Archive of SID

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۲۵۶-۲۴۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 244-256

اثر عوامل اقلیمی و مدیریتی بر پتانسیل و خلاء عملکرد گندم در ایران با استفاده از مدل WOFOST

علیرضا کوچکی[1*]- مهدی نصیری محلاتی[1]- حامد منصوری[2]- روح الله مرادی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

در اکثر موارد عملکرد واقعی به‌دلیل ضعف‌های مدیریتی و فناوری کمتر از عملکرد پتانسیل می‌باشد، که اختلاف بین این دو به‌عنوان خلاء عملکرد در نظر گرفته می‌شود. درک سهم نسبی هر یک از متغیرهای مدیریتی در خلاء عملکرد می‌تواند به‌عنوان یکی از مهمترین گام‌های کاهش آن و نزدیک شدن عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل باشد. به‌منظور ارزیابی میزان خلاء عملکرد گندم و همچنین سهم نسبی متغیرهای مدیریتی و فناوری در میزان این خلاء در ایران، از تابع حد مرزی که یک رگرسیون چند متغیره می باشد، استفاده شد. برای این منظور داده‌های اقلیمی استان‌های مختلف کشور از سازمان‌های هواشناسی کشور و عملکرد گندم در استان‌های مختلف از سازمان‌های جهاد کشاورزی کشور استخراج شد. عملکرد پتانسیل گندم در استان‌های مختلف نیز با استفاده از مدل WOFOST شبیه‌سازی شد. از اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی، خلاء عملکرد گندم برای استان‌های مختلف برآورد شد. سپس با استفاده از تابع حد مرزی سهم نسبی متغیرهای اقلیمی مؤثر در عملکرد پتانسیل و همچنین سهم نسبی هر یک از متغیرهای مدیریتی مؤثر شامل آبیاری، کاربرد کود، مکانیزاسیون، کاربرد آفت‌کش و کود دامی بر خلاء عملکرد گندم محاسبه شد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی در بین عوامل اقلیمی اثر بارندگی و تابش بر عملکرد پتانسیل گندم مثبت و اثر دما منفی بود. در بین این متغیرها نیز بارندگی بیشترین تأثیر را بر عملکرد پتانسیل گندم دارا بود. محدوده خلاء عملکرد گندم در ایران بین ۱۶۴۶ تا ۴۴۷۰ کیلوگرم در هکتار و ۲۹ تا ۵۸ درصد متغیر بود. به‌طور کلی تأثیر کلیه عوامل مدیریتی بر میزان خلاء عملکرد گندم کشور منفی بود که بدین ترتیب با بهبود یا افزایش هر کدام از این فاکتورها، میزان خلاء عملکرد گندم در کشور کاهش نشان داد. از بین عوامل مدیریتی مورد بررسی، عامل آبیاری بویژه در استان‌های واقع در اقلیم گرم و خشک کشور و بعد از آن نیز عامل کاربرد کود شیمیایی بیشترین تأثیر را بر کاهش خلاء عملکرد گندم نشان دادند. بنابراین، به‌نظر می‌رسد برای کاهش خلاء عملکرد گندم در ایران باید در وهله اول مدیریت آبیاری و کاربرد کود را مدنظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تابع حد مرزی، شبیه‌سازی، عملکرد پتانسیل، مکانیزاسیون

مقدمه

تغذیه انسان به‌شدت به غلاتی از قبیل گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) بسیار وابسته بوده و پیش‌بینی شده است که در آینده نیاز به تولید غلات و به‌ویژه گندم افزایش پیدا کند (Rosegrant *et al.*, 2003; DeFries *et al.*, 2004). تولیدات کشاورزی جهان در طی سه تا چهار دهه آینده به دلیل افزایش جمعیت و تغییر عادات غذایی باید به سه برابر افزایش یابد تا تقاضای فزاینده مصرف را تأمین کند (Nasiri Mahallati and Koocheki, 2009). تولید این محصولات طی ۵۰ سال گذشته با سرعت زیادی در حال افزایش بوده است، که بخشی از آن به‌دلیل افزایش سطح زیر کشت و استفاده از ارقام پرمحصول و بخشی نیز به‌دلیل استفاده از تکنولوژی‌های مدرن و مدیریت فشرده کشت این محصولات می‌باشد (Cassman, 1999; Foley *et al.*, 2005; FAO, 2006). برخی تحقیقات نشان داده‌اند که افزایش سطح زیر کشت در بسیاری از مناطق جهان یا به‌دلیل کمبود آب و یا کمبود زمین زراعی امکان پذیر نمی‌باشد (Cassman, 1999). مطالعات زیادی به‌نقش استفاده فشرده از نهاده‌ها و تکنولوژی‌ها برای افزایش عملکرد اشاره کرده‌اند (Ruttan, 2002; Tilman *et al.*, 2002; Barbier, 2003; Keys and McConnell, 2005). با این وجود در بسیاری از مناطق سرعت روند افزایش عملکرد در حال

۱- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
۲- دانشجوی سابق دکتری اکولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار مؤسسه تحقیقات چغندرقند، همدان
۳- دانشجوی سابق دکتری اکولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان

DOI: 10.22067/gsc.v15i2.54278

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش است (Trostle, 2008).

خلاء عملکرد به عوامل مختلفی از جمله عوامل مرتبط با خاک از قبیل بافت و ساختمان نامناسب خاک، کمبود و یا عدم توازن عناصر غذایی، شوری خاک، عوامل مرتبط با آب مانند کمبود رطوبت، شوری آب، مکانیزاسیون مورد استفاده و همچنین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد (آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز) نسبت داده شده است (Aggarval, 1994; Gharineh *et al.*, 2012). بنابراین، اعمال روش‌های مدیریتی مناسب که در جهت رفع محدودیت‌های موجود عمل نموده و منجر به نزدیک شدن عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل شود، می‌تواند در کاهش میزان خلاء عملکرد نقش مثبتی داشته باشد.

ارزیابی وضعیت آینده تولید گندم به دلیل اهمیت آن در تغذیه مردم جهان، توجه بسیاری از محققین و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی را به‌خود معطوف کرده است. برآوردها نشان می‌دهند که در مقیاس جهانی برای تأمین نیاز گندم تا سال ۲۰۲۰ میلادی، لازم است تولید این محصول نسبت به سال ۲۰۰۰ به میزان ۴۴ درصد افزایش یابد (FAO, 2006) و افزایش تولید در واحد سطح راه حل اصلی تحقق این هدف می‌باشد. نتایج بررسی انجام شده در مورد روند ۵۰ ساله وضعیت تولید غلات در ایران نیز نشان داد که سطح زیر کشت گندم کشور به‌ویژه در سال‌های اخیر رشد اندکی داشته و افزایش تولید این محصول عمدتاً ناشی از افزایش عملکرد در واحد سطح بوده است (Zare Feyzabadi *et al.*, 2006).

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد یکی از روش‌های متداول برای تعیین میزان خلاء عملکرد می‌باشد. به‌عنوان مثال نصیری و کوچکی (Nasiri Mahallati and Koocheki, 2009)، با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، خلاء عملکرد گندم در خراسان را بررسی کردند. کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2009) نیز مراحل رشد و نمو زیره سبز در خراسان را شبیه‌سازی کرده و عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد را بررسی کردند.

هرچند در منابع موجود، سهم نسبی عوامل اقلیمی و مدیریتی بر میزان خلاء عملکرد محصولات مورد نظر بررسی شده است، اما مطالعه جامعی که سهم این عوامل را در کل کشور مورد بررسی قرار دهد، انجام نگرفته است. برای تعیین سهم این عوامل بر میزان خلاء عملکرد محصولات زراعی می‌توان از روش تابع تولید حد مرزی[1] استفاده کرد (Neumann *et al.*, 2010). این تابع ارتباط و همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته را توصیف می‌کند، بنابراین تابع تولید حد مرزی، یک معادله رگرسیونی است که با شناخت محدودیت‌های تئوریکی (محدودیت اقلیمی) برازش می‌شود و عملکردهای واقعی زیر این خط رگرسیونی قرار می‌گیرند (Pesaran and Schmidt, 1999).

آبلدو و همکاران (Abeledo *et al.*, 2008) با بررسی پتانسیل و خلاء عملکرد گندم در منطقه مدیترانه‌ای در اسپانیا خلاء عملکرد معادل ۴۰ تا ۷۰ درصد را برای این منطقه گزارش کردند و با استفاده از تابع تولید حد مرزی، نشان دادند که میزان خلاء در وهله اول تابع مصرف نیتروژن و دسترسی زارعین به آب می‌باشد. کونینگ و همکاران (Koning *et al.*, 1992) تولید پتانسیل و واقعی برخی محصولات زراعی را در کشورهای اتحادیه اروپا مقایسه کرده و خلاء عملکرد را برآورد کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که خلاء عملکرد در مورد گندم بین ۴۵ تا ۶۵ درصد می‌باشد. موارد فوق مثال‌هایی از مطالعات گسترده‌ای است که در کشورهای مختلف به‌منظور تعیین عملکرد پتانسیل انواع گیاهان زراعی انجام شده است.

تاکنون مطالعه‌ای جهت بررسی خلاء عملکرد گندم و به‌خصوص سهم عوامل مؤثر در آن برای کل کشور انجام نشده است، این تحقیق به‌منظور برآورد خلاء عملکرد گندم در کشور و تعیین عوامل ایجادکننده خلاء و سهم نسبی هر کدام از عوامل اقلیمی و مدیریتی با استفاده از تابع تولید مرزی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، برای محاسبه خلاء عملکرد موجود بین عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل و همچنین تعیین سهم نسبی هر یک از عوامل ایجادکننده خلاء، از روشی که اقتصاددانان برای محاسبه عدم کارایی شرکت‌ها توصیه کرده‌اند، استفاده شد (Aigner *et al.*, 1977; Meeusen and Broeck, 1977). مزارع کشاورزی را می‌توان به‌عنوان شکل ویژه‌ای از واحدهای اقتصادی تصور کرد، بنابراین، این روش اقتصادی می‌تواند برای محاسبه کارایی مزارع و به‌ویژه برای کارایی تولیدات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. برای محاسبه خلاء عملکرد برای کل کشور به تفکیک استانی عمل کرده و هر استان به‌عنوان یک بخش اقتصادی واحد در نظر گرفته شد. تابع اقتصادی مورد استفاده در این روش نشان‌دهنده عملکرد پتانسیل با مد نظر قرار دادن برخی عوامل اقلیمی به‌عنوان ورودی تابع می‌باشد. از آنجایی‌که این تابع ارتباط و همبستگی بین ورودی‌ها و خروجی را توصیف می‌کند، تابع تولید حد مرزی یک معادله رگرسیونی است که با شناخت محدودیت‌های تئوریکی (محدودیت اقلیمی) برازش می‌شود و تمام عملکردهای واقعی زیر این خط رگرسیونی قرار می‌گیرد (Pesaran and Schmidt, 1999). در مورد تولیدات کشاورزی تابع تولید حد مرزی بیانگر عملکرد پتانسیل برای محصول مورد نظر می‌باشد. خلاء موجود از فاصله بین عملکردهای واقعی با خط رگرسیونی به‌دست می‌آید.

برای تعیین میزان عملکرد پتانسیل گندم در استان های مختلف

1- Frontier Production Function

www.SID.ir

Archive of SID

کشور از نرم‌افزار WOFOST[1] استفاده شد. مدل WOFOST قادر است عملکرد و خصوصیات رشدی گیاهان زراعی را در سه شرایط شامل تولید پتانسیل، تولید با محدودیت آب و تولید با محدودیت نیتروژن پیش‌بینی کند (Nasiri Mahallati and Koocheki, 2009; Boogaard *et al.*, 1998). در شرایط پتانسیل، ورودی‌های اصلی این مدل شامل خصوصیات گیاه زراعی، داده‌های اقلیمی (دما حداقل و حداکثر، تابش و بارندگی به‌صورت روزانه) و خصوصیات خاک منطقه مورد بررسی می‌باشد.

داده‌های اقلیمی ۱۵ ساله (۸۵-۱۳۷۰) مورد نیاز برای اجرای مدل از سایت اینترنتی ایستگاه‌های هواشناسی مراکز استان‌های مختلف کشور جمع‌آوری گردید. در مواردی که مجموعه کامل داده‌های یک استان در اختیار نبود، مقادیر داده‌های آب و هوایی ماهانه به‌وسیله ابزارهای مولد داده‌های آب و هوایی بازسازی گردید. چون در مدل WOFOST شبیه‌سازی بر اساس داده‌های روزانه اقلیمی انجام می‌گیرد، داده‌های آب و هوایی ماهانه جهت استفاده به‌عنوان ورودی مدل با استفاده از یک سیستم مولد داده‌های آب و هوایی به داده‌های روزانه تبدیل شدند (Nasiri Mahallati and Koocheki, 2009). برای محاسبه تابش دریافتی از روی ساعات آفتابی نیز از روش خودریان و وان‌لار (Goudriaan and Van Laar, 1993) استفاده شد. این مدل ابتدا برای میزان عملکرد واقعی گندم در استان‌های مختلف کشور واسنجی و تعیین اعتبار شد و سپس برای شبیه‌سازی عملکرد در شرایط پتانسیل مورد استفاده قرار گرفت. میزان خلاء عملکرد گندم نیز از اختلاف بین عملکرد واقعی گندم در استان‌های مختلف کشور (MAJ, 2010) و نتایج شبیه‌سازی شده برای عملکرد پتانسیل گندم در هر استان به‌دست آمد.

آنالیز حد مرزی معمولا برای محاسبه کارایی شرکت‌ها و سیستم‌های تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این آزمایش، این کارایی نسبتی از عملکرد مشاهده شده با عملکرد پتانسیل در نظر گرفته شد، که از معادله زیر محاسبه می‌شود (Coelli *et al.*, 2005):

$$E_i = \frac{q_i}{\exp(x_i'\beta+v_i)} = \frac{\exp(x_i'\beta+v_i-u_i)}{\exp(x_i'\beta+v_i)} \quad (۱)$$

در این معادله، E_i، کارایی (بدون واحد)؛ q_i، عملکرد مشاهده شده؛ $x_i'\beta$ بیانگر عملکرد پتانسیل و v_i خطای آماری می‌باشد. دامنه کارایی بین ۰ تا ۱ بوده که ۱ برای بهترین کارایی و صفر برای کمترین کارایی یا عدم کارایی می‌باشد.

سهم نسبی فاکتورهای اقلیمی تعیین‌کننده پتانسیل عملکرد که شامل میزان بارش (precip)، تابش (par) و دما (temp) می‌باشد، از طریق معادله رگرسیونی زیر محاسبه گردید.

$$q_i = \beta_0 + \beta_1(\text{temp}_i) + \beta_2(\text{precip}_i) + \beta_3(\text{par}_i) + v_i - u_i \quad (۲)$$

میزان تأثیر هر کدام از فاکتورهای مدیریتی و فناوری تعیین‌کننده خلاء عملکرد نیز با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$u_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_n x_n \quad (۳)$$

u_i، نشان‌دهنده اختلاف بین عملکرد واقعی از تابع حد مرزی یا به‌عبارتی خلاء عملکرد می‌باشد که در آن هر یک از xها جزئی از عوامل مدیریتی و تکنولوژیکی می‌باشند. در این مطالعه، عوامل مدیریتی تعیین‌کننده میزان خلاء عملکرد شامل: درجه مکانیزاسیون (mech)، میزان مصرف انواع کودهای شیمیایی شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم (fert)، میزان مصرف انواع مختلف آفت‌کش (pest) و میزان مصرف کود حیوانی (manu) در هر هکتار در نظر گرفته شد، بنابراین:

$$u_i = \delta_0 + \delta_1(\text{mech}_i) + \delta_2(\text{fert}_i) + \delta_3(\text{pest}_i) + \delta_4(\text{manu}_i) \quad (۴)$$

که در این معادله رگرسیونی، δها ضرایب رگرسیونی برای هر یک از عوامل ایجادکننده خلاء بوده که نشان‌دهنده سهم نسبی هر یک از این عوامل در ایجاد خلاء می‌باشند.

با توجه به اینکه بزرگی و کوچکی ضرایب رگرسیون بازتابی از واحدهای اندازه‌گیری متغیر مستقل x_i هستند، بنابراین مقایسه ضرایب رگرسیون که بیانگر سهم نسبی هر یک از x_iها بر روی متغیر وابسته می‌باشد، دشوار است. برای این منظور از ضرایب رگرسیون استاندارد شده استفاده شد تا سهم واقعی و تأثیر نسبی هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته مشخص شود (Rezaei and Soltani, 1998).

نتایج و بحث

اثر عوامل اقلیمی بر عملکرد پتانسیل

عملکرد پتانسیل که توسط ظرفیت ژنتیکی و عوامل محیطی نظیر: تابش، دما و بارندگی و همچنین مدیریت کنترل می‌شود، به‌ندرت در محصولات زراعی حاصل می‌شود. در عمل تنها بخشی از آن به‌عنوان محصول واقعی از مزرعه برداشت می‌شود، به‌طوری‌که میزان آن بر حسب میانگین کشورهای مختلف بین ۵ تا ۶۰ درصد از عملکرد پتانسیل متغیر است (Nasiri Mahallati and Koocheki, 2009; Oerke *et al.*, 1994). ضرایب رگرسیونی مربوط به تأثیر فاکتورهای اقلیمی بر میزان عملکرد پتانسیل حاصل از تابع حد مرزی که نشان‌دهنده سهم نسبی هر کدام از این متغیرهای اقلیمی بر عملکرد پتانسیل می‌باشد و همچنین ضرایب تبیین مربوطه در جدول ۱ آمده است. نتایج این پژوهش نشان داد که در اکثر استان‌های کشور تأثیر متغیرهای اقلیمی بر عملکرد پتانسیل مثبت بود که در این میان اثر بارندگی در تمام استان‌های کشور مثبت و تأثیر دما و تابش در برخی استان‌های کشور مثبت و در برخی از استان‌ها منفی بود (جدول ۱).

1- WOrld FOod STudies

www.SID.ir

Archive of SID

در بین متغیرهای اقلیمی، سهم نسبی بارندگی در مقایسه با دما و تابش در تمام استان‌های کشور به‌جزء استان‌های زنجان، گلستان، گیلان و مازندران بیشتر بود که ضرایب تابع حد مرزی به‌دست آمده برای کل کشور نیز بیانگر تأثیر بیشتر بارندگی بر میزان عملکرد پتانسیل در مقایسه با دما و تابش می‌باشد (جدول ۱). هوچمن و همکاران (Hochman *et al.*, 2012) نیز با کمی کردن پتانسیل و خلاء عملکرد گندم در کشور استرالیا گزارش کردند که بارندگی مهمترین عامل اقلیمی مؤثر در تعیین عملکرد پتانسیل گندم می‌باشد. مشاهده می‌شود که در مناطق مرطوبی چون استان‌های حاشیه دریای خزر، تأثیر بارندگی بر عملکرد پتانسیل کمتر از سایر عوامل اقلیمی باشد که در این میان کمترین تأثیر بارندگی بر عملکرد پتانسیل در استان گیلان (۰/۰۳) بود. تأثیر بارندگی بر عملکرد پتانسیل در مناطق خشک و استان‌های گرم و خشک کشور بیشتر نمود پیدا می‌کند، به‌طوری‌که سهم نسبی و ضرایب رگرسیونی مربوط به بارندگی در استان‌های اصفهان، سمنان، سیستان و بلوچستان، قم و یزد که جزء استان‌های خشک کشور محسوب می‌شوند، بیشتر از یک و بالاترین ضریب مربوط به استان یزد (۱/۳۷) بود (جدول ۱).

از ۲۸ استان مورد مطالعه کشور، اثر دما بر میزان عملکرد پتانسیل در ۱۳ استان مثبت و در ۱۵ استان دیگر منفی بود، به‌عبارتی در استان‌هایی که تأثیر دما مثبت بود، افزایش دما باعث بهبود عملکرد پتانسیل شد، در صورتی‌که در استان‌هایی که اثر آن منفی بود، افزایش دما باعث کاهش عملکرد پتانسیل می‌شود. بیشترین (مثبت) و کمترین (منفی) ضرایب رگرسیونی مربوط به اثر دما بر عملکرد پتانسیل به‌ترتیب مربوط به استان‌های اردبیل (۰/۵۹) و هرمزگان (۰/۸۰-) بود (جدول ۱). با توجه به نتایج آنالیز رگرسیونی می‌توان چنین استنباط کرد که در استان‌های سرد کشور اثر دما بر عملکرد پتانسیل مثبت بوده و افزایش دما به دلیل بهبود شرایط مناسب برای رشد گیاه باعث بهبود عملکرد پتانسیل در گیاه گندم می‌شود. در استان‌های گرم کشور، تأثیر دما بر عملکرد پتانسیل منفی می‌باشد، بنابراین افزایش دما احتمالاً به دلیل افزایش تنفس گیاه و کاهش رشد گیاه و همچنین کوتاه شدن فصل رشد منجر به کاهش عملکرد پتانسیل گندم می‌شود.

قرینه و همکاران (Gharineh *et al.*, 2012) نیز در ارزیابی خلاء عملکرد گندم در منطقه خوزستان گزارش کردند که در مناطق گرم چون خوزستان، کاهش دما در برخی از شهرستان‌های این استان مانند ایذه، شرایط حرارتی مناسب‌تری برای رشد و نمو گندم فراهم می‌آورد و لذا هزینه تنفس نگهداری گیاه در این شهرستان پایین‌تر و فصل رشد گیاه طولانی‌تر بوده که در نهایت باعث افزایش عملکرد پتانسیل گندم در این شهرستان نسبت به سایر شهرستان‌های استان خوزستان می‌شود. ضرایب تابع حد مزری برای کل کشور نشان داد که اثر دما بر عملکرد پتانسیل (۰/۱۵-) کمتر از بارندگی (۰/۶۶) و بیشتر از تابش (۰/۱۲) می‌باشد. در بین متغیرهای اقلیمی فقط تأثیر دما در کل کشور بر عملکرد پتانسیل منفی بود که احتمالاً به‌دلیل بیشتر بودن تعداد استان‌های با ضریب رگرسیونی منفی یعنی استان‌های گرم کشور می‌باشد و در نتیجه اثر دما در کل کشور منفی شد.

افزایش تابش خورشیدی در مراحل مختلف رشد و نمو گندم باعث افزایش فتوسنتز، افزایش اندام‌های سبز گیاه و افزایش سرعت پر شدن دانه می‌شود که در نهایت روی عملکرد پتانسیل دانه گیاه تأثیر می‌گذارد (Timsina *et al.*, 2004). به‌طور کلی تأثیر تابش بر عملکرد پتانسیل کمتر از سایر متغیرهای اقلیمی بود، هر چند در برخی از استان‌ها تأثیر تابش بیشتر از دما و بارندگی بود (جدول ۱). عملکرد در شرایط پتانسیل با میزان تابش جذب شده توسط گیاهان زراعی مرتبط است (Kropff *et al.*, 1994; Muchow and Kropff, 1997) و میزان تابش خورشیدی به‌نوبه خود تابع عرض جغرافیایی می‌باشد (Nasiri Mahallati, 2000). در بین ۲۸ استان کشور، اثر تابش بر عملکرد پتانسیل در ۹ استان منفی و در ۱۹ استان دیگر مثبت بود (جدول ۱). اثر تابش بر عملکرد پتانسیل در کل کشور مثبت بود. بیشترین تأثیر مثبت تابش بر عملکرد پتانسیل در استان گیلان (۰/۵۸) و بیشترین اثر منفی آن بر عملکرد پتانسیل در استان یزد (۱/۳۱-) بود. با توجه به نتایج آنالیز رگرسیونی می‌توان چنین اظهار داشت که در استان‌هایی که میزان بارندگی در آنها زیاد می‌باشد و به‌عبارتی تعداد ساعات آفتابی در روز در این مناطق کم می‌باشد، اثر تابش در بهبود عملکرد پتانسیل مثبت و بیشتر از سایر استان‌های کشور می باشد، به‌طوری‌که در استان‌های حاشیه سواحل خزر بیشترین اثر مثبت تابش بر عملکرد پتانسیل مشاهده شد. در صورتی‌که در استان‌هایی نظیر یزد، سیستان و بلوچستان، اصفهان، کرمان، سمنان و قم که دارای ساعات آفتابی بیشتری در روز می‌باشند، اثر تابش بر عملکرد پتانسیل منفی بوده و این اثر منفی بیشتر از سایر استان‌های کشور می‌باشد (جدول ۱).

خلاء عملکرد گندم

بیشترین میزان خلاء عملکرد گندم در استان‌های گیلان و لرستان مشاهده شد و این استان‌ها دارای خلاء عملکردی بالای ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند (شکل ۱). کمترین خلاء عملکرد گندم نیز در ۷ استان یزد، قم، هرمزگان، کرمان، سیستان و بلوچستان، سمنان و بوشهر بود و خلاء عملکرد در این مناطق بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده که در این میان کمترین خلاء را استان‌های یزد (۱۶۴۶ کیلوگرم در هکتار) و قم (۱۷۰۵ کیلوگرم در هکتار) دارا بودند (شکل ۱). به‌نظر می‌رسد میزان خلاء گندم در استان‌های خشک کشور نسبت به سایر استان‌های کشور کمتر است که به‌دلیل نزدیک بودن عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل است.

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر استان‌های کشور دارای خلاء عملکردی بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار (۱۱ استان از ۲۸ استان کشور) بودند که جزء استان‌های با خلاء عملکرد متوسط طبقه‌بندی شدند.

جدول ۱- ضرایب تابع حد مرزی برای متغیرهای اقلیمی مؤثر بر عملکرد پتانسیل گندم برای استان‌های مختلف کشور

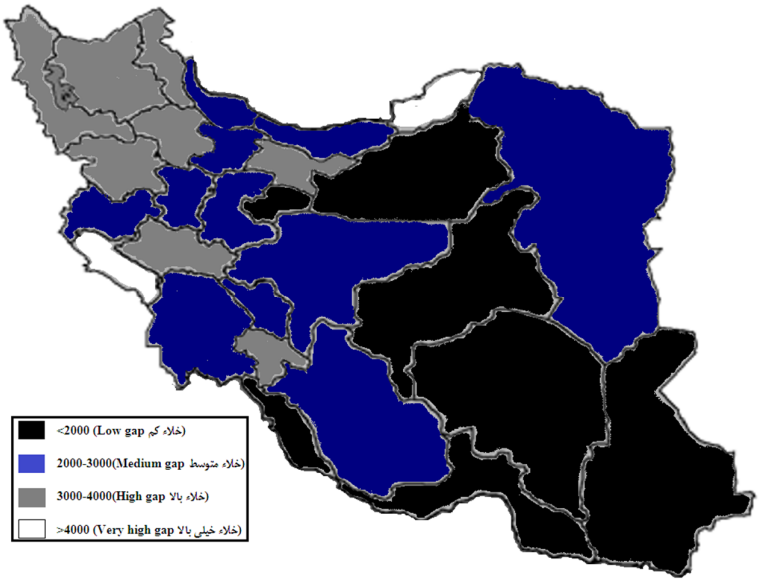
Table 1- Coefficients of frontier production function for climatical parameters affecting wheat potential yield for various province of Iran

استان Province	Climatical parameters متغیرهای اقلیمی			ضریب تبیین
	دما Temperature	بارندگی Precipitation	تابش Radiation	r^2
آذربایجان‌شرقی East Azarbaijan	0.40	0.73	0.41	62
آذربایجان‌غربی West Azarbaijan	0.35	0.65	0.44	74
اردبیل Ardabil	0.59	0.45	0.33	81
اصفهان Isfahan	-0.18	1.08	-0.63	62
ایلام Ilam	0.24	0.73	0.02	89
بوشهر Bushehr	-0.12	0.39	0.32	77
تهران Tehran	-0.11	0.72	0.30	97
خراسان رضوی Razavi Khorasan	-0.20	0.91	-0.19	79
چهارمحال Chaharmahal	0.11	0.50	0.25	59
خوزستان Khuzestan	-0.09	0.75	0.07	81
زنجان Zanjan	0.42	0.13	0.29	88
سمنان Semnan	-0.48	1.11	-0.39	69
سیستان وبلوچستان Sistan and Baluchestan	-0.53	1.06	-0.42	62
فارس Fars	-0.06	0.78	-0.17	59
قم Qom	-0.27	1.07	-0.69	69
قزوین Qazvin	0.24	0.55	0.30	68
کردستان Kordestan	0.26	0.63	0.22	99
کرمان Kerman	-0.19	0.95	-0.41	89
کرمانشاه Kermanshah	0.19	0.49	0.19	55
کهگیلویه Kohgeluyeh	0.36	0.64	0.30	84
گلستان Golestan	-0.03	0.15	0.49	66
گیلان Gilan	-0.13	0.03	0.58	80
لرستان Lorestan	0.35	0.47	0.24	73
مازندران Mazandaran	-0.06	0.13	0.45	66
مرکزی Markazi	0.11	0.64	0.03	65
هرمزگان Hormozgan	-0.80	0.86	-0.34	59
همدان Hamadan	0.32	0.48	0.39	85
یزد Yazd	-0.48	1.37	-1.31	78
کل کشور Total	-0.15	0.66	0.12	74

استان‌های کهگیلویه و بویر احمد، کردستان، زنجان، تهران، ایلام، اردبیل، آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی جزء استان‌های با خلاء عملکرد زیاد طبقه‌بندی شدند که دارای خلاء بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بودند (شکل ۱). هوچمن و همکاران (Hochman *et al.*, 2012) میزان خلاء گندم را برای مناطق مختلف استرالیا بین ۶۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. لو و فان (Lu and Fan, 2013) نیز میزان خلاء گندم را برای استان‌های مختلف چین در دامنه‌ای بین ۶۰۰ تا ۵۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. نصیری محلاتی و کوچکی (Nasiri Mahallati and Koocheki, 2009) نیز میزان خلاء عملکرد گندم را برای استان‌های خراسان شمالی، رضوی وجنوبی را به‌ترتیب ۳/۷۰، ۴/۳۰ و ۲/۸۰ تن در هکتار گزارش کردند. کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2007) نیز میزان خلاء عملکرد زیره سبز را برای مناطق مختلف خراسان بین ۰/۶۸ تا ۲/۴۲ تن در هکتار گزارش نمودند.

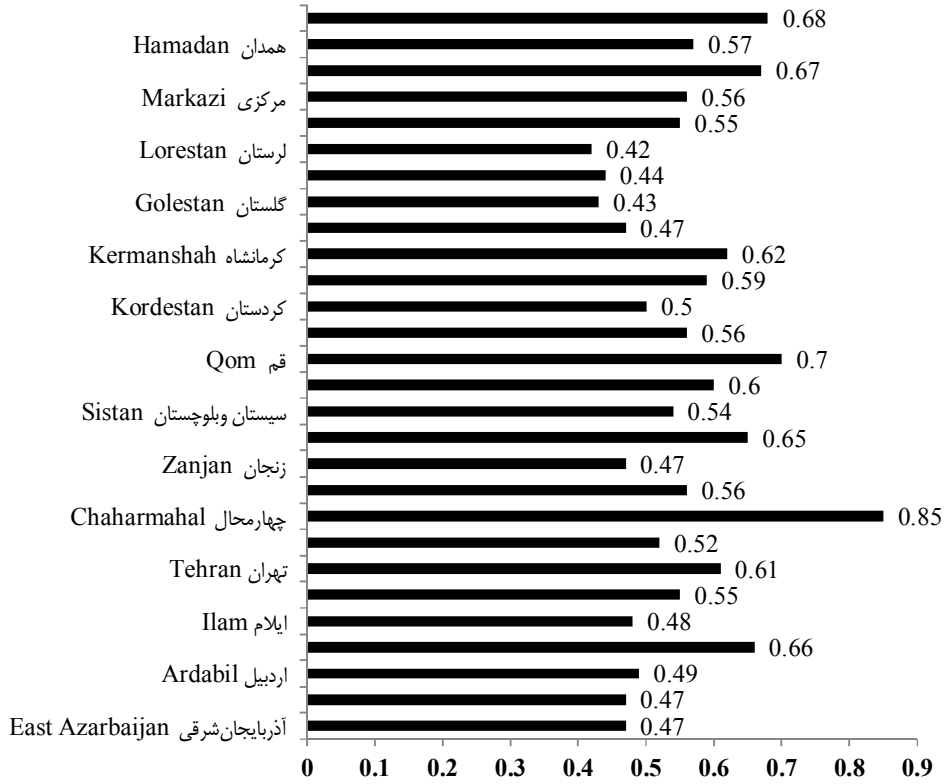
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- پهنه‌بندی میزان خلاء عملکرد گندم در مناطق مختلف ایران

Figure 1- Zoning the wheat yield gap in various regions of Iran (kg ha^{-1})



شکل ۲- کارایی تولید گندم در استان های مختلف کشور

Figure 2- Yield efficiency of wheat in various provinces of Iran

www.SID.ir

Archive of SID

کارایی تولید

میزان کارایی تولید گندم در استان‌های مختلف کشور در شکل ۲ آمده است. با توجه به اینکه کارایی تولید، کسر حاصل از عملکرد واقعی بر عملکرد پتانسیل می‌باشد، بهترین کارایی ۱ و عدم کارایی صفر می‌باشد و هرچه عدد کارایی به ۱ نزدیک باشد، نشان‌دهنده کارایی بیشتر تولید خواهد بود. بالاترین کارایی تولید گندم در بین استان‌های مختلف کشور مربوط به استان قم (۰/۷۰) و کمترین کارایی نیز مربوط به استان لرستان (۰/۴۲) می‌باشد. به‌عبارتی میزان خلاء عملکرد در استان قم ۳۰٪ و در استان لرستان ۵۸٪ می‌باشد که البته این خلاء عملکرد ناشی از فاکتورهای مدیریتی و تکنولوژیکی می‌باشد. در بین استان‌های کشور ۷ استان اصفهان، تهران، سمنان، قم، کرمانشاه، هرمزگان و یزد دارای کارایی تولید گندم بالاتر از ۰/۶ می‌باشند و ۱۰ استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، ایلام، زنجان، کردستان، کهگیلویه و بویراحمد، گلستان، گیلان و لرستان از کارایی تولید کمتر از ۰/۵۰ برخوردار بودند که این کاهش کارایی ناشی از مدیریت و تکنولوژی ضعیف در این مناطق می‌باشد (شکل ۲).

تأثیر عوامل مدیریتی بر میزان خلاء عملکرد گندم

نتایج آنالیز تابع حد مرزی نشان داد که به‌طور کلی تأثیر کلیه فاکتورهای مدیریتی بر میزان خلاء عملکرد گندم کشور منفی بود (جدول۲). بدین معنی که با بهبود یا افزایش هر کدام از فاکتورهای مدیریتی مورد بررسی در این آزمایش، میزان خلاء گندم در کشور کاهش نشان داد. از بین فاکتورهای مدیریتی مورد بررسی، آبیاری و استفاده از کود شیمیایی به‌ترتیب با ضریب رگرسیونی معادل ۰/۹۸- و ۰/۴۹- بیشترین تأثیر را بر کاهش خلاء عملکرد گندم داشتند و در رده بعدی مکانیزاسیون کشاورزی (۰/۲۴-) و کاربرد آفت‌کش‌های شیمیایی (۰/۲۱-) قرار داشت. همچنین استفاده از کود دامی نیز با ضریب رگرسیونی ۰/۱۷- کمترین تأثیر را بر خلاء عملکرد گندم داشت (جدول۲). نتایج ضریب تبیین حاصل از معادله‌های رگرسیونی مورد استفاده نشان داد که این متغیرها به‌خوبی توانستند تغییرات خلاء عملکرد را در کل کشور و همچنین استان‌های مختلف کشور توضیح دهند، به‌طوری‌که مقدار ضریب تبیین برای استان‌های مختلف کشور از ۷۴ تا ۹۹ درصد متغیر بود و مقدار آن برای معادله برازش شده برای کل کشور ۷۸ درصد بود (جدول۲). نئومان و همکاران (Neumann *et al.*, 2010)، خلاء عملکرد را برای گندم، برنج و ذرت در سطح جهانی با استفاده از تابع تولید حد مرزی برآورد نمودند. نامبردگان مهمترین عوامل ایجادکننده خلاء عملکرد را عوامل زراعی مانند آبیاری و شیب زمین و عوامل اقتصادی مانند دسترسی به بازار و نیروی کارگری در نظر گرفتند. آنها خلاء عملکرد را ۰/۵ تا ۸ تن در هکتار برای مناطق مختلف جهان گزارش کردند. اندرسون (Anderson, 2010) خلاء گندم را در کشور استرالیا متاثر از عوامل اقلیمی، مدیریتی و رقم مورد استفاده دانست و در بین فاکتورهای مدیریتی نیز آبیاری، مکانیزاسیون و تغذیه گیاه را به‌عنوان مؤثرترین عوامل ذکر نمود.

نتایج حاصل از معادله رگرسیونی برای کاربرد کود شیمیایی در استان‌های مختلف کشور نشان داد که، ضرایب در همه استان‌های کشور منفی بود (جدول ۲). به‌عبارتی در همه استان‌های کشور افزایش استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند میزان خلاء عملکرد گندم را کاهش دهد. از طرفی مقدار ضرایب از ۰/۱۳- برای استان گیلان تا ۰/۵۴- برای استان خراسان متفاوت بود (جدول ۲). با بررسی روند ضرایب در بین استان‌های کشور، مشاهده شد که در استان‌های گرم و خشک کشور از قبیل، یزد، کرمان، اصفهان، خراسان رضوی، سمنان، قم و سیستان و بلوچستان، میزان ضریب مربوط به کاربرد کود شیمیایی بزرگ‌تر از استان‌های مرطوب از قبیل گیلان، گلستان، مازندران و همچنین سرد از قبیل استان‌های غرب و شمال غرب کشور بود (جدول۲). به‌نظر می‌رسد مهمترین عاملی که در این رابطه نقش دارد تفاوت در میزان مواد آلی و سرعت تجزیه آنها باشد، به‌طوری‌که نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati *et al.*, 2015) گزارش کردند میزان مواد آلی و و در نتیجه عناصر غذایی لازم به‌خصوص نیتروژن در اقلیم گرم و خشک کشور کمتر از اقلیم‌های مرطوب حاشیه خزر و خلیج فارس و همچنین استان‌های همجوار زاگرس می باشد، که در نتیجه به دلیل پایین بودن مواد آلی در استان‌های واقع در اقلیم گرم و خشک کشور این استان‌ها نیاز بیشتری به استفاده از کودهای شیمیایی داشته و با کاربرد کودهای شیمیایی عملکرد گندم بهبود یافته و میزان خلاء عملکرد آن کاهش می‌یابد. قرینه و همکاران (Gharineh *et al.*, 2012) نیز میزان خلاء عملکرد گندم را برای شهرستان‌های مختلف استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند و مهمترین عامل مؤثر در ایجاد خلاء گندم را محدودیت‌های خاک از قبیل عدم حاصلخیزی آن ذکر نمودند.

نتایج مربوط به عامل آبیاری نیز نشان داد که مقدار ضریب آن در کلیه استان‌های کشور منفی بود (جدول ۲)، بدین معنی که در کلیه استان‌ها با افزایش مقدار آبیاری عملکرد گندم به شرایط پتانسیل نزدیک‌تر شده و در نتیجه خلاء عملکرد آن کاهش می‌یابد. مقدار ضریب آبیاری در استان‌های گرم و خشک کشور بزرگ‌تر (منفی‌تر) از استان‌های واقع در اقلیم سرد کوهستانی، مرطوب خزری و گرم و مرطوب جنوبی بود، به‌طوری‌که بزرگ‌ترین مقدار آن در استان‌های یزد (۱/۸۷-) و سیستان و بلوچستان (۱/۸۶-) و کوچک‌ترین آن نیز در استان‌های حاشیه دریای خزر (بین ۰/۱۱- تا

www.SID.ir

Archive of SID

۰/۱۸-) مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲- سهم نسبی تأثیر فاکتورهای مدیریتی مختلف بر میزان خلاء عملکرد گندم در استان های مختلف کشور

Table 2- The relative contribution of various managing factors on gap yield of wheat in different provinces

استان Province	متغیرهای مدیریتی Managing variable					ضریب تبیین r^2
	کود شیمیایی Chemical Fertilizers	آبیاری Irrigation	مکانیزاسیون Mechanization	کود دامی Manure	آفتکش Pesticide	
آذربایجان‌شرقی East Azarbaijan	-0.37	-0.79	-0.11	-0.29	-0.38	99
آذربایجان‌غربی West Azarbaijan	-0.29	-0.83	-0.17	-0.23	-0.23	96
اردبیل Ardabil	-0.32	-0.52	-0.20	-0.16	-0.26	87
اصفهان Isfahan	-0.43	-1.74	-0.07	-0.05	-0.39	74
ایلام Ilam	-0.28	-0.76	-0.26	-0.12	-0.19	92
بوشهرBushehr	-0.26	-1.00	-0.22	-0.26	-0.21	79
تهران Tehran	-0.23	-1.12	-0.05	-0.19	-0.19	99
خراسان رضوی Razavi Khorasan	-0.18	-0.82	-0.25	-0.14	-0.15	63
چهارمحال Chaharmahal	-0.52	-1.48	-0.08	-0.22	-0.42	99
خوزستان Khuzestan	-0.28	-1.02	-0.21	-0.24	-0.33	86
زنجان Zanjan	-0.14	-0.60	-0.19	-0.12	-0.12	91
سمنان Semnan	-0.43	-1.66	-0.17	-0.05	-0.35	99
سیستان وبلوچستان Sistan and Baluchestan	-0.40	-1.86	-0.36	+0.02	-0.33	92
فارس Fars	-0.29	-1.24	-0.16	-0.15	-0.16	99
قم Qom	-0.24	-0.88	-0.21	-0.20	-0.20	82
قزوین Qazvin	-0.46	-1.65	-0.29	-0.10	-0.31	97
کردستان Kordestan	-0.16	-0.67	-0.27	-0.12	-0.13	84
کرمان Kerman	-0.41	-1.69	-0.19	-0.23	-0.28	97
کرمانشاه Kermanshah	-0.20	-0.71	-0.23	-0.16	-0.16	71
کهگیلویه Kohgeluyeh	-0.27	-0.58	-0.23	-0.21	-0.22	64
گلستان Golestan	-0.18	-0.18	-0.17	-0.23	-0.16	98
گیلان Gilan	-0.13	-0.12	-0.11	-0.28	-0.14	62
لرستان Lorestan	-0.31	-0.52	-0.31	-0.15	-0.25	97
مازندران Mazandaran	-0.19	-0.17	-0.17	-0.26	-0.16	71
مرکزی Markazi	-0.22	-0.87	-0.19	-0.18	-0.18	90
هرمزگان Hormozgan	-0.26	-1.22	-0.24	-0.22	-0.33	94
همدان Hamadan	-0.26	-0.90	-0.18	-0.12	-0.26	79
یزد Yazd	-0.41	-1.87	-0.31	+0.03	-0.31	97
کل کشور Total	-0.49	-0.98	-0.24	-0.17	-0.21	78

این مطلب خود می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد که در استان‌های گرم و خشک کشور که عموماً از کمبود آب آبیاری رنج می‌برند، عدم تأمین کامل نیاز آبی گیاه گندم در طول فصل رشد و به‌خصوص بعد از بهار و گرم شدن هوا مهمترین عامل مؤثر در ایجاد خلاء گندم می‌باشد، که این موضوع برای استان‌های مرطوب خزری و همچنین سرد و کوهستانی که وابستگی کمتری به منابع آب‌های زیرزمینی داشته و از طرفی میزان نزولات آسمانی در آنها از وضعیت مناسب‌تری برخوردار می‌باشد، بسیار کمتر بود. به‌عبارتی به‌نظر می‌رسد در اقلیم گرم و خشک با افزایش واحد آب آبیاری، شیب افزایش عملکرد گندم بیشتر از سایر اقلیم‌های کشور بوده و به عملکرد پتانسیل منطقه نزدیک‌تر می‌شود. همانطور که قبلا ذکر شد به‌طور کلی در اغلب استان‌های کشور آبیاری مهمترین عامل ایجاد خلاء عملکرد گندم می‌باشد (جدول ۲). بکر و جانسون (Becker and Johnson, 1999) با مطالعه سیستم‌های تولید برنج در ساحل عاج

www.SID.ir

Archive of SID

نشان دادند که آبیاری مهمترین عامل در میزان خلاء عملکرد این گیاه می‌باشد، به‌طوری‌که، در شرایط آبیاری کامل و آبیاری محدود، عملکرد واقعی به‌ترتیب ۵۷ و ۴۴ درصد عملکرد پتانسیل بود همچنین لو و فان (Lu and Fan, 2013) نیز با بررسی میزان خلاء و پتانسیل عملکرد گندم زمستانه در چین گزارش کردند که دو عامل کود شیمیایی و آبیاری بیشترین تأثیر را بر میزان خلاء عملکرد داشتند و تأکید نمودند با بهبود سیستم‌های آبیاری و همچنین افزایش سطوح کود شیمیایی و به‌ویژه نیتروژن میزان خلاء گندم در کشور چین کاهش می‌یابد. کالرا و همکاران (Kalra *et al.*, 2007) در کشور هند نیز نتایج مشابهی گزارش کردند.

ضرایب رگرسیونی مربوط به مکانیزاسیون کشاورزی نیز برای کلیه استان‌های کشور منفی بود، که خود حاکی از نقش مثبت مکانیزاسیون در کاهش خلاء گندم بود. با این وجود، این ضرایب روند متفاوتی را نسبت به آبیاری و کود شیمیایی دارا بودند. به‌طوری‌که مقدار آن در استان‌های محروم کشور از قبیل سیستان و بلوچستان، چهارمحال و بختیاری، ایلام، قم، لرستان و یزد بزرگ‌تر (منفی‌تر) از استان‌هایی بود که از امکانات و پیشرفت صنعتی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۲)، به‌عبارتی اثر بهبود مکانیزاسیون در استان‌های محروم کشور بر کاهش خلاء عملکرد گندم بیشتر از استان‌های صنعتی بود که از امکانات مکانیزاسیون مناسب‌تری برخوردارند. به‌نظر می‌رسد که استفاده از مکانیزاسیون پیشرفته‌تر در مراحل کاشت، داشت و برداشت گندم تأثیر مثبتی بر عملکرد نهایی این محصول داشته و باعث کاهش خلاء عملکرد گندم شده است. مقدار ضریب رگرسیونی در استان‌هایی از قبیل تهران (۰/۰۵-)، اصفهان (۰/۰۷-)، گیلان (۰/۱۱-)، خراسان رضوی (۰/۰۸-)، سمنان (۰/۱۷-) و فارس (۰/۱۶-) که در مقایسه با دیگر استان‌های کشور تاحدودی از نظر مکانیزاسیون پیشرفته‌تر هستند، کوچک‌تر بود (جدول ۲). اغلب کشاورزان در کشور بر این عقیده‌اند که کاربرد ماشین‌آلات مناسب در مرحله کاشت تأثیر مهمی بر تراکم نهایی گندم و در نتیجه عملکرد آن دارد. در مرحله برداشت گندم نیز به‌دلیل عدم وجود کمباین مناسب، در بعضی موارد درصد قابل ملاحظه‌ای از تولید به هدر می‌رود. بنابراین، به‌نظر می‌رسد با کاربرد مکانیزاسیون پیشرفته‌تر در مراحل مختلف کشت و کار، عملکرد این گیاه به شرایط پتانسیل نزدیک شده و به‌عبارتی میزان خلاء آن کاهش می‌یابد.

تجزیه ضرایب استاندارد شده رگرسیونی برای عامل استفاده از کود دامی نیز نشان داد که در کلیه استان‌های کشور، به‌جز سیستان و بلوچستان و یزد مقدار ضریب رگرسیونی منفی بود (جدول ۲). به‌عبارتی کاربرد کود دامی در دو استان مذکور منجر به افزایش خلاء عملکرد گندم و در سایر استان‌های کشور باعث بهبود عملکرد گندم و در نتیجه کاهش خلاء شد. همچنین، نتایج نشان داد که استفاده از کود دامی در استان‌های حاشیه دریای خزر بیشترین تأثیر را بر کاهش خلاء گندم داشت و در استان‌های با اقلیم گرم و خشک اثر کمتری دارا بود (جدول ۲). دلیل بالا بودن ضریب رگرسیونی کود دامی برای استان‌های حاشیه دریای خزر، پایین بودن دیگر ضرایب مربوط به عوامل مدیریتی می‌باشد و از طرفی، به‌نظر می‌رسد در مناطق مرطوب کشور، کود دامی احتمالاً به‌دلیل شرایط تجزیه مناسب‌تر تأثیر بیشتری بر بهبود عملکرد گندم داشته و با نزدیک شدن عملکرد به شرایط پتانسیل، میزان خلاء عملکرد در مناطق مرطوب بیشتر از مناطق گرم و خشک کاهش می‌یابد. رگرسیون برازش شده برای کل کشور نیز نشان داد که در کل کاربرد کود دامی تأثیر منفی (۰/۱۷-) بر خلاء عملکرد گندم داشته (جدول ۲) و به‌عبارتی با کاربرد کود دامی از خلاء گندم کاسته می‌شود.

مقدار ضریب رگرسیونی مربوط به فاکتور آفت‌کش‌ها برای کل کشور و همچنین در هر کدام از استان‌های کشور منفی بود (جدول ۲). این موضوع نشان‌دهنده این است که کاربرد آفت‌کش منجر به بهبود عملکرد گندم در کلیه استان‌های کشور شده که خود باعث کاهش میزان خلاء گندم می‌شود. ضرایب این فاکتور از روند خاصی در بین استان‌های مختلف کشور تبعیت نکرد، با این حال بزرگترین مقدار آن در استان خراسان (۰/۴۲-) و کوچک‌ترین مقدار آن نیز در استان زنجان (۰/۱۲-) مشاهده شد (جدول ۲).

به‌طورکلی، نتایج نشان داد به‌جز استان‌های ساحل دریای خزر شامل گلستان، مازندران و گیلان در سایر استان‌های کشور عامل مدیریتی آبیاری بیشترین تأثیر را در کاهش خلاء عملکرد گندم دارا بود و این موضوع برای استان‌های واقع در اقلیم گرم و خشک کشور بسیار پراهمیت‌تر بود. در سه استان گلستان، مازندران و گیلان نیز کاربرد کود دامی مؤثرترین عامل در کاهش خلاء عملکرد گندم بود (جدول ۲). همچنین در اکثر استان‌های کشور بعد از عامل آبیاری، کاربرد کود شیمیایی و مکانیزاسیون کشاورزی مؤثرترین عوامل در بهبود عملکرد گندم و درنتیجه کاهش خلاء گندم بودند (جدول۲). بنابراین به‌نظر می‌رسد، برای نزدیک شدن عملکرد گندم در کشور به عملکرد پتانسیل باید مدیریت در آبیاری، کودهای شیمیایی و مکانیزاسیون بهبود پیدا کند. نصیری و کوچکی (Nasiri Mahallati and Koocheki, 2009) میزان پتانسیل و خلاء عملکرد گندم را برای مناطق مختلف خراسان شبیه‌سازی نمودند و گزارش کردند که محدودیت آب و عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و همچنین خسارت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مهمترین عوامل مؤثر در خلاء گندم در این منطقه می‌باشند. از طرفی، واسنار و همکاران (Wassenaar *et al.*, 1999)، با شبیه‌سازی عملکرد گندم تحت تأثیر محدودیت‌های خاک و اقلیم در کشور فرانسه، تاریخ نامناسب کاشت را یکی از مهمترین عوامل مؤثر در خلاء گندم گزارش نمودند. آگاروال (Aggarval, 1994) نیز با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی رشد، عملکرد پتانسیل گندم در کشور هندوستان را بین ۲/۵ تا ۷ تن در

www.SID.ir

Archive of SID

هکتار با خلاء معادل ۲ تا ۴ تن برآورد کردند. نتایج تحقیق آگاروال نشان داد که بسته به منطقه، در حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد از خلاء عملکرد مربوط به تاریخ کاشت نا مناسب بود. آبلدو و همکاران (Abeledo *et al.*, 2008) بیان نمودند که بهبود سیستم‌های آبیاری و مدیریت مناسب کوددهی گندم در منطقه مدیترانه مهمترین عوامل در نزدیک شدن عملکرد گندم به عملکرد پتانسیل و در نتیجه کاهش میزان خلاء گندم بود.

نتیجه‌گیری

در بین متغیرهای اقلیمی مورد بررسی، سهم نسبی بارندگی در مقایسه با دما و تشعشع در تمام استان‌های کشور به جزء استان‌های زنجان، گلستان، گیلان و مازندران بر میزان پتانسیل عملکرد گندم بیشتر بود و به‌طور کلی برای کل کشور نیز تأثیر بارندگی بر میزان عملکرد پتانسیل بیشتر از دما و تشعشع بود. از طرفی بررسی میزان خلاء عملکرد گندم نیز نشان داد که میزان آن در ایران بین ۱۶۴۶ تا ۴۴۷۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. بیشترین میزان خلاء عملکرد گندم نیز در استان‌های مازندران و ایلام مشاهده شد. میزان کارایی تولید در کلیه استان‌های کشور بالاتر از ۰/۴۰ بود و بالاترین میزان آن مربوط به استان قم (۰/۷) و کمترین آن نیز مربوط به استان لرستان (۰/۴۲) بود. در رابطه با تأثیر عوامل مدیریتی بر میزان خلاء عملکرد گندم نیز نتایج آنالیز تابع حد مرزی نشان داد که به‌طور کلی تأثیر کلیه فاکتورهای مدیریتی بر میزان خلاء عملکرد گندم کشور منفی بود و با بهبود هر کدام از این شاخص‌های مدیریتی، خلاء عملکرد گندم در کشور کاهش می‌یابد. از بین فاکتورهای مدیریتی مورد بررسی، آبیاری و استفاده از کود شیمیایی بیشترین تأثیر را بر کاهش خلاء عملکرد گندم داشتند و بعد از آنها نیز مکانیزاسیون کشاورزی و کاربرد آفت‌کش‌های شیمیایی قرار داشت. همچنین استفاده از کود دامی نیز کمترین تأثیر را بر خلاء عملکرد گندم داشت.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش توسط معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Abeledo, L. G., Savin, R., and Slafer, G. A. 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. European Journal of Agronomy 28: 541- 550.
2. Aggarval, P. K. 1994. Constraints in wheat productivity in India. In: Simulating the Effect of Climatic Factors, Genotype and Management on Productivity of Wheat in India. (eds. Aggarval, P.K., Kalra, N.) pp. 1-11. Agricultural Research Institute, New Delhi, India.
3. Aigner, D., Lovell, C. A. K., and Schmidt, P. 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. Journal of Econometrics 6: 21-37.
4. Anderson, W. K. 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. Field Crops Research 116: 14-22.
5. Barbier, E. B. 2003. Agricultural expansion, resource booms and growth in Latin America: implications for long-run economic development. World Development 32: 137-157.
6. Becker, M., and Johnson, D. E. 1999. Rice yield and productivity gaps in irrigated systems of the forest zone of CoÃte d'Ivoire. Field Crops Research 60: 201-208.
7. Boogaard, H. L., van Diepen, C. A., Rötter, R. P., Cabrera, J. M. C. A., and van Laar, H. H. 1998. User's Guide for the WOFOST 7.1 Crop Growth Simulation Model and WOFOST Control Center 1.5. DLO-Winand Staring Centre, Wageningen, Technical Document 52.
8. Cassman, K. G. 1999. Ecological Intensification of Cereal Production Systems: Yield Potential, Soil Quality, and Precision Agriculture National Academy of Sciences colloquium ''Plants and Population: Is there time?". Arnold and Mabel Beckman Center in Irvine, CA.
9. Coelli, T., Rao, P., O'Donnell, C. J., and Battese, G. E. 2005. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts.
10. DeFries, R. S., Foley, J. A., Asner, G. P. 2004. Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. Frontiers in Ecology and the Environment 2: 249-257.
11. FAO. 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat. http://faostat.fao.org/site/408/default.aspx
12. Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., and Snyder, P. K. 2005. Global consequences of land use. Science 309: 570-574.
13. Gharineh, M. H., Bakhshandeh, A. M., Andarzian, B., and Fayezizadeh, N. 2012. Agro-climatic zonation of

www.SID.ir

Archive of SID

khouzestan province based on potential yield of irrigated wheat using WOFOST model. Agroecology 4: 255-264. (in Persian with English abstract).
14. Goudriaan, J., and Van Laar, H. H. 1993. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Press
15. Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., Rees, H. V., Marinoni, O., Garcia, J. N., and Horan, H. 2012. Quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia. Field Crops Research 136: 85-96.
16. Kalra, N., Chakraborty, D., Kumar, P. R., Jolly, M., and Sharma, P. K. 2007. An approach to bridging yield gaps, combining response to water and other resource inputs for wheat in northern India, using research trials and farmers' fields data. Agricultural Water management 93: 54-64.
17. Kamkar, B., Koocheki, A., Nasiri, M., and Rezvani Moghaddam, P. 2007. Gap yiled Analysis of cumin in 9 regions of North Khorasan, Razavi Khorasan and Sout Khorasan provinces using modelling approches. Iranian Field Crop Researches. 5: 333-341. (in Persian with English abstract).
18. Keys, E., and McConnell, W. J. 2005. Global change and the intensification of agriculture in the tropics. Global Environmental Change 15: 320-337.
19. Koning, G. H. J., and de van Diepen, C. A. 1992. Crop production potential of rural areas within the European Communities. IV: Potential, water limited and actual crop production. Working Document 68. Netherlands Scientific Council for Government Policy, The Hague.
20. Kropff, M. J., Cassman, K. G., Peng, S., Matthews, R. B., and Setter, T. L. 1994. Quantitative understanding of yield potential. In: Cassman, K.G. (Ed.), Breaking the Yield Barrier. Proceedings of a Workshop on Rice Yield Potential in Favourable Environments. International Rice Research Institute, Los Ban os, Philippines, pp. 21–38.
21. Lu, Ch., and Fan, L. 2013. Winter wheat yield potentials and yield gaps in the North China Plain. Field Crops Research 143: 98-105.
22. MAJ (Ministry of Agriculture of the I.R. of Iran) (2010) Planning and Economics Department, Statistics Bank of Iranian Agriculture, <http://www.maj. ir/english/Statistic/Default.asp?p=statistic>.
23. Meeusen, W., and Broeck, J. V. D. 1977. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. International Economic Review 18: 435-444.
24. Muchow, R. C., and Kropff, M. J. 1997. Assessing the potential yield of tropical crops: role of field experimentation and simulation. In: Kropff, M. J., Teng, P. S., Aggarwal, P. K., Bouma, J., Bouman, B. A. M., Jones, J. W., Van Laar, L. 1997. Applications of Systems Approaches at the Field Level. Springer Press.
25. Nasiri Mahallati, M. 2000. Crop growth modelling. Jahad daneshgahi Mashhad press. 274 p.
26. Nasiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2009. Agroclimatical zoning of wheat in Khorasan Province: evaluation of potential and gap yield. Iranian Field Crop Researches 7: 965-702. (in Persian with English abstract).
27. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Moradi, R., and Mansoori, H. 2015. Long term estimation of carbon dynamic and sequestration for Iranian agro-ecosystem**.** II- Sequestration and emission of carbon for common agricultural crops using ICBM model. Agroecology 7: 299-314. (in Persian with English abstract).
28. Neumann, K., Verburg, P. H., Stehfest, E., and Müller, C. 2010. The yield gap of global grain production: A spatial analysis. Agricultural Systems 103: 316-326.
29. Oerke, E. C., Dehne, H. W., Schonbeck, F., and Weber, A. 1994. Crop Production and Crop Protection. Estimated Losses in Major Food and Cash Crops. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
30. Pesaran, M. H., and Schmidt, P., 1999. Handbook of Applied Econometrics. Blackwell Publishers.
31. Rezaei, E., and Soltani, A. 1998. Applied analysis of regression. Isfahan University press. 159 p.
32. Rosegrant, M. W., Paisner, M. S., Meijer, S., and Witcover, J. 2001. 2020 Global Food Outlook Trends, Alternatives, and Choices. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
33. Ruttan, V. W., 2002. Productivity growth in world agriculture: Sources and constraints. Journal of Economic Perspectives. 16: 161-184.
34. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., and Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418: 671-677.
35. Timsina, J., Pathak, H., Humphreys, E., Godwin, D., Singh, B., Shukla, A.K., and Singh, U. 2004. Evaluation of final yield and yield gap analysis in rice using, CERES rice ver. 4.0 in northwest India. 5th International Crop Science Congress 107-115 pp.
36. Trostle, R. 2008. Global Agricultural Supply and Demand: Factors Contributing to the Recent Increase in Food Commodity Prices. United States Department of Agriculture.
37. Wassenaar, T., Lagacherie, P., Legros, J. P., and Rounsevell, M. D. A. 1999. Modelling wheat yield responses to soil and climate variability at the regional scale. Climate Research 11: 209-220.
38. Zare Feyzabadi, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2006. Assessing 50 years trend of changes in cultivated area, yield and production of cereals in the country and future prediction. Iranian Field Crop Researches 4: 42-69. (in Persian with English abstract).

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 244-256

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۲۵۶-۲۴۴

Effect of Climate and Management Factors on Potential and Gap of Wheat Yield in Iran with Using WOFOST Model

A. Koocheki[1*]- M. Nassiri Mahallati[1]- H. Mansoori[2]- R. Moradi[3]

Received: 01-01-2013
Accepted: 18-01-2014

Introduction: Human diets strongly rely on wheat (*Triticum aestivum* L.). Its production has increased dramatically during the past 50 years, partly due to area extension and new varieties but mainly as a consequence of intensified land management and introduction of new technologies. For the future, a continuous strong increase in the demand for agricultural products is expected. It is highly unlikely that this increasing demand will be satisfied by area expansion because productive land is scarce and also increasingly demanded by non-agricultural uses. The role of agricultural intensification as key to increasing actual crop yields and food supply has been discussed in several studies. However, in many regions, increases in grain yields have been declining Inefficient management of agricultural land may cause deviations of actual from potential crop yields: the yield gap. At the global scale little information is available on the spatial distribution of agricultural yield gaps and the potential for agricultural intensification.

Actual yield is mostly lower than potential yield due to inefficient management and technological that difference between these yields is considered as yield gap. Understanding of relative share of every management factors in yield gap could be as one of the important keys to reduce gap and close actual yield to potential yield.

Materials and Methods: In order to evaluate the amount of wheat yield gap and also relative share of management and technological variables in yield gap, frontier production function was used which is a multi-variable regression. The frontier production function to be estimated is a Cobb-Douglas function as proposed by Coelli *et al*. (2005). Cobb-Douglas functions are extensively used in agricultural production studies to explain returns to scale. We propose a methodology to explain the spatial variation of the potential for intensification and identifying the nature of the constraints for further intensification. We estimated a stochastic frontier production function to calculate global datasets of maximum attainable grain yields, yield gaps, and efficiencies of grain production at. Applying a stochastic frontier production function facilitates estimating the yield gap based on the actual grain yield data only, instead of using actual and potential grain yield data from different sources. Therefore, the method allows for a robust and consistent analysis of the yield gap. The factors determining the yield gap are quantified at both global and regional scales.

For this purpose, climatic information and wheat yield of different provinces were obtained from Iran meteorological organization and Agriculture Jahade organization, respectively. Wheat potential yield in different provinces was simulated by WOFOST model. Wheat gap was gained by difference between actual and potential yield in different provinces. Relative share of climatic variables in potential yield and also relative share of management variables included irrigation, fertilizer application, mechanization, pesticide application and manure in wheat yield gap was calculated by frontier production function.

Results and Discussion: The results showed that the effect of precipitation and radiation on wheat potential yield was positive and the impact of temperature was negative. Precipitation had the highest impact on wheat potential yield among other climatic variables. The range of wheat yield gap was from 1646 to 4470 kg ha^{-1} and 29 to 58% in Iran. Generally, the effect of all management variables on wheat yield gap was negative so that wheat yield gap was reduced by improving of these variables. Among studied management variables, irrigation had the highest effect on yield gap reduction, especially in dry-warm climate and fertilizer application was the second factor which had high effect on yield gap reduction. Therefore, to reduce wheat yield gap in Iran,

1- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- The former PhD student of Crop Ecology, Ferdowsi University of Mashhad, and Assistance Professor, Sugar Beet Research Department, Hamedan, Iran
3- The former PhD student of Crop Ecology, Ferdowsi University of Mashhad, and Assistance Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID

irrigation management and fertilizer application should be considered.

Conclusions: Between studied climate variables, the relative contribution of temperature and rainfall was higher on wheat yield potential compared with radiation in all provinces except the province of Zanjan, Golestan, Gilan and Mazandaran. The highest gap yield (4470 kg ha^{-1}) was assigned to Ilam and Mazandaran provinces. Irrigation and fertilizer application were the more affective variables in yield gap induction.

Keywords: Frontier production function, Mechanization, Irrigation, Potential yield, Simulation

www.SID.ir