

پهنه بندی اگرواکولوژیکی گندم در استان خراسان: بر آورد پتانسیل و خلاء عملکرد

مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی^۱

چکیده

به منظور پهنه بندی استان خراسان از نظر پتانسیل عملکرد گندم، داده های دراز مدت آب و هوایی شامل درجه حرارت و تشعشع در سه استان خراسان شمالی، رضوی و جنوبی جمع آوری گردید. این داده ها پس از میان یابی مکانی بین ایستگاه ها و تبدیل کردن آنها به داده های روزانه بعنوان ورودی یک مدل شبیه سازی رشد و عملکرد گندم بکار گرفته شدند. به این منظور از مدل WOFOST که قبلا برای شبیه سازی سازی عملکرد گندم واسنجی شده بود استفاده گردید. نتایج تعیین اعتبار نشان داد که این مدل قابلیت خوبی برای پیش بینی عملکرد و مراحل فنولوژی واریته های مختلف گندم در شرایط بهینه تولید دارد. بر این اساس عملکرد پتانسیل یا عملکرد اقلیمی گندم که تنها توسط درجه حرارت و تشعشع خورشیدی تعیین می شود برای شهرستانهای مختلف واقع در استانهای تحت بررسی بوسیله مدل فوق شبیه سازی شد. نتایج نشان داد با وجودیکه پتانسیل عملکرد گندم برای هر یک از پهنه های اقلیمی در سالهای مختلف متفاوت می باشد ولی میانگین آن در استانهای خراسان شمالی، رضوی و جنوبی به ترتیب $۶/۲$ ، $۶/۹$ و $۴/۸$ تن در هکتار بود. حداکثر اختلاف در میزان تشعشع خورشیدی بین شمال ترین و جنوبی ترین نقاط در سه استان تحت بررسی در طی دوره رشد فعال گندم معادل $۴/۵$ درصد بدست آمد. بر این اساس و با توجه به اینکه حداکثر تفاوت محاسبه شده بین عملکردهای پتانسیل در پهنه های مختلف ۲۲ درصد بوده است، بنظر می رسد که درجه حرارت در مقایسه با تشعشع نقش بارزتری در تعیین پتانسیل عملکرد گندم در استانهای خراسان دارد. میانگین عملکرد واقعی گندم (عملکرد برداشت شده در مزرعه) در استانهای تحت بررسی در طی سالهای $۱۳۸۵-۱۳۷۵$ بصورت میانگین کل دوره و میانگین ۳ سال انتهایی محاسبه گردید. بدین ترتیب میزان خلاء عملکرد از تفاضل عملکرد پتانسیل و واقعی و ضریب عملکرد منطقه ای بعنوان نسبت عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل محاسبه و داده ها برای تهیه نقشه های پهنه بندی به سیستم اطلاعات جغرافیایی منتقل شد. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد واقعی گندم در دوره سه ساله $۱۳۸۵-۱۳۸۳$ نسبت به دوره ده ساله در استانهای خراسان شمالی، رضوی و جنوبی به ترتیب ۲۸ ، ۳۴ و ۳۰ درصد افزایش یافته است. با وجود این افزایش که به دلیل بهبود روشهای مدیریت و معرفی ارقام جدید گندم می باشد، خلاء عملکرد نسبتا زیاد بوده و میانگین آن برای سه استان فوق به ترتیب معادل $۴/۷$ ، $۴/۳$ و $۲/۸$ تن در هکتار برآورد شد. این نتایج نشان می دهد که در مناطقی از استان که دارای پتانسیل عملکرد بالاتری هستند خلاء عملکرد نیز بیشتر می باشد. بر این اساس ضریب عملکرد منطقه ای در استانهای خراسان رضوی و جنوبی که دارای بالاترین و پایین ترین پتانسیل عملکرد بودند به ترتیب معادل $۰/۳۷$ و $۰/۴۲$ بدست آمد. عملکرد واقعی در شهرستانهای هر سه استان در طی دوره سه ساله $۸۵-۱۳۸۳$ در حدود ۵۰% عملکرد پتانسیل بوده است بنابراین خلاء عملکرد گندم به دلیل بهبود روشهای مدیریت بتدریج در حال پر شدن است.

واژه های کلیدی: گندم، پهنه بندی اگرواکولوژیکی، عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد، ضریب عملکرد منطقه ای.

مقدمه

سوی دیگر در طی ۳ دهه گذشته تنها یک چهارم افزایش تولید غذا در جهان مربوط به گسترش سطح زیر کشت بوده و بقیه آن از طریق بهبود تولید در واحد سطح حاصل شده است (۲۶). به این ترتیب بنظر می رسد که افزایش بیشتر

تولیدات کشاورزی جهان در طی سه تا چهار دهه آینده به دلیل افزایش جمعیت و تغییر عادات غذایی باید به ۳ برابر افزایش یابد تا تقاضای فزاینده مصرف را تامین کند (۴۹). از

۱- به ترتیب اعضای هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

اختلاف بین عملکرد پتانسیل و واقعی که اصطلاحاً خلاء عملکرد^۱ نامیده می‌شود در برگیرنده مجموعه عواملی است که هدف از مدیریت و پژوهشهای زراعی کنترل آنها می‌باشد (۴۰).

در دهه ۷۰ میلادی سازمان خوار و بار جهانی (فائو) پهنه بندی آگرواکولوژیکی^۱ را به عنوان روشی برای تعیین قابلیت‌های زراعی و محیطی در مقیاس منطقه‌ای و ملی پیشنهاد نمود. در ادامه این روش توسط فائو (۲۲) و نیز سایر محققین (۲۴، ۱۸، ۱۹) تکامل یافت و در حال حاضر از جمله رایج‌ترین راهکارهای تعیین خصوصیات آگرواکولوژیک در مناطق وسیع جغرافیایی برای تولید محصولات زراعی است. با توسعه مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان، بانک‌های اطلاعاتی مربوط به داده‌های آب و خاک و اقلیم و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، محققین تلاش گسترده‌ای را برای پهنه بندی آگرواکولوژیک محصولات مختلف در مقیاس منطقه‌ای آغاز کرده‌اند (۴۳). در این روش با تقسیم کردن یک منطقه جغرافیایی به واحدها یا پهنه‌هایی همگن با حداکثر شباهت از نظر خصوصیات خاک و اقلیم، عملکرد پتانسیل محصول زراعی در هر پهنه بوسیله یک مدل شبیه‌سازی پیش‌بینی شده و با انتقال نتایج به محیط GIS نقشه پتانسیل عملکرد در مقیاس منطقه‌ای تهیه می‌شود (۱۸، ۲۴).

با معلوم بودن تولید واقعی در مناطق تحت بررسی می‌توان خلاء عملکرد را بر اساس اختلاف بین عملکرد پتانسیل و واقعی برآورد کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در ادامه خلاء عملکرد که ناشی از شیوه مدیریت و مجموعه عوامل محدودکننده (آب و عناصر غذایی) و کاهش دهنده تولید (آفات و علفهای هرز) می‌باشد مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد تا سهم نسبی هر یک از این عوامل در ایجاد خلاء عملکرد تعیین شده و راه‌حل‌های مناسب جهت پر کردن خلاء در پهنه‌های مختلف مشخص گردد (۸، ۱۵).

باتیا و همکاران (۱۴) با استفاده از مدل CROPGRO پتانسیل و خلاء عملکرد سویای دیم را برای ۲۱ منطقه واقع در هندوستان ارزیابی کرده و نشان دادند که بطور متوسط

سطح زیر کشت در آینده راه‌حلی مطلوبی نخواهد بود زیرا این امر مستلزم استفاده از اراضی حاشیه‌ای است که علاوه بر عملکرد پایین از ثبات اندکی نیز برخوردار می‌باشند. بنابراین به اعتقاد بسیاری از محققین افزایش بهره‌وری موثرترین راهکار موجود برای تامین نیازهای غذایی آینده خواهد بود (۱۲).

ارزیابی وضعیت آینده تولید غلات و بویژه گندم به دلیل اهمیت آن در تغذیه مردم جهان، توجه بسیاری از محققین و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی را به خود معطوف کرده است. برآوردها نشان می‌دهند که در مقیاس جهانی برای تامین نیاز گندم تا سال ۲۰۲۰ میلادی، لازم است تولید این محصول نسبت به سال ۲۰۰۰ به میزان ۴۴٪ افزایش یابد (۲۳) و افزایش تولید در واحد سطح راه‌حل اصلی تحقق این هدف می‌باشد. نتایج بررسی انجام شده در مورد روند ۵۰ ساله وضعیت تولید غلات در ایران (۳) نیز نشان داده است که سطح زیر کشت گندم کشور بویژه در طی ۱۰ سال گذشته رشد اندکی داشته و افزایش تولید این محصول عمدتاً ناشی از افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد. بنابراین بنظر می‌رسد که در ایران نیز نظیر سایر مناطق جهان، تلاش محققین بر ارائه راهکارهایی جهت بهبود عملکرد تمرکز یافته است. موفقیت در این امر مستلزم آگاهی از عملکرد بالقوه و شناخت عوامل محدودکننده عملکرد در مناطق مختلف تولید می‌باشد (۱۷، ۲۴).

در صورتی که آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بطور کامل فراهم بوده و محیط رشد عاری از هرگونه علف‌هرز، آفت یا بیماری باشد، سرعت رشد محصول توسط عوامل محیطی یعنی میزان تشعشع خورشیدی، درجه حرارت و غلظت CO₂ و نیز خصوصیات گیاه یا وارته زراعی تعیین می‌شود، عملکرد در این شرایط به عملکرد بالقوه یا پتانسیل موسوم^۱ است (۴۰). دستیابی به این سطح از عملکرد در شرایط مزرعه امکان‌پذیر نخواهد بود زیرا مجموعه‌ای از عوامل محدودکننده^۱ شامل آب و مواد غذایی و عوامل کاهش دهنده^۱ شامل آفات، بیماریها و علفهای هرز رشد را تحت تاثیر قرار داده و عملکرد واقعی^۱ به سطحی بمراتب پایین‌تر از مقدار پتانسیل آن تقلیل می‌یابد (۳۰). بنابراین

1- Potential yield
4- Actual yield

2- Yield limiting factors
5- Yield gap

3- Yield reducing factors
6- Agroecological zonation

این خلاء می‌باشد.

با توجه به جایگاه ویژه گندم در نظام‌های تولید استان‌های خراسان هدف از این تحقیق تعیین پهنه بندی آگرواکولوژیکی استان از نظر پتانسیل تولید گندم، مقایسه عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی و تعیین خلاء عملکرد در نواحی مختلف خراسان بزرگ است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در منطقه‌ای وسیع شامل سه استان خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی اجرا شده است، این استان‌ها دارای تنوع اقلیمی قابل توجهی بوده و گندم از مهمترین گیاهان موجود در نظام‌های کشت هر سه استان می‌باشد (۵). این تنوع اقلیمی باعث شده که عملکرد بالقوه (عملکرد پتانسیل) گندم در مناطق مختلف تولید این محصول متغیر باشد و بعلاوه روش‌های مختلف مدیریت موجب بروز دامنه نسبتاً وسیعی از عملکردهای واقعی شده است.

جهت پیش بینی عملکرد پتانسیل گندم از نسخه ۷ مدل WOFOST¹ استفاده شد (۱۶). WOFOST یک مدل شبیه سازی رشد محصولات زراعی از گروه مدل‌های مکتب دویت (۴۱) می‌باشد که قادر است عملکرد تعدادی از گیاهان زراعی را در سه شرایط شامل تولید پتانسیل، تولید با محدودیت آب و تولید با محدودیت نیتروژن پیش بینی کند (۱۶). این مدل در مطالعات مختلف و در مورد انواع گیاهان زراعی از جمله گندم با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته (۲۱، ۳۹) و در ایران نیز جهت پیش بینی عملکرد گندم نتایج مطلوبی به همراه داشته است (۱، ۳۴). ساختار و روش محاسبات در این مدل در منابع مختلف ارائه شده است (۱۶، ۴۱) به اختصار اشاره می‌شود که در شرایط پتانسیل درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه، تشعشع روزانه و خصوصیات گیاه زراعی ورودی‌های اصلی مدل می‌باشند. سرعت فتوسنتز روزانه کانوپی بر اساس میزان تشعشع خورشیدی و رابطه بین فتوسنتز تک برگ و شدت نور پس از انتگرال گیری بر حسب شاخص سطح برگ و طول روز محاسبه می‌شود. سرعت رشد ماده خشک بر مبنای سرعت فتوسنتز کانوپی و پس از کسر تلفات ناشی از تنفس

پتانسیل عملکرد این مناطق ۳۰۲۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین خلاء عملکرد در حدود ۷۰٪ می‌باشد به عبارت دیگر تنها ۳۰ درصد از عملکرد پتانسیل در مزارع برداشت می‌شود. آگاروال و همکاران (۱۱) با استفاده از یک مدل شبیه سازی رشد، پتانسیل عملکرد گندم در کشور هندوستان را بین ۲/۵ تا ۷ تن در هکتار با خلاء معادل ۲ تا ۴ تن برآورد کردند. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که بسته به منطقه، در حدود ۳۰ تا ۵۰٪ از خلاء عملکرد مربوط به تاریخ کاشت نامناسب می‌باشد. بکر جانسون (۱۵) با مطالعه سیستم‌های تولید برنج در ساحل عاج نشان دادند که در شرایط آبیاری کامل یا آبیاری نسبی، عملکرد واقعی به ترتیب ۵۷ و ۴۴ درصد عملکرد پتانسیل می‌باشد. آبلدو و همکاران (۸) با بررسی پتانسیل و خلاء عملکرد گندم در منطقه‌ای مدیترانه‌ای در اسپانیا خلاء عملکرد معادل ۴۰ تا ۷۰٪ را برای این منطقه گزارش کردند و نشان دادند که میزان خلاء تابع مصرف نیتروژن و دسترسی زارعین به آب می‌باشد. کونینگ و همکاران (۲۸) 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 و برای سورگوم شیرین در جنوب اروپا بین ۳۰ تا ۵۰ درصد می‌باشد. موارد فوق مثالهایی از مطالعات گسترده‌ای است که در کشورهای مختلف بمنظور تعیین پتانسیل تولید انواع گیاهان زراعی انجام شده است.

با وجود اهمیت این موضوع، تحقیقات انجام شده در ایران در ارتباط با پهنه بندی و پتانسیل یابی محصولات زراعی بسیار محدود بوده و عمدتاً بر روش‌های اقلیمی متمرکز می‌باشند. برای مثال صادقی و همکاران (۳۸) مناطق دیم استان فارس را بر اساس شاخص‌های آگروکلیماتیک (بارندگی و تبخیر و تعرق) پهنه بندی کردند. کامکار و همکاران (۴) بوسیله یک مدل شبیه سازی تولید زیره سبز در مناطق مختلف استان خراسان را ارزیابی کرده و حداکثر پتانسیل عملکرد زیره سبز در این استان را ۲/۷ تن در هکتار برآورد کردند. این محققین نشان دادند که خلاء عملکرد در مناطق مختلف استان از ۲/۴ تا ۰/۶۸ تن در هکتار متغیر است و عدم انتخاب تاریخ کاشت مناسب مهمترین عامل ایجاد

1- World FOod STudies

نسبت تشعشع در سطح زمین به کل تشعشع خورشیدی در هر روز (S/S_0) را محاسبه نمود (۴۲):

$$\frac{S}{S_0} = a + b\left(\frac{n}{N}\right) \quad (1)$$

که در آن n تعداد ساعات آفتابی (ساعت)، N طول روز (ساعت) و a و b ضرایب آنگستروم می باشند. مقادیر ضرایب آنگستروم برای نقاط مختلف ایران، توسط خلیلی و رضایی صدر (۲) محاسبه شده است، در مناطقی که مقادیر a و b در اختیار نبود این ضرایب از طریق میان یابی تقریب زده شد.

اطلاعات مربوط به مدیریت شامل تاریخ کاشت، تراکم و نظایر آن برای نواحی مختلف از مراکز تحقیقات کشاورزی استان و نیز از طریق مصاحبه با افراد با تجربه کافی و آشنا با نظام‌های تولید گندم استان خراسان جمع آوری شدند (۱۸). با استفاده از این داده ها پتانسیل عملکرد بوسیله مدل WOFOST که قبلاً واسنجی و تعیین اعتبار شده بود پیش بینی گردید. میانگین عملکرد واقعی در مناطق مختلف استان نیز بر اساس آمار دراز مدت ثبت شده برای گندم آبی خراسان از مرکز تحقیقات کشاورزی استان جمع آوری گردید. عملکردهای واقعی استخراج شده در این مطالعه مربوط به ۱۳ شهرستان از خراسان شمالی، ۲۴ شهرستان در خراسان رضوی و ۱۴ شهرستان از خراسان جنوبی می باشد.

نتایج پیش بینی شده برای پتانسیل عملکرد گندم (Y_p) و نیز مقادیر عملکرد واقعی (Y_a) در پهنه‌های مختلف استان‌های خراسان جهت تخمین خلاء عملکرد مورد استفاده قرار گرفت، به این منظور ضریب عملکرد منطقه‌ای (RYF) بر اساس معادله ۲ محاسبه گردید:

$$RYF = \frac{Y_a}{Y_p} \quad (2)$$

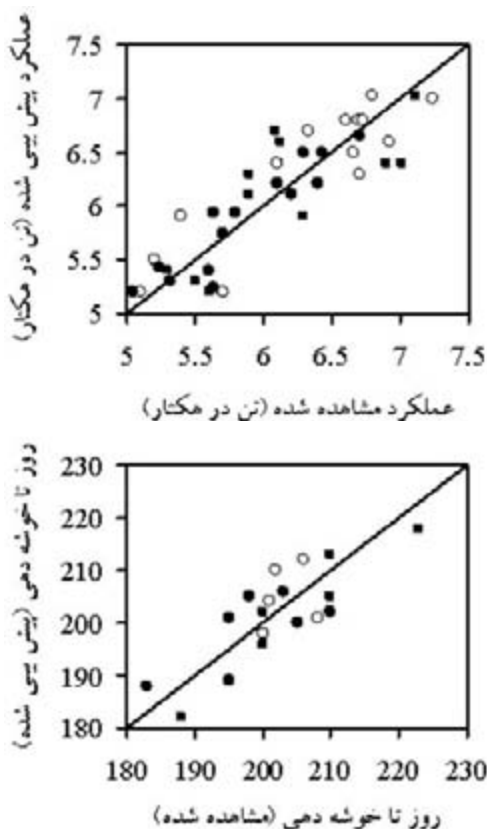
مقدار ضریب عملکرد منطقه‌ای بین صفر و ۱ متغیر بوده و نشان دهنده میزان توسعه نظام تولید در یک منطقه است. با مدیریت صحیح آب، مواد غذایی، آفات، بیماری‌ها و علفهای هرز و بهینه سازی عملیات زراعی نظیر تراکم و تاریخ کاشت، مقدار عملکرد واقعی به پتانسیل نزدیک شده و RYF به سمت ۱ خواهد رفت.

پارامترهای گیاهی لازم برای واسنجی مدل از نتایج

نگهداری و تنفس رشد بدست می آید. ماده خشک تولید شده از طریق توابعی بین اندام‌های مختلف شامل برگ، ساقه، ریشه و اندام‌های ذخیره‌ای (دانه) تخصیص می یابد. ماده خشک تخصیص یافته به برگ مبنای محاسبه شاخص سطح برگ و توسعه کانوپی در طی دوره رشد می باشد. الگوی تخصیص مواد بین اندام ها خود تابعی از مرحله نمو گیاه است، بنابراین شبیه سازی نمو بخش مهمی از این مدل می باشد. سرعت نمو تابع میانگین درجه حرارت روزانه بالاتر از یک دمای پایه بوده و مرحله نمو با انتگرال گیری از این سرعت در طی زمان تعیین می شود. فاصله زمانی محاسبات یک روزه بوده و مدل قادر است علاوه بر عملکرد نهایی، بسیاری از خصوصیات رشد از جمله شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان تجمع ماده خشک در هر یک از اندام ها، میزان تشعشع جذب شده و مراحل نمو را با فواصل یکروزه بعنوان خروجی ارائه کند.

در این مقاله نتایج پیش بینی عملکرد صرفاً برای شرایط پتانسیل ارائه شده است. داده‌های دراز مدت (۲۵ ساله) آب و هوایی مورد نیاز برای اجرای مدل از ایستگاههای هواشناسی استان خراسان جمع آوری گردید. در مواردی که مجموعه کامل داده‌های یک ناحیه در اختیار نبود، مقادیر بوسیله ابزارهای مولد داده‌های آب و هوایی بازسازی گردید. همچنین داده‌های مربوط به نواحی فاقد ایستگاه هواشناسی، بر اساس مقادیر مربوط به نزدیکترین ایستگاه‌های مجاور از طریق میان یابی مکانی برآورد شد (۱۸). بعلاوه چون در مدل WOFOST شبیه سازی بر اساس داده‌های آب و هوایی روزانه انجام می شود، داده‌های آب و هوایی ماهانه جهت استفاده بعنوان ورودی مدل با استفاده از یک سیستم مولد داده‌های آب و هوایی به داده‌های روزانه تبدیل شدند. میزان تشعشع روزانه نیز یکی از مهمترین ورودی‌های مدل جهت پیش بینی عملکرد پتانسیل است. تشعشع روزانه بر اساس روش ارائه شده توسط خودریان و فان لار (۷) برای عرضهای مختلف جغرافیایی در استان خراسان محاسبه شد. این روش میزان تشعشع روزانه خورشیدی را در غیاب اتمسفر برآورد می کنند. در عمل، تمام روزهای سال کاملاً صاف نمی باشند. با در اختیار داشتن تعداد ساعات آفتابی در طول روز (طلوع تا غروب آفتاب) و بر اساس معادله آنگستروم (معادله ۱) می توان

مدل ۶۴٪ در تغییرات مشاهده شده در این متغیر را توصیف نمود. مقدار جذر میانگین مربعات خطا برای هر دو متغیر در محدوده مطلوب قرار داشت و از ۱۳/۱ درصد تجاوز نکرد، بعلاوه شیب خط رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده برای عملکرد و تاریخ گلدهی نیز با شیب خط ۱:۱ تفاوت معنی داری ($P < 0.05$) نشان نداد (جدول ۱).



شکل ۱: مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده تعداد روز از کاشت تا خوشه دهی و عملکرد دانه گندم در شرایط پتانسیل. داده ها مربوط به سه رقم کاسکوژن (○)، سایونز (●) و مهدوی (■) می باشند در شکلها خط ۱:۱ نیز نشان داده شده است.

جدول ۱: نتایج تعیین اعتبار مدل برای عملکرد و تعداد روزهای کاشت تا خوشه دهی کامل (شروع دوره پر شدن دانه) سه رقم گندم در شرایط پتانسیل تولید. شیب خط رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده برای هر متغیر با خط ۱:۱ از طریق آزمون t مقایسه شده و ضریب تبیین برای هر خط رگرسیون نیز ارائه شده است.

متغیر	n	RMSE(%)	شیب	t	R ²
عملکرد (تن در هکتار)	۳۹	۱۱/۳	۰/۸۴۸	۰/۹۶**	۰/۷۶*
روز تا خوشه دهی	۲۰	۱۳/۱	۰/۸۳۵	۱/۱**	۰/۶۴*

RMSE = جذر میانگین مربعات خطا، ns = بی معنی، * = معنی دار ($P < 0.05$)

آزمایشات مزرعه‌ای بر روی ۳ رقم از رایج ترین ارقام گندم استخراج گردید. مدل پس از واسنجی، توسط داده‌های حاصل از آزمایشات انجام شده در ایستگاه‌های تحقیقاتی در شرایط بهینه رشد گندم (بدون محدودیت آب و عناصر غذایی و آفات و بیماریها) تعیین اعتبار شد. استفاده از این نوع داده‌های ایستگاهی مناسب ترین روش برای اعتبار سنجی مدل ها در پیش بینی پتانسیل عملکرد می‌باشند (۱۷، ۳۱). تعیین اعتبار مدل با مقایسه مقادیر مشاهده شده (O_i) و پیش بینی شده (P_i) عملکرد و مراحل نمو گندم و بر اساس محاسبه جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$) انجام شد (معادله ۳) و قابلیت مدل بر مبنای این شاخص ارزیابی گردید (۲۷)

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{O} \quad (3)$$

در این معادله \bar{O} میانگین مشاهدات می‌باشد و $RMSE(\%)$ شاخصی است که اختلاف نسبی بین مقادیر شبیه سازی و مشاهدات را نشان می‌دهد و توصیفی از قابلیت پیش بینی مدل را ارائه می‌کند.

عملکردهای پیش بینی شده بوسیله مدل و نیز مقادیر عملکرد واقعی در فواصل بین شهرستانهای تحت بررسی در استان میان یابی شد و نتایج به سیستم اطلاعات جغرافیایی در نرم افزار ARC/INFO منتقل گردید تا نقشه‌های مربوط به پهنه بندی در استان‌های تحت بررسی تهیه شوند.

نتایج و بحث

تعیین اعتبار مدل

نتایج تعیین اعتبار مدل برای تاریخ خوشه دهی و عملکرد سه رقم گندم در شکل ۱ نشان داده شده است. مدل WOFOST در شرایط پتانسیل برآورد قابل قبولی برای هر دو متغیر به همراه داشت. مقادیر عملکرد مشاهده شده در محدوده ۵/۱ تا ۷/۲ با میانگین ۶/۲ تن در هکتار بود بطور کلی مدل قادر بود که ۷۶٪ از تغییرات مشاهده شده عملکرد را توصیف کند.

مقادیر اندازه گیری شده تعداد روزهای کاشت تا خوشه دهی کامل (شروع دوره پر شدن دانه) در دامنه ۱۸۳ تا ۲۲۳ روز قرار داشت و میانگین طول این دوره ۲۰۱ روز بود و

(۱۰) نیز پتانسیل عملکرد گندم در مناطق مختلف هندوستان را بوسیله یک مدل شبیه سازی در محدوده ۲/۵ تا ۷ تن در هکتار پیش بینی کردند. درجه حرارت و تشعشع عوامل اصلی کنترل کننده عملکرد پتانسیل در محیط‌های مختلف می‌باشند و بنابراین بسته به تغییرات این عوامل دامنه وسیعی از پتانسیل عملکرد مورد انتظار خواهد بود. موجو و کراپف (۳۳) با انجام مطالعه‌ای در مورد ذرت، گندم و برنج نشان دادند که عملکرد پتانسیل این گیاهان بسته به اقلیم بسیار متنوع می‌باشد. لازم به ذکر است که نوع مدل بکار رفته جهت پیش بینی نیز در برآوردها موثر است. برای مثال خودریان (۲۵) با ارزیابی مدلهایی با درجات مختلف دقت، پتانسیل عملکرد گندم در کشور هلند را محاسبه کرد و نشان داد که این مقادیر با داده‌های آب و هوایی مشابه بسته به مدل مورد استفاده از ۴/۲ تا ۱۲/۵ تن در هکتار متغیر است. باید توجه داشت که در عمل ممکن است در برخی از مناطق استان عملکردهای ایستگاهی در شرایط بهینه تولید با عملکردهای پتانسیل پیش بینی شده در این تحقیق متفاوت باشد. بروز چنین مواردی دور از ذهن نیست زیرا تاکید این

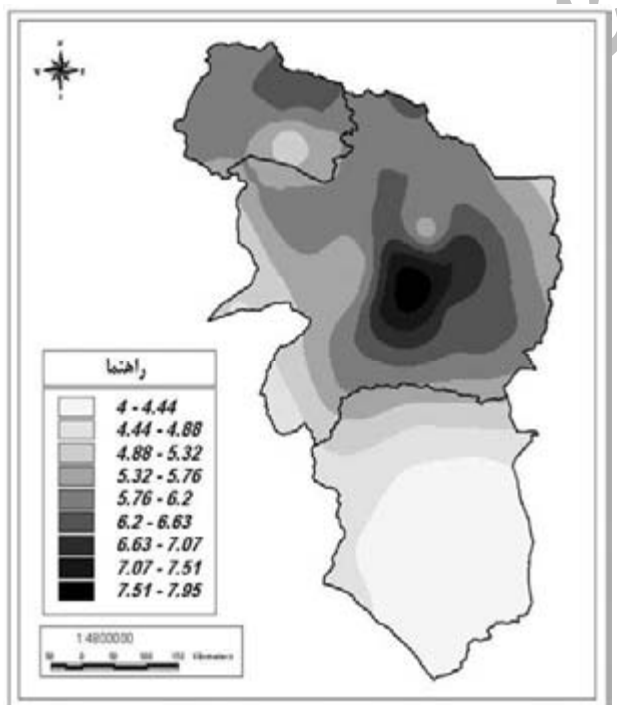
مدل WOFOST در بسیاری از مطالعات و در مناطق مختلف از جمله برای ارزیابی پتانسیل تولید و شبیه سازی رشد، عملکرد و مراحل فنولوژیکی گندم در اسلواکی (۲۱) پیش بینی عملکرد گندم در روسیه (۳۹) و در کشورهای اتحادیه اروپا (۲۸) و نیز مطالعه تاثیر تغییر اقلیم بر پتانسیل تولید گندم و ذرت در اتحادیه اروپا (۴۸) با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است.

نصیری و همکاران (۳۴) نیز این مدل را در شرایط ایران برای پیش بینی عملکرد گندم تعیین اعتبار کرده و از آن جهت مطالعه تاثیر تغییر اقلیم بر گندم دیم استفاده کردند. تاتاری (۱) نیز گزارش کرد که مدل WOFOST توانایی قابل قبولی در پیش بینی عملکرد گندم دیم در شمال استان خراسان داشته است. نتایج مطالعه حاضر (شکل ۱ و جدول ۱) نیز نشان می‌دهد که این مدل قابلیت مطلوبی در تخمین پتانسیل عملکرد گندم داشته و می‌توان از آن در مطالعات پهنه بندی استفاده کرد. لازم به ذکر است که عرض از مبدا خط رگرسیون بین مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده تنها در مورد عملکرد با عرض از مبدا خط ۱:۱ اختلاف معنی داری را نشان داد.

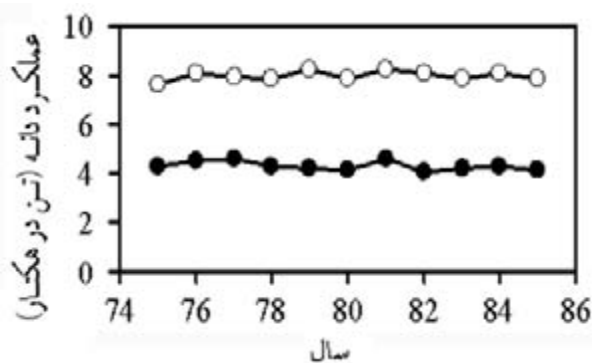
عملکرد پتانسیل

در شکل ۲ مقادیر پیش بینی شده پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق مختلف استان خراسان بر اساس داده‌های دراز مدت درجه حرارت و تشعشع نشان داده شده است. بر اساس این نتایج عملکرد پتانسیل از ۴/۲ تا ۸/۰ تن در هکتار متغیر بوده و میانگین آن برای استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی به ترتیب ۶/۲، ۶/۹ و ۴/۸ تن در هکتار می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که قسمت‌های شمالی و مرکزی استان در مقایسه با نواحی جنوبی، از نظر خصوصیات اقلیمی استعداد بیشتری در تولید گندم دارند. نتایج همچنین موید آن است که در استان‌های خراسان شمالی و رضوی تغییرات پتانسیل عملکرد در مقایسه با استان خراسان جنوبی بیشتر است (شکل ۲).

آبلدو و همکاران (۸) تولید گندم را در منطقه‌ای با آب و هوای مدیترانه‌ای در اسپانیا مطالعه کرده و عملکرد پتانسیل این محصول را در منطقه تحت بررسی با استفاده از مدل CERES ۳/۵ تا ۸/۱ تن در هکتار برآورد کردند. آگاروال



شکل ۲: مقادیر پیش بینی شده برای پتانسیل عملکرد گندم بر اساس میانگین دراز مدت داده‌های آب و هوایی، مرزهای استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی در شکل با خطوط تیره مشخص شده است.



شکل ۳: تغییرات پتانسیل عملکرد گندم در فاصله سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵. پیش‌بینی بر اساس داده‌های آب و هوایی سالانه و برای مناطقی که در میانگین داده‌های اقلیمی دارای بیشترین (O) و کمترین (●) پتانسیل عملکرد بوده‌اند انجام شده است.

عملکرد واقعی

عملکرد واقعی گندم در مناطق مختلف استان خراسان بر اساس میانگین عملکرد ۱۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۸۵) و نیز میانگین عملکرد ۳ ساله (۱۳۸۳-۱۳۸۵) محاسبه گردید (شکل‌های ۴-الف و ب). بدیهی است که عملکرد واقعی در طی زمان ثابت نبوده و به دلیل بهبود روش‌های مدیریت (آبیاری، مصرف نهاده‌ها، مکانیزاسیون) افزایش می‌یابد و مقایسه شکل‌های ۴-الف و ۴-ب بخوبی این افزایش را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج در هر سه استان توزیع مکانی مقادیر عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل تا حد زیادی با یکدیگر انطباق دارند بعبارت دیگر در پهنه‌هایی با پتانسیل تولید بالا، عملکرد واقعی نیز بیشتر می‌باشد. در نتیجه عملکردهای واقعی در هر دو دوره محاسبه شده در استانهای خراسان شمالی و رضوی بالاتر از خراسان جنوبی بوده است. البته با وجودی که میانگین عملکرد واقعی در ۳ سال انتهایی دوره ۱۰ ساله افزایش یافته است ولی شدت افزایش در استان خراسان رضوی (۳۴٪) بالاتر از استانهای خراسان شمالی (۲۸٪) و جنوبی (۳۰٪) می‌باشد (جدول ۲).

اختلاف نسبتاً زیاد بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی محصولات زراعی در مورد گونه‌های مختلف از جمله برنج (۱۵، ۳۱)، سویا (۱۴، ۱۴)، ذرت (۳۵)، سیب زمینی (۱۹) و گندم (۸، ۱۰، ۲۰) گزارش شده است. باید توجه داشت که پایین بودن عملکرد واقعی نظیر آنچه در این مطالعه نیز مشاهده شد به دلیل تأثیر محدودیت آب و عناصر غذایی بویژه نیتروژن

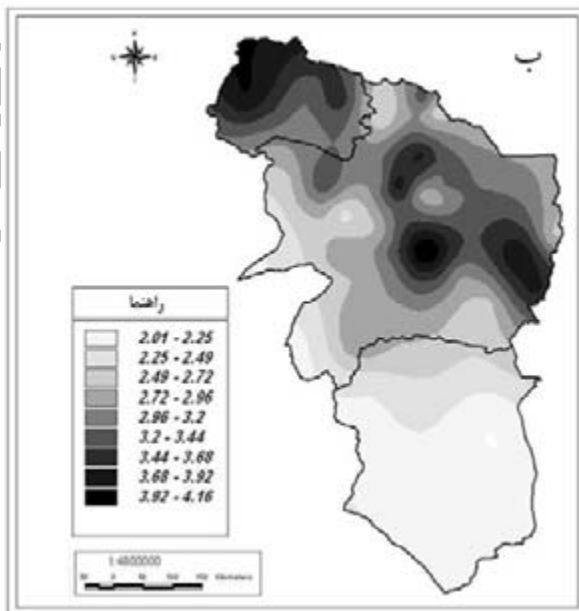
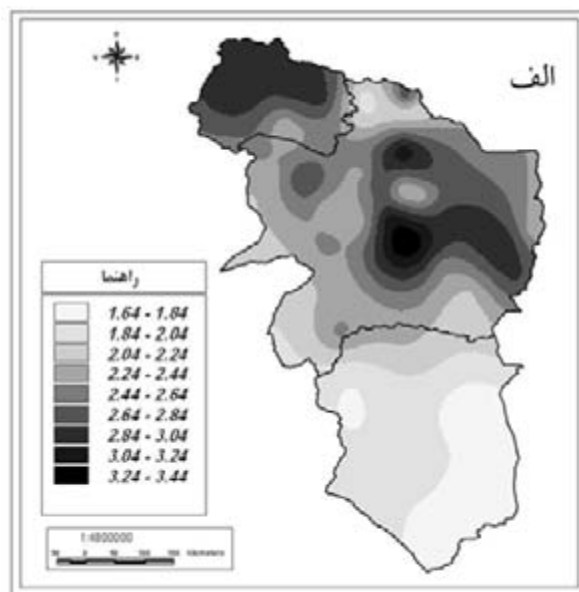
پژوهش در واقع تعیین روندهای موجود در پتانسیل اقلیمی عملکرد بین مناطق مختلف استان بوده و تعیین پتانسیل مطلق هر یک از مناطق مورد توجه نبوده است. بعلاوه این نوع اختلافات ممکن است ناشی از ماهیت داده‌های آب و هوایی مورد استفاده نیز باشد زیرا در برخی از شهرستانهای تحت بررسی، تغییرات اقلیمی قابل توجهی در نواحی کشت گندم وجود دارد که موجب تغییرات چشمگیر عملکرد بین مزارع واقع در محدوده یک شهرستان می‌شود. این در حالی است که اجرای مدل به علت عدم دسترسی به داده‌های این نوع تغییرات آب و هوایی توسط میانگین داده‌های هر شهرستان انجام شده است. از سوی دیگر در مدل‌های شبیه‌سازی معمولاً از میانگین روزانه درجه حرارت استفاده می‌شود که بنوبه خود می‌تواند خطایی را در پیش‌بینی بوجود بیاورد. لوبل (۳۲) تأثیر تغییرات روزانه درجه حرارت (دامنه درجه حرارت روز و شب) را نسبت به میانگین روزانه درجه حرارت در پیش‌بینی عملکرد غلات در مقیاس وسیع بررسی کرد و نشان داد که در مورد گندم با افزایش تغییرات روزانه درجه حرارت، عملکرد دانه در کشور استرالیا افزایش یافت در حالیکه این تأثیر در فرانسه منفی بود.

از سوی دیگر عملکرد پتانسیل یا عملکرد اقلیمی که تنها توسط درجه حرارت و تشعشع توصیف می‌شود بسته به شرایط آب و هوایی سالهای مختلف در یک منطقه معین در طی زمان متغیر می‌باشد (۱۰). مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد پتانسیل که در شکل ۲ ارائه شده از طریق میانگین دراز مدت متغیرهای آب و هوایی هر شهرستان بدست آمده است و محاسبه عملکرد پتانسیل بر حسب داده‌های آب و هوایی سالانه، میزان تغییرات زمانی پتانسیل عملکرد را آشکار خواهد ساخت. برای مثال برآورد پتانسیل عملکرد در فاصله سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ برای مناطقی از استان که بر اساس میانگین دراز مدت اقلیمی دارای بیشترین و کمترین عملکرد بوده‌اند نشان داد میزان نوسانات عملکرد پتانسیل گندم در این مناطق بین ۰/۵ تا ۰/۷ تن در هکتار می‌باشد (شکل ۳). باید توجه داشت که این مقدار تغییر بین عملکرد اقلیمی در طی سالهای متوالی چندان زیاد نمی‌باشد. زیرا برای مثال آگاروال و همکاران (۱۱) با بررسی تغییرات سالانه پتانسیل عملکرد گندم در کشور هندوستان نوساناتی معادل ۲ تن در هکتار را نیز گزارش کرده‌اند.

و کاهش ناشی از خسارت آفات، بیماریها و علفهای هرز (۴۰) می باشد. بعلاوه سایر عوامل مدیریت از جمله انتخاب تاریخ نامناسب کاشت نیز بر آن موثر است (۴۴). بنابراین هر گونه بهبود در روشهای مدیریت زراعی و نیز معرفی ارقام زراعی جدید باعث افزایش عملکرد واقعی در طی زمان خواهد شد (۳۳).

خلأ عملکرد

میانگین مقادیر محاسبه شده خلاء عملکرد (اختلاف عملکرد پتانسیل از عملکرد واقعی) نشان داد که خراسان جنوبی در مقایسه با دو استان دیگر دارای خلاء کمتری در عملکرد گندم آبی می باشد. بعلاوه میانگین ضریب عملکرد منطقه ای (نسبت عملکرد واقعی به پتانسیل) نیز در این استان بالاتر از خراسان شمالی و رضوی بود (جدول ۳) این نتایج تا حدود زیادی با یافته های سایر محققین انطباق دارد. برای مثال آبلدو و همکاران (۸) نشان دادند که میزان خلاء عملکرد به شرایط آب و هوایی سالانه بستگی دارد بدین صورت که مقدار خلاء در سالهایی با پتانسیل عملکرد بالا بیشتر از سالهای با پتانسیل پایین است. آگاروال و همکاران (۱۱) نیز با مطالعه ای در هندوستان نشان دادند که پتانسیل عملکرد گندم در عرض های جغرافیایی بالا بیشتر از عرض های پایین بوده و مناطق دارای پتانسیل بالا خلاء عملکرد بیشتری دارند. کالدیز و همکاران (۱۹) نیز با بررسی نظام های تولید سیب زمینی در آرژانتین بیان داشتند که با افزایش پتانسیل تولید در یک منطقه، خلاء عملکرد افزایش می یابد. در مورد برنج نیز نتایج مشابهی توسط ووپیر و همکاران (۴۷) در کشور سنگال گزارش شده است. این محققین با استفاده از مدل پتانسیل عملکرد برنج در این کشور را حدود ۹ تن در هکتار گزارش کرده و خلاء عملکرد را معادل ۶ تن در هکتار برآورد کردند، بعلاوه

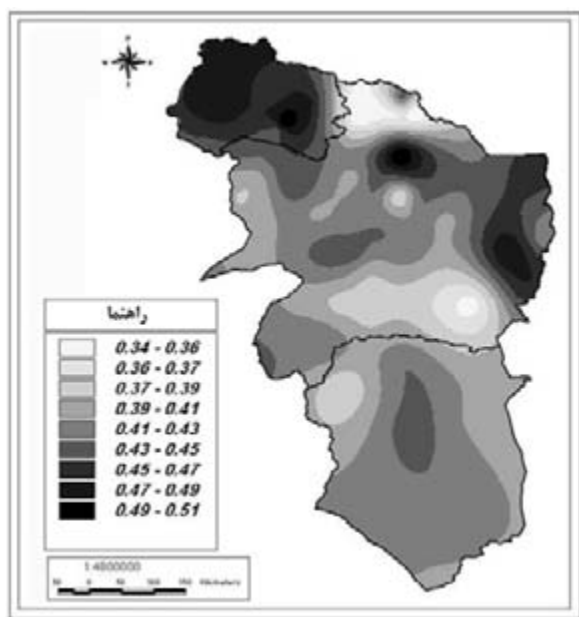


شکل ۴- مقادیر عملکرد واقعی گندم محاسبه شده بر اساس میانگین سالهای ۱۳۷۵-۱۳۸۵ (الف) و میانگین سالهای ۱۳۸۳-۱۳۸۵ (ب)، مرزهای استان های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی در شکل با خطوط تیره مشخص شده است.

جدول ۲: میانگین ۱۰ ساله (۱۳۷۵-۱۳۸۵) و ۳ ساله (۱۳۸۳-۱۳۸۵) عملکرد واقعی در استان های خراسان

شمالی، رضوی و جنوبی

استان	عملکرد واقعی (تن در هکتار) میانگین ۱۰ ساله	عملکرد واقعی (تن در هکتار) میانگین ۳ ساله	میزان افزایش عملکرد (درصد)
خراسان شمالی	۲/۵	۳/۲	۲۸/۰
خراسان رضوی	۲/۶	۳/۵	۳۴/۶
خراسان جنوبی	۲/۰	۲/۶	۳۰/۰



شکل ۵- ضریب عملکرد منطقه‌ای (RZF) در مناطق مختلف تولید گندم در استان‌های تحت بررسی. مقادیر بر اساس نسبت میانگین عملکرد واقعی گندم در فاصله سالهای ۱۳۸۵-۱۳۷۵ به میانگین عملکرد پتانسیل پیش بینی شده در همین دوره زمانی محاسبه شده اند، در شکل مرزهای استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی با خطوط تیره مشخص شده است.

پتانسیل در طی زمان بتدریج کاهش یابد.

در شکل ۶ تغییر عملکرد واقعی در مناطق مختلف سه استان خراسان شمالی رضوی و جنوبی در دوره سه ساله ۱۳۸۵-۱۳۸۳ نسبت به دوره ۱۳۸۵-۱۳۷۵ با عملکرد پتانسیل مقایسه شده است. در این شکل خط ۱:۱ نشان دهنده مطلوب ترین شرایط تولید است و قرار گرفتن مقادیر عملکرد واقعی بر روی این خط حاکی از پر شدن کامل خلاء و انطباق کامل عملکرد واقعی با عملکرد پتانسیل می باشد.

جهت مقایسه بهتر در شکل خط ۲:۱ نیز رسم شده است. قرار گرفتن مقادیر عملکرد واقعی بر روی این خط نشان دهنده این است که عملکرد واقعی به ۵۰٪ عملکرد پتانسیل رسیده و به عبارت دیگر نیمی از خلاء عملکرد برطرف شده است. نتایج نشان می دهد که در هر سه استان میانگین عملکردهای واقعی در طی دوره ۱۰ ساله زیر خط ۲:۱ قرار دارند و خلاء عملکرد بیش از ۵۰٪ می باشد در حالیکه میانگین عملکردهای واقعی در ۳ سال انتهایی دوره به بالاتر

جدول ۳: میانگین عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و ضریب عملکرد منطقه‌ای (RZF) در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی

استان	عملکرد پتانسیل (تن در هکتار)	خلاء عملکرد (تن در هکتار)	RZF
خراسان شمالی	۶/۲	۳/۷۰	۰/۴۰
خراسان رضوی	۶/۹	۴/۳۰	۰/۳۷
خراسان جنوبی	۴/۸	۲/۸۰	۰/۴۲

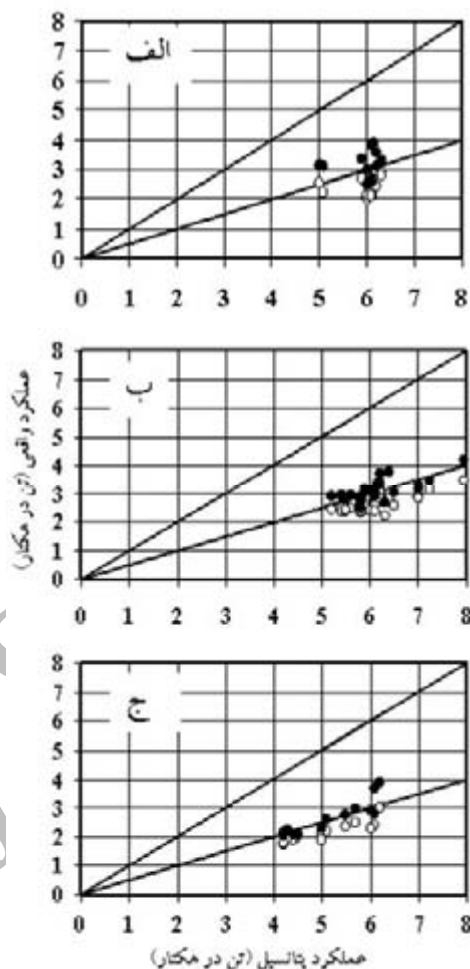
نتیجه این تحقیق نشان داد که محدودیت نیتروژن عامل اصلی بروز این مقدار خلاء می باشد.

با استفاده از مقادیر محاسبه شده عملکردهای پتانسیل و واقعی، ضریب عملکرد منطقه‌ای برای مناطق مختلف استان‌های تحت بررسی محاسبه شد. نتایج نشان داد که در میانگین بالاترین مقدار RZF مربوط به خراسان جنوبی بوده و خراسان رضوی از کمترین مقدار این ضریب برخوردار است (جدول ۳). استان خراسان شمالی با توزیعی تقریباً یکنواخت ضریب عملکرد منطقه‌ای بالایی داشت در حالیکه میزان این ضریب در سایر مناطق تحت بررسی بویژه در استان خراسان رضوی بسیار متغیر بود (شکل ۵). بالاتر بودن مقدار RZF در استان خراسان جنوبی با نتایج قبلی مبنی پایین بودن شدت خلاء در مناطقی با پتانسیل بالای عملکرد انطباق دارد. کمترین مقدار این ضریب در محدوده ۰/۴-۰/۳۵ مربوط به قسمت‌های جنوبی و شمالی استان خراسان رضوی می باشد (شکل ۵) در حالیکه این مناطق از بالاترین پتانسیل عملکرد برخوردار بوده (شکل ۲) و عملکرد واقعی نیز در آنها نسبتاً بالا می باشد (شکل ۴).

نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان داد که عملکرد واقعی گندم در استان‌های تحت بررسی در طی ۱۰ سال گذشته بطور قابل توجهی افزایش یافته است. این افزایش که عمدتاً ناشی از بهبود روشهای آبیاری، مصرف کودهای شیمیایی و معرفی واریته‌های جدید می باشد دور از انتظار نمی باشد. زارع و همکاران (۳) با مطالعه روند ۵۰ ساله تولید غلات در ایران نشان دادند که افزایش عملکرد در واحد سطح عامل اصلی افزایش تولید گندم کشور در سالهای اخیر می باشد. نتایج مشابهی از افزایش عملکرد گندم به دلیل بهبود روشهای مدیریت و اصلاح ارقام جدید در سایر مناطق جهان نیز گزارش شده است (۲۶، ۳۶). این افزایش عملکرد باعث خواهد شد تا خلاء موجود بین عملکرد واقعی و عملکرد

جنوبی ترین نقطه خراسان جنوبی (عرض جغرافیایی ۳۱/۵ درجه) در شکل ۷ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که مجموع تشعشع ورودی در قسمت‌های جنوبی از بخش‌های شمالی بیشتر است و نواحی شمالی در طی سال در حدود ۱۲ درصد کمتر از نواحی جنوبی تشعشع دریافت می‌کنند. البته این اختلاف در فاصله بین اول مهر تا پایان خرداد ماه (دوره متعارف رشد گندم) ۱۱ درصد و در فاصله ابتدای اسفند تا پایان خرداد ماه (دوره متعارف رشد فعال گندم) تنها ۴/۵ درصد می‌باشد (شکل ۷). این در حالی است که پتانسیل عملکرد در بخش‌های شمالی در حدود ۲۲ درصد بیشتر از بخش‌های جنوبی استانهای خراسان بود.

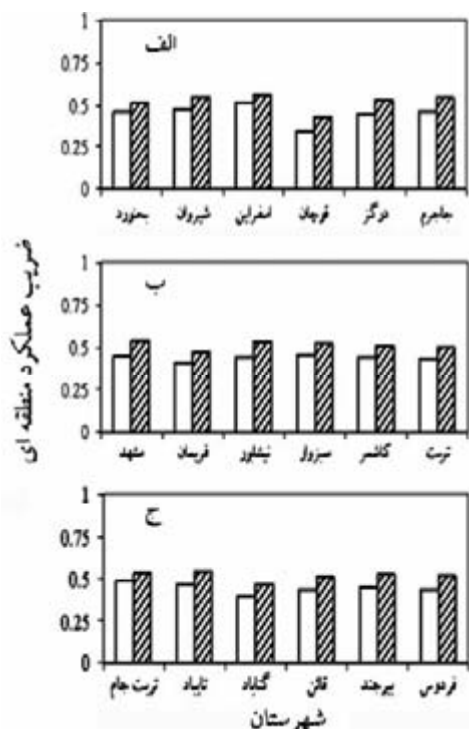
مقایسه میانگین روزانه درجه حرارت در همین مناطق و در طی دوره زمانی مشابه (شکل ۷) نشان می‌دهد که اختلاف درجه حرارت بین مناطق شمالی و جنوبی استان نسبت به تشعشع بویژه در طی دوره رشد فعال گندم بمراتب بارز تر است. بر این اساس بنظر می‌رسد که درجه حرارت در مقایسه با تشعشع نقش موثرتری در تعیین عملکرد پتانسیل گندم در مناطق تحت بررسی در این تحقیق دارد. آگاروال (۱۰) نیز عامل اصلی تغییرات پتانسیل عملکرد گندم در هند را اختلاف در میانگین درجه حرارت در مناطق مختلف تولید ذکر کرده است. نقش درجه حرارت، تاثیر بر طول دوره رشد است. در واقع درجه حرارت‌های پایین باعث افزایش طول دوره‌ای می‌شود که گندم قادر به جذب تشعشع می‌باشد (۳۳) با وجودیکه نتایج آکرچ و اسلافر (۹) نشان داد که در درجه حرارت ثابت میزان تشعشع جذب شده بعد از گرده افشانی تعیین کننده وزن دانه در گندم است ولی نتایج فیشر (۲۴) حاکی از آن است که تعداد دانه در متر مربع به از هر ۱ درجه سانتیگراد افزایش میانگین درجه حرارت نسبت به دمای مطلوب در مرحله تشکیل دانه (۱۲/۵) درجه سانتیگراد) ۴٪ کاهش می‌یابد. از سوی دیگر طول دوره پرشدن دانه در گندم نیز تابع درجه حرارت است (۴۵)، پورتر و گاویت (۳۷) درجه حرارت مطلوب در طی دوره پر شدن دانه در گندم را ۲۰/۴ و حداکثر دمای قابل تحمل در این دوره را ۳۵/۴ درجه سانتیگراد گزارش کردند و نشان دادند که در دمای بالاتر از ۲۶ درجه سانتیگراد سرعت پرشدن دانه بشدت کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۷ می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزایش میانگین درجه



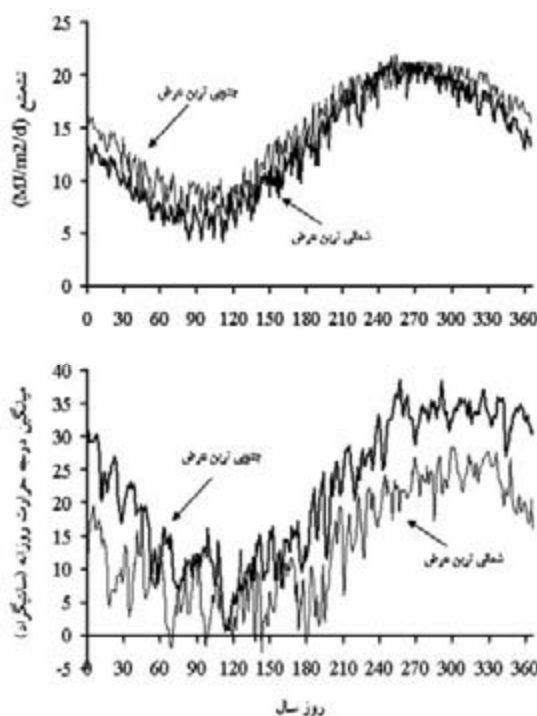
شکل ۶: میانگین عملکرد واقعی گندم در فاصله سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ (○) و ۱۳۸۳-۱۳۸۵ (●) و مقایسه آن با مقادیر شبیه سازی شده عملکرد پتانسیل در شهرستانهای مختلف استان خراسان شمالی (الف)، خراسان رضوی (ب) و خراسان جنوبی (ج). در شکل خطوط ۱:۱ و ۲:۱ نیز نشان داده شده اند، برای توضیحات به متن مراجعه شود.

از خط ۲:۱ انتقال یافته است (شکل ۶).

تولید پتانسیل که توسط تشعشع و درجه حرارت کنترل می‌شود بندرت در محصولات زراعی حاصل می‌شود و در عمل تنها بخشی از آن بعنوان محصول واقعی از مزرعه برداشت می‌گردد. بطوریکه میزان آن بر حسب میانگین کشورهای مختلف بین ۵ تا ۶۰ درصد از پتانسیل عملکرد متغیر است (۳۶). عملکرد در شرایط پتانسیل بطور مستقیم با میزان تشعشع جذب شده توسط گیاهان زراعی مرتبط است (۳۰، ۳۳) و میزان تشعشع خورشیدی بنوبه خود تابع عرض جغرافیایی می‌باشد (۷). میزان تشعشع روزانه در شمالی ترین مناطق خراسان شمالی (عرض جغرافیایی ۳۸/۵ درجه) و



شکل ۸: تغییرات زمانی ضریب عملکرد منطقه‌ای در برخی از شهرستانهای واقع در استانهای خراسان شمالی (الف)، رضوی (ب) و جنوبی (ج). در شکل میانگین این ضریب در طی سالهای ۱۳۸۵-۱۳۷۵ (ستون‌های خالی) با میانگین سالهای ۱۳۸۵-۱۳۸۳ (ستون‌های مخطط) مقایسه شده است.



شکل ۷: تغییرات میزان تشعشع و میانگین درجه حرارت روزانه در شمالی ترین ($38/5^{\circ}N$) و جنوبی ترین ($31/5^{\circ}N$) مناطق استانهای تحت بررسی، روزهای سال از اول مهر ماه بوده و محاسبه بر اساس میانگین دراز مدت انجام شده است.

قرار دارد (۳۹، ۳۰). در این تحقیق تاثیر این عوامل بطور جداگانه ارزیابی نشده و در واقع نقش مجموعه این عوامل در قالب ضریب عملکرد منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است. خصوصیات خاک و شرایط اقلیمی در طی زمان کم و بیش بدون تغییر می‌مانند درحالیکه سایر عوامل تولید متغیر خواهند بود و در نتیجه ضریب عملکرد منطقه‌ای نیز بگونه‌ای که در شکل ۸ نشان داده شد وابسته به زمان می‌باشد. در مطالعه‌ای در هلند مشخص شد که میانگین ضریب عملکرد منطقه‌ای گندم در این کشور در فاصله سالهای ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۵ میلادی از ۰/۳۹ به ۰/۶۵ افزایش یافته است (۳۵). باید توجه داشت که پیش بینی‌های انجام شده در مورد گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی ناشی از آن حاکی از افزایش درجه حرارت در اغلب نقاط کشور از جمله استان‌های خراسان و بویژه در قسمت‌های جنوبی آن می‌باشد (۲۹). کوچکی و نصیری (۶) با ارزیابی تاثیر تغییرات اقلیمی آینده بر عملکرد گندم در ایران نشان دادند که با تداوم این اثرات گرمایشی کاهش پتانسیل عملکرد گندم در قسمت‌های شرقی کشور

حرارت روزانه از شمال به سمت جنوب استان خراسان بویژه در مرحله پرشدن دانه (روزهای ۲۴۰ تا ۲۷۰ در شکل ۷) مهمترین عامل کنترل کننده پتانسیل عملکرد گندم در پهنه‌های مختلف می‌باشد.

ضریب عملکرد منطقه‌ای بعنوان معیاری از بهبود روشهای مدیریت در طی زمان در هر سه استان تحت بررسی افزایش یافته است. در شکل ۸ مقدار این ضریب برای برخی از شهرستان‌های واقع در سه استان تحت بررسی در دو دوره زمانی مقایسه شده است. این نتایج حاکی از آن است که نسبت عملکرد واقعی به پتانسیل در کلیه شهرستان‌ها در دوره زمانی ۱۳۸۳-۱۳۸۵ نسبت به دوره ده ساله ۱۳۸۵-۱۳۷۵ افزایش یافته و در حال حاضر در اکثر پهنه‌های تحت بررسی از ۰/۵ بیشتر می‌باشد. عملکرد واقعی در یک منطقه مشخص علاوه بر عوامل فیزیکی نظیر اقلیم و خاک، تحت تاثیر عوامل مدیریت نظیر میزان دسترسی به آب آبیاری، مصرف نهاده‌ها (کودهای شیمیایی و آفت کش‌ها) و همچنین جایگزینی ارقام قدیمی با ارقام جدید و پر محصول

این عوامل در ایجاد خلاء عملکرد شناخت عمیق تری را از موانع تولید گندم در هر پهنه فراهم خواهد ساخت. تفکیک سهم هر یک از این عوامل مستلزم اجرای مدلهایی برای شبیه سازی رشد گندم در حضور عوامل محدود کننده یا کاهش دهنده تولید می باشد. برای مثال با استفاده از مدلهایی که قادر باشند رشد و عملکرد گندم را در شرایط محدودیت آب یا نیتروژن شبیه سازی کنند، می توان عملکرد قابل حصول در هر یک از این شرایط را برآورد کرده و از این طریق مشخص ساخت که در هر یک از پهنه های مورد بررسی کدام عامل مانع اصلی شکل گیری خلاء عملکرد می باشد. بعلاوه روش مورد استفاده در این پژوهش در مورد سایر محصولات زراعی بجز گندم نیز قابل اجرا بوده و به این ترتیب با تداوم اینگونه مطالعات امکان انجام پهنه بندی های اگرواکولوژیکی برای محصولات مختلف و تهیه نقشه های عملکرد در سطح ملی میسر خواهد شد.

نسبت به بخش های غربی بارز تر خواهد بود. این امر سبب خواهد شد که خلاء عملکرد نیز نسبت به شرایط فعلی افزایش یابد البته اتخاذ راهکارهای مناسب سازگاری پی آمدهای نامطلوب تغییر اقلیم را به میزان چشمگیری تعدیل خواهد ساخت (۶).

نتیجه گیری

یافته های این تحقیق نشان داد که مدلهای شبیه سازی ابزار مناسبی برای پیش بینی عملکرد پتانسیل گندم و تعیین خلاء عملکرد بر اساس عملکردهای پیش بینی شده و واقعی می باشند و از این طریق می توان پهنه های مختلف اگرواکولوژیکی را از نظر استعداد تولید گندم مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. خلاء عملکرد به گونه ای که در این مطالعه برآورد گردید تاثیر مجموعه ای از عوامل محدود کننده و کاهش دهنده تولید را بر شکل گیری خلاء تخمین می زند. این در حالیست که برآورد سهم نسبی هر یک از

منابع

- ۱- تاتاری، م. ۱۳۸۷. پیش بینی عملکرد گندم در استان خراسان با به کارگیری داده های اقلیمی و خاکشناسی و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. پایان نامه دکتری زراعت. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- خلیلی، ع. و رضایی صدر، ح. ۱۳۷۶. برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده های اقلیمی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ۳، ۳۵-۱۵.
- ۳- زارع فیض آبادی، ا. ع. کوچکی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۵. بررسی روند ۵۰ ساله تغییرات سطح زیر کشت، عملکرد و تولید غلات در کشور و پیش بینی وضعیت آینده. مجله پژوهشهای زراعی ایران. ج. ۴. ش. ۱. ص. ۴۲-۶۹.
- ۴- کامکار، ب.، کوچکی، ع.، نصیری، م. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۶. آنالیز خلا عملکرد زیره سبز در ۹ منطقه از استان های خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی با استفاده از رهیافت مدل سازی. پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۵: ۳۴۲-۳۳۲.
- ۵- کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی، ا. زارع فیض آبادی و م. جهان بین. ۱۳۸۳. ارزیابی تنوع نظامهای زراعی ایران. مجله علمی پژوهشی پژوهش و سازندگی. شماره ۶۳. ص. ۷۰-۸۳.
- ۶- کوچکی، ع. و م. نصیری محلاتی. ۱۳۷۸، تاثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO₂ بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. پژوهشهای زراعی ایران، جلد ۶: ۱۵۲-۱۳۹.
- ۷- نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۹. مدل سازی فرآیند های رشد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۷۴ صفحه.
- 8-Abeledo, L.G., R., Savin, and G.A., Slafer, 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.
- 9-Acreche, M.M., and G.A., Slafer, 2009. Grain weight, radiation interception and use efficiency as affected by sink-strength in Mediterranean wheats released from 1940 to 2005. *Field Crops Research* 110: 98-105.
- 10-Aggarval, P.K. 1994. Constraints in wheat productivity in India. In: *Simulating the Effect of Climatic Factors, Genotype and Mmanagement on Productivity of Wheat in India*. (eds. Aggarval, P.K., Kalra, N.) pp. 1-11. Agricultural Research Institute, New Delhi, India.
- 11-Aggarval, P.K., N. Karla, S.K. Bandyopadhyay and S. Selvarjan, 1995. A systems approach to analyze production options for wheat in India. In: J. Bouma et. al. (eds.). *Ecoregional Approaches for Sustainable land Use and Food Production*, 167-186. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- 12-Alexandratos, N., 1995. *World Agriculture: Towards 2010*. FAO, Wiley, New York.

- 13-Arora, V.K., H., Singh, and B., Singh, 2007. Analyzing wheat productivity responses to climatic, irrigation and fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid subtropical environment using the Ceres-Wheat model. *Agricultural Water Management*, 94: 22-30.
- 14-Bhatia, V.S., P., Singh, S.P., Wani, G.S., Chauhan, A.V.R, Rao, A.K. Mishra, and K., Srinivas. 2008. Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 1252-1265.
- 15-Becker, M., and D.E. Johnson, 1999. Rice yield and productivity gaps in irrigated systems of the forest zone of CoÂte d'Ivoire. *Field Crops Research* 60: 201-208.
- 16-Boogaard, H.L., C.A. van Diepen, R.P. Rötter, J.M.C.A. Cabrera, and H.H. van Laar. 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.
- 17-Boote, K.J., and M., Tollenaar, 1994. Modeling yield potential. In: Boote, K.J., Bennett, J.M., Sinclair, T.R., Paulsen, G.M. (Eds.), *Physiology and Determination of Crop Yield*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 553-565.
- 18-Bouman, B.A.M. and F.P. Lansigan, 1994. Agroecological zonation and characterization. In: Bouman, B.A.M et al. (Eds.) *Agroecological zonation, characterization and optimization of rice-based cropping systems*. SARP Research Proceedings, Wageningen and Los Baños, pp. 1-8.
- 19-Caldiz, D.O., Gaspari, F.J., Haverkort, A.J., Struik, P.C., 2001. Agro-ecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology* 109, 311-320.
- 20-Chipanshi, A.C., E.A., Ripley and R.G., Lawford, 1999. Large-scale simulation of wheat yields in a semi-arid environment using a crop-growth model. *Agricultural Systems* 59: 57-66.
- 21-Eitzinger, J., Z., Žalud, C.A.M., Van Diepen, M., Trnka, D., Semerádová, M., Dubrovský and M., Oberforster, 2000. Calibration and evaluation of the WOFOST model for winter wheat. In: *Proceedings of the Eighth International Poster Day on Transport of Water, Chemicals and Energy in the System Soil-Crop Canopy-Atmosphere*, Bratislava, November 16, 2000.
- 22-FAO, 1996. *Agro-Ecological Zoning: Guidelines*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- 23-FAO, 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faostat.
<http://faostat.fao.org/site/408/default.aspx>.
- 24-Fischer, G., H., Van Velthuis, and F., Nachtergaele, 2000. Global Agro-ecological zones assessment: Methodology and results. Interim Report IR-00-064. IIASA, Vienna and FAO, Rome.
- 25-Goudriaan, J., 1996. Predicting crop yields under global change. In: Walker, B.H., Steffen, W.L. (Eds.), *Global Change and Terrestrial Ecosystems*. International Geosphere-Biosphere Programme Book Series 2. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 260-274.
- 26-IFPRI, 1994. World food trends and future food security. Food Policy Report, The International Food Policy Research Institute, Washington, DC, 25 pp.
- 27-Jamieson, P.D., J.R., Porter, and D.R., Wilson, 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Fields Crops Research* 27, 337-350.
- 28-Koning, G.H.J. de and C.A. van Diepen, 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.
- 29-Koocheki, A., M., Nassiri, G.A., Kamali, and H. Shahandeh, 2006. Potential impacts of climate change on agroclimatic indicators in Iran. *Arid Lands Research and Management*. 20: 245-259.
- 30-Kropff, M.J., K.G., Cassman, S., Peng, R.B., Matthews, and T.L., Setter, 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.
- 31-Kropff, M.J., R.L., Williams, T., Horie, J.F., Angus, U., Singh, H.G., Centeno, and K.G., Cassman, 1995. Predicting the yield potential of rice in different environments. In: Humphreys, E., Murray, E.A., Clampett, W.S., Lewinn, L.G. (Eds.), *Temperate Rice: Achievements and Temperate Rice Conference*, Yanco 1994, Australia, pp. 657-664.
- 32-Lobell, D.B., 2007. Changes in diurnal temperature range and national cereal yields. *Agricultural and Forest Meteorology* 145: 229-238.
- 33-Muchow, R.C., and M.J., Kropff, 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, H.H. (Eds.), *Applications of Systems Approaches at the Field Level*. Vol. 2. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 101-112.
- 34-Nassiri, M., A., Koocheki, G.A., Kamali, and H., Shahandeh, 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 52, 113-124.
- 35-Nonhebel, S. 1997. Harvesting the sun's energy using aro-ecosystems. *Quantitative Approaches in System Analysis*

- No. 13. Wageningen, The Netherlands, 77 p.
- 36-Oerke, E.C., H.W., Dehne, F., Schonbeck, and A., Weber, 1994. Crop Production and Crop Protection. Estimated Losses in Major Food and Cash Crops. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- 37-Porter, J.R., and M., Gawith, 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. European Journal of Agronomy, 10: 23-36.
- 38-Sadeghi, A. R., A. A., Kamgar-Haghighi, A.R., Sepaskhah, D., Khalili and Sh. Zand-Parsa, 2002. Regional classification for dryland agriculture in southern Iran. Journal of Arid Environments, 50: 333-341.
- 39-Savin, I.Y., S.V., Ovechkin, and E.V., Aleksandrova, 1997. The WOFOST simulation model of crop growth and its application for the analysis of land resources. Eurasian Soil Science, 30: 758-765.
- 40-van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. Field Crops Res. 52, 197-208.
- 41-van Ittersum, M.K., P.A., Leffelaar, H., van Keulen, M.J., Kropff, L., Bastiaans and J., Goudriaan, 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. European Journal of Agronomy, 18: 201-234.
- 42-van Laar, H.H., J., Goudriaan and H., Van Keulen, 1997. SUCROS97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations. C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation, Wageningen, The Netherlands, pp. 52.
- 43-van Lanen, H.A.J., G.J., van DiepenReinds, G.H.J., de Koning, J.D., Bulens, and A.K., Bregt, 1992. Physical land evaluation methods and GIS to explore the crop growth potential and its effects within the European communities. Agricultural Systems 39: 307-328.
- 44-Wassenaar, T., P., Lagacherie, J.P., Legros and M.D.A., Rounsevell, 1999. Modelling wheat yield responses to soil and climate variability at the regional scale. Climate Research, 11: 209-220.
- 45-Wheeler, T.R., G.R., Batts, R.H., Ellis, P., Hadley and J.I.L., Morison, 1996. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO₂ and temperature. Journal of Agricultural Science, 127: 37-48.
- 46-Wheeler, T.R., Q., R., Craufurd, H., Ellis, J.R. Porter and P.V. Prasad, 2000. Temperature variability and the yield of annual crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 82: 159-167.
- 47-Wopereisa, M.C.S., C., Donovan, B., Nebie, D., Guindoc, and M.K., N'Diaye, 1999. Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savanna regions of West Africa Part I. Agronomic analysis. Field Crops Research, 61: 125-145.
- 48-Wolf, J. 1993. Effect of climate change on wheat and maize production potential in the EC. Research Report 2., Environmental Change Unit. University of Oxford, 93-119.
- 49-WRR, 1995. Sustained risks: a lasting phenomenon. Netherlands Scientific Council for Government Policy. Reports to the Government 44.

Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Estimating yield potential and yield gap

M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki¹

Abstract

Long term weather data including temperature and radiation in Northern, Razavi and Southern Khorasan provinces were collected and used for agroecological zonation of wheat over the whole province. Weather data after spatial interpolation between stations and generation of daily values were used as inputs of a model for simulation of wheat growth and yield. The WOFOST model that showed acceptable performance during validation for predicting yield and development stages of wheat cultivars under favourable growth conditions, was used for estimation of potential (climatic) yield of wheat. The results showed that in spite of inter annual variations, mean potential yield of wheat was 6.2, 6.9 and 4.8 t ha⁻¹ for Northern, Razavi and Southern Khorasan provinces, respectively. Actual wheat yield (harvestable yield) during a 10-year period from 1375 to 1385 was calculated as the average of the whole period and mean of the last 3 years of time series in each province. On this basis yield gap was estimated as the difference between potential and actual wheat yield. A regional yield factor was also calculated from the ratio of actual: potential yields. Yield data was stored in a GIS package and zonation maps were produced. Results indicated that mean actual wheat yield during the 3-year period of 1383-1385 compared to the 10-year period of 1375-1385 was increased by 28, 34 and 30% in Northern, Razavi and Southern Khorasan provinces, respectively which could be mainly due to improved management practices and introducing new cultivars. However, a relatively high yield gap of 3.7, 4.3 and 3.8 t ha⁻¹ was estimated for Northern, Razavi and Southern Khorasan provinces, respectively. Regions with higher yield potential showed a higher yield gap and regional yield factor of wheat in Razavi and Southern Khorasan provinces with the highest and the lowest yield potentials was estimated as 0.37 and 0.42, respectively. During the period of 1383-85 in all 3 provinces the actual yield reached to the 50% of the potential yield indicating that the yield gap of wheat has been bridged due to improved management practices.

Keywords: Wheat, agroecological zonation, actual yield, yield potential, yield gap, regional yield factor.

1- Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.