نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۷۷۶-۷۶۰

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 3, Fall 2017, p. 760-776

خلأ عملکرد سویا (*Glycine max* L. Merr.) در منطقه گرگان و علی‌آبادکتول با استفاده از روش آنالیز خط مرزی

علیرضا نه‌بندانی[1*]، افشین سلطانی[2]، ابراهیم زینلی[3]، فریما حسینی[4]، علی شاه‌حسینی[4] و میثم مهماندویی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۵

نه‌بندانی ، ع.ر.، سلطانی ، ا.، زینلی، ا.، حسینی، ف.، شاه‌حسینی، ع.، و مه ماندویی، م. ۱۳۹۶. خلأ عملکرد سویا (*Glycine max* L. Merr.) در منطقه گرگان و علی‌آبادکتول با استفاده از روش آنالیز خط مرزی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۹(۳): ۷۶۰-۷۷۶.

چکیده

افزایش تولید گیاهان زراعی برای حفظ امنیت غذایی جمعیت رو به رشد الزامی است. چون گزینه افزایش سطح زیر کشت، تقریبا نـاممکن اسـت، افزایش عملکرد در واحد سطح، تنها گزینه قابل اعتنا است. کم کردن فاصله بین عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل (خلأ عملکرد) یکی از راه‌های مهم افزایش عملکرد در واحد سطح است. برای افزایش عملکرد لازم است در هر منطقه میزان خلأ عملکرد مشخص و عوامل سهیم در خلأ عملکرد درتولید گیاهان زراعی مهم شناسایی شوند. بدین منظور، اطلاعات مربوط به مدیریت تولید ۲۲۴ مزرعه سویا (*Glycine max* L. Merr.) در منطقه گرگان و علی‌آبادکتول در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ جمع‌آوری و بررسی شد. خلا عملکرد با استفاده از روش آنالیز خط مرزی تعیین شد. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد در مزارع مورد بررسی ۳۳۴۰ کیلوگرم در هکتار بود و با بهبود مدیریت زراعی می‌تواند به ۵۴۰۷ کیلوگرم در هکتار افزایش یابد. بر اساس تجزیه و تحلیل اطلاعات مزارع مورد بررسی، اقدامات لازم برای دست‌یابی به این عملکرد عبارتند از: ۱) مصرف حداقل ۴۵ کیلوگرم نیتروژن کودی در هکتار، ۲) مصرف حداقل ۴۳ کیلوگرم کود فسفر به صورت P_2O_5 در هنگام کاشت، ۳) مصرف ۵۳ تا ۶۷ کیلوگرم بذر در هکتار، ۴) کشت سویا پیش از ۱۳ تیر، ۵) کشت سویا با فاصله بین ردیف ۴۰ و روی ردیف پنج تا هفت سانتی‌متر، ۶) حداقل چهار نوبت آبیاری بسـته بـه میـزان بارنـدگی و خشکی، ۷) برداشت سویا در محدوده زمانی اواسط مهر تا اواخر آبان. به‌کارگیری این روش ارزیابی خلأ برای سایر گیاهان و مناطق توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تاریخ کاشت، کود فسفر، کود نیتروژن، مقدار بذر

مقدمه

در نیم قرن گذشته، جمعیت جهان از ۳/۱ میلیـارد نفـر در سـال ۱۹۶۱ به بیش از ۷/۲ میلیارد نفر در سال ۲۰۱۲ میلادی (با نرخ رشد سالانه ۱/۶ درصد) رسیده است. در مقابل، تولید محصولات کشاورزی از ۸۷۷ میلیون تن در سال ۱۹۶۱ میلادی بـه ۲۵۴۶ میلیـون تـن در سال ۲۰۱۲ میلادی (با نرخ رشد سالانه ۲/۱ درصـد) افـزایش یافتـه است (Beddow et al., 2015). بـالاتر بـودن نـرخ افـزایش تولیـد محصولات کشاورزی توانسته است نیاز غذایی جمعیت جهان را تأمین کند. ادامه روند افزایش جمعیت همراه با افزایش سطح رفاه عمومی و همچنین افزایش تقاضا برای سوخت‌های زیستی به معنـای افـزایش تقاضا برای تولیـد محصـولات کشـاورزی اسـت (Beddow et al., 2015).

تفاوت‌های قابل توجه بین عملکردهای به‌دست آمده از یک گیاه زراعی در یک نظام تولید در یک منطقه، محققین را بر آن داشته است که عملکرد پتانسیل منطقـه را تعیـین و دلایـل عـدم حصـول آن را بررسی کنند. بررسی فاصله کمی ایجاد شده بین عملکرد قابل حصول در مزرعه و میانگین عملکرد واقعی مزارع در یک منطقه تحت عنوان آنالیز خلأ عملکرد نامیده مـی‌شـود (Van Ittersum et al., 2012). برای کاهش خلأ عملکرد مشخص‌کردن عوامل محدودکننده عملکرد

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد، دانشـیار،گروه زراعـت، دانشـکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشـاورزی و منـابع طبیعـی گرگـان و دانـش‌آموختـه کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: a.nehbandani@yahoo.com)
DOI:10.22067/jag.v9i3.51086

در یک ناحیه خاص ضروری می‌باشد. عوامل ایجاد کننده خلأ عملکرد، محدودیت‌های عملکرد نام دارند (Soltani, 2009).

تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه خلأ عملکرد سویا (*Glycine max* L. Merr.) در جهان صورت گرفته است. اگلی و هاتفیلد (Egli & Hatfield, 2014) به بررسی خلأ عملکرد سویا در کنتاکی از سال ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۱ میلادی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین خلأ عملکرد مربوط به سال‌هایی بود که توانایی خاک برای تأمین آب کافی نبود. آن‌ها مهم‌ترین عوامل خلأ عملکرد را به‌ترتیب آبیاری ناکافی و ویژگی‌های خاک اعلام کردند. سنتلاس و همکاران (Sentelhas et al., 2015) به بررسی میزان خلأ عملکرد سویا و علل ایجاد آن در چند منطقه از برزیل پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بخش عمده‌ای از خلأ عملکرد مربوط به کمبود آب و پس از آن مدیریت محصول بود. میزان خلأ عملکرد ناشی از کمبود آب و مدیریت محصول حدود ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. آن‌ها برای کاهش خلأ عملکرد مدیریت آبیاری، تناوب زراعی و کشاورزی دقیق را پیشنهاد کردند. همچنین، بیان داشتند که افزایش سطح دانش کشاورزان و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای بهبود مدیریت محصول می‌تواند کمک زیادی به کاهش خلأ عملکرد کند. دی آویلارودریگز و همکاران (de Ávila Rodrigues et al., 2013) نشان دادند که مدیریت آبیاری، یکنواختی توزیع آبیاری، شوری خاک، تناوب زراعی، حاصلخیزی خاک، آفات و بیماری‌ها می‌توانند بر عملکرد سویا اثر بگذارند. بهاتیا و همکاران (Bhatia et al., 2008) به بررسی خلأ عملکرد سویا با استفاده از مدل CROPGRO-Soybean در هند پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین پتانسیل عملکرد در هند در شرایط عدم محدودیت آب ۳۰۲۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین پتانسیل عملکرد در شرایط آب محدود ۲۱۷۰ کیلوگرم در هکتار بوده و نتیجه گرفتند که شرایط رطوبتی خاک باعث کاهش ۲۸ درصد عملکرد می‌شود.

روش‌های ارزیابی عملکردهای مختلف و خلأ عملکرد اغلب با استفاده از نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده در مراکز تحقیقاتی بدون در نظر گرفتن اختلافات ذاتی در شرایط مزرعه است. بررسی جامع تنوع عملکرد نیازمند نظارت مزارع کشاورزان در مکان‌ها و زمان‌های مختلف برای ارزیابی اثرات آب و هوا، خاک، عوامل زنده و روش‌های مدیریتی می‌باشد. روش‌های آماری کلاسیک مانند رگرسیون، همبستگی و یا تحلیل مؤلفه‌های اصلی به منظور تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد استفاده شده‌اند. برخی از افراد نیز از مدل‌های شبیه‌سازی جهت ارزیابی خلأ موجود بین عملکرد پتانسیل و عملکرد به‌دست آمده توسط کشاورزان استفاده کرده‌اند. یکی از این روش‌ها که توانایی برآورد عملکرد پتانسیل و دلایل خلأ عملکرد را دارد، آنالیز خط مرزی[۱] است (Hajarpour et al., 2015). آنالیز خط مرزی یک روش آماری است که به کمک آن می‌توان واکنش عملکرد به یک عامل محیطی یا مدیریتی را در شرایطی کمی نمود که سایر عوامل نیز متغیر هستند و ثابت نشده‌اند. حجارپور و همکاران (Hajarpour et al., 2015) با استفاده از آنالیز خط مرزی خلأ عملکرد مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) گرگان (عملکرد پتانسیل و نیز دلایل خلأ عملکرد) را بررسی کردند. آن‌ها بیان داشتند که متوسط عملکرد مزارع مورد بررسی ۴۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بود ولی با بهبود مدیریت زراعی و حذف عوامل خلأ عملکرد می‌توانند به ۶۲۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یابد. آنان این اقدامات را برای دست‌یابی به عملکرد پتانسیل توصیه کردند: ۱) مصرف حداقل ۹۶ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار که ۷۳ کیلوگرم آن باید به‌صورت سرک و مابقی آن در هنگام کاشت مصرف شود، ۲) مصرف حداقل ۳۱ کیلوگرم کود فسفر و ۴۰ کیلوگرم کود پتاس به صورت K_2O در هنگام کاشت، ۳) حداقل دو نوبت آبیاری ، ۴) تراکم بوته بین ۱۸۲ تا ۴۴۷ در مترمربع و ۵) کشت در اوایل آذر ماه و یا قبل از آن.

شناخت پتانسیل‌ها و همچنین میزان و نحوه تأثیر هر یک از عوامل محدود کننده عملکرد به صورت جداگانه، نقش مهمی در تعیین راهبردهای مدیریتی جایگزین برای رسیدن به حداکثر عملکرد دارد. بنابراین، تحقیق حاضر به‌منظور استفاده از روش آنالیز خط مرزی برای تعیین همزمان بهترین عملیات مدیریت تولید و همچنین برآورد پتانسیل‌ها و خلأ عملکرد سویا در دو منطقه گرگان و علی‌آبادکتول انجام شد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و اطلاعات زراعی:

به‌منظور کمی‌سازی تولید و برآورد خلأ عملکرد سویا در منطقه گرگان و علی‌آبادکتول از اطلاعات مدیریت تولید ۲۲۴ مزرعه سویا (۸۷ مزرعه در گرگان و ۱۳۷ مزرعه در علی‌آبادکتول) در سال‌های

۱- Boundary line analysis

۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ استفاده شد. این اطلاعات از طریق پایش مستمر مزارع در طول فصل رشد و همچنین مصاحبه شخصی (چهره به چهره) با کشاورزان به‌دست آمد. مزارع با کمک مراکز خدمات کشاورزی شهرستان‌های گرگان و علی‌آباد انتخاب شدند. براساس اطلاعات موجود در مراکز خدمات، مزارعی انتخاب می‌شدند که از لحاظ سطح زیر کشت، عملیات زراعی و همچنین عملکرد برداشت دارای تنوع بودند. در این تحقیق، بدون در نظر گرفتن اطلاعات مربوط به خاک مزارع و همچنین اطلاعات گیاهی، تأثیر عوامل مدیریتی بررسی شد. عوامل مدیریتی مورد بررسی شامل میزان نیتروژن کودی (N)، میزان کود فسفر (P_2O_5) مصرفی، تعداد دیسک، تاریخ کشت، مقدار بذر، فاصله بین ردیف، فاصله روی ردیف، تعداد دفعات آبیاری و تاریخ برداشت بود.

اطلاعات اقلیمی:

شهرستان گرگان با میانگین درازمدت بارندگی سالانه ۵۷۱ میلی‌متر و حداقل و حداکثر دمای سالانه به ترتیب ۱۳ و ۲۳ درجه سانتی‌گراد، دارای اقلیم معتدل نیمه مرطوب است. ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۳ متر بوده که در ۵۴ درجه و ۲۹ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض جغرافیایی در استان گلستان واقع گردیده است. میانگین تابش خورشیدی در گرگان در حدود ۱۴/۷ مگاژول بر مترمربع در روز در سال می‌باشد (شکل ۱). شهرستان علی‌آبادکتول با میانگین درازمدت بارندگی سالانه ۷۳۱ میلی‌متر و حداقل و حداکثر دمای سالانه به‌ترتیب ۱۲ و ۲۳ درجه سانتی‌گراد، دارای اقلیم کوهپایه‌ای است. ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۸۴ متر بوده که در ۵۴ درجه و ۵۳ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۵۲ دقیقه عرض جغرافیایی در استان گلستان واقع گردیده است میانگین تابش خورشیدی در علی‌آبادکتول در حدود ۱۴/۷ مگاژول بر مترمربع در روز در سال می‌باشد (شکل ۱).

آنالیز خط مرزی:

اگرچه می‌توان گفت که پروتکل توافق شده‌ای برای آنالیز خط مرزی وجود ندارد و در مواردی محققین به صورت کاملاً اختیاری خط مرزی را به داده‌ها برازش می‌دهند (Makowski et al., 2007)، اما می‌توان پنج مرحله کلی را برای آنالیز خط مرزی متصور شد (Shatar Patrignani et Makowski et al., 2007; & Mcbratney, 2004; al., 2014; Hajarpour et al., 2015) که عبارتند از:

۱- بررسی نمودار پراکنش داده‌ها: در ابتدا باید بین عملکرد به عنوان متغیر وابسته و یک متغیر مستقل هدف که در اینجا یکی از عملیات مدیریت زراعی خواهد بود، یک نمودار پراکندگی که به نمودار XY یا اسکتر[۱] نیز معروف است، رسم کرد.

۲- دسته‌بندی و گروه بندی نقطه داده‌ها[۲]: در این مرحله با توجه به پراکنش نقاط و همچنین با کمک گرفتن از متخصصین ذیربط (در اینجا زراعت) و اطلاعات قبلی، متغیر مستقل به گروه‌هایی با فواصل[۳] منظم و یا غیر منظم (بسته به نظر متخصص و کیفیت داده‌ها) تقسیم می‌شوند. در برخی موارد مانند تعداد دفعات آبیاری به عنوان یک متغیر مدیریتی، داده‌ها به طور طبیعی در گروه‌های مجزا قرار دارند.

۳- حذف داده‌های پرت و خارج از محدوده‌های مشخص شده: در این مرحله محقق باید علم کافی و اطلاعات قبلی مناسبی نسبت به داده‌های جمع‌آوری شده داشته باشد تا به اشتباه داده‌ی مهمی را کنار نگذارد.

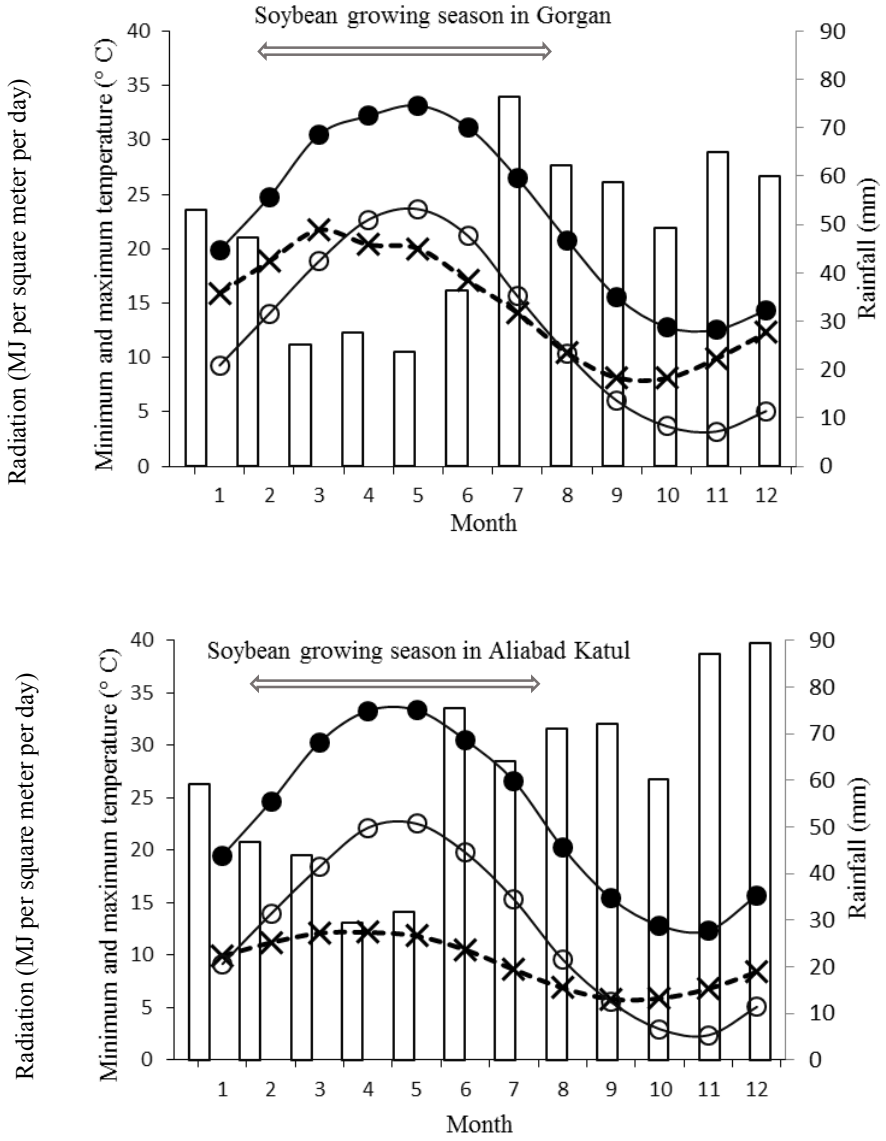
٤- تشخیص بالاترین عملکردها در هر زیرگروه[٤]: در حاضر بالاترین عملکردها انتخاب شدند و بعضاً از گروه‌هایی که حاوی داده‌هایی با مقادیر غیر قابل قبول از لحاظ علم زراعت بودند صرف نظر شده است.

۵- آخرین مرحله از کار، برازش یک تابع مناسب: به داده‌های به‌دست آمده یک تابع مناسب در مرحله چهارم برازش داده می‌شود که با توجه به نحوه چیدمان داده‌ها انجام می‌شود. برای تعیین ضرایب مدل با توجه به تابع واکنش می‌توان از نرم‌افزارهای آماری مختلف استفاده کرد.

در این تحقیق با رسم نمودار پراکنش میزان عملکرد به‌دست آمده در هر مزرعه به عنوان متغیر وابسته در مقابل متغیرهای مستقل (مدیریت‌های زراعی)، با استفاده از نرم‌افزار SAS و رویه nlin (Soltani., 2007) یک تابع بر لبه بالایی پراکنش داده‌ها برازش داده شد. بر اساس مرحله پنج و نحوه چیدمان داده‌ها تابع مناسب انتخاب شد. برای مدیریت تاریخ کاشت با توجه به این‌که روند داده‌ها از یک

۱- Scatter plot
۲- Data points
۳- Interval
۴- Maximum-yield subset

تابع خطی درجه یک پیروی می‌کرد برای به‌دست آوردن یک تـاریخ کاشت بهینه متوسط عملکردهای پتانسیل به‌دست آمده در بین مزارع مورد بررسی از سایر عوامل مدیریتی به‌عنوان عملکرد پتانسیل در نظر گرفته شد.



شکل ۱- میانگین ماهانه حداقل (درجه سانتی‌گراد) (دایره‌های روشن) و حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) (دایره‌های تاریک)، بارندگی (میلی متر)
(ستون‌های روشن) و تابش خورشیدی (مگاژول در مترمربع در روز) (خطوط منقطع) شهرستان گرگان و علی‌آبادکتول براساس دوره بلند مدت
علامت پیکان نشان دهنده دوره رشد سویا در این مناطق است.

Fig. 1- Average monthly minimum (℃) (bright circles) and maximum temperature (℃) (dark circles), precipitation (bright columns) and solar radiation (MJ per square meter per day) (dashed lines) in Gorgan and Aliabad Katul based on a long-term period
Arrows indicate the soybean growing season in these areas.

نتایج و بحث

واکنش عملکرد دانه به مقدار مصرف نیتروژن کودی

در مزارع مورد بررسی مشخص شد که حداقل، حداکثر و میانگین مقدار مصرف نیتروژن کودی به ترتیب ۰، ۱۱۵ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار است. همچنین، حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه سویا در این مزارع به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۶۰۸۳ و ۳۵۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. واکنش بیشترین عملکردهای سویا در مزارع مورد بررسی از نظر مقدار مصرف نیتروژن کودی نشان داد که نقاط از یک تابع دوتکه‌ای پیروی می‌کنند (شکل ۲). بدین‌ترتیب که با افزایش مقدار مصرف نیتروژن کودی تا ۴۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه افزایش یافت و پس از آن افزایش مقدار مصرف نیتروژن کودی تأثیری بر عملکرد دانه سویا نداشت (شکل ۲). عملکردهایی که در هر یک از مقادیر این نهاده زیر خط مرزی (پایین‌تر از عملکرد حداکثر در آن مقدار نهاده) قرار گرفته‌اند به‌وسیله عواملی غیر از آن نهاده محدود شده است به این دلیل که اگر تمام عوامل مدیریتی در آن مزارع نیز مشابه مزرعه‌ای بود که حداکثر عملکرد دانه را در آن مقدار از نهاده مورد نظر (برای مثال ۴۵ کیلوگرم کود نیتروژنی) تولید کرده است، دلیلی وجود نداشت که عملکرد آن‌ها از حداکثر عملکرد تولید شده در آن مقدار نهاده کمتر باشد. تخمین پایین‌تر از حد عملکرد پتانسیل در این‌گونه مطالعات میدانی به‌علت عدم دسترسی به نهاده‌ها، نبود ضمانت کافی برای فروش محصول و همچنین ضعف اطلاعات یا عدم دسترسی به اطلاعات کافی از سوی کشاورزان نیز اتفاق می‌افتد (Van Ittersum et al., 2013).

عملکرد پتانسیل نیتروژن محدود ۵۹۳۱ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف حداقل ۴۵ کیلوگرم نیتروژن خالص حاصل شد (شکل ۲). از میان مزارع مورد بررسی ۴۹ درصد از مزارع کمتر از این حداقل مطلوب، نیتروژن کودی مصرف کرده‌اند (جدول ۱). در کشورهای در حال توسعه کمبود نیتروژن یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد می‌باشد (Sinclair & Rufty, 2012). تثبیت بیولوژیک نیتروژن توسط باکتری‌های همزیست سویا تنها ۲۵ تا ۷۵ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه میزبان را تأمین می‌کند (Varco, 1999) و بنابراین، استفاده از کود نیتروژن در سویا برای رسیدن به حداکثر عملکرد لازم است (Osborne & Riedel., 2006; Wingeyer et al., 2014; Ray et al., 2006). در شرایطی که مقدار نیتروژن بقایا و مقدار نیتروژن معدنی خاک کم باشد و یا شرایط pH پایین خاک سبب کاهش گره‌زایی و تثبیت نیتروژن شده باشد، استفاده از ۵۶ تا ۱۱۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌تواند باعث افزایش عملکرد گردد (Heatherly & Elmore, 2004).

برخی از مطالعات نشان داده که مقادیر اندک نیتروژن (۲۰ تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار) در مراحل زایشی می‌تواند باعث افزایش عملکرد سویا گردد (Purcell et al., 2004; Gan et al., 2003). حداکثر مقدار جذب نیتروژن توسط سویا مربوط به مراحل R_3 تا R_4 بوده که به میزان ۴/۵ کیلوگرم در هکتار در هر روز است (Heatherly & Elmore, 2004).

مطالعات نشان داده که حتی با وجود احتمال کاهش مقدار تثبیت بیولوژیک نیتروژن در سویا، استفاده از ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای رفع نیازهای گیاه الزامی می‌باشد (Moreira et al., 2015). وسلی و همکاران (Wesley et al., 1998) گزارش کردند که مصرف ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم نیتروژن در مرحله R_3 سبب افزایش عملکرد سویای آبی به ترتیب به میزان ۴۴۰ و ۴۷۰ کیلوگرم در هکتار می‌شود. ملگار و لوپی (Melgar & Lupi, 2002) نیز افزایش تجمع نیتروژن و عملکرد در سویا را با مصرف ۳۰ کیلوگرم نیتروژن در مرحله V_4 یا R_3 مشاهده کردند (Wingeyer et al., 2014). ژن و همکاران (Gan et al., 2003) در چین مشاهده کردند که مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مرحله R_1 سبب افزایش عملکرد سه ژنوتیپ سویا به میزان ۹ تا ۲۶ درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد نیتروژن شد. البته آن‌ها بیان داشتند که مصرف نیتروژن در مرحله R_3 یا R_5 تأثیری بر عملکرد ندارد.

واکنش عملکرد دانه به مقدار مصرف فسفر کودی

در مزارع مورد بررسی مشخص شد که حداقل، حداکثر و میانگین مقدار مصرف فسفر کودی به‌ترتیب ۰، ۹۶ و ۲۲ کیلوگرم در هکتار است. همچنین، حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه سویا در این مزارع به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۵۸۲۶ و ۳۵۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. واکنش بیشترین عملکردهای سویا در مزارع مورد بررسی از نظر مقدار مصرف فسفر کودی نشان داد که نقاط از یک تابع دوتکه‌ای پیروی می‌کنند (شکل ۳). بدین‌ترتیب که با افزایش مقدار مصرف فسفر کودی تا ۴۳ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه افزایش یافت و پس از آن افزایش مقدار مصرف فسفر کودی تأثیری بر عملکرد دانه سویا نداشت.

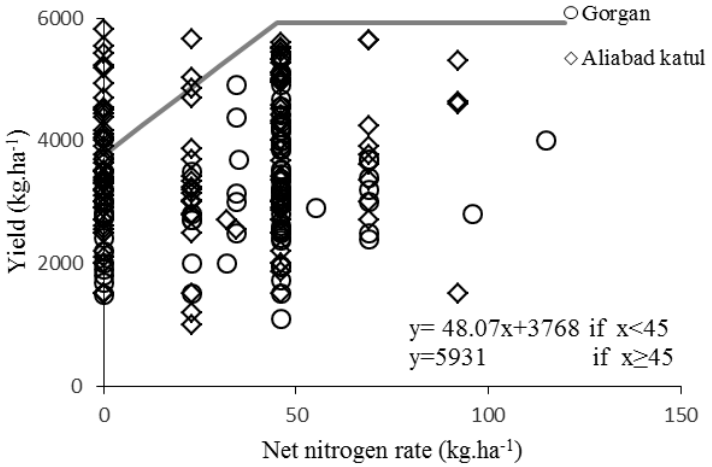
عملکرد پتانسیل ناشی از مصرف کود فسفر ۵۷۳۱ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف حداقل ۴۳ کیلوگرم P_2O_5 به‌دست آمد (شکل ۳). در میان مزارع مورد بررسی ۶۸ درصد از کشاورزان کمتر از حداقل مطلوب کودهای فسفر را مصرف کرده‌اند (جدول ۱).

مطالعات نشان داده که ۲۲/۵ تا ۴۵ کیلوگرم فسفر در هکتار برای رسیدن به حداکثر عملکرد در سویا نیاز است (Heatherly & Elmore, 2004). کارسکی و همکاران (Carsky et al., 2001) گزارش کردند که کمبود فسفر قابل استفاده خاک می‌تواند تشکیل گره در ریشه‌ها را محدود سازد و در چنین شرایطی با استفاده از کود فسفره می‌توان کمبود فسفر را برطرف کرد. در مقایسه با سایر عناصر غذایی، فسفر ظرفیت بالایی برای تثبیت توسط یون‌های معدنی داشته و سرعت آزاد شدن کمتری در خاک دارد (Shen et al., 2011). بنابراین، این ماده غذایی می‌تواند یکی از اصلی‌ترین عوامل محدود کننده رشد و نمو گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق جهان باشد (Data et al., 2015) و مدیریت مناسب آن می‌تواند منجر به حصول عملکردهای بالاتر در گیاهان زراعی گردد.

واکنش عملکرد دانه به دفعات آبیاری

در مزارع مورد بررسی مشخص شد که حداقل، حداکثر و میانگین دفعات آبیاری به‌ترتیب ۱، ۱۰ و ۵ مرتبه است. همچنین، حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه سویا در این مزارع به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۵۸۲۶ و ۳۵۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. واکنش بیشترین عملکردهای سویا در مزارع مورد بررسی از نظر تعداد دفعات آبیاری نشان داد که نقاط از یک تابع دوتکه‌ای پیروی می‌کنند (شکل ۴). بدین‌ترتیب که با افزایش تعداد دفعات آبیاری تا چهار مرتبه عملکرد دانه افزایش یافت و پس از آن افزایش تعداد دفعات آبیاری تأثیری بر عملکرد دانه سویا نداشت (شکل ۴). تعداد دفعات آبیاری حداقل چهار مورد می‌تواند به پتانسیل عملکرد در حدود ۵۷۳۷ کیلوگرم در هکتار منجر شود (شکل ۴). اطلاعات جمع‌آوری شده از مزارع نشان داد که ۱۷ درصد از کشاورزان از این تعداد کمتر آبیاری انجام داده‌اند (جدول ۱).

پاور (Power, 1990) گزارش کرد که واکنش گیاهان زراعی به نیتروژن مصرف‌شده بستگی به فراهمی آب مصرف‌شده دارد. همچنان که فراهمی رطوبت افزایش می‌یابد، واکنش گیاهان به نیتروژن کاربردی بصورت یک مدل درجه دوم افزایش می‌یابد. در سویا، تنش آب می‌تواند تثبیت نیتروژن را نیز کاهش دهد (Serraj & Sinclair, 1996). استفاده از شخم حداقل یا حفاظتی تلفات آب خاک را به حداقل می‌رساند یا کاهش می‌دهد و همچنین محتوای ماده‌آلی خاک و فعالیت میکروبی را در سطح خاک بهبود می‌بخشد. تمام این تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی کارایی مصرف نیتروژن برای گیاهان زراعی را بهبود می‌بخشد (Kamkar et al., 2011; Fageria & Baligar, 2005).



شکل ۲- پراکنش مقادیر عملکرد در مقابل مقدار نیتروژن خالص (کیلوگرم در هکتار) به همراه برازش تابع خط مرزی (خط سیاه در نمودار تابع برازش شده به حداکثر عملکردها است).

Fig. 2- Distribution of yield values versus nitrogen fertilizer rate (kg.ha^{-1}) with fitting function Boundary-line (The black line on graph of the function fitted maximum yields)

جدول ۱- نتایج آنالیز خط مرزی به همراه محاسبه پتانسیل و خلأ عملکرد سویا در گرگان و علی آباد کتول

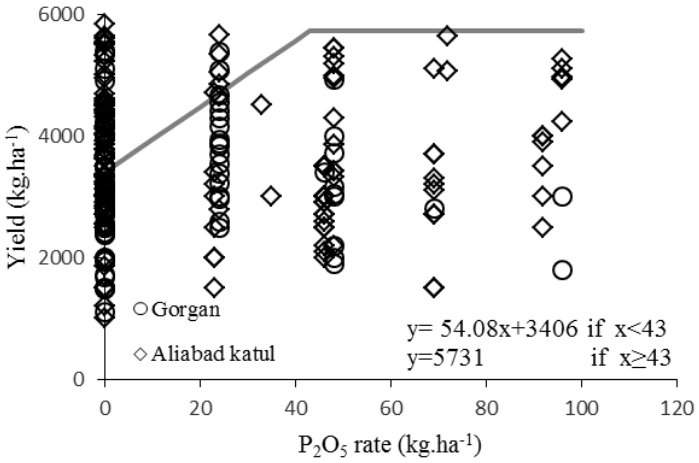
Table 1- The results of the boundary line analysis with the calculation of soybean potential yield and yield gap in Gorgan and Aliabad katul

	نیتروژن کودی (کیلوگرم نیتروژن در هکتار) Nitrogen fertilizer (kg $N.ha^{-1}$)	فسفر کودی (P_2O_5 کیلوگرم در هکتار) Phosphorous fertilizer (kg $P_2O_5.ha^{-1}$)	تاریخ کاشت (روز از اول فروردین) Sowing date (days from 19th March)	مقدار بذر (کیلوگرم در هکتار) Seeding rate ($kg.ha^{-1}$)	فاصله بین ردیف (سانتی-متر) Inter-row spacing (cm)	فاصله روی ردیف (سانتی-متر) Intra-row spacing (cm)	تعداد دفعات آبیاری Number of irrigations	تاریخ برداشت (روز از اول فروردین) Harvest date (days from 19th March)	میانگین Average
حداقل حد بهینه Optimal limit minimum	45	43	106	53–67	40	5–7	4	194–234	–
درصد مزارع خارج از حد بهینه Percent of farms outside of optimal limit	49	68	10	28	80	73	17	4	–
عملکرد بر اساس حد بهینه (کیلوگرم در هکتار) Optimal limit according Yield ($kg.ha^{-1}$)	5931	5731	5407	5780	4048	5102	5737	5524	5407
متوسط عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Average yield ($kg.ha^{-1}$)	3507	3507	3507	3507	2840	2840	3507	3507	3340
خلا عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield gap ($kg.ha^{-1}$)	2424	2224	1764	2273	1208	2262	2230	2017	2067
درصد خلا عملکرد Percent yield gap	41	39	33	39	30	44	39	37	38

بهبود عملیات در سطح مزرعه جهت افزایش بهره‌وری آب به تغییرات در مدیریت محصول، خاک و آب بستگی دارد. این عوامل شامل انتخاب گیاه مناسب، بهترین روش کاشت، حداقل خاک‌ورزی، آبیاری به موقع به‌طوری‌که مصرف آب با دوره‌های حساس رشد انطباق داشته باشد، به‌کار بردن آبیاری قطره‌ای و زهکشی مناسب جهت کنترل سطح ایستابی آب است. زمانی که هنوز گیاه سبز نشده است آب با تبخیر از سطح خاک مرطوب و از شیار بین ردیف‌ها از دسترس خارج می‌شود. استفاده از فاصله ردیف‌های نزدیک و یا به‌کارگیری مالچ می‌تواند این تلفات را کاهش دهد (Sadegi & Rahimi, 2009).

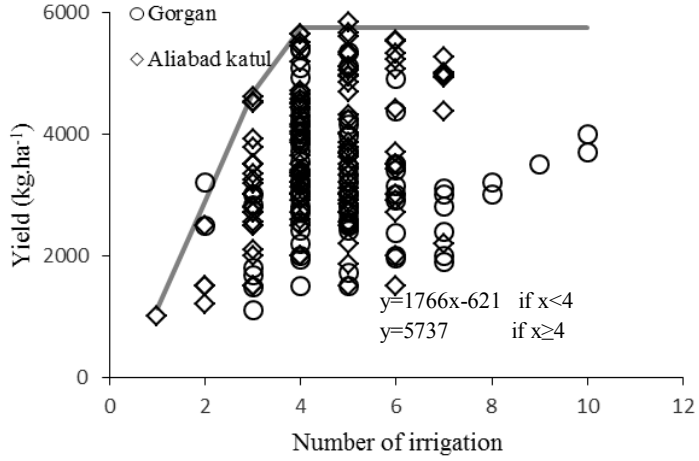
واکنش عملکرد دانه به تاریخ کاشت

در مزارع مورد بررسی مشخص شد که دامنه تغییرات تاریخ کاشت سویا در منطقه بین ۴۶ تا ۱۲۳ روز پس از اول فروردین ماه و میانگین تاریخ کاشت در منطقه ۹۵ پس از اول فروردین ماه است.



شکل ۳- پراکنش مقادیر عملکرد در مقابل مقدار فسفر کودی (کیلوگرم در هکتار) به همراه برازش تابع خط مرزی (خط سیاه در نمودار تابع برازش شده به حداکثر عملکردها است).

Fig. 3- Distribution of yield values versus Phosphorus fertilizer rate (kg.ha^{-1}) with fitting function Boundary-line (The black line on graph of the function fitted maximum yields)



شکل ٤- پراکنش مقادیر عملکرد در مقابل تعداد آبیاری به همراه برازش تابع خط مرزی (خط سیاه در نمودار تابع برازش شده به حداکثر عملکردها است).

Fig. 4- Distribution of yield values versus Number of irrigations with fitting function Boundary-line (The black line on graph of the function fitted maximum yields)

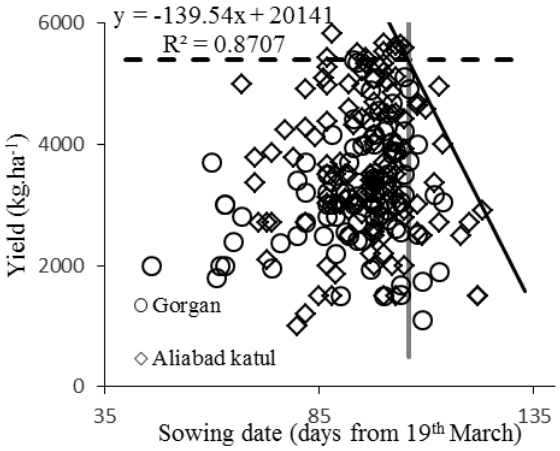
همچنین، حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه سویا در این مزارع به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۵۸۲۶ و ۳۵۰۷ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۵). برازش یک رگرسیون ساده خطی به حداکثر عملکردهای به‌دست آمده در تاریخ کاشت‌های زودهنگام و دیرهنگام نشان می‌دهد که تاریخ کاشت‌های دیرهنگام از عملکرد کمتری برخوردارند (y = -139.54x + 20141)؛ بنابراین، برای به‌دست آوردن یک تاریخ کاشت بهینه متوسط عملکردهای پتانسیل به‌دست آمده در بین مزارع مورد بررسی از سایر عوامل به‌عنوان عملکرد پتانسیل در نظر گرفته شد که برابر با ۵۴۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. از تلاقی این دو خط (قراردادن ۵۴۰۷ به‌جای Y در معادله و حل معادله) می‌توان نتیجه

گرفت که برای حصول عملکرد ۵۴۰۷ کیلوگرم در هکتار، کاشت باید زودتر از روز ۱۰۶ام از اول فروردین (۱۳ تیر) انجام شود (شکل ۵). اطلاعات جمع‌آوری شده حاکی از آن است که از میان مزارع مورد بررسی ۱۰ درصد از مزارع پس از این تاریخ کشت شده‌اند (جدول ۱). بررسی نقاط نشان می‌دهد در برخی از مزارع با وجود این‌که کشاورزان قبل از ۱۳ تیر ماه اقدام به کشت سویا کردند، ولی عملکرد مزارع آن‌ها کمتر از مقدار پتانسیل تعیین شده بود. علت این امر عواملی غیر از تاریخ کاشت بوده است به این دلیل که اگر تمام عوامل مدیریتی در آن مزارع نیز مشابه مزرعه‌ای بود که حداکثر عملکرد دانه را در تاریخ کاشت مطلوب به‌دست آورده است، دلیلی وجود نداشت که عملکرد آن‌ها از حداکثر عملکرد تولید شده در تاریخ کاشت مطلوب کمتر باشد. به عنوان مثال، در برخی از این مزارع اصلاً کود فسفر استفاده نشده بود و یا مقدار مصرف نیتروژن کمتر از حد مطلوب تعیین شده بود. این عوامل مانع رسیدن به عملکرد پتانسیل بود.

تاریخ کاشت مناسب موجب بهره‌گیری بهینه از عوامل اقلیمی نظیر درجه حرارت، رطوبت، طول روز و همچنین تطابق زمان گلدهی با درجه حرارت مناسب می‌گردد (Aghayari et al., 2016). رویز نوگریا و همکاران (Ruíz-Nogueira et al., 2001) بیان داشتند که سویا در شرایط آبیاری نسبت به شرایط دیم به تاریخ کاشت حساس‌تر می‌باشد.

مرحله R_5 تا R_6 دوره حیاتی در رشد سویا می‌باشد (Robinson et al., 2009). هدف اصلی از تاریخ کاشت‌های زودتر، استفاده از شرایط رطوبتی مناسب و اجتناب از درجه حرارت‌های بالا می‌باشد (Heatherly & Elmore, 2004). کاشت زودهنگام می‌تواند وقوع سریع‌تر مرحله R_5 را تحریک کرده و سبب افزایش طول دوره R_5 تا R_6 گردد (Robinson et al., 2009). روبینسون و همکاران (Robinson et al., 2009) گزارش کردند که تعداد غلاف در متر-مربع مهم‌ترین عامل مؤثر بر عملکرد در تغییر تاریخ کاشت می‌باشد. کاشت زودهنگام ارقام رشد نامحدود سویا منجر به افزایش تعداد گره، تعداد غلاف و دانه می‌گردد (Robinson et al., 2009). مطالعات متعدد دیگری نیز بیانگر کاهش عملکرد با تاخیر در کاشت سویا بوده است (Egli, 1993; Salmeron et al., 2014; Boyer et al., 2015; Egli & Cornelius, 2009).

تاریخ کاشت‌های دیر احتمالاً به‌دلیل مواجه شدن بوته‌ها بلافاصله پس از سبز شدن با درجه حرارت‌های بالا و همچنین روزهای رو به کوتاه شدن موجب تسریع نمو، کاهش فاصله سبزشدن تا گلدهی و رسیدگی و در نتیجه کوتاه‌تر شدن ارتفاع بوته‌ها می‌شود.



شکل ۵- پراکنش مقادیر عملکرد در مقابل تاریخ کاشت (روز از اول فروردین) به همراه برازش تابع خط مرزی (خط منقطع میانگین حداکثر عملکردهای ممکن و خط سیاه کم رنگ مرز بین تاریخ کاشت‌های محدود کننده است)

Fig. 5- Distribution of yield values versus sowing date (days from 19th March) with fitting function Boundary-line (interrupted line is Average maximum yields possible and Black trimmed line is boundary between sowing dates limited)

زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2003) با بررسی تاریخ کاشت‌های مختلف در گرگان مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد دانه در تاریخ کاشت‌های تأخیری را کاهش تعداد غلاف در بوته و پس از آن کاهش وزن صد دانه (به‌دلیل کاهش طول دوره پرشدن دانه) اعلام کردند. آن‌ها توصیه نمودند برای رسیدن به‌حداکثر عملکرد تاریخ کاشت ۱۰ اردیبهشت مناسب‌ترین بوده و برای تاریخ کاشت‌های زود بهتر است که از ارقام دارای تیپ رشدی محدود استفاده کرد. زیرا تعداد شاخه فرعی بیشتری نسبت به ارقام رشد نامحدود تولید کرده و بنابراین تعداد غلاف بیشتری دارند، ولی در تاریخ کاشت‌های تاخیری ارقام رشد نامحدود مناسب‌تر می‌باشند احتمالا مواجه شدن بوته‌ها بلافاصله پس از سبز شدن با درجه حرارت‌های بالا و همچنین روزهای رو به کوتاه شدن موجب تسریع نمو، کاهش فاصله سبزشدن تا گلدهی و رسیدگی عملکرد ارقام رشد محدود به مقدار بیشتری کاهش می‌یابد.

واکنش عملکرد دانه به مقدار بذر

در مزارع مورد بررسی مشخص شد که حداقل، حداکثر و میانگین مقدار مصرف بذر به‌ترتیب ۳۰، ۱۰۰ و ۶۲ کیلوگرم در هکتار است. همچنین، حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه سویا در این مزارع به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۵۸۲۶ و ۳۵۰۷ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶). پراکنش داده‌های عملکرد دانه در مقابل مقدار بذر مورد استفاده برای کاشت نشان داد که خط مرزی از یک تابع دندان مانند پیروی می‌کند (شکل ۶). بر این اساس، رسیدن به عملکرد پتانسیل ۵۷۸۰ کیلوگرم در هکتار نیاز به ۵۳ تا ۶۷ کیلوگرم بذر در هکتار می‌باشد (جدول ۱). در هیچ یک از مزارع مورد بررسی دقیقاً این میزان بذر مصرف نشده بود (جدول ۱). مقدار بذر از عوامل به‌زراعی مهم جهت دستیابی به افزایش تولید محصولات زراعی در واحد سطح بوده و در واقع فواصل مناسب بین ردیف‌های کشت و بین بوته‌ها روی خط کشت، تعیین کننده فضای رشد قابل استفاده هر بوته است.

واکنش سویا به مقدار بذر در هر دو سیستم دیم و آبی و همچنین در محیط‌های با عملکرد بالا و یا کم مشابه است. در تراکم‌های پایین بوته‌ها کوتاه، ریشه‌ها ضخیم، تعداد گره‌ها در شاخه کاهش یافته و اغلب غلاف‌ها در ارتفاع پایین و نزدیک سطح زمین تشکیل می‌شوند. در این شرایط علف‌های هرز به دلیل بسته نشدن کانوپی بسیار مشکل‌ساز می‌باشند. گیاهان با تراکم بالا دارای ارتفاع بلند، باریک و مستعد به ورس می‌باشند. وقوع ورس باعث بهم ریختن ساختار کانوپی شده و اگر ورس در مرحله R_3 اتفاق بیفتد باعث کاهش تعداد غلاف، کاهش رشد دانه و بنابراین، کاهش عملکرد دانه و شاخص برداشت می‌گردد. واکنش ارقام رشد محدود و نامحدود به مقدار بذر نیز مشابه یکدیگر می‌باشد. مقدار بذر زیاد در ارقام رشد محدود سبب می‌شود بوته‌ها ارتفاع بلندتری پیدا کرده و غلاف‌ها در ارتفاع بالاتری از سطح زمین تشکیل گردند، بنابراین برداشت محصول بهتر انجام می‌گیرد. توصیه عمومی برای خاک‌ورزی معمول کاشت ۳۰۰ تا ۳۷۰ هزار بذر زنده در هکتار توصیه می‌شود. البته با توجه به تاریخ کاشت، نوع سیستم خاک‌ورزی، قدرت جوانه‌زنی بذرها، مقدار رطوبت خاک و فاصله ردیف این مقدار قابل تغییر است. به عنوان مثال مقدار ۵۵۰ هزار بذر در هکتار برای رسیدن به حداکثر عملکرد در نظام بی‌خاک-ورزی نیاز است (Heatherly & Elmore, 2004).

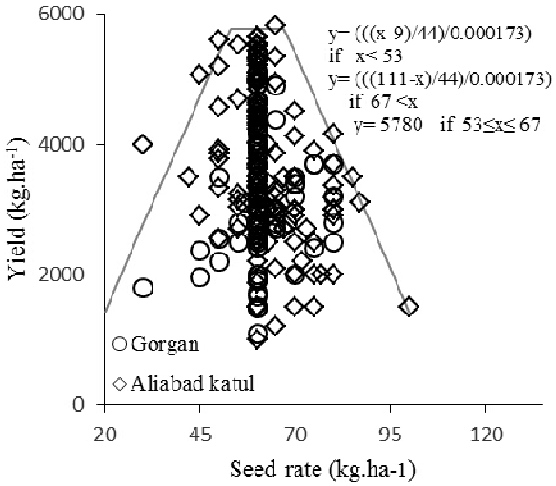
واکنش عملکرد دانه به فاصله بین ردیف و روی ردیف

در ۱۰۲ مزرعه فاصله بین ردیف و روی ردیف ثبت شده بود. حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه سویا در این مزارع به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۵۱۰۰ و ۲۸۴۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۷). در این مزارع مشخص شد که حداقل، حداکثر و میانگین فاصله بین ردیف به‌ترتیب ۲۰، ۷۵ و ۴۱ سانتی‌متر است. همچنین، برای فاصله بین ردیف پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل فاصله بین ردیف نشان داد که خط مرزی از یک تابع درجه دوم پیروی می‌کند (شکل ۷). بر این اساس، رسیدن به عملکرد پتانسیل ۴۰۴۸ کیلوگرم در هکتار نیاز به فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متری دارد (جدول ۱). همچنین، حداقل، حداکثر و میانگین فاصله روی ردیف به‌ترتیب ۲، ۲۰ و ۶ سانتی‌متر بود. پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل فاصله روی ردیف نشان داد که خط مرزی از یک تابع دندان مانند پیروی می‌کند (شکل ۷). بر این اساس به‌منظور رسیدن به عملکرد پتانسیل ۵۱۰۲ کیلوگرم در هکتار نیاز به فاصله روی ردیف پنج تا هفت سانتی‌متری می‌باشد (جدول ۱).

وارکو و آستاتکی (Worku & Astatkie, 2015) در اتیوپی گزارش کردند که بهترین فاصله بین ردیف و روی ردیف برای سویا به‌ترتیب ۴۰ و ۵ سانتی‌متر می‌باشد. در مطالعات مختلفی گزارش شده

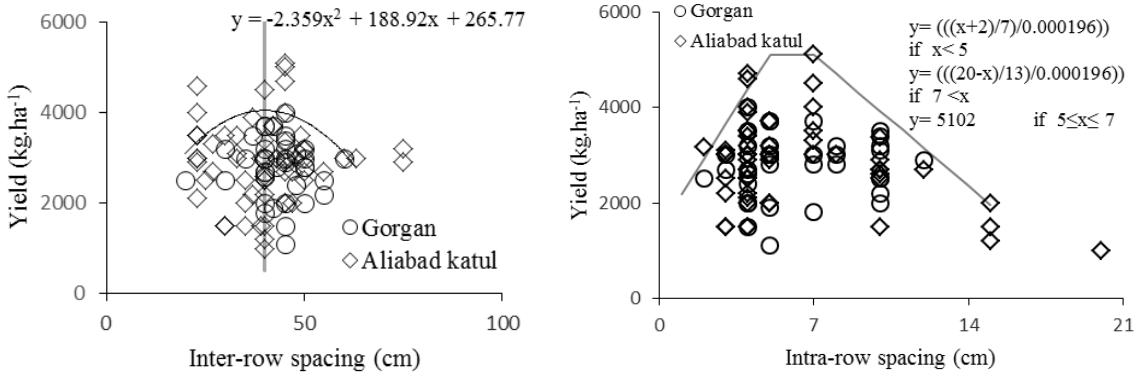
است که بهترین فاصله بین ردیف برای سویا ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد (Bowers et al., 2000; Worku & Astatkie, 2015).

هسرلی و همکاران (Heatherly et al., 2002) گزارش کردند که فاصله ردیف‌های نزدیک منجر به افزایش ارتفاع گیاه و کنترل علف‌های هرز در هر دو شرایط دیم و آبی می‌گردد. همچنین همبستگی منفی بین کارایی مصرف آب و فاصله ردیف مشاهده شده است به‌طوری‌که فاصله ردیف نزدیک‌تر بیشترین کارایی مصرف آب را دارد (Zhou et al., 2015).



شکل ٦- پراکنش مقادیر عملکرد در مقابل مقدار بذر (کیلوگرم در هکتار) به همراه برازش تابع خط مرزی (خط سیاه در نمودار تابع برازش شده به حداکثر عملکردها است)

Fig. 6- Distribution of yield values versus Seed rate (kg.ha^{-1}) with fitting function Boundary-line (The black line on graph of the function fitted maximum yields)



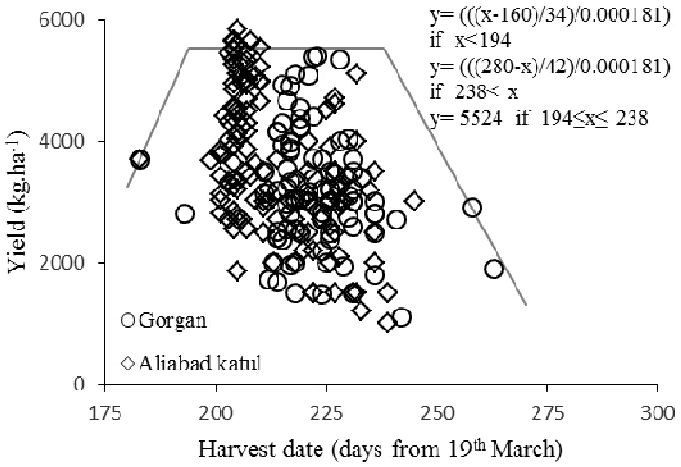
شکل ۷- پراکنش مقادیر عملکرد در مقابل فاصله بین ردیف و روی ردیف (سانتی‌متر) به همراه برازش تابع خط مرزی (خط سیاه در نمودار تابع برازش شده به حداکثر عملکردها است)

Fig. 7- Distribution of yield values versus inter and intra row spacing (cm) with fitting function Boundary-line (The black line on graph of the function fitted maximum yields)

واکنش عملکرد دانه به تاریخ برداشت

در مزارع مورد بررسی مشخص شد که دامنه تغییرات تاریخ برداشت سویا در منطقه بین ۱۸۳ تا ۲۶۳ روز پس از اول فروردین ماه و میانگین تاریخ برداشت در منطقه ۲۱۷ پس از اول فروردین ماه است. همچنین، حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه سویا در این مزارع به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۵۸۲۶ و ۳۵۰۷ کیلوگرم در هکتار بود (شکل

۸). در این قسمت باید به این نکته مهم توجه کرد که تاریخ برداشت تابعی از عوامل دیگر به‌ویژه تاریخ کاشت و گروه رسیدگی رقم است و این‌طور نیست که کشاورز محصول رسیده‌اش را یک ماه بعد از رسیدگی برداشت کند و در نتیجه تأخیر در برداشت موجب ریزش دانه و کاهش عملکرد شود. بنابراین، تغییرات عملکرد در تاریخ‌های مختلف برداشت ناشی از خود تاریخ برداشت نیست. پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل تاریخ برداشت نشان داد بهترین خط مرزی قابل برازش یک تابع سه تکه‌ای بود (شکل ۸). با توجه به این‌که داده‌های مورد استفاده مجموعه‌ای از کشت‌های بهاره و تابستانه را در بر می‌گرفت این بازه زمانی برای برداشت ایجاد شد. این محدوده مطلوب برای برداشت مربوط به تاریخ کاشت‌های مطلوب می‌باشد. به‌عبارت دیگر کشاورزانی که در محدوده زمانی مطلوب کشت سویا را انجام داده‌اند با توجه به شرایط آب و هوایی در محدوده زمانی از ۱۹۴ تا ۲۳۸ روز پس از اول فروردین (از ۸ مهر تا ۲۲ آبان) به وسیله کمباین سویا را برداشت می‌کنند. همچنین، کاهش عملکرد سویا در خارج از این محدوده زمانی مربوط به تاریخ کاشت‌های نامطلوب می‌باشد (جدول ۱).



شکل ۸- پراکنش مقادیر عملکرد در مقابل تاریخ برداشت (روز از اول فروردین) به همراه برازش تابع خط مرزی (خط سیاه در نمودار تابع برازش شده به حداکثر عملکردها است).

Fig. 8- Distribution of yield values versus harvest date (days from 19th March) with fitting function Boundary-line (The black line on graph of the function fitted maximum yields).

در مجموع، عملکرد پتانسیل سویا محاسبه شده برابر با ۵۴۰۷ کیلوگرم در هکتار و خلأ عملکرد برابر با ۲۰۶۴ کیلوگرم در هکتار برآورد شدند. متوسط عملکرد مزارع مورد بررسی نیز به عنوان عملکرد واقعی منطقه و برابر با ۳۳۴۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بررسی چند عامل مهم مدیریتی در زراعت سویا حداقل‌های مطلوب لازم از هر عامل برای دست یافتن به بالاترین عملکردها به وسیله آنالیز خط مرزی مشخص شدند. علاوه براین، به صورت همزمان درصد مزارعی که مدیریت نامطلوب داشته، پتانسیل- ها و خلأ عملکرد سویا در منطقه گرگان و علی‌آبادکتول نیز مشخص شدند. در این مطالعه با استفاده از آنالیز خط مرزی پاسخ‌های عملکرد به عوامل مدیریتی بررسی شد.

براساس نتایج این تحقیق توصیه‌هایی که می‌توان جهت افزایش عملکرد و رفع خلأ سویا در منطقه گرگان و علی‌آبادکتول انجام داد عبارتند از: ۱) میزان خلأ عملکرد ناشی از مقدار مصرف نیتروژن کودی ۴۱ درصد بود و برای حذف خلأ عملکرد ناشی از مقدار نیتروژن کودی بایستی حداقل ۴۵ کیلوگرم نیتروژن کودی مصرف شود، ۲) میزان خلأ عملکرد ناشی از مقدار مصرف فسفر کودی ۳۹ درصد بود و برای حذف خلأ عملکرد ناشی از مقدار فسفر کودی بایستی حداقل

۴۳ کیلوگرم فسفر کودی مصرف شود، ۳) میزان خلأ عملکرد ناشی از مقدار نامناسب بذر ۳۹ درصد بود و برای حذف خلأ عملکرد ناشی از مقدار نامناسب بذر بایستی بین ۵۳ تا ۶۷ کیلوگرم بذر در هکتار مصرف شود، ۴) در صورتی که آب و هوا اجازه بدهد کشاورزان این منطقه باید در اوایل تیر ماه (۱۳ تیر) و یا قبل از آن جهت رسیدن به عملکردهای بالاتر به کشت سویا اقدام کنند. ۵) تنظیم فاصله بین ردیف و روی ردیف برای کشت به‌ترتیب ۴۰ و پنج تا هفت سانتی‌متر، ۶) حداقل چهار نوبت آبیاری برای رفع نیاز آبی سویا لازم است، ۷) برداشت سویا در محدوده زمانی اواسط مهر تا اواخر آبان انجام گردد.

منابع

Aghayari, F., Faraji, A., and Kordkatooli, A. 2016. Determination of yield and yield components response of soybean (*Glycine max* L.) to sowing date, temperature and sunshine hours. Journal of Agroecology 7(4): 547-562.

Beddow, J.M., Hurley, T.M., Pardey, P.G., and Alston, J.M. 2015. Rethinking yield gaps. University of Minnesota, Department of Applied Economics. Minneapolis, USA.

Bhatia, V., Singh, P., Wani, S., Chauhan, G., Rao, A.K., Mishra, A., and Srinivas, K. 2008. Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. Agricultural and Forest Meteorology 148(8): 1252-1265.

Bowers, G.R., Rabb, J.L., Ashlock, L.O., and Santini, J.B. 2000. Row spacing in the early soybean production system. Agronomy Journal 92: 524-531.

Boyer, C.N., Stefanini, M., Larson, J.A., Smith, S.A., Mengistu, A., and Bellaloui, N. 2015. Profitability and risk analysis of soybean planting date by maturity group. Agronomy Journal 107: 2253-2262.

Brady, N.C., and Weil, R.R. 1996. The Nature and Properties of Soils, Prentice-Hall Inc. New Jersey, USA p. 1–960.

Carsky, R., Singh, B., and Oyewole, B. 2001. Contribution of early season cowpea to late season maize in the savanna zone of west Africa. Biological Agriculture and Horticulture 18(4): 303-315.

Datta, A., Shrestha, S., Ferdous, Z., and Win, C.C. 2015. Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances, Springer Publications, India. p. 1–253.

de Ávila Rodrigues, R., Juliatti, F.C., Pedrini, J.E., Fernandes, J.M.C., Justino, F.B., Heinemann, A.B., Fraisse, C.W., Farias, J.R.B., Pavan, W., and Costa, L.C. 2013. Asian soybean rust: modeling the impact on soybean grain yield in the Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba region, Minas Gerais, Brazil= Ferrugem asiática da soja: modelagem do impacto na produtividade da soja na região. Bioscience Journal 29(2): 264-279.

Egli, D. 1993. Cultivar maturity and potential yield of soybean. Field Crops Research 32(1): 147-158.

Egli, D., and Cornelius, P. 2009. A regional analysis of the response of soybean yield to planting date. Agronomy Journal 101(2): 330-335. (In Persian with English Summary)

Egli, D., and Hatfield, J. 2014. Yield gaps and yield relationships in central US soybean production systems. Agronomy Journal 106(2): 560-566.

Fageria, N., and Baligar, V. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy 88: 97-185.

Gan, Y., Stulen, I., Van Keulen, H., and Kuiper, P.J. 2003. Effect of N fertilizer top-dressing at various reproductive stages on growth, N_2 fixation and yield of three soybean (*Glycine max* L. Merr.) genotypes. Field Crops Research 80(2): 147-155.

Hajarpour, A., Soltani, A., and Zeinali, E. 2015. Using of boundary line analysis in studies yield gap: A case study of wheat in Gorgan. Electronic Journal of Crop Production. In press. (In Persian with English Summary)

Heatherly, L.G., and Elmore, R.W. 2004. Managing inputs for peak production. In H.R. Boerma, and J.E., Specht (Eds.). Soybeans: Improvement, production, and uses. Agronomy Monograph. ASA, CSSA, and SSSA Publications, Madison p 451–536.

Heatherly, L.G., Spurlock, S.R., and Elmore, C.D. 2002. Row width and weed management systems for early soybean production system plantings in the midsouthern USA. Agronomy Journal 94(5): 1172-1180.

Kamkar, B., Safahani Langroudi, A., and Mohammadi, R. 2011. The Use of Nutrients in Crop Plants. Mashhad University of Jihad Publications, Mashhad, Iran. (In Persian)

Makowski, D., Doré, T., and Monod, H. 2007. A new method to analyse relationships between yield components with boundary lines. Agronomy for Sustainable Development 27: 119-128.

Melgar, R., and Lupi, A. 2002. Soybean with nitrogen. Fertilizar 28: 14–17.

Mengel, K., Kosegarten, H., Kirkby, E.A., and Appel, T. 2001. Principles of plant nutrition. Springer Science and Business Media p. 1–849.

Moreira, A., Moraes, L.A., Schroth, G., and Mandarino, J.M. 2015. Effect of nitrogen, row spacing, and plant density on yield, yield components, and plant physiology in soybean–wheat intercropping. Agronomy Journal 107: 2162-2170.

Osborne, S.L., and Riedell, W.E. 2006. Starter nitrogen fertilizer impact on soybean yield and quality in the northern great plains. Agronomy Journal 98: 1569–1574.

Patrignani, A., Lollato, R.P., Ochsner, T.E., Godsey, C.B., and Edwards, J.T. 2014. Yield gap and production gap of rainfed winter wheat in the southern great plains. Agronomy Journal 106(4): 1329-1339.

Power, J. 1990. Fertility management and nutrient cycling. Springer Publications, New York p. 131-149.

Purcell, L.C., Serraj, R., Sinclair, T.R., and De, A. 2004. Soybean N fixation estimates, ureide concentration and yield responses to drought. Crop Science 44(2): 484-492.

Ray, J.D., Heatherly, L.G., and Fritschi, F.B. 2006. Influence of large amounts of nitrogen on nonirrigated and irrigated soybean. Crop Science 46(1): 52-60.

Robinson, A.P., Conley, S.P., Volenec, J.J., and Santini, J.B. 2009. Analysis of high yielding, early-planted soybean in indiana. Agronomy Journal 101(1): 131-139.

Ruí z-Nogueira, B., Boote, K., and Sau, F. 2001. Calibration and use of CROPGRO-soybean model for improving soybean management under rainfed conditions. Agricultural Systems 68(2): 151-173.

Sadegi, N., and Rahimi, H. 2009. Agricultural Water capabilities. National Committee on Irrigation and Drainage. Tehran, Iran. (In Persian)

Salmeron, M., Gbur, E.E., Bourland, F.M., Buehring, N.W., Earnest, L., Fritschi, F.B., Golden, B.R., Hathcoat, D., Lofton, J., and Miller, T.D. 2014. Soybean maturity group choices for early and late plantings in the midsouth. Agronomy Journal 106(5): 1893-1901.

Sentelhas, P., Battisti, R., Camara, G., Farias, J., Hampf, A., and Nedel, C. 2015 The soybean yield gap in Brazil–magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. The Journal of Agricultural Science 1-18.

Serraj, R., and Sinclair, T.R. 1996. Processes contributing to N_2-fixation insensitivity to drought in the soybean cultivar Jackson. Crop Science 36(4): 961-968.

Shatar, T.M., and Mcbratney, A.B. 2004. Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. The Journal of Agricultural Science 142: 553-560.

Sinclair, T.R., and Rufty, T.W. 2012. Nitrogen and water resources commonly limit crop yield increases, not necessarily plant genetics. Global Food Security 1: 94-98.

Soltani, A. 2007. Use of the SAS Statistical Analysis Software. Mashhad University of Jihad Publications, Mashhad, Iran. (In Persian)

Soltani, A. 2009. Mathematical Modeling in Filed Crops. Mashhad University of Jihad Publications, Mashhad, Iran. (In Persian)

Torrion, J., Setiyono, T.D., Cassman, K., and Specht, J. 2011. Soybean phenology simulation in the north-central united States. Agronomy Journal 103(6): 1661-1667.

Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., and Hochman, Z. 2012. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. Field Crops Research 143: 4-17.

Varco, J.J. 1999. Nutrition and Fertility Requirements. In: L.G. Heatherly, and H.F. Hodges (Eds.). Soybean Production in the Mid-South. CRC publications, Boca Raton p. 53-70.

Wesley, T., Lamond, R., Martin, V., and Duncan, S. 1998. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. Journal of Production Agriculture 11(3): 331-336.

Wingeyer, A.B., Echeverría, H., and Rozas, H.S. 2014. Growth and yield of irrigated and rainfed soybean with late nitrogen fertilization. Agronomy Journal 106(2): 567-576.

Worku, M., and Astatkie, T. 2015. Effects of row spacing on productivity and nodulation of two soybean varieties under hot sub-moist tropical conditions in south-western Ethiopia. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics 116(2): 99-106.

Zeinali, E., Akramghaderi, F., Soltani, A., and Kashiri, H. 2003. Effect of planting date on yield and yield components of three soybean cultivars in Gorgan. Iranian Journal of Agricultural Science 1: 81-92. (In Persian with English

Summary)
Zhou, X., Chen, Y., and Ouyang, Z. 2015. Spacing between rows: effects on water-use efficiency of double-cropped wheat and soybean. The Journal of Agricultural Science 153(1): 90-101.

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 3, Fall 2017, p. 760-776

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۷۷۶-۷۶۰

Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Yield Gap Analysis using Boundary Line Method in Gorgan and Aliabad Katul

A.R. Nehbandani[1,*], A. Soltani[2], E. Zeinali[3], F. Hoseini[4], A. Shahhoseini[4] and M. Mehmandoei[4]

Submitted: 20-11-2015
Accepted: 14-06-2016

Nehbandani, A.R., Soltani, A., Zeinali, E., Hoseini, F., Shahhoseini, A., and Mehmandoei, M. 2017. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) yield gap analysis using boundary line method in Gorgan and Aliabad Katul. Journal of Agroecology 9(3): 760-776.

Introduction

Increasing the production of crops has been a necessity to reach food security for growing population. Since "expanding acreage" is almost impossible, "increasing the yield per unit of area", is the only possible option. Closing the gap between actual yield and potential yield (yield gap) is one of the important methods to increase yield per unit of area. It is necessary to increase yield to primarily identify the factors that contributing in the yield gap in each area. Recognizing potentials as well as the impact of each limiting factor on yield individually, plays an important role in determining the alternative management strategies to achieve maximum performance. Therefore, the present study was conducted in Gorgan and Aliabad Katul county for simultaneous recognition of best management practices, percentage of the affected fields, estimation of soybean yield potential and gaps using boundary line analysis.

Material and Methods

To quantify the production and estimation of soybean yield gap in Gorgan and Aliabad Katul, Farm management information of 224 soybean farms in the years 2010, 2011, 2013 and 2014 were collected. This information was collected through continuous farm monitoring during the growing season as along with face to face interviews with the farmers. Farms were selected by consulting with agricultural service centers expert in Gorgan and Aliabad districts. Based on the available information at the service centers, only farms , which is different in terms of acreage, cultural practices and harvesting operations were selected. In this study, by plotting the distribution of the yield obtained in each field as the dependent variable against the independent variables (crop management activities), using SAS software and an appropriate function was fitted on the upper edge of the data distribution.

Results and Discussion

The results showed that the average yield on the farms surveyed was 3507 Kg.ha^{-1} and by improving crop management, this productivity can increase to as high as 5355 Kg.ha^{-1}. Most evaluated soybean yield responses in terms of the value of the nitrogen fertilizer showed that the data points follow a two-segmented function in a way that by increasing the amount of nitrogen fertilizer to 48 Kg.ha^{-1}, the yield increased and then, the addition of the amount of nitrogen fertilizer had no effect on grain yield. Most evaluated soybean yield responses in terms of the amount of phosphorous fertilizer showed that the data points follow a two-segmented function in a way that by increasing the amount of phosphorous fertilizer to 43 kg per hectare, the yield increased and then, the addition of the amount of fertilizer had no effect on grain yield. Most evaluated soybean yield responses in terms of the irrigation frequency showed that the data points follow a two-segmented function in a way that by increasing irrigation frequencies up to four times, the yield increased and then, by increasing the number of irrigations no effect on grain yield has been observed. Data distribution of grain yield against the amount of seed used showed that the boundary line follows dent-like function. Accordingly, to reach a yield potential of 5780 Kg.ha^{-1}, 53 to 67 kg of seeds per hectare is needed. The distribution of yield data against the distance between

۱ 1, 2, 3 and 4- PhD Student in Agronomy, Professor in Agronomy, Associate Professor in Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Plant production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources and MSc Graduated, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Gorgan Branch, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: a.nehbandani@yahoo.com)
DOI:10.22067/jag.v9i3.51086

the rows showed that the boundary line follows a quadratic function. Hence, to reach a yield potential of 4048 $Kg.ha^{-1}$, a 40 cm rows distance must be considered . Data distribution of grain yield against the inter-crop distance showed that the boundary line follows a dent-like function and inter-crop distance must be kept at a range of 5-7cm to reach a 5102 $Kg.ha^{-1}$ grain yield.

Conclusion

In this study by examining several important management factors in growing soybean, optimal requirements of each factor to achieve the highest yield was determined by boundary analysis. In addition, the percentage of farms that had poor management as well as soybean yield potential and gaps in Gorgan and Aliabad. Yield responses to management practices were evaluated and studied by means of borderline analysis. Best management practices could be devised using study findings to realize the highest yield potential.

Keywords: Irrigated, Nitrogen fertilizer, Phosphorous fertilizer, Seeding rate, Sowing date