تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۳، ص ۳۷۴-۳۶۳

مقاله پژوهشی

تعیین عوامل محدودکننده عملکرد سویا به روش تجزیه مقایسه کارکرد تحت شرایط تنش خشکی در انتهای فصل رشد

علی باغبان امین[۱]، معصومه نعیمی[۲*]، علی نخزری مقدم[۲]، علی راحمی کاریزکی[۲]

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

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

* مسئول مکاتبه: naeemi_701@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۸ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.405050.1355**

چکیده

یکی از عمده‌ترین مشکلات تولید سویا اختلاف قابل‌توجه بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل حصول می‌باشد که خلأ عملکرد نامیده می‌شود، از آنجایی که شناسایی عوامل محدودکننده و خلأ عملکرد دارای اهمیت ویژه‌ای است، لذا این پژوهش به‌منظور بررسی عوامل محدودکننده‌ی عملکرد سویا با استفاده از تجزیه مقایسه کارکرد (CPA) در بابلسر طی در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات به‌صورت میدانی و مصاحبه مستقیم با کشاورزان انجام شد. بدین منظور، حداقل ۱۲۰ مزرعه سویا واقع در محدوده‌ی جغرافیایی مورد مطالعه در هر سال زراعی مورد پایش قرار گرفتند. نتایج حاصل از مدل عملکرد نشان داد که بین عملکرد قابل حصول (۴۰۵۹ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد واقعی (۲۳۲۳ کیلوگرم در هکتار) اختلافی به میزان ۱۷۳۶ کیلوگرم در هکتار وجود داشت. از بین متغیرهای مورد بررسی، تجربه کشاورزان، تراکم بوته، دفعات کوددهی نیتروژن، کود اولیه، دفعات مصرف آفت‌کش و نوع علف‌کش به‌ترتیب با سهمی معادل ۱۵/۶، ۲۴/۶، ۸/۳، ۳/۳، ۱۶/۷ و ۳۱/۵ درصدی، سبب ایجاد خلأ عملکرد سویا در منطقه مورد بررسی شده بودند. این نشان می‌دهد که با مدیریت زراعی صحیح و درست و اصلاح عوامل تأثیرگذار می‌توان اختلاف بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی را کاهش داد و به نتیجه مطلوب دست یافت.

واژه‌های کلیدی: تراکم بوته، خلأ عملکرد، عملکرد قابل حصول، عملکرد واقعی

مقدمه

امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر است. بنابراین، برای پاسخگویی به فشار فزاینده تقاضای جهانی غذا، بهبود عملکرد محصول امری ضروری است. سویا (*Glycine max* L.) گیاهی یک‌ساله، روزکوتاه و از مهم‌ترین محصولات زراعی دنیا به‌شمار می‌رود که علاوه بر دارا بودن روغن و پروتئین، نقش مؤثری در سلامت جامعه ایفا می‌کند (Naoki *et al.*, 2018). سویا به‌دلیل استفاده‌های مختلف دارویی و صنعتی سطح زیر کشت بالایی را دارد (Matourian *et al.*, 2022).

یکی از موضوعات مهم در کشورهای در حال توسعه، کاهش خلأ عملکرد است (Carracelas *et al.*, 2023). برآورد دقیق آن تأثیر زیادی بر افزایش عملکرد دارد (Laleh *et al.*, 2023). شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی می‌تواند خلأ عملکرد را کاهش و یا به‌طور کامل حذف کند (Nobatiani *et al.*, 2020; Sekhavatifar *et al.*, 2020). روش‌های مختلفی جهت تعیین خلأ عملکرد وجود دارد که یکی از این روش‌ها تجزیه و تحلیل خط مرزی (BLA[1]) است (Hajjarpoor *et al.*, 2017). روش دیگر که برای بررسی خلأ عملکرد استفاده می‌شود، تحلیل مقایسه کارکرد (CPA[2]) است. در این روش، با استفاده از رگرسیون گام به گام (Amini *et al.*, 2022) محدودیت‌های عملکرد تعیین و در نهایت مدل تولید انتخاب می‌شود. با استفاده از مدل و مقادیر متغیرهای مدل، سهم هر یک از محدودیت‌ها در ایجاد خلأ عملکرد مشخص می‌گردد (Soltani *et al.*, 2020). شناسایی عوامل محدودکننده می‌تواند باعث کاهش خلأ عملکرد شود (Salam *et al.*, 2023). روش CPA گزینه مناسبی است که با استفاده از آن می‌توان عوامل محدود کننده عملکرد را شناسایی کرد و سپس نسبت به حذف این عوامل کاهش‌دهنده عملکرد اقدام نمود (Nezamzadeh *et al.*, 2019). این روش در مقایسه با

[1] -Boundary Line Analysis

[2] - Comparative Performance Analysis

روش تابع خط مرزی، کارآیی بهتری را از نظر پیش‌بینی خلأ عملکرد گیاه زراعی نشان داده است (Yousefian *et al.*, 2019). با این روش، میزان تولید در شرایط عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی مورد مقایسه قرار می‌گیرد (Sadegh Zadeh *et al.*, 2023). با استفاده از مدل تولید و مقادیر متغیرهای مدل حاصل از این روش، سهم هر یک از محدودیت‌ها در ایجاد خلأ عملکرد مشخص می‌گردد (Alasti *et al.*, 2020).

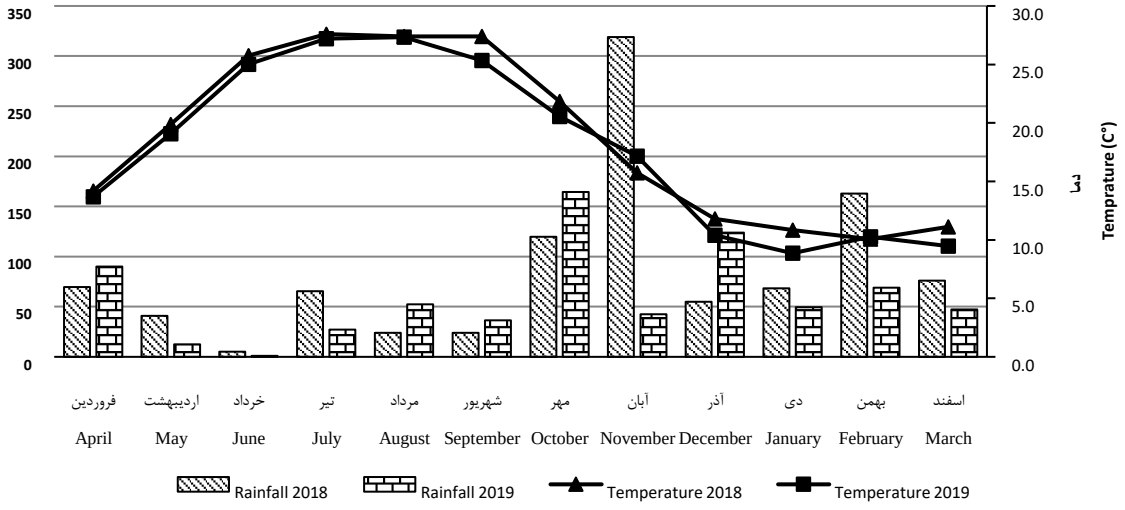
نتایج پژوهشی با استفاده از روش CPA جهت بررسی عوامل مدیریتی محدودکننده عملکرد سویا و برآورد خلأ عملکرد آن در ۱۳ شهرستان تحت کشت سویا در استان مازندران نشان داد که سه عامل مقدار گوگرد مصرفی، محصول قبلی و سیستم آبیاری بارانی متحرک به‌ترتیب با مقادیر ۱۹۳/۲، ۲۲۳/۴ و ۵۴۲/۳ کیلوگرم در هکتار، بیشترین سهم را به‌ترتیب با ۲۴/۵۲، ۱۹/۴۱ و ۱۵/۳۳ درصد در خلأ عملکرد به وجود آمده داشتند. به‌طورکلی، نتایج این مطالعه نشان داد که در استان مازندران برای رسیدن به حداکثر عملکرد ممکن در تولید سویا در مقایسه با متوسط عملکرد فعلی کشاورزان، عوامل محدودکننده مهمی وجود دارد که این عوامل روی هم رفته دلیل ۵۱ درصد خلأ عملکرد بوده‌اند (Mohammadi *et al.*, 2021). کلیه عملیات مدیریتی از مرحله تهیه بستر تا برداشت محصول در ۲۲۸ مزرعه مربوط به ارقام بومی برنج در سه منطقه شرق، مرکز و غرب استان مازندران به‌صورت پیمایشی و مطالعات میدانی در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از روش CPA نشان داد که متغیرهای بذر گواهی شده، سن گیاهچه، مصرف پتاسیم، مصرف نیتروژن (بعد از گل‌دهی)، زمان برداشت و وجود آفات، عوامل اصلی محدودکننده عملکرد برنج در منطقه بودند. عملکرد واقعی و پتانسیل عملکرد محاسبه شده با مدل CPA به‌ترتیب ۴۴۵۶ و ۶۶۴۲ کیلوگرم در هکتار و میزان خلأ عملکرد ۲۱۸۶ کیلوگرم در هکتار برآورد شدند (Rezvantalab *et al.*, 2019). عوامل مدیریتی محدودکننده عملکرد کلزا را در شرق استان گلستان با استفاده از روش CPA مورد ارزیابی قرار دادند و گزارش کردند که بیش‌ترین درصد خلأ عملکرد (۲۵/۵ درصد) مربوط به مصرف غیرصحیح کود نیتروژن بود، به‌طوری‌که با بهبود این عامل، عملکرد کلزا به میزان ۸۶۳ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (Abravan *et al.*, 2016). نتایج مطالعه‌ای در اتریش نشان داد که تراکم زیاد علف‌های هرز در مزارع سویا می‌تواند سبب از دست رفتن عملکرد به میزان ۳۹۳ و ۵۲۳ کیلوگرم در هکتار گردد که تلفات اقتصادی قابل توجهی را ایجاد می‌کند (Hollander *et al.*, 2012). مطالعه خلأ عملکرد در مناطق برنج‌کاری منطقه نکا استان مازندران با استفاده از روش CPA نشان داد که خلأ عملکرد تخمین زده‌شده برابر ۴۱۲۲ کیلوگرم در هکتار بود که پیش‌کاشت کلزا، تناوب زراعی، بذر گواهی‌شده، تاریخ بذرپاشی، مصرف کود سرک، مصرف پتاسیم، مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها هر یک به‌میزان دو درصد بود (Gorjizad *et al.*, 2019).

نتایج تجزیه و تحلیل خط مرزی با برازش یک خط بر لبه بالایی داده‌ها نشان داد که پاسخ عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته به متغیرهای مستقل میزان بذر، زمان نشاکاری، تراکم بوته و مصرف نیتروژن قبل از نشاکاری، در طول دوره رشد رویشی و بعد از گلدهی، از تابع دوتکه‌ای مثبت تبعیت کرده، ولی متغیرهای سن گیاهچه و تعداد گیاهچه در کپه تابع دو تکه‌ای منفی داشتند. متغیرهای خوابیدگی بوته (ورس) و آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز از تابع خطی تبعیت کردند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل خط مرزی نشان داد که میانگین عملکرد (بر اساس حد بهینه) ۵۷۵۵ کیلوگرم در هکتار، با خلأ عملکرد ۱۲۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد نسبی و خلأ نسبی نیز به‌ترتیب ۷۹/۸ و ۲۰/۹ درصد برآورد شد.

شهرستان بابلسر دارای بیش از ۵۰۰ هکتار اراضی زیر کشت سویای بهاره و تابستانه می‌باشد و با توجه به کاهش آب‌های زیرزمینی شهرستان و نیز کاهش سطح کشت گیاهان زراعی با نیاز آبی بالا (مانند شالی)، شرایط برای تبدیل‌شدن سویا به‌عنوان محصول غالب تابستانه در اراضی آبی این شهرستان فراهم‌شده است. با این‌وجود، بررسی عملکردهای سالانه از مزارع سویای شهرستان نشان می‌دهد که بین متوسط عملکرد به‌دست‌آمده از مزارع کشاورزان با حداکثر عملکرد به‌دست‌آمده در همان سال تفاوت فاحشی وجود دارد بنابراین، این تحقیق جهت شناسایی عوامل ایجادکننده خلأ و همچنین تعیین سهم هر یک از این عوامل در ایجاد خلأ عملکرد انجام خواهد شد که استفاده از نتایج حاصله می‌تواند در افزایش عملکرد سویای شهرستان نسبت به وضعیت تولید کنونی مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها

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. شهر بابلسر در مدار معتدل گرم قرار گرفته و میانگین دمای سالیانه آن ۱۸/۴ درجه سانتی‌گراد، بارش سالیانه ۷۹۱ میلی‌متر و رطوبت نسبی ۷۹ درصد می‌باشد. آنچه که از نظر بارندگی در این منطقه حائز اهمیت است توزیع نامناسب بارندگی‌ها در ماه‌های مختلف سال است (شکل ۱)، به‌طوری که کم‌ترین مقدار بارندگی در خرداد ماه سال ۱۳۹۹ (۱/۱ میلی‌متر) و بیشترین بارندگی در آبان ماه 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.



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

جهت جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز 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، حداقل ۶۰ مزرعه سویا واقع در محدوده‌ی جغرافیایی مورد مطالعه در هر سال زراعی مورد پایش قرار گرفت.

انجام عملیات پایش در طی فصل رشد محصول به‌صورت هفتگی و با دقت صورت گرفته و مشاهدات حاصل از پایش مزارع ثبت شد. مزارع انتخابی جهت پایش به‌گونه‌ای انتخاب شدند که دارای تنوع کافی ازلحاظ 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 ازلحاظ سطح معلومات و شرایط درآمدی کشاورز و درنهایت ازنظر نحوه انجام عملیات باشند و تحت این شرایط، تنوع لازم در نوع روش‌های کاشت، داشت، برداشت و فنّاوری‌های استفاده‌شده و سایر موارد ایجاد شد. با توجه به این‌که مزارع انتخاب‌شده ازلحاظ مدیریتی و همچنین عملکرد دارای تنوع بودند، جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت دوساله و در سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۹۹-۱۳۹۸ صورت گرفت. اطلاعات موردنیاز 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 مورداستفاده (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، تحت‌فشار) 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. تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده با استفاده از توزیع‌های فراوانی نسبی و تجمعی انجام شد و بیشترین نسبت‌ها از روش‌های مختلف که کشاورزان از آن‌ها استفاده کرده‌اند، دامنه متغیرهای مختلف مدیریتی و نهاده‌ها و خصوصیات خاک و ارقام مورداستفاده در مناطق و فراوانی‌های مربوط به آن‌ها مشخص شد.

برای بررسی رابطه بین هر متغیر کمی با عملکرد از تجزیه رگرسیون و برای متغیرهای کیفی از تجزیه واریانس و در مرحله بعد، تجزیه داده‌ها با استفاده از روش‌های مناسب آماری و در صورت نیاز داده‌کاوی[1] استفاده شد و رابطه بین تمام متغیرهای اندازه‌گیری شده (کمی و کیفی) و عملکرد با استفاده از روش رگرسیون گام به گام موردبررسی قرار گرفت. انجام کلیه مراحل فوق با استفاده از رویه‌های توصیه‌شده در نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) انجام شد و متغیرهای منتخب به‌صورت مقادیر متوسط و بهترین حالت که ممکن است در مدل رگرسیونی عملکرد قرار گیرد، وارد مدل تولید شش متغیره شدند. برای تعیین مدل عملکرد، رابطه بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده و عملکرد از طریق روش رگرسیون مورد بررسی قرار گرفت.

با قرار دادن میانگین مشاهده‌شده متغیرهای بررسی‌شده در مدل، عملکرد متوسط محاسبه گردید. سپس با قرار دادن بهترین مقدار مشاهده‌شده متغیرها در مدل، حداکثر عملکرد قابل دستیابی نیز محاسبه شد و اختلاف بین این دو عملکرد به‌عنوان خلأ عملکرد در نظر گرفته شد.

شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده در این بررسی شامل برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، بود که از طریق رابطه ذیل حاصل گردید.

$$RMSE = (\sum_{I=1}^{n} (P_i - O_i)^2 / n)^{0.5}$$

که در این رابطه P_i معرف مقادیر پیش‌بینی شده، O_i معرف مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده شده)، n تعداد نمونه‌های به کار رفته می‌باشد.

نتایج و بحث

مدل عملکرد

از بین متغیرهای مورد بررسی، مدل (معادله نهایی رگرسیون) با شش متغیر مستقل انتخاب شد که در جدول ۱ مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین متغیرهای انتخاب‌شده در مدل آورده شده است. مدل عملکرد به‌صورت معادله ۱ بود:

(معادله ۱)

$$Y = 303/40484 + 11.356X_1 + 15.62X_2 + 223.50X_3 + 289.89X_4 + 240.66X_5 + 296.31X_6$$

که در آن Y: عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)، X_1: تجربه کشاورز در کشت سویا (سال)، X_2: تراکم، X_3: دفعات کوددهی، X_4: کود استارتر، X_5: تعداد دفعات آفت‌کش مصرفی، X_6: انواع علف‌کش هستند.

در این پژوهش، متغیرهای تجربه کشاورزان، تراکم بوته، دفعات کوددهی، کود اولیه، دفعات مصرف آفت‌کش و نوع علف‌کش به‌ترتیب ۱۵/۶، ۲۴/۶، ۸/۳، ۳/۳، ۱۶/۷ و ۳۱/۵ درصد سبب ایجاد خلأ عملکرد سویا در منطقه مورد بررسی شده بودند که در ادامه، بر اساس میزان تأثیر آن‌ها بر خلأ عملکرد پرداخته خواهد شد. در جدول ۱ مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین هر یک از این ویژگی‌ها آورده شده است.

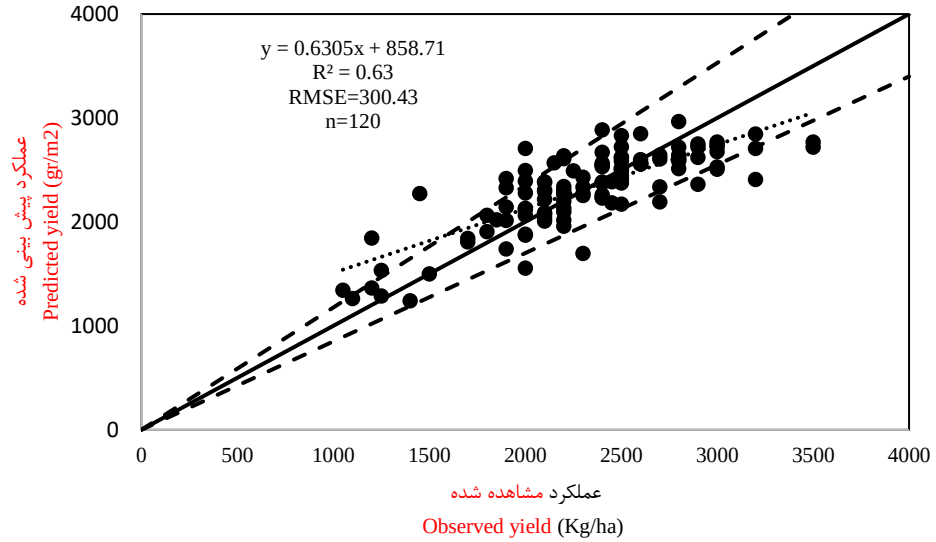
شکل ۲ رابطه بین عملکردهای واقعی مزارع و عملکرد تخمین زده‌شده توسط مدل تولید با ضریب تبیین ۰/۶۳ را نشان می‌دهد و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مدل ۳۰۰/۴۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد و نشان می‌دهد که دقت مدل مناسب است و می‌تواند برای تعیین میزان خلأ عملکرد و سهم هر یک از محدودیت‌های عملکرد به کار گرفته شود.

[1]- Data mining

جدول ۱- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین متغیرهای انتخاب شده در مدل CPA

Table 1- Minimum, maximum and average values of selected variables in the CPA model

متغیرها Variables	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min
تجربه Experience	42	3	18.25
تراکم بوته Plant density	75	37	47.7
دفعات کوددهی Fertilization frequency	2	0	1.36
کود اولیه Primary fertilizer	1	0	0.8
دفعات آفت‌کش مصرفی Frequency of pesticide use	2	0	0.8
نوع علف‌کش Type of herbicide	3	0	1.16



شکل ۲- رابطه بین عملکرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده. خطوط منقطع نشان‌دهنده اختلاف ۲۰ درصد بالا و پایین عملکرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده هستند. خط وسط (ممتد)، خط ۱:۱ میباشد.

Figure 2- The relationship between the observed and predicted yield. Dashed lines represent the top and bottom 20 percent difference between observed and predicted yield. The middle line (continuous), the line is 1:1

کل خلأ عملکرد سویا و سهم هر یک از عوامل محدودکننده عملکرد نسبت به آن در جدول ۲ نشان داده شده است. بر طبق مدل عملکرد، متوسط و حداکثر عملکرد به‌ترتیب ۲۳۲۸/۱۴ و ۴۰۵۹/۴۷ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شده است (جدول ۲) که با متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده‌شده قابل مقایسه می‌باشد (جدول ۱).

استفاده از انواع علف‌کش‌ها

علف‌های هرز جزو مهم‌ترین عوامل زنده کاهنده رشد هستند که به‌دلیل رقابت برای منابع ضروری مثل نور، آب و مواد مغذی با گیاه اصلی، به عملکرد آن آسیب می‌زنند (Vollmann *et al.*, 2010). نتایج مطالعه نشان داد که از بین عوامل مورد بررسی، استفاده از انواع علف‌کش‌ها در کشت سویا با ۳۱/۵ درصد (۵۴۵/۲۱ کیلوگرم در هکتار)، بیش‌ترین سهم را در محدودیت عملکرد و ایجاد فاصله از عملکرد قابل حصول داشت (جدول ۲ و شکل ۳). نتایج مطالعه‌ای در اتریش نشان داد که تراکم زیاد علف‌های هرز در مزارع سویا می‌تواند سبب از دست رفتن عملکرد به میزان ۳۹۳ و ۵۲۳ کیلوگرم در هکتار و

همچنین کاهش کارآیی برداشت، افزایش رطوبت و دانه آسیب دیده و کاهش کیفیت دانه گردد که تلفات اقتصادی قابل توجهی را ایجاد می‌کند (Hollander *et al*., 2012). بنابراین، کشاورزان و تولیدکنندگان باید موضوع کنترل علف‌های هرز را به‌عنوان عاملی مهم و مؤثر جهت حفظ کیفیت دانه و موفقیت در افزایش عملکرد و افزایش کشت موفق این محصول در نظر بگیرند.

تراکم بوته

نتایج تجزیه و تحلیل نشان داد که دومین عاملی که بالاترین سهم را در محدودیت عملکرد سویا داشت، تراکم بوته در هکتار بود که سبب ۲۴/۶ درصد معادل ۲۶۴/۵۸ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد شده بود (جدول ۲ و شکل ۳). 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. سرخی گزارش کرد که افزایش تراکم بوته سبب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل برگ شد که علت آن، کاهش نور دریافتی و کاهش در جذب رطوبت و مواد معدنی به‌علت افزایش شدت رقابت بین بوته‌ها در اثر افزایش تراکم بوته بود (Sorkhi, 2017). تنش خشکی شدید، گل‌دهی، روز تا رسیدگی و طول دوره رشد، ویژگی‌های مورفولوژیک از قبیل ارتفاع بوته، قطر ساقه و طول غلاف، ویژگی‌های فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ، کلونیزاسیون ریشه و میزان برداشت روغن و پروتئین و در نهایت عملکرد دانه سویا را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Nakhzari *et al*., 2019).

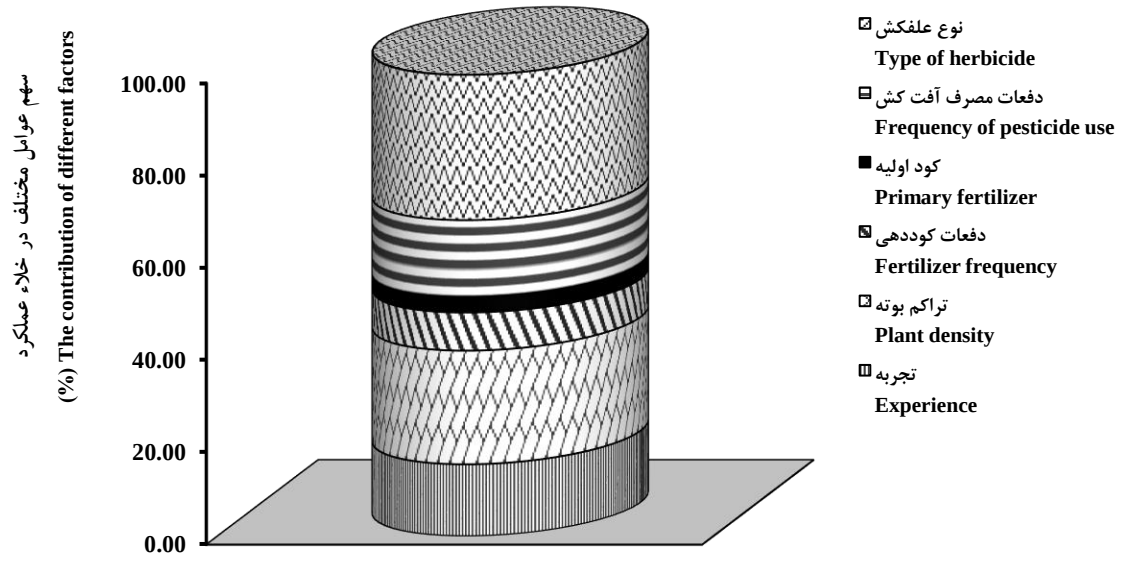
دفعات مصرف آفت‌کش

استفاده از آفت‌کش‌ها جهت کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی امری ضروری است. بعد از عامل تراکم در کشت سویا، تعداد دفعات مصرف آفت‌کش ۱۶/۷ درصد معادل ۲۸۸/۸ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد ایجاد کرد. استفاده از این مواد تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش خسارت آفات و اتلاف محصولات دارند. بنابراین، باید به دنبال تشویق جهت کنترل تلفیقی و شیمیایی آفات و همچنین استفاده از اقدامات حفاظتی اثربخش در شرایط استفاده از سموم در اولویت برنامه‌های آموزشی و ترویجی باشیم.

جدول ۲- سهم هر یک عوامل مورد بررسی در ایجاد خلأ عملکرد سویا

Table 2- The contribution of each investigated factor in the creation of soybean yield gap

متغیر Variable	ضریب Coefficient	مقادیر متغیر Variable amounts		عملکرد محاسبه‌شده با مدل Estimate yield with model		خلأ عملکرد Yield gap	
		میانگین Mean	بهینه Best	میانگین Mean	بهینه Best	تغییرات Variation	درصد Percentage
عرض از مبدأ Interception	303.40	1	1	303.40	303.40	0	-
تجربه Experience	11.35	18.25	42	207.25	476.96	269.71	15.6
تراکم بوته Plant density	15.62	47.7	75	745.35	1174.94	426.58	24.6
دفعات کوددهی Fertilization frequency	223.50	1.36	2	303.96	447.43	143.4	8.3
کود اولیه ' Primary fertilizer	289.89	0.8	1	231.91	289.89	57.97	3.3
دفعات آفت‌کش مصرفی Frequency of pesticide use	2406.6	0.8	2	192.53	481.32	288.79	16.7
نوع علف‌کش Type of herbicide	296.31	1.16	3	343.72	888.93	545.21	31.5
میانگین عملکرد Yield mean	-	2323	4890	2328.14	4059.47	1731.33	100



شکل ۳- سهم عوامل مختلف در خلأ عملکرد سویا در منطقه مورد مطالعه

Figure 3- The contribution of different factors in the gap of soybean yield in the studied area

تجربه کشاورز

وقتی دانش روز در کنار تجربه کشاورزی قرار بگیرد حرفه کشاورزی هم یک حرفه اقتصادی می‌شود. در این مطالعه، عامل تجربه کشاورزان ۱۵/۶ درصد معادل ۲۶۹/۷ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد ایجاد کرد. به‌طور کلی، کشاورزی هم علم می‌خواهد و هم تجربه کافی، اما تجربه‌ی کشاورزان کافی نیست. آن‌ها، بسیاری از مطالب علمی را نمی‌دانند. مطالبی که می‌تولند به آن‌ها کمک کند تا محصولات بیش‌تر و باکیفیت‌تر از زمین‌های خود برداشت کنند (Nikahi *et al.*, 2013). سابقه کشاورز در کشت گندم ۳۵۴ کیلوگرم در هکتار (۱۰ درصد) در خلأ عملکرد گندم نقش داشت آنان بیان داشتند که کشاورزان قدیمی‌تر از روش‌های سنتی‌تر استفاده می‌کنند و به کاربرد یافته‌های جدید تحقیقاتی کمتر توجه نشان می‌دهند.

دفعات کوددهی

زمان‌بندی کوددهی در کشاورزی تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد محصول دارد. کوددهی باید به گونه‌ای باشد که عناصر مورد نیاز گیاه به شکل مناسب و در زمان مورد نیاز در اختیار گیاه قرار گیرد. طبق بررسی انجام شده در این پژوهش، عامل دفعات کوددهی ۸/۳ درصد معادل ۱۴۳ کیلوگرم خلأ عملکرد ایجاد کرد. استفاده صحیح از کودها در زمان نیاز گیاه موجب افزایش باروری و عدم کمبود مواد مغذی خاک می‌شود و کارآیی مواد مغذی نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، بهینه‌سازی زمان برای استفاده از کود توسط الگوی جذب مواد مغذی توسط گیاه تعیین می‌شود. برای هر محصول، هر ماده مغذی الگوی جذب متفاوتی دارد و کشاورزان باید نیاز کودی گیاه را در زمان و شرایط مناسب برآورده نمایند. برخی محققان اذعان داشتند کود شیمیایی با ضریب رگرسیونی ۰/۴۹ بیشترین تأثیر را بر کاهش خلأ عملکرد گندم خواهد داشت (Koocheki *et al.*, 2017). همچنین در پژوهشی دیگر، بالاترین عملکرد دانه (۶۲۷۲ کیلوگرم در هکتار) از مزرعه فیروزآباد فهرج با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود (در مراحل قبل از کاشت، پنجه‌زنی، ساقه رفتن و گلدهی) حاصل گردید (Bagheripour *et al.*, 2020).

کود اولیه

در این مطالعه عامل کود اولیه ۳/۳ درصد معادل ۵۷/۹۷ کیلوگرم خلأ عملکرد ایجاد کرد. کودهای اولیه با تأمین مواد مغذی ضروری در مکان‌های قابل دسترس نزدیک ریشه، توسعه گیاهچه‌های نوظهور را افزایش می‌دهند. استقرار سریع محصول در صورت استفاده از این کودها مطلوب است، زیرا رشد و عملکرد گیاه می‌تواند در مراحل اولیه رشد تحت تأثیر قرار گیرد. همچنین، گیاهان جوان سریع‌الرشد عموماً در برابر حملات

حشرات و بیماری‌ها مقاوم‌تر هستند و می‌توانند به‌طور مؤثرتری با علف‌های هرز رقابت کنند. مواد مغذی موجود در نزدیکی گیاهان جوان به رشد سریع اولیه و تشکیل برگ‌های بزرگ کمک می‌کند که برای فتوسنتز، مراحل بعدی رشد و بلوغ زودرس محصول ضروری است. هر کود باکیفیت و کامل که حداقل حاوی نیتروژن و فسفر باشد به‌عنوان کود اولیه به‌خوبی عمل می‌کند. حتی اگر خاک حاصلخیزی بالایی داشته باشد، سیستم ریشه جوان ممکن است نتواند مواد مغذی لازم را به‌دلیل نداشتن اندازه و تراکم بوته زیاد در خاک به دست آورد و استفاده از کود اولیه ضروری به‌نظر می‌رسد. جهت تعیین خلأ عملکرد گندم، عدم محلول‌پاشی عناصر غذایی، عدم مصرف بهینه کود نیتروژن و عدم مصرف بهینه کود پتاسیم را از دلایل مؤثر بر عملکرد گندم اعلام کردند (Hajarpour *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه نتایج حاصل از مدل عملکرد نشان داد که بین عملکرد قابل حصول (۴۰۵۹ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد واقعی (۲۳۲۳ کیلوگرم در هکتار) اختلافی به‌میزان ۱۷۳۱ کیلوگرم در هکتار وجود داشت. از بین متغیرهای مورد بررسی، متغیرهای تجربه کشاورزان، تراکم بوته، دفعات کوددهی، کود اولیه، دفعات مصرف آفت‌کش و نوع علف‌کش به‌ترتیب ۱۵/۶، ۲۴/۶، ۸/۳، ۳/۳، ۱۶/۷ و ۳۱/۵ درصد سبب ایجاد خلأ عملکرد سویا در منطقه مورد بررسی شد. از بین عوامل مورد بررسی، استفاده از نوع علف‌کش‌ها در کشت سویا با ۳۱/۵ درصد (۵۴۵/۲ کیلوگرم در هکتار)، بیش‌ترین سهم را در محدودیت عملکرد و ایجاد فاصله از عملکرد قابل حصول داشت. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که با اصلاح این عوامل محدودکننده، عملکرد سویا با استفاده از راه‌کارهایی نظیر استفاده از کودهای اولیه جهت استقرار و کمک به گیاه، کنترل آفات و علف‌های هرز و افزایش دانش و اطلاعات کشاورزان از طریق برنامه‌های تریجی و آموزش می‌توان اختلاف بین عملکرد قابل‌حصول و عملکرد واقعی را کاهش داد.

References

Amini Mandi, V., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A. and Naeemi, M., 2022. Investigation of the effective factors on yield gap of rice in Mazandaran province. *Journal of Crops Improvement*, *24*(1), pp.205-217. [In Persian]. **doi: 10.22059/jci.2022.320259.2527**

Abravan, P., Soltani A., Majidian M. and Mohsenabadi, Gh., 2016. Study of field management factors and underlying reasons limiting yield of oilseed rape in east of Golestan Province using CPA method. *Agroecology Journal*, *7*(2), pp.46-60. [In Persian].

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]. **doi: 10.22069/ejcp.2021.16896.2250**

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]. **doi: 10.30495/jcep.2021.687075**

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. **doi: 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]. **doi: 10.22092/aj.2019.120656.1251**

Gorjizad, A., Soltani, A., Dastan, S. and Ajam Norouzi, 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]. **doi: 10.22067/jag.v11i1.67430**

Hajjarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, H., Aynehband, A. and Nazeri, M., 2017. Determination of the optimum management ranges in order to increasing wheat yield in Golestan Province. *Journal of Crops Improvement*, *19*(3), pp.577-590. [In Persian]. **doi: 10.22059/jci.2017.6046**

Hollander, N.G.D., 2012. Growth characteristics of several clover species and their suitability for weed suppression in a mixed cropping design. Ph. D. Thesis, Wageningen University. Wageningen, Netherlands, 132 p. **doi.10.18174/200784**

Koocheki, A., Nasiri, M. Mansoori, H. and Moradi. R., 2017. Effect of climate and management factors on potential and gap of wheat yield in Iran with using WOFOST model. *Iranian Journal of Field Crops Research, 15*(2), pp.244-256. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v15i2.54278**

Kumari, A., Price, A.J., Korres, N.E., Gamble, A. and Li, S., 2023. Influence of a cereal rye cover crop on the critical period for weed control in soybean. *Weed Technology*, *37*(1), pp.25-33.

Laleh, K.M., 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. **doi: 10.3390/agronomy13030705**

Matourian, H., Joghan, 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]. **doi**: **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. Merril) yield gap in Mazandaran Province using Comparative Performance Analysis (CPA). *Crop Production*, *15*(1), pp.73-100. [In Persian]. **doi**:**10.22069/ejcp.2022.19128.2427**

Nakhzari Moghaddam, A., Samsami, N., Rahemi Karizaki, A. and Gholinezhad, E., 2020. Effect of irrigation on physiological traits and seed yield of soybean under inoculation with mycorrhiza fungi and rhizobium bacteria. *Environmental Stress in Agricultural Sciences*, *13*(2), pp.413-423. [In Persian]. **doi**: **10.22077/escs.2019.2131.1531**

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 Prodution Science*, *21*(1), pp.16-25. **doi: 10.1080/1343943x.2018.1432981**

Nekahi, M.Z., Soltani, A., Siahmergoi, A. and Bagherani, N., 2014. Yield gap of crop and weed management in wheat: case study, Golestan province-Bandar Gaz. *Journal of Crop Production, 7*(2), pp.135-156. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008739.1393.7.2.8.3**

Nobatiani, M. Sh., Rahemi Karizaki, A., Biabani, A. and Mansourirad, A., 2019. Documenting the production process and determining the limiting factors of wheat yield by CPA method in Kalaleh city. *Crop Production*

Journal, *22*(3), pp.261-272. [In Persian]. **doi: 10.22069/ejcp.2021.16991.2257**

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]. **doi: 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*, *2*(3), 100042. **doi: 10.1016/j.wds.2023.100042**

Sekhavatifar, SH., Rahemi Karizaki, A., Molashahi, M. and Nakhzari Moghadam, A., 2019. Identifying the limiting factors of rapeseed yield using performance comparison analysis method. *Journal of Agronomy*, *22*(1), pp.13-25. [In Persian]. **doi: 10.22059/jci.2019.280944.2212**

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. **doi: 10.1016/j.agsy.2020.102859**

Sorkhi, F., 2017. Effect of planting pattern and plant density on growth, dry matter remobilization and grain yield of maize (*Zea mays* L.). *Crop Physiology Journal*, *9*(34), pp.61-78. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008403.1396.9.34.4.1**

Yousefian, M., Soltani, A., Dastan, S. and Ajam Norouzi, H., 2021 Identification of production constraining factors of local rice cultivars production in Sari region. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *52*(2), pp.67-82. [In Persian]. **doi: 10.22059/ijfcs.2020.277054.654585**

Yousefian, M., Soltani, A., Dastan, S. and Ajam Norouzi, H., 2020. Yield gap assessment in rice-grown fields using CPA and BLA approaches in northern Iran. *International Journal of Plant Production*, *15*, pp.203-217. **doi: 10.1007/s42106-020-00128-y**

Yousefian, M., Soltani, A., Dastan, S. and Ajam Norouzi, H., 2019. Documenting production process and the ranking factors causing yield gap in rice fields in Sari, Iran. *Iran Agricultural Reesearch, 38*(1), pp.101-109. **doi: 10.22099/iar.2019.5316**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 4, Winter 2024, P. 363-374

Determining factors limiting soybean yield by CPA method under drought stress conditions at the end of the growing season

Ali Bagheban Amin[1], Masoumeh Naeemi[2*], Ali Nakhzari Moghaddam[2], Ali Rahemi Karizaki[2]

[1] Ph.D Student of Crop Ecology, Plant Production Department, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
[2] Plant Production Department, College of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
[*]Corresponding Author: naeemi_701@yahoo.com

Received: 3 July 2023 Accepted: 29 December 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.405050.1355**

Abstract

Introduction: Soybean (*Glycine max*) is one of the important food crops, which is rich in protein and vegetable oil. Soybean is the only legume with ample amount of essential omega-3 fatty acid and alpha-linolenic acid. One of the primary challenges in soybean production in the central region of Mazandaran province, Iran, is the substantial difference between actual and attainable yields, referred to as the yield gap. In recent years, this gap has been noteworthy. Closing the disparity between actual and potential yield, achievable through proper management, necessitates a detailed investigation and analysis of its underlying causes. Thus, identifying soybean yield-limiting factors is crucial. This study was conducted in Babolsar, located in the central region of Mazandaran province, Iran, to simultaneously recognize the best management practices, assess the percentage of affected fields, and estimate soybean yield potential and gaps using the Comparative Performance Analysis (CPA) method.

Materials and Methods: This study aimed to evaluate the factors limiting wheat yield in Babolsar County using the CPA method during the 2019-2020 period. Information collection, including planting dates, cultivation and harvesting activities, and soil physicochemical properties, was carried out through fieldwork and personal interviews with farmers. A total of 120 soybean fields within the geographical scope of the study area were monitored each crop year. Information related to soil characteristics, including EC, pH, percentage of organic carbon, absorbable phosphorus, absorbable potassium, percentage of clay, percentage of silt, percentage of sand, and soil texture class was obtained using soil tests and digital maps available in the agriculture organization of Babolsar. In the Comparative Performance Analysis method, stepwise regression was employed to examine the relationship between variables and yield. The yield gap rate, its causal factors, and the contribution of each factor to the yield gap creation were estimated.

Results and Discussion: Among the investigated variables, a model with seven independent variables (farmer experience, plant density, frequency of nitrogen fertilization use, starter fertilizer, frequency of pesticides, and herbicides) was selected as the final regression equation. The results of the yield model indicated a difference of 1736 kg/ha between attainable (4059 kg/ha) and actual yield (2323 kg/ha). Notably, farmer experience, plant density, frequency of nitrogen fertilization use, starter fertilizer, frequency of pesticides, and herbicides use had the most significant influence on soybean yield gap in the study area, contributing 15.6% (261.71 kg/ha), 24.6% (426.58 kg/ha), 8.3% (143.4 kg/ha), 3.3% (57.97 kg/ha), 16.7% (288.79 kg/ha), and 31.5% (545.79 kg/ha) respectively. Every plant needs the right time for fertilization for more yield. If the best fertilization time is not chosen for the plant, later or earlier fertilization will cause harmful effects in the plant. Weed control emerged as a crucial factor for increasing crop yield, emphasizing the importance of selecting optimal plant density based on regional climatic and soil conditions. Pesticide use played a vital role in pest control, contributing to a considerable reduction in pest damage and increased yield. Although farmers' experience had a significant role in the yield gap (15.6%), it was underscored that experience alone, without scientific knowledge, might be insufficient. The study emphasized the need for farmers to

adopt scientific principles to enhance productivity. Additionally, the proper use of fertilizers at the plant's critical stages was highlighted to increase soil nutrient levels and improve nutrient efficiency. **Conclusion:** This study employed the Comparative Performance Analysis to determine optimal requirements for various management factors in soybean cultivation, aiming to achieve the highest yield. Through proper agricultural management and modification of influencing factors, the study suggests that it is possible to reduce the disparity between attainable and actual yields, ultimately achieving desired results.

Keywords: Attainable yield, Actual yield, Crop management, Plant density, Yield gap