اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۷، شمارهٔ ۱۰۸، زمستان ۱۳۹۸

DOI: 10.30490/aead.2020.252691.0

اثر متغیرهای آب‌وهوایی بر احتمال تصمیم به کشت و عملکرد محصول نخود در ایران: کاربرد مدل هکمن فضایی

قادر دشتی[۱]، خدیجه الفی[۲]، محمد قهرمان‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲۹

چکیده

حبوبات، به‌عنوان دومین منبع مهم غذایی پس از غلات، حدود ۷۷۰ هزار هکتار سطح زیر کشت محصولات سالانه زراعی ایران را به خود اختصاص داده است. حدود ۶۱/۳ درصد از سطح زیر کشت حبوبات به محصول نخود اختصاص داشته که از این میزان، ۹۷/۴ درصد سطح زیر کشت به‌صورت دیم است. با توجه به سهم بالای سطح زیر کشت دیم، انتظار می‌رود

۱. نویسندهٔ مسئول و استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.
(Ghdashti@yahoo.com)

۲. دانش‌آموختهٔ دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.
(Saraalefi@yahoo.com)

۳. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران.
(Ghahremanzadeh@tabrizu.ac.ir)

که تغییرات آب‌وهوا تأثیر فراوانی بر عملکرد محصول نخود داشته باشد. هدف مطالعه حاضر بررسی نحوه اثرگذاری تغییرات آب‌وهوا بر احتمال تصمیم به کشت و عملکرد محصول نخود با به‌کارگیری مدل هکمن فضایی بود. برآورد این مدل با به‌کارگیری اطلاعات زراعی محصول نخود و اطلاعات هواشناسی و جغرافیایی ۳۳۶ شهرستان کشور در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ صورت گرفت. بر پایهٔ یافته‌های پژوهش، مجاورت فضایی، شاخص تأثیر انسانی و سرعت باد از جمله عوامل مؤثر بر احتمال تصمیم به کشت محصول نخود و مجاورت فضایی، سرعت باد، بارش و آبیاری از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد این محصول بودند. از این‌رو، تولید ارقام محصول نخود مقاوم به کم‌آبی و توجه بیشتر به مدیریت منابع آبی و به‌کارگیری روش‌های حفظ و ذخیره‌سازی کارآمد آب در مناطق تولید این محصول از قبیل استان‌های کرمانشاه، لرستان، کردستان و آذربایجان غربی پیشنهاد می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: Q54، C31، R11.

کلیدواژه‌ها: *احتمال تصمیم، کشت محصول، نخود، تغییرات آب‌وهوا، عملکرد، مدل هکمن فضایی.*

مقدمه

آب‌وهوا یکی از تعیین‌کننده‌های اصلی تولید و بهره‌وری عوامل تولید در بخش کشاورزی است (۱)، به‌گونه‌ای که تغییرات آب‌وهوایی بر بخش کشاورزی تأثیر می‌گذارد. تغییرات آب‌وهوایی به‌عنوان تغییرات پایدار و معنی‌دار در میانگین یا واریانس متغیرهای آب‌وهوایی همچون دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی و سرعت باد تعریف می‌شود. این پدیده می‌تواند نتیجه چرخه‌های طبیعی بلندمدت و یا فعالیت‌های انسانی باشد، گرچه اکثر دانشمندان اعتقاد دارند که در مقایسه با چرخه‌های طبیعی، سهم فعالیت‌های انسانی به‌گونه‌ای

چشمگیر بیشتر است (۳). مطابق گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC)[۱]، دمای سطح زمین در قرن گذشته به میزان ۰/۱۸±۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (۱۴). با افزایش تدریجی دما، میانگین بارش‌های جهانی کاهش و اما نابرابری‌های بارش بین مناطق گوناگون جهان افزایش یافته است، به‌گونه‌ای که میانگین بارش‌ها در مناطق مرطوب افزایش و در مناطق خشک کاهش یافته است (۷). در کنار دما و بارش، سایر متغیرهای آب‌وهوایی نیز تغییر یافته‌اند. مطالعات صورت‌گرفته نشان داده‌اند که همسو با تغییرات جهانی، اقلیم ایران نیز با تغییراتی مواجه بوده است. از جمله این مطالعات، مسعودیان (۲۰)، با استفاده از نقشه‌های هم‌دمای ماهانه، نشان داد که در نیم قرن گذشته، دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به‌ترتیب با آهنگ حدود سه، یک و دو درجه در هر صد سال افزایش داشته است؛ همچنین، مرادی و همکاران (۲۲) یک روند افزایشی ۰/۰۵ درجه سیلسیوس را در دمای میانگین سالانه ایران مشاهده کردند؛ دانشور و همکاران (۸) نیز نشان دادند که بخش بزرگی از پهنه ایران دچار خشکسالی شده است.

در آینده نیز روند تغییرات آب‌وهوایی ادامه خواهد داشت. تحقیقات نشان داده‌اند که تغییرات دما و بارش در مناطق گوناگون متفاوت خواهد بود، به‌گونه‌ای که دما در بیشتر مناطق افزایش و در مناطق بسیار اندکی کاهش خواهد یافت (۲۸). پیش‌بینی‌های IPCC برای ایران بر اساس سناریوی A1 نشان‌دهنده افزایش میانگین درجه حرارت تا دو درجه سانتی‌گراد در سی

۱. Intergovernmental Panel on Climate Change؛ هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم یک نهاد بین‌الدولی است که پس از مطرح شدن اهمیت مسئله اثرات گرمایش جهانی در اولین کنفرانس بین‌المللی تغییر اقلیم، با هدف ارزیابی تحقیقات علمی، فنی، اقتصادی و اجتماعی مرتبط با تغییر اقلیم و اثرات آن بر کره زمین در سال ۱۹۸۸ توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) و برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد (UNEP) تأسیس شد.

سال آینده و ۳/۵ تا چهار درجه سانتی‌گراد تا صد سال آینده است[1] (۱۲). علاوه بر دما، میزان بارش نیز در برخی از مناطق افزایش و در بسیاری از مناطق کاهش خواهد یافت (۴)؛ اما در مجموع، افت محسوسی خواهد داشت (۱۲). کوچکی و همکاران (۱۷) نشان دادند که میانگین بارش سالانه هفت تا چهارده درصد کاهش خواهد یافت و این تغییرات از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور شدیدتر خواهد بود. در صورتی که تغییرات آب‌وهوا منجر به کاهش میزان عملکرد و بهره‌وری عوامل تولید محصولات کشاورزی شوند، میزان عرضه این محصولات کاهش و قیمت مصرف‌کننده افزایش می‌یابد. نتیجه این افزایش قیمت کاهش رفاه انسانی است (۱).

حبوبات، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی، دومین منبع مهم غذایی پس از غلات به‌شمار می‌روند. در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱، حبوبات ۷۷۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و ۵۰۴ هزار تن تولید را به خود اختصاص دادند؛ در این سال زراعی، حدود ۶۱/۳ درصد از سطح زیر کشت حبوبات به محصول نخود اختصاص داشت (۲۱). به‌دلیل سهم بالای سطح زیر کشت دیم نخود (حدود ۹۷/۴ درصد) در مقایسه با سطح زیر کشت آبی نخود (حدود ۲/۶ درصد)، انتظار می‌رود که تغییرات آب‌وهوا تأثیری چشمگیر بر عملکرد، تولید و تصمیمات کشاورزان در ارتباط با کشت این محصول داشته باشد. بر پایهٔ داده‌های وزارت جهاد کشاورزی، عملکرد و سطح زیر کشت محصول نخود در سال‌های گذشته با تغییراتی مواجه بوده که تغییرات آب‌وهوایی می‌تواند یکی از دلایل آن باشد؛ و از این‌رو، بررسی نحوه اثرگذاری تغییرات آب‌وهوایی بر عملکرد نخود و تصمیمات کشاورزان در ارتباط با کشت این محصول در کشور ضروری می‌نماید. در این راستا، مطالعات اخیر به‌کارگیری روش‌های اقتصادسنجی فضایی[2] را توصیه کرده‌اند. این روش‌ها تفاوت‌های فضایی آب‌وهوایی و تولید

۱. این سناریو با فرض رشد اقتصادی بسیار سریع، اوج‌گیری افزایش جمعیت در نیمه قرن و معرفی فناوری‌های جدیدتر و کارآتر در دهه‌های آتی طراحی شده است (۱۴).

۲. اصطلاح اقتصادسنجی فضایی اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط جین پائلینک، اقتصاددان بلژیکی، به‌کار رفت.

کشاورزی بین بخش‌ها و مناطق گوناگون را در نظر می‌گیرند (۵). افزون بر این، روش‌های اقتصادسنجی فضایی می‌توانند در رفع مشکلات ناشی از متغیرهای حذف‌شده، ناهمگنی فضایی، اثرات جانبی و تورش تصریح مؤثر باشند (۱۸).

در سال‌های اخیر، چه در ایران و چه در خارج از کشور، مطالعات متعددی در راستای بررسی نحوه اثرگذاری تغییرات آب‌وهوایی بر بخش کشاورزی صورت گرفته است که در پی، پاره‌ای از این پژوهش‌ها یادآوری می‌شود.

زارع ابیانه (۳۱)، با استفاده از رگرسیون‌های چندمتغیره، به بررسی نقش عوامل اقلیمی و خشکسالی بر عملکرد چهار محصول دیم شامل گندم، جو، هندوانه و نخود در مناطق مشهد و بیرجند پرداخت. به‌کارگیری داده‌های سری زمانی ۸۵-۱۳۶۳ نشان داد که از بین متغیرهای هواشناسی، دو متغیر تعداد روزهای بارانی در منطقه بیرجند و دمای بیشینه هوا در منطقه مشهد بیشترین میزان همبستگی را با عملکرد محصولات زراعی دارند. تهامی‌پور و سلامی (۲۹)، برای تعیین مناطق هم‌ریسک، با بهره‌گیری از عملکرد سیب‌زمینی از لحاظ ریسک سرمازدگی در ایران بر پایهٔ اطلاعات سال ۱۳۸۳، به برآورد الگوهای خودرگرسیو فضایی پرداختند. نتایج نشان داد که در بین انواع کشت بهاره، تابستانه، پاییزه و زمستانه سیب‌زمینی در کشور، ریسک عملکرد فقط در مورد مناطق کشت پاییزه ماهیت نظام‌مند دارد. محمودی و پرهیزکاری (۱۹) اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات منتخب (گندم، جو، ذرت، کلزا، گوجه‌فرنگی، چغندر و یونجه)، الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان را برای دوره زمانی ۹۲-۱۳۷۰ تحلیل کردند. مطابق نتایج دورهٔ مورد مطالعه، دما روند افزایشی و بارش روند کاهشی داشته و این تغییرات اثر معنی‌داری بر عملکرد محصولات منتخب داشتند. پیش‌بهار و همکاران (۲۵)، با به‌کارگیری داده‌های ترکیبی، به بررسی آثار تغییرات اقلیمی بر عملکرد ذرت دانه‌ای کشور در دوره زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۱ پرداختند و بدین منظور، با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی فضایی مرکب، مدل ریکاردین را برآورد کردند. بر پایهٔ یافته‌های این پژوهش، شدت نوسان‌های اقلیمی در اقلیم‌های مورد مطالعه در حد شناسایی آنها به‌عنوان عامل‌های ریسک سیستماتیک

بوده است. علیزاده و قربانی (۲) همسوسازی مدیریت منطقه‌ای تولید ذرت دانه‌ای و تغییر اقلیم را با استفاده از داده‌های تابلویی پانزده استان برای دوره زمانی ۸۹- ۱۳۶۳ بررسی کردند و بدین منظور، از روش‌های اقتصادسنجی فضایی بهره گرفتند. یافته‌های تحقیق مؤید خودهمبستگی فضایی بین داده‌ها بود، ضمن اینکه افزایش دمای کاشت بر تولید ذرت اثر منفی و مجذور آن اثر مثبت داشت. کوچکی و نصیری محلاتی (۱۶)، با بررسی تغییرات عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندرقند در شرایط اقلیمی سال ۲۰۵۰، به برآورد شرایط اقلیمی سال هدف بر اساس یک سناریوی استاندارد از طریق مدل گردش عمومی GFDL[1] پرداختند. نتایج نشان داد که به ازای هر یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما در کل دوره رشد، عملکرد گیاهان مورد بررسی بین نُه تا هفده درصد کاهش خواهد یافت. شهرکی و همکاران (۲۷)، با به‌کارگیری تابع تولید تصادفی جاست و پاپ، به تحلیل اثرات تغییرات اقلیم بر تولید گندم پرداختند و مدل را با استفاده از داده‌های سال‌های زراعی ۶۲-۱۳۶۱ تا ۹۳-۱۳۹۲ برآورد کردند. مطابق یافته‌ها، رخدادهای حدی دما و تغییرات نامنظم بارش در دوره‌های گذشته سازگاری نسبی گندم‌کاران این مناطق با تغییر اقلیم را فراهم کرده است.

همچنین، هوانگ و همکاران (۱۳)، با استفاده از داده‌های مقطعی ۲۲۰۰ بخش چین در سال ۲۰۰۰، اثرات تغییرات آب‌وهوایی بر تولید حبوبات را مطالعه کردند. نتایج مؤید آن بود که به‌کارگیری روش‌های اقتصادسنجی فضایی، همانند متغیرهای مستقل، می‌تواند قسمتی از تغییرات متغیر وابسته را توضیح دهد. گویتراس (۱۰)، با استفاده از مدل ریکاردویی و روش‌های اقتصادسنجی فضایی، به مطالعهٔ تأثیرپذیری کشاورزی هند از تغییرات آب‌وهوایی پرداختند. برای نیل به هدف تحقیق، داده‌های چهار دهه (۹۹-۱۹۵۶) برای ۲۷۱ بخش مربوط به سیزده ایالت هند استفاده شد. نتایج به‌دست آمده بیانگر وجود همبستگی فضایی مثبت معنی‌دار بوده و اهمیت استفاده از الگوهای اقتصادسنجی فضایی در مطالعات مشابه را نشان می‌دهند. نواچوکو و همکاران (۲۳) به بررسی اثرات تغییرات آب‌وهوایی بر بهره‌وری عوامل تولید محصول کاکائو

1. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

در کشور نیجریه پرداختند و در این راستا، از داده‌های سری زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ استفاده کردند. نتایج مؤید آن بود که تنها تأثیر متغیر بارش و توان دوم آن بر عملکرد محصول کاکائو معنی‌دار است و بارش تأثیر منفی بر عملکرد دارد. وارد و همکاران (۳۰)، با برآورد مدل هکمن فضایی[1] از طریق روش ارائه‌شده توسط فلورس- لاگونز و اشنایر (۹)، به مطالعه چگونگی اثرات تغییرات آب‌وهوا بر بهره‌وری عوامل تولید غلات در منطقه جنوب صحرای آفریقا پرداختند. مطابق نتایج به‌دست آمده، هم احتمال تصمیم به کشت و هم نحوه واکنش عملکرد به میزان قابل توجهی به عامل فضا بستگی دارند. یافته های تحقیق بیانگر آن بود که افزایش دما، ارتفاع زمین و سختی خاک تأثیر منفی و کربن خاک تأثیر مثبت بر عملکرد غلات دارند. ژانگ و همکاران (۳۲)، بر اساس اطلاعات شهرستان‌های چین برای دوره زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۰، نحوه اثرگذاری تغییرات آب‌وهوا بر عملکرد محصولات منتخب را بررسی کردند. برآورد مدل نشان داد که متغیرهای سرعت باد، رطوبت و طول دوره روشنایی روز بر رشد گیاه مؤثرند. بنابراین، اهمیت توجه به سایر متغیرهای آب‌وهوایی علاوه بر دما و بارش در مطالعات مربوط به بررسی اثرات تغییرات آب‌وهوایی بر بخش کشاورزی بیان شد.

بر پایهٔ یافته‌های پیشینهٔ پژوهش، بیشتر مطالعات در زمینهٔ چگونگی اثرگذاری تغییرات آب‌وهوایی بر بخش کشاورزی تأثیر متغیرهای هواشناسی همچون دما، بارش، رطوبت و سرعت باد را مد نظر قرار داده‌اند. مطابق یافته‌ها، تأثیر این متغیرها برای محصولات مختلف در مناطق گوناگون متفاوت بوده است. برخی از این مطالعات بر به‌کارگیری روش‌های اقتصادسنجی فضایی تأکید کرده‌اند که در پژوهش حاضر نیز از این روش‌ها استفاده شده است. بررسی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که موضوع تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر عملکرد حبوبات و به‌ویژه محصول نخود و تصمیمات کشاورزان در ارتباط با کشت آن در ایران به‌ندرت مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعات بسیار اندک صورت‌گرفته در این زمینه هم از روش‌های غیرفضایی بهره گرفته شده، در حالی که به‌دلیل ناهمگنی اقلیمی مناطق مورد مطالعه و

1. spatial Heckman model

تفاوت‌های آنها، پژوهش‌های اخیر بر ضرورت به‌کارگیری روش‌های اقتصادسنجی فضایی در این مطالعات تأکید کرده‌اند. بدین ترتیب، هدف مطالعه حاضر بررسی نحوه اثرگذاری تغییرات آب‌وهوایی بر عملکرد محصول نخود و احتمال تصمیم کشاورزان به کشت آن با استفاده از مدل هکمن فضایی فلورس- لاگونز و اشنایر است و مواردی همچون تورش انتخاب نمونه و همبستگی فضایی را مد نظر قرار می‌دهد.

مبانی نظری و روش تحقیق

در بررسی نحوه اثرگذاری تغییرات آب‌وهوا بر بخش کشاورزی، بسیاری از مطالعات مدل‌های ریکاردین را مد نظر قرار داده‌اند. در این مدل‌ها، ارزش زمین بر متغیرهای آب‌وهوایی (به‌ویژه دما و بارش) و سایر عوامل مؤثر برازش می‌شود. برآورد این مدل برای کشورهای در حال توسعه و کمترتوسعه‌یافته به‌دلایلی همچون فقدان بازار زمین توسعه‌یافته و عدم دسترسی به اطلاعات مربوط به ارزش زمین با محدودیت مواجه است. در این کشورها، به‌جای مدل‌های ریکاردین، از مدل‌های شبه‌ریکاردین استفاده شده و خروجی سالانه کشاورزی (از قبیل عملکرد) روی مقادیر سالانه متغیرهای آب‌وهوایی برازش می‌شود (۱۰). معادله عملکرد محصولات کشاورزی را می‌توان به‌صورت رابطهٔ زیر تصریح کرد:

$$y_i = x_i'\beta + (Irr_i.\tilde{x}_i)'\xi + u_i \qquad (۱)$$

که در آن، y_i متغیر عملکرد محصول، x_i' بردار k از متغیرهای توضیح‌دهنده y_i و u_i جزء خطایی است که به‌صورت نرمال توزیع شده است. Irr_i نسبت سطح زیر کشت آبی به کل سطح زیر کشت بوده و $\tilde{x}_i \subset x_i$ برداری از متغیرهای توضیحی همبسته با میزان آبیاری منطقه است. β، π و ξ نیز پارامترهای مدل است که باید برآورد شوند. در صورتی که جزء خطا (u) در رابطه (۱) دارای توزیع مشخص مستقل (IID) باشد، مدل با به‌کارگیری روش حداقل مربعات معمولی (OLS) برآورد می‌شود (۳۰). اما باید توجه داشت که هر کدام از محصولات

کشاورزی تنها در برخی از مناطق کشت می‌شود. انتخاب نمونه تنها از میان مناطقی که اقدام به کشت محصولات می‌کنند، ممکن است با ایجاد خطای نمونه‌گیری، برآوردگرهای مربوط به معادله عملکرد را تورش‌دار کند. این مسئله ضرورت به‌کارگیری مدل‌هایی را نشان می‌دهد که تورش انتخاب نمونه را در نظر می‌گیرند؛ یکی از آنها مدل هکمن است.

مدل هکمن از دو معادله انتخاب (تصمیم) و خروجی (عملکرد) تشکیل شده است. تصمیم به کشت محصول مورد نظر را می‌توان از طریق یک متغیر دوجمله‌ای توضیح داد که در صورت تصمیم به کشت عدد یک و درصورت تصمیم به عدم کشت عدد صفر را به خود اختصاص دهد. شکل رایج معادله انتخاب مدل هکمن (۱۱) نوعی مدل خطی تعمیم‌یافته بوده و معمولاً فرض می‌شود که متغیر وابسته آن دارای توزیع دوجمله‌ای برنولی[1] است و تابع پیوند آن شکل پروبیت دارد. معادله انتخاب را می‌توان به شکل رابطهٔ زیر تصریح کرد:

$$P_i = z_i^{'}\alpha + \nu_i \qquad (۲)$$

که در آن، F_i ($P_i \in \{1,0\}$) متغیر وابسته، $z_i^{'}$ بردار k از متغیرهای توضیح‌دهنده F_i و ν_i جزء اخلال دارای توزیع دوجمله‌ای بوده و α نیز بردار پارامترهای معادله انتخاب است. روابط (۱) و (۲) نشان‌دهندهٔ مدل هکمن است که تورش انتخاب نمونه را مد نظر قرار می‌دهد، اما همبستگی فضایی در عامل‌های غیرقابل مشاهده را در نظر نمی‌گیرد.

فلورس- لاگونز و اشنایر (۹) مدل هکمن فضایی را معرفی کرده‌اند که هم انتخاب نمونه و هم همبستگی فضایی در عامل‌های غیرقابل مشاهده را مد نظر قرار می‌دهد. آنها برای برآورد مدل یادشده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) استفاده کرده‌اند. تصریح معادله انتخاب مدل هکمن فضایی به شکل رابطهٔ زیر صورت گرفته است (۶):

$$P_i = z_i^{'}\alpha + \varepsilon_i \qquad (۳)$$
$$\varepsilon_i = \rho\sum_{j\neq i} w_{ij} + \nu_i$$

1. Bernoulli binomial distribution

تعاریف اجزای مشابه در روابط (۲) و (۳) یکسان است. علاوه بر اجزای تعریف‌شده، ε_i جزء اخلال غیرقابل مشاهده و v_i جزء خطایی است که به‌صورت نرمال توزیع شده است؛ w_{ij} نیز (i,j)امین عنصر ماتریس مجاورت فضایی مربوط به معادله انتخاب است؛ ρ پارامتر همبستگی فضایی بوده و نشان‌دهندهٔ درجه همبستگی فضایی اجزای اخلال معادله انتخاب است. مرحله بعد تصریح تابع عملکرد یا همان معادله خروجی به شکل فضایی است. در مدل‌سازی توابع واکنش عملکرد گیاهان زراعی و مدل‌های ریکاردوین اولویت با مدل خطای فضایی است، چراکه توزیع فضایی زمین‌های کشاورزی در داخل و خارج از نواحی، علاوه بر متغیرهای برون‌زا، روی ساختار جزء اخلال هم تأثیر می‌گذارد (۲۶). مدل خطای فضایی مقطعی برای رابطه (۱) به‌صورت رابطه (۴) بیان می‌شود:

$$y_i = x_i^{'}\beta + (Irr_i.\widetilde{x}_i)'\xi + \varepsilon_i \qquad (۴)$$
$$\varepsilon_i = \rho\sum_j w_{ij}\varepsilon_j + u_i$$

تعاریف اجزای مشابه در روابط (۱) و (۴) یکسان است. علاوه بر اجزای تعریف‌شده، ε_i جزء اخلال غیرقابل مشاهده و u_i جزء خطایی است که به‌صورت نرمال توزیع شده است؛ w_{ij} نیز (i,j)امین عنصر ماتریس مجاورت فضایی است. برای برآورد همزمان روابط (۳) و (۴)، فرض می‌شود که عملکرد محصولات و تصمیمات کشت آنها به‌ترتیب از طریق متغیرهای پنهان y_i^* و P_i^* نشان داده می‌شوند، به‌گونه‌ای که اگر $P_i^* > 0$ باشد، آنگاه $y_i = y_i^*$ و $P_i = 1$ و درغیر این صورت، $y_i = 0$ و $P_i = 0$ خواهد بود. با در نظر گرفتن وابستگی فضایی همزمان در اجزای اخلال معادلات انتخاب و واکنش، مدل هکمن فضایی به شکل رابطهٔ زیر تعریف می‌شود (۳۰):

$$P_i^* = z_i^{'}\alpha + \varepsilon_{1i} \qquad (۵)$$
$$\varepsilon_{1i} = \rho_1\sum_{j\neq i} w_{ij}^1\varepsilon_{1j} + v_i$$

$$y_i^* = x_i^{'}\beta + (Irr_i \tilde{x}_i)'\xi + \varepsilon_{2i}$$
$$\varepsilon_{2i} = \rho_2 \sum_{j \neq i} w_{ij}^2 \varepsilon_{2j} + u_i$$

در رابطه (۵)، w_{ij}^1 و w_{ij}^2 به‌ترتیب $(i\,،\,j)$امین عنصر ماتریس وزنی فضایی $(n+b)\times(n+b)$ معادله انتخاب و $(i\,،\,j)$امین عنصر ماتریس وزنی فضایی $n \times n$ معادله عملکرد بوده و ρ_1 و ρ_2 به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ درجه همبستگی فضایی اجزای اخلال معادلات انتخاب و خروجی است. برآورد مدل هکمن فضایی با به‌کارگیری روش گشتاورهای تعمیم‌یافته به‌تفصیل در مطالعات فلورس- لاگونز و اشنایر (۹) و وارد و همکاران (۳۰) بیان شده که پژوهش حاضر نیز از این روش بهره گرفته است.

مطالعه حاضر با وارد کردن انواع متغیرهای هواشناسی ماهانه، فصلی و سالانه شهرستان‌ها به برآورد مدل‌های گوناگون پرداخته و با در نظرگرفتن سطح معنی‌داری آماری و تطبیق یافته‌ها با نتایج تجربی، مناسب‌ترین آنها را انتخاب کرده است. در مدل‌های انتخاب‌شده، متغیرهای آب‌وهوایی سالانه به‌عنوان مناسب‌ترین متغیرها گزینش شده‌اند. بدین ترتیب، الگوی تجربی مطالعه حاضر در رابطهٔ زیر بیان شده است:

(۶)

$$P_{i1t}^* = E(P_{i_{1t}} \mid z_{it}) = \Phi(\alpha_{10t} + \alpha_{11t} z_{i1t} + \alpha_{12t} z_{i2t} + \alpha_{13t} z_{i3t} + \alpha_{14t} z_{i4t} + \theta_{1t} HII_{it} + \varepsilon_{11it})$$
$$\varepsilon_{11it} = \rho_{11t} \sum_k w_{ik} \varepsilon_{11kt} + \nu_{1it}$$
$$y_{i1t}^* = E(y_{i1t} \mid x_{it}) = \beta_{10t} + \beta_{11t} x_{i1t} + \beta_{12t} x_{i2t} + \beta_{13t} x_{i3t} + \beta_{14t} x_{i4t} + \xi_{1t} Irr_{i1t} + \tau_{1t} IMR_{it} + \varepsilon_{12it}$$
$$\varepsilon_{12it} = \rho_{21t} \sum_k w_{ik} \varepsilon_{12kt} + u_{1it}$$

در معادله انتخاب رابطه (۶)، P_{i1t}^* احتمال پیش‌بینی‌شده برای کشت محصول نخود در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ برای شهرستان iام و متغیر P_{i1t} به‌ترتیب کشت نخود (برابر با یک) یا عدم کشت (برابر با صفر) در همان سال و برای همان شهرستان را نشان می‌دهد. متغیرهای z_{i1t}،

z_{i1t}، z_{i1t}، z_{i1t} و HII_{it} [۱] به‌ترتیب بیانگر میانگین دمای سالانه، مجموع بارش سالانه و میانگین رطوبت سالانه، میانگین سرعت باد سالانه و میانگین شاخص تأثیر انسانی شهرستان iام در سال ۱۳۹۲ بوده و ε_{11it} جزء اخلال همبسته فضایی و v_{1it} جزء خطای همان معادله است؛ ρ_{11t} نیز پارامتر همبستگی فضایی برای معادله یادشده را نشان می‌دهد؛ w_{ik} عناصر ماتریس مجاورت فضایی بوده و نشان‌دهندهٔ نحوه مجاورت شهرستان kام با شهرستان i ام است.

در معادله عملکرد رابطه (۶)، متغیرهای y^{*}_{i1t} و y_{i1t} به‌ترتیب عملکردهای پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده برای محصول نخود در شهرستان iام برای سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ را نشان می‌دهند، در حالی که متغیرهای توضیحی x_{i1t}، x_{i2t}، x_{i3t} و x_{i4t} به‌ترتیب بیانگر میانگین دمای سالانه، مجموع بارش سالانه و میانگین رطوبت سالانه و میانگین سرعت باد سالانه شهرستان i ام در سال ۱۳۹۲ بوده و متغیر Irr_{i1t} نسبت سطح زیر کشت آبی به کل سطح زیر کشت محصول نخود در شهرستان iام در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ را نشان می‌دهد؛ متغیر IMR_{i1t} متغیر نسبت معکوس میلز، ε_{12it} جزء اخلال دارای همبستگی فضایی معادله عملکرد نخود و u_{1it} جزء خطای همان معادله است؛ و ρ_{21t} نیز پارامتر خودرگرسیو فضایی معادله عملکرد است.

---

۱. علاوه بر این، با توجه به لزوم تعریف متغیری که به‌عنوان متغیر توضیحی در معادله انتخاب وارد شده اما بر عملکرد تأثیری نداشته باشد، مطالعه حاضر با پیروی از مطالعه وارد و همکاران (۳۰) متغیر شاخص تأثیر انسانی (HII۱) را بدین منظور انتخاب کرده است. مقدار این متغیر بیانگر میزان تأثیرگذاری انسانی در شهرستان مورد نظر بوده و بین صفر (نبود تأثیر) تا ۶۴ (حداکثر تأثیر) قرار دارد. مقدار شاخص یادشده بر اساس هشت عامل تراکم جمعیت، قرارگیری در محدوده راه آهن، قرارگیری در محدوده راه‌های اصلی، قرارگیری در محدوده رودخانه‌های قابل کشتیرانی، قرارگیری در محدوده خط ساحلی، تعداد چراغ‌های روشن شبانه، قرارگیری در محدوده شهری و نوع زمین توسط جامعه حفاظت حیات وحش (WSC) و مرکز شبکه اطلاعاتی علوم زمین بین‌المللی (CIESIN) در دانشگاه کلمبیا محاسبه و منتشر شده است.

برآورد مدل‌های معرفی‌شده نیاز به اطلاعات زراعی، هواشناسی، جغرافیایی و برخی اطلاعات تکمیلی دیگر دارد. تحقیق حاضر با بررسی داده‌های موجود و انطباق آنها با شهرستان‌ها، در نهایت، ۳۳۶ شهرستان[1] را به‌عنوان جامعه آماری مورد مطالعه قرار داده، که نمایی از تقسیمات جغرافیایی این شهرستان‌ها در شکل ۱ آمده است.

شکل ۱. تقسیمات جغرافیایی شهرستان‌های مورد مطالعه ایران

اطلاعات زراعی از وزارت جهاد کشاورزی و اطلاعات هواشناسی از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده و برای تعیین ماتریس مجاورت فضایی، اطلاعات جغرافیایی شهرستان‌ها از طریق Shapefile[2] آنها که در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده، به‌دست آمده است. برآورد مدل هکمن فضایی نیز از طریق برنامه‌نویسی در نرم‌افزار MATLAB صورت گرفته است.

۱. تمامی شهرستان‌ها مد نظر قرار گرفته‌اند.

۲. قالب عمومی داده های برداری در نرم افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی است.

نتایج و بحث

جدول ۱ دربرگیرندهٔ خلاصه‌ای از اطلاعات زراعی و هواشناسی مورد استفاده است. ملاحظه می‌شود که میانگین عملکرد نخود در کشور برابر با ۶۶۶/۳۰ کیلوگرم در هکتار و بالاترین میزان عملکرد نخود مربوط به شهرستان آمل در استان مازندران برابر با ۳۰۳۸/۴۶ بوده و تمامی سطح زیر کشت نخود این شهرستان به‌صورت دیم است. فراوانی بارش در این استان می‌تواند یکی از دلایل عملکرد بالای نخود دیم منطقه باشد. پایین‌ترین عملکرد نخود نیز مربوط به شهرستان خرمدره زنجان و برابر با ۵۵/۹۷ کیلوگرم در هکتار است. میانگین سطح آبیاری‌شده شهرستان‌های کشت‌کنندهٔ نخود برابر با ۳۱/۳۲ درصد بوده و این محصول از جمله قانع‌ترین محصولات کشور از حیث نیاز آبی است، به‌گونه‌ای که نخود بهاره با پنجاه تا شصت میلی‌متر بارندگی به‌طور متوسط پانصد تا شش‌صد کیلوگرم در هکتار عملکرد خواهد داشت. نخود حدود ۱۱۰ تا ۲۴۰ میلی‌متر آب مصرف می‌کند تا حدود نه‌صد تا سه هزار کیلوگرم در هکتار بذر تولید کند.

مطابق جدول ۱، میانگین دمای سالانه شهرستان‌ها برابر با ۱۶/۰۷ درجه سانتی‌گراد بوده و مقدار آن بین ۷/۹۰ تا ۲۷/۲۶ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. ملاحظه می‌شود که میانگین متغیرهای مجموع بارش، میانگین رطوبت سالانه و میانگین سرعت باد شهرستان‌ها برابر با ۳۳۱/۲۷ میلی‌متر، ۴۶/۲۴ درصد و ۲/۸۱ متر بر ثانیه بوده است. میانگین شاخص تأثیر انسانی شهرستان‌ها نیز برابر با ۱۹/۴۳ بوده است. بدین ترتیب، متغیرهای زراعی مربوط به محصول نخود و متغیرهای هواشناسی در شهرستان‌های مورد مطالعه دارای تغییرات بالا بوده، که به‌خوبی نشان‌دهندهٔ تأثیر تغییرات متغیرهای آب‌وهوایی بر عملکرد محصول نخود است.

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای زراعی و آب‌وهوایی شهرستان‌های کشور، ۱۳۹۲

متغیر	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف استاندارد
میانگین عملکرد نخود آبی	کیلوگرم بر هکتار	۱۱۶۴/۷۵	۳۱۱/۸۱	۳۷۴۸/۷۵	۵۱۰/۵۶
میانگین عملکرد نخود دیم	کیلوگرم بر هکتار	۴۳۶/۴۹	۲۲/۰۰	۳۰۵۲/۶۹	۳۶۵/۳۸
میانگین سطح آبیاری‌شده نخود	درصد	۳۱/۳۲	۰	۱۰۰	۴۳/۰۵
میانگین دمای سالانه	درجه سانتی‌گراد	۱۶/۰۷	۷/۹۰	۲۷/۲۶	۴/۳۴
مجموع بارش سالانه	میلیمتر	۳۳۱/۲۷	۵۱/۹۶	۱۰۶۳/۲۵	۱۷۸/۴۶
میانگین رطوبت سالانه	درصد	۴۶/۲۴	۲۶/۰۱	۸۱/۱۰	۱۱/۱۳
میانگین سرعت باد سالانه	متر بر ثانیه	۲/۸۱	۱/۰۰	۵/۷۴	۰/۹۴
شاخص تأثیر انسانی	بدون واحد	۱۹/۴۳	۴/۱۷	۴۳/۵۲	۵/۱۷

منبع: وزارت جهاد کشاورزی (۲۱) و سازمان هواشناسی ایران (۱۵)

در ادامه، با استفاده از متغیرهای معرفی‌شده، برآورد مدل‌های «هکمن» و «هکمن فضایی» صورت گرفت که نتایج آن در جدول ۲ آمده است. بدین ترتیب، می‌توان به مقایسه نتایج حاصل از دو مدل پرداخت. ملاحظه می‌شود که پارامترهای خودرگرسیو فضایی برای معادلات انتخاب و عملکرد محصول نخود از لحاظ آماری معنی‌دار است. از لحاظ آماری، سطح معنی‌داری پارامترهای برآوردشدهٔ معادلهٔ انتخاب (احتمال تصمیم به کشت) مدل هکمن در مقایسه با مدل هکمن فضایی بالاتر است. با این همه، معنی‌داری پارامتر خودرگرسیو فضایی، معادله انتخاب مدل هکمن فضایی را در مقایسه با مدل هکمن در اولویت قرار می‌دهد. پارامترهای معادله عملکرد مدل هکمن فضایی در مقایسه با پارامترهای معادله عملکرد مدل هکمن در سطح معنی‌داری بالاتری قرار دارند. این یافته‌ها تأییدی بر لزوم به‌کارگیری مدل‌های اقتصادسنجی فضایی در بررسی نحوه اثرگذاری عوامل مؤثر بر احتمال تصمیم به کشت و عملکرد این محصول است.

مطابق مقادیر گزارش‌شده، پارامترهای خودرگرسیو فضایی برای هر دو معادله احتمال

تصمیم به کشت و عملکرد نخود مثبت است. مثبت بودن پارامتر خودرگرسیو فضایی معادله انتخاب (تصمیم به کشت) نشان می‌دهد که با توجه به تأثیر مستقیم عوامل تصادفی همبستهٔ فضایی، افزایش احتمال کشت نخود در یک شهرستان احتمال کشت آن در شهرستان‌های مجاور را افزایش می‌دهد. مثبت بودن پارامتر خودرگرسیو فضایی معادله عملکرد نیز بیانگر تأثیر مستقیم عوامل تصادفی مؤثر بر عملکرد نخود یک منطقه بر عملکرد مناطق مجاور است. این ارتباط مستقیم سبب می‌شود که عملکرد بالای ناشی از تأثیر عوامل تصادفی این محصول در یک شهرستان افزایش عملکرد آن در شهرستان‌های همسایه را به‌دنبال داشته باشد. پایین بودن عملکرد محصول نخود در هر شهرستان نیز که ناشی از تأثیر عوامل تصادفی باشد، کاهش عملکرد این محصول را در شهرستان‌های مجاور از طریق تأثیر عوامل تصادفی همبستهٔ فضایی به‌دنبال خواهد داشت.

بر اساس یافته‌های جدول ۲ برای مدل هکمن، تأثیر متغیرهای شاخص تأثیر انسانی، میانگین دما و رطوبت سالانه بر احتمال تصمیم به کشت محصول نخود و تأثیر متغیرهای مجموع بارش سالانه و نسبت سطح زیر کشت آبی به کل سطح زیر کشت بر عملکرد این محصول از لحاظ آماری معنی‌دار است، در حالی که در مدل هکمن فضایی، متغیرهای شاخص تأثیر انسانی و سرعت باد بر احتمال تصمیم به کشت و متغیرهای مجموع بارش سالانه، سرعت باد و نسبت سطح زیر کشت آبی به کل سطح زیر کشت بر عملکرد این محصول به‌طور معنی‌دار تأثیر می‌گذارند.

جدول ۲. مدل‌های هکمن و هکمن فضایی نخود

متغیر	معادله انتخاب (تصمیم به کشت)		معادله خروجی (عملکرد)	
	هکمن	هکمن فضایی	هکمن	هکمن فضایی
عرض از مبدأ	۴/۲۴۲***	۱۱/۷۹۳***	۳۳۷/۲۵۳	۱۲۰/۰۱۰
	(۰/۵۹۷)	(۴/۶۹۱)	(۷۱۳/۹۸۸)	(۳۴۸/۵۴۶)
شاخص تأثیر انسانی	-۰/۰۳۱**	-۰/۵۵۷***		
	(۰/۰۱۶)	(۰/۱۵۶)		
میانگین دمای سالانه	-۰/۱۳۶***	-۰/۰۹۸	-۲۱/۰۶۷	۵/۱۳۶
	(۰/۰۱۶)	(۰/۱۱۶)	(۳۵/۷۹۴)	(۸/۵۴۸)
مجموع بارش سالانه	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۰۸	۰/۶۰۹***	۰/۸۳۸***
	(۰/۰۰۰۳)	(۰/۰۰۴)	(۰/۱۹۳)	(۰/۱۷۱)
میانگین رطوبت سالانه	-۰/۰۱۹***	-۰/۰۱۲	-۰/۲۱۷	۰/۶۲۷
	(۰/۰۰۷)	(۰/۰۴۷)	(۷/۶۰۱)	(۵/۰۷۹)
میانگین سرعت باد	-۰/۰۴۵	۱/۲۳۵**	-۲۷/۱۶۸	-۴۶/۴۰۰**
	(۰/۰۸۶)	(۰/۶۰۷)	(۴۱/۹۱۵)	(۲۲/۵۴۷)
درصد سطح زیر کشت آبی به کل سطح زیر کشت			۹/۰۴۴***	۸/۵۴۸***
			(۰/۷۶۵)	(۰/۶۲۲)
نسبت معکوس میلز			۴۸۴/۱۲۴	
			(۴۵۶/۴۹۲)	
نسبت معکوس میلز تعدیل‌شده				-۴۲/۹۴۸
				(۳۹۶/۲۹۶)
پارامتر خودرگرسیو فضایی		۰/۲۳۸***		۰/۴۸۴***
		(۰/۰۰۵)		(۰/۰۴۰)
مجموع مشاهدات	۳۳۶		۱۸۹	

*** سطح معنی‌داری یک درصد (اعداد داخل پرانتز مقادیر خطای معیار را نشان می‌دهند)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۲ نشان می‌دهد که شاخص تأثیر انسانی بر احتمال تصمیم به کشت محصول نخود تأثیر منفی دارد. این مسئله ممکن است به‌دلیل سهم بالای کشت دیم نخود باشد، چراکه معمولاً بیش از نود درصد سطح زیر کشت آن به تولید دیم اختصاص دارد و محصولات دیم نیز عمدتاً در مزارع ناهموار دور از مناطق شهری (که تأثیر انسان بر آنها کم است) صورت می‌گیرد. بر اساس مدل هکمن فضایی، دما از لحاظ آماری تأثیر معنی‌دار بر انتخاب (تصمیم به کشت) و عملکرد محصول نخود ندارد و دلیل آن ممکن است کشت عمده این محصول در مناطق کوهستانی کشور باشد، چراکه عمده این مناطق از آب‌وهوای معتدل برخوردارند. بدین ترتیب، انتظار می‌رود که در آینده، افزایش محسوس دما بر احتمال تصمیم به کشت و عملکرد نخود تأثیرگذار باشد.

برای بررسی میزان اثرگذاری متغیرهای توضیحی بر احتمال تصمیم به کشت و عملکرد نخود، لازم است اثرات نهایی محاسبه شود، که نتایج آن به‌تفکیک مدل‌های هکمن و هکمن فضایی برای این محصول در جدول ۳ آمده است. مطابق اثرات نهایی به‌دست آمده برای مدل هکمن، افزایش متغیرهای دما، رطوبت و سرعت باد احتمال تصمیم به کشت محصول نخود را کاهش می‌دهد، در حالی که افزایش بارش افزایش احتمال تصمیم به کشت محصول نخود را به‌دنبال دارد؛ همچنین، اثرات نهایی به‌دست آمده برای مدل هکمن فضایی با اثرات نهایی به‌دست آمده برای مدل هکمن متفاوت بوده و بر اساس آن، احتمال تصمیم به کشت محصول نخود با افزایش دما، بارش و رطوبت کاهش و با افزایش سرعت باد افزایش می‌یابد. با وجود این تفاوت‌ها بین اثرات نهایی دو مدل، به‌دلیل معنی‌دار بودن پارامتر خودرگرسیو فضایی، می‌توان اثرات نهایی حاصل از معادله انتخاب مدل هکمن فضایی را مبنا قرار داد. بدین ترتیب، افزایش میانگین دمای سالانه به میزان یک درجه، افزایش مجموع بارش سالانه به میزان یک میلی‌متر و افزایش میانگین رطوبت سالانه به میزان یک درصد احتمال تصمیم به کشت محصول نخود را به‌ترتیب به میزان هفت، ۰/۰۰۶ و ۰/۹ درصد کاهش می‌دهد، اما با افزایش یک واحد میانگین سرعت باد سالانه احتمال تصمیم به کشت محصول نخود هفت درصد افزایش می‌یابد. تأثیر منفی بارش بر احتمال

تصمیم به کشت محصول نخود ممکن است به‌دلیل نیاز آبی اندک نخود در مقایسه با سایر محصولات مورد کشت در ایران باشد. از این‌رو، کشت این محصول در مکان‌هایی که امکان کشت سایر محصولات با نیازهای آبی بالا وجود ندارد، در اولویت قرار می‌گیرد.

جدول ۳. اثرات نهایی متغیرهای آب‌وهوایی بر احتمال تصمیم به کشت و عملکرد نخود

متغیر	هکمن	هکمن فضایی	هکمن	هکمن فضایی
	احتمال تصمیم به کشت نخود		عملکرد نخود	
دمای سالانه	-۰/۰۷	-۰/۰۷	۳۷/۹۴	۴/۸۲
بارش سالانه	۰/۰۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۰۶	۰/۵۹	۰/۸۳
رطوبت سالانه	-۰/۰۱	-۰/۰۰۹	۸/۱۱	۰/۵۸
سرعت باد	-۰/۰۲	۰/۰۷	-۷/۴۰	-۴۲/۵۰
درصد سطح زیر کشت آبی به کل سطح زیر کشت			۹/۰۴۴	۸/۵۴۸

مأخذ: یافته‌های تحقیق

مطابق نتایج جدول ۳، جهت اثرگذاری متغیرهای آب‌وهوایی بر عملکرد محصول نخود در هر دو مدل هکمن و هکمن فضایی یکسان بوده، به‌گونه‌ای که افزایش دما، افزایش بارش و افزایش رطوبت عملکرد محصول نخود را افزایش می‌دهند، در حالی که افزایش سرعت باد کاهش عملکرد نخود را به‌دنبال دارد. با توجه به معنی‌دار بودن پارامتر خودرگرسیو فضایی برای معادله عملکرد، اثرات نهایی به‌دست آمده از مدل هکمن فضایی اولویت دارند. مطابق اثرات نهایی حاصل از معادله عملکرد مدل هکمن فضایی، افزایش یک درجه میانگین دمای سالانه عملکرد محصول نخود را به میزان ۴/۸۲ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌دهد. افزایش یک میلی‌متر مجموع بارش سالانه عملکرد را ۰/۸۳ کیلوگرم در هکتار افزایش داده و افزایش یک درصد میانگین رطوبت سالانه آن را ۰/۵۸ کیلوگرم افزایش می‌دهد، در حالی که افزایش یک واحدی میانگین سرعت باد سالانه عملکرد محصول نخود را ۴۲/۵۰ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌دهد. علاوه بر متغیرهای آب‌وهوایی، نسبت سطح زیر کشت آبی به کل سطح زیر

کشت نیز بر عملکرد نخود مؤثر است و هر یک درصد افزایش آبیاری سطوح زیر کشت نخود عملکرد آن را ۸/۵۴ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌دهد. تأثیر متفاوت برخی از متغیرهای آب‌وهوایی بر احتمال تصمیم به کشت و عملکرد محصول نخود به‌دلیل ماهیت متفاوت این دو است، چراکه تصمیمات کشاورزان برای انتخاب محصولات مورد کشت از طریق مقایسه محصولات مختلف و سود مورد انتظار آنها در سال زراعی پیش رو صورت می‌گیرد، در حالی که تاثیر متغیرهای آب‌وهوایی بر عملکرد محصولات موضوعی زیست‌شناختی است و پس از کاشت محصول نمایان می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج به‌دست آمده حکایت از تأثیر مهم آب بر عملکرد محصول نخود دارد. با توجه به سهم بالای کشت دیم محصول نخود و تأثیر مثبت بارش بر عملکرد آن انتظار می‌رود در مناطقی که احتمال کاهش بارش ناشی از تغییرات آب‌وهوایی وجود دارد، عملکرد آن کاهش یابد. در این میان، افزایش آبیاری تنها راه حلی است که می‌تواند افزایش عملکرد را به‌دنبال داشته باشد و کاهش عملکرد ناشی از کاهش بارش را جبران کند تا کشاورزان برای تخصیص زمین به محصول نخود ترغیب شوند. نگاهی به وضعیت منابع آبی نشان می‌دهد که در آینده، کشور با بحران آبی روبه‌رو خواهد بود، به‌گونه‌ای که بر اساس پیش‌بینی‌ها، تا سال ۲۰۲۵، ایران به فهرست کشورهای مواجه با کمبود آب اضافه خواهد شد (۲۴). این مسئله می‌تواند موجب کمبود عرضه آب کشاورزی شده و عملکرد و تولید محصولات کشاورزی و از جمله محصول نخود را با مشکل مواجه سازد. بدین ترتیب، تولید پایدار این محصول تنها زمانی ممکن خواهد بود که بحث تأمین و مدیریت آب در مناطق تولید آن در اولویت قرار گیرد. در غیر این صورت، کاهش عملکرد نخود کاهش تخصیص زمین و در نتیجه، کاهش تولید آن را به‌دنبال خواهد داشت و از این‌رو، پاسخ‌گویی به نیاز مصرف‌کنندگان نیازمند واردات این محصول خواهد بود.

بدین ترتیب، با توجه به نتایج تحقیق، پیشنهادهایی به‌شرح زیر ارائه می‌شود:

۱. با توجه به معنی‌دار بودن پارامترهای همبستگی فضایی در هر دو معادله انتخاب و عملکرد مدل هکمن فضایی محصول نخود، توصیه می‌شود که مطالعات مشابه آتی نیز به‌کارگیری روش‌های اقتصادسنجی فضایی را در اولویت قرار دهند. در این صورت، زمانی که پارامترهای همبستگی فضایی معنی‌دار باشند، از پدید آمدن برآوردهای تورش‌دار جلوگیری خواهد شد؛ و در صورتی که پارامترها معنی‌دار نباشند، می‌توان از نبود تورش مربوط به همبستگی فضایی مطمئن بود. این موضوع تأییدی بر یافته‌های هوانگ و همکاران (۱۳) است که در بررسی نحوه اثرگذاری تغییرات آب‌وهوایی بر تولید حبوبات، روی لزوم به‌کارگیری روش‌های اقتصادسنجی فضایی تأکید کرده‌اند.

۲. برآورد مدل هکمن فضایی برای محصول نخود نشان داد که احتمال کشت این محصول از بحث مجاورت تأثیر می‌پذیرد و تأثیرپذیری کشاورزان از یکدیگر بسیار قابل توجه است. از این‌رو، توصیه می‌شود که برای آگاه‌سازی کشاورزان در زمینهٔ تغییرات آب‌وهوا و اتخاذ راهکارهای تطبیقی مناسب توسط آنها، ارتباط‌های فردی در اولویت قرار گیرد.

۳. با توجه به تأثیر مثبت بارش و آبیاری بر عملکرد نخود، لازم است مسئولان ذی‌ربط در مناطقی که با خطر کاهش میزان بارش در آینده مواجه‌اند، به روش‌های حفاظت از منابع آب و ذخیره‌سازی آب توجه بیشتری داشته باشند و استفاده از این منابع را به بهترین شکل ممکن انجام دهند تا بتوانند کاهش عملکرد ناشی از بارش را با افزایش عملکرد ناشی از افزایش میزان آبیاری جبران کنند. افزون بر این، راهکارهای انطباق الگوی مناسب کشت با روش آبیاری، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و تقویت ساختار ریشه در خاک نیز می‌توانند مفید باشند. همچنین، توصیه می‌شود که سازمان‌های پژوهشی تولید ارقام مقاوم به کم‌آبی محصول نخود را مد نظر قرار دهند.

۴. مطابق آمارهای وزارت جهاد کشاورزی، عمده مناطق تولید محصول نخود کوهستانی بوده و از آب‌وهوای معتدل برخوردارند. با توجه به میانگین دمای پایین و تغییرات آب‌وهوایی نامحسوس در این مناطق، مقادیر تأثیر تغییرات آب‌وهوا بر عملکرد این محصول اندک برآورد می‌شود؛ اما در صورت تسریع تغییرات آب‌وهوایی، اثرات آن بر عملکرد افزایش خواهد یافت، که می‌تواند بیانگر اهمیت برنامه‌ریزی‌های سریع در راستای تعدیل تغییرات آب‌وهوا از طریق کاهش فعالیت‌های تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای و نیز سیاست‌گذاری‌های تطبیقی باشد، چراکه در صورت افزایش تغییرات آب‌وهوایی، مقابله با این تغییرات دشوار خواهد بود.

۵. در بررسی‌های مربوط به نحوه اثرگذاری تغییرات آب‌وهوایی بر بخش کشاورزی، بیشتر مطالعات تنها متغیرهای دما و بارش را وارد مدل‌ها کرده‌اند. این در حالی است که بر اساس یافته‌های تحقیق حاضر، سایر متغیرهای آب‌وهوایی از قبیل درصد رطوبت و سرعت باد نیز بر احتمال کشت و عملکرد نخود مؤثر بوده‌اند. از این‌رو، لازم است مطالعات آتی تا زمانی که با مشکل عدم دسترسی به داده‌ها مواجه نشده‌اند، تمامی متغیرهای آب‌وهوایی را مد نظر قرار دهند، چنان‌که ژانگ و همکاران (۳۲) نیز بر همین نکته تأکید داشتند.

منابع

1. Adams, R.M., Hurd, B.H., Lenhart, S. and Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research*, 11(1): 19-30.
2. Alizadeh, P. and Ghorbani, M. (2016). Alignment of regional management maize production and climate change in Iran (spatial panel approach). *Agroecology*, 6(2): 74-89. (Persian)
3. Ayouqi Pourtafti, H. (2013). Evaluating the impact of climate change on Canadian prairie agriculture, Doctoral Dissertation, University of British Columbia.
4. Azarakhshi, M., Farzadmehr, J., Eslah, M. and Sahabi, H. (2013). An investigation on trends of annual and seasonal rainfall and temperature

in climatologically different regions of Iran. *Range and Watershed Management*, 1(66): 1-16. (Persian)
5. Belloumi, M. (2014). Investigating the impact of climate change on agricultural production in eastern and southern Africa. Fifth World Congress of Environmental and Resource Economists, Istanbul, Turkey.
6. Case, A. (1992). Neighborhood influence and technological change. *Regional Science and Urban Economics*, 22(3): 491-508.
7. Chou, C. and Lan, C.W. (2012). Changes in the annual range of precipitation under global warming. *Climate*, 25(1): 222-235.
8. Daneshvar, M.R.M., Bagherzadeh, A. and Khosravi, M. (2013). Assessment of drought hazard impact on wheat cultivation using standardized precipitation index in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(11): 4463-4473.
9. Flores-Lagunes, A. and Schnier, K.E. (2012). Estimation of sample selection models with spatial dependence. *Applied Econometrics*, 27(2): 173-204.
10. Guiteras, R. (2009). The impact of climate change on Indian agriculture. Manuscript, Department of Economics, University of Maryland, College Park, Maryland.
11. Heckman, J. (1976). The common structure of statistical models of truncation, sample selection and limited dependent variables and a simple estimator for such models. *Annals of Economic and Social Measurement*, 5: 475-492.
12. Hosseini, S.S., Nazari, M.R. and Araghinejad, Sh. (2013). Investigating the impacts of climate on agricultural sector with emphasis on the role of adaptation strategies in this sector. *Agricultural Economics Reserch*, 1(44): 1-16. (Persian)
13. Huang, W., Deng, X., Zhan, J. and Lin, Y. (2009). Estimating the effects of climatic change on grain production: spatial versus non-spatial models. Biomedical Engineering and Informatics, BMEI'09. 2nd International Conference on. IEEE.
14. IPCC (2007). Climate change - synthesis report. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Rome.
15. Iran Meteorological Organization (2015). Available at: http://www.irimo.ir. (Persian)
16. Koocheki, A. and Nassiri Mahallati, M. (2016). Climate change effects on agricultural production of Iran: II. predicting productivity of field crops and adaptation strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(1): 1-20. (Persian)

17. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Jafari, L. (2015). Evaluation of climate change effect on agricultural production of Iran: I. predicting the future agroclimatic conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4): 651-664. (Persian)
18. LeSage, J.P. and Pace, R.K. (2009). Introduction to spatial econometrics. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
19. Mahmoodi, A. and Parhizkari, A. (2016). Economic analysis of the climate change impacts on products yield, cropping pattern and farmer's gross margin (case study: Qazvin plain). *Economic Growth and Development Research*, 1(2): 25-40. (Persian)
20. Masoodian, S.A. (2012). Iran weather. Esfahan: Sharieye Toos Publications. (Persian)
21. Ministry of Agriculture – Jahad. (2015). Available at: www.maj.ir. (Persian)
22. Moradi, A.M., Akhtarkavan, M., Ghiasvand, J. and Akhtarkavan, H. (2008). Assessment of direct adverse impacts of climate change on Iran. WSEAS International Conference on Cultural Heritage and Tourism, Heraklion, Crete Island, Greece: 89-94.
23. Nwachukwu, I.N., Ezeh, C.I. and Emerole, C.O. (2012). Effect of climate change on cocoa productivity in Nigeria. *African Crop Science Journal*, 20(2): 487-491.
24. Parhizkari, A., Mahmoodi, A. and Shokat Fadaee, M. (2017). Economic analysis of the effects of climate change on available water resources and agricultural products in the watersheds of Shahrood. *Agricultural Economics Research*, 9(33): 23-50. (Persian)
25. Pishbahar, E., Darparnian, S. and Ghahremanzadeh, M. (2015). Effects of climate change on maize yield in Iran: application of spatial econometric approach with panel data. *Agricultural Economics Research*, 7(26): 83-106. (Persian)
26. Schlenker, W., Hanemann, W.M. and Fisher, A.C. (2006). The impact of global warming on US agriculture: an econometric analysis of optimal growing conditions. *Review of Economics and Statistics*, 88(1): 113-125.
27. Shahraki, J., Sabouhi, M. and Yaghoubi, M. (2017). The impacts of climate change on wheat production: a stochastic production function approach. *Natural Environment Hazards,* 6(11): 69-84. (Persian)
28. Shirgholami, H. and Ghahreman, B. (2005). Study of time trend changes in annual mean temperature of Iran. *Water and Soil Science*, 9(1): 9-23. (Persian)

29. Tahamipour, M. and Salami, H. (2014). Determining the same risk areas for potato yield frost risk in Iran: the application of spatial econometrics. *Agricultural Economics*, 8(Special Issue): 55-67. (Persian)
30. Ward, P.S., Florax, R.J. and Flores-Lagunes, A. (2014). Climate change and agricultural productivity in Sub-Saharan Africa: a spatial sample selection model. *European Review of Agricultural Economics*, 41(2): 199-226.
31. Zare Abyaneh, H. (2013). Evaluating roles of drought and climatic factors on variability of four dry farming yields in Mashhad and Birjand. *Water and Soil Science,* 1(23): 39-56. (Persian)
32. Zhang, P., Zhang, J. and Chen, M. (2017). Economic impacts of climate change on agriculture: the importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. *Environmental Economics and Management*, 83: 8-31.