Research Paper

Optimization of Cropping Pattern of Major Agricultural and Horticultural Crops in Yazd Province

Bita Moravejalahkami [1], Mohammad Ekrami [2*], Shojaat Zare [3], Mohammad Reza Vazifeshenas[4], Seyyed Alireza Esmaeilzadeh-Hosseini[5], Mohammad Hasan Rahimian[6]

[1] Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.
[2] Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.; Ekrami64@gmail. com (Corresponding Author).
[3] Assistant Professor, Economic, Social and Extension Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
[4] Assistant Professor, Improvement Plant and Seed Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Research, AREEO, Yazd, Iran.
[5] Assistant Professor, Plant Protection Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran.
[6] Assistant Professor, National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

10.22125/IWE.2025.478676.1830

Received:
July 1, 2023
Accepted:
June 25, 2024
Available online:
April 25, 2025

Keywords:
Productivity, yield, used water, cropping pattern

Abstract

In this study for determining the most proper cropping patterns of agricultural and horticultural crops, the basic information was collected. An optimization cropping pattern model was presented based on crop water needs, production cost, income, and available water for six scenarios. The first scenario was based on maximum income and reducing the cultivation area; the second and third scenarios were based on minimum cultivation area, the first 5-year program for main crops with and without vegetables, respectively; the fourth and fifth scenarios were based on minimum cultivation area, the first 10-year program for main crops with and without vegetables respectively, and the sixth scenario was based on maximum income considering the limited resources. The results showed that the most value of economic productivity parameter is related to the fourth, fifth, sixth, second, third, and first scenarios, respectively. Based on the results of the optimized model and fourth scenario, the cultivation area of wheat and barley was reduced for all the cities of Yazd province, also keeping the cultivation area of pomegranate, increasing the cultivation area of pistachio was proposed. Additionally, the model based on the fourth scenario suggested increasing the saffron cultivation area for all cities of Yazd province.

1. Introduction

With an arid and semi-arid climate, low precipitation, and high evapotranspiration, Yazd province faces a sever water crisis for agricultural activities. Therefore, cropping pattern design is necessary to use the current capacities and provide some of the regional and national food requirements. According to the previous

* **Corresponding Author:** Mohammad Ekrami
Address: Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
Email: Ekrami64@gmail,com
Tel: (0098)35382419901

studies about renewable surface and underground water per capita and water tension in Yazd province, the presentation of the proper crop pattern based on the limitations in each region is necessary. Limitations for determining the cropping pattern include climate restrictions, soil characteristics, and available water limitations considering economic and strategic issues in agriculture. In this study, an optimization model for cropping pattern was presented. Using this model and considering the water need for each crop, production costs, crop yield, income, and available water resources, the most proper cropping pattern of agricultural and horticultural productions was presented for each city of Yazd province.

2. Materials and Methods

In this study crop water need was estimated based on evapotranspiration in each city of Yazd province using the FAO Penman- Monteith equation. Also, irrigation water requirement was computed using crop water need and effective precipitation in each region. A linear planning model was introduced to present the cropping pattern, simulate the current situation and evaluate and investigate the feasibility of crop pattern variations. This model includes technical and economical sections. The most crucial input data in the technical part of the presented model is monthly available water. In the first step, the model optimization was conducted based on current conditions, dominant crop products in each city, crop yield, and used volume of water. Then the optimized and initial values were compared. The selected crops were based on technical and economical coefficients of objective functions and limitations of each crop. The investigated scenarios were, scenario 1 which, was based on maximum income and reducing the cultivation area to maximum 50% of the current cultivation area; scenarios 2 and 3 were based on minimum cultivation area and the first 5-year program for main crops and main crops without vegetables respectively, scenarios 4 and 5 that were based on minimum cultivation area and the first 10-year program for main crops and main crops without vegetables respectively, and scenario 6 that was based on maximum income considering the limited resources.

3. Results

According to the results of this study, the income was increased by 43.24%, 32.66%, 31.87%, 78.1%, 77.2% and 86% for the first, second, third, fourth, fifth, and sixth scenarios, respectively. However, the water use decreased from 7800m^3/hr to 7300m^3/hr, 6800m^3/hr, 6800m^3/hr, 5800m^3/hr, 6000m^3/hr and 8000m3/hr for the first, second, third, fourth, fifth, and sixth scenarios, respectively. Agricultural crop production increased for scenarios 2, 3, 4, and 5 and decreased for scenarios 1 and 6. Alfalfa production decreased for all scenarios. Wheat production was decreased for scenarios 1, 2, and 3, omitted for scenario 6, and kept the same for scenarios 4 and 5. Production of horticultural crops increased for scenarios 4 and 5. The most variations in horticultural crop production were for Ardakan, Khatam, Taft, Abarkooh and Mehriz cities. The results showed that the most value of economic productivity parameter (the ratio of net income to used water) is related to the fourth, fifth, sixth, second, third, and first scenarios, respectively. Based on the results of this study, keeping the cultivation area of pomegranates and increasing the cultivation area of pistachios are proposed in Yazd province. Also, increasing the cultivation area of saffron is proposed for all the regions of Yazd province.

4. Discussion and Conclusion

Based on the results of this study, the estimated used water for the second, third, fourth and fifth scenarios, was 6800, 6800, 5800 and 6000 m^3/hr, respectively. According to the used water for current cultivation pattern (7800 cubic meters per hectare) the reduction of used water per hectare for the fourth and fifth scenarios was higher as compared to the second and third scenarios. For the second and third scenarios, the area under horticultural and agricultural crops was decreased, but for the fourth and fifth scenarios, the area under agricultural crops was decreased and the area under horticultural crops was increased. By calculating the economic productivity (the ratio of net income to used water) the highest value of economic productivity was related to the fourth, fifth, sixth, second, third and the first scenarios, respectively.

5. Six important references

1) Mirzaei, A., Layani, Gh., Azarm, H. and Jamshidi, S. 2018. Determination Optimal Crop Pattern of Sirjan County Central Part Based on Stability of Water Resources and Environmental. Journal of Agricultural Economics Research, 9(4): 283-304(In Farsi).
2) Amini Fasakhodi, A., Nouri, S.H. and Amini, M. 2010. Water resources sustainability and optimal cropping pattern in farming systems; a multi-objective fractional goal programming approach. Water Resources Management 24: 4639- 4657.
3) Jafarzadeh, A., Khaseii, A. and Shahidi, A. 2017. Designing a multiobjective decision-making model to determine optimal crop pattern influenced by climate change phenomenon (case study: Birjand plain). Iranian Journal of Soil and Water Research, 47(4):849-859 (In Farsi).
4) Matthews, R. B., Rivington, M., Muhammed, S., Newton, A. C. and Hallett, P. D. 2013. Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: The role of crop modelling. Global Food Security, 2: 24-28.
5) Mohammadi, H., Sargazi, A., Dehbashi, V., and Poudineh, M. 2016. Optimization of cropping pattern with an emphasis on social benefits in the rational exploitation of water (A case study of Fars Province). Journal of Environmental Science and Technology 17: 107-115.
6) Singh, D., Jaiswal, C., Reddy, K., Singh, R. and Bhandarkar, D. 2001. Optimal cropping pattern in a canal command area. Agricultural Water Management, 50: 1-8.
7) Vafabakhsh, J., Mohammadzade, A., Bazargan, K. and Navidi., N. M. 2018. Comparative Study of Cropping Pattern and Land Suitability of Major Horticultural and Field Crops in the Urmia Lake Basin. Journal of Agroecology, 11(3): 779-805(In Farsi).

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The Organization of Agricultural Jahad Yazd are gratefully acknowledged. Our thanks go to Mr. Ramazan Speres for his kind assistance.

بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی و باغی عمده در استان یزد

بیتا مروج الاحکامی[۱]، محمد اکرامی*[۲]، شجاعت زارع[۳]، محمدرضا وظیفه شناس[۴]، سید علیرضا اسمعیل زاده حسینی[۵]، محمدحسن رحیمیان[۶]

تاریخ ارسال:۱۴۰۲/۰۴/۱۰
تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۱۱/۰۵

مقاله پژوهشی

چکیده

در مطالعه حاضر با هدف ارایه مناسب‌ترین الگوی کشت محصولات زراعی و باغی، اطلاعات پایه جمع‌آوری شد. بر اساس نیاز آبی تعیین شده، هزینه تولید، درآمد و آب دردسترس، مدل بهینه‌سازی الگوی کشت برای شش سناریوی متفاوت ارایه شد. سناریوی اول مبتنی بر ایجاد حداکثر درآمد و کاهش سطح زیرکشت، سناریوی دوم و سوم ایجاد حداکثر درآمد با حداقل سطح زیرکشت، مطابق با برنامه ۵ ساله اول به ترتیب برای محصولات اصلی با و بدون لحاظ سبزی و صیفی‌جات، سناریوی چهارم و پنجم ایجاد حداکثر درآمد با محدودیت منابع با حداقل سطح زیرکشت مطابق با برنامه ۱۰ ساله اول به ترتیب برای محصولات اصلی با و بدون لحاظ سبزی و صیفی و سناریوی ششم ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع بوده است. نتایج نشان داد بیشترین بهره‌وری اقتصادی به ترتیب مربوط به سناریوی چهارم و پنجم، سناریوی ششم، سناریوی دوم و سوم و سناریوی اول بوده است. بر اساس نتایج مدل بهینه‌سازی مبتنی بر سناریوی چهارم سطح زیرکشت گندم و جو برای کلیه شهرستان‌ها کاهش یافته و ضمن حفظ سطح زیرکشت انار، افزایش سطح زیرکشت پسته پیشنهاد شده است. از جمله پیشنهادات این مدل با اعمال سناریوی چهارم، افزایش سطح زیرکشت زعفران در کلیه شهرستان‌های استان یزد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، عملکرد، آب مصرفی، الگوی کشت

[۱] استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران ایمیل: Bita.moravej@gmail.com

[۲] استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران. Ekrami64@gmail.com (نویسنده مسئول).

[۳] استادیار، بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران ایمیل:shojaat168@gmail.com

[۴] استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران ایمیل:asman2000@gmail.com

[۵] استادیار، بخش تحقیقات گیاه پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران ایمیل:phytoplasma.iran@gmail.com

[۶] استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران ایمیل:mhrahimian@gmail.com

مقدمه

یزد با اقلیم خشک و نیمه‌خشک و دارا بودن بارش کم و پتانسیل تبخیر- تعرق بالا دچار بحران آبی شدید در بخش کشاورزی است. در بخش وسیعی از استان (حدود ۸۵ درصد) شرایط آب و هوایی بیابانی و گرم و خشک حکم‌فرماست. نزولات جوی استان یزد به علت موقعیت طبیعی و خصوصیات ژئومورفولوژیک آن از دامنه وسیعی برخوردار بوده و کمتر از ۵۰ میلی‌متر در مناطق کویری شمال استان تا بیش از ۴۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات استان متغیر می‌باشد (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۶). در راستای اهداف برنامه چهارم توسعه مبتنی بر افزایش در تولید محصولات کشاورزی، طراحی صحیح الگوی کشت به منظور دستیابی به بیشترین تولید و افزایش درآمد ضروری است (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۵). طراحی الگوی کشت باید به نحوی صورت پذیرد تا علاوه بر استفاده بهینه از ظرفیت‌های موجود، بخشی از نیازهای منطقه‌ای و ملی را نیز تأمین نماید (سالیانی، ۱۳۷۵). بر این اساس زارع (۱۳۸۸) نحوه تعیین الگوی بهینه کشت را در سطح ملی تشریح نمود. بر اساس مطالعه گودرزیان و همکاران (۱۳۹۲) در شناسایی و طبقه‌بندی سامانه‌های اگروفارستری موجود در استان فارس، با تغییر اقلیم، نوع گونه‌ها وشیوه مدیریت به وضوح تغییر می‌کنند. در این مطالعه کاشت گونه‌های بومی مثمر متناسب با سامانه در هر اقلیم، تغییر کارکردها و اصلاح سامانه‌ها بر اساس اقلیم، انتخاب صحیح مولفه‌ها و نظارت-های دولتی در پایش فعالیت کشاورزان و حمایت در بهینه-سازی سامانه‌های اگروفارستری پیشنهاد شده است. بر اساس مطالعه لاله‌زاری و همکاران(۱۳۹۲) در شهرستان باغملک در شمال شرقی خوزستان، سطح زیرکشت بهینه اختصاص‌یافته به محصولات در شرایط کم آبی برای ذرت، هندوانه، گوجه‌فرنگی و پیاز با کاهش روبه‌رو بوده است. همچنین گوجه‌فرنگی، حبوبات و پیاز به ترتیب بیشترین حجم آب مصرفی را به دست آوردند. در این شرایط نسبت سود خالص و عملکرد نسبی برای گوجه‌فرنگی، درصد آب تخصیص‌یافته برای سبزیجات و استفاده موثر از آب برای حبوبات کمترین مقادیر در بین پارامترهای ارزیابی محاسبه گردید. جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی الگوی کشت بهینه تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در شهرستان بیرجند نتیجه گرفتند که افزایش سطح زیر کشت محصولاتی نظیر زعفران، زرشک و عناب به عنوان ظرفیت‌های بخش کشاورزی در الگوی کشت بهینه می‌تواند ضمن کاهش افت ارتفاع سطح آبخوان، موجبات توسعه اقتصادی را نیز فراهم نماید. Singh و همکاران (۲۰۰۱) در پاکستان با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف بیشینه کردن درآمد خالص نتیجه‌گرفتند که سودآورترین کشت منطقه، گندم بوده است. ازجمله پژوهش‌گرانی که مبادرت به بررسی الگوی کشت متأثر از شرایط اقلیمی نمودند، می‌توان به Yang وهمکاران (۲۰۱۱)، Matthews و همکاران(۲۰۱۳) و Ashofteh و همکاران (۲۰۱۵) اشاره نمود. آنها در مطالعات خود اقدام به تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط تغییر اقلیم نمودند. بر اساس نتایج مطالعه حسینی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی الگوی کشت بهینه محصولات زراعی در دشت بهار همدان، تنها محصول گندم به مقدار۷۱ هزار هکتار دارای اهمیت است. سیاسر و هنر (۱۳۹۶) به بهینه‌سازی تخصیص آب و الگوی کشت محصولات غالب کشاورزی با استفاده از الگوریتم ژنتیک در دشت سیستان پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه محصول موثر اقتصادی برای کشت اول، گندم و در کشت دوم هندوانه ارایه شد. بر اساس مطالعه محمدی و همکاران (۲۰۱۶) در بهینه‌سازی الگوی کشت در استان فارس محصولاتی مانند گندم آبی و دیم، ذرت دانه‌ای، هندوانه، خیار، عدس و لوبیا از برنامه کشت حذف شدند. امینی فسخودی و همکاران (۲۰۱۰) از مدل برنامه‌ریزی آرمانی کسری چندهدفه، با حداکثرسازی تابع هدف سود خالص به آب مصرفی و اشتغال به آب مصرفی در اصفهان استفاده کردند. بر اساس نتایج مدل خطی آرمانی در این مطالعه سطح زیرکشت گندم، برنج، ذرت علوفه‌ای و پیاز کاهش یافت و سطح زیرکشت جو و یونجه افزایش یافت. میرزایی و همکاران (۱۳۹۶) در خصوص بهینه‌سازی الگوی کشت در بخش مرکزی شهرستان سیرجان برای مسایل تک‌هدفه مدل برنامه‌ریزی خطی ساده و برای مسایل چندهدفه مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه را ارایه کردند. بر اساس نتایج این مطالعه برای مزارع کوچک‌تر از ۵ هکتار محصول یونجه سطح زیرکشت کمتر و جو سطح زیرکشت بیشتری نسبت به الگوی کنونی به خود اختصاص داد. برای مزارع بزرگ‌تر

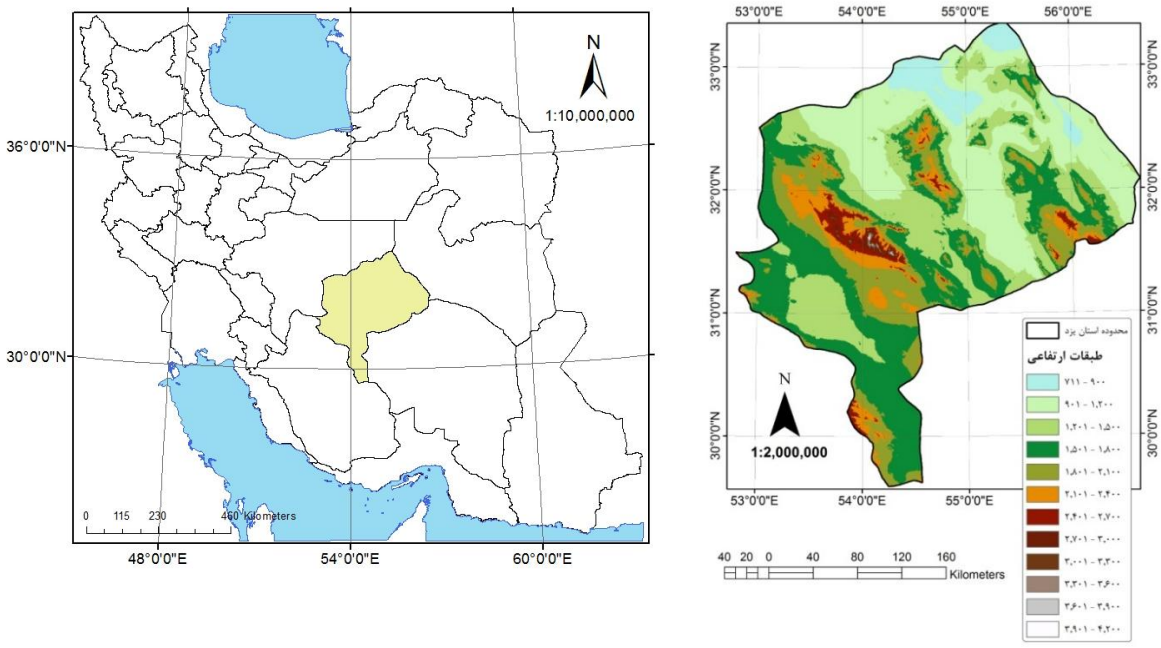
از ۵ هکتار محصول یونجه کمتر و محصولات جو و پیاز بیشتر از الگوی کنونی باید کشت شوند. احسانی کلی‌کند و همکاران(۱۳۹۷) در خصوص تعیین الگوی کشت بهینه با هدف سازگاری با کم‌آبی و افزایش درآمد کشاورزان در شرایط تحویل حجمی مطالعه کردند. در این مطالعه الگوی کشت بهینه در ۹ چاه آب کشاورزی دشت قزوین مورد بررسی قرار گرفت و از روش برنامه‌نویسی خطی برای بهینه‌سازی استفاده شد. بر اساس نتایج این مطالعه به طور متوسط در چاه‌های مورد مطالعه و در الگوی کشت بهینه با محدودیت آب، بهره‌وری آب و سودخالص به ترتیب ۹۳ و ۶۷/۷ درصد افزایش، و آب مصرفی ۱۵ درصد نسبت به الگوی کشت مصوب کاهش داشته است. سایبان و همکاران (۱۳۹۷) به تعیین الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با هدف حداکثرسازی سودناخالص کشاورزان در شهرستان بهبهان پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه سطح زیرکشت و مقدار آب مصرفی در کل شهرستان در حالت بهینه به میزان ۲/۷۶ و ۴/۶۳ درصد افزایش یافت. Tan و Zhang (۲۰۱۸) به بررسی الگوی کشت بر مبنای مدیریت مصرف آب در چین پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه که از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه استوار استفاده می‌کرد، با کاهش عدم قطعیت، کارایی مصرف آب و سطح زیر کشت سبزیجات افزایش یافت. همچنین با افزایش حفاظت سیستم در مقابل عدم قطعیت، میزان سود اقتصادی افزایش یافت. Sugihardjo و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تغییر اقلیم و الگوی کشت در اندونزی پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه، الگوهای کشت شده توسط کشاورزان منطبق بر سیاست‌های دولتی محلی نبود. وفابخش و همکاران (۱۳۹۸) برنامه اصلاح الگوی کشت را به عنوان یکی از راهکارهای احیای دریاچه ارومیه و استفاده پایدار از منابع طبیعی به ویژه آب و زمین در این حوضه مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج این مطالعه با بهینه‌سازی الگوی کشت و با لحاظ تناسب اراضی و محدودیت‌های منطقه‌ای برای محصولات، مصرف آب ۱۱/۷درصد کاهش یافت و در آمد کل منطقه و شاخص بهره‌وری اقتصادی آب در مقایسه با الگوی کشت فعلی به میزان۲۷/۱ و۴۳/۹ درصد افزایش‌یافت. حیدری (۱۳۹۸) به بررسی و تحلیل قوانین و اسناد فرادست پیرامون انتخاب الگوی کشت مناسب در عرصه کشاورزی ایران پرداخت. بر اساس نتایج این مطالعه اگرچه ارایه الگوی کشت ملی از الزامات قانونی کشور است ولی تاکنون به طور موثری به آن به استثنای کشت گلخانه‌ای و کشت فراسرزمینی پرداخته نشده است. بسیاری از کارهای انجام شده به صورت درون‌بخشی بوده و هماهنگی با سایر دستگاه‌ها و جامع‌نگری‌های لازم در این زمینه به عمل نیامده است. اسعدی و نجفی علمدارلو (۱۳۹۸) در خصوص تدوین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی در شرایط کم‌آبی با هدف حداکثرسازی سودناخالص مزرعه مطالعه کردند. بر اساس نتایج این مطالعه، مقدار صرفه‌جویی در مصرف آب به طور میانگین به میزان ۲۹/۳ درصد و سودناخالص مزرعه به طور میانگین به میزان ۹/۵درصد کاهش یافت. بر اساس نتایج مطالعه Rath و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص ارایه الگوی کشت بهینه، سودخالص در الگوی کشت پیشنهادی ۱/۰۷میلیون دلار در سال بود که نسبت به سود خالص الگوی کشت حاضر (۰/۹۷۵ میلیون دلار در سال) افزایش یافت. بر اساس مطالعه انجام شده توسط Mirzaei Bafti و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص الگوی کشت، ارزش اقتصادی آب آبیاری در شرایط خشکسالی در دشت قزوین، کاهش سطح زیرکشت گندم و جو آبی مشاهده شد. پوران و راغفر (۱۴۰۰) به بررسی الگوی کشت محصولات زراعی استان‌های سمنان و ایلام با تاکید بر نقش آب مجازی در بهره‌وری آب پرداختند. با توجه به نتایج این مطالعه در شرایط ثابت ماندن سطح زیرکشت، قیمت محصولات و هزینه متوسط تولید، الگوی کشت حاصل از هدف حداکثر بهره‌وری آب (در استان‌های مورد بررسی) در مقایسه با الگوی کشت حاصل از حداکثرسازی سود وضعیت بهتری داشت. ثانی و دشتی (۱۴۰۰) به تعیین الگوی کشت بهینه سازگار با کم آبی تحت شرایط عدم قطعیت با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی استوار در شهرستان سراب استان آذربایجان شرقی پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه، اجرای الگوی کشت بهینه منجر به افزایش سود و اشتغال به میزان۱/۷ و ۱/۳۲ درصد و کاهش مصرف آب، کود و سموم شیمیایی به میزان ۷/۷، ۱۲/۳ و ۱۲ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی می‌گردد. در میان محصولات موردمطالعه، گندم بیشترین افزایش سطح زیرکشت را داشت. نظری و همکاران(۱۴۰۰)

به ارزیابی اثر توسعه سیستم‌های آبیاری، سناریوهای الگوی کشت و کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب در شبکه آبیاری قزوین پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه با توجه به اثر قابل توجه الگوی کشت بر بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آب در سطح شبکه، اعمال تهمیدات لازم در خصوص کنترل الگوی کشت ضروری است. Barati و همکاران (۲۰۲۰) به بهینه-سازی الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه در کرمانشاه پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه سطح زیرکشت محصولاتی مانند گندم، جو، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و پیاز کاهش یافت. در حالی که سطح زیرکشت محصولاتی مانند زعفران، گیاهان دارویی و زیتون افزایش یافت. Pasula و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی بهینه‌سازی الگوی کشت تحت شرایط تغییر اقلیم با هدف تامین امنیت غذایی و انتخاب محصولات با نیاز آبی کم در هند پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه، تغییر الگوی کشت از محصولات پرآبخواه مانند نیشکر به محصولاتی مانند سورگوم ضمن تامین امنیت غذایی منطقه به شکل قابل توجهی در کاهش آب مصرفی موثر است.

با توجه به عمده مطالعات انجام شده در خصوص میزان سرانه آب سطحی و زیرزمینی تجدیدپذیر و قرارداشتن در شرایط تنش آبی در استان یزد، ارایه الگوی کشت مناسب با توجه به محدودیت‌های موجود در منطقه امری ضروری است. محدودیت‌های لحاظ شده در تعیین الگوی کشت بهینه شامل محدودیت‌های اقلیمی، خاک کشاورزی، آب در دسترس و با در نظر داشتن مسایل اقتصادی و استراتژیک در بخش کشاورزی است. با توجه به اینکه عمده مطالعات انجام شده در استان یزد در خصوص الگوی کشت بهینه صرفا مبتنی بر نیاز آبی گیاهان بوده و سیاست‌گذاری‌ها و پارامترهای اقتصادی ملاک بررسی قرار نگرفته است (طباطبایی و شهیدی، ۱۳۹۶؛ رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۷؛ اکرامی و همکاران، ۱۳۹۹)، در این مطالعه مدل بهینه‌سازی الگوی کشت با در نظر داشتن نیاز آبی گیاهان، هزینه تولید، درآمد و منابع آب در دسترس (مطابق با برنامه سازگاری با کم آبی استان یزد، ۱۳۹۹) ارایه و مناسب‌ترین الگوی کشت محصولات زراعی و باغی استان به تفکیک هر شهرستان معرفی شد.

منطقه مورد مطالعه:

استان یزد با وسعتی معادل ۷۴۶۵۰ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی فلات ایران قرار دارد. این استان در بین عرض‌های جغرافیایی۲۹ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و۷ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و۵۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار مبدأ قرارگرفته است (شکل۱).



شکل (۱): نقشه موقعیت قرارگیری استان یزد بر روی نقشه تقسیمات سیاسی کشور و همچنین تغییرات ارتفاعی آن (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۶)

آب و هوای استان یزد به طور عمده تحت تأثیر شرایط اقلیمی فلات مرکزی ایران قرار دارد. در بخش وسیعی از استان (حدود ۸۵ درصد) شرایط آب و هوایی بیابانی و گرم و خشک حکم فرماست. تا کنون تقسیم‌بندی‌های اقلیمی متعددی در تفکیک آب و هوای استان یزد انجام گرفته و هر یک از آن ها یک یا چند عامل از عناصر آب و هوایی را در تقسیم‌بندی خود دخالت داده‌اند. ارزیابی شاخص خشکی دومارتون در استان یزد نشان داده است که برای سطح وسیعی از این استان، اقلیم منطقه عمدتاً از نوع خشک بوده و در بخش‌های کوچکی از منطقه شیرکوه واقع در شهرستان تفت، از نوع نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای تقسیم-بندی شده است (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۶).

روش تحقیق:

لازمه رسیدن به اهداف این مطالعه، تخمین نیاز آبی گیاهان با توجه به تبخیر-تعرق محاسبه شده در هر شهرستان بود. به منظور تخمین تبخیر-تعرق مرجع روش-های متفاوتی وجود دارد که روش مورد استفاده در این مطالعه کاربرد روش‌های غیرمستقیم برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع بود. در محاسبات تبخیر-تعرق مرجع از معادله فائو پنمن مانتیث و مدل ETcalcultaor استفاده شد (Allen و همکاران، ۱۹۹۸):

(۱)

که در اینجا:

R_n: تشعشع خالص خورشیدی

G: جریان گرمایی خاک

(e_s-e_a): کمبود فشار بخار

Δ : شیب فشار بخار اشباع

γ: ثابت سایکرومتریک

u_2: سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)

T: متوسط درجه حرارت روزانه (درجه سانتیگراد)

بر اساس اطلاعات بلندمدت هواشناسی جمع‌آوری‌شده منتهی به سال ۱۳۹۹، نیاز آبی گیاه (ET_a) با استفاده از تبخیر-تعرق مرجع تخمینی در هر منطقه و ضرایب گیاهی مربوطه تعیین شد. آب مورد نیاز آبیاری نمایانگر تفاوت بین نیاز آبی گیاه و بارندگی مؤثر است. به این منظور ابتدا مقدار باران موثر (P_{eff}) در هر منطقه تعیین (Brouwer و

Heibloem، ۱۹۸۶) و سپس مقدار آب مورد نیاز آبیاری (I_R) برحسب میلی‌متر با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد:

$$I_R = ET_a - P_{eff} \qquad (۲)$$

به منظور اصلاح الگوی کشت، اطلاعات مربوط به هر شهرستان شامل آب دردسترس، هزینه تولید، درآمد حاصل، سطح زیرکشت فعلی و میزان عملکرد جمع‌آوری شد. به طور کلی ۱۵ گونه باغی غالب شامل انار، انگور، آلو، پسته، توت، خرما، زردآلو، شفتالو، گوجه سبز، گردو، زیتون، هلو، بادام، سیب و به مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین ۳۰ گونه زراعی غالب شامل گندم، جو، یونجه، قصیل، کدو، گرمک، کاهو، بادمجان، گوجه‌فرنگی، کلم، پنبه، کنجد، ذرت‌دانه‌ای، ذرت‌علوفه‌ای، منداب‌علوفه‌ای، کلزا، زیره، شلغم‌علوفه‌ای، چغندرعلوفه‌ای، آفتابگردان، عدس، هندوانه، خربزه، خیار، پیاز، سورگوم، لوبیا و لوبیا سبز در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. ذکر این نکته ضروری است با توجه به سیاست‌های کاشت زعفران به عنوان محصول کم-آبخواه و استراتژیک در استان یزد، این گیاه نیز در الگوی کشت پیشنهادی برای استان لحاظ شد.

به منظور تهیه الگوی کشت از یک مدل برنامه‌ریزی خطی با کاربرد نرم‌افزارهای GAMS و Excel استفاده شد تا با شبیه‌سازی وضعیت موجود، امکان تغییر الگوی کشت با توجه به اهداف در قالب سناریوهای مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. از این رو مدل ارایه شده در این مطالعه شامل یک بخش فنی و یک بخش اقتصادی است. اطلاعات فنی مدل در واقع روابط ستاده و نهاده تولید می‌باشد. در این قسمت وضعیتی که کشاورز در بهره‌برداری از زمین با آن مواجه است شبیه‌سازی می‌گردد. بنابراین لازم است تا میزان نهاده استفاده شده برای هر محصول و میزان تولید منتج از نهاده‌های مورد استفاده و همچنین میزان و زمان دسترسی به نهاده‌ها تعریف گردند. از آنجا که هدف کشاورز از انجام تولید، انجام یک فعالیت اقتصادی است بنابراین جهت ایجاد شاخص انتخاب کشاورز، لازم است اطلاعات اقتصادی نیز به مدل اضافه شود. این اطلاعات شامل هزینه تهیه و بکارگیری نهاده‌ها، هزینه‌های برداشت و قیمت محصول می‌باشد. محدودیت‌های دسترسی به بازار نیز در این دسته جای می‌گیرد. محدودیت‌های محیطی بر اساس نظر سازمان جهاد کشاورزی استان یزد مطابق با برنامه سازگاری با کم آبی در استان یزد(۱۳۹۹) در مدل لحاظ شد. مهم‌ترین نهاده در بخش فنی مدل، نهاده آب است که در ارایه اطلاعات مربوط به این نهاده بر اساس اطلاعات دردسترس به صورت ماهانه اقدام شد. در فاز اول مدل‌سازی بر اساس شرایط موجود و محصولات غالب در هر شهرستان، تولید و مصرف آب بهینه شده و تفاوت مقادیر بهینه شده با مقادیر اولیه به صورت درصد محاسبه گردید. محصول انتخاب شده توسط مدل بر اساس ضرایب فنی و اقتصادی تابع هدف و محدودیت‌های هر محصول بود. از آنجا که آب به عنوان نهاده اصلی، نقش محوری را بین نهاده‌ها به عهده داشت، در نهایت هر محصولی که از نظر درآمد خالص قادر به رقابت با محصولات دیگر نبود از گردونه انتخاب حذف شده و محصولاتی که در نهایت بتوانند با رعایت محدودیت-های بازاری، فنی (مانند رعایت تناوب زراعی)، زمانی و مقداری (دسترسی به منابع به عنوان مثال آب مورد نیاز گیاه و آب موجود در تیرماه)، به ازای هر واحد آب مصرفی بیشترین درآمد خالص را نصیب کشاورزان نمایند، باقی ماندند. بنابراین در مدل ارایه شده در این مطالعه، پارامتر سطح زیرکشت به عنوان متغیر تصمیم لحاظ شده و درآمدخالص به عنوان تابع هدف و میزان و زمان دسترسی به آب و زمین به عنوان شروط اصلی مدل در نظر شد. توجه به این نکته ضروری است که ماهیت مدل یک مدل ریاضی است و صرفا محدودیت‌های در نظر گرفته شده در این مدل بر پایه منطق ریاضی است. بنابراین برای اطمینان از نتایج خروجی مدل باید از دقت داده‌های ورودی اطمینان حاصل کرد.

با توجه به موارد مذکور مدل دارای یک تابع هدف و تعدادی محدودیت و یا شرط است. تابع هدف باید با رعایت شروط حداکثر شود که به صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$\pi = \sum_i P_i Y_i - C_i X_i \quad , \quad i = 1.2. \ldots . n \qquad (۳)$$

در این رابطه π درآمد خالص واحدکشاورزی است که باید حداکثر شود. Y_i میزان تولید، X_i سطح زیرکشت، و ضرایب آنها به ترتیب قیمت محصول، هزینه تولید در هکتار (که ارزش محصول فرعی از آن کسر شده است) می‌باشد.

nتعداد محصولات مورد مطالعه و i نیز نوع محصول که شامل گندم، جو، پنبه و .... می‌باشد.

محدودیت منابع در این مطالعه شامل آب در ماه‌های مختلف است که به صورت زیر در مدل لحاظ شد:

(۴)
$$\sum_i a_{it} X_i \le W_t \quad ، \forall t$$

که در این رابطه a_{it} میزان آب مورد نیاز محصول i در ماه t، W_t کل آب در دسترس در ماه t و t نیز ماه‌های سال شامل فروردین تا اسفند است. $\forall t$ سور عمومی است که به مفهوم " به ازای هر t" می‌باشد.

محدودیت بعدی، محدودیت حسابداری است به این صورت که کل آب مصرفی(W) بر اساس رابطه زیر به مدل معرفی شد:

$$\sum_t W_t = W \qquad (۵)$$

همچنین میزان تولید به صورت زیر به مدل معرفی شد:

$$b_i X_i = Y_i \quad ، \forall i \qquad (۶)$$

که در رابطه فوق b_i عملکرد در هکتار محصول iام است. $\forall i$ سور عمومی است که به مفهوم " به ازای هر i" می‌باشد. محدودیت‌های حداقل و حداکثر سطح زیرکشت جهت تناوب و یا محدودیت‌های تولید نیز طبق رابطه زیر در مدل تعریف شدند:

$$d_i \le X_i \le e_i \quad ، \forall i \qquad (۷)$$

لازم به ذکر است که این محدودیت‌ها بر اساس نظر کارشناسان و همچنین دامنه نوسانات سطح زیرکشت محصولات در سال‌های گذشته و مطالعات پیشین و همچنین مشخصات سناریوها تعیین گردید. در رابطه فوق d_i، حداقل مجاز میزان سطح زیرکشت محصول iام و e_i، حداکثر مجاز میزان سطح زیرکشت محصول iام می‌باشد. سناریوهای مورد مطالعه مبتنی بر افزایش درآمد با لحاظ محدودیت منابع (آب در دسترس) و به منظور هماهنگی با برنامه سازگاری با کم آبی یزد (۱۳۹۹) بر اساس برنامه پنج‌ساله و ده ساله تغییر آب مصرفی، سطح زیرکشت، و تولید محصولات زراعی و باغی ارایه شده است. به طور کلی سناریوهای مورد بررسی در این مطالعه به شرح زیر است:

سناریوی اول ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع و با کاهش سطح زیرکشت حداکثر به ۵۰ درصد سطح زیر کشت فعلی

سناریوی دوم ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع، حداقل سطح زیرکشت محصولات اصلی، تغییر در منابع آبی، آب مصرفی و عملکرد مطابق با برنامه ۵ ساله اول

سناریوی سوم ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع، حداقل سطح زیرکشت محصولات اصلی بدون لحاظ سبزی و صیفی‌جات، تغییر در منابع آبی، آب مصرفی و عملکرد مطابق با برنامه ۵ ساله اول

سناریوی چهارم ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع، حداقل سطح زیرکشت محصولات اصلی، تغییر در منابع آبی، آب مصرفی و عملکرد مطابق با برنامه ۱۰ ساله اول

سناریوی پنجم ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع، حداقل سطح زیرکشت محصولات اصلی بدون لحاظ سبزی و صیفی‌جات، تغییر در منابع آبی، آب مصرفی و عملکرد مطابق با برنامه ۱۰ ساله اول

سناریوی ششم ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع

نتایج:

مدل بهینه‌سازی الگوی کشت در سناریوهای متفاوت ارایه شده برای محصولات باغی و زراعی غالب در هر شهرستان مورد بررسی قرار گرفت که نتایج این بررسی به شرح زیر است:

سناریوی اول: ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع و با کاهش سطح زیرکشت به حداکثر ۵۰ درصد سطح زیر کشت فعلی

بر اساس نتایج این سناریو سطح زیرکشت محصولات زراعی از ۲۳۲۳۱ هکتار به ۲۳۰۷۴ هکتار کاهش و سطح زیرکشت محصولات باغی از ۷۸۳۶۱/۶۸ هکتار به ۸۰۵۶۳/۰۳ هکتار افزایش خواهد یافت. در این سناریو میزان تولید محصولات زراعی از ۳۸۵۴۳۷ تن به ۳۸۲۱۹۴ تن کاهش و میزان تولید محصولات باغی از ۲۷۷۶۹۴/۶ تن

به۶۰۸۳۲۶/۱ تن افزایش یافت. میزان آب مصرفی برای محصولات زراعی از۱۸۵/۵ میلیون مترمکعب به ۱۶۷/۲ میلیون مترمکعب و برای محصولات باغی از ۶۰۹ میلیون مترمکعب به ۵۹۵/۵ میلیون مترمکعب کاهش یافت. در این سناریو افزایش درآمد به میزان ۴۳/۲۴ درصد بود درحالی‌که میزان آب مصرفی از ۷۸۰۰ مترمکعب به ۷۳۰۰ مترمکعب در هکتار رسید.

سناریوی دوم: ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع، حداقل سطح زیرکشت محصولات اصلی، تغییر در منابع آبی، آب مصرفی و عملکرد مطابق با برنامه ۵ ساله اول

در این سناریو سطح زیرکشت محصولات زراعی از ۲۳۲۳۱ هکتار به ۱۸۴۶۶ هکتار و سطح زیرکشت محصولات باغی از ۷۸۳۶۱/۶۸ هکتار به ۷۸۲۰۷/۸۵ هکتار کاهش یافته است. تولید محصولات زراعی در این سناریو از ۳۸۵۴۳۷ تن به میزان ۴۳۱۲۰۹ تن و میزان تولید محصولات باغی از ۲۷۷۶۹۵ تن به ۳۰۵۶۴۶ تن افزایش داشته است. میزان آب مصرفی محصولات زراعی از ۱۸۵/۵ میلیون مترمکعب به ۱۳۵/۹ میلیون مترمکعب و میزان آب مصرفی محصولات باغی از ۶۰۹ میلیون مترمکعب به ۵۲۰/۳ میلیون مترمکعب کاهش یافت. میزان افزایش درآمد در این سناریو ۳۲/۶۶ درصد است درحالی‌که میزان آب مصرفی از ۷۸۰۰ مترمکعب به ۶۸۰۰ مترمکعب در هکتار کاهش یافته است.

سناریوی سوم: ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع، حداقل سطح زیرکشت محصولات اصلی بدون لحاظ سبزی و صیفی‌جات، تغییر در منابع آبی و مصرف و عملکرد مطابق با برنامه ۵ ساله

در این سناریو سطح زیرکشت محصولات زراعی از ۲۳۲۳۱ به ۱۸۲۱۷ هکتار و سطح زیرکشت محصولات باغی از ۷۸۳۶۱/۶۸ به ۷۸۲۰۷/۹ هکتار کاهش یافته است. به همین ترتیب میزان آب مصرفی از ۱۸۵/۵ میلیون مترمکعب برای محصولات زراعی به ۱۳۳/۲ میلیون مترمکعب و برای محصولات باغی از ۶۰۹ به ۵۲۰/۳ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. در این سناریو تولید محصولات زراعی از ۳۸۵۴۳۷ به ۴۲۴۵۲۴ تن و تولید محصولات باغی ۲۷۷۶۹۴/۶ به ۳۰۵۶۴۶ تن افزایش یافته است. افزایش درآمد در این سناریو به میزان ۳۱/۸۷ درصد و میزان آب مصرفی از ۷۸۰۰ مترمکعب به ۶۸۰۰ مترمکعب در هکتار رسید.

سناریوی چهارم: ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع، حداقل سطح زیرکشت محصولات اصلی، تغییر در منابع آبی و مصرف و عملکرد مطابق با برنامه ۱۰ ساله اول

در این سناریو میزان سطح زیرکشت محصولات زراعی از ۲۳۲۳۱ هکتار به ۱۸۵۱۹ هکتار کاهش و سطح زیرکشت محصولات باغی از ۷۸۳۶۱/۷ به ۹۷۳۳۴ هکتار افزایش یافت. تولید محصولات زراعی از ۳۸۵۴۳۷ تن به ۴۶۶۸۰۷ تن و تولید محصولات باغی نیز از ۲۷۷۶۹۴/۶ تن به ۴۴۲۴۲۱ تن افزایش یافت. میزان آب مصرفی در محصولات زراعی از ۱۸۵/۵ به ۱۳۴/۶ میلیون مترمکعب و میزان آب مصرفی در محصولات باغی از ۶۰۹ میلیون مترمکعب به ۵۴۲/۹ میلیون مترمکعب کاهش یافت. در این سناریو افزایش درآمد ۷۸/۱ درصد بود در حالی‌که میزان آب مصرفی از ۷۸۰۰ مترمکعب به ۵۸۰۰ مترمکعب در هکتار کاهش یافت.

سناریوی پنجم: ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع، حداقل سطح زیرکشت محصولات اصلی بدون لحاظ سبزی و صیفی جات، تغییر در منابع آبی و مصرف و عملکرد مطابق با برنامه ۱۰ ساله اول

در این سناریو سطح زیرکشت زراعی از ۱۹۵۷۹ هکتار به ۱۸۲۷۱ هکتار کاهش و سطح زیرکشت باغی ۷۸۳۶۱/۶۸ هکتار به ۹۷۳۳۳/۹ هکتار افزایش یافت. میزان تولید محصولات زراعی از ۳۸۵۴۳۷ تن به ۴۵۹۲۳۰ تن افزایش و میزان تولید محصولات باغی از ۲۷۷۶۹۵ تن به ۴۴۲۴۲۱ تن افزایش یافته است. میزان آب مصرفی در محصولات زراعی از ۱۸۵/۵ میلیون مترمکعب به ۱۳۲ میلیون مترمکعب و برای محصولات باغی از ۶۰۹ میلیون مترمکعب به ۵۴۲/۹ میلیون مترمکعب کاهش یافت. در این سناریو میزان افزایش درآمد ۷۷/۲ درصد بود در حالی‌که میزان آب

مصرفی از ۸۰۰۰ مترمکعب به ۵۸۰۰ مترمکعب در هکتار کاهش یافت.

سناریوی ششم: ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع

در این سناریو سطح زیرکشت محصولات زراعی استان یزد از ۲۳۲۳۱ هکتار به ۲۲۹۵۲ کاهش یافته وسطح زیرکشت محصولات باغی استان یزد نیز از ۷۸۳۶۲ هکتار به ۷۸۵۶۴ افزایش یافته است. در این سناریو میزان آب مصرفی محصولات زراعی از ۱۸۵/۴۹۹ میلیون مترمکعب به ۱۴۸/۹۱ میلیون مترمکعب و میزان آب مصرفی محصولات باغی از ۶۰۹ به ۵۸۳ میلیون مترمکعب کاهش یافت. تولید محصولات زراعی از ۳۸۵۴۳۷ تن به ۳۷۹۲۹۷ تن کاهش و تولید محصولات باغی از ۲۷۷۶۹۴/۶ تن به ۹۴۰۶۲۲ تن افزایش یافت. بر اساس این سناریو میزان افزایش درآمد ۸۶ درصد بود در حالی‌که میزان آب مصرفی در هر هکتار در این سناریو از ۷۸۰۰ مترمکعب به ۷۲۰۰ مترمکعب رسید.

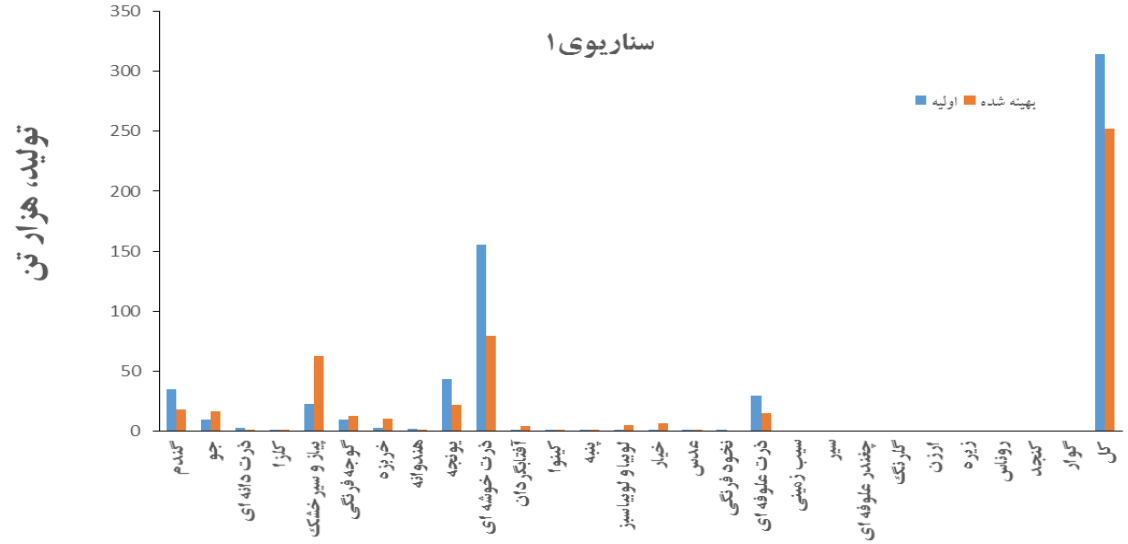
در شکل (۲) نمایی از تغییر تولید محصولات زراعی استان یزد در سناریوهای متفاوت ارایه شده است. بر اساس این شکل، تولید محصولات زراعی در سناریوهای ۲، ۳، ۴ و ۵ افزایش و در سناریوهای ۱ و ۶ کاهش یافته است. در کلیه سناریوها تولید یونجه بنابر محدودیت‌های محیطی استان یزد کاهش یافته است. در خصوص گندم، تولید این محصول در سناریوهای۱، ۲ و ۳ کاهش در سناریوی ۴ و ۵ بدون تغییر و در سناریوی ۶ به طور کامل این محصول حذف شده است. با لحاظ سناریوهای ۲، ۳، ۴ و ۵ تولید ذرت خوشه‌ای افزایش و در سناریوی ۱ و ۶کاهش یافته است. در شکل (۳) نمایی از تغییر تولید محصولات باغی برای شهرستان‌های متفاوت استان یزد در سناریوهای متفاوت ارایه شده است. بر اساس این شکل، با لحاظ سناریوی ۴ و ۵ تولید محصولات باغی در کلیه شهرستان-های استان یزد افزایش خواهد یافت. در سناریوهای مورد بررسی بیشترین تغییر در تولید محصولات باغی برای شهرستان‌های اردکان، خاتم، تفت، ابرکوه و مهریز بود. این در حالی است که کمترین تغییر در تولید محصولات باغی برای شهرستان‌های اشکذر، بافق، بهاباد، میبد و یزد مشاهده شد.

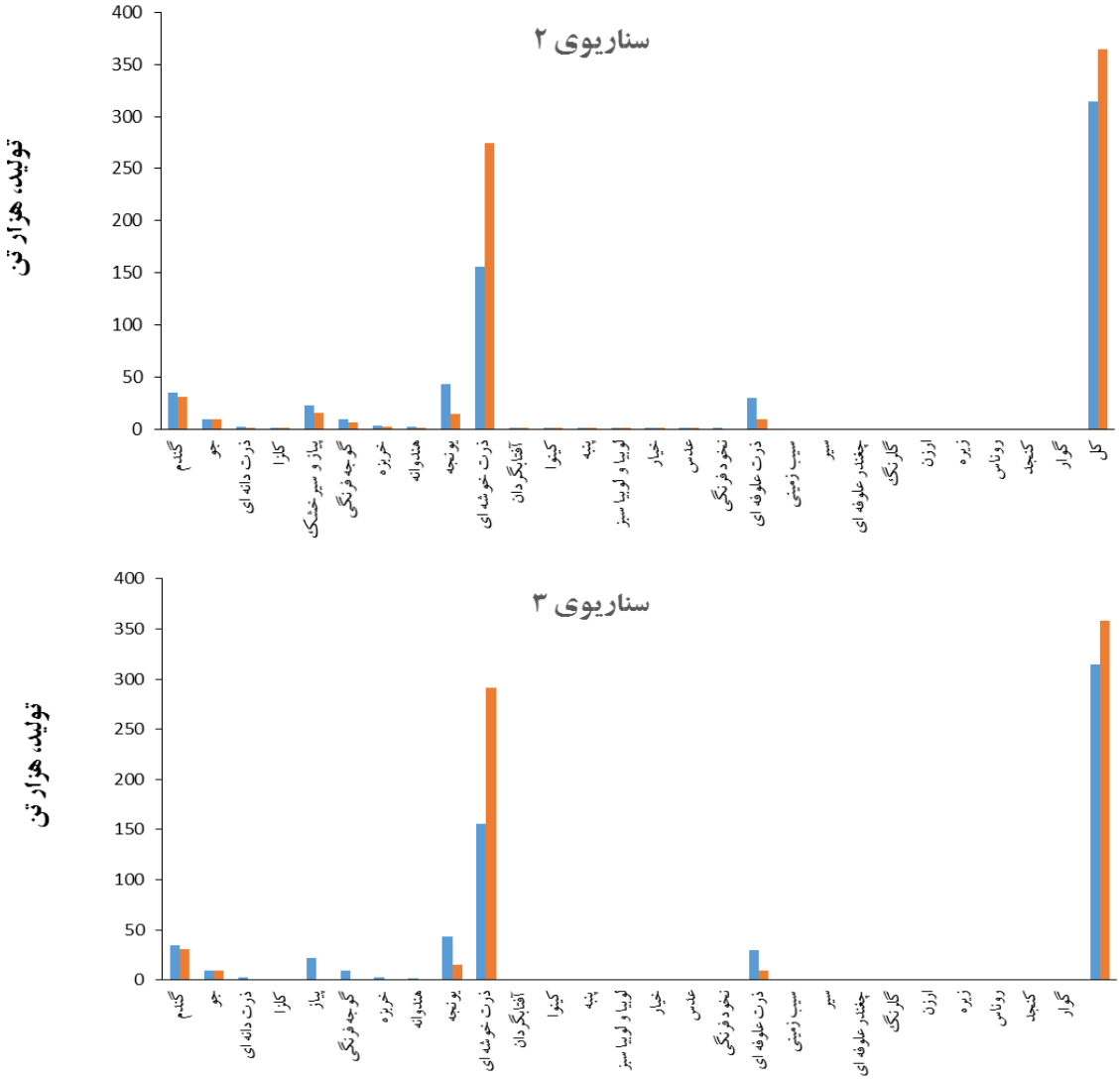
در شکل (۴) حجم آب مصرفی محصولات باغی و زراعی استان یزد در سناریوهای متفاوت ارایه شده است. بر اساس این شکل، بیشترین کاهش آب مصرفی محصولات زراعی در سناریوی ۲، ۳، ۴ و ۵ بوده است. در سناریوی ۱ حجم آب مصرفی محصولات زراعی نسبت به سایر سناریوها کمتر کاهش یافته است. در خصوص حجم آب مصرفی محصولات باغی بیشترین کاهش مصرف آب متعلق به سناریوی ۲ و ۳ و سپس سناریوی ۴ و ۵ بوده است. مشابه با محصولات زراعی در محصولات باغی نیز آب مصرفی در سناریوی ۱ نسبت به سایر سناریوها کمتر کاهش یافته است.

در شکل (۵) درآمد خالص حاصل از تولید محصولات باغی و زراعی استان یزد در سناریوهای متفاوت ارایه شده است. بر اساس این شکل بیشترین درآمد خالص حاصل از تولید محصولات باغی و زراعی متعلق به سناریوی ۶، ۵ و ۴ بوده است. کمترین درآمد خالص حاصل از تولید نیز متعلق به سناریوی ۱، ۲ و ۳ بوده است. در کلیه سناریوها بیشترین درآمد متعلق به شهرستان خاتم و کمترین درآمد متعلق به شهرستان‌های یزد و اشکذر بوده است.

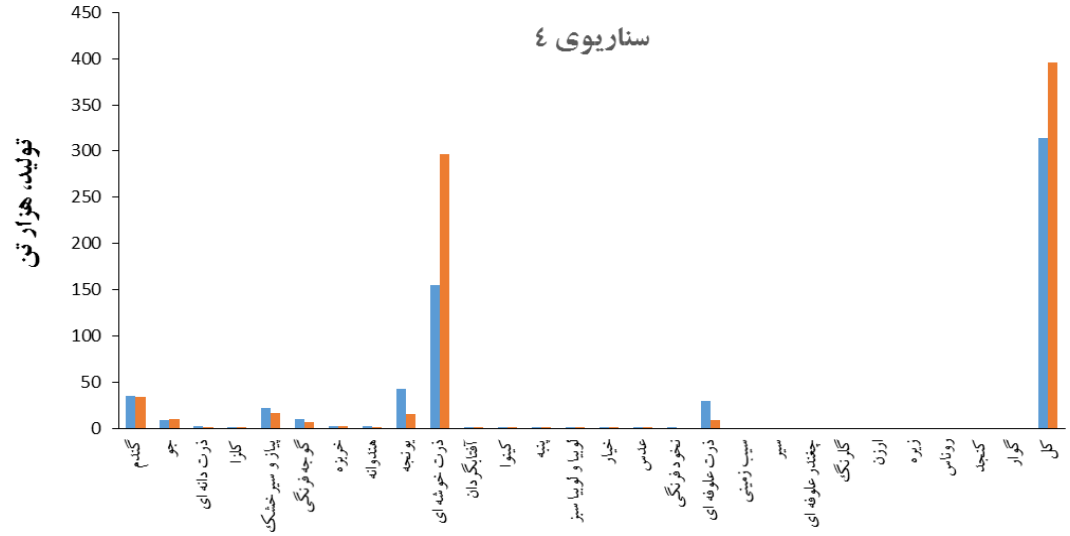
در شکل (۶) بهره‌وری اقتصادی محصولات کشاورزی در سناریوهای متفاوت ارایه شده است. با توجه به این شکل، سناریوی چهارم بیشترین بهره‌وری اقتصادی را دارد. با لحاظ سناریوی چهارم، سطح زیرکشت گندم و جو برای کلیه شهرستان‌ها کاهش خواهد یافت. سطح زیرکشت ذرت خوشه‌ای برای شهرستان بافق در سطح کنونی حفظ و برای سایر شهرستان‌ها به جز شهر یزد افزایش خواهد یافت. در حال حاضر در شهرستان یزد سطح زیرکشت ذرت خوشه‌ای صفر است که طبق این سناریو برای این شهرستان ذرت خوشه‌ای پیشنهاد نمی‌شود. بر اساس نتایج بررسی سناریوی چهارم در شهرستان‌های ابرکوه، اردکان، بهاباد، مهریز و خاتم افزایش سطح زیرکشت زیره پیشنهاد شده است. همچنین حفظ سطح زیرکشت روناس در اردکان، کاهش سطح زیرکشت روناس و افزایش سطح زیر کشت زیره در بافق، کاهش سطح زیرکشت ارزن در بهاباد و کاهش سطح زیرکشت کنجد در خاتم از پیشنهادات این سناریو است. در خصوص محصولات باغی حفظ سطح زیرکشت انار و افزایش سطح زیرکشت پسته در شهرستان‌های استان یزد پیشنهاد شده است. پیشنهاد این سناریو حذف توت و انجیر

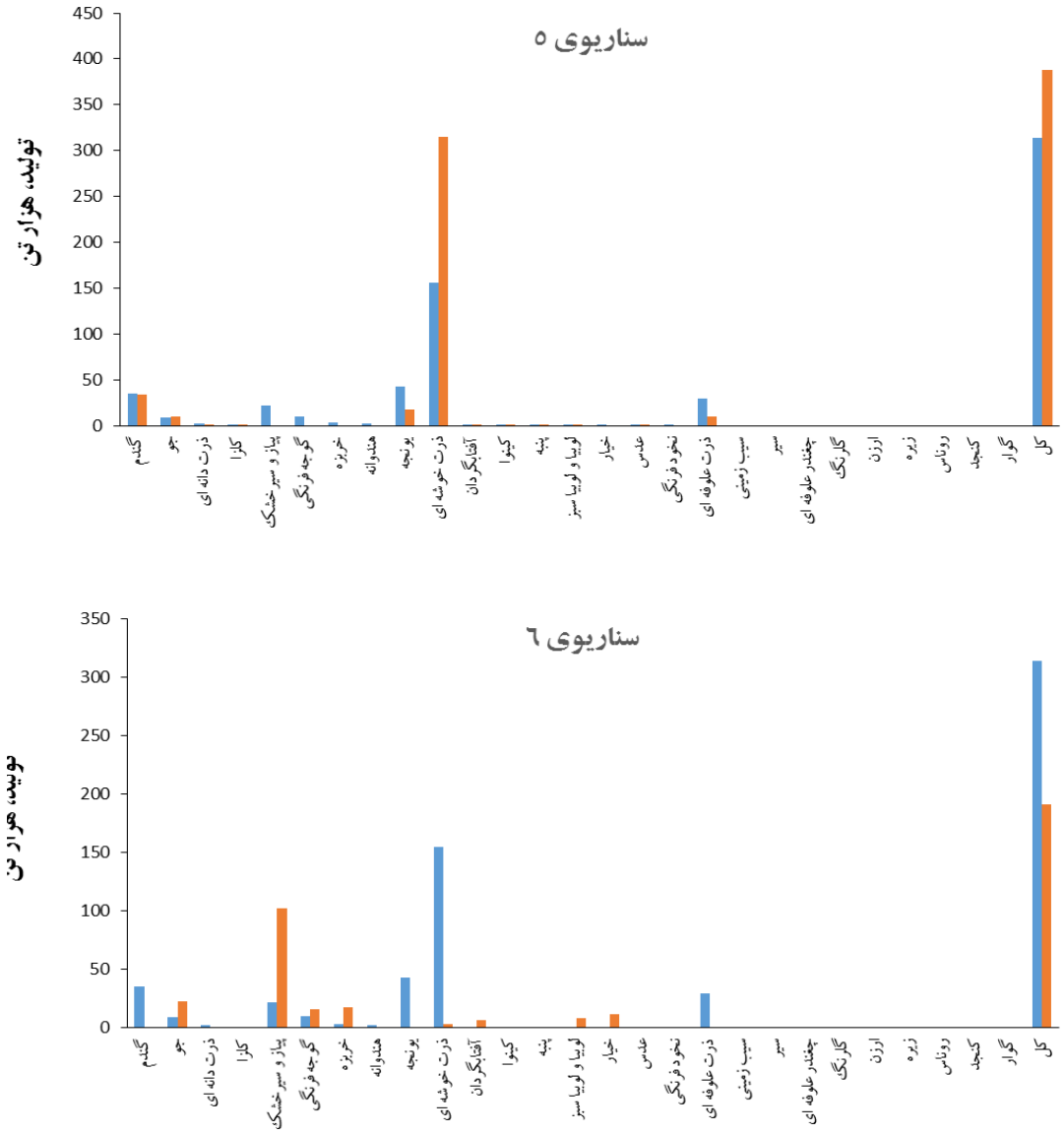
در شهرستان‌های استان یزد است. مطابق با نتایج بررسی سناریوی چهارم، افزایش سطح زیرکشت انجیر در اردکان و کاهش سطح زیرکشت انگور و بادام در شهرستان‌های استان یزد و همچنین حذف بادام در شهرستان‌های یزد و بافق پیشنهاد شده است. ازجمله دیگر پیشنهادات اعمال سناریوی چهارم، افزایش سطح زیرکشت خرما در بافق و اردکان و سطح زیرکشت گوجه در ابرکوه، بهاباد، میبد، یزد، مهریز و تفت می‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود سطح زیرکشت زعفران در کلیه شهرستان‌های استان یزد افزایش یافته که این افزایش در شهرستان اردکان کمتر از سایر شهرستان‌ها خواهد بود. در خصوص شفتالو پیشنهاد سناریوی چهارم حذف این محصول در شهرستان‌های اشکذر، میبد، یزد و تفت و افزایش سطح زیرکشت آن در بهاباد، خاتم و مهریز است. سطح زیرکشت سیب در اشکذر افزایشی و در تفت کاهشی بوده و حذف این محصول در شهرستان‌های میبد، بهاباد، یزد و مهریز پیشنهاد شده است.



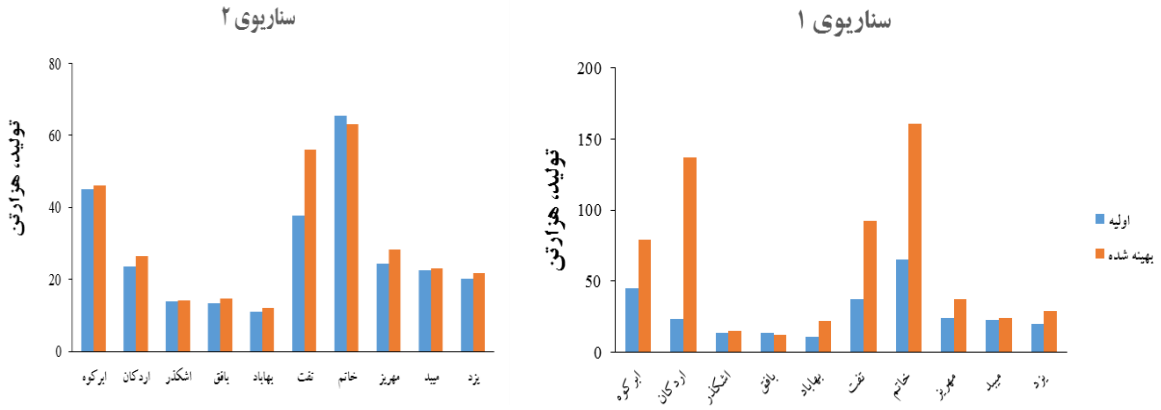


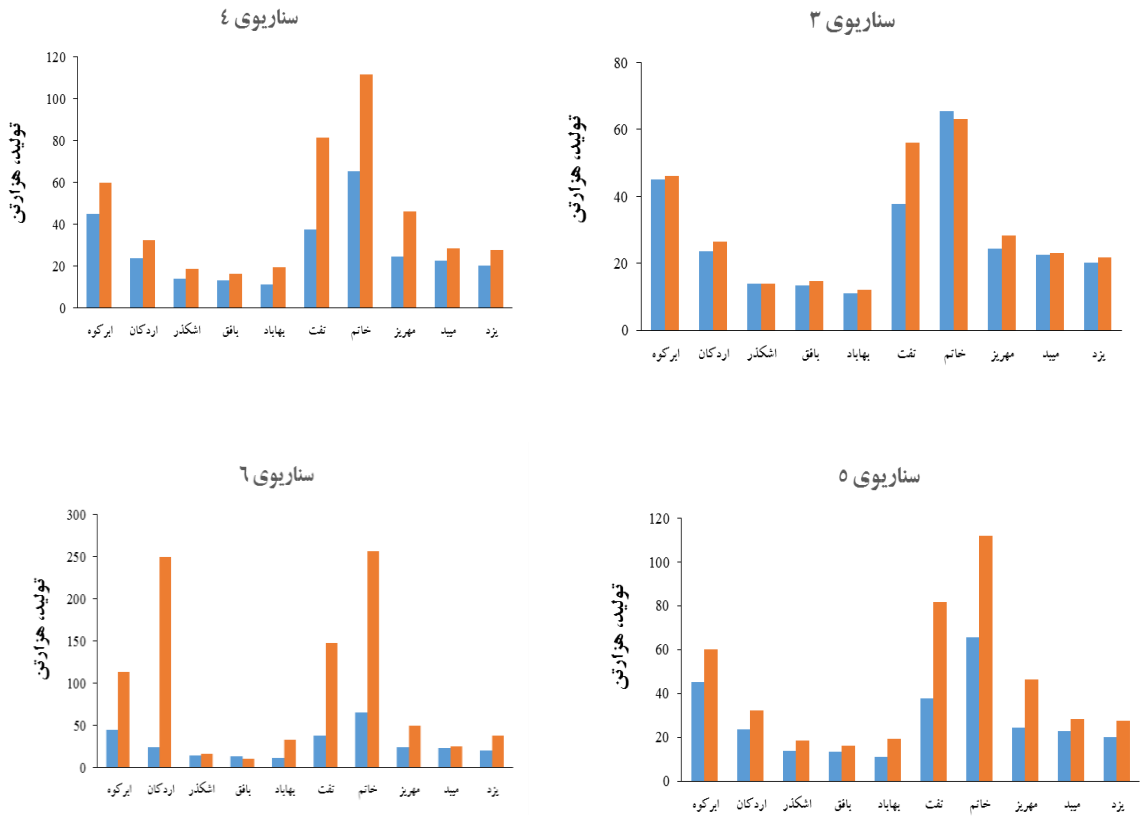
شکل (۲): نمایی از تغییر تولید محصولات زراعی استان یزد در سناریوهای متفاوت



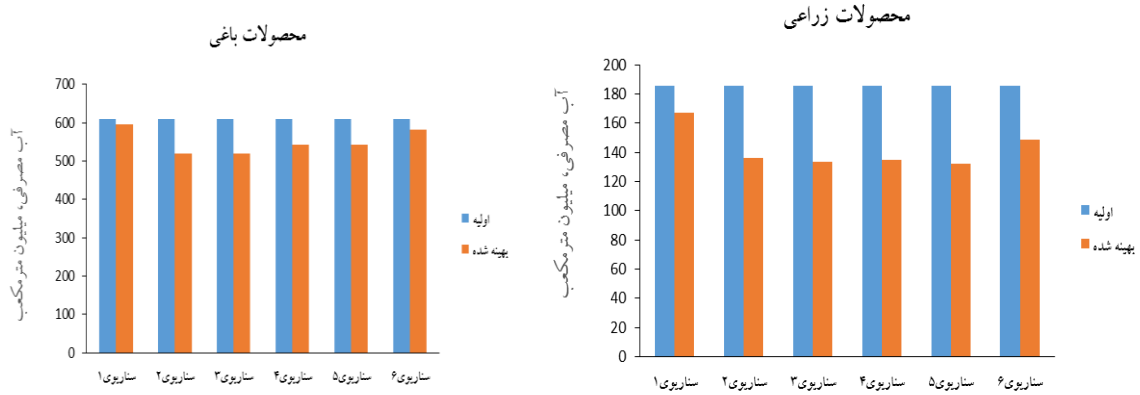


ادامه شکل(۲): نمایی از تغییر تولید محصولات زراعی استان یزد در سناریوهای متفاوت

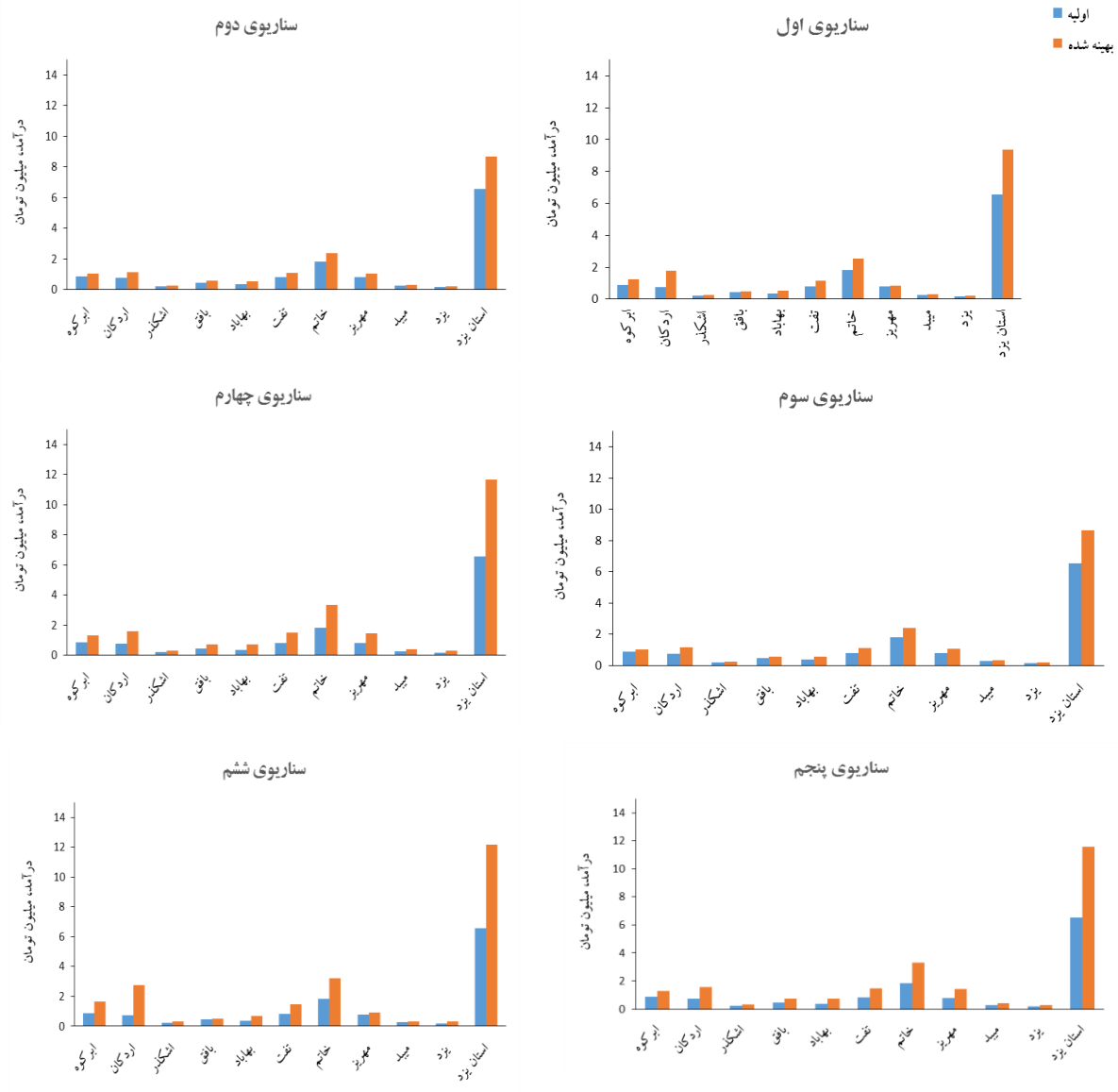




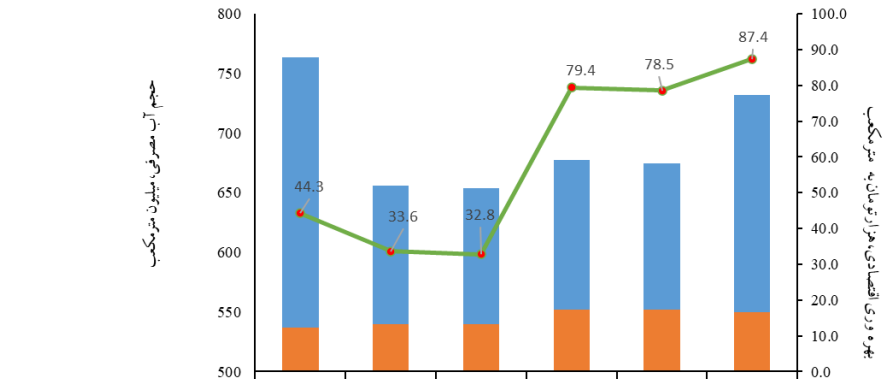
شکل(۳):نمایی از تغییر تولید محصولات باغی در شهرستان‌های متفاوت استان یزد در سناریوهای متفاوت



شکل(۴): حجم آب مصرفی محصولات باغی و زراعی استان یزد در سناریوهای متفاوت



شکل (۵): درآمد خالص حاصل از تولید محصولات باغی و زراعی استان یزد در سناریوهای متفاوت



	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم	سناریوی چهارم	سناریوی پنجم	سناریوی ششم
آب مصرفی، میلیون مترمکعب	763.12	656.16	653.47	677.54	674.87	731.88
بهره وری اقتصادی، هزارتومان به مترمکعب	12.3	13.2	13.2	17.2	17.2	16.6
درصد افزایش درآمد	44.3	33.6	32.8	79.4	78.5	87.4

شکل(۶): مقادیرآب مصرفی، درآمدخالص حاصل از تولید محصولات کشاورزی و بهره‌وری اقتصادی برای سناریوهای متفاوت

نتیجه‌گیری

به منظور ارایه الگوی کشت مناسب محصولات زراعی و باغی در استان یزد، آمار هواشناسی بلندمدت ۱۰ ساله هواشناسی اخیر منتهی به سال ۱۳۹۹ ایستگاه‌های سینوپتیک استان یزد در محاسبات نیاز آبی گونه‌های گیاهی زراعی و باغی غالب به تفکیک هر شهرستان مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نیاز آبی تعیین شده و اطلاعات موجود در خصوص هزینه تولید، درآمد و آب دردسترس، مدل بهینه‌سازی الگوی کشت برای شش سناریوی متفاوت ارایه شد. سناریوی اول مبتنی بر ایجاد حداکثر درآمد با کاهش سطح زیرکشت به حداکثر ۵۰ درصد سطح زیر کشت فعلی، سناریوی دوم و سوم ایجاد حداکثر درآمد با حداقل سطح زیرکشت و مطابق با برنامه ۵ ساله اول به ترتیب برای محصولات اصلی و محصولات اصلی بدون لحاظ سبزی و صیفی‌جات، سناریوی چهارم و پنجم ایجاد حداکثر درآمد با محدودیت منابع با حداقل سطح زیرکشت مطابق با برنامه ۱۰ ساله اول به ترتیب برای محصولات اصلی و محصولات اصلی بدون لحاظ سبزی و صیفی‌جات و سناریوی ششم ایجاد حداکثر درآمد با لحاظ محدودیت منابع بوده است. نتایج بهینه‌سازی سناریوهای متفاوت نشان داد که در سناریوی اول و ششم نسبت به وضعیت موجود، تولید محصولات زراعی کاهش و تولید محصولات باغی به صورت قابل توجهی در مقایسه با سایر سناریوها افزایش یافته است. در این دو سناریو سطح زیر کشت محصولات زراعی کاهش و سطح زیرکشت محصولات باغی افزایش یافته است. میزان افزایش درآمد در سناریوی اول ۴۳/۲۴ درصد و در سناریوی ششم ۸۶ درصد بوده است. این در حالی است که میزان آب مصرفی در هکتار در سناریوی اول از ۷۸۰۰ به ۷۳۰۰ مترمکعب کاهش و در سناریوی ششم از ۷۸۰۰ به ۸۰۰۰ مترمکعب در هکتار افزایش یافته است.

بر اساس تحلیل و مقایسه سناریوهای دوم، سوم، چهارم و پنجم، نسبت به وضعیت موجود آب مصرفی (۷۸۰۰ مترمکعب در هکتار)، میزان آب مصرفی در سناریوی دوم، سوم، چهارم و پنجم به ترتیب ۶۸۰۰، ۶۸۰۰ و ۵۸۰۰ و ۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار خواهد شد. بنابراین میزان کاهش آب مصرفی در هر هکتار در سناریوهای چهارم و پنجم بیشتر از سناریوهای دوم و سوم بوده است. این در حالی است که درصد افزایش درآمد در سناریوهای چهارم و پنجم بیشتر از سناریوهای دوم و سوم است (درصد افزایش درآمد در سناریوی دوم، سوم، چهارم و پنجم به ترتیب ۳۲/۶۶ درصد، ۳۱/۸۷ درصد، ۷۸/۱ درصد و ۷۷/۲

درصد بوده است). بر اساس الگوی کشت بهینه پیشنهادی سیاسر و هنر (۱۳۹۶) نیز به طور مشابه سود حاصل در هر هکتار افزایش یافت.

در سناریوهای دوم و سوم سطح زیرکشت باغی و زراعی کاهش یافته و در سناریوهای چهارم و پنجم سطح زیر کشت زراعی کاهش و سطح زیرکشت باغی افزایش یافته است. لازم به ذکر است که سناریوی دوم و سوم بر مبنای برنامه ۵ ساله و سناریوی چهارم و پنجم بر مبنای برنامه ۱۰ ساله ارایه شده است. با محاسبه بهره‌وری اقتصادی (نسبت درآمد خالص به آب مصرفی) در هر یک از سناریوهای مورد بررسی بیشترین بهره‌وری اقتصادی به ترتیب مربوط به سناریوی چهارم و پنجم، سناریوی ششم، سناریوی دوم و سوم و سناریوی اول بوده است. بر مبنای بهره‌وری اقتصادی، سناریوی پیشنهادی این مطالعه سناریوی چهارم می‌باشد. در سناریوی چهارم؛ میزان کاهش آب مصرفی ۲۶ درصد است. نتایج مطالعه احسانی کلی کند و همکاران (۱۳۹۷) نیز با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، حاکی از کاهش ۱۵ درصدی آب مصرفی در الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی کشت مصوب در دشت قزوین بود. در مطالعه سایبان و همکاران (۱۳۹۷) با توجه به هدف حداکثرسازی سود، مقدار آب مصرفی در شهرستان بهبهان به میزان ۴/۶۳ درصد افزایش یافت که البته در این مطالعه، استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه با لحاظ حداقل‌سازی مصرف آب پیشنهاد شده است. در مطالعه ثانی و دشتی (۱۴۰۰) با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی استوار، میزان کاهش آب مصرفی در شهرستان سراب آذربایجان شرقی معادل ۷/۷ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی گزارش شده است. بر مبنای الگوی کشت پیشنهادی وفابخش و همکاران (۱۳۹۸) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه میزان کاهش مصرف آب معادل ۱۱/۷ درصد بوده است. مطالعه مردانی و همکاران (۱۳۹۵) با کاربرد رویکرد برنامه‌ریزی ساختاری چندهدفه در استان اصفهان، حاکی از کاهش ۱۰ درصدی مصرف آب بود.

همچنین در سناریوی چهارم، درآمد خالص به میزان ۷۸/۱ درصد افزایش یافته است. در مطالعه احسانی کلی‌کند و همکاران (۱۳۹۷) تدوین الگوی کشت بهینه در دشت قزوین منجر به افزایش سود خالص به میزان ۶۷/۷ درصد شد. همچنین در مطالعه وفابخش و همکاران (۱۳۹۸) در تدوین الگوی کشت بهینه با هدف احیای دریاچه ارومیه میزان درآمد کل منطقه ۲۷/۱ درصد افزایش یافته است. بر اساس تدوین الگوی کشت در اصفهان توسط مردانی و همکاران (۱۳۹۵) نیز میزان درآمد ناخالص ۲۴ درصد افزایش یافت.

در سناریوی چهارم سطح زیرکشت محصولات زراعی غالب از ۲۳۲۳۱ هکتار به ۱۸۵۱۹ هکتار کاهش (۲۰ درصد کاهش) و سطح زیرکشت محصولات باغی غالب از ۷۸۳۶۱.۷ به ۹۷۳۳۴ هکتار افزایش یافت (۲۴ درصد افزایش). تولید محصولات زراعی از ۳۸۵۴۳۷ تن به ۴۶۶۸۰۷ تن و تولید محصولات باغی نیز از ۲۷۷۶۹۴/۶ تن به ۴۴۲۴۲۱ تن افزایش یافت. در مطالعه رحیمیان و همکاران (۱۳۹۷) در خصوص تدوین سند بهره‌وری آب کشاورزی استان یزد، کاهش سطح کشت محصولات زراعی و باغی از ۱۱۷۵۰۰ هکتار (شرایط فعلی) به ۱۰۷۵۰۰ هکتار در سال ۱۴۰۰ پیشنهاد شده است. همچنین کاهش سطح کشت محصولات پرآبخواه زراعی و باغی، تغییر الگوی کشت و گرایش به سمت کشت‌های گلخانه‌ای و گیاهان دارویی پیشنهاد شده است. البته این تحقیق صرفا بر پایه نیاز آبی گیاهان و بهره‌وری آب بوده است و مباحث اقتصادی در آن لحاظ نشده است. بر اساس مطالعه مردانی و همکاران (۱۳۹۵) نیز با تدوین الگوی کشت بهینه مبتنی بر برنامه-ریزی ساختاری چندهدفه در اصفهان، سطح زیرکشت محصولات زراعی کاهش محسوس و سطح زیرکشت محصولات باغی افزایش ۳۸ درصدی داشت. همچنین در مطالعه وفابخش و همکاران (۱۳۹۸) در رابطه با الگوی کشت بهینه محصولات زراعی و باغی عمده در حوزه آبریز دریاچه ارومیه، سطح زیرکشت محصولات زراعی به میزان ۱۰ درصد کاهش و سطح زیرکشت محصولات باغی به میزان ۲۰ درصد افزایش یافته است.

در سناریوی چهارم در مطالعه حاضر، سطح زیرکشت سیب‌زمینی و سیر بدون تغییر، سطح زیرکشت زیره و ذرت خوشه‌ای افزایش و سایر محصولات زراعی کاهش یافت. کمترین کاهش سطح زیرکشت محصولات زراعی متعلق به گندم، جو، آفتابگردان، عدس و روناس بوده است. در این سناریو سطح زیرکشت گندم از ۹۱۰۰ هکتار به ۷۰۱۸

هکتار کاهش یافت (۲۳ درصد کاهش). اما در مطالعه ثانی و دشتی (۱۴۰۰) نتایج تدوین الگوی کشت برای شهرستان سراب آذربایجان شرقی منجر به افزایش سطح زیرکشت گندم آبی، یونجه و سیب‌زمینی شد در حالی‌که سطح زیرکشت جو کاهش یافت. البته در مطالعه مذکور، بهینه-سازی الگوی کشت تحت شرایط عدم قطعیت با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی استوار انجام شده است درحالی‌که در مطالعه حاضر محدودیت مدل مبتنی بر محدودیت آب مطابق با برنامه ده ساله سازگاری با کم آبی استان یزد(۱۳۹۹) است. در مطالعه انجام شده توسط طباطبایی و شهیدی(۱۳۹۶) بهره‌وری اقتصادی با تغییر الگوی کشت در روستای مزرعه‌نو واقع در شهرستان اردکان در استان یزد مورد بررسی قرار گرفت که در این مطالعه تغییر الگوی کشت منجر به حذف گندم و جو و جایگزینی کشت زعفران شد. در این شرایط درآمد خالص سه برابر الگوی کشت موجود به دست آمد. در مطالعه مذکور صرفا بر مبنای نیاز آبی محصولات عمل شده است و محدودیت منابع آب مبتنی بر برنامه ملی سازگاری با کم آبی و سیاست‌های مربوط در خصوص کشت و تولید گندم لحاظ نشده است. در حالی‌که در مطالعه حاضر با در نظر داشتن محدودیت منابع آب مبتنی بر برنامه ملی سازگاری با کم آبی و برنامه ده ساله با هدف ایجاد حداکثر درآمد (سناریوی چهارم) بوده است و سطح زیرکشت گندم در الگوی کشت پیشنهادی حذف نشده است. ضمن اینکه در این برنامه، سطح زیرکشت زعفران ۲۷ درصد افزایش یافت. بر اساس مطالعه اکرامی و همکاران (۱۳۹۹) مبتنی بر نیاز آبی گیاهان، گونه‌های بادام و انگور برای مناطق جنوبی تا جنوب غربی حوزه آبخیز پیشکوه یزد واقع در شهرستان تفت با بیشترین میزان آسیب‌پذیری خشکسالی و برای مناطق مرکزی، شرقی و شمال غربی که دارای آسیب‌پذیری متوسط و به نسبت کمتر هستند علاوه بر گونه‌های کم‌آبخواه، گونه‌های متوسط‌آبخواهی نظیر انار و زردآلو پیشنهاد شده است. این مطالعه صرفا بر پایه نیاز آبی محصولات باغی و بهبود بهره-وری آب بوده است و ملاحظات اقتصادی و سیاست‌های استان در ارایه الگوی کشت مناسب در نظر گرفته نشده است. در حالی‌که در مطالعه حاضر با در نظر داشتن نیاز آبی گیاهان، آب مصرفی، ملاحظات اقتصادی و سند سازگاری با کم آبی در سناریوی چهارم سطح زیرکشت انار و زردآلو در شهرستان تفت بدون تغییر و سطح زیرکشت بادام و انگور کاهش یافته است.

منابع

احسانی کلی‌کند، س.، نظری، ب.، رمضانی اعتدالی، ه. و ستوده نیا، ع. ۱۳۹۷. تعیین الگوی کشت بهینه با هدف سازگاری با کم آبی و افزایش درآمد کشاورزان در شرایط تحویل حجمی. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، ۵(۱): ۷۱-۷۸.

اسعدی، م. ع. و نجفی علمدارلو، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی اقتصادی الگوی بهینه کشت در راستای کاهش استفاده از منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، ۵۰(۱): ۲۹-۴۳.

اکرامی، م.، مهدوی، ر.، رضایی، م.، وقارفرد، ح. و برخورداری، ج. ۱۴۰۰. محاسبه نیاز آبی و ارایه الگوی کشت باغی کم‌آبخواه و سازگار با مناطق خشک به منظور کاهش آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی(مطالعه موردی: حوزه آبخیز پیشکوه استان یزد). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۲(۴۶): ۳۱۴-۳۳۷.

پوران، ر. و راغفر، ح. ۱۴۰۰. بررسی الگوی کشت محصولات زراعی استانهای سمنان و ایلام با تاکید بر نقش آب مجازی در بهره‌وری آب. آب و توسعه پایدار. ۸(۱): ۹۷-۱۰۶.

ثانی، ف. و دشتی، ق. ۱۴۰۰. تعیین الگوی کشت بهینه سازگار با کم آبی تحت شرایط عدم قطعیت با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی استوار. نشریه دانش آب و خاک، ۳۱(۱): ۱۵-۳۰.

جعفرزاده، ا.، خاشعی سیوکی، ع. و شهیدی، ع. ۱۳۹۵. طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چندهدفه به منظور تعیین الگوی کشت بهینه تاثیر پدیده تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت بیرجند). تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷(۴): ۸۴۹-۸۵۹.

حسینی، آ.، مهرگان، ن. و ابراهیمی، م. ۱۳۹۵. تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی با تاکید بر بیشینه کردن منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی (مطالعه موردی دشت بهار همدان). تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۸(۳): ۱۲۳-۱۴۴.

حیدری، ن. ۱۳۹۸. بررسی و تحلیل قوانین و اسناد فرادست پیرامون انتخاب الگوی کشت مناسب در عرصه کشاورزی ایران. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، ۷(۱): ۲۷-۴۳.

رحیمیان، م. ح.، حاجی حسینی، ع.، اسپرس، ر. و بیرامی، ح. ۱۳۹۶. تدوین سند بهره‌وری آب کشاورزی در استان یزد، گزارش علمی فنی به شماره ثبت ۵۳۲۹۸، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران، ۱۲۹ صفحه.

زارع، شجاعت .۱۳۸۸. بررسی راهکارهای اجرایی مدل سازی و اجرای الگوی کشت در سطح کشور .مجموعه مقالات اولین هم‌اندیشی الگوی کشت محصولات زراعی و باغی کشور، ۵-۶ خرداد، ۱۳۸۸، تهران، ایران، ۵۴۱-۵۶۴.

سایبان، ف.، عبدشاهی، ع. و مردانی، م. ۱۳۹۷. تعیین الگوی بهینه کشت محصولات کشاورزی با هدف حداکثرسازی سودناخالص کشاورزان شهرستان بهبهان. فصلنامه علمی تخصصی رویکردهای پژوهشی کارآفرینانه در کشاورزی، دانشگاه علوم و منابع طبیعی خوزستان، ۴: ۵۳-۶۳.

سالیانی، ط. ۱۳۷۵. طراحی الگوی کشت در طرح‌های توسعه منابع آب. نشریه اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۴(۱۵): ۹۱-۹۳.

سیاسر، ه. و هنر، ت. ۱۳۹۶. بهینه‌سازی تخصیص آب و الگوی کشت محصولات غالب کشاورزی با استفاده از الگوریتم ژنتیک. سومین کنفرانس بین المللی مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی. تهران.

طباطبایی، س. م.، شهیدی، ع. ۱۳۹۶. بررسی افزایش بهره‌وری اقتصادی آب با تغییر الگوی کشت در روستای مزرعه‌نو در اردکان-یزد. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۱): ۱۱۹-۱۲۸.

گودرزیان، پ.، عرفانی‌فرد، س. ی. و صادقی، ح. ۱۳۹۲. شناسایی و طبقه‌بندی سامانه‌های اگروفارستری موجود در استان فارس(مطالعه موردی: شهرستان کازرون). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۱): ۵۵-۷۰.

لاله‌زاری، ر.، معاضد، ه.، برومندنسب، س. و حقیقی، ع. ۱۳۹۴. توسعه مدل ریاضی و بهینه‌سازی تخصیص آب کشاورزی بر اساس رتبه‌بندی نامغلوب. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۵(۱): ۱۷-۳۰.

مردانی، م.، نیکویی، ع.، ضیائی، س. و احمدپور، م. ۱۳۹۵. تدوین الگوی منطقه‌ای کشت محصولات زراعی و باغی در استان اصفهان: رویکرد برنامه‌ریزی ساختاری چندهدفه. نشریه اقتصادی و توسعه کشاورزی، ۳۰(۳): ۱۸۸-۲۰۶.

میرزایی، ع.، جمشیدی، س.، آزرم، م.، لیانی، ق. ۱۳۹۶. تعیین الگوی کشت بهینه بخش مرکزی شهرستان سیرجان با توجه به پایداری منابع آب و محیط زیست. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۹ (۴): ۲۸۳-۳۰۴.

نظری، ب.، لیاقت، ع. و پارسی نژاد، م. ۱۴۰۰. ارزیابی اثر توسعه سیستم‌های آبیاری، سناریوهای الگوی کشت و کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب در شبکه آبیاری قزوین به روش پویایی سیستم‌ها.علوم و مهندسی آبیاری، ۴۴(۴): ۹۳-۱۰۸.

وفابخش، ج.، محمدزاده ، آ.، بازرگان، ک. و نویدی، م. ن. ۱۳۹۸. مطالعه تطبیقی الگوی کشت و تناسب اراضی محصولات زراعی و باغی عمده در حوضه آبریز ارومیه. نشریه بوم شناسی کشاورزی، ۳(۱۱): ۷۷۹-۸۰۵.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISB 92-5-104219-5.

Amini Fasakhodi, A., Nouri, S.H., and Amini, M. 2010. Water resources sustainability and optimal cropping pattern in farming systems; a multi-objective fractional goal programming approach. Water Resources Management 24: 4639- 4657

Ashofteh, P.-S., Bozorg-Haddad, O., and Mariño, M. A. 2015. Risk analysis of water demand for agricultural crops under climate change. Journal of Hydrologic Engineering, 20 (4), Doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-584.0001053, 04014060.

Barati, Kh., . Abedi Koupai, J., Darvishi, E., . Azari, A. and Yousefi, A.2020. Cropping Pattern Optimization Using System Dynamics Approach and Multi-Objective Mathematical Programming. J. Agr. Sci. Tech. (2020), 22(5): 1397-1412.

Brouwer, C. and Heibloem, M. 1986. Irrigation water needs (Chapter 4). Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. FAO Training manual no. 3.

Matthews, R. B., Rivington, M., Muhammed, S., Newton, A. C. and Hallett, P. D. 2013. Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: The role of crop modelling. Global Food Security, 2: 24-28.

Mirzaei Bafti, M., Rahmani, S. and Parhizkar, A.2019. The Economic Value of Irrigation Water, Cropping Pattern, and Farmer Gross Margin Under Drought Conditions: The case of the Qazvin plain. Journal of Hydrosciences and Environment, 3(6):32-42. Available online at http://jhe.usb.ac.ir/

Mohammadi, H., Sargazi, A., Dehbashi, V., and Poudineh, M. 2016. Optimization of cropping pattern with an emphasis on social benefits in the rational exploitation of water (A case study of Fars Province). Journal of Environmental Science and Technology 17: 107-115

Pasula, S. R., Gudem, S.S., Gaddam, S. J. and Sampath, P. V. 2022. Optimizing cropping patterns under the influence of climate change. EGU General Assembly: https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-11145.

Rath A, Samantaray S and Swain PC, 2019. Optimization of the cropping pattern using Cuckoo Search Technique. In Smart Techniques for a Smarter Planet. Pp. 19-35. In: Mishra MK, Mishra BSP, Patel YS and Misra R (eds). Smart Techniques for a Smarter Planet. Springer- Switzerland.

Singh, D., Jaiswal, C., Reddy, K., Singh, R. and Bhandarkar, D. 2001. Optimal cropping pattern in a canal command area. Agricultural Water Management, 50: 1-8.

Sugihardjo, Sutrisno, J., Setyono, P. and Suntoro. 2018. Climate change and farmers' cropping patterns in Cemoro watershed area, Central Java, Indonesia. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science: doi :10.1088/1755-1315/129/1/012033.

Tan, Q and Zhang, T. 2018. Robust fractional programming approach for improving agricultural water-use efficiency under uncertainty. Journal of Hydrology, 564: 1110-1119.

Yang, X. G., Liu, Z. J. and Fu, C. 2011. The possible effect of climate warming on northern limits of cropping system and crop yield in China. Agricultural Sciences in China, 10: 585-594.