



Original Article

Examining the Effects of Climate Change on Saffron Yield in South Khorasan Province Using a Spatial Panel Approach

**Amir Dadrasmoghadam^{1*}, Gholam Ahmad Goharshahi², Mohammad Reza Bakhshi³,
Valiollah Sarani⁴**

1-Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

2-Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

3-Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.

4-Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.

*Corresponding Author Email: amdadras@eco.usb.ac.ir

Received 24 January 2025; Accepted 06 March 2025

Extended Abstract

Introduction: One of the greatest environmental challenges of the 21st century is climate change, which has serious economic and social consequences. These changes are the driving force behind global warming, the spread of droughts, and climate anomalies that directly affect agricultural productivity. In Iran, the agricultural sector is one of the main pillars of the economy, and the impact of these climate changes is highly noticeable. The arid and semi-arid regions of Iran, especially in South Khorasan, are clearly affected by these changes. Climate analyses indicate that by the years 2025 and 2050, the southern regions of Khorasan will experience an increase in average air temperature by 1.5 to 2.3 degrees Celsius. Saffron, as one of the strategic products and economic advantages of South Khorasan, is sensitive to temperature changes and is most affected by climate change. The significance of saffron cultivation in Iran is due to its high-water efficiency, job creation in rural areas, prevention of migration, income generation, and the development of non-oil exports. Therefore, understanding the consequences of climate change on saffron production and offering solutions to mitigate these effects is of special importance. Past studies have shown that temperature and precipitation are among the most significant factors influencing the risk and production of agricultural products, including saffron. Many studies have been conducted in this area, most of which focus on examining climate changes in a specific region. However, a limited number of these studies have also considered the indirect effects arising from spatial spillovers in neighboring regions in addition to examining the impact of climatic factors in one area. The aim of this research is to investigate direct and indirect effects of spatial spillovers of temperature, minimum and maximum temperature, precipitation, and relative humidity on saffron yield in the counties of South Khorasan over the period from 2011 to 2023. In addition

to examining the direct effects of climate change on saffron yield, this study also analyzes the indirect impacts of these changes through spatial spillovers of climatic variables on saffron yield in neighboring regions. The use of spatial econometric methods in this research represents the innovative aspect of this study.

Materials and Methods: In this research, meteorological data from the South Khorasan Meteorological Organization for variables such as precipitation, average temperature, average maximum temperature, average minimum temperature, and relative humidity (percentage) on an annual scale for the statistical period 2011-2023 has been collected. This study was conducted at the provincial level in South Khorasan and in 11 counties: Boshrouyeh, Birjand, Khousf, Darmian, Zirkuh, Sarayan, Sarbisheh, Tabas, Ferdows, Qaen, and Nehbandan. Data on saffron yield were also obtained from the Agricultural Jihad statistics of South Khorasan province. A spatial panel model was estimated using Stata17 software.

Results and Discussion: The result showed in the SAC and SDM models, temperature had different effects: in the SDM model, maximum temperature had a negative and significant impact on saffron yield, while in the SAC model, minimum temperature had a positive and significant impact. Additionally, relative humidity had a positive and significant impact only in the SEM model. The SAC model was selected as the optimal model, indicating no significant impact of precipitation and a negative and significant impact of temperature on saffron yield. Moreover, minimum temperature had a positive and significant impact. The spatial parameters also showed a positive and significant spatial correlation, highlighting the importance of spatial effects in data analysis.

Conclusion: Based on the results of this study, some recommendations are presented to improve saffron yield in South Khorasan Province. Firstly, temperature management is crucial for saffron cultivation, as increased temperature negatively impacts saffron yield. Therefore, it is suggested that farmers use cooling methods, such as shade nets and efficient irrigation systems, to mitigate the negative effects of temperature rise. Developing precise climate prediction and monitoring systems can help farmers plan better and adopt appropriate measures to cope with climate change. Secondly, although precipitation and relative humidity did not have a significant impact on saffron yield, previous research indicates that water resource management and the use of effective irrigation techniques, especially in low-rainfall areas, can help improve saffron yield. Using optimal agricultural techniques and improving planting and cultivation methods can also increase the productivity of agricultural lands. Educating farmers in this regard will be very effective as well. Finally, it is recommended to conduct more research on the effects of climate change and spatial spillovers on saffron in various regions of the country so policymakers and farmers can make better decisions for managing and improving saffron yield tailored to different climates, ensuring better climate condition management and improving saffron productivity nationwide.

Conflict of Interest: The authors declared no conflict of interest.

Keywords: Climate Change, Saffron yield, South Khorasan, Spatial econometric.



نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)

جلد دوازدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۳

شماره صفحه: ۳۲۸ - ۳۱۴

 <http://dx.doi.org/10.22077/jsr.2025.8818.1263>

مقاله پژوهشی

بررسی اثرات تغییرات آب و هوا بر عملکرد محصول زعفران در استان خراسان جنوبی با رهیافت پانل فضایی

امیر دادرس مقدم^{۱*}، غلام احمد گوهرشاهی^۲، محمدرضا بخشی^۳، ولی اله سارانی^۴

۱- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲- گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۳- استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۴- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

*نویسنده مسئول : Email: amdadras@eco.usb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۶

چکیده

ایران بزرگترین تولیدکننده زعفران در جهان و استان خراسان جنوبی در جایگاه دوم تولید این محصول در کشور قرار دارد لذا بررسی عوامل موثر بر عملکرد زعفران در این استان حایز اهمیت است. پژوهش حاضر به بررسی اثرات تغییرات آب و هوا شامل اثرات مستقیم و غیرمستقیم ناشی از سرریزهای فضایی دما، رطوبت نسبی و بارش بر عملکرد زعفران در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی در دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ پرداخته است. داده‌های مربوط به عملکرد زعفران از سایت جهادکشاورزی و داده‌های اقلیمی از سایت هواشناسی استان خراسان جنوبی اخذ گردید، برآورد و تحلیل داده‌ها به کمک مدل پانل فضایی و با استفاده از نرم افزار Stata17 انجام شد. نتایج براساس مدل SAC که به‌عنوان مدل بهینه در مدل‌های اقتصادسنجی فضایی انتخاب شده است و به‌طور کلی نشان می‌دهد شاخص بارش و رطوبت نسبی و شاخص حداکثر دما تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زعفران ندارد اما شاخص دما تأثیر منفی و معنی‌دار و شاخص حداقل دما تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین پارامترهای فضایی نیز همبستگی فضایی مثبت و معناداری را نشان دادند که بیانگر اهمیت اثرات فضایی در تحلیل داده‌ها بود. بر اساس نتایج این پژوهش، با بهبود روش‌های آبیاری و استفاده از تکنیک‌های بهینه کشاورزی، پایش و پیش‌بینی اقلیمی دما و انجام پژوهش‌های بیشتر در زمینه بررسی اثرات تغییرات اقلیمی و سرریزهای فضایی بر زعفران می‌توان به کشاورزان و سیاست‌گذاران کمک نمود تا با پیش‌بینی و مدیریت بهتر شرایط اقلیمی، بهره‌وری و عملکرد این محصول را در سال‌های آتی بهبود بخشند.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد سنجی فضایی، تغییرات آب و هوا، خراسان جنوبی، عملکرد زعفران.

مقدمه

یکی از بزرگترین چالش‌های زیست‌محیطی در قرن ۲۱، تغییرات اقلیمی است که پیامدهای جدی اقتصادی و اجتماعی به همراه دارد. این تغییرات به علت افزایش گرمایش جهانی، صورت گرفته که باعث گسترش خشکسالی و ناهنجاری‌های آب‌وهوایی گردیده و به طور مستقیم بر عملکرد محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارند (Gregory et al., 2005).

در ایران بخش کشاورزی یکی از پایه‌های اصلی اقتصاد است که تأثیرات این تغییرات آب و هوا به شدت مشهود است. مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، به خصوص در خراسان جنوبی، به وضوح تحت تأثیر این تغییرات قرار دارند. تحلیل‌های اقلیمی نشان می‌دهد که در سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰، مناطق جنوبی خراسان با ۱/۵ تا ۲/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دمای هوا مواجه خواهند شد (Kouchaki et al., 2006).

زعفران، به عنوان یکی از محصولات استراتژیک و مزیت‌های اقتصادی خراسان جنوبی، به تغییرات حرارتی حساس است و بیشترین تأثیر را از تغییرات آب و هوا می‌گیرد (Kouchaki et al., 2015). اهمیت زعفران‌کاری در ایران به دلیل بهره‌وری بالای آب، اشتغال‌زایی در مناطق روستایی، جلوگیری از مهاجرت، درآمدزایی و توسعه صادرات غیرنفتی بسیار حائز اهمیت است (Esmailnejad & Khashei, 2018). لذا شناخت پیامدهای تغییرات اقلیمی بر تولید زعفران و ارائه راهکارهای مقابله با این تأثیرات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تعداد زیادی مطالعات در مورد تأثیر تغییرات اقلیمی و آب و هوا بر عملکرد زعفران انجام شده است. این مطالعات از روش‌های مختلفی برای تحلیل این تأثیرات استفاده کرده‌اند.

کوزه‌گران و همکاران (Kouzegaran et al., 2011) به بررسی اثر نوسانات بلند مدت دما و بارندگی بر عملکرد زعفران پرداختند. نتایج نشان داد که بارندگی در زمستان و اوایل بهار باعث رشد بهتر زعفران و افزایش عملکرد آن می‌شود. جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh et al., 2015) به اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی زعفران در استان خراسان جنوبی پرداختند. نتایج نشان داد که تمامی مناطق مستعد کشت زعفران در سال ۲۰۴۰ میلادی با افزایش نیاز آبی مواجه خواهند شد. به طور کلی، میانگین افزایش نیاز آبی در استان حدود ۶۷ میلی‌متر پیش‌بینی شده است. این پژوهش

نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی می‌تواند به طور قابل توجهی بر مدیریت منابع آب و کشاورزی و عملکرد در منطقه تأثیر بسزایی بگذارد. کریمی فرد و همکاران (Karimifard et al., 2016) به بررسی اثرات اقلیمی بر زعفران در مناطق مختلف ایران پرداختند. نتایج نشان داد که دما و رطوبت نسبی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد زعفران هستند. در مناطقی که میانگین دما بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد است، عملکرد زعفران کاهش یافته است.

رستگاری پور و شیبانی (Rastegaripour & Sheibani, 2019) در مطالعه‌ای به بررسی دیدگاه زعفران‌کاران در خصوص تغییرات اقلیم و استراتژی‌های سازگاری در شهرستان تربت‌حیدریه پرداختند. نتایج نشان داد که اکثر زعفران‌کاران در استان خراسان رضوی به افزایش دما، کاهش بارندگی و ظهور خشکسالی و سرمازدگی اعتقاد دارند و نتایج نشان داد که تغییرات آب و هوا منجر به کاهش ذخیره آب، کاهش عملکرد محصول زعفران و کاهش کیفیت محصول شده است. این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی نه تنها از نظر کمی، بلکه از نظر کیفی نیز بر زعفران تأثیر می‌گذارد. گرگانی نژاد مشیزی (Gerkan Nezhad et al., 2023) به بررسی ردپای آب زعفران تحت تأثیر تغییر اقلیم در مناطق همگن اگروکلیماتیک در استان خراسان پرداختند. این مطالعه نشان داد که تغییرات اقلیمی می‌تواند ردپای آب زعفران را تحت تأثیر قرار دهد. این موضوع به ویژه در مناطقی که به شدت به بارش وابسته هستند، بیشتر مشهود است. عملکرد و ردپای آب زعفران نشان داد که اجزاء ردپای آب زعفران طی دوره آماری مورد مطالعه دارای روند کاهشی معنی‌دار و عملکرد زعفران نیز طی این دوره دارای روند افزایشی داشته است. همچنین روند متغیرهای اقلیمی نشان داد، دما رو به افزایش و رطوبت و بارش رو به کاهش است. جودکی و همکاران (Joudaki et al., 2023) در پژوهشی، روند تغییرات مکانی نواحی مناسب کشت زعفران در استان لرستان با توجه به تغییرات دما و بارش پرداختند. این پژوهش نشان داد که تغییرات اقلیمی می‌تواند مناطق مستعد کشت زعفران را تغییر دهد و نیاز به برنامه‌ریزی دقیق‌تری برای کشت زعفران ایجاد کند. وفايي و همکاران (Vafaei et al., 2024) اثر تغییرات اقلیم بر عملکرد زعفران در استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بارندگی، کود و پیاز تأثیر مثبت و دما تأثیر منفی بر

مطرح می‌شود. بر اساس ادبیات موضوع تصریح مدل‌های فضایی زیر در نظر گرفته شده است (Elhorst, 2010).

(۱) مدل خودرگرسیون فضایی^۳

این مدل یکی از مدل‌های مهم در اقتصادسنجی فضایی است که به تحلیل اثرات فضایی بین مشاهدات می‌پردازد. این مدل به‌طور هم‌زمان وقفه فضایی و همبستگی فضایی جملات خطا را در نظر می‌گیرد. شکل کلی این مدل به صورت زیر است. در این الگو Y برداری از متغیر وابسته (عملکرد زعفران در منطقه (i) ، X نمایانگر متغیرهای توضیحی (میزان بارش سالانه شهرستان i در زمان t ، متوسط دمای سالانه شهرستان i در زمان t ، میانگین حداکثر دما سالانه در شهرستان i در زمان t ، متوسط حداقل دما سالانه در شهرستان i در زمان t و رطوبت نسبی سالانه در استان i در زمان t) است. W ماتریس وزن‌های فضایی است که بر اساس مسافت بین شهرستان‌های خراسان جنوبی نسبت به هم شکل ماتریس تشکیل شده است. این الگوها به‌صورت هم‌زمان وقفه فضایی و همبستگی فضایی جمله خطا را دارا می‌باشد. در رابطه (۱)، β نشان‌دهنده برداری از پارامترها برای متغیرهاست که اثر متغیرهای مستقل (مانند دما، بارش، رطوبت نسبی) بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. ρ نشان‌دهنده ضریب خودهمبستگی فضایی است و قدرت وابستگی فضایی بین مناطق را بیان می‌کند و λ ضریب خود همبستگی فضایی در جملات خطا می‌باشد. α_i اثر ثابت منطقه‌ای (Fixed Effect) که اختلافات ذاتی بین مناطق را نشان می‌دهد. γ_t اثر ثابت زمانی (Time Effect) است که تغییرات زمانی مشترک را در نظر می‌گیرد. u_{it} جمله خطا است λ معمولاً در مدل‌های اقتصادسنجی فضایی نشان‌دهنده وابستگی فضایی بین متغیرهای وابسته است. λ می‌تواند نشان‌دهنده قدرت اثرات فضایی مستقیم یا غیرمستقیم باشد که از طریق ماتریس وزن فضایی (W) عمل می‌کند. اگر $(\lambda = 0)$ ، به این معناست که اثرات فضایی مستقیم در مدل وجود ندارد. θ معمولاً در مدل‌های اقتصادسنجی فضایی نشان‌دهنده اثرات غیرمستقیم یا سرریزهای فضایی است. این پارامتر می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر متغیرهای مستقل در یک منطقه بر متغیر وابسته در مناطق همسایه باشد. اگر $(\theta = 0)$ باشد، به این معناست که سرریزهای فضایی در مدل حذف می‌شوند. فرض $(\lambda = \theta)$

عملکرد زعفران دارد. قوچانیان حقوردی و همکاران (Ghochanian Haghverdi et al., 2025) در پژوهشی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصول زعفران و پیش‌بینی آن در مناطق مختلف استان خراسان جنوبی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که طی ۶۰ سال گذشته، میانگین سالانه کمبود فشار بخار با نرخ متوسط هر دهه حدود ۶۰ پاسکال افزایش یافته است. این افزایش با کاهش سالانه عملکرد زعفران همراه بوده است. این مطالعه بیان می‌کند که تغییرات اقلیمی می‌تواند به طور مستقیم بر عملکرد زعفران تأثیر منفی بگذارد.

مطالعات پیشین نشان می‌دهد که دما و بارش از جمله عوامل کلیدی هستند که بر ریسک و عملکرد محصولات کشاورزی، از جمله زعفران، تأثیر می‌گذارند. پژوهش‌های متعددی در این حوزه انجام شده است که اغلب به بررسی تغییرات آب و هوا در یک منطقه خاص متمرکز بوده‌اند. با این حال، تنها تعداد محدودی از این مطالعات به بررسی اثرات سرریزهای فضایی در مناطق مجاور پرداخته‌اند. این پژوهش به دنبال بررسی تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم ناشی از سرریزهای فضایی دما (حداقل و حداکثر)، بارش و رطوبت نسبی بر عملکرد زعفران در شهرستان‌های خراسان جنوبی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ است. این مطالعه ضمن تحلیل اثرات تغییرات آب و هوا بر عملکرد زعفران، به بررسی اثرات فضایی این متغیرها در مناطق مجاور نیز می‌پردازد. استفاده از روش اقتصادسنجی فضایی در این پژوهش، ویژگی نوآورانه آن را تشکیل می‌دهد.

مواد و روش‌ها

اقتصادسنجی فضایی

اقتصادسنجی فضایی شاخه‌ای از اقتصادسنجی است که به تحلیل اثرات فضایی و همبستگی‌های موجود در داده‌ها می‌پردازد. اثرات فضایی شامل دو نوع عمده وابستگی فضایی^۱ و ناهمسانی فضایی^۲ هستند. وابستگی فضایی به معنای همبستگی بین داده‌های نزدیک به هم از نظر مکانی است، در حالی که ناهمسانی فضایی به تفاوت‌های فضایی در داده‌ها اشاره دارد. در روش‌شناسی اقتصادسنجی فضایی بسته به اینکه متغیر وابسته، متغیرهای توضیحی و یا جمله خطا وابستگی فضایی داشته باشند، مدل‌های فضایی متفاوتی

^۳Spatial Autoregressive Model

^۱ Spatial Dependence

^۲ Spatial Heterogeneity

این شرط می‌تواند در تحلیل‌هایی که نیاز به ساده‌سازی مدل دارند، مفید باشد. شکل کلی این الگو به صورت زیر است (Salami & Nemati, 2014):

رابطه (۲)

$$(\lambda = 0) \Rightarrow Y_i = \tau Y_{i,t-1} + \rho WY_{it} + X_{it}\beta + DX_{it}\theta + \alpha_i + \gamma_t + u_{it}$$

۳) مدل خطای فضایی (SEM)²

اگر در الگوی شماره (۳) پارامتر ρ برابر با صفر قرار داده شود، الگوی خود رگرسیونی با همبستگی در جملات اخلال (SEM) به دست می‌آید. Y_i متغیر وابسته (مثلاً عملکرد زعفران در منطقه (i)، β اثر متغیرهای مستقل (مانند دما، بارش، رطوبت نسبی) بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. α_i اثر ثابت منطقه‌ای (Fixed Effect) است که اختلافات ذاتی بین مناطق را نشان می‌دهد. γ_t اثر ثابت زمانی (Time Effect) است که تغییرات زمانی مشترک را در نظر می‌گیرد. جمله V_{it} جمله خطا است که خود به دو بخش تقسیم می‌شود. u_{it} جمله تصادفی خطا می‌باشد که مستقل است. E ماتریس وزن فضایی (Spatial Weight Matrix) است که تعامل بین مناطق را نشان می‌دهد. شرط $(\rho = \theta = \tau = 0)$ به معنای حذف برخی از اجزای مدل است که اگر $\rho = 0$ باشد، اثر فضایی مستقیم (ρWY_{it}) حذف می‌شود. به عبارت دیگر، متغیر وابسته در یک منطقه دیگر تحت تأثیر متغیر وابسته در مناطق همسایه قرار نمی‌گیرد. اگر $(\theta = 0)$ باشد، اثرات غیرمستقیم یا سرریزهای فضایی متغیرهای مستقل $(DX_{it}\theta)$ حذف می‌شوند. اگر $(\tau = 0)$ باشد اثر متغیر وابسته در دوره قبل $(\tau Y_{i,t-1})$ حذف می‌شود. به عبارت دیگر، مدل دیگر به بررسی اثرات خودهمبستگی زمانی نمی‌پردازد. شرط $(\rho = \theta = \tau = 0)$ به معنای ساده‌سازی مدل است و اثرات فضایی تنها در جمله خطا لحاظ می‌شوند. این نوع مدل معمولاً به عنوان مدل خطای فضایی (SEM) شناخته می‌شود، که در آن وابستگی فضایی بین خطاها بررسی می‌شود، اما متغیرهای مستقل و متغیر وابسته دارای وابستگی فضایی مستقیم نیستند. این الگو بیانگر آن است که همبستگی فضایی مستقیم بین شهرستانهای مختلف خراسان جنوبی وجود ندارد، بلکه همبستگی از طریق جملات اخلال در مناطق همسایه صورت می‌گیرد (Anselin, 2003).

0)، مدل به یک فرم ساده‌تر تبدیل می‌شود که تنها شامل اثرات مستقیم متغیرها و اثرات ثابت منطقه‌ای و زمانی است. به عبارت دیگر اثرات فضایی مستقیم (λ) حذف می‌شوند. اثرات غیرمستقیم یا سرریزهای فضایی (θ) نیز حذف می‌شوند.

رابطه (۱)

$$(\lambda = \theta = 0) \Rightarrow y_i = \tau Y_{i,t-1} + \rho WY_{it} + X_{it}\beta + \alpha_i + \gamma_t + u_{it}$$

۲) مدل دوربین فضایی (SDM)¹

مدل دوربین فضایی (SDM) تغییرات متغیر وابسته را به صورت ترکیب خطی از مقادیر متغیرهای وابسته و مستقل در شهرستان‌های همسایه را توضیح می‌دهد. در این مدل، علاوه بر متغیرهای توضیحی، وقفه فضایی متغیر وابسته و متغیرهای توضیحی نیز وارد الگو می‌شود. Y_i متغیر وابسته (مثلاً عملکرد زعفران در منطقه (i)، τ اثر متغیر وابسته در دوره قبل $(t-1)$ بر متغیر وابسته در دوره فعلی را نشان می‌دهد. ρ پارامتری است که نشان‌دهنده قدرت وابستگی فضایی بین مناطق است. W ماتریس وزن فضایی (Spatial Weight Matrix) است که تعامل بین مناطق را نشان می‌دهد. β اثر متغیرهای مستقل (مانند دما، بارش، رطوبت نسبی) بر متغیر وابسته می‌باشد. D ماتریس وزن فضایی مشابه W است که برای متغیرهای مستقل استفاده می‌شود. θ پارامتری است که نشان‌دهنده قدرت اثرات سرریز فضایی متغیرهای مستقل است. α_i اثر ثابت منطقه‌ای (Fixed Effect) است که اختلافات ذاتی بین مناطق را نشان می‌دهد. γ_t اثر ثابت زمانی (Time Effect) است که تغییرات زمانی مشترک را در نظر می‌گیرد. u_{it} جمله خطا است. در این معادله، λ پارامتری است که مرتبط با اثرات غیرمستقیم یا سرریزهای فضایی است. اگر $(\lambda = 0)$ باشد، این شرط به معنای حذف برخی از اثرات غیرمستقیم در مدل است. در این حالت، اثرات فضایی مستقیم (ρWY_{it}) همچنان در مدل باقی می‌ماند. اما اثرات غیرمستقیم یا سرریزهای فضایی $(DX_{it}\theta)$ حذف می‌شوند. در این حالت، تنها اثرات مستقیم متغیرها و اثرات ثابت منطقه‌ای و زمانی در نظر گرفته می‌شوند. با فرض $(\lambda = 0)$ ، معادله به یک فرم ساده‌تر تبدیل می‌شود که تنها شامل اثرات مستقیم متغیرها و اثرات ثابت منطقه‌ای و زمانی است.

² Spatial Error Model

¹ Spatial Durbin Model

رابطه (۳)

$$\begin{aligned} (\rho = \theta = \tau = 0) &\Rightarrow Y_i \\ &= X_{it}\beta + \alpha_i + \gamma_t + v_{it} \\ &= \lambda Ev_{it} + u_{it} \end{aligned} \quad v_{it}$$

(۴) مدل فضایی عمومی (ISAC)

این مدل شامل هر دو مدل مختلط رگرسیونی و خطای فضایی است و به صورت زیر است:

رابطه (۴)

$$\begin{aligned} (\theta = \tau = 0) &\Rightarrow Y_i = \tau Y_{i,t-1} + \rho WY_{it} + X_{it}\beta + \\ &\alpha_i + \gamma_t + v_{it} \quad v_{it} = \lambda Ev_{it} + u_{it} \end{aligned}$$

Y_i متغیر وابسته (مثلاً عملکرد زعفران در منطقه (i) ، β اثر متغیرهای مستقل (مانند دما، بارش، رطوبت نسبی) بر متغیر وابسته را نشان می‌دهد. ρ پارامتری است که نشان‌دهنده قدرت وابستگی فضایی بین مناطق است. W ماتریس وزن فضایی است که تعامل بین مناطق را نشان می‌دهد. V_{it} جمله خطا است که خود به دو بخش تقسیم می‌شود. λEv_{it} که تحت تأثیر وابستگی فضایی قرار دارد. u_{it} جمله تصادفی خطا می‌باشد که مستقل است. E ماتریس وزن فضایی است که تعاملات بین مناطق را نشان می‌دهد. α_i اثر ثابت منطقه‌ای (Fixed Effect) است که اختلافات ذاتی بین مناطق را نشان می‌دهد. γ_t اثر ثابت زمانی (Time Effect) است که تغییرات زمانی مشترک را در نظر می‌گیرد. شرط $(\theta = \tau = 0)$ به معنای حذف برخی از اجزای مدل است. اگر $(\tau = 0)$ باشد، اثر متغیر وابسته در دوره قبل $(\tau Y_{i,t-1})$ حذف می‌شود. به عبارت دیگر، مدل دیگر به بررسی اثرات خودهمبستگی زمانی نمی‌پردازد. اثرات غیرمستقیم یا سرریزهای فضایی متغیرهای مستقل $(DX_{it}\theta)$ حذف می‌شوند. اگر $(\theta = 0)$ باشد، اثرات غیرمستقیم یا سرریزهای فضایی متغیرهای مستقل $(DX_{it}\theta)$ حذف می‌شوند. شرط $(\theta = \tau = 0)$ به معنای ساده‌سازی مدل است و اثرات فضایی تنها در جمله خطا و متغیر وابسته لحاظ می‌شوند. این نوع مدل معمولاً به عنوان ترکیبی از مدل SAR و SEM شناخته می‌شود، که در آن وابستگی فضایی بین متغیر وابسته (ρWY_{it}) وجود دارد و وابستگی فضایی بین خطاها (λEv_{it}) نیز در نظر گرفته می‌شود.

زمانی مدل‌های خودرگرسیون فضایی و دوربین فضایی استاندارد به دست می‌آیند که مدل‌های تصریحی ایستا باشند $(\tau = 0)$. ضریب خود رگرسیون فضایی (ρ) نشان می‌دهد که متغیر وابسته در یک منطقه چقدر از طریق متغیر وابسته مناطق مجاور تحت تأثیر قرار می‌گیرد. همچنین در صورت وابستگی فضایی اجزای اخلاص، یک شوک خارجی در یک منطقه به تغییرات متوسط در متغیر وابسته مناطق مجاور منجر می‌شود و ضریب خطای فضایی (λ) اندازه آن را نشان می‌دهد (Shahbazi & Rezaei, 2015). برای بررسی و آزمون ضریب خودهمبستگی فضایی و معنی‌داری آن می‌توان از آماره‌های مختلفی مانند آماره موران، گری و گتیس استفاده کرد. در مطالعات تجربی، عموماً از آماره موران در تحلیل خودهمبستگی فضایی استفاده می‌شود (Elhorst, 2010). در مدل برآورد شده، قبل از برآورد مدل‌های پانل فضایی، لازم است وابستگی فضایی و وجود خودهمبستگی بین جملات اخلاص مورد آزمون قرار گیرد. برای این منظور از آزمون LM و آزمون موران استفاده می‌شود. فرض وجود خودهمبستگی فضایی میان مشاهدات توسط آزمون LM صورت می‌گیرد که بصورت رابطه زیر می‌باشد. که در آن θ^{rwy} نشان‌دهنده اثر فضایی مستقیم متغیر وابسته (Y) است که توسط ماتریس وزن فضایی (W) تعیین می‌شود. σ^2_{ml} واریانس برآورد شده با استفاده از روش حداکثر درست‌نمایی (Maximum Likelihood) می‌باشد.

$[WXB]MWXB$ نشان‌دهنده اثر فضایی متغیرهای مستقل (X) است که تحت تأثیر ماتریس وزن فضایی (W) قرار دارد. $tr[W^r W + W^2]$ اثر (Trace) ماتریس‌های وزن فضایی است که نشان‌دهنده ساختار فضایی داده‌ها است. آماره آزمون LM که برای بررسی وجود خودهمبستگی فضایی استفاده می‌شود. اگر مقدار LM محاسبه شده بیشتر از مقدار بحرانی باشد، وجود خودهمبستگی فضایی تأیید می‌شود

(۵)

$$LM = \frac{\frac{[\theta^{rwy}]^2}{\sigma^2_{ml}}}{\frac{[WXB]MWXB}{\sigma^2_{ML}} + tr[W^r W + W^2]}$$

آزمون موران فرض وجود خود همبستگی فضایی میان جملات اخلاص را مورد بررسی قرار می‌دهد که اجزای رابطه موران بدین صورت است. مقدار شاخص موران بین ۱- و ۱+ قرار می‌گیرد و اگر $I > 0$ نشان‌دهنده خودهمبستگی فضایی مثبت است (نقاط مشابه در کنار یکدیگر قرار دارند). $I < 0$

در رابطه (۷)، AP_{it} میزان تولید متوسط شهرستان i در زمان t می‌باشد. این متغیر نشان دهنده میزان عملکرد محصول است. R نشان دهنده میزان بارش سالانه شهرستان i در زمان t می‌باشد. T_{it} بیانگر متوسط دمای سالانه شهرستان i در زمان t می‌باشد. $Max T_{it}$ میانگین حداکثر دما سالانه در شهرستان i در زمان t را نشان می‌دهد. $Min T_{it}$ حداقل دما سالانه در شهرستان i در زمان t را نشان می‌دهد. $Ln RH_{it}$ بیانگر رطوبت نسبی سالانه در استان i در زمان t است. α ضریب تاثیر متغیر مستقل (دما، بارش و رطوبت نسبی) بر عملکرد زعفران را نشان می‌دهد. α_0 ضریب ثابت است. $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ و α_5 به ترتیب ضرایب متغیرهای بارش، متوسط دما، حداکثر دما، حداقل دما و رطوبت نسبی بر عملکرد زعفران در شهرستانهای خراسان جنوبی را نشان می‌دهد. ε_i هم جمله خطای تصادفی است.

در این پژوهش، داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی خراسان جنوبی برای متغیرهایی نظیر بارش، میانگین دما، میانگین حداکثر دما، میانگین حداقل دما و رطوبت نسبی (درصد) در مقیاس سالیانه طی دوره آماری ۱۳۹۰-۱۴۰۲ جمع‌آوری شده است. این مطالعه در سطح استان خراسان جنوبی و در ۱۱ شهرستان بشرویه، بیرجند، خوسف، درمیان، زیرکوه، سرایان، سربیشه، طبس، فردوس، قاین و نهبندان انجام گرفته است. داده‌های مربوط به عملکرد زعفران نیز از آمارنامه‌های جهادکشاورزی استان خراسان جنوبی اخذ شده است. برای برآورد داده‌ها، از مدل پانل فضایی در نرم‌افزار Stata 17 استفاده شده است.

در ابتدا آزمون ریشه واحد (مانایی) برای متغیرها صورت گرفته است. از میان آزمون‌های مختلف ریشه واحد مربوط به داده‌های ترکیبی، دو آزمون که توسط لوین و همکاران (Levin et al., 2002) انجام شده، رایج‌تر هستند و به طور گسترده‌ای به کار گرفته می‌شوند. در آزمون لین، لوین، چو^۱ فرض می‌شود که ضریب در بین همه مقاطع یکسان است که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

نتایج و بحث

در جدول (۱) سطح زیرکشت، تولید و عملکرد زعفران و متغیرهای آب و هوایی به تفکیک شهرستان‌های خراسان جنوبی در طی دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ ارائه شده است.

نشان‌دهنده خودهمبستگی فضایی منفی (نقاط متفاوت در کنار یکدیگر قرار دارند). $I=0$ نشان‌دهنده عدم وجود خودهمبستگی فضایی است. W_{ij} ماتریس وزن فضایی است که تعامل بین مناطق i و j را نشان می‌دهد. مقادیر این ماتریس معمولاً بر اساس فاصله جغرافیایی یا همجواری تعریف می‌شوند. e_i جمله خطا (Residuals) برای منطقه i است که نشان‌دهنده اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده است. $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} e_i \cdot e_j$ این جمله نشان‌دهنده کوواریانس فضایی بین خطاهای مناطق مختلف است. اگر خطاهای مناطق همسایه به صورت مثبت یا منفی همبسته باشند، این مقدار بزرگ خواهد بود. $\sum_{j=1}^n e_i^2$ مجموع مربعات خطاهای تمام مناطق است که به عنوان مخرج معادله عمل می‌کند و شاخص را به صورت استاندارد نرمال می‌کند. $e'We$ حاصل ضرب بردار خطاهای e در ماتریس وزن فضایی (W) است که نشان‌دهنده کوواریانس فضایی است. $e'e$ حاصل ضرب داخلی بردار خطاهای (e) است که معادل مجموع مربعات خطاهای تمام مناطق است. شاخص موران بصورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

رابطه (۶)

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} e_i \cdot e_j}{\sum_{j=1}^n e_i^2} = \frac{e'We}{e'e}$$

در این پژوهش بر اساس طبقه‌بندی الهورست و استفاده از آزمون‌های تشخیصی، مدل مناسب برای برآورد داده‌های ترکیبی انتخاب شده است. این فرآیند شامل برآورد رگرسیون‌های مدل‌های مختلف اقتصادسنجی فضایی و انجام آزمون‌های مختلف مانند آزمون موران برای تأیید وجود اثرات فضایی است. سپس بر اساس نتایج آزمون LM (Florax et al., 2003)، مدل بهینه از میان مدل‌های SAR، SEM، SDM و SAC انتخاب می‌شود. با استفاده از این روش‌ها بهترین مدل برای تحلیل داده‌های فضایی انتخاب می‌شود. به منظور بررسی اثر فاکتورهای اقلیمی بر عملکرد زعفران در شهرستانهای استان خراسان جنوبی از مدل زیر استفاده شده است.

رابطه (۷)

$$\begin{aligned} \ln AP_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln R_{it} + \alpha_2 \ln T_{it} \\ & + \alpha_3 \ln Max T_{it} \\ & + \alpha_4 \ln Min T_{it} \\ & + \alpha_5 \ln RH_{it} + \varepsilon_i \end{aligned}$$

شهرستان قاین با سطح زیرکشت ۴۷۹۲ هکتار بزرگترین منطقه زیرکشت زعفران را دارد، در حالی که شهرستان نهبندان تنها ۱۷۲ هکتار زیرکشت را دارا می‌باشد. در زمینه عملکرد، شهرستان درمیان با ۳/۶۴۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین بهره‌وری محصول زعفران را نشان می‌دهد و این در حالی است که شهرستان طبس با ۲/۸۷۲ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را دارد. این تفاوت‌ها می‌تواند به دلیل تکنیک‌های کشاورزی، نوع محصول، کیفیت خاک و فاکتورهای اقلیمی باشد.

در جدول (۱) مشاهده می‌شود که تفاوت‌ها و شباهت‌های چشمگیری بین مناطق مختلف استان خراسان جنوبی وجود دارد. شهرستان قاین بیشترین میزان تولید زعفران را در استان دارد که با تولید کل ۱۶۶۶۸ کیلوگرم در جایگاه نخست استان قرار دارد، در حالی که شهرستان نهبندان با تولید کل ۵۴۸ کیلوگرم، کمترین میزان تولید زعفران را دارد. این تفاوت‌ها تا حد زیادی می‌تواند به سطح زیرکشت و شرایط اقلیمی مرتبط باشد.

جدول ۱. میانگین سطح زیرکشت، تولید و عملکرد زعفران و متغیرهای اقلیمی به تفکیک شهرستان‌های استان خراسان جنوبی در طی دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲

Table 1. Average Cultivation Area, Production, and Yield of Saffron, and Climatic Variables by Counties of South Khorasan Province during the Period of 2011 to 2023

شهرستان County	کل سطح زیرکشت (h ²) Cultivation Area	تولید (ton) Total Product	عملکرد (kg/h ²) Yield	بارش (mm) Rainfall	میانگین دما (°c) Average Temperature	میانگین حداکثر دما (°c) Max Temperature	میانگین حداقل دما (°c) Min Temperature	رطوبت نسبی (%) Relative Humidity
بشرویه Boshruyeh	1136	3.219	2.9250	108.80	19.90	27.62	12.38	32.07
بیرجند Birjand	919	3.245	3.4540	125.59	16.86	25.25	8.56	30.23
خوسف Khusf	494	1.721	3.0040	85.39	19.98	27.53	12.47	30.23
درمیان Darmian	287	1.060	3.6540	115.05	16.02	23.22	3.93	30.23
زیرکوه Zirkuh	1360	4.757	3.2420	153.10	19.03	25.24	12.89	30.23
سرایان Sarayan	2800	8.130	2.9530	124.08	18.60	25.38	11.83	32.92
سربیشه Sarbisheh	550	1.724	3.0730	162.90	13.63	21.83	5.37	35.69
طبس Tabas	340	1.157	2.8720	67.65	23.56	30.14	16.99	25.14
فردوس Ferdows	2613	8.282	3.2360	130.82	18.22	24.68	11.68	31.00
قاین Qaen	4792	16.668	3.4900	149.55	15.63	23.73	7.51	40.07
نهبندان Nehbandan	172	0.548	3.0340	93.55	20.53	27.92	13.11	25.84

منبع: (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۴۰۳)

Source: Agricultural Statistics Yearbook, 2024

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که تمام متغیرها در سطح مانا (پایا) هستند. این بدین معناست که میانگین و واریانس متغیرها در طول زمان ثابت باقی می‌مانند. همچنین، کوواریانس بین دو دوره زمانی یا وقفه بین دو دوره فقط به فاصله بین دو دوره بستگی دارد و ارتباطی به زمان واقعی محاسبه ندارد.

جدول (۳) برای بررسی آزمون‌های تشخیصی و تشخیص همبستگی مکانی در اجزای اخلا، از آزمون‌های موران، جری، جتیس و شاخص‌های آماری دیگر استفاده شد.

نتایج جدول (۳)، نشان‌دهنده وجود وابستگی و همبستگی فضایی در اجزای اخلا است. در این پژوهش از سه آزمون وابستگی فضایی Moran، Geary و Getis استفاده شد. نتایج آزمون موران نشان‌دهنده وابستگی فضایی میان اجزای اخلا است. در میان مدل‌های مختلف تخمین‌زده شده، مدل SAC بهینه است، زیرا مقدار R^2 بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد.

نتایج برآورد مدل‌های اقتصادسنجی فضایی (SAR, SEM, SDM و SAC) در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که در مدل SAC (مدل بهینه) بارش تأثیر معنی‌داری بر متغیرهای وابسته ندارد. همچنین در مدل‌های SAC و دما تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زعفران دارد، اما ضریب‌ها مخالف یکدیگر هستند که نشان‌دهنده پیچیدگی اثرات دما بر متغیرهای وابسته است. در مدل SAC، حداقل دما تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد زعفران دارد. بر اساس مدل SAC که به عنوان مدل بهینه در مدل‌های اقتصادسنجی فضایی انتخاب شده است، بارش با ضریب $0/0001$ و احتمال $0/908$ نشان‌دهنده عدم تأثیر معنی‌دار بارش بر عملکرد محصول زعفران در شهرستان‌های خراسان جنوبی است. در مقابل، دما با ضریب $-0/094$ و احتمال $0/023$ نشان‌دهنده تأثیر منفی و معنی‌دار دما بر متغیر وابسته است. به این معنا که افزایش دما باعث کاهش عملکرد زعفران می‌شود. این کاهش ممکن است به دلیل ایجاد تنش حرارتی، تبخیر سریع‌تر آب از سطح خاک و برگ‌های گیاه و کاهش رطوبت موجود برای گیاهان باشد. همچنین، دماهای بالاتر می‌تواند باعث افزایش فعالیت آفات و بیماری‌های گیاهی شود که به زعفران آسیب می‌زنند. بنابراین، مدیریت دما و بهینه‌سازی شرایط اقلیمی برای حفظ و بهبود عملکرد زعفران در مناطق مختلف استان خراسان جنوبی اهمیت زیادی دارد.

از نظر بارش، شهرستان سربیشه با $162/90$ میلی‌متر بیشترین میزان بارش را طی دوره زمانی 1390 تا 1402 تجربه کرده و شهرستان طبس با $67/65$ میلی‌متر کمترین میزان بارش را طی دوره مورد بررسی داشته است. شهرستان طبس با میانگین دمای $23/56$ درجه سانتی‌گراد گرمترین منطقه است و شهرستان سربیشه با میانگین دمای $13/631$ درجه سانتی‌گراد سردترین منطقه است. همچنین میانگین حداکثر و حداقل دما نیز تفاوت‌های قابل توجهی را نشان می‌دهند که می‌تواند بر عملکرد زعفران اثر بگذارد. در نهایت، از نظر رطوبت نسبی، شهرستان قاین با $40/07$ درصد بیشترین رطوبت را طی دوره مورد بررسی داشته، در حالی که شهرستان طبس با $25/14$ درصد کمترین رطوبت را دارد. این عامل نیز می‌تواند بر روش‌های آبیاری و نگهداری محصول زعفران تأثیر بگذارد.

چنانچه مشاهده می‌شود شهرستان‌های قاین و فردوس با سطح زیرکشت بالاتر، تولید کل بیشتری دارند. این نشان می‌دهد که افزایش سطح زیرکشت می‌تواند به افزایش تولید کل کمک کند اما کارایی و بهره‌وری نیز باید مدنظر قرار گیرد. شهرستان‌های درمیان و بیرجند که تولید در هکتار بالایی دارند، نشان‌دهنده بهره‌وری بهتر و استفاده موثرتر از زمین‌های کشاورزی می‌باشد. این می‌تواند به استفاده از تکنیک‌های بهینه کشاورزی، نوع محصولات کشت شده و شرایط اقلیمی مرتبط باشد. بارش یکی از عوامل کلیدی در تولیدات کشاورزی است. شهرستان‌هایی مانند سربیشه با بارش بیشتر عملکرد بهتری داشته‌اند. البته برنامه‌ریزی منابع آبی و تکنیک‌های آبیاری موثر می‌تواند به بهبود عملکرد در مجموع کمک نماید. دما نقش مهمی در محصول زعفران در هر منطقه دارد. شهرستان‌هایی با میانگین دمای معتدل مانند فردوس و قاین ممکن است شرایط بهتری برای کشت زعفران داشته باشند. رطوبت نسبی می‌تواند بر روش‌های آبیاری و نگهداری محصول زعفران تأثیر بگذارد. شهرستان‌های قاین با رطوبت نسبی بالاتر ممکن است نیاز کمتری به آبیاری مداوم داشته باشند، در حالی که مناطق خشک‌تر در خراسان جنوبی نیاز به تکنیک‌های پیشرفته آبیاری دارند.

در این مطالعه، ابتدا آزمون پایایی داده‌ها انجام شد. از آزمون لین، لوین، چو (LLC) برای بررسی مانایی متغیرها و اطمینان از عدم وجود رگرسیون کاذب در جدول (۲) استفاده شد که بصورت زیر ارائه شده است:

استان خراسان جنوبی است. این نتایج می‌تواند به سیاست‌گذاران و کشاورزان کمک کند تا با اتخاذ تصمیمات بهتر و مناسب، بهره‌وری زعفران را افزایش داده و تنش‌های محیطی را کاهش دهند.

همچنین، دماهای بالاتر شبانه شرایط بهتری برای رشد و نمو زعفران فراهم می‌کند و می‌تواند به بهبود فرآیندهای متابولیکی و جذب مواد مغذی گیاه کمک کند. در نهایت، رطوبت نسبی با ضریب ۰/۰۰۵ و احتمال ۰/۵۸۳ نشان‌دهنده عدم تأثیر معنی‌دار رطوبت نسبی بر متغیر عملکرد زعفران در

جدول ۲. آزمون ریشه واحد لین، لوین، چو (LLC)

Table 2. Levin, Lin & Chu (LLC) Unit Root Test

متغیر Variable	آماره Statistic	احتمال Probability	نتیجه مانایی Stationarity Result
عملکرد زعفران Saffron Yield	-7.3634	0.002	مانا در سطح Stationary at level
بارش Rainfall	-10.2775	0.000	مانا در سطح Stationary at level
میانگین دما Average Temperature	-7.8147	0.0942	مانا در سطح Stationary at level
میانگین حداکثر دما Maximum Temperature	-7.9593	0.0000	مانا در سطح Stationary at level
میانگین حداقل دما Minimum Temperature	-7.7749	0.0001	مانا در سطح Stationary at level
رطوبت نسبی Relative Humidity	-11.0179	0.0000	مانا در سطح Stationary at level

منبع: یافته‌های پژوهش

Source: Research Findings

جدول ۳. آزمون‌های تشخیصی برای مدل پانل فضایی

Table 3. Diagnostic Tests for Spatial Panel Model

آماره Statistic	خودرگرسیون فضایی SAR	خطای فضایی SEM	دوربین فضایی SDM	فضایی عمومی SAC
موران Moran's I	0.2660(0.0000)	0.2660(0.0000)	0.2191(0.0000)	0.2660(0.0000)
جری Geary	0.7934(0.0000)	0.7934(0.0000)	0.8396(0.0000)	0.7934(0.0000)
جتیس Getis	606.3760(0.0000)	606.3760(0.0000)	499.4775(0.0000)	606.3760(0.0000)
خطای لاگرانژ LM Error	37.9000(0.0000)	37.9000(0.0000)	23.8725(0.0000)	37.9000(0.0000)
وقفه لاگرانژ LM Lag	43.6734(0.0000)	43.6734(0.0000)	36.1950(0.0000)	43.6734(0.0000)
خطای لاگرانژ قدرتمند Robust LM Error	5661.7940(0.0000)	5661.7940(0.0000)	2880.0000(0.0000)	5705.4600(0.0000)
وقفه لاگرانژ قدرتمند Robust LM Lag	5667.5668(0.0000)	5667.5668(0.0000)	2880.0000(0.0000)	5705.4600(0.0000)
R ²	0.8195	0.8840	0.7449	0.9071

منبع: یافته‌های پژوهش

Source: Research Findings

جدول ۴. نتایج برآورد مدل های اقتصاد سنجی فضایی
Table 4. Estimated Results of Spatial Econometrics Models

متغیرها variables	احتمال probability	فضایی عمومی SAC	احتمال probability	دوربین فضایی SDM	احتمال probability	خطای فضایی SEM	احتمال probability	خودرگرسیون فضایی SAR
بارش R	0.908	0.001	0.250	0.0017	0.578	0.0008	0.984	0.0001
میانگین دما T	0.023 **	-0.094	0.042**	0.408	0.553	0.109	0.119	-0.116
میانگین حداکثر دما Max T	0.173	-0.0447	0.001 ***	-0.350	0.960	0.004	0.378	-0.06
میانگین حداقل دما Min T	0.012 **	0.114	0.332	-0.112	0.336	-0.907	0.122	0.119
رطوبت نسبی RH	0.583	0.005	0.846	0.002	0.017 **	0.034	0.604	0.008
سرریز فضایی بارش W* R	-	-	0.511	8.37 e-7	-	-	-	-
سرریز فضایی میانگین دما W* T	-	-	0.002	-0.002	-	-	-	-
سرریز فضایی میانگین حداکثر دما W* Max T	-	-	0.421	0.004	-	-	-	-
سرریز فضایی میانگین حداقل دما W* MinT	-	-	0.001	0.002	-	-	-	-
سرریز فضایی رطوبت نسبی W* RH	-	-	0.584	7.87 e-6	-	-	-	-
لامبدا λ	0.000 ***	-0.004	-	-	-	-	-	-
رو ρ	0.000 ***	0.003	-	-	-	-	0.000 ***	0.001
سیگما Sigma	0.000 ***	0.617	0.000 ***	0.697***	0.000 ***	0.769	0.00 ***	0.780

منبع: یافته‌های پژوهش

توضیحات: *, **, *** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵، و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

Source: Research Findings

*, **, *** indicate significance levels at 10%, 5%, and 1%, respectively.

وجود همبستگی فضایی مثبت در متغیرهای وابسته است و این بیانگر آن است که مقادیر متغیر عملکرد زعفران در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی در مکان‌های مختلف به صورت فضایی همبسته هستند و ارزش یک متغیر در یک مکان تحت تأثیر ارزش همان متغیر در مکان‌های مجاور قرار می‌گیرد.

در مدل SAC، پارامترهای فضایی نقش مهمی در تحلیل اثرات فضایی و همبستگی‌ها دارند. پارامتر λ (لامبدا) با مقدار ۰/۰۰۴- و احتمال ۰/۰۰۰ نشان‌دهنده همبستگی فضایی در خطاها است، به عبارت دیگر خطاهای مدل در مکان‌های مختلف با یکدیگر همبستگی دارند و مقدار خطا در یک مکان می‌تواند بر مقدار خطا در مکان‌های مجاور تأثیر بگذارد. پارامتر ρ با مقدار ۰/۰۰۳ و احتمال ۰/۰۰۰ نشان‌دهنده

مثبت و معناداری را نشان دادند که بیانگر اهمیت اثرات فضایی در تحلیل داده‌ها بود.

بر اساس نتایج این مطالعه، پیشنهاداتی برای بهبود عملکرد زعفران در استان خراسان جنوبی ارائه می‌شود. اولاً، مدیریت دما برای محصول زعفران بسیار مهم می‌باشد، زیرا افزایش دما به عنوان یک عامل منفی بر عملکرد زعفران تأثیرگذار است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود کشاورزان از روش‌های خنک‌سازی گیاهان مانند سایبان‌ها و سیستم‌های آبیاری کارآمد استفاده کنند تا اثرات منفی افزایش دما را کاهش دهند. ایجاد سیستم‌های پیش‌بینی و پایش اقلیمی دقیق می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا با برنامه‌ریزی بهتر و اتخاذ تدابیر مناسب، با تغییرات اقلیمی مقابله کنند. ثانیاً اگرچه در این پژوهش تأثیر معنادار بارش و رطوبت نسبی بر عملکرد زعفران به اثبات نرسید، اما تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که مدیریت منابع آبی و استفاده از تکنیک‌های آبیاری مؤثر به‌ویژه در مناطقی با بارش کم می‌تواند به بهبود عملکرد زعفران کمک کند. همچنین، استفاده از تکنیک‌های بهینه کشاورزی و بهبود روش‌های کاشت و داشت می‌تواند بهره‌وری زمین‌های کشاورزی را افزایش دهد. در نهایت تفاوت کم بارش بین مناطق مورد مطالعه خراسان جنوبی باعث شده است که این متغیر تأثیر معناداری نداشته باشد. در مناطق خشک مانند خراسان جنوبی، تأمین آب مورد نیاز زعفران عمدتاً از طریق آبیاری صورت می‌گیرد و بارش نقش کمی در این فرآیند دارد. برای بررسی دقیق‌تر اثر بارش، مطالعات مشابه می‌توانند بر روی زمین‌های دیم انجام شوند. در این شرایط، بارش به عنوان یک عامل کلیدی در تأمین آب گیاه عمل می‌کند و انتظار می‌رود تأثیر معناداری بر عملکرد زعفران داشته باشد. به عبارت دیگر عدم معنادار بودن تأثیر بارش بر عملکرد زعفران در خراسان جنوبی می‌تواند به دلایلی مانند کمیت بارش، وابستگی به آبیاری، نوع کشت (آبی) و ویژگی‌های خاص زعفران باشد.

آموزش کشاورزان در این زمینه نیز بسیار مؤثر خواهد بود. در نهایت، انجام پژوهش‌های بیشتری در زمینه اثرات تغییرات اقلیمی و سرریزهای فضایی بر زعفران در مناطق مختلف کشور توصیه می‌شود تا سیاست‌گذاران و کشاورزان بتوانند برای مدیریت و بهبود عملکرد این محصول متناسب با اقلیم‌های مختلف تصمیمات بهتری بگیرند و با پیش‌بینی و مدیریت بهتر شرایط اقلیمی، بهبود عملکرد و بهره‌وری زعفران را در کشور تضمین نمایند.

در مدل‌های اقتصادسنجی فضایی، سیگما (Σ) به معنای انحراف معیار جمله خطا در مدل است. این پارامتر نشان‌دهنده میزان پراکندگی یا عدم قطعیت در داده‌ها و توزیع جمله خطا است. مقدار سیگما برای هر مدل نشان می‌دهد که جمله خطا در آن مدل چقدر پراکندگی دارد. هرچه مقدار سیگما کوچک‌تر باشد، دقت مدل بالاتر است و خطاهای پیش‌بینی کمتر است. مقادیر سیگما در مدل‌های مختلف (SAR ، SEM ، SDM ، و SAC) می‌تواند برای مقایسه عملکرد این مدل‌ها استفاده شود. به طور کلی، مدلی که سیگما کوچک‌تری دارد، بهتر است، زیرا نشان‌دهنده خطای کمتر در پیش‌بینی است. در نهایت، پارامتر سیگما در مدل SAC با مقدار 0.617 و احتمال 0.000 نشان‌دهنده همبستگی فضایی قوی و مثبت است، که نشان می‌دهد شدت همبستگی فضایی در داده‌ها بسیار بالاست. این پارامترها به شناسایی و تحلیل دقیق اثرات فضایی و همبستگی‌های موجود در داده‌ها کمک می‌کنند و می‌توانند به سیاست‌گذاران و محققان در درک بهتر روابط فضایی و اتخاذ تصمیمات مناسب کمک کنند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم ناشی از سرریزهای فضایی دما و بارش بر عملکرد زعفران در شهرستان‌های استان خراسان جنوبی در دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ پرداخته است. با توجه به اینکه ایران بزرگترین تولیدکننده زعفران در جهان است و استان خراسان جنوبی پس از خراسان رضوی در جایگاه دوم تولید زعفران در کشور قرار دارد، اهمیت موضوع بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر این محصول استراتژیک را بیان می‌کند. نتایج نشان داد که بارش به‌طور کلی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زعفران در هیچ‌یک از مدل‌ها نداشت. در مدل‌های SAC و SDM ، دما تأثیرات متفاوتی داشت، به‌طوری‌که در مدل SDM ، حداکثر دما تأثیر منفی و معنی‌داری بر عملکرد زعفران داشت و در مدل SAC ، حداقل دما تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت. همچنین، رطوبت نسبی تنها در مدل SEM تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت. مدل SAC به عنوان مدل بهینه انتخاب شد که نشان‌دهنده عدم تأثیر معنی‌دار بارش و تأثیر منفی و معنی‌دار دما بر عملکرد زعفران است. همچنین، حداقل دما تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت. پارامترهای فضایی نیز همبستگی فضایی

منابع

- Aliahmadi, N. Hashmitabar, M. and Hoseini, S. M. (2021), Assessment of the effect of climate change on the production of horticultural products with a randomized production approach, Case study: Date product. *Agricultural Economics Research*, 12(48), 56-82.
- Anselin, L. (2003), Spatial externalities, spatial multipliers, and spatial econometrics. *International Regional Science Review*, 26(2), 153-166.
- Asadpour Kordi, M. (2016), Effects of long-term and short-term changes in climate variables on cotton yield. *Agricultural Economics*, 10(2), 111-129.
- Dehvari, R. Hashemitabar, M. and Dadrasmoghadam, A. (2022). The Effect of Climatic elements on the Systematic Risk Severity of Iranian Date Yield using Dynamic Spatial Panel Approach. *Journal of Natural Environment*, 74(4), 841-854.
- Dehvari, R. Safdari, M. and Dadrasmoghadam, A. (2023). Evaluating the effects of climate change on the average yield of Iranian oranges with the spatial panel model approach. *Climate Change Research*, 4(13), 55-68.
- Elhorst, J. P. (2010), Spatial panel data models. fischer mm, a getis, editor, handbook of applied spatial analysis.
- Esmailnejad, M. and Khashei, S. A. (2018), Modelling of Climate Change Impacts on Spatial Distribution of Saffron Cultivation for Future Years (A case study: South Khorasan Province). *Journal of Saffron Research*, 6(1), 75-88. [In Persian].
- Florax, R. J. Folmer, H. and Rey, S. J. (2003), Specification searches in spatial econometrics: the relevance of Hendry's methodology. *Regional science and urban economics*, 33(5), 557-579.
- Gerkani Nezhad Moshizi, z. Bazrafshan, O. Ramezani Etedali, H. Esmaeilpour, Y. and Collins, B. (2023), The Effect of Past Climate Change on the Water Footprint Trend in Saffron at Homogeneous Agroclimatic Regions of Khorasan, *Journal of Saffron Research*, 10(2), 295-311.
- Ghochanian Haghverdi, E. Yaghoobzadeh, M. Moghri Friz, A. Khorashadzadeh, O. Javadi, H. (2025), Impact of Vapor Pressure Deficit on Saffron Yield and Its Prediction Using Artificial Intelligence Algorithms. *Journal of Saffron Research*. <https://doi.org/10.22077/jsr.2025.8540.1255>
- Gregory, P. J. Ingram, J. S. I. and Brklacich, M. (2005), Climate change and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 2139-2148.
- Jafarzadeh, A. Khashei-Siuki, A. and Shahidi, A. (2015). Modeling of climate change effects on saffron water requirement in south Khorasan province by GIS. *Journal of Saffron Research*, 3(2), 163-174.
- Janat Sadeghi, M. Shahnoushi Foroushani, N. Daneshvar Kakhki, M. Dourandish, A. and Mohammadi, H. (2018), Assessing the effective factors on the yield of strategic agricultural products (wheat and barley) in Khorasan Razavi Province. *Agricultural Economics*, 12(2), 111-134.
- Joudaki, A. Zohourian Por Del, M. Shakiba, A. and Dast Bozorgi, A. (2023), Finding the potential of suitable areas for saffron cultivation in Lorestan province in climate change. *Journal of Climate Research*, 1401(52), 89-108.
- Karimifard, S. Moghadasi, R. Yazdani, S. and Mohammadinejad, A. (2016), The economic impact of climate change on agricultural crops yields in khuzestan (case study: Wheat, barley, and rice). *European Online Journal of Natural and Social Sciences: Proceedings*, 4(1 (s)), pp-2254.
- Kouchaki, A. R. Asghari, A. and Kalhor, G. (2006), Climate change impacts on agriculture in the arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8(1), 101-110.
- Kouzegaran, S. Moosavi, M. Sanayinejad, H. and Behdani, M. A. (2011), Studying the minimum, average and maximum temperature degrees of south Khorasan in order to identify feasible cultivation areas of *Crocus sativus* by using GIS. *J. Water Soil*, 92(2), 825-223.
- Levin, A. Lin, C. F. and Chu, C. S. J. (2002), Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of econometrics*, 108(1), 1-24.
- Naghavi Pour, A. (2016), The Impact of Dust Storm Frequency, Relative Humidity, and Temperature on Date Palm Cluster Decline in Bam. Master's Thesis, Department of Physical Geography, Applied Climatology, University of Sistan and Baluchestan.
- Rastegaripour, F. and Sheibani, M. (2019), Surveying saffron farmers' view on climate change and adaptation strategies case study: Torbate Heydarieh city. *Saffron Agronomy and Technology*, 7(4):551-562.
- Salami, H. and Nemati, M. (2014), Exploring systematic yield risk and its strengthening factors for apple product in Iran: application of spatial autoregressive models. *Journal of agricultural economics and development*, 27(4), 288-299.
- Shahbazi, K. and Rezaei, E. (2015). Investigating the economic convergence of member countries of economic cooperation organization (ECO): Spatial panel econometrics. *Iranian Journal of Trade Studies*, 19(74), 155-196.
- Vafaei, M. Ziaee, S. Mohammadi, H., and Borazjani, M. A. (2024), Spatial analysis of climate change

on saffron yield (Case study of Khorasan
Razavi, North Khorasan and South Khorasan

cities). *Journal of Agricultural Economics
Research*, 16(2), 4.

COPYRIGHTS

© 2024- 2025 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

