

تجزیه علیت صفات موثر بر عملکرد روغن و پروتئین در ژنوتیپ‌های کنجد در شرایط مختلف رطوبتی و استفاده از میکوریزا

اسماعیل قلی نژاد*^۱ و رضا درویش زاده^۲

۱- دانشیار، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران ۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹)

چکیده

به منظور تعیین صفات موثر بر عملکرد روغن و پروتئین و انتخاب ارقام مناسب کنجد در شرایط تلقیح و عدم تلقیح با قارچ‌های میکوریزا و سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت فاکتوریل- اسپلیت پلات با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه ساعت‌لوی ارومیه در سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل ترکیب عامل A یعنی سه سطح مختلف آبیاری (آبیاری نرمال: آبیاری بعد از ۷۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق گیاه یا ETc، تنش ملایم: آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر ETc و تنش شدید: آبیاری بعد از ۱۱۰ میلی‌متر ETc) و عامل B یعنی سه سطح تلقیح با قارچ میکوریزا *Glomus mosseae*، تلقیح با قارچ میکوریزا *Glomus intraradices* و عدم تلقیح بودند. کرت‌های فرعی در برگزیده عامل C شامل ارقام تجاری کنجد بود. در تجزیه رگرسیون گام به گام، با در نظر گرفتن جداگانه عملکرد روغن و پروتئین به عنوان متغیرهای پاسخ، علاوه بر عملکرد دانه و درصد روغن و درصد پروتئین، صفات متفاوتی در شرایط مختلف میکوریزا و تنش رطوبتی وارد مدل شدند. در تجزیه مسیر (صفات وارد شده در مدل شامل عملکرد دانه، درصد روغن، تعداد دانه در مترمربع، درصد پروتئین، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک، عملکرد پروتئین، وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد روغن، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته، قطر ساقه و درصد کلونیزاسیون ریشه بودند)، در شرایط مختلف آزمایش، بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد روغن و پروتئین، به ترتیب از درصد روغن و درصد پروتئین به دست آمد. بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای به روش وارد، ارقام داراب دو و داراب ۱۴ برای کشت در شرایط مختلف مناسب به نظر می‌رسید. همچنین دو صفت عملکرد دانه و درصد روغن برای رسیدن به عملکرد روغن بالا و دو صفت عملکرد دانه و درصد پروتئین به عنوان شاخص‌های گزینشی برای رسیدن به عملکرد پروتئین بالا مناسب به نظر می‌رسند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تجزیه علیت، تنش آبی، عملکرد روغن، عملکرد پروتئین.

Path analysis of effective traits on oil and protein yield in sesame genotypes under different moisture conditions and mycorrhiza utilization

Esmail Gholinezhad*¹, Reza Darvishzadeh²

1. Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, 2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia.

(Received: October 29, 2018 - Accepted: March 10, 2019)

ABSTRACT

To determine the traits affecting oil and protein yield and selection of suitable sesame cultivars under inoculum conditions and lack of inoculation with mycorrhizal fungi and different levels of irrigation, an experiment was conducted as factorial-split plot design with three replications in research farm of Agricultural Research Center (Saatloo station of Urmia) during 2015 -2016 cropping seasons. The main plots consisted of factor A: three different levels of irrigations (normal irrigation: irrigation after 70 mm evaporation of crop or ETc, moderate drought stress: irrigation after 90 mm ETc and severe drought stress: irrigation after 110 mm ETc) and factor B: three levels of inoculation: two kinds of mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* and non-inoculated (control). Sub plots (factor C) consisted of eight commercial cultivars of sesame. In stepwise regression analysis, regarding oil and protein yield as response variables, in addition to grain yield and oil percentage and protein percentage, different traits were introduced under different conditions of mycorrhiza and water stress conditions. In path analysis (traits entered on the model included seed yield, oil percentage, seeds per square, protein percentage, capsules per plant, seeds per capsule, biological yield, protein yield, 1000-seed weight, oil yield, number of branches, plant height, stem diameter and root colonization) under different experimental conditions, the highest direct effect on oil and protein yield was obtained from oil percentage and protein percentage, respectively. Based on cluster analysis results, the "Darab 2" and "Darab 14" cultivars are suitable for cultivation in different conditions. Also, it seems that seed yield and oil percentage traits to achieve high oil yield and seed yield and protein percentage traits as selective indices to achieve high protein yield suitable.

Keywords: Cluster analysis, oil yield, path analysis, protein yield, water stress.

* Corresponding author E-mail: gholinezhad1358@yahoo.com

مقدمه

پژوهش دیگری بر روی ژنوتیپ‌های گلرنگ مشخص شد که تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰۰ دانه، بالاترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه دارد و تعداد غلاف در بوته، بالاترین اثر غیرمستقیم را از طریق تعداد دانه در بوته بر عملکرد دانه داشت (Azeez & Morakinyo, 2011). محققان نشان دادند که زیست‌توده، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و درصد روغن، ۹۸ درصد تغییرات عملکرد دانه گلرنگ را توجیه می‌کند (Salamati, 2012). در نتایج سایر محققان نیز صفت عملکرد دانه، بیشترین اثر مستقیم مثبت را بر عملکرد روغن کلزا نشان داده است (Marjanovic-Jeromela *et al.*, 2007). اعلام کردند که بر اساس نتایج رگرسیون گام به گام، سه صفت عملکرد پروتئین، درصد پروتئین و عملکرد روغن، در مجموع ۹۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کنند. Balesini *et al.* (2006) نشان دادند که سه صفت تعداد دانه در خورجین، درصد روغن و تعداد کل خورجین، عمده‌ترین صفات تبیین‌کننده عملکرد روغن در گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی می‌باشند. نتایج تجزیه علیت و رگرسیون گام به گام نشان داد که میزان پروتئین دانه و تعداد روز از جوانه‌زنی تا شروع گلدهی، دارای اثر مستقیم منفی و وزن ۱۰۰ دانه، دارای اثر مستقیم مثبت روی عملکرد روغن در گیاه سویا بودند. تعداد شاخه و تعداد کپسول در هر گیاه می‌توانند شاخص‌های خوبی برای عملکرد دانه در گیاه کنجد باشند (Bharathi Kumar & Vivekanandan, 2009). تجزیه علیت نشان داد که تعداد دانه در هر کپسول در گیاه کنجد، بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشت (Daniya *et al.*, 2013). در تحقیق دیگری، عملکرد دانه، بیشترین اثر مثبت مستقیم را بر عملکرد روغن در گیاه کنجد داشت (Thiyagu *et al.*, 2007). این تحقیق با هدف شناسایی صفاتی که دارای بیشترین تأثیر بر عملکرد روغن و پروتئین در شرایط مختلف تنش رطوبتی، و تلقیح و عدم تلقیح با قارچ‌های میکوریزا داشتند انجام گرفت.

کنجد (*Sesamum indicum* L.) گیاه دانه‌روغنی مهمی است که روغن آن در مقایسه با سایر روغن‌های گیاهی از ارزش تجاری و تغذیه‌ای بالایی برخوردار است. این گیاه همچنین دارای پروتئین بالا است و غنی از میتیونین و تریپتوفان و آمینواسیدهایی است که به ندرت در دیگر منابع پروتئینی یافت می‌شوند (Lal *et al.*, 2016). سطح زیر کشت، میزان تولید و عملکرد دانه کنجد در جهان به ترتیب ۱۰/۵ میلیون هکتار، ۶/۱۱ میلیون تن و ۵۷۷ کیلوگرم در هکتار است سطح زیر کشت، میزان تولید و عملکرد دانه کنجد در ایران به ترتیب ۶۲/۳ هزار هکتار، ۵۶/۱ هزار تن و ۹۰۱ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد (FAO, 2016).

با استفاده از تجزیه علیت، امکان شناسایی آثار مستقیم و غیر مستقیم صفات مرتبط با عملکرد وجود دارد (Kumar *et al.*, 2013). در گلرنگ در شرایط عدم تنش خشکی، عملکرد بیولوژیک (۰/۹۹) و شاخص برداشت (۰/۹۰) بود و در شرایط تنش در زمان گلدهی، وزن ۱۰۰۰ دانه (۱/۸۲) و در شرایط تنش در زمان دانه‌بندی، شاخص برداشت (۱/۶۰)، بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه گلرنگ داشتند (Yari & Keshtkar, 2016).

براساس نتایج رگرسیون گام به گام در گیاه گلرنگ، تعداد دانه در طبق و تعداد طبق در بوته، بیشترین سهم را در توجیه تغییرات عملکرد دانه داشتند (Amini *et al.*, 2008). محققان در کلزا نشان دادند که صفت تعداد غلاف در بوته، بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه دارد (Nouryan *et al.*, 2008). در رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت در سویا مشخص شد که وزن صد دانه، تعداد غلاف در گیاه، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در گیاه، بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه دارند (Ghorbanzadeh Neghab, 2015). یافته‌های محققان نشان داد که در شرایط بدون تنش، صفات وزن ۱۰۰۰ دانه و قطر ساقه، دارای اثر مستقیم روی عملکرد دانه در گلرنگ بودند در حالی که در شرایط تنش خشکی، وزن دانه در بوته و وزن ۱۰۰۰ دانه، بیشترین اثر مستقیم را نشان داشتند (Hosseini, 2016). در

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت طرح فاکتوریل- اسپلیت پلات با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل ترکیب عامل A یعنی سه سطح مختلف آبیاری (آبیاری نرمال: آبیاری بعد از ۷۰ میلیمتر تبخیر و تعرق گیاه یا (ETc)، تنش ملایم: آبیاری بعد از ۹۰ میلیمتر تبخیر و تعرق گیاه یا (ETc) و تنش شدید: آبیاری بعد از ۱۱۰ میلیمتر تبخیر و تعرق گیاه یا (ETc)) و عامل B یعنی سه سطح تلقیح با قارچ میکوریزا *Glomus mosseae*، تلقیح با قارچ میکوریزا *Glomus intraradices* و عدم تلقیح بودند. کرت‌های فرعی در برگیرنده عامل C شامل هشت رقم تجاری کنجد به نام‌های ناز تک شاخه، ناز چند شاخه، دشتستان پنج، دشتستان دو، داراب دو، داراب ۱۴، هلیل و پال بود. از هر یک از قارچ‌های *G. mosseae* و *G. intraradices*، مخلوطی از اسپور (۲۰ اسپور در هر گرم مایه تلقیح)، هیف و قطعات جدا شده ریشه‌های آلوده به عنوان تلقیح کننده (۱۰ گرم مایه تلقیح در هر کپه) در عمق دو سانتی‌متری زیر هر بذر استفاده شد. هر کرت دارای چهار خط کاشت به طول چهار متر بود. کاشت به صورت جوی و پشته، با فاصله ردیف ۵۰ و فاصله بوته ۱۵ سانتی‌متر و با تراکم ۱۳۳۳۳۳ بوته در هکتار انجام گرفت. در هنگام کاشت، در هر کپه سه عدد بذر قرار داده شد که بعداً در مرحله دو تا چهار برگی، بوته‌های اضافی تنک شدند. تا مرحله دو تا چهار برگی و استقرار کامل گیاه، همه تیمارها به طور یکسان آبیاری شدند و بعد از این مرحله، سطوح مختلف تنش خشکی اعمال شد. اولین آبیاری حدود ۱۰ روز بعد از کاشت انجام شد. فاصله هر کرت فرعی از کرت فرعی دیگر به صورت یک خط نکاشت و فاصله میان هر دو کرت اصلی دو متر در نظر گرفته شد. بنابراین مساحت هر کرت فرعی و اصلی به ترتیب ۱۰ و ۹۶ مترمربع و مساحت کل قطعه آزمایشی با احتساب فواصل بین واحدهای آزمایشی و کانال‌های آبیاری در حدود ۳۰۰۰ متر مربع بود. این تحقیق در دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ و در مزرعه تحقیقاتی ساعتلوی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، با طول جغرافیایی ۴۵

درجه و دو دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۵۲ متر از سطح دریا واقع، در ۲۵ کیلومتری ارومیه اجرا شد. این ایستگاه از نظر اقلیمی، جزو مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود. با توجه به آمار هواشناسی بلند مدت در ارومیه، متوسط بارندگی سالیانه ۳۹۰ میلیمتر، متوسط دما ۱۱/۳ درجه سانتیگراد و میانگین رطوبت نسبی ۷۵ درصد می‌باشد. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم - لوم رسی، pH حدود هشت و E_c حدود ۱/۵ دسی زیمنس بر متر بود که برای کشت کنجد مشکلی را ایجاد نمی‌کرد. در سال ۱۳۹۴، بذرها در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ماه و در سال ۱۳۹۵ در تاریخ ۱۳ اردیبهشت ماه، به طریق هیرم کاری کشت شدند. بذرها پیش از کاشت با بنومیل دو در هزار ضدعفونی شدند. وجین علف‌های هرز به صورت دستی، در دو مرحله ۲۰ و ۴۰ روز بعد از کاشت انجام گرفت. در طی رشد گیاه، بیماری و آفت خاصی در مزرعه مشاهده نشد. جهت تعیین ظرفیت زراعی^۱، نقطه پژمردگی دائم^۲ و وزن مخصوص ظاهری خاک محل مورد آزمایش، ابتدا از عمق ۳۰-۰ سانتی-متری خاک مزرعه با سیلندرهای هفت سانتی‌متری، دو نمونه خاک دست نخورده از چند نقطه مزرعه به تصادف برداشت شد و به آزمایشگاه بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی منتقل شد. سپس نمونه‌ها را در آونی با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار دادند و بلافاصله پس از در آوردن از آون، با ترازوی دقیق وزن شدند تا از آن برای تعیین وزن مخصوص ظاهری استفاده شود. مقداری از خاک دست نخورده (از هر نمونه سه تکرار) نیز در داخل دستگاه صفحات فشاری^۳ روی صفحات ۰/۳ و ۱۵ اتمسفری، در ظروف دایره‌ای شکل قرار داده شدند و سپس خاک داخل صفحات فشاری، به نقطه اشباع رسانده شد و پس از تنظیم فشار دستگاه روی ۰/۳ و ۱۵ اتمسفر، موتور دستگاه روشن شد و این فشار تا مدتی که کاملاً آب خروجی از شلنک کناری قطع شود ادامه داشت. پس از خاموشی دستگاه، دکمه فشار آن بسته شد و تا زمان کم شدن فشار داخل

3- Pressure plate

1- Field capacity

2- Permanent wilting point

محفظه، در دستگاه بسته ماند. سپس مقداری از نمونه‌های تحت فشار ۰/۳ و ۱۵ اتمسفر در ظروف قرار داده شدند و به آون منتقل شدند و بعد از ۲۴ ساعت که کاملاً آب آن‌ها خارج شده بود، از آون خارج شدند و فوراً با ترازوی دقیق وزن شدند و در نهایت وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب برابر با ۱/۳۷، ۲۵ و ۱۲ محاسبه شد.

معادله ۱ $RAW = \frac{FC-PWP}{100} \times \rho \times D \times MAD$

در این معادله: RAW، آب سهل‌الوصول بر حسب میلی-متر؛ FC، ظرفیت زراعی؛ PWP، نقطه پژمردگی دائم؛ ρ ، وزن مخصوص ظاهری؛ D، عمق توسعه ریشه بر حسب میلی‌متر و MAD، ضریب آب سهل‌الوصول است.

در خاک لوم-لوم رسی، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و وزن مخصوص ظاهری خاک به ترتیب ۲۵، ۱۲ و ۱/۳۷ می‌باشد. عمق توسعه ریشه در کنجد ۶۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد و ضریب آب سهل‌الوصول یا F یا MAD یا θ می‌باشد.

معادله ۲ $RAW = \frac{25-12}{100} \times 1.37 \times 600 \times 0.65$

در این معادله، MAD، ضریب آب سهل‌الوصول همان آب قابل استفاده است که بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم قرار گرفته است. این ضریب در آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۰/۸، ۰/۶۵ و ۰/۹۵ در نظر گرفته شد. در شرایط آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید خشکی، آب سهل‌الوصول یا RAW به ترتیب برابر ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ میلی‌متر به دست آمد که معادل تبخیر و تعرق گیاه یا ETC در نظر گرفته شد.

معادله ۳ $ET_o = ET_p \times K_p$

معادله ۴ $ET_c = ET_o \times K_c$

در این معادلات: ET_o، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه؛ ET_p، تبخیر و تعرق تشتک تبخیر؛ ETC، تبخیر و تعرق گیاه؛ K_c، ضریب گیاهی کنجد و K_p، ضریب تشتک تبخیر است.

به منظور محاسبه میزان آبیاری واحدهای آزمایشی، از روش WSC^۱ (Chamberlain, 1952) فلوم تیپ سه استفاده شد. در موقع برداشت و برای حذف اثر حاشیه،

ردیف‌های کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف حذف شد. درصد روغن با دستگاه سوکسله (A.O.A.C., 1990) و درصد پروتئین با دستگاه کجلدال مدل v40 اندازه‌گیری شد. در این روش، درصد نیتروژن محاسبه شد و سپس در عدد ۶/۲۵ ضرب شد. عملکرد روغن از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه و عملکرد پروتئین از حاصل ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه محاسبه شد. برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه، در مرحله انتهایی رشد، ریشه ۱۰ بوته از هر تیمار به‌طور تصادفی برداشت شدند و پس از شستن ریشه‌ها، حدود یک گرم از ریشه‌های ظریف و ریز در محلول FAA (۱۳ میلی لیتر فرمالدئید غلیظ + پنج میلی لیتر اسید استیک غلیظ + ۹۰ میلی لیتر اتانول ۵۰٪) قرار داده شدند تا نمونه‌ها تثبیت شوند. برای رنگ‌آمیزی، ریشه‌ها با آب معمولی شسته شدند و سپس قطعات ریشه (به طول یک سانتی‌متر) در داخل KOH ۱۰٪ و به مدت یک ساعت، در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از سرد شدن، ریشه‌ها پس از شسته شدن، به مدت سه دقیقه در اسید کلردیک یک درصد گذاشته شدند و سپس روی آن‌ها محلول رنگی (ترپان بلو ۰/۰۵ درصد) اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس محلول رنگی خالی شد و پس از آن محلول رنگ‌زدایی لاکتوگلیسرول (یک به یک به یک اسید لاکتیک، گلیسرول، آب) به آن‌ها اضافه شد و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در داخل حمام آب قرار داده شدند. پس از آن برای مشاهده در زیر میکروسکوپ نوری، ریشه‌ها به پتری‌دیش‌های حاوی ۵۰٪ گلیسرول منتقل شدند. محلول، رنگ را از روی تمام مواد رنگی بافت ریشه به جز اندام‌های قارچی خارج می‌کند و در نتیجه اندام‌های قارچی در داخل و خارج ریشه، به طور مشخصی به رنگ آبی دیده می‌شوند (Philips & Hayman, 1970). برای تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها از روش تلاقی خطوط مشبک استفاده شد؛ در این روش، کاغذ شطرنجی به پشت یک پتری دیش چسبانده شد و تعدادی از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده، به‌طور تصادفی

¹ - Washington State College

خشکی ملایم و بدون تلقیح با میکوریزا، صفاتی که در گام‌های مختلف وارد مدل شدند، عملکرد دانه، درصد روغن و تعداد دانه در مترمربع بودند. در تیمار تنش خشکی ملایم و تلقیح با *G. mosseae*، صفات وارد شده از گام اول تا گام پنجم به ترتیب عملکرد دانه، درصد روغن، وزن ۱۰۰۰ دانه، عملکرد پروتئین و عملکرد بیولوژیک بودند. در تیمار تنش خشکی ملایم و تلقیح با *G. intraradices*، صفات مشابه تیمار تنش خشکی ملایم و تلقیح با *G. mosseae*، به‌غیر از عملکرد بیولوژیک در معادله رگرسیونی قرار گرفتند. در تیمارهای تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا در شرایط تنش خشکی شدید، در دو گام، صفات عملکرد دانه و درصد روغن در معادله قرار گرفتند (جدول ۲). سایر محققان نیز نشان دادند عملکرد روغن به‌وسیله عملکرد دانه و درصد روغن توجیه شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Qavami et al., 2012). در تحقیق Rabiee et al. (2011) رگرسیون گام به گام نشان داد که صفات عملکرد دانه و درصد روغن و روز تا گلدهی، بیشترین تاثیر را بر عملکرد روغن کلزا داشتند و ۹۹ درصد از تغییرات عملکرد روغن را توجیه کردند (Rabiee et al., 2011).

در سایر آزمایش‌ها گزارش شده است که برای عملکرد روغن، صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد غوزه، تعداد شاخه فرعی و تعداد دانه در غوزه در مدل وارد شد و ۸۳ درصد تغییرات عملکرد روغن، توسط صفات وارده توجیه شد (Omidi Tabrizi, 2002). Golparvar & Ghasemi Pirbalouti (2012) نشان دادند در شرایط آبیاری معمول، صفات وزن ۱۰۰۰ دانه، روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و تعداد دانه در گیاه، به‌ترتیب وارد مدل شدند و ۸۸ درصد از تغییرات عملکرد روغن را به خود اختصاص دادند. همچنین صفات وزن ۱۰۰۰ دانه و تعداد دانه در گیاه، بهترین شاخص‌ها برای بهبود ژنتیکی عملکرد روغن ارقام گلرنگ بهاره در شرایط تنش خشکی بودند. یافته‌های ما در این تحقیق با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (Mozaffari & Asadi, 2006; Arsalan, 2007).

در داخل پتری دیش قرار داده شد. سپس زیر لوپ آزمایشگاهی، میزان هم‌زیستی ریشه بر حسب طول ریشه کلنی شده تعیین شد. بدین ترتیب که از سمت چپ، تعداد مناطقی از ریشه که با خطوط افقی و عمودی برخورد نموده‌اند شمارش شدند و سپس نواحی که رنگ آبی پر رنگ بودند نیز به همین روش شمارش شدند. از تقسیم تعداد نقاط آبی رنگ بر تعداد کل برخوردها، درصد طول ریشه کلونیزه شده تخمین زده شد. این عمل برای تمام تیمارها با سه تکرار انجام شد (Giovannetti & Mosse, 1980).

تجزیه رگرسیون گام به گام و علیت در هر یک از شرایط محیطی، با استفاده از نرم افزارهای SPSS 20 و Path2 و نیز تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها در هر یک از شرایط محیطی بعد از استاندارد کردن داده‌ها، با نرم افزار Minitab 16 انجام گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه رگرسیون گام به گام

خلاصه نتایج تجزیه واریانس صفات در جدول ۱ ارائه شده است. در تجزیه رگرسیون، عملکرد روغن و پروتئین به‌طور جداگانه به‌عنوان متغیرهای وابسته و صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن ۱۰۰۰ دانه، تعداد کپسول در هر بوته، تعداد دانه در هر کپسول، تعداد دانه در مترمربع، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته، قطر ساقه، کلونیزاسیون ریشه، درصد روغن و درصد پروتئین به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند.

برای عملکرد روغن در تیمار آبیاری مطلوب و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا، عملکرد دانه اولین صفتی بود که در مدل وارد شد. درصد روغن و تعداد دانه در مترمربع، صفات بعدی بودند که در مدل قرار گرفتند. در تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با میکوریزای *G. mosseae*، در گام چهارم درصد پروتئین هم در مدل قرار گرفت. در تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با *G. intraradices*، در گام اول عملکرد دانه تاثیر گذار بود و در گام‌های بعدی، به ترتیب صفات درصد روغن، تعداد دانه در مترمربع، تعداد کپسول در هر بوته و تعداد دانه در هر کپسول وارد مدل شدند. در تیمار تنش

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در کنجد در شرایط مختلف رطوبتی و استفاده از میکوریزا در دو سال

Table 1. Variance analysis of studied traits under different moisture conditions and mycorrhiza utilization in two years

Source of variation	df	Mean square													
		Seed yield	Oil percentage	Number of seeds per square meter	Protein percentage	Number of capsules per plant	Number of seeds per capsule	Biological yield	Protein yield	1000-seed weight	Root colonization	Stem diameter	Plant height	Number of branches	Oil yield
Year (Y)	1	51871.92 **	48.48 **	343492.92 **	54.02 **	263.65 **	8.36 **	323842.42 **	2622.90 **	0.69 **	1.86 **	1.96 **	3325.22 **	11.51 **	10452.14 **
Block/year	4	603.52	0.45	22479.92	1.80	14.38	2.93	173643.75	41.65	0.14	0.144	0.43	232.49	3.72	99.29
Irrigation (I)	2	85338.44 **	200.24 **	533534.39 **	56.38 **	175.01 **	130.76 **	650440.97 **	4612.75 **	4.84 **	1.72 **	2.91 **	16781.45 **	15.72 **	17316.52 **
Year × irrigation	2	2306.90 **	8.95 **	43.34 ns	2.94 **	3.69 **	0.40 ns	17021.030 ns	118.99 **	0.05 ns	0.00081 **	0.046 **	518.75 **	0.43 ns	592.99 **
Mycorrhizal (M)	2	29405.81 **	81.57 **	296568.16 **	72.24 **	113.52 **	59.94 **	314531.36 **	2023.84 **	4.06 **	4.84 **	1.46 **	8930.01 **	16.54 **	5801.41 **
Y × M	2	3258.31 **	0.00 **	864.39 ns	0.0027 ns	2.99 ns	0.02 ns	11559.30 ns	194.59 **	0.00 ns	0.0374 **	0.0022 ns	418.67 **	0.65 **	648.25 **
I × M	4	905.40 **	0.91 *	1572.82 ns	7.55 **	0.106 ns	0.28 ns	3608.13 ns	76.32 **	0.02 ns	0.0148 **	0.0009 ns	8.43 ns	0.09 ns	224.57 **
Y × I × M	4	60.33 ns	0.00 ns	190.61 ns	0.0028 ns	0.14 ns	0.00046 ns	377.94 ns	4.52 ns	0.00 ns	0.0028 **	0.0023 ns	18.23 ns	0.12 ns	16.99 ns
Error a	32	16.99	0.19	1852.73	1.41	1.13	0.48	2630.11	2.003	0.01	0.00265	0.015	79.50	0.19	3.13
Cultivar (C)	7	96179.62 **	0.50 ns	283481.22 **	0.84 **	151.91 **	22.24 **	814383.93 **	5555.85 **	3.72 **	0.418 **	0.87 **	4705.68 **	5.78 **	17727.43 **
Y × C	7	5010.10 **	0.00 ns	10742.09 **	0.0028 ns	8.71 **	0.0091 ns	56704.68 **	263.38 **	0.00 ns	0.0010 ns	0.092 **	468.44 **	0.50 **	986.19 **
M × C	14	761.41 **	0.54 ns	1198.48 ns	0.69 **	0.104 ns	0.095 ns	4236.62 ns	54.11 **	0.01 ns	0.041 **	0.0037 ns	11.25 ns	0.14 ns	161.91 **
Y × M × C	14	275.07 **	0.00 ns	207.90 ns	0.0029 ns	0.15 ns	0.00022 ns	1662.29 ns	16.86 **	0.00 ns	0.00030 ns	0.0018 ns	13.92 ns	0.12 ns	53.54 **
I × C	14	6497.26 **	0.97 **	4351.50 **	1.47 **	1.29 *	0.35 **	28319.46 **	370.56 **	0.03 **	0.00399 **	0.039 **	58.27 **	0.21 ns	1323.39 **
Y × I × C	14	419.76 **	0.00 ns	13050.03 ns	0.0029 ns	0.94 ns	0.00020 ns	2976.23 ns	23.06 **	0.00 ns	0.00021 ns	0.015 ns	23.21 ns	0.15 ns	82.06 **
I × M × C	28	82.62 **	0.43 ns	91.70 ns	0.479 **	0.07 ns	0.038 ns	181.31 ns	5.72 **	0.0072 ns	0.00102 **	0.0031 ns	8.088 ns	0.07 ns	18.11 **
Y × I × M × C	28	70.79 ns	0.00 ns	68.93 ns	0.0029 ns	0.06 ns	0.000044 ns	219.03 ns	4.39 ns	0.00 ns	0.000035 ns	0.0023 ns	5.37 ns	0.08 ns	13.25 ns
Error b	252	41.004	0.35	953.41	0.26	0.70	0.10	4744.85	2.58	0.01	0.000473	0.0096	30.94	0.13	7.45
CV. (%)	-	11.71	1.41	14.79	2.16	13.31	4.53	35.26	12.29	6.50	3.83	16.32	10.60	21.18	11.63

ns, * و ** به ترتیب نشان دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

**, * and ns show significant at 1% and 5% of probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۲- تجزیه رگرسیونی عملکرد روغن به عنوان متغیر وابسته و دیگر صفات به عنوان متغیر مستقل در ارقام کنجد در شرایط مختلف رطوبتی و استفاده از میکوریزا در دو سال

Table 2. Stepwise regression of oil yield as the response and other traits as predictors in sesame cultivars under different moisture conditions and mycorrhiza utilization in two years

Condition	Step Number	Regression equation	Durbin- Watson
I ₁ M ₁	Step 3	Y=-20.73 +0.435 (SY) + 0.484 (OP) + 0.000459 (SS)	1.61
I ₁ M ₂	Step 4	Y= -46.108 +0.448 (SY) + 0.798 (OP) - 0.00000657 (SS) + 0.455 (PP)	1.57
I ₁ M ₃	Step 5	Y= -38.613 +0.447 (SY) + 0.779 (OP) - 0.00003353 (SS) + 0.041 (CP) + 1.851 (TSW)	1.995
I ₂ M ₁	Step 3	Y= -16.89 +0.417 (SY) + 0.407 (OP) - 0.000002366 (SS)	2.16
I ₂ M ₂	Step 5	Y= -20.67 +0.39 (SY) + 0.516 (OP) - 0.666 (TSW) + 0.174 (PY) - 0.001 (BY)	2.05
I ₂ M ₃	Step 5	Y= -20.21 +0.389 (SY) + 0.497 (OP) + 0.002 (BY) - 0.709 (TSW) + 0.154 (PY)	2.15
I ₃ M ₁	Step 2	Y= -11.11 + 0.405 (SY) + 0.274 (OP)	1.85
I ₃ M ₂	Step 2	Y= -13.96 + 0.416 (SY) + 0.335 (OP)	2.36
I ₃ M ₃	Step 2	Y= -15.59 + 0.423 (SY) + 0.369 (OP)	2.19

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب تیمارهای آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید خشکی

M₁, M₂ و M₃: به ترتیب تیمارهای بدون میکوریزا، میکوریزا *G. mossae* و میکوریزا *G. intraradices*

SY, OP, SS, CP, PP, SC, BY و TSW: به ترتیب عملکرد دانه، درصد روغن، تعداد دانه در مترمربع، درصد پروتئین، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک و وزن ۱۰۰۰ دانه

I₁, I₂ and I₃: Optimum irrigation, moderate drought stress and severe drought stress, respectively

M₁, M₂ and M₃: Non mycorrhizal, *G. mossae* and *G. intraradices*, respectively

SY, OP, SS, PP, CP, SC, BY and TSW: Seed yield, oil percentage, seeds per square meters, protein percentage, capsules per plant, seeds per capsule, biological yield and 1000-seed weight, respectively.

گرفتند. در تیمار تنش خشکی شدید و تلقیح با *G. mossae*، صفات عملکرد دانه، درصد پروتئین و عملکرد بیولوژیک وارد مدل رگرسیونی شدند. در تیمار تنش خشکی شدید و تلقیح با *G. intraradices*، صفات عملکرد دانه، درصد پروتئین، ارتفاع بوته و درصد کلونیزاسیون ریشه بر عملکرد پروتئین موثر بودند و در معادله رگرسیونی قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج این پژوهش با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (Bagheri *et al.*, 2001).

تجزیه علیت برای عملکرد روغن

در تیمار آبیاری مطلوب و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا، صفت عملکرد دانه، بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد روغن، به داشت و بیشترین اثر غیر مستقیم بر عملکرد روغن، به تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه تعلق داشت (جدول ۴)؛ بنابراین جهت تاثیر مثبت تعداد دانه در مترمربع روی عملکرد روغن، باید عملکرد دانه را هم در نظر گرفت. در شکل ۱، نمودار تجزیه علیت تحت شرایط مختلف آزمایش برای عملکرد روغن ارائه شده است.

در تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با میکوریزای *G. mossae*، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد روغن، از عملکرد دانه به دست آمد؛ بنابراین جهت افزایش عملکرد روغن در شرایط آبیاری مطلوب (زمانی که قارچ

برای عملکرد پروتئین در تیمار آبیاری مطلوب و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا، عملکرد دانه اولین صفتی بود که در مدل وارد شد. درصد پروتئین و تعداد دانه در کپسول صفات بعدی بودند که در مدل قرار گرفتند. در تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با میکوریزای *G. mossae*، عملکرد بیولوژیک هم در گام سوم در مدل قرار گرفت. در تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با *G. intraradices*، عملکرد دانه در گام اول تاثیر گذار بود و در گام دوم، صفت درصد پروتئین وارد مدل شد. در تیمار تنش خشکی ملایم و بدون تلقیح با میکوریزا، صفات عملکرد دانه، درصد پروتئین، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در مترمربع، تعداد کپسول در هر بوته، عملکرد روغن و تعداد شاخه فرعی در گام‌های مختلف وارد مدل شدند. در تیمار تنش خشکی ملایم و تلقیح با میکوریزای *G. mossae*، صفات وارد شده از گام اول تا گام پنجم، به ترتیب عملکرد دانه، درصد پروتئین، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در مترمربع و تعداد شاخه فرعی بودند. در تیمار تنش خشکی ملایم و تلقیح با *G. intraradices*، صفات عملکرد دانه، درصد پروتئین و ارتفاع بوته در معادله رگرسیونی قرار گرفتند. در تیمار تنش خشکی شدید و بدون تلقیح با میکوریزا، صفات عملکرد دانه، درصد پروتئین، تعداد کپسول در هر بوته، عملکرد روغن و درصد کلونیزاسیون ریشه در معادله قرار

مستقیم را روی عملکرد روغن داشتند. حداکثر اثر غیر مستقیم روی عملکرد روغن، به تعداد دانه در مترمربع با عملکرد دانه تعلق داشت (جدول ۴)؛ بنابراین جهت تاثیر مثبت تعداد دانه در مترمربع روی عملکرد روغن، باید عملکرد دانه را هم در نظر داشت.

در شرایط تنش خشکی ملایم و تلقیح با قارچ *G. mossae*، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد روغن، به صفات عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد پروتئین مربوط بود. بنابراین با افزایش عملکردهای بیولوژیک، دانه و پروتئین، عملکرد روغن افزایش خواهد یافت. حداکثر اثر غیر مستقیم روی عملکرد روغن، از طریق عملکردهای پروتئین و دانه با عملکرد بیولوژیک مشاهده شد (جدول ۴)؛ از این رو جهت تاثیر مثبت عملکرد بیولوژیک روی عملکرد روغن، باید عملکرد دانه و عملکرد پروتئین را هم در نظر گرفت. تحت شرایط تنش خشکی ملایم، تلقیح با قارچ *G. intraradices*، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد روغن، به عملکردهای بیولوژیک و پروتئین مربوط بود.

G. mossae به خاک اضافه شده باشد) باید عملکرد دانه را افزایش داد. حداکثر اثرات غیر مستقیم روی عملکرد روغن از صفات تعداد دانه در مترمربع با عملکرد دانه حاصل شد. در تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با *G. intraradices*، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد روغن به صفت عملکرد دانه مربوط بود؛ بنابراین با افزایش عملکرد دانه، عملکرد روغن افزایش خواهد یافت. بیشترین اثر مستقیم منفی روی عملکرد روغن از صفت تعداد کپسول در بوته حاصل شد و حداکثر اثر غیر مستقیم روی عملکرد روغن، از طریق تعداد دانه در مترمربع با عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده از تجزیه علیت در شرایط عدم تنش خشکی روی سویا توسط سایر محققان نیز این موضوع را تایید می‌کند (Ghodrati, 2012). بررسی‌های دیگر محققان نیز نشان داد که عملکرد روغن به‌وسیله اثر مستقیم و مثبت تعداد کاپیتول، قطر کاپیتول اصلی و درصد روغن، مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد روغن می‌باشند (Qavami et al., 2012).

در شرایط تنش خشکی ملایم و بدون تلقیح میکوریزا، عملکرد دانه و تعداد دانه در مترمربع، بیشترین اثر

جدول ۳- تجزیه رگرسیونی عملکرد پروتئین به عنوان متغیر تابع و دیگر صفات به عنوان متغیر مستقل در ارقام کنجد در شرایط مختلف رطوبتی و استفاده از میکوریزا در دو سال

Table 3. Stepwise regression of Protein yield as the response and other traits as predictors in sesame cultivars under different moisture conditions and mycorrhiza utilization in two years

Condition	Step Number	Regression equation	Durbin-Watson
I ₁ M ₁	Step 3	Y=-20.11 +0.226 (SY) + 1.03 (PP) - 0.383 (SC)	2.15
I ₁ M ₂	Step 3	Y= -28.74 +0.249 (SY) + 1.17 (PP) - 0.002 (BY)	1.71
I ₁ M ₃	Step 2	Y= -17.60 + 0.236 (SY) + 0.748 (PP)	2.70
I ₂ M ₁	Step 7	Y= -4.96 +0.32 (SY) + 0.216 (PP) + 0.004 (BY) + 0.000023 (SS) - 0.019 (CP) - 0.254 (OY) - 0.040 (NB)	2.36
I ₂ M ₂	Step 5	Y= -14.46 +0.246 (SY) + 0.6 (PP) - 0.002 (BY) + 0.000003663 (SS) - 0.059 (NB)	2.12
I ₂ M ₃	Step 3	Y= -10.42 +0.234 (SY) + 0.413 (PP) + 0.013 (PH)	1.83
I ₃ M ₁	Step 5	Y= -3.01 + 0.323 (SY) + 0.126 (PP) + 0.006 (CP) - 0.216 (OY) - 0.009 (RC)	1.59
I ₃ M ₂	Step 3	Y= -8.91 + 0.236 (SY) + 0.353 (PP) + 0.003 (BY)	1.51
I ₃ M ₃	Step 4	Y= -6.96 + 0.246 (SY) + 0.270 (PP) + 0.011 (PH) - 0.006 (RC)	1.54

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب تیمارهای آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید خشکی

M₁, M₂ و M₃: به ترتیب تیمارهای بدون میکوریزا، میکوریزا *G. mossae* و میکوریزا *G. intraradices*

SY, PP, SS, CP, SC, BY, OY, NB, RC و PH: به ترتیب عملکرد دانه، درصد پروتئین، تعداد دانه در مترمربع، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن، تعداد شاخه فرعی، کلونیزاسیون ریشه و ارتفاع بوته

I₁, I₂ and I₃: Optimum irrigation, moderate drought stress and severe drought stress, respectively

M₁, M₂ and M₃: Non mycorrhizal, *G. mossae* and *G. intraradices*, respectively

SY, PP, SS, CP, SC, BY, OY, NB, RC and PH: Seed yield, protein percentage, seeds per square meters, capsules per plant, seeds per capsule, biological yield, oil yield, number of branches, root colonization and plant height, respectively.

جدول ۴- تجزیه علیت عملکرد روغن در ارقام تجاری کنجد در شرایط مختلف رطوبتی و استفاده از میکوریزا در دو سال
Table 4. Path analysis of oil yield in commercial sesame cultivars under different moisture conditions and mycorrhiza utilization in two years

Condition	Traits	SY	OP	SS	PP	CP	SC	TSW	PY	BY	Sum of effects
I1M1	SY	<u>0.743</u>	-0.003	0.248	-	-	-	-	-	-	0.99
	OP	0.453	<u>0.004</u>	0.17	-	-	-	-	-	-	0.62
	SS	0.728	-0.003	<u>0.253</u>	-	-	-	-	-	-	0.98
	Residual	0.132									
I1M2	SY	<u>0.727</u>	0.009	0.254	-0.003	-	-	-	-	-	0.99
	OP	0.473	<u>0.014</u>	0.174	-0.002	-	-	-	-	-	0.66
	SS	0.713	0.009	<u>0.26</u>	-0.003	-	-	-	-	-	0.98
	PP	0.094	0.001	0.049	<u>-0.016</u>	-	-	-	-	-	0.129
Residual	0.13										
I1M3	SY	<u>0.857</u>	0.004	0.134	-	-0.051	-	0.043	-	-	0.99
	OP	-0.652	<u>-0.007</u>	-0.103	-	0.038	-	-0.039	-	-	-0.76
	SS	0.823	0.004	<u>0.14</u>	-	-0.053	-	0.044	-	-	0.959
	CP	0.814	0.004	0.138	-	<u>-0.053</u>	-	0.044	-	-	0.949
	TSW	0.729	0.004	0.121	-	-0.047	-	<u>0.05</u>	-	-	0.86
Residual	0.134										
I2M1	SY	<u>0.652</u>	0.008	0.328	-	-	-	-	-	-	0.99
	OP	-0.105	<u>-0.056</u>	0.01	-	-	-	-	-	-	-0.151
	SS	0.632	-0.002	<u>0.339</u>	-	-	-	-	-	-	0.97
Residual	0.13										
I2M2	SY	<u>0.267</u>	0.008	-	-	-	-	0.012	0.265	0.435	0.99
	OP	0.066	<u>0.034</u>	-	-	-	-	0.003	0.066	0.088	0.259
	TSW	0.251	0.009	-	-	-	-	<u>0.013</u>	0.251	0.413	0.939
	PY	0.265	0.008	-	-	-	-	0.012	<u>0.267</u>	0.435	0.99
	BY	0.265	0.006	-	-	-	-	0.012	0.265	<u>0.44</u>	0.99
Residual	0.111										
I2M3	SY	<u>0.32</u>	0	-	-	-	-	0.027	0.314	0.326	0.99
	OP	-0.049	<u>-0.003</u>	-	-	-	-	-0.003	-0.051	-0.037	-0.141
	TSW	0.301	0	-	-	-	-	<u>0.029</u>	0.298	0.31	0.939
	PY	0.317	0	-	-	-	-	0.027	<u>0.317</u>	0.326	0.99
	BY	0.317	0	-	-	-	-	0.027	0.314	<u>0.329</u>	0.99
Residual	0.115										
I3M1	SY	<u>0.991</u>	-0.002	-	-	-	-	-	-	-	0.99
	OP	-0.129	<u>0.008</u>	-	-	-	-	-	-	-	-0.12
Residual	0.14										
I3M2	SY	<u>0.982</u>	0.007	-	-	-	-	-	-	-	0.99
	OP	-0.649	<u>-0.012</u>	-	-	-	-	-	-	-	-0.661
Residual	0.14										
I3M3	SY	<u>0.991</u>	-0.002	-	-	-	-	-	-	-	0.99
	OP	-0.06	<u>0.019</u>	-	-	-	-	-	-	-	-0.04
Residual	0.139										

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب تیمارهای آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید خشکی

M₁, M₂ و M₃: به ترتیب تیمارهای بدون میکوریزا، میکوریزا *G. mossae* و میکوریزا *G. intraradices*

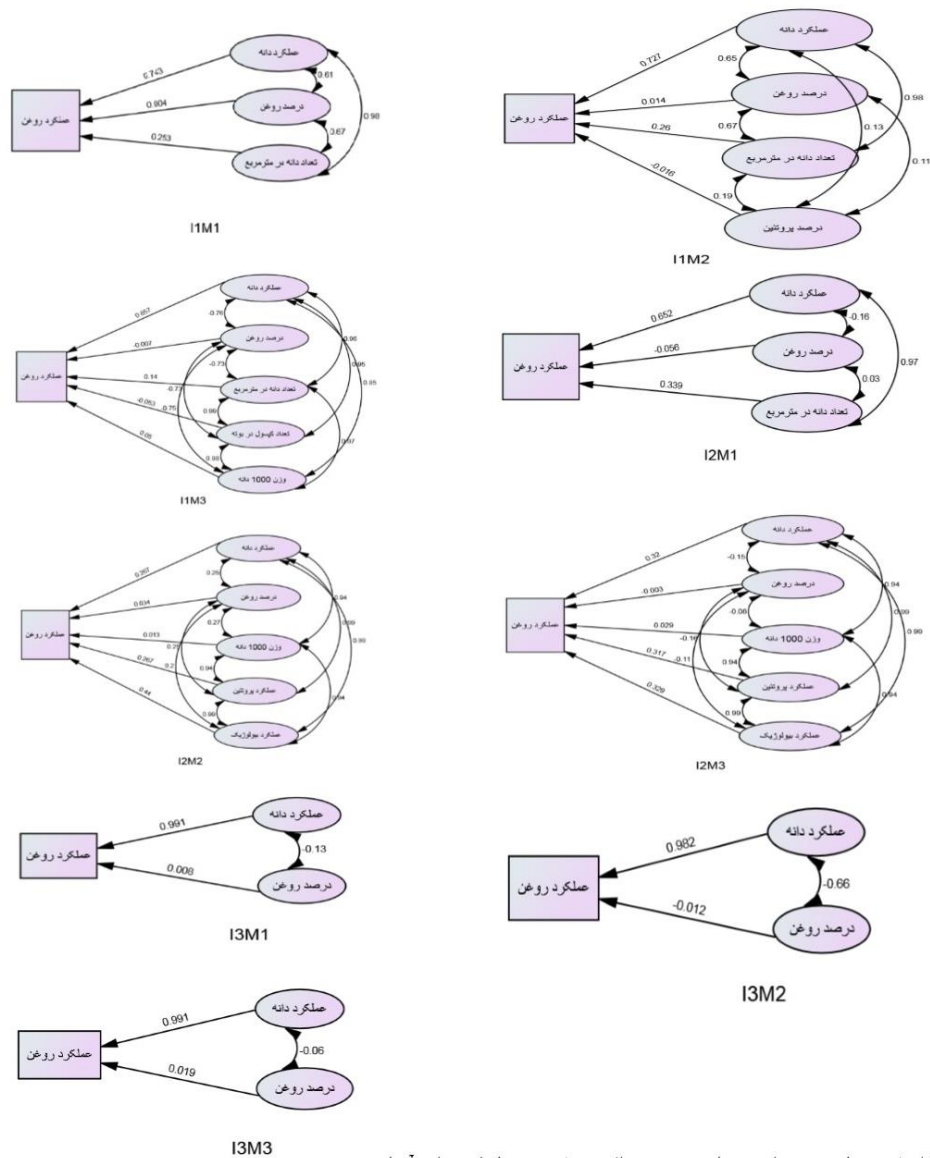
SY, OP, SS, PP, CP, SC, BY, PY و TSW: به ترتیب عملکرد دانه، درصد روغن، تعداد دانه در مترمربع، درصد پروتئین، تعداد کپسول در

بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک، عملکرد پروتئین و وزن ۱۰۰۰ دانه

I₁, I₂ and I₃: Optimum irrigation, moderate drought stress and severe drought stress, respectively

M₁, M₂ and M₃: Non mycorrhizal, *G. mossae* and *G. intraradices*, respectively

SY, OP, SS, PP, CP, SC, BY, PY and TSW: Seed yield, oil percentage, seeds per square meters, protein percentage, capsules per plant, seeds per capsule, biological yield, protein yield and 1000-seed weight, respectively.



شکل ۱- نمودار تجزیه علیت صفات موثر بر عملکرد روغن در شرایط مختلف آزمایش شرایط آبیاری مطلوب (I1)، تنش ملایم خشکی (I2)، تنش شدید خشکی (I3)، بدون تلقیح (M1)، تلقیح با قارچ گلواموس موسه I (M2) و تلقیح با قارچ گلواموس اینترادیکس (M3). اعداد مربوط به فلش‌های یک طرفه و دو طرفه به ترتیب اثرات مستقیم و ضرایب همبستگی را نشان می‌دهند. اثرات غیر مستقیم در جدول ۴ ارائه شده است.

Figure 1- The diagram of path analysis of effective traits on oil yield under different experiment conditions Optimum irrigation (I1), moderate drought stress (I2), severe drought stress (I3), non-inoculation (M1), inoculation with *Glomus mosseae* (M2) and inoculation with *Glomus intraradices* (M3). The numbers for one-way and two-way arrows indicate direct effects and correlation coefficients respectively. Indirect effects are presented in Table 4.

مستقیم روی عملکرد روغن، از صفت درصد روغن با عملکرد دانه حاصل شد (جدول ۴)؛ بنابراین عملکرد دانه می‌تواند معیار گزینش مناسبی برای افزایش عملکرد روغن در کنجد باشد به طوری که انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا، افزایش عملکرد روغن را به دنبال خواهد داشت. سایر محققان نیز به نتایج مشابهی دست یافتند (Thiyagu et al., 2007). صفات روز تا ۸۰ درصد رسیدگی، تعداد دانه در هر کپسول و

حداکثر اثر غیر مستقیم روی عملکرد روغن، از طریق عملکرد پروتئین با عملکرد بیولوژیک مشاهده شد (جدول ۴)؛ از این روجت تاثیر مثبت عملکرد پروتئین روی عملکرد روغن، باید عملکرد بیولوژیک را هم در نظر گرفت. در هر سه شرایط عدم تلقیح و تلقیح با قارچ‌های میکوریزا تحت شرایط تنش خشکی شدید، صفت عملکرد دانه، بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد روغن داشت. همچنین در این شرایط، حداکثر اثر منفی غیر

مهم‌ترین عوامل در جهت افزایش عملکرد روغن دانسته- اند (Chauhary *et al.*, 1981).

تجزیه علیت عملکرد پروتئین

بر اساس جدول ۵، در تیمار آبیاری مطلوب و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا، صفات عملکرد دانه (۰/۶۶۶) و درصد پروتئین (۰/۳۳۳)، بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد پروتئینداشته‌اند؛ بنابراین با افزایش عملکرد دانه و درصد پروتئین، عملکرد پروتئین خواهد یافت. شکل ۲، نمودار تجزیه علیت تحت شرایط مختلف آزمایش برای عملکرد پروتئین ارائه شده است.

حداکثر اثر غیر مستقیم روی عملکرد پروتئین از طریق درصد پروتئین با عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۵)؛ بنابراین جهت تاثیر مثبت عملکرد دانه روی عملکرد پروتئین، باید درصد پروتئین را هم در نظر گرفت. در تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با قارچ میکوریزای *G. mossae*، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد پروتئین از صفت عملکرد دانه (۰/۸۳۳) به دست آمد؛ از این رو و جهت افزایش عملکرد پروتئین در شرایط آبیاری مطلوب (زمانی که قارچ *G. mossae* به خاک اضافه شده باشد)، باید عملکرد دانه را افزایش داد. حداکثر اثرات غیر مستقیم روی عملکرد پروتئین، از صفات عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه حاصل شد. در تیمار آبیاری مطلوب و تلقیح با *G. intraradices*، صفت عملکرد دانه (۰/۹۷۹)، بیشترین اثر مستقیم را روی عملکرد پروتئینداشته؛ بنابراین با افزایش عملکرد دانه، عملکرد پروتئین افزایش خواهد یافت. حداکثر اثر غیر مستقیم روی عملکرد پروتئین، از طریق درصد پروتئین با عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۵).

در شرایط تنش خشکی ملایم و بدون تلقیح میکوریزا، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد پروتئین به صفات عملکرد روغن (۰/۳۷۹) و عملکرد بیولوژیک (۰/۳۶۲) مربوط بود. حداکثر اثر غیر مستقیم روی عملکرد پروتئین از طریق عملکرد دانه با عملکرد روغن مشاهده شد (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی ملایم و تلقیح با قارچ *G. mossae*، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد پروتئین به صفات تعداد دانه در مترمربع (۱/۱۶۴) و

تعداد شاخه ثانویه، از شاخص‌های مهم در تعیین عملکرد دانه می‌باشد (Lalpantluangi & Shah, 2018). Basalma (2008) نیز نشان داد که عملکرد دانه و به دنبال آن درصد روغن به ترتیب (۰/۸۸۳ و ۰/۴۵۳) در سال اول و ۰/۷۸۵ و ۰/۳۶۳ در سال دوم، بیشترین اثرات مستقیم را روی عملکرد روغن داشتند که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت. تایج دیگر تحقیقات نیز نشان داد که بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد روغن را عملکرد دانه و به دنبال آن درصد روغن داشتند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Rabiee *et al.*, 2011). مشخص شده است که صفات طول دوره رویشی، وزن ۱۰۰۰ دانه و درصد پروتئین، صفات موثر بر عملکرد روغن می‌باشند (Mirmosavi *et al.*, 2006). در نتایج سایر محققان نیز عملکرد دانه، دارای بیشترین اثر مستقیم مثبت (۰/۹۶) روی عملکرد روغن بود؛ درصد روغن اثر مستقیمی برابر با ۰/۱۰۸ روی عملکرد روغن داشت و این نشان داد که ۹۹/۹ درصد از تغییرات عملکرد روغن، از طریق دو صفت عملکرد دانه و درصد روغن در ارقام سویا قابل توجیه است (Ghorbanzadeh, 2015) که این نتایج با یافته‌های ما در این تحقیق مطابقت داشت. نتایج تجزیه علیت و رگرسیون گام به گام سایر محققان نشان داد که میزان پروتئین دانه و تعداد روز از جوانه‌زنی تا شروع گلدهی، دارای اثر مستقیم منفی و وزن ۱۰۰ دانه، دارای اثر مستقیم مثبت روی عملکرد روغن در گیاه سویا بودند (Masoudi *et al.*, 2011). محققان دیگری نیز نشان دادند که صفات تعداد روز روز از جوانه‌زنی تا شروع گلدهی و روز تا رسیدگی، به ترتیب دارای اثرات مثبت مستقیم و منفی روی عملکرد روغن بودند (Zeinali *et al.*, 2002). نتایج تجزیه علیت روی عملکرد روغن در گیاه گلرنگ نشان داد که جهت افزایش عملکرد روغن، ابتدا باید عملکرد دانه را افزایش داد که خود تابعی از زیست‌توده گیاه و تعداد غوزه در بوته است (Omid Tabrizi, 2002). سایر محققان نیز بهترین انتخاب جهت افزایش روغن در گلرنگ را تعداد غوزه بالا و پوست نازک دانه اعلام نمود (Paramswarapa, 1984). دیگر محققان نیز صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ و سطح برگ را

جدول ۵- تجزیه علیت عملکرد پروتئین در ارقام تجاری کنجد در شرایط مختلف رطوبتی و استفاده از میکوریزا در دو سال
Table 5. Path analysis of protein yield in commercial sesame cultivars under different moisture conditions and mycorrhiza utilization in two years

Condition	Traits	SY	PP	SC	BY	SS	CP	OY	NB	PH	RC	Sum of effects
I1M1	SY	<u>0.666</u>	0.323	0	-	-	-	-	-	-	-	0.99
	PP	0.646	<u>0.333</u>	0	-	-	-	-	-	-	-	0.98
	SC	0.593	0.296	<u>0</u>	-	-	-	-	-	-	-	0.889
	Residual	0.115										
I1M2	SY	<u>0.833</u>	0.004	-	0.151	-	-	-	-	-	-	0.99
	PP	0.108	<u>0.035</u>	-	0.006	-	-	-	-	-	-	0.15
	BY	0.825	0.001	-	<u>0.153</u>	-	-	-	-	-	-	0.98
	Residual	0.138										
I1M3	SY	<u>0.979</u>	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	0.99
	PP	0.705	<u>0.014</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.72
	Residual	0.14										
I2M1	SY	<u>0.239</u>	-0.01	-	0.359	0.118	0.032	0.375	-0.126	-	-	0.99
	PP	0.064	<u>-0.035</u>	-	0.097	0.035	0.009	0.102	-0.006	-	-	0.27
	BY	0.237	-0.01	-	<u>0.362</u>	0.119	0.032	0.375	-0.129	-	-	0.99
	SS	0.232	-0.011	-	0.355	<u>0.121</u>	0.033	0.367	-0.131	-	-	0.97
	CP	0.227	-0.011	-	0.348	0.119	<u>0.033</u>	0.36	-0.13	-	-	0.949
	OY	0.237	-0.01	-	0.359	0.118	0.032	<u>0.379</u>	-0.127	-	-	0.99
	NB	0.215	-0.002	-	0.333	0.114	0.031	0.345	<u>-0.14</u>	-	-	0.899
	Residual	0.111										
I2M2	SY	<u>-0.698</u>	0.001	-	0.94	1.153	-	-	-0.408	-	-	0.99
	PP	-0.028	<u>0.027</u>	-	0.019	0.023	-	-	0.008	-	-	0.05
	BY	-0.691	0	-	<u>0.95</u>	1.141	-	-	-0.412	-	-	0.99
	SS	-0.691	0	-	0.931	<u>1.164</u>	-	-	-0.417	-	-	0.99
	NB	-0.663	-0.001	-	0.912	1.129	-	-	<u>-0.429</u>	-	-	0.949
	Residual	0.052										
I2M3	SY	<u>0.876</u>	-0.001	-	-	-	-	-	-	0.114	-	0.99
	PP	-0.447	<u>0.001</u>	-	-	-	-	-	-	-0.055	-	-0.501
	PH	0.806	-0.001	-	-	-	-	-	-	<u>0.124</u>	-	0.93
	Residual	0.132										
I3M1	SY	<u>0.426</u>	0.01	-	-	-	0.067	0.422	-	-	0.063	0.99
	PP	-0.128	<u>-0.035</u>	-	-	-	-0.022	-0.128	-	-	0.011	-0.301
	CP	0.409	0.01	-	-	-	<u>0.07</u>	0.409	-	-	0.06	0.959
	OY	0.422	0.01	-	-	-	0.067	<u>0.426</u>	-	-	0.063	0.99
	RC	0.366	-0.006	-	-	-	0.057	0.366	-	-	<u>0.073</u>	0.86
	Residual	0.119										
I3M2	SY	<u>0.746</u>	0.005	-	0.237	-	-	-	-	-	-	0.99
	PP	-0.635	<u>-0.008</u>	-	-0.209	-	-	-	-	-	-	-0.851
	BY	0.731	0.006	-	<u>0.242</u>	-	-	-	-	-	-	0.98
Residual	0.132											
I3M3	SY	<u>0.442</u>	-0.015	-	-	-	-	-	-	0.207	0.355	0.99
	PP	-0.208	<u>0.031</u>	-	-	-	-	-	-	-0.127	-0.167	-0.47
	PH	0.419	-0.019	-	-	-	-	-	-	<u>0.218</u>	0.33	0.949
	RC	0.433	-0.015	-	-	-	-	-	-	0.198	<u>0.362</u>	0.98
	Residual	0.12										

I₁, I₂, I₃: به ترتیب تیمارهای آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید خشکی

M₁, M₂, M₃: به ترتیب تیمارهای بدون میکوریزا، میکوریزا *G. mossae* و میکوریزا *G. intraradices*

SY, PP, SC, BY, SS, CP, OY, NB, PH, RC: به ترتیب عملکرد دانه، درصد پروتئین، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه

در مترمربع، تعداد کپسول در بوته، عملکرد روغن، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته و کلونیزاسیون ریشه

I₁, I₂ and I₃: Optimum irrigation, moderate drought stress and severe drought stress, respectively

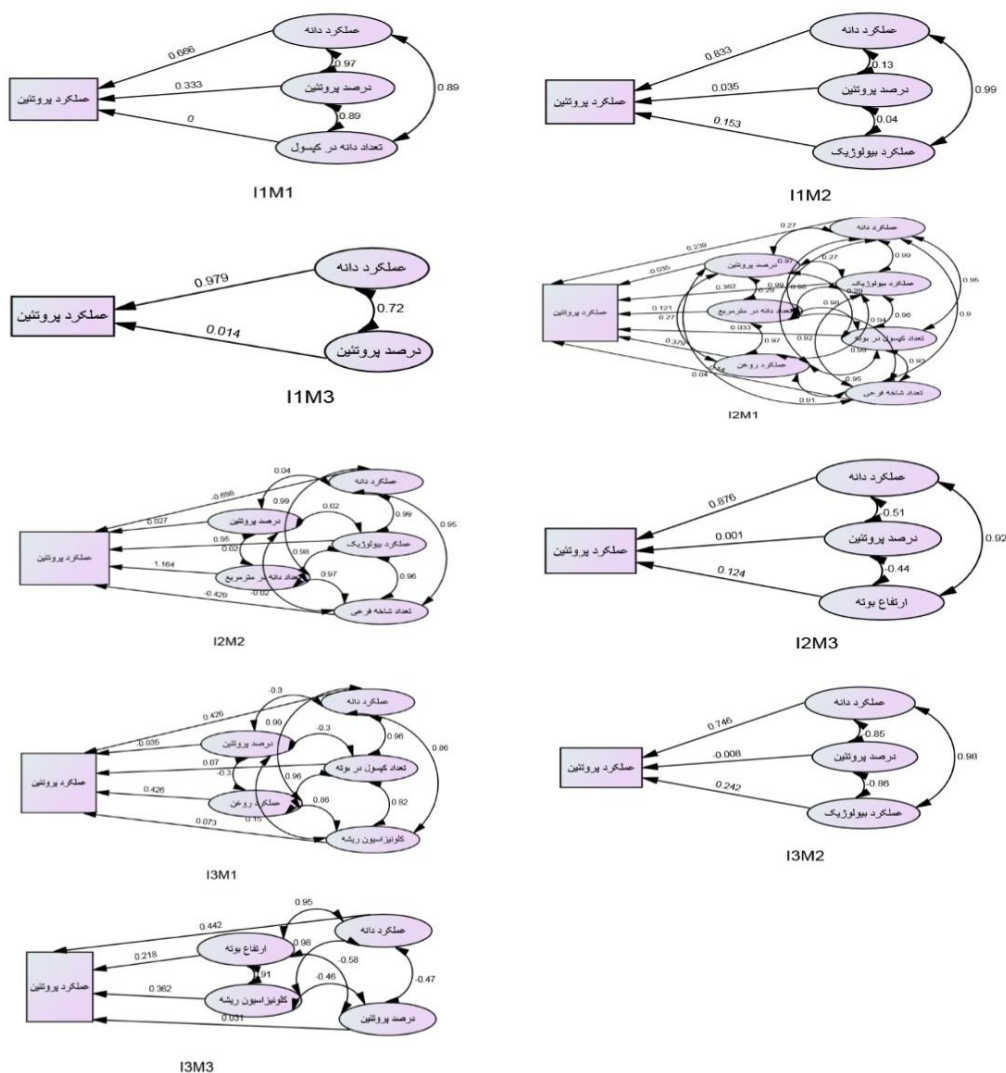
M₁, M₂ and M₃: Non mycorrhizal, *G. mossae* and *G. intraradices*, respectively

SY, PP, SC, BY, SS, CP, OY, NB, PH and RC: Seed yield, protein percentage, seeds per capsule, biological yield, seeds per square meters, capsules per plant, oil yield, number of branches, plant height and root colonization, respectively.

پروتئین، به صفت عملکرد دانه (۰/۸۷۶) مربوط بود و حداکثر اثر غیر مستقیم روی این صفت، از طریق ارتفاع بوته با عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۵)؛ بنابراین جهت تاثیر مثبت ارتفاع بوته روی عملکرد پروتئین، باید عملکرد دانه را هم در نظر گرفت.

عملکرد بیولوژیک (۰/۹۵) مربوط بود. بیشترین اثر مستقیم منفی روی عملکرد پروتئین، از صفت عملکرد دانه (۰/۶۹۸-) حاصل شد و حداکثر اثر غیر مستقیم روی عملکرد پروتئین، از طریق عملکرد دانه با تعداد دانه در مترمربع مشاهده شد (جدول ۵).

تحت شرایط تنش خشکی ملایم و تلقیح با قارچ *G. intraradices*، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد



شکل ۲- نمودار تجزیه علیت صفات موثر بر عملکرد پروتئین در شرایط مختلف آزمایش (I1)، تنش ملایم خشکی (I2)، تنش شدید خشکی (I3)، بدون تلقیح (M1)، تلقیح با قارچ گلووموس موسسه (M2) و تلقیح با قارچ گلووموس اینتررادیسز (M3). اعداد مربوط به فلش‌های یک طرفه و دو طرفه به ترتیب اثرات مستقیم و ضرایب همبستگی را نشان می‌دهند. اثرات غیر مستقیم در جدول ۵ ارائه شده است.

Figure 2- The diagram of path analysis of effective traits on protein yield under different experiment conditions Optimum irrigation (I1), moderate drought stress (I2), severe drought stress (I3), non-inoculation (M1), inoculation with *Glomus mosseae* (M2) and inoculation with *Glomus intraradices* (M3). The numbers for one-way and two-way arrows indicate direct effects and correlation coefficients, respectively. Indirect effects are presented in Table 5.

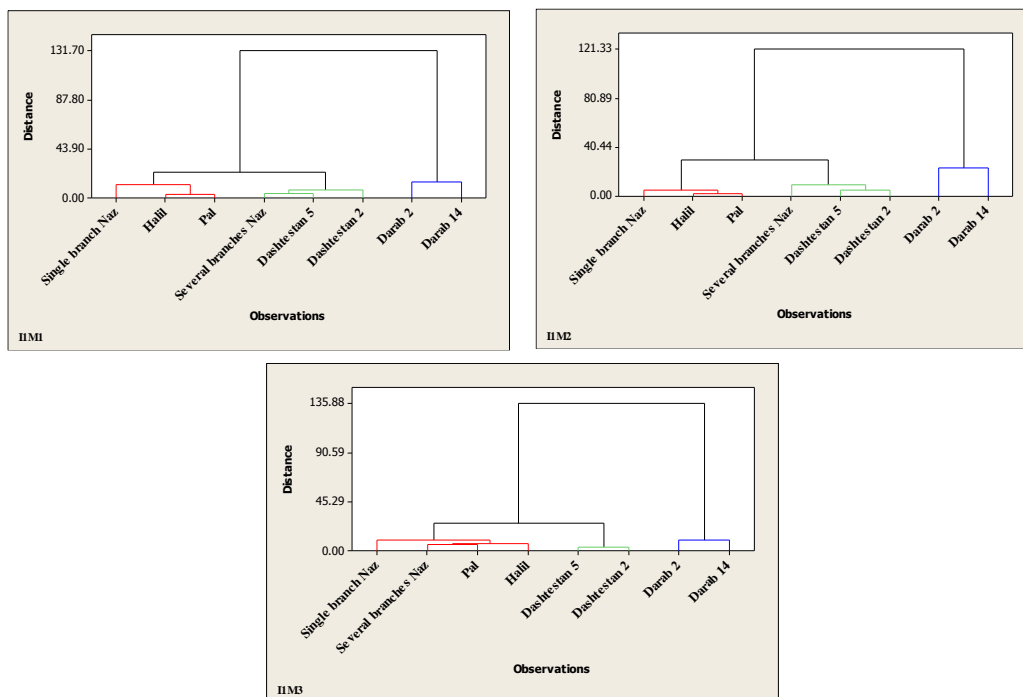
حداکثر اثر غیر مستقیم، از طریق عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۵). تحت شرایط تنش خشکی شدید تلقیح با قارچ *G. intraradices*، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد پروتئین به صفت عملکرد دانه (۰/۴۴۲) مربوط بود و حداکثر اثر غیر مستقیم، از طریق ارتفاع بوته با عملکرد دانه و درصد کلونیزاسیون ریشه با عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۵). سایر محققان نیز نشان دادند بیشترین اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد

در شرایط تنش خشکی شدید و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد پروتئین، به صفات عملکرد روغن (۰/۴۲۶) و عملکرد دانه (۰/۴۲۶) مربوط بود و حداکثر اثر غیر مستقیم روی این صفت، از طریق عملکرد دانه با عملکرد روغن مشاهده شد (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی شدید و تلقیح با قارچ *G. mosseae*، بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد پروتئین به صفت عملکرد دانه (۰/۷۴۶) مربوط بود و

تجزیه خوشه‌ای

در شرایط آبیاری مطلوب و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا و تلقیح با قارچ میکوریزای *G. mossae*، دو رقم تجاری داراب دو و ۱۴ در گروه یک، ارقام دشتستان دو، دشتستان پنج و ناز چند شاخه در گروه دو و سه رقم پال، هلیل و ناز تک شاخه در گروه سه قرار گرفتند. در شرایط آبیاری مطلوب و تلقیح با قارچ میکوریزای *G. intraradices* دو رقم تجاری داراب دو و ۱۴ در گروه یک، ارقام دشتستان دو و پنج در گروه دو و چهار رقم پال، هلیل، ناز تک شاخه و ناز چند شاخه در گروه سه قرار گرفتند (شکل ۳).

دانه مربوط به وزن صد دانه و کمترین آن مربوط تعداد دانه در گیاه بود. محققان دیگر نیز گزارش کردند که تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع گیاه بر عملکرد دانه در سویا اثرگذار است (Iqbal et al., 2003). نتایج تجزیه علیت و رگرسیون گام به گام سایر محققان نشان داد وزن ۱۰۰ دانه، از اثر مستقیم مثبت و میزان روغن دانه و وزن خشک تک بوته، از اثر مستقیم منفی زیادی روی عملکرد پروتئین برخوردار بودند (Masoudi et al., 2011). محققان، ژنوتیپ‌های سویا را از نظر ۲۱ صفت مورد ارزیابی قرار دادند و اعلام کردند عملکرد دانه در بوته، اثر مستقیم مثبت بالایی روی عملکرد پروتئین در گیاه داشت و بعد از عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته، بیشترین تاثیر را داشت (Masoudi et al., 2011).



شکل ۳- نمودار درختی تجزیه خوشه‌ای هشت رقم تجاری کنجد بر اساس روش Ward روی صفات کمی و کیفی در شرایط آبیاری مطلوب، بدون تلقیح (IIM1)، تلقیح با قارچ میکوریزای *G. mossae* (IIM2) و تلقیح با قارچ میکوریزای *G. intraradices* (IIM3)

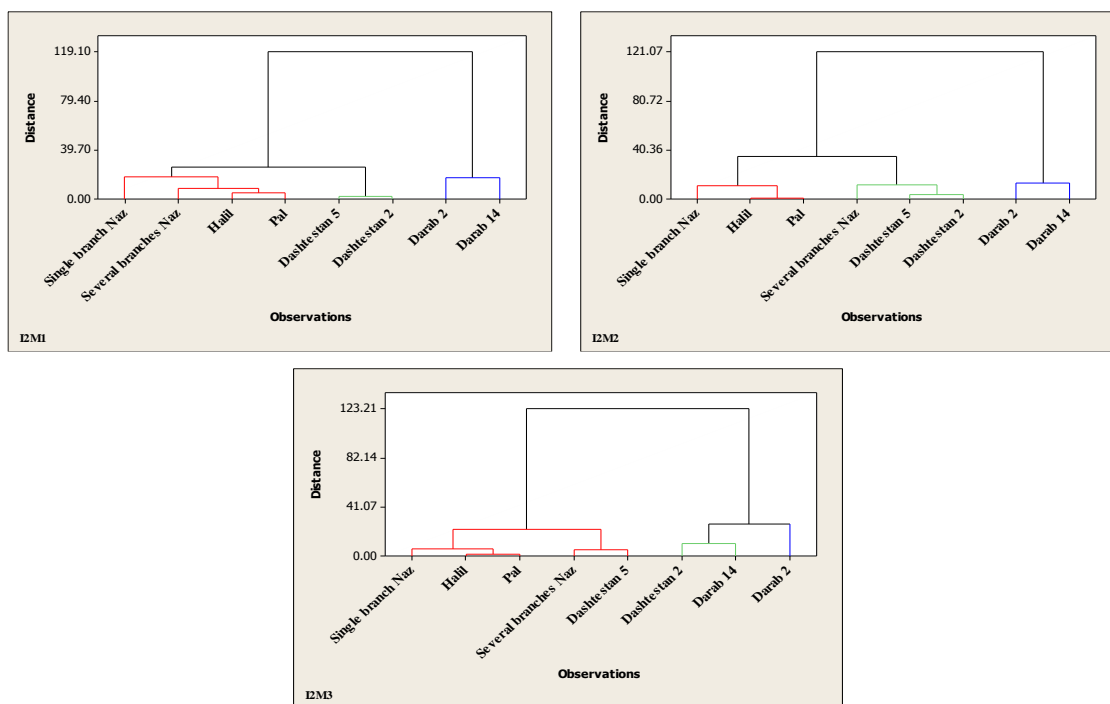
Figure 3. Cluster analysis dendrogram of eight commercial cultivars of sesame based on Ward method on quantitative and qualitative traits under optimum irrigation, non-inoculation (IIM1), *G. mossae* inoculation (IIM2) and *G. intraradices* inoculation (IIM3)

هلیل، ناز تک شاخه و ناز چند شاخه در گروه سه قرار گرفتند. در شرایط تنش خشکی ملایم و تلقیح با قارچ میکوریزای *G. mossae*، دو رقم تجاری داراب دو و ۱۴

در شرایط تنش خشکی ملایم و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا، دو رقم تجاری داراب دو و ۱۴ در گروه یک، دو رقم دشتستان دو و پنج در گروه دو و ارقام پال،

داراب دو در گروه یک، دو رقم داراب ۱۴ و دشتستان دو در گروه دو و ارقام دشتستان پنج، پال، هلیل، ناز تک شاخه و نازچند شاخه در گروه سه قرار گرفتند (شکل ۴).

در گروه یک، سه رقم دشتستان دو و پنج و ناز چند شاخه در گروه دو و ارقام پال، هلیل و ناز تک شاخه در گروه سه قرار گرفتند. در شرایط تنش خشکی ملایم و تلقیح با قارچ میکوریزی *G. intraradices*، رقم تجاری



شکل ۴- نمودار درختی تجزیه خوشه‌ای هشت رقم تجاری کنجد بر اساس روش Ward روی صفات کمی و کیفی در شرایط تنش ملایم خشکی، بدون تلقیح (I2M1)، تلقیح با قارچ میکوریزی *G. mosseae* (I2M2) و تلقیح با قارچ میکوریزی *G. intraradices* (I2M3)

Figure 4. Cluster analysis dendrogram of eight commercial cultivars of sesame based on Ward method on quantitative and qualitative traits under moderate drought stress, non-inoculation (I2M1), *G. mosseae* inoculation (I2M2) and *G. intraradices* inoculation (I2M3)

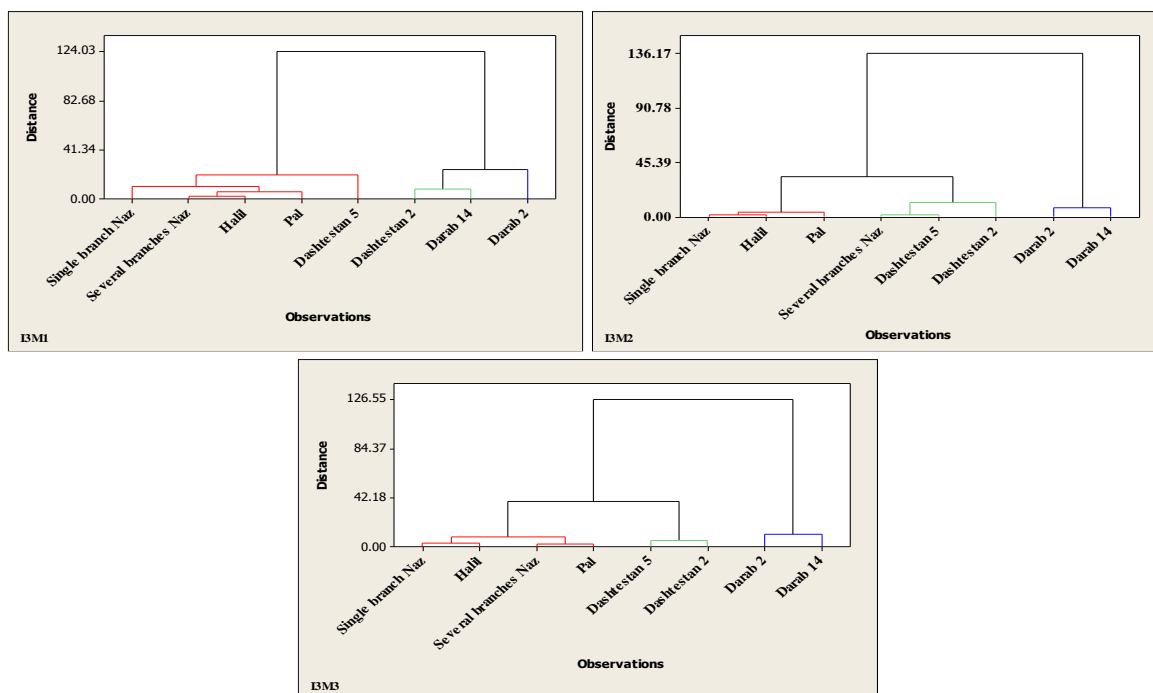
ناز چند شاخه، هلیل و ناز تک شاخه در گروه سه قرار گرفتند (شکل ۵).

بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ارقام تجاری مورد مطالعه کنجد در شرایط مختلف تنش رطوبتی و تلقیح و عدم تلقیح با قارچ‌های میکوریزا، در سه گروه قرار گرفتند. این موضوع نشان می‌دهد تنوع قابل توجهی در بین ارقام تجاری برای تحمل به خشکی وجود دارد. Hassanzadeh *et al* (2009) در بررسی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های کنجد، بر اساس شاخص‌های تحمل و عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش خشکی و شرایط نرمال، ژنوتیپ‌ها را به سه گروه تقسیم کردند. Golestani & Pakniat (2007) نشان دادند که بر اساس

در شرایط تنش خشکی شدید و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا، رقم تجاری داراب دو در گروه یک، دو رقم داراب ۱۴ و دشتستان دو) در گروه دو و پنج رقم دشتستان پنج، پال، هلیل، ناز چند شاخه و تک شاخه در گروه سه قرار گرفتند. در شرایط تنش خشکی شدید و تلقیح با قارچ میکوریزی *G. mosseae*، دو رقم تجاری (داراب دو و ۱۴ در گروه یک، سه رقم دشتستان دو و پنج و ناز چند شاخه در گروه دو و سه رقم پال، هلیل و ناز تک شاخه در گروه سه قرار گرفتند. در شرایط تنش خشکی شدید و تلقیح با قارچ میکوریزی *G. intraradices*، دو رقم تجاری (داراب ۱۴ و دو در گروه یک، دو رقم دشتستان دو و پنج در گروه دو و ارقام پال،

از نظر تحمل به خشکی در حد متوسط قرار داشتند. Ahmadpour *et al* (2017) نشان دادند که در شرایط بدون تنش، رگه‌های آفتابگردان در شش گروه قرار گرفتند اما در شرایط تنش شوری، در پنج گروه قرار گرفتند.

تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها به سه گروه تقسیم شدند؛ در این پژوهش، توده محلی دزفول و رقم محلی دزفول، به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و ژنوتیپ‌های TN238، TN239 و TN240 به عنوان لاین‌های حساس به خشکی شناخته شدند. همچنین لاین یک از نتاج توده محلی داراب و لاین دو از نتاج توده محلی داراب،



شکل ۵- نمودار درختی تجزیه خوشه‌ای هشت رقم تجاری کنجد بر اساس روش Ward روی صفات کمی و کیفی در شرایط تنش شدید خشکی، بدون تلقیح (I3M1)، تلقیح با قارچ *G. mosseae* (I3M2) و تلقیح با قارچ *G. intraradices* (I3M3).
Figure 5. Cluster analysis dendrogram of eight commercial cultivars of sesame based on Ward method on quantitative and qualitative traits under severe drought stress, non-inoculation (I3M1), *G. mosseae* inoculation (I3M2) and *G. intraradices* inoculation (I3M3).

روغن دانه، باعث افزایش عملکرد روغن در هکتار خواهد شد. از طریق انتخاب ارقام با عملکرد دانه بالا می‌توان به ارقامی که عملکرد روغن و پروتئین بیشتری دارند دست یافت.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح ملی به شماره 93014474 تاریخ تصویب ۹۳/۱۱/۲۱ که بخشی از بودجه آن توسط صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور وابسته به معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری تامین اعتبار شده بود بدین وسیله از حمایت‌های مادی و معنوی ایشان تشکر و قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت صفات، می‌توان به این نتیجه رسید که در شرایط مختلف رطوبتی و تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا، صفات عملکرد دانه و درصد روغن برای عملکرد روغن و صفات عملکرد دانه و درصد پروتئین برای عملکرد پروتئین، وارد معادله رگرسیونی شدند و بیشترین اثر مستقیم برای عملکرد روغن و پروتئین را به ترتیب درصد روغن و درصد پروتئین داشتند. بنابراین جهت افزایش عملکرد روغن و پروتئین ارقام کنجد، می‌توان صفات موثر بر عملکرد دانه را اصلاح نمود و آن‌ها را بهبود بخشید. بنابراین افزایش عملکرد دانه در هکتار و افزایش درصد

REFERENCES

1. Ahmadpour, S., Sofalian, O. & Darvishzadeh, R. (2017). Genetic diversity of oily sunflower lines under normal and salt stress conditions using multivariate statistical analysis methods. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(2), 399-411. (In Persian).
2. Amini, F., Saeidi, G. & Arzani, A. (2008). Relationship among seed yield and its components in genotypes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*, 12, 525-535. (In Persian).
3. Arslan, B. (2007). Assessing of heritability and variance components of yield and some agronomic traits of different safflower cultivars. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(3), 554-557.
4. Association Official Analytical Chemists. (1990). Official method of analysis. Washington, DC, USA.
5. Azeez, M. A. & Morakinyo, J. A. (2011). Path Analysis of the relationships between Single plant seed yield and some morphological traits in sesame (*Genera Sesamum and Ceratotherca*). *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, 5, 358-368.
6. Bagheri, A., Yazdi-Samadi, B., Taeb, M. & Ahmadi, M. R. (2001). Study of correlations and relations between plant yield and quantitative and qualitative other traits in safflower. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 32(2), 295-307. (In Persian).
7. Balesini, H., Saba, J., Faramarzi, A., Jamshidi, S. & Salehi, M. (2006). Evaluation of relationships of agronomic traits using GMP of canola yield via successive path analysis. *Journal of Modern Agricultural Knowledge*, 2(4), 25-40. (In Persian).
8. Basalma, D. (2008). The correlation and path analysis of yield and yield components of different winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(2), 120-125.
9. Bharathi Kumar, K. & Vivekanandan, P. (2009). Correlation and path analysis for seed yield in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1, 70-73.
10. Chamberlain, A. R. (1952). Measuring water in small channels with WSC flume. *Agricultural Experiment Station Circular 200*. State College of Washington, Pullman.
11. Chaudhary, B. D., Arora, S. K. & Gupta, S. C. (1981). Correlation and path coefficient analysis of safflower increase rainfed condition. *Proceedings of the First International Safflower Conference*. USA. P: 144-149.
12. Daniya, E., Dadari, S. A., Ndahi, W. B., Kuchinda, N. C. & Babaji, B. A. (2013). Correlation and path analysis between seed yield and some weed and quantitative components in two sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties as influenced by seed rate and nitrogen fertilizer. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(15), 11-17.
13. Food and Agriculture Organization. (2016). *Year book production*. FAO Pub. Rome, Italy.
14. Ghodrati, G. M. (2012). Evaluation of relationships between yield and yield components in soybean lines. *Quarterly Journal of Plant Physiology*, 4(15), 59-70.
15. Ghorbanzadeh Neghab, M. (2015). Study of genetic diversity and relationships among quantitative and qualitative traits in different soybean (*Glayscale max* L.) cultivars. *Journal of Oil Plants Production*, 2(1), 29-41. (In Persian).
16. Giovannetti, M. & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal colonization in roots. *New Phytologist*, 84, 489-500.
17. Golestani, M. & Pakniat, H. (2007). Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. *Journal of Scientific and Technological Agriculture*, 11(41), 141-149. (In Persian)
18. Golparvar, A. R. & Ghasemi Pirbalouti, A. (2012). Evaluation of correlation and path analysis of grain and oil yield in safflower cultivars under optimum irrigation and drought stress. *New Agricultural Findings*, 6(3), 255-267. (In Persian).
19. Hamzhepour, G., Tobeh, A. & Sheikhzadeh, P. (2017). Study of correlations and regression analysis between quantitative and qualitative characteristics in different cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) in different planting patterns. *Plant Ecophysiology*, 9(31), 158-171. (In Persian).
20. Hassanzadeh, M., Ashari, A., Jamaati-e-Somarin, S., Saeidi, M., Zabihi-e-Mahmoodabad, R. & Hokmalipour, S. (2009). Effects of water deficit on drought tolerance indices of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Moghan Region. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3(1), 116-121.
21. Hosseini, S. Z. (2016). Correlation and path analysis of yield and yield components of safflower genotypes under late season drought stress conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(3),

- 697-716. (In Persian).
22. Iqbal, S., Mahmood, T., Tahira, M. A., Anwar, M. & Sarwar, M. (2003). Path coefficient analysis in different genotypes of soybean (*Glycine Max L.*). *Pakistan Journal of Biological Science*, 6(12), 1085-1087.
 23. Kumar, V., Nandan, R., Srivastava, K., Sharma, S. K., Kumar, R. & Kumar, A. (2013). Genetic parameters and correlation study for yield and quality traits in tomato (*Solanum lycopersicum L.*). *Plant Archives*, 13(1), 463-467.
 24. Lal, M., Dutta, S., Saikia, D. & Bhau, B. S. (2016). Assessment of selection criteria increase sesame by using correlation and path coefficient analysis under high moisture and acidic stress soil condition. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(4), 1-5.
 25. Lalpantluangi, P. C. & Shah, P. (2018). Character association and path coefficient analysis in sesame (*Sesamum indicum L.*) genotypes under foothill condition of Nagaland. *The Pharma Innovation Journal*, 7(5), 82-87.
 26. Marjanovic-Jeromela, A., Marinkovic, R., Mijic, A., Jankulovsca, M. & Zdonic, Z. (2007). Interrelationship between oil yield and other quantitative traits in rapeseed (*Brassica napus L.*). *Journal of Central European Agriculture*, 8(2), 165- 170.
 27. Masoudi, B., Bihamta, M. R., Peyghambari, S. A. & Babaie, H. R. (2011). Relationships of grain oil and protein contents with some important agronomic traits increase soybean using path and canonical correlation analysis. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(1), 194-205. (In Persian).
 28. Mirmosavi, S. A., Zeinali, H. & Hassanzadeh, A. A. (2006). Genetic correlation of oil content with some quantitative and qualitative traits in canola through multivariate statistical analysis. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 37(1), 177-186. (In Persian).
 29. Mozaffari, K. & Asadi, A. A. (2006). Relationships among traits using correlation, principal components and path analysis in safflower mutants sown in irrigated and drought stress condition. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(6), 977-983.
 30. Nouryan, M., Azhari, O., Amiry Oghan, H., Alizadeh, B. & Valizadeh, M. (2008). Evaluation of genetic diversity among 49 canola (*Brassica napus L.*) genotypes in Golestan province. *Journal of Daneshvar Agricultural Sciences*, 1(2), 49-60. (In Persian).
 31. Omid Tabrizi, A. H. (2002). Correlation between traits and path analysis for grain and oil yield in spring safflower. *Plant and Seed*, 18(2), 229-240. (In Persian).
 32. Qavami, N., Labbafi, M. R., Dehghani-Meshkani, M. R. & Mehrafarin, A. (2012). Determination of seed and oil yield and yield components in two variety of milk thistle (*Silybum marianum gaetm*) based on path analysis and regression. *Journal of Medicinal Plants*, 4(44), 1-9. (In Persian).
 33. Paramaswarapa, K. G. (1984). Genetic analysis of oil yield and other quantitative characters in safflower. *Agronomy Journal*, 17, 83-86.
 34. Phillips, J. M. & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of colonization. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161.
 35. Rabiee, M., Rahimi, M. & Kord-Rostami, M. (2011). Correlation and path coefficient analysis between oil yield and agronomical characters in fourteen cultivars of rapeseed (*Brassica napus L.*). *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 21(4), 17-27. (In Persian).
 36. Salamati, M. S. (2012). Path analysis on seed yield components on Iranian *Carthamus tinctorius L.* genotypes. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 97, 105-111. (In Persian).
 37. Thiyagu, K., Kandasamy, G., Manivannan, N., Muralidharan, V. & Uma, D. (2007). Correlation and path analysis for oil yield and its components in cultivated sesame (*Sesamum indicum L.*). *Agricultural Science Digest*, 27(1), 62-64.
 38. Yari, P. & Keshtkar, A. H. (2016). Correlation between traits and path analysis of safflower grain yield under water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(3), 427-437. (In Persian).
 39. Zeinali, H., Hezarjaribi, E. & Ahmadi, M. R. (2002). Evaluation of genetic correlation of seed oil with some important agronomic traits in soybean through path analysis. *Iranian Journal of Agriculture Sciences*, 33(4), 699-705. (In Persian).