

ارزیابی روابط علت و معلولی بین عملکرد دانه و اجزا آن در زنیان (*Trachyspermum copticum* L.) در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی

آزاده کریمی افشار^{۱*}، غفار کیانی^۲، حمید نجفی^۲ و امین باقی‌زاده^۳

۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
پست الکترونیک: Azadehkarimi.a@gmail.com

۲- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۷

تاریخ اصلاح نهایی: شهریور ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۷

چکیده

زنیان (*Trachyspermum copticum* L.)، یکی از گیاهان معروف خانواده چتریان است که از نظر تولیدات دارویی و اقتصادی دارای اهمیت می‌باشد. به منظور تعیین مهمترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده در دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی به عنوان عامل اصلی و ۳۶ اکتیپ زنیان متعلق به ۹ استان مختلف کشور به عنوان عامل فرعی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو تکرار طی دو سال زراعی در کرمان انجام شد. نتایج تجزیه رگرسیون چندگانه خطی به روش گام به گام نشان داد که در شرایط تنش خشکی صفات تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و عملکرد اسانس و در شرایط آبیاری معمولی صفات عملکرد بیولوژیک، وزن هزاردانه و تعداد دانه در چتر بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند که به ترتیب ۸۷٪ و ۹۹٪ از تغییرات به وسیله این صفات در دو شرایط تبیین شد. براساس نتایج تجزیه علیت، صفات تعداد چتر در بوته در شرایط تنش و عملکرد بیولوژیک در شرایط نرمال بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشتند و به عنوان مهمترین اجزای عملکرد دانه شناخته شدند. این صفات می‌توانند به عنوان معیارهایی مناسب برای تسهیل فرآیند انتخاب غیرمستقیم و بررسی توانمندی عملکرد دانه در برنامه‌های به‌نژادی زنیان مدنظر قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه علیت، خشکی، رگرسیون گام به گام، زنیان (*Trachyspermum copticum* L.).

مقدمه

اسامی انگلیسی *Carum* و *Bishweed*، *Ajwain*، *Ajowan*، اجزای عمده اسانس زنیان شامل تیمول، پارا-سیمن و گاما-ترپنین می‌باشد که دارای خواص ضد قارچ و ضد باکتری بوده و همچنین تأثیر آن بر فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده در پانکراس و روده کوچک به اثبات رسیده است. از این گیاه در صنایع داروسازی و در تولید

زنیان *Trachyspermum copticum* و مترادف آن *Carum copticum* از خانواده *Apiaceae*، گیاهی علفی و یک‌ساله که به‌حالت خودرو در نواحی شرقی هند، ایران، پاکستان و مصر می‌روید. زنیان در کتب طب سنتی با نام‌های مختلف انیسون بری و بادیان رومی آورده شده است و با

می‌توان از متغیرهای مستقل با میزان تأثیر مناسب به‌عنوان معیارهایی برای گزینش موفق برای افزایش عملکرد دانه استفاده کرد (Selvaraj & Nagarajan, 2011؛ Yasin & Singh, 2010؛ Del Moral *et al.*, 2003).

نتایج رگرسیون گام به گام در ۴۹ اکوتیپ زیره سبز نشان داد که تعداد چتر در بوته، وزن هزاردانه، تعداد دانه در چتر و طول دانه در مجموع ۸۹٪ از تغییرات خطی عملکرد دانه را توجیه می‌کردند. براساس نتایج تجزیه علیت این محققان تعداد دانه در چتر بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه زیره سبز داشت (Bahraminejad *et al.*, 2011). در حالیکه در مطالعه‌ای دیگر بر روی توده‌های مختلف زیره سبز توسط Ghanbari و همکاران (۲۰۱۴) مشخص شد که صفات تعداد دانه در بوته، تعداد چتر در بوته و وزن هزاردانه بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند و بیش از ۹۳٪ از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. همچنین با توجه به نتایج حاصل از تجزیه علیت، تعداد چتر در بوته بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشت. مطالعه Maleki و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر ۵۳٪ از تغییرات عملکرد دانه گیاه انیسون را توجیه کردند. همچنین مطابق با نتایج تجزیه علیت، بخش عمده همبستگی این صفات با عملکرد دانه اثر مستقیم آنها را تشکیل می‌دهد.

با بررسی روابط بین صفات زراعی و عملکرد دانه *Aegilops cylindrical* مشخص شد که صفات عملکرد سنبله تک بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، وزن تک سنبله و طول سنبله در شرایط نرمال و صفات عملکرد سنبله تک بوته، وزن تک سنبله و وزن هزاردانه در شرایط تنش بیشترین تغییرات مدل رگرسیون را توجیه می‌کنند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی عملکرد سنبله تک بوته بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشت. این محققان پیشنهاد کردند که در برنامه‌های اصلاحی با هدف افزایش عملکرد دانه در جمعیت‌های *Ae. cylindrical* بهتر است در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی گزینش براساس عملکرد سنبله انجام

داروهای کاهنده فشار خون، داروهای ضد سرفه، داروهای کاهش دهنده پلاکت و داروهای محافظت از کبد استفاده می‌شود (Chauhan *et al.*, 2012؛ Esmaeili & Ghobadianpour, 2016).

خشکی مهمترین عامل کاهش عملکرد گیاهان به‌شمار می‌آید. ایران با متوسط بارندگی ۲۲۰ میلی‌متر در سال جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود، باوجوداین از نظر پوشش و تنوع گیاهی دارای منابع بی‌ظنیری است که سبب شده توده‌های مختلف گیاهان دارویی که در بیشتر این مناطق کشت و کار می‌شوند از نظر کمی و کیفی بسیار متفاوت باشند. از این‌رو توجه به‌نژادگران به سمت اصلاح گیاهان دارویی سازگار با مناطق خشک و نیمه‌خشک سوق یافته است (Bahraminejad *et al.*, 2011؛ Darvishzadeh *et al.*, 2011).

از آنجا که عملکرد دانه صفتی پیچیده و کمی است، انتخاب برای عملکرد باید به‌صورت غیرمستقیم انجام شود، زیرا انتخاب مستقیم تحت شرایط تنش خشکی به‌دلیل وجود وراثت‌پذیری پایین، کنترلی پلی‌ژنیک، اپیستازی و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و همچنین اثر متقابل مکان‌های کنترل‌کننده صفات کمی در محیط بی‌نتیجه می‌باشد (Mohammadi *et al.*, 2003؛ Piepho, 2000).

برای اصلاح غیرمستقیم عملکرد دانه اطلاع از نحوه و میزان تأثیر صفات مختلف بر آن ضروریست. از آنجا که با محاسبه ضریب همبستگی ماهیت ارتباط بین صفات مشخص نمی‌شود، بنابراین باید دنبال توضیحات قابل پذیرش از همبستگی بین صفات بر پایه یک مدل علت و معلولی با استفاده از تجزیه علیت بود تا ضمن بررسی روابط اساسی میان صفات، اهمیت صفات مؤثر بر یک صفت خاص برآورد شود (Tuberosa & Salvi, 2006). در تجزیه علیت ضرایب همبستگی به آثار مستقیم و غیرمستقیم مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل یک متغیر وابسته تقسیم شده و اهمیت هر صفت در عملکرد دانه اندازه‌گیری می‌شود و آن دسته از اجزاء عملکرد که دارای اثرهای قابل توجه هستند برای استفاده به‌عنوان معیارهای انتخاب، شناخته شده و

آبی گیاهان اغلب تأمین نمی‌شود و از آنجا که تنش خشکی، رشد گیاه را از زمان جوانه‌زنی تا مراحل پایانی رشد تحت تأثیر قرار می‌دهد قرار گرفتن گیاه در معرض تنش خشکی به‌ویژه در برخی مواقع سال امری اجتناب‌ناپذیر است. کاشت زنیان در ایران به‌صورت دیم به نحوی است که گیاه در اوایل رشد زایشی به‌دلیل کمبود یا نبود بارندگی دچار تنش خشکی می‌شود؛ از این‌رو مهمترین مرحله رشدی گیاه، که گلدهی است اغلب با تنش خشکی و کمی بارش همراه است، به همین دلیل تنش خشکی هنگامی که حداکثر ۵٪ مزرعه وارد مرحله گلدهی شده بود، اعمال شد.

آبیاری مزرعه در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی تا مرحله ۵٪ گلدهی به‌طور مشابه انجام شد. از مرحله ۵٪ گلدهی به بعد در شرایط آبیاری نرمال، آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر و در شرایط تنش خشکی بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A انجام گردید، به این صورت که دور آبیاری تا زمان برداشت برای شرایط نرمال هر ۷ روز یک‌بار و برای شرایط تنش خشکی هر ۱۴ روز یک‌بار اعمال شد. کاشت در هر دو سال در دی‌ماه انجام شد و در اواخر خرداد با تغییر رنگ بذرها به قهوه‌ای، برداشت انجام گردید. برای مطالعات فنوتیپی از هر اکوتیپ در هر تیمار تعداد ۱۵ بوته به تصادف انتخاب و صفات تعداد چتر در بوته (کل چترهای بارور در هر بوته)، تعداد دانه در چتر (تعداد دانه‌های شمارش شده در هر بوته) با در نظر گرفتن تعداد چترهای بوته) و ارتفاع بوته (از سطح زمین و نزدیک طوقه تا زیر چتر انتهایی با استفاده از خط‌کش و برحسب سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری صفات وزن هزاردانه (گرم)، عملکرد بیولوژیک (از توزین قسمت هوایی بوته‌ها بعد از خشک شدن در دمای اتاق و برحسب کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار) از بالک تکرارها استفاده شد. عملکرد اسانس نیز با استفاده از روش تقطیر با آب و به‌وسیله دستگاه کلونجر به مدت ۴ ساعت از ۱۰ گرم بذر

شود (Noori *et al.*, 2017). البته رابطه بین عملکرد گیاه با دیگر صفات در شرایط مختلف آبیاری ممکن است متفاوت باشد. چنانچه در مطالعه Darvishzadeh و همکاران (۲۰۱۱) در آفتابگردان، قطر طبق و تعداد گلچه در هر دو شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی و صفات محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی مهمترین صفات برای انتخاب در برنامه‌های اصلاح آفتابگردان معرفی شدند.

با وجود اهمیت گیاه زنیان از نظر دارویی و همچنین کاشت آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک که اغلب به صورت دیم انجام می‌شود، مطالعات درباره تأثیر خشکی بر عملکرد و اجزاء آن انجام نشده است. در این پژوهش سعی شده تا با بررسی روابط میان عملکرد و اجزای آن در شرایط متفاوت رطوبتی، صفات مؤثر بر عملکرد دانه شناسایی شده تا بتوان برنامه اصلاح زنیان در مناطق خشک و نیمه‌خشک را با انتخاب غیرمستقیم در مزرعه دقیق‌تر مدیریت نمود.

مواد و روش‌ها

اکوتیپ‌های زنیان از مناطق رویشگاه طبیعی آن در استان‌های مختلف (توسط کلیدهای معتبر رده‌بندی گیاه‌شناسی) شناسایی و جمع‌آوری شدند. اکوتیپ زنیان متعلق به ۹ جمعیت جمع‌آوری شده از استان‌های مختلف ایران به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی شامل دو عامل رژیم آبیاری متفاوت به‌عنوان عامل اصلی و ۳۶ اکوتیپ به‌عنوان عامل فرعی با ۲ تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات استان کرمان طی سال‌های ۹۶-۱۳۹۵ کشت شدند (جدول ۱). مزرعه در ۳۰ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۹۶۹ متر از سطح دریا واقع شده است.

گیاه زنیان اغلب به‌صورت پاییزه و از اواخر آذر تا بهمن‌ماه کشت می‌شود. در کشور ایران به‌دلیل پایین بودن میزان نزولات جوی به‌ویژه در مناطق گرم و خشک، نیاز

خشک شده و ساییده شده استخراج گردید و اسانس بدست آمده توسط سولفات سدیم رطوبت زدایی شد. تجزیه واریانس مرکب بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با ۲ تکرار و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ و با استفاده از نرم افزار SAS

Path2 (version 22) SPSS و برای تجزیه علیت از نرم افزار رگرسیون چندگانه خطی به روش گام به گام از نرم افزار (version 9.1) انجام شد. برای انجام همبستگی‌ها، تجزیه

جدول ۱-۳۶ اکوتیپ گیاه زنیان جمع‌آوری شده از ۹ استان مختلف

ردیف	استان	اکوتیپ	ردیف	استان	اکوتیپ	ردیف	استان	اکوتیپ
۱	کرمان	کوهبنان	۱۳	فارس	سروستان	۲۵	خراسان جنوبی	قاین
۲	کرمان	جوپار	۱۴	فارس	سپیدان	۲۶	خراسان جنوبی	سربیشه
۳	کرمان	راور	۱۵	فارس	مرودشت	۲۷	خراسان جنوبی	بشرویه
۴	کرمان	بردسیر	۱۶	اصفهان	فلاورجان	۲۸	خراسان جنوبی	بیرجند
۵	کرمان	راین	۱۷	اصفهان	نجف آباد	۲۹	مرکزی	شازند
۶	کرمان	ماهان	۱۸	اصفهان	نابین	۳۰	مرکزی	اراک
۷	کرمان	رفسنجان	۱۹	اصفهان	سمیرم	۳۱	مرکزی	خمین
۸	یزد	میبد	۲۰	خراسان شمالی	بجنورد	۳۲	خراسان رضوی	چناران
۹	یزد	شاهدیه	۲۱	خراسان شمالی	گرمه	۳۳	خراسان رضوی	محمدیه
۱۰	یزد	صدوق	۲۲	سیستان و بلوچستان	زابل	۳۴	خراسان رضوی	زاوه
۱۱	یزد	یزد	۲۳	سیستان و بلوچستان	زاهدان	۳۵	خراسان رضوی	گناباد
۱۲	یزد	اردکان	۲۴	خراسان جنوبی	فردوس	۳۶	خراسان رضوی	مشهد

نتایج

نتایج تجزیه واریانس مرکب در جدول ۲ آمده است. اثر سال برای صفات تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزاردانه معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. در شرایط آبیاری معمولی بیشترین و کمترین ارتفاع به ترتیب مربوط به اکوتیپ نجف‌آباد با ۸۰/۴ سانتی‌متر و اکوتیپ جوپار با ۶۴/۴ سانتی‌متر است. در شرایط تنش خشکی اکوتیپ سپیدان با ارتفاع ۶۸/۸ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع را داشت و کمترین ارتفاع متعلق به اکوتیپ راین با ارتفاع

۴۱/۸ سانتی‌متر بود (جدول ۳). میانگین ارتفاع اکوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و آبیاری معمولی نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ۲۷ درصدی ارتفاع شد. با اعمال تنش خشکی همزمان با شروع گلدهی، تعداد چتر در بوته کاهش یافت. اکوتیپ مشهد با متوسط تعداد ۵۰/۹ بیشترین و اکوتیپ زاهدان با متوسط ۲۸/۹ کمترین تعداد چتر در بوته را در شرایط آبیاری معمولی داشتند، در حالیکه در تیمار تنش خشکی اکوتیپ‌های بشرویه و محمدیه با متوسط ۳۹/۹ و ۱۳/۳ بیشترین و کمترین مقدار برای این صفت را نشان دادند.

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع (cm)	تعداد چتر در بوته	وزن هزاردانه (gr)	تعداد دانه در چتر	عملکرد بیولوژیک (Kg/Ha)	عملکرد دانه (Kg/Ha)	عملکرد اسانس (Kg/Ha)	درصد اسانس
سال	۱	۶۳۲۰/۵	۱۵۰۵/۲**	۵/۸**	۲۳۹۳۷/۰۰۲*	۲۱۸۷۷۵۱۰	۳۵۶۲۹۷	۷۸۹۴	۰/۵۵
بلوک (سال) خطای a	۲	۳۱/۸	۴۱۴/۰۱	۰/۳۵	۱۱۷۷/۶	۱۳۵۰۱۲۸/۱	۱۳۲۱۲۰۸/۲	۱/۹	۰/۰۲
آبیاری	۱	۱۶۰۳۶/۱	۶۳۳۸/۹	۱۳/۹	۱۱۱۷۱/۵	۶۵۹۳۰۶۶	۴۹۲۳۷۱۱/۹	۱۲۵۷/۸	۰/۵۹**
آبیاری در سال	۱	۵۷۷/۲*	۱۶/۱۸	۰/۰۶ ^{ns}	۹۵۷/۷	۷۱۸۲۶۶	۸۸۰۸۷۹/۳	۴۲۳/۰۸**	۰/۵
بلوک در آبیاری (سال) (خطای b)	۲	۱۰۲/۱	۹۷/۳	۰/۱۸	۴۵۱/۴	۱۷۰۶۲۶	۲۴۶۶۹۴	۲/۶	۰/۱۱
اکوتیپ	۳۵	۳۳/۹	۱۳۹/۱	۰/۱۶	۲۵۴/۴	۱۶۳۷۲۵	۵۶۳۹۸	۴۹/۱۶	۰/۳۱
آبیاری در اکوتیپ	۳۵	۲۰/۹ ^{ns}	۱۶/۳ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۵۳	۶۲۷۶۵	۶۷۰۰۳**	۷/۶**	۰/۱۱
سال در اکوتیپ	۳۵	۲۹/۱*	۱۷۱/۸**	۰/۲۵	۲۳۹/۶**	۱۷۶۴۴/۱*	۵۱۰۰۲**	۴۹/۰۹**	۰/۱۸
سال در آبیاری در اکوتیپ	۳۵	۱۷/۴ ^{ns}	۲۴/۲ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۵۴/۰۱	۵۶۸۹۴	۲۰۰۷۵/۰۳ ^{ns}	۴/۶**	۱/۰۴
خطای c	۱۳۹	۳۲/۱۶	۱۶۲/۲	۰/۲۲	۲۴۰/۱	۱۸۲۳۱۲	۹۷۲۳۷/۹	۵۲/۳۶	۰/۲۰۵

*، ** و ns: به ترتیب وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪ احتمال و عدم وجود اختلاف معنی دار

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات ارزیابی شده تحت تنش خشکی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪

شماره اکوتیپ	ارتفاع (cm)		تعداد چتر در بوته		وزن هزاردانه (gr)		تعداد دانه در چتر		عملکرد دانه (Kg/Ha)		عملکرد بیولوژیک (Kg/Ha)		عملکرد اسانس (Kg/Ha)		درصد اسانس	
	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال
۱	۶۴/۷۵gh	۵۰/۶b-h	۳۴/۹c-h	۲۳/۲d-i	۰/۵h	۰/۸h	۶۵/۳۱f-h	۵۳e-h	۹۵۸/۵e-k	۵۷۷/۹b-e	۳۰۳۶b-g	۲۲۳۴d-f	۳۸/۹c-h	۲۶/۸g-j	۲/۹۶c-i	۳/۹۹a-d
۲	۶۴/۴h	۴۸/۳d-h	۲۵/۲h-m	۱۴/۴i	۰/۹۶c-e	۱/۶a-g	۵۹/۵۳gh	۴۵h	۷۷۷i-k	۷۸۶/۳b-e	۳۰۶۱/۸b-g	۲۵۰۵/۲b-f	۳۶/۵f-i	۲۸/۴f-i	۳/۰۶b-h	۴/۴a
۳	۶۸/۰d-h	۴۶/۱۷f-h	۳۶/۹b-g	۲۲/۵d-i	۰/۹۵c-h	۱/۷a-e	۷۱/۱d-h	۴۴h	۶۵۵/۲k	۵۲۹/۳b-e	۳۳۰۸a-e	۲۴۳۴/۷b-f	۲۶/۶no	۲۳/۸j-m	۲/۷۷f-j	۳/۷c-h
۴	۶۵/۴۴f-h	۵۴/۵b-g	۳۲/۴e-l	۱۷/۶f-i	۰/۹۱c-h	۱/۹ab	۷۰/۲f-h	۵۶/۵e-h	۱۴۷۰/۱a-d	۸۹۳/۳b-c	۲۸۱۹/۷d-f	۲۷۵۷/۶a-f	۳۶/۵f-i	۳۱/۵c-f	۳b-h	۳/۵c-i
۵	۷۴/۸a-h	۴۱/۸۴h	۲۵/۲h-m	۱۷/۴f-i	۰/۶۵gh	۱/۴a-h	۶۶/۸f-h	۵۶/۸e-h	۱۰۶۲/۳c-k	۷۹۲/۴b-e	۳۵۲۵/۹a-d	۳۱۰/۵a-c	۲۵h-k	۲۶/۸g-k	۳/۲۹a-f	۳/۹a-e
۶	۷۰/۸a-h	۶۰/۵ab	۳۲/۶e-l	۱۷/۴f-i	۱/۰۵c-h	۱/۰۷f-h	۶۱gh	۵۲/۲f-h	۱۰۰۸/۲c-k	۹۰۶/۵b	۳۳۴۵/۷a-e	۲۷۵۵/۷a-f	۳۴/۲i-k	۳۰/۵e-g	۳/۰۲b-h	۳/۵c-i
۷	۷۲/۷a-h	۶۰a-c	۲۶/۵g-m	۱۹/۸e-i	۱/۰۳c-h	۱/۳a-h	۹۶/۶a-e	۶۲/۳d-g	۱۷۰۷/۸a	۷۴۰/۹b-e	۳۷۱۲Ab	۲۴۳۳/۷b-e	۲۹/۴l-n	۲۶/۵h-k	۲/۹e-i	۳/۴d-i
۸	۷۰/۳a-h	a-c۶۰/۷	۲۸/۵f-m	۱۴/۱i	۰/۹c-h	۱/۵۱a-g	۷۳/۰۲c-h	۶۲/۱d-g	۱۴۲۸/۲a-e	۸۶۶/۲b-c	۳۱۸۰a-g	۲۸۰۳/۲b-f	۳۷/۶d-i	۳۳/۵a-e	۲/۳۵j	۴/۰۷a-c
۹	۷۰/۳a-h	۵۰/۴b-h	۴۴/۴a-d	۳۱/۶a-d	۰/۶۶gh	۱/۵۸a-g	۷۱/۲e-h	۵۷/۹d-h	۱۴۳۳/۲a-e	۹۱۰/۴b	۳۰۴۲/۹b-g	۲۶۴۴/۵b-f	۳۵/۷g-j	۳۰e-h	۳/۱۵b-g	۳/۵c-i
۱۰	۷۶/۵a-e	۵۱/۹b-h	۲۸/۲f-m	۱۴/۸hi	۰/۹۵c-h	۱/۳b-h	۶۲/۶f-h	۵۴/۴e-h	۹۱۸/۷f-k	۴۶۶/۲c-e	۳۶۸۵/۴e-g	۲۲۴۶/۵d-f	۳۷/۷d-i	۲۵/۸i-k	۳/۲۵a-e	۳/۵۲c-i
۱۱	۷۹a-c	۵۷/۸b-e	۳۸/۷b-f	۲۷/۳c-f	۱/۰۹c-h	۱/۶۱a-g	۷۲/۶c-h	۵۳e-h	۹۹۴/۴f-k	۷۹۹/۶c-d	۲۹۸۸/۸b-g	۲۷۵۲/۲a-f	۳۹/۸a-g	۳۱/۶c-f	۳b-h	۳/۴۳d-i
۱۲	۷۵/۳a-f	۵۲/۴b-h	۴۰/۶a-e	۲۷/۱c-f	۰/۷۳f-h	۱/۸۲a-e	۸۱/۷a-g	۶۱/۵d-g	۱۱۸۲/۲b-i	۹۱۳/۶b	۳۱۰۰b-g	۲۹۷۵a-d	۰۲۴/۵	۲۰/۴m	۳/۴۵a-d	۳/۸۵a-f
۱۳	۷۶/۵a-e	۴۹/۳c-h	۲۳/۶i-m	۱۷/۷f-h	۰/۸e-h	۱/۵۶a-g	۸۱/۷a-h	۵۰/۳gh	۱۴۱۶/۶a-e	۸۵۷bc	۳۳۱۸/۲a-e	۲۷۳۱/۸a-f	۳۹/۸a-g	۳۶/۴ab	۲/۸۲f-j	۳/۲۸f-i
۱۴	۷۹/۹۲ab	a۶۸/۸۵	۲۹/۸e-k	۲۹/۴a-e	۰/۹۴c-h	۱/۴۱a-h	۷۹/۵a-h	۵۱/۷f-h	۱۰۵۶/۳c-k	۷۴۵/۲b-d	۳۱۳۴/۵b-g	۲۱۰۳/۵Ef	۴۰/۲a-g	۳۱/۹c-f	۳/۰۶b-h	۳/۳۷d-i
۱۵	۶۸/۹c-h	۵۲/۹b-g	۲۲/۵k-m	۱۴/۶hi	۰/۸۷c-h	۱/۴۹a-g	۵۹/۲۷gh	۵۰/۳gh	۸۱۹/۶h-k	۶۳۹/۲b-d	۲۹۸۰b-g	۲۷۱۹a-f	۳۶/۵f-i	۳۱/۷c-f	۲/۴j	۳/۶c-i
۱۶	۶۶/۶e-h	۵۳/۵b-g	۳۴/۸c-h	۲۲/۷d-i	۰/۹۸c-h	۱/۲۴c-g	۶۷/۷۲gh	۵۱/۳f-h	۷۰۷/۶jk	۴۰۱/۳de	۲۴۳۹۸/g	۲۰۰۲/AF	۳۵/۹g-j	۲۵i-l	۲/۷g-j	۳/۱hi
۱۷	۸۰/۴۲a	۵۸/۶a-d	۳۶/۹c-g	۲۶/۴b-g	۱/۶۴a-g	۱/۱۳c-g	۹۱/۹۵a-f	۶۵/۳c-g	۱۰۷۶/۸c-k	۸۷۴/۲bc	۳۲۲۷/۵a-f	۲۸۳۲a-e	۴۳a-c	۳۶/۸a	۲/۵۵h-j	۳/۳۵e-i
۱۸	۶۹/۶b-h	۵۶/۵b-g	۲۹/۵e-m	۲۲/۰۸d-i	۱/۷۹a-e	۱/۰۱c-g	۷۲/۹۷c-h	۵۵/۸d-h	۷۹۲/۴i-k	۵۶۴/۸b-e	۲۸۹۰/۵c-g	۲۴۷۹/۵b-e	۳۳/۹i-k	۲۸f-i	۳/۴a-e	۳/۸۹a-f

ادامه جدول ۳ - ...

شماره اکوتیپ	ارتفاع (cm)		تعداد چتر در بوته		وزن هزاردانه (gr)		تعداد دانه در چتر		عملکرد دانه (Kg/Ha)		عملکرد بیولوژیک (Kg/Ha)		عملکرد اسانس (Kg/Ha)		درصد اسانس	
	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال
۱۹	۶۹/۹a-h	۴۸/۶d-h	۲۷/۹f-m	۱۷/۵f-i	۱/۰۹c-h	۱/۱۶e-h	۷۲/۱c-h	۵۲/۴f-h	۱۱۹۶/۲b-j	۸۰۸/۳b-d	۸۰۸/۳b-d	۳۱۰۸/۶b-g	۲۵۰۴b-f	۴۰/۸a-f	۳۵/۲a-c	۳/۷۲c-h
۲۰	۷۲/۱a-h	۵۳/۸b-g	۳۰e-l	۲۰/۹c-h	۱/۰۴c-h	۱/۸a-e	۸۲/۳a-h	۵۴e-h	۱۵۰۷/۷a-c	۳۶۰/۸e	۱۵۰۷/۷a-c	۳۱۰۷/۶	۲۶۰/۸e	۱۵۰۷/۷a-c	۲/۰۵l	۲/۴jz
۲۱	۷۷/۳a-d	۴۸/۴e-h	۳۴/۱c-h	۱۵/۸g-i	۰/۸۵c-h	۱/۶۷a-g	۶۷/۹e-h	۵۷/۱d-h	۱۳۰۵/۴a-h	۹۲۲b	۱۳۰۵/۴a-h	۳۱۱۰/۵b-g	۹۲۲b	۲۶۳۸/۷b-e	۲۷/۵m-o	۳/۴۲d-i
۲۲	۷۴/۲a-f	۵۵/۹b-g	۳۴/۸c-h	۲۷b-f	۰/۸۲d-h	۱/۴a-h	۷۲/۹c-h	۵۹/۴d-h	۱۶۱۰ab	۱۳۲۲a	۱۶۱۰ab	۳۸۸۴/۳a	۳۴۳۴a	۳۱/۸j-k	۲۶/۴h-k	۳b-h
۲۳	۶۸/۸c-h	۵۷/۱۵b-f	۲۸/۹f-m	۲۱/۸d-i	۲/۰۴a	۱/۱۶c-h	۶۹/۱e-h	۷۱/۲b-d	۱۱۵۲/۶b-k	۸۶۱/۴b-c	۱۱۵۲/۶b-k	۲۸۹۴/۶c-g	۲۵۰۳b-f	۴۴a	۳۴a-d	۲/۹e-i
۲۴	۷۱/۶a-h	۵۴/۷b-g	۲۴/۳h-m	۱۹/۴e-i	۰/۸۷c-h	۱/۵a-g	۶۵/۵f-h	۵۰gh	۱۱۴۳/۷b-k	۸۹۸b-c	۱۱۴۳/۷b-k	۲۹۲۰/۳c-g	۲۷۲۵/۸a-f	۴۳/۵ab	۲۴/۷a-c	۳/۵ab
۲۵	۶۸/۰d-e	۴۵/۸g-h	۴۴/۵a-c	۳۵/۰۴a-c	۱/۱۴c-g	۱/۴a-h	۷۵/۳b-h	۷۷/۹a-c	۱۳۹۵/۲a-g	۵۱۹/۲b-e	۱۳۹۵/۲a-g	۵۱۹/۲b-e	a-d۲۹۲۰/۹	۳۱۵۰Ab	no۲۵/۶	۳/۱۷b-g
۲۶	۷۷/۳a-e	۴۷/۳e-h	۲۹/۱f-m	۲۱/۵d-i	۰/۷۷f-h	۱/۶a-g	۶۱gh	۵۰/۱gh	۹۳۶/۱e-k	۷۶۹/۶b-e	۹۳۶/۱e-k	۳۱۰۰b-g	۲۳۲۳d-f	۳۹/۴b-h	۳۲/۷b-e	۳/۸۸a-f
۲۷	۷۶/۴a-e	۵۳/۱b-g	۵۰/۴a	۳۹/۳a	۱/۴a-h	۰/۶۴gh	۸۷/۴a-g	۸۲/۳ab	۱۲۷۱/۲a-i	۴۹۸/۴b-e	۱۲۷۱/۲a-i	۲۵۰۶/۳a-d	۲۸۱۰/۶a-e	۲۵h-k	۲۸/۲f-h	۳/۰۵b-h
۲۸	۷۲/۷a-h	۴۹/۱c-h	۲۲/۹j-m	۱۶/۵f-i	۱/۰۸c-h	۱/۱۷d-h	۸۰/۵a-h	۵۲f-h	۱۲۳۴/۹a-i	۳۸۴/۹d-e	۱۲۳۴/۹a-i	۳۰۲۳/۶b-g	۲۳۶۳/۶c-f	۴۱/۲a-e	۲۴/۵a-d	۳/۹۵a-e
۲۹	۷۶/۶a-e	۴۹/۰c-h	۲۴/۶i-m	۱۷/۷f-i	۱/۰۶c-g	۱/۴a-h	۱۰۶/۲a	۶۸/۲b-e	۱۲۵۶/۲a-g	۵۷۸/۲b-e	۱۲۵۶/۲a-g	۳۰۷۹/۲b-g	۲۵۴۲/۱b-f	۲۷m-o	۲۰/۷m	۲/۹۵c-i
۳۰	۷۱/۱a-e	۵۸/۸a-d	۳۳/۶c-l	۱۵/۶g-i	۰/۵۵h	۱/۷a-f	۱۰۳/۵ab	۶۴/۶c-g	۹۰۷/۲g-k	۷۴۷/۱b-e	۹۰۷/۲g-k	۳۲۰۴/۱a-f	۲۸۵۶/۳a-e	۲۷/۶m-o	۲۱/۸Lm	۳/۲۵a-f
۳۱	۷۲/۹a-h	۵۲/۴b-h	۱۸/۴m	۱۶/۵f-i	۰/۹۶c-h	۱/۵۹a-g	۸۵/۵a-g	۶۶/۸c-f	۱۱۲۶/۲b-k	۷۰۶b-e	۱۱۲۶/۲b-k	۲۸۸۳/۶c-g	۲۶۸۸/۸a-f	۴۱/۵a-d	۳۲c-f	d-i۲/۹۴
۳۲	۷۵/۶۴a-f	۵۶/۴b-g	۴۰/۴a-e	۲۵/۶c-h	۱/۷a-g	۰/۹۵c-h	۹۸a-d	۸۲/۳ab	۱۱۱۸/۸b-k	۸۶۷/۷b-c	۱۱۱۸/۸b-k	۳۳۵۶/۱a-e	۲۷۶۴a-f	۳۶/۴f-i	۳۲/۵b-d	۳/۶۹a
۳۳	۷۴/۸a-h	۴۹/۵b-h	۲۲/۳l-m	۱۳/۳i	۰/۹۱c-h	۱gh	۵۴/۵h	۴۵/۱h	۹۰۲/۱g-k	۶۱۹/۵b-e	۹۰۲/۱g-k	۲۶۳۹/۱e-g	۲۴۵۱/۷b-f	۳۶/۷e-i	۳۲/۸a-e	۳/۱b-g
۳۴	۷۳/۸a-h	۵۵/۱b-g	۴۷/۳ab	۲۱/۹d-i	۰/۶۵gh	۱/۹a-c	۶۷/۵e-h	۴۹/۷gh	۱۱۷۸/۹b-i	۷۲۶/۲b-e	۱۱۷۸/۹b-i	۲۸۶۸/۹e-g	۲۵۲۶/۵b-f	۴۲/۷a-c	۳۴a-e	۳/۰۵b-h
۳۵	۷۳/۵a-h	۵۴/۷b-g	۳۱/۰۵d-k	۲۳/۸d-i	۱/۰۵c-h	۱/۷a-g	۶۹/۹e-h	۵۹d-h	۱۱۸۵b-i	۷۱۴b-e	۱۱۸۵b-i	۳۶۲۷/۵a-c	۲۳۲۰/۹d-f	۳۸d-i	۳۱/۵c-f	۳/۰۵b-h
۳۶	۷۷/۷a-d	۵۴/۹b-g	a۵۰/۹	۲۳/۶ab	۱/۰۳c-h	۱/۸a-d	۱۰۱/۶a-c	۹۰a	۱۳۴۹/۱a-g	۷۸۰/۹b-e	۱۳۴۹/۱a-g	۲۴۸۸/۳Fg	۲۱۰۰Ef	۳۹/۳b-h	۳۴/۵a-d	۳/۲۱a-g

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ دارند. خانه‌های رنگی جدول بیشترین و کمترین مقدار را برای هر یک از شرایط تنش و نرمال نشان می‌دهند.

۲۰۰۲/۸ کیلو گرم در هکتار در شرایط نرمال و تنش بود. بالاترین عملکرد اسانس مربوط به اکوتیپ‌های زاهدان و نجف‌آباد به ترتیب در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی به میزان ۴۴ و ۳۶/۸ (کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. کمترین عملکرد اسانس در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی به ترتیب به میزان ۲۴/۵ و ۲۰/۴ (کیلوگرم در هکتار) و متعلق به اکوتیپ اردکان بود.

بالاترین و پایین‌ترین درصد اسانس در شرایط نرمال متعلق به اکوتیپ چناران و میبد به ترتیب به میزان ۳/۶٪ و ۲/۳۵٪ و در شرایط تنش متعلق به اکوتیپ‌های جویبار و بجنورد به ترتیب به میزان ۴/۴٪ و ۳/۰۵٪ بود.

نتایج همبستگی بین صفات براساس ضریب همبستگی پیرسون در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی به ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. در شرایط نرمال رطوبتی و تنش خشکی عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با همه صفات بود. عملکرد اسانس در شرایط نرمال با همه صفات و در شرایط تنش با همه صفات بجز وزن هزاردانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود. در شرایط آبیاری نرمال عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با عملکرد بیولوژیک ($r=0.98^{**}$) و در شرایط تنش خشکی با عملکرد بیولوژیک و تعداد چتر در بوته ($r=0.8^{**}$) برای هر دو صفت نشان داد.

به صورت میانگین برای شرایط نرمال رطوبتی تعداد ۱۰۶ دانه در چتر بیشترین مقدار برای این صفت و مربوط به اکوتیپ شازند و این میزان برای شرایط تنش خشکی ۹۰ عدد و متعلق به اکوتیپ مشهد بود. کمترین تعداد دانه در چتر مربوط به اکوتیپ محمدیه با ۵۴/۵ عدد دانه در چتر برای شرایط نرمال بود. در تیمار تنش خشکی اکوتیپ راور با متوسط ۴۴ دانه در چتر کمترین مقدار را برای این صفت نشان داد.

در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی بیشترین وزن هزاردانه متعلق به اکوتیپ زاهدان با وزن ۲/۰۴ و ۱/۱۶ گرم بود. اکوتیپ کوهینان با وزن ۰/۸ و ۰/۵ گرم کمترین وزن هزاردانه را در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی داشت.

بیشترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی به ترتیب با میانگین ۱۷۰۷/۸ و ۱۳۲۲ کیلوگرم در هکتار متعلق به اکوتیپ‌های رفسنجان و زابل بود. کمترین میزان برای این صفت را در شرایط نرمال و تنش اکوتیپ‌های راور و بجنورد به ترتیب با میانگین ۶۵۵/۲ و ۳۶۰/۸ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص دادند.

اکوتیپ زابل بیشترین عملکرد بیولوژیک را در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی به ترتیب به میزان ۳۸۸۴/۳ و ۳۴۳۴ کیلوگرم در هکتار داشت. کمترین میزان عملکرد بیولوژیک متعلق به اکوتیپ فلاورجان به ترتیب به میزان ۲۴۳۹/۸ و

جدول ۴- ضرایب همبستگی صفات در شرایط آبیاری نرمال

ارتفاع	چتر	وزن هزاردانه	تعداد دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	عملکرد اسانس	درصد
(cm)	در بوته	(gr)	در چتر	(Kg/Ha)	(Kg/Ha)	(Kg/Ha)	اسانس
ارتفاع							
چتر در بوته	۱						
وزن هزاردانه	۰/۷۳ ^{**}	۱					
تعداد دانه در چتر	۰/۴۱ [*]	۰/۲۵ ^{ns}	۱				
عملکرد بیولوژیک	۰/۶۵ ^{**}	۰/۵۹ ^{**}	۰/۰۷ ^{ns}	۱			
عملکرد دانه	۰/۷۸ ^{**}	۰/۳۵ ^{ns}	۰/۵۹ ^{**}	۱			
عملکرد اسانس	۰/۸۵ ^{**}	۰/۹۶ ^{**}	۰/۶ ^{**}	۰/۹۸ ^{**}	۱		
درصد اسانس	۰/۸۴ ^{**}	۰/۸۸ ^{**}	۰/۴۳ ^{**}	۰/۸۹ ^{**}	۰/۹۱ ^{**}	۱	
	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}	۱

ns، * و **: به ترتیب همبستگی غیر معنی‌دار و همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات در شرایط تنش خشکی

ارتفاع	چتر در بوته	وزن هزاردانه	تعداد دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	عملکرد اسانس	درصد
(cm)		(gr)	در چتر	(Kg/Ha)	(Kg/Ha)	(Kg/Ha)	اسانس
ارتفاع	۱						
چتر در بوته	۰/۶۸**	۱					
وزن هزاردانه	۰/۳۶*	۰/۵۲**	۱				
تعداد دانه در چتر	۰/۶**	۰/۵۵**	۰/۳۲*	۱			
عملکرد بیولوژیک	۰/۷۲**	۰/۸۷**	۰/۳۸*	۰/۷۲**	۱		
عملکرد دانه	۰/۷۶**	۰/۸**	۰/۵۴*	۰/۷**	۰/۸**	۱	
عملکرد اسانس	۰/۵۷**	۰/۶۸**	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۴۲**	۰/۶۷**	۰/۷۳**	۱
درصد اسانس	۰/۳۴*	-۰/۲ ^{ns}	-۰/۲۴ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۵**

*، ** و ***: به ترتیب همبستگی غیرمعنی دار و همبستگی معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

بالاترین اهمیت را در تبیین تغییرات عملکرد دانه (۰/۹۷) دارد. با توجه به ضریب تبیین کل، عملکرد بیولوژیک، وزن هزاردانه و تعداد دانه در چتر در مجموع ۹۹٪ ($R^2=99\%$) از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه می‌کردند. البته آزمون t معنی دار بودن ضرایب رگرسیونی استاندارد شده صفات مذکور را تأیید کرد (جدول ۶).

نتایج بدست آمده حاصل از تجزیه رگرسیون گام به گام با مدل پیش‌رونده به منظور تعیین مهمترین صفات مؤثر بر عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش به ترتیب در جدول‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. عملکرد دانه به عنوان متغیر تابع و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. در شرایط آبیاری معمولی، عملکرد بیولوژیک بیشترین سهم و

جدول ۶- نتایج رگرسیون عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال

صفت	ضریب رگرسیون استاندارد شده (Beta)	ضریب تبیین جزء	ضریب تبیین مدل	t	احتمال معنی داری
عملکرد بیولوژیک	۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۹۷	۲۹/۶۸	۰/۰۰۰**
وزن هزاردانه	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۹۸	۴/۹۵	۰/۰۰۰**
تعداد دانه در چتر	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۹۹	۲/۵۹	۰/۰۱۷*

* و ***: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و عملکرد اسانس ۸۷٪ ($R^2=87\%$) از تغییرات مربوط به عملکرد را تبیین نمودند. آزمون ضرایب رگرسیون استاندارد شده نیز معنی دار بودن ضرایب این صفات را تأیید کرد (جدول ۷).

نتایج بدست آمده از تجزیه رگرسیون در شرایط تنش خشکی نشان داد که صفت تعداد چتر در بوته با داشتن بالاترین ضریب رگرسیون (۰/۷۹) به تنهایی بخش عمده‌ای از تغییرات رگرسیونی را توجیه کرد. در مجموع صفات

جدول ۷- نتایج رگرسیون عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی

صفت	ضریب رگرسیون استاندارد شده (Beta)	ضریب تبیین جزء (ضریب رگرسیون)	ضریب تبیین مدل	t	احتمال معنی داری
تعداد چتر در بوته	۰/۵۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۶/۴۸	۰/۰۰۰**
تعداد دانه در چتر	۰/۲۸۶	۰/۰۶	۰/۸۵	۳/۸۷	۰/۰۰۱**
عملکرد اسانس	۰/۲۰	۰/۰۲	۰/۸۷	۲/۴۷	۰/۰۱۹*

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

(۰/۵۵) را از طریق عملکرد بیولوژیک بر عملکرد دانه داشت. اثر غیرمستقیم تعداد دانه در چتر از طریق وزن هزاردانه (۰/۰۲-) می باشد. اثر باقی مانده یا همان خطای آزمایش ۰/۱ برآورد شد (جدول ۸ و شکل ۱).

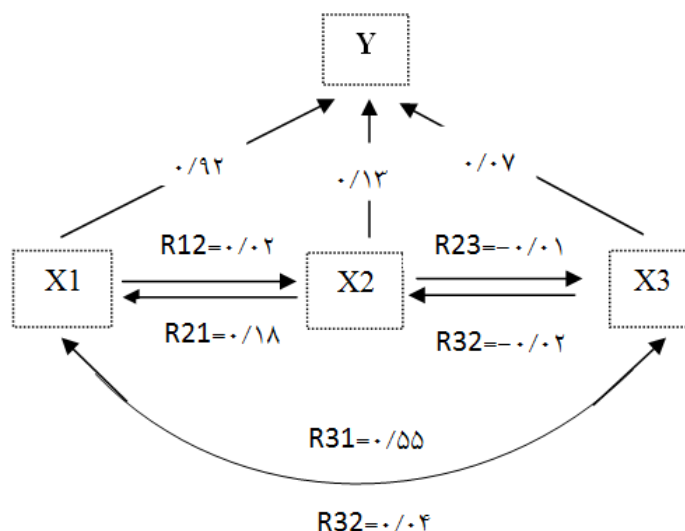
نتایج تجزیه علیت تنش خشکی در جدول ۹ و شکل ۲ ارائه شده است. بیشترین اثر مستقیم مربوط به صفت تعداد چتر در بوته (۰/۵۹) بود. این صفت از طریق عملکرد اسانس و تعداد دانه در چتر اثر غیرمستقیم برابر ۰/۱۴ و ۰/۱۶ بر عملکرد داشت. اثر مستقیم تعداد دانه در چتر بر عملکرد ۰/۲۹ بود. اثر غیرمستقیم این صفت از طریق عملکرد اسانس و تعداد چتر در بوته به ترتیب برابر ۰/۰۹ و ۰/۳۳ بود. عملکرد اسانس اثر مستقیمی برابر ۰/۲ و اثر غیرمستقیم از طریق تعداد دانه در چتر و تعداد چتر در بوته به ترتیب برابر ۰/۱۲ و ۰/۴۱ بر عملکرد داشت. میزان اثر باقی مانده ۰/۳۶ محاسبه شد.

به منظور تعیین بیشترین اثرهای مستقیم بر عملکرد دانه و تعیین رابطه علت و معلولی، صفات اندازه گیری شده به عنوان متغیرهای مستقل و عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته مورد تجزیه علیت قرار گرفتند. در شرایط آبیاری نرمال بیشترین اثر مستقیم مربوط به عملکرد بیولوژیک (۰/۹۲) و اثر غیرمستقیم آن از طریق وزن هزاردانه و تعداد دانه در چتر به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۴ شد، که با ضریب همبستگی وزن هزاردانه با عملکرد دانه ($r=0/98$) مطابقت دارد. وزن هزاردانه اثر مستقیمی برابر (۰/۱۳) بر عملکرد داشت و بخش عمده همبستگی بین وزن هزاردانه در بوته و عملکرد دانه مربوط به اثر غیرمستقیم بود، این صفت از طریق عملکرد بیولوژیک (۰/۱۸) توجیه شد. همچنین وزن هزاردانه از طریق تعداد دانه در چتر اثر غیرمستقیم منفی برابر (۰/۰۱-) بر عملکرد دارد. تعداد دانه در چتر بیشترین اثر غیرمستقیم

جدول ۸- نتایج تجزیه علیت عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال

صفات	همبستگی کل با عملکرد	اثرهای مستقیم	اثرات غیرمستقیم از طریق		
			عملکرد بیولوژیک	وزن هزاردانه	تعداد دانه در چتر
عملکرد بیولوژیک	۰/۹۸	۰/۹۲	-	۰/۰۲	۰/۰۴
وزن هزاردانه	۰/۳	۰/۱۳	۰/۱۸	-	-۰/۰۱
تعداد دانه در چتر	۰/۶	۰/۰۷	۰/۵۵	-۰/۰۲	-

اثر باقی مانده: ۰/۱



شکل ۱- دیاگرام تجزیه علیت اکوتیپ‌های زنیان در شرایط آبیاری نرمال
 Y = عملکرد دانه، $X1$ = عملکرد بیولوژیک، $X2$ = وزن هزاردانه، $X3$ = تعداد دانه در چتر

جدول ۹- نتایج تجزیه علیت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی

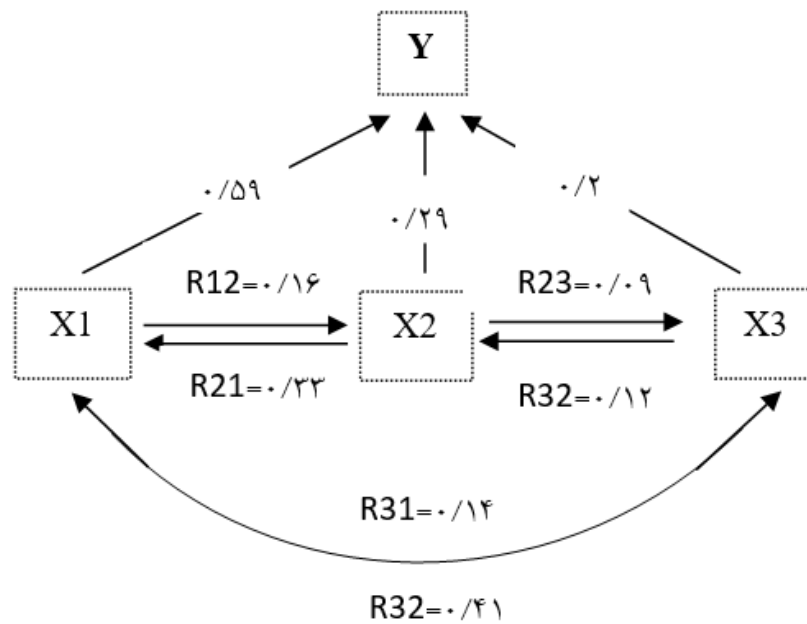
صفت	همبستگی کل با عملکرد	اثرهای مستقیم	اثرهای غیرمستقیم از طریق	
			تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر
تعداد چتر در بوته	۰/۸	۰/۵۹	-	۰/۱۶
تعداد دانه در چتر	۰/۷	۰/۲۹	۰/۳۳	-
عملکرد اسانس	۰/۷۳	۰/۲	۰/۴۱	۰/۱۲

اثر باقی مانده: ۰/۳۶

بحث

ژنتیکی اکوتیپ‌ها باشد. معنی دار شدن اثر متقابل اکوتیپ در آبیاری نیز بیانگر اختصاصی عمل کردن اکوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش است. در مطالعات انجام شده بر روی گیاهان خانواده چتریان نتایج مشابهی گزارش شده است (Ehsanipour et al., 2011; Bahraminejad et al., 2011; Maleki et al., 2014; Ghanbari et al., 2014; Maleki et al., 2017).

اثر معنی دار سال بر صفات تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزاردانه نشان دهنده تأثیر عوامل محیطی و شرایط آب و هوایی بر این صفات است. معنی دار بودن اثر متقابل سال در اکوتیپ نشان می‌دهد که اختلافات اکوتیپ‌های مورد بررسی از نظر صفات مذکور در سال‌های آزمایش می‌تواند حکایت از تفاوت در زمینه



شکل ۲- دیاگرام تجزیه علیت اکوتیپ‌های زنیان در شرایط تنش خشکی
 Y = عملکرد دانه، $X1$ = تعداد چتر در بوته، $X2$ = تعداد دانه در چتر، $X3$ = عملکرد اسانس

میزان عملکرد نقش دارد. به‌علاوه اکوتیپ‌ها در زمان تنش نمی‌توانند خود را از نظر ارتفاع نشان دهند و کم آبی باعث افزایش میزان هورمون ABA شده که یک هورمون بازدارنده رشد می‌باشد، در نتیجه ارتفاع کاهش می‌یابد (Seghatoleslami *et al.*, 2011). کاهش صفاتی مانند: ارتفاع، تعداد دانه در چتر، تعداد چتر در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اسانس و عملکرد دانه در گیاهان خانواده چتریان طی تنش خشکی توسط Rezaei-Chiyaneh (۲۰۱۲) و Mirshekari و Farahvash (۲۰۱۱) نیز گزارش شده است.

البته اهمیت اسانس و افزایش آن در شرایط تنش در گیاهان دارویی دیگر نیز گزارش شده است (Eiasu *et al.*, 2012؛ Ekrena *et al.*, 2012؛ Mirshekari & Farahvash, 2011؛ Rezaei-Chiyaneh, 2012). این افزایش اسانس نتیجه نوعی سازوکار دفاعی و سازگاری بیوشیمیایی به شرایط محیطی است (Petropoulos *et al.*, 2008). در مطالعه Nemati و همکاران (۲۰۱۲) عملکرد

کاهش در صفات ارتفاع، تعداد دانه در چتر، تعداد چتر در بوته، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اسانس و عملکرد دانه را که در اثر اعمال تنش در کلیه اکوتیپ‌ها رخ داد می‌توان ناشی از کمبود رطوبت خاک و کاهش فشار تورژسانس دانست که ضمن بالا بردن انرژی مصرفی گیاه برای افزایش غلظت شیره سلولی، باعث تغییر مسیرهای تنفسی و فعال شدن مسیر پنتوز فسفات، کاهش سطح فتوسنتزکننده به دلیل اختصاص دادن مواد فتوسنتزی به ریشه، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش قابلیت تبادل گازی روزنه‌ها، نقصان در سنتز پروتئین و کلروفیل و در نهایت محدود شدن فرایند فتوسنتز شده و باعث کاهش عملکرد می‌شود (Laribi; Bettaieb *et al.*, 2009؛ Omidbaigi & Mahmoodisourestani, *et al.*, 2009). (2010).

تنش بعد از گرده‌افشانی باعث تسریع مراحل فنولوژیک از جمله رسیدگی می‌شود، در نتیجه در شرایط نرمال زمان پر شدن دانه طولانی‌تر است که در بالا بودن

همبستگی عملکرد با صفات تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر در مطالعات انجام شده پیشین گیاهان خانواده چتریان نیز گزارش شده است (Ehsanipour *et al.*, 2011؛ Mirshekari & Farahvash, 2011؛ Bahraminejad *et al.*, 2011). Bahraminejad و همکاران (۲۰۱۱) بین تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر زیره سبز همبستگی مثبت و معنی داری گزارش کردند. همچنین مشخص شد که این صفات به همراه وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی داری با عملکرد دانه و میزان کومین آلدئید دانه دارند.

تعیین روابط میان عملکرد و اجزای آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می باشد. بررسی رابطه علت و معلولی بین صفات زراعی با عملکرد موضوع تحقیق بسیاری از افراد بوده است. زنیان از گیاهان دارویی مهم و اقتصادی است که به دلیل وجود تیمول در اسانس آن بسیار مورد توجه قرار گرفته اما تاکنون مطالعاتی برای شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد در آن انجام نشده است.

با استفاده از تجزیه علیت مشخص می شود که همبستگی صفات با عملکرد به علت اثر مستقیم آنها بر روی عملکرد و یا در نتیجه اثر غیرمستقیم از طریق سایر صفات است. اگر همبستگی بین عملکرد و یک صفت به علت اثر مستقیم آن صفت باشد نشان دهنده یک رابطه واقعی بین آنهاست، از این رو می توان صفت مذکور را به منظور اصلاح عملکرد انتخاب نمود. اما اگر این همبستگی به علت اثر غیرمستقیم صفت از طریق صفات دیگر باشد، در این صورت عمل انتخاب را باید بر روی صفاتی انجام داد که سبب اثر غیرمستقیم شده است (Nasri *et al.*, 2013). در مطالعه اثرهای مستقیم و غیرمستقیم صفات بر عملکرد دانه در شرایط آبیاری معمولی و با توجه به اثر غیرمستقیم بالای تعداد دانه در چتر و وزن هزاردانه از طریق عملکرد بیولوژیک می توان نتیجه گرفت که در شرایط نرمال رطوبتی به دلیل فراهم بودن شرایط مناسب رشد، گیاه با افزایش تعداد دانه در چتر و افزایش

و درصد اسانس تنها در شرایط دیم وارد مدل رگرسیونی شد، همچنین این محققان گزارش کردند که در شرایط آبیاری معمولی، آب مصرف شده صرف رشد قسمت های رویشی شد، در نتیجه درصد اسانس افزایش نیافت که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت.

تفاوت در اکوتیپ های مورد مطالعه را می توان به وجود سازوکارهای فیزیولوژیکی متفاوت در اکوتیپ ها برای تحمل به خشکی مربوط دانست. چنانچه Sardoei و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه واکنش لاین های مختلف گندم به تنش خشکی گزارش کردند که اختلاف میان لاین های مورد بررسی مرتبط با تفاوت در سازوکارهای فیزیولوژیکی مسئول تحمل به شوری در لاین هاست.

همبستگی بالا و مثبت بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در هر دو شرایط نرمال و تنش دور از انتظار نمی باشد، با توجه به اینکه دانه حاصل فعالیت فتوسنتزی اندام هایی مانند شاخ و برگ می باشد می توان نتیجه گرفت که برای داشتن عملکرد بالا گیاهان با رشد رویشی خوب نیاز است. همبستگی مثبت و معنی دار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Sharma & Sastry, 2009؛ Das & Taliaferro, 2008؛ Kumar & Poormohammad Kiani *et al.*, 2008؛ *et al.*, 2002).

این در حالیست که Bahraminejad و همکاران (۲۰۱۱) همبستگی منفی و معنی داری را بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در زیره سبز گزارش کردند.

همبستگی بالای عملکرد دانه با عملکرد اسانس ($r=0.91^{**}$) تحت شرایط نرمال نشان دهنده این است که احتمال گزینش ارقام پرمحصول بدون کاهش عملکرد اسانس وجود دارد. نتایج حاصل با نتایج Abaszadeh و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد. همچنین Nemati و همکاران (۲۰۱۲) همبستگی مثبت و معنی دار عملکرد کل را با عملکرد اسانس گل محمدی در شرایط دیم و آبی گزارش کردند.

برنامه های اصلاحی عملکرد متابولیکی گیاهان دارویی، علاوه بر افزایش عملکرد دانه افزایش کمیّت و کیفیت ترکیب های دارویی دانه نیز مورد توجه می باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از همبستگی و تجزیه علیت در شرایط تنش خشکی می توان انتظار داشت که گزینش براساس تعداد چتر در بوته برای بهبود عملکرد دانه، عملکرد اسانس را نیز افزایش دهد که با نتایج Nemati و همکاران (۲۰۱۲) در گل محمدی همخوانی دارد.

با توجه به پیچیدگی ارتباط بین عملکرد و صفات مرتبط با آن نمی توان تنها بر مبنای ضرایب ساده همبستگی قضاوت نهایی را انجام داد. به طوری که در شرایط نرمال بالاترین همبستگی با عملکرد دانه مربوط به صفات عملکرد بیولوژیک ($r=0/98$)، چتر در بوته ($r=0/94$) و ارتفاع ($r=0/85$) بود. در شرایط تنش خشکی صفات عملکرد بیولوژیک ($r=0/8$)، تعداد چتر در بوته ($r=0/8$) و ارتفاع ($r=0/76$) بالاترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند. طبق نتایج تجزیه علیت در شرایط نرمال بیشترین اثر مستقیم و مثبت مربوط به عملکرد بیولوژیک بود. همچنین در شرایط تنش خشکی تعداد چتر در بوته بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه داشت. در نتیجه ضریب همبستگی به تنهایی قادر به تفسیر رابطه بین دو صفت نخواهد بود. براساس نتایج تجزیه علیت مشهود می باشد که مقدار ضریب همبستگی می تواند ناشی از اثرهای غیرمستقیم یک صفت از طریق دیگر صفات باشد. از این رو برای درک عمیق تر روابط بین صفات استفاده از روش های آماری چندمتغیره ضروری به نظر می رسد.

به عنوان نتیجه گیری کلی می توان گفت که با شناسایی اکوتیپ های کرانه ای از نظر صفات گوناگون پیشنهاد می شود ضمن بررسی اکوتیپ ها با استفاده از شاخص های تحمل، ژرم پلاسما حساس و متحمل شناسایی شوند، تا ضمن بررسی های مولکولی و فیزیولوژیکی از طریق مقایسه الگوی بیان ژن های پاسخ دهنده به تنش خشکی در این ژرم پلاسماها، گام مؤثری در جهت شناسایی

وزن هزاردانه از طریق افزایش عملکرد بیولوژیک باعث افزایش عملکرد دانه می شود. اهمیت این صفات توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Ehsanipour *et al.*, 2011؛ Kozaka & Azevedob, 2014؛ Sefidan *et al.*, 2010؛ Bahreininejad *et al.*, 2013).

در شرایط آبیاری نرمال اثر غیرمستقیم تعداد دانه در چتر از طریق وزن هزاردانه نزدیک به اثر غیرمستقیم وزن هزاردانه از طریق تعداد دانه در چتر می باشد. رابطه معکوس این دو صفت را می توان ناشی از رقابت برای استفاده از ذخیره محدود غذایی طی دوره رشد نسبت داد (Sardoei *et al.*, 2013). وجود این چنین روابط معکوس باید در گزینش همزمان تمامی اجزاء مورد توجه قرار گیرد. چنین نتیجه ای توسط Sardoei و همکاران (۲۰۱۳) و Del Blanco و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش شده است. Mahlouji و Afiuni (۲۰۰۶) نیز در مطالعه بر روی گندم گزارش کردند که تعداد دانه در سنبله گندم اثر مستقیمی بر عملکرد دانه داشت ولی اثر منفی آن از طریق وزن هزاردانه باعث شد که همبستگی این صفت با عملکرد دانه غیرمعنی دار شود.

در بررسی نتایج تجزیه علیت، تنش خشکی بالاترین اثر مستقیم مربوط به تعداد چتر در بوته بود. دو صفت تعداد دانه در چتر و عملکرد اسانس اثر غیرمستقیم بالایی از طریق تعداد چتر در بوته بر روی عملکرد دانه دارند. نتایج تجزیه علیت محققان دیگر بر روی گیاهان خانواده چتریان نیز نشان داد که تعداد دانه در چتر بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه دارد. در بررسی توده های مختلف زیره سبز Bahraminejad و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تعداد چتر در بوته، وزن هزاردانه و تعداد دانه در چتر در مجموع ۸۹٪ از تغییرات خطی عملکرد دانه را توجیه می نمایند. همچنین Sefidan و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه رابطه علت و معلولی میان برخی صفات مورفولوژیک و زراعی ۱۹ توده رازیانه گزارش کردند که بیشترین اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد دانه متعلق به صفت تعداد چتر در بوته بود. امروزه در

- Bettaieb, I., Zakhama, N., Aidi-Wannes, N., Kchouk, M.E. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Scientia Horticulturae*, 120: 271-275.
- Chauhan, B., Kumar, G. and Ali, M., 2012. A review on phytochemical constituents and activities of *Trachyspermum ammi* Sprague fruits. *The American Journal of Pharmtech Research*, 2(4): 329-340.
- Das, M.K. and Taliaferro, C.M., 2009. Genetic variability and interrelationships of seed yield and yield components in switchgrass. *Euphytica*, 167: 95-105.
- Darvishzadeh, R., Hatami-Maleki, H. and Sarrafi, A., 2011. Path analysis of the relationships between yield and some related traits in diallel population of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. *Australian Journal of Crop Science*, 5: 674-680.
- Del Blanco, I.A., Rajaram, S. and Kronstad, W.E., 2001. Agronomic potential of synthetic hexaploid wheat-derived populations. *Crop Science*, 41: 670-676.
- Del Moral, L.F., Rharrabti, G., Villegas, Y. and Royo, C., 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions. *Agronomy Journal*, 95: 266-274.
- Ehsanipour, A., Razmjoo, K. and Zeinali, H., 2011. Effect of nitrogen rates on yield, yield components and essential oil content of several fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populatio. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 28(4): 579-593.
- Eiasu, B.K., Steyn, J.M., Soundy, P., 2012. Physiomorphological response of rosescented geranium (*Pelargonium* spp.) to irrigation frequency. *South African Journal of Botany*, 78: 96-103.
- Ekrena, S., Sonmez, C., Ozcakil, E., Kurttas, Y.S.K., Bayram, E. and Gurgulu, H., 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agricultural Water Management*, 109: 155-161.
- Esmaeili, A. and Ghobadianpour, S., 2016. Antibacterial activity of *Carum copticum* extract loaded MnFe₂O₄ nanopartacles coated with PEGylated chitosan. *Industrial Crops and Products*, 91: 44-48.

ژن‌های دخیل در تحمل به تنش در برنامه‌های اصلاح مولکولی مقاومت به خشکی برداشته شود.

براساس نتایج حاصل از این مطالعه مشخص گردید که روش آماری تجزیه علیت در درک روابط اساسی میان متغیرها کارایی بالایی دارد و تنها استفاده از روابط همبستگی برای توجیه روابط بین متغیرها کافی نیست. به‌طور کلی و براساس نتایج حاصل از تجزیه علیت، صفت تعداد چتر در بوته در شرایط تنش خشکی و عملکرد بیولوژیک در شرایط نرمال اثر مستقیم مثبت و بالایی بر عملکرد دانه دارند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که از بین اجزاء عملکرد این صفات نقش بیشتری برای افزایش عملکرد دانه داشته باشند. در نتیجه برای بهبود و اصلاح عملکرد توده‌های بومی زنیان از طریق انتخاب غیرمستقیم، این دو ویژگی (تعداد چتر در بوته و عملکرد بیولوژیک) به‌عنوان معیارهای گزینش مناسبی در شرایط تنش خشکی و بدون تنش پیشنهاد می‌شوند.

منابع مورد استفاده

- Abaszadeh, B., Rezaiee, M.B. and Paknejad, F., 2011. 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*, 27(1): 46-52.
- Afiuni, D. and Mahlouji, M., 2006. Correlation analysis of some agronomic traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under salinity stress. *Seed and Plant*, 22(2): 186-199.
- Bahraminejad, A., Mohammadi-Nejad, Gh. and Khadir, M., 2011. Genetic diversity evaluation of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) based on phenotypic traits. *Australian Journal of Crop Science*, 5(3): 301-307.
- Bahreinejad, A., Razmjoo, B. and Mirza, M., 2013. Influence of water stress on morphophysiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. *International Journal of Plant Production*, 7(1): 155-166.

- of agronomic traits and grain yield for *Aegilops cylindrica* accessions under non-stress and drought stress conditions in Ilam. Journal of Crop Breeding, 9(23): 79-84.
- Omidbaigi, R. and Mahmoodisourestani, M., 2010. Effect of water stress on morphological traits, essential oil content and yield of anise hyssop (*Agastache foeniculum* [Pursh] Kuntze). Iranian Journal of Horticultural Sciences, 41(2): 153-161.
 - Petropoulos, S.A., Daferera, D., Polissiou, M.G. and Passam, H.C., 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulturae, 115: 393-397.
 - Piepho, H.P., 2000. A mixture-model approach to mapping quantitative trait loci in barley on the basis of multiple environment data. Genetics, 156: 2043-2050.
 - Poormohammad Kiani, S., Maury, P., Sarrafi, A. and Grieu, P., 2008. QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. Plant Science, 175: 565-573.
 - Rezaei-Chiyaneh, E., 2012. Effects of different irrigation treatments on essential oil accumulation, its composition and some ecophysiological traits in Fennel (*Foeniculum vulgare*). Ph.D. thesis Department of Plant of Eco-physiological, Faculty of Agriculture, university of Tabriz, Tabriz.
 - Sardoei, S., Mohammadi nejad, G.H., Zebarjadi, A., Nakhoda, B., Mardi, M., Tabatabai, M., Sharifi, G.H., Amini, A. and Majidi, E., 2013. Response of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines to salinity stress. Seed and Plant Improvement Journal, 29(1): 82-102.
 - Sefidan, A.Y., Valizadeh, M., Aharizad, S. and Sabzi, M., 2014. Path analysis of grain yield, some morphological traits and essential oil content in different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populations. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 4: 10-15.
 - Seghatoleslami, M.J., Mosavi, S.G. and Barzegaran, T., 2011. Effect of irrigation levels and planting date on yield and water use efficiency of *Hibiscus sabdariffa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29(1): 144-155.
 - Selvaraj, C.I. and Nagarajan, P., 2011. Interrelationship and path-coefficient studies for qualitative traits, grain yield and other yield
 - Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G. and Mohammadi-Nejad, G., 2014. Casual explanation of the relationships between seed yield and some yield components in cumin (*Cuminum cyminum* L.) by different multivariate statistical analysis at different sowing dates. Ethno-Pharmaceutical Products, 1: 15-22.
 - Kozaka, M. and Azevedob, R.A., 2010. Does using stepwise variable selection to build sequential path analysis models make sense. Physiologia Plantarum, 141: 197-200.
 - Kumar, J.H., Singh, T., Tonk D.S. and Lal, D., 2002. Correlation and path coefficient analysis of yield and its components in summex moong (*Vigna radiate* L. wilczek). Crop Science, 24: 374-377.
 - Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., Brahim, M., 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oils and fatty acids composition. Industrial Crops and Products, 30: 372-379.
 - Maleki, A., Saba, J., Pouryousef, M., Jafari, M. and Ashraf Jafari, A., 2017. Determining the most important traits affecting grain yield in Iranian anise (*Pimpinella anisum* L.) populations based on regression analysis and path analysis. Journal of Crop Breeding, 9(22): 142-148.
 - Mirshekari, B. and Farahvash, F., 2011. Management of irrigation and nitrogen fertilizing in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) as a medicinal plant under semi-arid conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27(4): 541-550.
 - Mohammadi, S.A., Prasanna, B.M. and Singh, N.N., 2003. Sequential path model for determining interrelationships among grain yield and related characters in Maize. Crop Science, 43: 1690-1697.
 - Nasri, R., Paknejad, F., Sadeghi Shoa, M., Ghorbani, S. and Fatemi, Z., 2013. Correlation and path analysis of drought stress on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare*) in Karaj region. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding, 8: 155-165.
 - Nemati, L.Z., Tabaei-Aghdaei, S.R., Lebaschi, M.H. and Jafari, A.A., 2012. Path analysis of *Rosa damascena* Mill. performance under different conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27(4): 561-572.
 - Noori, A., Ashraf Mehrabi, A., Safari, H., 2017. Study of correlation and path coefficient analysis

- Tuberosa, R. and Salvi, S., 2006. Genomics-based approaches to improve drought tolerance of crops. *Trends in Plant Science*, 11: 405-412.
- Yasin, A.B. and Singh, S., 2010. Correlation and path coefficient analyses in sunflower. *Journal of Plant Breeding and Science*, 2: 129-133.
- Tuberosa, R. and Salvi, S., 2006. Genomics-based approaches to improve drought tolerance of crops. *Trends in Plant Science*, 11: 405-412.
- attributes among maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Breeding and Genetics*, 5(3): 209-223.
- Sharma, K.C. and Sastry, E.V.D., 2008. Path analysis for seed yield and its component characters in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 17(2): 69-74.

Evaluation of cause and effect relationships between grain yield and its components in *Trachyspermum copticum* L. under normal irrigation and drought stress conditions

A. Karimi Afshar^{1*}, Gh. Kiani², H. Najafi² and A. Baghizadeh³

1*- Corresponding author, Ph.D. student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, E-mail: Azadehkarimi.a@gmail.com

2- Department of Plant Breeding and Biotechnology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- Department of Biotechnology, Graduate University of Advanced Technology of Kerman, Kerman, Iran

Received: April 2018

Revised: December 2018

Accepted: December 2018

Abstract

Ajowan (*Trachyspermum copticum* L.), belonging to the Apiaceae family, is remarked as an important pharmaceutical and economical product. In order to determine the most important traits affecting grain yield, a split plot experiment was conducted in two conditions of irrigation (normal and drought stress) as the main factor and 36 ecotypes of ajowan, belonging to nine different provinces of Iran, as a sub plot based on a randomized complete block design with two replications in 2015 and 2016 crop year in Kerman. The results of linear multiple regression analysis with stepwise method showed that in drought stress condition, number of umbrellas per plant, number of seeds per umbrella and essential oil yield, and in normal irrigation conditions, biological yield, 1000-seed weight and seed number per umbrella had the highest effect on grain yield, explaining 87% and 99% of the changes, respectively. Based on the results of path analysis, traits including number of umbels per plant under stress conditions and biological yield under normal conditions had the most direct effect on the grain yield and were recognized as the most important components of the grain yield. Therefore, these traits can be considered as main appropriate criteria for facilitating the indirect selection process and evaluating the seed yield potential in ajowan breeding programs.

Keywords: Path analysis, drought, stepwise regression, *Trachyspermum copticum* L.