

## **Estimation of Yield Gap of Rice by Comparative Performance Analysis (CPA) in Amol and Rasht Regions**

Ebrahim Habibi<sup>1</sup>, Yosoof Niknezhad<sup>2\*</sup>, Hormoz Fallah<sup>3</sup>, Salman Dastan<sup>4</sup> and Davood Barari Tari<sup>5</sup>

- 1- Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
- 2- **\*Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran (yousofniknejad@gmail.com)
- 3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran
- 4- Postdoctoral Research Scholar, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran
- 5- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

Received: 31 July, 2018

Accepted: 6 February, 2019

### **Abstract**

#### **Background and Objectives**

Rice (*Oryza sativa* L.) is the staple food of more than half of the world's population and has an important role in feeding, income and job creation in the world, especially Iran. Yield gap analysis provides little estimation of increased production capacity which is an important component in designing food-providing strategy in regional, national and global scales. The existing heated discussions regarding food security have increased the number of necessary studies that estimate the quantity of yield gap and the reasons behind it through appropriate statistical methods in Iran and the rest of the world. It seems that by defining the effectiveness of each management parameter regarding the amount of presented yield gap and, consequently, the farmer's knowledge on that matter the distance between actual yield and attainable yield can be reduced. In this research, estimation of potential yield, yield gap, and determining yield restricting factors and each of their portions in creating rice yield gap have been investigated.

#### **Materials and Methods**

Research was done in 100 paddy fields in Amol and Rasht regions in 2016 and 2017. All managerial practices from nursery preparation to harvest for local rice cultivars were recorded through fields monitoring. Field selection was done in a way that included all main production procedures with variation in management viewpoint. To define yield model, the relationship between all measured variables and the final model was designed by controlled trial and error method, which could quantify the effect of yield limitations. The average yield was calculated 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 obtainable yield was calculated. The difference between these two has been considered yield gap. Different procedures of the software SAS version 9.1 were used for analysis.

#### **Results**

Data analysis revealed that from 155 variables under study, the final model in Amol and Rasht regions with seven and six independent variables was chosen. In Amol yield model, maximum

and average yield were 4798 and 6505 kg ha<sup>-1</sup>, respectively that estimated yield gap was 1707 kg ha<sup>-1</sup>. In Rasht yield model, maximum and average yield were 4443 and 6377 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, which estimated that yield gap was 1934 kg ha<sup>-1</sup>. In Amol region, the amount of increased yield related to transplanting date, top-dressing and nitrogen after flowering variable was 364, 292 and 416 kg ha<sup>-1</sup> which equals to 21, 17 and 24 percent of total yield increase. In Rasht region, the yield increase related to the effect of potassium and nitrogen before transplanting, and N after flowering was 644, 325 and 730 kg ha<sup>-1</sup> which equals to 33, 17 and 38 percent.

### **Discussion**

According to the findings, we suggest that the model precision is appropriate and can be applied for both estimating the quantity of yield gap and determining the portion of each constraints yield variables. Furthermore, considering the fact that the calculated yield potential is reached through actual data in each paddy field, it is suggested that this yield potential is attainable.

**Keywords:** Cultivar, Documentation, Field management, Potential yield, Relative yield

## برآورد خلأ عملکرد برنج با استفاده از روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) در آمل و رشت

ابراهیم حبیبی<sup>۱</sup>، یوسف نیک‌نژاد<sup>۲\*</sup>، هرمز فلاح<sup>۳</sup>، سلمان دستان<sup>۴</sup> و داود براری تازی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، واحد آیت‌الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

۲- \*نویسنده مسئول: استادیار، گروه زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، واحد آیت‌الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران  
(yousofniknejad@gmail.com)

۳- استادیار، گروه زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، واحد آیت‌الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

۴- پژوهشگر پسا دکتری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، ایران

۵- استادیار، گروه زراعت، دانشکده علوم کشاورزی، واحد آیت‌الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۹

### چکیده

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. لذا، هدف از این پژوهش، برآورد خلأ عملکرد ارقام محلی برنج به روش تحلیل مقایسه کارکرد (CPA) بود. در این پژوهش تمامی عملیات‌های مدیریتی انجام‌شده از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت برای ارقام محلی برنج از طریق مطالعات میدانی در منطقه آمل واقع در استان مازندران و منطقه رشت در استان گیلان طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ ثبت شد. برای تعیین مدل عملکرد (تولید)، رابطه بین تمامی متغیرها و عملکرد شلتوک از طریق رگرسیون گام‌به‌گام بررسی شد. خلأ عملکرد نیز از تفاضل پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی به دست آمد. نتایج نشان داد از حدود ۱۵۵ متغیر مورد بررسی، مدل نهایی در منطقه آمل و رشت به ترتیب با هفت و شش متغیر مستقل انتخاب شد. متوسط عملکرد واقعی ثبت‌شده در دو منطقه آمل و رشت به ترتیب برابر ۴۸۲۱ و ۴۴۶۷ کیلوگرم در هکتار بود. در معادله تولید منطقه آمل، متوسط و حداکثر عملکرد به ترتیب ۴۷۹۸ و ۶۵۰۵ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که کل خلأ عملکرد برابر ۱۷۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. در معادله تولید منطقه رشت، متوسط و حداکثر عملکرد به ترتیب ۴۴۴۳ و ۶۳۷۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که کل خلأ عملکرد برآورد شده برابر ۱۹۳۴ کیلوگرم در هکتار بود. در منطقه آمل، میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیرهای تاریخ نشاکاری، تعداد دفعات مصرف سرک و نیتروژن بعد از گلدهی به ترتیب برابر ۳۶۴، ۲۹۲ و ۴۱۶ کیلوگرم در هکتار سهمی معادل ۲۱، ۱۷ و ۲۴ درصد از کل خلأ عملکرد را شامل شدند. همچنین، متغیرهای تناوب زراعی، ضدعفونی بذر و برداشت با کمباین از نظر خلأ عملکرد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در منطقه رشت، میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیرهای مصرف پتاسیم، نیتروژن قبل از نشا و نیتروژن بعد از گلدهی به ترتیب با ۶۴۴، ۳۲۵ و ۷۳۰ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد سهمی معادل ۳۳، ۱۷ و ۳۸ درصد از کل را نشان دادند. بنابراین، بر اساس برآزش رابطه بین عملکرد مشاهده‌شده و عملکرد پیش‌بینی‌شده می‌توان بیان کرد که دقت مدل (معادله تولید) مناسب بوده و می‌تواند برای برآورد میزان خلأ عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدود کننده عملکرد به کار گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: پتانسیل عملکرد، رقم، عملکرد نسبی، مدیریت مزرعه، مستندسازی

### مقدمه

بیشترین سطح زیرکشت اراضی کشاورزی را در جهان داشته و به‌عنوان غذای اصلی میلیون‌ها نفر در جهان بوده

برنج از قدیمی‌ترین گیاهانی است که پس از گندم

و نقش بارزی در تغذیه، درآمد و اشتغال‌زایی مردم جهان از جمله ایران دارد (FAO, 2016). کشور ایران نیز با حدود ۵۵۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و تولید دو میلیون تن برنج سفید سهمی معادل ۰/۴ درصد از سطح زیر کشت و تولید برنج دنیا را به خود اختصاص می‌دهد که حدود ۷۵ درصد در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان و نزدیک به ۲۵ درصد از اراضی شالیزاری باقی‌مانده در ۱۳ استان دیگر با شرایط آب و هوایی متفاوت قرار دارد (Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran, 2016).

یکی از مشکلات اساسی تولید گیاهان زراعی در ایران، اختلاف زیاد بین عملکرد واقعی مزرعه و عملکرد قابل حصول است. آنالیز خلأ عملکرد تخمین کمی افزایش ظرفیت تولید را فراهم می‌کند که جزء مهمی در طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و در سطح جهانی است (Van Wart et al., 2013). در واقع، خلأ عملکرد اختلاف بین عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی مزرعه تحت شرایط مطلوب مدیریتی تعریف می‌شود (Lobell et al., 2009). به عبارت دیگر، در یک منطقه مشخص خلأ عملکرد عبارت از اختلاف بین عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی به‌دست آمده در مزارع کشاورزان آن منطقه است (Van Ittersum et al., 2013). تحلیل مقایسه کارکرد (Comparative Performance Analysis (CPA)) یکی از روش‌هایی است که برای برآورد خلأ عملکرد استفاده می‌شود. با استفاده از این روش محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمی شده برای خلأ عملکرد تعیین می‌شود. در روش CPA با استفاده از رگرسیون چند گانه و با روش گام‌به‌گام (Soltani et al., 2016)، محدودیت‌های عملکرد و مدل تولید مشخص می‌شود. در واقع، با استفاده از معادله تولید و مقادیر مؤلفه‌های مدل سهم هر یک از محدودیت‌ها در ایجاد خلأ عملکرد مشخص می‌شود (De Bie, 2000).

در سال‌های اخیر، آنالیز خلأ عملکرد گیاهان زراعی به‌صورت گسترده‌ای در جهان مورد بررسی قرار گرفته که از نظر وسعت می‌توان آن‌ها را در سطوح جهانی (Van Ittersum et al., 2013)؛ ملی (Hochman et al.,

2013)؛ و منطقه‌ای (Liu et al., 2016) قرار داد که بیش‌تر این پژوهش‌ها روی سه غله اصلی گندم، برنج و ذرت که تأمین‌کننده بخش زیادی از غذای بشر هستند، متمرکز بود (Beza et al., 2017). دیگر محققان نیز از طریق مطالعه مروری تحقیقات انجام‌شده در جهان به آنالیز نظام‌های کاشت گیاهان زراعی برای افزایش پایداری پرداختند (Reidsma and Jeuffroy, 2017). از مهم‌ترین مطالعه‌های انجام‌شده در زمینه آنالیز خلأ عملکرد برنج در جهان می‌توان به آنالیز خلأ عملکرد با استفاده از روش CPA توسط برخی محققان اشاره کرد (Kayiranga, 2006).

محققان با بررسی خلأ عملکرد ارقام محلی برنج به روش CPA در منطقه بابل گزارش کردند پتانسیل عملکرد برابر ۶۴۸۹ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که خلأ عملکرد نیز برابر ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار بود. آن‌ها گزارش کردند بیش‌ترین مقدار خلأ عملکرد برای دو متغیر مصرف نیتروژن قبل از نشاکاری و بعد از گلدهی به‌ترتیب با ۳۵۵ و ۶۱۹ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۸ و ۳۱ درصد حاصل شد (Halalkhor et al., 2018). دیگر محققان با تخمین خلأ عملکرد ارقام محلی برنج به روش CPA در منطقه ساری بیان کردند عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد محاسبه شده به‌ترتیب برابر ۴۴۹۵ و ۶۳۳۷ کیلوگرم در هکتار و میزان خلأ عملکرد برابر ۱۸۴۱ (Yousefian et al., 2018). همچنین، در مطالعه دیگر با برآورد خلأ عملکرد ارقام اصلاح‌شده برنج به روش CPA در منطقه نکا گزارش شد پتانسیل عملکرد محاسبه‌شده برابر ۹۲۴۱ کیلوگرم در هکتار و کل خلأ عملکرد تخمین زده شده برابر ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. متغیرهای تناوب زراعی، بذر گواش‌شده، کود سرک، کود پتاسیم، نیتروژن بعد از گلدهی، محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها، پیش‌کاشت کلزا و تاریخ بذرپاشی در خزانه وارد معادله تولید شدند که متغیرهای مصرف کود سرک، پتاسیم، نیتروژن بعد از گلدهی و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها به‌ترتیب با افزایش ۳۲۷، ۶۷۴، ۳۲۴ و ۲۱۴ کیلوگرم در هکتار

مازندران (۱۰۰ مزرعه) و منطقه رشت واقع در استان گیلان (۱۰۰ مزرعه) به صورت پیمایشی و از طریق مطالعات میدانی ثبت شد. برای تعیین تعداد مزارع (نمونه) از فرمول کوکران استفاده شده است (Torabi et al., 2013). تمامی مزارع مورد مطالعه متعلق به ارقام بومی یا محلی بود.

برای انجام پژوهش، ابتدا مزارع به طور تصادفی شناسایی و انتخاب شدند. شیوه شناسایی مزارع به شکلی بود که تمامی روش‌های تولید را در منطقه پوشش داده و از لحاظ مدیریتی نیز دارای تنوع باشد. سپس، برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مدیریت مزرعه، ابتدا کلیه عملیات 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 به منظور تهیه اطلاعات جامع‌تر، اطلاعات بارز عملیات زراعی از قبیل تاریخ شروع هر عملیات و میزان ورودی‌ها در هر مرحله از اجرا (کاشت تا برداشت) در مزارع جمع‌آوری و ثبت شد.

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. تمامی اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی شامل عملیات تهیه بستر بذر (نوع، تعداد و زمان شخم، دیسک و غیره)، رقم مورد استفاده و محل تهیه بذر آن، زمان کاشت، کود (نوع کود، میزان کود و زمان مصرف)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، آبیاری (تعداد و زمان آبیاری) و مسائل مربوط به برداشت (زمان برداشت و میزان عملکرد) جمع‌آوری شد. این اطلاعات در قالب پرسشنامه به صورت پایش مزارع جمع‌آوری و تکمیل شد. در پایان فصل رشد میزان عملکرد واقعی در هر مزرعه بر اساس رطوبت ۱۴ درصد ثبت شد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تعیین مدل عملکرد (تولید)، رابطه بین تمامی متغیرهای اندازه‌گیری شده (کمی و کیفی؛ متغیرهای کیفی به صورت صفر و یک کدگذاری شد) و عملکرد از طریق

معادل ۱۶، ۳۳، ۱۶ و ۱۰ درصد بیش‌ترین تأثیر را بر خلأ عملکرد داشتند (Gorjizad et al., 2019).

مطالعه‌های انجام شده نشان می‌دهد اولین قدم برای کاهش خلأ عملکرد، مشخص کردن متغیرهای مهم محدودکننده تولید است. شناخت متغیرهای محدودکننده عملکرد می‌تواند محققان را در کاهش خلأ عملکرد یاری دهد. کاهش خلأ عملکرد نه تنها به افزایش عملکرد و تولید کمک می‌کند، بلکه کارایی استفاده از زمین و نیروی انسانی را بهبود می‌بخشد که نتیجه آن کاهش هزینه تولید و افزایش پایداری تولید است. لذا، با توجه به این که استان مازندران و گیلان بیشترین سطح زیرکشت و تولید برنج در کشور متعلق به دو استان مازندران و گیلان است، مستندسازی فرآیند تولید و برآورد خلأ عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی برنج در این دو استان ضرورت دارد.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت جغرافیایی و اقلیم منطقه

شهرستان آمل واقع در جلگه مازندران و دامنه رود هراز در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی با ارتفاع ۷۶ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد. این منطقه بر اساس ویژگی‌های دما، بارش و توپوگرافی منطقه به دو نوع آب و هوای معتدل خزری و آب و هوای کوهستانی تقسیم می‌شود. شهرستان رشت تقریباً در مرکز جلگه گیلان، در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی با ارتفاع حدود پنج متر از سطح دریای آزاد قرار دارد.

#### جمع‌آوری داده‌ها

مستندسازی فرآیند تولید در کشاورزی شامل تهیه تمامی اطلاعات و فعالیت‌هایی است که سیر تولید یک محصول از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت را نشان می‌دهد (Dastan et al., 2015). به این منظور در این پژوهش تمامی عملیات مدیریتی انجام شده از مرحله شخم اولیه و تهیه خزانه تا برداشت در منطقه آمل واقع در استان

۳۲۰۰ الی ۵۸۷۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. عملکرد شلتوک حدود ۴۰ درصد از مزارع مورد بررسی در منطقه آمل بین ۳۳۰۰ الی ۴۶۵۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. همچنین، در ۳۰ درصد از مزارع مورد بررسی عملکرد شلتوک بین ۴۶۵۰ الی ۵۱۸۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. عملکرد شلتوک ۳۰ درصد باقی مانده از مزارع مورد مطالعه در منطقه آمل بین ۵۱۸۰ الی ۵۸۸۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۱). در منطقه رشت نیز دامنه تغییرات عملکرد شلتوک در ۴۰ درصد از مزارع بین ۳۲۰۰ الی ۴۳۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، عملکرد شلتوک حدود ۴۰ درصد از مزارع بین ۴۳۳۰ الی ۴۸۳۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد ۲۰ درصد باقی مانده از مزارع مورد بررسی بین ۴۸۳۰ الی ۵۸۷۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۱). دیگر محققان با بررسی عملکرد ارقام محلی برنج در منطقه بابل گزارش کردند دامنه تغییرات عملکرد شلتوک در ۱۱۰ مزرعه بین ۳۲۰۰ الی ۶۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (Halalkhor *et al.*, 2018).

### تخمین خلأ عملکرد بر اساس روش CPA

#### مدل تولید

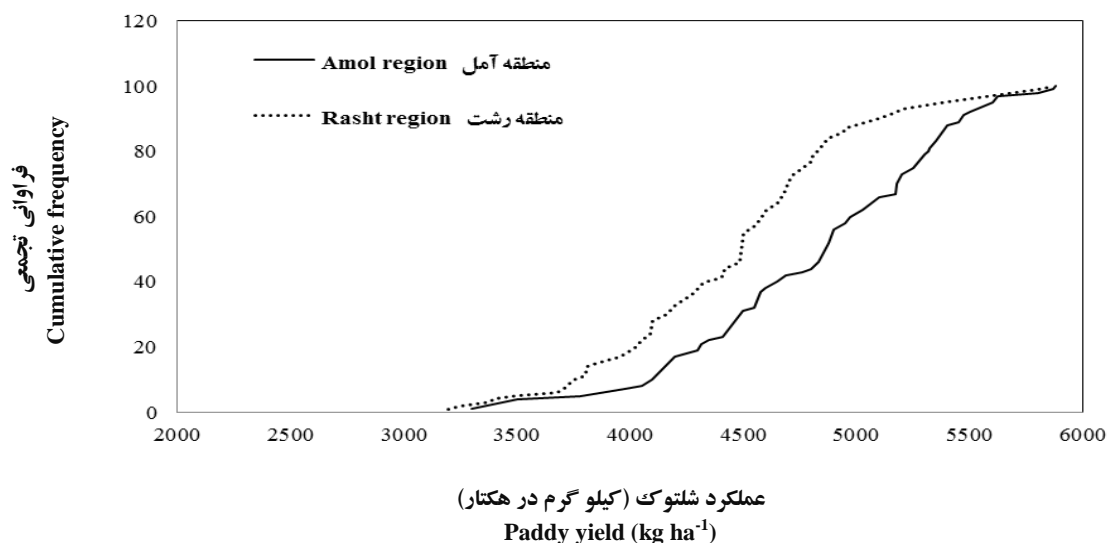
یافته‌های مربوط به رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین مهم‌ترین متغیرهای مدیتریتی مؤثر بر عملکرد و مدل عملکرد در جدول (۱) ارائه شده است.

روش رگرسیون گام‌به‌گام (Rezaei and Soltani, 1998) مورد بررسی قرار گرفت. مدل نهایی با استفاده از روش آزمون و خطای کنترل شده تعیین شد که می‌تواند اثر محدودیت‌های عملکرد را کمی کند. با قرار دادن متوسط مشاهده‌شده متغیرها (xها) در مزارع مورد بررسی در مدل عملکرد، عملکرد متوسط با مدل محاسبه شد. سپس، با قرار دادن بهترین مقدار مشاهده‌شده متغیرها در مدل عملکرد، حداکثر عملکرد قابل حصول محاسبه شد. اختلاف این دو، برابر خلأ عملکرد بود. اختلاف حاصل ضرب مقدار متوسط مشاهده‌شده برای هر متغیر در ضریب آن با حاصل ضرب مقدار بهترین مشاهده‌شده برای همان متغیر در ضریب همان متغیر نشان‌دهنده مقدار خلأ عملکرد ایجادشده برای آن متغیر است. نسبت خلأ عملکرد برای هر متغیر به کل خلأ عملکرد، نشان‌دهنده سهم آن در ایجاد خلأ عملکرد بوده و به‌صورت درصد نشان داده شد (Soltani *et al.*, 2000). برای تجزیه و تحلیل از رویه‌های مختلف نرم‌افزار SAS استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### مستندسازی فرآیند تولید

با توجه به شکل (۱) مشاهده می‌شود دامنه تغییرات عملکرد در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی در منطقه آمل بین ۳۳۰۰ الی ۵۸۸۰ کیلوگرم در هکتار و در منطقه رشت بین



شکل ۱- احتمال توزیع تجمعی عملکرد شلتوک در مزارع مورد بررسی برنج در دو منطقه آمل و رشت  
Figure 1. Probability of cumulative distribution of paddy yield in the Amol and Rasht regions

جدول ۱- کمی کردن خلأ عملکرد برنج و سهم هر یک از متغیرهای وارد شده در معادله تولید در دو منطقه آمل و رشت

Table 1. Quenching the rice yield gap and the contribution of each variable entered in the production equation in the Amol and Rasht regions

درصد خلأ عملکرد Yield gap share	خلأ عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield gap (kg ha <sup>-1</sup> )	عملکرد محاسبه شده با مدل Predicted yield by model		شکل متغیر در مدل Variable in model				ضریب در مدل Coefficients	متغیر Variable	
		متوسط (Mean) بهترین (Best)	متوسط (Mean) بهترین (Best)	حد اکثر (Max.) بهترین (Best)	متوسط (Mean) حد اکثر (Max.)	حد اقل (Min.) بهترین (Best)	حد اقل (Min.) بهترین (Best)			
-	-	4789	4789	-	-	-	-	4789	عرض از مبدأ Intercept	منطقه آمل Amol region
13	222	281	59	1	1	0.21	0	281	تناوب زراعی Crop rotation (X <sub>1</sub> )	
3	48	0	-48	0	1	0.12	0	-396	پیش کاشت کلزا Canola pre-sowing (X <sub>2</sub> )	
11	185	530	344	1	1	0.65	0	530	ضد عفونی بذر Seed disinfection (X <sub>3</sub> )	
21	364	-546	-911	24	70	40	24	-23	تاریخ نشاکاری Transplanting date (X <sub>4</sub> )	
17	292	897	606	2	2	1.35	0	449	دفعات مصرف سرک Top-dressing frequency (X <sub>5</sub> )	
24	416	555	139	25	25	6.27	0	22	نیروژن بعد از گلدهی N after flowering (X <sub>7</sub> )	
11	181	0	-181	0	1	0.71	0	-255	برداشت با کمباین Combine-machine harvesting (X <sub>7</sub> )	
100	1707	6505	4798	-	5880	4821	3300	-	عملکرد شلتوک Paddy yield (kg ha <sup>-1</sup> )	
-	-	3776	3776	-	-	-	-	3776	عرض از مبدأ Intercept	
2	33	0	-33	0	1	0.92	0	-35	بذر خود مصرفی Self-consumption seed (X <sub>1</sub> )	
6	124	309	185	1	1	0.60	0	309	مصرف کود پایه Basal fertilizer usage (X <sub>2</sub> )	
4	80	199	119	3	3	1.80	0	66	دفعات مصرف سرک Top-dressing frequency (X <sub>3</sub> )	
33	644	807	163	137	137	27.70	0	6	مصرف پتاسیم در هکتار K usage per hectare (X <sub>4</sub> )	
17	325	490	165	115	115	38.80	0	4	مصرف نیروژن قبل ز نشا N before transplanting (X <sub>5</sub> )	
38	730	796	66	46	46	3.80	0	17	مصرف نیروژن بعد از گلدهی N after flowering (X <sub>6</sub> )	
100	1934	6377	4443	-	5870	4467	3200	-	عملکرد شلتوک Paddy yield (kg ha <sup>-1</sup> )	

که در آن Y: عملکرد شلتوک بر حسب کیلوگرم در هکتار،  $X_1$ : بذر خودمصرفی،  $X_2$ : مصرف کود پایه،  $X_3$ : دفعات مصرف سرک،  $X_4$ : مصرف پتاسیم در هکتار،  $X_5$ : مصرف نیتروژن قبل از نشاء، و  $X_6$ : مصرف نیتروژن بعد از گلدهی است.

در جدول (۱) متغیرهای وارد شده در معادله تولید به همراه میانگین، حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده شده آنها در مزارع ارائه شد. مشخصات متغیرهای وارد شده در مدل به صورت مقادیر متوسط، حداقل، حداکثر و بهترین مقداری که می‌تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار بگیرد در جدول (۲) ارائه شد. میزان خلأ عملکرد مربوط به هفت متغیر وارد شده در معادله تولید برابر ۱۷۰۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. بهترین حالت برای متغیرهای تناوب زراعی، ضدعفونی بذر، دفعات مصرف سرک و مصرف نیتروژن بعد از گلدهی با اثر مثبت، مقدار حداکثر آنها انتخاب شد. متغیرهای پیش کاشت کلزا، تاریخ نشاکاری و برداشت از طریق کمباین به عنوان متغیر منفی بوده و مقدار اندک آنها انتخاب شد. بنابراین، مقدار بهینه معادل مقدار حداقل این سه متغیر بود (جدول ۱). میزان افزایش عملکرد ناشی از تفاضل عملکرد حالت بهترین و متوسط سه متغیر پیش کاشت کلزا، تاریخ نشاکاری و برداشت از طریق کمباین به ترتیب برابر ۴۸، ۳۶۴ و ۱۸۱ کیلوگرم در هکتار معادل سه، ۲۱ و ۱۱ درصد بود. میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیر تناوب زراعی برابر ۲۲۲ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۳ درصد از کل افزایش عملکرد بود. در واقع، تناوب زراعی با افزایش حاصلخیزی خاک و کنترل آفات و بیماری‌ها منجر به افزایش عملکرد شد. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیرهای ضدعفونی بذر و دفعات مصرف سرک نیز به ترتیب برابر ۱۸۵ و ۲۹۲ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۱ و ۱۷ درصد از کل تغییر عملکرد بود. ضدعفونی بذر قبل از نشاکاری منجر به کنترل بیماری‌هایی مثل پوسیدگی طوقه، لکه قهوه‌ای، سوختگی غلاف و بلاست و افزایش عملکرد می‌شود. میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیر مصرف نیتروژن بعد از گلدهی از منبع

در این مدل رگرسیونی در منطقه آمل عملکرد شلتوک در واحد سطح به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و سایر متغیرها از قبیل تناوب زراعی، پیش کاشت کلزا، ضدعفونی بذر، تاریخ نشاکاری، دفعات مصرف سرک، مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و برداشت با کمباین به عنوان متغیرهای مستقل لحاظ شدند که نتیجه آن در معادله نهایی ارایه شد. در نهایت با استفاده از این معادله تولید، میزان عملکرد واقعی، عملکرد قابل حصول و سهم هر کدام از متغیرها بر کاهش عملکرد تعیین شد (جدول ۱).

از حدود ۱۵۵ متغیر مورد بررسی، مدل (معادله رگرسیون نهایی) با هفت متغیر مستقل انتخاب شد (جدول ۱). معادله نهایی عملکرد به صورت زیر بود:

$$Y \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 4789 + 281 X_1 - 396 X_2 + 530 X_3 - 23 X_4 + 449 X_5 + 22 X_6 - 255 X_7$$

که در آن Y: عملکرد شلتوک بر حسب کیلوگرم در هکتار،  $X_1$ : تناوب زراعی،  $X_2$ : پیش کاشت کلزا،  $X_3$ : ضدعفونی بذر،  $X_4$ : تاریخ نشاکاری،  $X_5$ : دفعات مصرف سرک،  $X_6$ : مصرف نیتروژن بعد از گلدهی، و  $X_7$ : برداشت محصول توسط کمباین است، که در ادامه به بررسی تک تک عوامل مؤثر بر عملکرد پرداخته شده است.

در مدل رگرسیونی منطقه رشت نیز عملکرد شلتوک در واحد سطح به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و سایر متغیرها از قبیل بذر خودمصرفی، مصرف کود پایه، دفعات مصرف سرک، مصرف پتاسیم در هکتار، مصرف نیتروژن قبل از نشاء (از منبع اوره) و مصرف نیتروژن بعد از گلدهی (از منبع اوره) به عنوان متغیر مستقل لحاظ شدند که نتیجه آن در معادله نهایی ارایه شد. در نهایت با استفاده از این معادله تولید، میزان عملکرد واقعی، عملکرد قابل حصول و سهم هر کدام از متغیرها بر کاهش عملکرد تعیین شد. بنابراین، از حدود ۱۵۵ متغیر مورد بررسی، مدل نهایی (معادله رگرسیونی) با شش متغیر مستقل انتخاب شد (جدول ۱). معادله نهایی عملکرد به صورت زیر بود:

$$Y \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 3776 - 35 X_1 + 309 X_2 + 66 X_3 + 6 X_4 + 4 X_5 + 17 X_6$$



مقداری که می‌تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار بگیرد در جدول (۲) ارائه شد. بهترین حالت برای متغیرهای مصرف کود پایه، تعداد دفعات مصرف سرک، مصرف پتاسیم در هکتار، مصرف نیتروژن قبل از نشا از منبع اوره و مصرف نیتروژن بعد از گلدهی از منبع اوره با اثر مثبت، مقدار حداکثر آن‌ها انتخاب شد. تنها متغیر بذری خود مصرفی توسط کشاورزان به عنوان متغیر منفی بوده و مقدار حداقل آن انتخاب شد. بنابراین، مقدار بهینه معادل مقدار حداقل این متغیر بود (جدول ۱). میزان افزایش عملکرد ناشی از تفاضل عملکرد حالت بهترین و متوسط متغیر بذری خود مصرفی برابر دو درصد از کل افزایش عملکرد (۳۳ کیلوگرم در هکتار) بود. میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیر مصرف کود پایه برابر ۱۲۴ کیلوگرم در هکتار معادل شش درصد از کل افزایش عملکرد بود. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر تعداد دفعات مصرف سرک و پتاسیم در هکتار نیز به ترتیب برابر ۸۰ و ۶۴۴ کیلوگرم در هکتار معادل چهار و ۳۳ درصد از کل تغییر عملکرد بود. همچنین، میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیر مصرف نیتروژن (از منبع اوره) قبل از نشاکاری و بعد از گلدهی به ترتیب برابر ۳۲۵ و ۷۳۰ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۷ و ۳۸ درصد از کل افزایش عملکرد بود (جدول ۱). در بین شش متغیر وارد شده در مدل اثر سه متغیر مصرف پتاسیم در هکتار، مصرف نیتروژن قبل از نشا و مصرف نیتروژن بعد از گلدهی بالا بوده که می‌توان با مصرف پتاسیم و نیتروژن بخش قابل توجهی از خلأ عملکرد مزارع کشاورزان را جبران کرد.

جدول (۲) کل خلأ عملکرد و سهم هر یک از عوامل محدود کننده را نسبت به آن نشان می‌دهد. مدل عملکرد، متوسط و حداکثر عملکرد به ترتیب ۴۴۴۳ و ۶۳۷۷ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که با متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده (۴۴۶۷ و ۵۸۷۰ کیلوگرم در هکتار) قابل مقایسه هستند. کل خلأ عملکرد تخمین زده شده برابر ۱۹۳۴ کیلوگرم در هکتار بود. این بدان معنی است که بین عملکرد واقعی کشاورزان و آنچه می‌تواند برداشت کنند ۱۹۳۴ کیلوگرم در هکتار فاصله وجود دارد که می‌توان با

اوره نیز برابر ۴۱۶ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۴ درصد از کل افزایش عملکرد بود (جدول ۱).

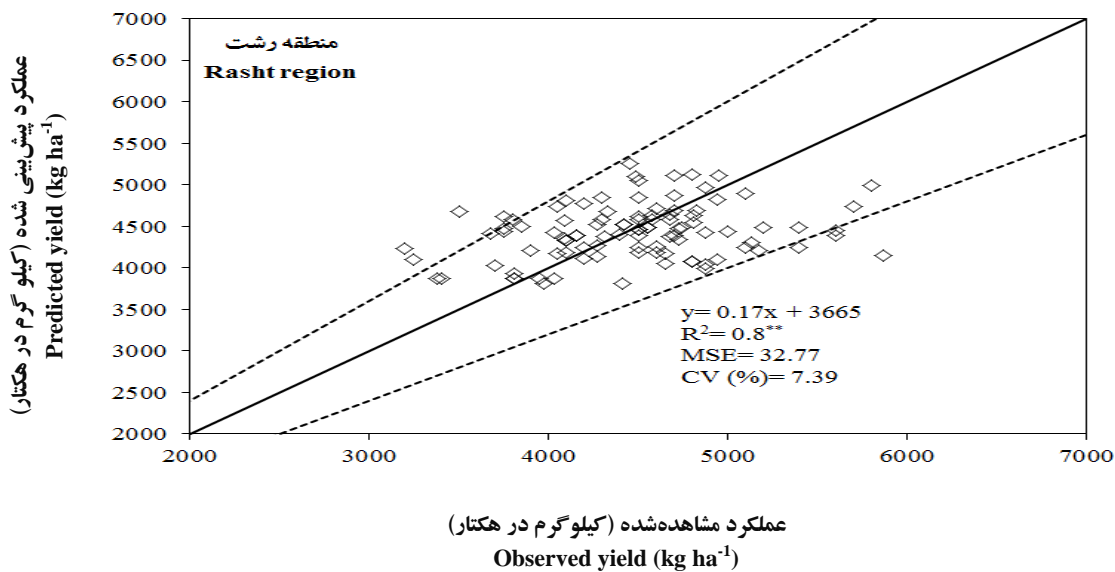
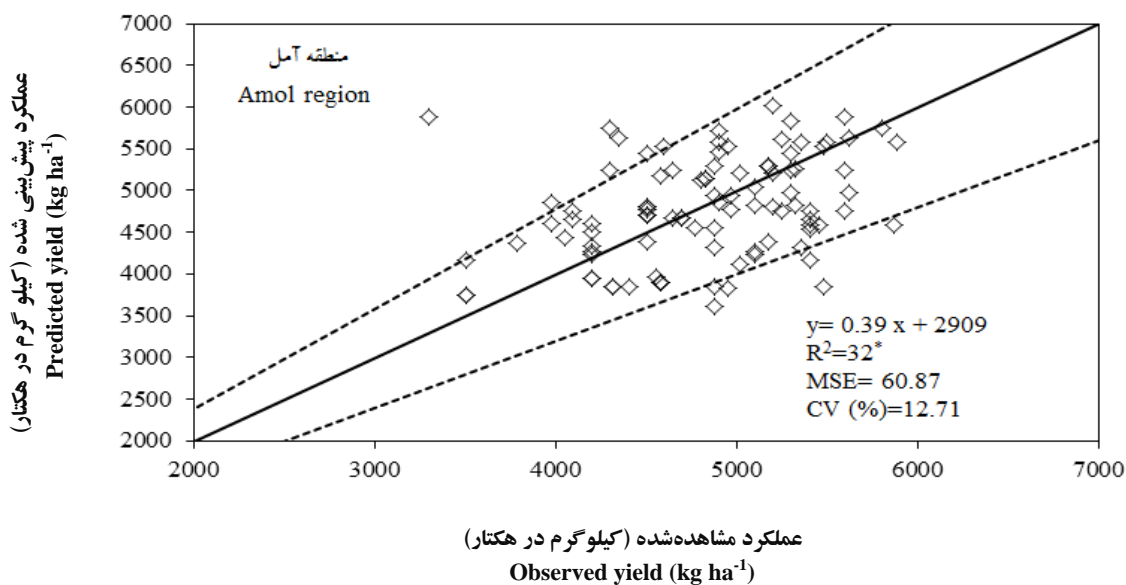
در بین هفت متغیر وارد شده در مدل، اثر متغیرهای تاریخ نشاکاری، تعداد دفعات مصرف سرک و مصرف نیتروژن بعد از گلدهی بالا بوده که می‌توان بخش قابل توجهی از خلأ عملکرد در مزارع کشاورزان را با مدیریت این سه متغیر جبران کرد. در واقع، با انتخاب تاریخ مناسب نشاکاری می‌توان شیوع آفات و بیماری‌ها را کنترل کرد و همچنین شرایط نامساعد آب و هوایی مثل بارندگی و دمای بالا در مراحل رشد و دمای پایین در مرحله کاشت را مدیریت کرد (Dastan et al., 2015). جدول (۲) نیز کل خلأ عملکرد و سهم هر یک از عوامل محدود کننده عملکرد را نشان می‌دهد. در مدل نهایی، متوسط و حداکثر عملکرد به ترتیب ۴۷۹۸ و ۶۵۰۵ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که با متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده (۴۴۶۷ و ۵۸۷۰ کیلوگرم در هکتار) قابل مقایسه هستند (جدول ۱).

کل خلأ عملکرد تخمین زده شده در منطقه آمل برابر ۱۷۰۷ کیلوگرم در هکتار بود که در در منطقه ساری و بابل نیز میزان خلأ عملکرد ارقام محلی برنج به روش CPA به ترتیب برابر ۱۸۴۱ و ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Halalkhor et al., 2018; Yousefian et al., 2018). این بدان معنی است که بین عملکرد واقعی کشاورزان و آنچه می‌تواند برداشت کنند ۱۷۰۷ کیلوگرم در هکتار فاصله وجود دارد که با مدیریت مناسب می‌توان کاهش داد (جدول ۱). شکل (۲-الف) سهم هر یک از متغیرها را در خلأ عملکرد به همراه عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد را نشان می‌دهد. بنابراین، عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد محاسبه شده با مدل به ترتیب برابر ۴۷۹۸ و ۶۵۰۵ کیلوگرم در هکتار و میزان خلأ عملکرد ۱۷۰۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که این نتیجه نشان می‌دهد که می‌توان با مدیریت مناسب متغیرهای وارد شده در معادله تولید خلأ عملکرد مشاهده شده را جبران کرد (جدول ۲).

در منطقه رشت نیز مشخصات متغیرهای وارد شده در مدل به صورت مقادیر متوسط، حداقل، حداکثر و بهترین

بود. همچنین ضریب تبیین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده برابر ۰/۳۲ با ضریب تغییرات برابر ۱۲/۷۱ بود. لذا، بر اساس برازش رابطه بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده می‌توان بیان کرد در هر دو منطقه دقت مدل (معادله تولید) مناسب بوده و می‌تواند برای برآورد میزان خلأ عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدودکننده تولید به کار گرفته شود.

مدیریت مناسب مقدار خلأ عملکرد را کاهش بود (جدول ۱). شکل (۲) رابطه بین عملکرد واقعی (مشاهده شده) و عملکرد پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. این آماره در منطقه رشت نشان می‌دهد که MSE برابر ۳۲/۷۷ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین ضریب تبیین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده برابر ۰/۸۰ با ضریب تغییرات برابر ۷/۳۹ بود. در منطقه آمل نیز MSE برابر ۶۰/۸۷ کیلوگرم در هکتار



شکل ۲- رابطه بین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده در منطقه آمل و رشت

(دامنه ۲۰ درصد از اختلاف بین پیش‌بینی شده و مشاهده شده توسط خطوط منقطع نشان داده شد. خط ممتد خط ۱:۱ است)

Figure 2. The relationship between observed and predicted yields in the Amol and Rasht regions (Twenty percent of the differences between predicted and observed yields are shown by segmented lines)

### نتیجه گیری

طبق یافته‌ها، ۱۵۵ متغیر مورد بررسی، مدل نهایی در منطقه آمل و رشت به ترتیب با هفت و شش متغیر مستقل انتخاب شد. در معادله تولید منطقه آمل، متوسط و حداکثر عملکرد به ترتیب ۴۷۹۸ و ۶۵۰۵ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که کل خلأ عملکرد برابر ۱۷۰۷ کیلوگرم در هکتار بود. در معادله تولید منطقه رشت، متوسط و حداکثر عملکرد به ترتیب ۴۴۴۳ و ۶۳۷۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که کل خلأ عملکرد برآورد شده برابر ۱۹۳۴ کیلوگرم در هکتار بود. اگرچه هدف از این پژوهش برآورد میزان خلأ عملکرد برنج بود و دلایل به وجود آمدن این میزان خلأ عملکرد نیازمند بررسی و مطالعه بیش تر است، اما محتمل ترین راه کار که می تواند منجر به افزایش عملکرد و کاهش خلأ عملکرد شود، بهبود مدیریت زراعی است.

### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت اله آملی انجام شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می شود.

### تضاد منافع

نویسندگان مقاله هیچ گونه تضاد منافی در انتشار این مقاله نخواهند داشت.

### سهم نویسندگان

سهم مالکیت نویسندگان در مقاله بر اساس دستورالعمل امتیازدهی پژوهشی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری لحاظ گردد.

طبق یافته‌های این پژوهش، میزان بالای خلأ عملکرد و سهم هر یک از عوامل مؤثر بر آن نشان می‌دهد که با مدیریت مناسب می‌توان بخش قابل توجهی از این خلأ 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. هدف بسیاری از محققان نیز افزایش عملکرد تا حد قابل قبولی برای ثبات قیمت مواد غذایی در حدی است که برای مصرف‌کننده مطلوب باشد و قیمت تمام‌شده محصول نیز بتواند هزینه‌ها را برای کشاورز پوشش دهد. به نظر می‌رسد عملکرد معادل ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل یک آستانه تقریبی مطلوب از نظر اقتصادی در بیش تر نظام‌های کاشت گیاهان زراعی باشد (Lobell et al., 2009). شناخت پتانسیل‌ها و همچنین میزان و نحوه تأثیر هر یک از عوامل محدودکننده تولید به‌صورت جداگانه، نقش مهمی در تعیین راهبردهای مدیریتی جایگزین برای رسیدن به حداکثر عملکرد دارد. دستیابی به عملکرد بالاتر از ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل اگرچه امکان‌پذیر است، اما شاید با توجه به قیمت نهاده‌ها و هم‌پوشانی فصل کاشت، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. علاوه بر این، مشاهده‌های تجربی نشان می‌دهد مهم‌ترین مشکل خلأ عملکردهای بالا در گیاهان زراعی در ایران شیوه‌های مدیریتی ناکارآمد در مزارع کشاورزان است (Torabi et al., 2013).

### References

- Beza, E., Vasco Silva, J., Kooistra, L. and Reidsma, P. (2017). Review of yield gap explaining factors and opportunities for alternative data collection approaches. *European Journal of Agronomy*, 82(b), 206-222.
- Dastan, S. (2012). *Evaluation on agronomic and eco-physiological indices of lowland rice genotypes in modified agronomical methods*. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran. [In Farsi]
- Dastan, S., Noormohamadi, Gh., Madani, H. and Soltani, A. (2015). Analysis of energy indices in rice production systems in the Neka region. *Journal of Environmental Sciences*, 13(1), 53-66. [In Farsi]
- 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, Retrieved from <https://edepot.wur.nl/121245>.

- FAO. (2016). *Faostat-trade/crops and livestock products*. Retrieved from <http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/E>.
- 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), 277-294. [In Farsi]
- 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 Farsi]
- Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., Van Rees, H., Marinoni, O., Garcia, K. N. and Horan, H. (2013). Reprint of quantifying yield gaps in rain-fed cropping systems: A case study of wheat in Australia. *Field Crops Research*, 143(1), 65-67.
- Kayiranga D. (2006). *The effects of land factors and management practices on rice yields*. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation Enschede (ITC), The Netherlands. Retrieved from [https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers\\_2006/msc/nrm/kayiranga.pdf](https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2006/msc/nrm/kayiranga.pdf).
- Liu, Z., Yang, X., Lin, X., Hubbard, K. G., Lv, S. and Wang, J. (2016). Narrowing the agronomic yield gaps of maize by improved soil, cultivar, and agricultural management practices in different climate zones of northeast China. *Earth Interactions*, 20(12), 1-18.
- Lobell, D.B., Cassman, K.G. and Field, C.B. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), 179-204.
- Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. (2016). *Annual Agricultural Statics*. Retrieved from [www.maj.ir](http://www.maj.ir).
- Reidsma, P. and Jeuffroy, H. (2017). Farming systems analysis and design for sustainable intensification: new methods and assessments. *European Journal of Agronomy*, 82(1), 203-205.
- Rezaei, A. and Soltani, A. (1998). *An introduction to applied regression analysis*. 4<sup>th</sup>. Isfahan University of Technology, Esfahan. [In Farsi]
- 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. Retrieved from [In Farsi]
- Soltani, A., Hajjarpoor, A. and Vadez, V. (2016). Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops Research*, 185(3), 21-30.
- 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.
- 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(2), 4-17.
- Van Wart, J., Kersebaum, K. C., Peng, S., Milner, M. and Cassman, K. G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*, 143(2), 34-43.
- 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 Farsi]

