

Determination of optimal ranges of some management factors on soybean yield under rainfed conditions in Babolsar County

Ali Bagheban Amin ^a, Masoumeh Naeemi ^{*b}, Ali Nakhzari Moghaddam ^b, Ali Rahemi Karizaki ^b

^a Ph.D Student of crop ecology, Department of Crop Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran

^b Department of Crop Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Iran

*Corresponding Author: Naeemi_701@yahoo.com

Received: 20 January 2025

Accepted: 5 September 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.469152.1426

How to cite this article:

Bagheban Amin, A., Naeemi, M., Nakhzari Moghaddam, A. and Rahemi Karizaki, A., 2026. Determination of optimal ranges of some management factors on soybean yield under rainfed conditions in Babolsar County. *Crop Science Research in Arid Regions*, 8(1), 65-78. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2025.469152.1426>

Abstract

Introduction: With the rapid growth of the global population and increasing concerns about future food security, reducing the yield gap in strategic crops has become a major priority in agricultural research. Soybean (*Glycine max* L.), one of the most important sources of high-quality protein and edible oil, plays a vital role in global food and feed supply, as well as in various industrial applications. However, under rainfed conditions, actual soybean yields achieved by farmers are often substantially lower than the attainable yield due to suboptimal management practices. Accurate estimation of yield gaps and identification of the main limiting factors require robust analytical methods. Boundary line analysis is a powerful statistical approach that quantifies the response of crop yield to individual management or environmental variables, even when other factors are not controlled. This method identifies the upper boundary of yield response by fitting a line to the scatter plot of yield data against a specific input, thereby determining the optimal range of that factor and estimating the associated yield gap. The objective of this study was to determine the optimal ranges of key management factors affecting soybean yield under rainfed conditions in Babolsar County, Mazandaran Province, Iran, using boundary line analysis. The study also aimed to estimate attainable yield and quantify the yield gap to identify the most important constraints on soybean production in farmer-managed fields.

Materials and Methods: This research was conducted during the 2018–2019 and 2019–2020 growing seasons in Babolsar, northern Iran. In each year, 60 soybean fields were selected to represent the diversity of soil types, field sizes, and prevailing management practices in the region. Weekly field monitoring was carried out throughout the growing season, complemented by structured face-to-face interviews with farmers and soil sampling. Data were collected on farmers' experience (years), application rates of nitrogen (N), phosphorus (P₂O₅), and potassium (K₂O) fertilizers, seed rate (kg.ha⁻¹), and final plant density (plants.m⁻²). Grain yield was measured at harvest in each field. Boundary line analysis was applied to each management variable by plotting grain yield against the



respective factor and fitting the upper boundary line (usually segmented linear functions). All statistical analyses and model fittings were performed using SAS software.

Results and Discussion: The average farming experience was 19.5 years. Mean application rates of potassium, phosphorus, nitrogen, and seed were 54.15, 56.75, 25.7, and 76 kg ha⁻¹, respectively, while the average plant density was 47.34 plants m⁻². The attainable yield under near-optimal management for most factors ranged between 3000 and 3500 kg ha⁻¹. The largest yield gap was associated with seed rate, reaching 1186 kg ha⁻¹ (33.89% of attainable yield). Notably, 79.49% of the fields used seed rates below the optimal level (>70.5 kg.ha⁻¹). Phosphorus and potassium applications also caused considerable yield losses of 727 kg.ha⁻¹ (24.23%) and 719 kg.ha⁻¹ (23.97%), respectively. More than 63% of the fields had phosphorus application rates below the optimal minimum of approximately 46 kg P₂O₅ ha⁻¹. Nitrogen application fell outside the optimal range (23–45 kg N ha⁻¹) in 38% of the fields. In contrast, plant density was within the optimal range (45–52.45 plants m⁻²) in 81.9% of the fields and contributed a smaller yield gap of 629 kg.ha⁻¹ (21.45%). These results indicate that deviations from optimal input levels—particularly insufficient seed rate and suboptimal macronutrient management—rather than the absolute quantities of inputs, were the primary causes of the yield gap in rainfed soybean production in Babolsar. The study confirms that boundary line analysis is an effective and practical tool for diagnosing management constraints under real on-farm conditions.

Conclusion: This study demonstrated that suboptimal nutrient management, especially phosphorus and potassium deficiencies, along with inadequate seed rates, are the main limiting factors responsible for the soybean yield gap in rainfed fields of Babolsar County. Boundary line analysis successfully quantified these limitations under actual farmer-managed conditions. Optimizing fertilizer application based on soil test recommendations, adjusting seed rates to approximately 70–75 kg.ha⁻¹, maintaining proper plant density, and enhancing farmers' knowledge through extension programs can substantially reduce the existing yield gap. The findings provide a scientific basis for improving soybean productivity, increasing input-use efficiency, and promoting sustainable soybean production in the region.

Keywords: Boundary Line Analysis, Limiting Factors, Nutrient Management, Potential Yield, Yield Gap

تعیین حدود بهینه برخی از عوامل مدیریتی در عملکرد سویا در شرایط دیم در شهرستان بابلسر

علی باغبان امین^۱، معصومه نعیمی^{۲*}، علی نخزری مقدم^۲، علی راحمی کاریزکی^۲

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، ایران

۲- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، ایران

* مسئول مکاتبه: Naeemi_701@yahoo.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.469152.1426

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد و برآورد خلأ عملکرد سویا در بابلسر طی سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ با استفاده از روش آنالیز خط مرزی انجام شد. داده‌ها از طریق پایش میدانی و مصاحبه مستقیم با کشاورزان جمع‌آوری گردید؛ به‌طوری‌که ۶۰ مزرعه در هر سال زراعی انتخاب و طی فصل رشد به‌صورت هفتگی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد، میانگین سابقه کشاورزان ۱۹/۵ سال بوده و میانگین مصرف پتاسیم، فسفر، نیتروژن، بذر و تراکم بوته به‌ترتیب ۵۴/۱۵، ۵۶/۷۵، ۲۵/۷۰ و ۷۶ کیلوگرم در هکتار و ۴۷/۳۴ بوته در مترمربع بود. تحلیل خلأ عملکرد نشان داد، مصرف غیربهینه عناصر غذایی و نهاده‌ها از مهمترین عوامل محدودکننده عملکرد بودند. خلأ عملکرد ناشی از پتاسیم ۷۱۹ کیلوگرم در هکتار (۲۳/۹۷ درصد) و فسفر ۷۲۷ کیلوگرم در هکتار (۲۴/۲۳ درصد) برآورد شد و ۶۳/۱۶ درصد مزارع دچار کمبود مصرف فسفر بودند. همچنین در ۳۸ درصد مزارع، مصرف نیتروژن خارج از محدوده بهینه گزارش شد. بیشترین خلأ عملکرد مربوط به مصرف بذر بود، به‌طوری‌که ۷۹/۴۹ درصد مزارع کمتر از حد بهینه بذر مصرف کرده و این عامل موجب خلأ عملکردی معادل ۱۱۸۶ کیلوگرم در هکتار (۳۳/۸۹ درصد) گردید. در مقابل، ۸۱/۹۰ درصد مزارع از نظر تراکم بوته در محدوده بهینه قرار داشتند. در مجموع، نتایج نشان داد که آنالیز خط مرزی ابزار کارآمدی برای تعیین عوامل محدودکننده عملکرد است و با بهینه‌سازی مدیریت تغذیه و بذر، می‌توان فاصله بین عملکرد واقعی و عملکرد قابل حصول سویا را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز خط مرزی، خلأ عملکرد، عملکرد پتانسیل، عوامل محدودکننده، مدیریت تغذیه

مقدمه

(Carracelas et al., 2023; Rezvantab et al., 2019). شناسایی عوامل

محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی می‌تواند خلأ عملکرد را کاهش و یا به‌طور کامل حذف کند (Rezvantab et al., 2019). روش‌های مختلفی جهت تعیین خلأ عملکرد وجود دارد که یکی از این روش‌ها آنالیز خط مرزی است (Hajjarpoor and Kashiri., 2017). روش دیگر که برای بررسی خلأ عملکرد استفاده شده، تحلیل مقایسه کارکرد^۱ (CPA) است. در این روش، با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام محدودیت‌های عملکرد تعیین و در نهایت مدل تولید انتخاب می‌شود. با استفاده از مدل و مقادیر پارامترهای مدل، سهم هریک از محدودیت‌ها در ایجاد خلأ عملکرد مشخص می‌گردد (Soltani et al., 2020). با تشخیص و برطرف نمودن عوامل

امنیت غذایی یکی از مهمترین مشکلات بشر در آینده است. بنابراین، برای پاسخگویی به تقاضای جهانی غذا، بهبود عملکرد محصول امری ضروری می‌باشد. سویا (*Glycine max* L.) یک گیاه روزکوتاه، یک‌ساله و جزو محصولات مهم زراعی جهان به‌شمار می‌رود که دارای روغن و پروتئین بوده و نقش مؤثری در سلامت جامعه ایفا می‌کند (Naoki et al., 2018). این گیاه به‌دلیل فواید و استفاده‌های مختلف دارویی و صنعتی هر ساله سطح زیر کشت زیادی را شامل می‌شود (Matourian et al., 2022). یکی از موضوعات مهم و کاربردی در کشاورزی پیشرفته، کاهش خلأ عملکرد است که تخمین دقیق آن تأثیر زیادی بر افزایش عملکرد دارد (Mootab Laleh et al., 2022).

¹- Comparative Performance Analysis

عملکرد محاسبه شده بر پایه اختلاف بین متوسط عملکرد واقعی ثبت شده از مزارع و عملکرد مطلوب (به ترتیب ۲۴۲۴ و ۲۳۲۱ کیلوگرم در هکتار) بود. سه عامل مقدار گوگرد مصرفی، محصول قبلی و سیستم آبیاری بارانی به ترتیب با مقادیر ۱۹۳/۲، ۲۲۳/۴ و ۵۴۲/۳ کیلوگرم در هکتار بالاترین سهم را به ترتیب با ۲۴/۵۲، ۱۹/۴۱ و ۱۵/۳۳ درصد در خلأ عملکرد به وجود آمده داشتند. به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که در استان مازندران برای رسیدن به بالاترین میزان عملکرد ممکن در تولید سویا در مقایسه با متوسط عملکرد فعلی کشاورزان، عوامل محدودکننده مهمی وجود دارد که این عوامل در مجموع دلیل ۵۱ درصد خلأ عملکرد بوده‌اند (Mohammadi Kashka et al., 2022). مطالعه خلأ عملکرد در مناطق برنج کاری منطقه نکا استان مازندران با استفاده از روش CPA نشان داد که خلأ عملکرد تخمین زده شده برابر ۴۱۲۲ کیلوگرم در هکتار بود که سهم پیش کاشت کلزا، تناوب زراعی، بذریه گواهی شده، تاریخ بذریه پاشی، مصرف کود سرک، مصرف پتاسیم، مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و محلول پاشی ریزمغذی ها هریک به میزان دو درصد بود (Gorjizad et al., 2019). بنابراین، با توجه به اهمیت بررسی و شناسایی خلأ عملکرد سویا این مطالعه در منطقه مرکزی استان مازندران (شهرستان بابلسر) با استفاده از روش آنالیز خط مرزی انجام شد.

مواد و روش ها

این مطالعه در منطقه مرکزی استان مازندران (شهرستان بابلسر) انجام شد. بابلسر با مساحت ۱۳۵۰ هکتار کرانه جنوبی دریای خزر و در ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. هر ساله بیش از ۵۰۰ هکتار از اراضی این شهرستان به کشت سویا اختصاص می‌یابد. جهت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای کمی‌سازی تولید و برآورد خلأ عملکرد سویا نیاز به انجام کار میدانی و مصاحبه شخصی (چهره به چهره) با کشاورزان بود. برای این منظور، ۶۰ مزرعه سویا واقع در محدوده جغرافیایی مورد مطالعه در هر سال زراعی مورد پایش قرار گرفت. انجام عملیات پایش در طی فصل رشد محصول به صورت هفتگی و با دقت صورت گرفته و مشاهدات حاصل از پایش مزارع ثبت شد. مزارع انتخابی جهت پایش به گونه‌ای انتخاب شدند که

محدودکننده می‌توان خلأ عملکرد را کاهش داد (Salam and Sarker., 2023). روش CPA روش مناسبی است که به کمک آن می‌توان عوامل محدودکننده عملکرد را تشخیص و عوامل کاهش‌دهنده را حذف کرد (Dastan et al., 2019). این روش در مقایسه با روش تابع خط مرزی، کارایی بهتری جهت پیش‌بینی خلأ عملکرد گیاهان زراعی نشان داده است (Yousefian et al., 2019). با استفاده از این روش، میزان تولید در حالت‌های عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی با هم مقایسه می‌شوند. با استفاده از مدل تولید و مقادیر عوامل مؤثر در مدل، سهم هریک از محدودیت‌ها در ایجاد خلأ عملکرد تخمین زده می‌شود (Alasti et al., 2020).

مطالعه‌ای که در شهرستان علی‌آباد بر روی ۱۲۰ مزرعه سویا جهت تخمین خلأ عملکرد با استفاده از روش CPA و آنالیز خط مرزی انجام شد، نشان‌دهنده این است که پتانسیل عملکرد سویا در این منطقه ۳۹۲۱ کیلوگرم در هکتار بوده و خلأ عملکرد سویا در منطقه علی‌آباد کتول ۳۰ درصد تخمین زده شد. تأخیر در کاشت در این منطقه ۸/۴ درصد تراکم مناسب بوته ۱۵/۵ درصد، روش کاشت و بذریه مصرفی نیز به ترتیب ۶/۳ و ۸/۵ درصد از خلأ عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. همچنین، مشخص شد که عدم استفاده از علف‌کش در قبل از کاشت موجب کاهش ۱۷/۴۵ درصدی عملکرد دانه می‌شود. با توجه به نتایج، آبیاری با ۲۸/۴ درصد بالاترین سهم را در تعیین پتانسیل تولید سویا در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داد. واکنش بالاترین عملکرد دانه به مصرف کود اوره و آبیاری به صورت دو تکه‌ای بود. افزایش مصرف نیتروژن تا ۶۵ کیلوگرم اوره در هکتار و ۳ بار آبیاری موجب افزایش عملکرد دانه شد و مصرف مقادیر بیشتر از ۶۵ کیلوگرم در هکتار و بیشتر از ۳ بار آبیاری موجب عدم تغییر عملکرد دانه در هکتار شد. به طور کلی، خلأ عملکرد سویا در این منطقه مربوط به محدودیت در منابع بود و مدیریت زراعی در مرحله دوم اهمیت قرار داشت که می‌توان با آبیاری و مصرف نیتروژن مناسب میزان تولید سویا را در این منطقه ۳۰ درصد افزایش داد (Soukhtehsaraei et al., 2023).

محققین از روش CPA جهت بررسی عوامل محدودکننده عملکرد سویا و تخمین خلأ عملکرد آن در ۱۳ شهرستان تحت کشت سویا در استان مازندران استفاده کردند. میزان خلأ

اختیاری خط مرزی را به داده‌ها برازش می‌دهند (Makowski et al., 2007). ولی در مجموع به‌منظور استفاده از آنالیز خط مرزی می‌توان پنج مرحله کلی را در نظر گرفت (Patrignani et al., 2014).

در مرحله اول، بررسی نمودار پراکنش داده‌ها انجام شد. برای این کار، در ابتدا بین عملکرد (متغیر وابسته) و یک مدیریت خاص زراعی (متغیر مستقل هدف) یک نمودار پراکندگی (نمودار XY یا اسکتر) رسم گردید. این نمودار پراکندگی، ما را قادر ساخت تا با دید کلی‌تری روابط بین دو دسته داده را شناسایی کنیم که در انتخاب تابع مناسب برای خط مرزی در مراحل بعدی می‌تواند بسیار مؤثر باشد. در مرحله دوم، دسته‌بندی و گروه‌بندی نقاط داده‌ها انجام می‌شود. در این مرحله با توجه به پراکنش نقاط و همچنین، با کمک گرفتن از متخصصین ذی‌ربط (در اینجا زراعت) و اطلاعات قبلی، متغیر مستقل (مدیریت خاص زراعی) به گروه‌هایی با فواصل منظم و یا غیرمنظم (بسته به نظر متخصص و کیفیت داده‌ها) تقسیم می‌شود. در برخی موارد مانند تعداد دفعات آبیاری به‌عنوان یک متغیر مدیریتی، داده‌ها به‌طور طبیعی در گروه‌های مجزا قرار دارند. در مرحله سوم، حذف داده‌های پرت و خارج از محدوده‌های مشخص شده انجام می‌شود.

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. شناسایی این داده‌ها، باقی‌مانده‌های استاندارد محاسبه شده و بررسی گردید، حدود ۶۸ درصد باقی‌مانده‌های استاندارد شده بین ± 1 ، حدود ۹۵ درصد آن مابین ± 2 و همه باید بین ± 3 می‌بودند. هر نقطه که دارای باقی‌مانده استاندارد شده بزرگ‌تر از ۳ یا ۴ بود، به‌طور بالقوه یک نقطه پرت محسوب شد. در مرحله چهارم، تشخیص بالاترین عملکردها در هر زیرگروه انجام شد و بعضاً از گروه‌هایی که حاوی داده‌هایی با مقادیر غیر قابل قبول از لحاظ علم زراعت بودند؛ صرف نظر شد. مرحله پنجم، برازش یک تابع مناسب بود. در این مطالعه با رسم نمودار پراکنش میزان عملکرد به‌دست آمده در هر مزرعه به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل مدیریت‌های زراعی (متغیرهای مستقل)، بالاترین عملکردها در سطوح مختلف هر نهاده مصرفی یا مدیریت خاص، انتخاب و در ادامه یک تابع بر لبه‌ی بالایی پراکنش داده‌ها برازش داده شد.

دارای تنوع کافی از لحاظ مکانی (جهت ایجاد تنوع در خصوصیات مزرعه مانند کیفیت خاک و وسعت مزارع) و زمانی (جهت ایجاد تنوع در عملیات تهیه بستر و تاریخ‌های کاشت) و همچنین از لحاظ سطح معلومات و شرایط درآمدی کشاورز و درنهایت از نظر نحوه انجام عملیات باشند و تحت این شرایط، تنوع لازم در نوع روش‌های کاشت، داشت، برداشت و فناوری‌های استفاده شده و سایر موارد ایجاد شد. با توجه به این‌که مزارع انتخاب شده از لحاظ مدیریتی و همچنین عملکرد دارای تنوع بودند، جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت دوساله و در سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۹۹-۱۳۹۸ صورت گرفت.

اطلاعات مورد نیاز مربوط به مزرعه (موقعیت، جهت شیب، مشکل زهکش و آب‌گرفتگی مزرعه)، مدیریت زراعی شامل عملیات تهیه زمین (نوع ادوات، نوع، تعداد و زمان شخم، دیسک و غیره)، رقم مورد استفاده (نحوه ضدعفونی بذور، میزان و وسیله‌ی کاشت)، زمان کاشت، کود (نوع کود، میزان کود و زمان مصرف کود پایه و سرک)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز (میزان مصرف و نوع سموم مصرفی)، تعداد، میزان و زمان آبیاری (دستگاه‌های آبیاری سنتی، تحت فشار) و مسائل مربوط به برداشت (نوع ادوات، زمان برداشت و میزان عملکرد)، اطلاعات مربوط به خاک و گیاه زارعی در طول فصل رشد و مشکلات تولید از قبیل مشکل ورس، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز در هر مزرعه از طریق مشاهده، پرسش از کشاورزان و یا اندازه‌گیری تکمیل شد. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های خاک شامل EC، pH، درصد کربن آلی، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، درصد رس، درصد سیلت، درصد ماسه و کلاس بافت خاک با استفاده از آزمون خاک و نقشه‌های رقومی موجود در مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان حاصل شد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از توزیع فراوانی تجمعی یا نسبی استفاده شد. در این بررسی‌ها دامنه تغییرات و شیوه انجام هر عملیات مدیریتی انجام شده در مزارع گندم و همچنین، نسبتی از کشاورزان که از شیوه‌های مختلف هریک از این عملیات مدیریتی استفاده کرده بودند، مشخص شدند. با استفاده از آنالیز خط مرزی ارتباط عوامل مورد مطالعه با عملکرد، با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (SAS Institute Inc, 1989). هرچند جهت آنالیز خط مرزی، پروتکل توافقی شده‌ای وجود ندارد و در مواردی محققین به‌صورت کاملاً

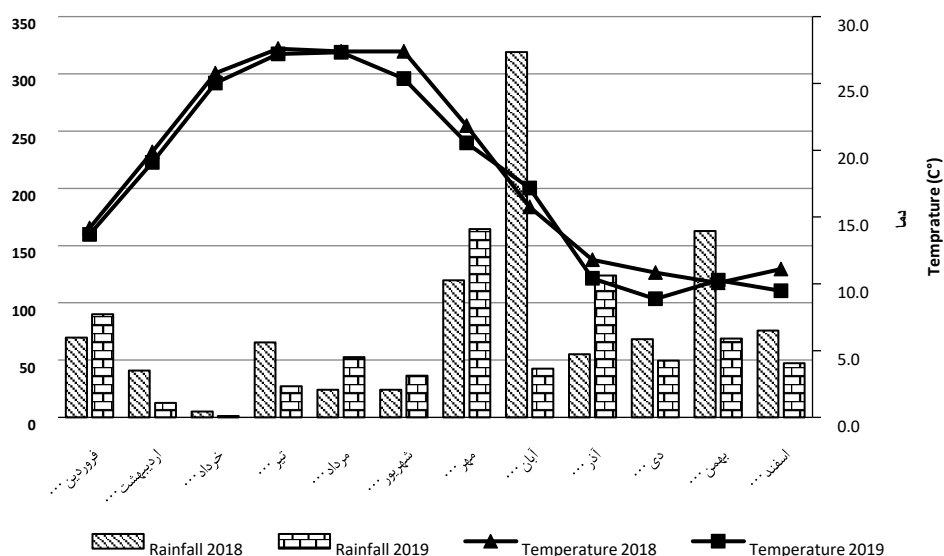
و رطوبت نسبی ۷۹ درصد می‌باشد. آنچه از نظر بارندگی در این منطقه حائز اهمیت است، توزیع نامناسب بارندگی‌ها در ماه‌های مختلف سال است (شکل ۱). به‌طوری‌که کمترین مقدار بارندگی در خردادماه سال ۱۳۹۹ (۱/۱ میلی‌متر) و بیشترین بارندگی در آبان‌ماه ۱۳۹۸ (۳۱۸/۹ میلی‌متر) رخ داده است. دما در تیرماه ۱۳۹۸ حداکثر (۲۷/۶ درجه سانتی‌گراد) و در دی‌ماه ۱۳۹۹ حداقل (۸/۹ درجه سانتی‌گراد) بود.

پارامترهای این توابع با استفاده از نرم‌افزار SAS و رویه nline به‌دست آمدند (SAS Institute Inc, 1989).

نتایج و بحث

شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه

شهر بابلسر در مدار معتدل گرم قرار گرفته و میانگین دمای سالیانه آن ۱۸/۴ درجه سانتی‌گراد، بارش سالیانه ۷۹۱ میلی‌متر



شکل ۱- میانگین دمای ماهانه ۱۳۹۸ (مثلث) و دمای ماهانه ۱۳۹۹ (مربع)، بارندگی ۱۳۹۸ (ستون تیره) و بارندگی ۱۳۹۹ (ستون روشن) در منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Average monthly temperature of 2018 (triangle) and monthly temperature of 2019 (square), rainfall of 2018 (dark column) and rainfall of 2019 (light column) in the study area

مورد بررسی به‌ترتیب ۵، ۳۶ و ۱۹/۵ سال بود (جدول ۱). واکنش بیشترین عملکردهای سویا در مزارع مورد بررسی از نظر تجربه کشاورز نشان داد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای تبعیت می‌کنند (شکل ۲). بدین ترتیب که با افزایش تجربه کشاورز در کشت سویا تا ۱۶/۷۱ سال عملکرد دانه افزایش یافت و پس از آن عملکرد دانه سویا روند ثلثت و یکنواختی را داشت. مرز بالایی (بالترین عملکردها) حداکثر عکس‌العمل احتمالی به عامل مورد استفاده به‌عنوان متغیر مستقل را نشان می‌دهد و نقاط زیر خط مرزی شرایطی را نشان می‌دهد که سایر عوامل عکس‌العمل متغیر مستقل را محدود کرده‌اند (Kitchen et al., 2003).

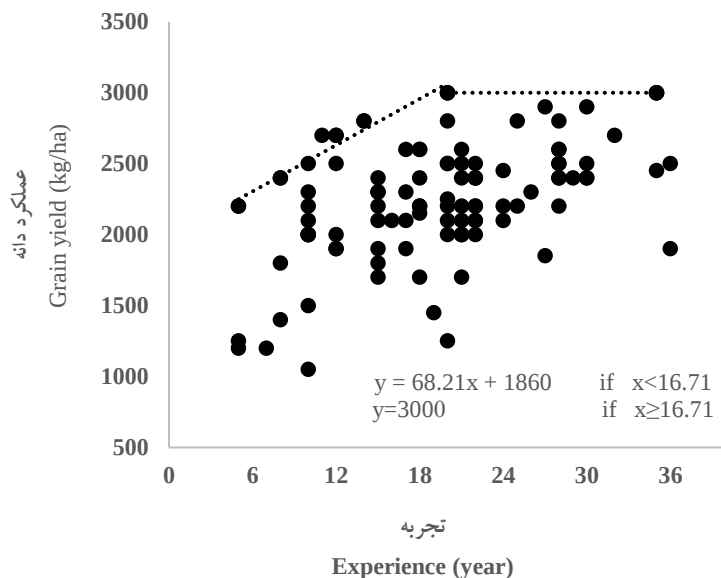
نتایج نشان داد که حداقل تجربه‌ای که کشاورزان با توجه به

واکنش عملکرد دانه به تجربه کشاورز

هرچند تجربه کشاورز در کشت سویا یک متغیر کیفی است، ولی با این وجود از طریق میزان معلومات و دانشی که کشاورز در زراعت سویا دارد، عملکرد محصول را می‌تواند به‌طور غیرمستقیم تحت تأثیر قرار دهد. دانش و معلومات کشاورز در رابطه با یک زراعت می‌تواند بر عوامل مدیریتی مانند تاریخ کاشت، تراکم بوته و مقدار مصرف نهاده‌ها تأثیرگذار باشد. مشخص شده است که محاسبه تجربی تولیدکنندگان و مدیریت نهاده‌ها در سطح مزارع و تعیین عوامل مختلف تأثیرگذار به‌منظور افزایش کارایی و سودآوری در بخش کشاورزی مهم است (Mohamadian and Kalhori., 2023).

حداقل، حداکثر و میانگین سابقه کشت کشاورز در مزارع

شرایط موجود می‌بایست داشته باشند تا به عملکرد پتانسیل (۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) برسند، ۱۶/۷۱ سال بود (شکل ۲).
 سویا داشتند به عملکرد پتانسیل سویا در منطقه دست یافته بودند یا به بیانی دیگر ۳۴/۳۱ درصد مزارع به کمتر از عملکرد پتانسیل دست یافتند. به عبارت دیگر کشاورزانی که نزدیک به ۱۷ سال سابقه کشت



شکل ۲- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد دانه در مقابل تجربه به همراه برازش تابع خط مرزی

Figure 2- Scatterplot of grain yield versus experience data along with fitting the borderline function

جدول ۱- نتایج آنالیز خطی مرزی عوامل مدیریتی به همراه محاسبه پتانسیل و خلأ عملکرد سویا در شهرستان بابلسر

Table 1- The results of the linear analysis of management factors with calculated yield potential and yield gap of soybean in Babolsar County

عوامل مدیریتی / نهاده Management/Input	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	حداقل (بازه) مطلوب Minimum optimal range	عملکرد پتانسیل Potential Yield (kg/ha)	عملکرد متوسط Average yield (kg/ha)	خلأ عملکرد Yield gap (kg/ha)	خلأ عملکرد (%) Yield gap (%)
مدیریت / نهاده Management/Input	40	55	45-52.45	2933	2307	629	21.45
تراکم بوته Plant density (plants/m ²)	60	75	>70.5	3500	2314	1186	33.89
میزان بذر مصرفی Seed application rate (kg/ha)	5	36	>17.71	3000	2226	774	25.8
تجربه کشاورز (سال) Farmer experience (years)	0	69	23-45	3003	2270	733	24.41
مقدار نیتروژن مصرفی Nitrogen application rate (kg N/ha)	23	115	>46.12	3000	2273	727	24.23
مقدار فسفر مصرفی Phosphorus application rate (kg P ₂ O ₅ /ha)	0	75	>43.75	3000	2281	719	23.97

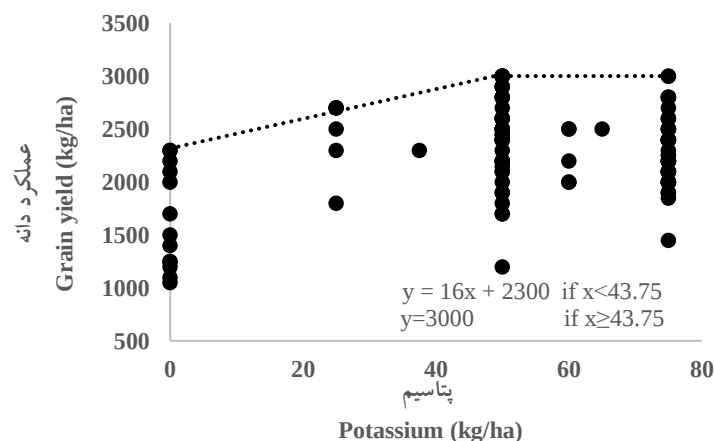
بررسی به ترتیب صفر، ۷۵ و ۵۴/۱۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱). نمودار پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل مقدار

واکنش عملکرد دانه به مقدار مصرف پتاسیم

حداقل، حداکثر و میانگین مقدار پتاسیم در مزارع مورد

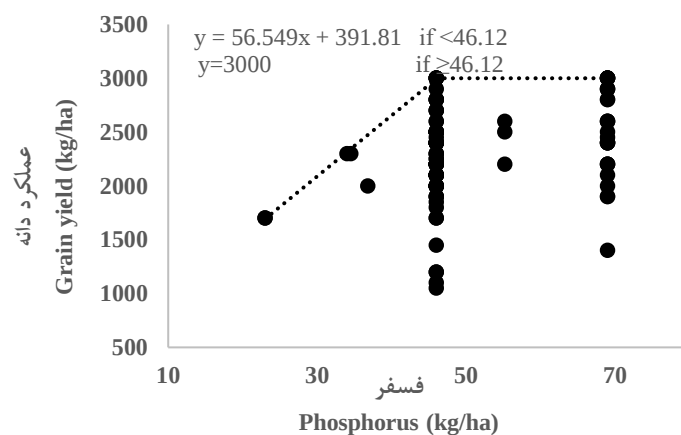
کشاورزان کمتر از حد بهینه کود پتاسیم مصرف کرده بودند و خلأ عملکرد ناشی از مقدار مصرف کود پتاسیم ۷۱۹ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۳/۹۷ درصد بود (جدول ۱). در مطالعه‌ای استفاده از منبع کود پتاسیم به‌عنوان یکی از عوامل محدودکننده تولید سویا در استان مازندران شناسایی شده که تأثیر منفی در عملکرد تولیدی داشت (Mohammadi *Kashka et al.*, 2022) و استفاده از این نوع کودها در زمان و میزان مناسب بر افزایش عملکرد مؤثر است.

کود پتاسیم مصرفی نشان می‌دهد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای پیروی می‌کنند، به‌طوری‌که با افزایش مقدار کود فسفر تا ۴۳/۷۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه سویا افزایش یافت و بعد از آن مصرف کود فسفر تأثیری بر عملکرد دانه سویا نداشت و روند ثابت و یکنواختی را داشت. عملکرد پتانسیل سویا در شرایط مصرف بهینه کود پتاسیم، ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف حداقل ۴۳/۷۵ کیلوگرم پتاسیم حاصل شد (شکل ۳). نتایج این تحقیق نشان داد که در ۱۵/۶۵ درصد مزارع،



شکل ۳- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد دانه در مقابل پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) به‌همراه برازش تابع خط مرزی

Figure 3- The scatter plot of grain yield data versus potassium (kg/ha) along with fitting the boundary line function.



شکل ۴- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد دانه در مقابل فسفر (کیلوگرم در هکتار) به‌همراه برازش تابع خط مرزی

Figure 4- Scatterplot of grain yield data versus phosphorus (kg/ha) along with fitting the boundary line function

پیروی می‌کند، به‌طوری‌که با افزایش مقدار کود فسفر تا ۴۶/۱۲ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه سویا افزایش یافت و بعد از آن مصرف کود فسفر تأثیری بر عملکرد دانه سویا نداشت و روند ثابت و یکنواختی را داشت. عملکرد پتانسیل سویا در شرایط مصرف بهینه کود فسفر، ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که با

واکنش عملکرد دانه به مقدار مصرف فسفر

حداقل، حداکثر و میانگین مقدار فسفر در مزارع مورد بررسی به‌ترتیب ۲۳، ۱۱۵ و ۵۶/۷۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱). نمودار پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل مقدار کود فسفر مصرفی نشان می‌دهد که نقاط از یک تابع دو تکه‌ای

(Nehbandani et al., 2017). نتایج بررسی محققان حاکی از آن بود که مصرف بیش از ۵۱ کیلوگرم نیتروژن پس از کاشت سبب کاهش عملکرد پتانسیل گندم می‌شود (Hajjarpoor and Kashiri., 2017). با توجه به نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام که توسط پژوهشگران انجام شد، کود نیتروژن مصرفی (اوره) با سهم ۳۶/۴۵ درصد در ایجاد خلأ عملکرد به‌عنوان یکی از عوامل مهم مدیریتی مؤثر بر عملکرد دانه و معادله رگرسیونی مدل تولید شناخته شد (Bagheripour et al., 2021). طبق گزارش‌های به‌دست آمده، عنصر نیتروژن یکی از عناصر مورد نیاز جهت تولید آنزیم روبیسکو می‌باشد که نقش حیاتی در فتوسنتز گیاهان دارد و اختلال در سنتز آن تولید ماده خشک در گیاهان را دچار اختلال می‌کند. همچنین ۲ تا ۷ درصد وزن خشک دانه گیاهان را نیتروژن تشکیل می‌دهد و محدودیت نیتروژن در زمان گلدهی موجب کاهش تعداد دانه در بوته گندم می‌شود (Bagheripour et al., 2024).

واکنش عملکرد دانه به مقدار بذر مصرفی

نتایج نشان داد که در مزارع مورد بررسی حداقل، حداکثر و میانگین مقدار مصرف بذر به‌ترتیب ۶۰، ۱۰۰ و ۷۶ کیلوگرم در هکتار بود و همچنین حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه سویا در این مزارع به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۳۵۰۰ و ۲۱۲۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱). با بررسی مزارع سویا در دو شهرستان گرگان و علی‌آباد حداقل و حداکثر میزان بذری که کشاورزان استفاده می‌کنند به‌ترتیب ۳۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار است (Nehbandani et al., 2017).

پراکنش داده‌های عملکرد دانه در مقابل مقدار بذری که برای کاشت مصرف شده، نشان داد که خط مرزی از یک تابع دو تکه‌ای پیروی می‌کند، به‌طوری‌که با افزایش مقدار بذر مصرفی تا ۷۰/۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد افزایش یافت و بعد از آن افزایش در میزان بذر مصرفی تأثیری بر افزایش عملکرد نداشت (شکل ۶). با توجه به نتایج ۷۹/۴۹ درصد مزارع کمتر از حد بهینه بذر مصرف کردند و خلأ عملکرد ناشی از آن ۱۱۸۶ کیلوگرم در هکتار (۳۳/۸۹ درصد) بود. علی‌رغم اینکه براساس توصیه محققین مرکز تحقیقات کشاورزی، میزان بذر مصرفی مطلوب برای کاشت سویا ۶۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، اما با توجه به نتایج این تحقیق میزان بذر مصرفی مطلوب حدود ۷۰

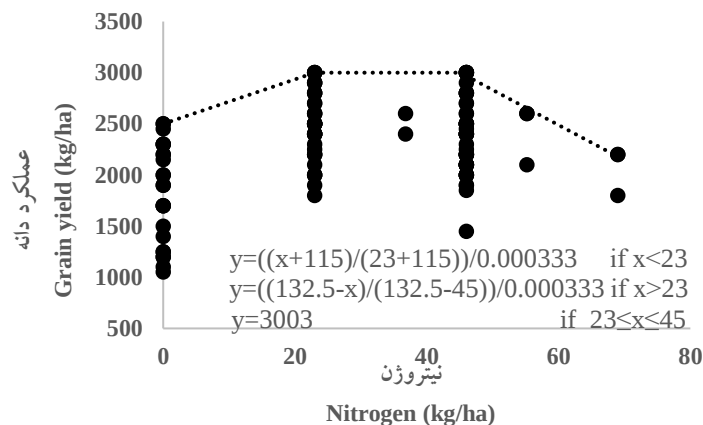
مصرف حداقل ۴۶/۱۲ کیلوگرم فسفر (P_2O_5) حاصل شد (شکل ۴). نتایج این مطالعه نشان داد که در ۶۳/۱۶ درصد مزارع، کشاورزان کمتر از حد بهینه کود فسفر مصرف کرده بودند و خلأ عملکرد ناشی از مقدار مصرف کود فسفر ۷۲۷ کیلوگرم در هکتار (۲۴/۲۳ درصد) بود (جدول ۱). بررسی مزارع سویا در منطقه گرگان و علی‌آباد عملکرد پتانسیل ناشی از مصرف کود فسفر ۵۷۳۱ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف حداقل ۴۳ کیلوگرم فسفر به‌دست آمده بود (Nehbandani et al., 2017). فسفر یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاهان می‌باشد که در تشکیل دانه و بهبود عملکرد و کیفیت محصول تولیدی نقش دارد (Itelima et al., 2018). به‌دلیل داشتن مواد غذایی بالا و تمایل کم به جذب رطوبت و کلوخه‌شدن به‌عنوان یکی کودهای مرغوب شناخته می‌شود و برای سویا مورد نیاز است (Mohammadi et al., 2021).

واکنش عملکرد دانه به مقدار مصرف نیتروژن

در مزارع مورد بررسی حداقل، حداکثر و میانگین مقدار مصرف کود نیتروژن به‌ترتیب صفر، ۶۹ و ۲۵/۷ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد دانه سویا در این مزارع به‌ترتیب ۱۰۰۰، ۳۵۰۰ و ۲۲۷۰ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۱). واکنش بیشترین عملکردهای سویا در مزارع مورد بررسی از نظر مقدار مصرف کود نیتروژن نشان داد که نقاط از یک تابع دندان مانند (سه تکه‌ای) تبعیت می‌کنند (شکل ۵). بدین ترتیب که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن از صفر تا ۲۳ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه سویا افزایش یافت و پس از آن افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن تا ۴۵ کیلوگرم در هکتار تأثیری بر عملکرد دانه سویا نداشت و روند ثابتی داشت و پس از آن روند کاهشی داشت (شکل ۵). عملکرد پتانسیل نیتروژن محدود ۳۰۰۳ کیلوگرم در هکتار بود که با مصرف حداقل ۲۳ و حداکثر ۴۵ کیلوگرم نیتروژن خالص به‌دست آمده بود و در ۳۸ درصد مزارع مورد مطالعه مقدار نیتروژن مصرفی خارج از حد بهینه بود. طبق نتایج پژوهشگران، با مصرف حداقل ۴۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در سویا می‌توان به عملکرد پتانسیل ۵۹۳۱ کیلوگرم در هکتار دست یافت. نتایج نشان داد که خلأ عملکرد ناشی از مقدار مصرف کود نیتروژن مصرفی ۱۳۶۱ کیلوگرم در هکتار (۳۹ درصد) بود

مورد مطالعه به صورت دستپاش اقدام به کشت سویا می کردند، به علت عدم استقرار بذرها در یک عمق مناسب و یکنواخت و به منظور توزیع و سبز یکنواخت بذرها سویا مجبور به مصرف بذر بیشتر می شوند.

کیلوگرم در هکتار بود. ولی با این وجود مقدار بذر مصرف شده در مزارع مورد بررسی از ۶۰ تا ۷۵ کیلوگرم نوسان داشت. معمولاً کشاورزانی که به صورت مکانیزه کشت انجام می دادند بذر کمتری مصرف می کردند، نسبت به کشاورزانی که در منطقه

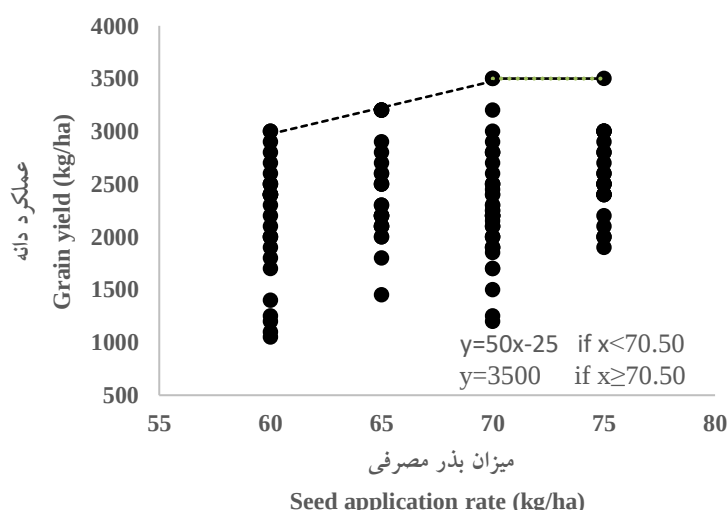


شکل ۵- نمودار پراکنش داده های عملکرد دانه در مقابل نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) به همراه برازش تابع خط مرزی

Figure 5- The scatter plot of grain yield data versus nitrogen (kg/ha) along with fitting the boundary line function

اگر ورس در مرحله R_3 اتفاق بیفتد باعث کاهش تعداد غلاف، کاهش رشد دانه و بنابراین، کاهش عملکرد دانه و شاخص برداشت می گردد (Nehbandani et al., 2017). مطالعه ای در علی آباد بر روی سویا انجام شد که بذر مصرفی ۸/۵ درصد از خلأ عملکرد دانه را نشان می دهد (Soukhthehsaraei et al., 2023).

در تراکم های پایین بوته ها کوتاه، ریشه ها ضخیم، تعداد گره ها در شاخه کاهش یافته و اغلب غلاف ها در ارتفاع پایین و نزدیک سطح زمین تشکیل می شوند. در این شرایط علف های هرز به دلیل بسته نشدن کانوپی بسیار مشکل ساز می باشند. گیاهان با تراکم بالا دارای ارتفاع بلند، باریک و مستعد به ورس می باشند. وقوع ورس باعث بهم ریختن ساختار کانوپی شده و



شکل ۶- نمودار پراکنش داده های عملکرد دانه در مقابل میزان بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار) به همراه برازش تابع خط مرزی

Figure 6- Distribution chart of grain yield data versus seed application rate (kg/ha) along with fitting the boundary line function

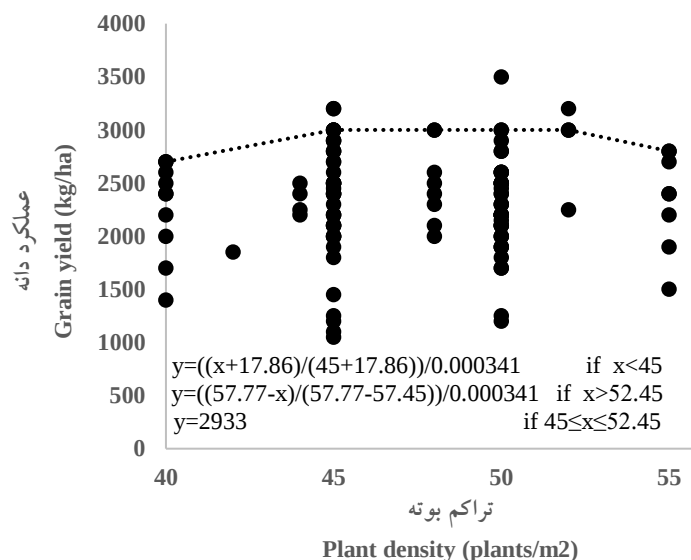
مزارع مورد بررسی به ترتیب ۵۵/۴۰ و ۴۷/۳۴ بوته در مترمربع بود (جدول ۱). واکنش بیشترین عملکردهای سویا در مزارع

واکنش عملکرد دانه به تراکم بوته

نتایج نشان داد که حداقل، حداکثر و میانگین تراکم بوته در

رشد کمتر از حد بهینه مصرف شده و یا اینکه کود فسفر و همچنین نیتروژن مصرف نشده بود که این عوامل مانع رسیدن به عملکرد پتانسیل بود. در همین راستا محققان گزارش کردند که تخمین پایین تر از حد عملکرد پتانسیل به سبب عدم دسترسی به نهاده‌های کشاورزی، 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). در مطالعه روی سویا در علی‌آباد گزارش دادند، عدم رعایت تراکم مناسب بوته باعث خلأ ۱۵/۵ درصدی از عملکرد دانه می‌شود (Soukhatehsaraei et al., 2023). انتخاب تراکم مطلوب بوته با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی منطقه باعث استقرار بهتر گیاه و در نتیجه عملکرد بیشتر نسبت به تراکم‌های دیگر می‌شود (Alazmani et al., 2023).

مورد بررسی از نظر تراکم بوته نشان داد که نقاط از یک تابع سه تکه‌ای (دندان مانند) پیروی می‌کنند (شکل ۷). در تراکم‌های مطلوب ۴۵/۰۰ تا ۵۲/۴۵ بوته در مترمربع کشاورزان به عملکرد پتانسیل ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار دست یافته بودند و در تراکم‌های کمتر و بیشتر از محدوده مطلوب، عملکرد قابل حصول پایین تر از عملکرد پتانسیل بود، به طوری که ۸۱/۹ درصد از مزارع مورد بررسی در محدوده تراکم بهینه بود. عملکردهایی که در هر یک از مقادیر تراکم بوته زیر خط مرزی قرار گرفته‌اند به وسیله عواملی غیر از تراکم بوته محدود شده است. اگر تمام عوامل مدیریتی در آن مزارع نیز مشابه مزارعی بود که به عملکرد پتانسیل رسیده بودند دلیلی وجود نداشت که عملکرد آن‌ها از حداکثر عملکرد تولید شده در یک تراکم خاص کمتر باشد. به عنوان مثال در برخی از مزارع میزان آب آبیاری در فصل



شکل ۷- نمودار پراکنش داده‌های عملکرد دانه در مقابل تراکم بوته (بوته در مترمربع) به همراه برازش تابع خط مرزی

Figure 7- The scatter plot of grain yield data versus plant density (plants per square meter) along with fitting the boundary line function.

که به ترتیب ۲۵/۸، ۲۳/۹۷، ۲۴/۲۳، ۲۴/۴۱، ۲۱/۴۵ و ۳۳/۸۹ درصد سهم هر متغیر در ایجاد فاصله از عملکرد قابل حصول بود. بنابراین، به نظر می‌رسد که با اصلاح این عوامل محدودکننده عملکرد سویا با استفاده از راهکارهای ذیل می‌توان اختلاف بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی را کاهش داد.

۱- افزایش سطح معلومات و دانش کشاورزی بهره‌برداران از طریق برگزاری کارگاه‌های آموزشی و انتقال یافته‌های نوین

نتیجه‌گیری

در این مطالعه بین عملکرد قابل حصول (۱۸۴۳۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد واقعی (۱۳۶۷۱ کیلوگرم در هکتار) اختلافی به میزان ۴۷۶۵ کیلوگرم در هکتار وجود داشت. طبق نتایج به دست آمده از بین تمام متغیرها حداقل سابقه کشت، کود پتاسیم، فسفر، نیتروژن، تراکم بوته و مقدار بذر مصرفی سبب ایجاد خلأ عملکرد سویا در منطقه مورد مطالعه شده بودند

تحقیقاتی، ۲- استفاده از کودهای پایه بر مبنای نتایج آنالیز
آزمون خاک مزارع و افزایش مواد آلی خاک با استفاده از حفظ
بقایای گیاهی در سطح خاک و توسعه خاکورزی حفاظتی.

References

- Alasti, O., Zeinali, E., Soltani, A. and Torabi, B., 2020. Estimation of yield gap and the potential of rainfed barley production increase in Iran. *Journals of Crop Production*, 13(3), pp.41–60. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.16896.2250>
- Alazmani, A., Naeemi, M., Faraji, A., Rahemi Karizki, A. and Ahangar, L., 2023. Effect of temperature limits and crop density on quality characteristics of oils and fatty acids in regression relationship with soybean yield. *Scientific Journal of Ecophysiology of Crop Plants*, 17, 1(65), pp.51-66. [In Persian]. <https://doi.org/10.30495/jcep.2023.1928321.1796>
- Bagheripour, M.A., Heydari Sharif Abad, H., Mehraban, A. and Ganjali, H.R., 2024. Estimating yield gap of wheat (*Triticum aestivum* L.) using the comparative performance analysis (CPA) method in the Bam, Narmashir and Fahraj counties of Kerman province. *Legume Research*, 47(7), pp.1235-1241. <https://doi.org/10.18805/lrf-777>
- Bagheripour, M.A., Heydari Sharif Abad, H., Mehraban, A. and Ganjali, H.R., 2021. Investigation of the limiting factors of wheat seed yield in the eastern region of Kerman. *Journal of Crop Ecophysiology*, 15(59), pp.435-450. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/csrar.2024.405050.1355>
- Carracelas, G., Guilpart, N., Cassman, K.G. and Grassini, P., 2023. Distinguishing between yield plateaus and yield ceilings: A case study of rice in Uruguay. *Field Crops Research*, 292, 108808. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108808>
- Dastan, S., Nezamzadeh, S.E., Soltani, A. and Ajam Norouzi, H., 2019. Evaluation of yield gap associated with crop management in canola production by CPA method in Neka Region. *Applied Field Crops Research*, 32(2), pp.76-107. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2019.120656.1251>
- Gorjizad, A., Soltani, A., Dastan, S. and Ajamnorozi, H., 2019. Evaluation of potential yield and yield gap associated with crop management in improved rice cultivars in Neka Region. *Agroecology Journal*, 11(1), pp.277-294. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.67430>
- Hajjarpoor, A. and Kashiri, H., 2017. Determination of the optimum managements ranges in order to increasing wheat yield in Golestan province. *Journal of Crops Improvement*, 19(3), pp.577-590. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2017.60463>
- Itelima, J.U., Bang, W.J., Onyimba, I.A., Sila, M.D. and Egbere, O.J., 2018. Bio-fertilizers as key player in enhancing soil fertility and crop productivity: A review. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 6(3), pp.78-83. <https://doi.org/10.26765/drjafs.2018.4815>
- Kitchen, N.R., Draummond, S.T., Lund, K.A. and Buchleiter, G.W., 2003. Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil–crop systems. *Agronomy Journal*, 95(3), pp.485-495. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.4830>

- Makowski, D., Doré, T. and Monod, H., 2007. A new method to analyze relationships between yield components with boundary lines. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, pp.119-128. <https://doi.org/10.1051/agro:2006029>
- Matourian, H., Joghian, A.K., Telavat, M.M., Siadat, S.A. and Torabi, B., 2022. Analyzing rapeseed (*Brassica napus* L.) yield gap using comparative performance analysis (CPA) in Khorramshahr. *Journal of Agroecology*, 2(52), pp.275-289. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/agry.2021.67226.0>
- Mohammadi Kashka, F., Tahmasebi Sarvestani, Z.A., Pirdashti, H., Motevali, A. and Nadi, M., 2022. Evaluation of management factors affecting soybean (*Glycine max* L. Merrill) yield gap in Mazandaran Province using comparative performance analysis (CPA). *Crop Production*, 15(1), pp.73-100. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.19128.2427>
- Mohammadian, F. and Kalhori, S., 2023. Components affecting the technical efficiency of barley farmers in Asadabad city. *Agricultural Economics and Development*, 30(4), pp.21-52. [In Persian]. <https://doi.org/10.30490/aead.2023.355788.1377>
- Mootab Laleh, K., Ghorbani Javid, M., Alahdadi, I., Soltani, E., Soufizadeh, S. and González-Andújar, J.L., 2023. Wheat yield gap assessment in using the comparative performance analysis (CPA). *Agronomy*, 13(3), 705. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030705>
- Naoki, M., Tetsuya, Y., Yoshitake, T., Koichiro, T. and Makita, N., 2018. Effect of plant density on growth and yield of new soybean genotypes grown under early planting condition in South Western of Japan. *Plant Production Science*, 21(1), pp.16-25. <https://doi.org/10.1080/1343943x.2018.1432981>
- Nehbandani, A., Soltani, A., Zeinali, E. and Hoseini, F., 2017. Analyzing soybean yield constraints in Gorgan and Aliabad katul using CPA method. *Journal of Agroecology*, 7(1), pp.109-123. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.67430>
- Patrignani, A., Lollato, R.P., Ochsner, T.E., Godsey, C.B. and Edwards, J.T., 2014. Yield gap and production gap of rain-fed winter wheat in the Southern Great Plains. *Agronomy Journal*, 106, pp.1329-1339. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0011>
- Rezvantalab, N., Dastan, S. and Soltani, A., 2019. Identification of yield constraints and yield gap monitoring of local rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Mazandaran Province. *Iranian Journal of Crop Science*, 21(2), pp.155-172. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/abj.21.2.155>
- Salam, M.A. and Sarker, M.N.I., 2023. Impact of hybrid variety adoption on the performance of rice farms in Bangladesh: A propensity score matching approach. *World Development Sustainability*, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100042>
- SAS Institute Inc., 1989. SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E. and van Ittersum, M.K., 2020. Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. *Agricultural Systems*, 183, 102859. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102859>

- Soukhtehsaraei, M., Dadashi, M.R., Faraji, A. and Soltani, A., 2023. Determination of soybean yield gap in Aliabad katol area by use of CPA analysis and bundary linear. *Crop Production Journal*, 16(1), pp.25-42. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.17284.2282>
- Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P. and Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance A review. *Field Crops Research*, 143, pp 4-17. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>
- Yousefian, M., Soltani, A., Dastan, S. and Ajamnoroozi, H., 2019. Documenting production process and the ranking factors causing yield gap in rice fields in Sari, Iran. *Agricultural Research*, 38(1), pp.101-109. [In Persian]. <https://doi.org/10.22099/iar.2019.5316>