

Research Paper

Comprehensive Hydrological- Economic Modeling of Agriculture and Water Resources of Tehran Province to Assess the Potential Effects of Global Warming

Abozar Parhizkari^{1*}, Gholamreza Yavari², Abolfazle Mahmoodi³, Gholamreza Bakhshi Khaniki⁴

1- PHD in Agricultural Economics, Payam Noor University, Tehran, Iran

2- Associate Professor of Agricultural Economics, Payam Noor University, Tehran, Iran

3- Associate Professor of Agricultural Economics, Payam Noor University, Tehran, Iran

4- Professor of Agricultural Science (Biotechnology) Payam Noor University, Tehran, Iran

Received:2021/1/7

Accepted:2023/8/6

PP:29-56

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/jae.2023.27036.2223

Keywords:

Agricultural Development, Global Warming, Hydroeconomic Model, Agricultural Production, Tehran

Abstract

Introduction: In the present study, the integration of comprehensive biophysical-economic modeling system of agriculture and water resources in Tehran province was investigated, in order to assess the potential effects of global warming.

Materials and Methods: Using General Circulation Models the effects of greenhouse gases on the average climatic variables of temperature and precipitation under the emission scenarios A1B, A2 and B1 were investigated. A Positive Mathematical Programming model was used to investigate changes in products yields on cropping patterns.

Findings: Increasing the farmers' desire to develop the acreage of irrigated wheat, corn and canola and reducing the acreage of irrigated barley, tomato, watermelon and sunflower in the cropping patterns of the northern and southern basins of Tehran province is an important result of application of integrated climate scenario (2 °c increase in temperature and 20 mm decrease in precipitation) in this study. Under the terms of the climate change occurrence, watermelon and sunflower with the most decreasing changes in yield (13/1 and 17/7 percent) and acreage (68/8 and 31/9 percent) as the most sensitive products in cropping patterns were identified.

Conclusion: Finally, adopting appropriate production management and market regulation policies to control the production of wheat and barley and also, paying attention to the development of durable products acreage (to climate change) such as rapeseed and corn to the relevant officials and planners of the agricultural sector of Tehran province were suggested.

JEL Classification: C61, L22, Q25

Citation: Parhizkari, A., Yavari GH., Mahmoodi A., Bakhshi Khaniki GH. (2023). Comprehensive Hydrological -Economic Modeling of Agriculture and Water Resources of Tehran Province to Assess the Potential Effects of Global Warming. Journal of Agricultural Economics Research.15(2):29-56

*Corresponding author: Abozar Parhizkari

Address: Department of Agricultural Economics, Payam Noor University, Tehran, Iran

Tell: 09388918582

Email: Abozar.Parhizkari@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction:

Recently many studies have found that due to climate change, there is an increasing trend in the frequency of occurrence and intensity of extreme hydrological events like floods and droughts. In order to better understand the change and provide support for adaptation strategies, it is of great necessity to deeply investigate climate change and have a detailed knowledge of its potential impacts on hydrology, hydraulics, water resources, agriculture, cropping pattern and farmers' gross margin. In recent years, many studies have been conducted to evaluate the impacts of climate change on the water resources, yield of selected crops and productions in the agricultural sector, especially on cereals and weaving products. The evaluation process is often divided into four steps:

In the first step, selection of different Global Climate Models (GCMs) or regional climate models (RCMs) to provide future climate change projections under scenarios representing different development level of society and economy. In the second step, use of downscaling techniques (statistical methods and dynamic methods) to downscale the GCM outputs to regional scale necessary for hydrological models. In the third step, use of hydrological models to simulate runoffs and evaluate the effects of climate change on hydrological regimes. In the four step, use of economic models to assess the effects of climate change in the agricultural sector, which is generally used to achieve practical results in this part from advanced economic models and regression analysis. Generally, increasing greenhouse gas emissions and telecommunications phenomena are among the factors that have accelerated the emergence of climate change and global warming. Greenhouse gases have warmed the earth and the surrounding air by rising into the Earth's atmosphere and retaining solar energy.

Materials and Methods

In the present study, the integration of comprehensive biophysical- economic modeling system of agriculture and water resources in Tehran province was investigated, in order to assess the potential effects of global warming. To achieve this goal, first using General Circulation Models (GCM) the effects of greenhouse gases on the average climatic variables of temperature and precipitation under the emission scenarios A1B, A2 and B1 were investigated. This was done with the help of GCM/RCM data system and LARS-WG microscale model. Then, using econometric approach and regression analysis, the effects of climatic variables of temperature and precipitation on the average yield of selected products were evaluated. A Positive Mathematical Programming (PMP) model was used to investigate changes in products yields on

cropping patterns. The required data in this research are of the documentary type and recorded in the relevant government agencies, which in two sections: time series (2002-2018) and cross-sectional (2013-2018) were collected.

PMP approaches solve the problem of overspecialisation by assuming a profit-maximising equilibrium in the reference period. Based on an assumption of unobserved information, the PMP approach recovers additional information from observed activity levels and specifies a non-linear objective function. This consequently results in the model exactly producing the observed behaviour of farmers in the calibrated period. Without introducing artificial constraints and making it a widely accepted method for policy analysis. This methodology that developed by Howitt (1995) to calibrate agricultural supply models have been used to link biophysical and economic information in an integrated biophysical and economic modeling framework and to assess impacts of agricultural policies and scenarios. These models are also accepted for analyzing the impact of climate change and water resources management policies and scenarios.

Findings

The results showed that there is a proper coordination between the observational meteorological data and the meteorological data generator (simulated data), which ultimately indicates the validity of the basic predictor model. The prediction of the percentage of variability of temperature and precipitation climatic variables to determine the climatic scenarios indicated that the behavior of the temperature and precipitation climatic variables during the future periods at the level of the study basins of Tehran province increased compared to the base period (0.26 to 3.75 degrees Celsius) and it will be reduced (0.78 to 1.41 mm reduction). Also, the results showed that the behavior of climatic variables of temperature and precipitation during the future periods in the study basins of Tehran province compared to the base period will increase (0.26 to 3.75 °C) and decrease (0.78 to 1.41 mm) respectively. Increasing the farmers' desire to develop the acreage of irrigated wheat, corn and canola and reducing the acreage of irrigated barley, tomato, watermelon and sunflower in the cropping patterns of the northern and southern basins of Tehran province is an important result of application of integrated climate scenario (2 °C increase in temperature and 20 mm decrease in precipitation) in this study. Under the terms of the climate change occurrence, watermelon and sunflower with the most decreasing changes in yield (13/1 and 17/7 percent) and acreage (68/8 and 31/9

percent) as the most sensitive products in cropping patterns of northern and south basin of Tehran province were identified.

Discussion and Conclusion

The results showed that wheat and barley cereal products are among the most important products that can be developed in terms of the amount of cultivated area in the conditions of climate change due to the emission of greenhouse gases in the northern and southern basins of Tehran province. Therefore, in order to maintain, develop and continue the level of cultivation of these products in agricultural patterns, it is necessary for the relevant government officials to always provide their support in the form of appropriate policy programs such as the creation of target markets, purchase without intermediaries and guaranteed purchase. The present research can increase the level of awareness of officials and managers, especially in the agriculture and water resource management sectors, regarding the effects of greenhouse gas emissions and other climatic factors, so that they can, in addition to determining the optimal cultivation patterns and increasing the productivity of the agricultural sector, in order to The management and sustainability of water resources in the watersheds of Tehran province on the one hand and dealing with the effects of climate change caused by the emission of greenhouse gases on the other hand should have proper planning. According to the findings of this research, managers and planners of the agricultural sector can reduce the risk of producing these grain

products at the level of study basins by adopting appropriate risk management policies, and on the other hand, by implementing appropriate strategies such as accurate forecasting. Climate changes prevent the fluctuation of the production of these strategic products.

Finally, adopting appropriate production management and market regulation policies to control the production of wheat and barley and also, paying attention to the development of durable products acreage (to climate change) such as rapeseed and corn to the relevant officials and planners of the agricultural sector of Tehran province were suggested.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All subjects full fill the informed consent.

Funding

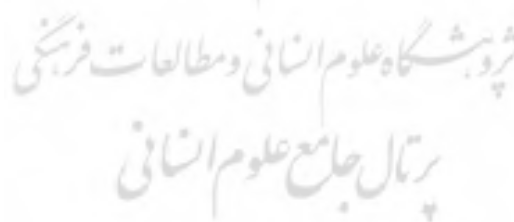
Financial resources for the implementation of this research or project have been provided by its authors.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Abozar Parhizkari; Methodology and data analysis: Abozar Parhizkari, Gholamreza Yavari; Supervision: Abolfazl Mahmoodi, Gholamreza Bakhshi Khaniki.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.



مقاله پژوهشی

مدلسازی هیدرولوژی - اقتصادی جامع کشاورزی و منابع آب استان تهران جهت ارزیابی آثار بالقوه گرمایش جهانی

ابوذر پرهیزکاری^{۱*}، غلامرضا یآوری^۲، ابوالفضل محمودی^۳، غلامرضا بخشی خانیکی^۴

۱. دکترای اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۴. استاد گروه علوم کشاورزی (بیوتکنولوژی)، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

مقدمه و هدف: در مطالعه حاضر یکپارچه‌سازی سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی - اقتصادی جامع کشاورزی و منابع آب در استان تهران جهت ارزیابی آثار بالقوه گرمایش جهانی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: ابتدا با استفاده از مدل‌های گردش عمومی (GCM) اثر گازه‌های گلخانه‌ای بر میانگین متغیرهای اقلیمی دما و بارش تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 بررسی شد. این کار به کمک سامانه داده‌ای GCM/RCM و مدل ریزمقیاس LARS-WG صورت گرفت. در ادامه، با استفاده از رویکرد اقتصادسنجی و تحلیل رگرسیون اثرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش بر میانگین عملکرد محصولات منتخب زراعی ارزیابی شد. جهت بررسی تغییرات عملکرد محصولات بر الگوهای زراعی از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) استفاده شد. **یافته‌ها:** افزایش تمایل کشاورزان به توسعه سطح زیرکشت گندم آبی، ذرت دانه‌ای و کلزا و کاهش سطح زیرکشت جو آبی، گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان در الگوهای زراعی حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران از نتایج اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی (افزایش دو درجه‌ای دما و کاهش ۲۰ میلی‌متری بارش) در این مطالعه است. تحت شرایط رخداد تغییر اقلیم، هندوانه و آفتابگردان به ترتیب با بیشترین تغییرات کاهش در عملکرد (۱۳/۱، ۱۷/۷ درصد) و سطح زیرکشت (۶۸/۸ و ۳۱/۹ درصد) به عنوان حساس‌ترین محصولات در الگوهای زراعی حوضه‌های مذکور شناسایی شدند.

بحث و نتیجه‌گیری: در پایان، اتخاذ سیاست‌های مناسب مدیریت تولید و تنظیم بازار جهت کنترل تولید محصولات غله‌ای گندم و جو آبی و همچنین، توجه به توسعه سطح زیرکشت محصولات مقاوم به تغییر اقلیم مانند کلزا و ذرت دانه‌ای به مسئولان ذریبط و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی استان تهران پیشنهاد شد. **طبقه‌بندی JEL:** Q25، L22، C61.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۱۵

شماره صفحات: ۲۹-۵۶

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/jae.2023.27036.2223

واژه‌های کلیدی:

توسعه کشاورزی، گرمایش جهانی، الگوی هیدرواقتصادی، تولیدات زراعی، تهران

* نویسنده مسئول: ابوذر پرهیزکاری

نشانی: گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تلفن: ۰۹۳۸۸۹۱۸۵۸۲

پست الکترونیکی: Abozar.Parhizkari@yahoo.com

مقدمه

گرمایش جهانی تأثیر گذاشته‌اند (۲۲). گازهای گلخانه‌ای شامل مجموعه‌ای از گازهای کربن دی‌اکسید (CO_2)، نیترو اکسید (N_2O)، متان (CH_4) ازن (O_3)، کلروفلوئوروکربن‌ها (CFCs)، هیدروفلوئوروکربن‌ها (HFCs) و پرفلوئوروکربن‌ها (PFCs) می‌باشند که با صعود به جو زمین و نگه‌داشتن انرژی خورشیدی در خود منجر به گرم شدن کره زمین و هوای اطراف آن شده‌اند. گرم شدن دمای هوا نیز منجر به کاهش میزان بارش، افزایش تبخیر و تعرق، تغییر در الگوهای کشت، کاهش تولیدات کشاورزی، افزایش وقوع خشکسالی و تغییر در حجم منابع آب سطحی و زیرزمینی شده است (۲۴).

به طور کلی، می‌توان بیان نمود که پدیده گرمایش جهانی اثرات سوء و ناگواری را بر زندگی انسان‌ها و دیگر موجودات زنده می‌گذارد. این مسأله بیش از هر چیز بخش کشاورزی را که یکی از کلیدی‌ترین فعالیت‌های تولیدی کره زمین است، تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییر اقلیم به وجود آمده در اثر گرمایش جهانی سبب افزایش میانگین دمای زمین شده و در نهایت احتمال وقوع خشکسالی را افزایش می‌دهد (۳۳). با توجه به گزارش‌های هیئت بین‌المللی تغییرات اقلیمی (IPCC) در سال ۲۰۱۸، کشورهای چین، ایالات متحده آمریکا، هندوستان، روسیه، ژاپن و آلمان به ترتیب رتبه‌های اول تا ششم جهان را در زمینه تولید گازهای گلخانه‌ای، به ویژه دی اکسید کربن به خود اختصاص داده‌اند. کشور ایران نیز در این سال با انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 به میزان ۶۵۸ میلیون تن رتبه هفتم را در بین کشورهای مختلف جهان به خود اختصاص داده است. با توجه به آمار منتشر شده از طرف سازمان IPCC، به طور میانگین غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین از سال ۱۷۵۰ تا سال ۲۰۱۸ به میزان ۲۶۵۰ قسمت در میلیون (ppm) رسیده است که حدود ۱۰۸/۶ درصد رشد داشته است. از این رو، توجه به روند تغییرات حجم گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین و اثرات آن بر فعالیت بخش کشاورزی به عنوان اصلی‌ترین بخش اقتصادی در تأمین غذای موردنیاز بشر، مسئله‌ای مهم و حائز اهمیت است (۱۵).

براساس گزارش‌های وزارت نیرو و دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، بزرگ‌ترین چشمه نشر گازهای گلخانه‌ای در ایران، بخش "انرژی" است که نیرو محرکه لازم را برای حمل و نقل هوایی، دریایی، ریلی و جاده‌ای، تولید گرما و سرما در بخش خانگی، عمومی و تجاری، تولید محصولات کشاورزی و دامی و همچنین تولید برق فراهم می‌آورد. دفتر آمار و برنامه‌ریزی وزارت نیرو همه‌ساله مقدار و نوع سوخت مصرف شده در این بخش‌ها را تحت

موضوع مهمی که اقصی نقاط مناطق دنیا را در آینده نه چندان دور وارد ابعاد تازه‌ای از چالش می‌کند، کاهش منابع آب در این مناطق با توجه به مسئله تغییر اقلیم جهانی است. از جمله تأثیرات مهم تغییر اقلیم نایکنواختی توزیع بارش، افزایش دمای هوا، گسترش خشکسالی‌ها و تداوم آن‌ها و در نهایت تأثیر منفی بر منابع آب و تولیدات کشاورزی در سطح جهان است. از انقلاب صنعتی تا سال ۲۰۰۰ غلظت گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه مقادیر موجود CO_2 در اتمسفر زمین از حدود ۲۸۰ قسمت در میلیون^۱ (PPM) به حدود ۳۶۹ قسمت در میلیون (PPM) و میانگین درجه حرارت جهانی حدود ۶ درجه سانتیگراد افزایش داشته است. در طول همین مدت، سطح میانگین دریاهای آزاد حدود ۸۸ سانتی-متر افزایش یافته است (۱۵). این مسائل دست به دست هم، میزان منابع آب قابل حصول در بخش کشاورزی را دستخوش تغییر قرار داده است و کشاورزان را با محدودیت‌های جدی برای استفاده از نهاده آب در سطح اراضی فاریاب مواجه نموده است (۲۴).

مسأله مهمی که در نیمه دوم قرن حاضر نمود یافته، اثرگذاری-های انسان بر طبیعت اطرافش می‌باشد که به لحاظ ماهیتی که دارد تا سر حد جهانی شدن پیش رفته است. این مسأله، رویداد گرمایش جهانی^۲ است که ناشی از تغییرات آب و هوایی به وجود آمده در اثر فعالیت‌های بی‌حد و حصر بشر می‌باشد (۳). آنچه این روزها از آن تحت عنوان گرمایش جهانی نام برده می‌شود، در حقیقت افزایش میانگین درجه حرارت زمین در نزدیکی سطح آن است. تحقیقات دانشمندان نشان می‌دهد در طول یک صد سال اخیر میانگین دمای هوا در نزدیکی سطح زمین بین ۰/۱۸ تا ۰/۷۴ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. هیئت بین‌المللی تغییرات آب و هوایی^۳ (IPCC) که مرجعی معتبر در زمینه تغییرات اقلیمی و تأثیرات گرمایش جهانی است، اعتقاد بر آن دارد که بیشتر افزایش دمایی که از اواسط قرن بیستم در کره زمین مشاهده شده، مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای است (۱۶). مدل‌های اخیر تغییرات اقلیمی که IPCC طراحی نموده، حاکی از آن هستند که در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ میانگین درجه حرارت سطح زمین بین ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. هر چند اغلب بررسی‌ها تنها به نشان دادن نتایج گرمایش جهانی تا سال ۲۱۰۰ میلادی اکتفا می‌کنند، اما دانشمندان معتقدند حتی اگر میزان گازهای گلخانه‌ای جو زمین ثابت بماند، اثرات آن تا پایان هزاره سوم پابرجا خواهد بود (۱۴).

انتشار روز افزون گازهای گلخانه‌ای و پدیده‌های ارتباط از راه دور از جمله عواملی هستند که بر سرعت به وجود آمدن تغییر اقلیم و

زباله غیرمعارف و ...، وضعیت ناهمواری‌های این استان نیز در ایجاد آلودگی هوا و پایداری غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو نزدیک زمین تأثیرگذار می‌باشند. قرار گرفتن رشته کوه‌های البرز بین این استان (تهران) و استان هم‌جوار آن (البرز) سبب شده تا حد زیادی مسیر بادهای غربی را منحرف نماید و مانع از تخلیه و وارونگی دمای هوا به خصوص در فصول سرد سال شده و به همین علت غلظت آلودگی هوای شهر تهران در این فصول بیشتر می‌باشد (۳۵). به طور کلی، استان تهران به دلیل قابلیت انتقال فعالیت‌های صنعتی آلوده‌کننده و تولید زباله و پسماندهای خانوارهای شهری و همچنین، مصارف بالای سوخت‌های فسیلی در بخش‌های تجاری، صنعتی، خانگی و حمل و نقل شهری استعداد بالایی را در تولید گازهای گلخانه‌ای دارد و در حدود ۱۱/۱ درصد از تولید آلاینده‌های گلخانه‌ای در سطح کشور را به خود اختصاص داده است؛ به طوری که از نظر تولید دی‌اکسید کربن رتبه ۱۴ ام را در جهان دارد و سالانه بیش از ۷۶ میلیون تن دی‌اکسید کربن در اتمسفر پیرامون آن تولید می‌شود (۳۶). آخرین آمار ارائه شده از سوی وزارت نیرو، حاکی از آن است که سهم بخش‌های صنعتی در تولید گازهای گلخانه‌ای استان تهران حدود ۲۶/۵ درصد است. بخش خانگی، تجاری و عمومی حدود ۲۲/۰۱ درصد از این گازها را ایجاد می‌کند و پس از آن بخش حمل و نقل با سهم تولید گازهای گلخانه‌ای به میزان ۲۱/۴ درصد در رده سوم قرار دارد. بخش‌های کشاورزی و دامپروری ۱۲/۳ درصد، نیروگاهی ۱۲/۸ درصد و تولید نفت و گاز نیز ۴/۸۳ درصد از سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای استان تهران را به خود اختصاص می‌دهند (۲۱). بر اساس آخرین آمار موجود در مرکز مدیریت محیط‌زیست و توسعه پایدار شهرداری تهران، گازهای دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و اکسید نیتروژن (NO) به ترتیب با حجم ۶۹/۱۴۳، ۱۱/۳۲۰ و ۴/۰۹۱ میلیون تن در بین سایر گازهای گلخانه‌ای به بیشترین میزان ممکن در سطح استان تهران انتشار یافته‌اند (۳۶). پیرو توضیحات فوق، مستعد بودن استان تهران در زمینه تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین رخدادهای گرمایش زمین، ایجاب می‌کند تا اثرات انتشار این گازها و تغییرات اقلیمی به وجود آمده در اثر افزایش و کاهش مولفه‌های اقلیمی دما و بارش و آثار بالقوه پدیده گرمایش جهانی بر وضعیت منابع آبی و تولیدات کشاورزی این منطقه بررسی و ارزیابی شود. به همین منظور، مطالعه حاضر جهت تحقق و دستیابی به اهداف فوق صورت می‌گیرد. با توجه به نقش مهم گازهای گلخانه‌ای، انتشار بی‌رویه آن‌ها در شکل‌گیری و رخدادهای گرمایش جهانی

عنوان ترازنامه انرژی منتشر می‌کند. براساس این گزارش‌های مستند، می‌توان اذعان داشت که بخش انرژی با حدود بیش از ۸۰ درصد سهم، بیشترین میزان گازها و آلاینده‌های گلخانه‌ای را در کشور تولید می‌کند. بخش‌های صنعت، دامپروری و کشاورزی، مواد آلی و زیستی، تولید سیمان و نیروگاهی از دیگر عاملین مهم نشر گازهای گلخانه‌ای در کشور به شمار می‌روند. بر اساس آخرین آمار موجود، گازهای دی‌اکسید کربن (CO_2)، متان (CH_4) و اکسید نیتروژن (NO) به ترتیب با حجم ۹۹۴/۶۸۶، ۶۱/۶۰۳ و ۱۴/۵۹۹ میلیون تن در بین سایر گازهای گلخانه‌ای به بیشترین میزان ممکن انتشار یافته‌اند. همچنین، در بین بخش‌های تولیدی، نیروگاه‌ها با انتشار ۱۶۰/۳۳۲ میلیون تن بیشترین سهم را در تولید CO_2 و بخش حمل و نقل با انتشار ۴۳/۵۶۷ و ۶/۹۵۵ میلیون تن بیشترین سهم را در تولید گازهای CH_4 و NO به خود اختصاص داده‌اند (۲۱).

استان تهران که منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر است، با قرار گرفتن در بخش مرکزی تا شمالی ایران، به عنوان پایتخت این کشور و بزرگ‌ترین کلان شهر آن شناخته می‌شود. قرار گرفتن این استان در محور مواصلاتی چندین استان مجاور (مازندران، قزوین، البرز، مرکزی، قم و سمنان) سبب توسعه بخش حمل و نقل بین شهری و درون شهری در آن شده است که این عامل بیشترین سهم را در تولید و نشر گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن در اتمسفر اطراف این استان دارد. علاوه بر این، استان تهران با در بر داشتن جمعیتی بیش از ۱۲ میلیون نفر، نقش بسزایی را در تولید پسماندها و زباله‌های شهری دارد. دارا بودن بیش از پنج ناحیه صنعتی (آئینه ورزان دماوند، شهید ملاقایی ورامین، بیجین ری، کتالان فیروزکوه و دهک شهریار) و بیش از ۲۰ شهرک صنعتی (پیشوا، پرند، چرمشهر، پایتخت، سالاریه، دماوند ۲، خوارزمی، خاوران، فیروزکوه، عباس‌آباد، شهریار، شمس‌آباد، نصیرآباد، آینه‌ورزان، قرچک، فیروزکوه ۲، ملاقایی، دهک و بیجین ری) عامل مهم دیگری است که انتشار بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای را در حوضه‌های آبریز این استان به دنبال داشته و بخش کشاورزی آن را تهدید می‌کند. هم‌جوار شدن حوضه آبریز رودشور در بخش جنوب غربی استان تهران با منابع و معادن سنگ و گچ در حال استخراج و بهره‌برداری و همچنین هم‌جواری این حوضه با نیروگاه‌های تولید برق شهید رجایی، کارخانه سیمان آبیک و شهرک صنعتی اشتهارد، از جمله عواملی هستند که با ایجاد آلاینده‌های گلخانه‌ای بخش کشاورزی این حوضه آبریز را در جنوب غرب استان تهران تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. افزون بر مستعد بودن استان تهران در ایجاد و نشر گازهای گلخانه‌ای به دلیل جمعیت بالا، توسعه بخش صنعتی و تجاری، حمل و نقل درون شهری و برون شهری، ایجاد پسماند و

تا ریسک تولید این محصولات را کاهش دهند و از کاهش تولید این محصولات استراتژیک جلوگیری نمایند.

کورتیگنایی و دان (۸) با استفاده از یک سیستم مدل‌سازی بیواقصدی^۲ به بررسی اثرات برنامه‌های سیاستی لغو سهمیه‌بندی شیر در مزارع جنوب ایتالیا و همچنین، اصلاح ستون اول سیاست مشترک کشاورزی^۳ (CAP) در دو سناریوی مختلف آب و هوایی (آینده و آینده نزدیک) پرداختند. نتایج نشان داد برنامه‌های سیاستی مدنظر برای مقابله با تغییرات اقلیم اثرات مثبتی بر عوامل اقتصادی و محیطی در منطقه دارند. با وجود این، برخی از مزارع تولید کننده شیر همچنان تحت تأثیر پیامدهای منفی این پدیده قرار می‌گیرند.

آگووینو و همکاران (۲) در تحقیقی کاربردی با استفاده از مدل پنل دیتا و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای به بررسی اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گاز دی اکسید کربن بر وضعیت کشاورزی ۲۸ کشور در اتحادیه اروپا پرداختند. نتایج به دست آمده حاکی از وجود اثرات منفی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر متغیرهای اقلیمی دما و بارش و همچنین میزان عملکرد محصولات طی دوره ۲۰۱۴-۲۰۰۵ در اتحادیه اروپا است. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که در مناطق مورد مطالعه بین تغییرات اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و کشاورزی پایدار ارتباط منفی دو طرفه‌ای وجود دارد.

کیانی قلعه سرد و همکاران (۱۷) اثرات چهار فرض تغییر نرمال اقلیم، تغییرپذیری اقلیم، تغییر اقلیم، تغییرپذیری و تغییر توانم اقلیم بر امنیت غذایی و رفاه اقتصادی را طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۷۹ بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از اطلاعات هزینه‌ای و تولیدی سه محصول شاخص تأمین کننده امنیت غذایی در ایران (گندم، برنج و سیب‌زمینی) و با به کارگیری روش برنامه‌ریزی ریاضی به این امر پرداختند. نتایج حاکی از کاهش شدید درآمد کشاورزان و مازاد رفاه اقتصادی و همچنین افزایش قیمت محصولات تحت فروض چهارگانه فوق بود. بخش دیگری از نتایج کار آن‌ها نشان داد که کاهش عوارض ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند با تغییر الگوی کشت، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و بیابان‌زدایی صورت پذیرد.

امیرنژاد و اسدپور کردی (۵) با استفاده از داده‌های سالانه یک دوره ۵۰ ساله و الگوی ریاضی خودرگرسیون با وقفه توزیعی^۴ (ARDL) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم در ایران پرداختند. نتایج نشان داد که هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت متغیرهای اقلیمی به همراه سطح زیرکشت رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار با تولید گندم داشته و متغیرهای بذر و سرمایه ثابت در

و تغییرات اقلیمی به وجود آمده، جوامع مختلف دامنه مطالعات و پژوهش‌های کاربردی خود را در این راستا افزایش داده‌اند.

دانشگر و همکاران (۹) با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی و WEAP با ماژول اقتصادی - زراعی MABIA به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیکی و اقتصادی کشاورزان دشت بوشکان در استان بوشهر پرداختند. نتایج نشان داد که با اعمال سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5، میزان آب در دسترس کشاورزان طی دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۸ به طور میانگین به میزان ۶ و ۱۲ درصد کاهش می‌یابد. با اعمال این تغییرات در مدل برنامه‌ریزی ریاضی ارائه شده، مشخص شد که مجموع سطح زیر کشت مناطق شش گانه به میزان زیادی کاهش می‌یابد. براین اساس آیش گذاری زمین‌های کشاورزی به عنوان راه‌حلی مناسب جهت جلوگیری از خسارات بلندمدت به تولیدات کشاورزی منطقه پیشنهاد می‌شود.

آیوسیتالو و لئینو (۳۹) با استفاده از روش ارزیابی چرخه زیست^۱ (LCAM) پیامدهای گرم شدن زمین را در اثر تولید محصول زراعی جو دو سر (یولاف) در شرایط آب و هوایی مناطق شمالی اتحادیه اروپا بررسی کردند. هدف آن‌ها در این تحقیق ارائه راهکارهایی جهت خنثی‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید و کشت محصول جو دو سر (یولاف) بود. نتایج نشان داد تولید این محصول به دلیل استفاده از کودهای فسفیلی و معدنی در مرحله کشت و مصرف انرژی گرمایی، برق و سوخت در مراحل دیگر فرآوری آن منجر به انتشار حجم بالایی از گازهای گلخانه‌ای می‌شود. تولید یک تن از پوسته‌های یولاف از زمان کشت تا برداشت انتشار حدود ۷۰۰ کیلوگرم گاز دی اکسید کربن را به دنبال دارد.

سلیمانی‌نژاد و همکاران (۳۲) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی زراعی دشت مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که مقادیر بارندگی، دمای بیشینه و کمینه فصلی روند افزایشی دارد و این تغییرات دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد محصولات زراعی منطقه هستند. همچنین با در نظر گرفتن سناریوهای تغییرات اقلیم (تا سال ۱۴۱۰) در دوره کاشت هر یک از محصولات، مقادیر سطح زیرکشت آن‌ها تغییر یافته و سود ناخالص کشاورزان نسبت به سال پایه ۱۳۹۳ حدود ۶/۱ درصد افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات در عملکرد بر اثر شرایط اقلیمی مربوط به محصولات گندم و جو است؛ بنابراین لازم است تا سیاست‌گذاران بخش کشاورزی به این موضوع توجه داشته باشند

3 Common Agricultural Policy
4 Auto Regressive Distributed Lag

1 Life Cycle Assessment Methodology
2 Bio-Economic Model

ماشین‌آلات معنی‌دار نشده است. همچنین، ضریب متغیرهای اقلیمی CO₂ و بارش در بلندمدت، ۰/۳۸ و ۰/۲۱ و در کوتاه‌مدت، ۰/۲۲ و ۰/۱۲ به دست آمد. بدین معنا که در بلندمدت با افزایش یک درصد در متغیرهای اقلیمی به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۲۱ درصد بر مقدار سطح زیرکشت و تولید گندم افزوده می‌شود.

تانگوجی (۳۴) در پژوهشی با استفاده از روش‌های دینامیکی و شبیه‌سازی گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای به برآورد میزان متغیر اقلیمی بارش و منابع آب در دسترس در دوره‌های آتی در منطقه کانتو کشور ژاپن پرداخت. نتایج نشان داد که انتظار می‌رود حداقل میزان متغیر اقلیمی بارش در سراسر منطقه در طول فصل تابستان صورت گیرد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که توزیع الگوی بارش روزانه در دوره‌های آتی، نشان از کاهش بارندگی دارد که این تغییرات اثرات نامطلوبی بر حجم منابع آب می‌گذارد. بخش دیگری از نتایج حاکی از آن بود که مدیریت منابع آب به دلیل رویداد گرمایش جهانی با مشکلات فزاینده‌ای در آینده مواجه خواهد شد.

بلالی و ویگی (۷) پیامدهای تغییر اقلیم به وجود آمده در اثر افزایش حجم گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین را بر روی منابع آب و تولیدات کشاورزی ارزیابی کردند. آن‌ها با استفاده از یک الگوی هیدرواقتصادی پویا به مدل‌سازی منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز دشت بهار همدان تحت شرایط متفاوتی از سیاست‌های اقتصادی و تغییر اقلیم پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که اعمال سیاست‌های مختلف دولت در زمینه مدیریت منابع آب و قیمت‌گذاری انرژی اثر معناداری بر بهره‌وری منابع آب و پایداری آب‌های زیرزمینی دارد.

پرهیزکاری و همکاران (۲۴) با بهره‌گیری از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر تولیدات بخش کشاورزی و منابع آب در دسترس در اراضی پایین‌دست سد طالقان ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که با انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای مورد بررسی، میانگین سالانه متغیرهای اقلیمی دما و بارش به ترتیب ۱/۶۴ تا ۲/۲۸ درجه سانتی‌گراد و ۰/۹۲- تا ۱/۱- میلی‌متر تغییر می‌کند و سبب کاهش عملکرد اغلب محصولات منتخب اراضی پایین‌دست سد طالقان می‌شود. تغییر اقلیم به وجود آمده منجر به کاهش مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب، میزان آب مصرفی و بازده درآمدی کشاورزان می‌شود.

علیپور و همکاران (۱) در تحقیقی زیان‌ها و خسارات حاصل از انتشار کربن دی‌اکسید به عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای تولید شده در بخش کشاورزی ایران را مورد ارزیابی قرار دادند. بدین منظور، از مفهوم قیمت سایه‌ای انتشار این آلاینده استفاده کردند. نتایج نشان داد که در بازه زمانی ۱۳۸۹-۱۳۷۱

میانگین سالانه زیان انتشار هر کیلوگرم کربن دی‌اکسید ناشی از مصرف سوخت در بخش کشاورزی، ۱۴۱ ریال بوده است. به عبارت دیگر، با انتشار کربن دی‌اکسید از بخش کشاورزی ایران، سالانه به طور میانگین به میزان ۱۷۴۴ میلیارد ریال هزینه ایجاد می‌شود.

به طور کلی، مطالعات مذکور نقش موثر انتشار گازهای گلخانه‌ای را در افزایش دمای جهانی و رخداد تغییرات اقلیمی نشان می‌دهند. انتشار بی‌رویه این گازها در اثر رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر از یک سو و توسعه فعالیت‌های صنعتی از سوی دیگر همگی دال بر فعالیت‌های برنامه‌ریزی نشده انسان‌ها در کره خاکی دارد که می‌تواند با همراه داشتن پیامدهایی چون افزایش دمای هوا و کاهش بارش، بخش کشاورزی را به عنوان تأمین‌کننده غذای بشر با مشکلات عدیده مواجه نماید. از این، در این مطالعه تلاش می‌شود تا ابتدا اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای که سهم بالایی در آلودگی آب و هوای استان تهران دارند، بررسی گردد. سپس، از طریق ارتباط بین متغیرهای اقلیمی با عملکرد محصولات، اثرات این گازها بر روی بخش کشاورزی و منابع آب این استان ارزیابی شود.

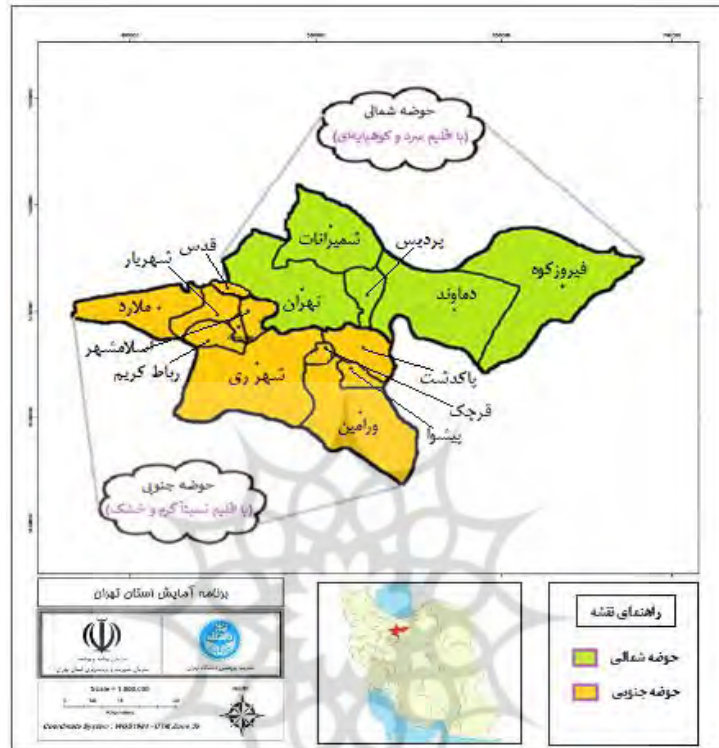
روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

استان تهران با مساحتی معادل ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربع، بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده و از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غربی به استان مرکزی، از غرب به استان‌های البرز و قزوین و از شرق به استان سمنان محدود است. این استان با در اختیار داشتن ۳/۴ درصد از اراضی قابل کشت کشور، حدود ۷/۶ درصد از کل تولیدات زراعی کشور را به خود اختصاص داده است. دشت‌های آبی تهران-کرج، هومند-آبسر، ورامین، مبارکیه و قطعه چهار ساوه از جمله مهم‌ترین مناطق با کشاورزی آبی در استان تهران هستند که محصولات منتخب زراعی‌ای چون گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، آفتابگردان و کلزا در آن‌ها قابلیت کشت و تولید را دارند (۳۷). سالانه بیش از ۱۵۹ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی استان تهران صورت می‌پذیرد. در واقع، مجموع تغذیه آبخوان‌های این استان حدود ۲۴۲۰/۹ میلیون مترمکعب است، درحالی که مجموع تخلیه از آن‌ها به ۲۵۸۰/۲ میلیون مترمکعب نیز می‌رسد (۳۸). استان تهران به لحاظ وضعیت آب و هوایی در نواحی کوهستانی شمال خود دارای اقلیمی معتدل و در نواحی پست و جلگه‌ای جنوبی خود دارای اقلیمی نیمه بیابانی است. میانگین بارش باران در این استان طی سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶ حدود ۲۵۰/۹ میلی‌متر و متوسط دمای هوای آن نیز برابر با ۱۷/۴۹ درجه

و ملارد) است. از این رو، مطابق با اقلیم‌های موجود در این استان، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای دو حوضه مطالعاتی شمالی (حوضه آبخیز رودخانه جاجرود و کرج) و جنوبی (حوضه رودشور) گردآوری شدند. شکل ۱ موقعیت حوضه‌های مطالعاتی را در استان تهران نشان می‌دهد.

سانتی‌گراد است (۲۰). استان تهران به لحاظ وضعیت اقلیمی و کشاورزی دارای دو منطقه با کشاورزی در اقلیم نسبتاً سرد و کوهپایه‌ای (حوضه رودخانه جاجرود و کرج شامل شهرستان‌های فیروزکوه، دماوند، پردیس، شمیرانات، تهران و قدس) و کشاورزی در اقلیم نسبتاً گرم و خشک (حوضه رودشور شامل شهرستان‌های پاکدشت، پیشوا، قرچک، شهر ری، رباط کریم، بهارستان، شهریار



شکل ۱- مناطق دارای کشاورزی آبی در حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران

مدل‌های مولد سناریوهای اقلیمی انتشار (CSEGM)

تحقیقات آب و هوایی است که بیانگر ساختار پیچیده و نامنظم مکانی و زمانی متغیرهای مذکور می‌باشد. اساساً مدل‌های اقلیمی یا آب و هوایی بسطی از پیش‌بینی‌های هواشناسی هستند. مدل‌های هواشناسی پیش‌بینی‌هایی را روی مناطق خاص طی دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت دارند؛ در حالی که مدل‌های اقلیمی وسیع‌تر بوده و دوره‌های زمانی طولانی‌تری را تجزیه و تحلیل می‌کنند. پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی این است که در یک منطقه، طی دهه‌های پیش‌رو متوسط شرایط آب و هوایی به چه صورت خواهد بود و چگونه تغییر خواهد کرد. در این مدل‌ها، تخمین و پیش‌بینی روند تغییرات اقلیمی عمدتاً بر اساس سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت می‌گیرد و فرآیند پیچیده‌ای دارد (۲۸). در این راستا، چندین روش مدل‌سازی برای مقابله با این پیچیدگی ابداع شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل‌های آمار و احتمالی^۱ (SPM)، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی^۲ (ANNM)،

از آنجا که روش مقطعی تنها توانایی بررسی رابطه متغیرهای این پژوهش در میان کل کشورهای نمونه، در یک مقطع زمانی خاص دارد و روش سری‌های زمانی تنها رابطه متغیرهای این پژوهش را برای هر کشور طی دوره زمانی ۹ ساله مورد بررسی قرار می‌دهد، لذا روش مقطعی و یا روش سری‌های زمانی به‌تنهایی پاسخگو نبوده و جهت بررسی ارتباط متغیرهای این پژوهش برای ۲۱ کشور منتخب توسعه‌یافته طی بازه زمانی ۹ سال (۲۰۱۳-۲۰۰۵) الگوی رگرسیون با استفاده از داده‌های ترکیبی برآورد شد. بدین ترتیب که تمام کشورها در طول زمان مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

اثرات تغییر اقلیم در مناطق مختلف جهان، نشان‌دهنده روندها و تغییرپذیری طولانی‌مدت در پارامترهای آب و هوایی مانند بارش و دما است. توصیف روند تغییرات دما و بارش در مقیاس‌های آب و هوایی و مدل‌سازی عددی آن یکی از مسائل چالش برانگیز در

2 Artificial Neural Network Models

1 Statistical and Probabilistic Models

دمای شبیه‌سازی شده در سناریوی مینا، $\bar{P}_{GCM,S,f}$ میانگین ماهانه شبیه‌سازی شده بارش در سناریوی S و $\bar{P}_{GCM,B,f}$ میانگین ماهانه شبیه‌سازی شده بارش در سناریوی مینا می‌باشد (۳۳). برای کوچک مقیاس نمودن داده‌های اقلیمی در مدل GCM از روش تناسبی استفاده می‌شود. در این روش متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل، براساس اطلاعات جزئی یا سلولی مربوط به منطقه مورد مطالعه و با کمک روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$T = (T_{obs,f} + \Delta T_f) \quad \forall f = 1, 2, \dots, 12 \quad (3)$$

$$P = P_{obs,f} \times \Delta P_f \quad \forall f = 1, 2, \dots, 12 \quad (4)$$

در رابطه (۳)، $T_{obs,f}$ بیانگر سری زمانی دمای مشاهده شده (ماهانه) در دوره مینا، T سری زمانی دمای حاصل از تغییر اقلیم در دوره مورد بررسی و ΔT_f سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده‌ی دما می‌باشد. در رابطه (۴)، $P_{obs,f}$ بیانگر سری زمانی بارش مشاهده شده (ماهانه) در دوره مینا، P سری زمانی بارندگی حاصل از پدیده تغییر اقلیم در دوره مورد بررسی و ΔP_f سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده‌ی بارندگی می‌باشد (۲۸ و ۴۰).

مدل ریزمقیاس LARS-WG

از جمله مشهورترین زیرمدل‌های GCM مولد داده‌های تصادفی وضع هوا و اقلیم که در این مطالعه نیز مورد استفاده واقع شده است، مدل LARS-WG است. این مدل ریزمقیاس جهت تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در ایستگاه‌های هواشناسی تحت شرایط حال و آینده به کار گرفته می‌شود. امروزه استفاده از مدل LARS-WG در اقصی نقاط جهان یکی از روش‌های مرسوم در تولید داده‌های هواشناسی مصنوعی است. این مولد آب و هوایی به عنوان ابزاری نسبتاً دقیق و ارزان برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم چندساله به کار برده می‌شود و تغییرات در میانگین متغیرهای اقلیمی را ترکیب می‌کند. مدل LARS-WG برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به کار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری تابش توزیع نیمه تجربی می‌باشد. خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش کل و تابش می‌باشد (۴). این مدل که ابتدا در سال ۱۹۹۰ در شهر بوداپست مجارستان توسعه یافت، یک مدل مولد آب و هوایی مبتنی بر "سری زمانی" است و شامل ۲۳ بازه برای شبیه‌سازی طول سری‌های خشک و تر، بارش روزانه، دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش خورشیدی روزانه می‌باشد. در این مدل، مقدار بارش یک روز تر از توزیع نیمه تجربی

مدل‌های فیزیکی یا دینامیکی^۱ (DM) و مدل‌های مولد سناریوهای اقلیمی انتشار^۲ (CSEGM) اشاره نمود.

امروزه یکی از معتبرترین و به‌روزترین ابزارها برای تولید سناریوهای اقلیمی انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدل‌های گردش عمومی (GCM) می‌باشند. این مدل‌ها شامل مجموعه‌ای از روابط ریاضی و معادلات دیفرانسیلی هستند که بر پایه قوانین فیزیکی حاکم بر جو زمین طراحی شده‌اند (۲۸ و ۴۰). مقادیر انتشار گازهای گلخانه‌ای از ورودی‌های مورد نیاز مدل‌های GCM می‌باشند. هیئت بین‌المللی اقلیمی (IPCC) تاکنون سناریوهای مختلفی را براساس غلظت و حجم انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه نموده که SRES از جدیدترین این سناریوها می‌باشد. هر یک از زیرسناریوهای SRES مربوط به یکی از گروه‌های A_1B ، A_2 و B_1 می‌باشند که در ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای بر مسائل خاصی تأکید دارند (۱۴). براساس گزارش‌های هیئت بین‌المللی اقلیمی، در خانواده سناریوهای گروه A_1B جهانی با رشد سریع اقتصادی، افزایش رشد جمعیت و تکنولوژی‌های جدید و کارآتر در نظر گرفته شده است (به عنوان سناریوی حد وسط یا بی‌طرف). در خانواده سناریوهای گروه A_2 اقتصاد ناهمگون، رشد جمعیت، تأکید بر ارزش خانواده و رسوم آن، توسعه اقتصادی بر محور منطقه‌ای برای تقویت مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست مدنظر واقع شده است (به عنوان سناریوی حد بالا یا بدبینانه). در خانواده سناریوهای گروه B_1 همگرایی جمعیت در سطح جهان، دگرگونی‌های سریع ساختار اقتصادی، کاهش شدید مواد، معرفی فناوری‌های پاک و منابع مناسب و همچنین، تأکید بر پایداری محیطی و اجتماعی ملاک واقع شده است (به عنوان سناریوی حد پایین یا خوشبینانه).

در سناریوهای یاد شده، اغلب میانگین‌های ماهانه متغیرهای اقلیمی (دما، بارش) بر اساس غلظت انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر مجاور زمین شبیه‌سازی می‌شوند. محاسبه انحراف معیار میانگین متغیرهای اقلیمی نیز براساس روابط ریاضی زیر صورت می‌گیرد (۳۳):

$$\Delta T_f = (\bar{T}_{GCM,S,f} - \bar{T}_{GCM,B,f}) \quad \forall f = 1, \dots, 12 \quad (1)$$

$$\Delta P_f = \left(\frac{\bar{P}_{GCM,S,f}}{\bar{P}_{GCM,B,f}} \right) \quad \forall f = 1, \dots, 12 \quad (2)$$

در روابط بالا، f تعداد ماه‌های سال، ΔT_f میزان تغییر ماهانه دما و ΔP_f میزان تغییر ماهانه بارش، S سناریوی شبیه‌سازی شده توسط مدل GCM، B سناریوی مبنای شبیه‌سازی شده توسط مدل GCM، $\bar{T}_{GCM,S,f}$ میانگین ماهانه دمای شبیه‌سازی شده در سناریوی S ، $\bar{T}_{GCM,B,f}$ میانگین ماهانه

B₁ کشورهای دنیا به صورت واگرا، ولی دوست‌دار مسائل زیست-محیطی در نظر گرفته می‌شوند. براساس این سناریو، جمعیت جهان به طور پیوسته افزایش می‌یابد، اما سرعت رشد آن کمتر از حالتی است که در سناریوی A₂ مطرح می‌باشد. برای اجرای مدل LARS-WG علاوه بر سناریوهای تدوین شده برای هر شبکه محاسباتی، نیاز به فایل مشخصه رفتار اقلیمی گذشته مناطق واقع در داخل آن شبکه است که در مجموع به کمک ایستگاه‌های هواشناسی منتخب قابل دسترس است. مکانیسم عمل مدل LARS-WG بدین صورت است که ابتدا داده‌های ماهانه را با استفاده از سناریوی انتشار که در برگیرنده رفتار اقلیم پایه است، به کمک رابطه ریاضی زیر محاسبه و برآورد می‌کند.

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (5)$$

$$STD_{fut} = \frac{STD_{obs}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (6)$$

پس از اجرای مدل LARS-WG، دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش کل و تابش خورشیدی به عنوان متغیرهای اقلیمی شبیه-سازی شده یا مقادیر خروجی تلقی می‌گردند. به طور کلی، مدل-سازی داده‌های اقلیمی با مدل LARS-WG شامل سه بخش اصلی واسنجی مدل، صحت‌سنجی یا ارزیابی مدل و شبیه‌سازی یا تولید داده‌های اقلیمی مصنوعی در دوره‌های آتی است (۴). هدف از کاربرد مدل فوق در این مطالعه، بررسی توانایی آن در بازتولید داده‌های مشاهداتی طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۸۱ (۲۰۱۸-۲۰۰۲) برای حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران می‌باشد. صحت‌سنجی مدل LARS-WG از اهمیت بالایی برخوردار است و هدف از آن ارزیابی عملکرد مدل برای شبیه‌سازی رفتار متغیرهای اقلیمی دما، بارش و تابش خورشیدی در حوضه‌های مطالعاتی است. این مرحله اصطلاحاً به Q Test مشهور است. مبنای کار Q Test بدین شکل است که سری بلندمدت آب و هوایی با پیش‌فرض ۳۰۰ سال، داده‌های اقلیمی موردنیاز را به منظور مقایسه با داده‌های دیدبانی شده شبیه‌سازی می‌کند. دلیل این که تعداد سال مورد شبیه‌سازی می‌بایست بیشتر باشد این است که توزیع احتمالی برای داده‌های شبیه‌سازی شده نزدیک به توزیع واقعی طولانی‌مدت برای حوضه‌های منتخب مطالعاتی باشد (۴۲).

تحلیل رگرسیونی با روش حداقل مربعات معمولی (OLS)

پس از بررسی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر متغیرهای اقلیمی دما و بارش به کمک مدل‌های گردش عمومی جو، اثرات این تغییرات بر عملکرد محصولات منتخب ارزیابی شد. در این مرحله، به کمک روش OLS، معنی‌داری متغیرهای دما و بارش و تأثیرات آن‌ها بر عملکرد محصولات منتخب (Y_i) در استان

بارش ماه موردنظر و مستقل از طول سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. روز تر در مدل LARS-WG به روزی اطلاق می‌گردد که در آن بارش بزرگ‌تر از صفر میلی‌متر محقق شده باشد. دماهای حداقل و حداکثر روزانه به صورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز موردنظر هستند، مدل-سازی می‌شوند. در این مدل، تابش مستقل از درجه حرارت شبیه‌سازی شده است و به جای آن می‌توان از ساعات آفتابی نیز استفاده کرد (۶). داده‌ها و اطلاعات ورودی به مدل LARS-WG شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و میزان تابش خورشیدی یا ساعات آفتابی روز می‌باشد که از سطح ایستگاه‌های هواشناسی برای دوره‌های بلندمدت گردآوری می‌شوند. در این الگو، کیفیت داده‌ها به نحوی است که برای تعداد سال‌های مشاهداتی ورودی به مدل محدودیتی وجود ندارد و مدل می‌تواند حداقل با یک سال داده‌های مشاهداتی، سری داده‌های روزانه مصنوعی دماهای کمینه و بیشینه، بارش و تابش خورشیدی را تولید کند (۱۱).

در این مطالعه با بهره‌مندی از مدل LARS-WG به پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی دما و بارش در سطح ایستگاه‌های منتخب حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران پرداخته شد. جهت تعیین تغییرات دما و بارش نسبت به دوره مینا از اطلاعات سناریوهای انتشار A₁B، A₂ و B₁ که در سومین گزارش رسمی هیأت بین‌المللی آب و هوایی (IPCC) در سال ۲۰۰۷ ارائه گردید، در قالب مدل گردش عمومی HADCM₃ بهره گرفته شد. علت استفاده از این مدل در برآورد اثرات اقلیمی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، سادگی کار در برآورد الگوها، دارا بودن هر سه سناریوی انتشار A₁B، A₂ و B₁ در مازول مربوطه، قابلیت ارزیابی و صحت‌سنجی مقایسه‌ای نتایج حاصل از اعمال سناریوهای مذکور، دیده شدن انطباق کامل یا غیرکامل مولفه‌های اقلیمی دما و بارش پس از برآوردها و سادگی نحوه تحلیل نتایج به دست آمده در این مدل گردش عمومی است. در سناریوی انتشار A₁B عملکرد کشورهای دنیا به صورت همگرا در نظر گرفته می‌شود و فرض بر این است که اولاً، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ روندی افزایشی خواهد داشت و به تعداد حدود نه میلیارد نفر خواهد رسید؛ سپس به تدریج کاهش خواهد یافت. ثانیاً، رشد اقتصادی با نرخ فزاینده افزایش خواهد یافت و تکنولوژی‌های پیشرفته و جدید در بین کشورهای دنیا به یک میزان توسعه خواهند یافت. در این سناریو بر استفاده متعادل از انواع انرژی تأکید شده است. در سناریوی انتشار A₂ کشورهای دنیا به صورت واگرا و مستقل از هم عمل می‌نمایند و جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش می‌یابد. سپس، توسعه اقتصادی مبحثی منطقه محور می‌شود. در سناریوی انتشار

توانی یا لگاریتمی- لگاریتمی زیر که شکل توسعه یافته‌ی یک تابع کاب- داگلاس^۱ است، بهره گرفته شد:

$$\ln Y_i = Q(1) + Q(2) * \ln S_i + Q(3) * \ln T_i + \sum_{j=1}^3 Q(4)_j * \ln W_{ij} + R(1) \quad (9)$$

با توجه به مدل رگرسیونی بالا، تغییرات میزان عملکرد محصولات منتخب زراعی در حوضه‌های مطالعاتی استان تهران براساس مقادیر متغیرهای اقلیمی دما و بارش و میزان مصارف نهاده‌ها قابل پیش‌بینی و تخمین است. $\ln Y_i$ در این رابطه بیانگر عملکرد محصول i (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، آفتابگردان و کلزا)، اندیس j بیانگر تعداد نهاده مصرفی (بذر، نهاده شیمیایی، ماشین‌آلات، نیروی کار) در تولید محصول i و W_{ij} میزان مصرف نهاده j در تولید محصول i است. S_i و T_i به ترتیب میانگین متغیرهای اقلیمی دما و بارش طی دوره رشد محصول i ، $Q(1)$ جمله ثابت یا عرض از مبدأ تابع عملکرد، $Q(2)$ ، $Q(3)$ و $Q(4)$ بیانگر ضرایب تخمینی مدل و $R(1)$ بیانگر جزء اختلال یا جمله خطای مدل است (۱۰ و ۴۱).

سیستم یکپارچه مدل‌سازی هیدرولوژی- اقتصادی (BEMIS)

مدل‌سازی یکپارچه هیدرولوژیکی- اقتصادی^۲ (HEMIS) یک رویکرد مشترک برای ارزیابی سناریوهای سیاستی در حوضه‌های آبریز به شمار می‌رود (۸). این رویکرد با مطرح کردن سیاست‌های مدیریت یکپارچه منابع آب و الزامات قانونی برای مدیریت این منابع در حوضه موری- دارلین^۳ (MDB) معرفی شد. تلاش برای انجام یک ارزیابی یکپارچه در زمینه مدیریت منابع آب یک چالش عمده است، چرا که این رویکرد نیاز به ایجاد ارتباط بین رشته‌های مختلف و استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی که اغلب در مقیاس‌های متفاوت و دوره‌های زمانی مختلف جمع‌آوری می‌شوند، دارد (۳۰). شکل ۲ فرآیند انجام کار در مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی را نشان می‌دهند:

سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی- اقتصادی، به منظور بررسی روابط بین متغیرهای هیدرولوژیکی (نیاز آبی، دما، رطوبت، بارش، تبخیر و تعرق و ...) و اقتصادی (سود ناخالص، درآمد، ارزش آب، میزان تولید و ...) مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه از این سیستم برای تحلیل اقتصادی اثرات تغییر اقلیم توأم با سیاست‌های بخش منابع آب و کشاورزی استفاده می‌شود (۸). انتخاب مقیاس مناسب برای مدل هیدرولوژیکی- اقتصادی مسئله حائز اهمیتی است،

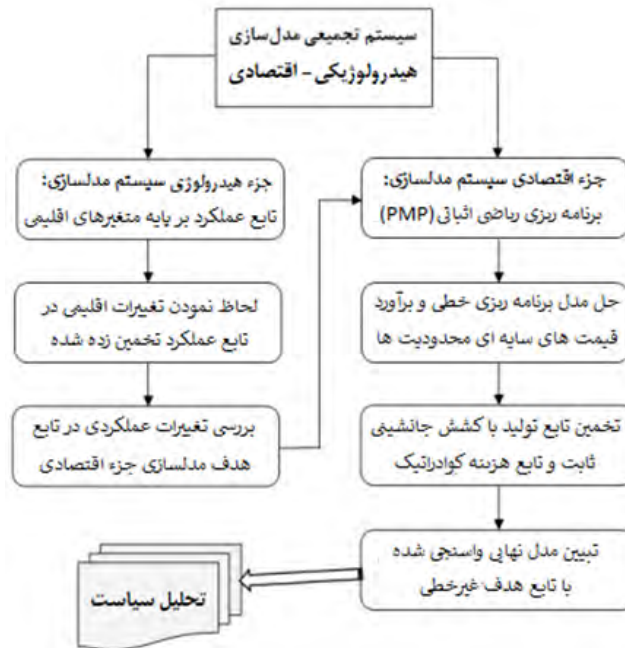
تهران، طی دوره ۱۶ ساله ۱۳۸۱-۱۳۹۷ با استفاده از بسته نرم-افزاری Eviews بررسی شد. قبل از برآورد مدل رگرسیونی با مجموعه داده‌های سری زمانی، نیاز است تا ایستایی (پایایی) و یا نایستایی (ناپایایی) سری موردنظر بررسی شود تا از تخمین یک مدل رگرسیونی کاذب جلوگیری به عمل آید. عمدتاً این کار با آزمون ریشه واحد انجام می‌شود. امروزه روش‌های متعددی برای این منظور وجود دارند، اما در بین آن‌ها ساده‌ترین و کاربردی‌ترین روش، استفاده از الگوی "لوی، لین و چاو" است. آن‌ها بررسی فرض صفر وجود ریشه واحد را به کمک آزمون دیکی- فولر تعمیم‌یافته انجام دادند (۱۸). در مطالعه حاضر نیز جهت انجام آزمون ریشه واحد و بررسی ایستایی یا نایستایی سری زمانی با داده‌های ۱۶ ساله مربوط به متغیرهای عملکرد محصولات، دما، بارش و نهاده‌های مصرفی بذر، کود، ماشین‌آلات و نیروی کار از الگوی فوق استفاده شد. جهت تخمین تابع عملکرد محصولات از رابطه زیر بهره گرفته شد:

$$Y_i = f(T_i, S_i, W_i) \quad \forall i = 1, 2, \dots, 9 \quad (7)$$

در رابطه بالا، Y_i متوسط عملکرد محصول i ، T_i و S_i به ترتیب متوسط دما و بارش صورت‌گرفته در دوره رشد محصول i است. W_i میزان مصرف نهاده‌ها یا عوامل تولید در سطوح زیرکشت محصولات منتخب زراعی است. بهترین برازش براساس ویژگی‌های نآرئب بودن، سازگاری و عدم وجود هم‌خطی بین متغیرها با استفاده از مدل اقتصادسنجی زیر صورت می‌گیرد (۲۳ و ۳۱):

$$Y_i = Q(1) + Q(2) * S_i + Q(3) * T_i + Q(4) * W_i + R(1) \quad (A)$$

رابطه ۸، بهترین برازش ممکن را بین متغیرهای توضیحی دما (T)، بارش (S) و مصارف نهاده‌ها (W) و متغیر وابسته عملکرد محصول (Y_i) نشان می‌دهد. $Q(1)$ ، $Q(2)$ ، $Q(3)$ ، $Q(4)$ و $R(1)$ نیز در این رابطه ضرایب تابع خود رگرسیونی هستند. پس از تخمین تابع فوق، جهت رفع مسئله خودهمبستگی از فرآیند خودرگرسیون مرتبه اول $R(1)$ استفاده شد. همچنین، جهت تصریح مدل رگرسیونی از آماره ضریب تعیین تعدیل شده و معنی‌داری ضرایب تخمینی بهره گرفته شد. علاوه بر این، به منظور اطمینان کامل در تصریح مدل، از آماره F والد و d دوربین واتسون استفاده گردید. با توجه به در اختیار داشتن داده‌های سری زمانی مربوط به عملکرد محصولات منتخب، متغیرهای اقلیمی دما و بارش و میزان مصارف نهاده‌ها یا عوامل تولید طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۷ در این مطالعه، جهت تخمین مناسب‌تر الگوی فوق با استناد به روش کاربردی یو و همکاران (۴۱) از تابع رگرسیونی



شکل ۲- فرآیند انجام کار در مدل هیدرواقتصادی

مقایسه با مدل های برنامه ریزی معمولی رایج و یا مدل های بهینه-سازی سنتی دارای مزایای بسیاری است و از این رو، کاربرد وسیعی در زمینه تحلیل سیاست های مرتبط با تولید محصولات کشاورزی دارد (۲۹). رویه کار در مدل برنامه ریزی ریاضی اثباتی (PMP) بدین شکل است که ابتدا یک مدل برنامه ریزی خطی جهت تعیین قیمت های سایه ای حل می شود. در مرحله دوم، یک تابع هزینه غیرخطی به همراه تابع تولید تخمین زده می شود و در مرحله سوم با لحاظ نمودن توابع برآورد شده فوق در تابع هدف، مدل غیرخطی نهایی واسنجی می شود؛ بدین ترتیب که مدل نهایی قادر به بازسازی داده ها و اطلاعات مشاهده شده در سال پایه می باشد (۱۲ و ۲۶). این مدل تجمیعی جهت واسنجی مجموعه متغیرهای اقتصادی و بیوفیزیکی با مجموعه ای از داده ها و اطلاعات مربوط به میزان تولید، هزینه، سود و قیمت محصولات زراعی و همچنین، میزان مقادیر آب مصرفی، مقادیر آب تخصیص داده شده و میزان مصارف دیگر نهاده ها (به جز آب) در سطح اراضی به کار گرفته می شود. این سیستم مدل سازی، رهیافتی نوین برای حل مسائل پیچیده با ویژگی های خاص (با استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی کمکی و یک تابع هدف غیرخطی) در بخش کشاورزی است که پس از واسنجی به خودی خود یک توازن یا تعادل در حداکثر سازی بازده درآمدی زارعین را بر اساس دوره مرجع یا پایه نتیجه می دهد (۱۲ و ۳۰). به طور کلی، مدل

چرا که مکانیزم لازم و حیاتی برای فضایی پویا از هر فرآیند یا جزء در این مدل ممکن است برای فرآیند یا جزء دیگر نامناسب و بی اهمیت باشد (۲۵). در این مطالعه، سیستم مدل سازی هیدرولوژیکی- اقتصادی شامل فرآیندی است که از آن برای تحلیل آثار بالقوه تغییرات اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای بر تولیدات بخش کشاورزی، منابع آب در دسترس و متغیرهای اقتصادی سود ناخالص و ارزش آب در استان تهران استفاده می شود. جزء اقتصادی در این سیستم مدل سازی شامل مدل برنامه ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و جزء هیدرولوژی شامل تابع عملکرد آبی محصولات منتخب زراعی مبتنی بر متغیرهای اقلیمی (دما و بارش) است.

مدل برنامه ریزی ریاضی اثباتی (PMP)

مدل PMP که اولین بار توسط پرفسور هاویت^۱ (۱۹۹۸) جهت تحلیل اثرات سیاست های کشاورزی و منابع آب معرفی شد، برای غلبه بر مشکلات موجود در مدل برنامه ریزی ریاضی هنجاری^۲ (NMP) توسعه پیدا کرد (۱۳، ۱۹ و ۲۴). امروزه این مدل در بین روش های مختلفی که برای حل مسائل تجمیعی و فوق تخصصی در زیربخش کشاورزی و منابع آب وجود دارند، کاربردی تر است. اصطلاح "اثباتی" در کلیت مدل PMP، بیانگر تحقق و اثبات داده های مشاهده شده در سال مبنا یا مرجع پس از واسنجی یا کالیبراسیون سیستم مدل سازی است (۲۷). رویکرد PMP در

1 Howitt

2 Normative Mathematical Programming

مطالعه را دارد و سطح فعالیت‌ها نمی‌توانند مقادیر منفی را شامل شوند (۱۲ و ۲۴).

مرحله دوم: برآورد تابع هزینه غیرخطی از درجه دو (کوادراتیک) و محاسبه ضرایب آن

در مرحله دوم مدل PMP، از مقادیر دوگان به دست آمده در مرحله اول برای واسنجی تابع هزینه غیرخطی یا کوادراتیک (درجه دوم) مطابق با رابطه (۱۵) استفاده می‌شود. علت استفاده از شکل تبعی غیرخطی تابع هزینه در این مرحله آن است که نتایج به دست آمده از مدل PMP با تابع هزینه غیرخطی انعطاف‌پذیری رفتاری و شبیه‌سازی واقعی‌تری را نسبت به این مدل با تابع هزینه خطی فراهم می‌نماید و این موضوع از ایجاد ناپوستگی ناگهانی و غیرمحمول در رهیافت‌های شبیه‌سازی جلوگیری می‌کند. همچنین، استفاده از شکل غیرخطی تابع هزینه نسبت به فرم خطی آن امکان حل مسائل پیچیده را که حتی با روش‌های اقتصادسنجی نیز قابل حل نیستند، به وجود می‌آورد. به همین منظور، در این تحقیق نیز از تابع هزینه غیرخطی با درجه دو مطابق رابطه زیر استفاده شد.

$$TC_i = \alpha_i Area_i + \frac{1}{2} \gamma_i Area_i^2 \quad \forall i \quad (15)$$

در رابطه بالا، TC_i هزینه کل تولید محصول i در منطقه مورد مطالعه است. پارامتر رهگیری یا عرض از مبدأ^۸ تابع هزینه است که برای نشان دادن هزینه متوسط تولید به کار می‌رود. γ_i پارامتر گاما است که بیانگر شیب تابع هزینه غیرخطی است. با توجه به اینکه هزینه‌های تولید محصولات منتخب در واحد سطح قابل ارزیابی هستند؛ از این‌رو تابع هزینه ارائه شده در رابطه (۱۵) از متغیر سطح زیرکشت ($Area_i$) تبعیت می‌کند. هر یک از پارامترهای فوق با استفاده از روابط ریاضی زیر محاسبه می‌شوند (۱۲ و ۲۴):

$$\gamma_i = \frac{\lambda_i^c}{\tilde{Area}_i} \quad \forall i \quad (16)$$

$$\alpha_i = \sum_{j \neq water}^5 c_{ij} q_{ij} \quad \forall ij \quad (17)$$

در روابط فوق، c_{ij} و q_{ij} بیانگر متوسط هزینه و میزان مصرف نهاده j برای تولید محصول i می‌باشند. هزینه نهاده آب به طور مجزا در تابع هدف غیرخطی مرحله سوم لحاظ می‌شود:

$$C_{w, charge} = \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^2 [V \text{ cost}_{water} + (Wch \text{ arge} * IW_i)] Area_{ig} \quad (18)$$

در رابطه فوق، $V \text{ cost}_{water}$ بیانگر هزینه متغیر فعالیت آبیاری، $Wch \text{ arge}$ قیمت یا نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان (به ترتیب ۱۷۳ و ۲۹۷ ریال در مترمکعب در حوضه‌های شمالی و جنوبی) و

PMP مورد استفاده در این تحقیق با توجه به رویکرد فوق شامل سه مرحله به شرح زیر است:

مرحله اول: حل مدل برنامه‌ریزی خطی (LP) و برآورد مقادیر دوگان یا قیمت‌های سایه‌ای محدودیت‌ها

در این مرحله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی^۱ (LP) جهت حداکثر نمودن مجموع سود ناخالص کشاورزان حل می‌شود و در ادامه مقادیر دوگان^۲ یا قیمت‌های سایه‌ای برای محدودیت‌های مدل به دست می‌آیند (۲۴). شکل ریاضی این مرحله از مدل PMP را می‌توان برای مناطق مورد مطالعه در این تحقیق به صورت زیر نشان داد:

$$Max \pi = \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^2 (price_{ig} * yield_{ig} - \sum_{j=1}^5 a_{ij} cost_{ij}) Area_{ig} \quad (10)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^2 a_{ij} Area_{ig} \leq b_{gj} \quad \forall j \quad [\lambda_j^j] \quad (11)$$

$$Area_i \leq \tilde{Area}_i + \varepsilon \quad \forall i \quad [\lambda_i^c] \quad (12)$$

$$Area_i \geq 0 \quad \forall i \quad (13)$$

رابطه (۱۰) به عنوان تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، شامل حداکثرکردن سود ناخالص کشاورزان است. در این رابطه، π مجموع سود ناخالص کشاورزان، i تعداد محصولات (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه، آفتابگردان و کلزا)، j تعداد نهاده‌ها یا عوامل تولید (زمین، آب، نیروی کار، ماشین‌آلات و سرمایه) و g بیانگر مناطق مورد مطالعه (حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران) است. $price_i$ ، $yield_i$ و $Area_i$ به ترتیب بیانگر قیمت بازاری، میزان عملکرد و سطح زیرکشت محصول i است. $cost_{ij}$ هزینه تولید محصول i با مصرف نهاده j است. a_{ij} نیز بیانگر ضرایب لئونتیف است که نسبت استفاده هر نهاده به زمین را نشان می‌دهد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$a_{ij} = \frac{\tilde{Area}_i}{Area_{i, Land}} \quad \forall ij \quad (14)$$

رابطه (۱۱)، محدودیت منابع است که b_j در آن، کل منابع در دسترس است. رابطه (۱۲)، محدودیت واسنجی است که در آن، \tilde{Area}_i مقدار مشاهده شده فعالیت i در سال پایه یا مبنا می‌باشد. ε نیز مقدار مثبت کوچکی برای جلوگیری از ایجاد وابستگی خطی بین محدودیت‌های مدل است. λ_j^j و λ_i^c در روابط (۱۱) و (۱۲)، بیانگر قیمت‌های سایه‌ای یا مقادیر دوگان محدودیت‌های سیستمی و واسنجی هستند. رابطه (۱۳) نیز محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. این محدودیت تضمین می‌کند که روش مذکور قابلیت اجرایی شدن در منطقه مورد

زیرکشت محصولات (TArea) است. رابطه (۲۳) محدودیت منابع آب قابل انتقال و قابل استحصال را نشان می‌دهد. این محدودیت بیانگر آن است که مجموع منابع آب قابل انتقال سطحی (WE) و قابل استحصال زیرزمینی (WF) نمی‌تواند از کل حجم آب در دسترس منطقه g (Twat_g) تجاوز کند. روابط (۲۴)، (۲۵) و (۲۶) به ترتیب بیانگر محدودیت مربوط به نهاده‌های نیروی کار، سرمایه و ماشین‌آلات می‌باشند. در این روابط، La_i ، K_i و Ma_i به ترتیب بیانگر میزان موردنیاز نیروی کار، سرمایه و ماشین‌آلات برای تولید محصول i و TLa ، TK و TMa به ترتیب، بیانگر مجموع نیروی کار، سرمایه و ماشین‌آلات قابل دسترس در منطقه مورد مطالعه هستند. رابطه (۲۷) نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت‌ها است که قابل اجرا بودن مدل برنامه‌ریزی ارائه شده را نشان می‌دهد.

داده‌ها و اطلاعات موردنیاز در تحقیق حاضر از نوع اسنادی و ثبت شده در سازمان‌های ذیربط (سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای) می‌باشند که در دو بخش سری زمانی و مقطعی گردآوری شدند. داده‌های مربوط به مقادیر متغیرهای اقلیمی، عملکرد محصولات منتخب زراعی و مصارف نهاده‌ها که جهت تخمین‌های رگرسیونی مورد استفاده قرار می‌گیرند، از نوع سری زمانی و برای سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۱۳۸۱ هستند. بخش دیگری از داده‌ها که مربوط به هزینه‌های تولید، هزینه نهاده‌ها، قیمت آب مصرفی، منابع آب در دسترس، سطح زیرکشت، نیاز آبی و قیمت محصولات منتخب زراعی می‌باشند، به طور میانگین برای دوره پایه ۱۳۹۷-۱۳۹۲ گردآوری شدند. تجزیه و تحلیل مدل‌های برنامه‌ریزی ارائه شده نیز در محیط‌های نرم‌افزاری EViews و GAMS صورت گرفت.

نتایج و بحث

مقادیر متغیرهای اقلیمی دما و بارش سالانه از میانگین‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی واقع در حوضه‌های شمالی (شامل شهرستان‌های فیروزکوه، دماوند، پردیس، شمیرانات، قدس و تهران) و جنوبی (شامل شهرستان‌های ورامین، شهر ری، پاکدشت، قرچک، پیشوا، رباط کریم، اسلامشهر، شهریار و ملارد) استان تهران گردآوری شدند. جدول ۱ مشخصات کلی ایستگاه‌های هواشناسی (نوع، سال احداث، ارتفاع از سطح دریا و مختصات جغرافیایی) را نشان می‌دهد. در برنامه‌نویسی برای اعمال سناریوهای انتشار در مدل LARS-WG، اطلاعات جغرافیایی (شامل طول و عرض و ارتفاع) ایستگاه‌ها موردنیاز است.

IW_i آب مصرفی در تولید محصول i است. رابطه (۱۹) نیز هزینه نهاده آب را در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال نشان می‌دهد:

$$C_{trad} = \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^2 [(IE \text{ cost} * WE) + (IF \text{ cost} * WF)] Area_{ig} \quad (19)$$

در رابطه فوق، $IE \text{ cost}$ و WE به ترتیب هزینه و حجم آب انتقال یافته در حوضه‌های مطالعاتی می‌باشند. $IF \text{ cost}$ و WF نیز به ترتیب هزینه استحصال آب زیرزمینی و حجم آب استحصالی به وسیله سیستم‌های پمپاژ آب می‌باشند (۳۰).

مرحله سوم: تبیین مدل نهایی واسنجی شده با تابع هدف غیرخطی

در این مرحله که مرحله نهایی واسنجی مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) است، با استفاده از تابع هزینه غیرخطی واسنجی شده و مجموعه محدودیت‌های کاربردی (به استثنای محدودیت واسنجی)، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به صورت روابط زیر ساخته می‌شود (۱۲ و ۲۴):

$$Max \pi = \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^2 [price_{ig} * yield_{ig} * \varphi change_{yield}] Area_{ig} \quad (20)$$

$$-(\alpha_i Area_i + \frac{1}{2} \gamma_i Area_i^2) - \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^2 [V \text{ cost}_{water} + (W \text{ charge} * IW_i)] Area_{ig}$$

$$- \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^2 [(IE \text{ cost} * WE) + (IF \text{ cost} * WF)] Area_{ig}$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^2 IW_i * Area_{ig} \leq (1 - Cloos) * Twat_g \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^7 Area_i \leq TArea \quad \forall g \quad (22)$$

$$WE + WF \leq Twat_g \quad \forall g \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^7 La_i * Area_i \leq TLa \quad \forall g \quad (44)$$

$$\sum_{i=1}^7 K_i * Area_i \leq TK \quad \forall g \quad (55)$$

$$\sum_{i=1}^7 Ma_i * Area_i \leq TMa \quad \forall g \quad (66)$$

$$Area_i \geq 0 \quad \forall ig \quad (77)$$

رابطه (۲۰)، تابع هدف غیرخطی مدل PMP است که ضریب مقداری $\varphi change_{yield}$ در آن، بیانگر تغییرات به وجود آمده در عملکرد محصولات پس از اعمال سناریوهای اقلیمی است. رابطه (۲۱) محدودیت آب قابل دسترس را نشان می‌دهد که در آن، $Cloos$ درصد حجم آب قابل انتقال و $Twat_g$ کل منابع آب در دسترس است. رابطه (۲۲) بیانگر محدودیت اراضی آبی زیرکشت است و نشان می‌دهد که مجموع سطح زیرکشت اختصاص داده شده به محصولات منتخب ($Area_i$) کم‌تر از کل سطح

جدول ۱- مشخصات کلی ایستگاه‌های هواشناسی استان تهران به تفکیک محل استقرار و حوضه مطالعاتی

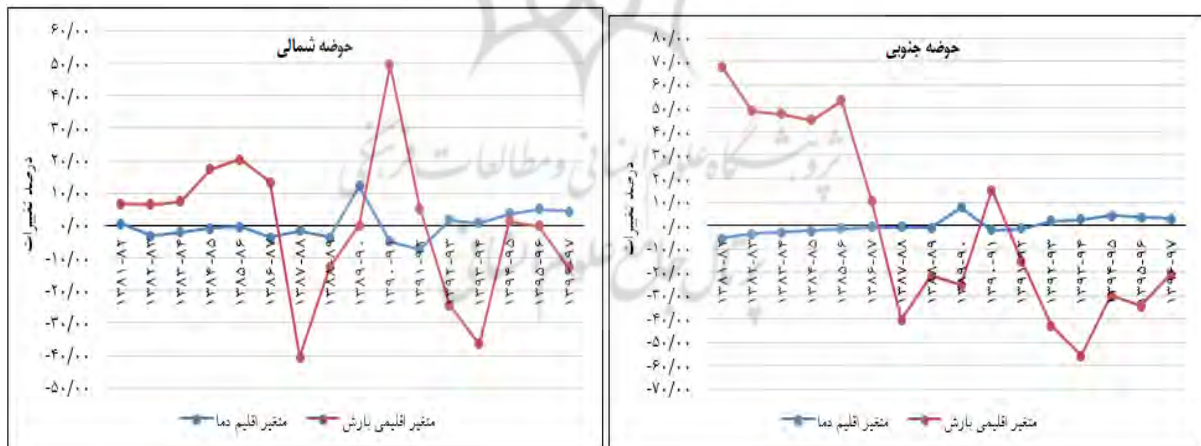
نام ایستگاه	نوع ایستگاه	سال ایجاد	ارتفاع از سطح دریا		طول شرقی		عرض شمالی	
			متر	فوت	درجه	دقیقه	درجه	دقیقه
أبلی	اصلی	۱۳۶۲	۲۴۶۵	۰	۵۹	۵۱	۰	۴۷
امین‌آباد	اصلی	۱۳۷۴	۲۹۸۶	۰	۲۴	۵۲	۰	۴۳
چیتگر	فرعی	۱۳۶۹	۱۳۰۵	۲۱	۱۰	۵۱	۵۶	۴۴
ژئوفیزیک	فرعی	۱۳۶۷	۱۴۱۵	۱۲	۲۳	۵۱	۴۸	۴۴
مهرآباد	اصلی	۱۳۲۱	۱۱۹۱	۴۶	۱۸	۵۱	۳۵	۴۱
فروگاه امام	اصلی	۱۳۸۱	۹۹۰	۰	۱۰	۵۱	۰	۲۵
ورامین	فرعی	۱۳۷۹	۹۲۷	۵۷	۳۷	۵۱	۳۸	۲۰

مأخذ: سازمان هواشناسی استان تهران، ۱۳۹۷

میزان برای متغیر بارش از رابطه زیر به دست می‌آید:
میزان بارش متوسط بلندمدت / (میزان بارش متوسط بلندمدت -
میزان بارش در سال موردنظر) = روند تغییرات متغیر اقلیمی بارش
با توجه به رابطه فوق، ملاحظه می‌شود که مقادیر عددی نشان-
دهنده روند تغییرات متغیر اقلیمی بارش طی سال‌های مختلف در
دوره مطالعاتی موردنظر، از تقسیم مابه التقات میزان متوسط بارش
محقق شده در دوره بلندمدت با میزان بارش محقق شده در سال
موردنظر بر میزان بارش متوسط بلندمدت حاصل می‌شود. از این
رو، این شاخص برای سال‌هایی که میزان بارش محقق شده در
آن‌ها کمتر از میزان متوسط بارش بلندمدت باشد، مقادیر منفی را
برحسب واحد درصد نتیجه می‌دهد.

همان‌گونه که در بخش روش تحقیق اشاره شد، میانگین مقادیر
متغیرهای اقلیمی دما و بارش سالانه در حوضه‌های شمالی
(حوضه رودخانه جاجرود و کرج) و جنوبی (حوضه رودشور) استان
تهران در کنار مقادیر مصرفی نهاده‌ها، به عنوان داده‌های ورودی
در تخمین‌های رگرسیونی تابع عملکرد محصولات منتخب زراعی
لحاظ شدند.

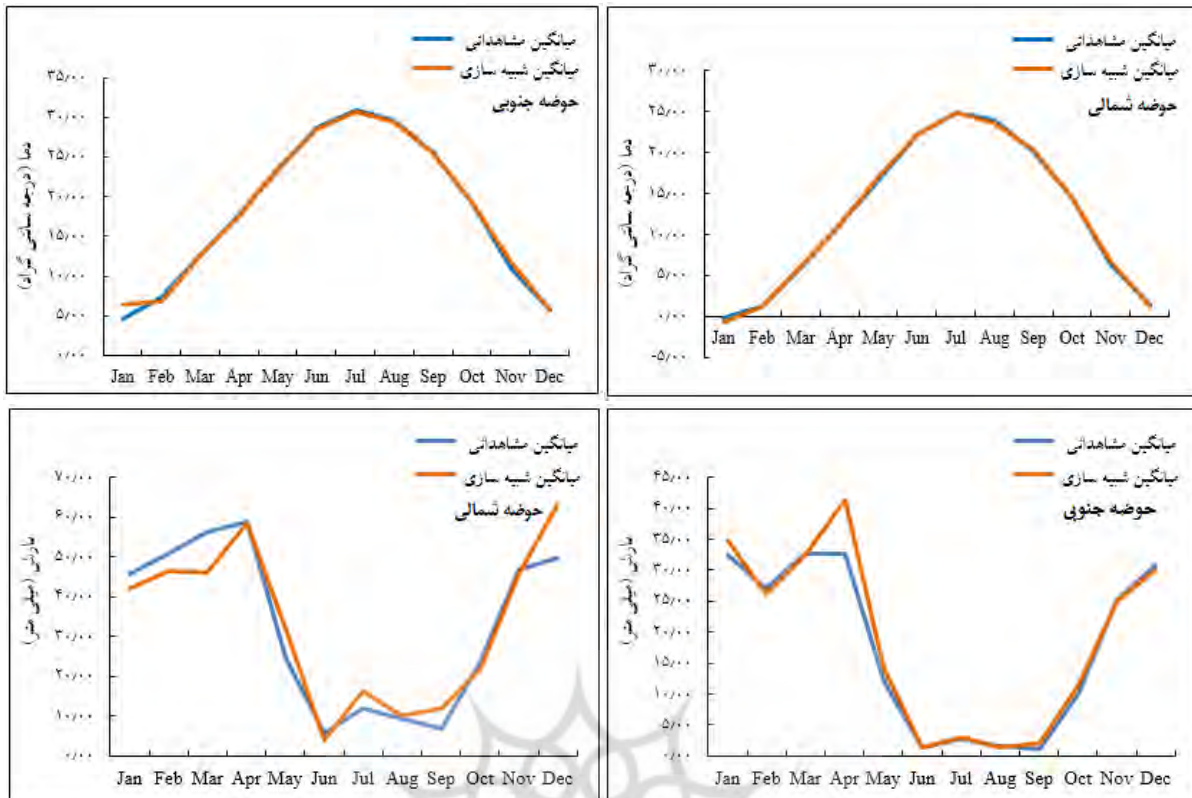
شکل ۳ روند تغییرات میانگین این متغیرها را در حوضه‌های
مطالعاتی استان تهران طی دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۱ نسبت به
میانگین بلندمدت (درصد) نشان می‌دهند. شایان ذکر است، برای
سال‌های که روند متغیر بارش منفی محاسبه شده است، متوسط
بارش آن سال نسبت به میانگین بلندمدت کمتر بوده است. این



شکل ۳- روند تغییرات میانگین دما و بارش سالانه در حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران

ماه دسامبر (آذر) با روندی نزولی (کاهش) همراه است؛ درحالی
که متوسط ماهانه متغیر اقلیمی بارش در هر دو حوضه شمالی و
جنوبی استان تهران با نوساناتی ملموس‌تر، از ماه ژانویه (دی) تا
جولای (تیر) با روندی نزولی و سپس تا ماه دسامبر (آذر) با روندی
صعودی همراه است.

شکل ۴ نتایج یا خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی مدل
ریزمقیاس LARS-WG را برای داده‌های اقلیمی متغیرهای دما
و بارش متوسط ماهانه طی دوره پایه نشان می‌دهد. با توجه به
این یافته‌ها، ملاحظه می‌شود که متوسط ماهانه دمای هوا در هر
دو حوضه شمالی و جنوبی استان تهران طی دوره پایه از ماه ژانویه
(دی) تا جولای (تیر) با روندی صعودی (افزایشی) و پس از آن تا



شکل ۴- مقایسه میانگین دما و بارش مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در مدل LARS-WG طی دوره ۱۳۹۷-۱۳۸۱

جدول ۲، نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده داده‌های هواشناسی را پس از اجرای آزمون Q-Test و محاسبات انجام گرفته در سطح حوضه-های شمالی و جنوبی استان تهران نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج پارامترهای آماری حاصل از مقایسه داده‌های دیده‌بانی و مولد هواشناسی طی دوره ۱۳۹۷-۱۳۸۱

ساعات آفتابی (h)	متوسط دما (°C)	بارش (mm)	پارامترها	محدوده مطالعاتی
۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۶	NS	حوضه شمالی
۰/۰۶۷	۰/۰۲۵	۰/۶۴	MAE	(آبریز رود کرج و جاجرود)
۰/۲۳	۰/۲۶	۵/۹۶	RMSE	
۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶	NS	حوضه جنوبی
۰/۰۷۸	۰/۱۳۶	۱/۰۸	MAE	(آبریز رود شور)
۰/۲۸	۰/۵۷	۲/۷۱	RMSE	

شبیه‌سازی، داده‌های هواشناسی مربوط به میزان تابش یا ساعات آفتابی را با دقت کمتری نسبت به سایر داده‌های هواشناسی (دما و بارش) تولید می‌کند. تحلیل نتایج حاصل از آزمون دو نمونه‌ای T زوجی نیز نشان می‌دهد که مقدار آماره t برای متغیرهای بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش در حوضه شمالی استان تهران به ترتیب برابر با ۰/۴۸۵، ۰/۵۴۳، -۱/۰۸۹ و -۱/۰۲۵- با ارزش احتمال ۰/۶۳۶، ۰/۵۹۷، ۰/۲۹۸ و ۰/۳۲۵ و در حوضه جنوبی این استان برابر با ۰/۶۵۴، -۰/۹۰۳، -۰/۴۹۳ و -۰/۹۶۳-

همان‌گونه که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد، بالا بودن مقادیر محاسباتی ضریب NS ناشی- ساتکلیف (نزدیک به یک بودن) از یک سو و پایین بودن مقادیر محاسباتی شاخص‌های خطاسنجی MAE و RMSE برای متغیرهای اقلیمی بارش، دما و ساعات آفتابی از سوی دیگر، نشان‌دهنده کارایی و اعتبار بالای مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران طی دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۷ (۲۰۱۸-۲۰۲۰) است. افزون بر این، مطابق با نتایج جدول ۲ ملاحظه می‌شود که مدل

با ارزش احتمال ۰/۵۲۶، ۰/۳۸۴، ۰/۶۳۱ و ۰/۳۵۵ می‌باشد. این امر حاکی از آن است که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر بازسازی شده و مقادیر واقعی (مشاهداتی) داده‌های هواشناسی دما، بارش و تابش در سطح خطای ۰/۰۵ درصد وجود ندارد. مقادیر ضرایب همبستگی پیرسون بین داده‌های بازسازی شده و واقعی طی دوره پایه در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ نشان از اعتبار مدل دارند. برقراری شرط $P\text{-Value} > 0.05$ نیز برای کلیه متغیرهای مذکور، وجود هماهنگی بین داده‌های هواشناسی مشاهداتی و مولد داده‌های هواشناسی (شبیه‌سازی شده) را بازگو می‌کند و به نوعی دیگر

بیانگر اعتبار مدل پایه پیش‌بینی کننده است. جدول ۳، پیش‌بینی درصد تغییرپذیری دما و بارش سالانه را طی دوره‌های آتی، نسبت به دوره پایه ۱۳۹۷-۱۳۸۱ تحت سناریوهای مختلف انتشار نشان می‌دهد. افق‌های زمانی موردنظر، مطابق با تعاریف پایه در ماژول مربوط به مدل گردش عمومی HADCM3 در نظر گرفته شده‌اند و سه دوره فعلی، میان مدت و بلندمدت را برای تخمین اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای بر متغیرهای اقلیمی دما و بارش تحت سناریوهای A_1B ، A_2 و B_1 شامل می‌شوند.

جدول ۳- پیش‌بینی میزان و درصد تغییرپذیری دما و بارش متوسط سالانه طی دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه (۱۳۹۷-۱۳۸۱)

منطقه	سناریو	تغییرات	افق ۲۰۱۱-۲۰۳۰		افق ۲۰۴۶-۲۰۶۵		افق ۲۰۸۰-۲۰۹۹	
			دما (c)	بارش(mm)	دما (c)	بارش(mm)	دما (c)	بارش(mm)
حوضه شمالی	A_1B	مقدار	۰/۲۶	۰/۷۸	۱/۶۴	۲۹/۶	۲/۹۶	۳۳/۹
		درصد	۱/۰۷	-۰/۲۰	۱۳/۴	-۷/۶۰	۲۲/۹	-۸/۷۰
حوضه جنوبی	A_2	مقدار	۰/۳۴	۴/۲۹	۱/۶۳	۱۹/۵	۳/۶۶	۷۲/۲
		درصد	۱/۷۵	-۱/۱۰	۱۴/۱	-۵/۰	۲۵/۰	-۱۸/۵
حوضه شمالی	B_1	مقدار	۰/۲۸	۰/۰۰	۱/۳۲	۱۱/۴	۲/۱۳	۲۴/۲
		درصد	۰/۳۸	۰/۰۰	۸/۱۳	-۳/۷۰	۲۲/۳	-۶/۲۰
حوضه شمالی	A_1B	مقدار	۰/۲۷	۰/۶۳	۱/۶۸	۱۷/۴	۳/۰۹	۱۹/۹۹
		درصد	۱/۶۶	-۰/۳۰	۱۱/۸۷	-۸/۳۰	۲۰/۷	-۹/۵۰
حوضه جنوبی	A_2	مقدار	۰/۳۵	۲/۷۳	۱/۶۶	۱۲/۸	۳/۷۵	۴۱/۱
		درصد	۲/۵۱	-۱/۳۰	۱۱/۴۷	-۶/۱۰	۲۶/۰	-۱۹/۶
حوضه جنوبی	B_1	مقدار	۰/۲۹	۰/۰۰	۱/۳۵	۹/۰۳	۲/۱۷	۱۴/۵
		درصد	۱/۷۷	۰/۰۰	۹/۲۸	-۴/۳۰	۱۵/۶	-۶/۹۰

به کمک نتایج جدول ۳ می‌توان سناریوهای کاربردی جهت ارزیابی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و رخداد پدیده گرمایش جهانی بر میزان عملکرد محصولات منتخب زراعی و سپس اثرات این پدیده بر الگوی کشت و متغیرهای اقتصادی زیربخش کشاورزی را تداعی نمود. مولفه "مقدار" در جدول ۳ برای متغیر اقلیمی دما، افزایش مقادیر خروجی و برای متغیر اقلیمی بارش، کاهش مقادیر خروجی از مدل LARS-WG را تحت شرایط اعمال سناریوهای انتشار A_1B ، A_2 و B_1 طی دوره‌های زمانی آتی نسبت به مقادیر ثبت شده برای این متغیرها در دوره پایه یا دیده‌بانی (۱۳۹۷-۱۳۸۱) بازگو می‌کند. ملاحظه می‌شود که درصد تغییرات دما شامل مقادیر مثبت (تغییرات فزاینده نسبت به دوره پایه) و درصد تغییرات بارش شامل مقادیر منفی (تغییرات کاهنده نسبت به دوره پایه) می‌باشد. مطابق با نتایج جدول ۳، ملاحظه می‌شود که در هر دو حوضه شمالی و جنوبی استان تهران، متغیر اقلیمی دمای هوا طی افق‌های زمانی آتی در تمامی سناریوها نسبت به دوره پایه در حال افزایش می‌باشد؛ این در

حالی است که متغیر اقلیمی بارش طی دوره‌های آتی در تمامی سناریوها در حال کاهش است. در حوضه شمالی استان تهران کمترین میزان کاهش بارش نسبت به میانگین دوره پایه حدود ۰/۲- درصد و مربوط به سناریوی A_1B طی افق زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و بیشترین میزان کاهش بارش نسبت به میانگین دوره پایه حدود ۱۸/۵- درصد و مربوط به سناریوی A_2 طی افق زمانی ۲۰۹۹-۲۰۸۰ خواهد بود. در حوضه جنوبی استان تهران نیز کمترین و بیشترین میزان کاهش بارش نسبت به میانگین دوره پایه به ترتیب حدود ۰/۳- و ۱۹/۶- درصد تحت سناریوها و افق‌های زمانی مذکور محقق خواهد شد. به طور کلی، نتایج جدول ۳ حاکی از آن است که رفتار متغیرهای دما و بارش طی دوره‌های آتی در سطح حوضه‌های مطالعاتی استان تهران نسبت به دوره پایه (دیده‌بانی) به ترتیب افزایشی و کاهش‌ی خواهد بود؛ به طوری که کاهش ۰/۷۸ تا ۴۱/۱ میلی‌متر برای بارش و افزایش ۰/۲۶ تا ۳/۷۵ درجه سانتی‌گراد برای دمای هوا طی دوره‌های کوتاه تا بلندمدت رخ خواهد داد. از این رو می‌توان با داشتن یک دید

مورد آزمون قرار گیرند. در صورتی که داده‌ها نایستا باشند امکان تخمین رگرسیون کاذب و دستیابی به نتایج غیرمعقول وجود دارد. جدول ۴ (الف و ب)، نتایج به دست آمده در این راستا را براساس روش "لوین، لین و چاو" مبتنی بر آزمون ریشه واحد دیکی - فولر تعمیم یافته نشان می‌دهد. انجام این آزمون از طریق نرم افزار Eviews و بررسی و تحلیل آن از طریق معنی داری براساس احتمال (Prob) در سطح پنج درصد تعیین می‌گردد. با توجه به اینکه فرض H_0 این آزمون نشان دهنده وجود ریشه واحد برای هر متغیر است، چنانچه P-Value محاسبه شده کمتر از پنج درصد باشد، فرض وجود ریشه واحد برای آن متغیر رد می‌شود. در غیر این صورت، نیاز به بررسی ایستایی با سطوح اول و دوم تفاضل گیری است؛ ضمن اینکه در صورت وجود متغیرهای نایستا در سطح، نیاز به بررسی همجمعی بین داده‌های مربوط به متغیرهای نایستا نیز می‌باشد.

میان مدت، اثرات اقتصادی اعمال سناریوی اقلیمی افزایش دو درجه‌ای دمای هوا و کاهش ۲۰ میلی‌متری بارش را در سطح حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران در زیربخش کشاورزی و منابع آب ارزیابی نمود. کاهش بارش تحت سناریوهای ملایم تا شدید سناریوی دیگری است که می‌توان به بررسی اثرات اقتصادی آن در زیربخش کشاورزی حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران پرداخت.

همان‌گونه که در بخش روش تحقیق اشاره شد، به منظور جلوگیری از تخمین رگرسیون‌های کاذب برای توابع عملکرد محصولات منتخب زراعی در سطح حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران نیاز است تا ابتدا داده‌های سری زمانی مربوط به متغیرهای دخیل در تابع تولید یا عملکرد (شامل عملکرد محصولات، متغیرهای اقلیمی دما و بارش و نهاده‌های مصرفی در تولید محصولات منتخب) به لحاظ بحث ایستایی و نایستایی

جدول ۴ الف - نتایج آزمون ایستایی متغیرها به روش لوین، لین و چاو مبتنی بر آزمون ریشه واحد دیکی - فولر تعمیم یافته در حوضه

شمالی						
حوضه مطالعاتی	متغیر	روش ارزیابی	آماره آزمون (در سطح)	احتمال	آماره آزمون (تفاضل اول)	احتمال ایستایی یا نایستایی
حوضه شمالی استان تهران	عملکرد (Y)	ثابت	-۱/۶۸۱	۰/۴۳۸	-۹/۸۵۳	۰/۰۰۰
		ثابت و روند	-۱/۶۰۱	۰/۷۸۶	-۹/۳۰۶	۰/۰۰۰
		ثابت	-۳/۶۶۰	۰/۰۱۷	*	*
حوضه شمالی استان تهران	دما (T)	ثابت و روند	-۴/۲۷۶	۰/۰۲۱	*	*
		ثابت	-۲/۸۵۶	۰/۰۴۴	*	*
		ثابت و روند	-۴/۷۵۳	۰/۰۱۲	*	*
حوضه شمالی استان تهران	بارش (P)	ثابت	-۱/۷۷۸	۰/۳۸۹	-۱۰/۳۸	۰/۰۰۰
		ثابت و روند	-۱/۳۳۹	۰/۸۷۵	-۱۰/۱۴	۰/۰۰۰
		ثابت	-۵/۹۸۱	۰/۰۲۹	*	*
حوضه شمالی استان تهران	بذر (B)	ثابت و روند	-۵/۰۵۶	۰/۰۴۶	*	*
		ثابت	-۲/۷۶۰	۰/۰۵۱	*	*
		ثابت و روند	-۲/۹۹۵	۰/۰۷۸	-۱۱/۹۴	۰/۰۰۹
حوضه جنوبی استان تهران	کود (N)	ثابت	-۴/۱۰۳	۰/۰۱۹	*	*
		ثابت و روند	-۴/۵۴۰	۰/۰۳۷	*	*
		ثابت	-۲/۷۹۴	۰/۳۸۱	-۱۰/۲۷	۰/۰۰۰
حوضه جنوبی استان تهران	ماشین آلات (M)	ثابت	-۱/۵۴۹	۰/۵۰۴	-۱۰/۵۶	۰/۰۰۰
		ثابت و روند	-۱/۱۶۱	۰/۸۳۶	-۹/۸۹۶	۰/۰۰۰
		ثابت	-۳/۵۰۴	۰/۰۳۴	*	*
حوضه جنوبی استان تهران	دما (T)	ثابت و روند	-۴/۱۲۹	۰/۰۲۷	*	*
		ثابت	-۵/۸۴۴	۰/۰۳۶	*	*
		ثابت و روند	-۶/۱۱۵	۰/۰۴۷	*	*
حوضه جنوبی استان تهران	بارش (P)	ثابت	-۱/۷۹۴	۰/۳۸۱	-۱۰/۲۷	۰/۰۰۰
		ثابت و روند	-۱/۱۶۱	۰/۸۳۶	-۹/۸۹۶	۰/۰۰۰
		ثابت	-۳/۵۰۴	۰/۰۳۴	*	*
حوضه جنوبی استان تهران	بذر (B)	ثابت	-۱/۷۹۴	۰/۳۸۱	-۱۰/۲۷	۰/۰۰۰
		ثابت و روند	-۱/۱۶۱	۰/۸۳۶	-۹/۸۹۶	۰/۰۰۰
		ثابت	-۳/۵۰۴	۰/۰۳۴	*	*

*: مقادیر ایستا برای متغیرها در سطح و بدون نیاز به انجام آزمون تفاضل گیری مرتبه اول

جدول ۴ ب - نتایج آزمون ایستایی متغیرها به روش لوین، لین و چاو مبتنی بر آزمون ریشه واحد دیکی - فولر تعمیم یافته در حوضه جنوبی

حوضه مطالعاتی	متغیر	روش ارزیابی	آماره آزمون (در سطح)	احتمال	آماره آزمون (تفاضل اول)	احتمال ایستایی یا نایستایی
حوضه جنوبی استان تهران	عملکرد (Y)	ثابت	-۱/۵۴۹	۰/۵۰۴	-۱۰/۵۶	۰/۰۰۰
		ثابت و روند	-۱/۱۶۱	۰/۸۳۶	-۹/۸۹۶	۰/۰۰۰
		ثابت	-۳/۵۰۴	۰/۰۳۴	*	*
حوضه جنوبی استان تهران	دما (T)	ثابت و روند	-۴/۱۲۹	۰/۰۲۷	*	*
		ثابت	-۵/۸۴۴	۰/۰۳۶	*	*
		ثابت و روند	-۶/۱۱۵	۰/۰۴۷	*	*
حوضه جنوبی استان تهران	بارش (P)	ثابت	-۱/۷۹۴	۰/۳۸۱	-۱۰/۲۷	۰/۰۰۰
		ثابت و روند	-۱/۱۶۱	۰/۸۳۶	-۹/۸۹۶	۰/۰۰۰
		ثابت	-۳/۵۰۴	۰/۰۳۴	*	*
حوضه جنوبی استان تهران	بذر (B)	ثابت	-۱/۷۹۴	۰/۳۸۱	-۱۰/۲۷	۰/۰۰۰
		ثابت و روند	-۱/۱۶۱	۰/۸۳۶	-۹/۸۹۶	۰/۰۰۰
		ثابت	-۳/۵۰۴	۰/۰۳۴	*	*

		۰/۰۰۰	-۹/۹۷۰	۰/۹۰۱	-۱/۲۱۷	ثابت و روند	
ایستا	کود (N)	*	*	۰/۰۵۰	-۳/۴۳۴	ثابت	
		*	*	۰/۰۴۳	-۳/۴۱۷	ثابت و روند	
ایستا I(1)	ماشین آلات (M)	۰/۰۰۰	-۸/۳۴۱	۰/۰۸۹	-۱/۶۰۹	ثابت	
		۰/۰۰۴	-۸/۸۷۰	۰/۱۰۳	-۱/۶۵۴	ثابت و روند	
ایستا	نیروی کار (L)	*	*	۰/۰۲۷	-۴/۱۸۲	ثابت	
		*	*	۰/۰۳۶	-۴/۶۶۳	ثابت و روند	

*: مقادیر ایستا برای متغیرها در سطح و بدون نیاز به انجام آزمون تفاضل گیری مرتبه اول

است. نتایج گویاست که متغیرهای عملکرد، بذر و ماشین آلات با یک بار تفاضل گیری I(1) ایستا می‌شوند. از آنجایی که برخی از متغیرهای تحقیق ایستا و برخی دیگر نایستا می‌باشند؛ نیاز است تا قبل از برآورد مدل، آزمون همجمعی انجام شود تا وجود یا عدم وجود رگرسیون کاذب بررسی گردد. در اینجا برای بررسی همجمعی بین متغیرهای تحقیق از آزمون پدرونی استفاده شد. نتایج این آزمون در جدول ۵ ارائه شده است.

مطابق با نتایج جدول ۴، ملاحظه می‌شود که برای دما، بارش، کود و نیروی کار در حوضه‌های شمالی و جنوبی در سطح و در حالت "با عرض از مبدأ و روند" مقدار سطح احتمال پایین از پنج درصد است. از این رو، متغیرهای مذکور در هر دو سطح ایستا هستند؛ اما عملکرد و بذر مصرفی در سطح و حالت "با عرض از مبدأ و روند" نایستا می‌باشند. ماشین آلات نیز در سطح حوضه جنوبی در هر دو حالت "ثابت" و "ثابت و روند" نایستا است، اما در حوضه شمالی فقط در حالت با عرض از مبدأ و روند نایستا

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمون همجمعی پدرونی برای متغیرهای تحقیق

ردیف (Row)	آزمون (Test)	آماره (Statistics)	احتمال (Prob)
۱	Panel P-Statistic	-۵/۸۴	۰/۰۰۰
۲	Panel ADF-Statistic	-۳/۲۷	۰/۰۲۳
۳	Group ADF-Statistic	-۲/۴۹	۰/۰۱۱

جداول ۶ و ۷ نتایج به دست آمده از تخمین توابع عملکرد محصولات منتخب زراعی با روش OLS را بازگو می‌کنند. کلیت یافته‌های حاصل از تخمین توابع عملکرد محصولات منتخب حاکی از معنی‌داری اغلب متغیرهای مورد بررسی در این توابع، به ویژه دما و بارش در سطوح معنی‌داری یک، پنج و ۱۰ درصد است. این نتیجه مهم اثرپذیری میزان عملکرد محصولات منتخب زراعی را تحت شرایط متفاوتی از تغییرات مقادیر اقلیمی دما و بارش سالانه در سطح حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران بازگو می‌کند. مقادیر به دست آمده برای آماره‌های آزمون R^2 ، \bar{R}^2 و F نیز در سطح هر دو حوضه بیانگر معنی‌داری کل مدل-های تخمین رگرسیون و قابل قبول بودن تغییرات توضیح داده شده‌ی متغیر وابسته (عملکرد محصولات) توسط متغیرهای مستقل (دما، بارش و نهاده‌های مصرفی) است.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که کلیه آماره‌های آزمون در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار هستند و در نتیجه فرض صفر آزمون همجمعی پدرونی که مبنی بر عدم وجود رابطه همجمعی بین متغیرها می‌باشد، رد می‌شود. مقادیر آماره‌های ADF و PP گروهی و انفرادی بیانگر وجود رابطه همجمعی بین متغیرهای تحقیق است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که یک رابطه تعادلی بلندمدت بین میزان عملکرد محصولات (متغیر وابسته) با دما و بارش و نهاده‌های مصرفی بذر، کود، ماشین آلات و نیروی کار (متغیرهای مستقل) در سطح حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران وجود دارد. لذا، برآوردهای رگرسیونی توابع عملکرد محصولات منتخب در سطح هر دو حوضه معنی‌دار بوده و تخمین‌های صورت گرفته، فرضیه امکان ایجاد رگرسیون کاذب و دستیابی به نتایج غیرمعقول را منتفی می‌کند.

جدول ۶- نتایج حاصل از تخمین توابع عملکرد محصولات منتخب زراعی در سطح حوضه شمالی استان تهران

محصول	آماره	جمله ثابت α	بارش P	دما T	بذر B	کود N	ماشین آلات M	نیروی کار L	ضریب R^2	ضریب \bar{R}^2	آماره F
گندم آبی	آماره t	-۲/۹**	۶/۳۵*	۱/۹۱***	۱/۵۰ ^{ns}	-۱/۰ ^{ns}	۴/۹۵*	۴/۰۲*	۰/۹۰	۰/۸۴	۱۴/۷*

جو آبی	ضریب	۸/۰۲۱	۰/۱۵	۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۱۱	-۰/۳۱	-۰/۳۰	۰/۹۲	۰/۸۷	۱۸/۹*
آماره t	ضریب	۶/۳۰*	۶/۶۳*	۲/۱۷**	۲/۹۹**	۲/۳۱**	-۴/۸۱*	-۱/۹***	۰/۹۲	۰/۸۷	۱۸/۹*
ذرت دانه‌ای	ضریب	-۷/۱۷۵	۰/۱۷۳	-۰/۵۰۷	۰/۱۵۲	۰/۱۸۹	۰/۵۵۳	۱/۶۰۱	۰/۹۴	۰/۹۰	۲۵/۹*
آماره t	ضریب	-۲/۷**	۲/۴۴**	۱/۶۷***	۱/۰۱ ^{NS}	۱/۰۳ ^{NS}	۰/۵۶***	۴/۶۲*	۰/۹۴	۰/۹۰	۲۵/۹*
گوجه‌فرنگی	ضریب	۹/۷۲۸	۰/۰۴۹	-۰/۲۵۷	-۰/۰۰۹	-۰/۱۹	-۰/۱۳۰	۰/۲۷۹	۰/۸۲	۰/۷۱	۷/۲۳*
آماره t	ضریب	۱۲/۹۸*	۱/۹۸***	-۲/۰***	-۰/۱۹ ^{NS}	-۲/۳***	۱/۱۳ ^{NS}	۱/۸۶***	۰/۸۲	۰/۷۱	۷/۲۳*
هندوانه	ضریب	۱۵/۲۵	-۰/۲۷۲	-۰/۸۲	-۰/۰۴۲	-۰/۸۱	۱/۸۲۵	-۰/۹۱۱	۰/۸۱	۰/۶۹	۶/۷۴*
آماره t	ضریب	۸/۸۱*	-۳/۲۲*	-۲/۱۴**	۰/۵۴ ^{NS}	-۳/۷*	۵/۲۶*	-۲/۲***	۰/۸۱	۰/۶۹	۶/۷۴*
آفتابگردان	ضریب	۷/۰۰۲	-۰/۰۱۳	۰/۰۹۴	-۰/۰۰۲	۰/۲۸۲	-۰/۰۵۶	-۰/۰۰۸	۰/۸۹	۰/۸۲	۱۲/۵*
آماره t	ضریب	۱۱/۷۸*	-۲/۰***	۲/۱۸**	-۰/۰۹ ^{NS}	۳/۷۸*	-۱/۷۷***	-۰/۱۹ ^{NS}	۰/۸۹	۰/۸۲	۱۲/۵*
کلزا	ضریب	۲/۵۴۴	۱/۶۹۵	-۱/۲۲۸	-۰/۰۰۷	-۰/۲۹	۰/۷۲۵	-۰/۷۱۲	۰/۸۷	۰/۷۹	۱۰/۵*
آماره t	ضریب	۰/۹ ^{NS}	۶/۲۲*	-۱/۷***	-۰/۲ ^{NS}	-۰/۹ ^{NS}	۳/۱۴**	-۵/۴۶*	۰/۸۷	۰/۷۹	۱۰/۵*

*, **, و ***: به ترتیب معنادار در سطح یک، پنج و ده درصد و NS بیانگر عدم معنی‌داری است.

امر می‌تواند به دلیل حساسیت آن‌ها به شدت بارش‌های صورت گرفته در سطح حوضه شمالی باشد. مطابق با نتایج جدول ۶ ملاحظه می‌شود که با افزایش یک درصدی دمای هوا، عملکرد گوجه‌فرنگی، هندوانه و کلزا به ترتیب ۰/۲۵۷، ۰/۸۲۰ و ۱/۲۲۸ درصد کاهش می‌یابد. این در حالی است که سایر محصولات الگو اثرپذیری مستقیم عملکرد خود را در شرایط افزایش دمای هوا نشان می‌دهند؛ به نحوی که با افزایش یک درصدی دمای هوا میزان عملکرد گندم آبی ۰/۵۰۷ واحد، جو آبی ۰/۳۱ واحد، ذرت دانه‌ای ۰/۵۰۷ واحد و آفتابگردان ۰/۰۹۴ درصد بهبود (افزایش) می‌یابد.

مطابق با نتایج جدول ۶، ملاحظه می‌شود که افزایش یک درصدی بارش سالانه سبب افزایش ۰/۲۷۴ درصدی عملکرد گندم و افزایش ۰/۱۵ درصدی عملکرد جو می‌شود. عملکرد ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و کلزا نیز تابعی از متوسط بارش سالانه می‌باشد و با افزایش یک درصدی آن، به ترتیب ۰/۱۷۳، ۰/۰۴۹ و ۱/۶۹۵ درصد بهبود می‌یابد. این در حالی است که نتایج، رابطه غیرمستقیم میزان متوسط عملکرد هندوانه و آفتابگردان را با تغییر بارش سالانه در سطح حوضه شمالی استان تهران بیان می‌کند. با افزایش یک درصدی میزان بارش، عملکرد هندوانه ۰/۲۷۲ درصد و عملکرد آفتابگردان ۰/۰۱۳ درصد کاهش می‌یابد که این

جدول ۷- نتایج حاصل از تخمین توابع عملکرد محصولات منتخب زراعی در سطح حوضه جنوبی استان تهران

محصول	آماره	جمله ثابت	بارش	دما	بذر	کود	ماشین‌آلات	نیروی کار	ضریب	ضریب	آماره
Product	Statistics	α	P	T	B	N	M	L	R^2	R^2	F
گندم آبی	ضریب	۱۳/۶	۰/۰۲۵	-۰/۳۶۲	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۴	-۰/۰۶۷	۰/۸۴	۰/۹۰	۱۴/۲*
آماره t	ضریب	۱۴/۷*	۲/۵۲**	-۲/۲**	-۰/۱ ^{NS}	-۲/۹***	-۰/۷۶ ^{NS}	-۴/۸۴*	۰/۸۴	۰/۹۰	۱۴/۲*
جو آبی	ضریب	۹/۴۶۸	۰/۰۶۹	-۰/۵۷	۰/۳۹	-۰/۰۰۳	۰/۴۷۱	-۰/۰۰۳	۰/۷۵	۰/۸۵	۸/۸۹*
آماره t	ضریب	۶/۶۳*	۲/۲۷*	-۱/۹***	-۲/۹**	-۰/۱ ^{NS}	۳/۴۷*	-۰/۸۵ ^{NS}	۰/۷۵	۰/۸۵	۸/۸۹*
ذرت دانه‌ای	ضریب	-۱۳/۰	۰/۱۴۰	۱/۳۸۹	۰/۷۶۴	۰/۲۲۴	۰/۹۰۱	۱/۴۵۵	۰/۹۱	۰/۹۵	۲۸/۹*
آماره t	ضریب	-۴/۶*	۲/۰۱***	۲/۲۷**	۳/۵۴**	۰/۶۵ ^{NS}	۱/۶***	۳/۷۷*	۰/۹۱	۰/۹۵	۲۸/۹*
گوجه‌فرنگی	ضریب	۸/۵۰۹	۰/۰۸۷	۰/۸۸۴	-۰/۰۰۷	۰/۰۴۵	-۰/۰۲۵	-۰/۰۱۹	۰/۸۶	۰/۹۱	۱۶/۵*
آماره t	ضریب	۸/۵۹*	۴/۸۴*	۴/۹۱*	-۰/۸ ^{NS}	۰/۷۱ ^{NS}	۱/۸***	-۰/۰۹ ^{NS}	۰/۸۶	۰/۹۱	۱۶/۵*
هندوانه	ضریب	۱۱/۱۸	۰/۰۳۵	۰/۲۹۶	۰/۰۳۲	۰/۰۶۴	۰/۰۷۵	-۰/۰۴۳۸	۰/۸۸	۰/۹۲	۱۹/۸*
آماره t	ضریب	۱۵/۵*	۱/۹***	۱/۹***	۰/۸۴ ^{NS}	۱/۸***	۰/۸۳ ^{NS}	-۳/۲**	۰/۸۸	۰/۹۲	۱۹/۸*
آفتابگردان	ضریب	۱۷/۵۸	-۰/۱۳۱	-۱/۵۴	-۰/۰۲۳	-۰/۰۰۱	۰/۱۵۶	-۰/۹۴۷	۰/۶۶	۰/۸۰	۶/۰۲*
آماره t	ضریب	۶/۲۶*	-۲/۸**	-۳/۳۷*	۰/۷۱ ^{NS}	-۰/۱ ^{NS}	۲/۴۲**	-۲/۸۴**	۰/۶۶	۰/۸۰	۶/۰۲*
کلزا	ضریب	-۳/۳۹	۰/۲۹۴	۱/۸۳۰	۳/۰۰	-۰/۰۶۸	۱/۷۰۸	-۱/۱۱۲	۰/۷۱	۰/۸۲	۷/۱۲*
آماره t	ضریب	-۰/۸ ^{NS}	۳/۲۳*	۱/۷***	۴/۸۷*	-۲/۴**	۳/۲۲**	-۱/۸***	۰/۷۱	۰/۸۲	۷/۱۲*

*, **, و ***: به ترتیب معنادار در سطح یک، پنج و ده درصد و NS بیانگر عدم معنی‌داری است.

نتایج جدول ۷ حاکی از آن است که با افزایش یک درصدی بارش در سطح حوضه جنوبی استان تهران، میزان عملکرد گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای و هندوانه به ترتیب ۰/۰۲۵، ۰/۰۶۹، ۰/۱۴۰ و ۰/۰۳۵ درصد افزایش می‌یابد، در حالی که میزان متوسط عملکرد آفتابگردان ۰/۱۳۱ درصد کاهش پیدا می‌کند. همچنین، نتایج گویای آن است که متغیر دمای هوا نیز همانند بارش، اثرات معنی‌داری را بر عملکرد کلیه محصولات منتخب در حوضه جنوبی استان تهران دارد. این اثرگذاری برای گوجه‌فرنگی و آفتابگردان در سطح یک درصد، برای گندم آبی، جو آبی و آفتابگردان در سطح پنج درصد و برای ذرت دانه‌ای و هندوانه در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار شده است. نتایج بیانگر آن است که با افزایش یک درصدی دمای هوا میزان متوسط عملکرد گندم آبی، جو آبی و آفتابگردان به ترتیب ۰/۳۶۲، ۰/۵۷۲ و ۱/۵۴۷ درصد کاهش پیدا می‌کند؛ در حالی که عملکرد ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، هندوانه و کلزا به ترتیب ۱/۳۸۹، ۰/۸۸۴، ۰/۲۹۶ و ۱/۸۳۰ درصد بهبود (افزایش) می‌یابد. تأثیرپذیری نسبتاً شدید عملکرد ذرت دانه‌ای و کلزا در حوضه جنوبی استان تهران نسبت به شرایط گرمایش جهانی (افزایش دمای هوا) از جمله نتایج مهم به دست آمده از تخمین توابع عملکرد محصولات منتخب است.

جدول ۸، درصد تغییرات عملکرد محصولات منتخب زراعی حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران را پس از اعمال سناریوی تلفیقی دو درجه افزایش دما و ۲۰ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به میانگین عملکرد محقق شده طی دوره پایه (۱۳۹۷-۱۳۸۱) نشان می‌دهند. مطابق با نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که با اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی در سطح حوضه شمالی استان تهران، میزان تغییرات عملکرد اغلب محصولات منتخب طی دوره‌های آبی نسبت به میانگین عملکرد در دوره پایه افزایش می‌یابد. این در حالی است که گوجه‌فرنگی و هندوانه تحت شرایط مذکور با کاهش عملکرد در واحد سطح مواجه خواهند شد. هندوانه در شرایط افزایش دمای هوا و کاهش بارش، حساسیت بیشتری نسبت به گوجه‌فرنگی در راستای کاهش میزان عملکرد دارد. آفتابگردان نیز تغییرات عملکرد نسبتاً کمی را در مقایسه با دیگر محصولات منتخب دارد. در این میان، محصول کلزا بیشترین میزان تغییرات عملکرد (حدود ۵۵/۶ درصد افزایش عملکرد نسبت به میانگین دوره پایه) را در الگوی زراعی منطقه تجربه می‌کند که این امر تا حد زیادی مساعد بودن شرایط اقلیمی حوضه شمالی را جهت توسعه سطح برگ سبز این محصول بیان می‌کند.

جدول ۸. درصد تغییرپذیری میزان عملکرد محصولات منتخب زراعی پس از اعمال سناریوی تلفیقی

حوضه/محصول	گندم آبی	جو آبی	ذرت دانه‌ای	گوجه‌فرنگی	هندوانه	آفتابگردان	کلزا
حوضه شمالی	۱۳/۸۱	۸/۱۵	۱۰/۳۱	-۰/۳۰	-۱۳/۱۱	۰/۳۲	۵۵/۵۶
حوضه جنوبی	-۲/۱۰	-۲/۳۲	۱۶/۵۰	۸/۳۸	۲/۲۱	-۱۷/۷۲	۲۸/۶۶

افزون بر یافته‌های فوق، بخش دیگری از نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی دو درجه افزایش دمای هوا و ۲۰ میلی‌متر کاهش بارش طی دوره‌های آبی در سطح حوضه جنوبی استان تهران اثرات منفی بر میزان عملکرد اغلب محصولات منتخب زراعی می‌گذارد. با تحقق این سناریو که ناشی از افزایش سطح گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر پیرامون استان تهران است، در میان مدت تا بلندمدت میزان عملکرد آفتابگردان تا حد نسبتاً زیادی (حدود ۱۷/۷۲ درصد افت) کاهش می‌یابد. گندم و جو آبی تحت شرایط اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی، با کاهش اندکی در عملکرد خود (به ترتیب حدود ۲/۱۰ و ۲/۳۲ درصد) نسبت به میانگین دوره پایه مواجه می‌شوند. علت این امر می‌تواند تا حد زیادی وابستگی شدید عملکرد محصولات غله‌ای گندم و جو آبی به بارش‌های بهاره باشد که با کاهش میزان متوسط بارش سالانه افت اندکی را به دنبال خواهد داشت. افزایش میزان عملکرد کلزا تحت شرایط اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی در سطح حوضه جنوبی، از نتایج دیگر این بخش است که در الگوی کشت حوضه شمالی نیز مشهود بود. علت این امر، نیاز آبی

به نسبت کمتر کلزا در مقایسه با دیگر محصولات الگو (به جز گندم و جو آبی) و سودآوری مناسب آن در واحد سطح (هکتار) نسبت به میزان آب مصرفی است. کاهش میزان عملکرد آفتابگردان در سطح حوضه جنوبی تحت شرایط اقلیمی مذکور، می‌تواند تا حد زیادی ناشی از سرما دوست بودن این محصول و وابستگی آن به ریزش‌های جوی طی دوره رشد باشد که در حوضه جنوبی به دلیل شرایط محیطی گرم‌تر و خشک‌تر، کاهش عملکرد را برای آن در پی دارد. این در حالی است که آفتابگردان با توجه به اقلیم سردتر و مرطوب‌تر حوضه شمالی استان تهران، تحت شرایط اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی بهبود عملکرد، ولو به میزان کم را تجربه خواهد نمود (بالعکس آن چه که در حوضه جنوبی محقق شده است). محصولات صیفی گوجه‌فرنگی و هندوانه نیز اگرچه که بهبود عملکرد را در سطح حوضه جنوبی استان تهران در مقایسه با حوضه شمالی پس از اعمال سناریوهای مختلف انتشار به دنبال دارند، اما ملاحظه می‌شود که در طولانی مدت با افزایش دمای هوا و کاهش میزان بارش در هیچ

درصد برای این محصولات در سطح حوضه شمالی حاصل می‌شود. این در حالی است که برای جو آبی، گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان کاهش سطح زیرکشت نسبت به میانگین دوره پایه مشاهده می‌شود. در این بین، محصول هندوانه به علت وابستگی شدید به نزولات آسمانی طی دوره رشد خود، پس از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی، کاهش نسبتاً شدیدی (حدود ۶۸/۸ درصد) را در مقایسه با دیگر محصولات الگوی کشت حوضه شمالی تجربه می‌کند. این نتیجه مهم، غیراقتصادی بودن توسعه سطح زیرکشت هندوانه را در سطح اراضی حوضه شمالی استان تهران (حوزه رود کرج و رودخانه جاجرود) بازگو می‌کند.

یک از حوضه‌های مطالعاتی این استان سازگاری مناسبی با شرایط اعمال شده در جهت رشد و توسعه برگ سبز در واحد سطح ندارند. جدول ۹ اثرات اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی دو درجه افزایش دما و ۲۰ میلی‌متر کاهش بارش ناشی از تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر الگوی کشت، سود ناخالص کشاورزان و ارزش اقتصادی آب آبیاری نشان می‌دهد. مطابق با نتایج این جدول، ملاحظه می‌شود که با اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی که ناشی از تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای و رخداد پدیده گرمایش جهانی می‌باشد، سطح زیرکشت گندم آبی، ذرت دانه‌ای و کلزا افزایش می‌یابد و به ترتیب توسعه سطحی به میزان ۵/۹۳، ۳/۶۵ و ۱۴/۸

جدول ۹- میزان و درصد تغییرات الگوی کشت پس از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی و تغییر عملکرد در سطح حوضه شمالی

محصولات منتخب	الگوی دوره مینا (ha)	الگو پس از واسنجی مدل	الگو پس از اعمال سناریو	درصد تغییرات
گندم آبی	۹۴۵۲	۹۴۵۲	۱۰۰۱۳	۵/۹۳
جو آبی	۴۳۶۲	۴۳۶۲	۴۰۶۵	-۶/۸۲
ذرت دانه‌ای	۱۷۲۷	۱۷۲۷	۱۷۹۰	۳/۶۵
گوجه‌فرنگی	۱۳۴۸	۱۳۴۸	۱۱۸۳	-۱۲/۲
هندوانه	۳۸۰	۳۸۰	۱۱۸	-۶۸/۸
آفتابگردان	۷۴۸	۷۴۸	۷۲۱	-۳/۶۱
کلزا	۸۵۰	۸۵۰	۹۷۷	۱۴/۸
مجموع سطح زیرکشت*	۱۸۸۶۷	۱۸۸۶۷	۱۸۸۶۷	۰/۰۰
بازده ناخالص الگو**	۲۸۹۰/۱۱	۲۸۹۰/۱۱	۳۲۲۸/۲۵	۱۱/۷
ارزش اقتصادی آب***	۵۲۳/۰	۵۲۳/۰	۴۱۶/۰	-۲۰/۴

*، **، ***: به ترتیب برحسب هکتار، میلیون ریال و ریال در مترمکعب

گازهای گلخانه‌ای می‌تواند تا حد زیادی هدف اقتصادی کشاورزان این منطقه را که افزایش عایدی یا سود ناخالص در زیربخش کشاورزی می‌باشد، محقق سازد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که تحت شرایط مذکور ارزش اقتصادی آب آبیاری نسبت به دوره پایه ۲۰/۴ درصد کاهش می‌یابد. کاهش ارزش اقتصادی نهاده آب که بیانگر ارزش واقعی آن می‌باشد، از ۵۲۳ ریال در دوره پایه به ۴۱۶ ریال پس از اعمال سناریوی اقلیمی، از یک سو می‌تواند ناشی از کاهش سطح زیرکشت محصولات آب‌بر گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان و در دسترس قرار گرفتن مقادیر بیشتری از نهاده آب آبیاری برای کشاورزان در الگوی منتخب زراعی حوضه شمالی باشد.

جدول ۱۰ اثرات اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی (سناریوی دو درجه افزایش دما و ۲۰ میلی‌متر کاهش بارش) و تغییرات عملکرد محصولات منتخب زراعی را بر الگوی کشت، بازده ناخالص کشاورزان و ارزش اقتصادی نهاده آب در سطح حوضه جنوبی استان تهران نشان می‌دهد.

افزون بر یافته‌های فوق، نتایج جدول ۹ بیانگر آن است که کلزا شرایط مساعدی برای توسعه سطح زیرکشت تحت شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از افزایش دو درجه‌ای دمای هوا و کاهش ۲۰ میلی‌متری بارش در سطح حوضه شمالی استان تهران دارد. به طور کلی، نتایج حاکی از آن است که به جز محصول غله‌ای جو آبی که ذاتاً محصولی سرما دوست می‌باشد، محصولات پرآب الگوی کشت در حوضه شمالی استان تهران در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای با کاهش سطح مواجه می‌شوند. تغییرات کاهشی سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان دلیل بر همین امر می‌باشد. بخش دیگری از نتایج جدول ۹ حاکی از آن است که با تغییرات به وجود آمده در سطح زیرکشت محصولات منتخب، مجموع بازده ناخالص کشاورزان از ۲۸۹۰/۱۱ به ۳۲۲۸/۲۵ میلیون ریال افزایش می‌یابد که این میزان افزایش، رشدی حدود ۱۱/۷ درصد را در مجموع بازده ناخالص حاصل از الگوی کشت برای کشاورزان حوضه شمالی همراه دارد. این امر بیانگر آن است که بهیچ‌شکل الگوی زراعی در سطح حوضه شمالی در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار

توجه به ارتباط عکسی که عملکرد آن در حوضه جنوبی استان تهران با متغیر بارش دارد، تحت شرایط تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش نسبتاً زیادی (حدود ۳۱/۹ درصد نسبت به میانگین دوره پایه) را در سطح زیرکشت خود تجربه می‌کند. هندوانه نیز با توجه به وابستگی شدیدی که در طول دوره رشد خود به بارش‌های بهاری دارد، پس از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی با کاهش ۵/۸۶ درصدی سطح زیرکشت مواجه می‌شود و تمایل کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران به سمت کاهش سطح زیرکشت این محصول (در کنار آفتابگردان، گندم و جو آبی) سوق پیدا می‌کند.

با توجه به نتایج جدول ۱۰، ملاحظه می‌شود که پس از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی و دخیل نمودن میزان تغییرات عملکرد محصولات منتخب در سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی- اقتصادی PMP، الگوی کشت در سطح حوضه جنوبی استان تهران (حوزه رود شور) به سمت توسعه سطح زیرکشت محصولات با بازده اقتصادی بیشتر ولو آب‌بر همچون ذرت دانه- ای، گوجه‌فرنگی و کلزا و کاهش سطح زیرکشت محصولات کم‌بازده‌تر غله‌ای (گندم و جو آبی) و پرآب‌تر هندوانه و آفتابگردان پیش می‌رود. اگر چه که کاهش سطح زیرکشت گندم و جو آبی در شرایط اعمال سناریوی اقلیمی و تغییرات عملکرد، چندان مشهود نیست؛ اما ملاحظه می‌شود که محصول آفتابگردان با

جدول ۱۰- میزان و درصد تغییرات الگوی کشت پس از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی و تغییر عملکرد در سطح حوضه جنوبی

محصولات منتخب	الگوی دوره مینا (ha)	الگو پس از واسنجی مدل	الگو پس از اعمال سناریو	درصد تغییرات
گندم آبی	۴۷۳۷۳	۴۷۳۷۳	۴۶۲۴۱	-۲/۳۹
جو آبی	۲۸۰۳۸	۲۸۰۳۸	۲۶۸۳۱	-۴/۳۰
ذرت دانه‌ای	۷۶۵۳	۷۶۵۳	۹۲۰۷	۲۰/۳
گوجه‌فرنگی	۷۴۱۲	۷۴۱۲	۸۰۹۴	۹/۱۹
هندوانه	۹۴۷	۹۴۷	۸۹۱	-۵/۸۶
آفتابگردان	۲۱۷۲	۲۱۷۲	۱۴۷۸	-۳۱/۹
کلزا	۲۳۵۳	۲۳۵۳	۳۲۰۶	۳۶/۲
مجموع سطح زیرکشت*	۹۵۹۴۸	۹۵۹۴۸	۹۵۹۴۸	۰/۰۰
بازده ناخالص الگو**	۱۳۹۷۷/۶۴	۱۳۹۷۷/۶۴	۱۴۲۸۹/۳۴	۲/۲۳
ارزش اقتصادی آب***	۸۳۷/۵	۸۳۷/۵	۹۷۳/۴	۱۶/۲

*، **، ***: به ترتیب برحسب هکتار، میلیون ریال و ریال در مترمکعب

بالاتر چون ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و کلزا در الگوی کشت منطقه متمایل می‌شوند؛ اما در این راستا در کنار محصولات غله- ای، از سطح زیرکشت محصولات هندوانه و آفتابگردان (که نسبت سود به آب مصرفی پایین‌تری در مقایسه با دیگر محصولات الگو دارند) نیز می‌کاهند. با افزایش میانگین دمای هوا و کاهش متوسط بارش مطابق با سناریوی اقلیمی اعمال شده، ارزش اقتصادی نهاده کمیاب آب نسبت به میانگین دوره پایه افزایش می‌یابد (حدود ۱۶/۲ درصد) که این امر می‌تواند نشأت گرفته از کاهش منابع آب در دسترس کشاورزان باشد که آن‌ها را ناگزیر نموده تا در شرایط اقلیمی حاکم هر مترمکعب آب را در قیمتی بالاتر از ارزش اسمی آن (یعنی با ارزش واقعی یا اقتصادی) خریداری و در سطح مزارع خود بین فعالیت‌های مختلف زراعی تخصیص دهند. بنابراین، با رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات به وجود آمده در عملکرد محصولات منتخب از یک سو و افزایش ارزش اقتصادی نهاده آب آبیاری از سوی دیگر، محدودیت این نهاده در حوضه مورد مطالعه شدیدتر

بخش دیگری از نتایج جدول ۱۰ حاکی از آن است که با اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی در سطح حوضه جنوبی بدون آن که میزان مجموع سطح زیرکشت محصولات در الگو کاهش یا افزایش یابد (همان ۹۵۹۴۸ هکتار قبل از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی)، مجموع بازده ناخالص حاصل از الگوی کشت بهینه‌سازی شده افزایش می‌یابد که رشد ۲/۲۳ درصدی را به دنبال دارد. علت افزایش میزان بازده ناخالص کشاورزان پس از رخداد تغییر اقلیم ناشی از افزایش دما و کاهش بارش نسبت به میانگین بازده حاصل از الگو در دوره پایه، کاهش سطح زیرکشت محصولات کم‌بازده‌تر گندم آبی، جو آبی و آفتابگردان و توسعه سطح زیرکشت محصولات پرسود اما آب‌بر ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و کلزا می‌باشد. به عبارت دیگر، کشاورزان حوضه جنوبی استان تهران در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از دو درجه افزایش دمای هوا و ۲۰ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به دوره پایه، به سمت کاهش سطح زیرکشت غلات کم‌آبی چون گندم آبی و جو آبی و جایگزینی سطح زیرکشت آن‌ها با محصولات با صرفه اقتصادی

افزایشی (۰/۲۶ تا ۳/۷۵ درجه سانتی‌گراد) و کاهش (۰/۷۸ تا ۴۱/۱ میلی‌متر) خواهد بود. همچنین، یافته‌ها تأثیرپذیری نسبتاً شدید محصولات منتخب زراعی را در سطح حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران نسبت به شرایط رخداد گرمایش جهانی نشان داد. خروجی مدل هیدرواقتصادی پس از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی حاکی از افزایش سطح زیرکشت گندم آبی، ذرت دانه‌ای و کلزا و کاهش سطح زیرکشت جو آبی، گوجه‌فرنگی، هندوانه و آفتابگردان در الگوی زراعی حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران نسبت به میانگین سطح دوره پایه است. در این بین، هندوانه به علت وابستگی شدید به نزولات آسمانی طی دوره رشد خود، بیشترین کاهش سطح زیرکشت را در مقایسه با دیگر محصولات الگو در حوضه شمالی استان تهران تجربه می‌کند که این امر، غیراقتصادی بودن توسعه سطح زیرکشت آن را در حوضه شمالی استان تهران حکایت دارد. عکس این نتیجه برای کلزا حاصل شد که حاکی از وجود شرایطی مساعد برای توسعه سطح زیرکشت این محصول تحت شرایط رخداد تغییر اقلیم در سطح حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران است. اثرات مثبت بهینه‌سازی الگوهای زراعی حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران پس از رخداد تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش و افزایش دمای هوا (تحقق گرمایش جهانی) در قالب افزایش مجموع بازده ناخالص کشاورزان و تعدیل‌سازی قیمت آب آبیاری براساس ارزش واقعی یا اقتصادی آن، از دیگر نتایج مهم در این تحقیق است. نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر همسو با یافته‌های تحقیق پرهیزکاری و همکاران (۲۶) در راستای موضوع مدلسازی اقلیم و کشاورزی در حوضه رودشور می‌باشد. آن‌ها نشان دادند که الگوی رفتاری متغیر اقلیمی بارش طی دو دهه اخیر در سطح حوضه مورد بررسی با روندی کاهشی همراه بوده و با تغییر اقلیم ناشی از کاهش بارش تحت سناریوهای ملایم تا شدید، منابع آب منطقه، تولیدات کشاورزی و سود ناخالص کشاورزان کاهش می‌یابد. این در حالی است که با کم شدن منابع آب در دسترس کشاورزان حوضه رودشور در اثر رخداد اقلیم، ارزش اقتصادی یا واقعی نهاده آب افزایش پیدا می‌کند. افزون بر این، یافته‌های به دست آمده در تحقیق حاضر با یافته‌های کیانی قلعه سرد و همکاران (۱۷) نیز قرابت دارد. آن‌ها با بررسی اثرات اقلیم بر امنیت غذایی و رفاه اقتصادی کشاورزان در ایران به این نتیجه دست یافتند که اقلیم و پیامدهای مخرب آن افزون بر تغییرات عمده در الگوهای کشت، کاهش شدید درآمد کشاورزان و مازاد رفاه اقتصادی و همچنین افزایش قیمت محصولات زراعی را به دنبال دارد.

به طور کلی، یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که محصولات غله‌ای گندم و جو آبی از جمله مهم‌ترین محصولات قابل توسعه

خواهد شد که این امر به طور حتم کاهش ارزش ذاتی یا واقعی اراضی زراعی را به دنبال دارد؛ به نحوی که می‌تواند ارزش اقتصادی هر هکتار زمین زراعی را در سطح حوضه جنوبی استان تهران از ۱۱۸/۰۸۷ به ۸۷/۵۹۷ میلیون ریال کاهش دهد. به طور کلی، نتایج جدول ۱۰ گویای آن است که توسعه سطح زیرکشت محصولات با بازده اقتصادی بالاتر، کاهش سطح زیرکشت محصولات با صرفه اقتصادی کمتر (نسبت سود به آب مصرفی پایین‌تر)، افزایش بازده ناخالص حاصل از الگوی کشت، افزایش ارزش اقتصادی نهاده آب آبیاری و کاهش ارزش ذاتی نهاده زمین از مهم‌ترین اثرات و پیامدهای رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای (پس از اعمال سناریوی اقلیمی تلفیقی دو درجه افزایش دمای هوا و ۲۰ میلی‌متر کاهش بارش) در سطح حوضه جنوبی استان تهران می‌باشند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

استان تهران با واقع شدن در بخش میانی کشور به دلیل تراکم جمعیت شهرنشینی، توسعه کالبد فضایی و حمل و نقل شهری و همچنین، قرار گرفتن در مجاورت شهرک‌های صنعتی با تولید سرانه ۷/۷ میلیون تن گاز گلخانه‌ای در سال نقش مهمی را در ارتباط با رویداد گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی و همچنین آثار بالقوه آن در بخش کشاورزی دارد. روند اثرگذاری‌های پدیده گرمایش زمین که ناشی از تولید و انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای، به ویژه دی‌اکسید کربن است؛ بدین شکل می‌باشد که این گازها با تجمع در اتمسفر اطراف زمین طی یک دوره بلندمدت متغیرهای اقلیمی دما و بارش را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. بدین صورت با افزایش میانگین دمای هوا و کاهش نزولات، میزان تولید یا عملکرد محصولات زراعی دستخوش تغییر قرار می‌گیرد و این امر منجر به تغییر الگوی کشت کنونی و تغییر در میزان منابع آب تخصیص یافته بین فعالیت‌های زراعی و وضعیت درآمدی کشاورزان می‌شود. با توجه به اهمیت این موضوع، در مطالعه حاضر یکپارچه‌سازی سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی - اقتصادی جامع کشاورزی و منابع آب در استان تهران جهت ارزیابی آثار بالقوه گرمایش جهانی مورد کنکاش و بررسی واقع شد. جهت ارزیابی آثار بالقوه رویداد گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، از مجموعه مدل‌های گردش عمومی جو، اقتصادسنجی و برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شد.

نتایج نشان داد که بین داده‌های هواشناسی مشاهداتی و مولد داده‌های هواشناسی هماهنگی مناسبی وجود دارد که در نهایت بیانگر اعتبار مدل پایه پیش‌بینی‌کننده است. پیش‌بینی درصد تغییرپذیری متغیرهای دما و بارش جهت تعیین سناریوهای اقلیمی حاکی از آن است که رفتار این متغیرها طی دوره‌های آتی در سطح حوضه‌های مطالعاتی استان تهران نسبت به دوره پایه

اصلی کشاورزان (کسب حداکثر سود یا عایدی) را به دنبال داشته باشد. این امر با توجه به واکنش‌هایی که ممکن است از طرف کشاورزان در حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران (به دلیل رویکردهای سنتی کشت) به دنبال داشته باشد، نیازمند میانجی‌گری بخش‌های ترویج و آموزش کشاورزی سازمان‌ها و ادارات ذربط در استان تهران، به‌ویژه سازمان جهاد کشاورزی و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی است. تعیین ارزش واقعی نهاده آب کشاورزی و بررسی روند تغییرات این شاخص اقتصادی در بخش مدیریت منابع آب استان تهران تحت شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، می‌تواند علاوه بر این که کشاورزان مناطق مختلف این استان را از حیث ارزش استفاده این نهاده کمیاب مطلع سازد، مدیران و برنامه‌ریزان را در تصمیم‌گیری جهت تعیین یک قیمت متعادل و مناسب برای این نهاده کمیاب (به عنوان آب‌بها) یاری رساند.

ملاحظات اخلاقی

پی‌روی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر فرم‌های رضایت‌نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شده است.

حامی مالی

هزینه‌های مالی برای تدوین و انتشار این مقاله توسط نویسندگان تأمین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: ابوذر پرهیزکاری
روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: ابوذر پرهیزکاری، غلامرضا یاوری
نظارت: ابوالفضل محمودی و غلامرضا بخشی‌خانیک
نگارش نهایی: ابوذر پرهیزکاری.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

به لحاظ میزان سطح زیرکشت در شرایط رخداد تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در حوضه‌های شمالی و جنوبی استان تهران می‌باشند. لذا، جهت حفظ، توسعه و تداوم سطح زیرکشت این محصولات در الگوهای زراعی نیاز است تا مسئولین ذربط دولتی همواره حمایت‌های خود را در قالب برنامه‌های سیاستی ایجاد بازارهای هدف، خرید بدون واسطه و خرید تضمینی ارائه نمایند. تحقیق حاضر می‌تواند سطح آگاهی مسئولین و مدیران را نسبت به اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش دهد تا بتوانند علاوه بر تعیین الگوهای بهینه کشت و افزایش بازده تولیدات بخش کشاورزی، جهت مدیریت و پایداری منابع آب در استان تهران از یک سو و مقابله با اثرات تغییر اقلیم ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوی دیگر برنامه‌ریزی مناسبی را داشته باشند. مدیران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی پیرو یافته‌های تحقیق حاضر می‌توانند با اتخاذ سیاست‌های مناسب مدیریت ریسک، از یک سو ریسک تولید این محصولات غله‌ای را کاهش دهند و از سوی دیگر، با اجرای راهکارهای مناسب مانند پیش‌بینی دقیق تغییرات اقلیمی مانع از نوسان تولید این محصولات راهبردی گردند. بخش دیگری از نتایج تحقیق حاضر بیانگر آن است که با رخداد تغییر اقلیم میزان عملکرد هندوانه در سطح حوضه شمالی و آفتابگردان در سطح حوضه جنوبی تغییرات کاهشی چشم‌گیری را در پی دارد. با توجه به مصرف بالای آب در این محصولات و همچنین، واکنش نسبتاً شدید عملکرد آن‌ها به تغییرات اقلیمی، کاهش سطح زیرکشت آن‌ها در سطح حوضه‌های مورد بررسی به منظور مدیریت تولید و سرمایه‌گذاری در الگوی کشت می‌تواند مورد توجه کشاورزان و برنامه‌ریزان امر قرار گیرد. تخصیص تولید و توسعه سطح زیرکشت کلزا در حوضه شمالی استان تهران و کلزا و ذرت دانه‌ای در حوضه جنوبی این استان و همچنین، عدم توسعه سطح زیرکشت این محصولات در دیگر مناطق با شرط تأمین بازارهای هدف آن‌ها توسط مناطق مستعد، می‌تواند افزون بر بهینه‌سازی سطح زیرکشت آن‌ها در الگوهای زراعی تحت شرایط رخداد تغییر اقلیم، تحقق هدف

References

- Alipour A, Mosavi H, Khalilian S. Evaluating the cost of carbon dioxide emissions from the development of Iran's agricultural sector. *Journal of Agricultural Economics*, 2014; 8(1):63-81. [<https://www.sid.ir/paper/124421/fa>].
- Agovino M, Casaccia M, Ciommi M, Ferrara M, Marchesano K. Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. *Ecological Indicators*, Available online 8 May 2018, In Press, Corrected Proof. [[DOI:10.1016/j.ecolind.2018.04.064](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.064)].
- Ahmad I, Tang D, Wang T, Wang M, Wagan B. Precipitation trends over time using Mann-Kendall and Spearman's rho tests in Swat River Basin, Pakistan. *Advances in Meteorology*, 2015. [<http://dx.doi.org/10.1155/2015/431860>].
- Akbari M, Najafi Alamdarlo H, Mosavi H. Impacts of climate change and drought on income risk and crop pattern in Qazvin plain irrigation network. *Water Research in Agriculture*, 2019; 33(2): 265-281. [<https://www.sid.ir/paper/196864/fa>].
- Amirnejad H, Asadpour Kordi M. Effects of Climate Change on Wheat Production in Iran. *Journal of Agricultural Economics Research*, 2017;

- 35(9): 163-182. [https://jae.marvdasht.iau.ir/article_2520.html].
6. Baharvand F, Mesbah Bevani A, Mahdavi M, Motamed Vaziri B, Godarzi M. Empowerment test of LARS-WG model for reproduction of daily climatic data of Kermanshah. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 2019; 45 (13): 76-70. [<https://jwmsei.ir/article-1-626-fa.html>].
7. Balali H, Viaggi D. Applying a system dynamics approach for modeling groundwater dynamics to depletion under different economical and climate change scenarios, *Water Journal*, 2015; 7(1): 5258-5271. [<https://jwmsei.ir/article-1-626-fa.html>].
8. Cortignani R, Dono G. Agricultural policy and climate change: An integrated assessment of the impacts on an agricultural area of Southern Italy. *Environmental Science & Policy*, 2018; 81: 26-35. [<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.12.003>].
9. Daneshgar H, Bagheri M, Mardani Najafabadi M, Alijani F, Yavari GH. Effects of climate change on hydrological and economic conditions of Bushkan plain farmers. *Journal of Agricultural Economics Research*, 2021; 13(2): 259-280. [https://jae.marvdasht.iau.ir/article_4439.html].
10. Esteban E, Albiac J. Salinity Pollution Control in the Presence of Farm Heterogeneity: An Empirical Analysis. *Water Economics and Policy*, 2016; 2(2):1-20. [<https://doi.org/10.1142/S2382624X1650017X>].
11. Gao C.H, He Z, Pan S, Xuan W, Xu Y. Effects of climate change on peak runoff and flood levels in Qu River Basin, East China. *Journal of Hydro-environment Research*, 2020; 28: 34-47. [<https://doi.org/10.1016/j.jher.2018.02.00>].
12. Graveline C. Economic calibrated models for water allocation in agricultural production: A review. *Environmental Modelling and Software*, 2016; 81: 12-25. [<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.004>].
13. Howitt R.E, Medellin-Azuara J, MacEwan D, Lund R. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Science of the Environmental Modeling and Software*, 2012; 38: 244-258. [<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.06.013>].
14. IPCC-TGICA. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Eds. Carter, T.R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment; 2007. [https://www.ipcc-data.org/guidelines/TGICA_guidance_sdciaa_v1_final.pdf].
15. IPCC. Climate Change. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press; 2018. [<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>].
16. IPCC. The scientific Basis, Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press. New York, USA, 2018; No: 996. [<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>].
17. Kiani Ghalesard S, Shahraki J, Akbari A, Sardar Shahraki A. Investigating the effects of climate change on food security in Iran. *Journal of Environmental Hazards*, 2017; 8(2): 1-22. [https://jneh.usb.ac.ir/article_3934.html].
18. Levin A, Lin C.F, Chu C. Unit root test in panel data: Asymptotic and finite sample properties. *Journal of Econometrics*, 2002; 108: 1-25. [[https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7)].
19. Mardani Najafabadi M, Mirzaei A. Evaluating effect of policy programs to achieve water resources stability objective in Qazvin plain. *Journal of Agricultural Economics Research*, 2019; 11(43): 155-176. [https://jae.marvdasht.iau.ir/article_3527.html].
20. Meteorological Organization of Tehran Province. Detailed report on the rainfall situation in Tehran province during the last five years (2009-2013), 2018; 47 pages. [https://nivar.irimo.ir/article_55969.html].
21. Ministry of Power. Office of Basic Studies of Water Resources, Integration and Balance Group of Tehran Regional Water Company, Tehran Province, 2019; 63 pages. [<https://moe.gov.ir/>].
22. NikNazli A, Dewan Mahboob H. Climate Change and Global Warming Discourses and Disclosures in the Corporate Annual Reports: A Study on the Malaysian Companies. *Social and Behavioral Sciences*, 2015; 172: 246-253. [<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.361>].
23. Parhizkari A, Sabuhi M. Economic analysis of effects of technology development and mechanization on agricultural sector production in Qazvin province using positive mathematical programming model. *Agricultural Economics Researches*, 2013; 5(4):1-23. [<https://www.sid.ir/paper/394127/fa>].
24. Parhizkari A, Mozaffari M, Khodadadi Hoseini M, Parhizkari R. Economic Analysis of the Effects of Climate Change Due to Greenhouse Gas Emissions on Agricultural Production and Available Water Resources, Case Study: Lands Downstream of Taleghan Dam. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 2015; 29(1): 67-89. [<https://civilica.com/doc/664163/>].
25. Parhizkari A, Yazdani S. Assessing the economic and hydrological impacts of climate change in the Khorrood watershed. *Journal of Echo Hydrology*, 2017; 4(3): 724-711. [https://ije.ut.ac.ir/article_62504.html].
26. Parhizkari A, Yavari GH, Mahmoodi A, Bakhshi Khaniki GH. Comprehensive Biophysical-Economic Modeling of Climate and Agriculture (Case Study: Roodshour Watershed). *Economical*

- Modeling, 2019; 13(2): 121-144. [https://eco.firuzkuh.iau.ir/article_667945.ht].
27. Paul D.W, Medellin-Azuarab J, Joshua H.V, Meagan S.M. Economic and policy drivers of agricultural water desalination in California's central valley. *Agricultural Water Management*, 2017;194:192-203. [<https://doi.org/10.1016/j.agwat..07.024>].
28. Peres D.J, Cancelliere A. Modeling impacts of climate change on return period of landslide triggering. *Journal of Hydrology*, 2018; 567: 420-434. [<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.036>].
29. Petsakos A, Rozakis S. Calibration of agricultural risk programming models. *European Journal of Operational Research*, 2015; 242(2): 536-545. [<https://doi.org/10.1111/14678489.12368>].
30. Qureshi M.E, Mobin-ud-Din A, Stuart M.W, Mac K. A multi-period positive mathematical programming approach for assessing economic impact of drought in the Murray-Darling Basin. Australia. *Economic Modelling*, 2014; 39: 293-304. [<https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.02.042>].
31. Shuai C, Chen X, Xo J. Impacts of climate change on corn and soybean yields in china. *Agricultural and Applied Economics Association 2013 AAEA and CAES joint Annual Meeting*, Washington, DC. 2013; No: 120-145. [<https://ideas.repec.org/p/ags/aeaa13/149739.html>].
32. Soleymaninejad S, Sabouhi M, Banayan A. Effects of Climate Change on Crop Pattern (Case Study: Mashhad Plain). *Iranian Economic Economics and Development*, 2019;50(2):249-263. [<https://www.sid.ir/paper/396713/fa>].
33. Sun S.K, Li G, Wu P.T, Zhao X.N, Wang Y.B. Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess Plateau of Northern Shaanxi, China. *Ecological Indicators*, 2018; 84(2): 811-819. [<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.048>].
34. Taniguchi K. Future changes in precipitation and water resources for Kanto Region in Japan after application of pseudo global warming method and dynamical downscaling. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2017; 8(1): 287-303. [<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.10.00>].
35. Tehran Studies and Planning Center. Management of Studies and Planning of Management Infrastructure and Urban Development, Center for Studies and Planning of Tehran. Statistical report on annual carbon production in Tehran province, 2019; No: 5. [https://jurbangeo.ut.ac.ir/article_79784_dacflbba2f742641f1f3f0d710021e11.pdf].
36. Tehran Studies and Planning Center. Requirements and strategies to achieve integrated urban transportation in Tehran. Reports of Tehran City Studies and Planning Center, May 2019. [https://jurbangeo.ut.ac.ir/article_79784_dacflbba2f742641f1f3f0d710021e11.pdf].
37. Tehran Province Agricultural Jihad Organization. Deputy for Crop Production Improvement, Agriculture Department; 2018. [<https://www.tehran-agri.ir/>].
38. Tehran Province Regional Water Company. Office of Basic Studies of Water Resources; 2018. [<https://thrw.ir/>].
39. Uusitalo V, Leino M. Neutralizing global warming impacts of crop production using biochar from side flows and buffer zones: A case study of oat production in the boreal climate zone. *Journal of Cleaner Production*, 2019; 227(1): 48-57. [<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.175>].
40. Wilby R.L, Harris I. A frame work for assessing uncertainties in climate change impact: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 2006; 42(2):1-10. [<https://doi.org/10.1029/2005WR004065>].
41. You L, Rosegrant M.W, Wood S, Sun D. Impact of growing season temperature on wheat productivity in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009; 149(6): 1009-1014. [<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.12.004>].
42. Zubaidi S.L, Patryk K, Khalid H, Rafid KH, Mawada A. Using LARS -WG model for prediction of temperature in Columbia City, USA. *International Conference on Civil and Environmental Engineering Technologies*, Published1, 2019, Published under licence by IOP Publishing Ltd. [<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/584/1/012026/pdf>].