تجزیه‌وتحلیل چندمتغیره عملکرد دانه و اجزا آن در ژنوتیپ‌های آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی

علی صارمی‌راد*[۱]، خداداد مصطفوی[۲]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، کرج، ایران.

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران.

*نویسنده مسئول: Ali.Saremi.uk@gmail.com

چکیده

با توجه به نقش بسزای آفتابگردان در زندگی بشری، به‌منظور بررسی روابط میان عملکرد دانه و سایر صفات مؤثر بر آن، تعداد ۱۲ ژنوتیپ در دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ مورد کشت و مطالعه قرار گرفت. صفات ارتفاع بوته و وزن صد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و صفات قطر ساقه و دانه، ارتفاع بوته و طول و عرض برگ در شرایط تنش دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد با عملکرد دانه بودند. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در شرایط عدم تنش رطوبتی نشان داد که تنها دو صفت عرض دانه و طول دانه وارد مدل رگرسیونی شدند و ۸۰ درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند اما در شرایط تنش دو صفت ارتفاع بوته و قطر دانه به مدل رگرسیونی وارد شدند و ۹۱ درصد تغییرات را تبیین نمودند. در تجزیه به عامل‌ها چهار عامل مستقل در شرایط نرمال و سه عامل مستقل در شرایط تنش به ترتیب ۶۹/۶۲ و ۷۴/۱۶ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. با در نظر گرفتن نتایج به‌دست‌آمده در شرایط تنش رطوبتی ارتفاع بوته و قطر دانه و در شرایط عدم تنش صفات مربوط به مشخصات دانه (عرض و طول دانه و وزن صد دانه) بهترین صفات ارزیابی‌کننده ژنوتیپ‌های آفتابگردان بودند.

کلمات کلیدی: آفتابگردان، رگرسیون، تجزیه به عامل‌ها.

مقدمه

خشکی به کمبود آب در پیرامون ریشه گیاهان اشاره دارد و سبب افت عملکرد در طول دوره تولید محصول می‌گردد (Rampino *et al.,* 2006; Passioura, 2007; Nevo and Chen, 2010)؛ بنابراین تحمل به خشکی، به توانایی گیاهان برای زنده ماندن و تولید محصول در شرایط کمبود آب اطلاق می‌شود. اصلاح گیاهان برای مقاومت به تنش خشکی یکی از مشکل‌ترین برنامه‌ها برای به‌نژادگران گیاهی محسوب می‌شود، علت این سختی، پیچیدگی ژنتیکی صفت تحمل به خشکی و تحت تأثیر قرار گرفتن شدید این صفت به‌وسیله عوامل محیطی غیرقابل پیش‌بینی بدون شرایط خشکی در مزرعه و همچنین عکس‌العمل‌های متنوع ژنتیکی تحمل به تنش خشکی گیاهان که مورد مطالعه بوده‌اند ناشی می‌شوند.

آفتابگردان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع روغن‌های گیاهی است و اهمیت فراوانی بر جوامع بشری از نظر تأمین انرژی مورد نیاز بدن دارد. این گیاه تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. زمان، مدت و شدت تنش خشکی معمولاً قابل پیش‌بینی نیست. پاسخ گیاه به تنش خشکی بسیار پیچیده است، زیرا شامل تعدادی از فرآیندهای فیزیو-بیوشیمیایی در سطح سلول و ویژگی‌های متفاوتی از اثر برهمکنش با واکنش‌های مختلف در تمام قسمت‌های گیاه می‌گردد (Witcombe *et al.,* 2008). تنش خشکی معمولاً با تنش گرما همراه می‌شود و هم‌زمان شدن این دو تنش غیر زیستی در شرایط مزرعه می‌تواند اثرات مخرب‌تری بر تولید محصول نسبت به اثر تنهای تنش خشکی داشته باشد (Salekdeh *et al.,* 2009).

عملکرد دانه صفتی کمی است و به‌وسیله تعداد بسیار زیادی ژن با اثرات پایین کنترل می‌گردد. انتخاب مستقیم بر اساس این صفت به دلیل توارث‌پذیری پایین که ناشی از اثرات محیط و برهمکنش ژنوتیپ و محیط است، تأثیر چندانی ندارد (Selier and Stafford, 1985). با گزینش غیرمستقیم صفاتی که همبستگی مناسبی با عملکرد دانه دارند و واکنش کمتری نسبت به تغییرات محیطی از خود بروز می‌دهند،

می‌توان در جهت بهبود عملکرد گام برداشت (Dawari and Luthra, 1991). درک روابط بین صفات در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان نقش بسزایی ایفا می‌نماید؛ زیرا عملکرد دانه ناشی از اثرات تجمعی اجزای تشکیل‌دهنده آن می‌باشد؛ بنابراین شناخت دقیق این اجزاء و رابطه آن‌ها با عملکرد دانه می‌تواند در راستای گزینش غیرمستقیم ژنوتیپ‌های مطلوب و غربالگری جوامع گیاهی مؤثر واقع شود (Balouchzaehi and Kiani, 2013; Yin *et al.*, 2002). تعیین همبستگی و شناسایی روابط علت و معلولی میان صفات به‌خصوص عملکرد دانه و اجزا آن به اصلاح‌کنندگان نبات اجازه گرد هم آوردن مناسب‌ترین ترکیب اجزا که منتج به عملکرد دانه مطلوب می‌شود را می‌دهد (Yin *et al.*, 2002).

از ضرایب علیت جهت شناسایی روابط علت و معلولی (تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات تحت عنوان متغیرهای مستقل بر عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته) میان مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل با متغیر تابع بهره برده می‌شود، لذا با استفاده از تجزیه علیت می‌توان به اطلاعات مفیدی دست‌یافت که با استفاده از همبستگی ساده پیرسون این امکان میسر نیست (Bastiaans *et al.*, 1997). پژوهش‌های زیادی در جهت شناسایی این روابط با استفاده از تعیین ضرایب همبستگی و علیت در گیاهان مختلف انجام شده است. باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2001) با مطالعه ژنوتیپ‌های گلرنگ اذعان نمودند، عملکرد تک بوته با صفت تعداد روز تا ظاهر شدن اولین گل، قطر طبق، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری است. در مطالعه مختصی و همکاران (Mokhtassi *et al.*, 2006) بین صفات عملکرد دانه و تعداد دانه در غوزه همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده نشد اما میان عملکرد دانه و قطر غوزه همبستگی مثبت و معنی‌داری دیده شد. در مطالعه دیگری که روی گلرنگ انجام گردید، عنوان شد که صفات وزن غوزه و تعداد غوزه در بوته به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۸۵ و ۰/۶۱، در سطح احتمال ۱ درصد رابطه مثبت و معنی‌داری با عملکرد بوته دارند. بر اساس نتایج تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام، صفات وزن غوزه و تعداد غوزه در بوته مجموعاً ۷۵/۶۰ درصد از تغییرات عملکرد

بوته را تبیین کردند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که بیش‌ترین اثر مستقیم و مثبت مربوط به صفت وزن غوزه (r=۱/۱۰۴) می‌باشد. تعداد غوزه در بوته بیش‌ترین اثر غیرمستقیم (r=۰/۹۱۶) را بر عملکرد بوته از طریق وزن غوزه داشت (Khomari *et al.*, 2017). درسان (Dursun, 2007) به‌منظور تعیین اثرات اجزا عملکرد بر روی عملکرد ۲۱ ژنوتیپ لوبیا از تجزیه علیت استفاده کرد و نتیجه گرفت که در رابطه با صفات عملکرد دانه، سطح برگ، طول غلاف، قطر غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن تر غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه بین ژنوتیپ‌های لوبیا تفاوت معنی‌داری وجود دارد و در میان صفات تعداد غلاف در بوته، وزن غلاف و تعداد دانه در غلاف با عملکرد دانه همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری است. ایسلر و کلسیکان (Isler and Caliskan, 1998) گزارش کردند که عملکرد دانه در بوته، ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین، تعداد ساقه فرعی و ارتفاع بوته بیش‌ترین رابطه همبستگی را با عملکرد دانه دارد و نتیجه‌گیری نمودند که این صفات می‌توانند به‌منظور شاخص انتخاب در اصلاح سویا برای عملکرد کارایی بالایی داشته باشند. هنریکو و همکاران و اختر و اسنلر (Henrique and Cludio, 2004; Akhter and Smeller, 1996) اعلام نمودند که در سویا صفت تعداد دانه در بوته همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه دارد و همچنین این صفت بالاترین اثر مستقیم بر عملکرد دانه را دارا بوده است و نیز اعلام داشتند که این صفت می‌تواند به‌منظور شاخص گزینش غیرمستقیم ژنوتیپ‌های سویا استفاده شود. بر اساس مطالعه‌ای که روی ارقام ماش توسط کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2002) انجام شد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد شاخه‌های بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه و تعداد دانه با عملکرد گزارش شد و همچنین اظهار نمودند که تعداد دانه در بوته عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مطالعه‌ای که به‌منظور شناسایی روابط میان صفات در آفتابگردان انجام گردید، عنوان شد که در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفت عرض دانه اولین صفتی بود که وارد مدل شد و حدود ۶۷ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نمود. صفات طول بذر و قطر ساقه به ترتیب بعد از صفت عرض دانه وارد مدل

شدند و در مجموع ۸۸ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه کردند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که هر یک از صفات عرض دانه، طول دانه و قطر ساقه به ترتیب بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد دانه دارند (Khomari *et al.*, 2017).

مطالعه حاضر با هدف شناسایی روابط علت و معلولی بین صفات مهم زراعی با عملکرد دانه و شناخت دقیق مهم‌ترین صفات تأثیرگذار بر آن و استفاده از روش تجزیه عامل‌ها بر روی داده‌ها حاصل از آزمایش جهت بررسی ساختار پیچیده و تعیین اهمیت نسبی هر یک از صفات مورد مطالعه در ارتباط با عملکرد دانه به‌منظور اصلاح عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی در برنامه‌های به‌نژادی در ژنوتیپ‌های آفتابگردان بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی مورد مطالعه شامل ۱۲ ژنوتیپ آفتابگردان روغنی (مشخصات ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ آورده شده است) بود که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، در سال زراعی ۱۳۹۵ مورد کشت و ارزیابی قرار گرفتند. این مزرعه در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۳۱۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است.

هر بلوک شامل ۱۲ کرت و هر کرت آزمایشی شامل پنج ردیف کشت به طول ۵ متر، فاصله خطوط ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی هر خط ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عملیات آماده‌سازی زمین کشت شامل شخم، دیسک و ایجاد ردیف کاشت (فارو کشی) بود. مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه به زمین داده شد. میزان بذر مورد استفاده ۶ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. در طول فصل رشد وجین و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی اعمال گردید. آبیاری تا مرحله گلدهی مطابق نیاز گیاه انجام داده

شد و پس از مرحله گلدهی آبیاری در آزمایش نرمال بر اساس ۶۰ میلی‌متر تبخیر و در آزمایش تنش خشکی بر اساس ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد (Akbari *et al.,* 2008; Rahimi *et al.,* 2013; Hatami Maleki *et al.,* 2016). این تشتک در فاصله ۱۵ متری مزرعه آزمایشی نصب شد. به‌منظور حذف اثرات حاشیه‌ای، یادداشت‌برداری با حذف یک خط از ابتدا، یک خط از انتها و یک متر از ابتدا و انتهای هر خط صورت پذیرفت. صفات عملکرد دانه، وزن صد دانه، طول دانه، عرض دانه، قطر دانه، طول برگ، عرض برگ، ارتفاع بوته و قطر ساقه اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری شدند. مفروضات تجزیه واریانس برای تمامی صفات بررسی و مورد تأیید قرار گرفت. پس از برقراری مفروضات، تجزیه واریانس مرکب بر مبنای طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام گردید. برای بررسی همبستگی میان صفات از روش پیرسون استفاده شد. جهت تعیین صفات مؤثر بر عملکرد دانه و نیز تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم از تجزیه رگرسیون چندگانه به روش گام‌به‌گام و تجزیه علیت استفاده شد. به‌منظور شناخت بهتر روابط میان صفات و تعیین سهم هر یک با عملکرد دانه از تجزیه به عامل‌ها با روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و برای تفسیر بهتر نتایج از چرخش متعامد وریماکس استفاده گردید. عامل‌هایی که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از ۱ داشتند، گزینش شدند. جهت نام‌گذاری هر یک از عامل‌ها، صفت‌های مختلف با در نظر گرفتن مقدار ضرایب عامل انتخاب و در آخر با توجه به ماهیت صفت‌های انتخاب شده مناسب‌ترین نام در نظر گرفته شد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS، Mstat-C، Path و Excel استفاده گردید.

جدول ۱- اسامی و کد ارقام آفتابگردان مورد مطالعه

Table 1. Names and code of sunflower varieties studied

کد ژنوتیپ	ژنوتیپ	منشأ	کد ژنوتیپ	ژنوتیپ	منشأ
G1	Zargol	Iran	G7	Lakomka	Russia
G2	Armaverski	Russia	G8	Record	Romania
G3	Azargol	Iran	G9	Zaria	Iran
G4	Favorit	Russia	G10	Sor	Russia
G5	Master	Russia	G11	Progress	Russia
G6	SHF81-90	Russia	G12	Gabur	Russia

نتایج و بحث

پیش از انجام تجزیه واریانس مرکب، خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن نشان داد که این خطاها در آزمایش‌های مختلف (آبیاری در شرایط مطلوب و تنش رطوبتی) یکنواخت است، سپس روی داده‌های حاصل از آزمایش، تجزیه واریانس مرکب صورت پذیرفت و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شد. اثر محیط از نظر کلیه صفات مورد مطالعه تنوع قابل‌ملاحظه‌ای را نشان داد. اثر ژنوتیپ برای صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، طول برگ، عرض دانه، قطر دانه و وزن صد دانه در سطح احتمال ۱ درصد و برای طول دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد که حاکی از تنوع بالا میان ژنوتیپ‌ها از نظر صفات تحت بررسی می‌باشد. اثر متقابل ژنوتیپ در محیط تنها برای صفت ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف ژنوتیپ‌های آفتابگردان

Table 2. Combined analysis of variance for different traits of sunflower genotypes

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد دانه	ارتفاع بوته	قطر ساقه	طول برگ	عرض برگ	طول دانه	عرض دانه	قطر دانه	وزن صد دانه
محیط	۱	۸۶۰۳۰۹۰/۲۷**	۳۴۴۹۹/۵۱**	۳۲۶/۹۵**	۲۴۰/۳۱**	۳۱۷/۱۸**	۳/۶۵**	۰/۹۵*	۰/۷۰**	۲/۶۳*
خطای اول	۴	۷۱۸۳۳۷/۰۴	۹۵/۵۵	۱۳/۶۱	۱۰/۳۲	۱۵/۱۲	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۲۱	۱/۶۷
ژنوتیپ	۱۱	۳۸۸۸۰۸۰/۳۱**	۱۰۷۶/۵۸**	۹/۲۷^{ns}	۹/۸۴**	۸/۶۶^{ns}	۰/۷۳*	۰/۸۱**	۰/۲۵**	۲/۱۱**
ژنوتیپ×محیط	۱۱	۱۰۱۶۵۵/۷۴^{ns}	۶۴۵/۱۳**	۶/۷۲^{ns}	۴/۸۳^{ns}	۸/۱۹^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۱۰^{ns}	۰/۳۱^{ns}
خطای دوم	۴۴	۳۳۴۱۴۶/۲۷	۱۹۹/۹۹	۵/۲۷	۳/۱۲	۴/۵۱	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۵۴
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۴۲	۱۰/۱۱	۱۵/۷۵	۱۱/۷۳	۱۴/۸۲	۵/۱۳	۸/۳۵	۷/۷۹	۱۴/۰۴

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

*, ** and ns: Significant at 5 percent, 1 percent and non-significant.

ضرایب همبستگی ساده صفات

ماتریس ضرایب همبستگی صفات در شرایط آبیاری مطلوب در جدول ۳ آورده شده است. عملکرد دانه در شرایط بدون تنش با ارتفاع بوته و وزن صد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. همبستگی بالا بین عملکرد دانه با وزن صد دانه ($r = ۳۶۷$) و ارتفاع بوته ($r = ۳۵۷$) در شرایط آبیاری مطلوب نشان‌دهنده

اهمیت وزن صد دانه و ارتفاع بوته در افزایش میزان عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های آفتابگردان می‌باشد. بین دیگر صفات مورد ارزیابی با عملکرد دانه ارتباطی حاصل نشد که این موضوع می‌تواند به عدم اختلاف بین ارقام از لحاظ صفات مورد ارزیابی و یا تأثیرگذاری اندک آن‌ها بر روی عملکرد دانه باشد. ماتریس ضرایب همبستگی صفات در شرایط تنش رطوبتی در جدول ۳ آمده است. نتایج همبستگی ساده صفات نشان داد که عملکرد دانه با صفات ارتفاع بوته (r=۰/۶۳۶) و عرض برگ (r=۰/۴۲۵) در سطح احتمال ۱ درصد و صفات طول برگ (r=۰/۵۱۷)، قطر ساقه (r=۰/۴۱۳) و قطر دانه (r=۰/۳۶۳) در سطح احتمال ۵ درصد دارای بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بودند. در مطالعه خماری و همکاران (Khomari *et al.*, 2017) میان اجزا عملکرد با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد گزارش شد. رازی و آساد (Razi and Assad, 2004) در آزمایشی که انجام دادند، گزارش نمودند که صفت درصد روغن تنها با صفت مغز دانه همبستگی دارد و با هیچ‌یک از صفات عملکرد دانه، روز تا گلدهی، روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق، تعداد برگ و وزن صد دانه همبستگی ندارد.

تعیین همبستگی بین صفات مختلف به‌ویژه عملکرد دانه و اجزاء آن و تعیین روابط علت و معلولی آن‌ها، برای به‌نژادگران این فرصت را فراهم می‌آورد که مناسب‌ترین ترکیب اجزاء که منتج به عملکرد بیشتر می‌شود را انتخاب نمایند. در این نوع مطالعات انتخاب بر اساس همبستگی‌های ساده به‌تنهایی نمی‌تواند نتایج کاملاً مطلوبی داشته باشد. زیرا آن‌ها اطلاعات ناقصی از اهمیت نسبی اثرات مستقیم و غیرمستقیم عامل‌های فردی درگیر را فراهم می‌کنند. بنابراین ضروری است که اثر مستقیم و غیرمستقیم صفات مؤثر بر عملکرد دانه تعیین گردد. در این راستا رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

رگرسیون گام‌به‌گام

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام به‌منظور کاهش مدل و تشخیص صفاتی که بیشترین تأثیر را بـر عملکـرد دارنـد، انجام گرفت. طبق نتایج حاصل از شرایط عدم تنش (جدول ۴) دو صفت وارد مدل رگرسیونی شـد کـه بـه ترتیب عبارت از عرض دانه و طول دانه بودند. هر دو این صفات واردشده به مدل رگرسـیون ۸۰ درصـد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را تبیین نمودند. با توجه به نتایج، صفت عرض دانه اولـین صـفتی بـود کـه وارد مدل رگرسیونی شد و به‌تنهایی ۶۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیـه نمـود سـپس طـول دانـه دومین صفتی بود که وارد مدل گردید و ۱۳ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را تبیین کرد.

جدول ۳- ضرایب همبستگی ساده صفات مختلف ژنوتیپ‌های آفتابگردان در شرایط آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی

Table 3. Correlation coefficients of different traits of sunflower genotypes under favorable irrigation and moisture stress

	عملکرد دانه	ارتفاع بوته	قطر ساقه	طول برگ	عرض برگ	طول دانه	عرض دانه	قطر دانه	وزن صد دانه
عملکرد دانه	۱	۰/۶۳۶**	۰/۴۱۳*	۰/۵۱۷*	۰/۴۲۵**	۰/۱۴۳ ns	-۰/۲۱۱ ns	۰/۳۶۳*	۰/۱۵۱ ns
ارتفاع بوته	۰/۳۵۷*	۱	۰/۷۳۵**	۰/۵۲۱**	۰/۶۰۱**	-۰/۲۳۳ ns	-۰/۲۸۰ ns	۰/۰۲۲ ns	۰/۰۸۷ ns
قطر ساقه	۰/۱۱۸ ns	۰/۴۲۵**	۱	۰/۸۷۸**	۰/۸۱۰**	-۰/۲۲۱ ns	۰/۰۸۶ ns	۰/۱۱۸ ns	۰/۰۳۰ ns
طول برگ	۰/۳۰۲ ns	۰/۲۹۷ ns	۰/۴۰۶*	۱	۰/۸۳۳**	-۰/۱۰۱ ns	۰/۰۶۰ ns	۰/۴۱۴*	۰/۳۸۶*
عرض برگ	۰/۲۸۲ ns	۰/۳۰۵ ns	۰/۳۲۰ ns	۰/۹۲۶**	۱	-۰/۰۴۳ ns	۰/۰۹۸ ns	۰/۳۱۰ ns	۰/۳۰۰ ns
طول دانه	۰/۰۳۲ ns	-۰/۲۲۹ ns	۰/۰۳۵ ns	-۰/۰۴۸ ns	/۰۹۶ ns	۱	۰/۰۹۹ ns	۰/۴۷۱**	۰/۴۵۵**
عرض دانه	-۰/۱۹۶ ns	۰/۲۰۳ ns	-۰/۳۰۶ ns	۰/۱۵۵ ns	۰/۰۷۳ ns	۰/۳۴۴*	۱	۰/۲۰۰ ns	۰/۴۷۵**
قطر دانه	۰/۰۳۵ ns	-۰/۱۰۱ ns	-۰/۱۷۸ ns	۰/۰۶۶ ns	۰/۰۳۷ ns	۰/۰۷۳ ns	۰/۰۹۵ ns	۱	۰/۶۱۸**
وزن صد دانه	۰/۳۶۷*	۰/۰۱۷ ns	۰/۱۸۲ ns	۰/۳۶۲*	۰/۳۳۹*	۰/۳۴۳*	۰/۱۷۲ ns	/۱۲۵ ns	۱

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

*, ** and ns: Significant at 5 percent, 1 percent and non-significant.

ضرایب همبستگی پایین قطر اصلی مربوط به شرایط آبیاری مطلوب و ضرایب همبستگی بالای قطر اصلی مربوط به شرایط تنش رطوبتی می‌باشد.

جدول ۴- نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در ژنوتیپ‌های آفتابگردان تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی

Table 4- Results of stepwise regression analysis in sunflower genotypes under favorable irrigation and moisture stress

صفات	R^2	$R^2_{partial}$	F
شرایط آبیاری مطلوب			
عرض دانه	۰/۶۷	۰/۶۷	۲۱/۱۲**
طول دانه	۰/۸۰	۰/۱۳	۶/۱۵*
شرایط تنش رطوبتی			
ارتفاع بوته	۰/۶۴	۰/۶۴	۵/۴۹**
قطر دانه	۰/۹۱	۰/۲۷	۳/۲۱**

*، ** و ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

ns, *, **: Non-significant Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در شرایط تنش رطوبتی (جدول ۴) نشان داد در کل ۲ متغیر (ارتفاع بوته و قطر دانه) وارد مدل شدند و ۹۱ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. لذا می‌توان اذعان داشت که در شرایط تنش رطوبتی انتخاب بر پایه صفات ارتفاع بوته و قطر دانه مطلوب‌تر است. در پژوهشی که به‌منظور مطالعه روابط میان صفات مؤثر و عملکرد دانه انجام شد، گزارش گردید که سه صفت عرض بذر، طول بذر و قطر ساقه وارد مدل رگرسیونی گردیدند و مجموعاً ۸۸ درصد تغییرات مربوط به عملکرد دانه را تبیین نمودند (Khomari *et al.*, 2017).

تجزیه علیت

بعد از انجام رگرسیون گام‌به‌گام و گزینش بهترین صفات جهت تفکیک اثرات مستقیم و غیرمستقیم از تجزیه علیت استفاده شد. طبق نتایج حاصل از تجزیه علیت در شرایط آبیاری مطلوب (جدول ۵)، صفت عرض دانه (r=۰/۵۱) بیش‌ترین اثر مستقیم مثبت و فزاینده بر عملکرد دانه داشت. بر اساس تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نیز عرض دانه اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد. صفت طول دانه (r=۰/۴۲) دارای اثرات مستقیم مثبت بعد از صفت عرض دانه بود که منطبق با نتایج حاصل از رگرسیون گام‌به‌گام است. صفت عرض دانه از طریق صفت طول دانه و بالعکس بالاترین تأثیر غیرمستقیم و مثبت را بر عملکرد

دانه داشتند که بهبود هر یک باعث بهبود صفت دیگر می‌شود؛ اما در شرایط تنش رطوبتی (جدول ۶) نتایج نشان داد که بیشترین اثر مستقیم روی عملکرد دانه را میزان ارتفاع بوته (۰/۳۸) و قطر بذر (۰/۱۰) دارا هستند. با توجه به نتیجه تجزیه مسیر می‌توان ارتفاع بوته را با توجه به اثر مستقیم و بالایی که بر عملکرد دانه داشته است، از یک‌سو و از سوی دیگر همبستگی بالا و معنی‌دار آن در سطح احتمال ۱ درصد (۰/۶۳۶**) را به‌عنوان بهترین صفت برای گزینش غیرمستقیم عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی معرفی کرد.

جدول ۵- نتایج تجزیه علیت صفات در ژنوتیپ‌های آفتابگردان تحت شرایط آبیاری مطلوب

Table 5. Results of path analysis in sunflower genotypes under favorable irrigation

صفت	اثرات مستقیم	اثرات غیرمستقیم		همبستگی
		عرض دانه	طول دانه	
عرض دانه	۰/۵۱۸	-	۰/۲۳۷	۰/۷۵۵
طول دانه	۰/۴۲۴	۰/۲۸۹	-	۰/۷۱۳
			اثرات باقیمانده: ۰/۳۴	

جدول ۶- نتایج تجزیه علیت صفات در ژنوتیپ‌های آفتابگردان تحت شرایط تنش رطوبتی

Table 6. Results of path analysis in sunflower genotypes under moisture stress

صفت	اثرات مستقیم	اثرات غیرمستقیم		همبستگی
		ارتفاع بوته	قطر دانه	
ارتفاع بوته	۰/۳۸۰	-	۰/۱۳۰	۰/۵۱۰
قطر دانه	۰/۱۰۰	۰/۰۹۷	-	۰/۱۹۷
			اثرات باقیمانده: ۰/۰۶۳	

تجزیه به عامل‌ها

برای بررسی و درک روابط پیچیده صفات و شناسایی عوامل از تجزیه به عامل‌ها استفاده گردید و واریانس هر عامل بر حسب درصد که نشان‌دهنده اهمیت آن در تفسیر تغییرات کلی داده‌ها است برای هر یک از شرایط آبیاری مطلوب و تنش رطوبتی بیان گردید. در این جداول میزان اشتراک به‌منظور بیان میزان تبیین واریانس هر صفت توسط عامل‌ها، ارائه شده است. این تجزیه روی صفات اندازه‌گیری شده و به روش مؤلفه‌های اصلی و دوران عامل‌ها به روش واریماکس انجام گرفت. نتایج حاصل از این تجزیه نشان داد که

در شرایط آبیاری مطلوب ۴ عامل اول ۶۹/۶۲ درصد تنوع بین داده‌ها را توجیه می‌نمایند (جدول ۷). با توجه به ضرایب هر صفت عامل اول با توجیه واریانس ۲۳/۲۳ درصد از کل واریانس توجیهی به علت داشتن ضرایب بالا برای صفات عملکرد دانه، طول و عرض برگ به‌عنوان عملکرد و سطح سبز نام‌گذاری شد. عامل دوم به علت داشتن بیشترین بار عاملی برای ارتفاع بوته و قطر ساقه به‌عنوان عامل قامت گیاه نام‌گذاری شد. عامل سوم با داشتن بیشترین بار عاملی مثبت برای طول و عرض دانه و وزن صد دانه به نام اجزاء دانه و عامل چهارم به دلیل ضریب بالا برای میزان قطر دانه و ارتباط قطر دانه‌ها با عدم پوکی به نام پوکی دانه نام‌گذاری شد. لذا با توجه به نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها و نتایج همبستگی صفات می‌توان نتیجه‌گیری نمود که برای انتخاب غیرمستقیم عملکرد در شرایط آبیاری می‌توان از صفات طول و عرض برگ استفاده کرد. نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش در جدول ۸ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در این شرایط ۳ عامل مستقل ۷۴/۱۶ درصد تنوع بین داده‌ها را توجیه نمودند. عامل اول با بیشترین ضرایب عاملی برای صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، طول و عرض برگ به نام عامل مشخصات اندام هوایی نام‌گذاری شد. این عامل ۳۶/۵۰ درصد از کل تغییرات داده‌ها را توجیه می‌کند. صفات قرارگرفته در عامل اول با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. عامل دوم با ریشه مشخصه ۲/۲۴ و ۲۲/۴۱ درصد از واریانس تغییرات، شامل ضرایب عامل بالا برای صفات قطر دانه، طول دانه و وزن صد دانه بود. عامل مذکور مشخصات دانه نامیده شد. عامل سوم ۱۵/۲۵ درصد از واریانس داده‌ها و مقادیر ویژه بالاتر از یک، صفت عرض دانه و عملکرد دانه را شامل شد که در این میان عملکرد دانه دارای ضریب عاملی منفی بود. در این تحقیق نهایتاً با استفاده از تحلیل همبستگی و تجزیه عاملی مشخص شد که برای افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش، افزایش صفاتی مانند میزان ارتفاع بوته، سطح سبز و قطر دانه می‌تواند مفید باشد. البته علاوه بر موارد فوق بایستی به میزان صفات دیگر نیز به علت نقش مهم آن‌ها در تحمل به خشکی توجه ویژه‌ای شود.

جدول ۷- نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها در ژنوتیپ‌های آفتابگردان تحت شرایط آبیاری مطلوب

Table 7. Results of factors analysis in sunflower genotypes under favorable irrigation

صفت	میزان اشتراک	عامل‌ها			
		۱	۲	۳	۴
عملکرد دانه	۰/۵۶۲	۰/۶۷۹	۰/۰۵۱	-۰/۱۶۱	-۰/۲۷۰
طول برگ	۰/۸۵۴	۰/۷۸۳	۰/۴۲۴	۰/۱۱۳	۰/۲۲۰
عرض برگ	۰/۸۰۸	۰/۸۱۶	۰/۳۱۹	۰/۰۳۲	۰/۱۹۹
ارتفاع بوته	۰/۶۳۱	۰/۲۱۹	۰/۶۷۳	-۰/۳۲۵	-۰/۱۵۹
قطر ساقه	۰/۶۶۷	۰/۲۰۱	۰/۷۳۰	۰/۰۷۰	۰/۲۹۸
طول دانه	۰/۷۲۲	-۰/۰۰۱	۰/۱۹۰	۰/۸۱۴	-۰/۱۵۳
عرض دانه	۰/۶۶۶	-۰/۱۷۳	۰/۱۹۸	۰/۶۹۹	۰/۳۳۰
وزن صد دانه	۰/۶۲۸	۰/۵۲۰	۰/۰۶۹	۰/۵۹۴.	۰/۰۱۵
قطر دانه	۰/۷۲۶	۰/۰۸۰	۰/۱۲۶	۰/۰۲۱	۰/۸۳۹
مقادیر ویژه		۲/۱۳	۲/۰۲	۱/۶۶	۱/۱۳
درصد واریانس نسبی		۲۱/۳۲	۲۰/۲۹	۱۶/۶۹	۱۱/۳۹
درصد واریانس تجمعی		۲۱/۲۳	۴۱/۵۲	۵۸/۲۲	۶۹/۶۲

جدول ۸- نتایج حاصل از تجزیه به عامل‌ها در ژنوتیپ‌های آفتابگردان تحت شرایط تنش رطوبتی

Table 8. Results of factors analysis in sunflower genotypes under moisture stress

صفت	میزان اشتراک	عامل‌ها		
		۱	۲	۳
ارتفاع بوته	۰/۸۳۲	۰/۷۵۰	-۰/۱۷۵	۰/۴۸۹
قطر ساقه	۰/۸۶۹	۰/۹۲۰	-۰/۱۵۰	-۰/۰۲۰
طول برگ	۰/۷۷۴	۰/۸۵۰	۰/۲۲۵	-۰/۰۳۹
عرض برگ	۰/۸۵۱	۰/۹۰۸	۰/۱۶۳	۰/۰۱۸
طول دانه	۰/۶۹۳	-۰/۱۹۳	۰/۸۰۹	-۰/۰۴۱
قطر دانه	۰/۷۵۰	۰/۲۳۳	۰/۸۳۴	۰/۰۱۹
وزن صد دانه	۰/۷۶۸	۰/۲۱۱	۰/۷۶۴	۰/۳۷۵
عرض دانه	۰/۸۱۴	۰/۱۳۵	۰/۲۰۲	۰/۸۶۹
عملکرد دانه	۰/۷۶۱	۰/۵۳۷	۰/۳۵۴	-۰/۵۹۰
مقادیر ویژه		۳/۶۵	۲/۲۴	۱/۵۲
درصد واریانس نسبی		۳۶/۵۰	۲۲/۴۱	۱۵/۲۵
درصد واریانس تجمعی		۳۶/۵۰	۵۸/۹۱	۷۴/۱۶

منابع:

Akbari, G.H.A., Jabbari, H., Daneshian, J., Alahdadi, I. and Shahbazian, N. 2008. The effect of limited irrigation on seed physical characteristics in sunflower hybrids. Journal of Crop Production and Processing, 12: 513-523.

Akhter, M. and Smeller, C. H. 1996. Yield and yield components of early maturing soybean genotypes in the hid south. Crop Sciences. 36: 866-882.

Bagheri, A., Yazdi Samadi, B., Tayeb, M. and Ahmadi, M. R. 2001. Study of correlation between yield and other qualitive and qualitative characters of safflower. Iranian Journal of Agricultural Science, 32: 295-307. [In Farsi]

Balouchzaehi A. and Kiani, GH. 2013. Determine selection criteria for improving rice yield through path analysis. Journal of Crop Breeding, 5: 75-84 (In Persian).

Bastiaans, L., Kropff, M. J., Kempuchetty, N., Rajan, A., and Migo, T. R. 1997. Can simulation models help design rice cultivars that are more competitive with weeds? Field Crops Research, 51: 101-111.

Dawari, N. H. and Luthra, O. P. 1991. Character association studies under high and low environments in wheat. Indian Journal of Agricultural Research. 25:515-518.

Dursun, A. 2007. Variability, heritability and correlation studies in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. World Journal of Agricultural Sciences. 3(1): 12-16.

Hatami Maleki, H., Abdi, N., Darvishzadeh, R. and Jafari, M. 2016. Mapping QTLs Controlling Drought Tolerance Indices in Sunflower (*Helianthus annus* L.). Journal of Crop Breeding, 8(20): 228-235. (In Persian)

Henrique, S. B. and Cludio, G. P. 2004. Path analysis under multicollinearity in soybean Brezillian Archives of Biol and Technol. 47: 669-676.

Isler, N. and Caliskan, M. E. 1998. Correlation and path coefficient analysis for yield and some yield components of soybean grown in South Eastern Anatolia. Turk Journal Agreculture. 22: 1-15.

Khomari, A., Mostafavi, KH., and Mohammadi, A. 2017. Study of the relationships between yield and some important agronomic traits through path analysis and factor analysis in sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes. Journal of Agronomy and Plant Breeding, 13(1): 11-20

Khomari, A., Omrani, S., Omrani, A. and Mostafavi, Kh. 2017. Study of genetic variation in safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) in terms of some morphological and agronomic traits. Agronomy and planr breeding journal. 13(3): 27-38.

Kumar, J. H., Singh, T., Tonk, D. S. and Lal, R. 2002. Correlation and path coefficient analysis of yield and its components in summex moong (*vigna radiate* L.). Crop Research. 24: 374-377.

Mokhtassi-Bidgoli, A., Ali-Akbari, G., Mirhadi, M. J., Zand, E. and Soufizadeh, S. 2006. Path analysis of the relationships between seed yield and some morphological and phenological traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Euphytica* 148: 261-268.

Nevo, E. and Chen, G. X. 2010. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. Plant Cell and Environment, 33, 670–685.

Passioura, J. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. J. Exp. Bot., 58: 113-117.

Rahimi, M., Rabiei, B., Dehghani, H. and Tarang, A.R. 2013. Mapping main and epistatic QTLs for drought tolerance indices in F5 population of rice. Modern Genetics, 8: 435-448.

Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G. and Perrotta, C. 2006. Drought Stress Response in Wheat: Physiological and Molecular Analysis of Resistant and Sensitive Genotypes. Plant Cell Environ., 29: 2143-2152.

Razi, H. and Assad, M. T. 2004. Comparison of selection criteria in normal and limited irrigation in sunflower.

Salekdeh, G. H., Reynolds, M., Bennett, J., and Boyer, J. 2009. Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding. Trends Plant Sci. 14, 488–496. doi: 10.1016/j.tplants.2009.07.007

Selier, G. J. and Stafford, R. E. 1985. Factor analysis of components of yield in guar. Crop Science. 25: 905 – 908.

Witcombe, J. R., Hollington, P. A., Howarth, C. J., Reader, S. and Steele, K. A. 2008 Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. Phil. Trans. R. Soc.363:703–716. (doi:10.1098/rstb.2007.2179)

Yin, X., Chasalow, S. D., Stam, P. M., Kropff, J., Dourleijn, C. J., Bos, I. and Bindraban, P. S. 2002. Use of component analysis in QTL mapping of complex crop traits: a case study on yield in barley. Plant Breeding. 121 (4):314-319.

Multivariate analysis of yield and its components in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.) under favorable irrigation and moisture stress conditions

Ali Saremi-Rad*[1], Khodadad Mostafavi[2]

1- Plant breeding Ph. D. student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Young Researchers and Elite Club, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

2- Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

*Corresponding author: Ali.Saremi.uk@gmail.com

Abstract

Considering the important role of sunflower in human life, in order to investigate the relationship between grain yield and other traits, 12 genotypes were cultivated in two conditions under favorable irrigation conditions and moisture stress in a randomized complete block design with three replications in 2015. Plant height and 100 seed weight in optimum irrigation condition and stem diameter, grain diameter, plant height, leaf length and leaf width were significantly and positively correlation with grain yield at 1 and 5% levels. The results of stepwise regression analysis in non-stress conditions showed that only two grain width and grain length traits were enteredinto the regression model and explained 80% of grain yield changes. However, under stress conditions, two traits of plant height and grain diameter were enteredinto the regression model and 91% of the changes explained. In factor analysis, four independent factors under normal conditions and three independent factors under stress conditions were 69.62% and 74.16% of total data changes. Considering the results obtained in terms of moisture stress, plant height and grain diameter, and under non stress conditions, traits related to seed characteristics (grain width, grain length and 100 seed weight) were the best traits for evaluating sunflower genotypes.

Keywords: Sunflower, Regression, Factor analysis.