Determining the Optimal Cropping Pattern with Emphasis on the Interaction Between Risk and Profitability: Farmlands of Dehgolan Plain, Kurdistan Province, Iran

Mahsa Ghasabi[1], Mahmood Haji-Rahimi[2*], Hamed Ghaderzadeh[3], Razieh Shankayi[4]

1- Ph.D. Student, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. Correspondent Author. mhajirahimi@uok.ac.ir; https://orcid.org/0000-0003-3456-2506
3- Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
4- Ph.D. Student, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tehran University, Tehran, Iran.

Introduction

Agriculture has always involved various degrees of risk, with farmers contending with numerous potential threats that can disrupt their livelihoods and productivity. These risks are compounded by agriculture's high dependency on climatic conditions, making it particularly vulnerable to the adverse effects of climate change. Changing weather patterns, extreme temperatures, and unpredictable rainfall can drastically affect crop yields, posing a serious threat to both farmers' income and food security. Additionally, the agricultural sector faces ongoing challenges from pests, diseases, and fluctuations in market prices, further destabilizing the livelihoods of farmers who rely on steady production for economic sustainability.

Beyond environmental factors, agricultural activities are influenced by a host of political, social, and economic risks. Environmental challenges, production limitations, legal constraints, financial hardships, and marketing uncertainties all represent significant risk categories that can impact farming operations. Natural disasters, such as floods, droughts, and storms, often lead to reduced productivity, directly diminishing farmers' incomes. Furthermore, health and well-being concerns for farmers add another layer of risk, as labor-intensive farming activities require both physical resilience and long-term health, which can be compromised by limited access to medical services and health risks associated with exposure to pesticides and other chemicals.

As the global population grows, demand for food continues to rise, but essential resources such as arable land and water are finite. This increasing demand, coupled with limited resources, places substantial pressure on farmers, who must navigate these compounding risks while striving to meet production needs. These challenges underscore the need for effective risk management tools that can support farmers in making informed decisions regarding crop selection, resource allocation, and overall farm management strategies. One of the most versatile risk management tools available is the cropping pattern, or the arrangement of crops within a given agricultural area over a specific time period. Determining an optimal cropping pattern that considers risk factors is crucial for enhancing profitability and resilience in farming. Therefore, this study aims to determine the optimal cropping pattern for farms in the Dehgolan Plain, located in Kurdistan Province, under both risk-free and risk-sensitive conditions. By focusing on maximizing farmers' gross income while accounting for factors such as water availability and market conditions, this research seeks to provide practical recommendations for sustainable agricultural practices.

Materials and Methods

This study examines the cropping patterns of major crops cultivated in the Dehgolan Plain, Kurdistan Province, using data spanning the agricultural years from 2014 to 2023. To establish an optimal cropping pattern, the analysis considers various production constraints and resource limitations specific to this region. The goal is to develop a cropping model that maximizes gross income for farmers under both risk and no-risk scenarios. Several mathematical programming techniques were employed to achieve this objective. The Linear Programming (LP) model, widely used in agricultural studies for determining optimal cropping patterns under conditions of certainty, served as the foundation for this analysis. The LP model optimizes crop selection to maximize gross income while adhering to constraints such as water availability, land area, and resource limitations specific to the Dehgolan Plain. In addition to the LP model, nonlinear programming approaches, specifically Quadratic Programming and the Minimization of Total Absolute Deviation (MOTAD) model, were implemented to assess the cropping pattern under conditions of risk. These models allow for the incorporation of income volatility and risk into decision-making, helping to capture the trade-offs between risk and income potential. The Quadratic Programming model, which can handle non-linear relationships, is suitable for cases where increasing returns or diminishing marginal gains are present. Meanwhile, the MOTAD model assists in achieving minimum income variability, thus offering farmers a more stable income flow in unpredictable economic and climatic conditions.

Results and Discussion

The analysis revealed notable differences in the cropping patterns under risk and no-risk scenarios. Under no-risk conditions, as optimized by the Linear Programming model, the cropping pattern favored crops with higher gross incomes per hectare. This led to a significant reduction in the cultivation of wheat, barley, and potatoes, as these crops did not yield the highest economic returns. However, despite their relatively low profitability, wheat and barley remain essential for their lower water requirements and the security provided by government-guaranteed purchase programs. As a result, farmers may be reluctant to reduce the acreage of these crops due to their inherent risk-mitigation benefits. In the risk-sensitive scenario, modeled through Quadratic Programming and MOTAD, a positive correlation was found between risk levels and gross income. As farmers sought to maximize their income, the cropping pattern initially reflected a concentration of higher-income crops. However, as income maximization goals became tempered by risk considerations, crop diversity increased, indicating a clear trend toward diversification as a viable risk management strategy. This finding aligns with previous studies that emphasize crop diversification as a way to stabilize income and mitigate yield risks in agricultural systems prone to volatility. The MOTAD model, in particular, highlighted the trade-offs between risk and expected income. For example, a modest income increase of approximately 0.59% (from 1,700,000 million tomans to 1,710,000 million tomans) resulted in a substantial increase in risk, with the standard deviation, a measure of income variability, rising by 17.65%. This illustrates that achieving marginal income gains in agriculture often comes at a steep cost in terms of heightened risk. Furthermore, the cropping pattern varied significantly at different risk levels. At the highest risk threshold, which yielded an expected income of 1,780,133 million tomans, the cropping pattern included high-value crops such as cucumber, alfalfa, and canola, while reducing lower-value crops. Conversely, as the income expectation decreased and risk levels were minimized to 1,060,285 million tomans, these higher-income crops were scaled back, favoring more stable, government-backed crops like wheat, barley, and potatoes. This shift suggests that farmers, when presented with risk-reducing incentives, may gravitate toward crops with guaranteed purchase agreements and lower input costs, prioritizing stability over potential profit. Both risk models underscore the importance of balancing income maximization with risk minimization, as farmers seek to secure stable returns in an environment where crop failures or price declines could have significant impacts on household livelihoods.

Conclusion

Risk is an inevitable aspect of agriculture, and the findings of this study suggest that risk-sensitive models, such as MOTAD, enhance cropping pattern decision-making by incorporating income variability. The results demonstrate that under high-risk scenarios, increasing the cultivation area of crops like wheat aligns with government policies aimed at food security, as these crops provide a stable, government-supported income stream. This study also recommends adopting multi-cropping systems and crop rotation as effective strategies for reducing income variability and enhancing resilience. By diversifying cropping patterns, farmers can manage risk more effectively and contribute to the long-term sustainability of agricultural systems in regions like the Dehgolan Plain, where climate, market, and resource limitations impose unique challenges. Future studies could build upon these findings by examining the impact of additional risk factors, such as climate projections and market trends, to further refine optimal cropping strategies for vulnerable agricultural regions.

Keywords

Cropping pattern, Risk model, Linear Programming model, Quadratic Programming model, MOTAD model.

پیش از انتشار

تعیین الگوی کشت بهینه با تاکید بر تعامل ریسک و سودآوری در اراضی کشاورزی دشت دهگلان، استان کردستان

مهسا قصابی[۱]، محمود حاجی رحیمی [۲*]، حامد قادرزاده[۳]، راضیه شنکایی [۳]

۱- دانشجوی دکتری رشته اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. (نویسنده مسئول). mhajirahimi@uok.ac.ir

https://orcid.org/0000-0003-3456-2506

۳- دانشیار اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

دانشجوی دکتری رشته اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

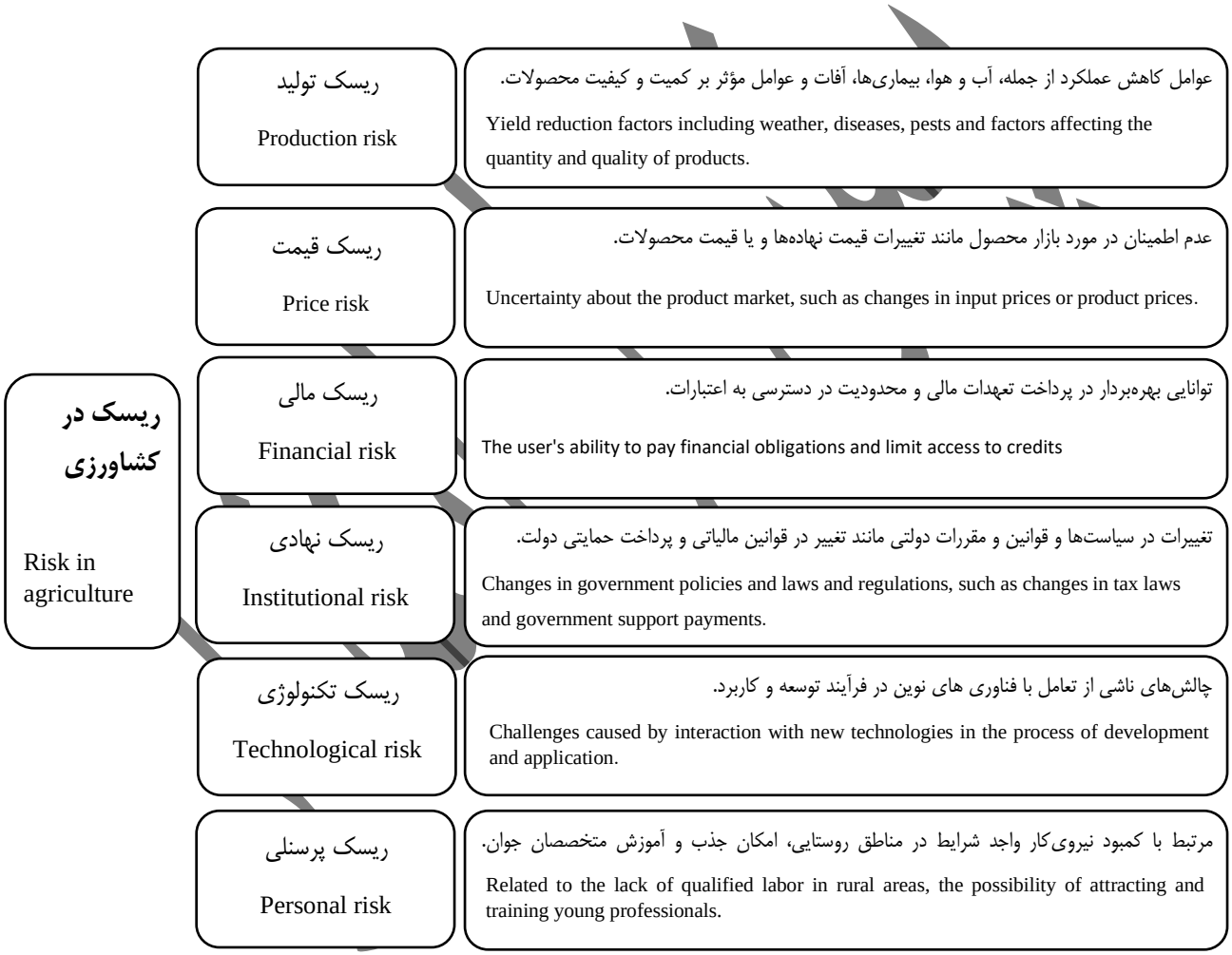
وجود ریسک در فعالیت‌های کشاورزی واقعیتی انکارناپذیر است. لذا، نادیده گرفتن این عامل منجر به عدم تخصیص بهینه منابع در این بخش می‌شود. تئوری‌ها و الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی مختلفی برای تصمیم‌گیری در مورد مدیریت الگوی کشت محصولات، در شرایط وجود ریسک، وجود دارد. در این پژوهش، الگوی کشت بهینه محصولات زراعی دشت دهگلان در استان کردستان، براساس آمار و اطلاعات سال‌های زراعی ۱۳۹۳ الی ۱۴۰۲، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف حداکثرسازی درآمد ناخالص کشاورزان این منطقه برآورد گردید و سپس با الگوی حاصل از مدل برنامه‌ریزی درجه دوم و مدل موتاد با لحاظ حداقل سازی ریسک مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در صورت نادیده گرفتن عامل ریسک، الگوی کشت به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. در سطح ریسک ۱۷۸۰۱۳۳/۷ میلیون تومان، که بالاترین سطح ریسک می‌باشد، الگوی کشت تنها شامل خیار، یونجه و کلزا می‌باشد، در این شرایط، تمایل به سمت کشت محصولات با درآمد ناخالص بالاتر افزایش می‌یابد، هر چند که این محصولات به آب بیشتری نیاز دارند. همچنین رابطه بین ریسک و درآمد ناخالص مزرعه در دو مدل ریسکی تخمین زده شد. پس از تخمین مدل‌های ریسکی و با استفاده از تغییر درآمد مورد انتظار، مدل‌های بهینه مختلف تحت شرایط ریسک‌های متفاوت تعیین گردید. با وارد کردن ریسک، سطح زیرکشت گندم و جو نسبت به حالت عدم توجه به ریسک افزایش یافت. به عبارت دیگر، وجود ریسک منجر به گرایش به سمت محصولات با نیاز آبی پایین‌تر، به طبع موجب کاهش درآمد ناخالص می‌شود. بنابراین نتایج حاصل از این مطالعه لزوم بازنگری در سیاست‌های دولت به منظور حداکثرسازی درآمد کشاورزان و پایداری تولید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، مدل ریسکی، مدل برنامه‌ریزی خطی، مدل برنامه‌ریزی درجه دوم، مدل موتاد.

مقدمه

کشاورزی از حیاتی‌ترین بخش‌های اقتصادی کشورهای جهان است (Gebbers & Adamchuk, 2010). بنابراین این بخش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های جوامع مختلف نیازمند برنامه‌ریزی‌های منسجم برای دستیابی به رشد و مقابله با بحران‌هایی موجود است (Zhou et al., 2022). اگر چه

رشد اقتصادی ایران چندان متکی به تولیدهای کشاورزی نیست، اما به دلیل سهم قابل توجه در اشتغال، تأمین امنیت غذایی، ارتقای صادرات غیرنفتی و واردات ارز، نقش حیاتی در اقتصاد دارد (Deylami & Joolaie, 2023). علاوه بر این، قدمت فقر در ایران همواره تصمیم‌گیری‌های کلان مرتبط با بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است. زیرا از یک سو اغلب شاغلان بخش کشاورزی را روستاییان کم‌درآمد تشکیل می‌دهند و از سویی دیگر، بخش کشاورزی تأمین‌کننده‌ی غذای شاغلان این بخش و دیگر بخش‌هاست (Mousavi & Esmaeili, 2011). بنابراین، بخش کشاورزی نقشی راهبردی در تأمین غذای جمعیت رو به رشد کشور دارد (Tahami Pour Zarandi et al., 2019).



شکل ۱- طبقه‌بندی منابع ریسک بخش کشاورزی

Fig. 1- Classification of sources of risk in the agricultural sector

اما فعالیت کشاورزی همواره یک تجارت پرخطر از جنبه مالی بوده است. زیرا تولید در بخش کشاورزی، پیوسته در شرایط ناپایدار و دشوار قرار دارد (Theuvsen, 2013). به عبارت دیگر، ریسک جزء جدایی‌ناپذیر کشاورزی است (Adnan et al., 2018). نکته دیگری که باید به آن اشاره نمود،

منابع ریسک در بخش کشاورزی است. شش نوع کلی از ریسک بخش کشاورزی در شکل (۱) نشان داده شده است (Ozerova & Sharopatova1, 2021).

کشاورزان در محیط و شرایطی مجبور به تصمیم‌گیری درباره تخصیص منابع و تولید محصولات هستند که نسبت به قیمت‌ها و عملکردهای محصولات، ریسک وجود دارد. ریسک‌های متعدد موجود در بخش کشاورزی به‌طور قابل‌توجهی می‌توانند الگوی کشت و ترکیب محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار دهند (Wang et al., 2022). ماهیت ذاتی ریسک شامل پیامدهای نامطلوبی نظیر کاهش بازده و درآمد است و در موارد شدید می‌تواند به وقوع بحران‌هایی مانند ورشکستگی مالی، ناامنی غذایی و چالش‌های مرتبط با سلامت انسانی را در پی داشته باشد (Komarek et al., 2020).. روش برنامه‌ریزی ریاضی ساده به علت لحاظ نکردن ریسک، به خوبی نمی‌تواند برنامه‌ی بهینه‌ای برای تولید مزرعه به کشاورز ارائه دهد. در مواجهه با ریسک‌های مرتبط با تولید و نوسانات قیمت آینده محصولات، کشاورزان رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند در نتیجه، به‌منظور پیش‌بینی بهتر الگوی بهینه‌ی کشت کشاورزان، با توجه به نوع فعالیت‌های کشاورزی باید عامل ریسک در انتخاب نوع فعالیت‌ها در نظر گرفته شود (Ahmad et al.,2020). بنابراین، برای رسیدن به توسعه کشاورزی، منطقی به‌نظر می‌رسد که در برنامه‌ریزی‌ها، سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با ترکیب و سطح کشت بهینه محصولات، موضوع ریسک دخالت داده شود و به آن توجه شود (Bahadori et al., 2019).

برای کشاورزان و سیاست‌گذاران ضروری است تا بتوانند اثرات منفی ریسک‌های معمول را کاهش داده و به بهترین شکل از منابع تولیدی کشور بهره‌برداری کنند. مطالعات انجام شده در زمینه مدل‌های برنامه‌ریزی ریسکی به تحلیل تصمیمات کشاورزان و تأثیرات ریسک پرداخته و الگوهای بهینه با درجات مختلف ریسک را ارائه و در نهایت به مقایسه نتایج با مدل‌های برنامه‌ریزی خطی پرداخته‌اند. بر اساس بررسی مطالعات پیشین، اگرچه تحقیقات خارجی در زمینه مدل‌های ریسک به طور گسترده‌تری انجام شده‌اند، اما مطالعات داخلی در این حوزه محدودتر بوده است. با این حال، در این مطالعه برای تدوین الگوی کشت با در نظر گرفتن ریسک، از مدل‌های متنوعی استفاده شده است. در ادامه، برخی از این مطالعات و نتایج حاصل از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

Yu et al (2022) به بررسی بهینه‌سازی نهاده‌ها و تولیدات کشاورزی برای خانوارهای کشاورز در معرض ریسک شمال چین پرداختند. در این مطالعه از مدل موتاد برای تعیین ترکیب بهینه تخصیص نهاده‌های کشاورزی استفاده شد. نتایج حاکی از اهمیت تنوع در استراتژی‌های کشاورزی برای مدیریت بهتر ریسک و افزایش بهره‌وری بود. Pyman (2021) در مطالعه خود رابطه بین ریسک و بازده خالص محصولات کشاورزی در مالاوی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی درجه‌دوم مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که تنوع در الگوی کشت می‌تواند ریسک‌های نوسانات تولید و قیمت‌ها را کاهش دهد، اما می‌تواند بر بازده کل مزرعه تأثیر منفی داشته باشد. Magreta et al (2021) در مطالعه خود به بررسی تصمیمات تخصیص منابع کشاورزان خرده‌مالک در سیستم کشت ذرت در مالاوی با استفاده از روش تارگت موتاد[1] برای بهینه‌سازی تصمیمات تحت شرایط ریسک اقلیمی پرداختند. نتایج نشان داد که کشاورزان برای کاهش ریسک، استراتژی‌هایی مانند تغییر در تخصیص منابع و تنوع‌بخشی به کشت را اتخاذ می‌کنند. Negm &

[1] Target-MOTAD

Abdullah (2021) ریسک در الگوی کشت را با استفاده از مدل‌های ریاضی خطی و غیرخطی بررسی کردند. مدل اول بر حداکثر کردن بازده خالص با در نظر گرفتن ریسک تمرکز داشت، در حالی که مدل دوم به حداکثر کردن ریسک تولیدی و افزایش خودکفایی محصولات استراتژیک پرداخت. نتایج مدل موتاد نشان داد که مدل اول به دلیل در نظر گرفتن ریسک عملکرد بهتری داشته است، با افزایش ۶/۷٪ در بازده خالص و بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری، به افزایش سطح زیرکشت و بهبود خودکفایی محصولات کمک کرده است. Lu et al (2020) به بررسی ریسک‌های ناشی از تغییرات اقلیمی بر ۱۴ محصول کشاورزی در چین پرداختند. با استفاده از داده‌های پانل و مدل موتاد، نشان دادند که تغییرات دما بیشترین تأثیر را بر عملکرد محصولات دارد و ریسک‌های اقلیمی می‌توانند به کاهش ۶٪ در سطح زیرکشت شوند. برای سازگاری مؤثر، پیشنهاد می‌شود که مزارع سطح زیرکشت کل را ۱۵٪ کاهش داده و ساختار کشت را به گونه‌ای تنظیم کنند که سطح زیرکشت بیشتری به محصولات استراتژیک اختصاص یابد. Bahadori et al (2019) به بررسی الگوی بهینه کشت محصولات زراعی شهرستان ری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و همچنین با لحاظ درجات مختلف ریسک با استفاده از مدل‌های ریسکی موتاد، تارگت موتاد و موتاد پیشرفته تعیین شد. نتایج مدل برنامه‌ریزی خطی حاکی از عدم استفاده بهینه منابع در شرایط فعلی را دارد. همچنین با وارد کردن ریسک در بهینه‌یابی الگوی کشت منطقه، این نتیجه بدست آمد که بین ریسک و بازده برنامه‌ای رابطه مثبت وجود دارد. Bahadori & Hosseini (2018) در این مطالعه، الگوی بهینه کشت محصولات زراعی شهرستان نکا با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و مدل‌های ریسکی درجه دو و موتاد تعیین شد. نتایج نشان دادند که با اجرای الگوی بهینه، سطح زیر کشت برنج، گندم دیم و کلزا دیم افزایش یافته، در حالی که در سطح بالای ریسک، نتایج مشابه الگوی بهینه برنامه‌ریزی خطی به دست آمد. همچنین نتایج حاصل از برآورد هر دو مدل ریسکی مؤید آن است که بین ریسک و بازده برنامه‌ای مزرعه رابطه مثبت و مستقیمی وجود دارد. جمع‌بندی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه تعیین الگوی کشت بهینه، مدل‌های برنامه‌ریزی عمدتاً به‌صورت قطعی طراحی شده‌اند. اما در این مطالعه، با بهره‌گیری از مدل‌های برنامه‌ریزی ریسکی، تأثیر ریسک بر انتخاب الگوی کشت بهینه برای محصولات آبی دشت دهگلان بررسی شده است. این رویکرد بر اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت و ریسک در تصمیم‌گیری‌های کشاورزی تأکید دارد. این دشت یکی از دشت‌های حاصلخیز استان کردستان محسوب می‌شود. اما توزیع بارش‌ها به طور نامتناسب و تبخیر و تعرق بیش از مقدار بارش سالانه باعث نوسان عملکرد محصولات این منطقه شده است. واقعیت این است که این منطقه با اقلیم نیمه مرطوب و سرد، از مناطق کم باران استان کردستان محسوب می‌شود (Ghasabi et al., 2024). انتخاب الگوی کشتی که اثرات منفی این نوسانات را حداقل نماید ضروری می‌باشد. لذا در این مطالعه، الگوی کشت بهینه کشاورزان در دو حالت دخالت و عدم دخالت ریسک با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و مدل‌های ریسکی تخمین زده شد و در پایان ضمن مقایسه این دو الگو، نتایج ارائه شده است.

روش تحقیق

در شرایط عدم توجه به ریسک، حداکثر کردن درآمد ناخالص باتوجه به محدودیت‌های ناشی از عوامل تولید تحقق می‌یابد. اما با استفاده از مدل‌های ریسکی، الگوهای کشت متفاوتی با درجات مختلف ریسک ارائه و رابطه بین ریسک و بازده بررسی می‌گردد. نتایج مطالعات پیش گفته مؤید آن است که بین ریسک و سودآوری رابطه مثبت وجود دارد و با افزایش ریسک، سودآوری نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، با افزایس ریسک سطح زیرکشت

یک‌سری از محصولات کاهش یافته و سطح زیرکشت محصولات با درآمد بالاتر افزایش می‌یافت. در مطالعه‌ی حاضر، برای به دست آوردن برنامه‌های زراعی با حداکثر و حداقل ریسک و ضـریب ریسک‌گریزی و مقایسـه آن‌هـا، از برنامه‌ریـزی خطی[1] و مدل‌های برنامه‌ریزی ریسکی درجه دوم[2] و موتاد[3] استفاده شـده اسـت. نحوه الگوسازی این مدل‌ها به این صورت می‌باشد:

برنامه‌ریزی خطی

مدل برنامه‌ریزی خطی، یک روش ریاضی برای بهینه‌سازی یک تابع خطی باتوجه به مجموعه‌ای از محدودیت‌های خطی است. این مدل به دلیل سادگی و کارایی بالا در حل مسائل مدیریتی به‌وفور استفاده می‌شود (Singh et al., 2001). فرم کلی مدل برنامه‌ریزی خطی در حالت حداکثرسازی درآمد باتوجه به محدودیت‌ها به‌صورت روابط (۱) الی (۳) است:

$$Max \quad Z = \sum_{(J=1)}^{n} C_j X_j \qquad (۱)$$

S.t:

$$\sum_{(J=1)}^{n} a_{ij} X_j \le b_j \qquad j = 1,2,3,...,m \qquad (۲)$$

$$X_j \ge 0 \qquad j = 1,2,3,...,n \qquad (۳)$$

در رابطه (۱)، Z تابع هدف است که درآمد ناخالص کل را حداکثر می‌کند، C_j ضریب تابع هدف (درآمد ناخالص پیش‌بینی شده برای یک واحد از زامین فعالیت مزرعه) و X_j متغیر تصمیم (سطح jامین فعالیت مزرعه) است. رابطه (۲) موجودی منابع یا محدودیت فنی را بیان می‌کند. a_{ij} ضرایب فنی (مقدار استفاده هر واحد فعالیت jام از منبع iام)، b_i مقدار در دسترس iامین منبع و m تعداد منابع محدودکننده است. همچنین، محدودیت‌های فنی در مطالعه‌ی حاضر عبارتند از: زمین زراعی، منابع آبی، نیروی کار، کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، بازار و ماشین‌آلات. رابطه (۳) نیز محدودیت غیرمنفی بودن متغیرها را نشان می‌دهد و n تعداد فعالیت‌هاست.

مدل‌های ریسکی

[1] Linear Programming (LP)
[2] Quadratic Programming
[3] Minimization of the Total Absolute Deviations Programming (MOTAD)

مدل‌های برنامه‌ریزی ریسکی، ریسک را در پارامترهای مدل نشان می‌دهند. ملاحظات ریسکی معمولاً با این فرض لحاظ شده‌اند کـه پارامترهای ریسکی با حتمیت شناخته شده و بیشتر به‌صورت توزیع احتمال معرفی می‌شوند. در مدل‌های برنامه‌ریزی ریسکی، ریسک در ضرایب تابع هدف، ضرایب فنی و ضرایب سمت راست به طور جداگانه یا با هم وارد می‌شود. یکی از مدل‌هایی که با استفاده از خصوصیات تئوری مطلوبیت انتظاری به طور وسـیع برای تصمیم‌گیری‌های همراه با ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل برنامه‌ریزی درجه دوم می‌باشـد. برنامه‌ریزی ریسکی درجه دوم بر این اساس قرار دارد که تابع مطلوبیت را می‌توان بر مبنای میانگین یا ارزش انتظاری (E) و واریانس (V) بیان کرد. در این مدل، ریسک از طریق واریانس درآمد رویدادهای گوناگون تخمین زده می‌شود. تابع مطلوبیت مجموعه‌ای از ارزش انتظاری و واریانس متغیر تصادفی است. از این‌رو، این مدل E-V نامیده می‌شود. در کل، توزیع درآمد یک برنامه مزرعه از طریق توزیع کل درآمد ناخالص تعیین می‌شود. به این ترتیب، واریانس کل درآمد ناخالص یا همان ریسک در برنامه‌ریزی ریسکی درجه دو برابر است با:

$$V = \sum_j \sum_k X_j X_k \sigma_{jk} \qquad (۴)$$

X_j و X_k سطح j و kامین فعالیت مزرعه را نشان داده و σ_{jk} ماتریس واریانس–کوواریانس درآمد ناخالص بین jامین و kامین فعالیت است (وقتی که j=k باشد، σ_{jk} واریانس خواهد بود).

هیزل استفاده از تخمین‌های واریانس را براساس میانگین مطلق انحراف (MAD) مونه پیشنهاد کرد. اگر اطلاعات نمونه و روش‌های کلاسیک برای تخمین واریانس‌ها و کوواریانس‌های نمونه مورد استفاده قرار گرفته باشند، واریانس تخمین درآمد در مدل برنامه‌ریزی درجه دو به صورت رابطه (۵) در می‌آید (Norton & Hazell, 1986):

$$\hat{V} = \sum_j \sum_k X_j X_k \left[(1/T-1) \sum_{(T=1)}^{t} [C_{jt} - \bar{C}_j][C_{kt} - \bar{C}_k] \right] \qquad (۵)$$

در این رابطه، t=1,…,T بیانگر T مشاهده نمونه و C_{jt} درآمد ناخالص jامین فعالیت در tامین سال بوده، که میانگین درآمد ناخالص نمونه معادل $\bar{C}_j$ است.

با جمع کردن برحسب t و فاکتورگیری، واریانس تخمین برابر خواهد بود با (Norton & Hazell, 1986):

$$\hat{V} = (1/T-1) \sum_t \left[\sum_j C_{jt} X_j - \sum_j \bar{C}_{jt} X_j \right]^2 = (1/T-1) \sum_t \left[Y_t - \bar{y} \right]^2 \qquad (۶)$$

یعنی، واریانس درآمد مزرعه برای یک برنامه خاص تولیدی را می‌توان به صورت یک شکل جمع‌سازی‌شده از واریانس و کوواریانس‌های هر فعالیت یا به صورتی ساده‌تر از طریق محاسبه درآمد مزرعه (Y_t) متناظر با هر مشاهده در مورد درآمد ناخالص فعالیت‌ها و تخمین واریانس متغیر تصادفی منفرد به‌دست آورد. چنین تغییر شکلی این امکان را پدید می‌آورد که تخمین‌زننده‌ی MAD واریانسY مورد استفاده قرار گیرد. تخمین زنندهٔ MAD عبارت است از (Norton & Hazell, 1986):

که در آن، عبارتی که در کروشه قرار گرفته MAD نمونه و F ضریبی ثابت است که MAD نمونه را با واریانس جامعه مرتبط می‌کند. به طور مشخص، رابطه‌ی $F = \frac{T\pi}{2(T-1)}$ برقرار است که در آن، π یک ضریب ریاضی ثابت است (Norton & Hazell, 1986).

نکته قابل توجه در مورد تخمین‌زننده‌ی MAD این است که اگر در یک مدل برنامه‌ریزی درجه دو، در تابع هدف به جای حداقل کردن واریانس رابطه بالا جانشین شود، آنگاه یک مدل برنامه‌ریزی خطی می‌تواند حاصل شود.

انحراف درآمد مزرعه از میانگین آن در سال t در صورتی که منفی باشد، با Z_t^+ و در صورتی که مثبت باشد، با Z_t^- نشان داده می‌شود:

$$\sum_t (Z_t^+ + Z_t^-) = \sum_j C_{jt} X_j - \sum_j \bar{C}_j X_j \qquad (۸)$$

این رابطه مجموع ارزش‌های مطلق انحراف در درآمد را برای یک برنامه مزرعه اندازه می‌گیرد؛ بنابراین، تخمین زننده‌ی MAD واریانس برابر می‌شود با :

$$\hat{V} = F\left\{\left(\frac{1}{T}\right)\sum_j [Z_t^+ + Z_t^-]\right\}^2 \qquad (۹)$$

از آنجا که عددی ثابت برای یک برنامه مزرعه معین است، می‌توان $\frac{F}{T^2}$ را بر $\hat{V}$ تقسیم کرد تا رابطه زیر حاصل شود:

$$W = \left(\frac{T^2}{F}\right)\hat{V} = \left\{\sum_t \left[Z_t^+ + Z_t^-\right]\right\}^2 \qquad (۱۰)$$

همچنین، از آنجا که درجه‌بندی برنامه‌های مزرعه براساس $W^{\frac{1}{2}}$ است، برای درجه‌بندی برنامه‌های مزرعه براساس W، می‌توان ریشه دوم W را محاسبه کرد. در آن صورت، مدل برنامه‌ریزی خطی زیر را به جای مدل برنامه‌ریزی درجه دو می‌توان نوشت:

$$Min \quad W^{\frac{1}{2}} = \sum_{t=1}^{T} (Z_t^+ + Z_t^-) \qquad (۱۱)$$

S.t:

$$\sum_{j=1}^{n} (C_{jt} - \bar{C}_j) X_j - Z_t^+ + Z_t^- = 0 \qquad \forall t \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \bar{C}_j X_j = E \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \le b_i \qquad \forall i \qquad (۱۴)$$

$$X_j \, , Z_t^+ \, , Z_t^- \ge 0 \qquad \forall j, t \qquad (۱۵)$$

این مدل می‌تواند برای به‌دست آوردن مجموعه کارآی E-V از برنامه‌های زراعی از طریق برنامه‌ریزی خطی پارامتریک حل شود. در رابطه (۱۴)، انحراف از میانگین بازده فعالیت‌ها در هر سال به صورت محدودیت در مدل وارد می‌شود. در رابطه (۱۴)، E کل بازده انتظاری مدیر مزرعه از اجرای الگوی کشت را نشان می‌دهد. اکنون با تغییر درآمد انتظاری کل می‌توان به الگوهای گوناگون دست یافت.

مدل موتاد را به صورت فشرده نیز می‌توان نوشت. از آنجا که باید مجموع منفی انحرافات درآمد از میانگین $\sum_t Z_t^-$ همیشه برابر با مجموع مثبت انحرافات درآمد از میانگین $\sum_t Z_t^+$ باشد، کافی است که یکی از این دو مجموع را حداقل کرده و برای به‌دست آوردن $W^{\frac{1}{2}}$ نتیجه را در عدد دو ضرب کرد. در اینجا، انحرافات منفی انتخاب شده و مدل موتاد فشرده باتوجه به انحرافات منفی به صورت زیر است:

$$Min \quad 0.5W^{\frac{1}{2}} = \sum_{t=1}^{T} Z_t^- \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{j=1}^{n} (C_{jt} - \bar{C}_j) X_j - Z_t^+ + Z_t^- = 0 \qquad \forall t \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \bar{C}_j X_j = E \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \le b_i \qquad \forall i \qquad (۱۹)$$

$$X_j, Z_t^- \ge 0 \qquad (۲۰)$$

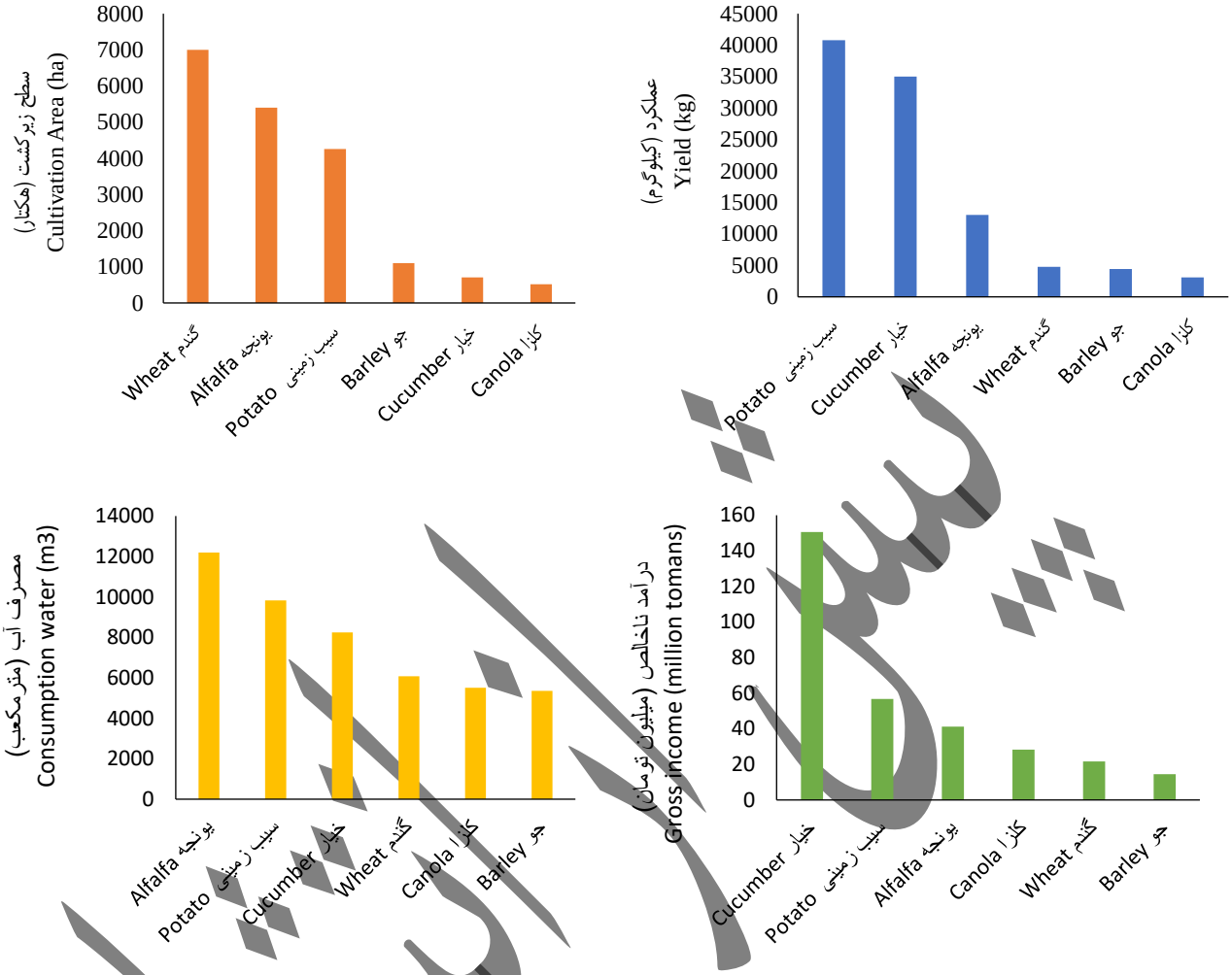
داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از طریق مراجعه حضوری به شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان و سازمان جهاد کشاورزی استان و سامانه نیاز آبی کشور، برای شش محصول عمده زیرکشت شامل گندم، جو، سیب‌زمینی، خیار، یونجه و کلزا در دشت دهگلان طی سال‌های زراعی ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۲جمع‌آوری شده است. این شش محصول انتخاب شده به طور مجموع بیش از ۸۵ درصد از کل سطح زیرکشت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. لازم به ذکر است برای برآورد مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، از نرم‌افزار Microsoft Excel Solver استفاده شده است.

نتایج و بحث

نتایج مدل برنامه‌ریزی خطی

باتوجه به مطالبی که پیش‌تر به آن اشاره شد، بخش عمده‌ای از اراضی آبی دشت دهگلان به کشت ۶ محصول گندم، جو، خیار، سیب زمینی، یونجه و کلزا اختصاص یافته است. مساحت زیرکشت کل محصولات در دشت مورد مطالعه حدوداً ۱۹ هزار هکتار است. گندم با سطح زیرکشت ۷ هزار هکتار (بیش از ۳۶ درصد کل)، بیشترین مساحت زیرکشت را به خود اختصاص داده است. اصلی‌ترین عامل گسترش کشت گندم در این منطقه شامل حمایت‌های دولتی (با وجود قیمت تضمینی خرید)، نیاز کمتر به آب، و مقاومت در برابر شرایط آب و هوایی بوده است. در شکل (۲) میانگین درآمد ناخالص، سطح زیرکشت، عملکرد، میزان مصرف آب برای عمده محصولات زراعی دشت دهگلان نشان داده است. در صورت عدم وجود محدودیت منابع، جواب بهینه مدل، تنها منجر به تولید خیار می‌شد چرا که تولید هر کیلوگرم خیار دارای درآمد بیشتری است.

پیش از انتشار



شکل ۲– سطح زیرکشت، عملکرد، میزان مصرف آب و درآمد ناخالص هر یک از محصولات کشاورزی

Fig. 2- Cultivated area, yield, water consumption and gross income of each agricultural product

نظر به این‌که هدف حداکثرسازی درآمد ناخالص محصولات زراعی باتوجه محدودیت‌های فنی لحاظ شده در مدل، الگوی بهینه کشت محصولات زراعی دشت دهگلان را در شرایط نبود ریسک با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی متعارف به‌دست‌آمده که نتایج حاصل از آن در جدول (۱) ارائه شده است. براساس این جدول، در الگوی جاری کشت، دو محصول گندم و یونجه بیش‌ترین سهم را در ترکیب کشت محصولات مختلف دارا می‌باشند. اما در الگوی بهینه، باتوجه به هدف حداکثرسازی درآمد ناخالص انتظار می‌رود محصولاتی با درآمد ناخالص بالا در هکتار، باتوجه به محدودیت‌ها پیشنهاد شود.

جدول ۱- سطح زیرکشت هریک از محصولات در الگوی فعلی و الگوی بهینه‌ی برنامه‌ریزی خطی

Table 1- The cultivated area of each product in the current model and the optimal model of Linear Programming

محصول Product	وضعیت فعلی (هکتار) Current status (ha)	وضعیت بهینه (هکتار) Optimum status (ha)	مقدار تغییرات (هکتار) amount of changes (ha)
گندم wheat	7000	0	-7000
جو barley	1100	0	-1100
خیار Cucumber	710	9493.82	8784
سیب زمینی potato	4260	0	-4260
یونجه Alfalfa	5400	5122.63	-277
کلزا canola	518	4371.56	3854
درآمد ناخالص (میلیون تومان) Gross income (million tomans)	753231.82	1764400.83	1011169.01

منبع: یافته‌های تحقیق

Source: Research Results

همان‌طور که مشاهده می‌شود، محصولات پیشنهادی این الگو تحت هدف حداکثر درآمد ناخالص سه محصول خیار، یونجه و کلزا می‌باشد. برخلاف این‌که گندم بیش‌ترین سطح زیرکشت را در الگوی جاری داشته اما با اجرای الگوی بهینه از مدل حذف شده است. همچنین، محصولات جو و سیب‌زمینی از الگو حذف شده‌اند و این نشان‌دهنده آن است که در منطقه مورد نظر، باتوجه به هدف حداکثر کردن درآمد ناخالص هر یک از بهره‌برداران، کشت محصولات مذکور از بازده اقتصادی مناسب برخوردار نیست که ناشی از کمتر بودن درآمد ناخالص این محصول نسبت به محصولات دیگر می‌باشد. نکته مهم این است که با توجه به نیاز آبی کمتر گندم و جو نسبت به دیگر محصولات (تقابل درآمدزایی و نیاز آبی) و اطمینانی که کشاورزان از فروش محصولات مشمول خرید تضمینی به دولت دارند، کاهش سطح زیر کشت این دو محصول توسط کشاورزان به‌سادگی قابل توجیه نیست. سطح زیرکشت خیار و کلزا در حالت بهینه نسبت به حالت فعلی افزایش یافته است، که خیار به اندازه حداکثر تولیدی که اعمال شده بود، وارد شده است و این نشان می‌دهد که یک محصول حائز اهمیت در افزایش درآمد ناخالص می‌باشد. همچنین محصول سیب‌زمینی پس از بهینه‌یابی با کاهش سطح زیرکشت مواجه شده است. پس به طور خلاصه می‌توان گفت، تنها زمانی‌که حداکثرسازی درآمد ناخالص مدنظر قرار گرفته، محصولات آب‌بر و در عین حال با درآمد ناخالص بالا وارد الگوی کشت شده این در حالی است که دشت دهگلان، جزء دشت‌های ممنوعه استان کردستان بوده که با مشکل جدی کمبود منابع آب مواجه است. عدم توجه به این موضوع می‌تواند آسیب پذیری منابع آبی این دشت را افزایش دهد. اما این نکته را هم باید در نظر داشت که توسعه کشت یونجه در الگوی کشت زراعی می‌تواند علاوه بر مزیت‌های جانبی کشت یونجه اثر اقتصادی مستقیم و مثبتی را بر درآمد زارعین این منطقه در پی داشته باشد. زیرا یونجه آبی از نهاده‌های مهم دامی شناخته می‌شود، رشد قابل توجه قیمت این نهاده در سال‌های اخیر و پیش‌بینی ادامه این روند برای سال‌های آتی، کشاورزان را ترغیب نموده تا با وجود نیاز آبی بالا به کشت این محصول بپردازند. مقایسه درآمد ناخالص

حاصل از الگوی فعلی و بهینه محصولات زراعی این منطقه بیانگر آن است که استفاده کنونی از منابع بهینه نبوده و امکان افزایش درآمد ناخالص در مدل وجود دارد. لازم به ذکر است اصولاً مدل‌های حداکثرکننده درآمد، از حدکثر ریسک نیز برخوردار می‌باشند. این نتایج برای افراد ریسک‌پذیر مناسب‌تر است.

نتایج مدل‌های برنامه‌ریزی ریسکی

نتایج مدل برنامه‌ریزی درجه دو

به منظور بررسی اثر ریسک بر ترکیب بهینه محصولات، ریسک درآمدی که خود متأثر از دو پارامتر مهم نوسانات قیمت و نوسانات درآمد است مورد سنجش قرار گرفت، به این منظور، پس از تخمین ماتریس واریانس–کوواریانس، تابع هدف مدل برنامه‌ریزی درجه دو که حداقل‌سازی واریانس درآمد ناخالص بین فعالیت‌ها می‌باشد تشکیل داده شد و با لحاظ کردن محدودیت‌های فنی، این مدل با تغییر پارامتر درآمد انتظاری برآورد گردید. باتوجه به اینکه می‌توان سطوح مختلف درآمد انتظاری را به طور دلخواه در مدل برنامه‌ریزی ریسکی درجه دو قرار داد، در این مطالعه الگوی بهینه کشت برای هشت سطح درآمد انتظاری در جدول (۲) ارائه شد. همچنین به دلیل بالا بودن اعداد واریانس درآمد ناخالص و برای سهولت در بیان نتایج، مقدار ریسک برابر با انحراف معیار درآمد ناخالص کل بین فعالیت‌ها در نظر گرفته شده است. جدول (۲) نتایج حاصل از تخمین را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی درجه دو

Table 2- The results of the Quadratic Programming Model

برنامه	درآمد انتظاری	ریسک	گندم	جو	خیار	سیب زمینی	یونجه	کلزا
plan	Expected income	Risk	wheat	barley	Cucumber	potato	Alfalfa	canola
1	1764401	1570263	0	0	9493.81	0	5122.63	4371.56
2	1760000	1517491	0	0	9493.81	0	5109.10	4366.61
3	1750000	1441616	0	0	9237.01	256.81	4939.54	4264.68
4	1740000	1311871	255.66	0	9176.72	317.09	4769.98	4058.77
5	1730000	1180683	527.15	0	9139.72	354.10	4600.42	4011.14
6	1720000	1050808	1098.64	0	9102.71	391.10	4430.86	3964.68
7	1710000	914203	1610.14	0	9065.71	428.11	4365.28	3500.30
8	1700000	777073	1861.63	100	9028.70	465.11	4141.42	3391.14

مأخذ: یافته‌های پژوهش

Source: Research Results

*درآمد انتظاری و ریسک برحسب میلیون تومان و سطح زیر کشت محصولات برحسب هکتار

*Expected income and risk in millions of Tomans and cultivated area of crops in hectares

نتایج حاکی از آن است که الگوی کشت به تغییرات در سطح ریسک پاسخ می‌دهد. برنامه اول در جدول (۲) مربوط به جواب ریسک خنثی و یا حداکثرسازی درآمد است که طرح مطلوب کشاورزی است که می‌خواهد درآمد خود را بدون در نظر گرفتن ریسک حداکثر کند. در واقع، نتایج برنامه یک در بالاترین سطح ریسک همان نتایج حاصل از برنامه‌ریزی خطی می‌باشد.

با حرکت از برنامه هشت به سمت برنامه یک، مقدار درآمد انتظاری افزایش یافته و مقدار ریسک نیز بیشتر شده است، که این امر ممکن است برای کشاورز ریسک‌گریز مطلوب نباشد. سطح زیرکشت خیار در سطوح بالاتر درآمدی افزایش می‌یابد، اما این امر ریسک تولید را افزایش می‌دهد. افزایش سطح زیرکشت خیار چون زراعتی کاربر است، باعث کاهش کنترل کشاورزان بر شرایط تولید و در نتیجه، دشواری انجام به‌موقع و دقیق تلاش‌های کشاورزی کاربر را برای این محصول تشدید می‌کند. از طرف دیگر، در سطوح پایین‌تر درآمد، کشاورزان کشت سیب‌زمینی را که در سال‌های اخیر وضعیت بازاری مناسبی داشته تمایل دارند. بنابراین می‌توان به توسعه کشت ارقام پرمحصول سیب‌زمینی پرداخت که درآمد مورد انتظار مطلوب با صرف هزینه کمتر به‌دست آورد.

سطح زیرکشت گندم همراه با کاهش ریسک، افزایش می‌یابد. باتوجه به آن‌که گندم ماده اولیه نان و یکی از محصولات استراتژیک کشور است بنابراین، همواره تولید محصول گندم مورد توجه سیاست‌گذاران بخش کشاورزی قرار داشته و دولت برای حمایت از کشاورزان و تثبیت درآمدی آن‌ها سیاست خرید تضمینی را اعمال می‌نماید. افزایش قیمت تضمینی و اجرای طرح محوری گندم، ریسک تولید این محصول را کاهش داده است. لذا جهت دستیابی به امنیت غذایی جمعیت در حال رشد بایستی اقداماتی انجام شود. زیرا کاهش سطح زیرکشت گندم، یکی از عواملی است که منجر به کاهش تولید و درآمد کشاورزان و افزایش ریسک تولید آن می‌شود. اما به دلیل انبارمانی، خرید ارزان‌تر محصول از طرف دلالان، عدم پرداخت به موقع قیمت محصول از طرف دولت و در نهایت منجر به کاهش انگیزه کشاورزان برای تولید این محصول خواهد شد. سطح زیرکشت یونجه در مدل برنامه‌ریزی خطی نسبت به وضعیت فعلی کاهش داشته، همچنین، با در نظر گرفتن عامل ریسک هم سطح زیرکشت این محصول روندی کاهشی داشته است. طبعاً کشت یونجه با نیاز آبی بالای نسبی در مناطقی همچون دشت دهگلان که احتمال بروز خشکسالی بیشتر است باید، محدودتر شود. در مورد کلزا، سطح زیرکشت آن نسبت به الگوی فعلی کشت مورد استفاده توسط کشاورز بیشنر تخمین زده شده، این در حالی است که میزان سطح زیرکشت این محصول در مقایسه با حالت عدم توجه به ریسک زارع کمتر می‌باشد.

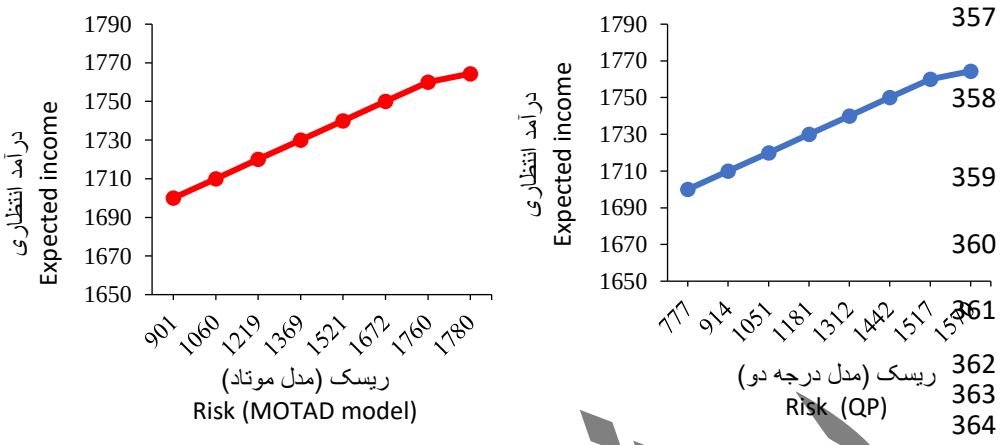
علاوه بر این برنامه هشت، یک برنامه کارا برای ریسک‌گریزترین بهره‌بردار را ارائه می‌کند. اگر بهره‌بردار مایل به پذیرفتن درآمد مورد انتظار کمتر باشد، آنگاه ریسک می‌تواند به انحراف معیار ۷۷۷۰۷۳ میلیون تومان کاهش یابد. کشاورزان با چنین ترجیحات ریسکی می‌توانند به این سطح ریسک، از طریق تنوع و تخصیص بیشتر منابع خود به کالایی با حداقل ریسک همچون جو دست یابند. در واقع می‌توان بیان نمود که علت انتخاب کشت جو در شرایط کم‌ریسک این است که محصول جو به دلیل نیاز آبی کمتر و مقاومت بیشتر در برابر شرایط آب و هوایی منطقه، از ریسک تولید پایین‌تری برخوردار است. همچنین گرایش به سمت محصولات تحت حمایت دولت، برای محافظت در مقابل ریسک وجود دارد. بنابراین، اگر محصولی با افزایش ریسک سطح زیرکشت آن کاهش یابد، بیانگر آن است که زارعین از کشت این محصول در شرایط ریسک، گریزان هستند. لذا زارعین ریسک‌پذیر در شرایط ریسک به کشت این محصولات اقدام خواهند نمود و این محصولات پرریسک‌تر از سایر محصولات می‌باشند. البته باید این را در نظر داشت که تمام برنامه‌ها ذکر شده در جدول بهینه هستند که باتوجه به سطح ریسک‌گریزی کشاورزان، آن‌ها می‌توانند از بین این مجموعه‌ها طرح کارا را انتخاب نمایند.

بنابراین، نتایج حاکی از آن بود که اولاً بین مقدار ریسک و درآمد ناخالص طرح تا رسیدن به جواب برنامه‌ریزی خطی رابطه‌ی مستقیم و مثبت وجود دارد. دوماً، هزینه مبادله‌ی بین ریسک و درآمد انتظاری به صورت فزاینده افزایش می‌یابد. به عنوان مثال برای افزایش درآمد از ۱۷۰۰۰۰۰ میلیون تومان به ۱۷۱۰۰۰۰ میلیون تومان، که تنها ۰/۵۹ درصد افزایش در درآمد است، انحراف معیار که ریسک کشاورز با آن اندازه‌گیری می‌شود معادل ۱۷/۶۵ درصد افزایش می‌یابد.

نتایج مدل موتاد

در این بخش متناظر با مدل برنامه‌ریزی درجه دو، برای تمامی درآمدهای متناظر مدل موتاد برآورد گردید. نتایج حاکی از آن است که با افزایش درآمد انتظاری، میانگین انحرافات افزایش می‌یابد. مدل موتاد در مقادیر بالاتر از درآمد ناخالص حاصل از مدل حداکثرسازی شده‌ی درآمد با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، قابل حل نخواهد بود. این موضوع بیانگر آن است که مدل برنامه‌ریزی خطی بالاترین ریسک ممکن را در جواب‌های خود لحاظ می‌کنند.

مقایسه بین مقادیر بهینه فعالیت موتاد و مدل برنامه‌ریزی درجه دو نشان داد که آن‌ها مشابه هستند. در سطح ریسک ۱۷۸۰۱۳۳/۷ میلیون تومان، که بالاترین سطح ریسک می‌باشد، الگوی کشت فقط شامل خیار، یونجه و کلزا که دارای درآمد ناخالص بالاتر هستند وارد برنامه می‌شوند و با کاهش درآمد انتظاری و با کاهش درآمد انتظاری و رسیدن به ریسک ۱۰۶۰۲۸۵/۱ میلیون تومان، از سطح زیرکشت این محصولات کاسته شده است. به عبارت دیگر، همراه با افزایش سطح درآمد انتظاری، الگوی کشت به سمت جایگزین کردن محصولات با درآمد ناخالص بالاتر حرکت می‌کند. نتایج حاصل از مدل موتاد نیز مؤید آن است که با کاهش ریسک محصولاتی همچون گندم، جو و سیب زمینی مورد توجه کشاورز قرار می‌گیرد. پس زمانی که کشاورز بخواهد رفتار مطمئن‌تری داشته باشد و ریسک را کاهش دهد باید به درآمدهای پایین‌تر قانع باشد. با این حال، ریسک برآورد شده در مدل موتاد بیشتر از ریسک در مدل درجه دو می‌باشد. این به دلیل این واقعیت است که برآورد میانگین مطلق انحرافات از ریسک به اندازه برآورد سنتی غیر خطی (منظور همان مدل برنامه‌ریزی درجه دو می‌باشد) کارا نیست. مزیت اصلی مدل موتاد نسبت به مدل برنامه ریزی درجه دو این است که آن را می‌توان با استفاده از حل کننده‌های خطی (LP) حل نمود. در نتیجه جزئیات بیشتری را می‌توان در استراتژی تولید و بازاریابی در تدوین مدل مشخص کرد. در شکل (۳)، مرز کارای درآمد و ریسک نشان داده شده است. این نمودار بیانگر آن است که، با افزایش ریسک، درآمد انتظاری تا رسیدن به حداکثر درآمد حاصل از برنامه‌ریزی خطی افزایش می‌یابد.



شکل ۳- مرز کارای درآمد انتظاری و ریسک (میلیارد تومان)

Fig. 3- The efficient frontier of expected income and risk (billion tomans)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش به ارائه الگوی بهینه کشت در دشت دهگلان در دو حالت ریسک و عدم ریسک پرداخت. نتایج حاصل از الگوی کشت بهینه‌ی در حالت عدم توجه به ریسک بیانگر بهینه نبودن الگوی کشت فعلی بوده است. با توجه به اینکه نوسانات قیمت محصول و نهاده (ریسک قیمتی) و نوسانات مربوط به عملکرد (ریسک عملکرد)، همگی به درآمد منتقل می‌شود، در این مطالعه نوسانات درآمد به عنوان شاخص ریسک در نظر گرفته شد. از دیگر نتایج این پژوهش آن است که، الگوی کشت بهینه حاصل از مدل‌های ریسکی نسبت به ریسک واکنش نشان داده، و بین ریسک و درآمد ناخالص رابطه‌ی مستقیم وجود دارد. این مسئله در مورد محصولات گندم، جو و سیب زمینی قابل مشاهده بوده و با وارد کردن ریسک در مدل، سطح زیرکشت گندم نسبت به الگوی برنامه‌ریزی خطی افزایش یافته و توصیه به کشت آن شده که این نتیجه مطابق برنامه‌های راهبردی دولت و تأمین امنیت غذایی کشور می‌باشد. در سطوح پایین‌تر درآمد، کشاورزان بین محصولات صیفی بیشتر به کشت سیب‌زمینی که در سال‌های اخیر وضعیت بازاری مناسبی داشته تمایل دارند. محصولاتی مانند خیار، که سیاست‌گذاران بخش کشاورزی در توسعه کشت و بازار آن‌ها کمتر مداخله نموده‌اند نسبت به محصولات استراتژیک، درآمد ناخالص به مراتب بالاتری داشته‌اند. به‌عبارت‌دیگر، وضعیت بازدهی محصولات غیراستراتژیک در ازای ریسکی که کشاورزان تحمل می‌کنند به مراتب بالاتر بوده است. باتوجه به هزینه بسیار پایین آب در این دشت نسبت به قیمت سایه‌ای آن (Ghasabi et al., 2024)، کشت محصولات آب‌بر در الگوی بهینه افزایش یافته است. با توجه به الگوی بارندگی‌های منطقه در فصل سرد، بهتر است کشت گندم آبی به سمت کشت دیم هدایت شود و با اتخاذ تکنیک‌های مؤثر در ذخیره‌سازی آب، می‌توان از منابع آبی حفظ شده برای بهبود عملکرد محصولات بهاره و رفع محدودیت‌های آبی در فصل گرم استفاده نمود.

این نتایج نشان می‌دهد که مداخلات دولت در تولید محصولات کشاورزی موجب کاهش ریسک تولید این محصولات گردیده است و این دسته از مداخلات موجب انحراف در انتخاب محصول مناسب برای کشت در این منطقه شده است. لذا، پیشنهاد می‌شود که دولت مداخلات خود را در امور تولیدات کشاورزی کاهش دهد و سیاست‌های خود را در این زمینه بازنگری کند. به طور خلاصه می‌توان گفت، هنگامی که کشاورزان با شرایط ریسک و نبود قطعیت مواجه هستند بایستی در جهت درآمدی ایمن‌تر به کشت محصولات زراعی با ریسک کمتر مبادرت ورزند و سیاست‌های دولت در راستای حداکثرسازی درآمد کشاورز، پایداری و ثبات در تولید باشد. بنابراین به‌کارگیری سیستم چندکشتی و تناوب کشاورزی به منزله راهکار طبیعی مقابله با

ریسک و عدم حتمیت می‌تواند مدنظر کشاورزان قرار گیرد. زیرا تفاوت آفات و بیماری‌های مخرب محصولات و هم‌چنین نبود روند یکسان نوسان قیمتی می‌تواند از دلایل به‌کارگیری این سیستم باشد چرا که تا حد زیادی جلوی نوسان شدید درآمد کشاورزان را می‌گیرد.

References

1. Adnan, K. M., Ying, L., Sarker, S. A., Hafeez, M., Razzaq, A., & Raza, M. H. (2018). Adoption of contract farming and precautionary savings to manage the catastrophic risk of maize farming: Evidence from Bangladesh. *Sustainability*, 11(1). https://doi.org/10.3390/su11010029
2. Ahmad, D., Afzal, M., & Rauf, A. (2020). Environmental risks among rice farmers and factors influencing their risk perceptions and attitudes in Punjab, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 21953-21964. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08771-8
3. Bahadori, M. & Hosseini, S.T. (2018). *Optimization of cropping pattern due to risk in Neka County*. 11th Biennial Conference on Iranian Agricultural Economy, Karaj. Iranian Agricultural Economics Society, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. (in Persian with English abstract).
4. Bahadori, M., Joolaie, R., Eshraghi, F. & Rezaee, A. (2019). Optimization of Cropping Pattern Regarding Risk in Rey County of Iran. *Agricultural Economics and Development*, 27(3): 131-161. (in Persian). https://doi.org/10.30490/aead.2020.252701.0
5. Deylami, A., & Joolaie, R. (2023). Role of environmental degradation and energy consumption in agricultural economic growth: empirical evidence from Iran. *Agricultural Economics*, 17(2), 57-80. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/iaes.2023.1971181.1955
6. Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831. https://doi.org/10.1126/science.1183899
7. Ghasabi, M., Asaadi, M. A., Ghaderzadeh, H., & Hajirahimi, M. (2024). The effect of financial incentive policies on the pattern of water consumption and the pattern of crop cultivation (case study: Dehgolan plain in Kurdistan province). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 18(2), 271-280. (in Persian with English abstract).
8. Komarek, A. M., De Pinto, A., & Smith, V. H. (2020). A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 178, 102738. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738
9. Pyman, D. H. (2021). *The risk-return trade-off to diversified agriculture in Malawi: A quadratic programming approach*. Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University.
10. Norton, R. D., & Hazell, P. B. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. New York, NY, USA: Macmillan.
11. Lu, W., Ye, X., Huang, J., & Horlu, G. S. A. (2020). Effect of climate change induced agricultural risk on land use in Chinese small farms: Implications for adaptation strategy. *Ecological Indicators*, 115, 106414. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106414
12. Magreta, R., Henderson, N. O. O., Mangisoni, J., Machila, K., & Gbegbelegbe, S. (2021). Smallholder Farmers Resource Allocation Decisions in a Maize-Farming System Under Climate Risks in Malawi. *Agrofor*, 6(1). https://doi.org/10.7251/AGRENG2101086M.
13. Mousavi, S. H., & Esmaeili, A. (2011). Analysis of increasing rice import tariff on welfare and poverty of the Iranian rural and urban regions. *Agricultural Economics*, 5(3), 143-167. (in Persian).

14. Negm, M., & Abdullah, H. (2021). Estimation of risk in Egyptian agriculture in the light of the current variables: An analytical study using MOTAD model approach. *IOSR Journal of Economics and Finance (IOSR-JEF)*, 12(4), 17-27. https://doi.org/10.9790/5933-1204041727

15. Ozerova, M. G., & Sharopatova, A. V. (2021, September). Financial risks and their impact on the economic security of agricultural enterprises. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 839(2): 022090. *IOP Publishing*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022090

16. Sethi, L. N., Panda, S. N., & Nayak, M. K. (2006). Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin, Orissa, India. *Agricultural water management*, 83(3), 209-220. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.11.009

17. Singh, D. K., Jaiswal, C. S., Reddy, K. S., Singh, R. M., & Bhandarkar, D. M. (2001). Optimal cropping pattern in a canal command area. *Agricultural water management*, 50(1), 1-8. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00104-4

18. Tahami Pour Zarandi, M., Arabmazar, A., & Hamedinasab, M. (2019). Modeling the Fluctuations in Prices for Agricultural Products in Iran: A Case Study of Cucumber, Tomato, Potato and Onion. *Agricultural Economics and Development*, 27(2), 209-259. (in Persian). https://doi.org/10.30490/aead.2019.95475

19. Theuvsen, L. (2013). Risks and risk management in agriculture. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie-Problemy Rolnictwa Światowego*, 13(4), 162-174. https://doi.org/10.22630/PRS.2013.13.4.73

20. Wang, H., Liu, H., & Wang, D. (2022). Agricultural insurance, climate change, and food security: evidence from Chinese farmers. *Sustainability*, 14(15), 9493. https://doi.org/10.3390/su14159493

21. Yu, Y., Wang, L., Lin, J., & Li, Z. (2022). Optimizing agricultural input and production for different types of at-risk peasant households: An empirical study of typical counties in the Yimeng Mountain area of Northern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 13938. https://doi.org/10.3390/ijerph192113938

22. Zhou, Z., Liu, W., Wang, H., & Yang, J. (2022). The impact of environmental regulation on agricultural productivity: From the perspective of digital transformation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(17), 10794. https://doi.org/10.3390/ijerph191710794