

## پهنه بندی اگرواکولوژیکی گندم در استان خراسان: آنالیز ریسک

مهدی نصیری محلاتی<sup>۱\*</sup> - علیرضا کوچکی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۸

### چکیده

در مطالعات پهنه بندی برای برآورد عملکرد پتانسیل معمولاً داده‌های مربوط به مدیریت زراعی نظیر تاریخ یا تراکم کاشت از یافته‌های ایستگاه‌های تحقیقاتی استخراج شده و در مدل‌های شبیه سازی تعریف می‌شوند. از آنجا که مناسب ترین روش مدیریت الزاما با نتایج آزمایشی منطبق نمی‌باشند پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های شبیه سازی با عدم قطعیت یا ریسک توأم خواهد بود. در این تحقیق ریسک ناشی از داده‌های مدیریت در برآورد عملکرد پتانسیل گندم در استانهای خراسان شمالی، رضوی و جنوبی با استفاده از شبیه سازی مونته کارلو مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد گندم در شرایط پتانسیل بوسیله مدل WOFOST که قبلاً توسط داده‌های آزمایشی تعیین اعتبار شده بود برآورد شد. پیش از آنالیز ریسک، با انجام آنالیز حساسیت بر روی ورودی‌های مدل مشخص شد که تغییر تاریخ کاشت به میزان  $\pm 50$  روز نسبت به تاریخ مینا تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد پیش بینی شده دارد در حالیکه عملکرد پتانسیل گندم نسبت به تغییر تراکم کاشت در دامنه  $\pm 50$  درصد نسبت به تراکم مینا چندان حساس نبود، بنابراین آنالیز ریسک بر روی تاریخ کاشت انجام گرفت. برای اجرای شبیه سازی مونته کارلو ۱۰۰ مقدار تصادفی برای تاریخ کاشت گندم بر اساس توزیع آماری بتا توسط یک نرم افزار مولد داده‌های تصادفی تولید گردید و مدل برای شبیه سازی عملکرد گندم در فاصله سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ با هر یک از این مقادیر تصادفی اجرا شد تا توزیع احتمالات عملکرد پتانسیل بر حسب تاریخ‌های مختلف کاشت تعیین شود. نتایج برای میانگین تاریخ کاشت توصیه شده (مطلوب) و  $\pm 15$  یا  $\pm 30$  روز زودتر یا دیر تر از این تاریخ برآورد شد و توزیع احتمال برای عملکرد گندم آبی در هر سه استان خراسان محاسبه گردید. نتایج نشان داد که ریسک عملکرد گندم نسبت به تغییر تاریخ کاشت در سه استان تحت بررسی متفاوت است. در استان خراسان شمالی کاشت زودتر به میزان ۱۵ روز نسبت به میانگین تاریخ کاشت توصیه شده ریسک عملکرد را کاهش داده در حالیکه ۳۰ روز تاخیر در کاشت باعث افزایش قابل توجه ریسک خواهد شد. در استان خراسان رضوی تاریخ کاشت فعلی در میانگین مطلوب بوده و کاشت زودتر نسبت به تاریخ توصیه شده ریسک عملکرد را افزایش می‌دهد. در استان خراسان جنوبی تاریخ کاشت توصیه شده باعث افزایش ریسک عملکرد شده و تاخیر کاشت تا ۳۰ روز نسبت به میانگین تاریخ توصیه شده باعث ثبات بیشتر عملکرد و کاهش ریسک خواهد شد. با توجه به یافته‌های این تحقیق بنظر می‌رسد که پایین بودن عملکرد پتانسیل گندم آبی بویژه در استان خراسان جنوبی تا حد زیادی ناشی از روشهای مدیریت بوده و بهبود این روشها، از جمله تنظیم تاریخ کاشت باعث افزایش عملکرد پتانسیل توأم با ریسک کمتر خواهد شد.

**واژه‌های کلیدی:** آنالیز ریسک، شبیه سازی مونته کارلو، گندم، ثبات عملکرد، پهنه بندی اگرواکولوژیکی

پرداخته می‌شود.

### مقدمه

بخش عمده‌ای از تحقیقات اجرا شده و در دست اجرای دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی کشور، تاثیر تیمارهای مختلف (مدیریت و نهاده‌های تولید) یا اثر تنشهای زنده و غیر زنده محیطی را بصورت مزرعه‌ای و در سطح کرت‌های آزمایشی با قالب‌های کلاسیک مورد بررسی قرار می‌دهند. بدون تردید ارزیابی تولید و شناسایی موانع آن در مقیاس‌های بزرگ (منطقه‌ای و ملی) مستلزم توسعه متدولوژی نوین و استفاده از ابزارهای پژوهشی جدیدی است که توانایی تجزیه و تحلیل داده‌ها در چنان سطوحی را داشته باشند (۴، ۲۰ و ۳۰).

در کنار مجموعه پژوهشهایی که در زمینه به زراعی گندم اجرا می‌شود و حجم قابل ملاحظه و با ارزشی از داده‌های آزمایشی را در مورد خصوصیات رشد و نمو این گیاه در شرایط متنوع مدیریت فراهم می‌سازد، توجه به ابعاد کلان و منطقه‌ای تولید گندم موضوع مهمی است که در ساختار پژوهشی مراکز تحقیقاتی کشور کمتر به آن

۱-۲ استادان گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*- نویسنده مسئول: (Email: mnassiri@ferdowsi.um.ac.ir)

شهرستان برآورد می‌شود. در حالیکه همواره این احتمال وجود دارد که تغییرات قابل ملاحظه‌ای از نظر ویژگی‌های محیطی در محدوده یک شهرستان نیز بروز کرده و نتایج مدل با واقعیت انطباق نداشته باشد. لازم به ذکر است که این نوع ریسک در پیش بینی عملکرد بویژه هنگامی جدی خواهد بود که شبیه سازی در شرایط محدودیت آب یا نیتروژن انجام گیرد. زیرا در این شرایط نقش و اهمیت خصوصیات خاک، میزان الگوهای بارندگی و سایر عوامل محیطی در نتایج پیش‌بینی بسیار چشمگیر می‌باشد. در حالیکه برای پیش بینی پتانسیل عملکرد که تنها بوسیله تشعشع و درجه حرارت تعیین می‌شود، حساسیت نسبت به این نوع ریسک کمتر خواهد بود (۱۵).

عدم قطعیت در روشهای مدیریت: در هنگام اجرای یک مدل شبیه سازی رشد در پهنه‌ها یا شهرستان‌های مختلف واقع در یک منطقه وسیع، علاوه بر داده‌های محیطی به پارامترهای مدیریت نظیر تاریخ کاشت یا تراکم کاشت نیز بعنوان ورودی مدل نیاز خواهد بود. در مطالعات پهنه بندی معمولاً این داده‌ها از یافته‌های ایستگاه‌های تحقیقاتی واقع در هر شهرستان و یا افراد خبره و با تجربه محلی جمع آوری می‌شود (۲۴). برای مثال مناسب ترین تاریخ کاشت یا تراکم توصیه شده برای هر شهرستان از نتایج آزمایشات ایستگاهی استخراج شده و در مدل تعریف می‌شوند. بدیهی است که در عمل زارعین یک شهرستان دامنه نسبتاً وسیعی از روشهای مدیریت را بکار می‌گیرند که الزاماً با نتایج آزمایشی منطبق نمی‌باشند. بنابراین در این حالت نیز پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های شبیه سازی با عدم قطعیت یا ریسک نوام خواهد بود.

برای آنالیز ریسک در هر یک از دو حالت فوق روشهای مختلفی توسط محققین پیشنهاد شده است. متداول ترین راه برای این منظور استفاده از تکنیک شبیه سازی مونته کارلو<sup>۳</sup> می‌باشد (۲۶ و ۱۵). شبیه سازی مونته کارلو یک روش استوکاستیک<sup>۴</sup> و مبتنی بر احتمال است. در این روش دامنه وسیعی از داده‌های ورودی بر اساس توابع توزیع احتمال در مدل تعریف شده و با اجرای مدل به دفعات زیاد (۱۰۰ بار یا بیشتر) احتمالات مختلف عملکرد (خروجی مدل) برآورد شده و در نتیجه توزیع احتمالات عملکرد در دامنه وسیعی از داده‌های مدیریت (برای مثال تاریخ‌ها یا تراکم‌های مختلف کاشت) و نیز داده‌های اقلیمی و خاک (برای مثال ظرفیت نگهداری آب در خاک) محاسبه خواهد شد. به این ترتیب این امکان فراهم می‌شود که ریسک عملکرد با احتمالات مختلف بر حسب شرایط مدیریتی تعریف شده مشخص گردد (۱۵ و ۲۷).

باید توجه داشت که داده‌های ورودی به مدل‌های رشد غالباً به تعداد زیاد بوده و اجرای شبیه سازی استوکاستیک بر روی تعداد

پهنه بندی آگرواکولوژیکی<sup>۱</sup> از جمله روشهایی است که در طی ۳ دهه گذشته بمنظور تعیین پتانسیل تولید محصولات زراعی در پهنه‌هایی با حداکثر همگنی توسعه یافته (۱۹ و ۱۴) و در بسیاری از مناطق جهان (۶، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۷) و نیز ایران (۳ و ۴) مورد استفاده قرار گرفته است. با وجود کاربردهای گسترده این روش، باید توجه داشت که نتایج حاصل از پهنه بندی با درجاتی از ریسک همراه است که باید مورد ارزیابی قرار گیرد. مدل‌های شبیه سازی رشد علاوه بر کاربردهای گسترده و موفقیت آمیزی که در پهنه بندی‌های آگرواکولوژیک، پتانسیل یابی و ارزیابی خلاء عملکرد دارند ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل ریسک تولید نیز محسوب می‌شوند (۲۶).

فعالیت‌های کشاورزی به دلیل ماهیت آن همواره با ریسک توأم بوده است. بطور کلی ریسک به دلیل عدم قطعیت در مورد پی آمدهای آینده یک تصمیم گیری بوجود می‌آید (۱۵). کشاورزان همواره با این چالش روبرو هستند که انتخاب روشهای مدیریت در مواجهه با شرایط آینده اقلیمی یا اقتصادی تا چه میزان کارآیی خواهد داشت. محققین کشاورزی نیز با این نگرانی مواجهند که طراحی فن آوری‌های جدید چگونه و به چه میزان در مقابل شرایط متغیر محیطی موثر خواهد بود. موفقیت در این چالش‌ها مستلزم آن است که کارآیی راهکارهای مختلف در حضور عوامل ایجاد ریسک مورد ارزیابی قرار گرفته و بر این اساس مناسب ترین گزینه انتخاب شود، این تکنیک اصطلاحاً "آنالیز ریسک"<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. بنابراین در مطالعات پهنه بندی، ریسک از دو دیدگاه قابل ارزیابی و تجزیه و تحلیل می‌باشد: عدم قطعیت در ورودی‌های مدل و عدم قطعیت در روشهای مدیریت.

عدم قطعیت در ورودی‌های مدل: در هنگام استفاده از مدل‌های شبیه سازی برای تعیین پتانسیل عملکرد یا برآورد عملکرد در شرایطی نظیر محدودیت آب و نیتروژن، منطقه مطالعاتی به پهنه‌هایی با حداکثر یکنواختی از نظر خصوصیات محیطی تقسیم بندی شده و سپس میانگین شرایط آب و هوایی و خصوصیات خاک در هر پهنه بعنوان ورودی مدل تعریف می‌شود. با وجودیکه این روش تقریباً در تمامی پژوهشهای مرتبط با پهنه بندی بکار برده می‌شود (۱۵) ولی باید توجه داشت که یکنواخت محسوب کردن پهنه‌ها از نظر خصوصیات مختلف و استفاده از میانگین داده‌ها فرض چندان دقیقی نبوده و در نتیجه نتایج پیش‌بینی با مدل‌ها غالباً با ریسک (عدم قطعیت) همراه است (۲۷). برای مثال چنانچه قرار باشد عملکرد گندم در یک منطقه وسیع شامل چندین شهرستان توسط یک مدل شبیه سازی ارزیابی شود، میانگین شرایط آب و هوایی و خاک هر شهرستان بعنوان ورودی در مدل تعریف شده و عملکرد در محدوده هر

3- Monte Carlo Simulation  
4- Stochastic

1- Agroecological zonation  
2- Risk Analysis

مدل WOFOST و تعیین اعتبار قابلیت پیش بینی آن قبلا توسط نصیری و همکاران (۴) برای انجام مطالعات پهنه بندی گندم در استان خراسان ارائه شده است.

برای انجام آنالیز ریسک تولید، ابتدا پارامترهای مدیریتی در معرض آنالیز حساسیت قرار گرفتند. به این منظور پارامترهای مورد نظر در فاصله صفر تا ۵۰ درصد بالاتر و پایین تر از متوسط هر شهرستان تغییر داده شدند سپس با اجرای مدل در دامنه‌ای از مقادیر این پارامترها، تاثیر این تغییر بر عملکرد گندم مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب متغیرهایی که تاثیر بیشتری بر عملکرد پیش بینی شده داشتند جهت آنالیز ریسک انتخاب شدند. پارامترهای مدیریتی مربوط به هر شهرستان از مراکز تحقیقات کشاورزی استان تهیه گردید.

جهت تولید مقادیر تصادفی مربوط به متغیرهای انتخاب شده از طریق آنالیز حساسیت و اجرای شبیه سازی مونته کارلو، از برنامه RIGAU<sup>۳</sup> استفاده شد. شرح کامل این برنامه توسط بومان و یانسن (۱۶) ارائه شده است. این برنامه به کاربر اجازه می‌دهد تا تعداد نامحدودی مقادیر تصادفی را بر اساس یکی از توزیع‌های آماری یکنواخت، بتا، یا نرمال استخراج کرده و برای اجرای شبیه سازی مونته کارلو مورد استفاده قرار دهد. برنامه RIGAU قادر است تعداد نامحدودی مقادیر تصادفی را برای حداکثر ۲۵ متغیر بطور همزمان تولید کرده و در یک فایل خروجی ذخیره کند. با وجود عدم محدودیت در تولید مقادیر تصادفی توسط این برنامه باید توجه داشت که مدل‌های شبیه سازی از نظر اجرای مجدد با پارامترهای جدید دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. برای مثال در مدل WOFOST حداکثر تعداد دفعات اجرای مجدد در هر فصل رشد ۹۹۹ بار است. البته برخی مطالعات نشان داده است که استفاده از ۱۰۰ تا ۲۰۰ مقدار تصادفی برای هر متغیر، نتایج قابل قبولی را برای برآورد توزیع احتمالات عملکرد در شبیه سازی مونته کارلو به همراه خواهد داشت (۲۶).

در هنگام استفاده از توزیع‌های آماری یکنواخت و بتا برای تولید مقادیر تصادفی، خروجی بصورت مقادیر صفر تا یک خواهد بود. برنامه RIGAU قادر است که این مقادیر را بر اساس حد بالا و پایین هر متغیر که توسط کاربر تعیین می‌شود تغییر مقیاس دهد. در هنگام استفاده از توزیع نرمال مقادیر خروجی دارای میانگین صفر و انحراف معیار ۱ خواهند بود. در این حالت نیز کاربر می‌تواند مقادیر میانگین و انحراف معیار را برای مقادیر تصادفی تولید شده متناسب با نوع متغیر به دلخواه تعریف کند. در این تحقیق برای تولید متغیرهای تصادفی از تابع احتمال بتا استفاده شد و احتمالات مختلف عملکرد با اجرای مدل WOFOST در یک دوره ده ساله آب وهوایی (۱۳۸۵-۱۳۷۵) (۱)

زیادی داده چندان ساده نخواهد بود. بنابراین لازم است که ابتدا پارامترهای ورودی که تغییرات جزئی آنها تاثیر قابل توجهی بر نتایج پیش بینی مدل می‌گذارند شناسایی شده و سپس تکنیک مونته کارلو بر روی این پارامترهای ورودی اجرا گردد. با استفاده از این روش که به آنالیز حساسیت<sup>۱</sup> موسوم است می‌توان اصلی ترین پارامترهایی که در بروز ریسک موثر می‌باشند تعیین نمود و در عمل حجم محاسبات بعدی به میزان قابل توجهی کاهش داد (۲۶). برای مثال با اجرای آنالیز حساسیت بر روی یکی از ورودی‌های مدل نظیر ضریب نگهداری آب در خاک، تاثیر تغییرات آن در عملکرد پیش بینی شده بوسیله مدل را تعیین نمود. در عمل مقدار پارامتر مورد نظر را به مقادیر مختلف ( $\pm 5$  تا  $\pm 20$  درصد) در مدل تغییر داده و مقادیر عملکرد در دامنه تغییرات این پارامتر مورد مقایسه قرار می‌گیرند (۱۵). چنانچه تغییرات عملکرد شبیه سازی شده نسبت به تغییرات این پارامتر حساس باشد لازم است که تکنیک مونته کارلو بر روی این پارامتر اجرا شود.

نصیری و کوچکی (۴) با پهنه بندی اگر واکولوژیکی گندم در استان‌های خراسان، عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد این محصول را تعیین و مورد بررسی قرار دادند. هدف از این مطالعه آنالیز ریسک تولید گندم در استان خراسان با استفاده از تکنیک شبیه سازی مونته کارلو می‌باشد.

## 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 (۴). 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 نسبتا وسیعی از عملکردهای واقعی شده است.

جهت شبیه سازی عملکرد گندم از نسخه ۷ مدل WOFOST<sup>۲</sup> استفاده شد (۱۳). WOFOST یک مدل شبیه سازی رشد محصولات زراعی است که قادر است عملکرد تعدادی از گیاهان زراعی را در سه وضعیت شامل تولید پتانسیل، تولید با محدودیت آب و تولید با محدودیت نیتروژن پیش بینی کند (۱۳، ۳۴). این مدل در مطالعات مختلف و در مورد انواع گیاهان زراعی از جمله گندم با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته (۱۸، ۳۳) و در ایران نیز جهت پیش بینی عملکرد گندم نتایج مطلوبی به همراه داشته است (۱). نحوه تعیین ورودی‌های

3- Random Input Generator for the Analysis of Uncertainty in Simulation

1- Sensitivity Analysis  
2- WORld FOod STudies

جنوبی در دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۵-۱۳۷۵ به ترتیب ۲/۵، ۲/۶ و ۲/۰ تن در هکتار می‌باشد که بر این اساس قسمت‌های جنوبی خراسان علاوه بر عملکرد کمتر از نوسانات عملکرد بیشتری برخوردار هستند. لازم به ذکر است که ضریب تغییرات به عنوان یکی از شاخص‌های ثبات عملکرد شناخته شده (۲) و بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که گندم آبی در استان خراسان شمالی و بخش‌هایی از خراسان رضوی در مقایسه با خراسان جنوبی دارای ثبات عملکرد بیشتری می‌باشد. مقایسه مقادیر ضریب تغییرات محاسبه شده برای عملکرد واقعی و پتانسیل گندم در استان‌های خراسان (جدول ۱) نشان می‌دهد که بطور کلی عملکرد پتانسیل در مقایسه با عملکرد واقعی در هر سه استان از نوسانات کمتری برخوردار است. با توجه به اینکه در شرایط پتانسیل، عملکرد تنها بوسیله متغیرهای محیطی (درجه حرارت و تشعشع خورشیدی) کنترل می‌شوند در حالیکه عملکرد واقعی علاوه بر عوامل محیطی تحت تاثیر روشهای مدیریت نیز می‌باشد (۲۲، ۳۳). می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در هر سه استان تحت بررسی مدیریت سهم قابل توجهی در ثبات عملکرد گندم بعهده دارد. نصیری و کوچکی (۴) با ارزیابی عملکرد پتانسیل و واقعی گندم در این سه استان نشان دادند که عملکرد پتانسیل در خراسان جنوبی بمراتب کمتر از سایر استان‌ها بوده و در نتیجه خلاء عملکرد این استان قابل توجه می‌باشد.

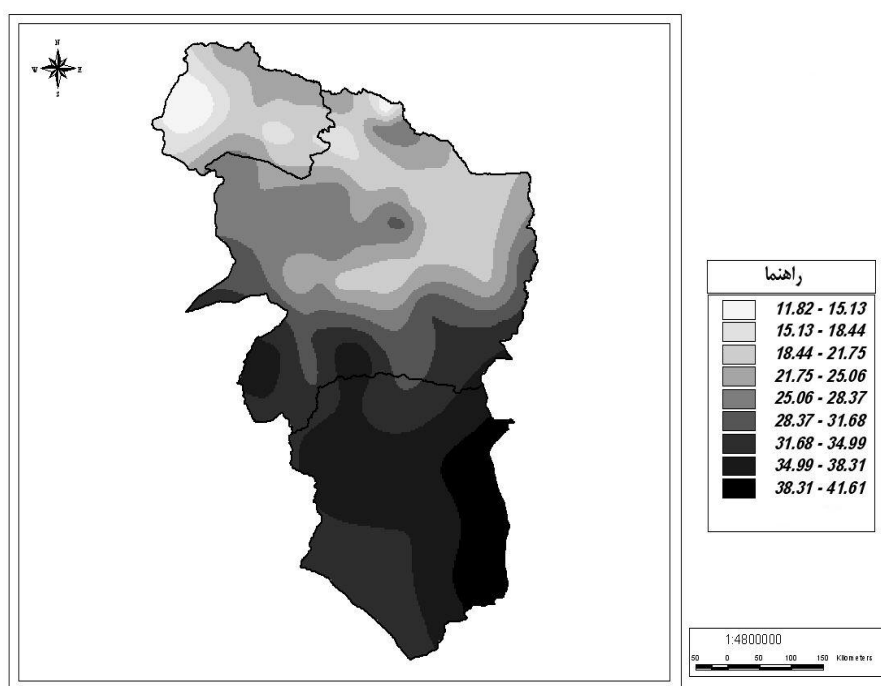
شهرستانهای مختلف استان پیش بینی گردید.

عملکرد واقعی در مناطق مختلف استان بر اساس آمار ده ساله (۱۳۸۵-۱۳۷۵) ثبت شده برای گندم آبی از مراکز تحقیقات کشاورزی استان‌های خراسان 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 می‌باشد. ضریب تغییرات عملکرد (CV) بر اساس نسبت انحراف معیار به میانگین عملکردهای واقعی محاسبه و بعنوان مبنای ریسک تولید مورد ارزیابی قرار گرفت.

## نتایج و بحث

### نوسانات عملکرد گندم

در شکل ۱ ضریب تغییرات (CV) مربوط به عملکردهای واقعی در مناطق مختلف استان‌های تحت بررسی ارائه شده است. ضریب تغییرات عملکرد گندم آبی در این مناطق بین ۱۲ تا ۴۰ درصد متغیر بوده و در بخش‌های جنوبی استان در مقایسه با نواحی شمالی بمراتب بیشتر می‌باشد. با وجودیکه ضریب تغییرات عملکرد به کلیه عواملی که در طی زمان باعث نوسان عملکرد شده باشند مربوط خواهد شد، ولی به نظر می‌رسد که تغییرات آب و هوایی و تفاوت در روشهای مدیریت بیشترین نقش را در مقدار این شاخص داشته باشند (۹ و ۱۷). میانگین عملکرد واقعی در استانهای خراسان شمال، رضوی و



شکل ۱- مقادیر ضریب تغییرات (CV%) عملکرد واقعی گندم آبی محاسبه شده بر اساس میانگین و انحراف معیار عملکرد در فاصله سالهای ۱۳۸۵-۱۳۷۵، مرزهای استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی در شکل با خطوط تیره مشخص شده است.

### آنالیز حساسیت

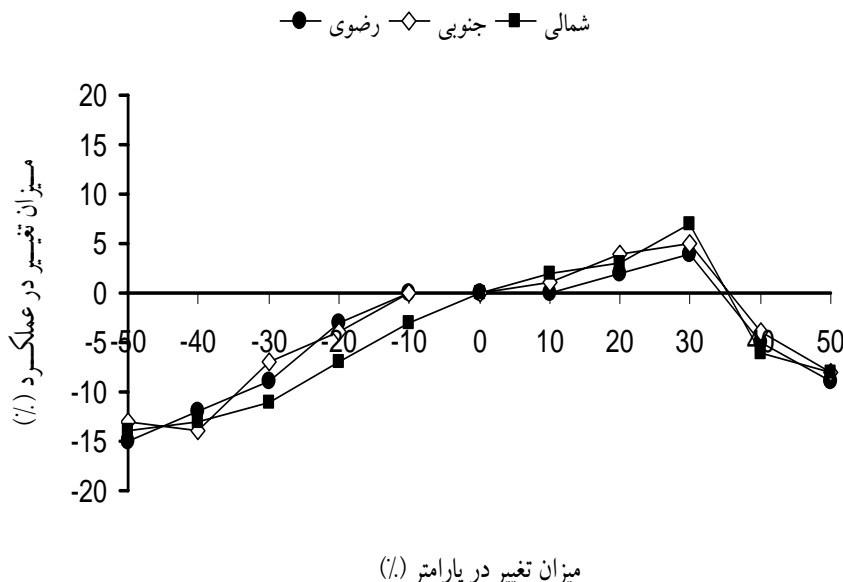
پیش از اجرای شبیه سازی مونته کارلو، آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای مدیریتی انجام گرفت. همانگونه که قبلا نیز ذکر شد در شرایط پتانسیل که عملکرد تنها بوسیله میزان تشعشع خورشیدی و درجه حرارت تعیین می‌شود و آب، مواد غذایی و آفات، بیماریها و علفهای هرز محدود کننده تولید نمی‌باشند، آنالیز ریسک بر روی پارامترهای اقلیمی یا خصوصیات خاک در مقایسه با پارامترهای مرتبط با مدیریت از اهمیت کمتری برخوردار هستند (۱۵ و ۱۰). بنابراین در این تحقیق نیز دو پارامتر اصلی مدیریت برای شرایط پتانسیل یعنی تراکم کاشت و تاریخ کاشت که هر دو جزء ورودی‌های مدل نیز می‌باشند، در معرض آنالیز حساسیت قرار گرفت.

به این منظور دو پارامتر فوق به میزان ۵۰ درصد بیشتر و ۵۰ درصد کمتر نسبت به یک مقدار مینا با فواصل ۱۰ درصدی تغییر داده شد و مدل برای پیش بینی عملکرد در مقادیر مختلف این پارامترها اجرا گردید. مقادیر مینا برای تراکم کاشت ۴۰۰ بوته در متر مربع و برای تاریخ کاشت اول مهر ماه در نظر گرفته شدند.

نتایج نشان داد که حساسیت عملکرد نسبت به تغییرات تراکم کاشت چندان قابل توجه نمی‌باشد و تغییر این پارامتر به میزان  $\pm 50$  درصد، عملکرد گندم را تنها در محدوده ۲۰ درصد تغییر داد. البته واکنش عملکرد به کاهش تراکم در مقایسه با افزایش آن بیشتر بود (شکل ۲). تغییر تراکم به میزان  $\pm 10$  در هیچیک از سه استان تاثیر قابل توجهی بر عملکرد گندم نداشت. با کاهش تراکم به میزان بیش از ۱۰٪ عملکرد نیز کاهش یافت و نهایتاً در تراکم ۲۰۰ بوته در متر مربع (۵۰٪ کاهش تراکم) کاهش عملکرد نسبت به تراکم مینا به ۱۵٪ رسید. این در حالیست که با ۳۰ درصد افزایش تراکم، عملکرد پتانسیل تنها در حدود ۵٪ افزایش یافت (شکل ۲). مطالعات مختلف نشان داده است که گندم و غلات دانه ریز با قدرت پنجه زنی، توانایی مطلوبی برای تنظیم اندازه جمعیت در دامنه نسبتاً وسیعی از تراکم دارند (۳۶ و ۳۷). بنابراین حساسیت گندم به تغییرات تراکم که از طریق تعداد پنجه کنترل می‌شود اهمیت چندان در نتیجه شبیه سازی عملکرد نخواهد داشت.

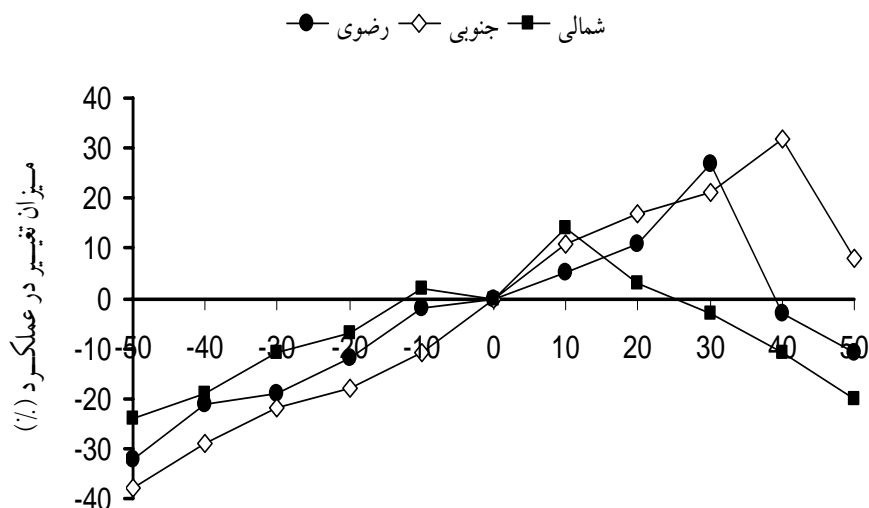
جدول ۱- ضریب تغییرات (CV%) عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل واقعی در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی برای دوره ۱۰ ساله ۱۳۸۵-۱۳۷۵، عملکرد پتانسیل با استفاده از شبیه سازی در شهرستانهای تحت بررسی بدست آمده است.

استان	عملکرد واقعی (CV%)	عملکرد پتانسیل (CV%)
خراسان شمالی	۱۹/۷۸	۸/۱۱
خراسان رضوی	۲۴/۸۷	۹/۳۳
خراسان جنوبی	۳۴/۹۸	۱۴/۸۳



میزان تغییر در پارامتر (%)

شکل ۲- حساسیت عملکرد شبیه سازی شده گندم به تغییرات تراکم کاشت در محدوده  $\pm 50$  درصد نسبت به مقدار مینا (۴۰۰ بوته در متر مربع) در سه استان خراسان



میزان تغییر در پارامتر (%)

شکل ۳- حساسیت عملکرد شبیه سازی شده گندم به تغییرات تاریخ کاشت در محدوده  $\pm 50$  روز نسبت به تاریخ مینا (اول مهر ماه) در سه استان خراسان

کاشت بر عملکرد گندم نشان دادند که تاریخ نامناسب کاشت یکی از مهمترین عوامل شکل گیری خلاء عملکرد در هندوستان می باشد.

#### آنالیز ریسک عملکرد

با توجه به نتایج حاصل از آنالیز حساسیت، شبیه سازی مونته کارلو بر روی تاریخ کاشت اجرا گردید. به این منظور با استفاده از برنامه RIGAUUS ۱۰۰ مقدار تصادفی برای تاریخ کاشت گندم بر اساس توزیع آماری بتا تولید گردید و مدل برای شبیه سازی عملکرد گندم در سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ با هر یک از این مقادیر تصادفی اجرا شد. بنابراین در مجموع ۱۰۰۰ نوبت شبیه سازی عملکرد بوسیله مدل انجام گرفت تا توزیع احتمالات عملکرد پتانسیل بر حسب تاریخ های مختلف کاشت تعیین گردد. نتایج برای میانگین تاریخ کاشت توصیه شده (مطلوب) و ۱۵ و ۳۰ روز زودتر یا دیر تر از این تاریخ برآورد شد و "احتمالات بیشتر از" برای عملکرد گندم آبی در هر سه استان خراسان محاسبه گردید.

نتایج نشان داد که در استان خراسان شمالی، تاریخ کاشت توصیه شده از نظر توزیع احتمال عملکرد قابل قبول می باشد. شکل ۴ نشان می دهد که در تاریخ کاشت میانگین، احتمال عملکرد پتانسیل کمتر از ۶ تن در هکتار صفر بوده و عملکردهای ۷ تن در هکتار یا بیشتر با احتمال حدود ۸۵٪ تحقق خواهد یافت.  $\pm 30$  روز تغییر در تاریخ کاشت نسبت به میانگین باعث کاهش پتانسیل عملکرد خواهد شد بطوریکه در تاریخ کاشت ۳۰ روز دیرتر از تاریخ توصیه شده فعلی،

عدم حساسیت عملکرد شبیه سازی شده غلات به تغییرات تراکم توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۷ و ۶). لازم به ذکر است که در عمل زارعین معمولاً از تراکم هایی بیشتر از مقادیر توصیه شده استفاده می کنند و بنابراین در آنالیز حساسیت تاکید بر تراکم های بالاتر از مقدار مینا تمرکز می یابد.

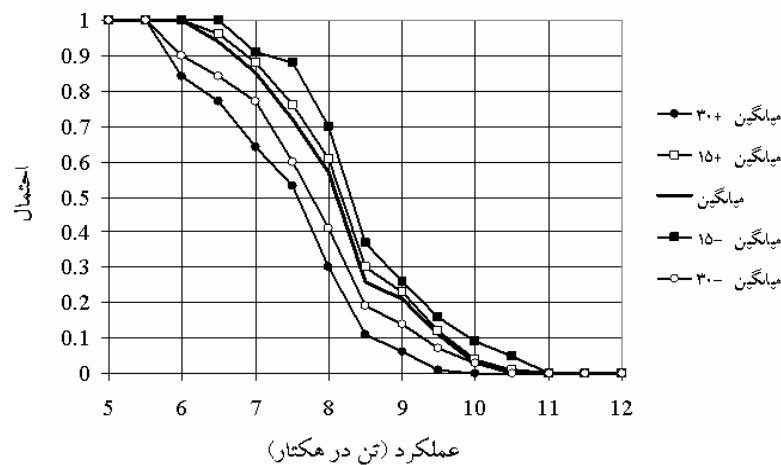
عملکرد شبیه سازی شده گندم در هر سه استان خراسان حساسیت زیادی نسبت به تغییرات تاریخ کاشت نشان داد (شکل ۳) بطوریکه دامنه تغییرات عملکرد نسبت به تغییر در تاریخ کاشت بین صفر تا ۴۰ درصد محاسبه شد. در هر سه استان کاشت زود تر از تاریخ مینا باعث کاهش عملکرد پتانسیل گردید. حساسیت عملکرد نسبت به کاشت زودتر در خراسان جنوبی بیش از سه استان دیگر بود بطوریکه در این استان تغییر تاریخ کاشت به میزان ۱۰- روز نسبت به اول مهر ماه، باعث ۱۲٪ کاهش عملکرد شد. در مقابل تاثیر مثبت تاریخ کاشت های دیرتر نسبت به تاریخ مینا در استان خراسان جنوبی کاملاً بارز بود بطوریکه ۴۰ روز تاخیر کاشت ۳۰٪ افزایش عملکرد گندم را به همراه داشت در حالیکه در استان خراسان شمالی تاخیر کاشت به میزان ۳۰ روز یا بیشتر باعث کاهش عملکرد شد (شکل ۳). این نتایج بخوبی با الگوهای فصلی درجه حرارت در استانهای خراسان انطباق داشته و نشان می دهد که با اصلاح روشهای مدیریت می توان ریسک تولید را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

تغییر تاریخ کاشت باعث انطباق مراحل حساس نمو گندم با درجه حرارت های نامطلوب خواهد شد (۲۹، ۳۷) بعلاوه تاریخ کاشت میزان تشعشع جذب شده در طی دوره فعال رشد را نیز تحت تاثیر قرار خواهد داد (۴۱). آگاروال و همکاران (۹) با تاکید بر اهمیت تاریخ

کاشت باعث بهبود عملکرد شده و احتمال عملکردهای ۸ تن یا بیشتر را به ۷۰٪ افزایش خواهد داد لازم به ذکر است که در این تاریخ کاشت (۱۵ روز دیرتر از تاریخ توصیه شده فعلی) احتمال حصول عملکرد ۱۰ تن در هکتار یا بیشتر در حدود ۱۸٪ محاسبه گردید (شکل ۵). این نتایج نشان می‌دهد که استان خراسان رضوی در مقایسه با استان خراسان شمالی از پتانسیل عملکرد بیشتری برخوردار بوده و با بهینه سازی روش‌های زراعی فعلی احتمال دستیابی به عملکردهای بالاتر در خراسان رضوی بمراتب بیشتر از خراسان شمالی می‌باشد. علاوه می‌توان نتیجه گیری کرد که کاشت دیرتر به میزان ۱۵ روز نسبت به میانگین تاریخ کاشت توصیه شده برای این استان باعث خواهد شد تا ریسک تولید گندم کاهش یابد.

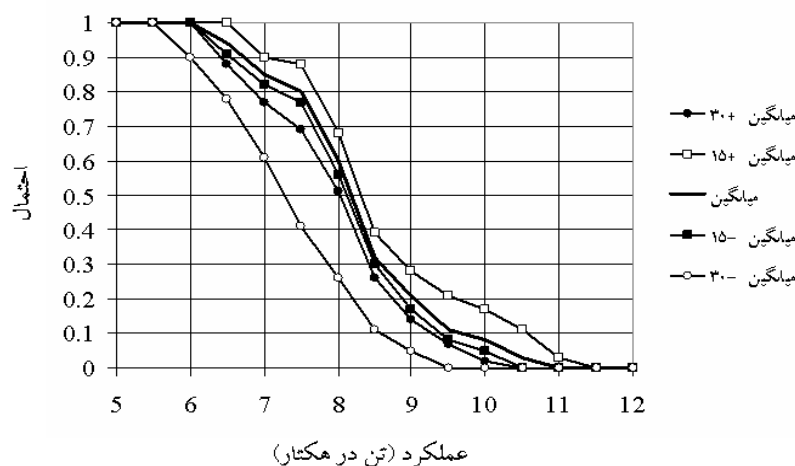
احتمال عملکرد ۷ تن در هکتار یا بیشتر به ۶۴ درصد خواهد رسید. در حالیکه  $\pm 15$  روز تغییر این تاریخ نسبت به تاریخ توصیه شده پتانسیل عملکرد را بهبود خواهد بخشید (شکل ۴). بطور کلی بر اساس نتایج این تحقیق بنظر می‌رسد که کاشت زودتر به میزان ۱۵ روز نسبت به میانگین تاریخ کاشت توصیه شده در این استان، ریسک عملکرد را بطور قابل توجهی کاهش خواهد داد.

در استان خراسان رضوی نیز تاریخ کاشت توصیه شده فعلی در میانگین مطلوب بوده و احتمال عملکرد ۸ تن یا بیشتر در این تاریخ ۶۰٪ می‌باشد (شکل ۵). در این استان کاشت زودتر به اندازه ۳۰ روز نسبت به تاریخ توصیه شده فعلی تاثیر نامطلوبی بر عملکرد خواهد داشت بطوریکه احتمال دستیابی به عملکرد ۸ تن یا بیشتر را به ۲۸٪ تقلیل می‌دهد. البته بر اساس یافته‌های این تحقیق ۱۵ روز تأخیر



شکل ۴- تاثیر تاریخ کاشت بر توزیع احتمال عملکرد گندم آبی در خراسان شمالی، در شکل احتمال عملکرد بیشتر از یک مقدار معین در دامنه‌ای از تاریخ‌های کاشت مقایسه شده است

جهت محاسبه احتمالات میانگین (میانگین تاریخ کاشت توصیه شده برای استان) به میزان  $\pm 15$  و  $\pm 30$  روز تغییر یافته است



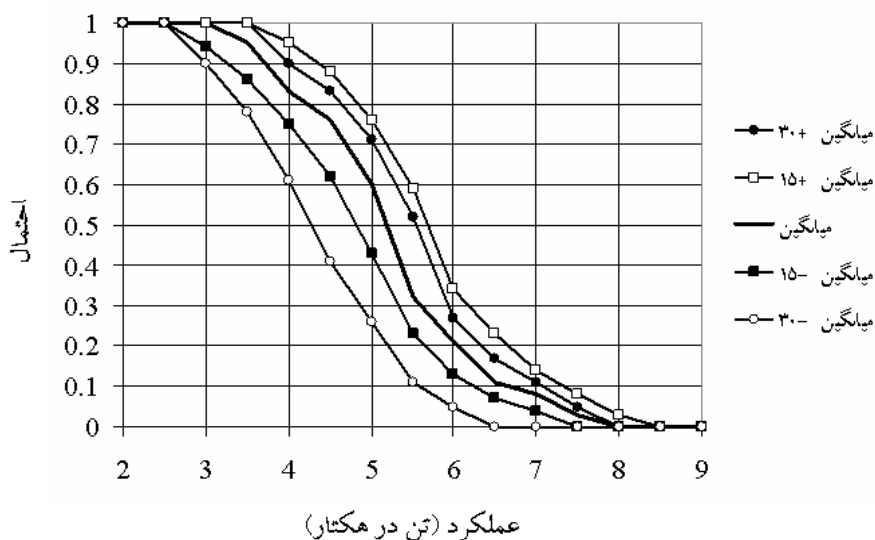
شکل ۵- تاثیر تاریخ کاشت بر توزیع احتمال عملکرد گندم آبی در خراسان رضوی، در شکل احتمال عملکرد بیشتر از یک مقدار معین در دامنه‌ای از تاریخ‌های کاشت مقایسه شده است

جهت محاسبه احتمالات میانگین (میانگین تاریخ کاشت توصیه شده برای استان) به میزان  $\pm 15$  و  $\pm 30$  روز تغییر یافته است.

کرده و مناطق استان را از نظر استعداد برای کشت این محصول طبقه بندی کردند. انجام چنین مطالعاتی در صورتی کامل خواهد بود که توزیع احتمالات عملکرد نیز در مقیاس منطقه‌ای برآورد شود. نصیری و کوچکی (۲۵) با بکارگیری تکنیک شبیه سازی مونت کارلو و آنالیز ریسک، نشان دادند که در تولید گندم در استان خراسان خصوصیات خاک عامل اصلی تغییرات عملکرد می‌باشد بطوریکه در مستعدترین مناطق استان از نظر خصوصیات اقلیمی نیز احتمالات مختلف عملکرد از خصوصیات خاک تبعیت می‌کند. واسنار و همکاران (۳۶) نیز بر اساس نتایج حاصل از شبیه سازی نشان دادند که عملکرد گندم در مقیاس منطقه‌ای تابع ویژگی‌های خاک و عوامل اقلیمی می‌باشد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برآورد عملکرد پتانسیل محصولات زراعی در مقیاس بزرگ از قطعیت کافی برخوردار نبوده و تصمیم گیری در مورد نتایج این نوع مطالعات مستلزم آگاهی از ریسک یا احتمالات مختلف عملکرد می‌باشد. در این ارتباط نصیری و کوچکی (۴) عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد گندم در استان‌های خراسان را پیش بینی و در پهنه بندی مورد استفاده قرار دادند در حالیکه نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که عملکردهای پیش بینی شده بسته به روش مدیریت در معرض ریسک بوده و برای مثال تغییر تاریخ کاشت باعث نوسان قابل توجهی در عملکرد پتانسیل گندم در یک اقلیم مشخص خواهد شد. چنین نتایجی در سایر مطالعات در مقیاس منطقه‌ای نیز گزارش شده است (۳۵ و ۳۸).

نتایج شبیه سازی نشان داد که در استان خراسان جنوبی تاریخ کاشت‌های توصیه شده فعلی در میانگین از دقت کافی برخوردار نمی‌باشند. بر اساس یافته‌های این تحقیق کاشت دیرتر به اندازه ۱۵ تا ۳۰ روز باعث بهبود عملکرد گندم آبی در این استان خواهد شد بطوریکه احتمال حصول عملکرد ۵/۵ تن یا بیشتر از ۳۰٪ در تاریخ کاشت‌های توصیه شده فعلی به ۶۰٪ در شرایط ۳۰ روز تاخیر کاشت افزایش خواهد یافت (شکل ۶). این نتایج نشان می‌دهد که بالا بودن ریسک عملکرد گندم در استان خراسان جنوبی تا حد زیادی ناشی از روشهای مدیریت می‌باشد و اصلاح این روشها، از جمله تنظیم دقیق‌تر تاریخ کاشت باعث کاهش چشمگیر ریسک تولید در این استان خواهد شد. بعلاوه بنظر می‌رسد که پایین بودن عملکرد پتانسیل گندم در این استان نیز عمدتاً به دلیل نامناسب بودن تاریخ کاشت این محصول باشد زیرا برای پیش بینی عملکرد پتانسیل در هر منطقه، تاریخ کاشت بر اساس توصیه‌های محلی در مدل تعریف شده است.

بطور کلی ریسک و عدم قطعیت نشان دهنده شرایطی است که در آن مقادیر واقعی حاصل از یک تصمیم گیری با مقادیر پیش بینی شده آن اختلاف داشته باشد. چنانچه بتوان احتمال وقوع نتایج را بصورت کمی بیان کرد، شرایط توأم با ریسک می‌باشد و چنانچه احتمال وقوع نتایج قابل محاسبه نباشد شرایط دارای عدم قطعیت است (۳۱). کوچکی و نصیری (۲۱) با استفاده از داده‌های دراز مدت اقلیمی استعداد اراضی استان خراسان را از نظر تولید گندم در ارزیابی



شکل ۶- تاثیر تاریخ کاشت بر توزیع احتمال عملکرد گندم آبی در خراسان جنوبی، در شکل احتمال عملکرد بیشتر از یک مقدار معین در دامنه‌ای از تاریخ‌های کاشت مقایسه شده است

جهت محاسبه احتمالات میانگین (میانگین تاریخ کاشت توصیه شده برای استان) به میزان  $\pm 15$  و  $\pm 30$  روز تغییر یافته است



## نتیجه گیری

مورد مدیریت مناسب گندم فراهم سازد. از سوی دیگر شواهد موجود نشان داده است که عملکرد گندم در کشور تحت تاثیر شرایط اقلیمی آینده قرار خواهد گرفت (۵) بنابراین تجزیه و تحلیل ریسک ناشی از تغییر اقلیم بر عملکرد گندم نیز بنوبه خود از اولویت‌های پژوهشی محسوب خواهد شد.

## قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد برای تامین بودجه این تحقیق صمیمانه قدردانی می‌شود.

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از مدل‌های شبیه سازی رشد همراه با بکارگیری تکنیک‌های آنالیز ریسک، روش کم هزینه و در عین حال ساده‌ای جهت تجزیه و تحلیل روش‌های مدیریت و تلاش برای بهینه سازی آنها می‌باشد. در این مطالعه روش انجام آنالیز ریسک با استفاده از مدل‌های شبیه سازی رشد ارائه شد و کاربردهای آن در ارزیابی روش‌های مدیریت مورد بررسی قرار گرفت. بنظر می‌رسد انجام چنین پژوهش‌هایی در مورد ریسک ناشی از خشکسالی و احتمالات مختلف عملکرد در این شرایط اطلاعات با ارزشی را در

## منابع

- ۱- تاتاری، م. ۱۳۸۷. پیش بینی عملکرد گندم در استان خراسان با به کارگیری داده‌های اقلیمی و خاکشناسی و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. پایان نامه دکتری زراعت. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- 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.
- ۳- کامکار، ب.، کوچکی، ع.، نصیری، م. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۶. آنالیز خلا عملکرد زیره سبز در ۹ منطقه از استان‌های خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی با استفاده از رهیافت مدلسازی. پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۵: ۳۳۲-۳۴۲.
- ۴- نصیری محلاتی، م. و ع. کوچکی. ۱۳۸۸. پهنه بندی اگرواکولوژیکی گندم در استان خراسان: برآورد پتانسیل و خلاء عملکرد. پژوهش‌های زراعی ایران، ۷(۲): ۷۰۹-۶۹۵.
- ۵- کوچکی، ع. و م. نصیری محلاتی، ۱۳۸۷. تاثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO<sub>2</sub> بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری. پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۶: ۱۵۲-۱۳۹.
- 6- 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.
- 7- 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.
- 8- 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.
- 9- 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*, pp: 167-186. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- 10- 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.
- 11- 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.
- 12- Beek, E.G., 1991. Spatial interpolation of daily meteorological data. Theoretical evaluation of available techniques. Report 53.1, The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Researches, Wageningen, The Netherlands. 43 pp.
- 13- 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.
- 14- 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.

- 15- Bouman, B.A.M. 1994. A framework to deal with uncertainty in soil and management parameters in crop yield simulation: A case study for rice. *Agricultural Systems*, 46: 1-12.
- 16- Bouman, B.A.M. and M.J.W., Jansen. 1993. RIGAU: Random Input Generator for the Analysis of Uncertainty in Simulation. CABO-TPE Simulation Report No. 34, Wageningen, The Netherlands. 26 pp+ appendices.
- 17- Caldiz, D.O., F.J., Gaspari, A.J., Haverkort, P.C. Struik. 2001. Agro-ecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology* 109, 311–320.
- 18- 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.
- 19- FAO. 1996. Agro-Ecological Zoning: Guidelines. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- 20- Fischer, G., H., Van Velthuizen, and F., Nachtergaele. 2000. Global Agro-ecological zones assessment: Methodology and results. Interim Report IR-00-064. IIASA, Vienna and FAO, Rome.
- 21- Koocheki A. and M., Nassiri. 2002 Evaluation of land suitability for dryland farming in Khorasan province using long term climatic data. Proceedings of the International Conference on Environmentally Sustainable Agriculture for Dry Areas for the 3<sup>rd</sup> Millennium, 15-19 September 2002, China.
- 22- 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.
- 23- Lobell, D.B. 2007. Changes in diurnal temperature range and national cereal yields. *Agricultural and Forest Meteorology* 145: 229-238.
- 24- 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.
- 25- Nassiri, M. and A., Koocheki. 2002. Risk analysis of dryland wheat production in Khorasan province. Proceedings of the International Conference on Environmentally Sustainable Agriculture for Dry Areas for the 3<sup>rd</sup> Millennium, 15-19 September 2002, China.
- 26- Pandey, S. 1994. Risk analysis and crop growth models. In: Lansigan, F.P., B.A.M., Bouman and H.H., van Laar (eds.). *Agro-ecological zonation, characterization and optimization of rice-based cropping systems*. SARP Research Proceedings, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, pp 32-40.
- 27- Pandey, S. 1990. Risk-efficient irrigation strategies for wheat. *Agricultural Economics*, 4: 59-71.
- 28- Pecher, A., and S. Hahn. 1999. Using tools for modelling and solving agricultural problems under risk. *Computers and Electronics in Agriculture* 22: 187–197.
- 29- Porter, J.R., and M., Gawith, 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10: 23-36.
- 30- Rabbinge, R. 1995. Eco-regional approaches, why, what and how. In: J. Bouma et. al. (eds.). *Ecoregional Approaches for Sustainable land Use and Food Production*, pp: 3-11. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- 31- Raftery, J. 1994. *Risk Analysis in Project Management*. E&FN Spon, London.
- 32- 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.
- 33- 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.
- 34- 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.
- 35- Walker, S., M. Tsubo and M. Hensley. 2005. Quantifying risk for water harvesting under semi-arid conditions Part II. Crop yield simulation. *Agricultural Water Management*. 76: 94–107.
- 36- 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.
- 37- 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.
- 38- Zdruli, P., R.J.A. Jones and L., Montanarella. 2001. Use of soil and climate data to assess the risk of agricultural drought for policy support in Europe. *Agronomie* 21: 45–56.