

منطقه‌بندی آگروکلیماتیکی استان خوزستان برای پتانسیل عملکرد گندم آبی با استفاده از مدل WOFOST

محمد حسین قرینه^{۱*}، عبدالمهدی بخشنده^۲، بهرام اندرزیان^۳ و نرگس فیاضی زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۲/۱۶

چکیده

با کمک روش‌های منطقه‌بندی می‌توان ابعاد مختلف کشاورزی را از دیدگاه مکانی- زمانی مورد مطالعه قرار داده و پس از هماهنگ کردن این جوانب، نواحی یکنواختی را درون یک منطقه تعیین حدود نمود. از سوی دیگر هم‌اکنون مدل‌های شبیه‌سازی در سراسر دنیا به طور وسیعی در تحقیقات، آموزش و مدیریت مزارع گیاهان زراعی به کار می‌روند. با توجه به گستردگی بخش کشاورزی کشور، به کارگیری این مدل‌ها در کشور ما نیز ضرورت دارد. لذا به منظور، منطقه‌بندی اقلیمی خوزستان بر مبنای برآورد پتانسیل عملکرد گندم با استفاده از مدل WOFOST ابتدا با استفاده از داده‌های موجود از آزمایشات مزرعه‌ای انجام شده در استان، مدل واسنجی و بررسی صحت گردید سپس داده‌های آب و هوایی بلند مدت شهرستان‌های استان خوزستان از ایستگاه‌های هواشناسی تهیه و مدل اجرا و پتانسیل عملکرد هر شهرستان برای یک دوره بلند مدت شبیه‌سازی شد. نتایج ارزیابی مدل WOFOST نشان داد که مدل به طور قابل قبولی می‌تواند عملکرد دانه را شبیه‌سازی نماید. مقادیر RMSE (ریشه میانگین مربعات اشتباه) محاسبه شده برای عملکرد دانه ۱۲۷۴/۷ و ۸۱۰ کیلوگرم در هکتار بوده‌اند. بطور کلی، نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین پتانسیل عملکرد دانه به ترتیب مربوط به شهرستان‌های ایذه (۹۲۴۷ کیلوگرم در هکتار) و شوشتر (۷۵۳۸ کیلوگرم در هکتار) بود. در صورتیکه بیشترین خلاء عملکرد مربوط به شهرستان ماهشهر (۶۵/۸ درصد) به سبب نامناسب بودن خاک آن منطقه و بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و کمترین آن مربوط به دزفول (۴۱/۶ درصد) به دلیل شرایط مناسب خاک، عدم تغییرات شدید دما و تشعشعات خورشیدی و نیز شرایط اجتماعی- اقتصادی مناسب کشاورزان بود. تفاوت مناطق مختلف استان از نظر پتانسیل عملکرد اقلیمی ۱۸ درصد برآورد شد هرچند نتایج بدست آمده از مدل نشان داد که بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی کشاورزان اختلاف زیادی وجود دارد اما تفسیر نتایج این نوید را می‌دهد که پتانسیل زیادی برای افزایش عملکرد واقعی گندم از طریق بهبود شیوه‌های مدیریت زراعی و اصلاح خاک وجود دارد. در نهایت استان خوزستان با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و بر مبنای پتانسیل عملکردهای برآورد شده مربوط به مناطق مختلف به سه منطقه اقلیمی زراعی: ۱- ایذه ۲- بستان، مسجد سلیمان، دزفول و بهبهان ۳- امیدیه، آبادان، اهواز، رامهرمز، ماهشهر و شوشتر تقسیم‌بندی گردید.

واژه‌های کلیدی: خلاء عملکرد، شبیه‌سازی، منطقه‌بندی اقلیمی- زراعی

مقدمه

(FAO, 1998). کمبود غذا علی‌رغم تلاش‌های تحسین برانگیزی که در جهت افزایش تولید مواد غذایی صورت گرفته، عمدتاً مربوط به عدم کفایت تولید دانه‌های غذایی می‌باشد. توانایی منابع طبیعی در تأمین نیازهای رشد جمعیت موضوعی اساسی برای جوامع بین‌المللی می‌باشد (FAO, 1998)؛ در حالیکه در همین زمان، منابع طبیعی ضروری از قبیل زمین و آب، هم از نظر کیفیت و هم از نظر کمیت به سبب برخی عوامل از قبیل رقابت و تقاضای شدید صنایع و شهرها، تخریب و آلوده شده و در نتیجه فشار شدیدی بر منابع طبیعی وارد می‌آورد.

مدیریت پایدار منابع نیازمند سیاست‌های درست و برنامه‌ریزی بر اساس میزان آگاهی از این منابع، تقاضای استفاده از این منابع و اثر

در حال حاضر، بزرگترین نگرانی که جهان به طور اعم و کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه به طور اخص با آن مواجه هستند، افزایش جمعیت و تقاضا برای مواد غذایی ناشی از آن می‌باشد

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشیار گروه زراعت دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، استادگروه زراعت دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و دانش‌آموخته سابق کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

(*- نویسنده مسئول: (E-mail: hossain_gharineh@yahoo.com)

سویا (*Glycine max* L.) و گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) اعلام نمودند. این نتایج نشان می‌دهد. برآورد پتانسیل عملکرد گندم در استان خوزستان و علل اختلاف پتانسیل عملکرد بین مناطق مختلف با دیگر تحقیقات صورت گرفته در سایر مناطق جهان شباهت دارد. هدف پژوهش حاضر منطقه‌بندی^۲ استان خوزستان براساس عملکرد پتانسیل گندم آبی هر منطقه با استفاده از مدل WOFOST می‌باشد. با توجه به پژوهش‌های بسیار مقدماتی که در استان خوزستان در این زمینه صورت گرفته است نتایج بدست‌آمده خواهد توانست افق تازه‌ای را برای مطالعات بعدی و استفاده از توانایی مدل‌های شبیه‌سازی در بهینه‌سازی تولید محصولات زراعی در استان خوزستان فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد گندم (رقم چمران که هم‌اکنون بیشترین سطح زیر کشت را در استان خوزستان دارد) در مناطق مختلف استان خوزستان با استفاده از شرایط اقلیمی، از مدل WOFOST استفاده گردید. این مدل پتانسیل عملکرد را بر مبنای تابعی از تابش خورشیدی دریافتی، دما و بارندگی شبیه‌سازی می‌کند (Boogaard et al., 1998). همچنین این مدل می‌تواند سطوح مختلف تولید شامل پتانسیل و محدودیت آب و نیتروژن را شبیه‌سازی نماید. بخش‌های مورد استفاده در ساخت این مدل و همچنین روابط مورد استفاده در مدل برای شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد مختصراً به شرح ذیل می‌باشند:

۱- شبیه‌سازی و آنالیز سیستم: WOFOST یک مدل

دینامیکی مفهومی^۳ است که رشد گیاه زراعی را در واحدهای زمانی معین یک روزه شبیه‌سازی می‌نماید. در مدل‌های دینامیکی، زمان به عنوان یک متغیر می‌باشد. تابش خورشیدی محرک اصلی پیش‌برنده این مدل می‌باشد. در طی ۲۳ سال گذشته، مدل WOFOST در بسیاری از مطالعات در زمینه تولید گیاهان زراعی یکساله مورد استفاده قرار گرفته است. اولین مطالعه منطقه‌ای با استفاده از مدل WOFOST در مرکز مطالعات جهانی غذا بنا به درخواست سازمان خواروبار جهانی (فائو) در خصوص افزایش پتانسیل تولید غذا با استفاده از کودپاشی در سه کشور آفریقایی انجام شد (Anonymous, 1985).

باکر (Bakker, 1992) از نسخه ۴/۱ این مدل به منظور برآورد میزان ذخیره‌سازی آب باران استفاده کرد. متغیرهای سرعت، هرگونه تغییر در متغیرهای محرک را در یک واحد زمانی معین (Δt) نشان می‌دهند. در اغلب مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول، واحد

متقابل بین منابع و کاربرد آن می‌باشد و می‌توان با استفاده از خصوصیات اقلیم و پتانسیل تولیدات کشاورزی به ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع طبیعی پرداخت (FAO, 1998).

تحقیقات انجام شده نشان داده است که بررسی اختلافات عملکرد و شناسایی عوامل مؤثر در این خلاء عملکرد هم برای افزایش امنیت غذایی و منافع اقتصاد ملی و هم برای افزایش راندمان مصرف منابع^۱ و پایداری آنها ضروری می‌باشد (Timsina et al., 2004). از طرفی، بهینه‌سازی تولید و دستیابی به عملکردهای بالا مستلزم شناخت پتانسیل اقلیمی مناطق مختلف و برنامه‌ریزی بر مبنای استعدادها و پتانسیل‌های هر منطقه می‌باشد (Aggarwal & Karla, 1994). منطقه‌بندی به خصوص در کشورهای بزرگی مشابه ایران، جهت تدوین برنامه‌های کشاورزی کوتاه و بلندمدت برای واحدهای منطقه‌ای مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با کمک روش‌های منطقه‌بندی و تفسیر جغرافیای کشاورزی می‌توان ابعاد مختلف کشاورزی را از دیدگاه مکانی-زمانی مورد مطالعه قرار داده و پس از هماهنگ کردن این جوانب، نواحی یکنواخت درون یک منطقه را تعیین حدود نمود. بنابراین تدوین برنامه ریزی‌های کشاورزی کوتاه و بلند مدت در همه استان‌ها و از جمله خوزستان، نیاز به شناخت پتانسیل اقلیمی-زراعی و تفکیک مناطق دارای اقلیم‌های متفاوت دارد. مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول، ابزار مفیدی برای تعیین کیفیت و کمیت اثرات اقلیمی، خاکی و مدیریت مزرعه بر رشد، تولید و پایداری سیستم‌های زراعی می‌باشند (Holden & Brereton, 2004). این مدل‌ها، هزینه و زمانی را که برای مطالعات مزرعه‌ای مصرف می‌شود را کاهش داده و می‌توان برای پتانسیل عملکرد منطقه‌ای و تجزیه تحلیل اختلافات عملکرد در محصولات مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

WOFOST یکی از مدل‌های مکانیستیک می‌باشد که رشد و نمو محصول را بر مبنای تابعی از دما، تابش خورشید و بارندگی شبیه‌سازی می‌نماید (Boogaard et al., 1998). مطالعات بسیاری در دنیا برای تعیین پتانسیل عملکرد گیاهان زراعی صورت گرفته است. وو و همکاران (Wu et al., 2005) در ناحیه شمالی چین با استفاده از مدل WOFOST، میانگین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده گندم زمستانه را در مناطق شمالی ۹/۷ تن در هکتار و در مناطق جنوبی ۷/۵ تن در هکتار بدست آورد. وی تابش خورشیدی کمتر و درجه حرارت‌های بالا را عوامل عمده کاهش عملکرد در مناطق جنوبی عنوان کرد. مولدن و بررتون (Holden & Brereton, 2004) با بررسی عوامل اقلیمی بر عملکرد گیاهان زراعی در کشور ایرلند، طول فصل رشد و آب قابل دسترس را عوامل اصلی محدودکننده گیاهان گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)

2- Zonation

3- Conceptual Dynamic Model

1- Resource-Use Efficiency

(۱) ریشه میانگین مجموع مربعات اشتباه (MSE)، میانگین اریبی اشتباه (MBE) و میانگین درصد اشتباه (MPE)

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad \text{معادله (۴)}$$

$$MPE = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{|O_i - P_i|}{O_i} \right) \right] / n \cdot 100 \quad \text{معادله (۵)}$$

(۲) شاخص توافق (d): این شاخص توسط ویلمت (Willmott, 1981)

برای ارزیابی کارکرد مدل‌ها پیشنهاد شد.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}|) + (|O_i - \bar{O}|)^2} \quad \text{معادله (۶)}$$

که در این معادلات، O : مقادیر واقعی (مشاهده شده)، P_i : مقادیر شبیه‌سازی شده، n : تعداد مشاهدات و \bar{O} : میانگین داده‌های مشاهده شده می‌باشند.

(۳) روش رگرسیون یک به یک: در این روش، خط رگرسیون ۱:۱ بین داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی ترسیم می‌گردد. از این روش بطور وسیعی برای ارزیابی مدل‌ها استفاده می‌شود.

(۴) رگرسیون خطی: در این روش معادله همبستگی $y = ax + b$ بین داده‌های شبیه‌سازی شده (به عنوان متغیر مستقل) و واقعی بدست می‌آید. در این روش ارزیابی، هر چه اندازه مقدار b به صفر نزدیکتر و مقدار شیب خط رگرسیون (a) به یک نزدیکتر باشد مدل از کارایی بهتری برخوردار است.

(۵) ضریب تبیین (r^2): که بیان کننده درصد تغییرات توسط مدل است را می‌توان از این شاخص برآورد نمود.

تجزیه آماری و منطقه‌بندی: داده‌های هواشناسی بلندمدت (۳۰ ساله) ماهیانه مربوط به هر منطقه، از ایستگاه‌های هواشناسی مربوطه تهیه و با استفاده از نرم‌افزار Excel بر اساس فرمت مدل به عنوان ورودی مدل تنظیم گردید. سپس مدل برای هر سال اجرا و پتانسیل عملکرد شبیه‌سازی گردید. پس از اجرای مدل، پتانسیل عملکرد شبیه‌سازی شده، به روش تجزیه خوشه‌ای^۶ (روش اقلیدس) با

زمانی Δt یک روزه می‌باشد. متغیرهای سرعت بر اساس متغیرهای محرک و پیش‌برنده محاسبه می‌شوند (David, 1993). پس از محاسبه کلیه متغیرهای سرعت، آنها برای محاسبه مقادیر محرک بوسیله انتگرال عددی قائم الزاویه محاسبه می‌شوند (معادله ۱). نمونه‌ای ساده از یک مدل دینامیکی، رشد نمایی یک جمعیت می‌باشد که به وسیله معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$\text{STATE } (t + \Delta t) = \text{STATE } (t) + \text{RATE } (t) \times \Delta t \quad \text{معادله (۱)}$$

$$\text{RATE } (t) = \text{STATE } (t) \times \text{constant} \quad \text{معادله (۲)}$$

اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل

الف) موقعیت مکانی: طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از

سطح دریا

ب) داده‌های هواشناسی: ابتدا استان خوزستان به مربعات ۴۷/۵ کیلومتر تقسیم‌بندی شد. سپس پارامترهای هواشناسی بلند مدت ماهیانه ۳۰ ساله (بر اساس استاندارد سازمان بین المللی تغییرات اقلیمی^۱ (IPCC) مربوط به تابش خورشیدی، دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی، فشار بخار و سرعت باد از ایستگاه‌های هواشناسی مربوط به هر مربع تهیه و پس از تنظیم به مدل ارائه شدند (Anonymous, 2008). جدول ۱ میانگین درجه حرارت (سانتی گراد) و تابش خورشیدی (مگاژول در متر مربع در روز) ماهیانه بلندمدت در طی دوره رشد گندم را در شهرستان‌های استان نشان داده است.

ج) واسنجی مدل: به منظور واسنجی و ارزیابی مدل WOFOST از داده‌های آزمایش‌های زیر استفاده گردید.

(۱) ارزیابی اثر سطوح شوری و نیتروژن بر عملکرد دانه، اجزاء عملکرد و خواص بیوشیمیایی گندم (Heydary, 2006).

(۲) بررسی مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد سه ژنوتیپ زودرس، میان رس و دیررس گندم نان در دو تاریخ کاشت در شرایط آب و هوایی اهواز (Andarzian, 2005).

(۳) بررسی مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد سه ژنوتیپ زودرس، میان رس و دیررس گندم نان در چهار نقطه از استان خوزستان (Andarzian, 2006).

(۴) بررسی نقش تاریخ کاشت مناسب در جلوگیری از کاهش عملکرد گندم در اثر تنش حرارتی و رطوبتی آخر فصل (Andarzian, 2008).

د) ارزیابی و بررسی صحت مدل: پیش از کاربرد مدل‌ها و بررسی عوامل مختلف بر عملکرد گیاهان زراعی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به ارزیابی مدل (واسنجی و بررسی صحت مدل) پرداخته می‌شود. بدین جهت برای ارزیابی اعتبار و دقت مدل روش‌های زیر مورد استفاده قرار گرفت.

2- Root Mean Square Error

3- Mean Bias Error

4- Mean Percentage Error

5- Coefficient of Determination

6- Cluster Analysis

طی سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۸۱ مورد بررسی قرار دادند. آنها عملکردهای شبیه‌سازی شده را با عملکردهای واقعی مورد مقایسه قرار داده و خطای شبیه‌سازی مدل برای مراحل فنولوژیک و عملکرد گندم را بین ۵ تا ۱۰ درصد گزارش نمودند. نتایج تحقیقات انجام شده در سراسر دنیا (مناطق گرمسیر، معتدله و سردسیر) نشان دهنده کارایی بالای مدل WOFOST در شبیه‌سازی پیش‌بینی عملکرد دانه می‌باشد. نتایج بدست‌آمده از مطالعات بسیاری از محققین با نتایج عملکرد دانه شبیه‌سازی شده توسط مدل WOFOST مورد مقایسه قرار گرفت و کارایی بالای مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه مورد تأیید قرار گرفت.

برآورد پتانسیل عملکرد گندم در مناطق مختلف

خوزستان: نتایج حاصل از شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد گندم در ۱۱ منطقه نشان داد که پتانسیل عملکرد گندم در مناطق مختلف استان خوزستان در دامنه‌ای بین ۷۵۳۸ (شوشتر) تا ۹۲۴۷ کیلوگرم در هکتار (ایذه) متغیر بود (جدول ۳). پتانسیل عملکرد بیشتر در منطقه ایذه احتمالاً به سبب آن است که از شرایط حرارتی نسبت به سایر مناطق برخوردار است، در این منطقه به علت پایین‌تر بودن دما نسبت به دیگر مناطق، شرایط حرارتی مناسب‌تری برای رشد و نمو گندم فراهم است. لذا هزینه تنفس نگه‌داری گیاه در این منطقه پایین‌تر بوده و فصل رشد گیاه طولانی‌تر می‌باشد. در نتیجه از تشعشع روزانه بیشتری در طول دوره رشد خود برخوردار بوده و باعث افزایش عملکرد می‌شود. بررسی نتایج نشان داد که علت عملکرد پتانسیل پایین در محدوده شهرستان شوشتر، به سبب میانگین ماهانه درجه حرارت حداکثر بالاتر نسبت به سایر شهرستان‌ها در طول دوره رشد گندم بوده است. همچنین، این شهرستان دارای کمترین تشعشع خورشیدی نسبت به سایر شهرستان‌ها بوده که باعث کاهش فتوسنتز، افزایش تنفس، کاهش اندام‌های سبز گیاه و کاهش دوره پر شدن دانه می‌باشد که در نهایت روی عملکرد پتانسیل دانه گیاه تأثیر می‌گذارد. هوری و همکاران (Horie et al, 1995) در ژاپن و تینسین و همکاران (Timsina et al, 2004) در هند نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

میزان تغییرات پتانسیل عملکرد بین مناطق مورد بررسی، ۱۸ درصد پیش‌بینی شد که از میزان تغییرات پتانسیل عملکرد در سال‌های مختلف کمتر است. به عبارت دیگر، بین مناطق مختلف در استان اختلاف عملکرد زیادی وجود ندارد و استان از تنوع اقلیمی زیادی برخوردار نیست، اما در بین سال‌های مختلف در یک منطقه تغییرات اقلیمی قابل ملاحظه‌ای وجود دارد که تمهیدات مدیریتی خاصی را می‌طلبد.

استفاده از نرم‌افزار Minitab v.14، گروه‌بندی و مناطق دارای پتانسیل عملکرد مشابه (۸۵ درصد تشابه) در یک گروه قرار گرفته و بر این اساس استان خوزستان منطقه‌بندی گردید.

روند تغییرات عملکرد دانه: به منظور ارزیابی تغییرات سالیانه پتانسیل عملکرد، مدل طی یک دوره ۱۳ ساله برای شهرستان‌های مورد نظر اجرا و پتانسیل عملکرد برآورد گردید. همچنین برای بررسی روند تغییرات عملکرد واقعی در سطح مزارع زارعین و تأثیر بهبود ژنتیکی ارقام و ارتقاء کیفی مدیریت مزرعه بر عملکرد دانه در طی این دوره، میانگین عملکردهای برداشت شده از مزارع آبی گندم در شهرستان‌های هدف از آمارنامه‌های کشاورزی خوزستان استخراج و با عملکرد پتانسیل آن مناطق مورد مقایسه قرار گرفت.

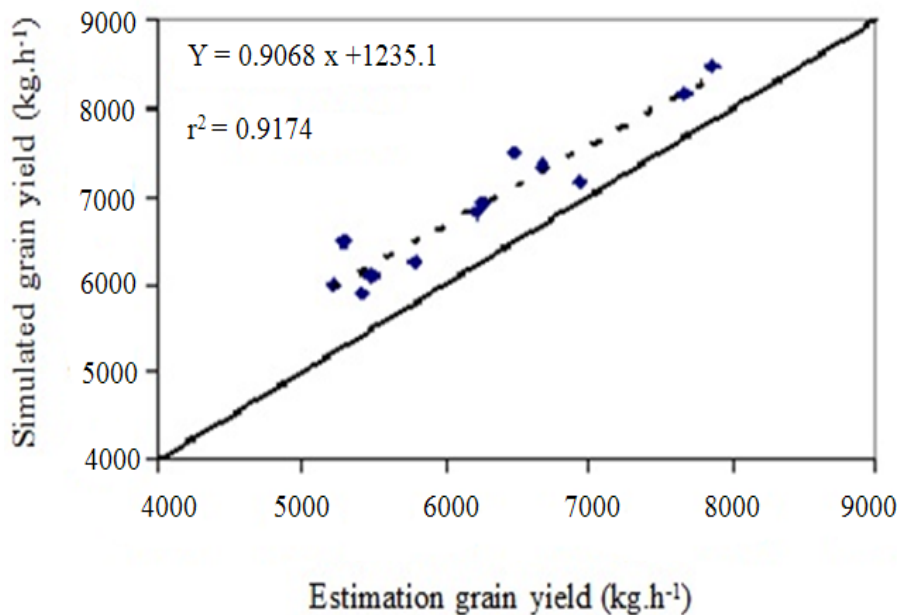
نتایج و بحث

ارزیابی مدل WOFOST: در این بخش به ارزیابی مدل WOFOST و بررسی صحت شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم (رقم چمران) در شرایط آب و هوایی خوزستان، و مقایسه با نتایج شبیه‌سازی پرداخته می‌شود.

ارزیابی عملکرد دانه: میزان تفاوت بین عملکردهای دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده بین ۲۱۹ تا ۱۱۹۰ کیلوگرم در هکتار متغیر می‌باشد (شکل ۱). مقادیر شاخص‌های محاسبه شده RMSE، MBE، MPE و d به ترتیب برابر با ۸۱۰، ۷۴۸/۷ کیلوگرم در هکتار، ۱۲/۳۱ درصد و $d = 0/80$ (جدول ۲) بود. ضریب تبیین رگرسیون خطی یک به یک محاسبه شده بین عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برابر با $r^2 = 0/91$ بود که کارکرد این مدل را در پیش‌بینی عملکرد گندم مورد تأیید قرار می‌دهد. در برآورد عملکرد دانه مدل، عملکرد شبیه‌سازی شده را بیشتر از عملکرد مشاهده شده برآورد نموده که ممکن است ناشی از تلفات دانه در حین اندازه‌گیری می‌باشد. بنابراین، می‌توان از این مدل برای بررسی بعضی از راهکارهای مدیریتی در جهت اهدافی از قبیل مدیریت افزایش عملکرد گندم، در استان خوزستان استفاده نمود.

با توجه به نتایج بیان شده به نظر می‌رسد که مدل WOFOST توانسته به خوبی عملکرد گندم را در شرایط آب و هوایی خوزستان شبیه‌سازی نماید. در نتیجه با توجه به دقت قابل قبول مدل می‌توان از آن برای ارزیابی عملکرد در استان خوزستان استفاده نمود.

از این مدل برای پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی مختلف، از جمله گندم در مناطق مختلفی از دنیا استفاده شده است. دیپن و نزدلیک (Diepen & Nejedlik, 1996) با استفاده از مدل شبیه‌سازی WOFOST در چهار ناحیه غربی کشور اسلواکی، عملکرد جو بهاره را



شکل ۱- مقایسه بین عملکرد دانه شبیه سازی شده و مشاهده شده گندم
 Fig. 1- Comparison between simulated and estimated wheat grain yields

جدول ۲- مقایسه عملکرد دانه شبیه ازی شده و اندازه گیری شده

Table 2- Comparison simulated and estimation grain yield

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield (kg.h ⁻¹)		
تفاوت Difference	اندازه گیری شده Estimation	شبیه سازی شده Simulated
219	6929	7168
503	7669	8172
625	7861	8486
1190	5293	6483
663	6678	7341
1027	6483	7510
668	6255	6923
1096	4993	6089
ریشه میانگین مجموع مربعات RMSE	810	
میانگین اریبی اشتباه MBE	748.8	
میانگین درصد اشتباه MPE	12.31	
شاخص توافق d	0.80	

جدول ۳- پتانسیل عملکرد گندم (کیلوگرم در هکتار) برآورد شده برای شهرستان های استان خوزستان

Table 3- Estimated potential yield wheat (Kg.ha⁻¹) for Khuzestan regions

مسجد سلیمان Masjed solayman	ماه شهر Mahshahr	شوشتر Shoushtar	رامهرمز Ramhormoz	دزفول Dezfull	بهبهان Behbahan	بستان Bostan	ایذه Eizeh	امیدیه Omideyeh	اهواز Ahwaz	آبادان Abadan	شهرستان Regions
8610	7693	7538	7734	8528	8464	8882	9247	7875	7839	7860	عملکرد پتانسیل Potential yield

اختلاف عملکرد موجود در هر منطقه طی سال‌های مختلف غالباً به دلیل بروز درجه‌حرارت‌های بالا و افزایش میانگین درجه حرارت روزانه طی اواخر دوره رشد گندم می‌باشد (جدول ۱). بروز چنین تغییرات ناگهانی درجه حرارت باعث ایجاد شوک به گیاه می‌گردد. بنابراین، راهکارهای اصلاحی از قبیل بهبود ژنتیکی ارقام از نظر مقاومت به تنش‌های محیطی بویژه تنش گرما برای مقابله با تغییرات شدید اقلیمی ضروری به نظر می‌رسد.

تحقیقات نشان می‌دهد که تأثیر مثبت تابش خورشیدی بر افزایش عملکرد گندم بیش از تأثیر منفی دماهای بالا (تسریع سرعت نمو) بر کاهش عملکرد گندم می‌باشد (Timsina et al, 2004). پس از بررسی تفاوت‌های عوامل اقلیمی در ایستگاه‌های هواشناسی مختلف استان مشاهده شد دامنه تغییرات تشعشع در شهرستان‌های مختلف نسبت به دامنه تغییرات درجه‌حرارت کمتر بوده است، در نتیجه در استان خوزستان احتمالاً نقش دما در تعیین اختلاف عملکرد بین مناطق مختلف بیش از تابش خورشیدی می‌باشد. بنابراین، شهرستان‌های شمالی به دلیل برخورداری از میانگین درجه حرارت روزانه پایین‌تر و در نهایت طول دوره رشد بیشتر و فرصت بیشتر برای ذخیره کربوهیدرات‌ها نسبت به مناطق جنوبی دارای پتانسیل عملکرد بالاتری می‌باشند.

روند تغییرات پتانسیل عملکرد برآورد شده: بیشترین

دامنه تغییرات عملکرد پتانسیل در بین مناطق مورد بررسی طی دوره ۱۳ ساله در محدوده شهرستان شوشتر با ۳۳ درصد تغییرات و کمترین دامنه در محدوده شهرستان ایذه با ۱۸ درصد تغییرات سالیانه می‌باشد. دامنه تغییرات پائین در شهرستان ایذه به دلیل خصوصیات جغرافیایی و توپوگرافی آن منطقه بود؛ به طوریکه کوه‌ها به صورت مانعی در برابر ورود و خروج جریان‌های هوایی عمل کرده و از تغییرات شدید آب و هوایی جلوگیری می‌نمایند. در صورتیکه در منطقه شوشتر به سبب قرار گرفتن در دشت و عدم وجود مانع در برابر عبور این جریان‌ها تغییرات شدید آب و هوایی در طی سال‌های مختلف مشاهده می‌شود. همچنین، میانگین عملکرد مزرعه کشاورزان از ۲۶۲۴ کیلوگرم در هکتار در منطقه ماهشهر تا ۴۴۲۳ کیلوگرم در هکتار در دزفول متفاوت بود. عملکرد واقعی بیشتر در محدوده شهرستان دزفول به دلیل شرایط مساعد خاک و همچنین شرایط اجتماعی-اقتصادی مناسب‌تر کشاورزان نسبت به سایر مناطق می‌باشد. عملکرد کم کشاورزان در محدوده شهرستان ماهشهر ممکن است به دلیل نامناسب بودن خاک اعم از بافت نامناسب، بالا بودن آب تحت‌الارض و شوری خاک باشد؛ به طوریکه ۹۸ درصد از خاک این مناطق در طبقه خاک‌های چهار و پنج در رده بندی قابلیت اراضی (محدودیت زیاد و غیرقابل کشت) و تنها ۲ درصد از این اراضی در طبقه سه (با

محدودیت متوسط و قابل کشت) با نفوذپذیری عمقی بسیار آهسته و بافت خاک سنگین قرار دارد (Anonymous, 2008).

برآورد خلاء عملکرد: با مقایسه روند تغییرات عملکرد دانه در

مناطق مختلف که در جدول ۴ نشان داده شده است مشاهده می‌شود اختلاف قابل توجهی (۴۰-۶۶ درصد) بین عملکرد پتانسیل برآورد شده و عملکرد واقعی کشاورزان وجود دارد. این خلاء در کلیه مناطق مورد بررسی مشاهده شد؛ بطوریکه بیشترین مقدار مربوطه به شهرستان ماهشهر با میانگین ۵۰۶۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به شهرستان دزفول با میانگین ۳۱۳۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. علت اصلی خلاء شدید عملکرد در شهرستان ماهشهر به احتمال زیاد به سبب خاک نامناسب این محدوده می‌باشد. همچنین خلاء عملکرد زیادی نیز در شهرستان ایذه مشاهده می‌شود که احتمالاً به عوامل مدیریتی مربوط می‌شود. مزارع محدوده این شهرستان از خاک مناسبی برخوردار می‌باشند، اما به دلیل محدودیت آگروتکنولوژیکی عملکرد آنها در واحد سطح پایین می‌باشد. خلاء عملکرد به عوامل مختلفی از جمله، عوامل محدود کننده عملکرد مرتبط با خاک از قبیل بافت و ساختمان نامناسب خاک، کمبود و یا عدم توازن عناصر غذایی، شوری خاک و غیره، عوامل مرتبط با آب مانند کمبود رطوبت، شوری آب و همچنین عوامل کاهش دهنده عملکرد (آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز) نسبت داده می‌شود (Aggarwal & Karla, 1994). بنابراین اعمال راهکارهای مدیریتی مناسب از قبیل استفاده از روش‌های نوین آبیاری، مصرف بهینه و متعادل عناصر غذایی، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، مقابله با تنش‌های محیطی مانند گرما، شوری و غیره باعث کاهش خلاء موجود شده و عملکرد واقعی کشاورزان را به عملکرد پتانسیل نزدیک می‌نماید.

دیگر تحقیقات صورت گرفته در سراسر دنیا نیز وجود تغییرات عملکرد بین سال‌های مختلف در اثر تغییرات آب و هوایی و همچنین وجود خلاء عملکرد بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی کشاورزان را تأیید می‌نماید. دیپن و نژدلیک (Diepen & Nejedlik, 1996) با استفاده از مدل شبیه‌سازی WOFOST در چهار ناحیه غربی اسلوواکی، عملکرد جو بهاره را در طی یک دوره ۱۵ ساله مورد بررسی قرار دادند. آنها کمترین عملکرد را در سال ۱۹۸۱ (۶/۱۲ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین مقدار آن را در سال ۱۹۸۴ (۷/۶۶) تن در هکتار بدست آوردند. هر چند خلاء عملکرد زیادی بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی کشاورزان در مناطق مختلف استان خوزستان وجود دارد، اما این نوید را می‌دهد که پتانسیل زیادی برای افزایش عملکرد واقعی گندم از طریق بهبود شیوه‌های مدیریت زراعی و اصلاح خاک وجود دارد.

جدول ۴- عملکرد پتانسیل، عملکرد کشاورزان و خلاء عملکرد گندم (kg.h^{-1}) در شهرستان‌های استان خوزستان
Table 4- Potential yield, formers yield and yield poor of wheat (kg.h^{-1}) for Khouzeestan regions

شهرستان Region	عملکرد پتانسیل Potential yield	عملکرد واقعی Formers yield	خلاء عملکرد Yield poor	خلاء عملکرد (درصد) Yield poor (%)
آبادان Abadan	7860	3088	4772	60.7
اهواز Ahwaz	7839	3580	4259	54.3
امیدیه Omideyeh	7875	2921	4954	62.9
ایذه Ezeh	9247	3216	6031	65.2
بستان Bostan	8882	3315	5567	62.6
بهبهان Behbahan	8464	3958	4506	53.2
دزفول Dezfull	7538	4400	3138	41.62
رامهرمز Ramhormoz	8528	3338	5190	60.8
شوشتر Shoushtar	7734	3504	4230	54.6
ماهشهر Mahshahr	7693	2624	5069	65.8

داشت (شکل ۴).

جدول ۵- مقدار پتانسیل عملکرد گندم (kg.ha^{-1}) مناطق

تقسیم‌بندی شده در خوزستان

Table 5- Potential yield (kg.h^{-1}) of wheat climatic zonation in Khouzeestan

مناطق اقلیمی - زراعی Climatic zonation	عملکرد پتانسیل (kg.h^{-1}) Potential yield (kg.h^{-1})
1	$9000 \geq$
2	9000-8000
3	7000 - 8000

نتیجه گیری

نتایج حاصل از ارزیابی مدل WOFOST نشان داد که این مدل مراحل مختلف رشد، نمو و عملکرد گندم را در شرایط آب و هوایی خوزستان به خوبی شبیه‌سازی نموده و می‌تواند به عنوان یک ابزار پژوهشی برای بررسی پتانسیل عملکرد گندم در استان مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، نتایج حاصل از پتانسیل عملکرد در مناطق مختلف استان نشان داد که پتانسیل عملکرد اقلیمی بین مناطق مختلف متفاوت است.

منطقه‌بندی استان خوزستان بر مبنای پتانسیل عملکرد گندم

نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای نشان داد مناطقی که دارای بیش از ۸۵ درصد تشابه از نظر پتانسیل عملکرد گندم می‌باشند در یک گروه قرار گرفته و در مجموع استان خوزستان به سه منطقه اقلیمی - زراعی منطقه‌بندی گردید (شکل ۲).

گروه یک: شامل محدوده شهرستان ایذه با میانگین بلندمدت پتانسیل عملکرد برابر با ۹۲۴۷ کیلوگرم در هکتار (شکل ۳).

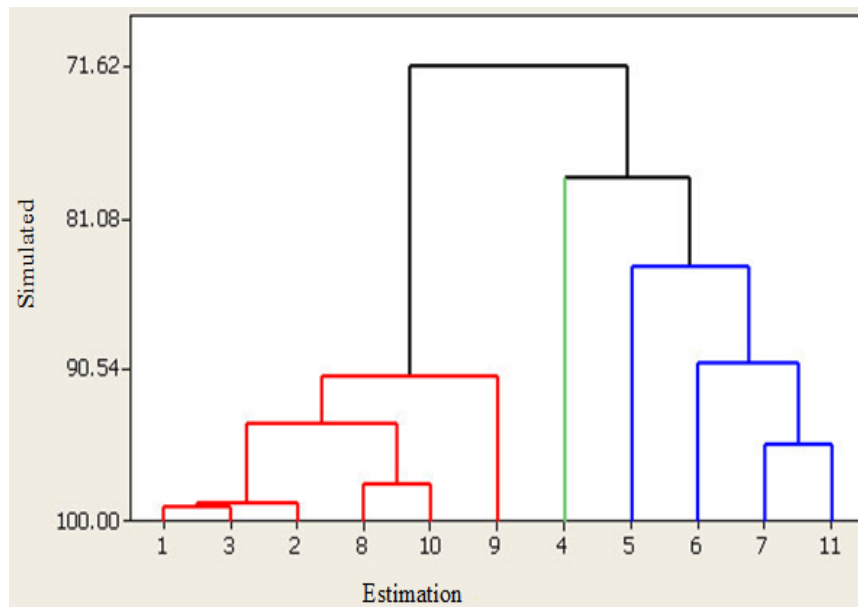
گروه دوم: شامل محدوده شهرستان‌های بستان، مسجد سلیمان، دزفول و بهبهان به ترتیب با میانگین پتانسیل عملکرد برابر با ۸۸۸۲، ۸۶۱۰، ۸۵۲۸ و ۸۴۶۴ کیلوگرم در هکتار (شکل ۳).

گروه سه: شامل شهرستان‌های امیدیه، آبادان، اهواز، رامهرمز، ماهشهر و شوشتر با میانگین پتانسیل عملکرد برابر با ۷۸۷۵، ۷۸۶۰، ۷۸۳۹، ۷۷۳۴، ۷۶۹۳ و ۷۵۳۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشند (شکل ۳).

نتایج این پژوهش نشان داد که گروه نخست در تقسیم‌بندی اقلیمی خوزستان براساس پتانسیل عملکرد با گروه ۱۴ در تقسیم‌بندی اقلیمی خوزستان با اقلیم معتدل مدیترانه‌ای توافق دارد. گروه دوم با گروه نهم (نیمه خشک و گرم) همخوانی داشت و گروه سوم نیز با اقلیم شماره پنج (گرم و خشک) و شماره یک (گرم و فراخشک) توافق

جدول ۶- پتانسیل عملکرد گندم (Kg.ha^{-1}) برآورد شده برای شهرستان‌های استان خوزستان
Table 6- Estimated potential yield wheat (Kg.ha^{-1}) for Khuzestan regions

11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	شماره منطقه Number region
مسجدسلیمان Masjed solayman	ماهشهر Mahshahr	شوشتر Shoushtar	رامهرمز Ramhormoz	دزفول Dezfull	بهبهان Behbahan	بستان Bostan	ایذه Eizeh	امیدیه Omideyeh	اهواز Ahwaz	آبادان Abadan	شهرستان Region
8610	7693	7538	7734	8528	8464	8882	9247	7875	7839	7860	عملکرد پتانسیل Potential yield

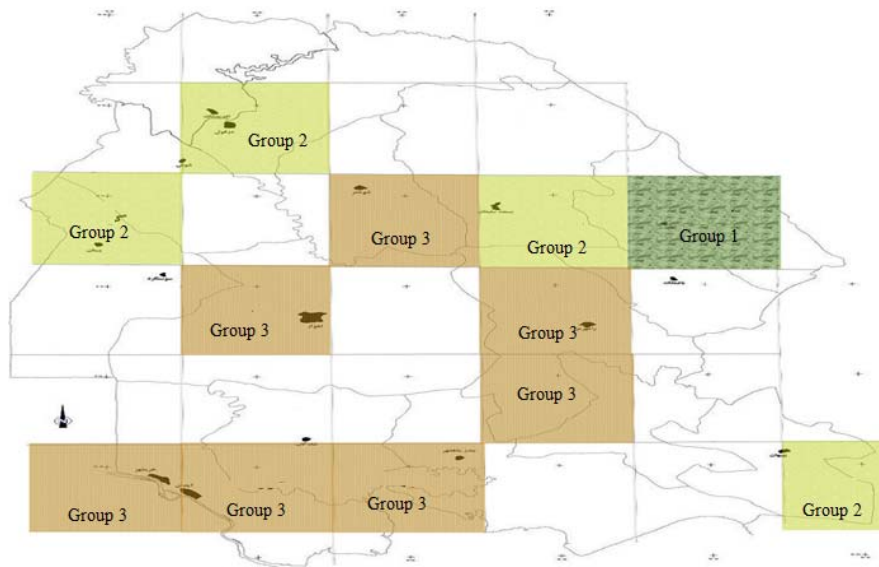


شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای مناطق مختلف خوزستان بر حسب پتانسیل عملکرد دانه گندم

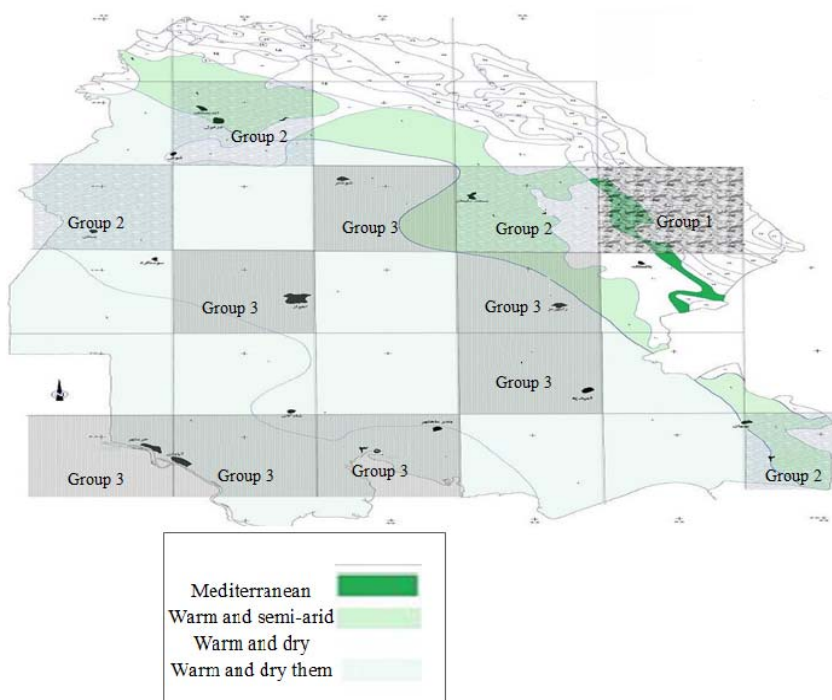
Fig. 2- Cluster analysis various zones of Khuzestan based on potential grain yield of wheat

اصلاح ژنتیکی ارقام و مدیریت بهتر مزرعه می‌باشد. اختلاف عملکرد بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی مزارع در بیشتر موارد به نامناسب بودن عوامل خاکی و ضعف در مدیریت زراعی کشاورزان نسبت داده می‌شود. همچنین نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای نقاط داری پتانسیل عملکرد مشابه (۸۵ درصد تشابه) را در یک گروه قرار داده و در نهایت، استان را می‌توان به سه گروه آماری تقسیم‌بندی نمود.

با بررسی عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد پتانسیل برآورد شده، مشاهده شد اختلاف (خلاء) عملکرد چشمگیری بین این دو در سطح استان وجود دارد، اما به نظر می‌رسد که بدون افزایش سطح زیر کشت می‌توان تولید در واحد سطح را به میزان چشمگیری افزایش داد. روند تغییرات عملکرد پتانسیل و واقعی نشان داد که احتمال کاهش پتانسیل عملکرد در اثر گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بوده و روند صعودی عملکرد زارعین گندم ناشی از



شکل ۳- منطقه بندی اقلیمی- زراعی استان خوزستان بر مبنای پتانسیل عملکرد گندم
 Fig. 3- Agro-climatic zonation for Khuzestan province based on potential grain yield of wheat



شکل ۴- توافق مناسب منطقه بندی اقلیمی- زراعی صورت گرفته بر مبنای پتانسیل عملکرد گندم با تقسیم بندی اقلیمی خوزستان
 Fig. 4- Suitable agreement agro-climatic zonation done based on potential yield of wheat with Portioning climatic of Khuzestan

منابع

- 1- Aggarwal, P.K., and Karla, N. 1994. Analyzing the limitations by climatic factors, genotype, water and nitrogen of wheat II. Field Crops Research 38: 93-103.
- 2- Andarzian, B. 2008. Study of suitable time planting at forbid of decrease in wealth in effect of heating and humid stress. Agricultural and Natural Resource of Khozestan, Ahwaz, Iran 20 pp. (In Persian)
- 3- Anonymous, 1985. Potential food production increases from fertilizer aid: a case study of Burkina Faso, Ghana and

- Kenya. Center for World Food Studies, Wageningen 113 pp.
- 4- Anonymous, 2008. Study of Karoon Agrology. Power Ministry, Water and Electronic Organization, Khozestan 148 pp. (In Persian)
 - 5- Bakker, E.J. 1992. Rainfall and risk in India's agriculture. An ex-ante evaluation of rainfall insurance. Groningen Theses in Economics, Management and Organization. Wolters-Noordhoff, Groningen.
 - 6- Boogaard, H.L., Van Diepen, C.A., Rotter, 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. Technical document 52. DLO, Winand Staring Centre, Wageningen 142 pp.
 - 7- David, B., Lobell, J., Monasterio, I., Addams, L., and Gregory, P. 2002. Soil, climate and management impacts on regional wheat Productivity in Mexico from remote sensing. *Agricultural and Forest Meteorology* 114: 31-43.
 - 8- Diepen, C.A. Van, and Nejedlik, P. 1996. Simulating spring Barley yields at regional level. *Czech Hydrometeorological Institute* 8 pp.
 - 9- FAO. 1996. Agro-ecological zoning. Guidelines. FAO, Land and Water Development 78 pp.
 - 10- Heydary, M. 2006. Evolution of effect of salinity and nitrogen levels on grain yield, yield components and biochemical characters of wheat. PhD Thesis, Agriculture University. Ramin, Khuzestan, Iran 171 pp. (In Persian with English Summary)
 - 11- Holden, N.M., and Brereton, A.J. 2004. Definition of agroclimatic regions in Ireland using hydro-thermal and crop yield data. *Agricultural and Food Methodology* 122: 175-191.
 - 12- Horie, T., Nakagawa, H., Ohnishi, M., and Nakno, J. 1995. Rice production in Japan under current and future climates. In 'Modelling the impact of climate change on rice production in Asia' CAB International, Wallingford 143-164 pp.
 - 13- Oche, C.Y. 1998. Agroclimatic zonation for wheat production in the savanna region of Nigeria Singapore. *Journal of Tropical Geography* 19(1): 39-50.
 - 14- 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.
 - 15- Willmott, C.J. 1981. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of American Meteorology Society* 63: 1309-1313.
 - 16- Wu, D., Yu, Q., Lua, C., and Hengsdijk, H. 2005. Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. *Journal of Agronomy* 24: 226-235.