



## The effects of climate change and climate variability on economic surplus of producers and consumers in the agricultural sector of Hamadan– Bahar plain

Shiva Soltani <sup>1</sup> | Seyed Habibollah Mosavi <sup>2✉</sup> | Sadegh Khalilian <sup>3</sup> | Hamed Najafi Alamdarlo <sup>4</sup>

1. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: [sh.soltani@modares.ac.ir](mailto:sh.soltani@modares.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: [shamosavi@modares.ac.ir](mailto:shamosavi@modares.ac.ir)
3. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: [khalil\\_s@modares.ac.ir](mailto:khalil_s@modares.ac.ir)
4. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: [hamed\\_najafi@modares.ac.ir](mailto:hamed_najafi@modares.ac.ir)

| Article Info                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article type:</b><br/>Research Article</p> <p><b>Article history:</b><br/>Received: 30 April 2022<br/>Received in revised form: 1 July 2022<br/>Accepted: 20 July 2022<br/>Published online: 21 March 2023</p> <p><b>Keywords:</b><br/><i>Crop Yield,<br/>Dynamic Pattern,<br/>Evapotranspiration,<br/>Social Surpluses,<br/>Water Resources.</i></p>                                                                                                                              | <p>The occurrence of climate change and variability, through changes in the supply and price of crops, overshadows the profitability of production in this sector and the share of food in consumer income. Therefore, social surpluses would fluctuate with physical and economic access to food. Accordingly, to make effective policies to adapt to new climatic conditions, accurate estimates of the welfare changes that will occur as a result of climatic events are needed. According to this approach, in the present study, the potential effects of different climatic scenarios on the cultivation pattern of the Hamadan-Bahar plain were investigated, and the impact of water resources, production, and food security in the agricultural sector of this plain was evaluated. The results showed that with the combined effect of climate change and variability, along with a 44% increase in agricultural consumption from the aquifer of this plain during the 20-year planning period, the present value of consumer and producer surplus and also, total economic welfare in the region's agricultural sector would decrease by 27%, increase by 16% and decrease by 4% compared to the baseline conditions, respectively. Therefore, it will be inevitable to adopt strategies to adapt to this phenomenon to mitigate its negative effects on food security in the region.</p> |
| <p><b>Cite this article:</b> Soltani, Sh., Mosavi, S. S., Khalilian, S., &amp; Najafi Alamdarlo, H. (2023). The effects of climate change and climate variability on economic surplus of producers and consumers in the agricultural sector of Hamadan– Bahar plain. <i>Iranian Journal Agricultural Economics and Development Research</i>, 54-2 (1), 53-72. DOI: <a href="http://doi.org/10.22059/IJAEDR.2022.341524.669140">http://doi.org/10.22059/IJAEDR.2022.341524.669140</a></p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <div>  <div> <p>© The Author(s).<br/>DOI: <a href="http://doi.org/10.22059/IJAEDR.2022.341524.669140">http://doi.org/10.22059/IJAEDR.2022.341524.669140</a></p> <p><b>Publisher:</b> University of Tehran Press.</p> </div> </div>                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

### Extended Abstract Objectives

The various pillars of food security are affected by climate change. Because food production depends on the availability of water resources, these resources are also affected by climatic conditions. Also, the optimal growth and yield of crops occurs in a certain range of climatic variables, so climate change can change this optimal range. In addition to changing the average value of climatic measures, the distribution of these measures around the average also affects the agricultural sector's production. These conditions overshadow the change in the supply and price of agricultural crops and, consequently, the change in the profitability of production in the agricultural sector, as well as the share of food in consumer surplus. Therefore, social surpluses would change with physical and economic access to food. According to this approach, in the present study, the potential effects of climate changes and climate variabilities on the cultivation pattern of the

Hamadan-Bahar plain were investigated, and the change in crop yield, water resources, and subsequent changes in food welfare and food security in the agricultural sector of the plain was assessed quantitatively.

### Methods

In this study, a cumulative biophysical-economic model was used. In the economic dimension of this model, the dynamic, positive mathematical programming approach in endogenous price conditions was used. The experimental model, consisting of 18 crops and two types of irrigation technologies, was developed based on the information of 2018 as the base year and in a 20-year planning horizon. This model's objective function is maximizing the present value of total economic welfare in the form of the sum of the current values of consumer surplus and farm income. Resource constraints used in the experimental model include water, land, capital, labor, and chemical fertilizers, with chemical fertilizer restrictions repeated for each nitrogen, phosphate, and potash fertilizers. Finally, the GAMS software package and CONOPT3 algorithm were used for data analysis. In the biophysical dimension of the model, the climatic measurement of rainfall was studied in the form of climatic scenarios. Accordingly, the rate of evapotranspiration of crops and, consequently, the production and yield of crops in the region due to climate change and fluctuations were estimated and integrated into the PMP model. Each of these relationships is responsible for providing some of the information needed in the experimental research model. Finally, the dynamic endogenous price optimization framework was estimated as a unit pattern, taking into account all the economic and biophysical relationships in question.

### Results

The results showed that the change of current climatic conditions in the coming years would significantly affect the region's biophysical and economic indicators. Accordingly, in the most pessimistic forecast, the agricultural sector's harvest from the aquifer in the next 20 years would increase by 44%. Therefore, it is expected that the existing scarcity of water resources in the region, in the event of a pessimistic scenario of simultaneous climate change, would continue with greater intensity in the coming years. On the other hand, the amount of crop production in this plain in the annual average of the research planning period, according to the scenario of normal climate change, would be equal to 902 thousand tons, which, if other scenarios are realized, the amount would be reduced.

Meanwhile, the largest reduction in production will be in the scenario of simultaneous climate change and equal to 190 thousand tons. Decreased production of crops in the region reduces supply and consequently increases the price of crops. In addition, as rainfall decreases and groundwater abstraction increases for irrigation of crops, production costs would increase due to the increase in groundwater pumping depth, doubling the negative consequences of climate change on crop prices. On the one hand, this affects the producers' income and, on the other hand, it fluctuates the welfare of consumers. Comparing the scenarios showed that if climate change and variability occur simultaneously, the most positive effect will occur in the producer surplus, and the most negative effect would occur in the consumer surplus. Assessing the present value of total economic welfare also confirms that in the scenario of simultaneous climate change, the lowest value of this index, which is equal to 636899 billion rials, would be obtained compared to the baseline scenario.

### Discussion

Climate change reduces production and increases food prices by negatively affecting access to groundwater resources and the yield of most crops. These conditions create adverse effects on consumer surpluses and, on the other hand, provide the opportunity for most producers to increase farm incomes. Although part of the consumer welfare loss is improved by promoting producer benefits, it would be impossible to offset this loss fully. Therefore, total economic welfare would change in a declining direction. Given that it is impossible to avoid various forms of climate scenarios, it is necessary to apply adaptation strategies to the phenomenon to mitigate its negative effects on food security in the region. Based on this, it is suggested that at the plant, field, and basin level, measures such as the use of high-yield and drought-resistant seeds, application of deficit irrigation methods, and upgrading irrigation technology to consume water in proportion to the water needs of crops, reduce evaporation and transpiration through the improving planting and plowing dates, increasing water infiltration into groundwater aquifers by improving soil quality, increasing water economic efficiency by optimally selecting crops, and finally, using sewage in agricultural production should be on the agenda.

## ارزیابی آثار تغییرات و نوسانات اقلیمی بر مازاد اقتصادی تولیدکنندگان و

## مصرف کنندگان بخش کشاورزی در دشت همدان - بهار

شیوا سلطانی<sup>۱</sup> | سید حبیب الله موسوی<sup>۲</sup> | صادق خلیلیان<sup>۳</sup> | حامد نجفی علمدارلو<sup>۴</sup>۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رایانامه: [sh.soltani@modares.ac.ir](mailto:sh.soltani@modares.ac.ir)۲. نویسنده مسئول، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رایانامه: [shamosavi@modares.ac.ir](mailto:shamosavi@modares.ac.ir)۳. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رایانامه: [khalil\\_s@modares.ac.ir](mailto:khalil_s@modares.ac.ir)۴. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، رایانامه: [hamed\\_najafi@modares.ac.ir](mailto:hamed_najafi@modares.ac.ir)

## چکیده

## اطلاعات مقاله

وقوع تغییرات و نوسانات اقلیمی، از طریق تغییر در عرضه و قیمت محصولات کشاورزی، سودآوری تولید در این بخش و نیز سهم غذا در درآمد مصرف کنندگان را تحت الشعاع قرار می دهد. لذا مازادهای اجتماعی همگام با دسترسی فیزیکی و اقتصادی به مواد غذایی دستخوش نوسان خواهد شد. بر این اساس به منظور سیاست گذاری مؤثر جهت سازگاری با شرایط جدید اقلیمی، برآوردهای صحیحی از تغییرات رفاه جامعه که در نتیجهی رخدادهای اقلیمی ایجاد خواهد شد، مورد نیاز است. با توجه به این رویکرد، در مطالعه‌ی حاضر آثار بالقوه‌ی پیش‌بینی‌های مختلف اقلیمی بر الگوی کشت دشت همدان - بهار، با در نظر گرفتن سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ به عنوان سال پایه، مورد بررسی قرار گرفت و میزان تأثیرپذیری منابع آبی، تولید و متعاقب آن، امنیت غذایی در بخش کشاورزی این دشت ارزیابی شد. نتایج نشان داد که اثر توأمان تغییرات و نوسانات اقلیمی، همگام با افزایش ۴۴ درصدی برداشت بخش کشاورزی از آبخوان این دشت در دوره‌ی برنامه‌ریزی ۲۰ ساله‌ی تحقیق، ارزش حال مقادیر مازاد مصرف کننده، تولیدکننده و رفاه اقتصادی کل در بخش کشاورزی منطقه در مقایسه با شرایط کنونی را به ترتیب به میزان ۲۷ درصد کاهش، ۱۶ درصد افزایش و ۴ درصد کاهش خواهد داد. لذا اتخاذ راهبردهای سازگاری با پدیده‌ی مذکور، جهت تخفیف یافتن آثار منفی آن بر امنیت غذایی منطقه، اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

## کلیدواژه‌ها:

الگوی پویا، تبخیر و تعرق، عملکرد محصول، مازادهای اجتماعی، منابع آب.

**استناد:** سلطانی، شیوا؛ موسوی، سید حبیب‌الله؛ خلیلیان، صادق؛ و نجفی علمدارلو، حامد (۱۴۰۲). ارزیابی آثار تغییرات و نوسانات اقلیمی بر مازاد اقتصادی تولیدکنندگان ومصرف کنندگان بخش کشاورزی در دشت همدان - بهار. *مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۲-۵۴ (۱)، ۷۲-۵۳.DOI: <http://doi.org/10.22059/IJAEDR.2022.341524.669140>

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/IJAEDR.2022.341524.669140>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

افزایش جمعیت جهان در سال‌های آتی و ضرورت تأمین نیازهای غذایی این جمعیت، از جمله چالش‌های پیش‌روی جامعه‌ی جهانی است و این انتظار وجود دارد که بخش کشاورزی با استفاده از منابع محدود، امنیت غذایی جوامع را تأمین نماید. اگر چه تعداد افراد مواجه با ناامنی غذایی در سطح جهان از سال ۱۹۹۰ روندی کاهنده را آغاز نموده، اما میزان پیشرفت جهت کنترل بحران مذکور، اندک و دارای فاصله‌ای شایان توجه از اهداف توسعه‌ی هزاره است. در نتیجه، هم‌اکنون شمار زیادی از مردم جهان، فاقد شرایط مطلوب در خصوص دریافت مواد غذایی هستند (Munesue et al., 2015). این در حالی است که تأمین امنیت غذایی در هر کشور، یکی از شروط تحقق امنیت ملی و از ارکان توسعه‌ی اقتصادی محسوب می‌شود (Hashemi Tabar et al., 2018).

مفهوم امنیت غذایی، به منظور تشریح وضعیت کل جهان، یک کشور یا منطقه، یک خانوار و یا یک فرد در رابطه با تأمین انرژی غذایی به کار می‌رود (Pakravan et al., 2015). ارکان اصلی امنیت غذایی را می‌توان شامل (۱) موجود بودن، (۲) توانایی تهیه و تأمین، (۳) بهره‌برداری و (۴) ثبات در دریافت مواد غذایی برشمرد. موجود بودن غذا، کفایت وجود مواد غذایی در مرزهای ملی یک کشور از طریق تولید داخل و واردات را مورد بحث قرار می‌دهد. بعد تأمین مواد غذایی، بر توانایی خانوارها برای خرید مقدار کافی غذا تمرکز دارد و به بیان دقیق‌تر، دسترسی فیزیکی و اقتصادی افراد به غذای کافی را بررسی می‌نماید. بعد بهره‌برداری از مواد غذایی، میزان جذب ریزمغذی‌ها توسط افراد را مورد بحث قرار می‌دهد و در واقع تناسب رژیم غذایی افراد با نیازمندی‌های یک زندگی سالم، در این بعد مورد توجه است. در نهایت، در بعد چهارم، جهت تحقق امنیت غذایی لازم است که غذای سالم و کافی در تمام زمان‌ها در اختیار افراد قرار گیرد و پیامدهای شوک‌های اقتصادی یا بحران‌های اقلیمی نباید در این خصوص ایجاد اختلال کند (Jozi et al., 2020).

ارکان مختلف امنیت غذایی، متأثر از تغییرات اقلیم است. زیرا تولید غذا وابسته به موجودی منابع آب است و این منابع نیز تحت تأثیر شرایط اقلیمی قرار دارد. همچنین رشد و عملکرد بهینه‌ی محصولات کشاورزی در دامنه‌ی خاصی از متغیرهای آب و هوایی صورت می‌گیرد که تغییر اقلیم می‌تواند این دامنه‌ی بهینه را تغییر دهد. وقوع شرایط مذکور، تغییر در عرضه و قیمت محصولات کشاورزی و در نتیجه تغییر در سودآوری تولید در بخش کشاورزی و نیز سهم غذا در درآمد مصرف‌کنندگان را تحت الشعاع قرار می‌دهد. لذا مازادهای اجتماعی همگام با دسترسی فیزیکی و اقتصادی به مواد غذایی دستخوش نوسان خواهد شد. افزون بر این، اگر قیمت مواد غذایی در رویارویی با تغییرات اقلیم افزایش یابد، توزیع اثرات منفی آن بر مصرف‌کنندگان یکسان نخواهد بود و عدم ثبات در دریافت ریزمغذی‌ها در دهک‌های پایین درآمدی جامعه نمود بیشتری می‌یابد. بر این اساس به منظور سیاست‌گذاری مؤثر جهت سازگاری با شرایط جدید اقلیمی، برآوردهای صحیحی از تغییرات رفاه جامعه که در نتیجه‌ی تغییرات اقلیم ایجاد خواهد شد، مورد نیاز است (Ferreira et al., 2013; Moazzezi et al., 2020).

تولید محصولات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه همچون ایران، نسبت به تغییرات اقلیم آسیب‌پذیری بیشتری دارد، زیرا انعطاف‌پذیری این کشورها نسبت به تغییرات تکنولوژی و سرمایه، به عنوان سایر عوامل مؤثر بر تولید کشاورزی، کمتر است (Ardakani et al., 2017). این در حالی است که تغییرات اقلیم در دهه‌های آتی، پدیده‌ی غالب اکثر دشت‌های ایران خواهد بود و این موضوع تبعات منفی بر منابع آب و در پی آن، تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی خواهد داشت. بر این اساس در بسیاری از مطالعات پیشین، به ارزیابی آثار تغییرات اقلیم بر بخش کشاورزی کشور با در نظر گرفتن مقدار میانگین سنجه‌های اقلیمی پرداخته شده‌است. این در حالی است که (Gohar & Cashman, 2016) و (Johansson et al., 2015) نشان دادند که علاوه بر تغییرات اقلیم، نوسانات اقلیمی نیز بر منابع آب و رشد محصولات کشاورزی تأثیری معنادار دارد. تغییرات اقلیم به تغییر مقدار میانگین سنجه‌های اقلیمی گفته می‌شود در حالی که نوسانات اقلیمی، تغییر میزان پراکندگی حول میانگین سنجه‌های اقلیمی را شامل می‌شود. به بیان دیگر، با در نظر گرفتن یک سری زمانی از سنجه‌ای اقلیمی، اگر در بلندمدت مقدار میانگین این سری زمانی تغییر یابد، تغییر اقلیم وقوع یافته‌است. اما چنانچه همگام با ثابت ماندن مقدار میانگین این سری

زمانی، پراکندگی داده‌ها حول میانگین تغییر یابد، این تغییر تحت عنوان نوسان اقلیمی شناخته می‌شود. بنابراین سوال اینجاست که همگام با وقوع تغییرات و نوسانات اقلیمی در سال‌های آینده، رفاه و امنیت غذایی در اقلیم خشک و نیمه خشک ایران چه تغییری خواهد کرد؟ به منظور پاسخ‌گویی به این سوال، بخش کشاورزی دشت نیمه خشک همدان - بهار واقع در غرب ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. وقوع تغییرات اقلیم به صورت افزایش دما و کاهش بارندگی در این منطقه، در بسیاری از مطالعات پیشین تایید شده است (Mosavi et al., 2020; Afruzi & Zare Abyaneh, 2020). در این دشت نیمه خشک، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی موجب کاهش ذخایر این منابع در طول سال‌های اخیر شده است. از این رو، با در نظر گرفتن اهمیت منابع آبی در تامین امنیت غذایی، سیاست‌گذاران در پی اتخاذ راهکارهایی جهت سازگاری با بحران تغییرات اقلیمی آتی به منظور برون‌رفت از محدودیت منابع آب در این دشت هستند. لذا با توجه به این رویکرد، در مطالعه‌ی حاضر آثار بالقوه‌ی تغییرات و نیز نوسانات اقلیمی بر الگوی کشت دشت همدان - بهار مورد بررسی قرار گرفت و میزان تأثیرپذیری عملکرد محصولات زراعی، منابع آبی و متعاقب آن، تغییرات رفاه و امنیت غذایی در بخش کشاورزی این دشت به صورت کمی ارزیابی شد.

### پیشینه پژوهش

در دهه‌های اخیر، در بسیاری از مطالعات، به ارزیابی آثار تغییرات اقلیم بر بخش کشاورزی نقاط مختلف جهان، اغلب با در نظر گرفتن مقدار میانگین سنجه‌های اقلیمی پرداخته شده است. به عنوان مثال، Van Passel et al. (2017) اذعان داشتند که میزان زیان کشاورزان اروپایی در افق ۲۱۰۰ در رویارویی با تغییر مقادیر متوسط دما و بارش، در بازه‌ی مقداری ۵+ تا ۳۲- درصد قرار خواهد گرفت. Gohar & Cashman (2016) با استفاده از ترکیب الگوهای اقتصادی و هیدرولوژیکی، و نیز با تمایز قائل شدن میان تغییرات و نوسانات اقلیمی، نشان دادند که مجموع تغییرات مورد بحث، دارای آثار منفی بر منابع آب، عرضه‌ی محصول، مازاد مصرف‌کنندگان و امنیت غذایی خواهد بود. با این حال، افزایش قیمت محصولات کشاورزی در این شرایط، بسته به نوع محصول و تکنولوژی آبیاری، فرصت کسب منافع بیش‌تر برای برخی از تولیدکنندگان را فراهم می‌آورد. et al. (2013) Calzadilla راه‌کارهای تطبیق با تغییرات اقلیم در بخش کشاورزی صحرای ساب-سaharan آفریقا را مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که تغییر مقادیر متوسط سنجه‌های اقلیمی بدون در نظر گرفتن اثر مثبت غلظت دی‌اکسید کربن، تا سال ۲۰۵۰ منجر به کاهش ۱/۶ درصدی تولید غذا و نیز کاهش ۰/۲ درصدی تولید ناخالص داخلی در منطقه می‌شود، که افزایش ۳ درصدی در بهره‌وری تولیدات آبی و دیم می‌تواند زیان فوق را جبران کند. نتایج مطالعه‌ی Qureshi et al. (2012) در خصوص چگونگی اثرگذاری تغییرات اقلیم به صورت کاهش میانگین بارندگی، کاهش عرضه‌ی آب و افزایش نیاز آبی گیاهان، در بخش کشاورزی استرالیا نشان داد که کاهش درآمد ناخالص کشاورزی در سناریوهای مختلف اقلیمی، در سال‌های خشک به بیش‌ترین میزان خود خواهد رسید. نتایج پژوهش Mosavi et al. (2020) در خصوص تغییرات اقلیم در دشت همدان - بهار مؤید آن است که تا افق ۲۰۹۰، میانگین بارش سالانه و نیز سطح آب زیرزمینی به ترتیب به میزان ۱۴/۴ و ۱۲/۳ درصد کاهش خواهد یافت که این تغییرات همراه با افزایش ۱۴/۷ درصدی میانگین دما، افزایش ۴۴ درصدی در ارزش اقتصادی آب و کاهش ۱۹ درصدی در ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه را در پی خواهد داشت. Shahvari et al. (2019) در بررسی آثار تغییرات اقلیم بر منابع آب و عملکرد محصولات کشاورزی در دشت ورامین دریافتند که افزایش میانگین دما، تغییر الگوهای بارش و تغییر شدت بارش موجب بروز تغییرات فصلی در سطح رواناب‌های منطقه به صورت افزایش رواناب در بهار و تابستان و کاهش رواناب در پاییز و زمستان خواهد شد که در صورت عدم سازگاری کشاورزان با شرایط مذکور، عملکرد محصولات دیم در منطقه با کاهش شدید مواجه می‌شود. نتایج مطالعه‌ی Parhizkari & Yazdani (2017) در ارزیابی آثار اقتصادی و هیدرولوژیکی تغییرات اقلیم در حوضه‌ی آبخیز خررود واقع در استان قزوین، نشان داد که تغییرات اقلیم به صورت کاهش میانگین بارش سالانه تحت

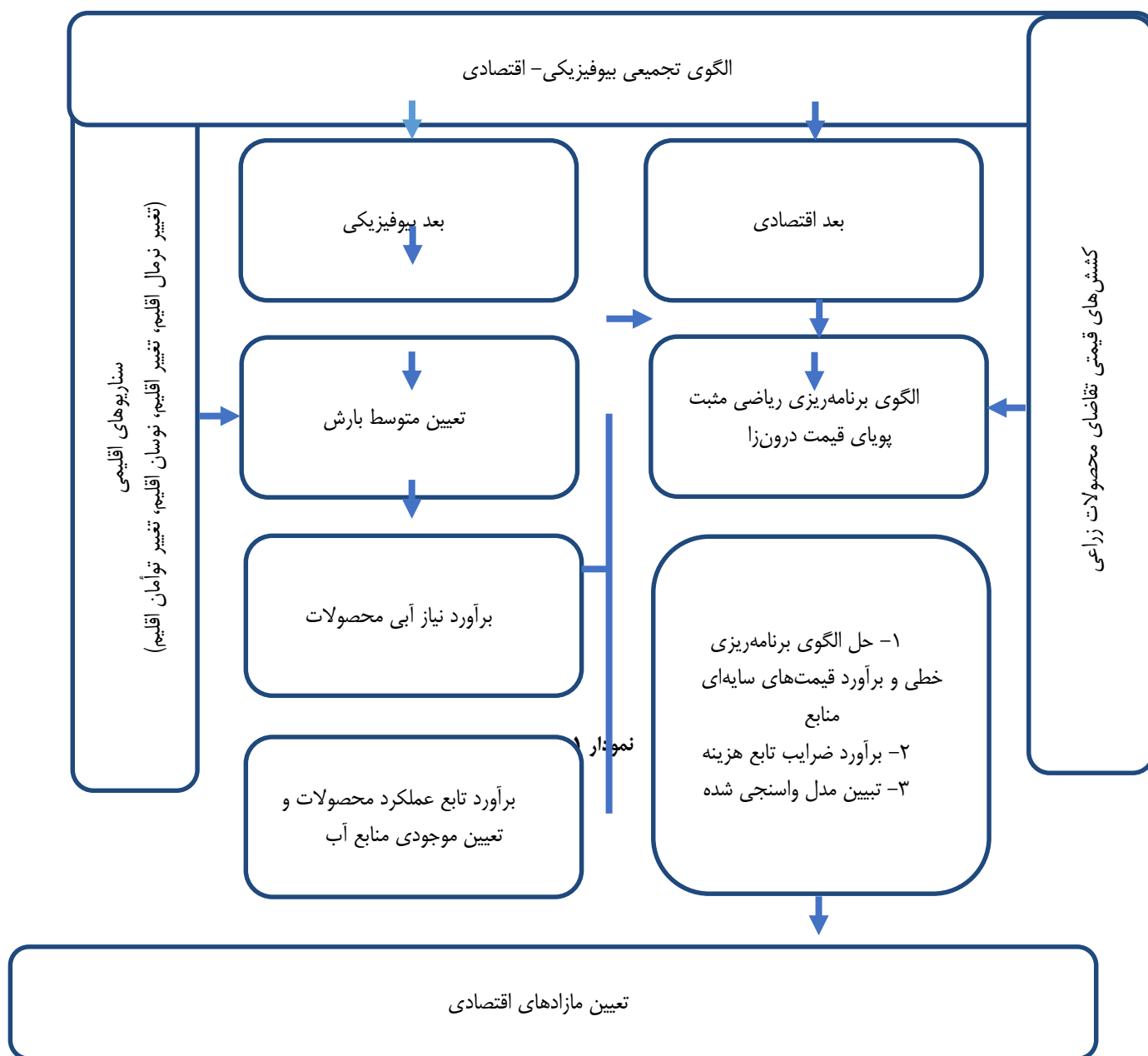
سناریوهای ملایم تا شدید، به ترتیب کاهش ۱۱/۳ تا ۲۳ درصدی در منابع آب، افزایش ۷/۰۸ تا ۱۵/۲۲ درصدی در ارزش اقتصادی آب، کاهش ۵/۱۴ تا ۱۶/۳۹ درصدی در مجموع سطوح زیر کشت محصولات آبی و در نهایت، کاهش ۶/۵۸ تا ۱۳/۴۱ درصدی در سود ناخالص کشاورزان نسبت به سال پایه را در پی خواهد داشت. نتایج مطالعه‌ی (Momeni & Zibaei, 2013) در خصوص آثار بالقوه‌ی تغییر میانگین سنجه‌های اقلیمی بر کشاورزی استان فارس نیز مؤید این مسئله است که دما و بارندگی دارای اثری معنادار و غیر یکنواخت بر عملکرد محصولات هستند و چنانچه کاهش بارندگی با عدم تغییر دما همراه شود، رفاه جامعه به میزان ۱/۵ درصد کاهش می‌یابد، اما رفاه در گرم‌ترین و مرطوب‌ترین سناریو تا ۱۳ درصد افزایش خواهد یافت. Seyedan et al. (2016) بررسی آثار رفاهی بهره‌برداری بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی در دشت همدان - بهار را در دستور کار خود قرار دادند و اذعان داشتند که ادامه روند برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، کاهش دسترسی به آب و در نتیجه کاهش رفاه کشاورزان دشت را در درازمدت به دنبال خواهد داشت. بر اساس نتایج این مطالعه، میزان کاهش رفاه سالیانه به ازای هر متر کاهش سطح آب زیرزمینی برای هر بهره‌بردار در کشت محصولات گندم و سیب‌زمینی به ترتیب برابر با ۱۸۷۵۴۳۰۰ و ۳۵۶۷۲۸۰۰ ریال است. همچنین زیان حاصل از کاهش هر متر آب زیرزمینی در کل محدوده‌ی مطالعاتی برابر ۵۲ میلیارد ریال محاسبه شد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در مطالعات فوق ابعاد مختلف پدیده‌ی تغییر اقلیم بر کشاورزی مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌است. در مجموع مطالعات انجام شده بر این واقعیت تاکید دارند که پدیده‌ی تغییر اقلیم، به صورت تغییر در مقدار میانگین سنجه‌های اقلیمی، هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت موجب (۱) کاهش منابع آب در دسترس، (۲) کاهش عملکرد اغلب محصولات کشاورزی و (۳) کاهش رفاه اجتماعی خواهد شد. با این حال چگونگی اثرگذاری نوسانات اقلیمی بر بخش کشاورزی و نیز ابعاد رفاهی این پدیده، کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته‌است. بدون تردید نتایج حاصل از مطالعه‌ای که اشکال مختلف پدیده‌ی تغییر اقلیم را به صورت توأمان تشریح نماید، از اعتبار بالاتری جهت مدیریت منابع کمیاب و نیز اتخاذ سیاست‌های مناسب جهت کاهش آثار زیانبار این پدیده برخوردار خواهد بود. لذا با توجه به این رویکرد، در مطالعه‌ی حاضر آثار تغییرات و نوسانات اقلیمی بر امنیت غذایی بخش کشاورزی دشت همدان - بهار، ارزیابی شد. یافته‌های این مطالعه جهت اتخاذ سیاست‌های آتی، راه‌گشای محققین و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی خواهد بود.

ادامه‌ی این مطالعه به صورت زیر طرح‌ریزی شد. در ابتدا ابعاد مختلف روش تحقیق و سپس نتایج مطالعه شرح داده شد. در پایان نیز با مرور مختصری بر یافته‌های اصلی تحقیق، جمع‌بندی صورت گرفت و راه‌کارهای سازگاری با تغییرات و نوسانات اقلیمی در منطقه، مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.

### روش‌شناسی پژوهش

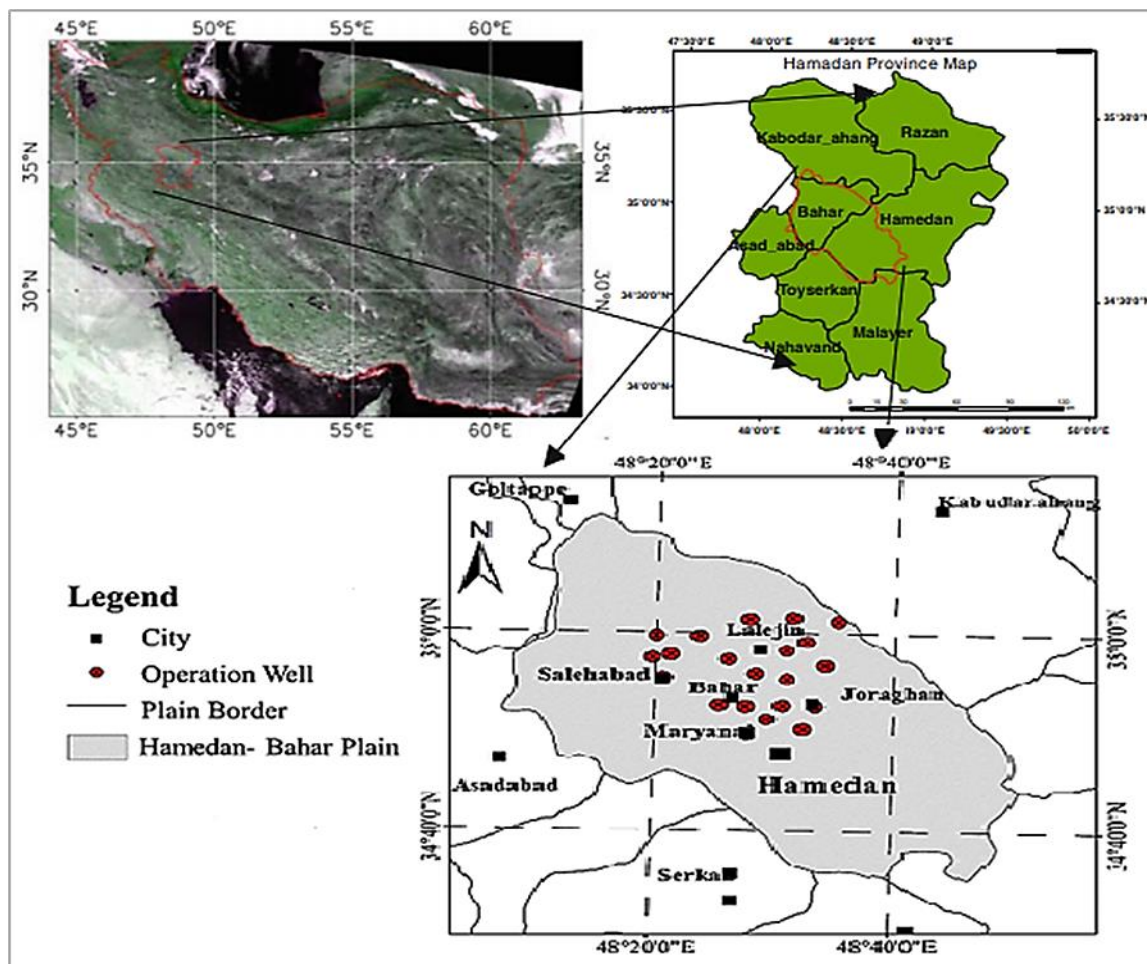
در این مطالعه، جهت برآورد آثار تغییرات و نوسانات اقلیمی بر امنیت غذایی بخش کشاورزی دشت همدان - بهار از یک الگوی تجمیعی بیوفیزیکی - اقتصادی استفاده شد. در نمودار ۱ مراحل مختلف انجام مطالعه‌ی حاضر به تصویر کشیده شده‌است. این نمودار نحوه‌ی پیگیری آثار محتمل تغییرات و نوسانات اقلیمی در سامانه‌های مختلف و نیز چگونگی ادغام آنها در یک الگوی اقتصادی را تبیین می‌نماید.



### منطقه‌ی تحقیق

حوضه‌ی آبخیز همدان - بهار (شکل ۱) با وسعت ۲۴۷۵ کیلومتر مربع در دامنه‌ی شمالی ارتفاعات الوند در استان همدان، در محدوده‌ی طول شرقی ۴۸۰،۱۷' تا ۴۸۰،۳۳' و عرض شمالی ۳۴۰،۴۹' تا ۳۵۰،۲' واقع شده‌است. حوضه‌ی مذکور که یک آبخوان اصلی از نوع آزاد با گستره‌ی سطحی ۴۶۸ کیلومتر مربع را شامل می‌شود، یکی از منابع اصلی تأمین آب کشاورزی و شرب منطقه است که در دهه‌های اخیر، به دلیل افت مداوم ذخایر آبی، روند افزایشی تخلیه‌ی فاضلاب‌های شهری و صنعتی و نیز کاربرد فزاینده‌ی سموم و کودهای شیمیایی در محدوده‌ی آن، در کانون بحث قرار گرفته‌است (Akhavan et al., 2015). اقلیم این دشت، سرد و نیمه خشک با میانگین بلندمدت دمای بیشینه و کمینه به ترتیب برابر با ۱۹/۲ و ۲/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارش بلندمدت سالانه برابر با ۳۱۲/۳ میلی‌متر است. بر اساس آمار موجود، در حدود ۱۴۴ هزار هکتار از اراضی دشت

همدان-بهار در قالب فعالیتهای زراعی بهره‌برداری می‌شود که بیش از ۶۸ درصد آن به تولیدات دیم اختصاص دارد (Iran Ministry of Agriculture Jihad, 2022).



شکل ۱. حوضه آبخیز همدان- بهار

این دشت فاقد رودخانه‌ی دائمی است و عمده‌ی بهره‌برداری‌ها جهت تأمین آب کشاورزی منطقه از طریق آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد. با این حال، در سال‌های اخیر به دلیل بروز خشکسالی و توسعه‌ی اراضی کشاورزی، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی این منطقه افزایش یافته‌است و لذا ممنوعیت توسعه‌ی بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی دشت همدان- بهار از سال ۱۳۷۲، به دلیل منفی شدن بیلان آب، اعمال شده‌است (Regional Water Company of Hamadan, 2022).

### بعد اقتصادی الگوی تجمیعی

در این مطالعه به منظور بررسی آثار رفاهی تغییرات و نوسانات اقلیمی بر بخش کشاورزی دشت همدان- بهار، از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت پویا در شرایط درون‌زایی قیمت استفاده شد. الگوی مذکور که در دامنه‌ی الگوهای تعادل جزیی قرار دارد، یک مدل چند محصولی است که چارچوب کلی آن بر اساس مطالعه‌ی Arfini et al. (2008) پایه‌ریزی شده‌است. در این الگو، فرض عدم تاثیرپذیری قیمت محصولات در رویارویی با شوک‌های عرضه و به عبارت دیگر، تعیین قیمت‌ها در خارج از مدل، فاقد اعتبار است. همچنین ارائه‌ی دقیق تکنولوژی کشاورزی، استفاده از اطلاعات پیشین در تصریح الگو، ارزیابی اقتصادی جریان‌های داخلی محصولات و تلفیق صریح بسیاری از ابزارهای سیاستی، از جمله مزایای کاربرد چارچوب مذکور است. این



رهیافت افزون بر ارائه‌ی جزییات الگوی کشت محصولات کشاورزی، با ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا و با بیشینه نمودن مجموع رفاه تولیدکننده و مصرف‌کننده، در تعیین قیمت‌های تعادلی محصولات اهتمام می‌ورزد (Kiani Ghalehsard et al., 2020). در حالت کلی، یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) در سه مرحله انجام می‌شود (Howitt, 1995). در مرحله‌ی نخست، یک مدل برنامه‌ریزی خطی به همراه محدودیت‌های واسنجی و محدودیت‌های منابع، با هدف برآورد قیمت‌های سایه‌ای سطح زیر کشت محصولات، تشکیل می‌شود. با فرض بیشینه‌سازی بازده برنامه‌ای، الگوی اولیه به صورت رابطه‌ی ۱ تصریح می‌شود.

$$\begin{array}{ll} \text{Max} & Z = p'x - c'x \\ \text{s.t.} & Ax \leq b \quad [\lambda] \\ & x \leq \bar{x} + \varepsilon \quad [\rho] \\ & x \geq 0 \end{array} \quad (1)$$

الگوی بالا مقادیر سال پایه را باز تولید می‌کند. در این رابطه،  $Z$  ارزش تابع هدف،  $p$  ماتریس  $(n \times 1)$  متشکل از قیمت محصولات،  $x$  ماتریس  $(n \times 1)$  سطوح فعالیت‌های تولیدی،  $c$  ماتریس  $(n \times 1)$  هزینه‌ی حسابداری هر واحد از فعالیت‌ها،  $A$  ماتریس  $(m \times n)$  ضریب‌های فنی،  $b$  ماتریس  $(m \times 1)$  از مقادیر منابع در دسترس،  $\bar{x}$  ماتریس  $(n \times 1)$  از سطوح مشاهده‌ای فعالیت‌های تولیدی،  $\varepsilon$  شامل اعداد مثبت کوچک برای جلوگیری از وابستگی خطی بین محدودیت‌های ساختاری و واسنجی،  $\lambda$  ماتریس  $(m \times 1)$  از متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های منابع و  $\rho$  ماتریس  $(n \times 1)$  از متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های واسنجی هستند. در گام دوم، مقادیر دوگان به‌دست آمده از مرحله‌ی اول برای برآورد مشخصه‌های تابع هدف غیر خطی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌گونه‌ای که سطوح فعالیت‌های مشاهده‌ای در دوره‌ی پایه توسط الگوی غیر خطی مذکور و بدون استفاده از محدودیت‌های واسنجی باز تولید می‌شوند. تابع هدف غیر خطی در مرحله‌ی دوم، با قرار دادن یک تابع تولید غیر خطی و یا یک تابع هزینه‌ی غیر خطی در تابع هدف، مدل مرحله‌ی اول به‌دست می‌آید. ضرایب تابع هزینه‌ی غیر خطی و یا تابع عملکرد غیر خطی از مرحله دوم به‌دست می‌آید. از آنجا که در اغلب بررسی‌های اولیه در زمینه‌ی مدل PMP، از تابع هزینه‌ی متغیر دارای شکل تابعی درجه‌ی دوم استفاده شده‌است و همچنین به‌منظور درک بهتر مدل، در این بخش، مراحل بر پایه‌ی تابع هزینه توضیح داده خواهد شد. برآورد تابع تولید نیز مشابه روش بالا است با این تفاوت که در آن عملکرد، تابع نهاده‌های تولید در نظر گرفته می‌شود. بر پایه‌ی آنچه بیان شد، فرض می‌شود که تابع هزینه‌ی متغیر دارای شکل تابعی درجه‌ی دوم، همانند رابطه‌ی ۲ است.

$$C^v(x) = d'x + x'Qx/2 \quad (2)$$

که  $d$  بردار  $(n \times 1)$  از مشخصه‌های جزء خطی تابع هزینه،  $Q$  ماتریس مثبت، نیمه معین و متقارن با ابعاد  $(n \times n)$  از مشخصه‌های جزء درجه‌ی دوم تابع هزینه است. همچنین بردار هزینه‌ی نهایی متغیر  $(MC^v)$  مربوط به تابع هزینه‌ی بالا برابر با مجموع بردار هزینه‌ی حسابداری  $c$  و بردار متغیر دوگان مربوط به محدودیت‌های واسنجی، به شرح رابطه‌ی ۳ است.

$$MC^v(x) = \nabla C^v(x) = d + Qx = c + \rho \quad (3)$$

که در آن  $\nabla C^v(x)$  بردار گرادیان  $(1 \times n)$  از مشتقات مرتبه اول  $C^v(x)$  برای  $x = x_0$  است. در گام سوم، تابع هزینه‌ی غیر خطی برآورد شده در مرحله‌ی دوم، در تابع هدف مسئله قرار می‌گیرد و این تابع هدف غیرخطی در یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی همراه با دیگر محدودیت‌ها استفاده می‌شود.

$$\begin{array}{ll} \text{Max} & Z = p'x - \hat{d}' - x\hat{Q}x/2 \\ \text{s.t} & Ax \leq b \quad [\lambda] \\ & x \geq 0 \end{array} \quad (4)$$

در این رابطه، بردار  $\hat{d}'$  و ماتریس  $\hat{Q}$ ، مشخصه‌های کالیبراسیون تابع هدف غیرخطی را نشان می‌دهند. اکنون الگوی غیر خطی فوق، به شکلی بهینه، سطوح فعالیت‌های مشاهده‌ای در سال پایه و مقادیر دوگان محدودیت‌های منابع را باز تولید می‌کند. لذا کاربرد این الگو، برای همانندسازی انواع تغییرپذیری مناسب خواهد بود (Caputo & Paris, 2008). در الگوی PMP پویا، مسئله‌ی تحقیق در یک دوره‌ی زمانی تحت عنوان افق برنامه‌ریزی شبیه‌سازی می‌شود. با فرض سالانه بودن گام زمانی در افق برنامه‌ریزی تحقیق، متغیرهای تصمیم در هر سال بر اساس نتایج سال قبل تعیین می‌شوند. در واقع در این الگو، مراحل سه‌گانه‌ی مدل PMP در هر یک از سال‌های افق برنامه‌ریزی اجرا می‌شود و محدودیت واسنجی در هر سال بر اساس نتایج سال پیشین اعمال می‌شود. در نهایت نتایج الگو در کل افق برنامه‌ریزی تجمیع خواهد شد (Ravand et al., 2018).

در ادامه، الگوی تجربی تحقیق حاضر که حداکثرکننده‌ی ارزش حال خالص تنزیل شده‌ی منافع در طول زمان مشروط بر محدودیت‌های اقتصادی و هیدرولوژیکی است، مشتمل بر ۱۸ محصول زراعی و دو نوع تکنولوژی آبیاری، بر اساس اطلاعات سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ به عنوان سال پایه و در یک افق برنامه‌ریزی ۲۰ ساله ارائه شده‌است. در این رهیافت، معادلات هیدرولوژیکی، شرایط پویایی مدل را فراهم و متغیرهای مربوط به آبخوان و تغییرات آن را از سالی به سال دیگر شبیه‌سازی می‌کند. به این ترتیب، تخصیص نهاده‌ها در افق برنامه‌ریزی، به ظرفیت آبخوان در طول زمان بستگی خواهد داشت. تابع هدف این الگو (رابطه‌ی ۵) به صورت بیشینه‌ساز ارزش حال رفاه اقتصادی کل (PTG) و در قالب مجموع ارزش‌های کنونی مازاد مصرف‌کننده (PTCS) و درآمد مزرعه (PTNB) تعریف می‌شود. رابطه‌ی ۶ ارزش حال درآمد خالص مزرعه در کل دوره‌ی زمانی مورد بررسی را ارائه می‌نماید (Gohar & Cashman, 2016).

$$PTG_{cs} = PTNB_{cs} + PTCS_{cs} \quad (5)$$

$$= \sum_a \sum_k \sum_t \frac{PTNB_{cs} [(P_{acst} * Yield_{akcst} - ATC_{akcst}) * hectare_{akcst} - WC]}{(1+r)^t} \quad (6)$$

در این رابطه،  $a, k, c, s$  و  $t$  به ترتیب نمایان‌گر نوع محصول، تکنولوژی آبیاری، سناریوی اقلیمی، یارانه و زمان است. همچنین  $P$  قیمت محصول،  $Yield$  عملکرد محصول،  $ATC$  متوسط هزینه‌ی تولید در هکتار،  $WC$  هزینه‌ی مستقیم آبیاری،  $hectare$  سطح زیرکشت و  $r$  نرخ بهره است. هزینه‌ی مستقیم آبیاری به تعرفه‌ی آب جهت استفاده در سیستم‌های نوین آبیاری اشاره دارد. متوسط هزینه‌ی تولید در هکتار، همان‌طور که در رابطه‌ی ۷ نیز مشهود است، در قالب هزینه‌های غیر آبی (NWC)، هزینه‌های سرمایه‌ای سیستم آبیاری (CC) و هزینه‌ی انرژی مصرفی جهت پمپاژ آب (PC) تفکیک شده‌است. هزینه‌های غیر آبی شامل هزینه‌های مرتبط با زمین، نیروی کار، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات هستند. هزینه‌های سرمایه‌ای (رابطه‌ی ۸) نیز به مواردی همچون هزینه‌ی خرید سیستم آبیاری (CCS)، نرخ بهره، طول عمر سیستم آبیاری (SL) و میزان یارانه‌ی پرداختی دولت در این خصوص ( $Subsidy_s$ ) وابسته است. در نهایت، مطابق با رابطه‌ی ۹، در خصوص هزینه‌ی پمپاژ باید توجه داشت که این هزینه متناسب با افزایش عمق پمپاژ افزایش می‌یابد و لذا می‌توان آن را به صورت حاصل ضرب فاکتور هزینه‌ی انرژی پمپاژ ( $Kp$ ) در عمق پمپاژ ( $P.depth_{cst}$ ) در نظر گرفت.

1. Present Total Gain

2. Present Total Consumer Surplus

3. Present Total Net Benefit

$$ATC_{akcst} = NWC_{akcst} + CC_{akcst} + WC + PC_{akcst} \quad (7)$$

$$CC_{ads} = \left\{ \frac{CCS * r}{1 - \left[ \frac{1}{(1+r)^{SL}} \right]} \right\} * (1 - Subsidy_s) \quad (8)$$

$$PC_{akcst} = Kp_{akcst} * P.depth_{cst} \quad (9)$$

در ادامه به منظور اندازه‌گیری مازاد مصرف‌کننده، ابتدا تابع تقاضای معکوس هر یک از محصولات کشاورزی در قالب رابطه‌ی ۱۰ و با استفاده از کشش‌های تقاضای محصولات کشاورزی ارائه شده در مطالعات پیشین برآورد شد (Barikani et al., 2008; Karimi et al., 2010; Sabouhi & Ahmadvpour, 2012). سپس با بهره‌گیری از رابطه‌ی ۱۱، ارزش حال مازاد مصرف‌کننده در افق برنامه‌ریزی تحقیق محاسبه شد. لازم به ذکر است که در این روابط،  $\theta_0$  و  $\theta_1$  پارامترهای تابع تقاضای معکوس،  $TP$  مقدار تولید محصول و  $PTCS$  ارزش حال مازاد مصرف‌کننده در مجموع محصولات زراعی منطقه را ارائه می‌کند.

$$P_{acst} = \theta_0 a + \theta_1 a * \sum_k TP_{akcst} \quad (10)$$

$$PTCS_{cs} = \sum_a \sum_t \frac{0.5 * [(\theta_0 a - P_{acst}) * \sum_k TP_{akcst}]}{(1+r)^t} \quad (11)$$

محدودیت‌های منابع مورد استفاده در الگوی تجربی تحقیق حاضر شامل محدودیت آب، سطح زیر کشت، سرمایه، نیروی کار و کودهای شیمیایی هستند که محدودیت مرتبط با کود شیمیایی برای هر یک از کودهای نیتروژن، فسفات و پتاس تکرار می‌شود. محدودیت مرتبط با منابع آب نشان می‌دهد که کل آب مورد نیاز برای کشت محصولات زراعی دشت حداکثر به اندازه‌ی مجموع منابع آب زیرزمینی و سطحی در دسترس است. در دشت مورد مطالعه رودخانه‌ی دائمی وجود ندارد و درصد عمده‌ی تأمین آب از طریق منابع آب زیرزمینی است و بر همین اساس محدودیت منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین محدودیت مدل را تشکیل می‌دهد (Afruzi & Zare Abyaneh, 2020). سایر محدودیت‌های مدل نیز بیان‌گر آن هستند که میزان استفاده از هر یک از منابع زمین، سرمایه، نیروی کار و کودهای شیمیایی برای تولید محصولات نمی‌تواند از کل منابع در دسترس دشت فزونی یابد. در نهایت به‌منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از بسته‌ی نرم‌افزاری GAMS و الگوریتم CONOPT3 استفاده شد. همچنین گردآوری آمار و اطلاعات مربوط به ضرایب فنی محصولات کشاورزی و نهاده‌ها در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷، از طریق آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی صورت پذیرفت.

### بعد بیوفیزیکی الگوی تجمیعی

در این مطالعه به‌منظور پیش‌بینی میزان تغییرات و نوسانات اقلیمی در دشت همدان-بهار، سنجه‌ی اقلیمی بارندگی مطابق با رابطه‌ی ۱۲ مورد ارزیابی قرار گرفت (Kiani Ghalehsard et al., 2020). در این رابطه  $Pr_{sct}$  نمایان‌گر میانگین بارش سالانه در هکتار در دوره‌ی آینده و  $\bar{P}_{ct}$  و  $S_c$  به ترتیب میانگین و واریانس بارش مشاهداتی در دوره‌ی پایه (۱۳۶۸-۱۳۹۷) هستند. همچنین اندیس‌های  $s$ ،  $c$  و  $t$  به ترتیب به مؤلفه‌های یارانه، سناریوی اقلیمی و زمان اشاره دارند. با در نظر گرفتن مقادیر مختلف  $\bar{P}_{ct}$  و  $S_c$  و با بهره‌گیری از تکنیک توزیع نرمال، مقادیر مختلف  $Pr_{sct}$  در افق برنامه‌ریزی تحقیق به صورت سالانه به‌دست آمد. لازم به ذکر است که می‌توان از تکنیک توزیع نرمال به عنوان یک روش آماری برای تولید داده در نرم‌افزار Excel استفاده کرد. در این روش با در نظر گرفتن مقادیر میانگین و واریانس به صورت برون‌زا و تعیین طول دوره‌ی زمانی، به یک سری زمانی با ویژگی‌های مورد نظر دست خواهیم یافت (Manceur and Dutilleul, 2013). در مطالعه‌ی حاضر نیز با در نظر گرفتن ۴ ترکیب مختلف از مقادیر میانگین و واریانس بارش، ۴ سری زمانی ۲۰ ساله‌ی بارش تولید شد و به این ترتیب، تغییرات

بارش در قالب چهار سناریو مورد بررسی قرار گرفت. رابطه‌ی ۱۲ در این خصوص نشان می‌دهد که مقادیر بارش سالانه ( $Pr_{sct}$ ) با در نظر گرفتن مقادیر برون‌زای میانگین ( $\bar{P}_{ct}$ ) و واریانس ( $S_c$ ) در دوره‌ی زمانی  $t$  به صورت نرمال ( $N$ ) تولید و حول میانگین توزیع شده‌است. در سناریوی اول، میانگین و واریانس بارش بدون تغییر و برابر با مقادیر متناظر آن‌ها در دوره‌ی پایه در نظر گرفته شد. این سناریو که تحت عنوان تغییر نرمال اقلیم شناخته می‌شود، معیار سنجش میزان تغییرات در سایر سناریوها خواهد بود. در سناریوی دوم یا سناریوی تغییر اقلیم، میانگین بارش با کاهش ۵۰ درصدی در مقایسه با مقدار آن در دوره‌ی پایه مواجه شده و واریانس بارش بدون تغییر خواهد بود. سناریوی سوم یا نوسان اقلیم، عدم تغییر در میانگین بارش و افزایش ۳۰ درصدی واریانس بارش در مقایسه با دوره‌ی پایه را در دستور کار خود دارد. در نهایت، در سناریوی چهارم، تغییرات و نوسانات اقلیم به صورت توانمند وقوع یافته و در مقایسه با دوره‌ی مشاهداتی، میانگین و واریانس بارش به ترتیب با کاهش ۵۰ درصدی و افزایش ۳۰ درصدی روبه‌رو خواهند شد.

$$Pr_{sct} = N(\bar{P}_{ct}, S_c) \quad (12)$$

در ادامه به منظور برآورد میزان تبخیر و تعرق محصولات زراعی ( $ET$ ) در دوره‌ی برنامه‌ریزی مطالعه‌ی حاضر، از رابطه‌ی ۱۳ استفاده شد. در مطالعات پیشین، وجود رابطه‌ی خطی میان تبخیر و تعرق و بارش، مورد توجه و تأیید قرار نگرفته است. با افزایش شدت بارندگی، تبخیر و تعرق تا رسیدن به نقطه‌ی بیشینه، افزایش خواهد یافت. پس از آن، خاک به مرحله‌ی اشباع می‌رسد و هرگونه بارش دریافتی تبدیل به روان‌آب شده و یا به آبخوان نفوذ خواهد کرد. بر این اساس، وجود رابطه از نوع درجه‌ی دوم میان  $ET$  و  $Pr$  توجیه‌پذیر خواهد بود (Garbrecht et al., 2004; Irmak et al., 2013).

$$ET_{akcst} = \beta 1_{ak} * Pr_{cst} - \beta 2_{ak} * (Pr_{cst})^2 \quad (13)$$

لازم به ذکر است که برآورد پارامترهای  $\beta 1$  و  $\beta 2$  در رابطه‌ی فوق، با بهره‌گیری از اطلاعات تبخیر و تعرق محصولات زراعی و متوسط بارش سالانه ( $\bar{P}$ ) ارائه شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی منطقه در دوره‌ی ۱۳۶۸-۱۳۹۷، از طریق روش GME (Mosavi et al., 2020) میسر گردید.

در گام بعدی، جهت تعیین مقادیر تولید و عملکرد محصولات کشاورزی منطقه در نتیجه‌ی وقوع تغییرات و نوسانات اقلیمی، از روابط ۱۴ و ۱۵ استفاده شد. در خصوص رابطه‌ی میان عملکرد محصولات کشاورزی و تبخیر و تعرق، بسیاری از محققین اذعان داشتند با توجه به اینکه کاربرد آب اضافی بیش از نقطه‌ی بیشینه تبخیر و تعرق، بهبود عملکرد محصول را در پی نخواهد داشت، شکل تبعی درجه‌ی دوم از نظر آماری در مقایسه با فرم خطی قوی‌تر است (Zhang et al., 1999; Liu et al., 2002). بنابراین، در این تحقیق با بهره‌گیری از اطلاعات مرتبط با عملکرد و تبخیر و تعرق محصولات زراعی منطقه در دوره‌ی ۱۳۶۸-۱۳۹۷، به برآورد پارامترهای  $\alpha 1$  و  $\alpha 2$  در قالب رابطه‌ی ۱۴ و با استفاده از روش GME پرداخته شد. سپس مقدار تولید محصولات زراعی دشت با استفاده از رابطه‌ی ۱۵، به تفکیک نوع محصول، تکنولوژی آبیاری، سناریوی اقلیمی، میزان یارانه و زمان تعیین شد.

$$Yield_{akcst} = \alpha 1_{ak} * ET_{akcst} + \alpha 2_{ak} * (ET_{akcst})^2 \quad (14)$$

$$TP_{akcst} = hectare_{akcst} * Yield_{akcst} \quad (15)$$

در ادامه، میزان اثرگذاری تغییرات و نوسانات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار، با استفاده از روابط ۱۶ و ۱۷ ارزیابی شد.

$$Seep_{cst} = Pr_{cst} - \sum_a \sum_k ET_{akcst} \quad (۱۶)$$

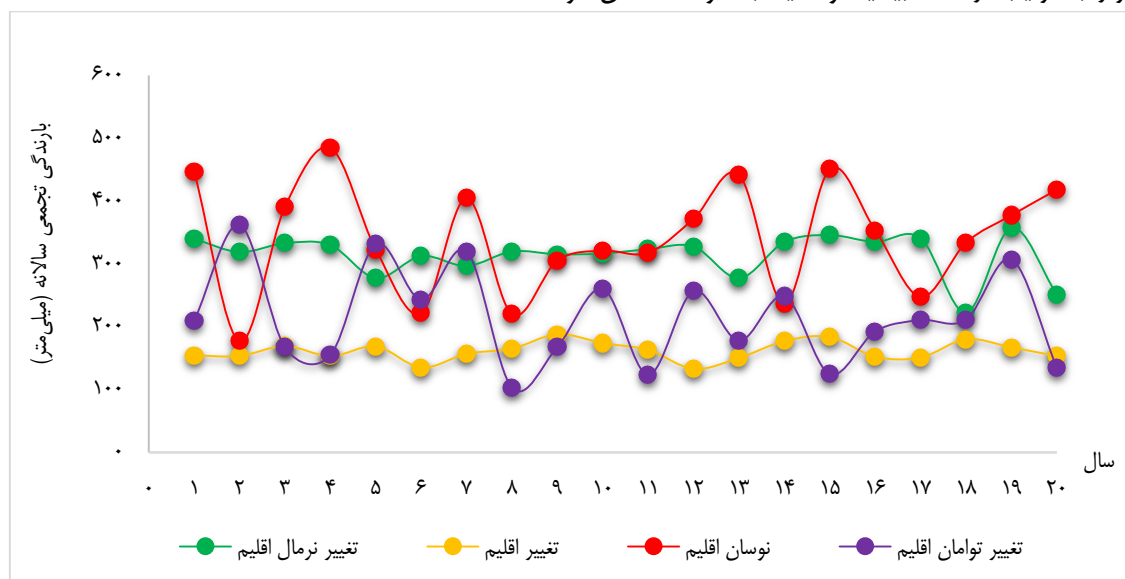
$$SV_{cst} = SV_{cst-1} + Seep_{cst} - \sum_a \sum_k GP_{akcst} - \overline{Ur}_{cst} \quad (۱۷)$$

در این روابط،  $Seep$  نمایانگر میزان نفوذ آب به سفره‌ی آب زیرزمینی دشت،  $SV$  ذخیره‌ی آبخوان،  $GP$  برداشت از آبخوان جهت آبیاری و  $\overline{Ur}$  برداشت از آبخوان جهت مصارف غیرکشاورزی است. رابطه‌ی ۱۶ میزان نفوذ به سفره‌ی آب زیرزمینی را به صورت اختلاف میان حجم بارش دریافتی و مجموع تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی در هر سال ارائه می‌کند. لازم به ذکر است که با توجه به ناچیز بودن منابع آب سطحی منطقه‌ی تحقیق، از اعمال حجم رواناب در رابطه‌ی مذکور اجتناب شد. در نهایت، مطابق با رابطه‌ی ۱۷، میزان ذخیره‌ی آبخوان دشت همدان - بهار در هر سال، به ذخیره‌ی آبخوان در سال پیشین، میزان نفوذ به آبخوان و نیز مقادیر برداشت کشاورزی و غیرکشاورزی از سفره‌ی آب زیرزمینی در سال جاری وابسته است (Gohar & Cashman, 2016).

لازم به توضیح است که تمامی روابط موجود در بعد بیوفیزیکی مطالعه‌ی حاضر، در الگوی PMP ادغام شد. هر یک از این روابط، فراهم‌آوری بخشی از اطلاعات مورد نیاز در الگوی تجربی تحقیق را بر عهده دارد که در نهایت چارچوب بهینه‌سازی پویای قیمت درون‌زای کنونی، با در نظر گرفتن تمامی روابط اقتصادی و بیوفیزیکی مورد بحث، به صورت واحد برآورد شد.

### یافته‌های پژوهشی و بحث

در این مطالعه ابتدا به منظور پیش‌بینی میزان تغییرات و نوسانات اقلیمی در دشت همدان - بهار، مجموع بارندگی سالانه در افق برنامه‌ریزی ۲۰ ساله‌ی تحقیق با استفاده از تکنیک توزیع نرمال، تعیین شد. نتایج حاصل از برآورد مذکور به تفکیک سناریوهای اقلیمی، در نمودار ۲ ارائه شده‌است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، در سناریوی تغییرات نرمال اقلیم، میانگین و واریانس بارش، مشابه مقادیر متناظر آن‌ها در دوره‌ی پایه، به ترتیب برابر ۳۳۳ میلی‌متر و ۵ درصد در نظر گرفته شد. در این شرایط بارش تجمعی سالانه در دوره‌ی ۲۰ ساله‌ی برنامه‌ریزی، در بازه‌ی مقداری ۳۵۷-۲۱۱ میلی‌متر و همراه با نوسانات محدود خواهد بود. در سناریوی تغییر اقلیم، میانگین و واریانس بارش به ترتیب هم‌گام با کاهش ۵۰ درصدی و عدم تغییر، برابر ۱۶۱/۵ میلی‌متر و ۵ درصد، پیش‌بینی شد. لذا در این سناریو، سری زمانی بارش تجمعی سالانه، مقادیر ۱۸۷ و ۱۳۳ میلی‌متر را به ترتیب در حالت بیشینه و کمینه به خود اختصاص خواهد داد.



نمودار ۲. مقادیر بارش تجمعی سالانه‌ی دشت همدان - بهار در سناریوهای اقلیمی در افق برنامه‌ریزی تحقیق

همچنین در سناریوی نوسان اقلیم، با لحاظ نمودن میانگین بارش ۳۲۳ میلی‌متر و واریانس ۳۰ درصد، مقادیر بیشینه و کمینه‌ی بارش تجمعی سالانه به ترتیب برابر ۴۸۴ و ۱۷۷ میلی‌متر به دست آمد. در نهایت بر اساس سناریوی تغییر توأمان اقلیم، چنانچه در افق برنامه‌ریزی تحقیق، میانگین بارش برابر ۱۶۱/۵ میلی‌متر و واریانس بارش برابر ۳۰ درصد در نظر گرفته شود، بارش تجمعی سالانه در افق مذکور در بازه‌ی ۳۶۲-۱۰۳ میلی‌متر قرار خواهد گرفت.

پس از پیش‌بینی مقادیر بارش تجمعی سالانه، سناریوهای اقلیمی در الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت پویای قیمت درون‌زا لحاظ و چگونگی اثرگذاری این سناریوها بر الگوی کشت از طریق تغییر مقادیر تبخیر و تعرق و در پی آن، عملکرد محصولات کشاورزی دشت همدان- بهار، با بهره‌گیری از روابط ۱۳ و ۱۴، تعیین شد. همچنین میزان اثرپذیری منابع آب زیرزمینی دشت در رویارویی با تغییرات اقلیمی مورد بحث، با استفاده از روابط ۱۶ و ۱۷، ارزیابی و در الگوی PMP لحاظ شد. در ادامه، نتایج اعمال مجموعه‌ی این تغییرات در الگوی PMP در افق برنامه‌ریزی مطالعه‌ی حاضر ارائه شده‌است. در ابتدا به منظور اعتباربخشی به نتایج مدل، الگوی کشت دشت همدان- بهار در قالب جدول ۱ در حالت مشاهداتی در سال پایه ۹۷-۱۳۹۶ و نیز در شرایط کالیبراسیون مدل PMP جهت بازتولید الگوی پایه، ارائه شده‌است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، این الگو به شکلی مطلوب نسبت به داده‌های سال پایه تطبیق یافته و در بازتولید الگوی کشت سال پایه توانمند بوده‌است.

در جدول ۲، میزان برداشت آب از سفره‌ی آب زیرزمینی دشت همدان- بهار جهت مصارف بخش کشاورزی در این منطقه در دوره‌ی زمانی ۲۰ ساله‌ی آتی، مورد بحث قرار گرفته‌است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مطابق با سناریوی تغییر نرمال اقلیم، چنانچه در این دشت، میانگین و واریانس سنجه‌ی اقلیمی بارش در آینده، مشابه با شرایط کنونی وقوع یابد، میزان برداشت بخش کشاورزی از آبخوان این منطقه، در ۲۰ سال آتی به طور متوسط برابر ۲۷۶ میلیون متر مکعب خواهد بود. از سوی دیگر، چنانچه میانگین بارش با کاهش ۵۰ درصدی مواجه شود و سناریوی تغییر اقلیم وقوع یابد، میزان برداشت مذکور برابر ۳۸۰ میلیون مترمکعب خواهد بود که نمایان‌گر افزایش ۳۸ درصدی برداشت از آب زیرزمینی منطقه در شرایط وقوع تغییرات اقلیم است. افزون بر این، بر اساس سناریوی تغییرات توأمان اقلیم، میزان برداشت بخش کشاورزی از آبخوان دشت در ۲۰ سال آینده، با افزایش ۴۴ درصدی مواجه خواهد شد. این در حالی است که در صورت تحقق سناریوی نوسان اقلیم، افزایش برداشت بخش کشاورزی از منابع آبی منطقه در مقایسه با سناریوی تغییر نرمال اقلیم، کمتر از ۲ درصد خواهد بود.

جدول ۱. الگوی کشت دشت همدان - بهار در حالت مشاهداتی در سال پایه و کالیبراسیون توسط مدل PMP

| محصول        | مشاهداتی | کالیبراسیون |
|--------------|----------|-------------|
| جو آبی       | ۱۰۳۶۱    | ۱۰۳۵۹/۱۱    |
| جو دیم       | ۱۵۶۶۰    | ۱۵۶۵۵/۴۶    |
| چغندر قند    | ۱۳۲      | ۱۳۱/۰۶      |
| خیار         | ۳۵۷      | ۳۵۶/۹۹      |
| ذرت علوفه‌ای | ۳۰۳      | ۳۰۱/۹۷      |
| سیب زمینی    | ۹۶۰۱     | ۹۶۰۰/۹۴     |
| سیر          | ۱۹۳۵     | ۱۹۳۴/۰۱     |
| عدس دیم      | ۵۷       | ۵۶/۹۹       |
| کدو آجیلی    | ۵۲۱      | ۵۱۹/۹۲      |
| کلزا         | ۲۱۶      | ۲۱۵/۹۵      |
| گندم آبی     | ۱۳۳۴۱    | ۱۳۳۳۹/۲۷    |
| گندم دیم     | ۸۲۹۳۵    | ۸۲۹۳۹/۸۵    |
| گوجه‌فرنگی   | ۱۸       | ۱۸/۹۳       |
| لوبیا        | ۱۵       | ۱۴/۹۹       |
| نخود         | ۶۸       | ۶۷/۹۹       |
| هندوانه      | ۳۰۱      | ۳۰۰/۹۷      |
| هندوانه دیم  | ۶        | ۵/۹۱        |
| یونجه        | ۸۴۸۲     | ۸۴۸۱/۹۸     |

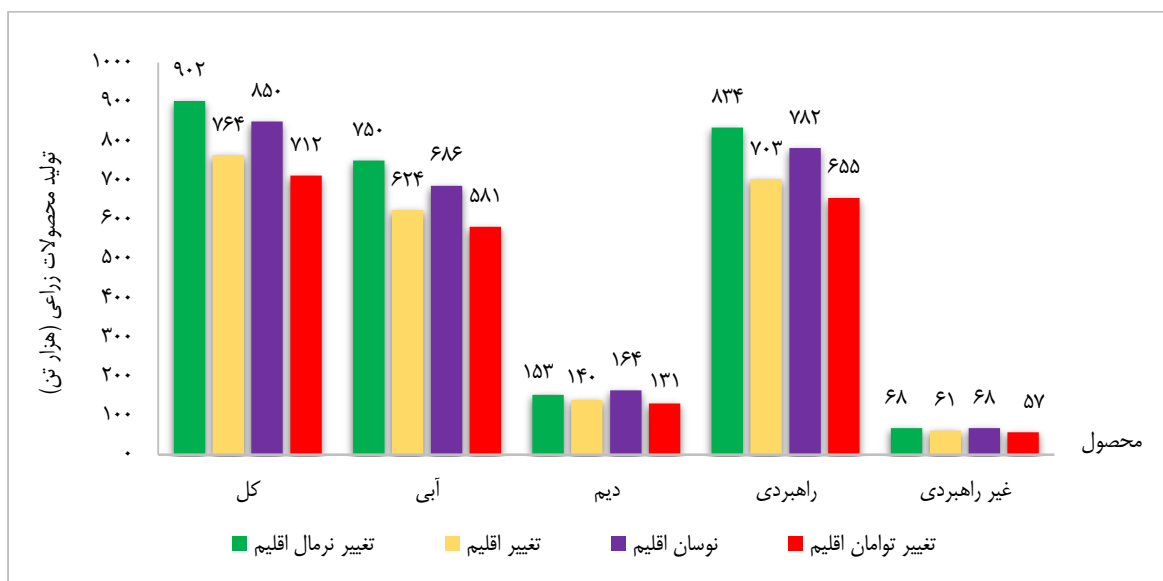
منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۲. میزان برداشت آب بخش کشاورزی منطقه در سناریوهای اقلیمی در افق برنامه‌ریزی تحقیق (میلیون متر مکعب)

| سال | تغییر نرمال اقلیم | تغییر نوسان اقلیم | تغییر توامان اقلیم | سال     | تغییر نرمال اقلیم | تغییر نوسان اقلیم | تغییر توامان اقلیم |
|-----|-------------------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|-------------------|--------------------|
| ۱   | ۲۷۵               | ۳۸۱               | ۲۷۰                | ۳۶۰     | ۲۷۴               | ۳۸۹               | ۲۷۷                |
| ۲   | ۲۷۵               | ۳۸۴               | ۳۵۰                | ۳۷۸     | ۲۷۶               | ۴۱۵               | ۲۴۵                |
| ۳   | ۲۷۵               | ۳۸۹               | ۲۷۵                | ۳۹۵     | ۲۷۸               | ۴۱۱               | ۲۶۴                |
| ۴   | ۲۷۵               | ۳۸۹               | ۲۴۰                | ۳۹۵     | ۲۷۸               | ۳۹۵               | ۲۷۵                |
| ۵   | ۲۷۷               | ۳۸۸               | ۲۸۷                | ۳۴۵     | ۲۷۷               | ۳۹۵               | ۲۴۶                |
| ۶   | ۲۷۶               | ۴۱۰               | ۲۹۰                | ۳۴۵     | ۲۷۶               | ۴۱۲               | ۲۷۶                |
| ۷   | ۲۷۶               | ۳۹۲               | ۲۴۵                | ۲۸۰     | ۲۷۶               | ۴۱۲               | ۲۹۹                |
| ۸   | ۲۷۵               | ۳۹۰               | ۲۸۵                | ۴۳۰     | ۲۸۱               | ۳۹۹               | ۲۸۴                |
| ۹   | ۲۷۴               | ۳۹۰               | ۲۷۷                | ۴۲۵     | ۲۷۹               | ۳۹۸               | ۲۸۵                |
| ۱۰  | ۲۷۴               | ۳۹۲               | ۲۷۵                | ۳۹۰     | ۲۸۲               | ۴۰۱               | ۲۷۶                |
|     |                   |                   |                    | میانگین | ۲۷۶               | ۳۸۰               | ۲۸۰                |
|     |                   |                   |                    |         |                   |                   | ۳۹۷                |

منبع: یافته‌های تحقیق

در مجموع با توجه به نتایج، این انتظار وجود دارد که کمیابی موجود در خصوص منابع آبی منطقه، در صورت بروز سناریوی تغییرات توأمان اقلیم، با شدت بیش‌تری در سال‌های آتی ادامه یابد. در ادامه و در قالب نمودار ۳، میزان تولید بخش کشاورزی دشت همدان - بهار به تفکیک نوع محصول در سناریوهای مختلف اقلیمی ارائه شده‌است.

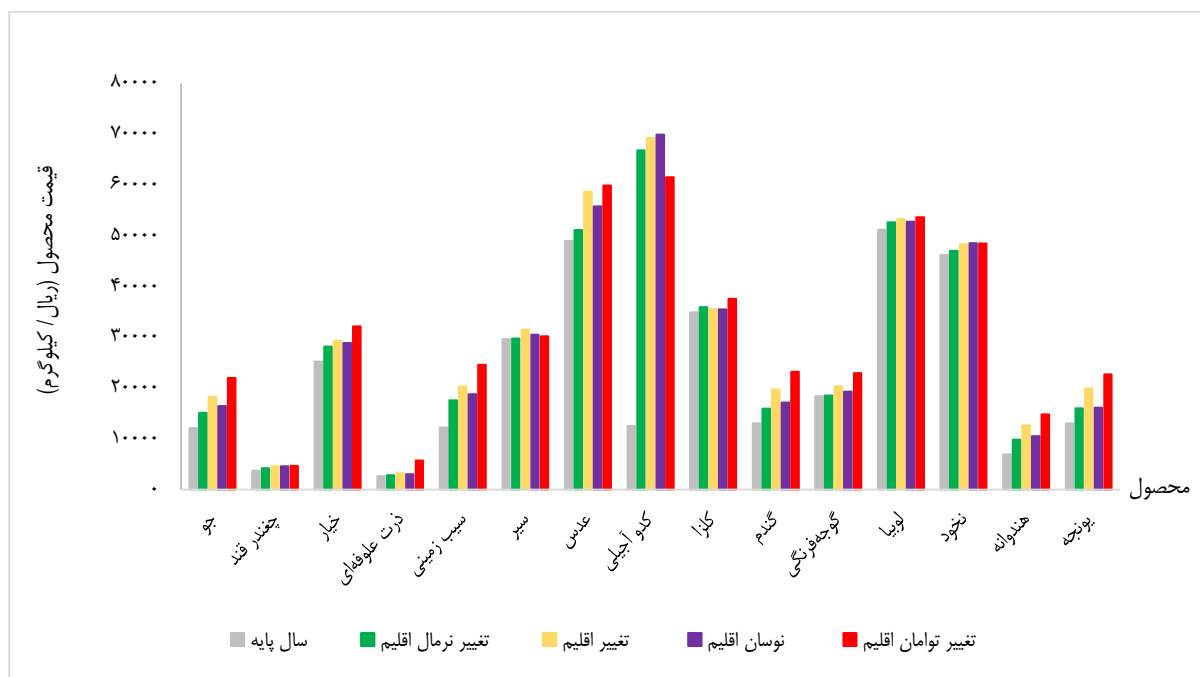


نمودار ۳. میانگین تولید سالانه‌ی محصولات زراعی منطقه در سناریوهای اقلیمی در افق برنامه‌ریزی تحقیق

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار تولید محصولات زراعی این دشت در میانگین سالانه‌ی دوره‌ی برنامه‌ریزی تحقیق، مطابق با سناریوی تغییر نرمال اقلیم برابر ۹۰۲ هزار تن خواهد بود که در صورت تحقق سایر سناریوها، مقدار مذکور کاهش می‌یابد. در این میان، بیش‌ترین میزان کاهش تولید، در سناریوی تغییرات توأمان اقلیم و برابر ۱۹۰ هزار تن خواهد بود که نحوه‌ی توزیع این کاهش به صورت ۱۶۹ هزار تن تولید آبی و ۲۲ هزار تن تولید دیم پیش‌بینی شده‌است. لازم به ذکر است که کاهش میانگین بارش و افزایش نوسانات در توزیع زمانی آن، آثار منفی بر تبخیر و تعرق و در پی آن بر عملکرد اغلب محصولات خواهد داشت که کاهش مقدار تولید یکی از تبعات منفی این موضوع است. در سناریوهای تغییر اقلیم و نوسان اقلیم نیز مقدار تولید در میانگین سالانه‌ی دوره‌ی برنامه‌ریزی، به ترتیب برابر ۷۶۴ و ۸۵۰ هزار تن برآورد شد که نمایان‌گر کاهش تولیدات کشاورزی منطقه به میزان ۱۳۸ و ۵۲ هزار تن است. بنابراین، می‌توان دریافت که افزایش پراکندگی بارش بدون وقوع تغییر در میانگین آن، کم‌ترین اثر منفی را بر تولیدات کشاورزی منطقه خواهد داشت. علاوه بر این، با توجه به نمودار ۳، از ۹۰۲ هزار تن تولید کل محصولات در سناریوی پایه، ۸۳۴ هزار تن در ارتباط با محصولات راهبردی و مابقی محصولات غیرراهبردی است. شایان توجه است که محصولات راهبردی شامل گندم، جو، سیب‌زمینی، علوفه و دانه‌های روغنی هستند. با وقوع سناریوهای اقلیمی، تولید کل محصولات راهبردی کاهش می‌یابد به نحوی که میزان تولید محصولات مذکور در سناریوهای تغییر اقلیم، نوسان اقلیم و تغییر توأمان اقلیم به ترتیب برابر ۷۰۳، ۷۸۲ و ۶۵۵ هزار تن خواهد بود. بدیهی است کاهش تولید محصولات راهبردی، ابعاد مختلف امنیت غذایی منطقه شامل دسترسی فیزیکی و پایداری در دریافت مواد غذایی را تهدید می‌کند.

در ادامه، تغییرات قیمت محصولات کشاورزی دشت همدان - بهار در سال پایه و در سناریوهای مختلف اقلیمی مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌است. همان‌طور که در نمودار ۴ مشاهده می‌شود، با ایجاد تغییر در شرایط اقلیمی، قیمت اغلب محصولات در مقایسه با سناریوی تغییر نرمال اقلیم افزایش خواهد یافت. به عنوان مثال قیمت هر کیلوگرم محصول راهبردی گندم در سناریوهای تغییر اقلیم، نوسان اقلیم و تغییرات توأمان اقلیم در مقایسه با سناریوی تغییر نرمال اقلیم، به ترتیب به میزان ۳۷۶۰، ۱۲۰۰ و ۷۲۷۰ ریال افزایش خواهد یافت.





نمودار ۴. مقدار متوسط قیمت محصولات زراعی منطقه در سال پایه و سناریوهای اقلیمی در افق برنامه‌ریزی تحقیق

ارقام مذکور در مورد محصول سیب‌زمینی که عمده‌ترین تولید زراعی منطقه است، به ترتیب برابر ۲۷۳۰، ۱۲۱۰ و ۷۰۳۰ ریال پیش‌بینی شده‌است. لازم به توضیح است که کاهش تولید محصولات کشاورزی منطقه به دلیل اثرپذیری منفی عملکرد اغلب محصولات در مواجهه با تغییر شرایط اقلیمی، موجب کاهش عرضه و در پی آن افزایش قیمت محصولات می‌شود. افزون بر این، همگام با کاهش بارندگی و افزایش میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی جهت آبیاری محصولات کشاورزی، هزینه‌های تولید، به دلیل افزایش عمق پمپاژ آب زیرزمینی، افزایش خواهند یافت که این موضوع تبعات منفی تغییر شرایط اقلیمی بر قیمت محصولات را دوچندان می‌نماید. با این حال، در خصوص برخی محصولات همچون چغندر قند، کلزا و عدس، قیمت محصول در دوره‌ی آتی نسبت به سناریوی پایه، کاهش خواهد یافت. در این محصولات تاثیرپذیری عملکرد نسبت به تغییرات اقلیم، مثبت و یا در صورت منفی بودن، بسیار اندک است. بنابراین، در صورت تحقق سناریوهای اقلیمی، تولید محصولات مذکور کاهش نخواهد یافت و افزایش هزینه‌های تولید نیز فاقد اثرگذاری غالب بر قیمت این محصولات است. بنابراین قیمت محصولات مذکور در سناریوهای اقلیمی نسبت به سناریوی تغییر نرمال اقلیم، کاهش خواهد یافت. بدیهی است منظور از کاهش قیمت یک محصول در دوره‌ی برنامه‌ریزی این است که اگر چه قیمت محصول در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی مشاهداتی افزایش یافته، مقدار این افزایش در مقایسه با سناریوی تغییر نرمال اقلیم کمتر است و لذا قیمت محصول در دوره‌ی آتی نسبت به سناریوی پایه کاهش خواهد یافت.

افزایش قیمت محصولات کشاورزی، از یک سو بر درآمد تولیدکنندگان اثر دارد و از سویی دیگر رفاه مصرف‌کنندگان را دستخوش نوسان می‌نماید. در جدول ۳، ارزش حال مازادهای اقتصادی در بخش کشاورزی دشت همدان - بهار در افق برنامه‌ریزی تحقیق، به تفکیک سناریوهای اقلیمی ارائه شده‌است.

جدول ۳. ارزش حال مازادهای اقتصادی بخش کشاورزی منطقه در سناریوهای اقلیمی در افق برنامه‌ریزی تحقیق

| سناریو             | مازاد مصرف‌کننده<br>(میلیارد ریال) | مازاد تولیدکننده<br>(میلیارد ریال) | رفاه اقتصادی کل<br>(میلیارد ریال) |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| تغییر نرمال اقلیم  | ۳۱۰۴۲۰                             | ۳۵۳۷۰۰                             | ۶۶۴۱۲۰                            |
| تغییر اقلیم        | ۳۳۲۸۱۵                             | ۴۰۶۷۵۵                             | ۶۳۹۵۷۰                            |
| نوسان اقلیم        | ۲۸۵۵۸۶                             | ۳۶۴۳۱۱                             | ۶۴۹۸۹۷                            |
| تغییر توأمان اقلیم | ۲۲۶۶۰۷                             | ۴۱۰۲۹۲                             | ۶۳۶۸۹۹                            |

منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در صورت تحقق سناریوی تغییر نرمال اقلیم در دوره‌ی ۲۰ ساله‌ی برنامه‌ریزی، مقادیر ارزش حال مازادهای مصرف‌کننده، تولیدکننده و رفاه اقتصادی کل در بخش کشاورزی منطقه‌ی تحقیق به ترتیب برابر ۳۱۰۴۲۰، ۳۵۳۷۰۰ و ۶۶۴۱۲۰ میلیارد ریال خواهد بود. این در حالی است که در سایر سناریوها، ارزش حال کمتری در خصوص مازاد مصرف‌کننده حاصل می‌شود به نحوی که مقدار مذکور در سناریوهای تغییر اقلیم، نوسان و تغییر توأمان اقلیم نسبت به سناریوی پایه به ترتیب با ۲۵، ۸ و ۲۷ درصد تنزل مواجه خواهد شد. همچنین ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار رفاه تولیدکننده برابر ۴۱۰۲۹۲ میلیارد ریال و در سناریوی تغییر توأمان اقلیم حاصل می‌شود. به بیان دیگر، میزان ارتقا مازاد تولیدکننده در سناریوهای تغییر اقلیم، نوسان و تغییر توأمان اقلیم نسبت به سناریوی پایه به ترتیب برابر ۱۵، ۳ و ۱۶ درصد خواهد بود. همان‌طور که مشهود است، بیش‌ترین مقدار افزایش و بیش‌ترین مقدار کاهش به ترتیب در ارزش حال مازادهای تولیدکننده و مصرف‌کننده، در صورت تحقق سناریوی تغییر توأمان اقلیم حاصل می‌شود. در مجموع می‌توان دریافت که چنانچه نوسانات بارش بدون وجود تغییر در میانگین این سنج‌های اقلیمی صورت پذیرد، کم‌ترین اثرپذیری در مازادهای اقتصادی ایجاد خواهد شد. در مقابل، در صورت تحقق هم‌زمان تغییرات و نوسانات اقلیمی، بیش‌ترین تاثیر مثبت در مازاد تولیدکننده و بیش‌ترین تاثیر منفی در مازاد مصرف‌کننده وقوع خواهد یافت. نتایج حاصل در خصوص ارزش حال رفاه اقتصادی کل نیز مؤید آن است که در سناریوی تغییر توأمان اقلیم، کم‌ترین مقدار این شاخص، که برابر با ۶۳۶۸۹۹ میلیارد ریال است، در مقایسه با سناریوی تغییر نرمال اقلیم به دست خواهد آمد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با هدف تحلیل و ارزیابی آثار رفاهی تغییرات و نوسانات اقلیمی بر بخش کشاورزی دشت همدان - بهار در قالب سناریوهای تغییر نرمال اقلیم، تغییر اقلیم، نوسان و تغییرات توأمان اقلیم در یک دوره‌ی برنامه‌ریزی ۲۰ ساله، طرح‌ریزی شد. بر اساس نتایج حاصل، تغییر شرایط اقلیمی کنونی در سال‌های پیش رو، آثاری شایان توجه بر شاخص‌های بیوفیزیکی و اقتصادی منطقه در پی خواهد داشت. تغییر شرایط آب و هوایی، از طریق اثرگذاری منفی بر دسترسی به منابع آب زیرزمینی و نیز عملکرد اغلب محصولات، موجب کاهش تولید و افزایش قیمت مواد غذایی می‌شود. ارتقا قیمت محصولات، از یک سو با کاهش قدرت خرید، مصرف‌کنندگان را در سطوح پایین‌تری از مصرف قرار می‌دهد که با توجه به کم‌کشش بودن تقاضای محصولات غذایی در مواجهه با تغییرات قیمت، تامین غذا با افزایش قیمت همراه خواهد شد. این شرایط، آثاری نامطلوب بر مازاد مصرف‌کنندگان به ویژه در سناریوی تغییر توأمان اقلیم، ایجاد و از سویی دیگر، فرصت افزایش درآمد مزرعه را برای اغلب تولیدکنندگان فراهم می‌کند. وقوع شرایط مذکور، رفاه مصرف‌کنندگان و به تبع آن، ارکان مختلف امنیت غذایی را تحت الشعاع قرار می‌دهد. همچنین بر اساس نتایج تحقیق در خصوص آثار رفاهی کل، اگر چه بخشی از زیان رفاهی مصرف‌کنندگان از طریق ارتقا منافع تولیدکنندگان بهبود می‌یابد، جبران کامل این زیان ناممکن خواهد بود. بنابراین رفاه اقتصادی کل با مسیری کاهنده تغییر خواهد یافت. نتایج پژوهش حاضر همچنین مؤید آن مسئله است که در صورت تحقق توأمان تغییرات و نوسانات

اقلیمی، کاهش منافع مصرف کنندگان، افزایش منافع تولیدکنندگان و در مجموع، کاهش رفاه اقتصادی کل، با شدت بیش تری وقوع می یابد. در این شرایط با توجه به اینکه اجتناب از اشکال مختلف سناریوهای اقلیمی، ناممکن است، لازم است راهبردهای سازگاری با پدیده مذکور، در جهت تخفیف یافتن آثار منفی آن بر امنیت غذایی منطقه اعمال شود. بر این اساس پیشنهاد می شود که در سطح گیاه، مزرعه و حوضه، اقداماتی همچون استفاده از بذرها، پربازده و مقاوم به تنش خشکی، کاربرد روش های کم آبیاری و ارتقا تکنولوژی آبیاری به منظور مصرف آب متناسب با نیاز آبی محصولات، کاهش میزان تبخیر و تعرق از طریق اصلاح تاریخ کاشت و شخم، افزایش نفوذ آب به سفره ی آب زیرزمینی از طریق بهبود کیفیت خاک، افزایش بهره وری اقتصادی آب از طریق انتخاب بهینه ی محصولات و در نهایت، استفاده از پساب در تولید بخش کشاورزی، در دستور کار قرار گیرد.

## References

- Afruzi, A., & Zare Abyaneh, H. (2020). Investigation of agricultural water demand under the combination scenarios of climate change, irrigation efficiency enhancement, cropping pattern changes, and the development of early-maturing cultivars: A case study of Hamedan-Bahar plain. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(1), 61-75. (in Persian)
- Akhavan, S., Ghabaei Sough, M., & Mosaedi, A. (2015). Investigation of the effect of climate change on net irrigation-requirement of main crops of Hamadan-Bahar plain using LARS-WG5 downscaling model. *Water and Soil Conservation*, 22(4), 25-46. (in Persian)
- Ardakani, Z., Bartolini, F., & Brunori, G. (2017). Food and nutrition security in Iran: application of TOPSIS technique. *Mediterranean Journal of Economics, Agriculture and Environment*, 16(1), 18-28.
- Arfini, F., Donati, M., & Paris, Q. (2008). Innovation in estimation of revenue and cost functions in PMP using FADN information at regional level. In 12th Congress of the European Association of Agricultural Economists (EAAE). No. 725-2016-49576.
- Barikani, E., Shajari, S., & Amjadi, A. (2008). Price and income elasticity of demand for food in Iran: a dynamic demand system. *Agricultural Economics and Development*, 15(4), 125-145. (in Persian)
- Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R. S. J., & Ringler, C. (2013). Economywide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa. *Ecological Economics*, 93, 150-165.
- Caputo, M. R., & Paris, Q. (2008). Comparative statics of the generalized maximum entropy estimator of the general linear model. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 195-203.
- Ferreira, F. H. G., Fruttero, A., Leite, P. G., & Lucchetti, L. R. (2013). Rising food prices and household welfare: evidence from Brazil in 2008. *Journal of Agricultural Economics*, 64(1), 151-176.
- Garbrecht, J., Van Liew, M., & Brown, G. O. (2004). Trends in precipitation, streamflow and evapotranspiration in the Great Plains of the United States. *J. Hydrol. Eng*, 9, 360-367.
- Gohar, A. A., & Cashman, A. (2016). A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare. *Agricultural Systems*, 147, 51-64.
- Hashemi Tabar, M., Akbari, A., & Darini, M. (2018). Analysis of factors affecting food security in rural areas of southern Kerman province. *Space Economics and Rural Development*, 7 (24), 1-18. (in Persian)
- Howitt, R. E. (1995). Positive mathematical programming. *Am. J. Agric. Econ*, 77 (2), 329-342.
- Iran Ministry of Agriculture Jihad, (2022). <https://www.maj.ir/>
- Irmak, S., Odhiambo, L. O., Specht, J. E., & Djaman, K. (2013). Hourly and daily single and basal evapotranspiration crop coefficients as a function of growing degree days, days after emergence, leaf area index, fractional green canopy cover, and plant phenology for soybean. *Trans. ASABE*, 56, 1785-1803.
- Johansson, R., Luebehusen, E., Morris, B., Shannon, H., & Meyer, S. (2015). Monitoring the impacts of weather and climate extremes on global agricultural production. *Weather and Climate Extremes*, 10, 65-71.

- Jozi, A., Safa, L., & Salali Moghadam, N. (2020). A study on the effects of nutritional awareness and attitude on rural households' food security level (The case of Zanjan county). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 51(4), 715-730. (In Persian)
- Karimi, S., Rasekhi, S., & Ehsani, M. (2010). An investigation of the demand for subsidized food in urban areas of Iran, using AIDS model for subsidy allocation priority. *Iranian Journal of Economic Research*, 13(39), 147-166. (in Persian)
- Kiani Ghalehsard, S., Shahraki, J., Akbari, A., & Sardar Shahraki, A. (2020). Investigating the effects of climate change on food security of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(22), 19-40. (in Persian)
- Liu, W. Z., Hunsaker, D. J., Li, Y. S., Xie, X. Q., & Wall, G. W. (2002). Interrelations of yield, evapotranspiration and water use efficiency from marginal analysis of water production function. *Agric. Water Manag.*, 56, 143-151.
- Manceur, A. M., & Dutilleul, P. (2013). Maximum likelihood estimation for the tensor normal distribution: Algorithm, minimum sample size, and empirical bias and dispersion. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 239, 37-49.
- Moazzezi, F., Yavari, G. R., Mosavi, S. H., & Bagheri, M. (2020). Assessing the impact of climate change on agriculture in Hamedan-Bahar plain with emphasis on water productivity and food security. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 34(3), 305-323. (in Persian)
- Momeni, S., & Zibaei, M. (2013). The potential impacts of climate change on the agricultural sector of Fars province. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 27(3), 169-179. (in Persian)
- Mosavi, S. H., Soltani, S., & Khalilian, S. (2020). Coping with climate change in agriculture: Evidence from Hamadan-Bahar plain in Iran. *Agricultural Water Management*, 241, 106332.
- Munesue, Y., Masui, T., & Fushima, T. (2015). The effects of reducing food losses and food waste on global food insecurity, natural resources, and greenhouse gas emissions. *Environmental Economics and Policy Studies*, 17(1), 43-77.
- Pakravan, M., Hosseini, S., Salami, H., & Yazdani, S. (2015). Identifying effective factors on food security of Iranian's rural and urban household. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 46(3), 395-408. (in Persian)
- Parhizkari, A., & Yazdani, S. (2017). Assessment of the economic and hydrological effects of the climate change on Kharrood watershed. *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(3), 711-724. (in Persian)
- Qureshi, M. E., Ahmad, M. U. D., Whitten, S. M., & Kirby, M. (2012). A multi-period positive mathematical programming approach for assessing economic impact of drought in the Murray-Darling basin, Australia. *Economic Modeling*, 39, 293-304.
- Ravand, L., Dourandish, A., & Sabuhi, M. (2018). Effect of trade liberalization on production, consumption and trade of rice. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 32(3), 199-212. (in Persian)
- Regional Water Company of Hamadan, (2022). <https://www.hmrw.ir/st/72>
- Sabouhi, M., & Ahmadpour, M. (2012). Estimation of Iran agricultural products demand functions using mathematical programming (Application of maximum entropy method). *Agricultural Economics*, 6(1), 71-91. (in Persian)
- Seyedan, S., Kohansal, M., & Ghorbani, M. (2016). Welfare effect of excessive extraction of groundwater resources in the plain of Hamadan-Bahar. *Agricultural Economics*, 10(3), 129-153. (in Persian)
- Shahvari, N., Khalilian, S., Mosavi, S. H., & Mortazavi, S. A. (2019). Assessing climate change impacts on water resources and crop yield: a case study of Varamin plain basin, Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 191(3), 1-12.
- Van Passel, S., Massetti, E., & Mendelsohn, R. (2017). A Ricardian analysis of the impact of climate change on European agriculture. *Environmental and Resource Economics*, 67(4), 725-760.
- Zhang, H., Wang, X., You, M., & Liu, C. (1999). Water-yield relations and water-use efficiency of winter wheat in the North China plain. *Irrig. Sci.*, 19, 37-45.