تجزیه علیت عملکرد دانه و صفات وابسته در برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط رقابت با علف هرز سوروف (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.)

هاشم امین‌پناه و پیمان شریفی[1*]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۱۰/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۸)

چکیده

یکی از اجزای مدیریت تلفیقی علف‌های هرز، استفاده از ارقام با توانایی رقابتی بالا در برابر علف هرز است. تعادل بین چگونگی رقابت و قابلیت تولید برنج تحت شرایط وجود و عدم وجود علف هرز، اصلاح ارقام برنج را برای افزایش قدرت رقابت در برابر علف‌های هرز پیچیده می‌کند. از تجزیه علیت برای تشخیص روابط بین عملکرد دانه و صفات وابسته به آن در اصلاح گیاهان زراعی استفاده شده است. جهت مطالعه اثر قابلیت بازدارندگی علف هرز توسط برنج، آزمایشی به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال ۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقات برنج چپرسر تنکابن اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل هفت رقم برنج (دیلمانی، خزر، سپیدرود، نعمت، درفک، فجر، شیرودی) و سه لاین (۸۳۰، ۸۴۱ و ۸۴۳) بودند که در حضور علف هرز سوروف کشت شدند. نتایج تجزیه علیت نشان داد که شاخص توانایی تحمل برنج، وزن هزار دانه، تعداد پنجه بارور، تعداد کل دانه در خوشه و شاخص رقابت به‌عنوان متغیرهای رتبه اول بر عملکرد دانه تأثیر داشتند. هم‌چنین، صفات سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری، طول خوشه، درصد دانه پر در خوشه و سطح ویژه برگ در زمان خوشه‌دهی به‌عنوان صفات رتبه دوم عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دادند. وزن خشک بوته سوروف به‌عنوان یک صفت وابسته به‌صورت منفی تحت تأثیر شاخص رقابت و سطح ویژه برگ برنج در زمان خوشه‌دهی بود. با وجود این‌که صفات فوق بر عملکرد دانه تأثیر مثبت دارند، اما صفات تعداد پنجه بارور و سطح ویژه برگ برنج در زمان خوشه‌دهی، در مراحل قبل از خوشه‌دهی قابل اندازه‌گیری می‌باشند. بنابراین، انتخاب رقم با عملکرد زیاد دانه، قبل از رسیدن دانه، از طریق این دو صفت امکان‌پذیر است. رقم شیرودی و لاین ۸۴۳ با بیشترین میزان صفات سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری و در زمان خوشه‌دهی، شاخص توانایی تحمل برنج و شاخص رقابت زیاد، توانایی بالایی در رقابت با علف هرز سوروف دارند و می‌توانند به‌عنوان ارقامی مناسب در فرآیندهای انتخاب و هم‌چنین والدین تلاقی‌ها به‌کار گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: توانایی رقابت، تجزیه علیت، سطح ویژه برگ

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kadose@yahoo.com

مقدمه

علف‌های هرز یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات زراعی هستند. چگونگی رقابت بین گیاه زراعی و علف هرز یک صفت پیچیده است که با توانایی تولید محصول در حضور علف هرز (تحمل در مقابل علف هرز) و توانایی متوقف ساختن رشد علف هرز توسط گیاه زراعی ارتباط دارد (۲۰). در اصلاح نباتات، مطالعه همبستگی بین صفات به منظور یافتن روابط علّت و معلولی و انتخاب صفاتی با قابلیت گزینش ساده‌تر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و متخصصین اصلاح نباتات تجزیه علیت را به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی اهمیت صفات مؤثر بر عملکرد و تعیین سهم اجزای عملکرد در عملکرد به‌کار می‌برند (۱۳). همبستگی بین عملکرد، اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیک در برنج توسط بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفته است و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد کل پنجه، تعداد پنجه بارور (۲۲)، تعداد دانه پر در خوشه (۲۵)، تعداد خوشه در بوته، طول خروج خوشه از غلاف و تعداد دانه پر در خوشه (۲۷)، سرعت رشد گیاه (CGR) و سرعت رشد نسبی (RGR) در مرحله گل‌دهی (۲۹) گزارش شده است.

بررسی همبستگی ساده بین صفات، روابط بین متغیرها را به آن اندازه که به‌عنوان معیارهایی برای اصلاح گیاهان زراعی استفاده شوند، نشان نمی‌دهد و لذا استفاده از تجزیه علیت می‌تواند در درک روابط علت و معلولی صفات مناسب‌تر باشد (۵). ضرایب علیت برای نشان دادن روابط علت و معلولی یک مجموعه از متغیرهای مستقل و متغیر وابسته به‌کار می‌رود. به‌طور کلی، همبستگی بین یک متغیر وابسته و مستقل به سه بخش شامل ضرایب علیت (اثرهای مستقیم متغیر مستقل بر متغیر وابسته)، اثرهای غیرمستقیم (که از طریق متغیرهای همبسته دیگر بر متغیر وابسته اثر می‌گذارد) و اثرهای ناشی از عوامل ناشناخته (اثرهای باقیمانده) تقسیم می‌شود (۳۹). بنابراین، می‌توان با استفاده از تجزیه علیت، به اطلاعات تکمیلی دست یافت که عموماً در همبستگی‌های ساده مشاهده نمی‌شوند.

تعداد زیادی از محققین روابط علت و معلولی بین عملکرد دانه و سایر صفات را در برنج مورد بررسی قرار داده‌اند و به اثرهای مستقیم تعداد پنجه‌های بارور، تعداد دانه، وزن ۱۰۰ دانه بر عملکرد (۲۷)، وزن خوشه، تعداد خوشه، شاخص برداشت (۳۶)، تعداد ساقه بارور، تعداد دانه در خوشه، وزن ۱۰۰ دانه (۲۱)، طول خوشه، تعداد ساقه بارور (۲۲)، تعداد پنجه بیشتر در بوته، پاکوتاهی (۱۸)، تعداد دانه پر، تعداد پنجه کل، وزن ۱۰۰ دانه (۲۴)، سرعت رشد محصول، سرعت فتوسنتز خالص و شاخص سطح برگ (۱۲) و تعداد پنجه بارور، تعداد دانه پر در خوشه و وزن ۱۰۰ دانه بر عملکرد دانه (۳) اشاره کرده‌اند. مطالعات محدودی در ارتباط با تجزیه علیت در رقابت با علف هرز در برنج گزارش شده است. در این راستا، نی و همکاران (۲۸) از تجزیه علیت برای تشخیص صفات مرتبط با قابلیت جلوگیری کننده علف هرز سوروف در برنج استفاده کردند. پرز دی ویدا و همکاران (۳۰) سرعت رشد گیاه بعد از خوشه‌دهی را به‌عنوان یک متغیر تعیین‌کننده برای عملکرد (با ضریب علیت ۰/۸۲) معرفی نمودند که با مقاومت به علف هرز نیز همبستگی معنی‌داری نشان می‌داد. هم‌چنین، در مطالعه‌ای دیگر، مشخص شد که صفات تعداد پنجه و خوشه در گیاه اجزای کلیدی عملکرد بودند که نقش مهمی در شرایط رقابت با علف هرز سوروف و *Ischaemum rugosum* داشتند (۴). هم‌چنین، پرز دی ویدا (۳۱) با استفاده از تجزیه علیت نشان دادند که بهبود توانایی بازدارندگی برنج و تحمل به علف هرز *Echinochloa phyllopogon* بایستی با استفاده از صفاتی در مراحل اولیه رشد انجام شود.

هدف از تحقیق حاضر بررسی رابطه بین عملکرد دانه و اجزای عملکرد، مطالعه اثرهای مستقیم و غیرمستقیم این اجزا با عملکرد و گروه‌بندی صفات مؤثر بر عملکرد برنج در شرایط رقابت با علف هرز سوروف بوده است. هدف دیگر آزمایش حاضر، ارائه مدلی برای نشان دادن نتیجه تداخل علف هرز سوروف بر ۱۰ رقم برنج و بررسی صفات مرتبط با چگونگی رقابت در برنج می‌باشد. هم‌چنین، تشخیص صفاتی از برنج که

در توانایی ارقام برنج در کند کردن رشد علف هرز سوروف نقش دارند نیز بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۷ در ایستگاه تحقیقاتی برنج چپرسر تنکابن واقع در استان مازندران انجام شد. ارتفاع محل آزمایش ۲۰ متر پایین‌تر از سطح دریا، عرض جغرافیایی ´۵۴ °۳۶ شمالی، طول جغرافیایی ´۵۰ °۴۰ شرقی و بافت خاک نیز لوم رسی بود. در این آزمایش، هفت رقم برنج (خزر، سپیدرود، نعمت، درفک، فجر، شیرودی و دیلمانی) به همراه سه لاین امید بخش (۸۳۰، ۸۴۱ و ۸۴۳) به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با چهار تکرار و در تراکم مطلوب خود در حضور علف هرز سوروف (*Echinochloa crus-galli*) کشت شدند. از آنجا که کوزنس و فلچر (۹) برای این‌گونه مطالعات، تراکمی از علف هرز را پیشنهاد نموده‌اند که حدود ۵۰٪ عملکرد محصول را کاهش دهد، بنابراین علف هرز سوروف با تراکم ثابت ۲۰ بوته در مترمربع در کنار برنج نشا شد (۱۷). ابعاد هر کرت آزمایشی ۶×۳ متر و هر کرت شامل ۱۲ خط کشت، هر یک به طول ۶ متر بود و فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این آزمایش، خزانه برنج برای تمامی ارقام در تاریخ ۱۳۸۸/۱/۲۸ احداث و گیاهچه‌های ۳۱ روزه به زمین اصلی (که در سال قبل آلودگی زیادی به علف هرز سوروف داشت) منتقل و به تعداد ۳ گیاهچه در هر کپه نشا گردید. برای رسیدن به تراکم ۲۰ بوته سوروف در مترمربع، طی چند مرحله با وجین کردن کرت‌ها، تراکم مطلوب علف هرز سوروف به‌دست آمد. در این طرح، از هیچ علف‌کشی استفاده نشد و در دو مرحله اقدام به وجین دستی همه علف‌های‌هرز، به‌جز سوروف نشا شده، گردید. میزان کود مورد استفاده در زمین اصلی، با توجه به توصیه مؤسسه تحقیقات برنج، ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای ارقام اصلاح شده و لاین‌ها (۵۰٪ در زمان نشاکاری و ۵۰٪ بقیه در زمان تشکیل اولین جوانه خوشه در غلاف به خاک داده شد) و ۴۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای رقم بومی (دیلمانی) بود. هم‌چنین، برای تمامی ارقام در مرحله نشاکاری ۲۵ کیلوگرم فسفر و ۶۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به خاک داده شد.

صفات ارتفاع بوته برنج و تعداد پنجه در ۲۵ روز پس از نشاکاری و در زمان ظهور خوشه اندازه‌گیری شدند (۳۶). جهت اندازه‌گیری شاخص‌های رشد از مرحله پنجه‌زنی تا رسیدگی، هر ۱۵ روز یک‌بار از مساحت ۰/۵ مترمربع با رعایت حاشیه، نمونه‌برداری صورت گرفت و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه اصلاح بذر ایستگاه تحقیقاتی چپرسر و تفکیک آنها به قسمت‌ها و اندام‌های مختلف و نیز اندازه‌گیری سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter، مدل LICOR 3100 USA)، کلیه اندام‌ها به تفکیک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس خشک و سپس توسط ترازوی حساس و با دقت یک هزارم گرم وزن گردیدند. با استفاده از این اطلاعات، کلیه شاخص‌های رشد مانند CGR، RGR و سطح ویژه برگ (SLA) در ۲۵ روز پس از نشاکاری و در زمان ظهور خوشه برای برنج و سوروف محاسبه گردیدند (۳۵). در پایان فصل رشد، عملکرد دانه از سطحی معادل ۵ مترمربع پس از حذف اثر حاشیه‌ای اندازه‌گیری شد. هم‌چنین، اجزای عملکرد شامل تعداد پنجه بارور در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و درصد دانه‌های پر و خالی اندازه‌گیری شد. در ضمن، با رعایت حاشیه، تعداد ۱۰ خوشه ساقه اصلی در هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب گردید و پس از اندازه‌گیری طول خوشه‌ها، میانگین آنها به‌عنوان طول خوشه در هر کرت در نظر گرفته شد. در پایان نیز شاخص برداشت (نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک) محاسبه شد. برای محاسبه عملکرد بیولوژیک سوروف، تمامی بوته‌های سوروف از همان منطقه برداشت برنج برای محاسبه عملکرد از سطح خاک بریده شده و وزن خشک آنها پس از خشکاندن به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد.

به منظور ارزیابی قدرت رقابتی ارقام برنج در حضور علف‌هرز، شاخص رقابت (Competition index) مطابق با فرمول زیر محاسبه شد (۹) :

$$CI = (\frac{Y_i}{Y_{mean}}) / (\frac{W_i}{W_{mean}}) \quad [۱]$$

که در آن، Y_i عملکرد رقم i در حضور علف هرز، Y_{mean} متوسط عملکرد همه ارقام در حضور علف هرز، W_i بیومس علف هرز مربوط به رقم i و W_{mean} متوسط بیومس علف هرز در مخلوط با کل ارقام می‌باشد.

هم‌چنین، برای اندازه‌گیری تحمل ارقام مختلف برنج در رقابت با علف‌هرز سوروف از شاخصی به نام توانایی برای تحمل رقابت (Ability to withstand competition) استفاده می‌شود که به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد (۳۸):

$$AWC= \frac{Y\,inf\,ested}{Ypure} *۱۰۰ \quad [۲]$$

که در این معادله، $V_{infested}$ عملکرد هر رقم در شرایط آلوده به علف هرز و V_{pure} عملکرد هر رقم در شرایط عاری از علف هرز است.

محاسبات آماری توسط نرم‌افزارهای SPSS و SAS و هم‌چنین تجزیه مسیر (۲۳) صورت گرفت. برای بررسی روابط علیت از روش تجزیه علیت رتبه‌ای (۲۶) استفاده گردید.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه گردیده است که حاکی از معنی‌دار بودن اثر رقم برای تمام صفات مورد مطالعه می‌باشد و به عبارتی نشان می‌دهد که ارقام مورد مطالعه برنج، در شرایط رقابت با علف‌هرز سوروف از لحاظ تمام صفات با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشتند. میانگین صفات مورد مطالعه در ارقام تحت بررسی به همراه حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در شرایط رقابت با سوروف در جدول ۲ نشان داده شده است. تحت این شرایط، ارقام شیرودی و خزر به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان عملکرد را داشتند.

برای بررسی روابط علت و معلولی متغیرها با عملکرد دانه به‌عنوان متغیر تابع، در مرحله اول تجزیه رگرسیون گام به گام انجام شد که در آن عملکرد دانه به‌عنوان متغیر تابع (Y) و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. صفات شاخص توانایی تحمل برنج (X۱)، وزن هزار دانه (X۲)، تعداد پنجه بارور (X۳)، تعداد کل دانه در خوشه (X۴) و شاخص رقابت (X۵) به‌عنوان متغیرهای پیشگویی‌کننده رتبه اول برای عملکرد دانه به‌عنوان متغیر تابع (Y) وارد مدل شدند. ضریب تبیین (R^2) برای این رابطه رگرسیونی ۰/۹۴ برآورد گردید که نشان داد میزان زیادی از تغییرات متغیر تابع توسط رابطه خطی موجود و با استفاده از این متغیرهای پیشگویی‌کننده توجیه می‌شود. این مدل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود و معادله رگرسیونی آن به‌صورت زیر به‌دست آمد:

$$Y = -۶۶۱۳/۳۴ + ۴۴/۹۲X_۱ + ۵۹/۸۷X_۲ + ۱۲/۲۹X_۳ + ۱۴/۸۳X_۴ + ۳۲۸/۲۷X_۵ \quad [۳]$$

برای بررسی روابط بین صفات مؤثر بر عملکرد دانه، از ضرایب همبستگی و علیت استفاده شد. البته با توجه به تعداد زیاد متغیرهای اندازه‌گیری شده، فقط همبستگی صفاتی که به‌عنوان متغیرهای پیشگوئی‌کننده رتبه اول و رتبه دوم در مدل وارد شده بودند، با عملکرد دانه در جداول ۲ ارائه شده است.

ارتباط بین عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن با استفاده از ضرایب همبستگی در جدول ۳ نشان شده است. همبستگی عملکرد دانه با صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص توانایی تحمل برنج، شاخص رقابت، تعداد پنجه بارور، درصد دانه پر در خوشه، وزن هزار دانه، طول خوشه، شاخص برداشت، سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشا و سطح ویژه برگ در زمان خوشه‌دهی به‌صورت مثبت و با صفات مرتبط با سوروف شامل وزن خشک سوروف، بیومس سوروف در ۲۵ روز پس از نشا و سطح برگ سوروف در زمان خوشه‌دهی به‌صورت منفی معنی‌دار بود. بیشترین همبستگی معنی‌دار مثبت بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک دیده گردید. وزن خشک سوروف با صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص توانایی تحمل برنج، شاخص رقابت، تعداد پنجه بارور، درصد دانه پر در خوشه، شاخص برداشت، میزان سطح برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری و سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری همبستگی منفی و معنی‌دار داشت.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس تعدادی از صفات در ارقام مورد مطالعه برنج در شرایط رقابت با علف هرز سوروف

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه (kg/ha)	شاخص برداشت	وزن هزار دانه (g)	طول خوشه (cm)	تعداد دانه پر در خوشه	درصد دانه خالی در خوشه	تعداد کل دانه در خوشه	وزن خشک سرپوغ (kg/ha)	شاخص سطح برگ در مرحله ۵ برگی سوروف	شاخص سطح برگ در مرحله ۵ برگی سوروف از دست رفته (g/m²)	وزن خشک سوروف در واحد سطح (g/m²)
بلوک	۳	۱۸۲۳۶۳/۸۱^{ns}	۱۱۸/۱۰*	۱/۲۵**	۳۰/۳۷	۸/۴۶	۱۳/۵۴	۶/۸۶	۹۸/۷۴	۲۴/۸۹^{ns}	۲۷/۴۰*	۰/۰۰۳۶^{ns}
رقم	۹	۲۶۱۲۶۵۵/۷۱**	۶۹۴۶۰۰۷/۸۶**	۳۳۵/۳۳**	۴۰۰۴۵۳/۳۴	۸/۷۳	۱۰/۹۵	۱۳/۱۵	۱۱۱۱۸۰۷۱	۱۰۸/۰۴**	۱۶۰/۰۰**	۰/۰۱۴۴**
خطای آزمایش	۲۴	۱۱۲۷۷۶/۴۷	۳۰/۳۷	۸/۹۸	۳۱/۵۰	۷/۱۰	۱۳/۵۴	۱۳/۶۸	۹/۴۲	۲۴/۸۹^{ns}	۱۰۸/۰۴**	۰/۰۰۲۵
ضریب تغییرات		۹/۸۹	۸/۷۳	۳۱/۵۰	۲۰۰۴۵۳/۳۴	۸/۴۶	۱۰/۹۵	۱۳/۱۵	۹۸/۷۴	۱۵۴/۰۳^{ns}	۲۷/۴۰*	۰/۰۰۳۶^{ns}

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس تعدادی از صفات در ارقام مورد مطالعه برنج در شرایط رقابت با علف هرز سوروف

منابع تغییرات	درجه آزادی	تجمع ماده خشک سوروف در واحد سطح در مرحله ۵ برگی سوروف (g/m².GDD)	تجمع ماده خشک سوروف در واحد سطح در مرحله ۵ برگی سوروف (g/m²)	شاخص سطح برگ سوروف در مرحله ۵ برگی سوروف (cm²/g)	ارتفاع بوته در واحد سطح در مرحله ۵ برگی سوروف (cm)	تعداد بوته در واحد سطح در مرحله ۵ برگی سوروف (g/m²)	وزن خشک سوروف در واحد سطح در مرحله ۵ برگی سوروف (cm²)
بلوک	۳	۰/۰۰۳۶^{ns}	۲۷/۴۰*	۲۴/۸۹^{ns}	۱۶۰/۰۰**	۱۰۸/۰۴**	۱۵۴/۰۳^{ns}
رقم	۹	۰/۰۱۴۴**	۱۶۰/۰۰**	۱۰۸/۰۴**	۳۵۶/۷۹**	۲۰۱۷۲۴۷۴**	۳۳۵۶/۷۹**
خطای آزمایشی	۲۷	۰/۰۰۲۵	۲/۲۷	۹/۴۲	۷/۱۰	۱۳/۶۸	۶/۸۶
ضریب تغییرات		۱۰/۹۵	۱۳/۵۴	۷/۱۰	۱۳/۵۴	۱۳/۱۵	۶/۸۶

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان ۱٪ و ۵٪ و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۲. میانگین تعدادی از صفات در ارقام مورد مطالعه برنج در شرایط رقابت با علف هرز سوروف

رقم	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	تعداد دانه در خوشه	تعداد خوشه در متر مربع	تعداد پنجه در متر مربع	وزن خشک سوروف	عملکرد دانه در ۲۵ درصد رقابت	عملکرد بیولوژیک در ۲۵ درصد رقابت	شاخص برداشت در ۲۵ درصد رقابت
درفک	۳۵۰۱	۷۴۹۳	۰/۸۱	۲۷/۹۵	۱۷/۹۹	۸۲/۰۱	۱۱۳	۲۷۲۲	۶۴/۲۵	۲۸/۰۶	۵۰/۱۲	۶۱۶/۲۵	۷۳/۴۵
خزر	۲۱۷۳	۵۰۷۴	۰/۳۲	۲۵/۷۵	۲۶/۶۰	۷۳/۴۰	۱۵۱	۴۳۶۷	۴۹/۵	۲۷/۱۳	۴۳/۶۳	۴۲۵/۸۷	۵۸/۵۵
لاین ۸۴۱	۲۹۳۶	۷۱۷۳	۰/۹۶	۲۴/۳۰	۲۳/۷۸	۷۶/۲۲	۱۲۰	۱۸۹۲	۶۰/۲۵	۲۵/۰۶	۴۷/۷۳	۵۱۵/۳۴	۶۸
لاین ۸۳۰	۳۷۶۳	۷۷۱۹	۱/۲۶	۲۸/۸۵	۱۶/۲۹	۸۳/۷۱	۱۳۹	۱۸۲۲	۶۵	۲۵/۵۰	۵۲/۰۷	۵۴۷/۵	۷۰/۶۳
فجر	۳۱۴۲	۶۶۱۲	۱/۱۳	۲۶/۱۳	۱۷/۴۰	۸۲/۶۰	۱۰۸	۱۸۰۱	۵۷/۷۵	۲۷	۴۹/۹۲	۵۰۵	۶۰/۲
سپیدرود	۳۱۱۶	۶۵۶۸	۱/۱۶	۲۷/۳۵	۱۴/۷۹	۸۵/۲۱	۱۰۳	۱۷۴۲	۶۵/۵	۲۴/۳۱	۴۶/۲۶	۴۶۵	۵۹
نعمت	۳۷۶۰	۷۸۷۰	۰/۹۳	۳۰/۷۰	۱۷/۸۷	۸۲/۱۳	۱۱۱	۲۵۶۰	۶۱/۲۵	۲۸/۲۵	۴۸/۴۶	۴۴۸	۶۰/۷۳
شیرودی	۴۶۲۱	۹۲۴۹	۱/۵۸	۲۷/۷۵	۱۶/۶۷	۸۳/۳۳	۱۱۹	۱۸۳۰	۷۵/۵	۲۷/۳۱	۵۴/۶۰	۵۱۸/۱۱	۶۲/۵۳
دیلمانی	۲۴۳۲	۵۸۱۳	۰/۷۴	۲۶/۴۳	۱۳/۳۶	۸۶/۶۴	۸۲	۱۸۶	۷۰	۲۲/۵۶	۴۳/۸۴	۶۳۵/۲۴	۷۷/۲
لاین ۸۴۳	۴۵۴۹	۹۰۷۹	۲/۴۴	۲۷/۹۵	۸/۷۱	۹۱/۲۹	۱۰۶	۲۶۰	۸۲	۲۷/۸۸	۵۳/۸۷	۶۱۵/۸۸	۷۵/۴۵
LSD5%	۴۶۸/۹	۹۰۷/۲۸	۰/۵۰	۱/۸۵	۴/۹۰	۱۲/۷۸	۱۱/۰۱	۶۳۴/۳۳	۷/۶۴	۱/۴۱	۳/۱۸	۱۴۸/۳	۸/۹۲
												۱۳/۴۲	

LSD حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۱٪

ادامه جدول ۲. میانگین تعدادی از صفات در ارقام مورد مطالعه برنج در شرایط رقابت با علف هرز سوروف

تعداد پنجه در متر مربع	تعداد پنجه بارور در متر مربع	تعداد پنجه نابارور در متر مربع	وزن خشک علف هرز در متر مربع	وزن خشک علف هرز در زمان ۷۵ روز پس از نشاکاری	وزن خشک علف هرز در زمان ۷۵ روز پس از نشاکاری	تعداد پنجه بارور در متر مربع	تعداد پنجه نابارور در متر مربع	وزن خشک علف هرز در زمان ۷۵ روز پس از نشاکاری	وزن خشک علف هرز در زمان ۷۵ روز پس از نشاکاری	رقم
۶۶۳۹	۹۳۲	۸۲/۲۷	۷/۶۰	۷۳/۹۴	۱۳/۹۴	۸/۶۵	۷۲۵/۵۳	۰/۰۰۳۹	۲/۸۱	درفک
۶۹۱۷	۱۵۲۴	۱۱۶/۱	۱۲/۳۲	۷۰/۸۱	۸/۲۵	۱۶/۶۳	۴۸۰/۱۳	۰/۰۰۳۴	۱/۶۵	خزر
۵۵۲۰	۶۵۹	۷۵/۶۱	۷/۹۷	۶۴/۶۹	۱۳/۳۱	۱۶/۵۰	۶۳۰/۸۸	۰/۰۰۳۷	۲/۳۰	لاین ۸۴۱
۴۳۱۹	۷۵۲	۶۵/۴۱	۸/۵۱	۷۰/۶۹	۱۳/۰۰	۱۶/۵۰	۵۹۵/۵۸	۰/۰۰۳۷	۲/۱۹	لاین ۸۳۰
۴۰۲۹	۱۱۰۲	۴۵/۹	۹/۴۶	۶۸/۶۳	۱۵/۶۳	۱۶/۵۰	۶۰۱/۵۵	۰/۰۰۳۵	۲/۱۲	فجر
۴۸۴۱	۷۶۵	۶۵/۲۲	۶/۵۶	۷۰/۰۰	۱۴/۱۳	۱۶/۵۰	۵۵۳/۸۰	۰/۰۰۳۶	۱/۹۸	سپیدرود
۵۵۸۷	۱۰۵۷	۷۲/۱۳	۹/۰۸	۶۷/۰۰	۱۶/۶۳	۱۶/۵۰	۱۰۷۷/۳۰	۰/۰۰۳۵	۲/۷۴	نعمت
۴۲۱۶	۸۲۳	۶۲/۰۵	۷/۱۵	۶۸/۴۴	۱۶/۵۰	۱۶/۵۰	۴۶۹	۰/۰۰۳۵	۳/۷۶	شیرودی
۴۸۱۸	۱۰۰۱	۵۰/۹۳	۸/۸۴	۹۱/۵۶	۱۱/۶۹	۱۶/۵۰	۹۶۷/۵۳	۰/۰۰۴۰	۱/۸۷	دیلمانی
۳۳۵۶	۶۹۹	۴۰/۲۹	۶/۲۷	۷۴/۶۹	۱۵/۶۹	۱۶/۵۰	۱۰۷۴/۶۰	۰/۰۰۳۹	۳/۷۵	لاین ۸۴۳
۸۰۲/۰۵	۱۸۸/۵۷	۱۰/۴۱	۲/۵۳	۸/۵۰	۲/۸۶	۱۶/۵۰	۱۴۱/۸۸	۰/۰۰۰۲	۰/۵۱	LSD5%

LSD5. حداقل اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۱٪

جدول ۳. ماتریس ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در گیاه برنج در شرایط رقابت با علف هرز سوروف

صفات	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص توانایی تحمل برنج	شاخص رقابت	وزن خشک سوروف	تعداد پنجه بارور	تعداد کل دانه در خوشه	درصد دانه پر در خوشه	وزن هزار دانه	طول خوشه	شاخص برداشت	سطح برگ برنج در ۲۵ روز پس از نشاکاری	سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری	سطح ویژه برگ در زمان خوشه‌دهی	بیومس سوروف در ۲۵ روز پس از نشاکاری
عملکرد دانه	۰/۹۴**	۰/۷۴**	۰/۷۴**	۰/۶۴**	۰/۷۰**	-۰/۴۵**	۰/۷۴**	-۰/۰۸	۰/۴۳**	۰/۴۴**	۰/۴۷**	۰/۶۹**	۰/۶۴**	-۰/۴۶**	-۰/۴۴**
عملکرد بیولوژیک	۱	۰/۷۴**	۰/۵۹**	-۰/۴۰*	۰/۷۱**	-۰/۱۰	۰/۳۸*	۰/۴۰*	۰/۳۹*	۰/۵۶**	۰/۶۸**	-۰/۴۵**	-۰/۳۷**		
شاخص توانایی تحمل برنج		۱	۰/۶۴**	-۰/۵۰**	۰/۵۰**	-۰/۴۴**	۰/۶۰**	۰/۱۶	-۰/۰۲	۰/۴۰*	۰/۶۵**	-۰/۴۸**			
شاخص رقابت			۱	-۰/۷۴**	۰/۵۶**	-۰/۱۸	۰/۴۸**	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۶۳*	۰/۵۸**	-۰/۶۴**			
وزن خشک سوروف				۱	-۰/۶۵**	۰/۳۷*	-۰/۴۵**	-۰/۱۱	۰/۰۷	-۰/۵۴*	-۰/۳۲*	-۰/۶۶**	۰/۷۵**		
تعداد پنجه بارور					۱	-۰/۴۲**	۰/۴۵**	۰/۳۱	۰/۲۷	۰/۵۶**	۰/۴۵**	۰/۷۵**	-۰/۵۰**		
تعداد کل دانه در خوشه						۱	-۰/۶۰**	-۰/۰۴	۰/۴۲**	۰/۰۸	-۰/۰۹	-۰/۴۲**	۰/۳۰		
درصد دانه پر در خوشه							۱	۰/۲۴**	-۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۵۱**	-۰/۴۴**		
وزن هزار دانه								۱	۰/۳۷**	۰/۲۴	-۰/۰۸	۰/۰۶	-۰/۰۲		
طول خوشه									۱	۰/۴۳**	۰/۳۰	-۰/۰۲	-۰/۰۰۴		
شاخص برداشت										۱	۰/۵۲**	۰/۵۰**	-۰/۴۴**	-۰/۵۳*	
سطح برگ برنج در ۲۵ روز پس از نشاکاری											۰/۱۶	۰/۳۳**	-۰/۲۲	-۰/۱۹	
سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری											۱	۰/۷۶**	-۰/۴۹**	-۰/۱۸	
سطح ویژه برگ در زمان خوشه‌دهی												۱	-۰/۶۹**	-۰/۳۹**	
بیومس سوروف در ۲۵ روز پس از نشاکاری													۱	۰/۴۱**	

+ واحدهای صفات همانند جدول ۱ می‌باشد.

برای تعیین سهم اثرهای مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای وارد شده در مدل رگرسیون گام به گام از تجزیه علیت استفاده گردید (جداول ۳ تا ۸). بدین منظور، در گام اول از ضرایب همبستگی برای برآورد اثرهای مستقیم و غیرمستقیم صفات مورد مطالعه بر عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته استفاده شد. سپس متغیرهای وارد شده در مدل در گام اول به‌عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند و مجدداً تجزیه علیت انجام پذیرفت و بدین ترتیب اثرهای غیرمستقیم تعداد دیگری از متغیرها نیز بر عملکرد دانه مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، زمانی‌که صفت عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد، صفات شاخص توانایی تحمل برنج (۰/۵۹)، وزن هزار دانه (۰/۵۹)، تعداد پنجه بارور (۰/۵۲)، تعداد کل دانه در خوشه (۰/۴۲) و شاخص رقابت (۰/۰۶) به‌عنوان متغیرهای اصلی وارد مدل شدند (جدول ۳ و شکل ۱). با توجه به میزان ضریب تبیین، ۹۴٪ از تغییرات متغیر عملکرد دانه توسط ۵ صفت فوق توجیه می‌شود. از بین صفات مذکور، دو متغیر شاخص توانایی تحمل برنج و تعداد پنجه بارور بیشترین تأثیر مستقیم و غیرمستقیم از طریق سایر صفات را بر عملکرد دانه داشتند. همبستگی دو صفت اخیر با عملکرد دانه نیز زیاد بود. صفت شاخص توانایی تحمل برنج علاوه بر اثر مستقیم بر عملکرد دانه از طریق سایر صفات نیز اثر غیرمستقیم بر عملکرد دانه داشت. نکته حائز اهمیت در این بررسی وضعیت صفت شاخص رقابت است، که با وجود این‌که اثر مستقیم آن بر عملکرد دانه کم بود (۰/۰۶)، به‌واسطه اثر غیرمستقیم آن از طریق دو صفت شاخص توانایی تحمل برنج و تعداد پنجه بارور، همبستگی مثبت بالایی با عملکرد دانه نشان می‌داد. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از تجزیه علیت رتبه اول، صفات شاخص توانایی تحمل برنج و شاخص رقابت برنج می‌توانند به‌عنوان صفات مناسبی جهت بهبود عملکرد دانه استفاده شوند. رقم شیرودی و لاین ۸۴۳ دارای بیشترین میزان شاخص توانایی تحمل برنج و شاخص رقابت می‌باشند. بنابراین، می‌توانند به‌عنوان ارقام مناسب جهت استفاده در تلاقی‌ها برای رسیدن به عملکرد پایدار و توأم با رقابت در مقابل علف هرز استفاده شوند (جدول ۳).

در گام دوم تجزیه علیت برای صفات وارد شده در مدل در مرحله اول، شاخص توانایی تحمل برنج به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و صفات سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشا (۰/۵۷)، تعداد کل دانه در خوشه (۰/۳۱-) و سطح برگ سوروف در زمان خوشه‌دهی (۰/۲۹-) به‌عنوان متغیرهای پیش‌گویی‌کننده وارد مدل شدند. در میان صفات فوق، سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشا بیشترین تأثیر مثبت را بر شاخص توانایی تحمل برنج داشت و می‌تواند به‌عنوان یک صفت مناسب در مورد رقابت با علف هرز سوروف و نیل به عملکرد مطلوب استفاده شود (جدول ۵). صفات وزن خشک بیومس سوروف و شاخص توانایی تحمل برنج به‌ترتیب اثرهای منفی و مثبت بر تعداد پنجه بارور داشتند. بنابراین، صفت شاخص توانایی تحمل برنج علاوه بر اثر مستقیم، از طریق تعداد پنجه بارور نیز اثر غیرمستقیم بر عملکرد دانه داشت (جدول ۶). صفات ارتفاع بوته در ۲۵ روز پس از نشا (۰/۵۳-)، تعداد پنجه بارور (۰/۸۳-) و بیومس سوروف در ۲۵ روز پس از نشا (۰/۲۶-) اثر مستقیم منفی بر صفت تعداد کل دانه در خوشه و صفت طول خوشه (۰/۴۴) اثر مثبت بر آن داشت (جدول ۷). هم‌چنین، صفت وزن هزار دانه، دیگر صفت مؤثر بر عملکرد دانه، به‌صورت مثبت تحت تأثیر صفات طول خوشه (۰/۴۴) و درصد دانه پر در خوشه (۰/۳۳) بود (جدول ۸). در آخرین مرحله بررسی متغیرهای پیش‌گویی کننده رتبه اول به‌عنوان متغیرهای وابسته، شاخص رقابت که یکی از صفات مؤثر بر عملکرد دانه بود، به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و چهار صفت وزن خشک بیومس سوروف (۰/۹۱-)، سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری (۰/۸۹)، سطح ویژه برگ در زمان خوشه‌دهی (۰/۹۶) و تعداد پنجه بارور (۰/۳۰) به‌عنوان متغیرهای پیش‌گویی‌کننده وارد مدل شدند (جدول ۹). چهار متغیر وارد شده در مدل ۸۵٪ از تغییرات صفت شاخص رقابت را توجیه می‌نمودند. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد، صفت سطح

جدول ۴. اثرهای مستقیم[+] و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر عملکرد دانه برنج به‌عنوان متغیر وابسته در شرایط رقابت با سوروف

متغیر	شاخص توانایی تحمل برنج	وزن هزار دانه	تعداد پنجه بارور	تعداد کل دانه در خوشه	شاخص رقابت	اثر کل یا همبستگی با متغیر وابسته
شاخص توانایی تحمل برنج	۰/۵۹	۰/۰۳	۰/۲۶	-۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۷۴
وزن هزار دانه	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۱۶	-۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۴۳
تعداد پنجه بارور	۰/۳۰	۰/۰۶	۰/۵۲	-۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۷۳
تعداد کل دانه در خوشه	-۰/۲۶	-۰/۰۱	-۰/۲۲	۰/۴۲	-۰/۰۱	-۰/۰۸
شاخص رقابت	۰/۳۸	۰/۰۴	۰/۲۹	-۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۷۰
ضریب تبین (R^2=۰/۹۴)				اثرهای باقیمانده ($\sqrt{۱-R^۲}$ =۰/۲۹)		

+: زیر اثر مستقیم خط کشیده شده است.

جدول ۵. اثرهای مستقیم[+] و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر شاخص توانایی تحمل برنج به‌عنوان متغیر وابسته در شرایط رقابت با سوروف

متغیر	سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری	تعداد کل دانه در خوشه	سطح برگ سوروف در زمان خوشه‌دهی	اثر کل یا همبستگی با متغیر وابسته
سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری	۰/۵۷	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۶۵
تعداد کل دانه در خوشه	-۰/۰۵	-۰/۳۱	-۰/۰۸	-۰/۴۴
سطح برگ سوروف در زمان خوشه‌دهی	-۰/۱۰	-۰/۰۹	-۰/۲۹	-۰/۴۸
ضریب تبین (R^2=۰/۶۵)			اثرهای باقیمانده ($\sqrt{۱-R^۲}$ =۰/۵۹)	

+: زیر اثر مستقیم خط کشیده شده است.

جدول ۶. اثرهای مستقیم[+] و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر تعداد پنجه بارور برنج به‌عنوان متغیر وابسته در شرایط وجود علف هرز

متغیر	وزن خشک بیومس سوروف	شاخص توانایی تحمل برنج	اثر کل یا همبستگی با متغیر وابسته
وزن خشک بیومس سوروف	-۰/۵۳	-۰/۱۲	-۰/۶۵
شاخص توانایی تحمل برنج	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۵۰
ضریب تبین (R^2=۰/۵۶)		اثرهای باقیمانده ($\sqrt{۱-R^۲}$ =۰/۶۶)	

+: زیر اثر مستقیم خط کشیده شده است.

جدول ۷. اثرهای مستقیم[+] و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر تعداد کل دانه در خوشه برنج به‌عنوان متغیر وابسته در شرایط رقابت با سوروف

متغیر	ارتفاع بوته در ۲۵ روز پس از نشا	تعداد پنجه بارور	طول خوشه	بیومس سوروف در ۲۵ روز پس از نشا	اثر کل یا همبستگی با متغیر وابسته
ارتفاع بوته در ۲۵ روز پس از نشا	-۰/۵۳	۰/۲۲	-۰/۲۰	۰/۰۱	-۰/۵۰
تعداد پنجه بارور	۰/۱۴	-۰/۸۳	۰/۱۲	۰/۱۵	-۰/۴۲
طول خوشه	۰/۲۴	-۰/۲۲	۰/۴۴	-۰/۰۴	۰/۴۲
بیومس سوروف در ۲۵ روز پس از نشا	۰/۰۲	۰/۴۸	۰/۰۷	-۰/۲۶	۰/۳۱
ضریب تبین (R^2=۰/۷۱)			اثرهای باقیمانده ($\sqrt{۱-R^۲}$ =۰/۵۳)		

+: زیر اثر مستقیم خط کشیده شده است.

جدول ۸. اثرهای مستقیم[+] و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر وزن هزار دانه برنج به‌عنوان متغیر وابسته در شرایط رقابت با سوروف

متغیر	طول خوشه	درصد دانه پر در خوشه	اثر کل یا همبستگی با متغیر وابسته
طول خوشه	۰/۴۴	-۰/۰۷	۰/۳۷
درصد دانه پر در خوشه	-۰/۰۹	۰/۳۳	۰/۲۴
ضریب تبین (R^2=۰/۲۴)		اثرهای باقیمانده ($\sqrt{1-R^2}$ =۰/۸۷)	

+: زیر اثر مستقیم خط کشیده شده است.

جدول ۹. اثرهای مستقیم+ و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر شاخص رقابت برنج به‌عنوان متغیر وابسته در شرایط رقابت با سوروف

متغیر	وزن خشک سوروف	سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری	سطح ویژه برگ در زمان خوشه‌دهی	تعداد پنجه بارور	اثر کل یا همبستگی با متغیر وابسته
وزن خشک بیومس سوروف	-۰/۹۱	-۰/۲۸	۰/۶۴	-۰/۲۰	-۰/۷۵
سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشا	۰/۲۸	۰/۸۹	-۰/۷۳	۰/۱۴	۰/۵۸
سطح ویژه برگ در زمان خوشه‌دهی	۰/۵۹	۰/۶۸	-۰/۹۶	۰/۲۳	۰/۵۳
تعداد پنجه بارور	۰/۵۸	۰/۴۰	-۰/۷۲	۰/۳۰	۰/۵۶
ضریب تبین (R^2=۰/۸۵)			اثرهای باقیمانده ($\sqrt{1-R^2}$ =۰/۳۹)		

+: زیر اثر مستقیم خط کشیده شده است.

ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشا از طریق دو صفت شاخص توانایی تحمل برنج و شاخص رقابت تأثیر غیرمستقیم بر عملکرد دانه دارد و می‌تواند به‌عنوان یک متغیر مناسب جهت انتخاب ارقامی با قابلیت رقابت بالا در مقابل علف هرز استفاده شود. میزان این صفت نیز در رقم شیرودی و لاین ۸۴۳ بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توانند به‌عنوان ارقامی مناسب در بحث تولید ارقام مقاوم از طریق فرآیندهای انتخاب به‌کار گرفته شوند.

در ادامه، تجزیه علیتی انجام پذیرفت که در آن وزن خشک سوروف به‌عنوان متغیر تابع در نظر گرفته شده بود و سه متغیر سطح برگ سوروف در زمان خوشه‌دهی (۰/۴۴)، سطح ویژه برگ برنج در زمان خوشه‌دهی (۰/۳۴-) و شاخص رقابت (۰/۲۸-) به‌عنوان متغیرهای پیش‌گویی‌کننده وارد مدل شدند. (شکل ۲) میزان ضریب تبیین در این تجزیه رگرسیون گام به گام به‌ترتیب برابر با ۰/۷۴ بود که نشان می‌دهد بیش از نصف تغییرات متغیر اخیر توسط صفات مورد بررسی توجیه می‌شود.

بحث

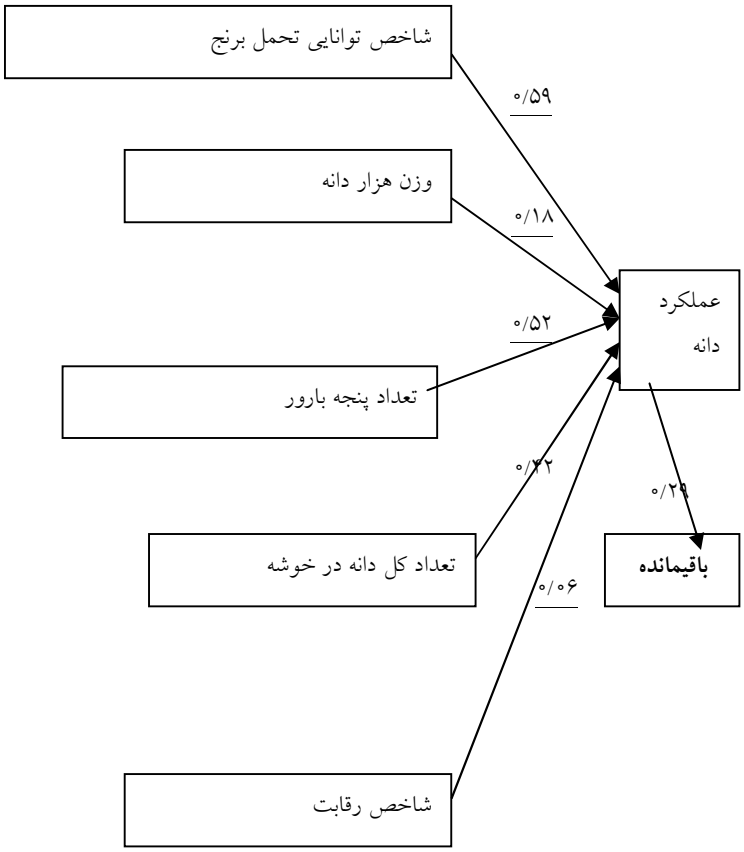
مجموع نتایج تجزیه رگرسیون و علیت حاکی از تأثیر مثبت صفات شاخص توانایی تحمل برنج، وزن هزار دانه، تعداد پنجه بارور، تعداد کل دانه در خوشه و شاخص رقابت به‌عنوان متغیرهای رتبه اول و صفات سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری، طول خوشه، درصد دانه پر در خوشه و سطح ویژه برگ در زمان خوشه‌دهی به‌عنوان متغیرهای رتبه دوم بر عملکرد دانه بود و در نتیجه امکان بهبود عملکرد دانه با استفاده از متغیرهای فوق وجود دارد. این نتیجه در تطابق با گزارش رحیم سروش و همکاران (۳۳) مبنی بر نقش زیاد صفت تعداد خوشه در بوته بر عملکرد دانه در برنج می‌باشد. هم‌چنین چوبی و

سینگ (۸) با استفاده از تجزیه علیت نشان دادند که تعداد خوشه بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد دانه داشت. پراکاش و پراکاش (۳۲) نیز با استفاده از تجزیه علیت داده‌های حاصل از صفات مؤثر بر عملکرد دانه در برنج نشان دادند که ظرفیت تولید تعداد پنجه بارور به همراه صفات تعداد دانه در خوشه و تعداد خوشه، مهم‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ارقام با عملکرد مطلوب است. در تطابق با نتایج حاصل از تحقیق حاضر، هنرنژاد (۱۸) به نقش تعداد پنجه بیشتر در بوته و پاکوتاهی در بهبود عملکرد بوته اشاره نمود. در این راستا مؤمنی و همکاران (۲۷) با استفاده از بررسی روابط علت و معلولی از طریق تجزیه علیت، اثر مستقیم تعداد پنجه‌های بارور، تعداد دانه و وزن ۱۰۰ دانه بر عملکرد را نشان دادند و این صفات را به‌عنوان معیارهای انتخاب جهت بهبود عملکرد معرفی نمودند. در تحقیقی دیگر، شریفی و همکاران (۳۶) نیز نشان دادند که صفات وزن خوشه، تعداد خوشه و شاخص برداشت متغیرهای وارد شده در مدل می‌باشند که بیشترین تأثیر مثبت معنی‌دار را بر عملکرد دانه دارند.

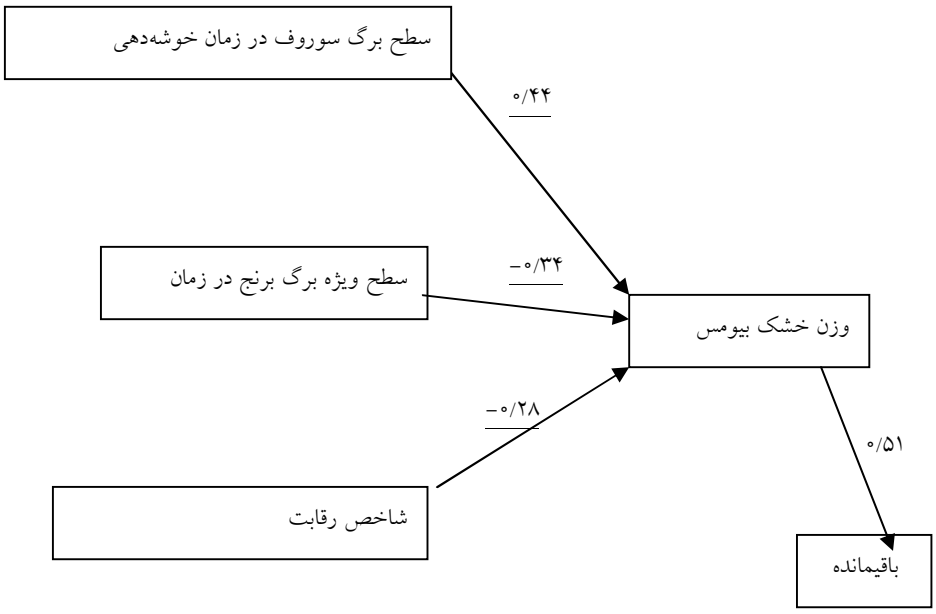
بیکر و همکاران (۴) در مطالعه‌ای نشان دادند که صفات تعداد پنجه و خوشه در گیاه اجزای کلیدی عملکرد دانه در شرایط حضور سوروف بودند و نقش مهمی در شرایط رقابت با علف هرز سوروف (*Ischaemum rugosum*) داشتند. هم‌چنین پرز دی ویدا (۳۱) نشان دادند که ارقام نیمه پاکوتاه خصوصیات رشدی بیشتری را در مقابل علف‌هرز *Echinochloa phyllopogon* در مقایسه با دیگر ارقام نشان می‌دهند. ایشان هم‌چنین با استفاده از تجزیه علیت نشان دادند که بهبود توانایی بازدارندگی برنج و تحمل به علف هرز بایستی با استفاده از صفاتی در مراحل اولیه رشد انجام شود که در تطابق با نتیجه حاضر مبنی بر تأثیر صفات سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری بر عملکرد دانه می‌باشد.

در ارتباط با تأثیر مثبت سطح ویژه برگ بر عملکرد در ۲۵ روز پس از نشاکاری، که به‌عنوان متغیر رتبه دوم در مدل وارد گردید، تصور می‌شود که سطح ویژه برگ در مراحل اولیه رشد تعیین‌کننده تفاوت‌های موجود بین ارقام برنج از لحاظ سطح برگ، قدرت پنجه‌زنی و توان اولیه گیاهچه‌ها باشد. هنگامی‌که سطح ویژه برگ زیاد باشد، برای تولید مقدار مشخصی سطح برگ، مواد فتوسنتزی کمتری مورد نیاز است. این امر سبب می‌شود که سطح زمین سریع‌تر توسط برگ‌ها پوشانیده شود و در نتیجه میزان جذب نور و تولید مواد فتوسنتزی در ابتدای فصل رشد افزایش یابد و به‌صورت غیرمستقیم بر عملکرد برنج تأثیر مثبت داشته باشد. این قاعده در مورد ارتباط مثبت بین مقدار سطح ویژه برگ و تعداد پنجه صدق می‌کند، چرا که پنجه‌زنی نیز به مقدار فتوسنتز مازاد روزانه و در نتیجه سرعت رشد نسبی محصول بستگی دارد. برخی از محققین معتقدند که سطح ویژه برگ ارقام رقابت‌کننده قوی بیشتر از ارقام رقابت‌کننده ضعیف است (۱۰ و۱۹). در مقابل، کاتون و همکاران (۶) گزارش کردند که میزان توانایی رقابتی در ارقام برنج ارتباطی با سطح ویژه برگ نداشت. هم‌چنین، بالا بودن سطح ویژه برگ باعث می‌شود قسمت اعظم نور ورودی توسط گیاه برنج جذب شود و در نتیجه مقدار فتوسنتز سوروف و تولید ماده خشک آن کاهش یابد.

در تحقیقات زیادی از بالا بودن سطح برگ به‌عنوان یک صفت مؤثر در افزایش توانایی رقابتی ارقام برنج یاد شده است (۱۱، ۱۴ و۱۹). نای و همکاران (۲۸) گزارش کردند که هیچ ارتباطی بین توانایی رقابتی و میزان سرعت رشد نسبی وجود ندارد. در حالی‌که برخی از محققین از قدرت پنجه‌زنی به‌عنوان یک صفت مؤثر در افزایش توانایی رقابتی یاد کردند (۶)، برخی نیز معتقدند که پنجه‌زنی در افزایش توانایی رقابتی اهمیت چندانی ندارد (۱۶). درک قدرت پنجه‌زنی به‌عنوان یک صفت مؤثر در افزایش توانایی رقابتی تا حدودی مشکل می‌باشد، زیرا پنجه‌زنی می‌تواند هم معلول و هم علت باشد. رشد زیادتر ممکن است از طریق افزایش سطح برگ و در نتیجه تولید مقدار مواد فتوسنتری بیشتر، پتانسیل تولید پنجه را افزایش دهد. از طرفی، در اثر پنجه‌زنی زیادتر، ممکن است سطح برگ افزایش یافته و این امر منجر به رشد بیشتر گردد.



شکل ۱. دیاگرام ضرایب علیت جهت بررسی روابط بین عملکرد دانه و سایر صفات گیاه برنج در شرایط رقابت با سوروف



شکل ۲. دیاگرام ضرایب علیت جهت بررسی روابط بین وزن خشک سوروف به‌عنوان متغیر تابع و صفات پیش‌گویی‌کننده در شرایط رقابت با سوروف

در نسل‌های اولیه اصلاحی که معمولاً وراثت‌پذیری عملکرد دانه متوسط می‌باشد، می‌توان از صفات تعداد پنجه بارور، وزن هزار دانه، ماده خشک تجمعی در زمان خوشه‌دهی، تعداد پنجه در زمان خوشه‌دهی و طول خوشه که همبستگی زیادی با عملکرد دانه دارند در جهت بهبود ژنتیکی عملکرد دانه استفاده نمود. گزارش‌های زیادی نیز در مطابقت با این موضوع مبنی بر تأثیر مثبت صفات پنجه بارور و وزن هزار دانه بر عملکرد دانه و در نتیجه استفاده از این صفات برای انتخاب جهت نیل به عملکرد زیادتر در برنج ارائه شده است (۱، ۲۱، ۲۲ و۳۴).

در ارتباط با همبستگی مثبت بین شاخص برداشت و عملکرد دانه، می‌توان اظهار نمود که افزایش بیشتر عملکرد دانه در برنج مرتبط با شاخص برداشت است و بهبود شاخص برداشت به مفهوم افزایش ظرفیت مخزن است که عوامل تعیین‌کننده آن شامل وزن خشک در زمان خوشه رفتن و سرعت رشد محصول در زمان خوشه‌دهی می‌باشد. شاخص برداشت کم ارقام پابلند می‌تواند ناشی از سایه‌اندازی متقابل و توقف رشد پس از گل‌دهی باشد (۷). عملکرد برنج تابعی از کل ماده خشک و شاخص برداشت است و برای افزایش عملکرد بایستی این دو مورد بهبود یابند. در تحقیق حاضر، تأثیر منفی ارتفاع بوته بر عملکرد ملاحظه گردید. به نظر می‌رسد که داشتن ساقه‌های کوتاه که از خصوصیات مورفولوژیک در ارقام اصلاح شده برنج می‌باشد، نقش عمده‌ای در عملکرد زیاد برنج داشته باشد. ساقه کوتاه و محکم باعث می‌شود که برنج مقاومت بیشتری در مقابل ورس داشته باشد و مصرف زیاد نیتروژن را تحمل نماید. در حالی‌که یک گیاه پابلندتر حساسیت بیشتری به ورس داشته و واکنش کمتری به مصرف نیتروژن دارد. هم‌چنین، در این ارتباط مشخص شده که ارقام پاکوتاه تنفس ساقه کمی داشته و در نتیجه عملکرد دانه آن بیشتر است.

همان‌طورکه ملاحظه گردید، صفات وزن هزار دانه، تعداد پنجه بارور و تعداد کل دانه در خوشه به‌عنوان متغیرهای رتبه اول بر عملکرد دانه ارقام برنج در شرایط رقابت با علف هرز سوروف مؤثر بودند. با توجه به اهمیت اندازه مخزن که عبارت است از تعداد خوشه، تعداد خوشه‌چه در هر خوشه و وزن متوسط هر دانه (۲)، بایستی به عوامل مؤثر در اندازه مخزن توجه گردد. ارقامی با خوشه‌های بزرگ، ساقه‌های قوی و شاخص برداشت می‌توانند در افزایش عملکرد برنج نقش داشته باشند. بنابراین، مخزن یا ظرفیت ذخیره‌ای بزرگ که توسط تعداد خوشه‌چه، تعداد بیشتر دانه‌ها در هر خوشه و وزن متوسط هر دانه حاصل می‌شود، مزیتی برای دستیابی به عملکرد بیشتر می‌باشد. از طرف دیگر، تعداد پنجه بارور و تعداد خوشه از طریق افزایش ظرفیت مخزن یا محل ذخیره مواد در گیاه، به‌طور بالقوه سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود. حداکثر تظاهر هر یک از اجزای عملکرد، برحسب توالی بروز آنها طی رشد و نمو گیاه پی‌ریزی می‌شود و می‌توانند اثرهای مستقیمی بر عملکرد دانه داشته باشند. البته بایستی توجه گردد که محیط هم بر روابط بین منبع و مخزن مؤثر است. از دیگر صفات مؤثر بر عملکرد دانه در تحقیق حاضر، وزن هزار دانه می‌باشد که با توجه به دارا بودن اثر مستقیم بر عملکرد دانه می‌تواند مورد توجه قرار گیرد و برای افزایش و بهبود عملکرد دانه به‌کار گرفته شود. با توجه به این‌که کاهش یک جزء مؤثر بر عملکرد، تا حدود زیادی توسط اجزای دیگر جبران می‌گردد، نقص اجزای اولیه عملکرد نظیر تعداد پنجه بارور، که به‌واسطه حضور علف‌هرز سوروف ممکن است حادث شود، از طریق وزن هزار دانه می‌تواند جبران شود و در نتیجه این صفت به‌عنوان یک شاخص مهم برای انتخاب جهت نیل به عملکرد بیشتر استفاده شود.

نتیجه‌گیری

در مجموع، با توجه به نتایج حاصل از تحقیق حاضر، امکان استفاده از صفاتی مانند شاخص توانایی تحمل برنج، وزن هزار دانه، تعداد پنجه بارور، تعداد کل دانه در خوشه، شاخص رقابت، سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری، طول خوشه، درصد دانه پر در خوشه، سطح ویژه برگ در زمان خوشه‌دهی و تعداد پنجه بارور برای انتخاب غیرمستقیم جهت نیل به عملکرد بیشتر در شرایط رقابت با علف هرز سوروف

استفاده نمود. با وجود آن‌که صفات فوق بر عملکرد دانه تأثیر مثبت دارند، صفت تعداد پنجه بارور و هم‌چنین سطح برگ برنج در مراحل قبل از خوشه‌دهی قابل اندازه‌گیری می‌باشد، بنابراین انتخاب رقم با عملکرد دانه زیاد قبل از رسیدن دانه از طریق این دو صفت امکان‌پذیر است. از دیگر نتایج این تحقیق این است که رقم شیرودی و لاین ۸۴۳ با بیشترین میزان صفات سطح ویژه برگ در ۲۵ روز پس از نشاکاری، شاخص توانایی تحمل برنج و شاخص رقابت بالا، به عنوان ارقامی با توانایی زیاد در شرایط رقابت با علف هرز سوروف می‌باشند و می‌توانند به‌عنوان ارقامی مناسب در فرآیندهای انتخاب و هم‌چنین والدین تلاقی‌ها به‌کار گرفته شوند. ذکر این نکته ضروری است که نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر، برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و نتاج حاصل از تلاقی بین آنها، قابل کاربرد است و تعمیم نتایج حاضر در سایر ارقام برنج بایستی با دقت بیشتری عمل شود.

منابع مورد استفاده

1. Abouzari Gazafrodi, A., R. Honarnejad, M. H. Fotokian and A. Alami. 2007. Study of correlations among agronomic traits and path analysis in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 10(2): 99-106. (In Farsi).
2. Akita, S. 1989. Improving yield potential in tropical rice, progress in irrigated rice research. IRRI, Manila, Philippines, pp. 41-73.
3. Aminpanah, H. and P. Sharifi. 2011. Sequential path analysis for determination of relationships between yield-related characters with yield in rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Agricultural Research* 6(28): 6100-6106.
4. Bakar, B. B., N. A. N. Lajili, S. Suhaimi, A. Suzana and J. Abdul Munir. 2005. Path analysis of two sympatric weed species (*Echinochloa crus-galli* ssp. *crus-galli* (L.) Beauv. and *Ischaemum rugosum* Salisb.) in competition with rice (*Oryza sativa* L. var. MR84)- a comparative study. *Plant Protection Quarterly* 20(2): 67-73.
5. Bastiaans, L., M. J. Kropff, N. Kempuchetty, A. Rajan and T. R. Migo. 1997. Can simulation models help design rice cultivars that are more competitive with weeds? *Field Crops Research* 51: 101-111.
6. Caton, B. P., A. E. Cope and M. Mortimer. 2003. Growth traits of diverse rice cultivars under severe competition: Implications for screening for competitiveness. *Field Crops Research* 83: 157-172.
7. Chandler, R. F. 1969. Plant morphology and stand geometry in relation to nitrogen. PP. 265-285. *In:* Eastin, J. D., F. A. Haskins, C. Y. Sullivan and C. H. M. van Bavel (Eds.), Physiological Aspects of Crop Yield, American Society of Agronomy, Crop Society of America, Madison, WI.
8. Chauby, P. K. and R. P. Singh. 1994. Genetic variability, correlation and path analysis of yield and yield components of rice. *Madras Agricultural Journal* 81: 468-470.
9. Cousense, R. D. and D. J. Fletcher. 1990. Exprimental design for screening for competitiveness of crop cultivars. Proceeding of the 9th Australian Weed Conference. PP. 163-165, Heap, J. W.(Ed.), Crop Science Society of South Australia, Adelaide.
10. Dingkuhn, M., D. E. Johnson, A. Sow and A. Y. Audebert. 1999. Relationships between upland rice canopy characteristics and weed competitiveness. *Field Crops Research* 61: 79-95.
11. Dingkuhn, M., M. Jones, D. E. Johnson, B. Fofana and A. Sow. 1997. *O. sativa* and *O. glaberrima* genepools for high yielding, weed competitive rice plant types. PP. 144-155. *In:* Fukai, S., M. Cooper and J. Salisbury (Eds.), Breeding Strategies for Rainfed Rice in Drought Prone Environments, ACIAR Proceedings No. 77, Australian Center for International Agricultural Research, Canberra, Australia.
12. Erfani, A. and M. Nasiri 2000. Study of some morphological and physiological effects on rice grain yield. Rice Research Institue of Iran (Mazandaran) Press, 43 p. (In Farsi).
13. Falconer, D. S. 1989. Introduction to Quantitative Genetics. Longman Scientific and Technical, 438 p.
14. Fischer, A. J., H. V. Ramirez and J. Lozano. 1997. Suppression of Junglerice (*Echinochloa colona* L. Link) by irrigated rice cultivars in Latin America. *Agronomy Journal* 89: 516-521.
15. FAO. 2010. Faostat database. Available online at: http://www.fao.org/.
16. Garrity, D. P., M. Movillon and K. Moody. 1992. Differential weed suppression ability in upland rice cultivars. *Agronomy Journal* 84: 586-591.
17. Hanwen, N., M. Keith and P. R. Restituta. 2004. Analysis of competition between wet-seeded rice and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) using a response–surface model. *Weed Science* 52: 142-146.

18. Honarnejad, R. 2003. Study of correlation between some quantitative traits and grain yield in rice (*Oryza sativa* L.) using path analysis. *Iranian Journal of Crop Science* 1: 25-34. (In Farsi).
19. Johnson, D. E., M. Dingkuhn, M. P. Jones and M. C. Mahamane. 1998. The influence of rice plant type on the effect of weed competition on *Oryza sativa* L. and *Oryza glaberrima* L. *Weed Research* 38: 207-216.
20. Jordan, N. 1993. Prospects for weed control through crop interference. *Ecological Applications* 3: 84-91.
21. Kihupi, L. A. 1998. Inter-relationship between yield and some selected agronomic characters in rice. *African Crop Science Journal* 6(3): 323-328.
22. Kumar, G. S. and M. Mahadevappa. 1998. Studies on genetic variability, correlation and analysis in rice during winter across the location. *Karnataka Journal of Agricultural Science* 11(1): 73-77.
23. Majidi, T. 2011. Path analysis software. Available in: http://www.pathanalysis. mihanblog.com.
24. Mazhari, S. M., R. Honarnejad and M. Allah Gholipour. 2007. Study of correlation among yield and some important agronomic traits using path analysis in rice. *Journal of Agricultural Science* 1: 52-64. (In Farsi).
25. Mehteri, S. S., C. R. Mahajan, P. A. Patil, S. K. Lad and P. M. Dhumal. 1994. Variability, heritability, correlation, path analysis and genetic divergence studies in upland rice. *IRRI Note* 19(1): 8-10.
26. Mohammadi, S. A., B. M. Prasanna and N. N. Singh. 2003. Sequential path model for determining interrelationships among grain yield and related characters in maize. *Crop Science* 43: 1690-1697.
27. Mumeni, A., A. A. Zali and P. Vejdani. 1996. Study of correlation and path analysis for a number of important agronomic traits related to yield in rice cultivars and hybrids. 4th Iranian Agronomy and Plant Breeding Congress, Isfahan University of Technology, 28-30 August. (In Farsi).
28. Ni, H., K. Moody, R. P. Robles, E. C. Paller and J. S. Lales. 2000. *Oryza sativa* (L.) plant traits conferring competitive ability against weeds. *Weed Science* 48: 200-204.
29. Nurbakhshian, J. and A. Rezaei. 1996. Correlation and path analysis of rice grain yield and rice grain yield path analysis. *Iranian Journal of Crop Siences* 1: 55-65. (In Farsi).
30. Perez de Vida, F. B., E. A. Laca, D. J. Mackill, G. M. Ferna´ndez and A. J. Fischer. 2006. Relating rice traits to weed competitiveness and yield: A path analysis. *Weed Science* 54: 1122-1131.
31. Perez de Vida, F. B. 2007. Rice (*Oryza sativa* L.) plant traits dissection for early vigor and competitiveness with *Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss. PhD. Thesis, University of California, Davis, 101 p.
32. Prakash, S. and B. G. Prakash. 1987. Path analysis in ratoon rice. *Rice Abstract* 24: 215-218.
33. Rahim Souroush, H., M. Mesbah and A. Hosseinzadeh. 2005. Study of relations among yield and yield components traits in rice. *Iranian Journal of Agricultural Science* 35(4): 983-993. (In Farsi).
34. Sabori, H., A. Rezaei, S. A. M. Mirmohammady Maibody and M. Esfahani. 2006. Path analysis for rice grain yield and related traits in two planting patterns. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 9(1): 113-128. (In Farsi).
35. Sarmadnia, GH. and A. Koochaki. 1997. Crop Physiology. Jehad-e- Daneshgahi Press, Mashhad, Six th ed., 467 p. (In Farsi).
36. SES. 1996. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.
37. Sharifi, P., H. Dehghani and A. Mumeni. 2008. Sequential path analysis for determination of relationships between yield-related characters with yield and degree of milling in rice. 1st Rice Conference, Islamic Azad University, Rasht Branch, 10-11 February. (In Farsi).
38. Watson, P. R., D. A. Derksen, R. C. Van Acker and M. C. Blrvine. 2002. The contribution of seed, seedling and mature plant traits to barley cultivar competitiveness aginest weeds. Proc. National Meeting- Canadian Weed Science Society, pp. 49- 57.
39. Wright, S. 1921. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research* 20: 557-585.