



## The Effect of Climate Change on Insurance Premium Rates of Irrigated Wheat in Warm and Dry Region of Iran

Ebrahim Ensan<sup>1</sup> , Habibollah Salami<sup>2</sup>

1. Department of Agricultural Economics, Colleges of Agriculture, University College of Agriculture And Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [ebrahim\\_ensan@ut.ac.ir](mailto:ebrahim_ensan@ut.ac.ir)
2. Corresponding author, Department of Agricultural Economics, Colleges of Agriculture, University College of Agriculture And Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [hsalami@ut.ac.ir](mailto:hsalami@ut.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 18 February 2025

Received in revised form: 28

May 2025

Accepted: 25 June 2025

Published online: Summer

2025

#### Keywords:

Climate change,

Warm and dry region,

Moment-based models,

Insurance premium rate,

Irrigated wheat.

### ABSTRACT

According to IPCC predictions, the vulnerability of developing countries and warm and dry regions due to climate change is higher than developed countries and other regions. While climate change itself is difficult to control, the associated damages can be mitigated by adjusting agricultural practices to better align with the changing climate conditions. One of the effective policy tools in changing the cultivation pattern is agricultural product insurance. Therefore, This study examined the impact of climate change on the yield of irrigated wheat in Iran's warm and dry regions and its effect on fair premium rates. To this end, annual time series data on irrigated wheat yields, and climate information collected from weather forecast stations from 1991 to 2018 were used to specify crop yield conditional probability distribution functions, using Moment-based regression models, and also specifying mixture probability distribution functions. Finally, a simulation approach was used to simulate the effects of expected climate changes over future years on the mean and variance of yield distribution and the yield premium rate of irrigated wheat in warm and dry regions. The actual fair premium rate for irrigated wheat in warm and dry regions, as implemented by the Agricultural Insurance Fund at the 75% coverage level, is 5.18%, while simulation results indicate that the actuarially fair premium rate is 11.27% under the baseline scenario and increases to 14.00% under the combined climate change scenarios expected in the 2030s. Therefore, implementing region-specific insurance premiums for wheat production, estimated based on the climatic risk conditions in the region, could be an effective policy to support this transition and is strongly recommended.

**Cite this article:** Ensan, E., & Salami, H. (2025). The Effect of Climate Change on Insurance Premium Rates of Irrigated Wheat in Warm and Dry Region of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 56 (2), 79-97. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.389930.669356>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.389930.669356>

### Extended Abstract Objectives

The increasing impact of climate change on agricultural production has raised concerns about its consequences for food security and agricultural economies. Among the most affected regions are warm and dry areas, where climatic fluctuations significantly influence crop yields. Iran, as a developing country with warm and dry regions, is highly vulnerable to climate change, particularly in its wheat production sector. Given the strategic importance of wheat as a staple crop, understanding how climate parameters affect its yield and how these changes influence crop insurance premium rates is crucial for sustainable agricultural planning. This study aims to analyze the effect of climate change on the yield and yield risk of irrigated wheat in Iran's warm and dry regions and to determine fair insurance premium rates based on the associated climatic risks. By incorporating advanced probabilistic modeling and simulation approaches, this research provides a framework for adjusting insurance premiums in response to expected climate changes, thereby facilitating more effective risk management in wheat farming.

## Methods

To investigate the impact of climate change on irrigated wheat yield and its implications for insurance premium rates, annual time-series data on wheat yields, along with daily and monthly climate variables, were collected from weather forecast stations between 1991 and 2018. The study employed Moment-based regression models to estimate the conditional probability distribution of wheat yield as a function of climate parameters. Subsequently, mixture probability distribution functions were derived using the yield conditional probability distributions. A simulation approach was then utilized to project future climate scenarios for the 2030s and estimate their effects on the mean and variance of mixture yield distribution and yield premium rates. The results were used to derive region-specific insurance premiums that reflect the climatic risk conditions in warm and dry regions of Iran.

## Results

The results revealed that Key climate variables analyzed included total precipitation during the growing season, mean precipitation deficit at the flowering stage, and growth degree days during the growing season. The findings indicate that climate change will significantly impact irrigated wheat yields in Iran's warm and dry regions. Variations in growth degree days including low, Medium, and High temperatures were found to be critical in determining yield variations. Additionally, The total precipitation during the growing season including germination, tillering, stem elongation, and flowering, and rainfall deficits in the flowering stage, were significant contributors to yield risk. Simulation results for the 2030s suggest that the combined effect of these climate parameters will lead to substantial increases in yield variability, resulting in higher insurance premium rates for irrigated wheat. As a result of these changes, warm and dry regions will experience pronounced yield reductions and heightened risks. As a result, the current uniform insurance premium structure in all regions fails to adequately reflect regional climatic risks, necessitating a shift toward differentiated premium rates based on climate-induced yield variability.

## Discussion

The study underscores the urgent need to incorporate climate risk considerations into agricultural insurance policies to enhance the resilience of wheat farmers in warm and dry regions. Implementing region-specific insurance premiums can provide a more accurate reflection of yield risks and encourage farmers to adopt adaptive strategies, such as shifting cultivation practices or selecting more resilient wheat varieties. Additionally, phasing out insurance premium subsidies in high-risk areas could be considered as a policy measure to promote efficient resource allocation and discourage unsustainable wheat production in climate-vulnerable regions. Given the significant impact of climate change on wheat yields in warm and dry regions, policymakers should prioritize the development of adaptive insurance mechanisms that align with projected climatic trends. The results of this study provide valuable insights for policymakers, insurance providers, and farmers in designing risk management strategies that ensure agricultural sustainability in the face of climate change.

## Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

## Data Availability Statement

If the study did not report any data, you might add "Not applicable" here.

## Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

## Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

## Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.



## اثر تغییر اقلیم بر نرخ بیمه محصول گندم آبی در پهنه گرم و خشک ایران

ابراهیم انسان<sup>۱</sup> | حبیب اله سلامی<sup>۲</sup> ✉

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدهگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [ebrahim\\_ensan@ut.ac.ir](mailto:ebrahim_ensan@ut.ac.ir)  
۲. نویسنده مسئول، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشکدهگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [hsalami@ut.ac.ir](mailto:hsalami@ut.ac.ir)

| اطلاعات مقاله                                                                                                                              | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>نوع مقاله:</b><br>مقاله پژوهشی                                                                                                          | بر اساس پیش‌بینی‌های IPCC، آسیب‌پذیری کشورهای درحال توسعه و مناطق گرم و خشک در اثر تغییر اقلیم نسبت به کشورهای توسعه‌یافته و سایر مناطق بیشتر است. اگرچه تغییرات اقلیمی چندان قابل کنترل نیست ولی با تطبیق الگوی کشت با تغییرات اقلیمی بروز خسارات حاصل از آن قابل مدیریت است. یکی از ابزارهای سیاستی مؤثر تغییر در الگوی کشت، بیمه محصولات کشاورزی است. از این‌رو، در این مطالعه چگونگی تأثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک ایران و میزان اثرگذاری آن بر نرخ بیمه عادلانه بررسی شده است. در این راستا، از اطلاعات سری زمانی عملکرد گندم آبی و اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی کشور طی سال‌های ۹۷-۱۳۷۰ برای تعیین توابع توزیع احتمال شرطی عملکرد گندم با استفاده از الگوهای اقتصادسنجی مبتنی بر گشتاور و همچنین تعیین تابع توزیع احتمال ترکیبی استفاده شده است. در آخر، با استفاده از روش شبیه‌سازی، تأثیر تغییرات اقلیمی مورد انتظار در سال‌های آینده بر میانگین و واریانس توزیع ترکیبی عملکرد و همچنین نرخ بیمه عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک بررسی شده است. نرخ بیمه واقعی گندم آبی در پهنه گرم و خشک اجرا شده در صندوق بیمه کشاورزی برای سطح پوشش ۷۵٪ معادل ۵/۱۸٪ است، درحالی‌که نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که نرخ بیمه منصفانه برای این محصول در حالت پایه برابر ۱۱/۲۷٪ و در سناریوی اجرای هم‌زمان سناریوهای اقلیمی مورد انتظار طی دهه ۲۰۳۰ میلادی معادل ۱۴٪ محاسبه شده است. بنابراین، برقراری حق بیمه منصفانه که براساس شرایط ریسکی پهنه اقلیمی محاسبه گردیده باشد، می‌تواند به‌عنوان یک سیاست مناسب برای تسهیل در اصلاح الگوی کشت منطبق با تغییرات اقلیمی در نظر گرفته شود و توصیه می‌گردد. |
| <b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۱۱/۳۰<br><b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۴/۰۳/۰۷<br><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۴/۰۴/۰۴<br><b>تاریخ انتشار:</b> تابستان ۱۴۰۴ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>کلیدواژه‌ها:</b><br>تغییر اقلیم، پهنه گرم و خشک،<br>الگوهای مبتنی بر گشتاور، نرخ<br>بیمه محصول، گندم آبی.                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

**استناد:** انسان، ابراهیم؛ سلامی، حبیب اله (۱۴۰۳). اثر تغییر اقلیم بر نرخ بیمه محصول گندم آبی در پهنه گرم و خشک ایران. *مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ایران، ۲- ۵۶، (۲)، ۷۹-۹۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.389930.669356>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2025.389930.669356>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

بر اساس گزارش پنجم هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم<sup>۱</sup> با درجه بالایی از اطمینان وقوع تغییر اقلیم با مشخصه افزایش درجه حرارت و کاهش بارش‌ها در مقیاس کلی در آینده امری اجتناب ناپذیر است. البته آثار تغییر اقلیم در تمام نقاط جهان یکسان نخواهد بود. به همین دلیل پیش‌بینی می‌شود، آسیب‌پذیری کشورهای در حال توسعه نسبت به کشورهای توسعه‌یافته و همچنین مناطق گرم و خشک نسبت به سایر مناطق بیشتر باشد (IPCC, 2014). در این راستا شواهد داده‌های تاریخی هواشناسی ایران نیز نشان‌دهنده وقوع پدیده تغییر اقلیم با مشخصه کاهش بارش‌ها، افزایش درجه حرارت و وقوع پدیده‌های حدی اقلیمی در دهه‌های اخیر در مناطق گرم و خشک است (Meteorological Organization of Iran, 2018). همچنین پیش‌بینی‌های هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم از وضعیت اقلیمی برای ایران بیانگر ادامه این روند در آینده است که انتظار می‌رود ادامه این وضعیت، پیامدهای زیانباری برای بخش کشاورزی و به‌ویژه زیربخش زراعت کشور به خصوص در مناطق گرم و خشک به همراه داشته باشد (IPCC, 2014). بر اساس آنچه توضیح داده شد، چنین استنباط می‌شود که تغییرات اقلیم در ایران عملکرد محصولات کشاورزی را در مناطق گرم و خشک کشور بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد و دامنه نوسانات عملکرد را در این مناطق افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر، تغییر در میانگین و واریانس پارامترهای اقلیمی سبب بروز تغییر در میزان عملکرد و ریسک محصولات کشاورزی خواهد شد. حال اگر نرخ بیمه به‌درستی و متناسب با شرایط اقلیمی و نوسانات عملکرد محصولات تعیین شود باعث می‌شود در هر منطقه تولید محصولاتی که کمتر تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند، توسعه پیدا کند. تحت این شرایط تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در هر منطقه به سمت محصولات متناسب با شرایط اقلیمی آن منطقه هدایت می‌شوند. به این ترتیب خسارات وارده به بخش کشاورزی در سطح کلان نیز کاهش می‌یابد.

بررسی‌های اولیه از عملکرد صندوق بیمه کشاورزی طی سال‌های ۹۸-۱۳۸۸ در خصوص محصول گندم آبی به عنوان یکی از محصولات مهم زراعی نشان می‌دهد که غرامت پرداختی در مناطق مختلف با درآمدهای حاصل از فروش بیمه نامه در آن مناطق همخوانی ندارد. همچنین مقدار غرامت پرداختی در کل کشور طی سال‌های مورد بررسی بیشتر از حق بیمه دریافتی از بیمه‌گران محصول بوده است (Agricultural Insurance Fund, 2020). پس نرخ بیمه‌ای که اکنون در صندوق بیمه تعیین می‌شود نه تنها متناسب با شرایط اقلیمی مناطق مختلف نیست بلکه باعث انحراف تولیدکنندگان می‌شود چرا که تولیدکننده ترغیب به تولید در منطقه‌ای می‌شود که از قبل می‌داند بیش از سایر مناطق دچار خسارت می‌شود. این عدم تناسب میان حق بیمه‌های تعیین شده با شرایط اقلیمی مناطق مختلف موجب شده صندوق بیمه کشاورزی در سال‌های مختلف با زیان مواجه شود. این زیان که بسیار قابل‌توجه است اغلب از طرف دولت و به‌صورت یارانه حق بیمه به صندوق بیمه کشاورزی پرداخت می‌شود و فشار زیادی بر بودجه دولت وارد می‌کند. بنابراین، از هم‌اکنون انطباق نرخ‌های بیمه با شرایط اقلیمی مناطق تولید محصول و هدایت تولیدکنندگان به سمت انتخاب محصولات متناسب با شرایط اقلیمی یک ضرورت حتمی است.

نبود توازن میان نرخ بیمه و شرایط اقلیمی مناطق مختلف برای گندم آبی به‌عنوان مهم‌ترین محصول راهبردی زراعی کشور که رتبه دوم سطح بیمه شده (۱/۲ میلیون هکتار) و رتبه اول غرامت پرداختی (۱۲۰۹ میلیارد ریال) را در صندوق بیمه ثبت نموده است و با ۱۶ درصد از اراضی زراعی کشور رتبه دوم سطح زیر کشت (۲ میلیون هکتار) و با ۱۰ درصد از کل تولید محصولات زراعی کشور رتبه اول میزان تولید (۹ میلیون تن) را در میان محصولات زراعی به خود اختصاص داده است، بیش از سایر محصولات زراعی مورد توجه صندوق بیمه است (Ministry of Agriculture Jihad, 2019; Agricultural Insurance Fund, 2020).

مروری بر مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تعداد بسیار اندکی از ادبیات موضوع مربوط به ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر نرخ بیمه محصولات کشاورزی پرداخته‌اند. در همین ارتباط، Tack et al. (2018) به بررسی تأثیر افزایش یک درجه سانتی‌گراد در دما بر روی نرخ بیمه منصفانه اکچواری و یارانه ذرت در چارچوب الگوی مبتنی بر گشتاور<sup>۲</sup> (Antle 1983; 2010) پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که در صورت تعیین نرخ بیمه بر اساس شرایط اقلیمی مناطق مختلف می‌توان تا ۲۹۵ میلیون دلار در

<sup>۱</sup> Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)

<sup>۲</sup> Moment Based model

یارانه پرداختی به تولیدکنندگان صرفه‌جویی نمود. (Tack & Ubilava (2013 اثر شرایط نوسانات ال نینو، لائینا و خشی بر عملکرد و نرخ بیمه اکچواری محصول پنبه طی سال‌های ۱۹۶۸-۲۰۰۵ با استفاده از رویکرد حداکثر آنتروپی مبتنی بر گشتاور در آمریکا پرداختند. نتایج مطالعه گویای آن است که با تعیین توزیع احتمال عملکرد مشروط به رژیم‌های انسو و تعیین نرخ بیمه متناسب با آن‌ها، شرکت‌های خصوصی بیمه می‌توانند ۱۰ تا ۱۵ درصد از غرامت‌های پرداختی را کاهش دهند. (Siameh (2016 با به‌کارگیری روش مبتنی بر گشتاور آنتل به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تفاوت نرخ بیمه برای ارقام مختلف پنبه به تفکیک مناطق مختلف آمریکا پرداخته است. در این مطالعه نیز تأثیر دما بر نرخ بیمه تأیید گردید و نشان داده شد که میزان این تأثیر در ارقام مختلف محصول متفاوت است. (Perryet al. (2020 در مطالعه‌ای با عنوان "بررسی رابطه بین افزایش دما، ریسک عملکرد و نرخ بیمه محصولات کشاورزی در ایالات متحده"، با استفاده از داده‌های سطح شهرستان، تأثیر افزایش دما بر ریسک عملکرد ذرت و سویا را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش یک درجه سلسیوس در میانگین دمای هوا منجر به افزایش ۳۲ درصدی در ریسک عملکرد ذرت و ۱۱ درصدی در سویا می‌شود. بر اساس این یافته‌ها، نرخ حق بیمه محصولات کشاورزی در پاسخ به افزایش ریسک ناشی از گرمایش جهانی افزایش یافته است. این نتایج اهمیت توجه به تغییرات اقلیمی در طراحی سازوکارهای بیمه کشاورزی را گوشزد می‌کند. (Regmi et al. (2023 در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر بیمه محصولات کشاورزی بر حساسیت عملکرد به دمای بالا در ایالت کانزاس آمریکا پرداختند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که بیمه شدن محصول می‌تواند واکنش عملکرد به دماهای بالا را افزایش دهد. به‌طور خاص، در صورت افزایش یکنواخت دما، عملکرد ذرت بیمه‌شده ۱۶/۷ درصد و عملکرد ذرت بدون بیمه ۱۱/۸ درصد کاهش می‌یابد. در مورد گندم نیز کاهش عملکرد برای گندم بیمه‌شده ۶ درصد و برای گندم بدون بیمه ۴/۴ درصد برآورد شده است.

این مطالعات علی‌رغم ارزش علمی بالا، عمدتاً در کشورهای توسعه‌یافته و در چارچوب داده‌های منطقه‌ای خاص انجام شده‌اند و کمتر به شرایط خاص منطقه‌ای کشورهای در حال توسعه، نظیر ایران، پرداخته‌اند. در این میان، پژوهش حاضر تلاش دارد تا با تمرکز بر پهنه اقلیمی گرم و خشک ایران، ضمن بهره‌گیری از الگوهای اقتصادسنجی و شبیه‌سازی سناریوهای اقلیمی آتی، عوامل اقلیمی مؤثر بر میانگین و نوسانات عملکرد و همچنین نرخ بیمه محصول گندم آبی را تعیین نماید. این مطالعه با رویکردی بومی‌سازی‌شده و مبتنی بر داده‌های واقعی، می‌تواند به پر کردن شکاف موجود در ادبیات داخلی و بین‌المللی کمک نماید و راهکارهایی برای اصلاح سازوکار بیمه محصولات کشاورزی در مواجهه با تغییرات اقلیمی ارائه می‌دهد.

## روش‌شناسی پژوهش

### چارچوب نظری

بر اساس نظریه اقتصاد تولید، تابع تولید رابطه فنی بین نهاده‌ها و محصول تولیدی را بیان می‌کند و حداکثر تولید را که می‌توان از مجموعه معینی نهاده به دست آورد، نشان می‌دهد. در دنیای واقعی مقدار تولید محصولات کشاورزی دارای نوسان است چرا که عوامل غیرقابل کنترل و پیش‌بینی نشده از جمله متغیرهای اقلیمی بارش و دما بر چگونگی تأثیر مقادیر نهاده‌ها بر تولید اثر می‌گذارند. علاوه بر آن در هر مرحله از رشد، گیاه به دمای خاص و میزان رطوبت مشخص نیاز دارد. انحراف از دما و رطوبت مناسب در هر مرحله از رشد گندم، به رشد گیاه و عملکرد محصول صدمه وارد می‌کند و موجب نوسانات عملکرد می‌شود. بنابراین، برای ارزیابی اثرات متغیرهای اقلیمی بر عملکرد و نوسانات آن در یک پهنه اقلیمی، متغیرهای اقلیمی باید برحسب مراحل رشد در هر سال زراعی مشخص شود و انحراف از مقادیر مطلوب تعیین گردد. بر اساس نظر کارشناسان زراعی و نتایج مطالعات تجربی نظیر مطالعه‌های (Farajzadeh Asl et al. (2012، (Kaboosi & Majidi (2017، (Mohammadnia Gharaei & Mohammadi (2014، (Noormohammadi et al. (2011، مراحل رشد محصول گندم را می‌توان به پنج مرحله تقسیم کرد. این مراحل شامل:

"جوانه‌زنی"، "پنجه‌زنی"، "ساقه‌دهی"، "گلدهی" و "رسیدگی کامل" است.<sup>۱</sup> شروع هر یک از این دوره‌ها و طول دوره زمانی هر یک از این مراحل در شرایط مختلف اقلیمی، متفاوت از یکدیگر است.

از آنجا که زمان وقوع و مقادیر متغیرهای اقلیمی از قبل و با حتمیت مشخص نیست و در سال‌های مختلف الگوی یکسان رفتاری ندارند، لذا تأثیر این متغیرها می‌بایست بر اساس احتمالات سنجیده شود. به عبارت دیگر، عملکرد محصولات در شرایط ریسکی دارای توزیع احتمال هستند و متغیرهای اقلیمی بر گشتاورهای این توزیع اثر می‌گذارند. تأثیر متغیرهای اقلیمی بر گشتاورهای توزیع احتمال عملکرد محصول در عمل هم توسط مطالعات تجربی متعدد نشان داده شده است. مطالعه‌های Anderson (1973)، Antle (1983)، Antle and Goodger (1982)، Day (1965)، Just and Pope (1979)، Nikiphoroff (1981) و Roumasset (1976)، نمونه‌ای از این دست می‌باشد. مطالعات فنی بسیاری عامل‌های اقلیمی که منبع اصلی ایجاد ریسک در عملکرد گندم در دوره‌های مختلف رشد محصول هستند را مشخص نموده‌اند. بر همین اساس، عامل‌های اقلیمی در پهنه‌های گرم و خشک که منبع اصلی ایجاد ریسک در عملکرد گندم در دوره‌های مختلف رشد محصول هستند عبارتند از مجموع بارش در کل فصل رشد محصول (Farajzadeh (1977; Kramer, 1969; Warrington, 1977; Barlow et al., 2015)، کمبود بارش در مرحله گلدهی (Farajzadeh (2017; Jalali et al., 2017; Asl et al., 2009)، درجه روز رشد در محدوده‌های دمایی مشخص طی فصل رشد محصول (Schlenker & Tack et al., 2018; Tack et al., 2014; Tack & Ubilava, 2013; Tack et al., 2012; Siameh, 2016; Roberts, 2009). بنابراین، انتظار می‌رود نرخ بیمه عملکرد محصول نیز متناسب با تغییرات این متغیرها و تحت تأثیر آن‌ها تغییر نماید. اما، سنجش میزان اثرگذاری متغیرهای اقلیمی بر نرخ بیمه عملکرد محصول نیازمند تعیین رابطه این متغیرها با میانگین و واریانس عملکرد که دو گشتاور اصلی تابع توزیع احتمال عملکرد محصول مورد مطالعه است، می‌باشد. در ادامه به چگونگی سنجش کمی اثرات این متغیرها بر عملکرد و واریانس عملکرد محصول پرداخته خواهد شد.

میانگین و واریانس توزیع احتمال عملکرد محصول دو گشتاور اصلی (به ترتیب اول و دوم) این توابع توزیع هستند. با این حال برای تعیین توابع توزیع احتمال یک محصول، گشتاورهای دیگر توزیع احتمال نظیر چولگی نیز دارای اهمیت هستند. برخی از مطالعات برای عملکرد غلات توزیع‌های احتمال نامتقارن با چولگی به سمت راست به‌دست آورده‌اند (Harri et al. 2009) که نشان می‌دهد اطلاعات مربوط به میانگین و واریانس به تنهایی برای تعیین اثر تغییرات کافی نخواهد بود. در این شرایط، برای تخمین توابع توزیع احتمال عملکرد محصول بایستی رویکردی اتخاذ شود که گشتاورهای بالاتر توابع توزیع را نیز در نظر بگیرد. توزیع‌های احتمال ترکیبی چنین رویکردی دارند و کاملاً انعطاف‌پذیرند، چرا که هر توزیع احتمال پیوسته‌ای را می‌توانند با ترکیب توابع توزیع احتمال نرمال به خوبی تخمین زنند (Tolhurst & Ker, 2015).

بر اساس نظر Tack et al. (2018) رویکرد مبتنی بر گشتاور (Antle (2010; 1983) می‌تواند چارچوب مناسبی برای سنجش تأثیر متغیرهای اقلیمی بر توزیع احتمال عملکرد محصول و نرخ بیمه عملکرد محصول باشد. به علاوه، از آنجا که غرامت مورد انتظار بیمه‌گذار نیز به تبع خسارت ایجاد شده تعیین می‌شود، لذا با این رویکرد، تأثیر متغیرهای اقلیمی بر غرامت پرداختی نیز مشخص می‌شود (Tack & Ubilava, 2013). در این چارچوب، با استفاده از داده‌های عملکرد محصول (به عنوان مثال گندم آبی) برای T دوره و M مقطع در یک پهنه اقلیمی، با این شرط که هر مقطع در هر دوره دارای توزیع‌های احتمال مشروط به شرایط آب و هوایی منحصر به فرد خود باشد، می‌توان MT توابع توزیع احتمال عملکرد مشروط برای یک پهنه آب و هوایی مشخص نمود. پس از آن، تابع توزیع احتمال ترکیبی عملکرد مربوط به یک پهنه اقلیمی به صورت ترکیب وزنی از توابع توزیع احتمال عملکرد مشروط به متغیرهای اقلیمی با وزن‌هایی که به صورت احتمال وقوع هر یک از توابع توزیع احتمال شرطی تعریف می‌شود، به‌دست می‌آید (Tolhurst & Ker, 2015). این تابع توزیع احتمال ترکیبی یک تابع توزیع احتمال غیر مشروط است که در نهایت از آن برای

۱. مراحل جوانه‌زنی و پنجه‌زنی شامل مراحل جوانه‌زنی، سبز شدن، سه برگی و پنجه‌زنی می‌باشند. مرحله ساقه‌دهی شامل مراحل ساقه‌دهی و خوشه‌دهی است. مرحله گلدهی شامل مراحل گلدهی، شیری شدن و مومی شدن می‌باشد.

محاسبه نرخ بیمه عملکرد منصفانه اکچواری استفاده می‌شود. بنابراین با استفاده از MT عملکرد برای یک پهنه اقلیمی، تابع توزیع احتمال کلی به صورت ترکیبی از MT توزیع احتمال شرطی به شکل رابطه (۱) ارائه می‌شود.

$$g(q;h) = p_J g_J(q;h_J) \quad , \quad J=1,2,...,MT \quad , \quad \sum_{J=1}^{MT} p_J = 1 \quad (1)$$

در این رابطه،  $g(.)$  نشان دهنده تابع توزیع احتمال ترکیبی محصول برای عملکرد  $q$  در پهنه گرم و خشک،  $h$  دو گشتاور توزیع احتمال ترکیبی شامل میانگین و واریانس،  $p_J$  نشان دهنده احتمال وقوع تابع توزیع احتمال شرطی با مشخصات  $h_J$ ، همچنین  $g_J$  نشان دهنده تابع توزیع احتمال عملکرد مشروط به شرایط آب و هوایی است که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$g_J(q;h_J[m_J,s_J^2]) = \frac{1}{\sqrt{2s_J^2\pi}} \exp\left[-\frac{(q-m_J)^2}{2s_J^2}\right] \quad (2)$$

برای استفاده از توابع توزیع احتمال عملکرد ترکیبی محصول نیاز به برآورد دو مجموعه پارامترهای  $h_J = \{m_J, s_J^2\}$  و  $p_J$  می‌باشد. پارامترهای میانگین و واریانس توزیع احتمال شرطی ( $h_J$ ) تابعی از متغیرهای اقلیمی هستند و از طریق الگوهای اقتصادسنجی مبتنی بر گشتاور برآورد می‌شوند (Antle 1983, 2010; Siameh, 2016; Tack et al., 2018).

### الگوسازی اقتصادسنجی

در صورتی که متغیرهای اقلیمی با  $z_{kjt}$  (که در آن  $k=1,2,...,K$  متغیرهای اقلیمی،  $j=1,2,...,M$  مقاطع و  $t=1,2,...,T$  دوره‌های موردبررسی هستند) نشان داده شوند، میانگین و واریانس توزیع‌های احتمال شرطی در پهنه گرم و خشک به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned} m_{jt} &= E(q | a_j + z_{1jt}b_{1j} + \dots + z_{kjt}b_{kj}) \\ s_{jt}^2 &= E(e^2 | c_j + z_{1jt}d_{1j} + \dots + z_{kjt}d_{kj}) \end{aligned} \quad (3)$$

روابط بالا نشان می‌دهند که برای تخمین مقادیر میانگین و واریانس هر مقطع در هر دوره، بایستی دو الگوی اقتصادسنجی برای میانگین و واریانس برآورد شوند (Tack et al., 2018). الگوی میانگین به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$lq_{jt} = a_j + z_{1jt}b_{1j} + \dots + z_{kjt}b_{kj} + e_{jt} \quad (4)$$

که در آن  $lq_{jt}$  لگاریتم طبیعی عملکرد محصول در مقطع  $z$  در دوره  $t$  و  $a_j$  بیانگر عرض از مبدأ همین مقاطع است. همچنین،  $b_{kj}$  نشان دهنده اثرات متغیرهای  $z_{kjt}$  در مقطع  $z$  بر لگاریتم عملکرد محصول است. با فرض اینکه الگوی (۴) به درستی تصریح شده باشد و جزء خطا کلیه فروض کلاسیک را داشته باشد، واریانس عملکرد محصول از طریق توان دوم جزء خطای برآورد شده در الگوی (۴) قابل تعریف است. به این معنا که:

$$\begin{aligned} s_{jt}^2 &= [q_{jt} - E(q_{jt})]^2 = E(e_{jt}^2 | z_{kjt}) \\ \ln[q_{jt} - E(q_{jt})]^2 &= c_j + z_{1jt}d_{1j} + \dots + z_{kjt}d_{kj} + u_{jt} \end{aligned} \quad (5)$$

که در آن،  $E(q_{jt})$  میانگین شرطی عملکرد محصول در مقطع  $z$  و دوره  $t$  است و به صورت رابطه (۶) تعریف شده است و  $q_{jt}$  عملکرد مشاهده شده محصول است.

$$E(q_{jt}) = \exp(a_j + z_{1jt}b_{1j} + \dots + z_{kjt}b_{kj}) E(\exp(e_{jt})) \quad (6)$$

در رابطه (۵)،  $c_j$  عرض از مبدأ مقطع  $z$ ،  $d_{kj}$  نشان دهنده اثرات متغیرهای اقلیمی در مقطع  $z$  بر واریانس عملکرد محصول است. با همین روش، تعداد MT میانگین و واریانس با استفاده از ضرایب برآورد شده در روابط (۴) و (۵) و مقادیر متغیرهای اقلیمی برای پهنه گرم و خشک محاسبه می‌شود. با استفاده از مقادیر میانگین و واریانس می‌توان MT تابع توزیع احتمال نرمال شرطی و متعاقب آن یک تابع توزیع احتمال ترکیبی (غیر شرطی) تعیین نمود. لازم به ذکر است که استفاده از فرم لگاریتمی برای متغیر وابسته در

دو الگوی میانگین و واریانس برای این صورت می‌گیرد تا اطمینان حاصل شود که مقادیر میانگین و واریانس پیش‌بینی شده<sup>۱</sup> عملکرد محصول منفی نباشند (Tack et al., 2018).

مقادیر پیش‌بینی شده میانگین و واریانس روابط بالا با استفاده از پارامترهای برآورد شده در الگوهای میانگین و واریانس و البته تعدیلاتی که بر روی آن‌ها انجام می‌شود با استفاده از روابط (۷) قابل برآورد است (Tack et al., 2018).

$$\begin{aligned}\hat{m}_{jt} &= \exp(\hat{a}_j + z_{1jt}\hat{b}_{1j} + \dots + z_{kjt}\hat{b}_{kj})\hat{E}(\exp(\hat{e}_{jt})) \\ \hat{s}_{jt}^2 &= \exp(\hat{c}_j + z_{1jt}\hat{d}_{1j} + \dots + z_{kjt}\hat{d}_{kj})\hat{E}(\exp(\hat{u}_{jt}))\end{aligned}\quad (7)$$

که در آن،  $\hat{E}(\cdot)$  میانگین ساده مقادیر نمایی جزء خطا در الگوهای میانگین و واریانس برای M مقطع و T دوره است. همچنین،  $\hat{m}_{jt}$  و  $\hat{s}_{jt}^2$  نشان دهنده میانگین و واریانس پیش‌بینی شده مشروط به متغیرهای اقلیمی در M مقطع و T دوره است. با توجه به میانگین و واریانس الگو، با استفاده از روش شبیه‌سازی، تعداد دلخواه از مقادیر عملکرد در هر مقطع و هر دوره شبیه‌سازی می‌شود. همچنین میانگین و واریانس توزیع احتمال عملکرد مشروط به مقدار  $X=1000$  مرتبه برای ایجاد تابع توزیع احتمال ترکیبی عملکرد محصول شبیه‌سازی می‌شود. میانگین و واریانس پیش‌بینی شده تابع توزیع احتمال ترکیبی متشکل از  $X=M \times T \times X$  مرتبه عملکرد محصول به صورت رابطه (۸) محاسبه می‌شود، که در آن  $q_x$  و  $p_x$  به ترتیب نشان دهنده عملکردهای مشروط شبیه‌سازی شده و احتمال وقوع هر یک از آن‌ها است.

$$\begin{aligned}\bar{q}_x &= \sum_{x=1}^{M \times T \times X} p_x q_x ; \quad \sum_{x=1}^{M \times T \times X} p_x = 1 \\ \bar{s}_x^2 &= s^2 = \sum_{x=1}^{M \times T \times X} p_x (q_x - \bar{q}_x)^2\end{aligned}\quad (8)$$

#### نرخ بیمه منصفانه عملکرد

پس از تعیین تابع توزیع احتمال عملکرد ترکیبی، مقادیر غرامت انتظاری، عملکرد تضمینی و در نهایت نرخ بیمه منصفانه اکچواری برای هر هکتار محصول تولیدی در سطوح پوشش مختلف محاسبه می‌شوند. برای محاسبه نرخ بیمه عملکرد، ابتدا عملکرد تضمینی از حاصلضرب سطح پوشش (cov) در میانگین انتظاری تابع توزیع ترکیبی عملکرد به صورت رابطه (۹) محاسبه می‌شود (Tack et al., 2018).

$$g_{cov} = cov \times \bar{q}_x \quad (9)$$

عملکرد تضمینی ( $g_{cov}$ ) نشان دهنده کل مسئولیت بیمه شده برای شرکت بیمه است. عملکرد تضمینی معادل مسئولیت بیمه‌گر است که در ازای عملکرد صفر بیمه‌گذار، به وجود می‌آید. معمولاً در اکثر کشورها سطح پوشش بیمه از ۶۰ تا ۹۰ درصد با نرخ افزایشی پنج درصدی ارائه می‌شود (Hart et al., 2006). غرامت تنها زمانی پرداخت می‌شود که عملکرد تولیدکننده کمتر از عملکرد تضمینی باشد، لذا غرامت انتظاری ( $E(indemnity_{cov})$ ) به صورت غرامت میانگین در تمام دفعات شبیه‌سازی به صورت رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود (Tack et al., 2018).

$$E(indemnity_{cov}) = \frac{1}{M \times T \times X} \sum_{x=1}^{M \times T \times X} \max(g_{cov} - q_x, 0) \quad (10)$$

نرخ بیمه منصفانه عملکرد ( $rate_{cov}$ ) که معادل نسبت غرامت انتظاری به عملکرد تضمینی است به صورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود (Tack et al., 2018).

$$ate_{cov} = \frac{E(indemnity_{cov})}{g_{cov}} \quad (11)$$

1. Predicted

۲. در شرایطی که متغیر وابسته دارای فرم لگاریتمی باشد مقدار متغیر وابسته پیش‌بینی شده ( $\hat{m}_{jt}$  و  $\hat{s}_{jt}^2$ ) باید تعدیل شود. برای این منظور Duan (1983) یک رویکرد غیر پارامتری پیشنهاد نموده است که به صورت رابطه (۷) مقادیر  $\hat{m}_{jt}$  و  $\hat{s}_{jt}^2$  را تعدیل می‌کند.

3. Exponentiation

بیمه‌گر درصدی را به‌عنوان فاکتور بارگذاری به نرخ بیمه منصفانه به‌دست آمده اضافه می‌کند تا نرخ بیمه واقعی پرداختی تولیدکننده به‌دست آید. به باور Josephson et al. (2001) به طور معمول فاکتور بارگذاری به‌صورت درصدی از نرخ بیمه منصفانه محاسبه می‌شود و چنانچه نرخ بیمه منصفانه محاسبه شده به عدد  $0/9$  تقسیم شود، نرخ بیمه واقعی عملکرد یعنی نرخ بیمه پرداختی تولیدکننده به‌دست می‌آید.

برای این منظور از اطلاعات سری زمانی سالانه عملکرد گندم آبی برای کل شهرستان‌های تولیدکننده گندم آبی طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷ استفاده می‌شود که از دفتر آمار و فن‌آوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی ایران اخذ شده است. علاوه بر آن اطلاعات اقلیمی مورد نیاز به‌صورت روزانه و ماهانه برای ایستگاه‌های سینوپتیک و کليما تولوژی از سازمان هواشناسی ایران طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷ اخذ شده‌اند. سال‌های مورد بررسی بر اساس سال زراعی (ابتدای مهر یک سال تا انتهای شهریور سال بعد) در نظر گرفته شده‌اند. نواقص آماری موجود در اطلاعات اقلیمی روزانه و ماهانه با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی طبقات اقلیمی، خطوط هم‌باران، خطوط هم‌دما، خطوط هم‌تبخیر، پراکندگی ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری ایران (Ministry of Agriculture Jihad, 2019) و بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcGIS بازسازی شده‌اند.

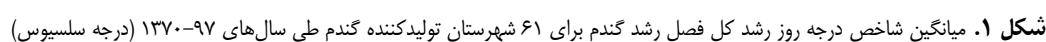
با توجه به ماهیت تغییرات آب و هوایی انتظار بر این است مناطق همگن و مشابه از نظر آب و هوایی به‌صورت کم‌وبیش مشابهی تحت تأثیر این تغییرات قرار گیرند. بر همین اساس تعداد ۶۱ شهرستان تولیدکننده گندم آبی که اطلاعات عملکردی و اقلیمی آن‌ها کامل است، انتخاب شدند تا از میان آن‌ها شهرستان‌هایی که به لحاظ اقلیمی در پهنه گرم و خشک قرار می‌گیرند، انتخاب شوند. برای پهنه‌بندی اقلیمی در این مطالعه از شاخص بسیار تأثیرگذار بر عملکرد محصول در مناطق مختلف به نام میانگین شاخص درجه روز رشد<sup>۳</sup> طی فصل رشد محصول (ماه‌های آبان تا مرداد) در شهرستان‌های مورد بررسی طی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۷ استفاده شد. در واقع با استفاده از این روش پهنه‌بندی اقلیمی که پهنه‌بندی بر اساس مهم‌ترین متغیر اقلیمی تأثیرگذار بر عملکرد محصول است، تغییرات عوامل اقلیمی طی دوره‌های مختلف رشد محصول در میان شهرستان‌های هر یک از پهنه‌های مفروض، همگن می‌باشد.

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، با استفاده از عامل اقلیمی مجموع دماهای روزانه بزرگ‌تر از صفر درجه (شاخص درجه روز رشد) در طول فصل رشد محصول، چهار شهرستان دهلران، بوشهر، دزفول و کازرون که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، از جمله شهرستان‌های تولیدکننده گندم هستند که بزرگ‌تر از  $7109$  درجه سلسیوس است و مجموع دماهای بزرگ‌تر از صفر درجه در طول فصل رشد محصول در آن‌ها بسیار نزدیک به هم و متفاوت از سایر شهرستان‌ها است. این در حالی است که شاخص درجه روز رشد برای ۵۷ شهرستان دیگر کمتر از  $7000$  درجه سلسیوس است. این چهار شهرستان به عنوان شهرستان‌های تولیدکننده گندم در پهنه گرم و خشک کشور طبقه‌بندی می‌شوند.

۱. شهرستان‌هایی که اطلاعات عملکرد گندم آبی و اطلاعات اقلیمی آن‌ها طی دوره موردبررسی به صورت متوالی و سالانه گزارش نشده است از بررسی کنار گذاشته شده‌اند.

۲. بنا به اظهارنظر کارشناسان مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی ایران، بودجه طرح تهیه و جمع‌آوری پرسشنامه برای محاسبه عملکرد شهرستان‌های کشور در سال ۱۳۹۱ تأمین نشده فلذا داده‌های عملکرد هیچ شهرستانی در سال ۱۳۹۱ موجود نمی‌باشد. با بررسی اطلاعات میانگین دما و بارش و عملکرد گندم آبی در سطح کل کشور برای سه سال ۱۳۹۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ روشن شد که تغییرات اقلیمی و عملکردی قابل ملاحظه‌ای در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ وجود ندارد. لذا داده‌های آب و هوایی سال زراعی ۱۳۹۱ نیز با این اطمینان که تورشی در برآورد نتایج ایجاد نمی‌نماید، از بررسی کنار گذاشته شده‌اند.

3. Growing Degree Days (GDD)



**جدول ۱. زمان بندی مراحل رشد گندم در پهنه گرم و خشک**

منبع: یافته‌های تحقیق

منبع: یافته‌های تحقیق

برای کشف مناسب‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر عملکرد گندم آبی از میان تعداد زیادی متغیرهای اقلیمی ماهیانه، فصلی و سالیانه، روش تحلیل اکتشافی داده‌ها به خصوص روش نموداری بین عملکرد و متغیرهای اقلیمی می‌تواند به تشخیص درست کمک نماید. بر همین اساس، متغیرهای مجموع بارش در کل فصل رشد محصول، میانگین کمبود بارش در مرحله گلدهی، شاخص درجه روز رشد دماهای کم، متوسط و زیاد طی فصل رشد محصول، متغیر مجازی سالانه I و II که در جدول (۲) به صورت خلاصه تعریف شده‌اند به عنوان کاندیدای مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میانگین و ریسک عملکرد و همچنین نرخ بیمه عملکرد محصول انتخاب شدند.

## یافته‌های پژوهش

ویژگی‌های آماری مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر میانگین و واریانس عملکرد محصول گندم آبی در پهنه گرم و خشک تعریف شده در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳. ویژگی‌های آماری متغیرها در پهنه گرم و خشک طی سال‌های ۱۳۷۰-۹۷

| متغیر                                                    | میانگین | کمینه  | بیشینه  | انحراف معیار | ضریب تغییرات (درصد) | تعداد مشاهدات |
|----------------------------------------------------------|---------|--------|---------|--------------|---------------------|---------------|
| عملکرد گندم آبی (کیلوگرم در هکتار)                       | ۲۹۹۳/۵۴ | ۶۳۳/۳۳ | ۵۸۵۰/۰۰ | ۱۱۸۶/۱۷      | ۳۹/۶۲               | ۱۰۸           |
| مجموع بارش کل فصل رشد (آذر تا اردیبهشت) (میلی‌متر)       | ۲۲۳/۶۴  | ۲۵/۵۰  | ۷۳۴/۳۱  | ۱۱۷/۴۸       | ۵۲/۵۳               | ۱۰۸           |
| میانگین کمبود بارش در مرحله گلدهی (فروردین) (میلی‌متر)   | ۳۸/۷۱   | ۵/۲۰   | ۶۷/۱۰   | ۱۰/۰۴        | ۲۵/۹۴               | ۱۰۸           |
| دمای کم در کل فصل رشد (آذر تا اردیبهشت) (درجه سلسیوس)    | ۵۴۳/۲۰  | ۱۴/۰۰  | ۹۹۵/۵۰  | ۲۳۹/۶۹       | ۴۴/۱۳               | ۱۰۸           |
| دمای متوسط در کل فصل رشد (آذر تا اردیبهشت) (درجه سلسیوس) | ۷۳۶/۶۷  | ۴۵۰/۷۰ | ۱۲۲۵/۹۰ | ۱۷۱/۷۹       | ۲۳/۳۲               | ۱۰۸           |
| دمای زیاد در کل فصل رشد (آذر تا اردیبهشت) (درجه سلسیوس)  | ۲۴/۲۹   | ۰/۲۰   | ۱۰۰/۳۰  | ۲۲/۷۵        | ۹۳/۶۶               | ۱۰۸           |

منبع: یافته‌های تحقیق

اولین بخش در بررسی اثر متغیرهای اقلیمی بر نرخ بیمه عملکرد محصول، برآورد الگوهای اقتصادسنجی مبتنی بر گشتاور است تا با استفاده از پارامترهای برآورد شده این الگوها مقادیر میانگین و واریانس مشروط به متغیرهای اقلیمی محاسبه شوند. پیش از برآورد الگوهای مبتنی بر گشتاور برای تشخیص ماهیت داده‌های مورد بررسی و همچنین اطمینان از انتخاب نوع الگوی برآوردی از آزمون‌های چاو، ضریب لاگرانژ و هاسمن استفاده شده است. نتایج آزمون‌های انجام شده نشان می‌دهد که ماهیت داده‌های موردبررسی از نوع ترکیبی و الگوی مناسب برای برآورد الگوهای مبتنی بر گشتاور، الگوی اثرات ثابت است. پیش از برآورد الگوی اثرات ثابت برای تشخیص برابری ضرایب متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصول در میان شهرستان‌های مختلف پهنه گرم و خشک از آزمون والد استفاده شده است. در همین راستا از برآورد سیستم معادلات به ظاهر نامرتب برای تعیین اثر متغیرهای اقلیمی بر عملکرد گندم آبی در هر کدام از شهرستان‌های پهنه گرم و خشک استفاده شده است. با توجه به نتایج آزمون برابری ضرایب متغیرهای اقلیمی اثرگذار بر عملکرد گندم آبی بین شهرستان‌های پهنه گرم و خشک نتیجه گرفته شد که تنها ضرایب عرض از مبدأ بین شهرستان‌های تولیدکننده گندم آبی به لحاظ آماری متفاوت از هم است و سایر ضرایب متغیرهای اقلیمی اثرگذار بر عملکرد گندم آبی بین شهرستان‌های پهنه موردنظر به لحاظ آماری دارای اثر یکسان بر عملکرد محصول هستند. این نتایج مناسب بودن الگوی اثرات ثابت را تأیید می‌کند.

نتایج برآورد الگوهای اقتصادسنجی میانگین و واریانس عملکرد پهنه گرم و خشک در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به این جدول، مقادیر ضریب تعیین ( $R^2$ ) و ضریب تعیین تعدیل شده ( $\bar{R}^2$ ) الگوی میانگین و واریانس عملکرد گویای توضیح دهنده قابل قبول متغیرهای اقلیمی در این الگو می‌باشد. از طرف دیگر چون از مقادیر میانگین و واریانس پیش‌بینی شده دو الگوی برآورد

شده در مراحل بعد برای تعیین توابع توزیع مشروط به متغیرهای اقلیمی استفاده می‌شود، درصد میانگین قدر مطلق خطا<sup>۱</sup> برای الگوهای میانگین و واریانس محاسبه شده است. درصد خطا در الگوی میانگین و واریانس به ترتیب برابر ۲/۰۴ و ۱۳/۶۱ درصد محاسبه شده است. علاوه بر آن، نتایج آزمون‌های خودهمبستگی و واریانس ناهمسانی برای الگوهای جدول (۴) وجود خودهمبستگی و واریانس ناهمسانی در الگوهای برآورد شده را رد می‌نماید. ضمن اینکه نتایج آزمون‌های ریشه واحد باقی‌مانده الگوهای میانگین و واریانس گندم آبی در پهنه گرم و خشک نشان داده است که فرض صفر این آزمون‌ها مبنی بر وجود هرگونه ریشه واحد مشترک یا انفرادی رد شده است. لذا باقی‌مانده الگوهای میانگین و واریانس برآورد شده تصادفی می‌باشد. ضمن اینکه تمام ضرایب برآوردی در الگوهای میانگین و واریانس برای پهنه گرم و خشک در سطوح احتمال یک، پنج و ۱۰ درصد معنی‌دار شده‌اند.

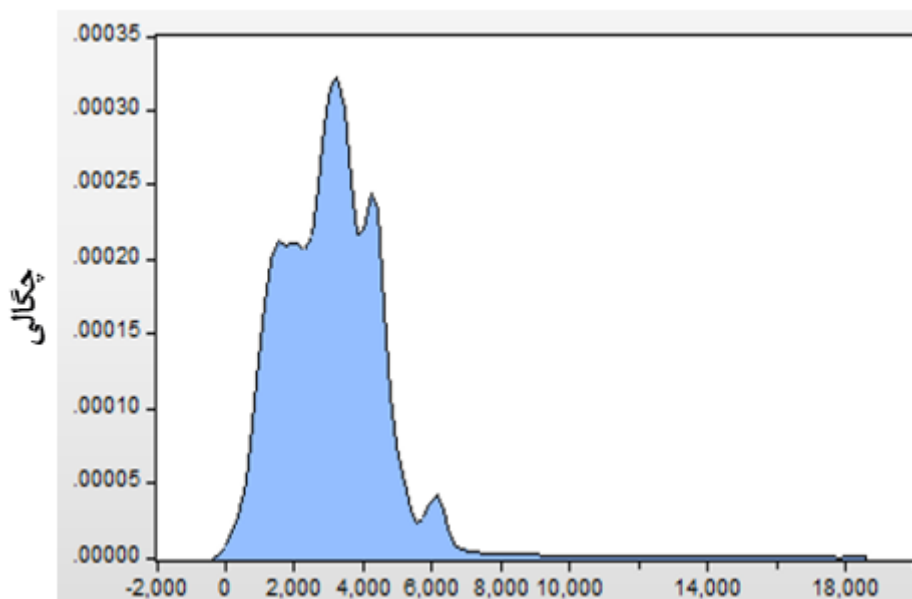
جدول ۴. برآورد الگوهای میانگین و واریانس عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک

| متغیر وابسته                                             | الگوی میانگین: لگاریتم طبیعی | الگوی واریانس: لگاریتم طبیعی | متغیر مستقل |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|
| مجموع بارش کل فصل رشد (آذر تا اردیبهشت) (میلی‌متر)       | ۰/۰۰۰۲۱*                     | ۰/۰۰۳۸**                     |             |
| میانگین کمبود بارش در مرحله گلدهی (فروردین) (میلی‌متر)   | ۰/۰۰۵۶۱***                   | ۰/۰۰۵۵۹***                   |             |
| دمای کم در کل فصل رشد (آذر تا اردیبهشت) (درجه سلسیوس)    | ۰/۰۰۰۴۹***                   | ۰/۰۰۰۳۹***                   |             |
| دمای متوسط در کل فصل رشد (آذر تا اردیبهشت) (درجه سلسیوس) | ۰/۰۰۱۰۳***                   | ۰/۰۰۰۷۴***                   |             |
| دمای زیاد در کل فصل رشد (آذر تا اردیبهشت) (درجه سلسیوس)  | ۰/۰۰۱۶۷*                     | ۰/۰۰۲۴۹***                   |             |
| متغیر مجازی سالانه II                                    | ۰/۰۰۲۴۱۲۱***                 | ۰/۰۰۱۸۶۹۶***                 |             |
| متغیر مجازی سالانه I                                     | ۰/۰۰۰۱۲***                   | ۱/۰۰۵۵۲۵***                  |             |
| $R^2$                                                    | ۰/۸۲۳۰                       | ۰/۷۰۳۳                       |             |
| $\bar{R}^2$                                              | ۰/۸۰۴۷                       | ۰/۶۷۳۷                       |             |
| درصد خطای پیش‌بینی                                       | ۲/۰۴                         | ۱۳/۶۱                        |             |
| اثرات ثابت مقاطع الگوی میانگین                           |                              |                              |             |
| بوشهر                                                    | دهلران                       | کازرون                       | دزفول       |
| ۶/۳۹                                                     | ۷/۳۷                         | ۷/۱۸                         | ۷/۴۱        |
| اثرات ثابت مقاطع الگوی واریانس                           |                              |                              |             |
| بوشهر                                                    | دهلران                       | کازرون                       | دزفول       |
| ۱۷/۰۵                                                    | ۱۶/۲۷                        | ۱۵/۷۵                        | ۱۷/۳۷       |

منبع: یافته‌های تحقیق (\*) و \*\* و \*\*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد، ۵ درصد و ۱ درصد

ضرایب برآورد شده در الگوهای میانگین جدول (۴) نشان می‌دهد که متغیرهای مجموع بارش کل فصل رشد محصول اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد گندم آبی دارد. بدین معنی که گندم در کل فصل رشد به تنش خشکی حساس بوده و کاهش بارش در این زمان سبب ایجاد نوعی عدم تعادل گردش آب در گیاه می‌گردد که به موجب آن تأثیر منفی بر روی سوخت‌وساز گیاه می‌گذارد. ضریب متغیر میانگین کمبود بارش در مرحله گلدهی در الگوی میانگین ارائه شده، نشان می‌دهد که با افزایش میانگین کمبود بارش در مرحله گلدهی، میانگین عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک کاهش می‌یابد. مجموع دماهای روزانه کم و متوسط در کل فصل رشد محصول اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد محصول دارد و مجموع دماهای روزانه زیاد در کل فصل رشد محصول

اثر منفی و معنی داری بر عملکرد محصول دارد. به این معنی که با افزایش میانگین مجموع دماهای روزانه کم و متوسط، میانگین عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک افزایش می یابد اما افزایش میانگین مجموع دماهای روزانه زیاد باعث کاهش میانگین عملکرد گندم آبی در این پهنه می شود. در این ارتباط Tack et al. (2014) و Tack et al. (2018) نتیجه گرفتند مجموع دماهای روزانه در طول فصل رشد محصول در محدوده های دمایی مختلف از عوامل بسیار مهم بر عملکرد محصولات کشاورزی به خصوص گندم است و افزایش مجموع درجه حرارت های زیاد با توجه به اینکه غالباً در مراحل پایانی رشد گندم رخ می دهند بیشترین تأثیر را بر افزایش تبخیر و ترق و عدم جذب آب توسط گیاه دارد. از این طریق عملکرد گندم کاهش می یابد. افزایش مجموع درجه حرارت های کم با توجه به اینکه غالباً در مرحله ساقه دهی از رشد گندم رخ می دهند بیشترین تأثیر را بر کاهش روزهای یخبندان دارد و از این طریق موجب افزایش عملکرد محصول می شوند. افزایش مجموع درجه حرارت های متوسط با توجه به اینکه غالباً در مراحل ابتدایی از رشد گندم رخ می دهند در صورتی که منجر به افزایش رطوبت نسبی هوا شود عملکرد محصول را افزایش می دهد. ضمن اینکه ضرایب برآورد شده در الگوی واریانس جدول (۴) نشان می دهد که متغیرهای مجموع بارش کل فصل رشد محصول، مجموع دماهای روزانه کم و متوسط در کل فصل رشد محصول اثر منفی و معنی داری بر واریانس عملکرد محصول دارند. متغیر مجموع دماهای روزانه زیاد و متغیر کمبود بارش در مرحله گلدهی اثر مثبت و معنی داری بر واریانس عملکرد محصول دارد. این بدان معنی است با افزایش مقادیر میانگین گروه اول متغیرها، ریسک تولید کاهش و با افزایش مقدار میانگین گروه دوم متغیرها، ریسک تولید افزایش می یابد. ضرایب برآورد شده برای متغیرهای مجازی سالانه II و I در الگوهای میانگین و واریانس نشان داده است، وقوع مجموعه ای از اتفاقات نامطلوب اقلیمی در یک سال نظیر خشکسالی و بارش در زمان نامناسب اثر منفی و معنی دار بر عملکرد و واریانس عملکرد گندم آبی دارد. همچنین وقوع مجموعه ای از اتفاقات مطلوب اقلیمی در یک سال نظیر بارش به مقدار کافی و در زمان مناسب و دمای مناسب در کل فصل رشد گیاه، اثر مثبت و معنی دار بر عملکرد و واریانس عملکرد گندم آبی دارد. با بهره گیری از پارامترهای برآورد شده در جدول (۴) و مقادیر متغیرهای اقلیمی در سطح چهار شهرستان پهنه گرم و خشک طی سال های مورد مطالعه، مقادیر میانگین و انحراف معیار مشروط به متغیرهای اقلیمی برای هر سال در هر شهرستان به صورتی که در بخش روش شناسی توضیح داده شد، محاسبه گردید. سپس، میانگین و واریانس به دست آمده برای آن ها استفاده شد و به روش شبیه سازی مونت کارلو تعداد ۱۰۰۰ عدد عملکرد برای هر سال در هر شهرستان به صورت جداگانه ایجاد گردید تا دامنه متغیر عملکرد گندم آبی در هر سال گسترده تر شود. در قدم بعدی، با استفاده از توزیع احتمال ناپارامتری مقادیر عملکرد شبیه سازی شده، احتمال وقوع هر یک از مقادیر عملکرد خلق شده، محاسبه شد. این احتمالات به عنوان وزن هر یک از مقادیر عملکرد شبیه سازی شده استفاده شد و برابر آنچه در بخش روش شناسی توضیح داده شد میانگین عملکرد تابع توزیع ترکیبی برآورد گردید. تابع توزیع احتمال ترکیبی عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک در حالت پایه به صورت شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه به این، مقدار میانگین عملکرد تابع توزیع احتمال ترکیبی گندم آبی در پهنه گرم و خشک معادل ۲۹۸۹/۳۹ کیلوگرم در هکتار محاسبه شده است. مقدار انحراف معیار تابع توزیع احتمال ترکیبی در حالت پایه برابر ۱۰۲۱/۶۱ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، شکل تابع توزیع احتمال ترکیبی عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک دارای چولگی مثبت (به سمت راست) است. لذا تابع توزیع احتمال تعیین شده نزدیک ترین تابع توزیع احتمال تجربی محصول گندم آبی در پهنه گرم و خشک است. این همان موضوعی است که Tolhurst and Ker (2015) در توصیف مزیت این روش برای استخراج تابع توزیع احتمال به آن اشاره داشته اند.



شکل ۲. تابع توزیع احتمال ترکیبی عملکرد گندم آبی برای پهنه گرم و خشک در حالت پایه

برای سنجش اثر متغیرهای اقلیمی بر میانگین و واریانس تابع توزیع ترکیبی عملکرد محصول، سناریوهایی در پهنه گرم و خشک اجرا شد که در هر یک از آن‌ها یکی از متغیرهای اقلیمی مؤثر بر عملکرد تغییر داده شد و تأثیر آن بر مقادیر میانگین و واریانس تابع توزیع ترکیبی و متعاقب آن بر نرخ بیمه عملکرد محصول در پهنه گرم و خشک محاسبه گردید. ضمن اینکه برای شبیه‌سازی تمام تغییرات اقلیمی مورد انتظار، علاوه بر سناریوهای اجرا شده، یک سناریو که تمام سناریوهای مورد انتظار متغیرهای اقلیمی را به صورت هم‌زمان در نظر بگیرد، مورد توجه قرار گرفته است. مبنای سناریوهای آب و هوایی که اجرا شدند گزارش پنجم هیات بین‌الدولی تغییر اقلیم و پیش‌بینی‌های آن‌ها توسط Meteorological Organization of Iran (2018) برای مناطق مختلف ایران است. نتایج مطالعه نام‌برده درخصوص سناریو RCP8.5 نشان دهنده کاهش بارش و افزایش دما طی دهه ۲۰۳۰ میلادی در اکثر مناطق کشور و به میزان مختلف طی ماه‌های سال است. این پیش‌بینی‌ها که در ماه‌های مختلف سال برحسب درصد ارائه شده است با توجه به میانگین متغیرهای اثرگذار بر عملکرد گندم آبی طی دوره مورد بررسی برای پهنه گرم و خشک و طی دوره‌های مختلف رشد محصول تعدیل شدند.

با اجرای هریک از سناریوهای اقلیمی مورد انتظار برای پهنه گرم و خشک و محاسبه مجدد مقادیر میانگین و انحراف معیار توابع توزیع احتمال شرطی و شبیه‌سازی آن‌ها، مطابق روشی که برای محاسبه میانگین و واریانس تابع توزیع ترکیبی در حالت پایه استفاده شد، مقادیر میانگین و واریانس تابع توزیع ترکیبی تحت هر یک از سناریوهای اقلیمی مفروض محاسبه و در جدول (۵) با مشخصات تابع توزیع ترکیبی عملکرد گندم آبی در حالت پایه مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود چنانچه سناریو اول که به معنای کاهش ۲۵ میلی‌متر معادل ۱۱ درصد از میانگین متغیر مجموع بارش در کل فصل رشد محصول (آذر تا اردیبهشت) است، اتفاق بیفتد، میانگین عملکرد ۲۹۸۹ کیلوگرم در هکتار در حالت پایه با کاهش ۰/۷۷ درصدی مواجه خواهد شد و به مقدار ۲۹۶۶ کیلوگرم در هکتار خواهد رسید. در این حالت واریانس عملکرد نسبت به حالت پایه ۰/۳۴ درصد افزایش می‌یابد. همچنین ضریب تغییرات تابع توزیع ترکیبی از ۳۴/۱۷ درصد در حالت پایه به مقدار ۳۴/۵۰ درصد افزایش خواهد یافت. مقادیر محاسبه شده در جدول (۵) نشان می‌دهد اگر سناریو دوم اجرا گردد به میانگین متغیر کمبود بارش در ماه فروردین (مرحله گلدهی) مقدار چهار میلی‌متر افزوده می‌شود. در این صورت، میانگین عملکرد در حالت پایه با ۲/۲۹ درصد کاهش به مقدار ۲۹۲۱ کیلوگرم در هکتار می‌رسد. واریانس عملکرد نیز با ۱/۱۱ درصد کاهش مواجه می‌شود. همچنین، ضریب تغییرات نیز از ۳۴/۱۷ درصد در حالت پایه به مقدار ۳۴/۷۸ درصد افزایش خواهد یافت. اگر سناریو سوم به وقوع بپیوندد، یعنی به میانگین متغیر دمای متوسط طی ماه‌های آذر تا اردیبهشت (کل فصل رشد محصول) به مقدار ۱/۲۲ درجه سلسیوس معادل ۶/۷۲ درصد افزوده شود، در این صورت،

۳/۷۵ درصد از میانگین عملکرد در حالت پایه کاسته شده و به مقدار ۲۸۷۷ کیلوگرم در هکتار کاهش خواهد یافت. در این حالت، ۱/۲۲ درصد به واریانس کل نسبت به حالت پایه افزوده خواهد شد. به تبع این تغییرات در میانگین و واریانس، ضریب تغییرات نیز از ۳۴/۱۷ درصد در حالت پایه به مقدار ۳۵/۷۲ درصد افزایش خواهد یافت. سناریوی چهارم که وقوع همزمان سناریوهای اول تا سوم را به صورت همزمان شبیه سازی می کند، نشان می دهد که با کاهش مجموع بارش در کل فصل رشد محصول، افزایش میانگین کمبود بارش در مرحله گلدهی و همچنین افزایش میانگین دمای روزانه طی فصل رشد محصول، به مقدار ۶/۳۹ درصد از میانگین عملکرد در حالت پایه کم خواهد شد و به مقدار ۲۷۹۸ کیلوگرم در هکتار خواهد رسید. واریانس تابع توزیع ترکیبی در حالت پایه ۲/۶۶ درصد افزایش می یابد. همچنین، ضریب تغییرات تابع توزیع ترکیبی از ۳۴/۱۷ درصد در حالت پایه به مقدار ۳۶/۹۹ درصد افزایش خواهد یافت.

همان طور که مقادیر محاسبه شده در جدول (۵) نشان می دهد، تغییرات مورد انتظار اقلیمی در دهه ۲۰۳۰ در هر سه سناریو اجرا شده موجب کاهش میانگین عملکرد و افزایش ریسک عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک نسبت به حالت پایه می شود. از میان سناریوهای اجرا شده سناریو سوم یعنی افزایش میانگین دمای روزانه طی فصل رشد محصول بیشترین تأثیر را بر کاهش میانگین عملکرد و افزایش ریسک عملکرد گندم آبی دارد. این مساله بیانگر اهمیت گرمایش در کاهش میانگین و افزایش ریسک عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک است. ضمن اینکه با توجه به نتایج اجرای سناریوی چهارم در این مطالعه که وقوع همزمان سناریوهای مورد انتظار در دهه ۲۰۳۰ را به صورت همزمان در پهنه گرم و خشک برای محصول گندم آبی شبیه سازی کرده است انتظار می رود میانگین عملکرد گندم آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم در پهنه گرم و خشک طی سال های آینده کاهش و ریسک عملکرد افزایش یابد.

جدول ۵. خصوصیات تابع توزیع ترکیبی عملکرد گندم آبی پیش و پس از اعمال سناریوهای اقلیمی در پهنه گرم و خشک

| شرح سناریو                                                                           | میانگین (کیلوگرم در هکتار) | درصد تغییرات میانگین نسبت به حالت پایه (درصد) | واریانس (توان دوم کیلوگرم در هکتار) | درصد تغییرات واریانس نسبت به حالت پایه (درصد) | ضریب تغییرات |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|
| حالت پایه                                                                            | ۲۹۸۹/۳۹                    | -                                             | ۱۰۴۳۶۷۹/۳۹                          | -                                             | ۳۴/۱۷        |
| ۱- کاهش ۲۵ میلی متر مجموع بارش در طول فصل رشد محصول (آذر تا اردیبهشت)                | ۲۹۶۶/۳۵                    | -۰/۷۷                                         | ۱۰۴۷۲۱۳/۷۵                          | ۰/۳۴                                          | ۳۴/۵۰        |
| ۲- افزایش ۴ میلی متر میانگین کمبود بارش مرحله گلدهی (فروردین)                        | ۲۹۲۰/۹۹                    | -۲/۲۹                                         | ۱۰۳۲۰۶۶/۲۸                          | -۱/۱۱                                         | ۳۴/۷۸        |
| ۳- افزایش ۱/۲۲ درجه سلسیوس میانگین دما روزانه در طول فصل رشد محصول (آذر تا اردیبهشت) | ۲۸۷۷/۳۴                    | -۳/۷۵                                         | ۱۰۵۶۴۴۵/۱۸                          | ۱/۲۲                                          | ۳۵/۷۲        |
| ۴- اجرای سه سناریوی نام برده به صورت همزمان                                          | ۲۷۹۸/۴۸                    | -۶/۳۹                                         | ۱۰۷۱۴۷۷/۸۶                          | ۲/۶۶                                          | ۳۶/۹۹        |

منبع: یافته های تحقیق

با استفاده از مقدار میانگین تابع توزیع ترکیبی عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک در حالت پایه و ضرب این مقدار در سطوح پوشش بیمه، مقادیر عملکرد تضمینی در سطوح پوشش مختلف محاسبه گردید. پس از آن با مقایسه عملکرد تضمینی با عملکردهای شبیه سازی شده گندم آبی در حالت پایه و عملکردهای شبیه سازی شده گندم آبی تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی اجرا شده در پهنه گرم و خشک، مقدار میانگین غرامت انتظاری در حالت پایه و میانگین غرامت انتظاری تحت تأثیر تغییرات اقلیمی محاسبه گردید. سپس از نسبت غرامت انتظاری به عملکرد تضمینی برحسب درصد، نرخ بیمه منصفانه عملکرد گندم آبی محاسبه شد. در نهایت این نرخ منصفانه بر عدد ۰/۹ تقسیم گردید تا نرخ بیمه واقعی عملکرد گندم آبی در سطوح پوشش مختلف، پیش و پس از اجرای سناریوهای اقلیمی در پهنه گرم و خشک برای سطوح پوشش مختلف در جدول (۶) ارائه شده است. همان طور که در این جدول مشاهده می شود میانگین تابع توزیع ترکیبی عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک معادل ۲۹۸۹ کیلوگرم در هکتار است (ردیف اول جدول (۶)) و بیمه گر در سطح پوشش به عنوان مثال ۷۵ درصد معادل ۷۵ درصد از میانگین عملکرد تابع توزیع ترکیبی یعنی ۲۲۴۲ کیلوگرم در هکتار (ردیف سوم، ستون پنجم جدول (۶)) را تحت پوشش قرار می دهد. در این شرایط نرخ بیمه واقعی عملکرد در سطح پوشش ۷۵ درصد در حالت پایه برابر ۱۱/۲۷ درصد محاسبه شده است (ردیف چهارم، ستون پنجم جدول (۶)).

این بدین معنی است که بیمه‌گر انتظار دارد معادل ۱۱/۲۷ درصد از عملکرد گندم آبی که در سطح پوشش ۷۵ درصد تضمین می‌نماید به‌عنوان غرامت پرداخت نماید همچنین بیمه‌گزار برای بیمه محصول خود بایستی معادل ۱۱/۲۷ درصد از عملکردی که بیمه‌گر در سطح پوشش ۷۵ درصد تضمین می‌کند به‌عنوان نرخ بیمه عملکرد محاسبه شده در جدول (۶) در سطوح پوشش ۶۰ تا ۹۰ درصد به همین شکلی که توضیح داده شد، تفسیر می‌شوند. ضمن اینکه نرخ بیمه عملکرد صندوق بیمه کشاورزی برای گندم آبی در پهنه گرم و خشک تنها در سطح پوشش ۷۵ درصد و به مقدار ۵/۱۸ درصد بدون احتساب ۶۶ درصد یارانه پرداختی دولت ارائه شده است. لذا مشاهده می‌شود که نرخ بیمه واقعی عملکرد محاسبه شده در جدول (۶) برای گندم آبی در پهنه گرم و خشک در حالت پایه حدوداً شش درصد از نرخ بیمه ارائه شده توسط صندوق بیمه کشاورزی، بیشتر است.

با توجه به جدول (۶)، در سطح پوشش ۷۵ درصد چنانچه سناریو اول که به معنای کاهش ۲۵ میلی‌متر معادل ۱۱ درصد از میانگین متغیر مجموع بارش در کل فصل رشد محصول (آذر تا اردیبهشت) است، اتفاق بیفتد، نرخ بیمه واقعی عملکرد در حالت پایه که معادل ۱۱/۲۷ درصد محاسبه شده با افزایش ۲/۱۳ درصدی مواجه خواهد شد و به مقدار ۱۱/۵۱ درصد خواهد رسید. اگر سناریو دوم رخ دهد به میانگین متغیر کمبود بارش در ماه فروردین (مرحله گلدهی) مقدار چهار میلی‌متر افزوده می‌شود. در این صورت، ۶/۶۵ درصد به نرخ بیمه واقعی عملکرد در حالت پایه افزوده شده و به مقدار ۱۲/۰۲ درصد افزایش خواهد یافت. بر اساس این جدول، اگر سناریو سوم به وقوع بپیوندد، یعنی به میانگین متغیر دمای متوسط طی ماه‌های آذر تا اردیبهشت (کل فصل رشد محصول) به مقدار ۱/۲۲ درجه سلسیوس معادل ۶/۷۲ درصد افزوده شود. در این صورت، نرخ بیمه واقعی عملکرد نسبت به حالت پایه ۱۴/۳۷ درصد افزایش یافته و به مقدار ۱۲/۸۹ درصد خواهد رسید. سناریوی چهارم که وقوع هم‌زمان سناریوهای اول تا سوم را به‌صورت هم‌زمان شبیه‌سازی می‌کند، نشان می‌دهد که با کاهش مجموع بارش در کل فصل رشد محصول، افزایش میانگین کمبود بارش در مرحله گلدهی و همچنین افزایش میانگین دمای روزانه طی فصل رشد محصول، به مقدار ۲۴/۲۲ درصد به نرخ بیمه واقعی عملکرد در حالت پایه افزوده خواهد شد و به مقدار ۱۴/۰۰ درصد خواهد رسید. لذا با توجه به مقادیر نرخ بیمه واقعی عملکرد در جدول (۶)، تغییرات مورد انتظار اقلیمی در دهه ۲۰۳۰ میلادی در هر سه سناریو اجرا شده موجب افزایش نرخ بیمه واقعی عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک نسبت به حالت پایه می‌شود. از میان سناریوهای اجرا شده سناریو سوم یعنی افزایش میانگین دمای روزانه طی فصل رشد محصول بیشترین تأثیر را بر افزایش نرخ بیمه واقعی عملکرد گندم آبی در پهنه گرم و خشک نسبت به حالت پایه دارد.

جدول ۶. نرخ بیمه واقعی عملکرد گندم آبی پیش و پس از اجرای سناریوهای اقلیمی در پهنه گرم و خشک برای سطوح پوشش متفاوت

| میانگین عملکرد (کیلوگرم در هکتار) |         |         |         |         |         |         | نرخ بیمه واقعی (درصد)                                                                |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ۶۰                                | ۶۵      | ۷۰      | ۷۵      | ۸۰      | ۸۵      | ۹۰      |                                                                                      |
| ۱۷۹۳/۶۳                           | ۱۹۴۳/۱۰ | ۲۰۹۲/۵۷ | ۲۲۴۲/۰۴ | ۲۳۹۱/۵۱ | ۲۵۴۰/۹۸ | ۲۶۹۰/۴۵ | عملکرد تضمینی (کیلوگرم در هکتار)                                                     |
| ۷/۰۴                              | ۸/۴۰    | ۹/۸۰    | ۱۱/۲۷   | ۱۲/۷۴   | ۱۴/۲۳   | ۱۵/۷۸   | حالت پایه                                                                            |
| ۷/۲۶                              | ۸/۶۱    | ۱۰/۰۲   | ۱۱/۵۱   | ۱۳/۰۰   | ۱۴/۵۳   | ۱۶/۱۰   | ۱- کاهش ۲۵ میلی‌متر مجموع بارش در طول فصل رشد محصول (آذر تا اردیبهشت)                |
| ۷/۶۹                              | ۹/۰۹    | ۱۰/۵۱   | ۱۲/۰۲   | ۱۳/۵۴   | ۱۵/۱۰   | ۱۶/۶۹   | ۲- افزایش ۴ میلی‌متر میانگین کمبود بارش مرحله گلدهی (فروردین)                        |
| ۸/۵۳                              | ۹/۹۳    | ۱۱/۳۸   | ۱۲/۸۹   | ۱۴/۴۳   | ۱۶/۰۲   | ۱۷/۶۴   | ۳- افزایش ۱/۲۲ درجه سلسیوس میانگین دما روزانه در طول فصل رشد محصول (آذر تا اردیبهشت) |
| ۹/۵۱                              | ۱۰/۹۴   | ۱۲/۴۴   | ۱۴/۰۰   | ۱۵/۵۹   | ۱۷/۲۱   | ۱۸/۸۸   | ۴- اجرای سه سناریوی نام‌برده به‌صورت هم‌زمان                                         |

منبع: یافته‌های تحقیق

### بحث، نتیجه گیری و پیشنهادها

مقایسه یافته‌های این مطالعه با سایر مطالعه‌های مرتبط نظیر (Tack et al. (2018)، Siameh (2016)، Tack & Ubilava (2013)، Perry et al. (2020) و Regmi et al. (2023) نشان می‌دهد که روند جهانی در تحلیل اثرات تغییرات اقلیمی بر عملکرد و بیمه کشاورزی نیز حاکی از افزایش قابل توجه ریسک عملکرد محصولات تحت شرایط دمایی بالا و به تبع آن، افزایش نرخ‌های بیمه‌ای است. در مقایسه با این مطالعات، پژوهش حاضر با رویکردی بومی‌شده و مبتنی بر داده‌های اقلیمی و عملکرد گندم آبی در شهرستان‌های منتخب ایران در پهنه گرم و خشک، ضمن شبیه‌سازی سناریوهای اقلیمی و تخمین نرخ‌های منصفانه، تصویر دقیق‌تری از آثار آینده تغییر اقلیم بر نرخ بیمه گندم آبی در پهنه گرم و خشک ارائه کرده است. این یافته‌ها می‌توانند مکملی برای سیاست‌گذاران جهت اصلاح ساختار بیمه و تطبیق آن با ریسک‌های اقلیمی آینده باشند.

مقایسه نرخ بیمه واقعی در سطح پوشش ۷۵ درصد با نرخ‌های بیمه ارائه شده توسط صندوق بیمه کشاورزی در پهنه گرم و خشک نشان داد که برای محصول گندم آبی، نرخ بیمه واقعی به دست آمده از تابع توزیع احتمال ترکیبی در حالت پایه تقریباً دو برابر نرخ بیمه صندوق بیمه کشاورزی است و در صورت تغییر اقلیم به شکلی که سناریوها اعمال شدند، این نرخ می‌تواند تا تقریباً سه برابر نرخ فعلی افزایش یابد. این مساله نشان می‌دهد که تولید محصول گندم آبی در پهنه گرم و خشک که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی پیش‌بینی شده در این منطقه با کاهش میانگین عملکرد و افزایش نوسانات عملکرد مواجه است بایستی با موانعی مواجه شود. یکی از موانعی که می‌تواند از تولید این محصول در پهنه گرم و خشک جلوگیری نماید اعمال نرخ‌های بیمه واقعی است که در این مطالعه محاسبه شده است و متناسب با ریسک ناشی از تغییر اقلیم در پهنه گرم و خشک است، تعیین شده‌اند. بنابراین، برقراری حق بیمه منصفانه که بر اساس شرایط ریسکی پهنه اقلیمی محاسبه گردیده باشد، می‌تواند به عنوان یک سیاست مناسب برای تسهیل در اصلاح الگوی کشت منطبق با تغییرات اقلیمی در نظر گرفته شود و توصیه می‌گردد. با توجه به این پیشنهاد سه توصیه سیاستی زیر به عنوان گام‌های عملیاتی و عمیق‌تر برای انطباق ساختار بیمه محصولات کشاورزی با تغییرات اقلیمی در پهنه گرم و خشک ایران قابل ارائه است:

- اصلاح ساختار نرخ‌گذاری بیمه: تعیین نرخ‌های بیمه بر اساس ریسک اقلیمی منطقه‌ای و نه نرخ‌های یکنواخت کشوری، به‌ویژه در مورد محصولات گندم که دارای حساسیت بالا به تغییر اقلیم هستند.
- بازنگری در یارانه‌های بیمه‌ای: پیشنهاد می‌شود که در مناطق با ریسک اقلیمی بالا، مانند شهرستان‌های بررسی شده در این مطالعه، پرداخت یارانه بیمه مشروط به اتخاذ اقدامات تطبیقی توسط کشاورزان مانند تغییر الگوی کشت، استفاده از ارقام مقاوم به خشکی یا تقویم زراعی سازگارتر با شرایط جدید اقلیمی باشد.
- تدوین نقشه بیمه اقلیمی: با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوهای اقلیمی دهه ۲۰۳۰، تدوین یک نقشه راه بیمه کشاورزی با سناریوهای جایگزین در سطح شهرستان و به‌ویژه در پهنه‌های اقلیمی با ریسک بالا می‌تواند موجب افزایش پایداری مالی صندوق بیمه کشاورزی و افزایش تاب‌آوری کشاورزان شود.

### REFERENCES

- Agricultural Insurance Fund. (2020). *Agricultural Insurance Fund performance report (2018-2019)*. Tehran, Iran. (in Persian)
- Anderson, J.R. (1973). Sparse data, climatic variability, and yield uncertainty in response analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 56, 77-83.
- Antle, J.M. & Goodger, W.J. (1982). *Measuring stochastic technology: the case of Tulare milk production*. Working Paper 83-4, Dept. of Agricultural Economics, University of California, Davis.
- Antle, J.M. (1983). Testing the stochastic structure of production: a flexible moment-based approach. *J. of Business and Economic Statistics*, 1, 192-201.
- Antle, J.M. (2010). Asymmetry, partial moments, and production risk. *American J. of Agricultural Economics*, 92, 1294-1309.

- Barlow, K.M., Christy, B.P., O'Leary, G.J., Riffkin, P.A., & Nuttall, J.G. (2015). Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: A review. *Field Crops Research*, 171, 109-119.
- Day, R.H. (1965). Probability distributions of field crops. *Journal of Farm Economics*, 47, 713-741.
- Duan, N. (1983). Smearing estimate: a nonparametric retransformation method. *J. of the American Statistical Association*, 78, 605-610.
- Farajzadeh Asl, M., Kashki, A., & Shayan, S. (2009). Analysis of rain-fed wheat yield product variability using climate change approach (case study area: Khorasan Razavi province (Iran)). *Spatial Planning (Modares Human Sciences)*, 13, 227-256. (in Persian)
- Farajzadeh Asl, M., Khoorani, A., Bazgir, S., & Ziaeiian, P. (2012). The analysis of the agrclimatological indices and climatic elements effect on rainfed wheat in different phonological stages in Kurdistan province (Iran). *Spatial Planning (Modares Human Sciences)*, 15, 1-17. (in Persian)
- Hart, C.E., Babcock, B.A., & Hayes, D.J. (2006). Livestock revenue insurance. *Journal of Futures Markets*, 21, 553-81.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jalali, M., Mohammadi, G.H., Hoseini Sadr, A., & Khoshvaghti, H. (2017). The role of spatial and temporal fluctuations of climatic parameters in dry land wheat yield (case study: Kaleibar and Khodaafarin county (Iran)). *Physical Geography Quarterly*, 9, 105-123. (in Persian)
- Josephson, G.R., Lord, R.B. & Mitchell, C.W. (2001). *Actuarial documentation of multiple peril crop insurance ratemaking procedures*. Report prepared for the U.S. Department of Agriculture, Risk Management Agency, by Milliman and Robertson, Inc, 2001.
- Just, R.E., & Pope, R.D. (1979). Production function estimation and related risk considerations. *American Journal of Agricultural Economics*, 61, 276-284.
- Kaboosi, K., & Majidi, O. (2017). Zoning of planting and harvesting dates and length of growth stages of rainfed wheat based on precipitation and temperature data in Golestan province (Iran). *Iranian J. of Dryland Agriculture*, 6, 103-120. (in Persian)
- Kramer, P.J. (1969). *Plant and soil water relationships: a modern synthesis*. McGrew Hill, New Delhi.
- Meteorological Organization of Iran. (2018). *Revealing, evaluating the effects and prospects of climate change in Iran during the 21st century*. Climatology Research Institute, National Reference Office of IPCC. (in Persian)
- Ministry of Agricultural Jihad in Iran. (2019). *Agricultural Statistics, Vol. 1: Crops (1991-2018)*. Statistics and Information Technology Office, Tehran, Iran. (in Persian)
- Mohammadnia Gharaei, S., & Mohammadi, H. (2014). Wheat crop agro climatic zoning for based on temperature and precipitation using GIS in Khorasan Razavi province (Iran). *J. of Geography and Regional Development*, 11, 43-57. (in Persian)
- Nikiphoroff, B. (1981). *An economic analysis of resource allocation in small farms under uncertainty: a case study of Paraguay*. Unpublished Ph.D. dissertation, Dept. of Agricultural Economics, University of California, Davis.
- Noormohammadi, Q., Siadat, A., & Kashani, A. (2011). *Agriculture (cereals)*. Shahid Chamran University Pub., Ahvaz. (in Persian)
- Perry, E., Tack, J., & Yu, J. (2020). *Rising temperatures affect crop insurance rates*. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Regmi, M., Tack, J., & Featherstone, A.M. (2023). Does crop insurance influence crop yield impacts of warming temperatures? A farm-level analysis. *Journal of the Agricultural and Applied Economics Association*, 4, 808-822.
- Roumasset, J.A. (1976). *Rice and risk: decision making among low income farmers*. Amsterdam: North-Holland.
- Schlenker, W., & Roberts, M.J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 15594-15598.
- Siameh, C.O. (2016). *Cotton premium rate heterogeneities and implications under climate change*. Unpublished MSc. thesis. Dept. of Agricultural Economics, Mississippi State University, Mississippi.

- Tack, J.B., & Ubilava, D. (2013). The effect of El Niño southern oscillation on us corn production and downside risk. *Climatic Change*, 121, 689–700.
- Tack, J.B., Barkley, A., & Nalley, L.L. (2014). Heterogeneous effects of warming and drought on selected wheat variety yields. *Climatic Change*, 125, 489-500.
- Tack, J.B., Coble, K., & Barnett, B. (2018). Warming temperatures will likely induce higher premium rates and government outlays for the US crop insurance program. *Agricultural Economics*, 49, 635-647.
- Tack, J.B., Harri, A., & Coble, K., (2012). More than mean effects: modeling the effect of climate on the higher order moments of crop yields. *American J. of Agricultural Economics*, 94, 1037-1054.
- Tolhurst, T.N., & Ker, A.P. (2015). On technological change in crop yields. *American J. of Agricultural Economics*, 97, 137–158.
- Warrington, I.J. (1977). Crop phenological stages. *Australian Journal of Agricultural Research*, 28, 11-2.