تعیین مهم‌ترین اجزای عملکرد تریگونلین دانه شنبلیله (*Trigonella foenum - graceum* L.) بر مبنای تجزیه علیت و رگرسیون

محمدرضا لبافی[۱]، حسنعلی نقدی‌بادی[۲]، اسکندر زند[۳]، اردشیر قادری[٤]، قربان نورمحمدی[٥]، نسرین قوامی[۱]، حمیده خلج[٦]، علی مهرآفرین[۱]*

۱- عضو هیأت علمی، گروه کشت و توسعه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاددانشگاهی، کرج، ایران
۲- دانشیار پژوهش، گروه کشت و توسعه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاددانشگاهی، کرج، ایران
۳- عضو هیأت علمی بخش تحقیقات علف‌های هرز، مؤسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، تهران، ایران
٤- عضو هیأت علمی گروه بیوتکنولوژی مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاددانشگاهی، کرج، ایران
٥- عضو هیأت علمی گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
٦- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران. صندوق‌پستی: ٣٦٩٧ - ١٩٣٩٥
* آدرس مکاتبه: کرج، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاددانشگاهی، صندوق‌پستی: ١٣٦٩ - ٣١٣٧٥
تلفن: ١٩ - ٣٤٧٦٤٠١٠ (٠٢٦) نمابر: ٣٤٧٦٤٠٢١ (٠٢٦)
پست الکترونیک: A.Mehrafarin@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱۹ **تاریخ تصویب:** ۹۳/۱/۳۰

چکیده

مقدمه: تریگونلین دانه شنبلیله یک متابولیت دارویی بسیار ارزشمند در کاهش قند خون و کلسترول خون می‌باشد.

هدف: تعیین مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد دانه، درصد تریگونلین و عملکرد تریگونلین دانه در گیاه دارویی شنبلیله تحت محلول‌پاشی متانول و عدم کاربرد آن بود.

روش بررسی: این آزمایش بر پایه طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با دو غلظت محلول‌پاشی متانول (۰ و ۳۰ درصد حجمی) در چهار تکرار انجام شد. به منظور مشخص ساختن مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه، درصد تریگونلین و عملکرد تریگونلین دانه شنبلیله، از روش تجزیه علیت و رگرسیون گام به گام استفاده شد.

نتایج: نتایج نشان داد که در صورت عدم مصرف متانول، وزن هزار دانه و تعداد ساقه فرعی برای عملکرد دانه؛ وزن خشک کل و تعداد غلاف در بوته برای درصد تریگونلین دانه؛ عملکرد دانه و درصد تریگونلین دانه برای عملکرد تریگونلین دانه و در تیمار محلول‌پاشی ۳۰ درصد حجمی متانول، تعداد بذر در غلاف، درصد روغن بذر، تعداد غلاف در بوته و ارتفاع بوته برای عملکرد دانه؛ وزن خشک برگ بوته، درصد تریگونلین اندام هوایی و میانگین قطر ژئومتریک دانه برای درصد تریگونلین دانه و عملکرد دانه، درصد تریگونلین دانه و طول غلاف بوته برای عملکرد تریگونلین دانه به طور معنی‌داری تغیرات مربوط به متغییرهای وابسته را توجیه کردند. تجزیه علیت نشان داد که عملکرد تریگونلین دانه به وسیله اثر مستقیم و مثبت عملکرد دانه و درصد تریگونلین دانه مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد تریگونلین دانه شنبلیله بودند.

نتیجه‌گیری: جهت افزایش عملکرد تریگونلین دانه می‌توان از خصوصیات مرتبط بر عملکرد دانه (شامل وزن هزاردانه و تعداد دانه غلاف) و درصد تریگونلین دانه (شامل وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک برگ) در اصلاح گیاه دارویی شنبلیله استفاده نمود.

گل‌واژگان: *Trigonella foenum-graceum* L.، تریگونلین دانه، عملکرد دانه، تجزیه علیت، متانول

مقدمه

مصرف برگ و دانه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) از گذشته تاکنون به طور گسترده‌ای برای اهداف متفاوتی مانند درمان دیابت، کاهش قند و کلسترول خون، ضد سرطانی، ضد باکتریایی، چاشنی غذایی و غیره مورد استفاده قرار گرفته است [۱]. بررسی‌ها نشان داده است که عصاره دانه شنبلیله دارای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بوده و ساختارهای سلولی را از صدمه اکسیداتیوهای فعال حفاظت می‌کند [۳]. دانه این گیاه منبع مهمی از متابولیت‌های دارویی با ارزشی نظیر تریگونلین و دیوسژنین می‌باشد [۲]. تریگونلین دارای فرمول شیمیایی $C_7H_7NO_2$، وزن مولکولی ۱۳۷/۱٤، در آب محلول و نقطه ذوب آن ۲۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای نخستین بار از گیاه شنبلیله استخراج شد و تاکنون در گیاهان مختلف و چندین گونه حیوانی نظیر توتیا (خار دریایی)، ستاره دریایی و نیز در ادرار پستانداران بعد از استفاده از اسید نیکوتنیک مشاهده شده است [۷]. محققان نقش‌های فیزیولوژیکی متفاوتی را نظیر، عامل فعال در حرکت برگ‌ها (واکنش شب تنجشی برگ‌ها) [٤]، ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی و عامل حفظ فشار تورژسانس برگ در گیاه [٥] برای متابولیت تریگونلین گزارش کرده‌اند. همچنین این ترکیب دارای نقش هورمونی در تنظیم سیکل سلولی در مرحله G_2 (توقف تقسیم سلولی بعد از دوبل شدن مواد ژنتیکی) می‌باشد [٦].

امروزه در برنامه‌های اصلاحی عملکرد متابولیکی گیاهان دارویی، علاوه بر افزایش عملکرد دانه، زودرسی گیاه، مقاومت به بیماری‌ها و مقاومت به ریزش دانه، به افزایش مقدار و کیفیت ترکیبات دارویی دانه نیز توجه می‌شود. از تجزیه علیت جهت ارزیابی اجزای عملکرد و روابط بین آنها و اثرات مستقیم و غیر مستقیمی که این اجزاء بر یکدیگر دارند، استفاده می‌شود تا به توان در گزینش غیر مستقیم از صفات وابسته به عملکرد در انتخاب تیمارهای مناسب یا ژنوتیپ‌های پرمحصول استفاده نمود [۸]. با محاسبه ضریب همبستگی میزان همبستگی صفات مورد ارزیابی مشخص می‌شود، اما ماهیت ارتباط صفات روشن نخواهد شد. بنابراین، متخصصان روش تجزیه علیت را به عنوان ابزاری برای تعیین اهمیت صفات مؤثر در عملکرد مورد استفاده قرار می‌دهند [۹]. در این خصوص تحقیقاتی مانند تجزیه علیت صفات مؤثر بر ترکیبات دارویی در آویشن [۱۰]، ماریتیغال [۱۲، ۱۱]، پونه [۸]، سیر [۱۳]، گل محمدی [۱٤]، کافور [۱٥] و دیگر گیاهان دارویی نیز انجام شده است.

تریگونلین استخراجی از دانه شنبلیله متابولیت بسیار ارزشمند دارویی است که تاکنون در راستای ارزیابی نحوه تولید آن به لحاظ درصد و عملکرد بر مبنای تجزیه علیت و رگرسیون مطالعه‌ای دقیق انجام نشده است. بنابراین، این تحقیق به منظور تعیین مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد دانه، درصد و عملکرد تریگونلین دانه در گیاه دارویی شنبلیله بر مبنای تجزیه علیت و رگرسیون انجام شده است.

مواد و روش‌ها

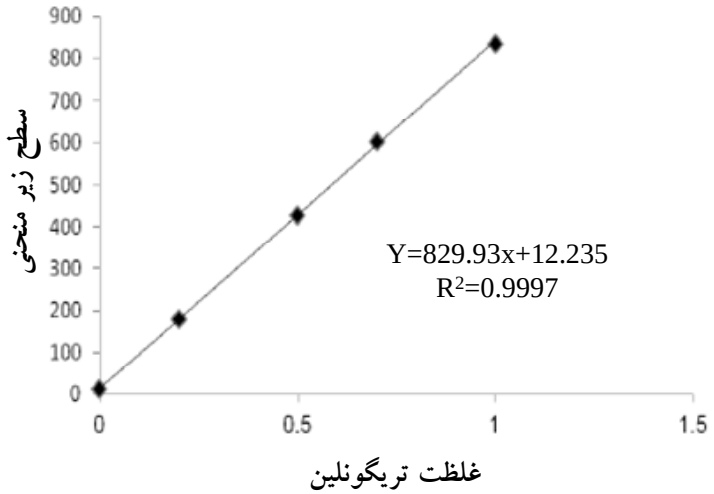
این آزمایش به منظور ارزیابی روابط بین عملکرد متابولیت دارویی تریگونلین دانه با برخی از خصوصیات مهم مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارویی شنبلیله و پیدا کردن اثرات مستقیم و غیر مستقیم این خصوصیات بر روی عملکرد تریگونلین دانه در سال زراعی ۹۲ – ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی گروه پژوهشی کشت و توسعه پژوهشکده گیاهان دارویی جهاددانشگاهی واقع در کیلومتر ٥٥ اتوبان تهران – قزوین با عرض جغرافیایی ٥٦ درجه و ۳٥ دقیقه‌ی شمالی و طول جغرافیای ٥۰ درجه و ٥۸ دقیقه‌ی شرقی و ارتفاع ۱٥۰۰ متری از سطح دریا انجام شد. متوسط بارندگی منطقه ۲٦۳ میلی‌متر و میانگین سالیانه دما ۱۳/۲۱ درجه سانتی‌گراد بود. خاک زمین محل آزمایش دارای بافت لومی – رسی با اسیدیته ۷/۹ و هدایت الکتریکی ۱/۲ میلی‌موس بر سانتی‌متر بود. زمین مورد استفاده، سال قبل از آزمایش تحت آیش و عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و لولر بوده و کود لازم مطابق با نتایج آزمون خاک به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیم قبل از کاشت استفاده شد. همچنین سایر عملیات زراعی بر اساس نیاز مزرعه انجام شد.

برای اجرای آزمایش از طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و دو تیمار (شامل تیمار محلول‌پاشی

۳۰ درصد حجمی الکل متانول و تیمار عدم محلول‌پاشی به عنوان تیمار شاهد) استفاده شد. به میزان ۲۵ کیلوگرم بذر در هکتار جهت کاشت از محل بانک بذر پژوهشکده گیاهان دارویی جهاددانشگاهی تهیه شد و در عمق ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متری در ردیف‌هایی به فاصله ۲۵ سانتی‌متر و در کرت‌های آزمایشی به طول ۵ متر و به عرض ٤ متر کشت شد. فاصله تکرارها (بلوک‌ها) از یکدیگر ۱ متر و فاصله کرت‌ها در هر تکرار از هر طرف ۱ متر در نظر گرفته شدند. بذرها قبل از کاشت به وسیله قارچ‌کش تیرام به نسبت یک در هزار ضدعفونی گردیدند. محلول‌پاشی متانول توسط سمپاش پشتی موتوری و با فشار یکسان روی بوته‌های شنبلیله اسپری شد. فاصله نازل سمپاش تا بالای بوته‌ها نیز ۵۰ سانتی‌متر بود. با توجه به این که بهترین زمان محلول‌پاشی بوته‌ها در روشنایی ظهر می‌باشد، تیمار محلول‌پاشی در این زمان به طور یکسان در هر بلوک‌ها اعمال شد. متانول استفاده شده از منبع متانول شرکت مرک آلمان تهیه شد.

برای تهیه محلول‌های سنجش تریگونلین، سه گرم از نمونه خشک شده با آب گرم ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت ریفلاکس شده، سپس عصاره صاف شده و با آب مقطر به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسید. محلول حاصل به صورت ۱:۵ حجمی/ حجمی رقیق شده و ۳ میلی‌لیتر از آن پس از عبور از صافی با قطر ۰/٤۵ میکرومتر به دستگاه HPLC با ستون C_{18} تزریق شد قابل ذکر است که فاز متحرک شامل اسید کلریدریک ۲ میلی مول بر لیتر آب (pH =۲) و سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه بود. برای تهیه محلول استاندارد، پس از توزین دقیق جهت تهیه غلظت‌های مناسب (۰/۱، ۰/۲، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) در ۵ بالن ژوژه جداگانه ریخته و با آب به حجم رسانده شد. در ادامه به کمک دستگاه اولتراسونیک انحلال کاملاً صورت گرفت و پس از فیلتراسیون با فیلتر میکرونی مخصوص از هر کدام از محلول‌های به دست آمده ٤ نمونه داخل دستگاه خودکار تزریق منتقل شد. از روی سطح زیر منحنی به دست آمده بر حسب غلظت، منحنی کالیبراسیون برای نمونه‌های استاندارد تریگونلین به طور مجزا رسم شد (شکل شماره ۱). سپس با استفاده از رابطه رگرسیون (Y=829.93X+12.235) مقادیر مجهول در نمونه‌ها محاسبه شد [۹].

به منظور مشخص ساختن مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد تریگونلین دانه در گیاه دارویی شنبلیله، از روش تجزیه رگرسیون گام به گام (Stepwise Regression Analysis) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. جهت تعیین اثرات



شکل شماره ۱- منحنی استاندارد تریگونلین

مستقیم و غیرمستقیم هریک از صفات وارد شده به مدل بر عملکرد تریگونلین دانه، از روش تجزیه علیت (Path Analysis) (براساس رابطه علت و معلول بین آنها) استفاده شد. تمامی محاسبات (تعیین ضرایب همبستگی ساده، تجزیه رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت مرحله‌ای) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (Ver. 9) انجام شد.

نتایج

عملکرد دانه

به منظور شناخت مهمترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه شنبلیله در دو تیمار محلول‌پاشی متانول (۳۰ درصد حجمی) و عدم مصرف متانول با استفاده از روش تجزیه رگرسیون گام به گام، وزن هزار دانه و تعداد ساقه فرعی بوته برای تیمار عدم کاربرد متانول با ضریب تبیین ۷۵/۴۲ درصد (جدول شماره ۱) و تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، درصد روغن دانه و ارتفاع بوته برای تیمار کاربرد متانول (۳۰ درصد حجمی) با ضریب تبیین ۸۳/۶۸ درصد در مدل مربوط به عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول شماره ۲). تجزیه علیت تیمار عدم مصرف متانول بیانگر آن بود که وزن هزار دانه با اثر مستقیم ۱/۰۰۴، مؤثرترین صفت در تعیین عملکرد دانه می‌باشد و تعداد ساقه فرعی بوته با اثر منفی و غیر مستقیم بر وزن هزاردانه در تعیین عملکرد دانه مؤثر بود (جدول شماره ۳). تجزیه علیت در تیمار محلول‌پاشی متانول (۳۰ درصد حجمی) نشان داد که تعداد غلاف در بوته با اثر مستقیم ۰/۴۱۱۴ و اثر غیر مستقیم ۰/۴۳۵۶ از طریق تعداد دانه در غلاف بر عملکرد دانه اثرگذار است. تعداد دانه در غلاف با اثر مثبت و مستقیم ۱/۱۸۸۱ بیشترین تأثیر بر عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. درصد روغن دانه با اثر مستقیم و منفی ۰/۹۷۸۹- بر عملکرد دانه تأثیرگذار بود (جدول شماره ٤). با توجه به این که ضریب همبستگی بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته مثبت، اما اثر مستقیم آن منفی می‌باشد، لذا از این صفت نمی‌توان در بهبود فعالیت‌های اصلاحی استفاده نمود.

جدول شماره ۱- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام صفات مؤثر بر عملکرد دانه در شنبلیله بدون کاربرد متانول

متغیرهای ورودی	مرحله	پارامتر	ضریب تبیین جزئی	ضریب تبیین مدل	F
عرض از مبدا	-	-٤٩٥/٩٦٣	-	-	-
وزن هزار دانه	۱	۷۲/۲۵۷	۰/٦٥۱	۰/٦٥۱	**
تعداد ساقه فرعی بوته	۲	۲۰۸/۷۰۲	۰/۱۰۲	۰/۷٥٤	*

*: معنی‌دار در سطح پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول شماره ۲- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام صفات موثر بر عملکرد دانه در شنبلیله با کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی

متغیرهای ورودی	مرحله	پارامتر	ضریب تبیین جزئی	ضریب تبیین مدل	F
عرض از مبدا	-	۱۰٦/۸٤٥	-	-	-
تعداد دانه در غلاف	۱	۸۸/۹۷۳	۰/۳۲۷	۰/۳۲۷	**
درصد روغن دانه	۲	-۳۳۳/۷٦۷	۰/۳۳٤	۰/٦٦۲	**
تعداد غلاف در بوته	۳	۸۳/٤۱۸	۰/۰۹٦	۰/۷٥۸	**
ارتفاع بوته	٤	-۹/٦۹٥	۰/۰۷۸	۰/۸۳٦	*

*: معنی‌دار در سطح پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول شماره ۳- تجزیه علیت بین عملکرد دانه با سایر صفات در شنبلیله بدون کاربرد متانول

نام صفت	اثر غیر مستقیم از طریق		اثر کل همبستگی
	وزن هزار دانه	تعداد ساقه فرعی بوته	
وزن هزار دانه	۱/۰۰٤	-۰/۵۲۵	۰/۸۰۷
تعداد ساقه فرعی بوته	-۰/۱۹۷	۰/۳۷٦	-۰/۱٤۹
باقی‌مانده	۰/٤۹۵		

جدول شماره ٤- تجزیه علیت بین عملکرد دانه با سایر صفات در شنبلیله با کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی

نام صفت	اثر غیر مستقیم از طریق				اثر کل همبستگی
	ارتفاع بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	درصد روغن دانه	
ارتفاع بوته	-۰/۳٤۸	-۰/۰۹۲	-۰/۱۷۰	-۰/۰۲۳	۰/۲۷۷
تعداد غلاف در بوته	۰/۱۰۹	۰/٤۱۱	۰/۱۵۰	۰/۱٦۸	۰/۳۵۲
تعداد دانه در غلاف	۰/۵۸۲	۰/٤۳۵	۱/۱۸۸	۰/۷۲۳	۰/۵۷۲
درصد روغن دانه	-۰/۰٦٦	-۰/٤۰۱	-۰/۵۹۵	-۰/۹۷۸	-۰/۱۱۰
باقی‌مانده	۰/٤۰٤	-	-	-	-

درصد تریگونلین دانه

تجزیه رگرسیون تیمار عدم مصرف متانول نشان داد که وزن خشک کل اندام هوایی و تعداد غلاف در بوته با ضریب تبیین ٦٦/۹۷ درصد، تغییرات مربوط به درصد تریگونلین دانه را توجیه می‌کنند (جدول شماره ۵). در تیمار محلول‌پاشی متانول (۳۰ درصد حجمی) وزن خشک برگ بوته، درصد تریگونلین اندام هوایی و میانگین قطر ژئومتریک دانه با ضریب تبیین ۷۲/۹٤ درصد تغییرات مربوط به درصد تریگونلین دانه را توجیه نمودند (جدول شماره ٦). تجزیه علیت صفات مؤثر بر درصد تریگونلین دانه در تیمار عدم مصرف متانول نشان داد که وزن خشک اندام هوایی با اثر مستقیم و مثبت مؤثرترین صفت در تعیین درصد تریگونلین دانه می‌باشد. با توجه به این که ضریب همبستگی بین تعداد غلاف در بوته و درصد تریگونلین دانه مثبت (۳/۱۱) اما اثر مستقیم آن منفی (-٤۵/٦٦) می‌باشد از این صفت نمی‌توان در کارهای اصلاحی استفاده نمود (جدول شماره ۷). در تیمار محلول‌پاشی متانول (۳۰ درصد حجمی) به ترتیب وزن خشک برگ بوته، درصد تریگونلین اندام هوایی و میانگین قطر ژئومتریک دانه اثر مستقیم و مثبتی بر درصد تریگونلین دانه نشان دادند (جدول شماره ۸).

عملکرد تریگونلین دانه

به منظور شناخت مهمترین صفات موثر بر عملکرد تریگونلین دانه، عملکرد دانه و درصد تریگونلین دانه و نیز تعیین مدل توصیف کننده خصوصیات موثر بر این صفات از تجزیه رگرسیون گام به گام استفاده گردید. در این تجزیه عملکرد تریگونلین دانه، عملکرد دانه و درصد تریگونلین دانه به عنوان متغیر تابع و سایر صفات مورد بررسی به عنوان متغیرهای مستقل در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد متانول در نظر گرفته شدند.

جدول شماره ۵- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام صفات مؤثر بر درصد تریگونلین بذر در شنبلیله بدون کاربرد متانول

متغیرهای ورودی	مرحله	پارامتر	ضریب تبیین جزئی	ضریب تبیین مدل	F
عرض از مبدا	–	۰/۲۰۳	–	–	–
وزن خشک کل اندام هوایی	۱	۰/۰۰۰۱۳	۰/۵۱۵	۰/۵۱۵	**
تعداد غلاف در بوته	۲	-۰/۰۱۴۵	۰/۱۵۳	۰/۶۶۹	*

*: معنی‌دار در سطح پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول شماره ٦- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام صفات مؤثر بر درصد تریگونلین بذر در شنبلیله با کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی

متغیرهای ورودی	مرحله	پارامتر	ضریب تبیین جزئی	ضریب تبیین مدل	F
عرض از مبدا	–	۰/۱۰٦	–	–	–
وزن خشک برگ بوته	۱	۰/۰۰۰۱۷	۰/٤۳٦	۰/٤۳٦	*
درصد تریگونلین اندام هوایی	۲	۰/۱٥٦	۰/۱٦۹	۰/٦۰٥	**
میانگین قطر ژئومتریک دانه	۳	۰/۰٥۱	۰/۱۲٤	۰/۷۲۹	*

*: معنی‌دار در سطح پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول شماره ۷- تجزیه علیت بین درصد تریگونلین بذر با سایر صفات در شنبلیله بدون کاربرد متانول

نام صفت	اثر غیر مستقیم از طریق		اثر کل همبستگی
	تعداد غلاف در بوته	وزن خشک کل اندام هوایی	
تعداد غلاف در بوته	-۰/٤٥٦	-۰/۲۳۳	۰/۰۳۱
وزن خشک کل اندام هوایی	۰/٤۸۷	۰/۹٥۲	۰/۷۱۸
باقی‌مانده	۰/٥۷٤	–	–

جدول شماره ۸- تجزیه علیت بین درصد تریگونلین بذر با سایر صفات در شنبلیله با کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی

نام صفت	اثر غیر مستقیم از طریق			اثر کل همبستگی
	وزن خشک برگ بوته	میانگین قطر ژئومتریک دانه	درصد تریگونلین اندام هوایی	
وزن خشک برگ بوته	۰/٤٥۹	۰/۲۰٤	۰/۰۲۸	۰/٦٦۰
میانگین قطر ژئومتریک دانه	۰/۱۷٥	۰/۳۹۳	۰/۰۰٦	۰/٦۰٤
درصد تریگونلین اندام هوایی	۰/۰۲٥	۰/۰۰۷	۰/٤۱٦	۰/٤٥۱
باقی‌مانده	۰/٥۲۰	–	–	–

با استفاده از روش تجزیه رگرسیون گام به گام در سطح یک درصد، مشخص شد که عملکرد دانه و درصد تریگونلین دانه برای تیمار عدم کاربرد متانول (جدول شماره ۹) و عملکرد دانه، درصد تریگونلین دانه و طول غلاف بوته برای تیمار محلول‌پاشی متانول (۳۰ درصد حجمی) در مدل مربوط به عملکرد تریگونلین دانه معنی‌دار بود (جدول شماره ۱۰). با توجه به مقدار عددی ضریب تبیین کل، این صفت ۹۹ درصد تغییرات مربوط به عملکرد تریگونلین دانه را توجیه می‌نماید و اثر بقیه عوامل بسیار ناچیز بوده است. پس از انجام تجزیه علیت در تیمار عدم استفاده از متانول عملکرد دانه با ۰/۷٤۹٥

و درصد تریگونلین دانه با ۰/۳۱۱۳، اثر مستقیم بر عملکرد تریگونلین دانه نشان دادند. درصد تریگونلین دانه با اثر غیرمستقیم بر عملکرد دانه، بر عملکرد تریگونلین دانه اثر گذاشت (جدول شماره ۱۱). در تیمار محلول‌پاشی متانول (۳۰ درصد حجمی) عملکرد دانه با ۰/۹۶۷٤ و درصد تریگونلین دانه با ۰/۳۳۳۹ اثر مستقیم بر عملکرد تریگونلین دانه نشان دادند (جدول شماره ۱۲). به علت این که ضریب همبستگی بین عملکرد تریگونلین دانه و طول غلاف بوته مثبت اما اثر مستقیم آن منفی می‌باشد، لذا از این صفت نمی‌توان در کارهای اصلاحی استفاده نمود. از نتایج هر دو تیمار عدم کاربرد و کاربرد متانول، این گونه استنباط می‌شود که به علت بالا بودن اثر مستقیم عملکرد دانه بر عملکرد تریگونلین دانه در کارهای اصلاحی می‌توان انتخاب مستقیم را از طریق عملکرد دانه انجام داد. اثر مستقیم صفات موثر بر عملکرد تریگونلین دانه در تیمار عدم مصرف متانول (شکل شماره ۲) و مصرف متانول (شکل شماره ۳) و صفات مؤثر بر عملکرد تریگونلین دانه به صورت نمودار سازمانی نمایش داده شده است.

جدول شماره ۹- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام صفات مؤثر بر عملکرد تریگونلین دانه در شنبلیله بدون کاربرد متانول

متغیرهای ورودی	مرحله	پارامتر	ضریب تبیین جزئی	ضریب تبیین مدل	F
عرض از مبدا	-	-۱/۸۲٦	-	-	-
عملکرد دانه	۱	۰/۰۰۳۲٤	۰/۹٤۲۲	۰/۹٤۲۲	**
درصد تریگونلین دانه	۲	٦/۰۸٦۳	۰/۰٥٤٤	۰/۹۹٦٦	**

**: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول شماره ۱۰- نتایج تجزیه رگرسیون گام به گام صفات مؤثر بر عملکرد تریگونلین دانه در شنبلیله با کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی

متغیرهای ورودی	مرحله	پارامتر	ضریب تبیین جزئی	ضریب تبیین مدل	F
عرض از مبدا	-	-۲/۷۰۷	-	-	-
عملکرد دانه	۱	۰/۰۰۳٥۱	۰/۸۸۹۷	۰/۸۸۹۷	**
درصد تریگونلین دانه	۲	۸/٤۱۱	۰/۱۰۸۸	۰/۹۹۸٥	**
طول غلاف بوته	۳	-۰/۰۰۱۷۲	۰/۰۰۰٤	۰/۹۹۹	**

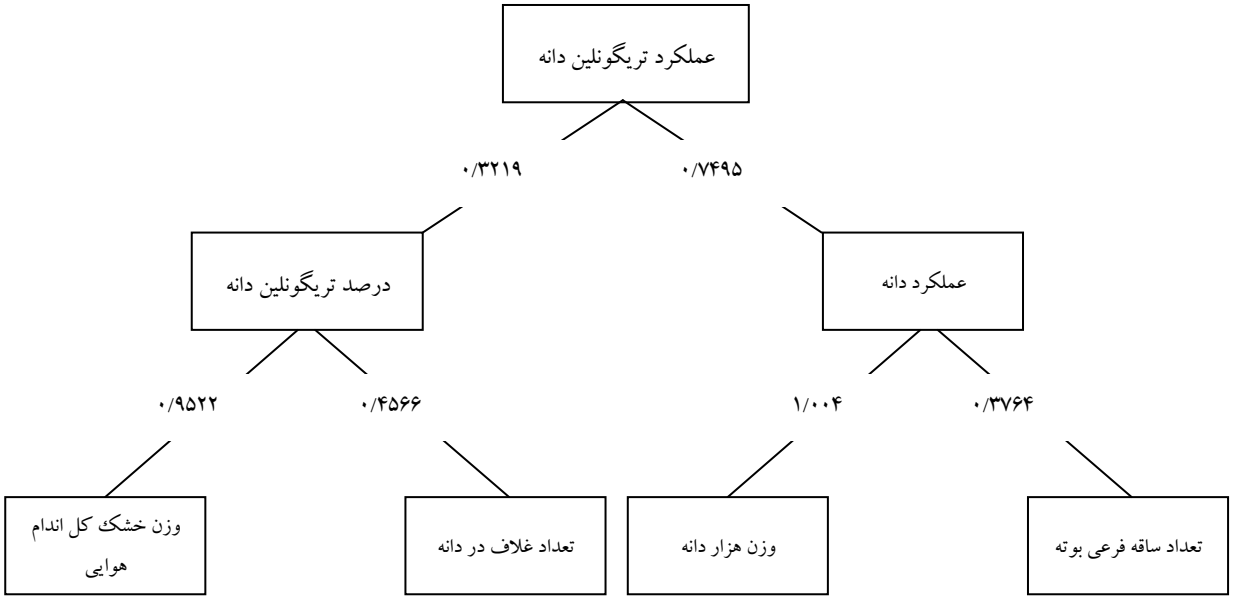
**: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول شماره ۱۱- تجزیه علیت بین عملکرد تریگونلین دانه با سایر صفات در شنبلیله بدون کاربرد متانول

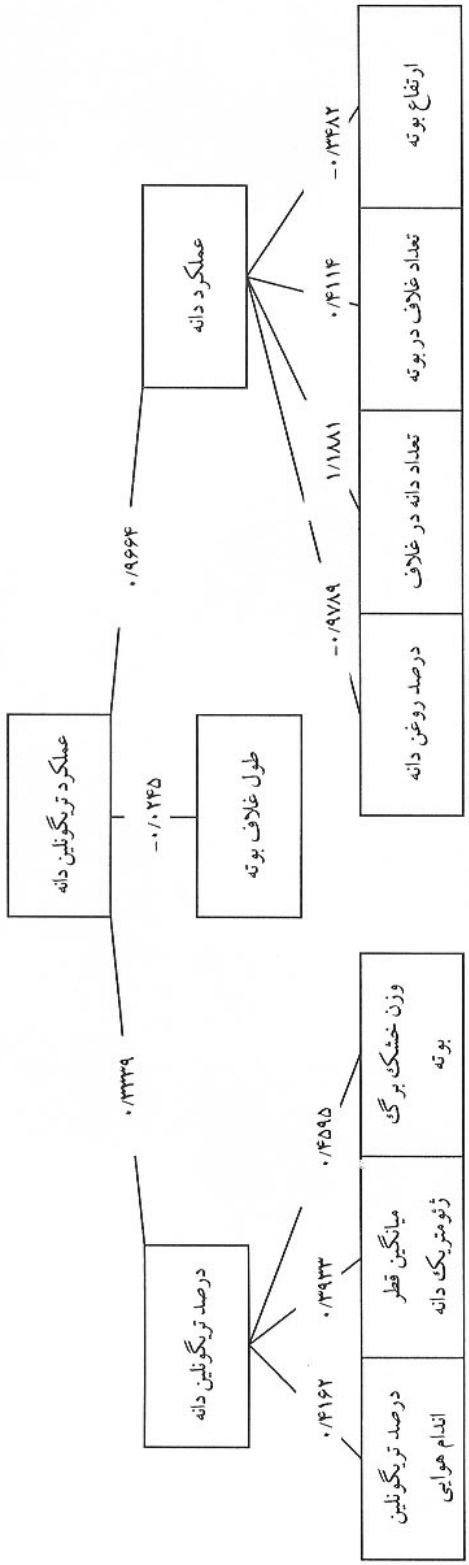
نام صفت	اثر غیر مستقیم از طریق		اثر کل همبستگی
	درصد تریگونلین دانه	عملکرد دانه	
درصد تریگونلین دانه	۰/۳۲۱۳	۰/۲۲۱۱	۰/۸۳۷۰
عملکرد دانه	۰/٥۱٥٦	۰/۷٤۹٥	۰/۹۷۰٦
باقی‌مانده	۰/۰٥۸٥	-	-

جدول شماره ۱۲- تجزیه علیت بین عملکرد تریگونلین دانه با سایر صفات در شنبلیله با کاربرد متانول ۳۰ درصد حجمی

نام صفت	اثر غیر مستقیم از طریق			اثر کل همبستگی
	عملکرد دانه	درصد تریگونلین دانه	طول غلاف بوته	
عملکرد دانه	۰/۹٦٦۷	-۰/۰۳۵۰۱	۰/٤۷۸۷	۰/۹٤۳۲
درصد تریگونلین دانه	-۰/۰۱۲۰	۰/۳۳۳۹	۰/۰٤٦۳	۰/۲۹۵۵
طول غلاف بوته	-۰/۰۱۲۱	-۰/۰۰۳۱	-۰/۰۲٤۵	۰/۵۰۰۵
باقی‌مانده	۰/۰۳۱۸	-	-	-



شکل شماره ۲- دیاگرام تجزیه علیت مرحله‌ای برای عملکرد ترگونلین دانه بدون محلول‌پاشی متانول و صفات وارد شده به مدل آن که نشان‌دهنده روابط درونی بین صفات مورد بررسی بوده و اعداد نشان دهنده اثر مستقیم صفات می‌باشند.



شکل شماره ۳- دیاگرام تجزیه علیت مرحله‌ای برای عملکرد ترگونلین دانه با محلول‌پاشی متانول ۳۰ درصد حجمی و صفات وارد شده به مدل آن که نشان‌دهنده روابط درونی بین صفات مورد بررسی بوده و اعداد نشان دهنده اثر مستقیم صفات می‌باشند.

بحث

شارما و ساستری (۲۰۰۸) پس از تجزیه علیت عملکرد دانه شنبلیله بیان داشتند که حداکثر سهم مستقیم به ترتیب مربوط به عملکرد بیولوژیکی، تعداد ساقه‌های فرعی بوته در هر گیاه و تعداد غلاف در هر گیاه می‌باشد [۱٦]. چاندرا (۱۹۹۲) اثر مستقیم و مثبت طول گیاه، تعداد غلاف در گیاه و عملکرد بیولوژیکی بر عملکرد دانه شنبلیله را گزارش کرد [۱۷]. فیکرسلاسی و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که تعداد دانه در هر گیاه و وزن هزار دانه بیشترین اثر مثبت و مستقیم را بر عملکرد دانه به خود اختصاص دادند. دیگر صفات به ترتیب عملکرد ماده خشک، تعداد گره‌هایی که در آن غلاف تشکیل می‌شود، تعداد غلاف در هر گیاه و ارتفاع گیاه اثر مستقیم و مثبتی بر عملکرد دانه نشان دادند [۱۸]. فیکرسلاسی و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند که همبستگی مثبت و بالایی که بین ارتفاع بوته و عملکرد دانه در هر بوته مشاهده می‌شود را می‌توان به اثر غیرمستقیم مثبت و بالای تعداد دانه در هر گیاه و وزن هزار دانه بر ارتفاع بوته مربوط دانست [۱۸]. مطالعات دیگر نشان‌دهنده اثر مستقیم و مثبت تعداد غلاف [۱۹]، ارتفاع گیاه [۲۰]، زمان رسیدگی [۲۱]، تعداد دانه در هر غلاف و تعداد ساقه [۲۲] روی عملکرد دانه شنبلیله است. وزن دانه [۲۰]، تعداد غلاف [۲۱، ۲۰] و ارتفاع گیاه [۲۱] اثر مستقیم و منفی روی عملکرد دانه داشتند. پراجاپتی و همکاران (۲۰۱۰) با توجه به ضریب تغییرات ژنتیکی و فنوتیپی و درصد توارث‌پذیری بیان داشتند که انتخاب صفات کمی همانند تعداد غلاف در گیاه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در غلاف می‌تواند در بهبود عملکرد دانه شنبلیله مؤثر باشد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با تعداد غلاف در گیاه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در غلاف مشاهده شد به طوری که این صفات تشکیل دهنده اجزای اصلی عملکرد دانه می‌باشند [۲۳] که با نتایج دیگر محققان [۲٤] همخوانی دارد.

با توجه به رگرسیون گام به گام، در تیمار عدم کاربرد متانول وزن هزار دانه و تعداد ساقه فرعی بوته برای عملکرد دانه (R^2=۰/۷٥٤)؛ وزن خشک کل و تعداد غلاف در بوته برای درصد تریگونلین دانه (R^2=۰/٦٦۹)؛ عملکرد دانه و درصد تریگونلین دانه برای عملکرد تریگونلین دانه (R^2=۰/۹۹٦) و در تیمار محلول‌پاشی متانول ۳۰ درصدحجمی، تعداد دانه در غلاف، درصد روغن دانه، تعداد غلاف در بوته و ارتفاع بوته برای عملکرد دانه (R^2=۰/۸۳٦)؛ وزن خشک برگ بوته، درصد تریگونلین اندام هوایی و میانگین قطر ژئومتریک دانه برای درصد تریگونلین دانه (R^2=۰/۷۲۹)؛ و عملکرد دانه، درصد تریگونلین دانه و طول غلاف بوته برای عملکرد تریگونلین دانه (R^2=۰/۹۹۹) به طور معنی‌داری، تغییرات مربوط به متغیرهای وابسته را توجیه می‌کنند. تجزیه علیت متغیرهای وابسته نشان داد که عملکرد تریگونلین دانه به وسیله اثر مستقیم و مثبت عملکرد دانه (بدون کاربرد متانول (۰/۷٤۹) و با کاربرد متانول (۰/۹٦۷)) و درصد تریگونلین دانه (بدون کاربرد متانول (۰/۳۲۱) و با کاربرد متانول (۰/۳۳۳)) مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد تریگونلین دانه می‌باشند. بنابراین، می‌توان برای افزایش عملکرد تریگونلین دانه از صفات عملکرد دانه و درصد تریگونلین دانه، در بهبود و اصلاح گیاه دارویی شنبلیله استفاده نمود.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج تجزیه علیت نشان داد که در تیمار بدون محلول‌پاشی، درصد تریگونلین دانه شنبلیله بیشترین رابطه مثبت و مستقیم را با وزن خشک اندام هوایی داشت. اما در تیمار محلول‌پاشی متانول، درصد تریگونلین دانه شنبلیله با وزن خشک برگ بوته دارای بالاترین سطح رابطه مثبت و مستقیم بود. همچنین عملکرد دانه در تیمار بدون محلول‌پاشی با وزن هزار دانه و در تیمار محلول‌پاشی متانول با تعداد دانه‌ی غلاف دارای بیشترین رابطه مثبت و مستقیم بود. در مجموع خصوصیات مذکور به عنوان مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد تریگونلین دانه شنبلیله، بیشترین تغیرات آن را توجیه نمودند.

منابع

1. Sadeghzadeh-Ahari D, Kashi A K, Hassandokht M R, Amri A and Alizadeh K. Assessment of drought tolerance in Iranian fenugreek landraces. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 2009; 7: 404 - 19.

2. Minorsky P V. Trigonelline: a diverse regulator in plants. *Plant Physiol*. 2002; 128: 7 - 8.

3. Kaviarasan S, Naik G, Gangabhagirathi H, Anuradha R C V and Priyadarsini K I. In vitro studies on antiradical and anti oxidant activities of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.) seeds. *Food Chem*. 2007; 103: 31 - 7.

4. Auerbach C. Chemicals and their effects. in *Mutation and Plant Breeding, Cornell* 1961; 25: 585 - 621.

5. Shimizu M M and Mazzafera P. A role for trigonelline during imbibitions and germination of coffee seeds. *Plant Biol*. 2000; 2: 605 - 11.

6. Green J M, Sharma D, Reddy L J, Saxena K B, Gupta S C, Jain K C, Reddy B V S and Rao M R. Methodology and progress in the I.C.R.I.S.A.T. *Pigeonpea Breeding Program*. in Intern. Workshop on Pigeonpeas, Patancheru 1981, pp: 437 - 49.

7. Mehrafarin A, Rezazadeh S, Naghdi badi H, Noormohammadi G, Zand E and Qaderi A. A review on biology, cultivation and biotechnology of fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.) as a valuable medicinal plant and multipurpose. *J. Medicinal Plants* 2011; 10: 6 - 24.

8. Abaszadeh B, Rezaiee M B and Paknejad F. Evaluation relationship between essential oil yield and some agriculture characters by using of path analysis of two ecotypes of *Mentha longifolia* (L.) Huds. Var. amphilema L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 2011; 27 (1): 46 - 52.

9. Akbari Z, Qaderi A, Kalate-Jari S, Mehrafarin A and Naghdi Badi H. Changes of trigonelline biosynthesis under nitrogenous compounds in hairy-root culture of Iranian fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *J. Medicinal Plants* 2012; 42: 128 - 35.

10. Mirzaee-nodushan H, Mehrpour S and Sefidkon F. Path analysis of the characters influencing essential oil in the three Thymus Species. *Pajouhesh & Sazandegi* 2007; 70: 88 - 94.

11. Omid-Beigi R, Karimzade G H and Kushki M H. Effect of plant date and density on productivity of milk thistle. *Iranian Journal of Science and Technol*. 2002; 27: 203 - 12.

12. Qavami N, Labbafi M R, Dehghani-Meshkani M R and Mehrafarin A. Determination of Seed and Oil Yield and Yield Components in Two Variety of Milk Thistle (*Silybum marianum* Gaetrn.) Based on Path Analysis and Regression. *J. Medicinal Plants* 2012; 11 (44): 78 - 85.

13. Noorbakhshian S J, Mousavi S A and Bagheri H R. Evaluation of agronomic traits and path coefficient analysis of yield for garlic cultivars. *Pajouhesh & Sazandegi* 2007; 77: 10 - 8.

14. Nemati Lafmajani Z, Tabaei-Aghdaei S R, Lebaschi M H, Jafari A A, Najafi Ashtiani A and Daneshkhah M. Path analysis of Rosa damascena Mill. performance under different conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 2012; 27 (4): 561 – 72.

15. Abbaszadeh B, Assareh M H, Ardakani M R, Paknejad F, Layegh Haghighi M and Meshkizadeh S. Sequential path analysis of effective characters on shoot yield and essential oil percentage of Camphorosma monspeliaca L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 2012; 28 (3): 523 - 33.

16. Sharma K C and Sastry E V D. Path analysis for seed yield and its component characters in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*. 2008; 17 (2): 69 - 74.

17. Chandra K, Sastry E V D & Singh D. Genetic variation and character association of grain yield and its component characters in fenugreek. *Agricultural Science Digest*. 2000; 20: 93 - 5.

18. Fikreselassie M, Zeleke H and Alemayehu N. Correlation and Path Analysis in Ethiopian Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) Landraces. *Crown Research in Education* 2012; 2 (3): 132 - 42.

19. Sade B, Akinerdem F, Tamkoc A, Topal A, Acar R and Soylu S. The correlation and path analysis of yield and yield components on fenugreek lines (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 1996; 20: 153 - 6.

20. Singh J V, Lodhi G P, Arora R N, Jhorar B S, Kishor C and Thakkal N K. Association analysis for some quantitative traits in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *International Journal of Tropical Agriculture* 1993; 11: 182 - 6.

21. Raghuvanshi S S and Singh R R. Genetics of yield and component characters in fenugreek. *SABRAO J*. 1984; 16: 1 - 7.

22. Pant K C, Chandel K P S, Singh B M and Saha S N. Diversity in the genetic material of *Trigonella foenum-graecum* and *T. corniculata*. *Indian Journal of Agricultural Science* 1983; 53 (537 - 543).

23. Prajapati D B, Ravindrababu Y and Prajapati B H. Genetic variability and character association in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops* 2010; 19 (1 & 2): 61 - 4.

24. Chandra K, Sastry E V D and Singh D. Genetic variation and character association of grain yield and its component characters in fenugreek. *Agriculture Science Digest* 2000; 20: 93 - 5.