Agricultural Economics and Development

Vol. 34, No. 134, Summer 2026

Research Paper

Formulating a Cropping Pattern under Water Scarcity Conditions Considering Farmers' Risk Preferences: A Case Study of Major Crops in Nazarabad County of Iran

F. Mirmohammadi [1], F. Kashiri Kolaei [2], S. Shirzadi Laskookalayeh [3]

Received: 15 April, 2026 Accepted: 2 August, 2026

Introduction: Activity in the agricultural sector is accompanied by risk and uncertainty due to natural hazards, price fluctuations in the market, and the behavior of farmers themselves, which causes farmers to face risks and uncertainty about future income in the decision-making process for input consumption and production. This shows the importance of paying attention to risk in agricultural planning. On the other hand, in many countries, including Iran, water shortage is one of the main challenges for the government. Especially, since in Iran, about 90 percent of water resources are consumed in the agricultural sector, water shortages and droughts have caused the country suffering from water shortages to face problems and crises. The importance of this issue has led researchers to pay great attention to this issue.

The adaptation strategies that farmers use when dealing with drought are defined in two parts: risk and crisis management. To deal with this phenomenon and reduce damage, farmers are required to adopt appropriate strategies. Today, changing farmers' cultivation patterns and using water resources and plant diversity at different levels in pastures are among the basic strategies that most experts emphasize to deal with the drought. Given that the selected cultivation pattern of farmers is affected by their degree of risk aversion; therefore, when faced with conditions such as the water shortage, in order to use water optimally,

1. MSc. Graduate in Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
2. Corresponding Author and Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Sari university of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran (f.kashiri@sanru.ac.com).
3. Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

DOI: 10.30490/aead.2026.367635.1733

a cultivation pattern appropriate to their risk aversion should be propose to facilitate its adoption. Therefore, in this study, using a Quadratic Risk Programming (QRP) model, optimal cultivation patterns based on the degree of risk aversion of farmers were determined for agricultural lands in Nazarabad County of Iran under water access restrictions in water shortage conditions.

Materials and Method: There are various methods for decision-making and development of cropping patterns under risk conditions, one of which is QRP model. This model deals with maximizing expected returns and minimizing risk. In the present study, the objective function of the used model was minimizing the risk of profit. The constraints of the model included achieving the expected profit and constraints on water, land, and capital inputs. It should be noted that to calculate the expected profit, a model was first solved with the aim of maximizing profit with respect to input constraints, and the maximum profit obtained from it was multiplied by a factor of 0.95, 0.9, and 0.85. This means that farmers were considered who were willing to give up 5, 10 and 15 percent of the maximum achievable profit, respectively, but followed a low-risk cropping pattern. The farmer who gives up 15 percent of his gross profit to reduce risk is more risk-averse than the other two groups of farmers. The studied products included major cultivated irrigated crops such as wheat, barley, rapeseed, cucumber, tomato, potato, and onion. The required data included the amount of water consumption per hectare, the capital required per hectare, the current cultivation levels, the price of the products, and the yield of the products which were collected by referring to the Agriculture-Jahad Center of the studied region and also the website of the Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ) for the 2021-2022 cropping year. Finally, the results were estimated using GAMS software.

Results and Discussion: Based on the results, with a 5 percent reduction in water availability and the presence of farmers with low risk aversion, it was suggested that barley cultivation would be reduced by 42 percent compared to the current cropping pattern; but in contrast, the cultivation of wheat, cucumber, potato, and rapeseed should be increased; for example, the area of potato cultivation should be changed from 5 hectares to 50 hectares and the area of cucumber cultivation should be changed from 8 hectares to 111 hectares. In the proposed cultivation pattern, the share of rapeseed and wheat cultivations also increased by about 1 and 21 percent, respectively. Also, under conditions of a 10 percent reduction in water availability, increased risk aversion led to a decrease in the share of wheat cultivation and an increase in the area of barley and rapeseed cultivations. On the other hand, under higher risk aversion, a greater decrease in water availability led

to a decrease in the share of cucumber and wheat cultivations, and in contrast, the share of barley cultivation increased. The study results showed that the reduction in water availability, along with the level of risk aversion of farmers, had an effect on the total land used, so that with a 5 percent reduction in water availability, in conditions of low risk aversion, the total amount of land used decreased by about 8 percent compared to the current cultivation pattern, while in higher risk aversions, the total cultivation area faced little change. In other words, cropping pattern management for farmers with a high degree of risk aversion caused the total amount of cultivated land to not change much even in conditions of further reduction in water availability. Along with the change in cropping pattern, the amount of profit and risk of the cropping pattern also changed. However, in the scenarios studied, the percentage of risk reduction was always greater than the percentage of profit reduction.

Conclusion and Suggestions: Based on the results in different risk aversion scenarios, the proposed cropping pattern changed compared to the current cropping pattern in such a way that with increasing drought and consequently, decreasing water availability, in order to reduce risk, it is necessary for farmer with higher risk aversion to reduce the level of cucumber cultivation, and conversely, the level of cultivation of crops such as rapeseed should be increased. Also, based on the study results, although reducing water availability saves water consumption, it also reduces farmers' profits. Therefore, in order to encourage farmers to implement the proposed cultivation patterns and compensate for the reduction in their profits, it is suggested that solutions such as providing a suitable market for selling products, purchasing at a guaranteed price, and providing facilities to farmers be considered.

Keywords: *Cropping Pattern, Drought, Quadratic Risk Programming (QRP) Model, Risk Aversion.*

JEL Classification: C61, Q01

اقتصاد کشاورزی و توسعه

سال ۳۴، شماره ۱۳۴، تابستان ۱۴۰۵

مقاله پژوهشی

تدوین الگوی کشت در شرایط کم‌آبی با توجه به ترجیحات مخاطرهٔ کشاورزان: مطالعهٔ موردی محصولات عمدهٔ زراعی شهرستان نظرآباد

فاطمه میرمحمدی[۱]، فاطمه کشیری کلایی[۲]، سمیه شیرزادی لسکوکلایه[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۱

چکیده

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب به‌شمار می‌رود که با توجه به کم‌آبی‌های سال‌های اخیر، برنامه‌ریزی برای کشت محصولات سازگار با این شرایط، ضروری به‌نظر می‌رسد. اما علاوه بر محدودیت استفاده از نهاده‌هایی همچون آب، یکی از عوامل اثرگذار بر تصمیمات کشاورزان در انتخاب الگوی کشت ترجیحات مخاطره (ریسکی) آنهاست. از این‌رو، در پژوهش حاضر، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مخاطرهٔ درجه دوم (QRP)، الگوی کشت مناسب در شرایط کم‌آبی و ترجیحات مخاطره کشاورزان در شهرستان نظرآباد بررسی و ارائه شد. اطلاعات مورد نیاز مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بود که از طریق مراجعه به مرکز جهاد کشاورزی منطقه مورد مطالعه و تارنمای وزارت جهاد کشاورزی گردآوری شد. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که در شرایط کاهش پنج، ده و پانزده درصدی موجودی آب، با اعمال سناریوهای مخاطره‌گریزی (ریسک‌گریزی) پایین،

۱- دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲- نویسندهٔ مسئول و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(f.kashiri@sanru.ac.com)

۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

DOI: 10.30490/aead.2026.367635.1733

متوسط و بالا، الگوی کشت، میزان مصرف آب و مخاطره نسبت به الگوی فعلی تغییر کرده، به‌گونه‌ای که با کاهش پانزده درصدی موجودی آب در سناریوی مخاطره‌گریزی بالا، به‌منظور کاهش مخاطره، بهتر است سطح کشت محصول خیار، گندم و جو نسبت به الگوی فعلی، به‌ترتیب، حدود هشتاد، ۲۸ و پنج درصد کاهش یابد و در مقابل، محصولی مانند کلزا حدود هشتاد درصد و سیب‌زمینی ده برابر افزایش یابد. بر مبنای نتایج تحقیق، در سناریوی مخاطره‌گریزی بالا، با کاهش پانزده درصدی موجودی آب، میزان صرفه‌جویی آب حدود هجده درصد محاسبه شده و میزان مخاطره حدود ۳۳ درصد کاهش یافته و در مقابل، میزان سود هم حدود ۲۵ درصد کاهش یافته است. از این‌رو، برای جبران این کاهش سود و به‌منظور مساعدت در صرفه‌جویی در مصرف آب، پیشنهاد می‌شود که در راستای جبران بخشی از سود ازدست‌رفته کشاورزان، راهکارهایی همچون فراهم‌سازی بازار مناسب برای فروش محصولات، خرید با قیمت تضمینی و ارائه تسهیلات به کشاورزان مد نظر قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: *الگوی کشت، خشکسالی، مخاطره‌گریزی، مدل برنامه‌ریزی مخاطرهٔ درجه دوم (QRP).*

طبقه‌بندی JEL : C61, Q01

مقدمه

با توجه به اهمیت بخش کشاورزی در اقتصاد کشورهای در حال توسعه به‌عنوان منبع درآمد کشاورزان و تأمین مواد غذایی مورد نیاز، توجه به میزان منابع در اختیار کشاورز و عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری تخصیص منابع ضروری است (Wondimagen, 2014). در بخش کشاورزی، تولید تفاوت‌هایی با سایر زمینه‌های تولیدی دارد. فعالیت در این بخش، به‌علت مخاطرات طبیعی، نوسان‌های قیمت در بازار و رفتار خود کشاورزان، با مخاطره و نبود اطمینان همراه است و کشاورزان، در فرایند تصمیم‌گیری برای مصرف نهاده‌ها و تولید، همواره با با مخاطره و عدم اطمینان نسبت به درآمد آتی مواجه‌اند (Ehsan et al., 2008). این موضوع اهمیت توجه به مخاطره در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، در بسیاری از کشورها از جمله ایران، کمبود آب یکی از چالش‌های اصلی دولت است، به‌ویژه اینکه در ایران، حدود نود درصد از منابع آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Pourgholam-Amiji et al., 2022). به‌طور کلی، بر اثر کمبود آب در بعضی از مناطق امنیت و سلامت اقتصادی به خطر افتاده است (Ghaffari Moghadam et al., 2022)، به‌گونه‌ای که آبیاری ناکافی باعث محدودیت در رشد محصولات می‌شود و بر عملکرد محصولات و سود اقتصادی در تولیدات کشاورزی تاثیرگذار است (Zhang et al., 2021). از سوی دیگر، بر اثر کمبود آب و خشکسالی‌ها، کشورهای دچار کم‌آبی با مشکلات و بحران‌هایی مواجه شده‌اند. در بسیاری از مناطق ایران نیز خشکسالی‌های مستمر به کاهش و محدودیت منابع آب و افزایش تقاضا در

بخش‌های صنعت، آب آشامیدنی و محیط زیست انجامیده که در نتیجه آن، در بخش‌های مختلف، بر سر مصرف آب رقابت شدید ایجاد شده است (Khorramian & Varjavand, 2024). خشکسالی پدیده‌ای جهانی است که می‌تواند در هر ناحیه به‌وقوع بپیوندد و منجر به زیان‌ها و هزینه‌های اساسی اقتصادی و زیست‌محیطی شود. این موضوع، با توجه به اهمیت فراوان آن، در کانون توجه پژوهشگران بوه است (Khodagholi et al., 2013).

راهبردهای سازگاری کشاورزان هنگام مقابله با خشکسالی در دو بخش مدیریت مخاطره و بحران تعریف می‌شوند. برای مقابله با این پدیده و برای کاهش خسارت، لازم است که کشاورزان راهبردهایی مناسب را در پیش گیرند. هنگام خشکسالی، راهبردهایی متفاوت از سوی دولت و سازمان‌های غیردولتی به کشاورزان ارائه می‌شود (Poortaheri et al., 2013). امروزه، تغییر الگوی کشت کشاورزان و استفاده از روش‌های کم‌آبیاری در راستای مدیریت پایدار منابع آب در شرایط خشکسالی پیشنهاد می‌شود (Molavi et al., 2017). به دیگر سخن، به‌علت محدودیت منابع آب در دسترس، استفاده بهینه و افزایش بهره‌وری آب در بخش‌های مختلف به‌ویژه در بخش کشاورزی ضروری می‌نماید. در راستای تدوین الگوی کشت مناسب در شرایط مختلف از جمله شرایط توأم با مخاطره، از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مختلف استفاده شده است. یکی از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی بر مبنای واکنش کشاورزان به مخاطره روش برنامه‌ریزی (ریاضی توأم با) مخاطره درجه دوم[1] است که اولین‌بار توسط فروند[2] در سال ۱۹۵۶ به‌منظور تعیین برنامه و کارآیی بهره‌برداران به‌کار گرفته شد. این مدل برگرفته از مدل مارکوویتز (Markowitz, 1952) بوده که اساس آن میانگین–واریانس بازدهی فعالیت است. در این روش، معیار اندازه‌گیری مخاطره، واریانس است و در آن، فرض می‌شود که ترجیحات کشاورز تابعی از سود انتظاری و واریانس آن است. در برنامه‌ریزی مخاطره درجه دوم (QRP)، واریانس سود مزرعه در قالب تابع درجه دوم از سطح فعالیت‌ها و واریانس– کواریانس فعالیت‌های زراعی لحاظ می‌شود (Kaiser & Messer, 2011).

به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت و اثر محدودیت‌های دسترسی به آب بر آن، مطالعات مختلف در داخل و خارج کشور صورت گرفته است. برای نمونه، قادرزاده و کریمی (Qaderzadeh & Karimi, 2018)، با به‌کارگیری مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی[3]، به بررسی اثرات سهمیه‌بندی آب آبیاری بر الگوی کشت و سود ناخالص در دشت قروه-دهگلان پرداختند. در مطالعه آنها، سناریوهای

1. Quadratic Risk Programming (QRP)
2. Freund
3. Positive Mathematical Programming (PMP)

کاهش ده تا چهل درصدی آب در دسترس مد نظر قرار گرفت و نتایج مطالعه نشان داد که کاهش آب در دسترس به کاهش سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی بالا مانند یونجه و سیب‌زمینی و افزایش سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی پایین همچون گندم و جو و در نتیجه، به کاهش سطح زیر کشت کل می‌انجامد. همچنین، نتایج حاکی از آن بود که کاهش آب در دسترس موجب افزایش بهره‌وری آب و در عین حال، کاهش سود ناخالص کشاورزان دشت قروه-دهگلان می‌شود. شکاری و همکاران (Shekari et al., 2019) نیز به بهینه‌سازی الگوی کشت و منابع آب در سطوح مختلف آبیاری برای مناطق گرم و خشک با رویکرد تکنیک‌های کم‌آبیاری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی[1] پرداختند و نتایج این مطالعه بیانگر افزایش سود خالص و صرفه‌جویی مصرف آب کشاورزی در مقایسه با الگوی کشت موجود بود؛ از این‌رو، چنین نتیجه‌گیری شد که رویکرد یادشده می‌تواند در حفظ و پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی مؤثر واقع شود. همچنین، اکبری و همکاران (Akbari et al., 2019)، با به‌کارگیری رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی و تدوین مدل تلفیقی موتاد–هدف[2] با رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)، الگوی کشت دشت قزوین در سناریوهای اقلیمی و دوره‌های خشکسالی را شبیه‌سازی و اثرات مخاطره این سناریوها را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که در هر سه سناریوی اقلیمی طی سال‌های آینده، دما افزایش و بارش کاهش می‌یابد و الگوی کشت به سمت محصولات با ثبات درآمدی بالاتر سوق پیدا می‌کند و تنها سطح زیر کشت گندم کاهش می‌یابد و سطح زیر کشت دیگر محصولات افزایش پیدا می‌کند. همچنین، در سناریوی خشکسالی نیز به‌دلیل کاهش حجم آب، الگوی کشت به سمت محصول با آب‌بری کمتر می‌رود و محصولات با ثبات درآمدی بالاتر تغییرات کمتری دارند. مخاطره درآمدی با تغییر اقلیم و خشکسالی کاهش داشته و در بدترین سناریوی خشکسالی (خشکسالی خیلی شدید) و تغییر اقلیم نیز به‌ترتیب، به میزان ۶۸/۱ و ۶/۴ درصد کاهش یافته است. در مطالعهٔ قانی و همکاران (Sani et al., 2022)، ضمن معرفی یک مدل هیدرو–اقتصادی مبتنی بر مخاطره، به کاربرد این مدل در ارزیابی اثر سناریوهای قیمتی و غیرقیمتی آب آبیاری بر الگوی کشت و سود کشاورزان شهرستان سراب در شرایط تغییر اقلیم پرداخته شد؛ همچنین، در بخش اقتصادی مدل، از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مخاطره درجه دوم (QRP) و در بخش هیدرولوژیکی، از مدل MABIA-WEAP استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که افزایش بیست و چهل درصدی قیمت آب آبیاری، به‌ترتیب، به افزایش ۵/۹ و ۷/۳ درصدی میزان آب در دسترس می‌انجامد و با اعمال این سناریو، سود کشاورزان، به‌ترتیب، ۸/۴ و ۱۰/۳ درصد کاهش

1. Non-Linear Programming (NLP)
2. Target MOTAD hybrid model

می‌یابد. همچنین، اجرای سناریوهای کاهش بیست، سی و چهل درصدی سهم آب بخش کشاورزی، به‌ترتیب، موجب کاهش سود کشاورزان به اندازه ۱۹/۳، ۲۴/۳ و ۳۷/۳ درصد می‌شود. فولادی و همکاران (Fouladi et al., 2024) نیز الگوی بهینه کشت سازگار با شرایط کم‌آبی را برای محصولات زراعی منتخب حوضه آبریز تجن تدوین کردند. در این مطالعه، برای لحاظ عدم قطعیت در شرایط اقتصادی و آب‌وهوایی در تدوین الگوی کشت، از تلفیق روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی آرمانی و خاکستری استفاده شد و نتایج نشان داد که الگوی کشت به‌دست‌آمده می‌تواند ضمن افزایش دو درصدی در میانگین سود ناخالص، منجر به صرفه‌جویی ۲۱ درصدی در مصرف آب آبیاری شود. در پژوهشی دیگر، میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 2025)، با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی خطی مبتنی بر سامانه استانی بیلان و حسابداری آب، الگوی بهینه کشت محصولات آبی در استان فارس ارائه و الگوی کشت بهینه با هدف حداقل‌سازی حجم آب آبیاری تعیین و با الگوی کشت فعلی و الگوی کشت سازمان جهاد کشاورزی برای سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ مقایسه شد. بر اساس نتایج این پژوهش، در الگوی کشت بهینه، نسبت به الگوی کشت فعلی، سطح زیر کشت محصولاتی همچون گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، یونجه، چغندرقند، سیب‌زمینی، حبوبات سرمادوست و گیاهان روغنی سرمادوست کاهش یافته و در مقابل، سطح زیر کشت حبوبات گرمادوست، حبوبات سرمادوست و درختان سرمادوست افزایش پیدا کرده است.

در مطالعات خارجی، ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2021) یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر مخاطره‌گریزی را در راستای مدیریت آب آبیاری پیشنهاد دادند. در این مطالعه، ابزار اندازه‌گیری مخاطره، ارزش در معرض مخاطرهٔ شرطی[1] بوده که در قالب یک مدل برنامه‌ریزی درجه دوم تصادفی فازی دومرحله‌ای مبتنی بر ارزش در معرض مخاطره شرطی[2] پیشنهاد شده است. این روش پیشنهادی برای مدیریت آب آبیاری در شمال چین اعمال شده بود. سرانجام، نتایج مطالعه آنها نشان داد که در شرایط کمبود شدید آب، بهتر است کشت آفتابگردان انجام شود؛ علاوه بر این، در سطوح مختلف مخاطره‌گریزی و جریان‌های ورودی آب، میزان تخصیص بهینه آب بررسی شد و نتایج بیانگر آن بود که بالاترین «مزایای اقتصادی» زمانی حاصل می‌شود که درجه مخاطره‌گریزی، به‌ترتیب، در سطوح جریان‌های کم، متوسط و زیاد ورودی، به سی، چهل و هفتاد درصد برسد. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد که مخاطره‌های بالاتر بازده بالاتری را در سطوح جریان کم و متوسط ورودی به‌همراه خواهد داشت و بالاترین مزایای اقتصادی زمانی حاصل می‌شود که درجه مخاطره‌گریزی در سطوح جریان

1. Conditional Value-at-Risk (CVaR)
2. CVaR-based interval fuzzy two-stage stochastic quadratic programming

بالای ورودی به هفتاد درصد برسد. همچنین، در مطالعهٔ چن و همکاران (Chen et al., 2022)، از یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه اقتصادی–زیست‌محیطی به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت در شرایط تغییرات اقلیمی در شمال شرقی چین استفاده و در آن، عدم قطعیت تأمین آب در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با اصلاح سطح زیر کشت برنج، ذرت و سویا، درجه هماهنگی نظام اقتصاد–جامعه–محیط زیست در مقایسه با وضعیت فعلی افزایش می‌یابد، اما منجر به کاهش هشت درصدی سود اقتصادی شده، که نشان‌دهنده تعامل بین اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی است. در مطالعهٔ واله–گارسیا و همکاران (Valle-García et al., 2024) نیز با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)، به بررسی اثر قیمت‌گذاری آب و ایجاد سهمیه‌بندی آب بر الگوی کشت و سود کشاورزان منطقه‌ای در اسپانیا پرداخته شد. نتایج این مطالعه حاکی از آن بود که سهمیه‌بندی آب، نسبت به قیمت‌گذاری آب، با کاهش سود کمتری برای کشاورزان همراه است. در مطالعه‌ای دیگر، کیوزادا و همکاران (Quezada et al., 2025)، با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای بهینه‌سازی تخصیص آب و زمین، در یک باغ هزار هکتاری در یک دوره بیست‌ساله برای به حداکثر رساندن سود خالص کشاورزان پیشنهاد داده‌اند. همچنین، در این مطالعه، سناریوهایی از جمله دسترسی به آب نیز بررسی و نشان داده شد که کاهش در دسترسی به آب به‌طور قابل توجه بر الگوی بهینه کشت یک باغ تأثیر می‌گذارد؛ این موضوع نشان می‌دهد که مدیریت کارآمد و تطبیقی منابع مورد نیاز است. الگوی بهینه کشت پیشنهادی، حتی با کاهش هفتاد درصدی آب، پایداری اقتصادی باغ را حفظ می‌کند.

بررسی مطالعات داخلی و خارجی نشان می‌دهد که برای تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط محدودیت منابع آب و بررسی اثر محدودیت‌های آبی بر الگوی کشت، از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مختلف خطی و غیرخطی استفاده شده است. همچنین، برای لحاظ عدم قطعیت و مخاطره نیز از روش‌هایی همچون فازی، موتاد، موتاد–هدف مخاطره درجه دوم و CVaR استفاده شده است که از آن میان، می‌توان به مطالعهٔ اکبری و همکاران (Akbari et al., 2019) در زمینه به‌کارگیری مدل موتاد–هدف در بررسی اثر خشکسالی در دشت قزوین و نیز به مطالعهٔ ثانی و همکاران (Sani et al., 2022) در زمینه بررسی اثر سیاست تغییر قیمت آب بر الگوی کشت در شهرستان سراب با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مخاطره درجه دوم اشاره کرد. اما در کمتر مطالعه‌ای، بهینه‌سازی الگوی کشت با لحاظ ترجیحات مخاطره‌گریزی مختلف و در شرایط کم‌آبی با استفاده از مدل‌هایی همچون برنامه‌ریزی مخاطره درجه دوم مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، بر اساس مرور مطالعات، در شهرستان

نظرآباد استان البرز نیز مطالعه‌ای که به بهینه‌سازی الگوی کشت در شرایط مخاطره و کم‌آبی پرداخته شده باشد، یافت نشده است. از آنجا که الگوی کشت انتخابی کشاورزان از درجه مخاطره‌گریزی آنها تأثیر می‌پذیرد، هنگام مواجهه با شرایطی همچون کم‌آبی، در راستای استفاده بهینه از آب، باید الگوی کشت متناسب با مخاطره‌گریزی آنها را پیشنهاد کرد تا پذیرش آن نیز تسهیل شود. از این‌رو، در پژوهش حاضر، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی مخاطره درجه دوم، الگوهای کشت بهینهٔ مبتنی بر میزان مخاطره‌گریزی کشاورزان برای اراضی زراعی شهرستان نظرآباد در شرایط محدودیت‌های دسترسی به آب در شرایط کم‌آبی بررسی و ارائه شده است.

روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی شهرستان نظرآباد در استان البرز در شکل ۱ ارائه شده است. شهرستان نظرآباد با وسعت ۵۷۶ کیلومتر مربع در دامنه رشته کوه البرز واقع شده است. این منطقه از غرب به دشت قزوین، از شرق به هشتگرد، از شمال به طالقان و از جنوب به اشتهارد ختم می‌شود. طبق آمارنامه جهاد کشاورزی شهرستان نظرآباد، در سال ۱۴۰۱، کشت محصولاتی مانند گندم، جو، کلزا، خیار، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی و پیاز در این شهرستان به‌صورت کشت آبی انجام شده است. همچنین، بر اساس آمارنامه جهاد کشاورزی استان البرز، در سال ۱۴۰۱، مقدار سطح زیر کشت محصولات زراعی در این استان حدود ۳۵۷۷۶ هکتار و میزان سطح زیر کشت محصولات زراعی در شهرستان نظرآباد حدود نوزده هزار هکتار بوده است. از این‌رو، شهرستان نظرآباد، از نظر سطح زیر کشت، با سهمی در حدود ۵۴ درصد، بیشترین سهم را در استان البرز دارد. همچنین، آب مورد نیاز برای آبیاری محصولات آبی از طریق منابع آب زیرزمینی و سطحی تأمین می‌شود. بر اساس آمار آب منطقه‌ای استان البرز، در سال ۱۴۰۱، بیش از هفتاد درصد از آب مورد نیاز در بخش کشاورزی این شهرستان از طریق آب‌های زیرزمینی تأمین شده است.



مأخذ: فکوری و بی‌جن‌خان (Fakouri & Bijankhan, 2022)

شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

در مطالعه حاضر، برای بهینه‌سازی الگوی کشت در اراضی زراعی شهرستان نظرآباد، با لحاظ درجات مخاطره‌گریزی کشاورزان و شرایط محدودیت دسترسی به آب، از مـــدل برنامه‌ریزی (ریاضی) مخاطره درجــه دوم (QRP) استفاده شد. این مدل که با حداکثرسازی بازدهی انتظاری و حداقل‌سازی مخاطره سـروکار دارد، توسـط فروند (Freund, 1956) ارائه شـده اسـت. برای تعیین الگوی کشـت بهینه، مدل QRP را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\text{Max} \quad \sum_i E_i A_i - \frac{1}{2}\rho \sum_i \sum_j V_{ij} A_i A_j \qquad (۱)$$

St:

$$\sum_i m_{ki} A_i \leq b_k \qquad (۲)$$

$$X_i \geq 0 \qquad (۳)$$

که در رابطه (۱)، E_i بازدهی هر هکتار محصـــول iام، ρ ضـــریب مخاطره‌گریزی و V_{ij} ماتریس واریانس–کواریانس سـود محصـولات اسـت. رابطه (۲) نشـان‌دهنده محدودیت منابع بوده که در آن، m_{ki} میزان نهاده مورد نیاز kام برای تولید یک واحد محصول iام، b_k موجودی نهاده kام و A_i سطح کشت محصول iام است.

مسئله‌ای که در مدل ارائه‌شده در روابط (۱) تا (۳) وجود دارد، این است که ابتدا باید ضـریب مخاطره‌گریزی تخمین زده شـــود؛ اما زمان‌بر و هزینه‌بر بودن تخمین ضـــریب مخاطره‌گریزی از مشکلات اساسی اجرای این مدل است. برای رفع این مشکل، مدل یادشده در قالب دو مدل دیگر قابل استفاده است (Kaiser & Messer, 2011). در یکی از مدل‌ها، مخاطره حداقل می‌شود، با این شـرط که بازده انتظاری از یک حد کمتر نشـود (E^*)؛ و در مدل دیگر، بازده انتظاری حداکثر می‌شـود، مشـروط به اینکه مخاطره از یک حد بیشـتر نشـود (R^*). البته، در مطالعه حاضـر، از فرم اول در قالب روابط (۴) تا (۷) استفاده شده است:

$$\text{M}in \quad R = \sum_i \sum_j V_{ij} A_i A_j \tag{۴}$$

S.t

$$\sum_i m_{ki}\ A_i \leq b_k \tag{۵}$$

$$\sum_i E_i A_i \geq E^* \tag{۶}$$

$$A_i \geq 0 \tag{۷}$$

رابطه (۴) مربوط به محاسـبه و حداقل‌سـازی مخاطره (واریانس) الگوی کشـت اسـت. رابطه (۵) معرف محدودیت نهاده‌ها و رابطه (۶) نشان‌دهنده محدودیت سود انتظاری (E^*) است. در مدل یادشده، با تغییر E^*، ترجیحات مخاطره مختلف در مدل لحاظ می‌شـــود، به‌گونه‌ای که اگر E^* کمتر شـــود، فرد مخاطره‌گریزتر می‌شود، چراکه فرد حاضر است درآمد بیشتری را از دست دهد تا مخاطره بیشتری کاهش یابد. آندرسـون و همکاران (Anderson et al., 1977)، در زمینه به‌کارگیری مدل برنامه‌ریزی مخاطره درجه دوم در تجزیه‌وتحلیل تصمیمات کشاورزی، پیشنهاد کردند که باید E^* بین هزینه ثابت کل و درآمد خالص مزرعه در شرایط عدم لحاظ مخاطره (مدل برنامه‌ریزی خطی معمولی با هدف حداکثرسازی سود) باشد. از این‌رو، در مطالعه حاضر، برای محاسبه E^*، ابتدا یک مدل با هدف حداکثرسازی سود با توجه به

قیود نهاده‌ای در قالب روابط (۸) تا (۱۰) حل شد و میزان حداکثر سود به‌دست‌آمده از آن با توجه به پیشنهاد آندرسون و همکاران (Anderson et al., 1977) (تغییرات پنج تا ۲پنج درصدی سود)، تغییرات پنج تا پانزده درصدی سود حداکثرشده در نظر گرفته شد. در مطالعه کشیری کلایی و همکاران (Kashiri Kolaei et al., 2017) نیز برای لحاظ مخاطره‌گریزی‌های مختلف از این تغییرات استفاده شده است، بدین معنی که کشاورزانی در نظر گرفته شدند که حاضرند به‌ترتیب، از پنج، ده و پانزده درصد سود بیشنه قابل دستیابی صرف نظر کنند، اما یک الگوی کشت با مخاطره پایین داشته باشند. کشاورزی که از پانزده درصد سود ناخالص خود برای کاهش مخاطره صرف نظر می‌کند، مخاطره‌گریزتر از دو کشاورز دیگر است:

$$\text{Max} \quad \sum_i E_i A_i \tag{۸}$$

S.t

$$\sum_i m_{ki}\ A_i \leq b_k \tag{۹}$$

$$A_i \geq 0 \tag{۱۰}$$

لازم به توضیح است که محدودیت‌های نهاده‌ای (شامل زمین، سرمایه و آب) در مدل پژوهش لحاظ شده و همچنین، محصولات مورد بررسی شامل گندم، جو، کلزا، خیار، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی و پیاز بوده که همگی از نوع آبی در منطقه است. برخی از این محصولات جزو محصولات عمده کشت‌شده در سال‌های اخیر بوده‌اند که از آن میان، می‌توان به گندم، جو و کلزا اشاره کرد. از آنجا که سعی شده است از گروه‌های مختلف محصولات استفاده شود، بر اساس داده‌های موجود، از سایر گروه محصولات نیز محصولاتی همچون سیب‌زمینی، خیار، گوجه‌فرنگی و پیاز لحاظ شده است. شایان ذکر است که برای تخمین الگوی کشت سازگار با واقعیت فعلی کشاورزان و به‌منظور قرارگیری برخی محصولات راهبردی در الگوی کشت، برای برخی محصولات میزان حداکثر یا حداقل کشت با توجه به سابقه کشت آن محصولات در نظر گرفته شده و در نهایت، با توجه به توضیحات پیش‌گفته، مدل تجربی مورد استفاده در تحقیق حاضر در قالب روابط (۱۱) تا (۱۷) ارائه شده است:

$$\text{Min} \quad R = \sum_i \sum_j V_{ij} A_i A_j \tag{۱۱}$$

St:

$$\sum_i A_i \leq TL \quad (۱۲)$$

$$\sum_i W_i \ A_i \leq TW \quad (۱۳)$$

$$\sum_i S_i \ A_i \leq TS \quad (۱۴)$$

$$\sum_i E_i A_i \geq E^* \quad (۱۵)$$

$$Xmin_i \leq A_i \leq Xmax_i \quad (۱۶)$$

$$A_i \ \geq 0 \quad (۱۷)$$

در مدل یادشده، رابطه (۱۱) نشان‌دهنده حداقل‌سازی مخاطره و روابط (۱۲) تا (۱۴)، به‌ترتیب، نشان‌دهنده محدودیت‌های مربوط به زمین، آب و سرمایه است؛ W_i و S_i نیز نشان‌دهنده میزان آب و سرمایه مورد استفاده در هر هکتار از محصول iام است؛ همچنین، TL، TW و TS، به‌ترتیب، معرف کل زمین، آب و سرمایه در اختیار کشاورزان است. در این مدل، محدودیت رابطه (۱۵) مربوط به سود انتظاری بوده و محدودیت رابطه (۱۶) نشان‌دهنده حد بالا یا حد پایین برخی محصولات (شامل گندم، جو، کلزا و پیاز) است که در آن، $Xmin_i$ و $Xmax_i$ معرف حداقل و حداکثر کشت بوده که بر اساس سطح کشت پنج سال اخیر لحاظ شده است. برای منطقه مورد مطالعه، حداقل کشت برای محصولات گندم، جو و کلزا، به‌ترتیب، حدود سه هزار، دو هزار، و دویست هکتار و حداکثر کشت برای پیاز، خیار، کلزا و سیب‌زمینی، به‌ترتیب، ۱۱۰، ۱۳۵، ۵۶۰ و پنجاه هکتار در نظر گرفته شد، چراکه عدم لحاظ این‌گونه محدودیت‌ها چه‌بسا به نتایج غیرواقعی منجر می‌شد.

پس از تخمین مدل معرفی‌شده، با توجه به اهمیت مصرف آب و کمبود آب که همواره جامعه کشاورزان با آن روبه‌رو هستند، به‌منظور تدوین برنامه کشت محصولات زراعی شهرستان نظرآباد در شرایط کم‌آبی، سناریوهایی مشتمل بر کاهش پنج، ده و پانزده درصدی موجودی آب در مزارع این شهرستان در شرایط مخاطره‌گریزی‌های مختلف در نظر گرفته شد. لازم به توضیح است که این سناریوها بر اساس مطالعات گذشته و مصاحبه با کارشناسان آب منطقه‌ای البرز در زمینه کاهش منابع آب در دسترس مزارع شهرستان نظرآباد لحاظ شده است. از سوی دیگر، همان‌گونه که در مدل برنامه‌ریزی مخاطره درجه دوم (QRP) بیان شد، سطح بازدهی انتظاری یکی از عوامل مهم در

محاسبه جواب مسئله است که باید محاسبه و لحاظ شود. بدین منظور، در هر کدام از سناریوهای کاهش موجودی آب، ابتدا با مدل حداکثرسازی سود ناخالص بدون لحاظ مخاطره، در هر کدام از موجودی‌های آب (۹۵ درصد، نود درصد و ۸۵ درصد موجودی اولیه)، سود بیشینه محاسبه شده و سپس، برای لحاظ سناریوهای مخاطره‌گریزی، در ضرایب ۰/۹۵، ۰/۹ و ۰/۸۵ ضرب شده و مورد استفاده قرار گرفته است. ذکر این نکته لازم است که در سناریوهای مورد بررسی، به‌منظور جلوگیری از کاهش شدید کل زمین‌های زیر کشت، یک محدودیت دیگر نیز اضافه شد که بر اساس آن، حداقل از ۸۵ درصد زمین‌های موجود استفاده شود (بزرگ‌تر شدن این عدد، با توجه به محدودیت‌های حداقل و حداکثر کشت و محدودیت سود انتظاری، منجر به بروز ناحیه ناممکنی می‌شود).

در پژوهش حاضر، آمار و اطلاعات مورد نیاز مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ از طریق مطالعات اسنادی جمع‌آوری شده است. این اطلاعات شامل سطوح زیر کشت فعلی، میزان مصرف آب در هر هکتار، سرمایه مورد نیاز هر هکتار (منظور متوسط هزینه تولید هر محصول در هر هکتار است) و سود ناخالص محصولات در هر هکتار بوده که از طریق مراجعه به مرکز جهاد کشاورزی منطقه مورد مطالعه و همچنین، تارنمای وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری شده است (جدول ۱). افزون بر این، برای محاسبه ماتریس واریانس-کوواریانس، از داده‌های مربوط به سود ناخالص محصولات طی دوره ۱۴۰۱-۱۳۹۲ (جمع‌آوری‌شده از تارنمای وزارت جهاد کشاورزی) استفاده شده که با توجه به شاخص قیمت تولیدکننده، تورم‌زدایی شده است. در نهایت، تخمین نتایج از طریق نرم‌افزار GAMS صورت گرفته است.

جدول ۱- اطلاعات ضرایب فنی و سود ناخالص در هر هکتار از محصولات

محصولات	نیاز آبی (متر مکعب در هکتار)	سرمایه (میلیون تومان در هکتار)	سود ناخالص (میلیون تومان در هکتار)
گندم	۶۸۲۰	۲۴/۲۶	۳۵
جو	۵۱۵۴	۲۵/۰۷	۹/۶۴
کلزا	۵۵۷۵	۳۱/۹۳	۱۷/۱۱
خیار	۶۰۵۴	۱۳۵/۱۲	۷۹/۵۸
گوجه‌فرنگی	۱۰۷۷۵	۱۰۸/۳۷	۱۰۲/۷۲
سیب‌زمینی	۸۰۳۰	۱۰۲/۸۷	۱۰۷/۸۴
پیاز	۱۰۳۸۵	۷۱/۳۳	۱۰۰/۷۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس جدول (۱)، از میان محصولات مورد بررسی، گوجه‌فرنگی و پیاز بیشترین نیاز آبی را به خود اختصاص داده‌اند؛ در مقابل، جو و کلزا نیاز آبی کمتری دارند. بر اساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده از جهاد کشاورزی شهرستان نظرآباد، خیار، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی، نسبت به سایر محصولات مورد بررسی، به سرمایه بیشتری نیاز دارند که چه‌بسا به‌دلیل هزینه‌های سمپاشی و نیروی کار هم باشد، چراکه برداشت محصولاتی مانند خیار و گوجه‌فرنگی طی چند مرحله صورت می‌گیرد، ولی محصولاتی مانند گندم، کلزا و جو به یکباره در یک روز و آن هم به روش ماشینی برداشت می‌شوند.

نتایج و بحث

نتایج مدل حداکثرسازی سود ناخالص بدون لحاظ مخاطره در سناریوهای کاهش پنج، ده و پانزده درصدی موجودی آب در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، کاهش موجودی آب موجب تغییر الگوی کشت شده است، که این تغییر الگوی کشت با نتایج مطالعاتی همچون اکبری و همکاران (Akbari et al., 2019) و میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 2025) مطابقت دارد. البته، بر مبنای نتایج این جدول، در شرایط پیروی از الگوی کشت بهینه در شرایط کاهش موجودی آب پنج و ده درصدی، میزان سود نسبت به الگوی فعلی، به‌ترتیب، حدود ۱۱/۳۶ و ۴/۹۸ درصد افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج مطالعات ثانی و همکاران (Sani et al., 2022)، چن و همکاران (Chen et al., 2022) و والله–گارسیا و همکاران (Valle-García et al., 2024) مطابقت ندارد، چراکه آنها بدین نتیجه دست یافتند که کاهش موجودی آب منجر به کاهش سود می‌شود. ولی، در مقابل، در مطالعه حاضر، مشخص شده است که با انتخاب الگوی کشت مناسب و جایگزینی برخی محصولات به‌جای یکدیگر، می‌توان از کاهش محسوس در سود جلوگیری کرد، که با متایج مطالعه اکبری و همکاران (Akbari et al., 2019) نیز مطابقت دارد. بر اساس نتایج سناریوی سوم، کاهش پانزده درصدی موجودی آب منجر به کاهش حدود یازده درصدی سود شده است. بر اساس نتایج یادشده، با مدیریت الگوی کشت و ارائه یک الگوی کشت سازگار با کم‌آبی، می‌توان از کاهش محسوس سود کشاورزان جلوگیری کرد.

جدول ۲- الگوی کشت فعلی و الگوی کشت با هدف حداکثرسازی سود در سناریوهای مختلف موجودی آب

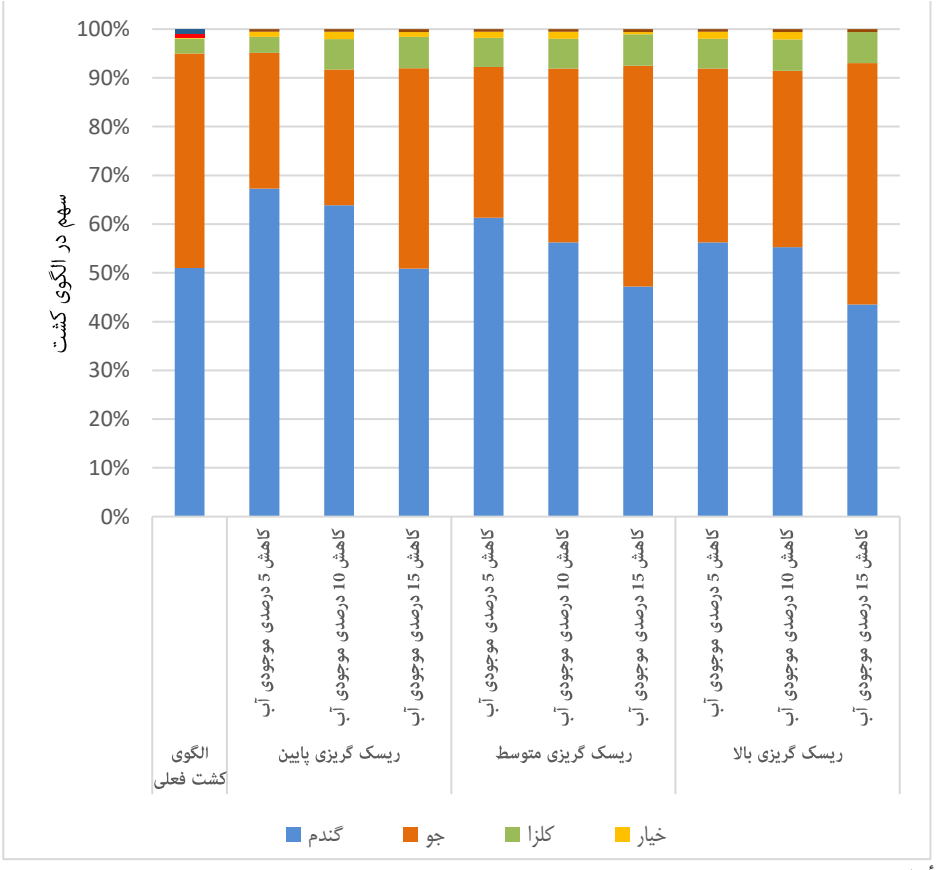
محصولات	الگوی کشت فعلی (هکتار)	الگوی کشت حداکثرسازی سود (هکتار)			
		بدون کاهش موجودی آب	کاهش پنج درصدی موجودی آب	کاهش ده درصدی موجودی آب	کاهش پانزده درصدی موجودی آب
گندم	۵۲۴۹/۸	۷۳۴۵/۵۸	۶۸۸۴/۷۷	۶۴۳۷/۴۶	۴۷۲۹/۳۱
جو	۴۵۳۳/۶۷	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۳۲۶۰/۹۹
کلزا	۳۱۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵۶۰
خیار	۰/۸	۰	۱۱۱/۹۳	۱۳۵	۱۳۵
گوجه‌فرنگی	۹۸/۵	۰	۰	۹/۳	۰
سیب‌زمینی	۵	۳۴/۵۲	۵۰	۵۰	۵۰
پیاز	۹۰	۱۱۰	۳۲/۳۶	۰	۹/۳
سطح کشت کل (هکتار)	۱۰۲۸۷/۷۷	۹۶۹۰/۱۰	۹۴۷۰/۰۶	۸۸۳۱/۷۶	۸۷۴۴/۶۰
سود کل (میلیون تومان)	۲۵۲۵۳۶/۳۶ –	۲۹۴۵۹۸/۰۹ (۱۶/۶۶)*	۲۸۱۲۲۸/۴۸ (۱۱/۳۶)	۲۶۵۱۰۳/۷ (۴/۹۸)	۲۲۳۶۱۵/۴۶ (-۱۱/۴۵)
میزان مصرف آب (میلیون مترمکعب)	۶۲/۹۴ –	۶۲/۹۴ (۰)	۵۹/۷۹ (-۵)	۵۶/۶۴ (-۱۰)	۵۳/۴۹ (-۱۵)

* اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده درصد تغیرات نسبت به الگوی فعلی است.
مأخذ: یافته‌های پژوهش

در ادامه، شرایط کاهش پنج، ده و پانزده درصدی موجوی آب در مدل برنامه‌ریزی مخاطره درجه دوم (QRP)، با لحاظ سناریوهای مخاطره‌گریزی مختلف، اعمال شده که اثر آن بر سهم محصولات در الگوی کشت و همچنین، تغییرات سطح کشت کل، به‌ترتیب، در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۲، با کاهش پنج درصدی موجودی آب و وجود کشاورزان با مخاطره‌گریزی پایین، پیشنهاد می‌شود که کشت محصول جو نسبت به الگوی کشت فعلی ۴۲ درصد کاهش پیدا کند؛ اما، در مقابل، کشت گندم، خیار، سیب‌زمینی و کلزا افزایش یابد، به‌گونه‌ای که برای نمونه، سطح زیر کشت سیب‌زمینی از پنج هکتار به پنجاه هکتار و سطح زیر کشت خیار از هشت هکتار به ۱۱۱ هکتار تغییر یابد. در الگوی کشت پیشنهادی، سهم کشت کلزا و گندم نیز به‌ترتیب، حدود یک و ۲۱ درصد افزایش یافته است. با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته، با اینکه نیاز آبی گندم و کلزا از نیاز آبی سیب‌زمینی و خیار کمتر بوده، ولی با توجه به سود در هکتار پایین‌تر برای گندم،

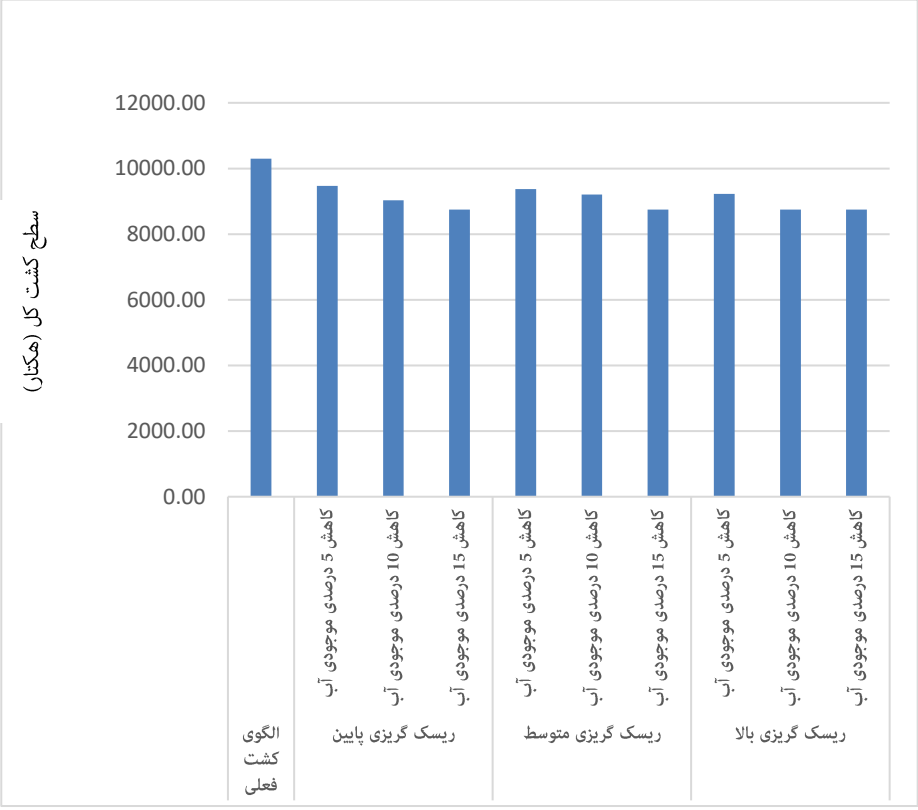
به‌منظور حداقل‌سازی مخاطره سود اکتسابی، برای محصولاتی همچون سیب‌زمینی و خیار درصد افزایش بیشتری پیشنهاد شده است. همچنین، در شرایط کاهش ده درصدی موجودی آب، افزایش مخاطره‌گریزی موجب کاهش سهم کشت گندم و افزایش سطح زیر کشت جو و کلزا شده است، که می‌تواند نشان‌دهنده بالاتر بودن مخاطره کشت محصول گندم نیز باشد. از طرف دیگر، همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در مخاطره‌گریزی‌های بالاتر، کاهش بیشتر در موجودی آب منجر به کاهش سهم کشت محصولات خیار و گندم شده و در مقابل، سهم کشت محصول جو افزایش یافته است. این مسئله می‌تواند به‌دلیل پایین‌تر بودن نیاز آبی جو نسبت به دو محصول یادشده در منطقه مورد مطالعه باشد، چراکه در زمان کم‌آبی، کشت محصولات کم‌آب‌برتر منطقی می‌نماید.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۲- الگوی کشت فعلی و الگوی کشت در سناریوهای مورد بررسی

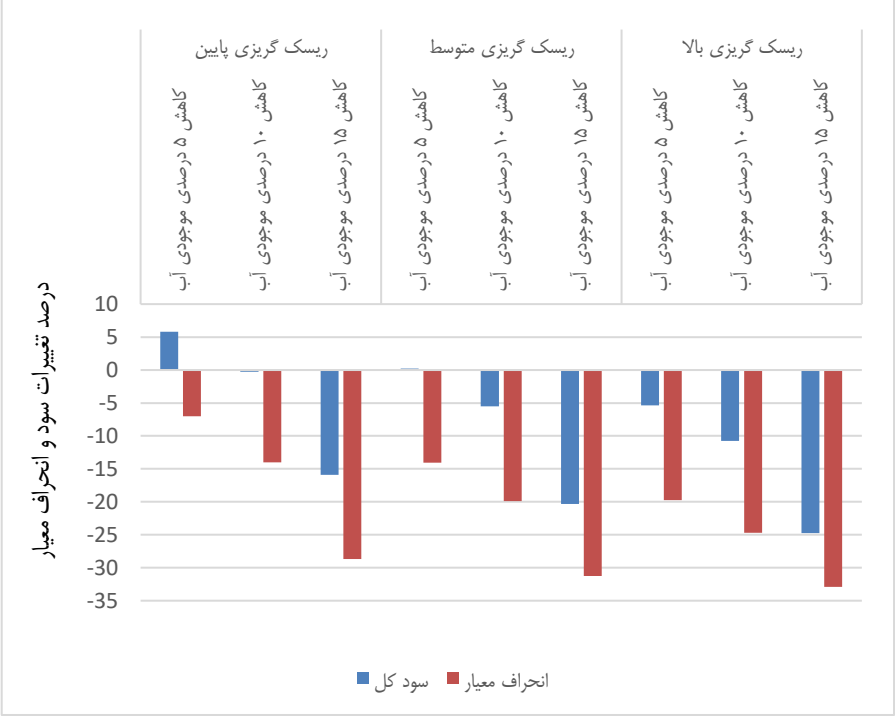
همان‌گونه که در شکل ۳ نیز قابل مشاهده است، کاهش موجودی آب منجر به کاهش کل زمین‌های زیر کشت شده است. بر اساس نتایج پژوهش، کاهش موجودی آب در کنار میزان مخاطره‌گریزی کشاورزان بر کل زمین‌های استفاده‌شده اثرگذار بوده، به‌گونه‌ای که با کاهش پنج درصدی موجودی آب، در شرایط مخاطره‌گریزی پایین، میزان کل زمین استفاده‌شده نسبت به الگوی کشت فعلی حدود هشت درصد کاهش یافته است، در حالی که در مخاطره‌گریزی‌های بالا، با توجه کاهش قید سود انتظاری، سطح زیر کشت کل حدود پانزده درصد کاهش یافته است. روند این نتیجه در سایر سناریوهای کاهش موجودی آب نیز صادق است. در واقع، کشاورزان مخاطره‌گریز با مشاهده مجموعه‌ای از محدودیت‌ها همچون محدودیت‌های آبی، سعی در مصرف بهینه نهاده‌ها دارند و بدین ترتیب، ترکیبی را انتخاب می‌کنند که مطابق با ترجیحات کسب سود آنها نیز باشد.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۳- سطح زیر کشت کل در الگوی کشت فعلی و سناریوهای مورد بررسی

همراه با تغییر الگوی کشت، میزان سود و مخاطره الگوی کشت نیز تغییر یافته است. درصد تغییرات سود و انحراف معیار سود در سناریوهای مورد بررسی نسبت به الگوی کشت فعلی در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، در شرایط کاهش پنج درصدی موجودی آب و کشاورزان با مخاطره‌گریزی پایین‌تر، با مدیریت الگوی کشت، می‌توان سود الگوی کشت را نسبت به شرایط فعلی تا حدود شش درصد افزایش داد که در این شرایط، مخاطره هم حدود هفت درصد کاهش می‌یابد. در سایر سناریوها، در شرایط افزایش مخاطره‌گریزی و افزایش کم‌آبی، سود الگوی کشت پیشنهادی نسبت به الگوی کشت فعلی ثابت بوده و یا کاهش یافته است، اما همان‌گونه که در شکل ۴ نیز ملاحظه می‌شود، در سناریوهای مورد بررسی، درصد کاهش مخاطره از درصد کاهش سود همواره بیشتر بوده است. به دیگر سخن، در شرایط کم‌آبی و مخاطره‌گریزی در سطوح مختلف، با مدیریت الگوی کشت، می‌توان به ازای هر درصد کاهش سود، میزان بیشتری از مخاطره را کاهش داد که برای کشاورزان مخاطره‌گریز می‌تواند نتایجی قابل قبول باشد.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۴- درصد تغییرات سود و انحراف معیار الگوی کشت در سناریوهای مورد بررسی نسبت به الگوی کشت فعلی

میزان مصـــرف آب در الگوی کشـــت فعلی و ســـناریوهای مورد بررســـی و همچنین، میزان صرفه‌جویی آب در سناریوهای مورد بررسی در جدول ۳ آمده و نتایج حاکی از آن است که در شرایط پیروی از الگوهای پیشنهادی، برای کشاورزان با مخاطره‌گریزی پایین‌تر، میزان صرفه‌جویی آب کمتر بوده است، در حالی که افزایش مخاطره‌گریزی منجر به صرفه‌جویی بیشتری در مصرف آب می‌شود، چراکه کشـــاورزان مخاطره‌گریز ســـودهای کمتر را (اگر مخاطره کمتری ایجاد کند) می‌پذیرند و طبق نتایج مطالعه ثانی و همکاران (Sani et al., 2022)، کشاورزان برای دستیابی به سود پایین‌تر معمولاً آب کمتری نیز مصرف می‌کنند.

جدول ۳- میزان مصرف آب در الگوی کشت فعلی و سناریوهای مورد بررسی

متغیر	الگوی کشت فعلی	مخاطره‌گریزی پایین			مخاطره‌گریزی متوسط			مخاطره‌گریزی بالا		
		درصد کاهش موجودی آب								
		۵	۱۰	۱۵	۵	۱۰	۱۵	۵	۱۰	۱۵
میزان مصرف آب (میلیون مترمکعب)	۶۲/۹۴	۵۹/۷۹	۵۶/۶۵	۵۲/۹۴	۵۸/۳۳	۵۶/۵۷	۵۲/۳۷	۵۶/۶۸	۵۳/۶۲	۵۱/۸۰
صرفه‌جویی آب (درصد)	-	-۵/۰۰	-۱۰/۰۰	-۱۵/۸۹	-۷/۳۲	-۱۰/۱۳	-۱۶/۸۰	-۹/۹۵	-۱۴/۸۱	-۱۷/۷۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با افزایش کم‌آبی، با مدیریت الگوی کشـــت، می‌توان به بهره‌وری‌های بالاتر برای مصـــرف آب دست یافت، به‌گونه‌ای که نتایج مطالعه حاضر نیز حاکی از آن است که با افزایش کم‌آبی و برای نمونه، در مخاطره‌گریزی پایین، میزان بهره‌وری اقتصـــادی آب در شـــرایط کاهش پنج درصـــدی موجودی آب نسبت به الگوی فعلی حدود یازده درصد افزایش می‌یابد. به دیگر سخن، موجودی آب کاهش یافته، در حالی که بر بهره‌وری اقتصادی آب افزوده شده است. اما این نتیجه ثابت نمانده و در شرایط کاهش ده و پانزده درصدی موجودی آب، میزان درصد افزایش بهره‌وری اقتصادی کاهش یافته است، به‌گونه‌ای که در مخاطره‌گریزی‌های متوسط و بالا، در شرایط کاهش پانزده درصدی موجودی آب، میزان بهره‌وری اقتصادی آب، به‌ترتیب، حدود چهار و هشت درصد کاهش یافته است. همان‌گونه که در شکل ۴ ارائه شده، در سناریوی مخاطره‌گریزی بالا و کاهش پانزده درصدی موجودی آب، سود کل حدود ۲۴ درصد کاهش یافته است که این درصد تغییرات از درصد تغییرات کاهش مصرف آب بیشتر بوده است و منجر به کاهش بهره‌وری اقتصادی می‌شود. البته، کاهش ۲۴ درصدی سود از محدویت‌های الگوی کشت همچون محدودیت استفاده از حداقل ۸۵ درصد زمین‌ها نیز ناشی می‌شود. بر اساس نتایج ارائه‌شده در

شکل ۵، در تمامی سناریوهای مورد بررسی، بهره‌وری فیزیکی آب نسبت به الگوی کشت فعلی کاهش داشـــته اســـت، که این نتیجه با نتایج مطالعه قادرزاده و کریمی (Qaderzadeh & Karimi, 2018) منطبق نیسـت. افزایش سـهم کشـت جو با عملکرد پایین‌تر و کاهش سـطح زیر کشـت محصـولاتی همچون خیار با عملکرد بالاتر می‌تواند مؤید همین نتیجه باشد.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۵- درصد تغییرات میزان مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی آب در سناریوهای مورد بررسی

جمع‌بندی و پیشنهادها

بر اسـاس نتایج پژوهش حاضـر، در شـرایط خشـکسـالی و کاهش پنج، ده و پانزده درصـدی موجودی آب، با لحاظ مخاطره‌گریزی کشاورزان در قالب مدل برنامه‌ریزی مخاطره درجه دوم (QRP)،

با اعمال سناریوهای مخاطره‌گریزی پایین، متوسط و بالا، الگوی کشت، میزان مصرف آب، سود و مخاطره نسبت به الگوی فعلی تغییر کرده است، به‌گونه‌ای که با کاهش پنج و ده درصدی موجودی آب در شرایط حداکثرسازی سود، با پیروی از الگوی کشت پیشنهادی، میزان سود نسبت به وضعیت فعلی، به‌ترتیب، ۱۱/۳۶ و ۴/۹۸ درصد افزایش می‌یابد. به دیگر سخن، با وجود کاهش آب در دسترس، کشاورزان می‌توانند با مدیریت مناسب الگوی کشت، از کاهش سود جلوگیری کنند. کاهش پانزده درصدی موجودی آب به کاهش یازده درصدی سود در مدل حداکثرسازی سود انجامیده است؛ به دیگر سخن، مصرف آب حدود پانزده درصد کاهش می‌یابد، ولی سود حدود یازده درصد کاهش می‌یابد؛ این موضوع می‌تواند برای کشاورزانی که وزن بالا به سود می‌دهند، مفید باشد. در ادامه، نتایج مدل QRP با هدف کاهش مخاطره سود در سناریوهای مختلف مخاطره‌گریزی حاکی از آن است که الگوی کشت پیشنهادی، نسبت به الگوی کشت فعلی، دچار تغییراتی شده، به‌گونه‌ای که با افزایش خشکسالی و در نتیجه، کاهش موجودی آب، به‌منظور کاهش مخاطره، لازم است که برای افراد با مخاطره‌گریزی بالاتر، سطح زیر کشت محصول خیار در الگوی کشت کشاورزان کاهش یابد و در مقابل، سطح زیر کشت محصولاتی مانند کلزا افزایش یابد. از سوی دیگر، نتایج لحاظ مخاطره و مخاطره‌گریزی‌های مختلف حاکی از آن است که بالاترین سود زمانی حاصل می‌شود که درجه مخاطره‌گریزی در سطح پایین باشد. در واقع، پذیرش مخاطره‌های بالاتر، سود بالاتر را نیز ایجاد خواهد کرد و برای دستیابی بدان سود، کشاورز معمولاً آب بیشتری نیز مصرف می‌کند که الگوهای پیشنهادی مطالعهٔ حاضر از افزایش مصرف آب کاسته است، چراکه در موجودی آب، کاهش‌های پنج، ده و پانزده درصدی در نظر گرفته شده، به‌گونه‌ای که در مخاطره‌گریزی پایین، با کاهش پنج، ده و پانزده درصدی موجودی آب، میزان مصرف آب نسبت به شرایط فعلی، به‌ترتیب، حدود پنج، ده و شانزده درصد صرفه‌جویی شده است. در واقع، طبق نتایج تحقیق، با اینکه با کاهش موجودی آب، غالباً سود کاهش یافته، ولی در مقابل، درصد کاهش مصرف آب از کاهش سود بیشتر بوده است.

بر اساس نتایج تحقیق، الگوهای پیشنهادی در اکثر سناریوهای مورد بررسی، بهره‌وری اقتصادی بیش از الگوی کشت فعلی است. به دیگر سخن، با کاهش موجودی آب، ارزش اقتصادی آب افزایش می‌یابد و منجر به کشت محصولات با ارزش اقتصادی بالاتر می‌شود که از این رهگذر، بخشی از کاهش درآمد ناشی از کاهش موجودی آب جبران می‌شود. به بیان دیگر، در شرایط کم‌آبی، با انتخاب الگوی کشت مناسب، می‌توان با افزایش بهره‌وری، از ایجاد زیان‌های ناشی از کمبود منابع آب تا حدی جلوگیری کرد. از این‌رو، می‌توان گفت که نتایج مطالعه حاضر مساعدتی در بهبود افزایش

بهره‌وری آب در مزارع شـــهرســـتان نظرآباد اســـت؛ اما در مقابل، بهره‌وری فیزیکی آب در تمامی سناریوهای مورد بررسی کاهش یافته و حاکی از آن است که سهم کشت محصولاتی با عملکرد بالاتر در الگوی کشت کاهش یافته است. محصولات با عملکرد بالاتر همچون خیار و گوجه‌فرنگی معمولاً آب بیشتری هم مصرف می‌کنند؛ بنابراین، برای کاهش مصرف آب، پیشنهاد شده است که سهم آنها در الگوی کشت کاهش یابد.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، کاهش موجودی آب، اگرچه موجب صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شـــود، ولی ســـود کشـــاورزان را نیز کاهش می‌دهد، از این‌رو، به‌منظور ترغیب کشـــاورزان در اجرایی‌سازی الگوهای کشت پیشنهادی، در راستای جبران کاهش سود کشاورزان، پیشنهاد می‌شود که راهکارهایی همچون فراهم‌سازی بازار مناسب برای فروش محصولات، خرید با قیمت تضمینی و ارائه تسـهیلات به کشـاورزان مد نظر قرار گیرد. همچنین، آگاه‌سـازی کشـاورزان در زمینه پیامدهای مصـــرف بالای آب و مزایای تغییر الگوی کشـــت از طریق برگزاری کارگاه‌های آموزشـــی و اقدامات ترویجی پیشنهاد می‌شود.

در مطالعه حاضـر، به‌منظور تدوین الگوی کشـت در شـرایط کم‌آبی، مدل برنامه‌ریزی مخاطره درجه دوم (QRP) که در آن، شاخص واریانس–کوواریانس به‌عنوان شاخص مخاطره لحاظ شده، مورد اسـتفاده قرار گرفته اسـت. از این‌رو، پیشـنهاد می‌شـود که در مطالعات آتی، شـاخص‌های مخاطره نامطلوب از جمله ارزش در معرض مخاطرهٔ شـرطی (CvaR) نیز در راسـتای موضـوع تحقیق حاضـر مورد اســتفاده قرار گیرد. همچنین، نتایج مطالعه حاضـــر بر اســـاس داده‌های برگرفته از وزارت جهاد کشـاورزی مربوط به شـهرسـتان نظرآباد بوده اسـت. بنابراین، پیشـنهاد می‌شـود که در مطالعات آتی، داده‌های مورد نیاز از طریق سـایر روش‌های گردآوری اطلاعات از جمله روش پیمایشـی نیز بررسـی و نتایج آن با نتایج مطالعه حاضـر مقایسـه شـود. در پژوهش حاضـر، محاسـبه بهره‌وری اقتصـادی آب، با فرض ثابت بودن قیمت محصـولات، انجام شـده اسـت، در حالی که کاهش موجودی آب ممکن اسـت روی قیمت محصولات کشاورزی نیز تأثیر بگذارد که از محدودیت‌های تحقیق حاضر به‌شمار می‌رود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، این جنبه نیز مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، پژوهش حاضر به بررسی تنها برخی از محصولات زراعی در شهرستان نظرآباد پرداخته است؛ از این‌رو، به‌منظور ارائه الگوی کشت جامع‌تر، در صورت وجود داده‌های مورد نیاز، پیشنهاد می‌شود که سایر محصولات زراعی شهرستان نیز مد نظر قرار گیرد.

منابع

1. Akbari, M., Najafi Alamdarloo, H., & Moosavi, S. H. (2019). Impacts of climate change and drought on income risk and crop pattern in Qazvin Plain Irrigation Network. *Journal of Water Research in Agriculture*, 33(2), 265-282. DOI: 10.22092/jwra.2019.119742. [In Persian]
2. Anderson, J. R., Dillon, J. L., & Hardaker, J. B. (1977). Agricultural decision analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 60(1), 1-127. DOI: 10.2307/1240175.
3. Chen, Y., Zhou, Y., Fang, S., Li, M., Wang, Y., & Cao, K. (2022). Crop pattern optimization for the coordination between economy and environment considering hydrological uncertainty. *Science of the Total Environment*, 809, 151152. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151152.
4. Ehsan, A. Tehrani, R., & Eslami Bidgoli, G. (2008). Investigating the risk aversion coefficient and production variance in risk management: a case study of Dezful tomato farmers. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 16(1), 17-35. DOI: 10.30490/aead.2008.126885. [In Persian]
5. Fakouri, S., & Bijankhan, M. (2022). Feasibility study on identifying wells with high sand production potential using the land subsidence maps (case study: Alborz province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(10), 2413-2427. DOI: 10.22059/ijswr.2022.348859.669365. [In Persian]
6. Fouladi, H., Amirnejad, H., & Shirzadi Laskookalayeh, S. (2024). Providing a roadmap for the adaption of agricultural sector to water scarcity conditions (case study: selected crops of Tajan basin, Iran). *Journal of Agricultural Economics and Development*, 38(3), 335-350. DOI: 10.22067/jead.2024.89018.1279. [In Persian]
7. Freund, R. J. (1956). The introduction of risk into a programming model. *Econometria*, 24, 253-263.
8. Ghaffari Moghadam, Z., Moradi, E., Hashemi Tabar, M., & Sardar Shahraki, A. (2022). Optimal allocation of water resources in the agricultural sector by using the Stackelberg-Nash-Cournot model and emphasis on water market (case Study: Sistan Plain pipe water transfer project). *Journal of Ecohydrology*, 9(1), 273-289. DOI: 10.22059/ije.2022.333388.1575. [In Persian]

9. Kaiser, H. M., & Messer, K. D. (2011). Mathematical programming for agricultural, invironment and resource economics. John wiley and sons, Canada.
10. Kashiri Kolaei, F., Hosseini-Yekani, S. A., & Karakbodi, F. (2017). Effect of agricultural crop insurance on the optimal cropping pattern in Mazandaran province (application of conditional value at risk model). *Agricultural Economics*, 11(1), 111-132. DOI: 10.22034/iaes.2017.23126. [In Persian]
11. Khodagholi, M., Kavoosi, M., Arvin, A., & Sabohi, R. (2013). Study of SOI and NAO remote drought signals in Zayandeh-Roud watershed. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, (7)21, 41-52. [In Persian]
12. Khorramian, M., & Varjavand, P. (2024). Investigating the water withdrawal from surface resources and the beneficial water consumption in the agricultural sector of Khuzestan province. *Journal of Water and Sustainable Development*, 10(4), 41-48. DOI: 10.22067/jwsd.v10i4.2306-1253. [In Persian]
13. Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91. DOI: 10.2307/2975974.
14. Mirzaei, A., Soltani, A., Abbasi, F., Zeinali, A., & Mirkarimi, Sh. (2025). Optimization of the irrigated cropping pattern in Fars province to adapt to water scarcity. *Journal of Water and Soil Sciences*, 29(1), 131-152. DOI: 10.47176/jwss.29.1.65821. [In Persian]
15. Molavi, H., Liaghat, A., & Nazari, B. (2017). Assessment of policies of changes in cropping pattern and deficit irrigation management using system dynamics modeling (case study: Aras basin). *Journal of Water and Irrigation Management*, 6(2), 217-236. DOI: 10.22059/JWIM.2017.63781. [In Persian]
16. Poortaheri, M., Eftekhari, A., & Kazemi, N., (2013). The role of drought risk management approach in reducing social-economic vulnerability of farmers and rural regions: a case study of Sulduz rural district, West Azarbaijan. *Rural Research*, 4(1), 1-22. DOI: 10.22059/jrur.2013.31969. [In Persian]
17. Pourgholam-Amiji, M., Khoshravesh, M., Divband Hafshejani, L., & Ghadami Firouzabadi, A. (2022). The effect of irrigation with treated magnetic effluent on water productivity of maize. *Iranian Journal of*

Irrigation & Drainage, 16(1), 243-253. DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.1.19.6 . [In Persian]

18. Qaderzadeh, H., & Karimi, M. (2018). Impacts of agricultural water quota policy in groundwater resources management in Qorveh-Dehgolan Plain. *Journal of Agricultural Economics*, 12(4), 73-98. DOI: 10.22034/iaes.2019.88072.1598. [In Persian]
19. Quezada, L., Holzapfel, E. Kuschel-Otárola, M., Lillo-Saavedra, M., Rivera, D., Souto, C., Octavio Lagos, O., & Diego Palma, D. (2024). Optimization of water and land allocation in fruit orchards over a 20-year period. *Journal of Water*, 17(1), 1-8. DOI: 10.3390/w17010008.
20. Sani, F., Dashti, G., Majnooni Heris, A., & Hosseinzad, J. (2022). Investigating the price and non-price scenarios impacts of irrigation water for adaptation of climate change: using hydro-economic model (case study: Sarab County). *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 13(2), 370-390. DOI: 10.22125/iwe.2022.162675. [In Persian]
21. Shekari, H., Najarchi, M., Jafarinia, R., Mokhtari, S., & Alizadeh, H. (2019). Optimization of cropping pattern and water resources at different levels of irrigation for hot and dry areas (case study: Dehloran plains, Ilam province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(6), 1351-1361. DOI: 10.22059/ijswr.2019.267849.668036. [In Persian]
22. Valle-García, A., Gutiérrez-Martín, C., & Montilla-López, N. M. (2024). Water pricing and quotas: a quantitative analysis from a private and social perspective. *Water Resources Management*, 38, 4287-4306. DOI: 10.1007/s11269-024-03865-1.
23. Wondimagen, M. (2014). Crop mix and resource use pattern under risk: the case of smallholder farmers in eastern highlands of Ethiopia. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(5), 251-261.
24. Zhang, W. J., Tan, Q., & Zhang, T. Y. (2021). A risk-averse stochastic quadratic model with recourse for supporting irrigation water management in uncertain and nonlinear environments. *Agricultural Water Management*, 244, 1-15. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106431.