نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۳(۶۳)، پاییز ۱۴۰۱، صفحه ۳۳۸-۳۲۵

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.532664.1294

تجزیه علیت عملکرد دانه در جمعیت‌های رازیانه (*Foeniculum vulgare* M.) در شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی

میلاد قاسمی[۱]، سعید اهری‌زاد[۲*]، مجید نوروزی[۳]، علی بنده‌حق[۳] و رقیه اژدری[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۵ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۷

چکیده

با توجه به این‌که رویکرد جهانی به سمت داروهای گیاهی و فاصله گرفتن از داروهای شیمیایی است، توجه بیش از پیش به گیاهان دارویی را ایجاب می‌نماید. رازیانه با داشتن متابولیت‌های ثانویه متنوع در درمان نفخ، سرفه، اختلالات گوارشی و افزایش شیر، کاربرد داشته و به‌عنوان یکی از گیاهان دارویی بسیار مهم محسوب می‌شود. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محیطی می‌باشد که تولید محصولات کشاورزی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به‌منظور بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مورد ارزیابی بر عملکرد دانه گیاه دارویی رازیانه، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود به‌طور مجزا در سه تکرار روی ۱۹ جمعیت رازیانه در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بین شرایط مختلف آبیاری و نیز بین جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه از نظر اکثر صفات در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین، اثر متقابل شرایط × جمعیت برای اکثر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همبستگی عملکرد دانه با تعداد چتر در بوته، ارتفاع بوته، تعداد میان‌گره و بیوماس در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود، مثبت و معنی‌دار بود. تجزیه رگرسیون به روش گام به گام نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب تعداد دانه در چتر و تعداد چتر در بوته با ضریب تبیین ۰/۸۸ بیشترین تاثیر را بر عملکرد دانه دارند. در شرایط تنش کم آبی تعداد چتر در بوته و ارتفاع بوته با ضریب تبیین ۰/۶۰ بیشترین تاثیر را بر عملکرد دانه داشتند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که تعداد چتر در بوته با اثر مستقیم ۰/۹۰ در شرایط مطلوب آبیاری و ۰/۵۳ در شرایط تنش کم آبی بیشترین اثر را در هر دو شرایط بر عملکرد دانه دارد. با توجه به اینکه اثرات غیرمستقیم در هر دو شرایط، زیاد قابل توجه نبودند، بنابراین جهت گزینش جمعیت‌های برتر از نظر عملکرد دانه باید به صفت تعداد چتر در بوته، بیشتر توجه نمود.

واژگان کلیدی: تجزیه رگرسیون، تجزیه علیت، رازیانه، عملکرد دانه.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲- استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳- دانشیار، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

نگارنده‌ی مسئول s.aharizad@yahoo.com

مقدمه

کاربرد داروهای شیمیایی برای درمان بیماری‌ها، عموماً با عوارض ناخواسته جانبی همـراه است که این امر سبب روی آوردن به داروهای طبیعی، به‌ویژه داروهای گیاهی شده است. گیاه رازیانه با نام علمی *Foeniculum vulgare* M. از تیره چتریان (Umbelliferae) یکی از گیاهان دارویی مهم می‌باشد که در بیشتر نقاط جهان، مانند کشورهای آسیایی، جنوب و مرکز اروپا و بسیاری از کشورهای آفریقایی و همچنین در آمریکای جنوبی در زمین‌های زراعی وسیعی زیرکشت قرار می‌گیرد. رازیانه گیاهی چند ساله است که دارای سیستم باروری دگرگرده افشان می‌باشد (Omid Beygi, 2007). تمام اندام‌های رازیانه حاوی اسانس است که بیشترین مقدار اسانس در حدود ۶-۲ درصد در دانه آن می‌باشد. اسانس رازیانه مایعی بی‌رنگ یا زرد کم‌رنگ با بوی تند می‌باشد (Hassan and Elhassan, 2017).

اسانس رازیانه از بیش از ۳۰ نوع ترکیب‌های ترپنی یا ترپنوئیدی تشکیل شده است که از مهم‌ترین آنها آنتول، فنکون، لیمونن و متیل کاویکول می‌باشد (Telci *et al.*, 2009). آنتول یکی از اجزای اصلی اسانس در دانه رازیانه می‌باشد که فعالیت ضدسرطانی از خود نشان می‌دهد. همچنین، از اسانس رازیانه در صنایع مختلف آرایشی، عطرسازی، بهداشتی و به‌عنوان طعم دهنده انواع موادغذایی و نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود (Singh *et al.*, 2006). دانه رازیانه، معطر، محرک و مقوی معده، بادشکن، حاوی استروژن گیاهی (فیتواستروژن)، تقویت‌کننده بینایی، ازدیاد دهنده ترشح شیر در مادران، ضد سرفه و آسم می‌باشد (Ebeed *et al.*, 2010).

گیاهان در طی رشد با تنش‌های مختلف زیستی (بیماری‌ها، آفات، علف‌های هرز و...) و غیرزیستی (خشکی، شوری، سرما، گرما، غرقابی و ...) مواجه می‌شوند (Yazdansepas, 2013). با توجه به این‌که کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Kafi *et al.*, 2009)، بنابراین مطالعه واکنش‌های مختلف گیاهان به کمبود آب و شناسایی جمعیت‌های مقاوم به تنش کم‌آبی دارای اهمیت فراوان می‌باشد. موسوی و همکاران (Moosavi *et al.*, 2014) با انجام آزمایشی بر روی رازیانه، در سه شرایط آبیاری (آبیاری مطلوب و قطع آبیاری در مرحله گلدهی و پرشدن دانه)، اذعان داشته‌اند که تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری بر کاهش تعداد پنجه، ارتفاع بوته، قطر ساقه و در نتیجه کاهش عملکرد، دارد. محققین به‌منظور ارزیابی کارکرد برخی از توده‌های رازیانه بومی ایران تحت شرایط تنش خشکی اذعان داشتند که تأثیر تنش خشکی بر اکثر صفات شامل عملکرد دانه، بیوماس، درصد و عملکرد اسانس معنی‌دار است و موجب کاهش این صفات گردیده است (Noroozi Shahri *et al.*, 2015). در پژوهشی دیگر حیدری و همکاران (Heidari *et al.*, 2011) با بررسی اثر تنش کم‌آبی بر روی آنیسون، افزایش درصد اسانس و کاهش عملکرد دانه، وزن هزار دانه، زیست توده، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک، شاخص برداشت و عملکرد اسانس را در شرایط تنش خشکی مشاهده کردند. تجزیه علیت اولین بار توسط رایت (wright, 1921) هنگام ارزیابی روابط بین صفات در گیاه مرتعی *Agropyrun cristatum* پیشنهاد شده است. ضریب همبستگی میزان همبستگی صفات را مشخص می‌کند، اما ماهیت ارتباط صفات روشن نخواهد شد، با استفاده از تجزیه

علیت امکان شناسایی آثار مستقیم و غیرمستقیم صفات مرتبط با عملکرد دانه تعیین می‌شود. بنابراین از تجزیه علیت برای تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقلی که درصد بیشتری از تغییرات متغیرهای وابسته را تبیین می‌کنند استفاده می‌گردد. تجزیه علیت عملکرد در سایر گیاهان دارویی نیز انجام گرفته است (Mirzaii Nadoshan *et al.*, 2006; Sharma and Sastry, 2008; Akbari *et al.*, 2015). با توجه به مشکل کم‌آبی و اهمیت گیاه دارویی رازیانه هدف از این آزمایش شناسایی صفات تاثیرگذار بر عملکرد دانه جهت گزینش جمعیت‌های برتر بوده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۹ جمعیت رازیانه شامل ۱۵ جمعیت بومی به همراه چهار جمعیت خارجی از دو کشور آلمان (۱۱۸۲ و ۱۱۴۸۶) و ترکیه (قاضی آنتپ و ازمیر) در سومین سال کاشت (گیاه سه ساله) مورد ارزیابی قرار گرفتند. جمعیت‌های بومی ایران از مناطق بناب، بیرجند، تتماج، تربت‌جام، خورشیدآباد (مشکین‌شهر)، خور و بیابانک، خروسلو (مغان)، زیار، شیروان، کرج، کرمان، خرم‌آباد، گرینه (نیشابور)، ورامین و همدان بودند که از موسسه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ارومیه، اصفهان، سازمان تحقیقات جنگل‌ها و مراتع و مرکز تحقیقاتی دارویی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل جمع‌آوری شده بودند. جمعیت‌های مورد مطالعه (گیاه رازیانه سه‌ساله) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو شرایط آبیاری مطلوب و محدود به‌طور مجزا در سه تکرار در سال سوم (سال ۱۳۹۵) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز مورد ارزیابی قرار گرفتند. لازم به ذکر است که در ابتدای اجرای این طرح، در بهار سال اول کشت گیاه رازیانه (۱۳۹۳) بذور هر جمعیت به‌طور مستقیم، در سه ردیف چهار متری با فاصله ۳۵ سانتی‌متر و با فاصله بین بذور ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها کاشته شده بودند. آبیاری مطابق دو سال گذشته در سال سوم نیز تا مرحله گلدهی (گلدهی ۵۰ درصد کل بوته‌ها) در هر دو شرایط، به صورت غرقابی به فاصله هر هفته یک بار اعمال شد. اعمال تنش کمبود آب به صورت قطع کامل آبیاری از زمان شروع گلدهی بوته‌ها برای شرایط تنش کمبود آب انجام شد و این در حالی بود که آبیاری در شرایط عادی با روال سابق تا رسیدگی کامل بوته‌ها ادامه داشت. عملیات داشت مانند وجین علف‌های هرز و کوددهی (در ابتدای رشد رویشی کود نیتروژنه) برای هر دو شرایط به‌صورت یکسان انجام شد. زمان برداشت در هر دو شرایط آبیاری به‌دلیل عدم همزمانی رسیدگی بوته‌ها متفاوت بوده ولی معیار برداشت رازیانه قهوه‌ای شدن رنگ آخرین میان‌گره متصل به چترها است و در این پژوهش زمان رسیدگی در منطقه تبریز از اوایل مهر تا اواسط آبان ماه بود. برای ارزیابی صفات مورد مطالعه تعداد ۱۰ بوته از هر جمعیت به‌صورت تصادفی انتخاب و صفات تعداد روز تا رسیدگی کامل، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، قطر ساقه اصلی، تعداد میان‌گره ساقه اصلی، طول میان‌گره اول، طول میان‌گره آخر، طول بلندترین میان‌گره، تعداد چتر، تعداد دانه در چتر، طول دمگل، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، بیوماس، شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به وزن بیوماس) و مقدار اسانس (حجم اسانس برحسب میلی‌لیتر در ۱۰۰ گرم ماده خشک بذر) مورد ارزیابی قرار گرفتند. عصاره‌گیری و استخراج اسانس به‌روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر انجام

شد. از دانه‌های خشک شده مربوط به هر جمعیت رازیانه یک نمونه ۲۵ گرمی انتخاب و آن را به همراه ۳۰۰ سی‌سی آب مقطر در بالن قرار داده و حدود ۴ ساعت حرارت داده شد. بر اثر حرارت و فشار بخار آب، اسانس همراه با بخار آب وارد قسمت مبرد دستگاه کلونجر شد. در قسمت مبرد این دستگاه عمل میعان صورت گرفته و اسانس و بخار آب به صورت دو فاز کاملاً مجزا به طرف لوله مدرج دستگاه کلونجر حرکت کردند و آب اضافی از طریق لوله رابط به داخل بالن بازگشت. پس از بررسی و تایید برقراری مفروضات و انجام تجزیه واریانس مرکب، همبستگی بین صفات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه رگرسیون چندگانه به‌روش گام به گام انجام گرفت و به‌منظور تفسیر بهتر نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون چندگانه و تبیین روابط علت معلولی بین صفات تاثیرگذار بر عملکرد دانه از تجزیه علیت استفاده گردید. جهت تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای EXCEL، SPSS و MSTATC استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب برای دو شرایط مختلف آبیاری انجام گرفت (جدول ۱). نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که بین شرایط آبیاری مطلوب و محدود و جمعیت‌های مورد مطالعه برای اکثر صفات مورد ارزیابی تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین، اثر متقابل جمعیت×محیط نیز برای اکثر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان می‌دهد واکنش جمعیت‌های مختلف نسبت به دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی مشابه نبود و به عبارت دیگر، جمعیت‌های مورد بررسی از نظر تحمل و حساسیت به تنش خشکی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل برای اکثر صفات مورد ارزیابی، محاسبات همبستگی و تجزیه رگرسیون چندگانه و علیت برای دو شرایط مختلف آبیاری به‌طور مجزا انجام گرفت. بررسی روابط همبستگی عملکرد دانه با سایر صفات مورد ارزیابی در هر دو شرایط آبیاری به‌طور مجزا انجام گرفت. جدول (۲) ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تحت آبیاری نرمال را نشان می‌دهد. در این شرایط بین عملکرد دانه و تعداد چتر (۰/۹۱)، ارتفاع بوته، تعداد میان‌گره، قطر ساقه و بیوماس (۰/۹۲) همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. همچنین تعداد دانه در چتر با ارتفاع بوته همبستگی معنی‌دار و مثبت نشان داد. بنابراین، می‌توان از جمعیت‌های مورد بررسی که از نظر صفات فوق برتر باشند، انتظار عملکرد دانه بالایی را در شرایط آبیاری مطلوب داشت. صفایی و همکاران (Safaii *et al.*, 2014) نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و تعداد چتر در رازیانه را گزارش کردند. رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.*, 2009) در تحقیقی در گشنیز نشان دادند که همبستگی بین عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد پنجه و تعداد چتر در بوته مثبت و معنی‌دار می‌باشد. فیکرسلاسی و همکاران (Fikreselassie *et al.*, 2012) نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته را در شنبلیله گزارش کردند. سلامتی و زینلی (Salamati and Zeynali, 2013) در تحقیقی روی زیره سیاه همبستگی عملکرد دانه با تعداد دانه در چتر، تعداد چتر در بوته، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته را مثبت و معنی‌دار گزارش کردند.

جدول (۳) ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط تحت تنش کم‌آبی را نشان می‌دهد. در این شرایط بین عملکرد دانه و تعداد

چتر، تعداد دانه در چتر، ارتفاع بوته، تعداد میان‌گره، تعداد پنجه و بیوماس (۰/۸۹) همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت، که با گزارش سلامتی و زینلی (Salamati and Zeynali, 2013) در مورد گیاه زیره سیاه مطابقت دارد. تعداد دانه در چتر و ارتفاع بوته و بیوماس نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند. جمعیت‌های برتر از نظر صفات فوق، می‌توانند جمعیت‌های دارای عملکرد دانه بالا در شرایط تنش کم‌آبی باشند. اوکتای و همکاران (Oktay *et al.*, 2003) نیز اذعان داشتند که بین تعداد چتر در بوته، دانه در چتر و عملکرد دانه در رازیانه همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. کوسگه و همکاران (Cosge *et al.*, 2009) نیز افزایش تعداد شاخه فرعی و ارتفاع گیاه را عامل مثبتی در افزایش میزان اسانس رازیانه گزارش کرده‌اند. بنابراین، با توجه به ضرایب همبستگی صفات مورد ارزیابی با عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری، تعداد چتر در بوته، ارتفاع بوته، تعداد میان‌گره و بیوماس برای گزینش ارقام با عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط آبیاری عادی و تنش کم‌آبی، به خصوص در شرایط تنش با توجه به کمبود آب در کشور (Kafi *et al.*, 2009)، دارای اهمیت می‌باشند.

برای تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه از مدل رگرسیونی گام به گام استفاده شد. نتایج رگرسیون گام به گام در شرایط آبیاری نرمال در جداول ۴ و ۵ و در شرایط تنش کم‌آبی در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است. نتایج رگرسیون در شرایط آبیاری مطلوب نشان داد که تعداد چتر و تعداد دانه در چتر با ضریب تبیین ۰/۸۸ بیشترین تاثیر را روی عملکرد دانه دارد. بنابراین، در این شرایط جهت دست‌یابی به عملکرد بالای دانه باید به صفات تعداد چتر و تعداد دانه در چتر بیش از سایر صفات توجه و دقت نمود. در شرایط تنش کم‌آبی نتایج حاکی از بیشترین تاثیر تعداد چتر و ارتفاع بوته بر عملکرد دانه با ضریب تبیین ۰/۶۰ بود. بنابراین، صفات تعداد چتر و ارتفاع بوته جهت گزینش جمعیت‌های با عملکرد دانه بالا با توجه به مدل رگرسیونی در این شرایط پیشنهاد شد. گزارش رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.*, 2009) نیز در مورد گشنیز حاکی از بیشترین تاثیر تعداد چتر در بوته بر عملکرد دانه می‌باشد. اکبری و همکاران (Akbari *et al.*, 2015) نشان دادند که در شرایط نرمال آبیاری قطر ساقه، تعداد چتر و چترک و تعداد دانه در چتر و در شرایط تنش کم‌آبی قطر ساقه، تعداد چتر و تعداد میان‌گره بیشترین تاثیر را بر عملکرد دانه داشتند. با توجه به مدل رگرسیونی، تعداد چتر در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی، بیشترین تاثیر را بر عملکرد دانه داشته است. به‌طورکلی، جمعیت‌هایی که تعداد چتر بالایی داشته باشند در هر دو شرایط آبیاری عملکرد مطلوبی خواهند داشت.

برای تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم هر کدام از صفات مورد ارزیابی بر عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری تجزیه علیت انجام شد. نتایج تجزیه علیت در شرایط آبیاری مطلوب نشان داد که تعداد چتر دارای اثرمستقیم ۰/۹ و اثر غیرمستقیم ناچیز از طریق تعداد دانه در چتر بوده و بیشترین اثر مستقیم را داشته و همچنین بیشترین ضریب همبستگی (۰/۹۲) را دارا بود. تعداد دانه در چتر دارای اثر مستقیم ۰/۲۱ روی عملکرد دانه بود (جدول ۸ و شکل ۱). بنابراین، تجزیه علیت نیز تعداد چتر را به‌عنوان صفتی با بیشترین اثر مستقیم بر روی عملکرد دانه در شرایط آبیاری عادی نشان داد. در شرایط تنش

کم‌آبی تعداد چتر در بوته تاثیر مستقیم ۰/۵۳ و تاثیر غیرمستقیم ۰/۱۶ از طریق ارتفاع بوته بر عملکرد دانه داشته و تاثیر مستقیم ارتفاع بوته ۰/۴۴ و تاثیر غیرمستقیم آن ۰/۲۰ از طریق تعداد چتر در بوته بر عملکرد دانه بود (جدول ۹). با توجه به نتایج، تعداد چتر در بوته دارای بیشترین تاثیر مستقیم بر عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری بود که با نتایج تحقیق اکبری و همکاران (Akbari *et al.*, 2015) بر روی رازیانه مطابقت داشت. بنابراین، تعداد چتر و ارتفاع بوته با تاثیر مستقیم بر عملکرد دانه، به‌عنوان صفات مهم در گزینش جمعیت‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش کم‌آبی می‌توانند مورد توجه قرار بگیرند. فاخری و همکاران (Fakheri *et al.*, 2019) نیز در تحقیقی کاهش تعداد چتر و ارتفاع بوته رازیانه در اثر تنش کم‌آبی را گزارش کردند. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که تاثیر تنش کم‌آبی بر صفات عملکرد دانه و عملکرد اسانس گیاه رازیانه در تمامی جمعیت‌های مورد مطالعه از نظر آماری معنی‌دار بوده است. پوریوسف (Pouryousef, 2013) نیز در آزمایشی بر روی رازیانه گزارش نمود که با وجود افزایش معنی‌دار محتوای اسانس دانه تحت شرایط تنش کم‌آبی در مقایسه با آبیاری مطلوب، به‌دلیل افت فاحش عملکرد دانه، عملکرد اسانس نیز به تبع آن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در تحقیق دیگری نیز کاهش عملکرد دانه و اسانس رازیانه در اثر تنش کم آبی گزارش شده است (Mojaradi *et al.*, 2020). میرزایی ندوشن و همکاران (Mirzai Nadoshan *et al.*, 2006) در تجزیه علیت صفات مؤثر بر افزایش اسانس در سه گونه آویشن نشان دادند که تعداد روزنه و طول برگ دارای بیشترین اثرهای مستقیم بر میزان اسانس هستند. شارما و ساستری (Sharma and Sastry, 2008) پس از تجزیه علیت عملکرد دانه شنبلیله بیان داشتند که حداکثر سهم مستقیم به‌ترتیب مربوط به عملکرد بیولوژیکی، تعداد ساقه‌های فرعی بوته و تعداد غلاف می‌باشد. با توجه به نتایج تحقیق در شرایط تنش خشکی علاوه بر تعداد چتر در بوته که بیشترین تاثیر مستقیم را بر عملکرد دانه داشت، ارتفاع بوته نیز برای گزینش ارقام با عملکرد دانه بالا در مناطق خشک دارای اهمیت می‌باشد. ارتفاع بوته از طریق همبستگی مثبت و معنی‌دار با تعداد چتر و تعداد دانه در چتر در شرایط آبیاری مطلوب (جدول ۲) و تعداد دانه در چتر در شرایط تنش کم‌آبی (جدول ۳)، باعث افزایش عملکرد دانه در هر دو شرایط شده است. با عنایت به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع بوته و تعداد روز تا رسیدگی و نیز با توجه به اینکه رازیانه از نظر رشد زایشی نامحدود است، بنابراین با افزایش تعداد روز تا رسیدگی در شرایط آبیاری نرمال، ارتفاع بوته و نیز تعداد چتر بر روی بوته افزایش یافته و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد اما در شرایط تنش کم‌آبی با کاهش تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته کمتر و در نتیجه باعث کاهش تعداد چتر و به دنبال آن عملکرد دانه کاهش یافته است، چون دوره رشد گیاه در اثر تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد (Martinez *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج این تحقیق، صفت تعداد چتر در بوته در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی دارای بیشترین تاثیر مثبت و مستقیم بر روی عملکرد دانه رازیانه بوده و به‌عنوان معیار گزینش مناسب برای انتخاب ارقام با عملکرد دانه بالا می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد ارزیابی در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی

Table 1- Combined analysis of variance for evaluated traits in studied populations of fennel under normal and water deficit stress irrigation

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد چتر در بوته Umbel number in plant	تعداد دانه در چتر Grain number in umbel	طول دمگل Peduncle length	وزن هزار دانه 1000 Grain weight	عملکرد دانه Grain yield	میزان اسانس Essential oil	تعداد پنجه Tiller number	ارتفاع بوته Plant height
شرایط Condition	1	167673.10**	435818.64**	0.08ns	14.88**	125953.67**	7.21**	202.13**	7342.79ns
تکرار (شرایط) Replication (Condition)	4	176.00	771.46	0.96	0.16	141.58	0.08	1.22	1289.84
جمعیت Population	18	22833.68**	30877.54**	1.59*	0.63**	13014.13**	4.61**	53.43**	3452.64**
شرایط×جمعیت Population× Condition	18	7329.93**	9016.13**	0.99ns	0.65**	8039.39**	0.57**	65.33**	1104.36**
خطا Error	72	297.88	2659.70	0.77	0.12	261.43	0.05	4.99	369.74
ضریب تغییرات C.V. (%)		16.35	12.78	13.31	9.74	18.92	7.22	22.04	13.33

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and ** : Non significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

ادامه جدول ۱-

Table 1- continued

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	طول میانگره اول First internode length	طول میانگره آخر Last internode length	طول بلندترین میانگره Tallest internode length	تعداد میانگره Internode number	قطر ساقه Stem diameter	شاخص برداشت HI	تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity	بیوماس Biomass
شرایط Condition	1	5.05ns	7.09ns	3.21ns	55.75*	0.05ns	5312.24**	4434.30**	188491.63**
تکرار (شرایط) Replication (Condition)	4	6.98	0.97	4.1	6.67	0.18	29.01	24.75	2913.75
جمعیت Population	18	8.15**	2.95ns	8.02*	11.55**	0.23**	295.92**	362.05**	98746.78**
شرایط×جمعیت Population× Condition	18	0.93ns	4.32**	4.88ns	6.54**	0.09*	257.21**	59.32**	49484.18**
خطا Error	72	2.40	1.73	4.04	2.88	0.05	36.4	26.92	2441.27
ضریب تغییرات C.V. (%)		21.45	20.79	12.85	13.15	25.2	16.18	3.77	21.05

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

ns, * and ** : Non significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین صفات در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه تحت شرایط آبیاری مطلوب

Table 2 -The correlation coefficients between traits in studied populations of fennel under normal irrigation condition

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
تعداد چتر در بوته 1- Umbel number in plant	1														
تعداد دانه در چتر 2- Grain number in umbel	0.096	1													
طول دمگل 3- Pedicel length	0.306	0.442	1												
وزن هزاردانه 4- 1000 grain weight	0.462*	-0.175	0.114	1											
عملکرد دانه 5- Grain yield	0.921**	0.301	0.306	0.352	1										
میزان اسانس 6- Essential oil	0.182	-0.079	0.006	0.18	0.213	1									
تعداد پنجه 7-Tiller number	0.033	0.401	0.09	-0.37	0.19	0.258	1								
ارتفاع بوته 8- Plant height	0.603**	0.457*	0.39	0.278	0.659**	0.362	0.303	1							
طول میانگره اول 9- First internode length	-0.119	0.053	0.145	0.026	-0.213	0.274	0.151	0.356	1						
طول میانگره آخر 10- Last internode length	-0.23	0.179	-0.084	0.15	-0.164	0.132	0.186	0.384	0.192	1					
طول بلندترین میانگره 11- Tallest internode	0.309	0.169	0.016	0.506*	0.265	0.457*	0.093	0.614**	0.252	0.618**	1				
تعداد میانگره 12- Internode number	0.575*	0.431	0.366	-0.031	.641**	0.249	0.325	0.880**	0.362	0.064	0.258	1			
قطر ساقه 13- Stem diameter	0.524*	0.287	0.4	0.351	0.507*	0.115	0.395	0.754**	0.346	0.438	0.507*	0.531*	1		
بیوماس 14- Biomass	0.973**	0.181	0.268	0.487*	0.916**	0.22	0.064	0.672**	-0.062	-0.146	0.363	0.627**	0.561*	1	
شاخص برداشت 15- HI	-0.052	-0.026	-0.034	-0.227	0.167	-0.082	0.098	-0.296	-0.457*	-0.307	-0.362	-0.161	-0.324	-0.184	1
تعداد روز تا رسیدگی 16- Number of days to maturity	-0.032	0.398	0.052	-0.22	0.101	0.084	0.122	.579**	0.136	.526*	0.259	.565*	0.239	0.092	-0.311

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ *and**: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively .

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه تحت شرایط تنش کم‌آبی

Table 3 -The correlation coefficients between traits in studied populations of fennel under water deficit stress condition

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
تعداد چتر در بوته 1- Umbel number in plant	1														
تعداد دانه در چتر 2-Grain number in umbel	0.195	1													
طول دمگل 3-Pedicel length	0.125	0.16	1												
وزن هزاردانه 4-1000 grain weight	0.287	0.007	0.431	1											
عملکرد دانه 5-Grain yield	0.696**	0.496*	0.128	0.136	1										
میزان اسانس 6-Essential oil	0.181	0.043	0.088	0.255	0.269	1									
تعداد پنجه 7-Tiller number	0.718**	0.017	0.223	0.460*	0.617**	0.108	1								
ارتفاع بوته 8-Plant height	0.385	0.667**	0.059	0.109	0.641**	0.09	0.193	1							
طول میانگره اول 9- First internode length	0.168	0.174	0.086	0.463*	0.189	0.344	0.064	0.495*	1						
طول میانگره آخر 10- Last internode length	0.176	0.037	0.272	0.032	0.107	0.008	0.011	0.277	0.013	1					
طول بلندترین میانگره 11- Tallest internode	0.172	0.027	0.048	0.123	0.126	0.302	0.036	0.404	0.371	0.249	1				
تعداد میانگره 12-Internode number	0.229	0.578**	0.051	0.12	0.525*	0.081	0.183	0.898**	0.419	0.221	0.414	1			
قطر ساقه 13-Stem diameter	0.189	0.421	0.115	0.152	0.414	0.138	0.204	0.773**	0.421	0.32	0.346	0.811**	1		
بیوماس 14-Biomass	0.635**	.509*	0.179	0.157	0.891**	0.205	0.641**	0.727**	0.32	0.022	0.179	0.677**	0.643**	1	
شاخص برداشت 15-HI	0.189	0.142	0.056	0.308	0.112	0.078	0.293	0.477*	-0.249	0.038	-0.239	-0.405	-0.539*	-0.456*	1
تعداد روز تا رسیدگی 16-Number of days to maturity	0.192	0.366	-0.089	0.124	0.039	0.181	0.362	0.299	0.116	0.036	-0.201	0.283	0.355	0.21	0.291

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ *and**: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively .

جدول ۴- تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه با صفات اندازه گیری شده در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در شرایط آبیاری مطلوب

Table 4- Analysis of stepwise regression of grain yield with evaluated traits in studied populations of fennel under normal irrigation condition

S.O.V. منبع تغییرات	df درجه آزادی	M.S. میانگین مربعات
Regression رگرسیون	2	49371.6**
Residual انحراف از رگرسیون	16	733.15
(R^2) ضریب تبیین		0.88

**معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

**Significant at 1% probability level

جدول ۵- ضرایب رگرسیون صفات مرتبط با عملکرد دانه در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در شرایط آبیاری مطلوب

Table 5- Regression coefficients of related traits with grain yield in studied populations of fennel under normal irrigation condition

Traits entered into the model صفات وارد شده به مدل	Regression coefficients ضرایب رگرسیون
Umbel number in plant تعداد چتر در بوته	0.756**
Grain number in plant تعداد دانه در چتر	0.203*

*و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

*and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۶- تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد دانه با صفات اندازه گیری شده در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در شرایط تنش کم‌آبی

Table 6- Analysis of stepwise regression of grain yield with evaluated traits in studied populations of fennel under water deficit stress condition

S.O.V . منبع تغییرات	df درجه آزادی	M.S. میانگین مربعات
Regression رگرسیون	2	5156.94**
Residual انحراف از رگرسیون	16	350.42
(R^2) ضریب تبیین		0.60

جدول ۷- ضرایب رگرسیون صفات مرتبط با عملکرد دانه در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در شرایط تنش کم‌آبی

Table 7- Regression coefficients of related traits with grain yield in studied populations of fennel under water deficit stress condition

صفات وارد شده به مدل Traits entered into the model	ضرائب رگرسیون Regression coefficients
تعداد چتر در بوته Umbel number in plant	0.427**
ارتفاع بوته Height plant	0.451*

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۸- تجزیه علیت عملکرد دانه با صفات مرتبط در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در شرایط آبیاری مطلوب

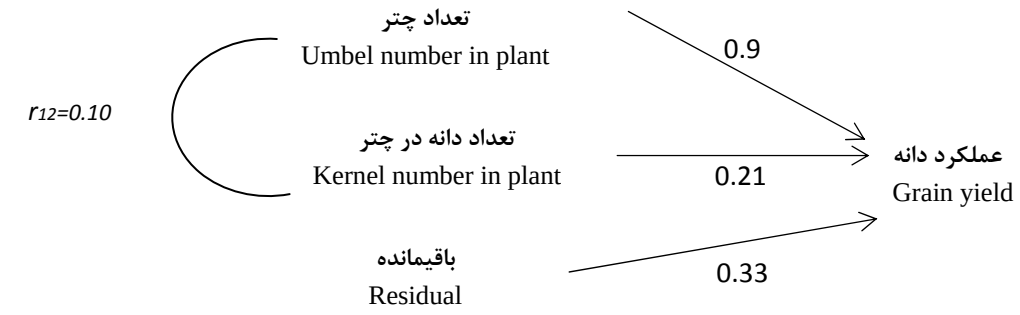
Table 8- Path analysis of grain yield with related traits in studied populations of fennel under normal irrigation condition

صفات Traits	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effects through		همبستگی با عملکرد دانه Correlation with Grain yield
		تعداد دانه در چتر Grain number in plant	تعداد چتر در بوته Umbel number in plant	
تعداد چتر در بوته Umbel number in plant	0.9	0.02	-	0.92
تعداد دانه در چتر Grain number in plant	0.21	-	0.09	0.30

جدول ۹- تجزیه علیت عملکرد دانه با صفات مرتبط در جمعیت‌های مورد مطالعه در شرایط تنش کم‌آبی

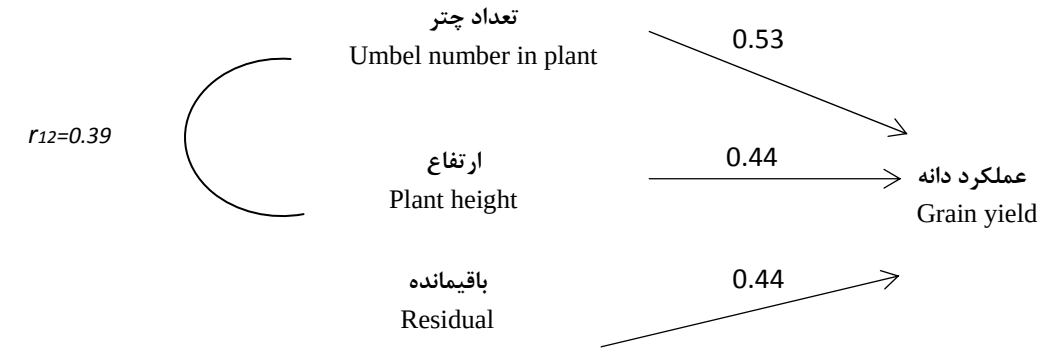
Table 9- Path analysis of grain yield with related traits in studied populations of fennel under water deficit stress condition

صفات Traits	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effects through		همبستگی با عملکرد دانه Correlation with grain yield
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد چتر در بوته Umbel number in plant	
تعداد چتر در بوته Umbel number in plant	0.53	0.17	-	0.70
ارتفاع بوته Plant height	0.44	-	0.20	0.64



شکل ۱- دیاگرام تجزیه علیت عملکرد دانه با صفات مرتبط در جمعیت‌های مورد مطالعه رازیانه در شرایط آبیاری مطلوب

Figure 1-Diagram of Path analysis grain yield with related traits in studied populations of fennel under normal irrigation condition



شکل ۲- دیاگرام تجزیه علیت عملکرد دانه با صفات مرتبط در جمعیت-های مورد مطالعه رازیانه در شرایط تنش کم‌آبی

Figure 2- Diagram of Path analysis grain yield with related traits in studied populations of fennel under water deficit stress condition

References منابع مورد استفاده

- Akbari, A., A. Izadi Darbandi, K. Bahmani, and H.A. Rameshini. 2015. Evaluation of drought tolerance in synthetic varieties and superior ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Crop Sciences.* 17 (3):193-204. (In Persian).
- Cosge, B., A. Ipek, and B. Gurbuz. 2009. Some phenotypic selection criteria to improve seed yield and essential oil percentage of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*). *Tarim Bilimleri Dergisi*. 15 (2): 127-133.
- Ebeed, N.M., H.S. Abdou, H.F. Booles, S.H. Salah, E.S. Ahmed, and K.H. Fahmy. 2010. Antimutagenic and chemoprevention potentialities of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* M.) hot water crude extract. *Journal of American Science.* 6: 831–842.
- Fakheri, B.A., F. Heidari, N. Mahdi Nejad, and I. Shahrokhi Sardoui. 2019. Effect of drought stress and application of salicylic acid on yield and yield components, photosynthetic pigments and compatibility metabolites of fennel (*Foeniculum vulgare*) under Sistan climatic conditions. *Journal of Crop Ecophysiology.* 13(2): 193-216.(In Persian)
- Fikreselassie, M., H. Zeleke, and N. Alemayehu. 2012. Correlation and path analysis Ethiopian fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) Landraces. *Crown Research in Education*. 2 (3): 132 - 42.
- Hassan, O.M., and I.A. Elhassan. 2017. Characterization of essential oils from fruits of umbelliferous crop cultivated in Sudan II. *Coriandrum sativum* L. (Coriander) and *Foeniculum vulgare* M. (Fennel). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 6(1): 113-116.
- Heidari, N., M. Pouryousef, A. Tavakkoli, and J. Saba. 2011. Effect of drought stress and harvesting date on yield and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 28(1): 121-130. (In Persian).
- Kafi, M., M. Borzuii, M. Salehi, A. Kamandi, A. Masumi, and J. Nabati. 2009. Physiology of environmental stress in plant. Iranian Academic Center of Education, Culture and Resaerch, Mashhad. (In Persian).
- Martinez, J.P., H.F.L.J. Silva, J.F. Ledent, and M. Pinto. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*. 26(1): 30-38.
- Mirzaii Nadoshan, H., SH. Mehrpur, and F. Sefidkan. 2006. Path analysis on affecting the essential characteristics of the three species of thyme. *Pazhuhesh and Sazandegi*. 19: 88-94. (In Persian).
- Mojaradi, T, M.R. Yavarzadeh, and F. Shirzady. 2020. Effects of seed priming of salicylic acid and foliar application of brassinostroid on yield and some physiological traits of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under water deficit condition. *Journal of Crop Ecophysiology.* 14(2): 193-216. (In Persian).

- Moosavi, S.M., S.G.R. Moosavi, and M.J. Seghatoleslami. 2014. Effect of drought stress and nitrogen levels on growth, fruit and essential oil yield of fennel (*Foenicolum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 30(3): 453-462. (In Persian).
- Noroozi Shahri, F., M. Pouryousef, A. Tavakoli, J. Saba, and A. Yazdinezhad. 2015. Evaluation the performance of some of Iran's native fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions under drought stress condition. *Iranian Journal of Crop Sciences.* 46(1):49-56. (In Persian).
- Oktay, M., I. Gulcin, and O.I. Kufrevioglu. 2003. Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foenicolum vulgare* Mill.) seed extracts. *LWT-Food Science and Technology*. 36(2): 263-271.
- Omid Beygi, R. 2007. Processing of medicinal plants. Volume III. Press Astan Qods Razavi. (In Persian).
- Pouryousef, M. 2013. Effects of terminal drought stress and harvesting time on seed yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 30(6): 889-897. (In Persian).
- Rahimi, A., K. Hemmati, and A. Dardipur. 2009. Effect of nutrients and salicylic acid on seed yield and yield components of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Gournal of Plant Production Research.* 16 (14): 149-156. (In Persian).
- Safaii, L., H. Zeynali, and D. Afiuni. 2014. Comparison of seed yield and its related components in genotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Seed and Plant Improvment Journal.* 30 (2): 289-303. (In Persian)
- Salamati, M., and H. Zeynali. 2013. The genetic diversity of different populations of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants.* 29(1): 51-62. (In Persian)
- Sharma, K.C., and E.V.D. Sastry. 2008. Path analysis for seed yield and its component characters in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*. 1(2): 69 - 74.
- Singh, G., S. Maurya, M.P. Lampasona, and C. Catalan. 2006. Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract. *Food Control*. 17: 745–752.
- Telci, I., I. Demirtas, and A. Sahin. 2009. Variation in plant properties and essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* M.) fruites during stage of maturity. *Industrial Crops and Products*. 30: 126-130.
- Wright, S. 1921. Correlation and causation. *Jurnal of Agricultural Research.* 20: 557-585.
- Yazdansepas, A. 2013. Breeding for resistance to abiotc stresses. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Agricultural Extension and Education Publications, Karaj. (In Persian).

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.532664.1294

Path Analysis for Grain Yield on Populations of Fennel (*Foeniculum vulgare* M.) under Normal and Water Deficit Stress Conditions

Milad Ghasemi[1], Saeid Aharizad[2*], Majid Norouzi[3], Ali Bandehagh[3] and Roghayeh Azhdari[1]

Received: November 2020 , Revised: 7 February 2021, Accepted: 27 March 2021

Abstract

Since the global approach to herbal medicine and chemical away from drugs, more attention to medicinal plants, is required. Fennel with variety of secondary metabolites in the treatment of flatulence, cough, digestive disorders and increases milk, used as one of the important medicinal plants. Drought stress is one of the most important non-polluting environmental stresses affecting crop production. To study the direct and indirect effects of evaluated traits on grain yield of fennel, an experiment was conducted in a randomized complete block design in two control and limited irrigation conditions separately with three replications on 19 fennel populations in the Agricultural Research Station, University of Tabriz. Combined analysis of variance revealed a significant differences between two irrigation conditions and evaluated populations at %1 probability level for some studied traits. As well as the population × conditions interaction effect was significant at 1% probability level for most traits. Correlations of grain yield with number of umbel in plant, plant height, internode number and biomass were significant positively in both irrigation conditions. Stepwise regression analysis showed that the number of grain per umbel and the number of umbel per plant, have the greatest impact on grain yield under optimum irrigation (R^2=0.88). Also in the water deficit condition, number of umbels per plant and plant height had the greatest impact on grain yield (R^2=0.60). Path analysis revealed that the number of umbel per plant had greatest direct effect on grain yield under control (0.90) and stress (0.53) condition respectively. Whereas the indirect effects were very inconsiderable in both conditions, therefore it is suggested that to selection of superlative populations for grain yield, the number of umbel per plant should be considered.

Key words: Fennel, Grain yield, Path analysis, Regression analysis.

1- M.Sc. Student in Plant Breeding, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3- Associate Prof., Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
**Corresponding Author: s.aharizad@yahoo.com*