارد (شکل ۱). هم‌چنین، شاخص حشو (افزونگی)[4]، درصد واریانس متغیرهای نشانگر را در یک بلوک برون‌زا اندازه می‌گیرد که از طریق متغیرهای مکنون مستقل و مرتبط با متغیر مکنون درون‌زا قابل پیش‌بینی بوده و منعکس‌کننده قابلیت مجموعه‌ای از متغیرهای مکنون مستقل است تا میزان تغییرات متغیر مکنون وابسته را تبیین نماید. در هر دو حالت معمول و با خودگردان‌سازی یا بازنمونه‌گیری (بوتستراپ)[5] به برآورد اثرات عوامل و نیز خطای معیار و معنی‌دار

1- Latent
2- Exogenous
3- Endogenous
4- Redundancy
5- Bootstrap

بودن اثرات پرداخته شد. روش PLS-PM مبتنی بر فرضیات و توزیع خاصی نیست، بنابراین برآورد سطوح معنی‌داری متغیرهای آن نیز میسر نبوده و باید از روش‌های خودگردان‌سازی یا بازنمونه‌گیری همانند بوتستراپ جهت درک متغیرهای واقعی آن استفاده نمود.

بلوک یا گروه اول تحت عنوان ریخت‌شناسی (Morpho)، صفات یا نشانگرهای ریختی شامل FH: ارتفاع گل‌آذین، LN: تعداد برگ، PL: طول گوشوارک، PC: تعداد طوقه، RD: تاریخ شروع ساقه‌رونده، RN: تعداد ساقه‌رونده، LA: سطح برگ.

بلوک دوم تحت عنوان زیست-شیمیایی (Bioch)، شامل Cha: کلروفیل a، Chb: کلروفیل b، Chab: کلروفیل a و b با هم و Ant: آنتوسیانین.

بلوک سوم تحت عنوان گل‌آذین (Inf)، شامل INN: تعداد گل‌آذین و FPIN: تعداد گل در گل‌آذین.

بلوک چهارم تحت عنوان گل‌دهی (Flower)، شامل DFL: روز تا گلدهی، FLP: دوره یا دامنه گلدهی.

بلوک پنجم تحت عنوان میوه‌دهی (Fruit) شامل: DFT: زمان میوه‌دهی، FS: اندازه میوه، FRP: دوره میوه‌دهی، FV: حجم میوه، FPS: تعداد میوه در بوته و FW: وزن میوه.

بلوک ششم تحت عنوان عملکرد (Yield) یا صفت وابسته نهایی، صرفاً شامل عملکرد یا YLD.

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

اندازه‌گیری کلروفیل: آزمایش به روش تغییر یافته آرنون انجام شد، بدین‌صورت که از هر تکرار در هر رقم مقدار ۰/۱ گرم برگ تهیه شد. هر کدام از نمونه‌ها با ۰/۲ گرم پودر اکسیدمنگنز (MgO) در هاون چینی کاملاً ساییده و با اضافه کردن استون ۸۰ درصد، حجم نمونه به ۱۰ سی‌سی رسید سپس نمونه همگن گردید. نمونه‌ها با ۳۵۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۳ دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب نور عصاره حاصل با اسپکتروفتومتر (مدل JENWAY 6505 UV/Vis مدل ٦٥٠٥ ساخت کشور فرانسه[1]) در طول موج ٦٦٣ و ٦٤٥ نانومتر تعیین گردید. غلظت کلروفیل a، b و مجموع آن‌ها (بر حسب میلی‌گرم کلروفیل در هر گرم وزن تر برگ) به‌دست آمد (۲۰).

کل مواد جامد محلول (TSS)[2]: از عصاره میوه رسیده (بیش از ۹۰ درصد قرمزی) با دستگاه رفرکتومتر[3] دستی اندازه‌گیری گردید.

آنتوسیانین میوه: آنتوسیانین، با استفاده از استون خالص، اتر ۹۷٪، استخراج و از فاز قرمز رنگ آن در دو لوله آزمایش هر کدام به‌میزان یک میلی‌لیتر ریخته و سپس به آن کلرید پتاسیم (KCl) ۰/۰۲۵ مولار و ٤ میلی‌لیتر استات سدیم (NaOOH) ۰/٤ مولار (pH=٤/٥) اضافه شده و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان آنتوسیانین موجود در میوه تعیین شد (۱۸). در توت‌فرنگی حداکثر جذب آنتوسیانین در محدوده ۵۱۰ تا ۵۲۰ نانومتر است.

تعداد گل‌آذین، طول دوره گل‌دهی، طول دوره میوه‌دهی، تعداد کل میوه در هر بوته و تعداد ساقه‌رونده: چنین صفات ریخت‌شناسی و نموی از ویژگی‌های مهم توت‌فرنگی بوده که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند.

تعداد و اندازه سطح برگ: شمارش تعداد برگ و اندازه‌گیری سطح آن‌ها در هر بوته در پایان برداشت

1- www.jenway.fr
2- Total soluble solids
3- Refractometer

میوه انجام گرفت. هم‌چنین سطح برگ بالغ به‌وسیله دستگاه مساحت سنج اندازه‌گیری شد.

متوسط اندازه (حجم)، وزن میوه: جهت محاسبه متوسط اندازه (حجم) میوه‌ها به سانتی‌مترمکعب از روش جابه‌جایی مقدار حجم آب درون ظرف استفاده گردید. وزن میوه‌ها از طریق توزین با ترازوی دیجیتال به‌دست آمد.

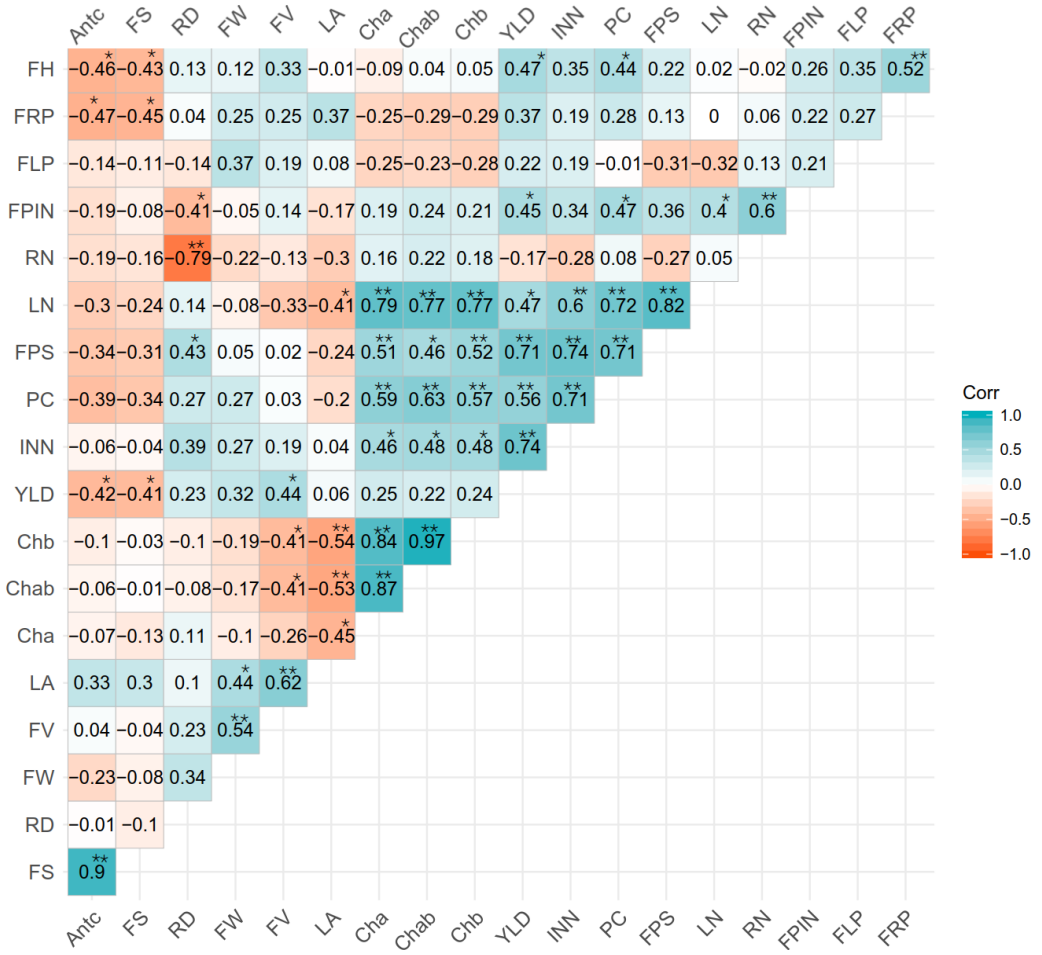
جهت بررسی ارتباط بین صفات مختلف با همبستگی پیرسونی و تعیین مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار، از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده گردیده و صفاتی که وارد مدل شدند به‌عنوان اجزاء عملکرد در نظر گرفته شدند. به‌منظور بررسی دقیق‌تر ارتباط صفات، از تجزیه ضرایب مسیر به روش PLS-PM استفاده شد. شاخص آلفای کرونباخ، نشان می‌دهد که بلوکی از متغیرها (اندیکاتورها یا نشانگرهای اندازه‌گیری‌شده) تا چه حد، متغیرهای Latent یا مکنون مربوطه را توجیه نموده است و نوعی همبستگی متوسط بین‌متغیری در میان متغیرهای یک بلوک می‌باشد. البته برآورد درست آن، به داده‌های استاندارد و با همبستگی مثبت نیازمند است که همیشه تحقق نمی‌یابد (۳۳). پارامتر RHO مربوط به Dillon-Goldstein نیز، میزان تک‌بعدی بودن یک بلوک را نشان داده و معادل واریانس جمع متغیرهای یک بلوک خاص است. به‌صورت عام، میزان rho هر بلوک تک‌بعدی، بیش از ۰/۷، نسبت به آلفای کرونباخ معتبرتر است. تجزیه و تحلیل‌های آماری و ترسیم نمودارها و اشکال و تحلیل مسیر با استفاده از محیط و زبان برنامه‌نویسی R (https://cran.r-project.org)، صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، صفت‌های تعداد برگ، سطح برگ، مقدار کلروفیل، تعداد ساقه‌رونده، شروع تولید ساقه‌رونده، تعداد گل‌آذین، طول آذین، تعداد گل در گل‌آذین، طول دوره گلدهی، طول دوره میوه‌دهی، تعداد میوه در بوته، وزن میوه، اندازه میوه، حجم میوه، عملکرد بوته، مقدار مواد جامد محلول میوه (TSS) و میزان آنتوسیانین میوه اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) با یکدیگر داشتند. این اختلاف، بیانگر وجود تنوع ژنتیکی و اصالت ارقام بوده و این‌که ارقام توت‌فرنگی از لحاظ نیازهای بوم‌شناختی بسیار اختصاصی عمل می‌کنند. اثر سال برای بیش‌تر ریخت‌شناسی- فنولوژیکی و کلروفیل و عملکرد بوته معنی‌دار بود و نشان‌دهنده اثر محیط بر اغلب صفات از جمله عملکرد بود. در این رابطه، مطالعات متعددی در زمینه اثر شرایط محیطی بر توت‌فرنگی نشان داده که محیط تأثیرات زیادی بر روی صفات این گیاه دارد (۹ و ۳۵). هم‌چنین، همبستگی بین صفات (جدول ۱) نشان داد که تعداد میوه در هر بوته، حجم میوه، طول دوره میوه‌دهی، تعداد برگ، تعداد گل‌آذین، تعداد گل در گل‌آذین، طول گل‌آذین و تعداد طوقه در بوته با عملکرد همبستگی مثبت معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) داشت.

جدول ۱- ماتریس ضرایب و شدت همبستگی پیرسونی بین ۲۲ صفت بررسی شده.

Table 1. Pearson correlation and intensity coefficient between 22 traits assayed.



$(P>0.05)^{ns}$، $(P<0.05)^{*}$، $(P<0.01)^{**}$.

در این جدول، رنگ آبی پررنگ به ضرایب مثبت و معنی‌دار و قرمز به ضرایب منفی اشاره دارد. هرچه شدت رنگ بیش‌تر باشد مقدار ضریب همبستگی قوی‌تر است.

بین عملکرد میوه و تعداد میوه (۰/۷۱**) و تعداد گل‌آذین (۰/۷٤**) بیش‌ترین همبستگی مثبت مشاهده شد. بین عملکرد با: تعداد گل در گل‌آذین (۰/٤٥*)، تعداد برگ (۰/٤۷*) و تعداد طوقه (۰/٥٦**) نیز همبستگی متوسطی وجود داشته که بر اهمیت و تأثیر چنین صفاتی بر افزایش عملکرد میوه این گیاه اشاره و تأکید دارد. در این رابطه، گزارش شده (۱۳، ۱٤ و ٤۲) که در توت‌فرنگی بین صفت تعداد طوقه در بوته و عملکرد ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود دارد. با توجه به پیچیدگی روابط بین صفات، به تنهایی از همبستگی بین اجزای عملکرد برای بهبود آن نمی‌توان استفاده نمود (۱۷). در انار گزارش شده (۳۰) که بین وزن میوه با صفات حجم میوه و وزن یک‌صد آریل و هم‌چنین بین حجم میوه با صفات عملکرد، مواد جامد محلول، شاخص طعم میوه، ویتامین ث و آنتوسیانین ارتباط مثبت و معنی‌دار وجود داشته است. در پژوهش مذکور، بین عملکرد میوه با شاخص طعم میوه، ویتامین ث، وزن و حجم میوه و میزان

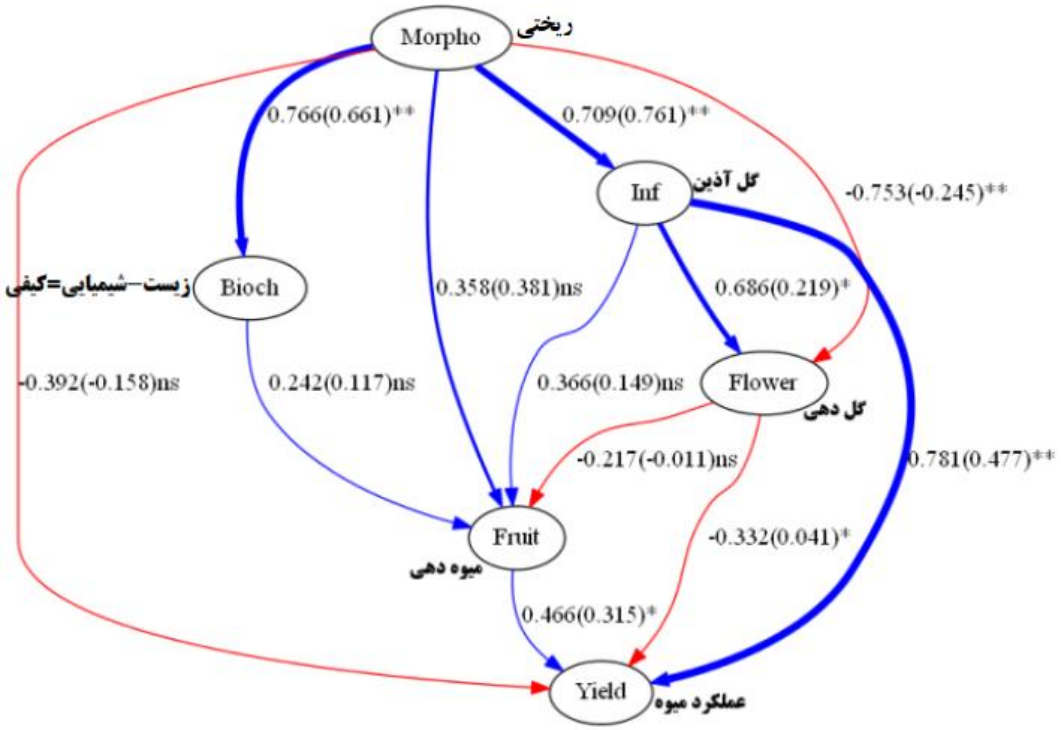
آنتوسیانین ارتباط مثبت و معنی‌داری مشاهده گردید. مویر و همکاران (۲۰۰۲) و نیز رشنونژاد و همکاران (۲۰۱۷) در گزارش‌هایی به بررسی رابطه بین صفاتی ازجمله آنتوسیانین، ظرفیت آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنولی در درختان میوه پرداختند (۲٤ و ۳۰). مویر و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی تعداد ۱۰۸ ژنوتیپ از میوه‌های دانه‌ریز شامل زغال‌اخته (*Cornus mas* L.)، کشمش‌سیاه (از خانواده انگور با جنس *Vitis vinifera* L.) و شاه‌توت (*Morus nigra* L.) گزارش نمودند که رابطه مثبت و قوی (r=۰/۸٤) بین اندازه میوه و میزان آنتوسیانین وجود داشت که البته نتایج ضد و نقیض در میوه‌های مختلف دانه‌ریز، به نوع ژنوتیپ و گزینش‌های پیشرفته اصلاحی آن بستگی دارد. به‌طوری‌که به‌عنوان مثال، کشمش سیاه بدون هسته برای صدها سال تحت فشار گزینشی بوده، درحالی‌که زغال‌اخته‌های بوته‌بلند، مدت زمان زیادی نیست که گسترش یافته‌اند (۲٤).

در پژوهش حاضر بین طوقه (تعداد) و عملکرد رابطه مثبت و معنی‌داری (**۰/۵٦) مشاهده شد که به نقش مثبت طوقه در توت‌فرنگی در افزایش عملکرد میوه تأکید دارد. در این رابطه، طاووسی و شاهین‌رخسار (۲۰۱۱) با بررسی رشد توت‌فرنگی در شرایط مختلف کشت بدون خاک گزارش نمودند که قطر طوقه، شاخص خوبی از عملکرد است. هم‌چنین گزارش گردیده (۲۲ و ۲٦) که با افزایش قطر طوقه، تعداد میوه در توت‌فرنگی افزایش پیدا می‌کند. پژوهشگران دیگری نیز (۳، ۱۳ و ۱٤) بر رابطه مثبت و معنی‌دار اندازه یا قطر طوقه در توت‌فرنگی بر عملکرد میوه و حتی کیفیت آن اشاره نموده‌اند.

در خصوص رابطه غیرمعنی‌دار و یا معکوس دوره گلدهی و عملکرد، بیان شده (٤٦) که کاشت زودهنگام یا تأخیر، بر رشد گیاه مؤثر بوده و باعث اثرات منفی بر رشد سلول‌ها و تغییرات روند عادی فعالیت آن‌ها شده و در نهایت منجر به تأخیر در رشد رویشی و گلدهی گردیده است. هم‌چنین گزارش شده (٤۷) که کاشت زودتر از موعد، به‌دلیل افزایش تعداد گل‌ها در بوته، منجر به افزایش عملکرد و بیوماس می‌گردد. در پژوهش حاضر، بین تعداد میوه با عملکرد و تعداد طوقه (**۰/۷۱) و نیز با تعداد گل‌آذین (**۰/۷٤) همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری مشاهده گردید که با نتایج دیگر پژوهشگران (٤۰) در خصوص رابطه عملکرد ژنوتیپ‌ها با تعداد میوه مطابقت دارد. بنا به گزارش‌ها، تعداد کل میوه نیز همبستگی مثبتی با وزن میوه داشته ولی با تعداد گل‌آذین و تعداد ساقه‌رونده یا ساقه‌رونده، همبستگی منفی داشت (۱۰). البته پژوهشگران دیگری (۳۷) نیز همبستگی منفی بین تعداد و وزن میوه را گزارش داده‌اند.

بر اساس رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام (داده‌ها آورده نشدند)، از بین ۲۲ صفت مورد مطالعه، تعداد گل‌آذین، اندازه میوه، حجم میوه، تعداد میوه در بوته، تاریخ شروع تولید ساقه‌رونده و طول دوره گلدهی، در مجموع ۸۸/۳ از تنوع موجود را توجیه نموده که تعداد میوه در بوته (۸۲/۷٦ درصد) و تعداد گل‌آذین (۰/٦۷ درصد) دارای بیش‌ترین ضریب تشخیص با عملکرد بودند و تعداد گل‌آذین به تنهایی ۵۳/۸۲ از تنوع موجود را توجیه نمود. شیب رگرسیون برای همه صفات تا مرحله پنجم معنی‌دار ولی برای اندازه میوه و تاریخ شروع تولید ساقه‌رونده، معنی‌دار و منفی بود که به احتمال به‌دلیل این است که هرچه شروع تولید ساقه‌رونده زودتر اتفاق بیفتد، انرژی گیاه صرف رشد رویشی شده و در نتیجه عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. در این رابطه عرب‌طاژان‌دره و همکاران (۲۰۱٦a) در ۲۰ ژنوتیپ توت‌فرنگی گزارش نمودند که بین عملکرد، با صفات مربوط به کلروفیل و دوره گل‌دهی و ظهور میوه ارتباط معنی‌داری مشاهده و این‌که میزان کلروفیل a، b و ab، میزان آنتوسیانین، عملکرد، دوره

گلدهی، زمان ظهور گل و میوه در دسته‌بندی ژنوتیپ‌ها، مهم و تعیین‌کننده بوده و نیز در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، ویژگی‌های درصد میوه، حجم میوه و تعداد میوه با ضریب تبیین ۰/۹۵ وارد مدل شدند که از مهم‌ترین صفات مربوط به توت‌فرنگی بودند (۵).



شکل ۱- شبکه ارتباطی نشان‌دهنده روابط بین ویژگی‌های مختلف زراعی و بیوشیمیایی و مقادیر اثرات تحلیل مسیر در توت‌فرنگی. میزان ضخامت پیکان‌های یک‌سویه نشان‌دهنده کم یا زیاد بودن اثرات ویژگی‌ها آن‌ها و رنگ آبی به مثبت بودن و رنگ قرمز به منفی بودن اثرات ویژگی‌ها در تجزیه ضرایب مسیر به روش حداقل مربعات جزئی پیشرفته در این راهکار اشاره دارد. در ترسیم این دیاگرام، اعداد روی شکل که خارج از پرانتزند به اثرات مستقیم تحلیل مسیر بدون نمونه‌گیری و اعداد درون پرانتز در ۲۰۰ مرتبه نمونه‌گیری یا بازنمونه‌گیری (بوتستراپ) به‌دست آمده‌اند. عبارات ^{ns}، * و ** به‌ترتیب به غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطوح ۵ و یک درصد آماری اشاره دارد.

Fig. 1. The communicative network representing the relationships between various agrologic and biochemical characteristics and the effects of path analysis on strawberries. The thickness of the one-sided arrow indicating low or high effects of their features and the color of the blue to the positive and the red color to the negative effects of the features in the analysis of the path coefficients by advanced partial least squares refers to this approach. In drawing of this diagram, the numbers on the outside of the bracket are obtained by the direct effects of path analysis without sampling, and the numbers inside the parentheses are 200 times the sampling (bootstrap). The ^{ns}, * and ** terms are non-significant and significant at levels 5 and 1 percent, respectively.

ضرایب همبستگی پیرسونی بین ٦ بلوک برآورد شد (جدول ۲) که در آن، بین صفات ریختی و میوه‌دهی، بیش‌ترین همبستگی وجود داشته و نشان داد که میوه‌دهی (اندازه و حجم میوه) بیش‌تر از بقیه، تحت‌تأثیر ریخت‌شناسی گیاه (سطح برگ و تعداد ساقه‌رونده و دیگر صفات موردمطالعه) بود. هم‌چنین صفات مربوط به گل‌آذین بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد داشت. در این ارتباط، پژوهشگران (١٤ و ٤٢) در توت‌فرنگی گزارش داده‌اند که بین تعداد طوقه در بوته و عملکرد ارتباط مثبت معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین بلوک صفات.

Table 2. Correlation coefficients between traits blocks.

Yield عملکردمیوه	Fruit میوه‌دهی	Flower گل‌دهی	Infl گل‌آذین	Bioch زیست-شیمیایی=کیفی	
0.651	0.860	-0.267	0.709	0.765	Morpho ریختی
0.453	0.709	-0.220	0.396		Bioch زیست-شیمی=کیفی
0.771	0.682	0.152			Infl گل‌آذین
-0.253	-0.310				Flower گل‌دهی
0.765					Fruit میوه‌دهی

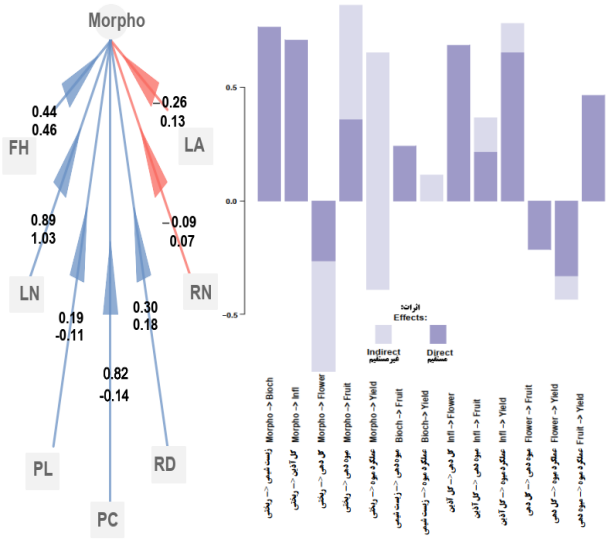
بنابه بلوک‌بندی صفات، در جدول فوق، صفات مربوط به میوه‌دهی و گل‌آذین نسبت به صفاتی مثل مورفولوژیکی، در افزایش عملکرد توت‌فرنگی نقش برجسته‌تر و مؤثرتری داشته و بنابراین به‌جای تمرکز بر ریخت‌شناسی و زیست-شیمی گیاه، می‌توان بر صفات فوق تمرکز نمود، که به احتمال زیاد با دیگر روش‌های آماری نمی‌توان به آن دست یافت. در بخش دیگر نتایج PLS-PM (جدول ۳)، اثرات مستقیم و غیرمستقیم مجموعه صفات دسته‌بندی‌شده بر همدیگر و بر صفت وابسته نهایی عملکرد دیده می‌شود. در این رابطه، صفات ریخت‌شناسی بر کیفی تأثیر مستقیم و معنی‌دار داشته که بر نتیجه قبل و همبستگی بین این دو نوع صفات تأیید می‌کند. به هرحال در این روش، هم اثرات مستقیم و هم غیرمستقیم بلوک‌های صفات بر همدیگر دیده می‌شود. در جدول ۳، اثرات مختلف متغیرها، در تجزیه مسیر موجود در PLS-PM دیده می‌شود (جدول ۳ و شکل‌های ۱ و ۲).

در جدول زیر، بلوک‌بندی صفات ریخت‌شناسی، زیست-شیمیایی، گل‌آذین، گلدهی، میوه‌دهی و عملکرد نهایی ارائه شده است. اثرات مستقیم مجموع صفات بلوک‌ها بر صفات وابسته یا میانه مربوطه معنی‌دار بود. زمانی که صفات ریخت‌شناسی (شامل ۷ صفت) را به‌عنوان صفات مستقل تأثیرگذار و صفات زیست-شیمیایی (٤ صفت کلروفیل a، b و مجموع آن‌ها و نیز مقدار آنتوسیانین)، به‌عنوان وابسته در نظر گرفته شدند، صفات ریخت‌شناسی بر صفات زیست-شیمیایی تأثیر مستقیم معنی‌دار داشت (اثر مستقیم برابر با ۰/۷٦٦ و خطای استاندارد ۰/۱٤ و مقدار آزمون t برابر با ۵/۵۸ در سطح ۱ درصد معنی‌دار (P<۰/۰۱). بنابراین صفات مورفولوژیکی بر صفات زیست-شیمیایی تأثیرگذار بوده که برای دیگر صفات نیز صادق بود. عملکرد میوه که صفت نهایی و وابسته در مدل می‌باشد، تحت‌تأثیر بیش‌ترین تعداد صفات تأثیرگذار است. در این میان، صفات ریخت‌شناسی، در مجموع تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نداشتند (P>۰/۰۵). دلیل این موضوع این است که در بین صفات ریخت‌شناسی، برخی از صفات، تأثیر چندانی بر عملکرد ندارند. همانند ارتفاع بوته که جزو صفات مذکورند و معمولاً تأثیر چندانی بر عملکرد نداشته و در کل باعث می‌شوند که صفات ریخت‌شناسی بر عملکرد، بی‌تأثیر قلمداد شوند.

جدول ۳- اثرات مستقیم اولیه و با نمونه‌برداری مجدد (۲۰۰ مرتبه بوتستراپ یا بازنمونه‌گیری) به همراه اثرات غیرمستقیم و اثرات کل و خطای استاندارد اثرات مستقیم مربوطه در بلوک‌های صفات مختلف در توت‌فرنگی با راهکار تجزیه مسیر موجود در PLS-PM.

Table 3. Primary direct effects and re-sampling (200 bootstrap times) along with indirect effects and total effects and related standard error of direct effects on blocks of different traits in strawberry via path analysis of PLS-PM.

اثر کل Total effect	اثر غیرمستقیم Indirect effect	Pr(>|t|)	پارامتر *t* Parameter *t*	SE با بوتستراپ SE via boot	خطای استاندارد (SE) Standard error	اثر مستقیم با بوتستراپ Direct effect via bootstrap	اثر مستقیم Direct effect	بلوک صفات Traits block
								زیست-شیمی Bioch
		1.00	-1.03×10^{-15}	-	0.14	-	-1.41×10^{-16}	عرض از مبدأ Intercept
0.766	0.00	0.00	5.58	0.41	0.14	0.661	0.766	ریختی Morpho
								گل‌آذین Infl
		1.00	-8.75×10^{-16}	-	0.15	-	-1.32×10^{-16}	عرض از مبدأ Intercept
0.709	0.00	0.00	4.71	0.23	0.15	0.761	0.709	ریختی Morpho
								گل‌دهی Flower
		1.00	-2.89×10^{-15}	-	0.19	-	-5.25×10^{-16}	عرض از مبدأ Intercept
−0.267	0.486	0.008	−2.92	0.70	0.26	−0.245	−0.753	ریختی Morpho
0.5686	0.00	0.015	2.66	0.46	0.26	0.219	0.686	گل‌آذین Infl
								میوه‌دهی Fruit
		1.00	-1.84×10^{-15}	-	0.10	-	-1.90×10^{-16}	عرض از مبدأ Intercept
0.860	0.502	0.173	1.41	0.53	0.25	0.381	0.358	ریختی Morpho
0.242	0.00	0.177	1.40	0.28	0.17	0.117	0.242	زیست-شیمی Bioch
0.217	−0.148	0.059	2.01	0.30	0.18	0.149	0.366	گل‌آذین Infl
−0.217	0.00	0.102	−1.72	0.22	0.13	0.011−	−0.217	گل‌دهی Flower
								عملکرد میوه Yield
		1.00	-1.16×10^{-15}	-	0.10	-	-1.23×10^{-16}	عرض از مبدأ Intercept
0.651	0.403	0.097	−1.74	0.48	0.22	−0.158	-0.392	ریختی Morpho
0.655	−0.126	0.00	4.25	0.30	0.18	0.477	0.781	گل‌آذین Infl
−0.433	−0.101	0.022	−2.49	0.44	0.13	0.041	-0.332	گل‌دهی Flower
0.466	0.00	0.050	2.09	0.62	0.22	0.315	0.466	میوه‌دهی Fruit



شکل ۲ (راست)- نمودار گرافیکی اثرات مستقیم و غیرمستقیم بلوک‌های صفات در پژوهش.

(چپ)- مقادیر بارهای عاملی و وزن‌های مربوطه (به‌ترتیب اعداد بالایی و پایینی) به‌عنوان نمونه برای بلوک صفات مورفولوژیکی در این پژوهش. اطلاعات کامل بارهای عاملی و وزن‌های مربوطه برای بلوک‌های صفات و صفات مؤثر بر آن‌ها در جدول ۵ به میان آمده است.

Fig. 2. (Right) - Graphical representation of direct and indirect effects of traits in blocks of the research. (Left)- The values of factor loadings and their respective weights (upper and lower numbers, respectively) for example for block morphological traits in this research. Full details of the factor loads and their respective weights for the traits block and traits affecting them are presented in Table 5.

در شکل ۲، مقدار اثرات مستقیم و غیرمستقیم، در بلوک‌های صفات دیده می‌شود. در این شکل، اثرات مستقیم به‌صورت پررنگ و در ابتدای اثرات غیرمستقیم مشاهده می‌شوند. مزیت چنین شکلی این است که با یک نگاه اجمالی، میتوان تشخیص داد که کدام متغیرها بیش‌ترین و کدام یک، کم‌ترین اثرات را داشته و نوع مثبت یا منفی بودن آن را نیز می‌توان تشخیص داده و نیازی به مراجعه به جداول مربوطه ندارد.

با توجه به نمودار ارتباطات صفات (شکل ۱)، بین عملکرد با صفات ریخت‌شناسی و نیز بین صفات ریخت‌شناسی با صفات زیست-شیمیایی و نیز بین عملکرد با صفات میوه همبستگی بالا (۰/۷۶۵) وجود داشت. هم‌چنین به‌استثنای عملکرد، میزان آلفای کرونباخ[1] و rho مربوط به Dillon-Goldstein کم بوده و به این دلیل است که برخی از اوزان داده شده به متغیرها یا نشانگرهای[2] مؤثر بر بلوک‌ها از نوع مثبت نبوده است و هم‌چنین هشداری است براین‌که باید در انتساب صحیح متغیرها به هر بلوک دقت نمود. پارامتر rho مقدار تک‌بعدی[3] مربوط به یک بلوک را اندازه گرفته که بر واریانس مجموع متغیرهای موجود در هر بلوک اشاره دارد. میزان نیکویی برازش[4] برای مدل تجزیه ضرایب مسیر بر اساس راهکار حداقل مربعات برابر با ۰/٤٦٤ شد که نشان‌دهنده میزان تقریباً متوسط آن بود. البته از آن‌جایی‌که معیار آماری پارامتریک خاصی را نمی‌توان برای سنجش کیفیت و ارزیابی کارآیی مدل PLS استفاده نمود، بنابراین در راهکاری معادل، می‌توان از آزمون‌های ناپارامتری و شاخص GoF یا آزمون نیکویی برازش کاذب استفاده نمود که به‌صورت میانگین هندسی میانگین افزونگی‌ها (اشتراکات) و میانگین ارزش R^2 بوده و البته معنی‌داری آن را نمی‌توان سنجید (۳۳).

در خصوص کاربرد تجزیه مسیر در توت‌فرنگی، پژوهش‌های کم‌تری صورت گرفته است. در این رابطه، گزارش شده که حجم میوه، بیش‌ترین اثر مستقیم مثبت

1- Cronbach`s alpha
2- Indicator
3- Unidimensionality
4- GoF: Goodness-of-Fit

و تعداد میوه بالاترین اثر غیرمستقیم و منفی را از طریق حجم میوه بر عملکرد توت‌فرنگی دارا بودند (۱۵ و ۲۹). در پژوهش حاضر، بین عملکرد با ویژگی‌های: تعداد گل (*۰/٤٥)، تعداد گل‌آذین (**۰/۷٤) و تعداد میوه (**۰/۷۱) ارتباط مثبت و معنی‌داری مشاهده گردید. ویژگی‌های ریخت‌شناسی در مجموع، اثر غیرمعنی‌داری بر عملکرد داشت ولی ویژگی‌های گل‌آذین (*۰/٤۷۷)، گل‌دهی (**۰/۰٤۱) و میوه‌دهی (*۰/۳۱٥) بر عملکرد نهایی میوه، اثرات معنی‌دار داشتند. در نتیجه، به‌دلیل توجیه عملکرد میوه با ۳ ویژگی فوق، ژنوتیپ‌های با گل‌دهی و تعداد گل بهتر، میوه‌های درشت و تعداد بیش‌تر، از عملکرد میوه بهتری برخوردار می‌باشند. بهبود گل‌دهی و میوه بیش‌تر، در افزایش عملکرد میوه توت‌فرنگی تأثیر مستقیم دارد. هر چند رابطه عکس بین عملکرد میوه و تعداد میوه را می‌توان به وجود رقابت بین میوه‌ها نسبت داد. درحالی‌که در پژوهش حاضر، رابطه مثبت و معنی‌داری بین تعداد میوه و عملکرد (**۰/۷۱) برقرار بوده و ظاهراً رقابت مذکور در مورد این ژنوتیپ‌ها وجود ندارد که می‌تواند از مزایای این ژنوتیپ‌ها و یا منتج از شرایط مختلف رشد آن‌ها باشد.

از طرف دیگر، نتایج تجزیه و تحلیل به روش PLS-PM برای ٦ بلوک و ۲۲ صفت (جدول‌های ٦ و ۷)، میزان ضرایب تبیین و "اوزان و بار عاملی(همبستگی)های اولیه و نیز با خودگردان‌سازی (بوتستراپ)" (جدول‌های ٤ و ۷، شکل ۲)، مقادیر اشتراکات مشاهده می‌شود. بارهای عاملی عبارت از همبستگی بین متغیرهای مکنون[1] و نشانگرهای مربوطه و اشتراکات یا افزونگی‌ها عبارتند از مجذور "بارها" که قائدتاً، همیشه مثبت می‌باشند. در تجزیه عاملی، اختلاف اشتراکات از یک، واریانس خاص نامیده می‌شد. متأسفانه تاکنون پژوهشی در داخل کشور، مبنی بر استفاده از روش PLS-PM در پژوهش‌های زیست‌شناسی گزارش نگردیده، بنابراین به پژوهش‌های انجام‌شده در سایر علوم استناد می‌گردد.

جدول ٤- مقدار پارامترهای ضریب تبیین (R^2) اولیه و برآورد شده با بوتستراپ برای بلوک‌ها، خطای استاندارد، اشتراکات بلوک‌ها و میانگین حشو (افزونگی) و نیز شاخص AVE (متوسط واریانس استخراج شده) در توت‌فرنگی.

Table 4. The value of the parameters of the primary and estimated R^2 coefficients for block, standard error, block communality and mean of redundancy, as well as the AVE index (Average Variance Extracted) in strawberries.

	نوع Type	R^2 اولیه Primary R^2	R^2 با strapBoot R^2 via bootstrap	خطای استاندارد SE	اشتراکات بلوک Block communality	میانگین افزونگی Redundancy average	شاخص AVE متوسط واریانس استخراج شده
ریختی Morpho	برون‌زا Exogenous	0.000	0.000	0.126	0.264	0.000	0
زیست-شیمی Bioch	درون‌زا یا میانه Endogenous	0.586	0.605	0.110	0.503	0.295	0
گل‌آذین Infl		0.502	0.631	0.171	0.622	0.312	0
گل‌دهی Flower		0.305	0.327	0.077	0.525	0.160	0
میوه‌دهی Fruit		0.796	0.865	0.107	0.240	0.191	0
عملکرد میوه Yield	وابسته نهایی Ultimate dependent	0.787	0.809	0.126	1.00	0.787	1

1- Latent

در این جدول، ضریب تبیین فقط برای صفات درون‌زا برآورد می‌گردد. بیش‌ترین آن به‌ترتیب برای بلوک‌های صفات میوه و عملکرد میوه بود که بیانگر تأثیر صفات مربوط به میوه بر عملکرد میوه است. متغیرهای اشتراک و حشو (افزونگی) برای مدل ساختاری نشان می‌دهند که متغیرهای برون‌زا تا چه میزان و با چه کیفیتی توانایی پیش‌بینی متغیرهای درون‌زای مدل را دارا هستند. بیش‌ترین مقدارمتغیر اشتراک برای عملکرد میوه و بعد صفات مربوط به گل‌آذین و گل بود و نشان‌دهنده تأثیر مهم این صفات در افزایش عملکرد میوه بود. در حقیقت، هدف از برآورد اشتراکات، کنترل این است که آیا متغیرهای نشانگر موجود در یک بلوک به خوبی توسط متغیر(های) مکنون خود توجیه شده‌اند. این متغیر، قسمتی از واریانس مشترک بین یک متغیر مکنون و متغیر نشانگر مربوطه‌اش را اندازه‌گیری می‌نمایند. البته متغیرهای نشانه با میزان اشتراکات کم، مدل مربوطه‌شان ناکارآمد بوده و بهتر است چنین متغیرهایی از تجزیه و تحلیل ساقط گردند. کم‌ترین میزان اشتراک در صفات ریخت‌شناسی (تعداد ساقه‌های رونده) بوده و صفات زیست-شیمیایی نیز تقریباً از میزان اشتراکات یکسانی برخوردار بودند. بنابراین در برنامه‌های اصلاحی توت‌فرنگی باید به تأثیر و نقش مؤثر این صفات در افزایش عملکرد میوه توت‌فرنگی توجه بیش‌تری نمود. در مورد تعداد میوه باید بیان نمود که عوامل ژنتیکی و محیطی افزایش‌دهنده تعداد میوه، روی عملکرد میوه نیز تأثیرگذار بوده و عملکرد بوته‌ای گیاه، تابعی از تعداد میوه و وزن متوسط هر میوه می‌باشد (۲۷). هم‌چنین گزارش شده که وزن تر میوه به‌عنوان یکی از اجزاء اصلی عملکرد بوته در توت‌فرنگی به حساب می‌آید (۳٤ و ۳۵).

جدول زیر شامل، بلوک‌ها، صفات هر بلوک، اوزان و بارهای صفات و اشتراکات است (جدول ۵، شکل ۲). "بار"ها عبارت از همبستگی بین یک متغیر مکنون و نشانگر مربوطه‌اش می‌باشد. در جدول فوق، برای صفات ریخت‌شناسی، بیش‌ترین مقدار بار به روش خودگردان‌سازی، مربوط به تعداد طوقه (۰/۷٤۹) و تعداد برگ (۰/۷۰۱)، کلروفیل (b، ab و a به‌ترتیب با ۰/٦۳۲، ۰/٦۰۳ و ۰/۵۸۳)، تعداد گل‌آذین (۰/۹۲۳)، دوره گل‌دهی (۰/۲۵۰)، تعداد میوه در بوته (۰/۵۵۲) و زمان میوه‌دهی (۰/۲۷۷) بوده که نشان‌دهنده این است که چه صفاتی در هر بلوک، بیش‌ترین نقش را در آن بلوک دارند. به‌عنوان نمونه مشخص شد که صفات تعداد طوقه و تعداد برگ، مهم‌ترین و مؤثرترین صفات ریخت‌شناسی در توت‌فرنگی هستند. کلروفیل b نیز بیش‌ترین بار عاملی را در گروه صفات بیوشیمیایی و دوره گلدهی نیز بیش‌ترین بار را در صفات گلدهی و تعداد میوه در بوته و بعد، زمان به بار نشستن میوه نیز بیش‌ترین تأثیر را در صفات وابسته به میوه داشت. البته "بار"های بزرگ‌تر از ۰/۷، قابل‌قبول هستند. برای این‌که چرا چنین "بار"هایی قابل‌قبول‌اند، بهتر است مقدار اشتراکات آن‌ها را مورد توجه قرار داد. زیرا "بارهای" بزرگ‌تر از ۰/۷ به این معناست که تقریباً بیش از ۰/۵۰ (مربع ۰/۷) تغییرات یک متغیر نشانگر، توسط متغیر مکنون مربوطه‌اش توجیه می‌گردد.

جدول ۵- مقادیر مربوط به وزن‌ها، بارهای عاملی، اشتراکات و حشو (افزونگی) در بررسی ۲۲ صفت مربوط به ریخت‌شناسی و زیست-شیمیایی توت‌فرنگی.

Table 5. The values of weights, factor loadings, commonalities and redundancy in the study of 22 morphological and biochemical traits of strawberry.

حشو (افزونگی) Redundancy	اشتراکات Communality	"بار" Load		وزن Weight		مسیر Path
		بازنمونه‌گیری Bootstrap	اولیه Primary	بازنمونه‌گیری Bootstrap	اولیه Primary	
0.000	0.067	-0.123	-0.260	0.121	0.129	LA-ریختی Morpho-LA
0.000	0.008	-0.056	-0.090	-0.244	0.069	RN-ریختی Morpho-RN
0.000	0.090	0.190	0.300	-0.172	0.175	RD-ریختی Morpho-RD
0.000	0.666	0.749	0.816	0.285	-0.136	PC-ریختی Morpho-PC
0.000	0.036	0.240	0.190	0.027	-0.112	PL-ریختی Morpho-PL
0.000	0.785	0.701	0.886	0.604	1.03	LN-ریختی Morpho-LN
0.000	0.195	0.420	0.441	0.321	0.462	FH-ریختی Morpho-FH
0.307	0.522	-0.424	-0.723	-0.352	-0.649	Antc- زیست-شیمی Bioch-Antc
0.305	0.520	0.583	0.721	0.176	0.485	Cha-زیست-شیمی Bioch-Cha
0.301	0.514	0.632	0.717	0.416	0.576	Chb- زیست-شیمی Bioch-Chb
0.268	0.457	0.603	0.676	-0.067	-0.343	Chab- زیست-شیمی Bioch-Chab
0.476	0.948	0.923	0.974	0.855	0.892	INN-گل‌آذین Infl-INN
0.149	0.296	0.552	0.544	0.285	0.242	FPIN - گل‌آذین Infl-FPIN
0.276	0.905	0.123	0.951	0.538	0.928	DFL -گل‌دهی Flower-DFL
0.044	0.144	0.250	0.380	0.221	0.310	FLP - گل‌دهی Flower-FLP
0.011	0.013	0.247	0.116	0.166	0.029	FW -میوه‌دهی Fruit-FW
0.711	0.893	0.552	0.945	0.743	0.840	FPS - میوه‌دهی Fruit-FPS
0.003	0.004	0.175	0.062	0.029	-0.008	FV - میوه‌دهی Fruit-FV
0.101	0.126	0.226	0.355	0.138	0.120	FRP - میوه‌دهی Fruit-FRP
0.269	0.339	-0.246	-0.582	-0.077	-0.269	FS - میوه‌دهی Fruit-FS
0.053	0.066	0.277	0.258	0.094	0.017	DFT - میوه‌دهی Fruit-DFT
0.787	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	YLD -عملکرد میوه Yield-YLD

در شکل ۲ (راست) برای بلوک اول یا ریخت‌شناسی، برای شاخص سطح برگ و تعداد ساقه‌رونده، مقدار "بار"ها منفی و برای دیگر صفات نشانگر (تأثیرگذار)، مقدار "بار"ها مثبت است. علاوه بر منفی (رنگ قرمز) و مثبت (رنگ آبی) بودن متغیرهای نشانگر، بزرگی و کوچکی هر متغیر نشانگر بر متغیر مکنون دیده می‌شود. به‌عنوان نمونه، صفت تعداد برگ (LN) بیش‌ترین مقدار "بار" مثبت (۰/۸۸٦) و سطح برگ نیز کم‌ترین "بار" منفی (۰/۲۵۹٦-) را داشت.

در جدول‌های ٦ و ۷ مقدار پارامتر حشو (افزونگی) برای بلوک‌ها (مکنون) و صفات موجود آن‌ها (نشانگر) آورده شده است. این متغیر، توانایی مجموعه‌ای از متغیرهای مکنون مستقل را در تبیین تنوع متغیرهای مکنون وابسته، منعکس می‌نماید (۳۳). در جدول ۵، کم‌ترین مقدار حشو یا افزونگی (redundancy) برای بلوک ریخت‌شناسی (صفر) و بیش‌ترین آن برای عملکرد میوه (۰/۷۸۷) بود. مقدار حشو (افزونگی) در مورد صفات کیفی، تقریباً یکسان بوده و در بلوک گلدهی نیز صفت روز تا گلدهی، بیش‌ترین (۰/۲۷٦) و در بلوک میوه‌دهی نیز تعداد میوه بیش‌ترین مقدار آن (۰/۷۱۱) را دارا بود. در جدول ٦ و شکل ۳، مقدار "بار"های متقاطع[1] برای بلوک‌های صفات (٦ بلوک یا متغیر مکنون) و متغیرهای[2] نشانگر یا پیش‌بینی‌کننده مربوط به آن‌ها آورده شده است. پارامترهای اشتراک و حشو (افزونگی) نشان‌دهنده تأثیر مهم خصوصیات میوه‌دهی و خصوصیات مربوط به گل‌آذین و گل و هم‌چنین نقش این صفات در افزایش عملکرد میوه در توت‌فرنگی بود. در این پژوهش می‌توان به صفات تعداد طوقه و تعداد برگ نیز اشاره نمود که جزو صفات ریخت‌شناسی مهم و مؤثر توت‌فرنگی هستند.

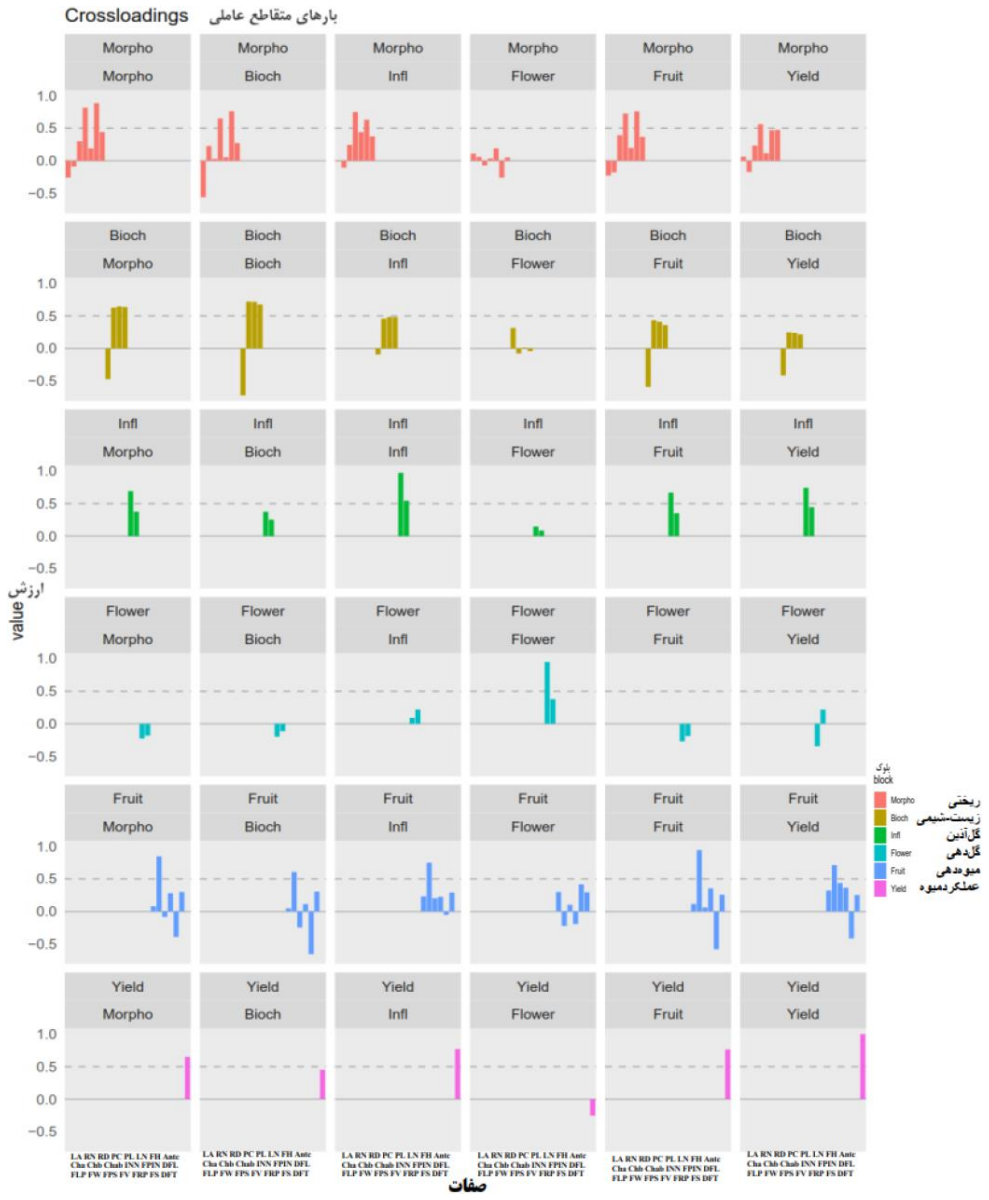
جدول ٦- بارهای متقاطع برای متغیر مکنون (بلوک) زیست-شیمیایی و متغیرهای از نوع نشانگر (صفات زیرمجموعه این بلوک) در بررسی ۲۳ صفت توت‌فرنگی.

Table 6. Cross loadings for biochemical (block) latent variables and variables of marker type (subset of this block) in investigation of 23 traits traits of strawberries.

عملکرد میوه Yield	میوه‌دهی Fruit	گل‌دهی Flower	گل‌آذین Infl	زیست-شیمی Bioch	ریختی Morpho	ریختی Morpho
0.06	−0.23	0.11	−0.01	−0.56	−0.26	LA
−0.17	−0.18	0.06	−0.11	0.23	−0.09	RN
0.23	0.39	−0.07	0.24	0.03	0.30	RD
0.56	0.73	0.03	0.75	0.65	0.82	PC
0.12	0.22	0.19	0.44	0.05	0.19	PL
0.47	0.76	0.26	0.63	0.76	0.89	LN
0.47	0.37	0.05	0.38	0.27	0.44	FH

در جدول فوق (و نیز شکل ۳) همان‌طور که دیده می‌شود، بار متقاطع صفت‌های PC (تعداد طوقه) و LN (تعداد برگ) در سطرهای مربوطه‌شان بیش‌ترین مقدار بوده و بنابراین معتبرترین صفات در هر بلوک هستند.

1- Cross-loadings
2- Latent



شکل ۳- مقادیر مربوط به بارهای متقاطع برای صفات مختلف.

Fig. 3. Values related to cross loadings for different traits.

طبق تعریف (۳۳)، "بار"های متقاطع عبارت از بارهای یک متغیر "نشانگر"(زیرمجموعه بلوک‌ها) با بقیه متغیرهای مکنون (بلوک‌ها) است. دلیل این کار این است تا مطمئن شویم که متغیرهای نشانگر ناسازگار[1] وجود ندارد. به‌عنوان مثال برای داده‌های ریخت‌شناسی (جدول ٦)، صفات تعداد طوقه و تعداد برگ، متغیرهای سازگار و معتبر در مدل بوده زیرا مقدار عددی بار متقاطع آن‌ها (به‌ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۸۹)، بیش‌تر از دیگر اعداد سطرهای مربوطه می‌باشد.

در این پژوهش با استفاده از راهکار PLS-PM، بررسی همبستگی‌های بین ٦ بلوک با ماهیت‌های مختلف نشان داد که بین ویژگی‌های ریخت‌شناسی با کیفی و میوه، همبستگی بالایی بوده که بر تأثیر زیاد ویژگی‌های ریخت‌شناسی یا ریختی بر این دو دسته ویژگی تأکید داشته و اینکه در اصلاح کیفیت و میوه

1- Traitor

توت‌فرنگی باید به نقش و اهمیت ویژگی‌های ریختی این گیاه توجه داشت. بنابراین گیاهی با کارآیی ضعیف و یا برگ‌های ضعیف و تحلیل رفته، از کیفیت خوبی برخوردار نخواهد بود. نتایج موجود به نقش ویژگی‌های گل‌آذین بر عملکرد میوه و نیز بر ویژگی‌های وابسته به میوه بر عملکرد نهایی میوه نیز تأکید دارد.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش از روش‌های مختلفی همانند تجزیه همبستگی، رگرسیون گام‌به‌گام و خطی، تجزیه ضرایب مسیر و مهم‌تر از همه از راهکار جدید و پیشرفته مدل‌بندی مسیرها با حداقل مربعات جزئی PLS-PM جهت درک و تفسیر روابط خصوصیات مختلف ریخت‌شناسی، زیست-شیمیایی، گلدهی و میوه گیاه توت‌فرنگی استفاده گردید. در بحث همبستگی، صفات تعداد و حجم میوه، دوره میوه‌دهی، تعداد برگ، صفات گل‌آذین و تعداد طوقه با عملکرد رابطه مثبت معنی‌دار داشتند. در رگرسیون گام‌به‌گام نیز، صفات مرتبط با گلدهی و ویژگی‌های میوه که وارد مدل شده بودند، جزو مهم‌ترین صفات مربوط به توت‌فرنگی بودند. در بحث تحلیل مسیر با شیوه جدید، ویژگی‌های گل‌آذین، گل‌دهی و میوه‌دهی، اثرات مثبت و معنی‌داری بر عملکرد نهایی میوه داشتند. بنابراین ژنوتیپ‌های با شرایط گل‌دهی و تعداد گل بهتر، میوه‌های درشت‌تر و پرتعداد، تولید میوه بهتری داشتند. هم‌چنین وجود رابطه مثبت و معنی‌دار بین تعداد میوه و عملکرد میوه نشان‌دهنده تأثیر ناچیز رقابت بین ژنوتیپ‌ها بوده که می‌تواند از مزایای ژنوتیپ‌های این پژوهش و یا ناشی از شرایط مختلف رشد باشد. در نهایت، نتایج روش PLS-PM، نشان‌دهنده تأثیر مهم تعداد طوقه و برگ، به‌عنوان مؤثرترین صفات ریخت‌شناسی توت‌فرنگی و نیز تأثیر مهم خصوصیات میوه‌دهی و گل‌آذین و گل‌دهی و هم‌چنین نقش این صفات در افزایش تولید میوه در توت‌فرنگی بود. بنابراین و در مجموع با راهکار PLS-PM که هم معتبر و هم جدید و به‌روز است، مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر در تولید و بهبود عملکرد میوه توت‌فرنگی شناسایی گردید که می‌تواند راهگشای پژوهشگران در تجدیدنظر در روش‌های بررسی و درک بهتر ارتباطات ویژگی‌های اقتصادی گیاهانی همانند توت‌فرنگی باشد.

منابع

1. Abasi-Esfanjani, H. 2018. Designing a commercialization research model for academic research using partial least squares structural equation modeling. Comm. Res. J. 82: 33-65. (In Persian)
2. Amani, G., Khezri-Azar, H. and Mahmoodi, H. 2013. Introducing structural equation modeling by least squares method and its application in behavioral researches. J. Psych-Barkhat. 1: 1. 41-55. (In Persian)
3. Anna, F.D., Caracciolo, G., Moncada, A. and Vetrano. F. 2011. Effect of cultivar and crown size on yield and quality of strawberry fresh bare root plants in Sicily. ISHS Acta Hort. 952: International Symposium on Advanced Technologies and Management Towards Sustainable Greenhouse Ecosystems: Greensys.
4. Ara, T., Haydar, A., Mahmud, H.K., Halequzzaman, K.M. and Hossain, M. 2009. Analysis of the different parameters for fruit yield and yield contributing characters in strawberry. Int. J. Sust. Crop Prod. 4: 5. 15-18.
5. Arab-Tazhan-Dareh, A., Ismaili, A., Rezaei-Nezhad, A., Karami, F. and Gharghani, A. 2016a. Investigation of correlation and causality relationships of physiological and phenological characteristics and grouping of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch) genotypes. Plant J. Phys. Biol. 1: 1. 39-50. (In Persian)

6.Arab-Tazhan-Dareh, A., Ismaili, A., Rezaei-Nezhad, A., Karami, F. and Gharghani, A. 2016b. Genetic diversity and factor analysis for performance and some morphological characteristics in tobacco cultivars. Crop Garden Breed. J. 3: 1. 13-26. (In Persian)
7.Arminian, A., Houshmand, S. and Shiran, B. 2010. Evaluation the relationships between grain yield and some of its related traits in a doubled-haploid bread wheat population. Elec. J. Crop Prod. 3: 1. 21-38. (In Persian)
8.Bagheri, H., Kashani-Nezhad, M., Aalami, M. and Ziaei Far, A.M. 2018. Evaluation of sensory and tissue properties of peanut butter brain by partial least squares regression method. Iran. J. Food Sci. Tech. 13: 4. 540-552. (In Persian)
9.Baumann, T.E., Eaton, G.W. and Spaner, D. 1993. Yield components of day-neutral and short-day strawberry varieties on raised beds in British Columbia. Hort. Sci. 28: 9. 891-894.
10.Bedard, P.R., Hsu, C.S., Spangelo, L.P.S., Fejer, S.O. and Rouselle, G.L. 1971. Genetic, phenotypic and environmental correlations among fruit and plant characters in the 28 cultivated strawberry. Genet. Cytol. 13: 3. 470-479.
11.Bhatt, G.M. 1973. Significance of path coefficient analysis determining the nature of character association. Euphytica. 22: 338-343.
12.Biswas, M.K., Islam, R. and Hossain, M. 2008. Micro propagation and field evaluation of strawberry in Bangladesh. J. Agric. Tech. 4: 1. 167-182.
13.Cocco, C., Andriolo, J.L., Erpen, L., Cardoso, F.L. and Casagrande, G.S. 2010. Development and fruit yield of strawberry plants as affected by crown diameter and plantlet growing period. Pes. Agro. Brasileira. 45: 7. 730-736.
14.Cocco, C., Andriolo, J.L., Cardoso, F.L., Erpen, L. and Schmitt, O.J. 2011. Crown size and transplant type on the strawberry yield. Sci. Agric. 68: 4. 489-493.
15.Das, A.K., Singh, B. and Sahoo, R.K. 2006. Correlation and path analysis in strawberry (*Fragaria ananassa* Duch). Indian J. Hort. 63: 1. 83-85.
16.Doffing, S.M. and Knight C.W. 1992. Alternative model for path analysis of small-grain yield. Crop Sci. 32: 487-489.
17.Farahani, A. and Arzani, A. 2006. Investigating genetic variation of cultivars and F_1 hybrids of durum wheat using agronomic and morphologic characters. Agric. Nat. Res. Tech. Sci. J. 38: 341-356. (In Persian)
18.Fuleki, T. and Francis F.J. 1968. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. J. Food. Sci. 33: 72-78.
19.Gravois, K.A. 1998. Optimizing selection for rough rice yield, Head rice and total milled rice. Euphytica. 101: 151-156.
20.Hendry, G.A.F. and Price, A.H. 1993. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F. and J.P. Grime. (Eds.), Methods in Comparative Plant Ecology, Chapman and Hall, London.
21.Iqbal, S., Mahmood, T., Tahira, M., Ali, M. and Anwar, M. 2003. Path coefficient analysis in different genotypes of soybean (*Glycine max* (L.) Merril). Pakistan J. Biol. Sci. 6: 1085-1087.
22.Kramer, S. and Schultze, W. 1985. The effects of the quality of young plants on strawberry yield. Gartenbau. 32: 115-117.
23.Machikowa, T. and Laosuwan, P. 2011. Path coefficient analysis for yield of early maturing soybean. Songklanakarin J. Sci. Technol. 33: 4. 365-368.
24.Moyer, R.A., Hummer, K.E., Finn, C.E., Frei, B. and Wrolstad, R.E. 2002. Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity in diverse small fruits: Vaccinium, Rubus and Ribes. J. Agr. Food. Chem. 50: 519-525.
25.Nicoll, M.F. and Galletta, G.J. 1987. Variation in growth and flowering habits' of Junebearing and Everbearing strawberries. American Sco. Hort. Sci. 112: 872-880.
26.Perez De Camacaro, M.E., Camacaro, G.J., Hadley, P., Dennett, M.D., Battey, N.H. and Carew, J.G. 2004. Effect of plant density and initial crown size on growth, development and yield in strawberry cultivars Elsanta and Bolero. J. Hort. Sci. Biol. 79: 5. 739-746.
27.Poormombini, S., Mortazavi, S.M.H., Moalemi, N., Mozafari, E.A. and Moezi, A.A. 2017. Effect of planting date and concentration of nutrient solution on yield components and some qualitative

characteristics of strawberry fruit, Camarza cultivar in Ahwaz weather conditions. Agric. Sci. J. 38: 4. 13-24. (In Persian)
28. Rafiei, F. and Saeidi, Gh.A. 2005. Phenotypic and genotypic relationships between agronomic traits and yield components of safflower. J. Sci. Agri. 28: 137-147.
29. Rao, V.K., Bharat, L., Yadav, V.K. and Sharma, S.K. 2010. Correlation and path analysis in strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.). J. Hill Agric. 2: 1. 179-182.
30. Rashnoonezhad, F., Moalemi, N. and Mortazavi, S.M.H. 2017. Effect of harvest time and fruit size on the physical and biochemical properties of pomegranate fruit of Rabab Niriz cultivar in Qalat-e-Talgar-olmk. Plant Prod. Agric. Plant Breed. Hort. 39: 3. 27-38. (In Persian)
31. Rezaei, A.M. and Soltani, A. 1998. Introduction to Applied Regression Analysis. Isfahan University of Technology Press, 294p.
32. Rieger, M. 2005. In: Rieger, M. (eds). Strawberry. Introduction to Fruit Crops. New York: Haworth Food & Agricultural Products Press, Pp: 383-392.
33. Sanchez, G. 2013. PLS path modeling with R. Trowchez Editions. Berkeley, 2013. Available on: *http://www.gastonsanchez.com/ PLS Path Modeling with R.pdf.*
34. Shokaeva, D.B. 2008. Relationships between yield components in first cropping year and average yield of short-day strawberries over two main seasons. Sci. Hort. 118: 14-19.
35. Shokaeva, D.B. 2005. The influence of plant development peculiarities and environmental conditions on fruiting and yield height of differing short-day strawberry genotypes. Environmentally friendly fruit growing proceedings of the international scientific conference. Tartu. Fruit Sci. 222: 117-123.
36. Shokaeva, D.B. 2006. Principles of fruiting of short-day strawberries. Cartouche. Orel. 134p.
37. Singh, S.R., Lal, S., Ahmed, N., Srivastava, K.K., Kumar, D., Jan, N., Amin, A. and Malik, A.R. 2013. Determination of genetic diversity in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) using principal component analysis (PCA) and single linkage cluster analysis (SLCA). Afr. J. Biot. 12: 24. 3774-3782.
38. Soltani-Kazemi, M., Abdanan-Mahdizadeh, S., Heidari, M. and Faregh, S.M. 2018. Extraction of the most effective spectrum of blackberry (*Morus alba Varnigra* L.) juice using different partial least squares regression models (PLS). Sci. Food Ind. 96: 41. 229-241. (In Persian)
39. Streiner, D.L. 2006. Building a better model: An introduction to structural equation modeling. Can J. Psych. 51: 317-324.
40. Strik, B.C. and Proctor, J.T.A. 1988. Yield component analysis of strawberry genotypes differing in productivity. Amer. Sco. Hort. Sci. 113: 1. 124-129.
41. Tavoosi, M. and Shahin-Rokhsar, P. 2011. Effect of four types of adjuvant on yield and some strawberry growth parameters in soil-free culture. J. Agric. Sci. 4: 13. 83-95. (In Persian)
42. Torres-Quezada, E.A., Zotarelli, L., Whitaker, V.M., Santos, B.M. and Hernandez-Ochoa, I. 2015. Initial crown diameter of strawberry bare-root transplants affects early and total fruit yield. Hort. Tech. 25: 2. 203-208.
43. Webb, R.A., Judith, V., Purves, B.A., White, R. and Ellis, A. 1974. Critical path analysis of fruit production in strawberry. Sci. Hort. 2: 175-184.
44. Wright, S. 1921. Correlation and causation. J. Agric. Res. 20: 557-585.
45. Wu, Z., Liu, Q., Li, Z., Sun, J., Guo, Z., Li, Y., Zhou, J., Meng, D., Li, H. and Yin, H. 2018. Environmental factors shaping the diversity of bacterial communities that promote rice production. BMC Microl. 18: 51-60.
46. Zahedi, S.M., Nazemi, Z. and Hooshmand Panah, Z. 2016. Effect of planting date and planting on yield and yield components of strawberry in organic production (In Hashtgerd region). Sci. J. Plant Eophys. 7: 22. 279-292. (In Persian)
47. Zolleh, H.H., Bahrami Nejhad, S., Maleki, G. and Papzan, A.H. 2009. Response of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to sowing date and plant density. Res. J. Agric. Biol. Sci. 5: 4. 597-602.