روابط همبستگی و تجزیه علیت صفات مؤثر بر عملکرد دانه و روغن در تعدادی از ژنوتیپ‌های کلزا

الهه شادان[۱]، حمید نجفی زرینی[۲*]، بهرام علیزاده[۳]، غلامعلی رنجبر[۲] و غفار کیانی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۹)

چکیده

با توجه به نیاز روز افزون کشور به واردات روغن و اهمیت کلزا در بین دانه‌های روغنی، افزایش عملکرد دانه و درصد روغن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. بنابراین شناخت صفاتی که موجب افزایش عملکرد دانه می‌شوند، نقش مهمی در موفقیت برنامه‌های به‌نژادی دارند. شانزده ژنوتیپ کلزا، طی آزمایشی درسال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در سه منطقه کرج، اصفهان و همدان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند و صفاتی مانند تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع اولین ساقه جانبی از سطح زمین، قطر ساقه، درصد روغن، صفات روز تا شروع گلدهی، روز تا پایان گلدهی، طول دوره گلدهی و روز تا رسیدگی اندازه‌گیری شدند. نتایج رگرسیون گام به گام نشان داد در کرج صفات تعداد دانه در خورجین، روز تا رسیدگی و تعداد خورجین در بوته (R^2 = ۹۷/۷)، در اصفهان صفات روز تا رسیدگی و تعداد خورجین در بوته (R^2 = ۷۸/۴) و در همدان صفات روز تا رسیدگی و تعداد دانه در خورجین (R^2 = ۴۵/۵) بیشترین تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند. نتایج نشان داد تعداد روز تا رسیدگی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، قطر ساقه و ارتفاع بوته بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد و روغن دانه داشتند. لذا از صفات مذکور می‌توان به‌عنوان معیار انتخاب مناسب برای افزایش عملکرد دانه و روغن در برنامه‌های به‌نژادی کلزای زمستانه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون گام به گام، تجزیه عاملی، انتخاب غیرمستقیم، روش‌های آماری چند متغیره

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و اعضای هیأت علمی گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳. دانشیار، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: najafi316@gmail.com

مقدمه

دانه کلزا دومین منبع تولید روغن خوراکی در جهان با بالاترین میزان روغن دانه و پایین‌ترین مقدار اسید چرب اشباع شده است (۱۳ و ۲۴). در سال‌های اخیر معرفی کلزا به نظام تولید دانه‌های روغنی به‌دلیل خصوصیات مطلوب زراعی، درصد بالای روغن و کیفیت بالای آن مورد توجه سیاست‌گذاران بخش کشاورزی قرار گرفته است (۱). با توجه به آنچه در مورد اهمیت گیاه کلزا به‌عنوان یک گیاه روغنی و جایگاه بالای آن در بین سایر دانه‌های روغنی گفته شد، افزایش عملکرد دانه و نیز درصد روغن از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا شناخت صفات مؤثر بر عملکرد دانه دارای اهمیت بسزایی است تا بتوان با بهبود آنها از طریق روش‌های به‌نژادی باعث افزایش عملکرد دانه شد (۴). برخی پژوهشگران گزارش کرده‌اند که به‌نژادی در جهت افزایش عملکرد کلزا تا حدود زیادی ناشی از افزایش قدرت مخزن (تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین) به‌ویژه از طریق تعداد خورجین در بوته بوده است و تعداد بیشتر دانه، تقاضای زیادی را برای مواد فتوسنتزی ایجاد کرده و در نتیجه تولید مواد فتوسنتزی را افزایش می‌دهد و هر عاملی که باعث افزایش این صفت شود منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد (۲ و ۳۰). با توجه به اینکه در برنامه‌های اصلاح نباتات، انتخاب بر اساس تعداد زیادی صفت صورت می‌گیرد و ممکن است فرایند انتخاب را سخت کند، یکی از مهم‌ترین اهداف به‌نژادگران کاهش حجم اطلاعات در برنامه‌های اصلاحی است. در این خصوص استفاده از همبستگی میان صفات یکی از پرکاربردترین روش‌هایی است که توسط محققان مورد استفاده قرارگرفته است. تحقیقات مجیدی و همکاران (۱۸) نشان داد که وزن هزار دانه، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته، ارتفاع بوته، تعداد روز تا رسیدگی و دوره گلدهی همبستگی مثبت و معنی‌داری باعملکرد دانه دارند. مرجانوویک جرومالا و همکاران (۱۹) طی آزمایشی به بررسی روابط بین صفات کمی و عملکرد روغن کلزا پرداختند و نشان دادند که عملکرد روغن با درصد روغن، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. اما تجزیه همبستگی، رابطه علت و معلولی بین صفات را بیان نمی‌کند (۲۲). تجزیه علیت (مسیر) نوعی تجزیه رگرسیون جزئی و استاندارد شده است. این روش امکان تفکیک ضریب همبستگی را به اثرات مستقیم و غیرمستقیم می‌دهد (۹). در مطالعه فروغی و همکاران (۱۱)، رگرسیون گام به گام نشان داد که تعداد خورجین در بوته، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک، ۹۹ درصد تغییرات مربوط به عملکرد را توجیه می‌کنند. در بین صفات وارد شده به مدل تعداد خورجین در بوته به تنهایی ۶۲ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد را توجیه کرد که نشان‌دهنده اهمیت بالای این صفت در تعیین عملکرد نهایی بود. تجزیه عاملی از دیگر روش‌های آماری چند متغیره، جهت درک عمیق‌تر روابط بین صفات است و یک روش آماری مؤثر در کاهش حجم داده‌ها و نتیجه‌گیری قطعی از داده‌هایی است که همبستگی بالایی را بین متغیرهای اولیه نشان می‌دهند (۸). مرادی و همکاران (۲۱) با انجام تحلیل عامل‌ها، دو عامل مهم را شناسایی کردند که عامل اول تحت عنوان صفات مرتبط با عملکرد، شامل صفات تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه بود. عامل دوم، عامل رشد رویشی، شامل صفات روز تا رسیدگی، روز تا گلدهی و طول دوره گلدهی بود. در مجموع این دو عامل ۶۵ درصد از کل تغییرات واریانس را توجیه کرد. هدف از انجام این مطالعه، بررسی روابط بین عملکرد دانه و صفات مهم تأثیر گذار بر آن و تعیین نقش و میزان سهم هر یک از این صفات بر عملکرد دانه، همچنین یافتن روابط بین عملکرد روغن با صفات مورد بررسی است تا از این صفات به‌عنوان معیار گزینشی برای رسیدن به ارقام و ژنوتیپ‌های با عملکرد و درصد روغن بالا استفاده شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در پائیز سال ۱۳۹۵ در سه منطقه شامل مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، ایستگاه کبوتر آباد اصفهان و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی

همدان در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۱۶ ژنوتیپ انجام شد. ژنوتیپ‌ها شامل ۹ رقم هیبرید خارجی DK Expower، DK Extorm، DK Excalibur، ES Natalie، ESD Artist anube، SY-Vesuvio، SY-Medea، SY-Harnus و لاین‌های HL3721، HL2012، و ارقام نیما، نفیس، SLM-046، اکاپی و احمدی بود. در طول دوره رشد، صفات فنولوژیک شامل روز تا شروع گلدهی، روز تا پایان گلدهی، طول دوره گلدهی و روز تا رسیدگی برای هر رقم ثبت شد. به‌منظور تعیین ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع اولین ساقه جانبی از سطح زمین و قطر ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از هر کرت آزمایشی ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین این صفات در آنها تعیین شد. برای تعیین وزن هزار دانه، سه نمونه از محصول هر کرت به وسیله دستگاه بذر شمار، شمارش وسپس توزین شد. عملکرد دانه پس از رسیدن فیزیولوژیک در هر تیمار با حذف دو خط کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت بر حسب کیلوگرم در هکتار برای هر کرت ثبت شد. درصد روغن با استفاده از دستگاه سوکسله استخراج و عملکرد روغن نیز از حاصلضرب درصد روغن هر رقم در عملکرد دانه آن محاسبه شد. در پایان از نرم‌افزار Excel برای آماده‌سازی و تبدیل داده‌ها استفاده شد و داده‌ها توسط نرم‌افزارهای SPSS، MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تجزیه همبستگی

ضرایب همبستگی ساده صفات در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. در تمام مناطق عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد روغن، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و ارتفاع بوته داشت، این نتایج با نتایج مطالعات سایر محققان مشابهت داشت (۱۰، ۱۱، ۱۵، ۲۵ و ۲۹). همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی مناطق ژنوتیپ‌هایی که از لحاظ تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و ارتفاع بوته دارای برتری هستند، عملکرد بالاتری دارند. در واقع تعداد دانه در خورجین یکی از مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده عملکرد به حساب می‌آید و هر چه تعداد دانه در خورجین بیشتر باشد در نهایت منجر به افزایش عملکرد خواهد شد. انجدی و همکاران (۳) نشان دادند که تعداد خورجین در گیاه از مهم‌ترین اجزاء عملکرد در کلزا محسوب می‌شود. همبستگی مثبت بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته را می‌توان به ذخیره و انتقال هیدرات‌های کربن در ساقه نسبت داد، معمولاً ارقام پابلند می‌توانند مقدار بیشتری از هیدرات‌های کربن را قبل از گلدهی در ساقه خود ذخیره و در مرحله بعد از گلدهی به دانه‌ها منتقل کنند (۱۶). همبستگی ارتفاع اولین ساقه جانبی با عملکرد دانه در کرج و همدان مثبت و معنی‌دار و در اصفهان مثبت و غیر معنی‌دار بود، در واقع تشکیل ساقه جانبی نزدیک سطح زمین می‌تواند از لحاظ تشکیل تعداد خورجین بیشتر یک مزیت و به‌دلیل عدم وجود نور کافی که میزان سقط و پوک شدن خورجین‌ها را افزایش می‌دهد از معایب باشد و ممکن است برداشت مکانیزه با مشکل مواجه شود (۵). همبستگی عملکرد دانه با تعداد روز تا رسیدگی در کرج و اصفهان در سطح احتمال یک درصد و در همدان در سطح احتمال پنج درصد منفی و معنی‌دار بود. همبستگی عملکرد دانه با صفت روز تا شروع گلدهی در تمامی مناطق منفی و در کرج در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (عدم معنی‌داری در دو منطقه دیگر)، این نتایج با یافته‌های یافته‌های عجازالحسن و همکاران (۱۰) و طاهیرا و همکاران (۲۹) مشابهت داشت. سریع‌ترحادث شدن زمان گلدهی، باعث طولانی‌تر شدن دوره پر شدن دانه می‌شود. در واقع زمانی که گلدهی سریع‌تر رخ می‌دهد به همان نسبت گلبرگ‌ها سریع‌تر ریزش می‌کنند و بنابراین سایه اندازی ناشی از گل‌ها روی برگ‌های درون کانوپی کاهش می‌یابد که این مسئله از طریق افزایش میزان نور نفوذ کرده به داخل کانوپی، فتوسنتز را افزایش داده و به رشد بهتر خورجین‌ها کمک می‌کند (۶). همبستگی عملکرد دانه با تعداد روز تا پایان گلدهی در اصفهان منفی و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار، در کرج منفی و غیر معنی‌دار و در همدان مثبت و غیر معنی‌دار و با صفت طول گلدهی در کرج و اصفهان منفی و غیر معنی‌دار و در همدان مثبت

جدول ۱. ضرایب همبستگی میان صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌ها در منطقه کرج

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱-عملکرد دانه ($Kg\ h^{-1}$)	۱													
۲-عملکرد روغن ($Kg\ h^{-1}$)	۰/۹۹**	۱												
۳-تعداد دانه در خورجین	۰/۹۷**	۰/۹۶**	۱											
۴-تعداد خورجین در بوته	۰/۸۱**	۰/۷۹**	۰/۸۴**	۱										
۵-وزن هزاردانه(g)	-۰/۲۳ns	-۰/۲۳ns	-۰/۳۱ns	-۰/۳۸ns	۱									
۶-درصد روغن	-۰/۲۶ns	-۰/۱۸ns	-۰/۲۹ns	-۰/۲۶ns	-۰/۰۳ns	۱								
۷-ارتفاع (cm)	۰/۵۰*	۰/۳۰ns	۰/۱۸ns	۰/۱۶ns	۰/۳۵ns	-۰/۰۴ns	۱							
۸-ارتفاع اولین ساقه جانبی (cm)	۰/۸۶**	-۰/۳۱ns	۰/۸۳**	۰/۶۸**	۰/۰۵ns	-۰/۲۰ns	۰/۴۹ns	۱						
۹-تعداد شاخه فرعی	-۰/۲۹ns	-۰/۳۹ns	-۰/۳۵ns	-۰/۱۶ns	-۰/۱۹ns	-۰/۲۰ns	-۰/۱۹ns	-۰/۳۳ns	۱					
۱۰-قطر ساقه (mm)	-۰/۳۵ns	۰/۸۶**	-۰/۳۹ns	-۰/۲۶ns	-۰/۱۹ns	-۰/۲۷ns	-۰/۳۷ns	-۰/۵۰*	۰/۸۸**	۱				
۱۱-روزتا شروع گلدهی (روز)	-۰/۵۱*	-۰/۵۲*	-۰/۴۶ns	-۰/۴۵ns	-۰/۰۹ns	۰/۰۴ns	-۰/۳۸ns	-۰/۳۴ns	۰/۲۷ns	۰/۳۳ns	۱			
۱۲-روز تا پایان گلدهی (روز)	-۰/۴۲ns	-۰/۴۴ns	-۰/۳۷ns	-۰/۳۹ns	-۰/۰۱ns	-۰/۱۲ns	-۰/۳۹ns	-۰/۴۰ns	۰/۴۳ns	۰/۵۹*	۰/۳۶ns	۱		
۱۳-طول گلدهی (روز)	-۰/۲۱ns	-۰/۲۳ns	-۰/۱۸ns	-۰/۱۶ns	۰/۰۴ns	-۰/۱۵ns	-۰/۲۴ns	-۰/۲۷ns	۰/۳۴ns	۰/۴۸ns	-۰/۰۸ns	۰/۹۰**	۱	
۱۴-روز تا رسیدگی (روز)	-۰/۹۶**	-۰/۹۶**	-۰/۹۴**	-۰/۹۱**	۰/۲۵ns	۰/۲۱ns	-۰/۳۲ns	-۰/۸۴**	۰/۲۷ns	۰/۳۶ns	۰/۵۵*	۰/۴۲ns	۰/۱۹ns	۱

ns، * و ** ، به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و سطح احتمال یک درصد

جدول ۲. ضرایب همبستگی میان صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های در مناطق اصفهان (اعداد بالای قطر) و همدان (اعداد پایین قطر)

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
۱–عملکرد دانه ($Kg\ h^{-1}$)	۱	۰/۹۹**	۰/۸۱**	۰/۷۵**	۰/۴۷^{ns}	۰/۳۶^{ns}	۰/۷۶**	۰/۱۲^{ns}	۳۵^{ns}	-۰/۴۲^{ns}	-۰/۳۳^{ns}	-۰/۵۹*	-۰/۱۱^{ns}	-۰/۷۶**
۲–عملکرد روغن ($Kg\ h^{-1}$)	۰/۹۷**	۱	۰/۷۹**	۰/۷۲**	۰/۵۰*	۰/۴۷^{ns}	۰/۷۲**	۰/۱۱^{ns}	۰/۳۰^{ns}	-۰/۴۲^{ns}	-۰/۳۹^{ns}	-۰/۵۷*	-۰/۰۴^{ns}	-۰/۷۳**
۳–تعداد دانه در خورجین	۰/۴۹*	۰/۴۲^{ns}	۱	۰/۶۵**	۰/۵۸*	۰/۱۶^{ns}	۰/۸۹**	۰/۰۸^{ns}	۰/۴۵^{ns}	-۰/۲۶^{ns}	-۰/۱۷^{ns}	-۰/۶۴**	-۰/۳۱^{ns}	-۰/۷۶**
۴–تعداد خورجین در بوته	۰/۴۹*	۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۸^{ns}	۱	۰/۳۰^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۰/۵۰*	۰/۴۸*	۰/۴۴^{ns}	-۰/۳۶^{ns}	-۰/۴۴^{ns}	-۰/۴۵^{ns}	-۰/۰۴^{ns}	-۰/۴۱^{ns}
۵–وزن هزاردانه (g)	-۰/۳۱^{ns}	-۰/۳۱^{ns}	۰/۱۱^{ns}	-۰/۴۹*	۱	۰/۵۰*	۰/۴۲^{ns}	-۰/۰۶^{ns}	۰/۳۲^{ns}	-۰/۰۲^{ns}	-۰/۴۲^{ns}	-۰/۴۰^{ns}	۰/۱۴^{ns}	-۰/۴۰^{ns}
۶–درصد روغن	-۰/۳۶^{ns}	-۰/۲۱^{ns}	-۰/۴۶*	-۰/۳۶^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۱	۰/۰۹^{ns}	-۰/۰۶^{ns}	-۰/۲۵^{ns}	-۰/۲۲^{ns}	-۰/۵۷*	-۰/۰۹^{ns}	۰/۴۹*	-۰/۱۴^{ns}
۷–ارتفاع (cm)	۰/۷۱**	۰/۶۷**	۰/۳۱^{ns}	۰/۱۶^{ns}	-۰/۲۱^{ns}	-۰/۴۲^{ns}	۱	۰/۰۵^{ns}	۰/۴۱^{ns}	-۰/۳۴^{ns}	-۰/۱۸^{ns}	-۰/۵۱*	-۰/۱۹^{ns}	-۰/۷۶**
۸–ارتفاع اولین ساقه جانبی (cm)	۰/۵۳*	۰/۵۳*	۰/۱۵^{ns}	۰/۲۶^{ns}	-۰/۰۷^{ns}	-۰/۰۶^{ns}	۰/۷۱**	۱	-۰/۰۳^{ns}	-۰/۵۰*	-۰/۲۰^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۲۴^{ns}	-۰/۰۲^{ns}
۹–تعداد شاخه فرعی	۰/۲۹^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۰/۰۸^{ns}	-۰/۲۵^{ns}	-۰/۲۸^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۰/۰۸^{ns}	۱	۰/۴۵^{ns}	۰/۰۲^{ns}	-۰/۴۴^{ns}	-۰/۳۴^{ns}	-۰/۰۸^{ns}
۱۰–قطر ساقه (mm)	-۰/۰۳^{ns}	-۰/۰۶^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۰/۲۵^{ns}	۰/۰۹^{ns}	-۰/۲۲^{ns}	-۰/۲۲^{ns}	-۰/۵۰*	-۰/۲۶^{ns}	۱	۰/۳۸^{ns}	۰/۰۲^{ns}	-۰/۳۶^{ns}	۰/۵۳*
۱۱–روزتا شروع گلدهی (روز)	-۰/۱۳^{ns}	-۰/۲۲^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۰/۵۴*	-۰/۲۵^{ns}	-۰/۴۶^{ns}	-۰/۰۵^{ns}	-۰/۲۲^{ns}	-۰/۳۸^{ns}	۰/۳۶^{ns}	۱	۰/۳۳^{ns}	-۰/۷۳**	۰/۰۹^{ns}
۱۲–روز تا پایان گلدهی (روز)	۰/۳۶^{ns}	۰/۲۶^{ns}	۰/۲۷^{ns}	۰/۳۵^{ns}	-۰/۳۶^{ns}	-۰/۶۳**	۰/۲۹^{ns}	۰/۲۵^{ns}	-۰/۱۷^{ns}	-۰/۰۹^{ns}	۰/۶۵**	۱	۰/۴۰^{ns}	۰/۲۹^{ns}
۱۳–طول گلدهی (روز)	۰/۵۵*	۰/۵۷*	۰/۰۴^{ns}	-۰/۳۲^{ns}	-۰/۰۸^{ns}	-۰/۰۹^{ns}	۰/۳۸^{ns}	۰/۵۶*	۰/۳۰^{ns}	-۰/۵۶*	-۰/۵۷*	۰/۲۵^{ns}	۱	۰/۱۳^{ns}
۱۴–روز تا رسیدگی (روز)	-۰/۵۴*	-۰/۵۷*	۰/۰۱^{ns}	۰/۳۵^{ns}	-۰/۰۱^{ns}	-۰/۰۹^{ns}	-۰/۵۸*	-۰/۴۶^{ns}	-۰/۳۷^{ns}	۰/۴۰^{ns}	۰/۴۹*	۰/۱۲^{ns}	-۰/۵۰*	۱

ns * و **، به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و سطح احتمال یک درصد

و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. در کرج و اصفهان ژنوتیپ‌هایی که زودتر به گل رفته و طول دوره گلدهی کوتاه‌تری داشتند و در همدان ژنوتیپ‌هایی که زودتر به گل رفته ولی دارای طول دوره گلدهی بیشتری بودند دارای عملکرد بیشتری بودند. در کرج و اصفهان همان‌طور که گفته شد طول دوره گلدهی کوتاه‌تر بود ولی طولانی‌تر شدن دوره پر شدن دانه و افزایش فتوسنتز به‌دلیل ریزش گلبرگ‌ها، باعث رشد بهتر خورجین‌ها شده و از این طریق موجب افزایش در میزان عملکرد دانه می‌شود. اما افزایش طول دوره گلدهی در همدان موجب افزایش در تعداد گل‌های تلقیح شده و در نتیجه افزایش تعداد خورجین‌های بارور می‌شود و این امر موجب افزایش در میزان عملکرد دانه خواهد شد. دلیل تفاوت واکنش ژنوتیپ‌ها می‌تواند به موجب شرایط متفاوت آب و هوایی و زراعی و واکنش‌های مختلف ژنوتیپ‌ها به این شرایط، در این مناطق باشد. در واقع گیاه در شرایط مختلف استراتژی‌های متفاوتی را برای داشتن عملکرد بالا اعمال می‌کند. ولی در تمامی مناطق گیاهان با طول دوره روز تا رسیدگی کمتر (زودرس‌تر) دارای بالاترین عملکرد هستند و همبستگی این صفت با عملکرد دانه در تمامی مناطق معنی‌دار بود. یکی از دلایل این امر، احتمالاً برخورد مراحل پایانی رشد گیاهان با دمای بالا، در آخر فصل زراعی است. گیاه برای جلوگیری از این امر اقدام به کوتاه کردن طول دوره رسیدگی می‌کند. یکی دیگر از دلایل عدم یکنواختی رسیدگی در تمام بوته‌ها در یک کرت آزمایش بود. در هر کرت حدود ده تا بیست درصد از بوته‌ها سریعتر به گل رفتند و همچنین شاخه‌های پایینی در کلزا به طور طبیعی زودتر از شاخه‌های بالایی به گل می‌روند. افزایش دوره رسیدگی در این ژنوتیپ‌ها موجب افزایش ریزش در خورجین‌های رسیده شد و این امر باعث کاهش عملکرد گیاهان با طول روز تا رسیدگی بیشتر بود. این نتایج، با نتایج سایر محققان (۷ و ۲۷) مشابه بود. همبستگی عملکرد روغن در تمامی مناطق با صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در خورجین مثبت و با صفت روز تا رسیدگی منفی و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. علاوه بر صفات یاد شده به‌ترتیب در کرج همبستگی عملکرد روغن با صفات تعداد خورجین در بوته، قطر ساقه و روز تا شروع گلدهی معنی‌دار، در اصفهان با صفات تعداد خورجین در بوته، ارتفاع بوته، روز تا پایان گلدهی و وزن هزار دانه و در همدان با صفات ارتفاع اولین ساقه جانبی از سطح زمین، ارتفاع بوته و طول دوره گلدهی معنی‌دار و با بقیه صفات معنی‌دار نبود. مشاهده می‌شود در تمامی مناطق همبستگی بین عملکرد روغن با اکثر صفات، مانند همبستگی عملکرد دانه با صفات است. در واقع هر صفتی که موجب افزایش در میزان عملکرد دانه شود به‌طور غیرمستقیم و با توجه به نحوه محاسبه عملکرد روغن، موجب افزایش در عملکرد روغن نیز می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که یکی از بهترین راهکارها جهت افزایش عملکرد روغن در گیاه کلزا، افزایش عملکرد دانه است. یکی از مهم‌ترین اجزای مؤثر عملکرد دانه بر عملکرد روغن در تمامی مناطق تعداد دانه در خورجین است. در حقیقت هرچه تعداد دانه در خورجین بیشتر باشد مخزن بزرگ‌تری برای مواد فتوسنتزی ایجاد می‌شود و با تولید بیشتر آسمیلات‌ها موجب انتقال حجم بیشتری از مواد تولیدی به دانه می‌شود، این مسئله نیز سبب افزایش عملکرد دانه و در نهایت عملکرد روغن گیاه می‌شود. نتایج تحقیقی که توسط ربیعی و همکاران (۲۲) با هدف بررسی صفات مؤثر بر عملکرد دانه و روغن برخی ژنوتیپ‌های کلزا صورت گرفت نشان داد که عملکرد روغن همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه، وزن هزار دانه و درصد روغن داشت، درحالی‌که با صفت تعداد روز تا خورجین‌دهی همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. با توجه به پیچیدگی ارتباط بین صفات نتیجه‌گیری بر اساس ضرایب همبستگی کار چندان آسان و دقیقی نیست. از این رو اقدام به استفاده از روش‌های آماری چند متغیره جهت درک بهتر روابط بین صفات شد.

تجزیه رگرسیون گام به گام

از رگرسیون گام به گام به‌منظور تعیین متغیرهای با ارزش و مؤثر بر متغیر تابع وتهیه بهترین مدل برای توجیه تغییرات آن استفاده می‌شود. نتایج تجزیه رگرسیون (جدول ۳)، در منطقه کرج نشان

جدول ۳. مراحل رگرسیون گام به گام صفات مؤثر بر عملکرد دانه به‌عنوان متغییر وابسته و صفات مورد مطالعه به‌عنوان متغییر مستقل در منطقه کرج، اصفهان و همدان

منطقه	کرج			اصفهان			همدان		
گام	۱	۲	۳	گام	۱	۲	گام	۱	۲
عرض از مبدأ	-۱/۱۲۲	۸/۷۲۰	۱۸/۳۲۸	عرض از مبدأ	۶۰۶۵۸/۳۱۶	۴۳۳۵۰/۷۳۷	عرض از مبدأ	۵۰۵۳۶/۸۰۰	۴۲۲۶۷/۳۶۹
تعداد دانه در خورجین	۰/۰۸۶	۰/۰۵۴	۰/۰۵۰	روز تا رسیدگی	-۲۴۱/۰۰۶	-۱۷۴/۰۷۵	روز تا رسیدگی	-۱۶۳/۱۴۸	-۱۶۳/۳۰۴
روز تا رسیدگی	--	-۰/۰۳۶	-۰/۰۳۷	تعدادخورجین دربوته	--	۳/۸۶۵	تعداد دانه درخورجین	--	۳۲۵/۴۷۰
تعدادخورجین دربوته	--	--	۰/۰۰۰	درصد ضریب تبیین (R^2)	۰/۵۵۵	۰/۷۸۴	درصد ضریب تبیین (R^2)	۰/۳۲۸	۰/۴۵۴
درصد ضریب تبیین (R^2)	۰/۹۳۹	۰/۹۵۵	۰/۹۷۸	--	--	--	--	--	--
معادله رگرسیونی				معادله رگرسیونی			معادله رگرسیونی		
Y=۱۸/۳۲۸+۰/۰۵۰S-۰/۰۷۳D+۰/۰۰۰P				Y=۴۳۳۵۰/۷۳۷ -۱۷۴/۰۷۵D+۳/۸۶۵P			Y=۴۲۲۶۷/۳۶۹ -۱۶۳/۳۰۴D+۳۲۵/۴۷۰S		

S، D و P به‌ترتیب تعداد دانه در خورجین، روز تا رسیدگی و تعداد خورجین در بوته

داد اولین صفت وارد شده به مدل تعداد دانه در خورجین بود که ۹۳/۹ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرد. صفات بعدی به‌ترتیب روز تا رسیدگی و تعداد خورجین در بوته بود. در مجموع این سه صفت ۹۷/۸ درصد تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه کردند. در منطقه اصفهان صفات روز تا رسیدگی و تعداد خورجین در بوته به ترتیب وارد مدل رگرسیونی شده و در مجموع این دو صفت باهم ۷۸/۴ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند و در نهایت در همدان صفات روز تا رسیدگی و تعداد دانه در خورجین به‌ترتیب وارد مدل شده و در مجموع این دو صفت ۴۵/۴ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه کرد. صفات وارد شده به مدل رگرسیونی در تمامی مناطق همبستگی بسیار بالایی با عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد داشتند، که نشان‌دهنده مطابقت نتایج حاصل از همبستگی با تجزیه رگرسیون گام به گام است. صفت روز تا رسیدگی در تمامی مناطق یکی از صفات تأثیر گذار روی عملکرد دانه است. همبستگی و تأثیر منفی این صفت بر عملکرد دانه، نشان می‌دهد که در تمامی مناطق گیاهان زودرس‌تر دارای عملکرد بالاتری هستند و یکی از تفاوت‌های مهم ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت در تعداد روز تا رسیدگی (زودرسی) آنها است. احتمالاً با توجه به وقوع گرمای شدید آخر فصل و در نتیجه‌ی وجود محدودیت منبع و اهمیت اختصاص بهینه مواد پرورده به دانه، زودرسی یک مزیت به شمار می‌آید و رشد دانه در ارقام دیررس‌تر احتمالاً توسط شرایط محیطی، قبل از رسیدگی متوقف می‌شود و این امر باعث کاهش عملکرد می‌شود. هابکوت (۱۲) عملکرد دانه کلزا را تابعی از سه جزء تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه درخورجین و وزن هزار دانه بیان کرد. در تحقیقی که بر صفات مؤثر بر عملکرد دانه در کلزا توسط سلطانی‌هویزه و همکاران (۲۸) صورت گرفت، نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد که صفات روز تا گلدهی، تعداد دانه در خورجین، روز تا رسیدگی و ارتفاع گیاه ۸۹/۷ درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه کرند.این صفات همبستگی بالایی با عملکرد دانه داشتند.

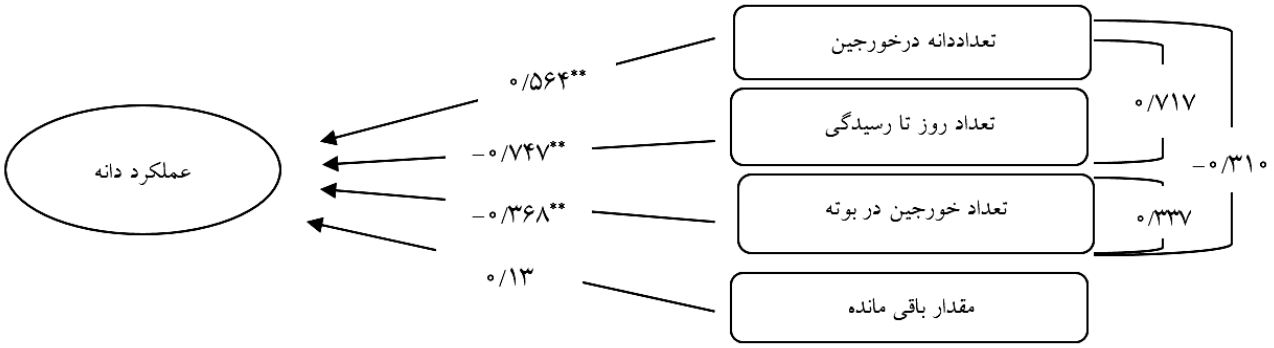
تجزیه علیت عملکرد دانه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه علیت (جدول ۴)، در کرج (شکل ۱) صفت تعداد دانه در خورجین بیشترین اثر مستقیم و مثبت (۰/۵۶) را بر عملکرد دانه داشت و دارای همبستگی بالا با عملکرد دانه بود (**۰/۹۷) و ضمناً اولین صفتی بود که وارد مدل رگرسیونی شد، این موارد نشان‌دهنده‌ی تأثیر زیاد این صفت در تبیین عملکرد دانه است. بیشترین اثر غیرمستقیم و مثبت (۰/۷۲) این صفت از طریق تعداد روز تا رسیدگی است. صفت روز تا رسیدگی اثر مستقیم منفی و بالایی (۰/۷۶-) روی عملکرد دانه داشت. همان‌طور که قبلاً مشاهده کردیم همبستگی این صفت با عملکرد دانه نیز منفی بود. اثر غیرمستقیم روز تا رسیدگی از طریق تعداد دانه در خورجین منفی (۰/۵۳-) و از طریق تعداد خورجین در بوته مثبت (۰/۳۴) بود. صفت تعداد خورجین در بوته اثر مستقیم منفی (۰/۳۷-) و کمتری نسبت به دو صفت دیگر روی عملکرد دانه در منطقه کرج دارد. اما اثر غیر مستقیم این صفت از طریق روز تا رسیدگی (۰/۷۰) و تعداد دانه در خورجین (۰/۴۸) مثبت بود، همان‌طور که مشاهده می‌شود اثرات غیرمستقیم تعداد خورجین در بوته از طریق این دو صفت بر عملکرد دانه بیشتر از اثر مستقیم آن بود و این اثرات غیرمستقیم بالا، باعث مثبت شدن همبستگی بین تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه شده است. در آزمایش اسماعیلی و همکاران (۱۵)، تجزیه علیت برای صفات مؤثر بر عملکرد دانه نشان داد که صفت طول خورجین و تعداد خورجین در بوته به‌ترتیب با ۰/۵۹ و ۰/۴۰ بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشتند. با توجه به اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات، صفات تعداد دانه در خورجین، روز تا رسیدگی و تعداد خورجین در بوته می‌تواند معیار گزینشی مناسبی برای افزایش عملکرد کلزا در منطقه کرج باشد. نتایج تجزیه علیت در اصفهان نشان داد که صفت روز تا رسیدگی بیشترین تأثیر مستقیم و منفی (۰/۵۵-) و صفت تعداد خورجین در بوته بیشترین تأثیر مستقیم و مثبت (۰/۵۲) بر عملکرد دانه در منطقه اصفهان داشت. تعداد خورجین در بوته یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد است و با

جدول ۴. اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات مؤثر بر عملکرد دانه در منطقه کرج، اصفهان و همدان

منطقه	کرج				اصفهان				همدان			
صفت	NS	DM	NP	r1	صفت	DM	NP	r2	صفت	DM	NS	r3
NS	۰/۵۶۴**	۰/۷۱۷	−۰/۳۱۰	۰/۹۷۱**	DM	−۰/۵۵۲**	−۰/۲۱۲	−۰/۷۶۴**	DM	−۰/۵۳۸**	۰/۰۰۱	−۰/۵۳۷*
DM	−۰/۵۲۹	−۰/۷۶۴**	۰/۳۳۷	−۰/۹۵۷**	NP	۰/۲۴۴	۰/۵۲۳**	۰/۷۴۷**	NS	−۰/۰۰۱	۰/۴۸۸**	۰/۴۸۷*
NP	۰/۴۷۵	۰/۶۹۹	۰/۳۶۸**	۰/۸۰۷**	--	--	--	--	--	--	--	--
مقدار باقی مانده = ۰/۱۳					مقدار باقی مانده=۰/۴۳۲				مقدار باقی مانده=۰/۶۸۷			
R^2=۰/۹۸۳					R^2=۰/۸۱۳				R^2=۰/۵۲۷			

NS: **تعداد دانه در خورجین**، DM: **روزتارسیدگی**، NP: **تعداد خورجین در بوته**، r1: **همبستگی عملکرد دانه و صفت در کرج**، r2: **همبستگی عملکرد دانه و صفت در اصفهان**، r3: **همبستگی عملکرد دانه و صفت در همدان**، ns، *و** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و سطح احتمال یک درصد



شکل ۱. نمودار تجزیه علیت عملکرد دانه مربوط به منطقه کرج

افزایش تعداد خورجین در بوته که حاوی دانه است، شاهد افزایش عملکرد دانه خواهیم بود.

در این رابطه شیرانی‌راد و همکاران (۲۶) بیان کردند که خورجین‌ها حاوی دانه‌ها هستند و در مراحل اولیه پر شدن دانه از طریق انجام فتوسنتز در رشد و تکامل دانه‌ها مشارکت می‌کنند. با توجه به تأثیر آنها بر عملکرد دانه می‌توان گفت در منطقه اصفهان انتخاب بوته‌هایی با تعداد روز تا رسیدگی کمتر و تعداد بیشتر خورجین در بوته منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد. نتایج تجزیه علیت در همدان نشان داد صفت روز تا رسیدگی تأثیر مستقیم و منفی (۰/۵۳۸-) بر عملکرد دانه داشت. اثر غیر مستقیم این صفت از طریق تعداد دانه در خورجین بسیار اندک (۰/۰۰۰۴۸) و مثبت بود. صفت تعداد دانه در خورجین اثر مستقیم مثبت (۰/۴۸۸) بر عملکرد دانه داشت و اثر غیر مستقیم آن از طریق تعداد روز تا رسیدگی منفی (۰/۰۰۰۵۳-) و بسیار اندک بود. مندهام و همکاران (۲۰) دریافتند که افزایش تعداد دانه در خورجین یک عامل کلیدی در افزایش عملکرد ارقام است.

با توجه به همسویی بین همبستگی و اثرات مستقیم صفات و اثرات غیرمستقیم اندک صفات، همبستگی مشاهده شده بین این صفات و عملکرد دانه در منطقه همدان ناشی از اثر مستقیم صفات روی عملکرد است و این نشان‌دهنده یک رابطه واقعی بین آنها است و صفات دیگر روی این همبستگی تأثیر ندارند پس به راحتی می‌توان از این صفات برای افزایش عملکرد در منطقه همدان استفاده کرد بدون اینکه بقیه صفات تأثیرگذار باشند.

تجزیه علیت عملکرد روغن

نتایج تجزیه علیت عملکرد روغن دانه (جدول ۵) در مناطق کرج و اصفهان نشان داد عملکرد دانه بیشترین اثر مستقیم و مثبت را بر عملکرد روغن داشت و مقدار آن به‌ترتیب در کرج و اصفهان ۱/۰۲** و ۰/۹۷** بود. صفت درصد روغن اثر مستقیم مثبت و بر عملکرد روغن دانه داشت و میزان آن به‌ترتیب در کرج و اصفهان ۰/۰۸** و ۰/۱۳** بود. علاوه بر دو صفت یاد شده، در اصفهان، صفت تعداد روز تا رسیدگی نیز اثر مستقیم و مثبت (۰/۰۳**) بر عملکرد روغن داشت. بیشترین اثر غیرمستقیم مربوط به اثر تعداد روز تا رسیدگی از طریق عملکرد دانه (۰/۷۴-) بود. اثر غیرمستقیم روز تا رسیدگی از طریق درصد روغن بر عملکرد روغن بود. دلیل همبستگی بالا و منفی روز تا رسیدگی با عملکرد روغن، مجموع اثرات غیرمستقیم آن از طریق این دو صفت است. با توجه به همبستگی منفی این دو صفت می‌توان گفت، ژنوتیپ‌های زودرس‌تر علاوه بر عملکرد دانه بالاتر دارای عملکرد روغن بالاتری نیز هستند. همبستگی بالای بین عملکرد دانه و عملکرد روغن توجیه کننده اثر مستقیم و بالای عملکرد دانه بر عملکرد روغن درمناطق کرج و اصفهان است. در واقع ، با توجه به این مطلب که عملکرد روغن از حاصلضرب عملکرد دانه و درصد روغن به دست می‌آید و تابعی از این دو مؤلفه است، نتایج بالا دور از انتظار نمی‌باشد. در مجموع این صفات در هر دو منطقه ۹۹/۹ درصد تغییرات عملکرد روغن را توجیه کردند. میزان اثر باقی‌مانده مدل (۰/۰۰) نشان از توجیه بالای صفات وارد شده در مدل داشت.

جدول ۵. اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات مؤثر بر عملکرد روغن در منطقه اصفهان، کرج و همدان

منطقه	اصفهان				کرج				همدان			
صفت	GY	OP	DM	r 1	صفت	GY	OP	r 2	صفت	DM	NS	r 3
GY	۰/۹۶۵**	۰/۰۴۷	−۰/۰۲۰	۰/۹۹۲**	GY	۱/۰۱۸**	−۰/۰۲۲	۰/۹۹۶**	DM	−۰/۵۷۶**	۰/۰۰۱	−۰/۵۷۵*
OP	۰/۳۴۵	۰/۱۳۱**	−۰/۰۰۴	۰/۴۷۲ns	OP	−۰/۲۶۱	۰/۰۸۴**	−۰/۱۷۷ns	NS	−۰/۰۰۱	۰/۴۲۸**	۰/۴۲۷ns
DM	−۰/۷۳۷	−۰/۰۱۸	۰/۰۲۶**	−۰/۷۳۰**	--	--	--	--	--	--	--	--
مقدار باقی مانده=۰۰/۰				R^2=۱/۰۰	مقدار باقی مانده=۰۰/۰			R^2=۱/۰۰	مقدار باقی مانده=۰/۶۹۷			R^2=۰/۵۱۴

GY: عملکرد دانه ($Kg\ h^{-1}$)، OP: درصد روغن، DP: روز تا رسیدگی،NS: تعداد دانه در خورجین،r1: همبستگی عملکرد روغن و صفت در اصفهان، r2: همبستگی عملکرد روغن و صفت در کرج، r3: همبستگی عملکرد روغن و صفت در همدان، ns ، * و ** ، به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و سطح احتمال یک درصد

ربیعی و همکاران (۲۲) با انجام تجزیه رگرسیون گام به گام برای عملکرد روغن نشان دادند که صفات عملکرد دانه، درصد روغن و روز تا گلدهی بیشترین تأثیر را بر عملکرد روغن داشتند و ۹۹/۱ درصد از تغییرات عملکرد روغن را توجیه کردند، بر اساس نتایج تجزیه علیت، بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد روغن را عملکرد دانه و بهدنبال آن درصد روغن داشتند. اسماعیلی و همکاران (۱۵)، طی آزمایشی در مورد صفات مرتبط با عملکرد دانه و عملکرد روغن کلزا در شرایط تنش کم‌آبی و بدون تنش نشان دادند که عملکرد دانه بیشترین اثر مستقیم را در هر دو شرایط محیطی روی عملکرد روغن داشت. نتایج تجزیه علیت در همدان نشان داد صفت روز تا رسیدگی بیشترین اثر مستقیم و منفی (**۰/۵۸-) و صفت تعداد دانه در خورجین بیشترین اثر مستقیم و مثبت را (**۰/۴۳) بر عملکرد روغن داشت. اثرات غیرمستقیم این صفات بسیار ناچیز بود و اثرات مستقیم تقریبا برابر با همبستگی این صفات با عملکرد روغن بودند و می‌توان از این صفات به راحتی و بدون نگرانی از تاثیر بقیه صفات استفاده کرد. در تحقیق حسین‌زاده و همکاران (۱۴) طول خورجین، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در هر گیاه بیشترین میزان همبستگی مثبت را با عملکرد روغن داشتند. آنها عنوان کردند که تعداد دانه زیاد در خورجین باعث انتقال حجم بیشتری از مواد فتوسنتزی به دانه می‌شود و این مسئله نیز سبب افزایش درصد روغن در گیاه می‌شود. با توجه به نتایج حاصل می‌توان در منطقه همدان با انتخاب گیاهان زودرس‌تر که دارای تعداد دانه در خورجین بالاتری نیز هستند به‌طور غیرمستقیم باعث افزایش عملکرد روغن شد.

تجزیه به عاملی

قبل از انجام تجزیه عاملی مقادیر KMO محاسبه شد و معنی‌داری آزمون بارتلت بررسی شد و پس از اطمینان از کافی بودن مقادیر همبستگی متغیرهای اولیه، تجزیه عامل‌ها به روش مؤلفه‌های اصلی انجام شد. از روش وریماکس برای دوران عامل‌ها استفاده شد. بر اساس نتایج تجزیه به عامل‌ها (جدول ۶)، در کرج سه عامل نخست که دارای ریشه‌های مشخصه بزرگتر از یک بودند انتخاب شدند. در مجموع این سه عامل ۸۵/۲ درصد از تغییرات واریانس کل را توجیه کردند. عامل اول با توجیه ۴۸/۲ درصد از تغییرات شامل صفات عملکرد دانه، عملکرد روغن دانه، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و ارتفاع اولین ساقه جانبی با ضرایب عاملی بالا و مثبت و صفت روز تا رسیدگی با ضریب عاملی منفی بود. این عامل را می‌توان عامل اجزای عملکرد و رسیدگی و پابلندی نامید. با توجه به این عامل انتخاب گیاهانی که دارای عملکرد دانه، عملکرد روغن دانه، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین بیشتر باشند و ارتفاع آنها نیز از سطح زمین بالاتر باشد و هم‌زمان زودرس باشند منجر به تولید عملکرد بیشتر خواهند شد. همان‌طور که قبلاً نیز عنوان شد تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه درخورجین جز مهم‌ترین عوامل افزایش عملکرد است و برداشت مکانیزه گیاهان با ارتفاع بیشتر ساقه جانبی از سطح زمین به راحتی امکان پذیر است. برای جلوگیری از برخورد مراحل پایانی رشد با دمای بالا در انتهای فصل زراعی، زودرسی ارقام از صفات مطلوب بوده و باعث افزایش عملکرد در ژنوتیپ‌های مذکور شده است. عامل دوم (۲۳/۷ درصد) شامل صفات قطر ساقه، طول دوره گلدهی و روز تا پایان گلدهی با ضرایب عاملی مثبت بود. این عامل را می‌توان عامل مورفو-فنولوژی نامید. در حقیقت این متغیرهای فنولوژیک با اثر بر صفات رشد رویشی (مربوط به سرمایهٔ ثابت) ساختارهای درونی و ساخت مواد فتوسنتزی سبب ذخیرهٔ مواد برای مرحله زایشی گیاه می‌شوند. عامل سوم (۱۳/۴ درصد) شامل صفات ارتفاع بوته و طول ساقه اصلی با ضرایب مثبت بود. این عامل را می‌توان عامل مؤثر ارتفاع نامید. با انجام تجزیه عاملی در اصفهان سه عامل انتخاب شدند که در مجموع ۸۰/۸ درصد تغییرات کل را تبیین کردند. عامل اول (۴۷/۲ درصد) به‌عنوان عامل اجزای عملکرد و رسیدگی و ارتفاع نامیده شد. عامل دوم (۱۶/۲ درصد)، عامل صفات فنولوژی نام گرفت. صفات طول دوره گلدهی با علامت مثبت و روز تا شروع گلدهی با علامت منفی

جدول ۶. بار عامل‌های دوران یافته، واریانس جزء و تجمعی عامل‌ها در کرج، اصفهان و همدان

مکان	کرج			اصفهان			همدان			
صفت	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	صفت	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	صفت	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم
عملکرد دانه ($Kg\ h^{-1}$)	۰/۹۷۱	-۰/۱۸۳	۰/۰۳۷	GY	۰/۹۲۴	۰/۱۸۵	-۰/۰۷۲	GY	۰/۸۸۹	-۰/۲۰۸	۰/۲۹۱	۰/۱۶۳
عملکرد روغن ($Kg\ h^{-1}$)	۰/۹۶۱	-۰/۲۱۱	۰/۰۴۴	OY	۰/۸۹۳	۰/۲۵۱	-۰/۰۷۹	OY	۰/۸۸۴	-۰/۲۵۹	۰/۲۳۶	۰/۱۳۰
تعداد خورجین دربوته	۰/۸۷۵	-۰/۰۴۶	۰/۲۰۳	NP	۰/۸۲۲	-۰/۲۵۲	۰/۱۰۰	NP	-۰/۰۶۸	۰/۲۱۲	۰/۱۳۳	۰/۹۱۱
تعداد دانه در خورجین	۰/۹۶۵	-۰/۱۲۴	۰/۱۰۷	NS	۰/۹۴۶	-۰/۰۳۲	۰/۰۵۶	NS	۰/۳۹۰	۰/۰۱۶	۰/۷۷۴	-۰/۱۷۲
روز تا رسیدگی	-۰/۹۵۶	۰/۱۵۹	-۰/۱۸۱	DM	-۰/۸۳۵	۰/۱۱۲	۰/۳۴۳	DM	-۰/۶۸۸	۰/۲۰۶	۰/۲۴۵	۰/۲۷۸
ارتفاع (cm)	۰/۱۰۶	-۰/۴۷۴	۰/۵۸۳	H	۰/۹۱۰	۰/۰۱۰	-۰/۰۰۳	H	۰/۸۷۳	۰/۱۹۲	۰/۰۲۴	۰/۱۸۸
ارتفاع اولین خورجین (cm)	۰/۷۹۵	-۰/۲۸۰	۰/۳۸۲	HB	۰/۱۰۲	۰/۲۲۲	-۰/۴۷۵	HB	۰/۷۹۹	۰/۲۶۴	-۰/۲۶۳	-۰/۰۹۲
قطر ساقه (mm)	-۰/۲۱۹	۰/۶۵۷	-۰/۴۳۵	SD	-۰/۳۴۱	-۰/۲۳۶	۰/۸۷۲	SD	-۰/۳۴۸	-۰/۰۲۱	۰/۸۳۳	۰/۱۶۸
پایان گلدهی	-۰/۲۸۱	۰/۹۲۱	۰/۰۵۸	NF	-۰/۱۹۶	-۰/۹۲۶	۰/۱۰۹	WT	-۰/۱۹۲	۰/۴۲۳	۰/۱۶۸	-۰/۷۸۴
طول دوره گلدهی	-۰/۰۸۵	۰/۹۱۲	۰/۱۳۵	DF	-۰/۲۷۶	۰/۸۴۹	-۰/۳۲۱	DF	۰/۶۷۵	-۰/۲۱۴	-۰/۳۵۲	-۰/۲۳۸
طول ساقه اصلی (cm)	۰/۲۱۶	۰/۲۶۰	۰/۸۲۷	NB	۰/۴۵۳	۰/۰۴۷	۰/۷۶۹	L	۰/۱۶۴	۰/۹۰۸	-۰/۱۳۷	-۰/۱۰۶
--	--	--	--	--	--	--	--	NB	۰/۲۸۸	-۰/۷۶۴	-۰/۱۳۹	-۰/۱۱۴
مقادیر ویژه	۶/۱۸۷	۲/۰۳۴	۱/۱۵۳	--	۵/۲۱۷	۲/۴۹۳	۱/۱۷۷	--	۴/۴۳۶	۲/۰۷۴	۱/۸۱۳	۱/۴۶۰
درصد واریانس	۴۸/۱۹	۲۳/۶۶	۱۳/۳۵	--	۴۷/۲۰	۱۶/۹۲	۱۶/۶۷	--	۳۶/۰۴	۱۶/۱۵	۱۴/۷۶	۱۴/۵۷
درصد واریانس تجمعی	۴۸/۱۹	۷۱/۸۵	۸۵/۲۱	--	۴۷/۲۰	۶۴/۱۲	۸۰/۷۹	--	۳۶/۰۴	۵۲/۱۹	۶۶,۹۵	۸۱/۵۲

GY: عملکرد دانه، OY: عملکرد روغن، NP: تعداد خورجین در بوته، NS: تعداد دانه در خورجین، DM: روز تا رسیدگی، H: ارتفاع، HB: ارتفاع اولین خورجین، SD: قطر ساقه، NF : روزتاگلدهی، DF: طول دوره گلدهی، NB: تعداد شاخه فرعی، WT: وزن هزار دانه، L: طول ساقه اصلی

در این عامل دارای بالاترین ضرایب عاملی بودند. ارقامی که زودتر وارد مرحله گلدهی می‌شوند و مدت گلدهی طولانی‌تری دارند، تعداد دانه در خورجین وتعداد خورجین در بوته بیشتری تولید می‌کنند (۲۷). این عامل موجب افزایش در میزان عملکرد می‌شود. عامل سوم مورفولوژی نام گرفت و ۱۶/۷ درصد از تغییرات را تبیین کرد و شامل صفات تعداد شاخه فرعی و قطر ساقه با علامت مثبت بود. خورجین‌ها روی شاخه‌های جانبی تشکیل می‌شوند و افزایش در تعداد شاخه‌های جانبی موجب افزایش تعداد خورجین‌ها می‌شود. قطر ساقه به‌دلیل فراهم آوردن منبعی برای انتقال مجدد مواد به دانه‌ها و افزایش وزن دانه‌ها، در افزایش عملکرد ژنوتیپ‌های گیاهی دخیل است. تجزیه عاملی در همدان نشان داد چهار عامل، ۸۱/۵ درصد از تغییرات در این منطقه را توجیه کرند. عامل اول (۳۶/۴ درصد) شامل صفات عملکرد دانه، عملکرد روغن دانه، ارتفاع بوته، ارتفاع اولین ساقه جانبی از سطح زمین و طول دوره گلدهی با علامت مثبت و روز تا رسیدگی با علامت منفی بود و عامل عملکرد و مورفو-فنولوژی نامگذاری شد. عامل دوم (۱۶/۵ درصد) شامل صفات طول ساقه اصلی و تعداد شاخه فرعی بود و عامل مورفولوژی نام گرفت. عامل سوم (۱۴/۸ درصد) شامل صفات قطر ساقه و تعداد دانه در خورجین بود که می‌توان آن را عامل مقصد فیزیولوژیک نامید. در واقع با افزایش تعداد دانه در خورجین، امکان ذخیره مواد فتوسنتزی بیشتری فراهم می‌شود و قطر ساقه از جمله صفاتی است که ارتباط مستقیم با وضعیت رشد و ارسال مواد فتوسنتزی به این اندام گیاهی، طی مرحله رشد رویشی دارد (۱۷). در مرحله پرشدن دانه این مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه به دانه‌ها انتقال می‌یابد و باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. عامل چهارم (۱۴/۶ درصد) شامل صفات تعداد خورجین در بوته با علامت مثبت و وزن هزار دانه با علامت منفی بود و عامل اجزای عملکرد نامیده شد. با توجه به اثر جبرانی اجزای عملکرد نسبت به هم در کلزا با افزایش بیشتر تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه کاهش می‌یابد، زیرا قابلیت دسترسی به مواد فتوسنتزی برای دانه‌ها کاهش یافته و در نتیجه میانگین وزن هزار دانه کاهش می‌یابد. این مطلب نشان-دهنده این موضوع است که تعداد دانه در خورجین را نمی‌توان از میزان خاصی بیشتر کرد. طی پژوهشی، رامعه (۲۳) تجزیه عامل‌ها را برای صفات تعیین کننده عملکرد در ارقام کلزا بکار برد و سه عامل را استخراج کرد. عامل اول تحت عنوان صفات فنولوژی ۳۲ درصد تنوع کل را توجیه کرد. عامل دوم و سوم به‌ترتیب، عامل اجزای اولیه عملکرد (۲۶ درصد) وعامل اجزای ثانویه عملکرد (۱۵ درصد) نام‌گذاری شدند. این سه عامل جمعاً ۷۴ درصد از تغییرات کل را توجیه کردند.

یکی از ابعاد تجزیه رگرسیون و تجزیه عامل‌ها توانایی آنها در کاهش تعداد صفات موجود در مدل است. تمامی صفاتی که وارد مدل رگرسیونی در هر یک از مناطق شدند در یکی از عامل‌های (اکثرا در عامل اول) مربوط به هر منطقه، نمود داشتند. علاوه بر این صفات، صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول گلدهی نیز در تمامی مناطق در تجزیه به عامل‌ها خود را نشان دادند و این نشان می‌دهد که علاوه بر صفات تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و روز تا رسیدگی که با توجه به نتایج تجزیه رگرسیون و تجزیه همبستگی تأثیر بسیار زیادی بر عملکرد دانه دارند، صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول گلدهی نیز جز صفات مهم تأثیر گذار بر عملکرد دانه در تمامی مناطق هستند. بوته‌ها با ارتفاع و قطر ساقه بیشتر در مراحل پایانی رشد، از طریق ارسال مواد ذخیره‌ای به مخازن موجب افزایش در میزان عملکرد دانه می‌شوند. افزایش طول دوران گلدهی موجب افزایش در تعداد گل‌های بارور می‌شود و در نتیجه‌ی آن، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین نیز افزایش می‌یابد که این امر خود موجب افزایش در میزان عملکرد دانه است. با توجه به این موضوع که این صفات در تمامی مناطق جز صفات تأثیر گذار در میزان عملکرد دانه و روغن هستند می‌توان از آنها به‌عنوان شاخص‌هایی جهت گزینش ارقام پر محصول استفاده کرد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از همبستگی‌های ساده، رگرسیون مرحله‌ای، تجزیه

علیت و تجزیه عامل‌ها در تمامی مناطق با هم، همسویی بالایی داشتند. به‌طوری که در ضرایب همبستگی ساده، صفات تعداد دانه درخورجین، تعداد خورجین در بوته و روز تا رسیدگی بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه داشتند. تفکیک ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه با سایر صفات به اثرات مستقیم وغیرمستقیم از طریق تجزیه علیت نیز نشان داد که صفاتی مانند تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته اثر مستقیم مثبت و بالا بر عملکرد دانه در کلزا داشتند. در روش رگرسیون گام به گام نیز این صفات بیشترین ضرایب تبیین را در مدل چند متغیره داشتند. نتایج حاصل از تجزیه عامل‌ها نشان داد که افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن عمدتاً در اثر افزایش صفات مذکور و ارتفاع بوته، قطر ساقه و کاهش مدت زمان لازم تا رسیدگی است. البته در هر منطقه با توجه به شرایط آب و هوایی و یا زراعی متفاوت برخی صفات تأثیر بیشتر یا کمتری در آن منطقه خاص داشتند. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان اظهار داشت که در واقع با انتخاب صفات مؤثر در افزایش عملکرد می‌توان به‌طور غیرمستقیم باعث افزایش عملکرد روغن دانه نیز شد. بنابراین هرگونه تلاش به‌منظور کاهش تعداد روز تا رسیدگی (زودرسی) از یک طرف و افزایش تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته، ارتفاع بوته و قطر ساقه از طرف دیگر، احتمالا منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه و عملکرد روغن بالا خواهد شد. پیشنهاد می‌شود از ژنوتیپ‌های زودرس پر محصول (بعد از انجام آزمایشات بیشتر) برای کشت در مناطقی از کشور که مشکل خشکی در اواخر فصل رشد را دارند و به‌دلیل همزمانی کاشت محصولات بهاره، کشاورزان از یک یا دو آبیاری آخر کلزا چشم پوشی می‌کنند، استفاده شود.

منابع مورد استفاده

1. Aghel, H. and M. Zoghi. 2010. Evaluation of the main barriers for extension of rapeseed production in Khorasan province. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7(2): 505-514. (In Farsi).
2. Allen, E. J. and D. G. Morgan. 1992. A quantitative analysis of the effects of nitrogen on the growth, development and yield of oil seed rape. *Journal of Agricultural Science* 78: 315-324.
3. Angadi, S. V., H. W. Cutfprth, B. G. Mc Conkey and Y. Gan. 2003. Yield adjustment by canola grown at different plant populations under semiarid conditions. *Crop Science* 43: 1358-1360.
4. Ashrafi, V., M. Valizadeh, A. A. Imani and A. G. Eshghi. 2013. Investigation of the correlation relations and path coefficient analysis between yield and yield components in Canola (*Brassica napus* L.). *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences* 3: 1473-1476.
5. Atlasi Pak, V., R. Mamaghani, M. Meskarbashi and M. Nabipour. 2007. The effect of planting pattern on radiation use efficiency and accumulation of dry matter in canopy of three spring canola cultivars. *The Scientific Journal of Agriculture* 29(4): 139-152. (In Farsi).
6. Azizi, M., A. Soltani and S. Khavari Khorasani. 1999. Canola: Physiology, Agronomy, Breeding and Biotechnology. Jahade Daneshghahi Mashhad. University of Ferdowsi Mashhad, Mashhad. (In Farsi).
7. Bayat, M., B. Rabiei, M. Rabiei and A. Moumeni. 2008. Assessment of relationship between grain yield and important agronomic traits of rapeseed as second culture in paddy fields. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 12(45): 475-487. (In Farsi).
8. Cooper, J. C. B. 1983. Factor analysis. An overview. *The American Statistician* 37: 141-147.
9. Dewey, D. R. and K. H. Lu. 1959. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. *Agronomy Journal* 51(9): 515-518.
10. Ejaz-ul-Hasan, M. A., H. S. B. Mustafa, T. Bibi and T. Mahmood. 2014. Genetic variability, correlation and path analysis in advanced lines of rapeseed (*Brassica napus* L.) for yield components. *Cercetari Agronomice in Moldova* 47(1): 71-79.
11. Frooghi, A., A. Biyabani, A. Rahami Karizakiand and G. A. Rassam. 2017. Relationships of phenology and physiological traits with the yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) in Northern Khorasan. *Journal of Crop Ecophysiology* 10(4): 1007-1024. (In Farsi).
12. Habekotte, B. 1993. Quantitative analysis of silique formation. *Field Crop Research* 38: 21-33.
13. Hasan, M., F. Seyis, A. G. Badani, J. Pons Kühnemann, W. Friedt, W. Lühs and R. G. Snowdon. 2006. Analysis of

genetic diversity in the (*Brassica napus* L.) gene pool using SSR markers. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 793-802.
14. Hosseinzadeh, K., A. Hejazio, H. Irannejad, G. A. Akbari and E. Zand. 2008. Correlations between traits and path coefficient analysis for seed yield of eight rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). *Agricultural Research* 8(1): 195-207. (In Farsi).
15. Ismaili, A., S. S. Sohrabi, S. Z. Hosseini, R. Namdarian and D. Godarzi. 2017. Genotypic correlation and path analysis of some traits related to oil yield and grain yield in canola (*Brassica napus* L.) under non-stress and water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14(4): 646-664. (In Farsi).
16. Khan, M. B., M. Hussain, A. Raza, S. Farooq and K. Jabran. 2015. Seed priming with CaCl2 and ridge planting for improved drought resistance in maize. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 39: 193-203.
17. Koocheki, A. and Gh. Sarmadnia. 1999. Physiology of Crop Plants. Jahade Daneshghahi Mashhad. University of Ferdowsi, Mashhad. (In Farsi).
18. Majidi, M. M., M. Jafarzadeh Ghahdarijani, F. Rashidi and A. Mirlohi. 2016. Relationship of different traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under normal and drought conditions. *Journal of Crop Breeding* 8(17): 55-65. (In Farsi).
19. Marjanovic-Jeromela, A., R. Marinkovic, A. Mijic, M. Jankulovska and Z. Zdunic. 2007. Interrelationship between oil yield and other quantitative traits in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Central European Agriculture* 8(2): 165-170.
20. Mendham, N. J., J. Russel and G. C. Buzza. 2009. The contribution of seed survival to yield in new Australian cultivars oilseed rape. *The Journal of Agricultural Science* 85: 103-110.
21. Moradi, M., M. Soltani Hoveize and E. Shahbazi. 2017. Study the relations between grain yield and related traits in canola by multivariate analysis. *Journal of Crop Breeding* 9(23): 187-194. (In Farsi).
22. Rabiee, M., M. Rahimi and M. Kord-Rostami. 2011. Study of correlation and path coefficient analysis between oil yield and agronomical characters in fourteen cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Sustainable Agriculture and Production Science* 21(4): 18-27. (In Farsi).
23. Rameeh, V. 2014. Multivariate regression analyses of yield associated traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Advances in Agriculture* 9: 264-345.
24. Shahsavari, N., H. M. Jais and A. H. Shirani Rad. 2014. Responses of canola morphological and agronomic characteristics to zeolite and zinc fertilization under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45(18): 1813-1822.
25. Sharafi, Y., M. M. Majidi, M. Jafarzadeh and A. Mirlohi. 2015. Multivariate analysis of genetic variation in winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology* 17: 1319-1331.
26. Shirani Rad, A. H., M. Naeemi and Sh. Nasr Esfahani. 2010. Evaluation of terminal drought stress tolerance in spring and winter rapeseed genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 12(2): 112-126. (In Farsi).
27. Soleimanzadeh, H., N. Latifi and A. Soltani. 2008. Relationship of phenology and physiological traits with grain yield in different cultivars of rapeseed (*Brassica napus L.*) under rainfed conditions. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 14(5): 67-76. (In Farsi).
28. Soltani Hoveize, M., M. Moradi, T. Saki-Nejad, S. Zaker Nejad and A. Etaa. 2016. Correlation, stepwise regression and path analysis of traits affecting grain yield of canola (*Brassica napus L*). *International Journal of Advanced Biotechnology and Research* 7: 200-204.
29. Tahira, M., M. Arshad, A. Khan and M. A. Khan. 2017. Cluster analysis, association and path coefficient analysis for seed yield improvement in rapeseed. *Pakistan Journal of Agricultural Research* 30(4): 315-322.
30. Thurling, N. 1974. Morphophysiological determinates of yield in rapeseed (*Brassica compestris* and *Brassica napus* L.). II. Yield components. *Australian Journal of Agricultural Research* 25: 711-721.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 11, No. 4, Winter 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Correlation Relationships and Path Analysis of Traits Effective on Seed and Oil Yield in Some Canola Genotypes

E. Shadan[1], H. Najafi Zarrini[2*], B. Alizadeh[3], Gh. A. Ranjbar[2] and Gh. Kiani[2]

(Received: April 24-2021; Accepted: July 31-2021)

Abstract

Due to the increasing need of the country to imported edible oil and rapeseed importance among oilseeds, efforts to increase its grain yield and oil content are of high importance. Therefore, recognizing the traits that increase grain yield of rapeseed has an important role in the success of breeding programs. Thus, sixteen rapeseed genotypes were evaluated in a randomized complete block design with three replications in three regions with different climatic conditions in Iran, including Karaj, Isfahan, and Hamadan in 2016-2017. Traits such as number of pods per plant, number of seeds per pod, grain yield, 1000-grain weight, plant height, height of the first branch, stem diameter, oil percent, number of days to flowering, number of days to the end of flowering, duration of flowering, and number of days to maturity were measured. Stepwise regression analysis showed that number of grain/pod, number of days to maturity and number of pods/plant (R^2 = 97.7), number of pods/plant and number of days to maturity (R^2 =78.4) and number of days to maturity and number of grains/pod (R^2 = 45.5) accounted for total variations of grain yield in Karaj, Isfahan and Hamadan, respectively. The results showed that the number of days to maturity, number of pods/plant, number of grain/pods, stem diameter and plant height had the greatest positive effect on grain yield and oil content. Therefore, these traits can be used as suitable selection tools for increasing grain and oil yield in winter rapeseed breeding programs.

Keywords: Stepwise regression, Factor analysis, Indirect selection, Multivariate statistical methods

1, 2. Ph. D. Student and Associate Professor, Respectively, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
*: Corresponding Author, Email: najafi316@gmail.com