نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره ۳۲ - شماره ۰۲- پیاپند ۱۲۳ تابستان ۹۸

ارزیابی خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی در تولید کلزا به روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) و آنالیز خط مرزی (BLA) در منطقه نکا

Evaluation of yield gap associated with crop management in rapeseed productionusing comparative performance analysis (CPA) and boundary-line analysis (BLA) methods in Neka region

سید اسماعیل نظام‌زاده[۱]، افشین سلطانی[۲*]، سلمان دستان[۳]،حسین عجم نوروزی[۴]

۱. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، دانشجوی دکتری گروه زراعت، گرگان، ایران.
۲. استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. (نگارنده مسئول)
۳. پژوهشگر پسادکتری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج.
۴. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، استادیار گروه زراعت، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۱۱/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۲۶ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2019.120656.1251

چکیده

نظام‌زاده، س. ا.، سلطانی، ا.، دستان، س.، عجم نوروزی، ح. ارزیابی خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی در تولید کلزا به روش تحلیل مقایسه کارکرد **(CPA)** و آنالیز خط مرزی (BLA) در منطقه نکا
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۲ - شماره ۰۲- پیاپند ۱۲۳ تابستان ۹۸: ۱۰۷-۷۶

خلاء عملکرد در زراعت کلزا سهم قابل‌توجهی در افزایش تولید در مناطق توسعه یافته و در حال توسعه دارد. لذا، شناسایی عوامل محدود کننده عملکرد در کلزا ضرورت دارد. بنابراین، این پژوهش با هدف مستندسازی فرآیند تولید و برآورد خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی کلزا با سطح زیر کشت به میزان ۲۳۰ هکتار در منطقه نکا واقع در استان مازندران انجام شد. به این منظور در این پژوهش کلیه عملیات مدیریتی انجام شده از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت در ۱۰۰ مزرعه از طریق مطالعات میدانی طی سال‌های ۱۳۹٤ و ۱۳۹۵ ثبت شد. در این مطالعه خلاء عملکرد به دو روش CPA و BLA برآورد شد. در مدل عملکرد CPA، متوسط و حداکثر عملکرد به‌ترتیب ۲۳۹٤ و ٤۱۱۹ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد. متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده در مزرعه نیز برابر ۲۰۵۱ و ۳۰۸۵ کیلوگرم در هکتار بود. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده برابر ۱۷۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیرهای مصرف کود سرک نیتروژن و پتاسیم خالص به‌ترتیب برابر ٤٦۲ و ۲۹٤ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۷ و ۱۷ درصد از کل خلاء عملکرد بود. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر پیش‌کاشت سویا و تعداد دفعات مصرف علف‌کش نیز به‌ترتیب برابر ۱۷۰ و ٤۱۱ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۰ و ۲٤ درصد از کل خلاء عملکرد بود. میزان خسارت عملکرد ناشی از دو متغیر مصرف نیتروژن در مرحله رویشی و مشکل علف هرز به‌ترتیب برابر ۱۰ و ۱۲ درصد از کل افزایش عملکرد (۱۷٤ و ۲۰۸ کیلوگرم در هکتار) بود. طبق یافته‌های آنالیز خط مرزی مشاهده شد میانگین عملکرد بر اساس حد بهینه مربوط به ۱٤ متغیر مورد بررسی برابر ۳۰۷۰ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۱۰۱۹ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد نسبی و خلاء عملکرد نسبی برای ۱٤ متغیر مورد بررسی به‌ترتیب برابر ٦۷/۵۱ و ۳۲/۵۰ درصد به‌دست آمد. بنابراین، طبق یافته‌ها می‌توان بیان کرد استفاده از تحلیل مقایسه کارکرد در مطالعه‌های خلاء عملکرد می‌تواند به روشنی پاسخ‌های عملکرد به عوامل مدیریتی را نشان داده و پتانسیل‌های ممکن را محاسبه کند. همچنین، آنالیز خط مرزی می‌تواند مکملی برای روش‌های رگرسیونی و تحلیل مقایسه کارکرد برای شناسایی عوامل محدود کننده تولید باشد. از این‌رو، به نظر می رسد با مدیریت صحیح و با بهینه‌سازی موارد ذکر شده به دو روش CPA و BLA می توان خلاء عملکرد در مزارع کشاورزان را کاهش داد.

واژه های کلیدی: تحلیل مقایسه کارکرد، تابع خط مرزی، کلزا، عملکرد دست‌یافتنی، مدیریت زراعی

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: afsoltani@yahoo.com

مقدمه

کلزا در بین دانه های روغنی به‌عنوان یک گیاه روغنی با اهمیت، مورد توجه سیاست گذاران بخش کشاورزی قرار گرفته است (FAO, 2015a). این گیاه برای اهداف استحصال روغن و استفاده از کنجاله غنی از پروتئین آن به‌عنوان علوفه در حال گسترش است و سطح کشت آن در مناطق معتدل به سرعت در حال افزایش است (Basalma, 2008). بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت کلزا در ایران، حدود ۴۰ هزار هکتار است. استان مازندران نیز با سهم ده درصد از تولید کلزا کشور، همواره یکی از استان های برتر تولید کننده کلزا بوده است (Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran, 2017).

امنیت جهانی غذا در آینده بستگی به تولید کافی غذا برای جمعیت جهان دارد که پیش‌بینی می‌شود جمعیت دنیا تا سال ۲۰۵۰ به بیش از نه میلیارد نفر برسد. رسیدن به امنیت غذایی در محیط زیست کنونی بستگی به تحقق بخشیدن به حداکثر پتانسیل عملکرد ممکن در زمین های کشاورزی دارد (Hochman *et al.,* 2016; Guilpar *et al.,* 2017). از این‌رو، بهبود عملکرد محصولات زراعی با توجه به افزایش فشار و خواسته های جهانی برای مواد غذایی ضروری است. از طرفی از دست دادن زمین با کیفیت بالا، کاهش سالانه افزایش عملکرد غلات، افزایش استفاده از کود و اثر سوء محیط زیستی آن نشان می دهد که توسعه راهبردهای جدید برای افزایش عملکرد با حداقل اثر سوء محیط زیستی ضرورت دارد (Chapagain & Good, 2015). همچنین، اطمینان از پایداری محیط، تحقیقات را به سمت تغییر روش های مدیریتی کشاورزی سوق می دهد (Gaydon *et al.,* 2017). در این راستا، ضرورت دارد چالش های کشاورزی به طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شود و با توجه به افزایش فشار ناشی از تولید محصولات کشاورزی بر منابع طبیعی در جهت رسیدن به امنیت غذایی، اصلاح عوامل مدیریتی برای بهبود پایداری تولید محصولات کشاورزی ضروری است (FAO, 2015b). بنابراین، لازم است راه‌حل‌های خاصی شامل برآورد مقدار خلاء عملکرد، شناسایی عوامل محدودکننده تولید و طراحی راهبردهای چاره ساز برای طیف وسیعی از مناطق کشاورزی تعیین شود (Anderson *et al.,* 2016). در حال حاضر کاهش خلاء عملکرد در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یک راه‌حل ممکن و پاسخ گو به تقاضای غذا در آینده را نشان می دهد (Beza *et al.,* 2017; Shi-Yuan *et al.,* 2017; Van Ittersum *et al.,* 2013). افزایش پتانسیل عملکرد نیز نتیجه اصلاح گیاهان و زراعت نوین و برهمکنش مثبت بین آن‌ها است؛ در حالی که از بین بردن خلاء عملکرد ناشی از پذیرش نوآوری های شناخته شده توسط کشاورزان، سریع تر از روش های اصلاحی برای افزایش پتانسیل عملکرداست (Fischer, 2015).

کاستن از خلاء عملکرد در نظام های کشاورزی نیاز به رویکرد یکپارچه برای رفع محدودیت های زراعی، بیوفیزیکی و اجتماعی و اقتصادی دارد (Tamene*et al.,* 2015)، و اغلب عوامل مدیریت در مقایسه با شرایط مزرعه ای

و عوامل اجتماعی و اقتصادی در خلاء عملکرد مؤثر است (Beza *et al.,* 2017). محققان بسیاری با استفاده از روش های مختلف آماری از میان پنج تا ۱۰ درصد از کشاورزانی که بیشترین عملکرد را در مطالعات میدانی یا ملاقات چهره به چهره با کشاورزان کسب کرده اند، جهت تخمین پتانسیل عملکرد استفاده کردند (Egli & Hatfield, 2014). دیگر محققان هشت عامل خلاء عملکرد برنج در سنگال را معرفی و عامل اصلی آن را تأخیر در کاشت معرفی کردند که کاهش عملکرد حدود یک تن در هکتار را به‌وجود می آورد. آن‌ها عوامل اصلی تأخیر کاشت را دسترسی به اعتبار، ماشین‌آلات، آب آبیاری و عوامل دیگری شامل مدیریت کود و کنترل پرندگان معرفی کردند (Tanaka *et al.,* 2015). در پژوهشی با ترکیب متغیرهای مفید متخصصان (کود، بذر و غیره) با داده های کشاورزی (رطوبت در دسترس، محصول کم و غیره)، اطلاعات جغرافیایی (فاصله از شهر، داده های از راه دور و غیره) و سایر اطلاعات مربوطه، رابطه نسبتاً جدیدی به‌دست آوردند و تغییرات عملکرد گندم در اتیوپی را ۴۰ درصد بیان کردند (Mann & Warner, 2017). البته در تحقیقات دیگری خلاء عملکرد گندم در آرژانتین ۲۵ درصد (De Paepe & Alvarez, 2016)، آلبرتا ۲۴ درصد (Chapagain & Good, 2015)، جنوب شرق استرالیا ۲۵ درصد (Rees *et al*., 2014)، و ۲۶ درصد در اکلاهما (Patrignani *et al.,* 2014) گزارش دادند. دیگر محققان خلاء عملکرد سویا در آمریکا را بین ۱۰ تا ۳۰ درصد گزارش کردند و بهبود عملکرد زراعی مزرعه در آینده را تاریخ کاشت زود هنگام، استفاده مناسب از کود و قارچ کش در فصل رشد بیان کردند (Grassini *et al.,* 2015). در مطالعه ای روی کلزا در استان گلستان خلاء عملکرد این محصول ۵۹ درصد بیان شد و عوامل آن را مصرف پایین کودها، تراکم بوته و تاریخ کاشت گزارش دادند (Abravan *et al.,* 2016). همچنین، در تحقیقی دیگر در آلبرتا خلاء عملکرد کلزا را ۳۰ درصد گزارش کردند (Chapagain & Good, 2015). در ایران آنالیز خلاء عملکرد به‌صورت پراکنده و برای گیاهان زراعی محدود انجام شد (Gorjizad *et al.,* 2019; Haghshenas *et al.,* 2018; Hajjarpour *et al.,* 2015; Hajjarpour *et al.,* 2017; Halalkhor *et al.,* 2018; Nehbandani *et al.,* 2017; Soltani *et al.,* 2016; Torabi *et al.,* 2011; Torabi *et al.,* 2013; Yousefian *et al.,* 2018). در مطالعه‌ای با آنالیز خلاء عملکرد نخود در ایران، عوامل محیطی را مهم‌ترین عوامل محدود کننده عملکرد عنوان شدند (Soltani *et al.,* 2016). در حال حاضر، سطح زیر کشت کلزا در استان مازندران برابر ۱۸ هزار هکتار بوده که ۱۶/۶۷ درصد از کشت آن معادل سه هزار هکتار در منطقه نکا انجام می‌شود (Agriculture Organization of Mazandaran, 2017)، که در این پژوهش حدود ۲۳۰ هکتار از مزارع معادل ۷/۷ درصد از سطح زیر کشت منطقه نکا بررسی شد. با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از کاشت کلزا در اراضی شالیزاری استان مازندران انجام می‌شود که از عوامل عدم تمایل کشاورزان برای کاشت کلزا در اراضی شالیزاری، به تأخیر

افتادن کاشت اصلی برنج پس از برداشت کلزا، از دست دادن زمان مناسب برای کاشت مجدد برنج و پرورش راتون برنج است. ولی با توجه به مشکلات کم‌آبی در استان مازندران به‌ویژه در شرق استان و منطقه نکا که منجر به محدود شدن سطح زیر کشت برنج در این منطقه شده است کشاورزان را ناچار به انتخاب کشت جایگزین مناسب برنج کرده که به‌نظر می‌رسد کاشت کلزا یکی از زراعت‌های جایگزین مطلوب باشد. همان گونه که اشاره شد عوامل زیادی مانع دست یابی کشاورزان به عملکرد دست‌یافتنی محصولات مختلف می شوند که می‌توان با تعیین میزان تأثیر هر کدام از عوامل مدیریتی بر میزان خلاء عملکرد و ارتقاء آگاهی کشاورزان، فاصله بین عملکرد واقعی مزرعه و عملکرد دست‌یافتنی را به حداقل کاهش داد. از این‌رو، هدف از این پژوهش مستندسازی فرآیند تولید و برآورد خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی تولید کلزا در منطقه نکا بود.

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی و اقلیم منطقه

این آزمایش در منطقه نکا واقع در شرق استان مازندران طی سال‌های زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. شهرستان نکا در قسمت شمالی رشته‌کوه‌های البرز و جنوب دریای خزر و در شمال ایران و در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی الی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه غربی الی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه غربی قرار دارد. آب‌وهوای قسمت جلگه‌ای نکا مطلوب و معتدل و آب‌وهوای قسمت کوهستانی آن سردسیری است (Atlas of Gates, 2013). مهم‌ترین مؤلفه‌های آب‌وهوایی در طی دوره نمو و رشد گیاه کلزا در منطقه نیز در جدول ۱ ارایه شده است.

جمع‌آوری داده‌ها

مستندسازی فرآیند تولید در کشاورزی شامل تهیه کلیه اطلاعات و فعالیت‌هایی است که سیر تولید یک محصول از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت را نشان می‌دهد (Dastan *et al.*, 2018). در این پژوهش کلیه عملیات‌های مدیریتی انجام شده از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت مربوط به ۱۰۰ مزرعه کلزا در منطقه نکا واقع در استان مازندران به‌صورت پیمایشی و از طریق مطالعات میدانی برای برآورد خلاء عملکرد ثبت شد. برای تعیین تعداد مزارع (نمونه) از فرمول کوکران استفاده شده است (Cochran, 1977).

برای انجام این تحقیق ابتدا مزارع به‌طور تصادفی شناسایی و انتخاب شدند. شیوه شناسایی مزارع به شکلی بود که کلیه روش‌های عمده تولید را در منطقه پوشش داده و از لحاظ مدیریتی نیز دارای تنوع باشد. سپس، برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مدیریت مزرعه، ابتدا کلیه اعمال زراعی تفکیک شدند. با شروع هر عملیات، با توجه به نوسانات دمایی، تنوع روش‌های تولید و مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌ها (ورودی‌ها) توسط کشاورزان منطقه و به‌منظور تهیه اطلاعات جامع‌تر، اطلاعات بارز عملیات زراعی از قبیل تاریخ شروع هر عملیات و میزان ورودی‌ها در هر مرحله از اجرا (کاشت تا برداشت) از مزارع جمع‌آوری و ثبت شد.

جدول ۱- میانگین مؤلفه‌های آب و هوایی در فصل رشد کلزا در مقایسه با میانگین آمار بلند مدت ۱۵ ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۵)

Table 1. Climatic parameters during the growing season of rapeseed (2015-16) as compared to the long-term period (2001-2016)

ماه Month	سال Year	دمای بیشینه دمای کمینه Min. temp. (°C)	Max. temp. (°C)	تبخیر وتعرق Evapotranspiration (mm)	بارندگی Precipitation (mm)	رطوبت نسبی Mean humidity (%)	ساعت آفتابی Sunshine hours
مهر Sep.-Oct.	۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	18.1	26.6	98.2	84.5	75	210.4
	۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	16.3	25.3	90.6	61.6	77	218.7
آبان Oct.-Nov.	۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	10.9	18.8	44.4	106.5	80	156.9
	۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	11.3	18.7	36.9	71.8	82	111.7
آذر Nov.-Dec.	۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	6.4	14.1	19.3	78	82	132.2
	۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	3.5	11.9	17.7	90.7	82	137.8
دی Dec.-Jan.	۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	6	14.5	18.8	64.7	84	143
	۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	4.4	12.2	19.9	10	83	141.7
بهمن Jan.-Feb.	۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	4.8	11.8	20.5	92	84	133.2
	۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	4	10	39.6	91	83	106.8
اسفند March.-Apr.	۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	8.5	14.2	30.8	59.2	55	97.7
	۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	6.3	14	44.4	19.2	84	187.2
فروردین Apr.-May	۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	10.9	18.3	72.1	63.4	81	175.4
	۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	10	17.1	66.1	49.7	84	152.5
اردیبهشت May-Jun.	۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	16.6	23.3	113.2	16.6	82	197.3
	۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	15.9	22.7	116.1	12.8	80	197.5
خرداد Jun.-Jul.	۱۳۹۳-۹۴ 2014-15	20.4	27	116.8	18.1	63	191.2
	۱۳۹۴-۹۵ 2015-16	20.4	27.7	228.6	0	76	309.2
میانگین ۱۵ سال 15-year average	۱۳۸۰-۱۳۹۵ 2001-16	17.3	25.6	125.3	78.6	68.5	195.2

در این بررسی‌ها شیوه انجام هر عملیات مدیریتی در هر یک از مراحل کاشت، داشت و برداشت و همچنین نسبتی از کشاورزان که از شیوه‌های مختلف هر یک از این عملیات مدیریتی استفاده کردند، مشخص شد. کلیه اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی شامل سطح زیر کشت، نوع مالکیت زمین، سطح سواد کشاورز، عملیات تهیه بستر بذر (نوع، تعداد و زمان شخم، دیسک و غیره)، رقم مورد استفاده و محل تهیه بذر آن، زمان کاشت، نوع کاشت (دست‌پاش و ردیف‌کار)، کود (نوع کود، میزان کود و زمان مصرف کود)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، آبیاری (تعداد و زمان آبیاری) و مسایل مربوط به برداشت (زمان برداشت و میزان عملکرد) جمع‌آوری شد. مهم‌ترین آفات مزارع کلزا در منطقه شامل پروانه برگ‌خوار، سوسک گرده‌خوار، کک‌ها، شته مومی و لیسک‌ها بودند. از بیماری‌های مهم کلزا در منطقه نیز شامل ساق‌سیاه، فوما، مرگ گیاهچه و پوسیدگی اسکلروتینیایی بودند. نمره‌دهی به مشکل آفات و بیماری‌ها بر اساس میزان خسارت وارد شده به محصول و تراکم جمعیت آفات و شدت بیماری‌ها انجام شد. اطلاعات تکمیلی مربوط به عملیات زراعی و سایر متغیرهای مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. این اطلاعات در قالب پرسش‌نامه و از طریق پایش ۱۰۰ مزرعه جمع‌آوری و تکمیل شد.

در پایان فصل رشد میزان عملکرد واقعی برداشت شده توسط کشاورزان ثبت شد. برای ثبت دقیق عملکرد، نگارندگان نیز از چند نقطه در هر مزرعه اقدام به اندازه‌گیری عملکرد توسط کوادرات با ابعاد ۲×۲ متر مربع کرده و آن را معیار قرار دادند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تعیین مدل عملکرد (تولید) به روش تحلیل مقایسه کارکرد، رابطه بین تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده (کمی و کیفی؛ متغیرهای کیفی به‌صورت صفر و یک کدگذاری شدند) و عملکرد با روش رگرسیون گام به گام (Rezaei & Soltani, 1998) مورد بررسی قرار گرفت. با قرار دادن میانگین مشاهده شده متغیرها (xها) در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی در مدل، عملکرد میانگین از طریق مدل محاسبه شد. سپس، با قرار دادن میزان مطلوب متغیرها در مدل، پتانسیل عملکرد محاسبه شد. اختلاف عملکرد مزرعه و عملکرد دست‌یافتنی، به‌عنوان خلاء عملکرد در نظر گرفته شد. اختلاف حاصل‌ضرب مقدار متوسط مشاهده شده برای هر متغیر در ضریب آن با حاصل‌ضرب مقدار بهترین مشاهده شده برای همان متغیر در ضریب همان متغیر نشان‌دهنده مقدار خلاء عملکرد ایجاد شده برای آن متغیر است.

جدول ۲- عوامل مدیریت زراعی (متغیر) ثبت شده در مزارع مورد بررسی کلزا در منطقه نکا

Table 2. Agronomic management factors (variable) recorded in the studied rapeseed fields in Neka region

Name and type of variable	نام و نوع متغیر
1- Variables related to farmers information: Name, gender, production history, and education level.	۱- متغیرهای مرتبط با مشخصات کشاورز: نام، سن، جنسیت، سابقه تولید و تحصیلات.
2- Variables related to Fields information: Village name, geographical coordinates, field area, previous crops, previous legumes name, previous years of legume cultivation, field position, direction of the field gradient, drainage and flooding problems, field leveling situation, leveling date and so on.	۲- متغیرهای مرتبط با اطلاعات کلی مزرعه: نام روستا، موقعیت جغرافیایی، مساحت مزرعه، محصول قبلی، نام بقوله قبلی، آخرین سال از بقوله قبلی، موقعیت مزرعه، جهت شیب مزرعه، مشکل زه‌کشی مزرعه، مشکل آب‌گرفتگی مزرعه، وضعیت تسطیح، تاریخ تسطیح و ...
3- Variables related to seedbed preparation: Name and type of machinery and implements, date and no. of machinery utilization, tillage method, seedbed situation and humidity at the cultivation time, soil crusting problem and so on.	۳- متغیرهای مرتبط با عملیات تهیه بستر بذر: نام و نوع ادوات و ماشین‌آلات، تاریخ و تعداد دفعات کاربرد ماشین‌آلات، شیوه خاک‌ورزی، وضعیت بستر در زمان کاشت، رطوبت بستر در زمان کاشت، مشکل سله و ...
4- Variables related to crop fertilization: Fertilizer name, basal and top-dressing application, application date, crop growth stages at the application time, amount and method of fertilizer application, no. of top-dressing, amount and type of farmyard manure, and so on.	۴- متغیرهای مرتبط با تغذیه گیاه: نام کود، مصرف پایه و سرک، تاریخ مصرف، مرحله رشدی گیاه در زمان مصرف، مقدار مصرف، شیوه مصرف، تعداد دفعات سرک، نوع کود دامی، مقدار کود دامی و ...
5- Variables related to cultivation: Seed rate, seed disinfection condition, seed disinfection material, cultivar name, cultivar type, source from which seed was acquired, satisfaction rate from seed, planting density, planting method, planting date and so on.	۵- متغیرهای مرتبط با عملیات کاشت: میزان بذر، وضعیت ضدعفونی بذر، ماده ضدعفونی بذر، نام رقم، نوع رقم، منبع تهیه بذر، درجه رضایت از بذر، تراکم بوته، روش کاشت، تاریخ کاشت و ...
6- Variables related to crop protection: Pesticide name and type, the type of toxic group, the date and crop growth stages at the application time of pesticide, the amount and unit of pesticide application, the mode of pesticide application, the frequency of herbicide, insecticide, fungicide application and so on.	۶- متغیرهای مرتبط با حفاظت گیاه: نام و نوع سموم مصرفی، تاریخ و مرحله رشدی گیاه در زمان مصرف هر سم، مقدار و واحد مصرف سموم، شیوه مصرف سموم، تعداد دفعات مصرف علف‌کش، حشره‌کش، قارچ‌کش و ...
7- Variables related to weeding and other farming practices: Name of farming practice, date of practices, implements used for each operation and so on.	۷- متغیرهای مرتبط با وجین و سایر عملیات زراعی: نام عملیات زراعی، تاریخ انجام، وسیله مورد استفاده و ...
8- Variables related to harvest: planting density at harvest time, harvest date, type and name of harvesting machinery, seed yield amount, average seed yield of previous years, management of crop residue, problems of lodging, pests, diseases, weeds, harvest, type of combine machine, approximate percentage of seed falling, the most hazardous pests, diseases and weeds in the current year and previous years and so on.	۸- متغیرهای مرتبط با برداشت: تراکم بوته در زمان برداشت، تاریخ برداشت، نام ادوات و ماشین‌آلات برداشت، میزان عملکرد بذر، متوسط عملکرد سال‌های قبل، شیوه مدیریت بقایای محصول، مشکل خوابیدگی بوته، مشکل آفات، مشکل بیماری‌ها، مشکل علف‌های هرز، مشکل برداشت، نوع کمباین برداشت، درصد تقریبی ریزش، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مهم و خسارت‌زای سال جاری و سال‌های قبل و ...
9- Other investigated variables: The most important problem and proposed solution from the viewpoint of the farmer in the current year and the previous years, the effect of each agronomic and management factor on yield reduction from the viewpoint of the farmer and so on.	۹- سایر متغیرهای مورد بررسی: مهمترین مشکل و راه‌حل پیشنهادی از نگاه کشاورز در سال جاری و سال‌های قبل، تأثیر هر یک از عوامل زراعی و مدیریتی بر کاهش عملکرد از نگاه کشاورز و ...

نسبت خلاء عملکرد برای هر متغیر به کل خلاء عملکرد، نشان‌دهنده سهم آن در ایجاد خلاء عملکرد بوده که به‌صورت درصد نشان داده شد. مدل نهایی با استفاده از روش آزمون و خطای کنترل شده تعیین شد که می‌تواند اثر محدودیت‌های عملکرد را کمی کند (Soltani *et al.*, 2000). برای تجزیه و تحلیل داده از رویه‌های Freq و Stepwise نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد.

برآورد انحراف معیار (SD[1]) و انحراف استاندارد(SE[2])

انحراف معیار یا SDاز لحاظ آماری یکی از شاخص‌های میزان پراکندگی بوده که برابر جذر واریانس (ریشه دوم) است که نشان می‌دهد میانگین داده‌ها چقدر از مقدار متوسط فاصله دارند. این شاخص در تحلیل‌های آماری برای تخمین ضریب اطمینان نیز استفاده می‌شود که با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد(Streiner, 1996). با محاسبه انحراف معیار از فرمول فوق می‌توان موقعیت داده‌ها را در اطراف میانگین هر متغیر شناسایی کرد.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - M)^2}{N-1}}$$

که در آنSD انحراف معیار، Xهر داده و M میانگین داده‌ها است. همچنین، اختلاف هر داده با میانگین به‌صورت (Xi – M) و مجموع اختلاف هر داده با میانگین با (Xi – M)∑ نشان داده شد.

متمایز شدن پراکندگی داده‌های اولیه از پراکندگی میانگین‌های حاصل از تکرار اندازه‌گیری‌ها، از واژه انحراف استاندارد یا SE استفاده می‌شود که با فرمول زیر محاسبه شد (Leonidas, 1986).

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{N}}$$

که در آن SD انحراف معیار، N تعداد یا حجم نمونه و SE خطای معیار(انحراف استاندارد) میانگین است.**سپس،** جذر میانگین مربعات خطا (RMSD) و جذر میانگین انحراف استاندارد (RMSE) محاسبه شد.

برای برآورد خلاء عملکرد در روش آنالیز خط مرزی (BLA[3]) با رسم نمودار پراکنش میزان عملکرد به‌دست آمده در هر منطقه به‌عنوان متغیر وابسته در مقابل متغیرهای مستقل، با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و رویه NLIN، یک تابع بر لبه بالایی پراکنش داده‌ها برازش داده شد. بر اساس مرحله پنج و نحوه چیدمان داده‌ها تابع مناسب (خطی، درجه دو، دو تکه‌ای و یا سه تکه‌ای) انتخاب شد. در واقع، توابع انتخاب شده برازش بهتری از داده‌ها داشتند.

نتایج و بحث

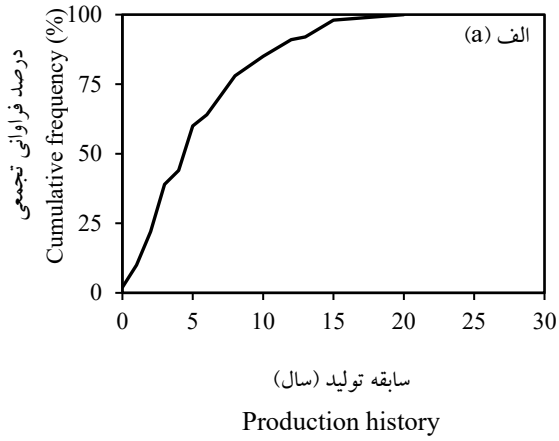
با توجه به شکل ۱الف مشاهده می‌شود که از نظر سابقه تولید کشاورزان در منطقه بین یک الی ۲۰ سال سابقه تولید داشتند. طبق یافته‌ها حدود ۶۰ درصد از کشاورزان سابقه تولید کمتر از پنج سال داشتند. حدود ۱۵ درصد از کشاورزان سابقه تولید بین پنج تا ۱۰ سال داشتند. تنها ۱۵ درصد از کشاورزان دارای سن ۱۵ الی ۲۰ سال بودند (شکل ۱الف). در ۱۰۰ مزرعه مورد

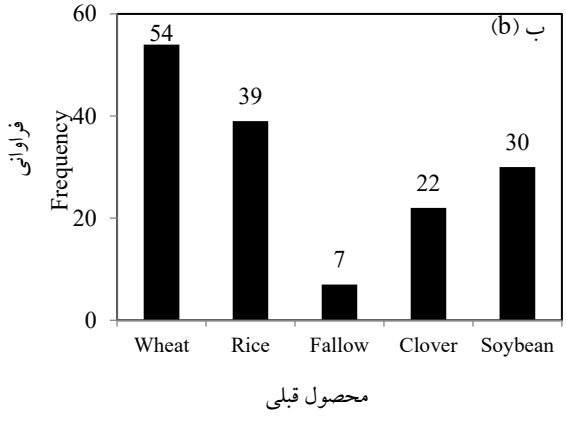
1- Standard deviation
2- Standard error
3- Boundary-line analysis

بررسی از نظر محصول قبل از کاشت کلزا، حدود ۵۴ کشاورز اقدام به کشت گندم پائیزه کردند. کشاورزان در ۳۹ مزرعه برنج، در ۳۰ مزرعه سویا و در ۲۲ مزرعه اقدام به کشت شبدر کردند. از مجموع ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی تنها در هفت مزرعه هیچ محصولی در پیش‌کشت قرار نگرفته و آیش (نکاشت) انجام شد (شکل ۱ب). بعد از کشت پاییزه گندم و شبدر، آیش (نکاشت) انجام شد. بر اساس اطلاعات ثبت شده، در برخی از مزارع کشاورزان در سال‌های قبل با قطعه‌بندی زمین اقدام به کشت دو یا چند محصول کرده بودند. در این پژوهش حدود ۲۳۰ هکتار از مزارع معادل ۷/۷ درصد از سطح زیر کشت منطقه نکا مورد بررسی قرار گرفت.

اراضی انتخاب شده، دارای مساحت متفاوتی بوده و از این نظر دارای تنوع لازم بوده‌اند. مساحت ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی بین ۰/۲ الی ۳۰ هکتار بودند که نشان می‌دهد اراضی انتخاب شده، از نظر مساحت دارای تنوع لازم بوده‌اند (شکل ۲الف). حدود ۴۷ درصد از مزارع دارای مساحت کمتر از یک هکتار بود. همچنین، ۴۰ درصد از مزارع مساحتی بین یک الی سه هکتار را دارا بودند. تنها ۱۰ درصد از مزارع دارای مساحتی بین سه الی چهار هکتار بودند. همچنین، تنها دو درصد از مزارع مساحتی بین چهار الی ۱۵ هکتار و دو درصد از مزارع مساحتی بین ۱۵ الی ۳۰ هکتار داشتند (شکل ۲الف).

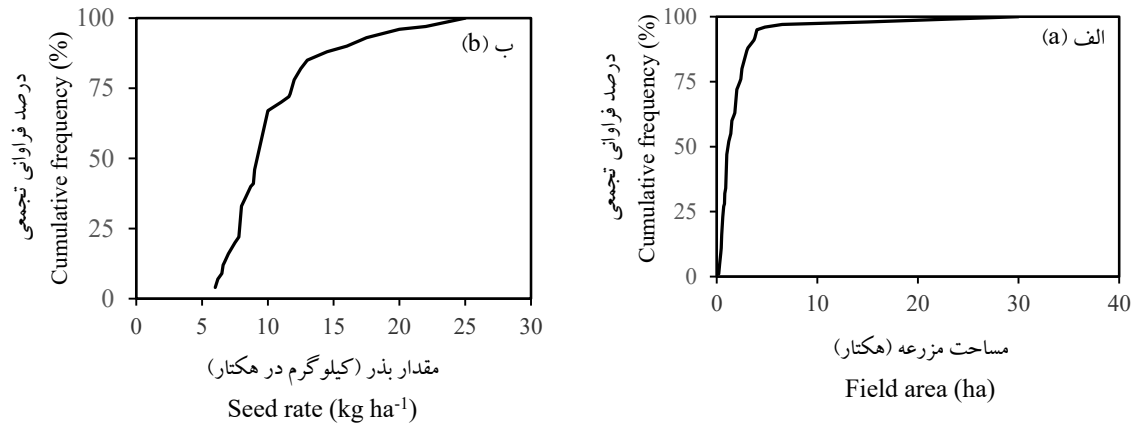
با توجه به شکل ۲ب، میزان بذر مصرفی در ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه بین ۶ تا ۲۵ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. بر اساس یافته‌ها در ۲۰ درصد از مزارع مصرف بذر کمتر از ۷/۵ کیلوگرم در هکتار بود. ۲۰ درصد از کشاورزان مصرف بذر بین ۷/۸ الی ۸/۷ کیلوگرم در هکتار داشتند. همچنین، بذر مصرفی ۶۷ درصد از کشاورزان کمتر از ۱۰ کیلوگرم در هکتار بود. بذر مصرفی حدود ۲۰ درصد از کشاورزان بین ۱۰ الی ۱۴ کیلوگرم در هکتار بود. تنها نه درصد از کشاورزان مورد بررسی مصرف بذر بین ۱۴





شکل ۱- احتمال توزیع تجمعی سابقه تولید (الف) و درصد فراوانی محصول پیش‌کاشت قبلی (ب) در مزارع مورد بررسی

Figure 1. Probability of *cumulative distribution of production history (a) and crop rotation (b) in the studied fields*



شکل ۲- احتمال توزیع تجمعی مساحت مزرعه (الف) و مقدار بذر (ب) در مزارع مورد بررسی

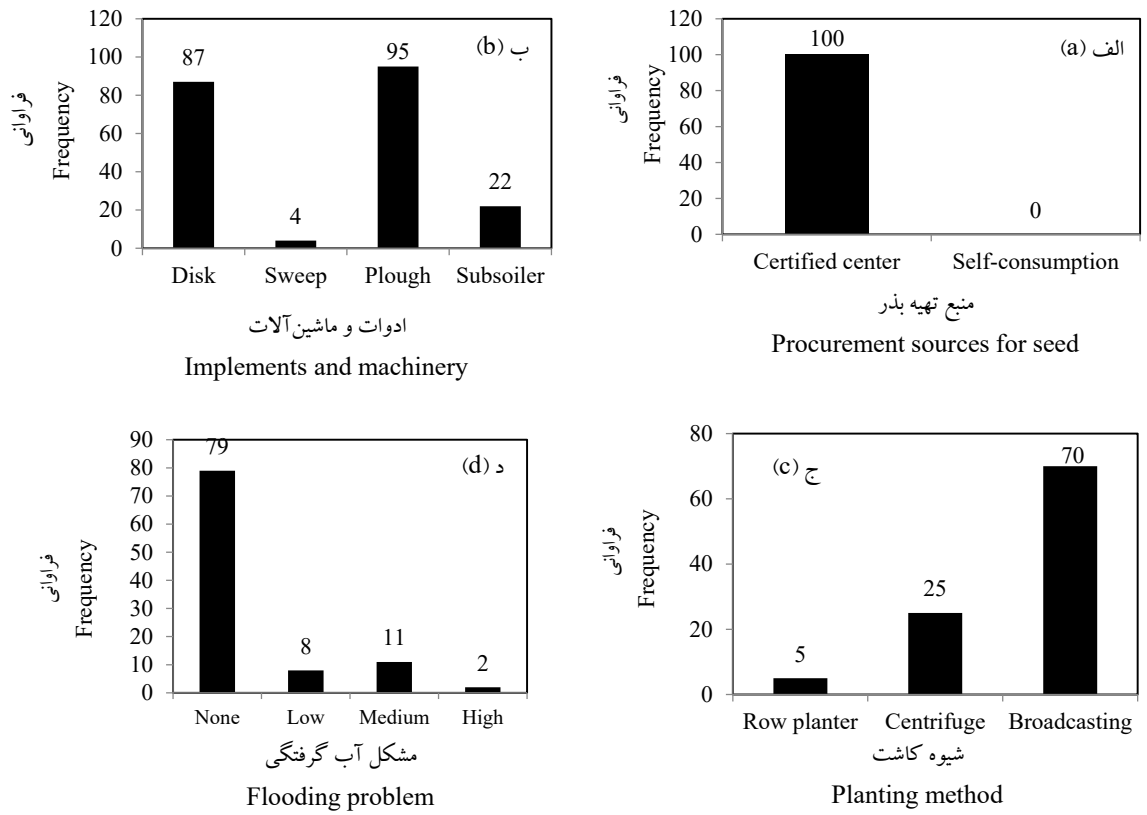
Figure 2. Probability of c*umulative distribution of paddy fields area (a) and seed rate (b) in the studied fields*

الی ۲۰ کیلوگرم در هکتار داشتند. تنها چهار درصد از کشاورزان بالا ۲۰ کیلوگرم در هکتار بذر مصرف کردند. حداکثر بذر مصرفی نیز ۲۵ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (شکل ۲ب).

از نظر محل تهیه بذر در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی مشاهده شد که در ۱۰۰ مزرعه کشاورزان از بذور گواهی شده مرکز خدمات استفاده شده و کشاورزان از بذور خودمصرفی مصرف نداشتند (شکل ۳الف). طبق یافته‌ها ۲۲ کشاورز هنگام تهیه زمین از زیرشکن و تنها چهار کشاورز از پنجه‌غازی استفاده کردند. همچنین، ۹۵ کشاورز از گاوآهن و ۸۷ کشاورز از دیسک استفاده کردند (شکل ۳ب). کاشت بذر در ۷۰ مزرعه دستپاش انجام شد و در ۲۵ مزرعه از طریق سانتریفوژ و تنها در پنج مزرعه توسط ردیفکار انجام شد (شکل ۳ج). از نظر مشکل آب گرفتگی نیز از بین ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه، ۷۹ مزرعه عدم مشکل را گزارش کردند. در هشت مزرعه مشکل اندک آب گرفتگی و در ۱۱ مزرعه مشکل متوسط از نظر آب گرفتگی گزارش شد و تنها در دو مزرعه مشکل زیاد آب گرفتگی را اعلام کردند (شکل ۳).

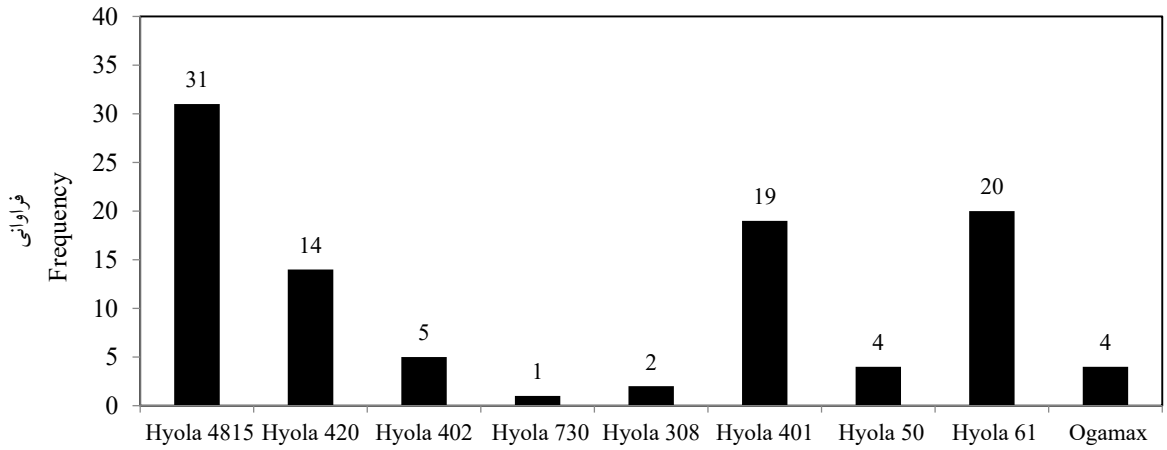
بر اساس داده‌های مورد مطالعه ۳۱ درصد از کشاورزان اقدام به کشت رقم هایولا ۴۸۱۵ کردند. ۱۴ درصد از کشاورزان رقم هایولا ۴۲۰ و پنج درصد از رقم هایولا ۴۰۲ استفاده کردند. همچنین، ۱۹ درصد از کشاورزان رقم هایولا ۴۰۱ و ۲۰ درصد از رقم هایولا ۶۱ را کاشت کردند. ارقام آگامکس، هایولا ۵۰، هایولا ۳۰۸ و هایولا ۷۳۰ نیز توسط کشاورزان استفاده شدند (شکل ۴).

تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به متغیر تاریخ کاشت نشان داد تاریخ کاشت کشاورزان در منطقه از اول مهر ماه شروع و تا ۱۶ آذر ماه ادامه داشت (شکل ۵الف). حدود ۲۵ درصد از کشاورزان در نیمه اول مهر عملیات کاشت را انجام دادند. حدود ۷۰ درصد از کشاورزان در مهر ماه کاشت کلزا را به اتمام رساندند. حدود ۱۶ درصد از کشاورزان نیز در نیمه اول آبان ماه اقدام به کاشت کردند. تنها ۱۳ کشاورز در نیمه



شکل ۳- درصد فراوانی محل تهیه بذر (الف)، استفاده از ادوات و ماشین‌آلات (ب)، شیوه کاشت (ج) و مشکل آب گرفتگی در مزارع مورد بررسی

Figure 3. Frequency *of seed procurement from the sources (a), implements and machinery usage (b), planting method (c), and flooding problem (d)*

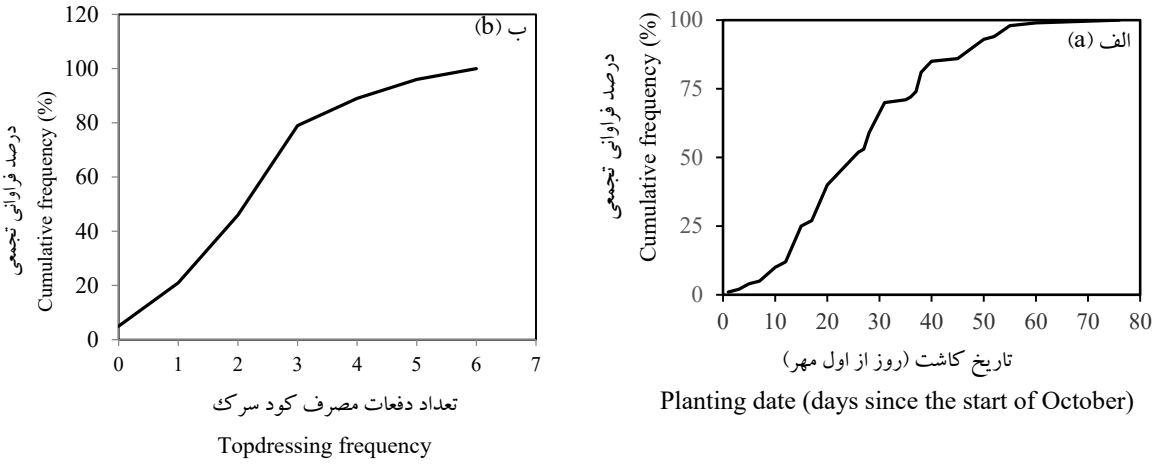


شکل ۴- درصد فراوانی رقم مورد استفاده کلزا در مزارع مورد بررسی

Figure 4. Frequency *of rapeseed cultivar usage in the studied fields*

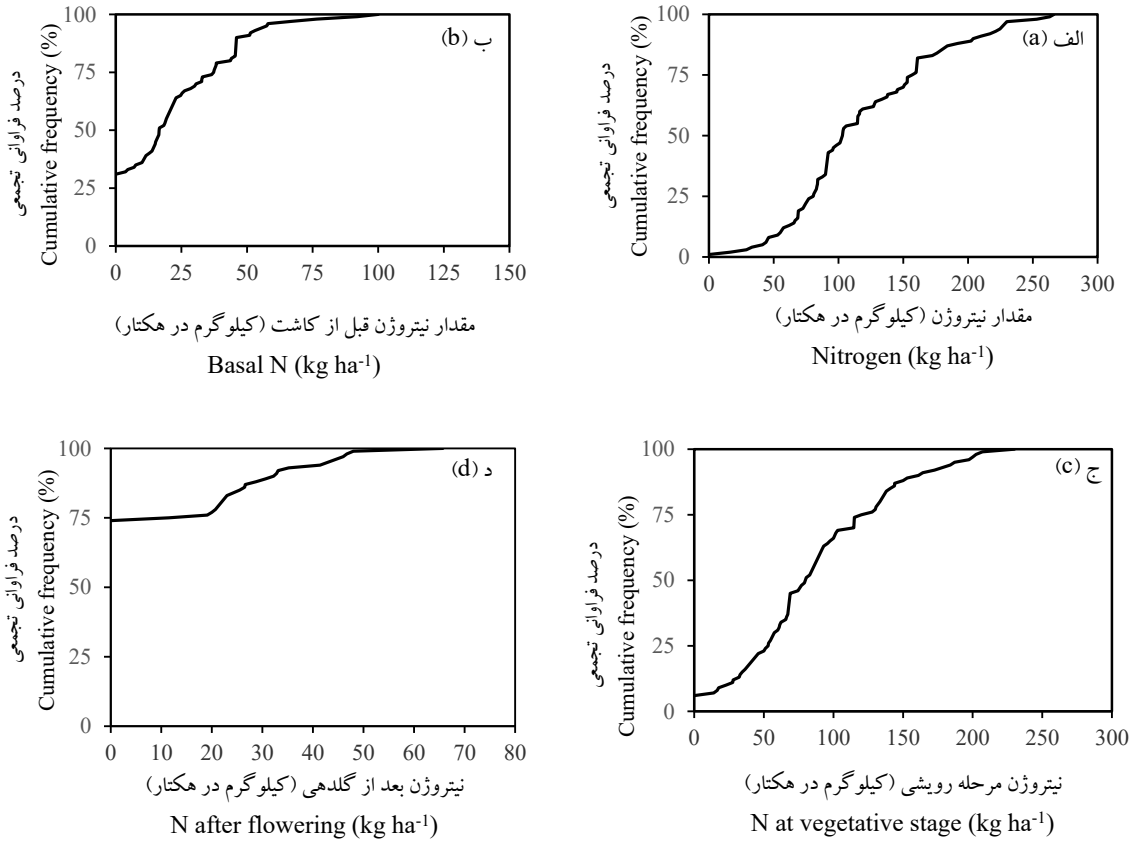
دوم آبان ماه کاشت را انجام دادند. عملیات کاشت در یک مزرعه در آذرماه انجام شد (شکل ۵الف). با توجه به یافته‌های شکل ۵ب مشاهده می‌شود که در پنج مزرعه کود سرک مصرف نشد. در ۲۰ درصد از مزارع تنها یکبار کود سرک نیتروژن و در ۲۵ درصد از مزارع تنها دوبار کود سرک مصرف شد. در ۳۳ درصد از مزارع مورد مطالعه نیز کشاورزان در سه مرحله کود سرک مصرف داشتند. در ۱۰ درصد از مزارع چهار مرحله کود سرک و در هفت درصد از مزارع پنج مرحله کود سرک مصرف شد. تها در چهار مزرعه شش مرحله کود سرک مصرف شد (شکل ۵ب).

با توجه به شکل ۶الف مشاهده می‌شود که در بین ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه، میزان کل کود نیتروژن مصرفی از منبع اوره در منطقه بین صفر الی ۲۶۶/۴ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در بین مزارع مورد بررسی هشت درصد از کشاورزان مصرف نیتروژن از منبع اوره کمتر از ۴۶ کیلوگرم در هکتار داشتند. مصرف نیتروژن ۱۱ درصد از کشاورزان بین ۴۶ الی ۶۹ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره بود. حدود ۲۴ درصد از کشاورزان نیز بین ۶۹ الی ۹۲ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره در هکتار مصرف کردند. حدود ۱۵ درصد از کشاورزان بین ۹۲ الی ۱۱۵ کیلوگرم مصرف کود نیتروژن از منبع اوره داشتند. مصرف کود نیتروژن حدود ۱۲ درصد از کشاورزان بین ۱۱۵ الی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بود. همچنین، ۲۱ درصد از کشاورزان منطقه مصرف کود نیتروژن بین ۱۵۰ الی ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره داشتند. تنها شش درصد از کشاورزان بین ۲۱۰ الی ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار و تنها سه درصد از کشاورزان مصرف نیتروژن بالاتر از ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره داشتند که حداکثر نیتروژن مصرفی برابر ۲۶۶/۴ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بود (شکل ۶الف).



شکل ۵- احتمال توزیع تجمعی تاریخ کاشت (الف) و تعداد کود سرک (ب) در مزارع مورد بررسی

Figure 5. Probability of cumulative distribution of seeding date (a) and no. of top-dressing application (b) in the studied fields



شکل ۶- احتمال توزیع تجمعی مقدار نیتروژن (الف)، احتمال توزیع تجمعی مقدار نیتروژن پایه (ب)، احتمال توزیع تجمعی مقدار نیتروژن در دوره رشد رویشی (ج) و احتمال توزیع تجمعی مقدار نیتروژن بعد از گلدهی (د) در مزارع مورد بررسی

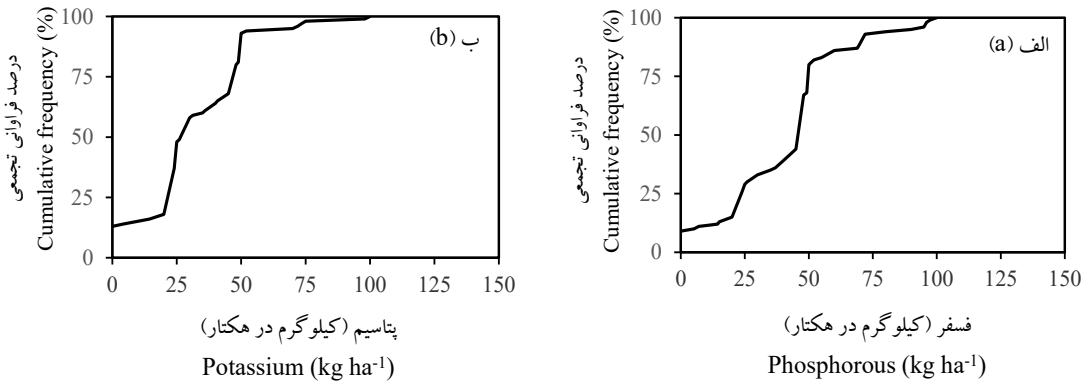
Figure 6. Probability of cumulative distribution of total nitrogen application (a), basal nitrogen application (b), nitrogen application at vegetative stage (c) and nitrogen application after flowering (d) in the studied fields

میزان مصرف کود نیتروژن از منبع اوره در مرحله پایه بین صفر الی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در ۳۶ درصد از مزارع کود نیتروژن پایه کمتر از ۱۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بود. در ۴۳ درصد از مزارع مصرف نیتروژن پایه از منبع اوره بین ۱۰ الی ۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. ۲۰ درصد از کشاورزان مصرف نیتروژن پایه از منبع اوره ۳۰/۶ الی ۴۶ کلوگرم را گزارش کردند و تنها در ۱۰ درصد از مزارع نیتروژن پایه از منبع اوره بالاتر از ۴۶ کیلوگرم در هکتار مصرف شد که حداکثر مقدار آن برابر ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶ب). از نظر مصرف نیتروژن در مرحله رویشی نیز مقدار صفر الی ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره گزارش شد. در ۲۳ درصد از مزارع کود نیتروژن در مرحله رشد رویشی معادل ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره گزارش شد. در ۱۰ درصد از مزارع مصرف نیتروژن در دور رشد رویشی بین ۲۳ الی ۳۱ کیلوگرم در هکتار و در ۲۰ درصد از مزارع بین ۶۰ الی ۸۰/۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره گزارش شد. در ۶۶ درصد از مزارع مصرف نیتروژن در مرحله رویشی کمتر از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره اعلام شد. در ۲۰ درصد از مزارع مصرف نیتروژن در مرحله

رویشی معادل ۱۰۰ الی ۱۴۳/۸ کیلوگرم در هکتار و در ۱۰ درصد از مزارع بین ۱۴۳/۸ الی ۱۹۷/۳ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره اعلام شد. تنها چهار درصد از کشاورزان مصرف نیتروژن در دوره رشد رویشی بالاتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار را از منبع اوره گزارش کردند که حداکثر نیتروژن مصرفی در دوره رشد رویشی برابر ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۶ج).

از نظر مصرف نیتروژن بعد از گلدهی نیز گزارش شد که ۷۴ درصد از کشاورزان عدم مصرف نیتروژن در این مرحله را اعلام کردند. تنها ۱۰ درصد از کشاورزان مصرف نیتروژن تا ۲۵/۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره را اعلام کردند. همچنین، ۱۰ درصد از کشاورزان مصرف نیتروژن بین ۲۶/۵ الی ۴۶ کیلوگرم از منبع اوره را گزارش کردند و تنها در سه درصد از مزارع مصرف نیتروژن بعد از گلدهی بین ۴۶ الی ۶۵/۷ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره گزارش شد (شکل ۶د). انجام عملیات مربوط به داشت در طی فصل رشد می‌تواند منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد گردد. کوددهی، آبیاری و مبارزه با علف‌های هرز و بیماری‌ها از عملیات مهم زراعی هستند که در طول فصل رشد مورد توجه اکثر کشاورزان قرار می‌گیرد (Torabi *et al.*, 2012).

به‌طور کلی ارزیابی مزارع نشان می‌دهد که مصرف کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل در منطقه بین صفر تا ۱۴۵ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. طبق یافته‌ها در ۲۰ درصد از مزارع مصرف فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل کمتر از ۱۸/۵ کیلوگرم در هکتار بود. برای حدود ۳۲ درصد از مزارع مصرف کود فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل بین ۲۰ الی ۴۰ کیلوگرم در هکتار ثبت شده بود. در ۳۰ درصد از مزارع مصرف فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل بین ۴۰ الی ۶۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد. کشاورزان تنها ۱۰ درصد از مزارع مصرف فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل بین ۶۴ الی ۷۶ کیلوگرم در هکتار داشتند. تنها چهار درصد از کشاورزان مصرف فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل بالاتر از ۸۰ کیلوگرم در هکتار داشتند که حداکثر فسفر مصرفی از منبع سوپرفسفات تریپل برابر ۱۴۵ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۷الف). تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که مصرف کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم در منطقه بین صفر تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در ۳۸ درصد از مزارع عدم مصرف پتاسیم گزارش شد. در ۱۰ درصد از مزارع مورد بررسی مصرف پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم کمتر از ۱۶/۶ کیلوگرم در هکتار بود. مصرف پتاسیم در ۳۰ درصد از مزارع مورد مطالعه نیز کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم بین ۱۶/۶ الی ۳۹/۸ کیلوگرم در هکتار بود. در ۱۰ درصد از مزارع کشاورزان بین ۳۹/۸ الی ۴۸ کیلوگرم پتاسیم و در ۱۰ درصد از مزارع بین ۴۸ الی ۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم مصرف کردند. تنها در دو درصد از مزارع مصرف پتاسیم بالاتر از ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم گزارش شد که حداکثر پتاسیم مصرفی برابر ۹۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۷ب).



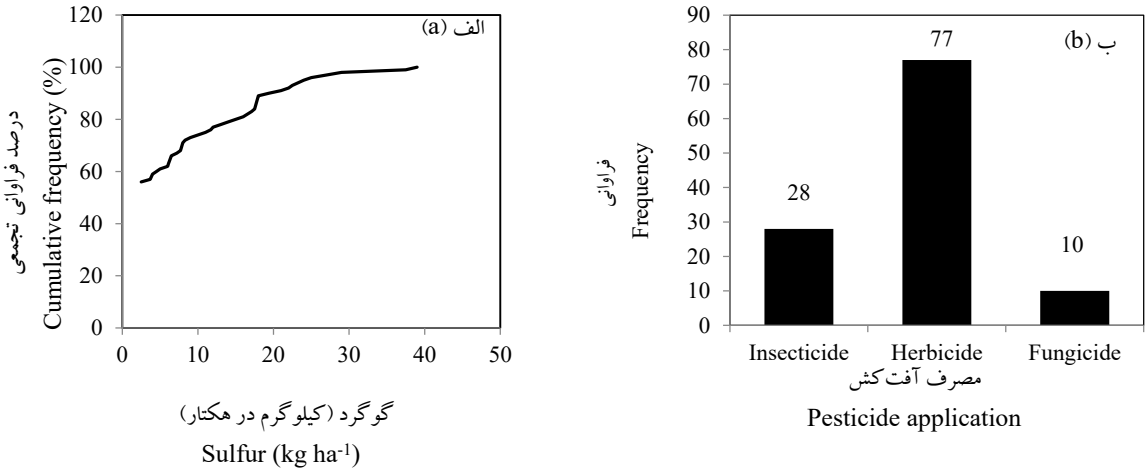
شکل ۷- احتمال توزیع تجمعی مقدار فسفر (الف) و پتاسیم (ب) در مزارع مورد بررسی

Figure 7. Probability of cumulative distribution of phosphorous (a) and potassium rate (b) in the studied fields

به‌طور کلی ارزیابی مزارع نشان می‌دهد که مصرف کود گوگرد در منطقه بین صفر تا ۳۹ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. طبق یافته‌ها در ۵۵ درصد از مزارع مصرف گوگرد گزارش نشد. تنها در ۱۱ درصد از مزارع مصرف گوگرد بین ۲/۵ الی ۱۱/۷ کیلوگرم در هکتار و در ۱۴ درصد از مزارع مصرف گوگرد بین ۱۱/۷ الی ۱۹/۴ کیلوگرم در هکتار بود. تنها در ۱۰ درصد از مزارع مصرف گوگرد بین ۱۹/۴ الی ۳۹ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (شکل ۸الف). در ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه گزارش شد که کشاورزان در ۲۸ مزرعه از آفت‌کش، در ۷۷ مزرعه از علف‌کش و در ۱۰ مزرعه از قارچ‌کش استفاده کردند (شکل ۸ب).

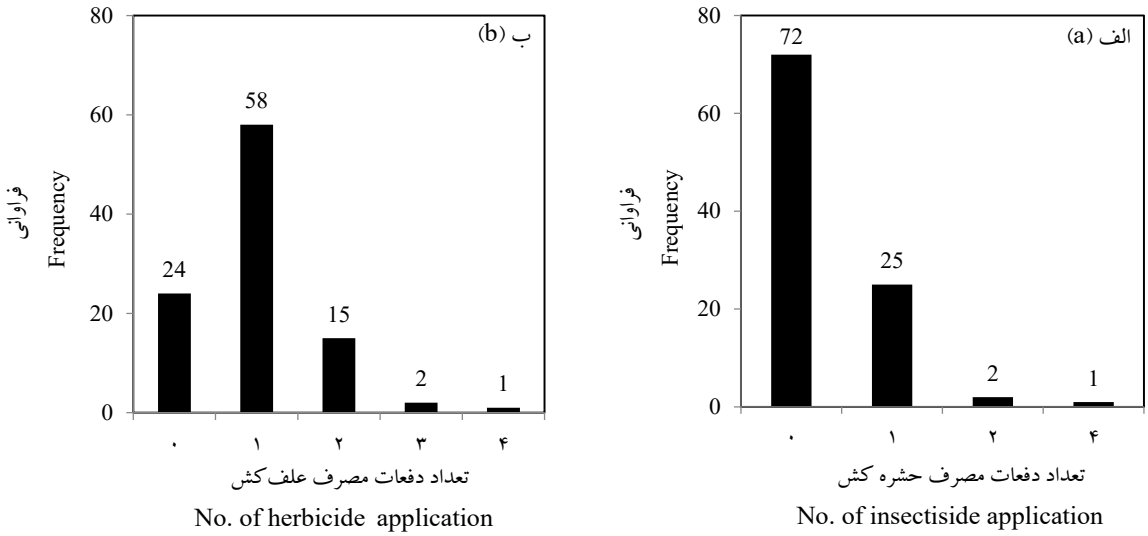
تعداد دفعات مصرف حشره‌کش در ۱۰۰ مزرعه بین صفر تا چهار مرتبه متغیر بود. در ۲۵ مزرعه یک مرحله و در دو مزرعه دو مرحله از حشره‌کش برای کنترل آفات استفاده شده بود. در یک مزرعه چهار مرحله از حشره‌کش استفاده شد. در ۷۲ مزرعه عدم مصرف حشره‌کش را گزارش کردند (شکل ۹الف). تعداد دفعات مصرف علف‌کش نیز بین صفر تا چهار مرتبه متغیر بود که در ۲۴ مزرعه عدم مصرف علف‌کش، در ۵۸ مزرعه یک مرحله، در ۱۵ مزرعه دو مرحله از علف‌کش و در دو مزرعه سه مرحله از علف‌کش برای کنترل علف‌های هرز استفاده شده بود. تنها در یک مزرعه چهار مرحله از علف‌کش استفاده شد (شکل ۹ب).

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که برداشت محصول از ۱۶۷ الی ۲۴۷ روز بعد از اول مهر انجام شده بود (شکل ۱۰الف). در ۱۰ درصد از مزارع برداشت در ۱۹۶ روز بعد از اول مهرماه انجام شد. در ۳۰ درصد از مزارع نیز برداشت از ۱۹۶ الی ۲۱۵ روز بعد از اول مهر صورت گرفت. برداشت ۲۰ درصد مزارع در ۲۱۵ الی ۲۲۲ روز بعد از اول مهر انجام شد. تنها در ۱۵ درصد از مزارع برداشت محصول بین ۲۲۲ الی ۲۳۰ روز بعد از اول مهر انجام شد. تنها در ۱۰ درصد از مزارع برداشت محصول بین



شکل ۸- احتمال توزیع تجمعی مقدار گوگرد خالص مصرفی (الف) و درصد فراوانی علف‌کش و حشره‌کش (ب) در مزارع مورد بررسی

Figure 8. Probability of cumulative distribution of sulfur rate (a) and frequency of pesticide application (b) in the studied fields

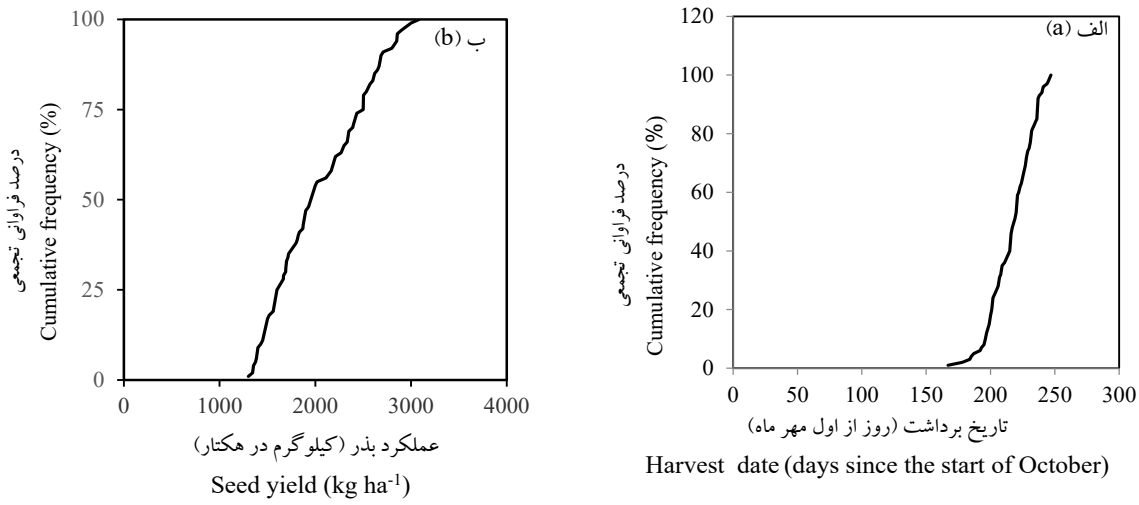


شکل ۹- درصد فراوانی آفت‌کش مصرفی (الف) و علف‌کش مصرفی(ب) در مزارع مورد بررسی

Figure 9. Frequency of insecticide (a) and herbicide application (b) in the studied fields

۲۳۰ الی ۲۳۶ روز بعد از اول مهرماه انجام شد. همچنین، در ۱۱ درصد از مزارع تاریخ برداشت بین ۲۳۶ الی ۲۴۱ روز پس از اول مهر و در چهار درصد از مزارع بین ۲۴۱ الی ۲۴۷ روز بعد از اول مهرماه انجام شد (شکل ۱۰الف).

با توجه به شکل ۱۰ب مشاهده می‌شود که دامنه تغییرات عملکرد بذر در ۱۰۰ مزرعه بین ۱۳۰۰ الی ۳۰۸۵ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در ۱۰ درصد از مزارع عملکرد کمتر از ۱۴۳۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. عملکرد بذر حدود ۳۰ درصد از مزارع مورد بررسی بین ۱۴۳۰ الی ۱۸۲۱ کیلوگرم در هکتار متغیر بود.



شکل ۱۰- احتمال توزیع تجمعی تاریخ برداشت (الف) و عملکرد بذر (ب) در مزارع مورد بررسی

Figure 10. Probability of cumulative distribution of harvest date (a) and harvesting method (b) in the studied fields

همچنین، در ۳۰ درصد از مزارع مورد بررسی عملکرد بذر بین ۱۸۲۱ الی ۲۳۹۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. عملکرد بذر ۲۰ درصد از مزارع مورد مطالعه بین ۲۳۹۱ الی ۲۶۸۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. تنها در ۱۰ درصد از مزارع عملکرد بذر بین ۲۶۸۶ الی ۳۰۸۵ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (شکل ۱۰ب).

تخمین خلاء عملکرد بر اساس روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA)

روش تحلیل مقایسه کارکرد یا CPA یکی از روش‌هایی است که برای کمی کردن خلاء عملکرد استفاده می‌شود. با استفاده از این روش محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمی شده برای خلاء عملکرد تعیین می‌شود. در واقع، در روش CPA با استفاده از رگرسیون چندگانه و با روش گام‌به‌گام (Soltani *et al.,* 2016)، محدودیت‌های عملکرد و مدل تولید تعیین می‌شود. همچنین، با استفاده از معادله تولید و مقادیر مؤلفه‌های مدل سهم هر یک از عوامل محدود کننده در ایجاد خلاء عملکرد مشخص می‌شود (De Bie, 2000; Lobell *et al.,* 2009).

مدل تولید به روش CPA

یافته‌های مربوط به رگرسیون گام به گام برای تعیین مهم‌ترین متغیرهای مدیریتی مؤثر بر عملکرد و مدل عملکرد در جدول ۳ ارایه شده است. در این مدل رگرسیونی عملکرد بذر در واحد سطح به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و سایر متغیرها از قبیل پیش‌کاشت سویا، پیش کاشت برنج، تعداد کود سرک، مصرف پتاسیم در هکتار، نیتروژن در مرحله رویشی، تعداد دفعات مصرف علف کش و مشکل علف هرز به‌عنوان متغیرهای مستقل لحاظ شدند که نتیجه آن در معادله نهایی ارایه شد. در نهایت با استفاده از این معادله تولید، میزان عملکرد واقعی، عملکرد عملکرد دست‌یافتنی و سهم هر کدام از متغیرها بر کاهش عملکرد تعیین شد. بنابراین، از حدود ۱۵۰ متغیر مورد بررسی، مدل

(معادله رگرسیون نهایی) با هفت متغیر مستقل انتخاب شد (جدول ۳). معادله نهایی عملکرد به‌صورت زیر بود:

$$y\ (kg\ ha^{-1}) = 2197+243.37\ X_1-14.47\ X_2+444.06\ X_3+4.30\ X_4-1.96\ X_5+136.07\ X_6-140.66\ X_7$$

که در آن y: عملکرد بذر بر حسب کیلوگرم در هکتار، X_1: پیش‌کاشت سویا، X_2: پیش‌کاشت برنج، X_3: کود سرک، X_4: پتاسیم در هکتار، X_5: نیتروژن در مرحله رویشی، X_6: تعداد دفعات مصرف علف کش و X_7: مشکل علف هرز هستند، که در ادامه به بررسی تک تک عوامل مؤثر بر عملکرد پرداخته شده است. برای کمی کردن مشکل علف هرز به روش خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵) کدگذاری شد که معیار کدگذاری میزان خسارت محصول کلزا، نوع علف هرز و زیست‌توده بودند.

عوامل محدودکننده عملکرد و تخمین خلاء عملکرد در مدل CPA

در جدول ۲ متغیرهای وارد شده در معادله تولید به همراه میانگین، حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده شده آن‌ها در مزارع ارایه شده است. مشخصات متغیرهای وارد شده در مدل به‌صورت مقادیر متوسط، حداقل، حداکثر و بهترین مقداری که می‌تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار بگیرد در جدول ۳ ارایه شد.

میزان خلاء عملکرد مربوط به هفت متغیر وارد شده در معادله تولید برابر ۱۷۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بهترین حالت برای متغیرهای پیش‌کاشت سویا، کود سرک، مصرف پتاسیم خالص، و تعداد دفعات مصرف علف‌کش با اثر مثبت، مقدار حداکثر آن‌ها انتخاب شد. متغیرهای پیش‌کاشت برنج، مصرف نیتروژن در مرحله رویشی و مشکل علف هرز به‌عنوان متغیر منفی بوده و مقادیر اندک آن‌ها انتخاب شد. بنابراین، مقدار بهینه معادل مقدار حداقل این سه متغیر بود (جدول ۳).

میزان افزایش عملکرد ناشی از تفاضل عملکرد حالت بهترین و متوسط سه متغیر پیش‌کاشت برنج، مصرف نیتروژن در مرحله رویشی و مشکل علف هرز به‌ترتیب برابر ۶، ۱۷۴ و ۲۰۸ کیلوگرم در هکتار (معادل صفر (کمتر از یک)، ۱۰ و ۱۲ درصد) بود. میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیر پیش‌کاشت سویا برابر ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۰ درصد از کل افزایش عملکرد بود که به‌دلیل تثبیت زیستی نیتروژن و افزایش ماده آلی خاک است. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر مصرف کود سرک و پتاسیم خالص نیز به‌ترتیب برابر ۴۶۲ و ۲۹۴ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۷ و ۱۷ درصد از کل تغییر عملکرد بود.

جدول ۳- کمی کردن خلاء عملکرد کلزا و سهم هر یک از متغیرهای وارد شده در معادله تولید

Table 3. Quantifying the rapeseed yield gap and the contribution of each variable entered in the production equation

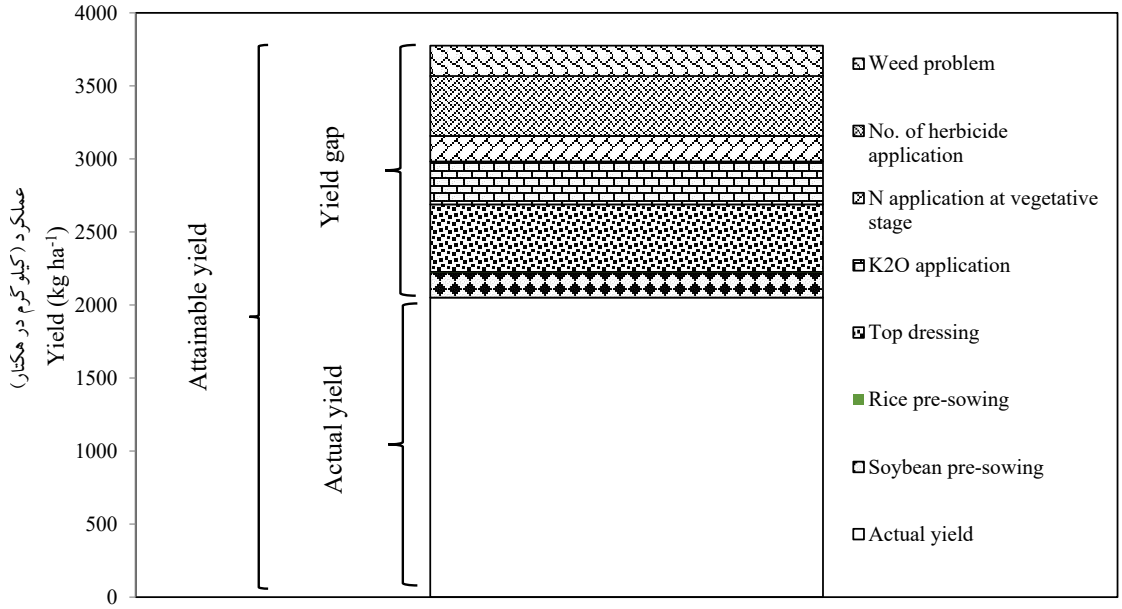
متغیر Variable	ضریب در مدل Coefficients in model	شکل متغیر در مدل Variable in model				عملکرد محاسبه شده با مدل Estimated yield by model		خلاء عملکرد Yield gap (kg ha^{-1})	درصد خلاء عملکرد Yield gap percentage
		حداقل Min.	متوسط Mean	حداکثر Max.	بهترین Best	متوسط Mean	بهترین Best		
عرض از مبدأ Intercept	2197	-	-	-	-	2197	2197	-	-
پیش کاشت سویا Soybean pre-sowing (X_1)	243.37	0	0.30	1	0	73	243	170	10
پیش کاشت برنج Rice pre-sowing (X_2)	-14.74	0	0.39	1	0	-6	0	6	0
مصرف کود سرک Top dressing (X_3)	444.06	0	0.96	2	0	426	888	462	27
پتاسیم خالص مصرفی K_2O application (X_4)	4.30	0	21.54	90	0	93	387	294	17
نیتروژن در مرحله رویشی N application at vegetative stage (X_5)	-1.96	0	88.57	230	0	-174	0	174	10
علف کش مصرفی Herbicide application frequency (X_6)	136.07	0	0.98	4	0	133	544	411	24
مشکل علف هرز Weed problem (X_7)	-140.66	1	2.48	5	1	-349	-141	208	12
عملکرد بذر Seed yield (kg ha^{-1})	-	1300	2051	3085	-	2394	4119	1725	100

در واقع، مصرف کود به‌صورت سرک منجر به افزایش کارایی مصرف کود و در نتیجه افزایش عملکرد شد. استفاده از کود پتاسیم نیز با افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی و بهبود نمو و رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد شد. میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیر تعداد دفعات مصرف علف‌کش نیز برابر ۴۱۱ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۴ درصد از کل افزایش عملکرد بود (جدول ۳). در بین هفت متغیر وارد شده در مدل اثر متغیر مصرف کود سرک، پتاسیم و علف‌کش قابل توجه بوده که می‌توان بخش قابل توجهی از خلاء عملکردی در مزارع کشاورزان را با مدیریت این سه متغیر جبران کرد.

جدول ۳ کل خلاء عملکرد و سهم هر یک از عوامل محدودکننده عملکرد نسبت به آن را نشان می‌دهد. در مدل عملکرد، متوسط و حداکثر عملکرد (عملکرد دست‌یافتنی) به‌ترتیب ۲۳۹۴ و ۴۱۱۹ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که با متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده (۲۰۵۱ و ۳۰۸۵ کیلوگرم در هکتار) قابل مقایسه هستند. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده برابر ۱۷۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. این بدان معنی است که بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد دست‌یافتنی معادل ۱۷۲۵ کیلوگرم در هکتار فاصله وجود دارد که با مدیریت مناسب‌تر قابل حذف یا کاهش خواهد بود (جدول ۳).

شکل ۱۱ سهم هر یک از متغیرها را در خلاء عملکرد به همراه عملکرد واقعی مزرعه و عملکرد دست‌یافتنی نشان می‌دهد. بنابراین، عملکرد واقعی مزرعه و عملکرد دست‌یافتنی محاسبه شده با مدل به‌ترتیب برابر ۲۳۹۴ و ۴۱۱۹ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد برابر ۱۷۲۵ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که این نتیجه نشان می‌دهد با می‌توان این خلاء عملکرد را جبران کرد (شکل ۱۱). یافته‌های شکل ۱۲ رابطه بین عملکرد واقعی (مشاهده شده) و عملکرد پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. این آماره نشان می‌دهد که RMSD برای عملکرد بذر برابر ۲۷۶/۵۵ کیلوگرم در هکتار (۱۱/۶۱ درصد میانگین عملکرد مشاهده شد) و RMSE برابر ۲۷/۶۵ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، ضریب تبیین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده برابر ۰/۲۸ بود. لذا، بر اساس برازش رابطه بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده می‌توان بیان کرد که دقت مدل (معادله تولید) مناسب بوده و می‌تواند برای برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدودکننده تولید به کار گرفته شود (شکل ۱۱ب). طبق یافته‌ها، تعداد دفعات کود سرک و مصرف پتاسیم معادل ۲۷ و ۱۷ درصد از کل تغییر عملکرد را نشان دادند. بنابراین، در صورتی که مقدار مناسب کود پتاسیم بر اساس معادله تولید در هنگام کاشت مصرف شود، ۱۷ از خلاء عملکرد پوشش داده خواهد شد. مشکل علف هرز، ۱۲ درصد از خلاء عملکرد را توجیه کرد.

دیگر محققان با بررسی عوامل مؤثر در ایجاد خلاء عملکرد گندم در شرایط گرگان دریافتند که بین عملکرد واقعی و عملکرد قابل حصول، ۲۳۴۸ کیلوگرم در هکتار فاصله (خلاء) وجود



شکل ۱۱- مقدار محدودیت‌های اصلی خلاء عملکرد

Figure 11. The contribution of the major limiting factors to yield gap

دارد و نشان دادند که میزان پتاسیم، مدیریت تغذیه نیتروژن و تاریخ کاشت به ترتیب با ۲۰، ۶۱ و ۱۹ درصد مهم ترین عوامل مؤثر در خلاء عملکرد هستند و با بهینه‌سازی آن ها می توان عملکرد گندم در گرگان را به میزان ۲۳۴۸ کیلوگرم در هکتار افزایش داد (Torabi *et al.*, 2011). طبق یافته‌های این پژوهش، میزان بالای خلاء عملکرد و سهم هر یک از عوامل مؤثر بر آن نشان می‌دهد که با مدیریت مناسب می‌توان بخش قابل توجهی از این خلاء را جبران کرد و به پتانسیل عملکرد رسید. دست‌یابی به پتانسیل عملکرد به ندرت در محصولات زراعی حاصل می‌شود و در عمل تنها بخشی از آن به‌عنوان محصول واقعی از مزرعه برداشت می‌شود.

بر اساس نتایج این پژوهش، به نظر می رسد که با مدیریت صحیح مزارع و در نظر گرفتن عوامل ایجاد کننده خلاء عملکرد ذکر شده می توان به افزایش عملکرد حدود ۱۷۲۵ کیلوگرمی در هکتار نسبت به عملکردهای فعلی کشاورزان، دست پیدا کرد. حجارپور و همکاران (Hajjarpoor *et al.*, 2017) بر اساس روش CPA و اطلاعات حاصل از ۷۰۰ مزرعه گندم در استان گلستان به تحلیل عوامل محدود کننده گندم در سه شرایط دیم کم بازده، دیم پرمحصول و آبی پرداختند و به ترتیب خلاء عملکرد ۶۰، ۵۰ و ۵۱ درصد را به‌دست آوردند و بیان کردند که با مدیریت صحیح مزارع و در نظر گرفتن عوامل خلاء عملکرد می تواند عملکرد دانه گندم در استان گلستان را در مزارع کم بازده حدود ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و در مزارع دیم پرمحصول و آبی در حدود ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به عملکردهای فعلی کشاورزان، افزایش داد. نکاحی و همکاران (Nekahi *et al.*, 2014) نیز با استفاده از روش CPA به ارزیابی عملکرد گندم در ۴۵ مزرعه در شهرستان بندرگز پرداختند و نشان دادند ۳۴۶۲ کیلوگرم خلاء عملکرد در

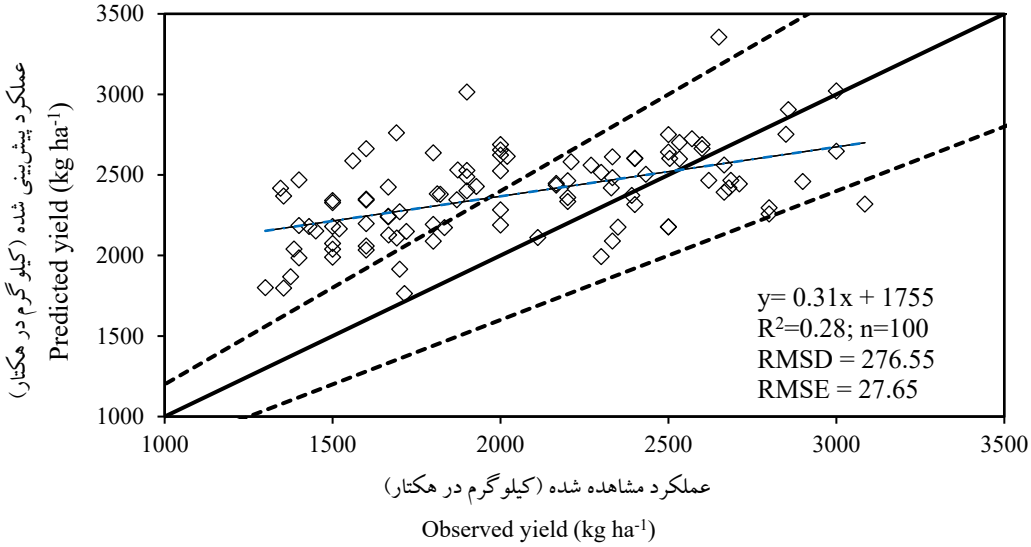
مزارع مورد بررسی وجود دارد و مهم ترین عوامل مؤثر در خلاء عملکرد را تراکم بوته (۱۵ درصد)، تاریخ کاشت (۳۶ درصد)، رقم (۲۱ درصد) و عدم استفاده از علف کش مناسب (۱۸ درصد) معرفی کردند. در مطالعه دیگر محققان با بررسی خلاء عملکرد کلزا در استان گلستان، مقدار خلاء ۵۹ درصدی را به‌دست آوردند و بیان کردند اکثر مزارع کلزا به اندازه کافی حاصلخیز نبوده و کشاورزان از کود نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد را به ترتیب ۸۰، ۹۳، ۹۵ و ۹۳ درصد کمتر از حد بهینه مصرف کردند. همچنین، دو عامل دیگر محدود کننده عملکرد را تراکم بوته و تاریخ کاشت اعلام کردند (Abravan *et al.*, 2016). در یک بررسی ۱۰ ساله روی کشت گندم دیم، جو و کلزا در آلبرتا خلاء مدیریت معنی‌داری بین پتانسیل بالقوه و بالفعل گندم دیم (۲۴ درصد)، جو (۲۵ درصد) و کلزا (۳۰ درصد) مشاهده شد (Chapagain & Good, 2015).

برآورد خلاء عملکرد به روش آنالیز خط مرزی (BLA)

با رسم پراکنش داده‌های عملکرد در مقابل مهم‌ترین متغیرهای مدیریتی حفاظت و تغذیه گیاه طی عملیات کاشت، داشت و برداشت به غیر از ریزش بذر و عوامل خاکی (عوامل مدیریتی مؤثر بر عملکرد)، بالاترین عملکردها در سطوح مختلف هر نهاده یا مدیریت خاص برای هر متغیر انتخاب شدند. از طریق برازش یک خط بر لبه بالایی داده‌ها (بالاترین عملکردهای انتخاب شده در هر دامنه) پاسخ عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته به متغیرهای مستقل (مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر عملکرد) تعیین شد. از طریق برازش یک خط بر لبه بالایی داده‌ها مشخص شد که پاسخ عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته به متغیرهای مستقل سابقه تولید کشاورز و پتاسیم خالص مصرفی از یک تابع دو تکه‌ای مثبت تبعیت می‌کند. همچنین، دو متغیر فسفر مصرفی و نیتروژن پایه از تابع دو تکه‌ای منفی تبعیت کردند. متغیر کل نیتروژن مصرفی، نیتروژن مصرفی در دوره رشد رویشی و علف‌کش مصرفی از تابع سه تکه‌ای تبعیت کردند. طبق یافته‌ها، متغیرهای مساحت مزارع مورد بررسی، مصرف نیتروژن بعد از گلدهی، آفت‌کش مصرفی، مشکل خوابیدگی بوته، مشکل آفات، مشکل بیماری‌ها و مشکل علف‌های هرز از یک تابع خطی تبعیت کردند که تنها متغیر نیتروژن مصرفی دارای شیب مثبت و سایر متغیرها دارای شیب منفی بودند. یافته‌ها نشان می‌دهد عملکرد نقاطی که پایین‌تر از خط مرزی هستند توسط سایر عوامل محدود شده‌اند.

متوسط عملکرد مزرعه برابر ۲۰۵۱ کیلوگرم در هکتار بود. عملکرد دست‌یافتنی تحت اثر متغیر سابقه تولید کشاورز برابر ۲۸۴۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که دارای حداقل حد بهینه برابر دو سال بود (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد که با سابقه تولید دو سال به بالا می‌توان به عملکرد بهینه رسید. همچنین، ۱۰ درصد از مزارع تحت اثر سابقه تولید کشاورز خارج از حد بهینه بودند (شکل ۱۳الف).

عملکرد نسبی مربوط به متغیر سابقه تولید برابر ۷۲/۰۴ درصد و خلاء عملکرد برابر ۷۹۶ کیلوگرم در هکتار (۵/۵۸ درصد از کل) بود که دارای خلاء نسبی ۲۷/۹۶ درصد بود (جدول ۴).



شکل ۱۲- رابطه بین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده. دامنه ۲۰ درصد از اختلاف بین پیش‌بینی شده و مشاهده شده توسط خطوط منقطع نشان داده شده است. خط ممتد خط ۱:۱ است

Figure 12. The relationship between the observed and predicted yields (b). The difference between the predicted and observed yields in the range of 20 % is shown by dotted lines. The continuous line is 1:1.

آنالیز تابع خط مرزی مربوط به متغیر مساحت مزارع مورد بررسی نشان می‌دهد که ۶۷ درصد از مزارع خارج از حد بهینه بودند. حداقل حد بهینه مربوط به این متغیر برابر ۰/۸۸ هکتار بود (شکل ۱۳ب). عملکرد بر اساس حد بهینه برای این متغیر برابر ۳۳۱۹ کیلوگرم در هکتار و با خلاء عملکرد ۱۲۶۸ کیلوگرم در هکتار (۸/۸۹ درصد از کل) به‌دست آمد. عملکرد نسبی و خلاء نسبی تحت اثر متغیر مساحت مزرعه به‌ترتیب برابر ۶۱/۸۰ و ۳۸/۲۰ درصد بود (جدول ۴).

یافته‌های آنالیز خط مرزی متغیر فسفر مصرفی نیز نشان می‌دهد که حداقل حد بهینه مصرف فسفر برابر ۶۶/۲ کیلوگرم در هکتار بوده و ۱۲ درصد از مزارع خارج از حد بهینه بودند (جدول ۴). عملکرد بر اساس حد بهینه نیز تحت اثر این متغیر برابر ۲۸۱۱ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد معادل ۷۶۰ کیلوگرم در هکتار (۵/۳۳ درصد از کل) بود (شکل ۱۳ج). همچنین، عملکرد نسبی و خلاء نسبی مربوط به متغیر فسفر مصرفی برابر ۷۲/۹۶ و ۲۷/۰۴ درصد بود (جدول ۴).

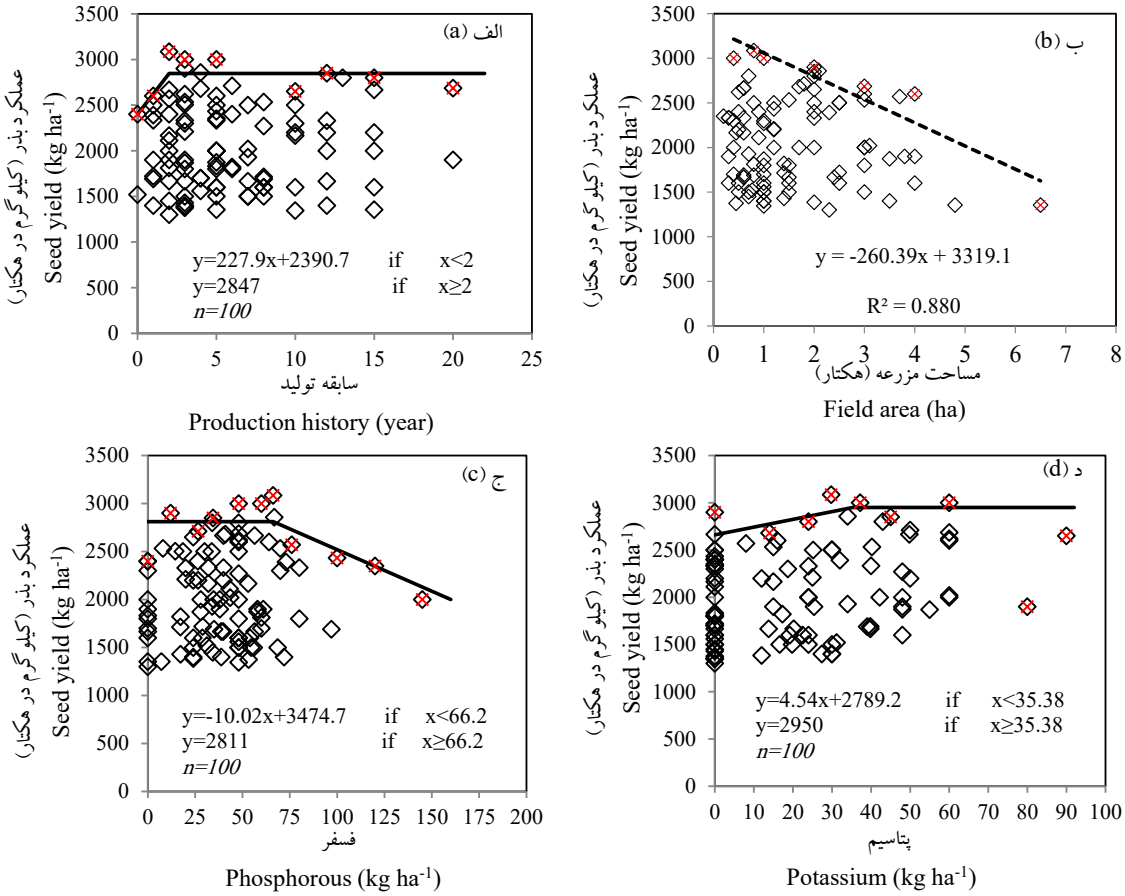
برای متغیر پتاسیم مصرفی نیز حداقل حد بهینه برابر ۳۵/۳۸ کیلوگرم در هکتار بود که از تابع دو تکه‌ای مثبت تبعیت کرد (شکل ۱۳د). در واقع، ۲۳ درصد مزارع خارج از حد بهینه قرار گرفتند. عملکرد بر اساس حد بهینه برای متغیر پتاسیم مصرفی برابر ۲۹۵۰ کیلوگرم در هکتار بود که عملکرد نسبی نیز برابر ۶۹/۵۳ درصد به‌دست آمد. خلاء عملکرد و خلاء عملکرد نسبی تحت اثر این متغیر به‌ترتیب برابر ۸۹۹ کیلوگرم در هکتار و ۳۰/۴۷ درصد مشاهده شد که ۶/۳۰ درصد از کل خلاء عملکرد مربوط به ۱۴ متغیر مورد بررسی بود (جدول ۴).

یافته‌های مربوط به متغیر کل نیتروژن مصرفی

نشان می‌دهد که ۲۵ درصد از مزارع خارج از حد بهینه بودند و حداقل حد بهینه برابر ۵۴ الی ۱۷۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. عملکرد بر اساس حد بهینه برای این متغیر برابر ۲۷۴۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که دارای خلاء عملکرد برابر ۶۸۹ کیلوگرم در هکتار (۴/۸۳ درصد) و عملکرد نسبی برابر ۷۴/۸۵ درصد بود. خلاء نسبی برای متغیر نیتروژن مصرفی نیز برابر ۲۵/۱۵ درصد بود (شکل ۱۴الف). عملکرد نسبی و خلاء نسبی مربوط به متغیر نیتروژن مصرفی در مرحله پایه نیز به‌ترتیب برابر ۷۰/۵۱ و ۲۹/۴۹ درصد حاصل شد (جدول ۴). حداقل حد بهینه برای نیتروژن پایه برابر ۵۹/۵۴ کیلوگرم در هکتار بود. این متغیر از تابع دو تکه‌ای منفی تبعیت کرد که نشان می‌دهد مصرف نیتروژن پایه تا ۵۹/۵۴ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره تأثیر منفی بر عملکرد نداشته و مقادیر بالاتر از ۵۹/۵۴ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش عملکرد شد. درصد مزارع خارج از حد بهینه برای این متغیر برابر چهار درصد بود. عملکرد بر اساس حد بهینه برابر ۲۹۰۹ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۸۵۸ کیلوگرم در هکتار معادل ۶/۰۱ درصد به‌دست آمد (جدول ۴؛ شکل ۱۴ب). طبق یافته‌های جدول ۴ مشاهده می‌شود که حداقل حد بهینه برای مصرف نیتروژن در دوره رشد رویشی برابر ۵۸ الی ۷۲ کیلوگرم در هکتار بود که از تابع سه تکه‌ای تبعیت کرد. درصد مزارع خارج از حد بهینه نیز تحت اثر این متغیر برابر ۸۵ درصد بود. عملکرد بر اساس حد بهینه و خلاء عملکرد به‌ترتیب برابر ۲۹۵۱ و ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که میزان خلاء عملکرد معادل ۶/۳۱ درصد از کل خلاء عملکرد بود (شکل ۱۴ج). عملکرد نسبی و خلاء نسبی برای متغیر مصرف نیتروژن در دوره رشد رویشی به‌ترتیب برابر ۶۹/۵ و ۳۰/۵ درصد به‌دست آمد (جدول ۴).

آنالیز خط مرزی برای متغیر مصرف نیتروژن بعد از گلدهی نشان داد که حداقل حد بهینه برابر ۶۵/۷ کیلوگرم در هکتار و درصد مزارع خارج از حد بهینه برابر ۷۴ درصد بود. عملکرد بر اساس حد بهینه برای متغیر مصرف نیتروژن بعد از گلدهی برابر ۲۶۶۷ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، خلاء عملکرد برابر ۶۱۶ کیلوگرم در هکتار معادل ۴/۳۲ درصد از کل به‌دست آمد (شکل ۱۴د). عملکرد نسبی مربوط به متغیر مصرف نیتروژن بعد از گلدهی برابر ۷۶/۹ درصد و خلاء نسبی این متغیر نیز برابر ۲۳/۱ درصد بود (جدول ۴).

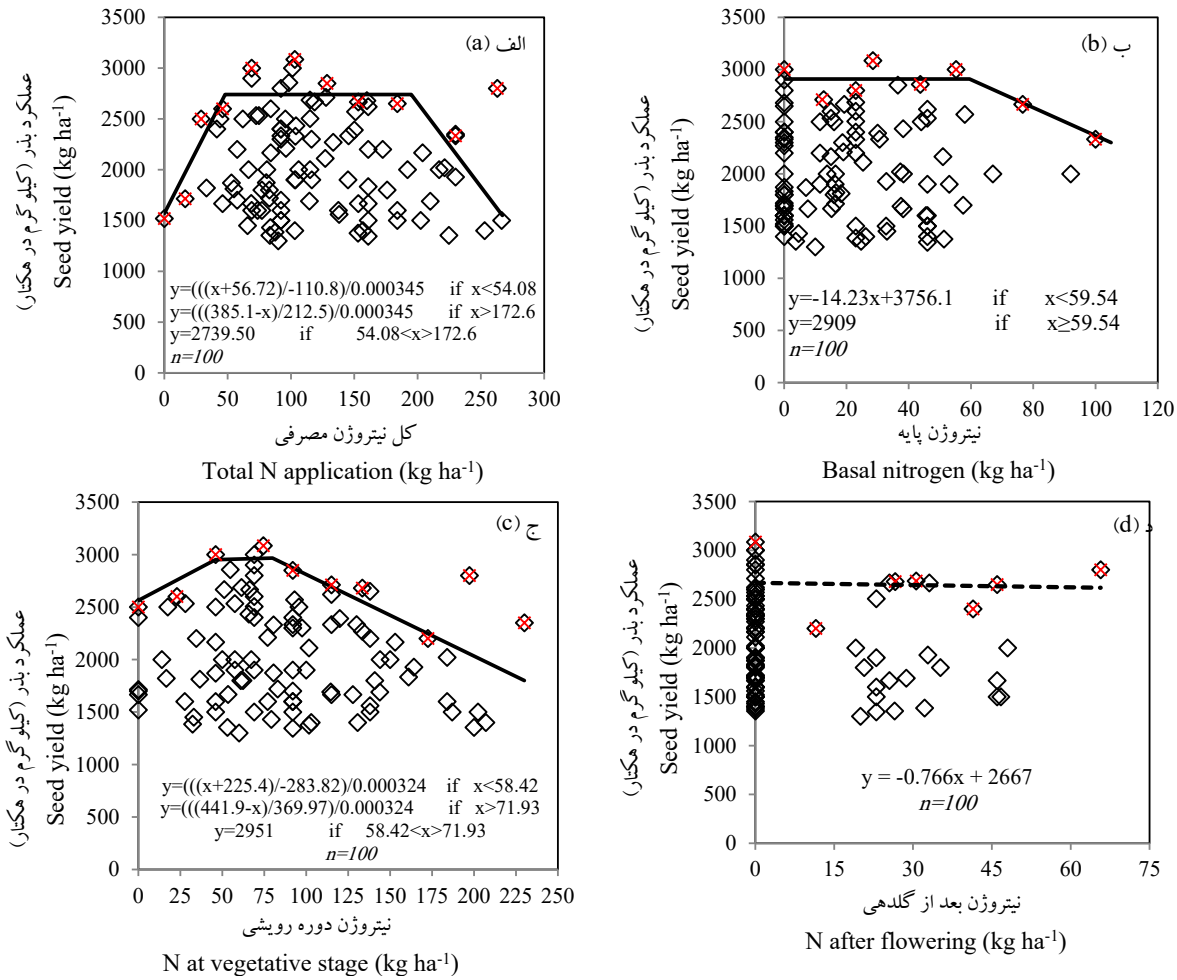
تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به متغیر آفت‌کش مصرفی نیز نشان می‌دهد که حداقل حد بهینه برابر صفر و درصد مزارع خارج از حد بهینه برابر ۲۷ درصد بود. عملکرد بر اساس حد بهینه برای این متغیر برابر ۳۰۱۴ کیلوگرم در هکتار و خلاء عملکرد برابر ۹۶۳ کیلوگرم در هکتار (۶/۷۵ درصد) بود. عملکرد نسبی و خلاء نسبی برای متغیر آفت‌کش مصرفی به‌ترتیب برابر ۶۸/۰۵ و ۳۱/۹۵ درصد برآورد شد (جدول ۴). آنالیز تابع خط مرزی مربوط به متغیر علف‌کش مصرفی نشان می‌دهد که ۴۴ درصد از مزارع خارج از حد بهینه بودند. حداقل حد بهینه مربوط به این متغیر برابر یک الی ۲/۹۶ کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار بود (جدول ۴).



شکل ۱۳- پراکنش داده‌های عملکرد بذر در مقابل متغیر سابقه تولید کشاورز (الف)، مساحت مزرعه (ب)، فسفر خالص مصرفی (ج) و پتاسیم خالص مصرفی (د) به همراه تابع خط مرزی.

Figure 13. Scatter plots for seed yield data vs production history (a), field area (b), phosphorous (kg ha^{-1}) (c), and potassium (kg ha^{-1}) (d) variables along with the fitted boundary-line

عملکرد بر اساس حد بهینه برای این متغیر برابر ۳۰۳۰ کیلوگرم در هکتار و با خلاء عملکرد ۹۷۹ کیلوگرم در هکتار (۶/۸۶ درصد از کل) به‌دست آمد. عملکرد نسبی و خلاء نسبی تحت اثر متغیر علف‌کش مصرفی به‌ترتیب برابر ۶۷/۶۹ و ۳۲/۳۱ درصد بود (جدول ۴). نتایج تابع خط مرزی مربوط به چهار متغیر مشکلات خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌های و علف‌های هرز به‌صورت هیچ (۰)، کم (۱)، متوسط (۲)، زیاد (۳) و خیلی زیاد (۴) رتبه‌بندی شد. یافته‌ها نشان داد که حداقل حد بهینه برای این چهار متغیر برابر صفر بود. درصد مزارع خارج از حد بهینه مربوط به چهار متغیر مشکلات خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به‌ترتیب برابر ۲۹، ۸، ۱۰ و ۶۴ درصد به‌دست آمد (جدول ۴). عملکرد بر اساس حد بهینه برای این چهار متغیر به‌ترتیب برابر ۲۹۴۶، ۳۵۸۷، ۳۸۸۵ و ۳۳۲۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. خلاء عملکرد چهار متغیر مورد بررسی نیز به‌ترتیب برابر ۸۹۵، ۱۵۳۶، ۱۸۳۴ و ۱۲۷۶ کیلوگرم در هکتار معادل ۶/۲۷، ۱۰/۷۶، ۱۲/۸۵ و ۸/۹۴ درصد بود. عملکرد نسبی مربوط به متغیرهای مشکلات



شکل ۱۴- پراکنش داده‌های عملکرد بذر در مقابل متغیر کل نیتروزن مصرفی (الف)، نیتروژن پایه (ب)، نیتروژن در دوره رشد رویشی (ج) و نیتروژن بعد از گلدهی (د) به همراه تابع خط مرزی.

Figure 14. Scatter plots for seed yield data vs total nitrogen application (a), basal nitrogen (b), nitrogen at vegetative stage (c) and nitrogen after flowering (d) variables along with the fitted boundary line.

خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌های و علف‌های هرز به‌ترتیب برابر ۶۹/۶۲، ۵۷/۱۸، ۵۲/۷۹ و ۶۱/۶۵ درصد و خلاء نسبی این چهار متغیر نیز به‌ترتیب برابر ۳۰/۳۸، ۴۲/۸۲، ۴۷/۲۱ و ۳۸/۳۵ درصد حاصل شد (جدول ۴). طبق یافته‌های تجزیه و تحلیل تابع خط مرزی مشاهده می‌شود که میانگین عملکرد بر اساس حد بهینه مربوط به ۱۴ متغیر مورد بررسی برابر ۳۰۷۰ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۱۰۱۹ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد نسبی و خلاء نسبی مربوط به ۱۴ متغیر مورد بررسی نیز به‌ترتیب برابر ۶۷/۵۱ و ۳۲/۵۰ درصد برآورد شد (جدول ۴).

روش‌های رگرسیونی چند متغیره اگرچه دارای مزایایی هستند اما همانند شرایط مزرعه توسط عوامل متعددی محدود می‌شوند که در روش آنالیز خط مرزی این موارد وجود ندارد و تنها اثر یک عامل یا محدودیت مورد بررسی قرار می‌گیرد (Shatar & Mcbratney, 2004). با تمام این تفاسیر می‌توان گفت که خلاء عملکرد محاسبه شده در این پژوهش به تعریف ارایه شده توسط محققان در مورد خلاء عملکرد قابل

جدول ۴- نتایج آنالیز خط مرزی به همراه محاسبه عملکرد دست‌یافتنی و خلاء عملکرد کلزا

Table 4. Boundary-line analysis along with the estimation of attainable yield and yield gap of rapeseed

متغیر Variable	واحد Unit	حداقل حد بهینه Minimum optimal level	درصد مزارع خارج از حد بهینه Out of optimal level (%)	عملکرد بر اساس حد بهینه Yield based on optimal level (kg ha^{-1})	عملکرد نسبی Relative yield (%)	خلاء عملکرد Yield gap (kg ha^{-1})	خلاء عملکرد نسبی Relative yield gap (%)	درصد خلاء عملکرد Yield gap (%)
سابقه تولید Production history	Year	2	10	2847	72.04	796	27.96	5.58
مساحت مزرعه Field area	ha^{-1}	0.88	67	3319	61.80	1268	38.20	8.89
نیتروژن Nitrogen	kg ha^{-1}	54-173	25	2740	74.85	689	25.15	4.83
فسفر Phosphorous	kg ha^{-1}	66.2	12	2811	72.96	760	27.04	5.33
پتاسیم Potassium	kg ha^{-1}	35.38	23	2950	69.53	899	30.47	6.30
نیتروژن پایه Basal nitrogen	kg ha^{-1}	59.54	4	2909	70.51	858	29.49	6.01
نیتروژن در رشد رویشی N at vegetative stage	kg ha^{-1}	58-72	85	2951	69.50	900	30.50	6.31
نیتروژن بعد از گلدهی N after flowering	kg ha^{-1}	65.7	74	2667	76.90	616	23.10	4.32
آفت‌کش مصرفی (کیلوگرم ماده مؤثره) Pesticide (kg active ingredient)	kg ha^{-1}	0	27	3014	68.05	963	31.95	6.75
علف‌کش مصرفی (کیلوگرم ماده مؤثره) Herbicide (kg active ingredient)	kg ha^{-1}	1-2.96	44	3030	67.69	979	32.31	6.86
مشکل خوابیدگی بوته Lodging problem	*	1	29	2946	69.62	895	30.38	6.27
مشکل آفات Pests problem	*	1	8	3587	57.18	1536	42.82	10.76
مشکل بیماری‌ها Diseases problem	*	1	10	3885	52.79	1834	47.21	12.85
مشکل علف‌های هرز Weeds problem	*	1	64	3327	61.65	1276	38.35	8.94
میانگین Mean	-	-	-	3070	67.51	1019	32.50	100

*: مشکل خوابیدگی بوته، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به‌ترتیب عبارتند از: هیچ (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴) و خیلی زیاد (۵).

* The problem of plant lodging, pests, diseases, weeds was: none (1), low (2), medium (3), high (4) and very high (5), respectively.

*: متوسط عملکرد بذر در ۱۰۰ مزرعه برابر ۲۰۵۱ کیلوگرم در هکتار بود.

*: The average yield in 100 fields was 2051 kg ha^{-1}.

بهره‌برداری نزدیک بوده و اختلاف بین عملکرد واقعی و عملکرد قابل حصول با توجه به شرایط محیطی منطقه را نشان می‌دهد (Connor *et al.*, 2011). یکی از محدودیت‌های این پژوهش تعداد سال‌های اجرای آن است؛ هرچه تعداد سال انجام یک مطالعه بیشتر باشد تخمین تأثیر نوسانات اقلیمی و آب و هوایی دقیق‌تر است (Egli & Hatfield, 2014; Lobell *et al.*, 2009). برای کاهش خلاء عملکرد مشخص کردن محدودیت‌های عملکرد در یک ناحیه خاص ضروری است (Van Ittersum *et al.*, 2013)؛ آنالیز خط مرزی استفاده شده در این تحقیق علاوه بر برآورد میزان خلاء عملکرد؛ دلایل این خلاء و یا محدودیت‌های عملکرد را نشان می‌دهد. یکی از مزایای این روش آنالیز بر خلاف روش‌های مبتنی بر مدل‌های رگرسیونی چند متغیره این است که نیاز به انجام پروسه اولیه انتخاب متغیر ندارد. علاوه بر این، تفسیر نتایج نیز نسبت به مدل‌های رگرسیونی چند متغیره ساده‌تر است (Shatar & Mcbratney, 2004).

نتیجه‌گیری

در روش تحلیل مقایسه کارکرد، کل خلاء عملکرد تخمین زده شده برابر ۱۷۲۵ کیلوگرم در هکتار بود که سهم متغیرهای مصرف کود سرک نیتروژن و پتاسیم به‌ترتیب برابر ۴۶۲ و ۲۹۴ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۷ و ۱۷ درصد از کل خلاء عملکرد بود. سهم مربوط به اثر پیش‌کاشت سویا، تعداد دفعات مصرف علف‌کش، مصرف نیتروژن در مرحله گلدهی و مشکل علف هرز نیز به‌ترتیب معادل ۱۰، ۲۴، ۱۰ و ۱۲ درصد از کل خلاء عملکرد بود. لذا، با مدیریت صحیح متغیرهای وارد شده در معادله تولید می‌توان بخش قابل توجهی از خلاء عملکرد کلزا را در منطقه نکا کاهش داد.

در روش آنالیز خط مرزی، میانگین عملکرد بر اساس حد بهینه مربوط به ۱۴ متغیر مورد بررسی برابر ۳۰۷۰ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد ۱۰۱۹ کیلوگرم در هکتار بود. سهم نیتروژن، فسفر و پتاسیم قبل از کاشت (پایه) از کل خلاء عملکرد در این روش به‌ترتیب برابر ۶/۰۱، ۵/۳۳ و ۶/۳۰ درصد از کل بود. همچنین، مصرف نیتروژن در دوره رشد رویشی و نیتروژن پس از گلدهی به‌ترتیب معادل ۶/۳۱ و ۴/۳۲ درصد از کل خلاء عملکرد ناشی از این روش را شامل شدند. بیشترین سهم متعلق به مشکل بیماری، آفات و علف هرز بود که به‌ترتیب ۱۰/۷۶، ۱۲/۸۵ و ۸/۹۴ درصد از کل خلاء عملکرد را شامل شدند. استفاده از آنالیز خط مرزی در مطالعه‌های خلاء عملکرد می‌تواند به روشنی پاسخ‌های عملکرد به عوامل مدیریتی را نشان داده و پتانسیل‌های ممکن را محاسبه کند.

در برآورد پتانسیل عملکرد کلزا، درصد ریزش بذر و عوامل مدیریتی خاک از متغیرهای تأثیرگذار در ایجاد خلاء عملکرد است که در این پژوهش مورد بررسی قرار نگرفتند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعه‌های آینده عوامل مدیریتی خاک و درصد ریزش بذر با لحاظ کردن نوع رقم و همچنین در نظر گرفتن شرایط مدیریتی اعم از نوع کمباین، نوع هد کمباین و زمان رسیدن محصول، در تخمین خلاء عملکرد توسط محققان محاسبه شود.

References

Abravan, P., Soltani, A., Majidian, M., and Mohsenabadi, G.H. 2016. Factors limiting canola yield and determining their optimum range by boundary line analysis. *The Journal of Multidisciplinary Science and Technology, 7(8)*: 161-167.

Agriculture Organization of Mazandaran. 2017. Annual agricultural statistics. Available online at: www.jkmaz.ir. 2017/04/12

Anderson, W., Johansen, C., Kadambot, H., and Siddique, M. 2016. Addressing the yield gap in rainfed crops: a review. *Agronomy for Sustainable Development, 36*: 18-30.

Atlas of Gates. 2013. Complete world today guide. Institute of geography and cartography of Gates. Centre of research and compilation of Gate. 112 pp.

Basalma, D. 2008. The correlation and path analysis of yield and yield components of different winter rapeseed (*Brassica napus* ssp. oleifera L.) cultivars. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 4 (2)*: 120-125.

Beza, E., Silva, J.V., Kooistra, L., and Reidsma, P. 2017. Review of yield gap explaining factors and opportunities for alternative data collection approaches. *European Journal of Agronomy, 82*: 206-222.

Chapagain, T., and Good, A. 2015. Yield and production gaps in rainfed wheat, barley, and canola in Alberta. *Frontiers in Plant Science,* 6: 990-998.

Cochran W. 1977. Sampling Techniques 3rd Edition, Wiley publishers, New York.

Connor, D.J., Loomis, R.S., and Cassman, K.G. 2011. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press. 556 p.

Dastan, S., Soltani, A., and Alimagham, M. 2017. Documenting the process of local rice varieties production in two conventional and semi-mechanized planting methods in Mazandaran province. *Cereal Research, 7(4):* 485-502.

De Bie, C.A.J.M. 2000. Yield gap studies through comparative performance analysis of agro-ecosystems. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede. The Netherlands, 234 p.

De Paepe, J. L., and Alvarez, R. 2016. Wheat yield gap in the Pampas: Modeling the impact of environmental factors. *Agronomy Journal, 108(4)*: 1367-1378.

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

FAO. 2015a. Trade and market division food outlook. Available online: www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Oilcrops/Documents/Food_outlook_oilseeds/FO_May_2015.pdf (accessed on 10 November 2015).

FAO. 2015b. Yield gap analysis of field crops methods and case studies. website:

www.fao.org/publications.

Fischer, R.A. 2015. Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. *Field Crops Research, 182:* 9-18.

Gaydon, D.S., Balwinder-Singh B, E., Wang, E., Poulton, P.L., Ahmad, B., Ahmed, F., Akhter, S., Ali, I., Amarasingha, R., Chaki, A.K., Chen, C., Choudhury, B.U., Darai, R., Das, A., Hochman, Z., Horan, H., Hosang, E.Y., Vijaya Kumar, P., Khan, A.S.M.M.R., Laing, A.M., Liu, L., Malaviachichi, M.A.P.W.K., Mohapatra, K.P., Muttaleb, M.A., Power, B., Radanielson, A.M., Rai, G.S., Rashid, M.H., Rathanayake, W.M.U.K., Sarker, M.M.R., Sena, D.R., Shamim, M., Subash, N., Suriadi, A., Suriyagoda, L.D.B., Wang, G., Wang, J., Yadav, R.K., and Roth, C.H. 2017. Evaluation of the APSIM model in cropping systems of Asia. *Field Crops Research, 204*: 52-75.

Gorjizad, A., Dastan, S., Soltani, A., 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)*: DOI: 10.22067/jag.v11i1.67430. (In Persian with English summary)

Grassini, P., Torrion, J. A., Yang, H. S., Reea, J., Andersen, D., Cassman, K.G., and Specht, J.E. 2015. Soybean yield gaps and water productivity in the western U.S. Corn Belt. *Field Crops Research, 179*: 150-163.

Guilpart, N., Grassini, P., Sadras, V.O., Timsina, J., and Cassman, K.G. 2017. Estimating yield gaps at the cropping system level. *Field Crops Research, 206:* 21-32.

Haghshenas, H., Soltani, A., Ghanbari, A., Ajam Norouzi, H., and Dastan, S., 2018. Identification of effective agronomic traits on yield of local rice cultivars using multiple regression models. *Journal of Agroecology, 8(2):* 13-28. (In Persian)

Hajjarpour, A., Soltani, A., and Torabi, B. 2015. Using boundary-line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production, 8(4)*: 183-201. (In Persian with English summary)

Hajjarpour, A., Soltani, A., Zeinali, E., Kashiri, E., and Aynehband, A. 2017. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) yield gap in Golestan province of Iran using comparative performance analysis method. *Iranian Journal of Crop Sciences, 19(2)*: 86-101. (In Persian with English summary).

Halalkhor, S., Dastan, S., Soltani, A., and Ajam Norouzi, H. 2018. Documenting the process of rice production and yield gap associated with crop management in local cultivars of rice production (case study: Mazandaran province, Babol region). *Agricultural Crop Management, 20(2)*: 397-414. (In Persian with English summary)

Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H., and Garcia, J.N. 2016. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Research, 197:* 97-106.

Leonidas, J.C. 1986. Standard deviation vs. standard error. *Journal of Ultrasound Med, 5(5)*: 294.

Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review and of Environment and Resources, 34:* 179-204.

Mann, M.L., and Warner, J. 2017. Ethiopian wheat yield and yield gap estimation: A spatially explicit small area integrated data approach. *Field Crops Research, 201*: 60-74.

Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. 2017. Annual Agricultural Statistics of 2015-16. www.maj.ir. 2017/03/12

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)*: 109-123. (In Persian with English summary)

Nekahi, M. R., Soltani, A., Siahmarguee, A., and Bagherani, N. 2014. Yield gap associated with crop management in wheat: (Case study: Golestan Province-Bandar-gaz). *Electronic Journal Crop Production, 7 (2)*: 135-156. (in Persianwith English summary)

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*: 1329-1339.

Rees, H., McClelland b, T., Hochman, Z., Carberry, P., Hunt, J., Huth, N., and Holzworth, D. 2014. Leading farmers in South East Australia have closed the exploitable wheat yield gap: Prospects for further improvement. *Field Crops Research, 164*: 1-11.

Rezaei, A., and Soltani, A. 1998. An introduction to applied regression analysis, 4th. Isfahan University of Technology. Esfahan. (In Persian)

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

Shi, Y.Z., Xiao, H.Z., Xiao, L.Q., Liang, T., Yan, Z., Wei-xing, C., and Lei-lei, L. 2017. Quantifying the spatial variation, the potential productivity and yield gap of winter wheat in china. *Journal of Integrative Agriculture, 16(4)*: 845-857.

Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E. 2000. Analysis of limitations contained in wheat production in Golestan province (Research Report). Management and Planning Organization of Golestan province. (In Persian).

Soltani, A., Hajjarpoor, A., and Vadez, V., 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops Research, 185*: 21-30.

Streiner, D.L. 1996. Maintaining standards: differences between the standard deviation and standard error, and when to use each. *Canadian Journal of Psychiatry, 41(8)*: 489-502.

Tamene, L., Mponela, P., Ndengu, G., and Kihara, J. 2015. Assessment of maize yield gap and major determinant factors between smallholder farmers in the Dedza district of Malawi. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, DOI 10.1007/s10705-015-9692-7

Tanaka, A., Diagne, M., and Saito, K. 2015. Causes of yield stagnation in irrigated lowland rice systems in the Senegal River Valley: Application of dichotomous decision tree analysis. *Field Crops Research, 176*: 99-107.

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Soltani, E., 2011. Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *Journal of Plant Production, 4(4*): 1-17. (In Persian with English summary)

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Soltani, E., 2012. Documenting the process of wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production, 19(4)*: 19-42. (in Persian with English summary)

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., and Kazemi Korgehei, M. 2013. Ranking factors causing the wheat yield gap in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production, 6(1)*: 171-189. (In Persian with English summary)

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*: 4-17.

Yousefian, M., Dastan, S., Soltani, A., and Ajam Norouzi, H. 2018. Estimation of yield gap in local rice cultivars by using CPA and BLF methods (case study: Mazandaran province, Sari region). *Journal of Crop Management, 10(3)*: 265-288. (in Persian with English summary)

Evaluation of yield gap associated with crop management in rapeseed productionusing comparative performance analysis (CPA)and boundary-line analysis (BLA) methods in Neka region

S. E. Nezamzadeh[1], A. Soltani[2*], S. Dastan[3], H. Ajam Norouzi[4]

1. Ph.D student of Islamic Azad University, Gorgan, Iran.
2. Professor of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (Corresponding author)
3. Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj.
4. Assistant Professor of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: April 2017 - Accepted: August 2019 - DOI: 10.22092/aj.2019.120656.1251

Extended Abstract

Nezamzadeh, S. E., Soltani, A., Dastan, S., Ajam Norouzi, H., Evaluation of yield gap associated with crop management in rapeseed productionusing comparative performance analysis (CPA) and boundary-line analysis (BLA) methods in Neka region
Applied Research in Field Crops Vol 32, No. 02, 2019- Page: 13-15: 76-107(in Persian)

Introduction: Since projections show that the world's population will surpass nine billion by 2050, future world food security depends on the adequate food production for the world's burgeoning population. Achieving food security under the current circumstances depends on the realization of the crop potential yield in the field (Hochman *et al.,* 2016). Hence, improving the crop yield is necessary in view of the increasing pressure and global demands for food. On the other hand, loss of high quality land, annual decline in crop yield, increased use of chemical fertilizers and the adverse environmental impact of chemical inputs indicate that the development of new strategies to increase yield with minimum environmental impact is necessary (Chapagain & Good, 2015). Moreover, ensuring environmental sustainability can lead to change in agricultural management practices (Gaydon *et al.,* 2017). As noted, many factors prevent farmers from achieving the attainable crop yield. It seems that, by determining the effect of each management-related factor on the amount of yield gap, and consequently, the knowledge of the farmers, it is possible to minimize the yield gap between the actual yield and the achievable yield. Therefore, this research was conducted with the aim to determine and rank the factors contributing to the rapeseed yield gap under the climate of Neka region, Mazandaran province in Iran.

Email address of the corresponding author: afsoltani@yahoo.com

Material and Methods: The research was carried out in 100 rapeseed fields in Neka, Mazandaran province, Iran from 2015-16 to 2016-17. Most of the management practices from seedbed preparation to harvest were recorded through field studies. Field identifications were done in a way that included all the main production procedure in the specific region with variation in management view point. The final CPA model, the average paddy yield was calculated by the model by placing the observed average variables (Xs) in the fields under study in the yield model. Thereafter, by putting the best observed value of the variables in the yield model, the maximum attainable yield was calculated. The difference between these two was considered as yield gap. In the boundary line analysis (BLA), by plotting scatter plot for the actual yield in the region as a dependent variable against independent variables (14 important and first-grade variables), a function was fitted into the upper edge of the data dispersion.

Results and Discussion: With approximately 150 variables under the study, the final model with seven independent variables including soybean pre-sowing, rice pre-sowing, top dressing, potassium application, nitrogen application at vegetative stage, herbicide and pesticide application frequency and weed problem were plotted against the depended variable of paddy yield. The yield gap caused by top dressing and potassium application was 462 and 294 $kgha^{-1}$, which, respectively, contributed 27% and 17% to the total yield gap. The yield gap related to the effect of soybean pre-sowing and herbicide application frequency was 170 and 411 $kgha^{-1}$, which, respectively, contributed 10% and 24% to the total yield gap. In yield model constructed by CPA method, the actual yield and calculated potential yield were 2394 and 4119 $kgha^{-1}$, respectively. The total yield gap was estimated to be 1725 $kgha^{-1}$. According to the BAL method, the average yield, based on the optimum level of the 14 studied variables, was 3070 $kgha^{-1}$ with a 1019 $kgha^{-1}$ yield gap per hectare. The average relative yield and relative yield gap for the 14 investigated variables were 67.51% and 32.50% respectively.

Conclusion: Among the seven variables entered in the model, the effects of potassium consumption, soybean pre-sowing, top dressing and herbicide application frequency were remarkable. Therefore, a significant part of the yield gap can be compensated by managing potassium application rates and employing integrated pest control. The findings of this study show that the model precision is accurate and can be applied for both the estimation of the quantity of yield gap and the determination of the portion of each limiting yield variable. It can be concluded that the use of BLA in yield gap studies can clearly show the yield responses to management factors and calculate the possible potentials. Thus, appropriate management of cultivation practices in the fields can lead to increased yield and

reduced yield gap.

Keywords: Attainable yield, canola, comparative performance analysis, boundary-line analysis, management factors

References

Chapagain, T., and Good, A. 2015. Yield and production gaps in rainfed wheat, barley, and canola in Alberta. *Frontiers in Plant Science,* 6: 990-998.

Gaydon, D.S., Balwinder-Singh B, E., Wang, E., Poulton, P.L., Ahmad, B., Ahmed, F., Akhter, S., Ali, I., Amarasingha, R., Chaki, A.K., Chen, C., Choudhury, B.U., Darai, R., Das, A., Hochman, Z., Horan, H., Hosang, E.Y., Vijaya Kumar, P., Khan, A.S.M.M.R., Laing, A.M., Liu, L., Malaviachichi, M.A.P.W.K., Mohapatra, K.P., Muttaleb, M.A., Power, B., Radanielson, A.M., Rai, G.S., Rashid, M.H., Rathanayake, W.M.U.K., Sarker, M.M.R., Sena, D.R., Shamim, M., Subash, N., Suriadi, A., Suriyagoda, L.D.B., Wang, G., Wang, J., Yadav, R.K., and Roth, C.H. 2017. Evaluation of the APSIM model in cropping systems of Asia. *Field Crops Research, 204*: 52-75.

Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H., and Garcia, J.N. 2016. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Research, 197:* 97-106.