نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد سیزدهم، شماره اول، بهار ۹۹
۱-۲٤
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2020.12532.1975

آنالیز خلاء عملکرد: کمّی کردن خلاء بین عملکرد واقعی و عملکردهای پتانسیل گندم در گرگان

بنیامین ترابی[1*]، افشین سلطانی[2]، سراله گالشی[2] و ابراهیم زینلی[1]

[1]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[2]استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹٦/۱۱/۹

چکیده

سابقه و هدف: امنیت غذایی یک موضوع اصلی در دنیاست؛ بسیاری از سازمان‌های بین‌المللی و دولتی برای تضمین نیازهای غذایی بشر در حال تحقیق هستند. با توجه به محدودیت در اراضی کشاورزی، یکی از راه‌های افزایش امنیت غذایی، افزایش تولید در واحد سطح است. امروزه با وجود ارقام پرمحصول، به‌دلیل عدم دسترسی به شرایط مطلوب محیطی، این ارقام به پتانسیل عملکرد خود نمی‌رسند. بنابراین، بین عملکرد پتانسیل این ارقام و عملکرد واقعی خلاء عملکرد ایجاد خواهد شد. قبل از هرگونه تغییر در عملیات مدیریتی جهت افزایش عملکرد، لازم است میزان عملکرد پتانسیل محصول و خلاء بین عملکرد پتانسیل و واقعی در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردد. بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی روند تغییرات خلاء عملکردهای مختلف در طی سال‌های مختلف و محاسبه متوسط خلاء عملکردهای مختلف در منطقه مورد مطالعه بود.

مواد و روش‌ها: عملکرد پتانسیل و متداول گندم با مدل CropSyst برای سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۱ شبیه‌سازی شدند و عملکردهای پتانسیل مزارع محققان در طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹٤، حداکثر عملکردهای قابل‌حصول کشاورزان در طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۹ و عملکردهای واقعی کشاورزان در طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۱ از مرکز تحقیقات کشاورزی و سازمان جهادکشاورزی جمع‌آوری شدند. در تحقیق حاضر چهار نوع خلاء عملکرد به صورت اختلاف بین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی (خلاء عملکرد ۱)، اختلاف بین عملکرد پتانسیل مزارع محققان و عملکرد واقعی (خلاء عملکرد ۲)، اختلاف بین حداکثر عملکرد مزارع کشاورزان و عملکرد واقعی (خلاء عملکرد ۳) و اختلاف بین عملکرد متداول شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی (خلاء عملکرد ٤) محاسبه شدند.

یافته‌ها: مقایسه روند تغییرات عملکرد واقعی با عملکردهای پتانسیل و متداول شبیه‌سازی شده در طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۱ نشان داد که خلاء بین عملکرد پتانسیل و متداول شبیه‌سازی شده با عملکرد واقعی در حال کاهش بود. این کاهش خلاء عملکرد به دلیل کاهش در روند عملکرد پتانسیل و متداول شبیه‌سازی شده و نیز افزایش در روند عملکرد واقعی در طی سال‌های مورد مطالعه بود. با توجه به نتایج استنباط شد برای افزایش عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده باید ارقامی تولید کرد که کارایی مصرف تشعشع بالایی داشته باشند. در حالی که برای کاهش خلاء عملکرد بین عملکرد متداول شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی باید ارقامی با کارآیی مصرف تشعشع بالا و در عدم محدودیت آب و نیتروژن کشت کرد. روند تغییرات خلاء بین عملکرد پتانسیل

*مسئول مکاتبه: ben_Torabi@yahoo.com

مزارع محققان و عملکرد واقعی در طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹٤ ثابت بود که این به دلیل عدم تغییر روند این دو عملکرد در طی سال‌های مورد مطالعه بود. روند تغییرات خلاء بین حداکثر عملکرد قابل‌حصول و عملکرد واقعی در طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۸۹ در حال افزایش بوده است. این امر نشان‌دهنده مدیریت بهتر کشاورزان نمونه برای دستیابی به حداکثر عملکرد می‌باشد، در حالی که سایر کشاورزان تلاش جدی جهت افزایش عملکرد در طی سال‌های مورد مطالعه نداشته‌اند. متوسط عملکرد پتانسیل و متداول شبیه‌سازی شده، عملکرد پتانسیل مزارع محققان، حداکثر عملکرد قابل‌حصول و عملکرد واقعی در طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹٤ به‌ترتیب حدود ٦/۳، ٦/٦، ٦/۰، ٤/٤ و ۳/٤ تن در هکتار بود. اختلاف بین هر یک از این سطوح عملکرد با عملکرد واقعی (خلاء عملکرد) به ترتیب حدود ۳/۰، ۱/۰، ۳/۲ و ۲/٦ تن در هکتار بود.

نتیجه‌گیری: از نتایج تحقیق حاضر استنباط شد که اختلافات عملیات مدیریتی برای دستیابی به عملکرد واقعی با سایر سطوح عملکردها می‌تواند یکی از دلایل خلاء عملکرد باشد. هر اندازه این اختلافات مدیریتی بیشتر باشد میزان خلاء عملکرد بیشتر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی.

مقدمه

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی کشور به شمار می‌رود و نان به عنوان مهم‌ترین فرآورده گندم، بخش قابل توجهی از رژیم غذایی جمعیت کشور را تشکیل می‌دهد. سطح زیرکشت و تولید گندم در بین محصولات در ایران به ترتیب در رتبه نهم و سوم محصولات قرار دارد. با توجه به متوسط آمار ۲۸ ساله (۲۰۰۸-۱۹۸۱) مربوط به گندم مشخص شد که از حدود ۵۲۵۰ هزار هکتار زمین زیر کشت گندم حدود ۳۷ درصد تحت کشت آبی و ٦۳ درصد تحت کشت دیم قرار دارد (۲۳). با توجه به این آمار، متوسط تولید گندم در نواحی آبی و دیم در ایران به‌ترتیب برابر ۲۸٤۰ و ۸۳۰ کیلوگرم در هکتار است (۲۳). شهرستان گرگان یکی از مناطق مستعد تولید گندم در ایران است. طبق آمار سال ۲۰۰۸ از کل سطح زیرکشت محصولات زراعی حدود ۳۰ درصد از آن به کشت گندم اختصاص یافته است (۱۹۱٤۹ هکتار) که از این مقدار حدود ٤ درصد مربوط به کشت دیم و ۹٦ درصد مربوط به کشت آبی می‌باشد. متوسط تولید گندم تحت شرایط دیم و آبی در شهرستان گرگان به‌ترتیب ۱٦۱۵ و ۳۷٤۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. با توجه به افزایش جمعیت نیاز به افزایش تولیدات کشاورزی به خصوص گندم ضروری است. افزایش سطح زیرکشت به دلیل محدود بودن و نامناسب بودن اراضی تقریبا غیرممکن و یا در صورت امکان بسیار هزینه‌بر است. بنابراین، افزایش تولید می‌بایست متکی به افزایش عملکرد در واحد سطح باشد.

فاکتورهای موثر بر عملکرد شامل تشعشع، دما (عوامل تعیین کننده عملکرد)، آب، مواد غذایی (عوامل محدودکننده عملکرد)، و آفات و بیماری‌ها (عوامل کاهنده عملکرد) هستند. به علاوه، پتانسیل تولید به‌وسیله بسیاری از عوامل دیگر مثل رقم و مدیریت محصول که با آب و هوا و خاک اثر متقابل دارند، تحت تاثیر قرار می‌گیرند. در نواحی که محصولات به خوبی آبیاری و مدیریت شده‌اند، پتانسیل تولید محصول اصولاً به وسیله تشعشع و دما تعیین می‌شود؛ در حالی که در نواحی دیم، بارندگی و ذخیره رطوبت خاک دارای اهمیت زیادی است (۵، ٦، ۱۳ و ۲۲). این در حالی است که تحت شرایط مزرعه عملکرد تحت تاثیر عوامل محدودکننده و کاهنده قرار

می‌گیرد و این عوامل باعث می‌شوند بین عملکرد کشاورزان (عملکرد واقعی) و عملکرد پتانسیل فاصله (خلاء) ایجاد شود.

مطالعاتی در زمینه تعیین میزان خلاء عملکرد بر روی محصولات مختلف در نقاط مختلف دنیا انجام شده است. مطالعات خلاء عملکرد در اواسط دهه ۱۹۷۰ شروع شد. در سال ۱۹۷٤ شبکه همکاری محققان برنج از ٦ کشور آسیایی جهت طرح و اجرای مطالعات مرتبط با تعیین محدودیت‌های عملکرد برنج تشکیل شد. نتایج این گزارش توسط بارکر و همکاران (۱۹۷۹) گزارش شده است (۳). باتیا و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل CROPGRO-Soybean نشان دادند که متوسط عملکرد پتانسیل آب نامحدود و آب محدود سویا در مناطق مختلف هند به ترتیب ۳۰۲۰ و ۲۱۷۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. متوسط عملکرد واقعی در مزارع کشاورزان حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که به ترتیب ۲۰۲۰ و ۱۱۷۰ کیلوگرم در هکتار از پتانسیل آب نامحدود و آب محدود کمتر بود (٤). آگاروال و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که به طور متوسط، اختلاف بین متوسط عملکرد منطقه و پتانسیل دیم شبیه‌سازی شده برنج در ایالت‌های مختلف هند حدود ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در این تحقیق نشان داده شد که خلاء عملکرد برای گندم در مناطق مختلف بسیار کم یا ناچیز است به طوری که میزان آن در برخی مناطق ۱۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار و در برخی از مناطق دیگر خلاء عملکردی وجود ندارد (۱). سینگ و همکاران (۲۰۰۱) در ۱۱ منطقه هند نشان دادند که عملکرد پتانسیل سویا از ۱۲٤۹ تا ۳۰۵۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد مشاهده شده از ۵۷۰ تا ۱۱۲۰ کیلوگرم در هکتار با خلاء عملکرد بین ۲۳۵ تا ۱۹۵۵ کیلوگرم در هکتار (۱۹ تا ٦۵ درصد عملکرد پتانسیل) متغیر است (۱۷). برای قسمت‌های شمال شرقی تایلند خلاء عملکرد در برنج بین ۱۳۷۰ تا ۲۳۲۰ کیلوگرم در هکتار (بین ۳۸ تا ٦۵ درصد)، در برنج ۱۷۵ تا ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار (۱۱ تا ۱۸ درصد)، در ذرت ۱۲۱۰ تا ۳۱۸۰ کیلوگرم در هکتار (۲۵ تا ٦۷ درصد)، در سویا ٦۲۵ تا ۹٤۰ کیلوگرم در هکتار (۳۲ تا ٤۹ درصد) و در بادام زمینی ۱۹۰ تا ۵۷۰ کیلوگرم در هکتار (۱۱ تا ۳۳ درصد) متغیر است (۱۷). در شمال ویتنام کشاورزان قادر بودند دو سوم عملکرد پتانسیل ذرت را برداشت نمایند؛ اما میزان خلاء عملکرد در بادام زمینی و سویا بیشتر بود و بین ٤۰ تا ٦۰ درصد عملکرد پتانسیل متغیر بود (۱۷). در مطالعات فوق دلایل خلاء عملکرد به عوامل مدیریتی مثل مدیریت آب، کود، آفات و علف‌های هرز، تاریخ کاشت و یا سایر عوامل مدیریتی می‌توانست مربوط باشد (۱۷).

چندین مطالعه دیگر جهت کاهش خلاء عملکرد در کشورهای مختلف در سطح ملی انجام گرفته است. در اندونزی عملکرد برنج تا حدود ٤/۹ درصد در سال از ۱۹٦۷ تا ۱۹۷۷ و ٤/۳ درصد در طول سال ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۷ از طریق برنامه‌های مختلف افزایش یافت (۷). ویتنام با اجرای سیاست خصوصی‌سازی بخش کشاورزی تولید را افزایش داد (۱۲). در مصر عملکرد برنج از ۵/۸ تن در هکتار در ۱۹۸۷ به ۸/۵ تن در هکتار در ۱۹۹۷ افزایش یافت که در آن‌جا اجرای فناوری‌های خیلی فشرده باعث کاهش خلاء عملکرد گردید (۲).

بنابراین، با توجه به اهمیت روند تغییرات عملکرد و تعیین میزان خلاء عملکرد در مدیریت کاهش خلاء عملکرد یک منطقه، این تحقیق با هدف بررسی روند تغییرات سطوح مختلف تولید (عملکردهای پتانسیل و متداول شبیه‌سازی شده، عملکرد پتانسیل مزارع محققان، حداکثر عملکرد کشاورزان و عملکرد واقعی کشاورزان) و همچنین، تعیین میزان خلاء بین

عملکردهای پتانسیل و عملکرد واقعی گندم در منطقه مورد مطالعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

تخمین خلاء عملکرد در منطقه مورد مطالعه: خلاء عملکرد حاصل اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی می‌باشد. بنابراین، طبق تعریف بسته به نوع عملکرد پتانسیل می‌توان خلاء عملکردهای متفاوتی داشت. در این تحقیق بر اساس نوع عملکردهای توضیح داده شده در زیر، به‌طور کلی می‌توان ٤ نوع خلاء عملکرد را در منطقه مورد مطالعه تخمین زد.

عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده: عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده حداکثر عملکردی است که می‌تواند در یک منطقه برای رقم معینی تحت شرایط عدم محدودیت آب به‌دست آید (۱۳، ١٤، ۱۸ و ۲۲). در مطالعه حاضر مدل CropSyst که توسط تحت شرایط گرگان ارزیابی شده بود، برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل برای طول دوره ۲۸ ساله (۲۰۰۸-۱۹۸۱) استفاده شد (۱۹ و ۲۰). برای اجرای مدل نیاز به ٤ سری داده‌های ورودی شامل داده‌های هواشناسی، خصوصیات گیاهی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و عملیات مدیریتی می‌باشد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای اجرای مدل (دمای حداقل و حداکثر، بارندگی و تشعشع) به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی‌هاشم آباد جمع‌آوری شد. برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل از خصوصیات رقم تجن استفاده شد (۱۹). شبیه‌سازی‌ها در تاریخ کاشت ۱۱ آبان با تراکم ٤٥٠ بوته در متر مربع انجام شد. برای جلوگیری از خسارت تنش آب به گیاه، فرض شد که سیستم به طور خودکار همزمان با تخلیه ۵۰ درصد حداکثر آب قابل دسترس گیاه (۱۹)، آبیاری را انجام دهد. همچنین، برای جلوگیری از خسارت تنش نیتروژن به گیاه، زیر مدل مربوط به شبیه‌سازی نیتروژن غیرفعال شد که در این صورت هیچ‌گونه شبیه‌سازی در مورد نیتروژن انجام نمی‌شود و یا به عبارت دیگر از لحاظ نیتروژن هیچ‌گونه محدودیتی برای گیاه وجود ندارد. در این شبیه‌سازی از بافت خاک لوم رسی سیلتی (SCL) و با عمق ۱۲۰ سانتی‌متر که در واقع خاک استاندارد منطقه بود، استفاده شد (۲۳). در این شبیه‌سازی‌ها فرض شد که هیچ‌گونه خسارتی از طریق آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به گیاه وارد نمی‌شود. به هر حال عملکرد شبیه‌سازی شده تحت چنین شرایطی تنها تحت تاثیر عوامل اقلیمی مثل تشعشع خورشیدی و دمای هوا قرار می‌گیرد و سایر عوامل محدود کننده عملکرد در آن تاثیری ندارند.

عملکرد متداول شبیه‌سازی شده: عملکرد متداول شبیه‌سازی شده عملکردی است که در یک منطقه برای رقم معینی تحت شرایط محدودیت آب و نیتروژن به‌دست آید. شبیه‌سازی عملکرد متداول برای طول دوره ۲۸ ساله (۲۰۰۸-۱۹۸۱) انجام شد. برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل از خصوصیات رقم تجن استفاده شد (۱۹). شبیه‌سازی‌ها در تاریخ کاشت ۲۰ آذر با تراکم ٤٥٠ بوته در متر مربع انجام شد. در همه این شبیه‌سازی‌ها فرض شد آبیاری به میزان ٦٠ میلی‌متر در مرحله گلدهی و به میزان ۷۰ میلی‌متر در ۲۰ روز پس از گلدهی انجام می‌شود. میزان کود نیتروژن مصرفی حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد که در سه مرحله، ۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار قبل از کاشت و مابقی آن در دو قسمت مساوی در ٦٠ و ۹۰ روز پس از کاشت، استفاده شد. بافت خاک لوم رسی سیلتی (SCL) و با عمق ۱۲۰ سانتی‌متر بود (۲۳). زمان کاشت، میزان تراکم، شیوه آبیاری، مدیریت کود نیتروژن و نوع خاک انتخاب شده در این شبیه‌سازی در اکثر مزارع منطقه مورد مطالعه متداول بودند.

عملکرد پتانسیل در مزارع محققان: میزان عملکرد قابل‌حصول در مزارع محققان تحت شرایط مطلوب مدیریتی مثل آب، عناصر غذایی، تاریخ کاشت و تراکم مطلوب و عدم وجود آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به دست آمد. آمار عملکرد پتانسیل مزارع محققان برای سال‌های ۱۹۹٤ تا ۲۰۰۸ قابل‌دسترس بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی گرگان جمع‌آوری شد. داده‌های عملکرد پتانسیل جمع‌آوری شده مربوط به ارقام و لاین‌های مختلف گندم بودند. حداقل، حداکثر و متوسط عملکرد پتانسیل مزارع محققان به‌ترتیب برابر ۵/۷، ۸/٤ و ٦/٦ تن در هکتار بود.

حداکثر عملکرد قابل‌حصول در مزارع کشاورزان: حداکثر عملکرد قابل‌حصول در مزارعی به دست می‌آید که در آن کشاورزان اصول مدیریت زراعی (تاریخ کاشت، آبیاری، کود، تراکم، روش کاشت و غیره) را به صورت مطلوب انجام می‌دهند. آمار حداکثر عملکرد کشاورزان برای هر سال از سازمان جهادکشاورزی گرگان جمع‌آوری شد. این آمار برای سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ قابل دسترس بود. داده‌های حداکثر عملکرد جمع‌آوری شده مربوط به ارقام مختلف گندم کشت شده توسط کشاورزان بود. حداقل، حداکثر و متوسط عملکرد پتانسیل مزارع محققان به ترتیب برابر ۵/۳، ۷/٤ و ٦/۱ تن در هکتار بود.

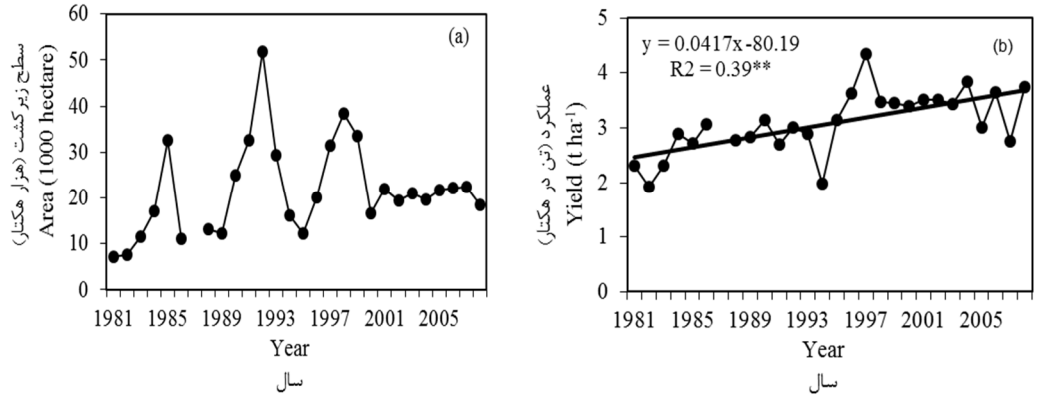
عملکرد واقعی کشاورزان: عملکرد واقعی همان متوسط عملکرد به دست آمده توسط کشاورزان در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این عملکردها تحت شرایط تنش‌های بیولوژیک و محیطی به‌دست آمده‌اند و میزان آن‌ها معمولا کمتر از حداکثر عملکرد کشاورزان است. آمار مربوط به داده‌های عملکرد واقعی از سازمان جهاد کشاورزی گرگان جمع‌آوری شد. این آمار مربوط به سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ و ارقام مختلف گندم بود. حداقل، حداکثر و متوسط عملکرد پتانسیل مزارع محققان به ترتیب برابر ۱/۹، ٤/۳ و ۳/۱ تن در هکتار بود.

محاسبه خلاءهای عملکرد: برای بررسی خلاء عملکرد در منطقه مورد مطالعه میزان خلاء عملکردهای مختلف با توجه به نوع عملکرد پتانسیل محاسبه و روند تغییرات آن‌ها در طی سال‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. در تحقیق حاضر چهار نوع خلاء عملکرد به صورت اختلاف بین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی (خلاء عملکرد ۱)، اختلاف بین عملکرد پتانسیل مزارع محققان و عملکرد واقعی (خلاء عملکرد ۲)، اختلاف بین حداکثر عملکرد مزارع کشاورزان و عملکرد واقعی (خلاء عملکرد ۳) و اختلاف بین عملکرد متداول شبیه‌سازی شده و عملکرد واقعی (خلاء عملکرد ٤) محاسبه شدند. در پایان در هر سطح متوسط عملکرد در طول سال‌های ۱۹۹٤ تا ۲۰۰۸ محاسبه و سپس در هر سطح اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی به عنوان متوسط خلاء عملکرد برای طول این دوره تخمین زده شد و مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

روند تغییرات عملکرد در منطقه مورد مطالعه: طبق آمار سال ۲۰۰۸ از کل سطح زیرکشت محصولات زراعی در شهرستان گرگان حدود ۳۰ درصد (۱۹۱٤۹ هکتار) به کشت گندم اختصاص یافته است که از این مقدار حدود ۹٦ درصد مربوط به کشت آبی می‌باشد. تجزیه و تحلیل روند تغییرات سطح زیر کشت از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که سطح زیرکشت به روش آبی رو به افزایش می‌باشد (شکل ۱). در بعضی مناطق منابع آبی جدید مانند سدها، بندها و کانال‌های آب‌رسانی در افزایش سطح زیرکشت به روش آبی

موثر بوده‌اند. در بسیاری از مناطق افزایش سطح زیر کشت به روش آبی به دلیل تغییر نگرش کشاورزان بوده است؛ بدین صورت که توصیه‌های کارشناسان کشاورزی به‌صورت‌های مختلف سبب شده است که دیدگاه تعداد زیادی از کشاورزانی که دارای منابع آبی بودند ولی به آبیاری تکمیلی گندم اهمیتی نمی‌دادند، تغییر کند و حتی این توصیه‌ها سبب شد کشاورزانی که منبع آبی شخصی ندارند از طریق خریداری آب، اقدام به آبیاری مزارع گندم کنند (۲۱). آمار نشان می‌دهد در طول ۲۸ سال اخیر کمترین و بیشترین میزان عملکرد به‌ترتیب ۱/۹۳ و ٤/۳٤ تن در هکتار بوده است که در سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۹۷ حاصل شده شده است. روند تغییرات عملکرد نشان داد میزان عملکرد در واحد سطح در این روش کشت در حال افزایش است (شکل ۱)، به‌طوری که شیب افزایش عملکرد حدود ۰/۰٤ تن در هکتار در سال می‌باشد. میزان عملکرد واقعی در مزارع تحت تاثیر شدت تنش آب، مواد غذایی، آفات و بیماری‌ها، مسایل اقتصادی- اجتماعی مثل هزینه‌ها، اعتبارات، سطح دانش، حمایت سازمان‌ها و غیره قرار می‌گیرد (۸، ۱۱، ۱۵ و ۱٦).

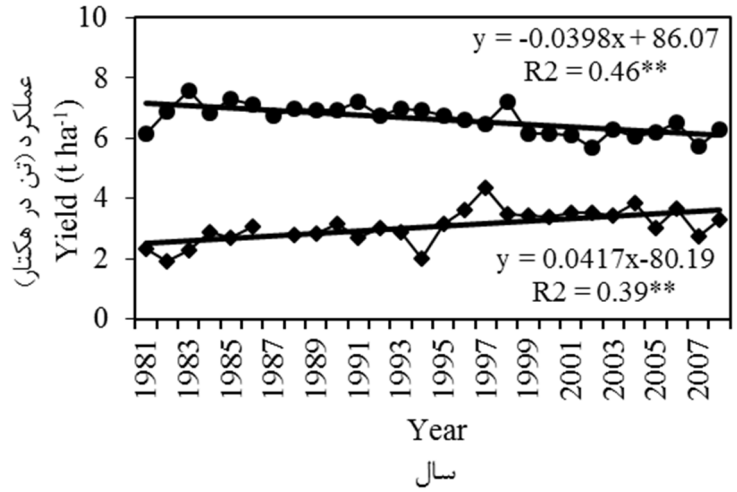


شکل ۱- روند تغییرات سطح زیرکشت (a) و عملکرد (b) گندم آبی در گرگان در طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸ .

Figure 1- Trend of changes in irrigated cultivation area (a) and yield (b) of wheat in Gorgan from 1981 to 2008.

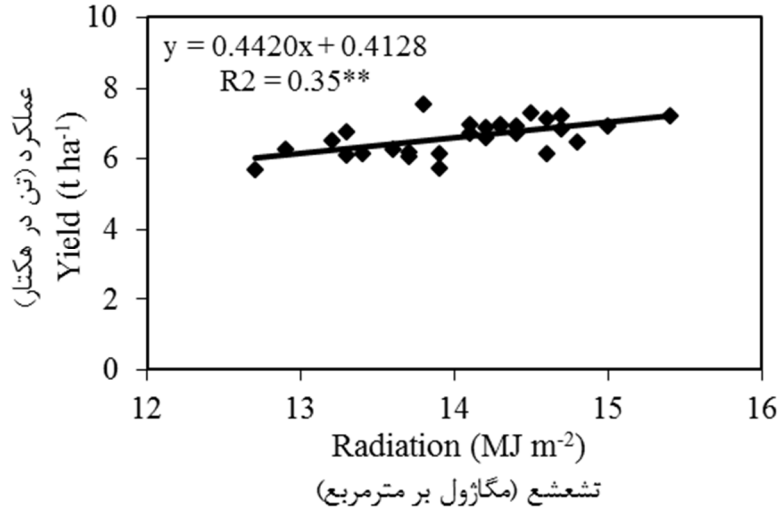
کمّی کردن خلاء بین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده و واقعی: نتایج نشان داد که عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی‌شده در سال‌های مختلف بین ۵/۷۰ تا ۷/۵٦ تن در هکتار متغیر است (شکل ۲). کمترین و بیشترین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۲ و ۱۹۸۳ به دست آمد. روند تغییرات عملکرد نشان داد میزان تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده حالت کاهشی دارد (P =۰/۰۰۱)، به‌طوری که میزان عملکرد در حدود ۰/۰٤ تن در هکتار در سال کاهش پیدا می‌کند. عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده تحت تاثیر رقم، تشعشع خورشیدی و دما قرار دارد (۹، ۱۳ و ۲۲). بنابراین، می‌توان اظهار کرد که در یک رقم معین، تغییرات عملکرد در طی سال‌های مختلف به دلیل وجود شرایط آب و هوایی متفاوت به ویژه تشعشع خورشیدی و دما می‌باشد. نتایج تجزیه همبستگی بین عملکرد و متغیرهای محیطی نشان داد که عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده با میزان تشعشع خورشیدی رابطه مثبت و معنی‌دار دارد (P = ۰/۰۰۱ و r = ۰/۵۹)، در حالی که با افزایش تشعشع میزان عملکرد حدود ۰/٤٤ تن در هکتار افزایش می‌یابد (شکل ۳). با توجه به این که میزان تشعشع خورشیدی با شیب حدود ۰/۰۵ مگاژول در مترمربع در حال کاهش است (شکل ٤a) می‌توان استنباط کرد که میزان عملکرد در طی سال‌های اخیر در حال

کاهش بوده است (شکل ۲). برای رهایی از چنین مشکلی باید ارقامی تولید کرد که در تشعشع خورشیدی پایین حداکثر کارآیی را داشته باشند.



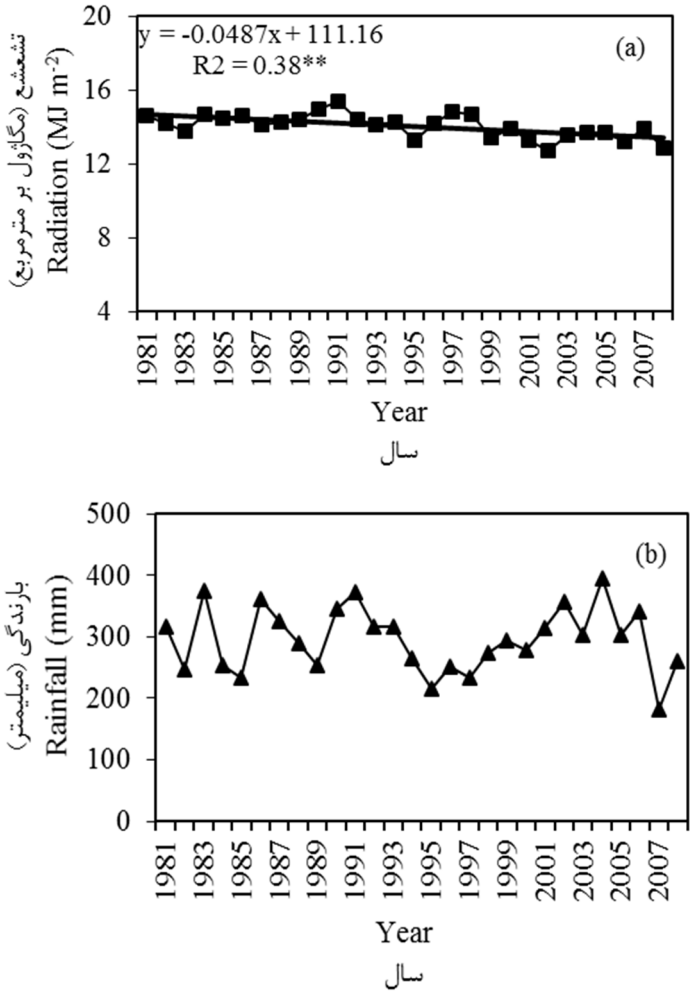
شکل ۲- روند تغییرات عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده (●) و عملکرد واقعی (◆) گندم در گرگان در طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸.

Figure 2- Trend of changes in simulated potential yield (●) and actual yield (◆) of wheat in Gorgan from 1981 to 2008.



شکل ۳- رابطه بین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی‌شده گندم و میزان تشعشع خورشیدی.

Figure 3- Relationship between simulated potential yield of wheat and radiation.



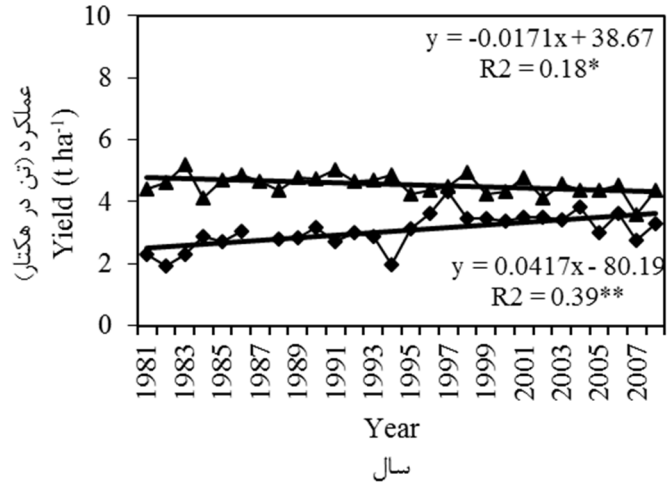
شکل ٤- روند تغییرات تشعشع خورشیدی (a) و بارندگی (b) در گرگان در طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸.

Figure 4- Trend of changes radiation (a) and rainfall (b) in Gorgan from 1981 to 2008.

عملکرد واقعی در طول این سال‌ها با شیب حدود ۰/۰٤ تن در هکتار در حال افزایش بوده است (P=۰/۰۰۱). این افزایش عملکرد نشان می‌دهد که در این سطح از تولید محدودکنندگی تشعشع خورشیدی و متوسط دمای هوا برای عملکرد وجود ندارد و محدودکنندگی عملکرد به عوامل دیگری مثل مدیریت زراعی از قبیل استفاده از کودها، آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، وقوع تنش‌های محیطی و سایر عوامل دیگر بستگی دارد (۵، ٦ و ۱۲). به هرحال مقایسه این دو روند تغییرات عملکرد نشان می‌دهد که خلاء عملکرد در حال کاهش می‌باشد. این کاهش خلاء عملکرد ناشی از دو قسمت شامل افزایش عملکرد واقعی و کاهش عملکرد پتانسیل می‌باشد. بنابراین، می‌توان اظهار کرد که کاهش خلاء عملکرد از طریق کاهش عملکرد پتانسیل مطلوب نمی‌باشد و باید برای جلوگیری از کاهش عملکرد پتانسیل از ارقام بهتر استفاده کرد. اما قسمتی از کاهش خلاء عملکرد که ناشی از افزایش عملکرد زراعی می‌باشد، مطلوب است و می‌توان با مدیریت زراعی بهتر عملکرد واقعی را بیشتر افزایش داد و خلاء ناشی از این قسمت را کاهش داد.

کمّی کردن خلاء بین عملکرد متداول شبیه‌سازی شده و واقعی: نتایج نشان داد که عملکرد متداول

شبیه‌سازی‌شده در سال‌های مختلف بین ۳/۵۸ تا ۵/۲۰ تن در هکتار متغیر است (شکل ۵). کمترین و بیشترین عملکرد متداول شبیه‌سازی شده به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۷ و ۱۹۸۳ به دست آمدند. روند تغییرات عملکرد نشان داد که میزان تغییرات عملکرد شبیه‌سازی شده حالت کاهشی دارد (P =۰/۰۲)، به‌طوری‌که میزان عملکرد حدود ۰/۰۱۷ تن در هکتار در سال کاهش پیدا می‌کند. عملکرد شبیه‌سازی شده علاوه بر اینکه تحت تاثیر رقم، تشعشع خورشیدی و دما قرار دارد، بیشتر تحت تاثیر محدودیت آب و نیتروژن قرار می‌گیرد (۹، ۱۳ و ۲۲). نتایج تجزیه همبستگی بین عملکرد شبیه‌سازی شده و متغیرهای محیطی نشان داد که عملکرد شبیه‌سازی شده با میزان تشعشع خورشیدی رابطه مثبت و معنی‌داری (P= ۰/۰۳۹ و r = ۰/۳۹) دارد و با افزایش میزان تشعشع خورشیدی میزان عملکرد حدود ۰/۲ تن در هکتار افزایش می‌یابد (شکل ٦a). همچنین، عملکرد شبیه‌سازی شده با میزان بارندگی رابطه مثبت و معنی‌داری نشان داد (P= ۰/۰۱ و r=۰/٤٦)، به‌طوری که با افزایش میزان بارندگی میزان عملکرد حدود ۰/۰۰۳ تن در هکتار افزایش یافت (شکل ٦b). این در حالی است که میزان تغییرات بارندگی در سال‌های مورد مطالعه روند خاصی نشان نداد (شکل ٤b). با توجه به روند کاهش میزان تشعشع خورشیدی در سال‌های مختلف (شکل ٤a) می‌توان انتظار داشت که میزان عملکرد متداول شبیه‌سازی شده روند کاهشی داشته باشد، اما به دلیل محدودیت آب و نیتروژن میزان عملکرد در مقادیر پایین‌تری این روند کاهشی را نشان داد (شکل ۵). برای افزایش عملکرد متداول شبیه‌سازی شده باید محدودیت آب و نیتروژن را برطرف کرد و برای ایجاد روند افزایشی رقم مورد نظر را اصلاح کرد.

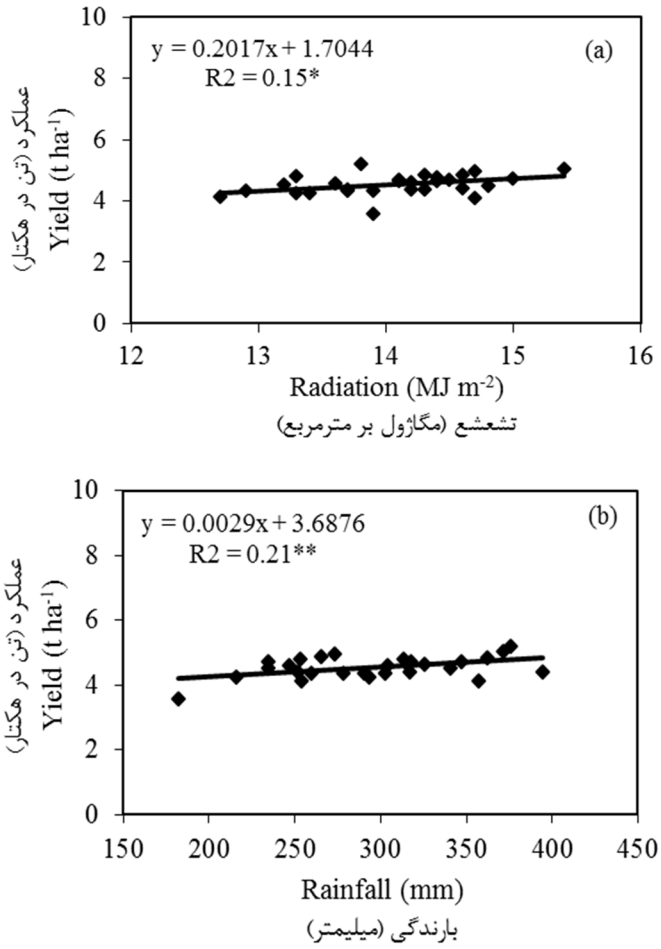


شکل ۵- روند تغییرات عملکرد متداول شبیه‌سازی شده (▲) و عملکرد واقعی (◆) گندم تحت شرایط گرگان در طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۸.

Figure 5- Trend of changes in simulated conventional yield (▲) and actual yield (◆) of wheat in Gorgan from 1981 to 2008.

با توجه به روند افزایشی عملکرد واقعی نشان داده شده (شکل ۱) انتظار می‌رود که خلاء بین عملکرد متداول شبیه‌سازی شده و واقعی با گذشت زمان کاهش یابد (P=۰/۰۰۱)، اما این کاهش خلاء عملکرد ناشی از دو قسمت افزایش عملکرد واقعی و کاهش عملکرد متداول شبیه‌سازی شده می‌باشد. بنابراین، می‌توان اظهار کرد که کاهش خلاء عملکرد از طریق کاهش عملکرد متداول مطلوب نمی‌باشد و

بایـد بـرای جلـوگیری از کـاهش عملکـرد متـداول شبیه‌سازی شده محدودیت آب و نیتروژن را برطـرف نمود و از ارقام بهتر استفاده کرد. اما قسمتی از کاهش خلاء عملکرد که ناشـی از افـزایش عملکـرد واقعـی می‌باشد، مطلوب خواهد بود و می‌تـوان بـا مـدیریت زراعی بهتر عملکـرد واقعـی را بیشـتر افـزایش داد و خلاء ناشی از این قسمت را کاهش داد.

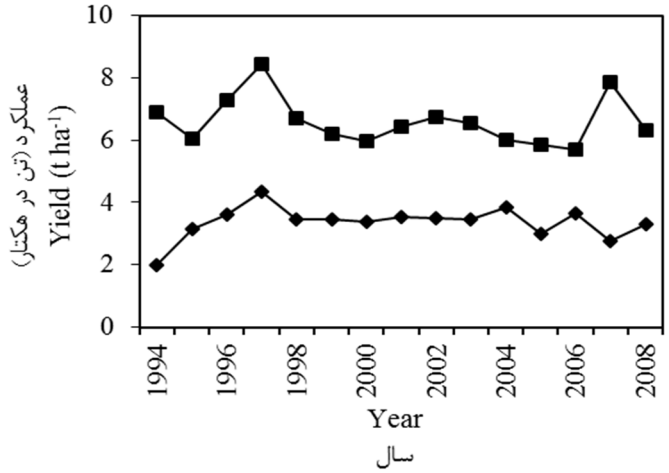


شکل ٦ - رابطه بین عملکرد متداول شبیه‌سازی شده گندم با میزان تشعشع خورشیدی (a) و بارندگی (b).

Figure 6- Relationship between simulated conventional yield with radiation (a) and rainfall (b).

کمّی کردن خلاء بین عملکرد پتانسیل مزارع محققـان و عملکرد واقعی: نتایج نشـان داد عملکردهـای پتانسـیل به‌دست آمده در مزارع محققان در سال‌های ۱۹۹۷ تـا ۲۰۰٦ دارای نوسانات انـدکی بـود، در حـالی کـه در سال‌های قبل و بعـد از آن میـزان نوسـانات عملکـرد بیشتر بود. حداقل و حداکثر عملکرد به دست آمده در طول این سال‌ها حدود ۵/۷ و ۸/۵ تن در هکتـار بـود که به ترتیب به سـال‌هـای ۲۰۰٦ و ۱۹۹۷ اختصـاص داشتند (شکل ۷). میزان عملکـرد در چنـین شـرایطی علاوه بر این که تحت تاثیر رقم، تشعشع خورشیدی و دما قرار می‌گیـرد، مـی‌توانـد تحـت تـاثیر بسـیاری از عوامـل تنظـیم کننـده عملکـرد کـه خـارج از کنتـرل محققان هستند، قرار گیرد. این عوامل احتمـالا شـامل برخی از محدودیت‌های ممکن در طـول فصـل رشـد مثل تنش‌های جزیی در آب، عناصر غـذایی، آفـات و بیماری‌ها و یا تفاوت در نـوع خـاک و شـرایط اولیـه

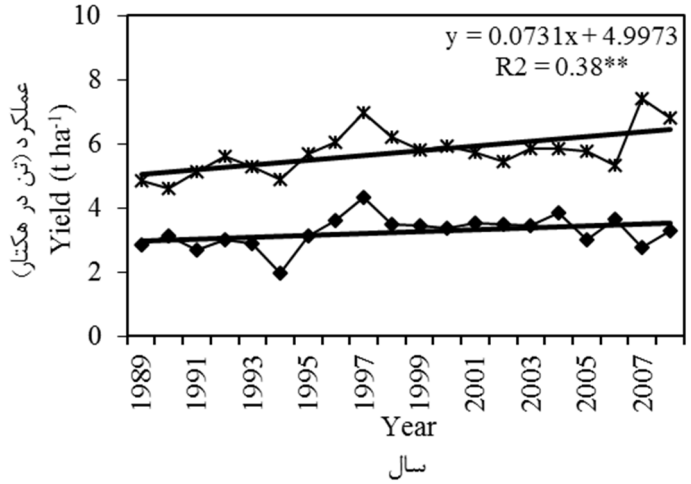
برخی از پارامترهای خاک مثل نیتروژن، مواد آلی و یا آب خاک می‌باشند. این امر باعث کاهش عملکرد در مزارع محققان نسبت به عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده می‌شود (۱ و ۸). نتایج نشان داد میزان عملکرد به دست آمده در مزارع محققان در برخی از سال‌ها از عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده بیشتر بود که این امر می‌تواند به دلیل تفاوت در نوع ارقام یا لاین‌های به کار گرفته شده در مرکز تحقیقات کشاورزی با رقم مورد استفاده در مدل شبیه‌سازی باشد. با توجه به عدم روند مشخص در عملکرد پتانسیل مزارع محققان (P=۰/۳۷) و عملکرد واقعی (P =۰/۷۵) در طول این ۱۵ سال (P=۰/۳۷) می‌توان نتیجه گرفت که میزان خلاء عملکرد در طول این ۱۵ سال روند افزایشی یا کاهشی نشان نداده ولی دارای نوساناتی بوده است.



شکل ۷- روند تغییرات عملکرد پتانسیل محققان کشاورزی (■) و عملکرد واقعی (◆) گندم در گرگان در طی سال‌های ۱۹۹٤ تا ۲۰۰۸.

Figure 7- Trend of changes in researches' potential yield (■) and actual yield (◆) of wheat in Gorgan from 1994 to 2008.

کمّی کردن خلاء بین حداکثر عملکرد قابل‌حصول در مزارع کشاورزان و عملکرد واقعی: نتایج در مورد حداکثر عملکردهای اندازه‌گیری شده در مزارع کشاورزان نشان داد حداقل و حداکثر عملکرد پتانسیل به دست آمده در طول این سال‌ها حدود ٤/٦ تا ٧/٤ تن در هکتار بود که به ترتیب به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۷ اختصاص داشتند (شکل ۸). میزان عملکرد در چنین شرایطی علاوه بر این که تحت تاثیر رقم، تشعشع خورشیدی، دما، بارندگی قرار می‌گیرد، تحت تاثیر برخی دیگر از محدودیت‌های مدیریتی و محیطی و تکنولوژی‌ها غیرقابل انتقال به مزارع کشاورزان قرار می‌گیرد. این عوامل غیرقابل انتقال شامل تفاوت در نوع خاک و شرایط اولیه آن، نوع رقم مورد استفاده و همچنین، مدیریت نهاده‌ها در ارتباط با بازده نزولی آن‌ها هستند که می‌تواند میزان حداکثر عملکرد قابل حصول کشاورزان را تحت تاثیر قرار دهد (۸، ۱۱، ۱۵ و ١٦). روند تغییرات حداکثر عملکرد قابل‌حصول در سال‌های مختلف (۲۰۰۸-۱۹۸۹) نشان داد که میزان عملکرد با شیب حدود ۰/۰۷ تن در هکتار در سال افزایش یافت (P =۰/۰۰٤؛ شکل ۸). این در حالی است که روند تغییرات عملکرد واقعی در طول این مدت ثابت بود (P =۰/۱۳). بنابراین، انتظار می‌رود که با گذشت زمان میزان خلاء بین حداکثر عملکرد قابل‌حصول و عملکرد واقعی افزایش یابد. در واقع این امر نشان‌دهنده مدیریت بهتر کشاورزان نمونه برای دستیابی به حداکثر عملکرد می‌باشد، در حالی که سایر کشاورزان تلاش جدی جهت افزایش عملکرد نداشته‌اند.



شکل ۸- روند تغییرات حداکثر عملکرد قابل حصول (∗) و عملکرد واقعی (◆) گندم در گرگان در طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸.

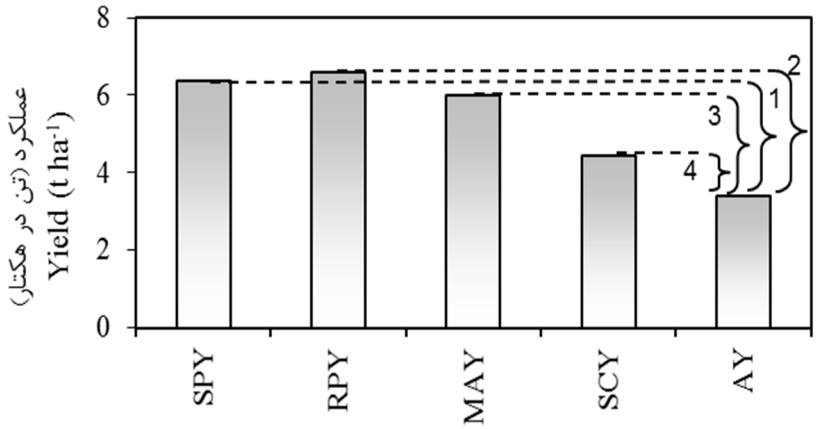
Figure 8- Trend of changes in maximum achievable yield (∗) and actual yield (◆) of wheat in Gorgan from 1989 to 2008.

تخمین متوسط خلاء عملکرد منطقه: شکل ۹ متوسط عملکرد سطوح مختلف را طی سال‌های ۱۹۹٤ تا ۲۰۰۸ نشان می‌دهد. از این شکل استنباط می‌شود هرچه میزان عملکرد پتانسیل در هر یک از این سطوح بیشتر باشد میزان خلاء عملکرد بیشتر خواهد شد. با توجه به مدل فرضی که توسط فرسکو (۱۹۸٤) ارایه شده بود (۱۰)، انتظار می‌رفت میزان عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده از میزان عملکرد مزارع محققان بیشتر باشد که این امر باعث افزایش میزان خلاء عملکرد در حالت ۱ از حالت ۲ می‌گردد. اما برخلاف تصور بالا در تحقیق حاضر نشان داده شد که میزان عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده و مزارع محققان به‌ترتیب حدود ٦/۳۵ و ٦/٦۰ تن در هکتار می‌باشد که در نتیجه باعث کاهش میزان خلاء عملکرد در حالت ۱ نسبت به حالت ۲ می‌گردد. میزان خلاء عملکرد در این دو حالت به ترتیب برابر ۳/۰ و ۳/۲ تن در هکتار می‌باشد. وجود عملکرد پتانسیل بیشتر در مزارع محققان نسبت به عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده می‌تواند به‌دلیل تفاوت در نوع رقم به کارگرفته شده در این دو حالت باشد. به احتمال زیاد رقم مورد استفاده در مزارع محققان دارای پتانسیل عملکرد بالاتری بوده است و همین عامل باعث شده است که میزان عملکرد پتانسیل در مزارع محققان نسبت به عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده افزایش یابد و خلاء عملکرد بیشتری را ایجاد کند، اما به هر حال برخی از عوامل غیرقابل کنترل در شرایط آزمایشات محققان در مرکز تحقیقات کشاورزی وجود دارد که به علت استفاده از ارقام با عملکرد بالاتر در این آزمایشات نتوانسته‌اند به طور محسوسی آثار خود را در کاهش عملکرد نشان دهند. البته این کاهش خلاء عملکرد زمانی مطلوب است که ناشی از افزایش عملکرد واقعی و نه کاهش عملکرد پتانسیل باشد.

میزان متوسط حداکثر عملکرد مزارع کشاورزان در طی ۱۵ سال اخیر حدود ٦/۰ تن در هکتار می‌باشد (شکل ۹). این عملکرد علاوه بر شرایط محیطی تحت تاثیر برخی عوامل غیرقابل کنترل و نیز برخی از فناوری‌های غیرقابل انتقال (فناوری‌هایی که در مساحت‌های کم مزارع محققان قابل استفاده هستند، مانند کنترل کامل آفات و علف‌های هرز، شرایط تغذیه‌ای گیاه، تراکم مناسب و غیره) به مزارع کشاورزان نیز قرار می‌گیرد (۸). بنابراین، چنین شرایطی باعث کاهش بیشتر حداکثر عملکرد

کشاورزان نسبت به عملکردهای پتانسیل شبیه‌سازی شده و مزارع محققان خواهد شد و در نهایت خلاء عملکرد در حالت ۳ از حالت ۱ و ۲ کمتر خواهد شد. میزان خلاء عملکرد در این سطح از عملکرد پتانسیل برابر ۲/٦ تن در هکتار برآورد شد (شکل ۹).

متوسط عملکرد متداول شبیه‌سازی شده در طی این ۱۵ سال برابر ٤/٤۲ تن در هکتار بوده است. میزان این عملکرد علاوه بر محدودیت‌های ذکر شده در فوق، تحت تاثیر محدودیت آب و کود نیتروژن قرار گرفته است. در این حالت به دلیل این‌که میزان عملکرد از طریق شبیه‌سازی تخمین زده می‌شود، تحت تاثیر عوامل غیرقابل‌کنترل قرار نمی‌گیرد، اما به دلیل محدودکنندگی آب و کود نیتروژن عملکرد در این حالت به شدت کاهش یافته و در نتیجه خلاء عملکرد در این حالت حدود ۱/۰ تن در هکتار گردیده است (شکل ۹). به طور کلی، می‌توان اظهار کرد در سطوحی که عملکرد پتانسیل بالاتر بوده، کلیه شرایط مدیریتی و زراعی به بهترین صورت انجام گرفته است و در نتیجه اختلاف عملکرد پتانسیل در آن سطح با عملکرد واقعی زیاد می‌شود. اما در سایر سطوح عملکردهای پتانسیل، به دلیل این‌که برخی از عوامل مدیریتی قابل اجرا نیستند و یا به طور صحیح اجرا نمی‌شوند، میزان آن‌ها کاهش خواهد یافت و در نتیجه به عملکرد واقعی نزدیک‌تر می‌شوند. به هر حال برای دستیابی به هر یک از این عملکردهای پتانسیل باید میزان خلاء عملکرد در آن سطح محاسبه و سپس عوامل موثر بر آن شناسایی شوند.



شکل ۹- میزان عملکرد و خلاءهای عملکرد در حالت‌های مختلف در گرگان. اعداد روی شکل حالت‌های مختلف خلاء عملکرد را نشان می‌دهند. SPY، عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده؛ RPY، عملکرد پتانسیل محققان؛ MAY، حداکثر عملکرد قابل حصول؛ SCY، عملکرد متداول شبیه سازی شده؛ AY، عملکرد واقعی.

Figure 9- Yield and yield gaps in different status in Gorgan. Numbers on the figure are indicating different status of yield gap. SPY, Simulated potential yield; RPY, Researcher' potential yield; MAY, Maximum achievable yield; SCY, Simulated conventional yield; AY, Actual yield.

نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر متوسط خلاءهای بین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده، عملکرد متداول شبیه‌سازی شده، عملکرد پتانسیل محققان و حداکثر عملکرد کشاورزان با عملکرد واقعی کشاورزان در طی سال‌های مورد مطالعه به ترتیب حدود ۳/۲، ۱/۰، ۳/۰ و ۲/٦ تن در هکتار بود. وجود این خلاءهای عملکرد می‌توانست به دلیل اختلافات مدیریتی، بیوفیزیکی، اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و سایر عوامل موثر بر عملکرد در سطوح مختلف تولید باشد. هرچه شدت محدودکنندگی این عوامل در هر سطح تولید کمتر

باشد نشانگر دستیابی به عملکرد بالاتر در آن سطح و نیز افزایش خلاء عملکرد خواهد بود. بنابراین، برای جلوگیری از افزایش خلا عملکرد باید سطح مدیریت در شرایط تولید عملکرد واقعی به سطح مدیریت تولید عملکردهای پتانسیل نزدیک شود.

منابع

1. Aggarwal, P.K., Hebbar, K.B., Venugopalan, M.V., Rani, S., Bala, A., Biswal, A., and Wani, S.P. 2008. Quantification of yield gaps in rain-fed rice, wheat, cotton and mustard in India. Global Theme on Agroecosystems Report No. 43. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT).
2. Badawi, A.T. 1998. Sustainability of rice production in Egypt, IRC 98/7-2, Cairo, Egypt, 12p.
3. Barker, R., Gomez, K.A., and Herdt, R.W. 1979. Farm-level constraints to high rice yields in Asia: 1974-77. IRRI, Los Banos, Philippines. 411 p.
4. Bhatia, V.S., Singh, P., Wani, S.P., Chauhan, G.S., Kesava Rao, A.V.R., Mishra, A.K., and Srinivas, K. 2008. Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. Agric. Forest Meteorol. 148: 8-9. 1252-1265.
5. Caldiz, D.O., Gaspari, F.J., Moreno K.A., and Struik, P.C. 2002a. Agro-ecological zoning at the level: spatio-temporal variation in potential yield of the potato crop in the Argentina Patagonia. Agric. Ecosyst. Environ. 88: 1. 3-10.
6. Caldiz, D.O., Haverkort, A.J., and Struik, P.C. 2002b. Analysis of a complex crop production system in interdependent agro-ecological zones: a methodological approach for potatoes in Argentina. Agric. Syst. 73: 3. 297-311.
7. Chaudhary, R.C. 1998. Indonesian coordinated rice testing network (ICRTN). World Bank -ARMPII, CRIFC, Bogor, Indonesia. 152 p.
8. 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), P.O. Box 6, 7500 AA, Enschede. The Netherlands.
9. Dobermann, A., Arkebauer, T., Cassman, K.G., Drijber, R.A., Lindquist, J., Madhavan, S., Markwell, J., Nelson, L., Specht, J.E., Walters, D.T., Yang, H.S., Amos, B., Binder, D.L., Murphy, C., and Teichmeier, G. 2002. Corn yield potential and optimal soil productivity in irrigated corn/soybean systems. p. 65-85. In Murphy, L.S. (ed.) Proceedings of the 2002 Fluid Forum, Vol. 19. Fluid Fertilizer Foundation, Manhattan, KS.
10. Fresco, L.O. 1984. Issues in farming systems research. Neth. J. Agri. Sci. 32: 4. 253-261.
11. 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.
12. Le, H.N. 1998. Rice production in Vietnam and the policies to promote its development. 19th Session of International Rice Commission, Cairo, Egypt.
13. Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop yield Ggaps: their importance, magnitudes, and causes. Annu. Rev. Environ. Res. 34: 1. 179-204.
14. Naab, J.B., Singh, P., Boote, K.J., Jones, J.W., and Marfo, K.O. 2004. Using the CROPGRO-Peanut model to quantify yield gaps of peanut in the Guinean Savanna zone of Ghana. Agron. J. 96: 5. 1231-1242.
15. Pradhan, R. 2004. The effect of land and management aspects on maize yield. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC). The Netherlands.

16. Rajapakse, D.C. 2003. Biophysical factors defining rice yield gaps. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC). The Netherlands.
17. Singh, P., Vijaya, D., Chinh, N.T., Pongkanjana, A., Prasad, K.S., Srinivas, K., and Wani, S.P. 2001. Potential productivity and yield gap of selected crops in the rainfed regions of India, Thailand, and Vietnam. Natural Resource Management Program Report No. 5. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 50 p.
18. Soltani, A., Ghassemi - Golezani, K., Rahimzadeh - Khooie, F., and Moghaddam, M. 1999. A simple model for chickpea growth and yield. Field Crops Res. 62: 2-3. 213-224.
19. Soltani, A., Mahroo-Kashani, A.H., Dastmalchi, A., Maddah, V., Denial, E., and Kamkar, B. 2010. Simulating wheat growth and development using DSSAT, APSIM and CropSyst models under Gorgan and Gonbad conditions (Research Report). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 66p.
20. Stockle, C.O., Donatelli, M., and Nelson, R. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. Eur. J. Agron. 18: 3-4. 289-307.
21. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali E. 2011. Analyzing Wheat Yield Constraints in Gorgan. J. Crop Prod. 4: 4. 1-17.
22. Van Ittersum, M.K., and Rabbinge, R. 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. Field Crops Res. 52: 3. 197-208.
23. Zeinali, E. 2009. Wheat Nitrogen in Gorgan; Agronomical Physiological, and Environmental Aspects. Ph.D. Thesis. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. 201p.