Research Paper

Determining the Optimal Cropping Pattern with Footprint and Quality Water Approach (Case Study: Bardsir City)

Samira Sistani[1], Mohammad Reza Zare Mehrjerdi[2*], Nasrin Sayari[3], Somayeh Amirtaimoori[4]

[1] Master's student in Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[2] Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[3] Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

10.22125/IWE.2021.307556.1558

Received:
April.29.2020
Accepted:
October.03.2020
Available online:
October.05.2022

Keywords:
Game Theory, Domarten Method, Piper Diagram, Schuler Diagram, Wilcox Diagram

Abstract

Agriculture has always been considered as an important factor in the development of human civilization and today this sector is one of the most important economic sectors and the largest consumer of water in Iran and the world. Irregular extraction of groundwater by this sector has caused a water shortage crisis in most parts of Iran. Therefore, the country's water resources need to be planned and managed in order to be sustainable. One way is to determine the optimal cropping pattern by considering the quantity and quality of water. Therefore, in this study, using game theory, the optimal cropping pattern has been determined by considering the footprint index and water quality in Bardsir city. For this purpose, five major crops of this city have been considered and the necessary statistics and information have been collected from the Meteorological Organization, the Regional Water Administration and the Agricultural Jihad Organization of Kerman province and Bardsir city for the years 2005-2017. The results showed that wheat, barley, alfalfa, potato and fodder corn had the highest water footprint, respectively. In the optimal cropping pattern obtained from game theory compared to the current cropping pattern; the area under cultivation of wheat, barley and potato decreased by 4%, 7% and 12%, respectively, and the area under cultivation of alfalfa and fodder corn increased by 4% and 25%, respectively. The optimal cropping pattern obtained from game theory is recommended for this city, because in this pattern, in addition to economic benefits, attention has been paid to the quantity and quality of water so that water resources do not face a crisis.

* **Corresponding Author:** Mohammad Reza Zare Mehrjardi
Address: Department of Agricultural Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
Email: zare@uk.ac.ir
Tel: 09131999230

1. Introduction

Agriculture is one of the most important economic sectors and the largest consumer of water in Iran. Due to the limited basic production resources such as water, the allocation of these resources is of great importance. In order to prevent the loss of groundwater and surface water resources, as well as to increase the economic prosperity of farmers, it is necessary to implement policies based on the pattern of cultivation and conservation of water resources (Gafarzadeh et al., 2017). Therefore, in this study, using game theory, the optimal cropping pattern has been determined by considering the footprint index and water quality in Bardsir city.

2. Materials and Methods

In order to determine the optimal cultivation pattern, water footprint was first calculated. The blue water footprint is the volume of freshwater that evaporated from the global blue water resources (surface water and ground water) to produce the goods and services consumed by the individual or community (Hoekstra, 2009).

$$WF_{Blue}=\frac{(ET_c-P_e)\times 10}{Y} \quad (1)$$

Where WFBlue is the Blue water footprint (m^3/ton), ETc is the evapotranspiration of each plant (mm), Pe is total rainfall effective during the growth period of each plant (mm), Y is yield of each product (ton/ha) and 10 unit conversion factors from mm to m^3/ha (Shokoohi et al., 2016).

The green water footprint is the volume of water evaporated from the global green water resources (rainwater stored in the soil as soil moisture) (Hoekstra, 2009).

$$WF_{Green}=\frac{P_e\times 10}{Y} \quad (2)$$

Where WFGreen is green water footprint (m^3/ton) (Shokoohi et al., 2016).

The gray water footprint is the volume of polluted water that associates with the production of all goods and services for the individual or community. The latter is calculated as the volume of water that is required to dilute pollutants to such an extent that the quality of the water remains above agreed water quality standards (Hoekstra, 2009).

$$WF_{Gray}=\frac{a\times NAR}{C_{Max}-C_{Nat}}\times\frac{1}{Y} \quad (3)$$

Where WFGray is the gray water footprint (m^3/ton), a percentage loss of nitrogen fertilizers (%), NAR is rate of fertilizer use per plant (kg/ha), CMax is critical nitrogen concentration (kg/m^3) and CNat is the actual nitrogen concentration in the recipient water sources (kg/m^3) (Shokoohi et al., 2016).

The concept of white water trail is a new concept that determines the rate of irrigation water losses in production specifies the products (Shokoohi et al., 2016).

$$WF_{White}=\frac{10\times(D_t-(ET_c-P_e))}{Y} \quad (4)$$

In this regard, WFWhite is white water footprint(m^3/ton) and Dt is the depth of irrigation water for each plant during the growing season (Shokoohi et al., 2016).

Now using Piper, Wilcox and Schuler diagrams were evaluated and the type and water class of the area were determined.

Finally, using game theory, the optimal crop pattern for the region was determined, the used model is as follows:

Max M (5)

S.t:

$$\sum_j c_j X_j \geq M$$

$$\sum_j a_{ij} X_j \leq b_j$$

$$X_j, M \geq 0$$

M: Worst possible (unknown) outcome of farm income, Xj: The level of an activity or amount of production, cj: The share of each activity unit j in the objective function, aij: The required amount of source of type i to produce a unit of activity j and bj: The amount of inventory of each available resource (Hazel and Norton, 1986).

3. Results

In this study, first the water footprint for major irrigation crops in Bardsir city during the period 2005-2017 was calculated. The results showed that wheat, barley, alfalfa, potato and fodder corn had the highest water footprint, respectively. Then the water quality of the area was determined, which can be seen in the diagram below.

In the recommended optimal cropping pattern using game theory, wheat 4%, barley 7%, and potato 12% decrease and alfalfa 4% and fodder corn 25% increase compared to the current cropping pattern. The results of game theory showed that by 2% reduction in expected profits causes the greatest reduction in risk from nature. The optimal cropping pattern obtained from game theory in this city is recommended because it reduces the amount of damage caused by nature and minimizes the possibility of the worst damage.

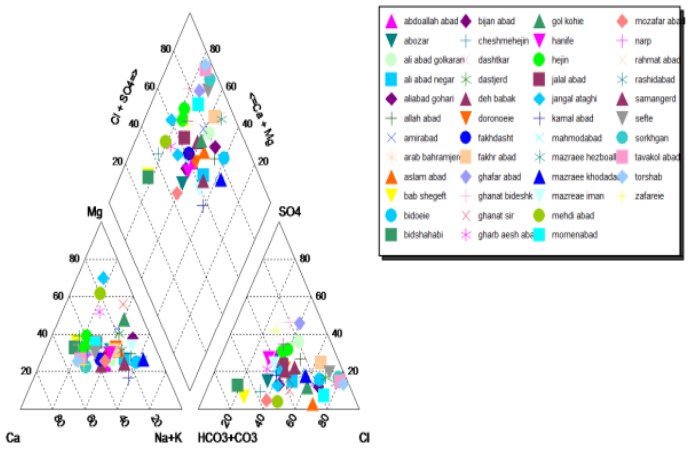


Figure (1): Bardsir water resources piper diagram
Source: Research Findings

4. Discussion and Conclusion

In the determined optimal cultivation pattern, the cultivated area of fodder corn has increased, which has the lowest amount of water footprint, and due to its high resistance to water quality, barley is the only product that is cultivated in water with poor quality.

- Farmers should cultivate barley in areas where water is of low quality.
- According to the availability of resources and limitations, it is recommended that the farmers of the region, who have good water quality, increase the area under cultivation of fodder corn and reduce the area under cultivation of potatoes.

5. Six important references

1. Hazel, P.B. and R. D. Norton. 1986. Mathematical programming for economic analysis in agriculture (No. U10 H419). Macmillan.
2. Hoekstra, A.Y.2009. A comprehensive introduction to water footprints. On line at: www. Water footprint. org.
3. Jafarzadeh, A., S.A. Khashei and A. Shahisi. 2017. Design a Multi Objective Optimization Model to Determination of Optimal Cultivation Pattern Influenced Climate Change Phenomenon (Case Study: Birjand Plain). Iranian Journal of Soil and Water Research, 47(4): 849-859. (In Persian).
4. Khaleghi, N. 2016. Comparison of effective rainfall estimation methods in agriculture. Journal of Water and Sustainable Development, 2(2):51-58. (In Persian).
5. Rodriguez, C.I., V. R. de Galarreta and E.E. Kruse. 2015. Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. Journal of Cleaner Production, 90: 91-96.
6. Shokoohi, A., H. Ramezani Etedali, S.A. Mojtabavi and V.P. Singh .2016. Using Water Footprint Accounting for Optimizing Crop Patterns in Sustainable Development Scheme (Case Study: Qazvin Plain). Iran-Water Resources Research, 12(3): 99-113. (In Persian).

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره چهل و نه . پاییز۱۴۰۱

تعیین الگوی کشت بهینه با رویکرد ردپا و کیفیت آب (مطالعه موردی: شهرستان بردسیر)

سمیرا سیستانی[۱]، محمدرضا زارع مهرجردی[۲*]، نسرین سیاری[۳]، سمیه امیرتیموری[۴]

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۷/۲۹
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۲/۰۶

مقاله پژوهشی برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

چکیده

کشاورزی همواره به‌عنوان یک عامل مهم در پیشرفت تمدن بشری مورد توجه بوده و امروزه نیز یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی و بزرگ‌ترین مصرف کننده آب در ایران و جهان است. برداشت بی‌رویه این بخش از آب‌های زیرزمینی باعث بحران کم‌آبی در اکثر مناطق ایران شده است. بنابراین منابع آب کشور نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت در جهت پایداری می‌باشند. یکی از راه‌ها، تعیین الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن کمیت و کیفیت آب می‌باشد. لذا، در این مطالعه با استفاده از تئوری بازی‌ها به تعیین الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن شاخص ردپا و کیفیت آب در شهرستان بردسیر پرداخته شده است. بدین منظور پنج محصول عمده زراعی این شهرستان در نظر گرفته شده و آمار و اطلاعات لازم از سازمان هوا شناسی، اداره آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان و شهرستان بردسیر برای سال‌های ۹۶-۱۳۸۴ جمع‌آوری شده است. نتایج نشان داد گندم، جو، یونجه، سیب‌زمینی و ذرت‌علوفه‌ای به‌ترتیب بیشترین میزان رد پای آب را به خود اختصاص داده‌اند. در الگوی کشت بهینه به‌دست آمده از تئوری بازی‌ها نسبت به الگوی کشت فعلی؛ سطح زیر کشت گندم، جو و سیب‌زمینی به‌ترتیب ٪۴، ۷٪ و ۱۲٪ کاهش و سطح زیر کشت یونجه و ذرت‌علوفه‌ای به‌ترتیب ۴٪ و ۲۵٪ افزایش می‌یابد. الگوی کشت بهینه به‌دست آمده از تئوری بازی‌ها برای این شهرستان توصیه می‌شود، زیرا در این الگو علاوه بر منافع اقتصادی به کمیت و کیفیت آب توجه شده است تا منابع آبی با بحران روبرو نشوند.

واژه‌های کلیدی: تئوری بازی‌ها، روش دومارتن، نمودار پایپر، نمودار شولر، نمودار ویلکاکس.

[۱] کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
s.sistani2010@gmail.com
[۲] استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران zare@uk.ac.ir (نویسنده مسئول)
[۳] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران na-sa@uk.ac.ir
[۴] استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران amirtaimoori@uk.ac.ir

مقدمه

افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر سبب شده است که کشاورزان درصدد افزایش تولید در بخش کشاورزی باشند. آب یکی از مهم‌ترین نهاده‌های بخش کشاورزی و یک منبع طبیعی گرانبهاست که برای سلامتی و حیات انسان و محیط زیست ضروری است (جینگ[1] و همکاران، ۲۰۱۲). به دلیل این‌که نهاده آب قابل افزایش نیست چون یک نهاده طبیعی است، در مناطق خشک و نیمه خشک بحران آب افزایش یافته است (آماده و صدرالاشرافی، ۱۳۸۰). از آن‌جا که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین بخش مصرف کننده آب است، باید بخش مهمی از راه حل در نظر گرفته شود (گلیک[2]، ۲۰۰۳). بنابراین با افزایش تقاضای محصولات کشاورزی، افزایش بهره‌وری استفاده از منابع آب، ضرورتی انکار ناپذیر است. یکی از راهکارهای مناسب برای افزایش بهروری آب در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت محصولات با توجه به معیارهای اقتصادی در مناطق مختلف و همچنین در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و عوامل تولید است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۱). علاوه بر معیارهای ذکر شده، امروزه با توجه به اهمیت روزافزون مسائل مرتبط با محیط زیست، محدودیت‌های زیست محیطی همانند کمیت و کیفیت آب از جمله مهم‌ترین محدودیت‌ها به الگوی کشت وارد می‌گردند. تعیین الگوی کشت با در نظر گرفتن کمیت در دسترس می‌تواند به کاهش کمبود آب و تولید مواد غذایی بیشتر کمک کند (نوری[3] و همکاران، ۲۰۲۰). شاخص ردپای آب یکی از شاخص‌های زیست محیطی مهم در این زمینه است.مفهوم ردپای آب در سال ۲۰۰۲ توسط هاکسترا[4] مطرح گردید. ردپای آب شاخصی است برای نشان دادن حجمی از آب که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم برای تولید کالا و یا ارئه هر گونه خدمات به‌مصرف می‌رسد (اژدری، ۱۳۹۰). شایان ذکر است که مدیریت منابع آب بر اصول بررسی‌های کمی و کیفی منابع آب استوار می‌باشد. ارزیابی کیفی، وضعیت شیمیایی آب را در بررسی‌های عمومی هیدروئولوژی و مرغوبیت آن را در مصارفی از جمله شرب، کشاورزی و صنعت تعیین می‌کند (فاضل پور عقدائی و همکاران، ۱۳۹۴).

مطالعات متعددی در زمینه تعیین الگوی کشت و همچنین محاسبه ردپای آب انجام شده است. نورا و سخی (۱۳۹۵) درمطالعه‌ای به تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی استان گلستان با استفاده از نظریه بازی برای دوره ۹۳-۱۳۶۹ پرداختند. نتایج نشان داد گندم و پنبه پرمخاطره‌ترین محصولات برای دوره مورد بررسی هستند. همچنین این دومحصول بالاترین ضریب تغییرات را دارند.شکوهی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از ردپای آب به تعیین الگوی کشت بهینه در راستای رسیدن به توسعه پایدار برای دشت قزوین طی دوره ۱۴-۲۰۰۲ پرداختند. نتایج نشان داد حذف صادرات محصولات اصلی کشاورزی باعث افزایش میانگین ردپای اقتصادی می‌شود و حذف صادرات محصولات اصلی نه تنها به افزایش سود خالص به ازای آب مصرفی کمک نمی‌کند، بلکه باعث کاهش آن نیز می‌شود. یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی و باغی استان تهران پرداختند. نتایج نشان داد ردپای آب در تولیدات زراعی بیش از تولیدات باغی است و بالاترین میانگین ردپای آب مربوط به گندم و پایین‌ترین آن مربوط به محصول سیب می‌باشد. خلیلی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به بررسی مدیریت منابع آب محصولات زراعی استان قم با استفاده از مفهوم ردپای آب پرداختند. نتایج نشان داد حجم ردپای آب سفید محصولات این استان به علت پایین بودن راندمان سامانه آبیاری بسیار زیاد است و بعد از آن ردپای آب آبی، سبز و خاکستری قرار می‌گیرد. رودریگز[5] و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به بررسی ردپای آب سیب زمینی در آرژانتین پرداختند. نتایج نشان داد سهم ردپای آب آبی و سبز برای محصول مورد نظر به‌ترتیب ۵۶/۴٪ و ۲۴/۱٪ می‌باشد. اسامه[6] و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بهینه سازی الگوی کشت در مصر برای ۲۸ محصول طی دوره زمانی ۱۲-

[1] Jing
[2] Gleick
[3] Nouri
[4] Hoekstera
[5] Rodriguez
[6] Osama

۲۰۰۸ پرداختند. نتایج نشان داد در الگوی کشت بهینه، سطح زیر کشت محصولات پیاز، سیر، جو، کتان، تخم شنبلیله، نخود، عدس و لوبیا سفید، کاهش می‌یابد؛ اما سطح زیر کشت محصولات استراتژیکی مانند گندم، ذرت، برنج، نیشکر و پنبه، ثابت باقی می‌ماند. هائو[1] و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به تعیین الگوی کشت بهینه برای حوضه رودخانه هایه در استان گانسو چین در دو سناریو کاهش ۱۰٪ و ۲۰٪ در مصرف آب پرداختند. نتایج نشان داد با کاهش ۱۰٪، ۲۲/۵-۲۱/۵ میلیون مترمکعب و کاهش ۲۰٪ ، ۴۳/۱-۴۵ میلیون مترمکعب، خالص مصرف آب کاهش می‌یابد. سو[2] و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات ردپای آب محصولات زراعی لیتوانیایی طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰ با استفاده از روش LMDI پرداختند. نتایج نشان داد ردپای آب خاکستری محصولات (۵۱٪) نسبت به ردپای آب سبز (۲۱٪) بسیار بیشتر است و افزایش عملکرد باعث افزایش ردپاهای آب خاکستری و سبز می‌شود.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود هر یک از مطالعات انجام شده تنها به یک یا دو موضوع از مباحث تعیین الگوی کشت بهینه، ردپای آب و کیفیت آب پرداخته‌اند. مطالعه‌ای تا کنون انجام نشده است که در آن به بررسی دقیق و تخصصی هر یک از جنبه‌های آب بپردازد و آن‌ها را در الگوی کشت بهینه لحاظ نماید. لذا، در این مطالعه با استفاده از تئوری بازی‌ها به تعیین الگوی کشت بهینه محصولات عمده زراعی شهرستان بردسیر با رویکرد ردپا و کیفیت آب پرداخته شده است که منابع آبی آن نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح می‌باشند.در این مطالعه علاوه بر جنبه‌های کمی آب (ردپای آب)، جنبه‌های کیفی آب نیز مد نظر قرار گرفته است تا علاوه بر حفظ منافع اقتصادی حاصل از کشاورزی در منطقه، منابع آبی با بحران روبرو نشوند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین الگوی کشت بهینه در شهرستان بردسیر، ابتدا نوع اقلیم منطقه با استفاده از روش دومارتن مشخص و بعد از آن با استفاده از نرم‌افزار Cropwat 8i و آمارهای به‌دست آمده از سازمان هواشناسی شهرستان بردسیر، بارش مؤثر، تبخیر و تعرق و نیاز خالص آبیاری محاسبه شد. سپس ردپای آب برای پنج محصول عمده زراعی آبی شهرستان بردسیر (گندم، جو، یونجه، ذرت‌علوفه‌ای و سیب‌زمینی) محاسبه گردید. کیفیت آب منطقه نیز با استفاده از آمارهای آب منطقه‌ای و نرم‌افزارهای AquaChem و Chemistry طبقه‌بندی شد و نمودارهای پایپر، ویلکاکس و شولر ترسیم شدند. در آخر با استفاده از محدودیت‌های ردپای آب، کیفیت آب، زمین، ماشین آلات، کودشیمیایی، نیروی کار و سود ناخالص با رویکرد تئوری بازی‌ها و با استفاده از نرم‌افزار LINGO 17.0 الگوی کشت بهینه منطقه تعیین شد.

اقلیم منطقه

روش‌های مختلفی برای تعیین نوع اقلیم یک منطقه از جمله دومارتن[3]، کوپن[4]، ایوانوف[5]، آمبرژه[6]، سلیانینوف[7] و هانسن[8] وجود دارد (قربانی‌زاده خرازی و چله مال دزفول نژاد، ۱۳۹۳). در این مطالعه، نوع اقلیم منطقه با استفاده از روش دومارتن به‌خاطر داشتن تنوع اقلیم بیشتر تعیین شد. این طبقه‌بندی بر مبنای شاخص خشکی[9] بنا نهاده شده است ودر آن از دما و بارندگی برای تعیین نوع اقلیم استفاده می‌شود (رابطه ۱).

$$I=\frac{P}{T+10} \qquad (۱)$$

که در آن:I ضریب خشکی،T متوسط درجه حرارت سالانه (°C)،P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) است (علیزاده، ۱۳۹۱).

[1] Hao
[2] Su
[3] De Martonne
[4] Koppen
[5] Ivanof
[6] Emberger
[7] Selyaninov
[8] Hansen
[9] Aridity index

ردپای آب

پس از تعیین اقلیم، برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه، نیاز خالص آبیاری و بارش مؤثر از نرم افزار Cropwat version 8i استفاده شد که در این نرم افزار، تبخیر و تعرق گیاه براساس رابطه‌ی پنمن-مانتیث (معادله ۲) و مقدار بارش مؤثر از طریق رابطه[1] USDA-SCS (معادله ۳) محاسبه می‌گردد.

$$ET_0=\frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma\frac{900}{T+273}U_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0/34U_2)} \quad (۲)$$

در معادله (۲)، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm day-1)، Δ شیب منحنی فشار بخار (kpa .c-1)، R_nتشعشع خالص در سطح پوشش گیاه (MJ m-2 day-1)، G جرم مخصوص شار گرمایی داخل خاک (MJ m-2 day-1)، γ ضریب ثابت سایکرومتری (kpa .c-1)، T میانگین روزانه‌ی دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (°C)، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m s-1)، es فشار بخار اشباع (kpa)، ea فشار بخار واقعی (kpa) و es-ea کمبود فشار بخار اشباع در ارتفاع ۲ متری می‌باشد (احسان و همکاران، ۱۳۹۱).

$$P_e=F_d\left(1/253P^{0.284}-2.935\right)\times10^{0.000955ETC} \quad (۳)$$

در معادله (۳) Pe بارش موثر ماهانه، F_d ضریبی که وابسته به عمق آبیاری (Di) می‌باشد، P مجموع بارش هر ماه و ETC مجموع تبخیر وتعرق هر ماه است که تمامی واحدها برحسب میلی‌متر (mm) می‌باشد (خالقی، ۱۳۹۴).

پس از مشخص کردن اقلیم منطقه، ردپای آب آبی، آب سبز، آب خاکستری وآب سفید برای پنج محصول زراعی آبی شهرستان بردسیر محاسبه شد. ردپای آب آبی، به حجم آبی که در تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (نیاز خالص) اشاره دارد که به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$WF_{Blue}=\frac{(ET_c-P_e)\times10}{Y} \quad (۴)$$

که در رابطه بالا WF_{Blue} ردپای آب آبی (m^3/ton)، ETc تبخیر و تعرق هر گیاه (mm)، Pe مجموع بارندگی مؤثر در طول دوره رشد هر گیاه (mm)، Y عملکرد هر محصول (ton/ha) و 10 فاکتور تبدیل واحد از mm به m^3/ha است.

ردپای آب سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی (مؤثر) مرتبط است که با استفاده از طریق معادله ۵ محاسبه شد.

$$WF_{Green}=\frac{P_e\times10}{Y} \quad (۵)$$

در رابطه ۵، WF_{Green} ردپای آب سبز (m^3/ton) است.

ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب شیرین اطلاق می‌شود که برای رقیق‌سازی کودها وسموم، در فرآیند تولید محصول استفاده شده‌اند (رابطه ۶).

$$WF_{Gray}=\frac{a\times NAR}{C_{Max}-C_{Nat}}\times\frac{1}{Y} \quad (۶)$$

که در این رابطه $WFGra_y$ ردپای آب خاکستری (m^3/ton)، a درصد تلفات کودهای نیتروژن (٪)، NAR نرخ مصرف کودبرای هر گیاه (kg/ha)، C_{Max} غلظت بحرانی نیتروژن (kg/m^3) و C_{Nat} غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت کننده (kg/m^3) می‌باشد.

ردپای آب سفید، مفهوم جدیدی است که میزان تلفات آب آبیاری در تولید محصولات را مشخص می‌سازد و با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد.

$$WF_{White}=\frac{10\times(D_t-(ET_c-P_e))}{Y} \quad (۷)$$

که در این رابطه $WFWhi_{te}$ ردپای آب سفید (m^3/ton) و D_t عمق آب آبیاری برای هر گیاه در طول فصل رشد می‌باشد (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۵).

آمار و اطلاعات لازم از سازمان هوا شناسی، اداره آب منطقه‌ای و سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان و شهرستان بردسیر برای سال‌های ۹۶-۱۳۸۴ جمع‌آوری شده است.

کیفیت آب

بعد از محاسبه ردپای آب، کیفیت آب منطقه با استفاده از نمودارهای پایپر، ویلکاکس و شولر مورد ارزیابی قرار گرفت و تیپ و کلاس آب منطقه مشخص شد. پایپر (۱۹۴۴) با ترکیب کردن دو نمودار سه خطه شامل کاتیون‌ها و آنیون‌ها یک نمودار منفرد تشکیل داد. ضلع‌های موازی شامل پارامترهای هم گروه می‌باشد. مزیت این نمودار نسبت به نمودار استیف این است که هر مشاهده‌ای به‌صورت

[1] United Stated Department of Agriculture Soil Conservation Service

یک نقطه نشان داده می‌شود. بنابراین شباهت‌ها و اختلافات داده‌ها ساده‌تر دیده می‌شود. ویلکاکس (۱۹۴۸) این نمودار را جهت نشان دادن توانایی استفاده از آب در مصارف آبیاری ارائه نمود. این نمودار همچنین به‌عنوان نمودار بخش کشاورزی ایالات متحده شناخته می‌شود. نمودار ویلکاکس یک نمودار پراکنش ساده بین داده‌های SAR (نسبت جذبی سدیم) در محور Y و EC برروی محور X نشان داده می‌شود. محور EC لگاریتمی می‌باشد. حرف C شوری بودن و حرف S سدیمی بودن را نشان می‌دهد و اعداد ۱ تا ۴ نشان دهنده شدت آن می‌باشد. شولر (۱۹۶۲) یک نمودار نیمه لگاریتمی برای آنالیز یون‌های اصلی در واحد meqi/lit ارائه کرد. این نمودار همچنین اختلاف هیدروشیمیایی انواع آب‌ها را در یک نمودار یکسان نشان می‌دهد. مزیت اصلی این نمودار برخلاف سایر نمودارها این است که پراکندگی پارامترها نشان داده می‌شود (حاج محمدی و همکاران، ۱۳۹۳).

الگوی کشت بهینه

برای تعیین الگوی کشت بهینه از تئوری بازی‌ها استفاده شد. از جمله مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برمبنای واکنش زارعین به ریسک، مدل‌های تئوری بازی‌هاست. براساس تعریف می‌توان در بازی‌های دو نفره مجموع صفر، تعریف طبیعت را به صورت طرف مخالف در نظر گرفت که عمدتاً ممکن است به صورت تصادفی و نه از روی عمد، تصمیم یک کشاورز را در انتخاب برنامه مالی مزرعه‌اش بی‌اثر کند. بسیاری از معیارهای تصمیم‌گیری مختلف برای کمک به انتخاب یک برنامه مزرعه پیشنهاد شده‌اند که هر یک فرضیات مربوط به مطلوبیت خاص خود را به مدل تحمیل می‌کنند (رواسی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). اینرنی[1] (۱۹۶۹) یک مدل برنامه ریزی خطی را برای به‌دست آوردن حداکثرپاسخ برای یک مسأله برنامه‌ریزی محدود شده توسعه داده است که مدل به شرح زیر می‌باشد.

$$\text{Max} \quad M \qquad (۸)$$

S.t:

$$\sum_j c_j X_j \geq M \qquad (۹)$$

$$\sum_j a_{ij} X_j \leq b_j \qquad (۱۰)$$

$$X_j, M \geq 0 \qquad (۱۱)$$

M: بدترین نتیجه ممکن (نامعلوم) درآمد مزرعه، X_j: سطح یک فعالیت یا مقدار تولید، c_j: سهم هر واحد فعالیت jام در تابع هدف، a_{ij}: مقدار لازم از منبع نوع iام برای تولید یکواحد از فعالیت jام و b_j: مقدار موجودی هر یک از منابع در دسترس (هیزل و نورتون[2]، ۱۹۸۶).

فعالیت‌های موجود در این تحقیق براساس الگوی کشت غالب شهرستان بردسیر، محصولات عمده زراعی آبی (گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای و سیب زمینی) در نظر گرفته شد. جدول ۱ نماد هریک از فعالیت‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۱): نماد هریک از فعالیت‌ها در مدل

فعالیت	نام متغیر در مدل
گندم در زمین‌های با کیفیت آب خوب	X_{11}
گندم در زمین‌های با کیفیت آب بد	X_{12}
جو در زمین‌های با کیفیت آب خوب	X_{21}
جو در زمین‌های با کیفیت آب بد	X_{22}
یونجه در زمین‌های با کیفیت آب خوب	X_{31}
یونجه در زمین‌های با کیفیت آب بد	X_{32}
ذرت علوفه‌ای در زمین‌های با کیفیت آب خوب	X_{41}
ذرت علوفه‌ای در زمین‌های با کیفیت آب بد	X_{42}
سیب زمینی در زمین‌های با کیفیت آب خوب	X_{51}
سیب زمینی در زمین‌های با کیفیت آب بد	X_{52}

[1] Inerney

[2] Hazel& Norton

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، در این مطالعه محدودیت‌های سود ناخالص، زمین، ردپای آب، کیفیت آب، نیروی کار، ماشین آلات زراعی و کود شیمیایی در نظر گرفته شد. ضرایب فنی هر یک از محدودیت‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول (۲): ضرایب فنی محدودیت‌های در نظر گرفته شده

محدودیت/ محصول	گندم	جو	یونجه	ذرت علوفه‌ای	سیب‌زمینی
زمین (هکتار)	۷۴۰۰	۴۷۴۵/۲	۶۵۴۸/۴	۲۴۸۱	۲۲۳۹/۸
ماشین آلات (ساعت)	۵۵۵	۵۳۱	۹۶۳	۳۶۴/۶	۳۶۳/۶
کود شیمیایی (کیلوگرم)	۶۵۰	۶۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۸۰۰
نیروی کار (نفر روز)	۲۴	۲۳	۴۰	۱۵	۱۷
سود ناخالص (تومان)	۴۴۹۹۲۵۰	۴۵۷۳۶۶۷	۹۹۲۲۶۶۷	۵۲۱۴۶۶۷	۶۱۰۰۰۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

داده‌های مربوط به سطح زیر کشت، عملکرد و میزان نهاده‌های مصرفی محصولات عمده زراعی آبی (گندم، جو، یونجه، ذرت‌علوفه‌ای و سیب‌زمینی) شهرستان بردسیر برای دوره زمانی ۹۶-۱۳۸۴ از آمارنامه‌ها و پرسش‌نامه‌های جهاد کشاورزی استخراج گردید.

نتایج و بحث

با استفاده از روش دومارتن، شهرستان بردسیر دارای اقلیم خشک می‌باشد. پس از تعیین نوع اقلیم، به محاسبه ردپای آب محصولات عمده زراعی آبی شهرستان بردسیر (گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای و سیب زمینی) پرداخته و چهار جز ردپای آب شامل آب آبی، سبز، خاکستری و سفید محاسبه شد. جدول ۳ نتایج مربوط به محاسبه مجموع ردپای آب برای این محصولات را طی دوره زمانی ۹۶-۱۳۸۴ نشان می‌دهد.

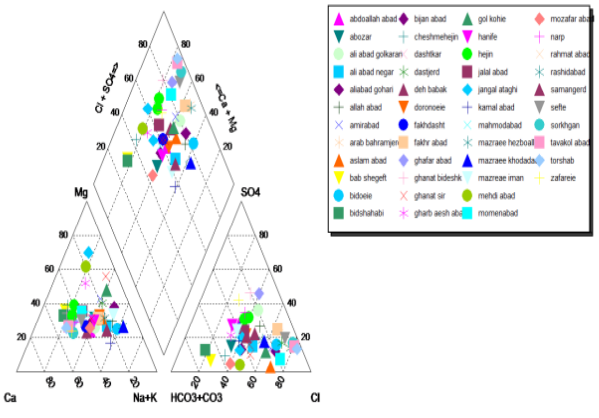
نتایج نشان داد که مجموع ردپای آب برای محصولات عمده شهرستان بردسیر طی دوره مورد بررسی دارای نوسان است و از روند خاصی برخوردار نمی‌باشند. سهم ردپای آب محصول گندم، جو، یونجه، سیب زمینی و ذرت علوفه‌ای از مجموع ردپای آب به‌ترتیب ۳۴٪، ۳۲/۶٪، ۲۸/۶٪، ۸/۶٪ و ۳/۲٪ می‌باشد. گندم و جو بیشترین سطح زیرکشت محصولات را به خود اختصاص داده‌اند و دارای بیشترین سهم ردپای آب نیز می‌باشند. ذرت علوفه‌ای با داشتن رتبه چهارم سطح زیرکشت، کمترین سهم ردپای آب را بین محصولات دارا می‌باشد. بنابراین با کاهش سطح زیرکشت گندم و جو و افزایش سطح زیرکشت ذرت علوفه‌ای می‌توان ردپای آب را برای محصولات این شهرستان، کاهش داد. همچنین نتایج نشان داد که ردپای آب آبی بیشترین سهم را در هر یک از محصولات به خود اختصاص داده، لذا با مدیریت صحیح منابع آبی و با استفاده از ارقام اصلاح شده و در نتیجه افزایش عملکرد می‌توان به کاهش ردپای آب محصولات منطقه کمک کرد. استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی برای افزایش عملکرد محصولات، علاوه بر افزایش ردپای آب خاکستری موجب آلودگی محیط زیست منطقه شده است که بایستی اقدامات لازم در این زمینه صورت گیرد.

جدول (۳): مجموع ردپای آب برای پنج محصول عمده زراعی شهرستان بردسیر طی دوره زمانی۹۶-۱۳۸۴(m^3/ton)

سال	گندم	جو	یونجه	ذرت علوفه‌ای	سیب‌زمینی
۱۳۹۶	۲۵۷۸/۹۵	۱۸۵۲/۶	۱۵۳۴/۴	۲۵۱/۳۱	۵۳۲/۳
۱۳۹۵	۲۵۷۸/۹۵	۱۸۵۲/۶	۱۵۳۴/۴	۲۵۱/۳۱	۵۳۲/۳
۱۳۹۴	۲۷۲۲/۲	۲۶۰۵/۲	۱۵۴۳/۳۳	۲۶۰	۵۵۹/۲
۱۳۹۳	۲۷۲۲/۱	۲۱۳۷/۶	۱۵۰۴/۸	۲۳۷/۷	۵۲۲/۲
۱۳۹۲	۱۹۵۲/۲	۲۱۰۵/۳	۱۳۶۰/۸	۲۲۰/۱	۵۹۵/۴
۱۳۹۱	۱۹۵۳/۷	۲۰۳۵	۱۳۹۱/۱	۲۲۸/۱	۱۱۸۲/۴
۱۳۹۰	۲۱۷۷/۸	۱۹۰۳/۲	۱۸۴۱/۱	-	۸۲۳/۵
۱۳۸۹	۳۲۴۶/۵	۳۷۸۹/۴	۱۷۲۵/۳	۲۷۴/۶	۶۰۸/۶
۱۳۸۸	۳۵۰۰	۳۷۲۱/۸	۱۸۱۹/۸	۳۵۰/۶	۷۶۹/۸
۱۳۸۷	۳۵۰۰	۲۹۸۸/۱۵	۱۷۳۸/۹	۳۱۲/۸	۷۰۴/۴
۱۳۸۶	۲۶۴۸/۶	۲۶۰۵/۲	۱۹۵۶/۳	۲۶۴/۲	۶۳۴/۸
۱۳۸۵	۲۷۲۲/۲	۳۲۰۶/۴	۱۷۱۹/۸	۲۹۶/۵	۷۰۷/۴
۱۳۸۴	۲۷۲۲/۲	۲۸۷۴/۸	۲۶۵۲/۶۲	۳۱۲/۸	۶۶۵/۱

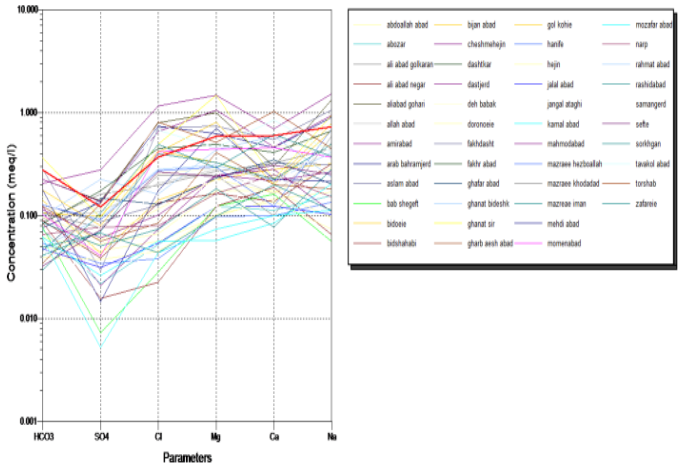
مأخذ: یافته‌های تحقیق

کیفیت آب با بررسی ۴۸ نمونه سال ۱۳۹۵ مشخص گردید. نتایج نشان داد از ۴۸ نمونه، ۱۰ نمونه دارای کلاس کیفیت خوب، ۲۴ نمونه دارای کلاس کیفیت متوسط و ۱۴ نمونه دارای کلاس کیفیت بد می‌باشند. همچنین بهترین کلاس کیفیت آب C_1-S_2 و بدترین آن C_4-S_3 است. ۱۴ نمونه از ۴۸ نمونه، از لحاظ کیفیت آب برای کشاورزی نامناسب بوده و در رده‌ی خیلی شور قرار گرفتند. از ۴۸ نمونه، ۳۲ نمونه از نظر سختی آب در رده‌ی کاملاً سخت، ۲ نمونه نسبتاً سخت و ۱۴ نمونه در رده‌ی سخت قرار گرفتند. از لحاظ استاندارد کیفیت آب برای کشاورزی تنها ۹ نمونه از ۴۸ نمونه مورد بررسی بیش از استاندارد مورد قبول بود. در قسمت زیر، نمودار پایپر (نمودار شماره ۱)، نمودار شولر (نمودار شماره ۲) و نمودار ویلکاکس (نمودار شماره۳) آورده شده‌اند.



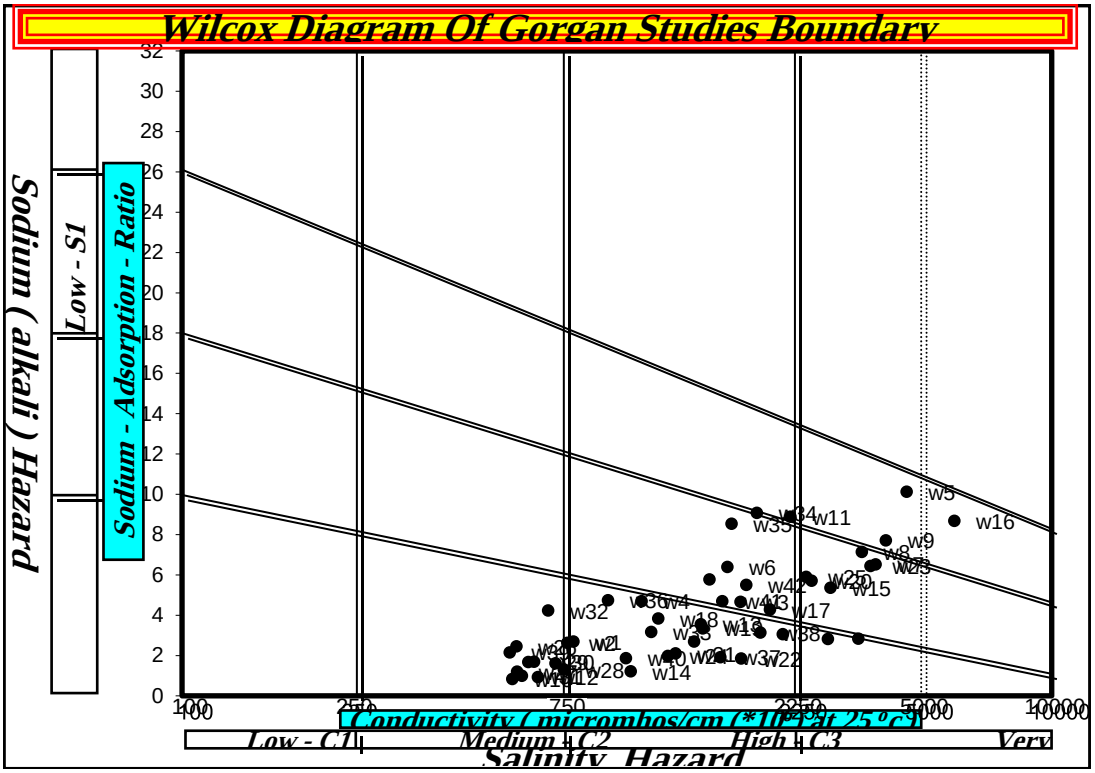
نمودار (۱): نمودار پایپر منابع آبی شهرستان بردسیر

مأخذ: یافته‌های تحقیق



نمودار (۲): نمودار شولر منابع آبی شهرستان بردسیر

مأخذ: یافته‌های تحقیق



نمودار (۳): نمودار ویلکاکس منابع آبی شهرستان بردسیر

مأخذ: یافته‌های تحقیق

پس از محاسبه ردپای آب و ارزیابی کیفیت آب، الگوی کشت بهینه تعیین شد.بدین منظور، در ابتدا با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی، حداکثر سود در منطقه بدون در نظر گرفتن ریسک‌ها محاسبه شد.نتایج نشان داد سه

محصول یونجه، ذرت علوفه‌ای و سیب زمینی از محصولات حساس به کیفیت آب بوده و کاهش کیفیت آب موجب کاهش عملکرد آن‌ها می‌شود که این کاهش عملکرد علاوه بر کاهش سود باعث افزایش ردپای آب نیز می‌گردد. به‌طوری‌که کاشت هر هکتار از این محصولات در مناطقی که دارای آب با کیفیت بد می‌باشند، باعث کاهش سود می‌شود که این مقدار برای یونجه ۱۰۲۳۳۳۴۰، ذرت علوفه‌ای ۶۰۴۳۳۴ و سیب زمینی ۱۰۹۹۵۰۰۰ تومان می‌باشد. سپس با استفاده از حداکثر سود به‌دست آمده، به تعیین الگوی کشت با استفاده از مدل تئوری بازی‌ها پرداخته شد. تئوری بازی‌ها، ریسک قیمتی را وارد الگوی کشت کرده و کشاورز را یاری می‌کند تا میزان خسارت وارده از طرف طبیعت را به حداقل برساند. در این تئوری، یک بازیکن، طبیعت و بازیکن دیگر، کشاورزان می‌باشند که با کاهش درآمد انتظاری میزان خسارت وارده از طرف طبیعت را کاهش و بیشترین میزان پایین‌ترین سطح درآمد را انتخاب می‌کنند، در واقع به دنبال حداقل کردن بدترین ضرر می‌باشند. زمانی‌که درآمد انتظاری و پایین‌ترین سطح درآمد روی دو محور رسم شوند، نمودار مقعری به‌دست می‌آید که نقطه ماکزیمم آن همان الگوی مد نظر می‌باشد که در این مطالعه، برنامه چهارم همان نقطه ماکزیمم و الگوی مد نظر می‌باشد. در قسمت ذیل به تشریح هر یک از برنامه‌ها پرداخته می‌شود که نتایج به‌طور خلاصه در جدول ۴ آورده شده‌اند.

جدول (۴): نتایج حاصل از مدل تئوری بازی‌ها

متغییر/برنامه	I	II	III	IV	V	VI
E	۱۴۹۵۲۳۰۰۰۰۰۰	۱۴۸۵۲۳۰۰۰۰۰۰	۱۴۷۵۲۳۰۰۰۰۰۰	۱۴۷۵۰۰۰۰۰۰۰	۱۴۶۵۲۳۰۰۰۰۰۰	۱۴۵۵۲۳۰۰۰۰۰۰
M	۱۰۷۵۲۱۶۰۰۰۰۰	۱۰۷۷۶۹۱۰۰۰۰۰	۱۰۸۰۰۷۲۰۰۰۰۰	۱۰۸۰۰۸۲۰۰۰۰۰	۱۰۷۹۳۲۴۰۰۰۰۰	۱۰۷۷۴۰۹۰۰۰۰۰
X_{11}	۶۴۹۹/۶۸۳	۷۱۱۲	۷۱۱۲	۷۱۱۲	۷۱۱۲	۷۱۱۲
X_{12}	۶۱۲/۳۱۶۶	۰	۰	۰	۰	۰
X_{21}	۰	۶۷۷/۴۳۸۱	۱۸۸۷/۵۱۱	۱۸۹۸/۲۲۶	۲۴۲۹/۷۹۴	۲۹۴۲/۵۶۸
X_{22}	۱۹۳۷/۸۳۴	۲۵۰۶/۹	۲۵۰۶/۹	۲۵۰۶/۹	۲۵۰۶/۹	۲۵۰۶/۹
X_{31}	۸۱۵۹/۹۷۵	۷۴۵۳/۵۶	۶۷۷۲/۴۷۹	۶۷۶۸/۷۱۷	۶۵۶۸/۸۲۷	۶۴۴۳/۲۳۷
X_{32}	۰	۰	۰	۰	۰	۰
X_{41}	۳۱۰۴	۳۱۰۴	۳۱۰۴	۳۱۰۴	۲۸۹۶/۴۷۹	۲۵۲۶/۲۹۵
X_{42}	۰	۰	۰	۰	۰	۰
X_{51}	۱۸۸۶/۲۷۶	۱۹۳۶/۸۳۹	۱۹۷۳/۵۰۵	۱۹۶۷/۸۲	۱۸۸۴	۱۸۸۴
X_{52}	۰	۰	۰	۰	۰	۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

برنامه I

در این برنامه حداکثر سود حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی در مدل قرار داده شد و پایین‌ترین سطح درآمدی برابر با ۱۰۷۵۲۱۶۰۰۰۰۰ به‌دست آمد. الگوی کشت ارائه شده همانند الگوی کشت به‌دست آمده از برنامه ریزی خطی می‌باشد. در الگوی به‌دست آمده در این برنامه، گندم با کاهش اندکی در سطح زیر کشت نسبت به سطح زیر کشت فعلی روبرو می‌شود و در زمین‌های با هر دو کیفیت آب کشت می‌گردد؛ اما جو نسبت به سطح زیر کشت فعلی با کاهش بیشتری نسبت به گندم مواجه می‌شود و تنها در زمین‌های با کیفیت آب بد کشت می‌شود. این در حالی است که سطح زیرکشت یونجه و ذرت علوفه‌ای نسبت به الگوی فعلی افزایش خواهد داشت و تنها در زمین‌ها با کیفیت آب خوب کشت می‌گردند. سیب‌زمینی نیز همانند جو با کاهش سطح زیرکشت بیشتری نسبت به گندم همراه است، همچنین تنها در زمین‌ها با کیفیت آب خوب کشت می‌گردد. اما همان‌طورکه در قبل به آن اشاره شد در قسمت کارای نمودار قرار داشته و باز هم باید با کاهش در درآمد انتظاری حاصل از برنامه‌ریزی خطی حداکثر میزان

پایین‌ترین سطح درآمد را به‌دست آورد. در واقع برنامه I در قسمت کارا بوده و با کاهش درآمدانتظاری می‌توان میزان خسارت وارد از طرف طبیعت را کاهش داد. اما این نقطه، نقطه ماکزیمم نبوده و باید میزان درآمد انتظاری را باز هم کاهش دهیم.

برنامه II

در این برنامه با کاهش حداکثر درآمد به‌دست آمده از مدل برنامه‌ریزی خطی از ۱۴۹۵۲۳۰۰۰۰۰۰ به ۱۴۸۵۲۳۰۰۰۰۰۰ میزان پایین‌ترین سطح درآمد از مقدار ۱۰۷۵۲۱۶۰۰۰۰۰ به ۱۰۷۷۶۹۱۰۰۰۰۰ افزایش داشته است. گندم در الگوی کشت ارائه شده برای این برنامه در مقایسه با الگوی کشت ارائه شده در برنامه I با اندکی افزایش روبرو می‌شود و نسبت به سطح زیر کشت فعلی با کاهشی اندکی مواجه می‌شود و در برنامه II تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب کشت می‌گردد. این در حالی است که جو علاوه بر زمین‌های با کیفیت آب بد در زمین‌های با کیفیت آبخوب نیز کشت می‌گردد و نسبت به برنامه I با افزایش سطح زیر کشت روبرو می‌شود؛ اما سطح زیر کشت آن نسبت به سطح زیر کشت فعلی منطقه کمتر می‌باشد. محصول یونجه با کاهش سطح زیر کشت نسبت به برنامه I روبرو می‌شود؛ اما سطح زیر کشت آن باز هم نسبت سطح زیر کشت فعلی منطقه بیشتر است و تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب کشت می‌گردد. سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای نسبت به برنامه I تغییر نکرده، اما نسبت به سطح زیر کشت فعلی منطقه دارای افزایش بوده است و تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب کشت می‌گردد. سیب زمینی نسبت به برنامهIبا افزایش در سطح زیرکشت روبرو بوده است؛ اما هنوز هم در مقایسه با سطح زیر کشت فعلی منطقه کمترمی‌باشد و تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب کشت می‌گردد. این برنامه نیز در منطقه کارا قرار داشته، زیرا با کاهش در درآمد انتظاری، پایین‌ترین سطح درآمد را می‌توان افزایش داد و این نقطه نیز نقطه ماکزیمم نمی‌باشد.

برنامه III

در این برنامه با کاهش درآمد مورد انتظار از ۱۴۸۵۲۳۰۰۰۰۰۰ به ۱۴۷۵۲۳۰۰۰۰۰۰، موجب افزایش پایین‌ترین سطح درآمد از ۱۰۷۷۶۹۱۰۰۰۰۰ به۱۰۸۰۰۷۲۰۰۰۰۰ شد. در این برنامه، میزان سطح زیر کشت گندم همانند برنامه II می‌باشد، اما نسبت به برنامه Iدارای افزایش سطح زیر کشت است و نسبت به سطح زیر کشت فعلی مقدار کمی کاهش دارد و مانند برنامه II تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب کشت می‌شود، ولی در برنامه I همان‌طورکه قبلاً ذکر شد در هر دو زمین با کیفیت آب خوب و بد کشت می‌شود. محصول جو با افزایش در سطح زیر کشت در زمین‌های با کیفیت آب خوب روبرو می‌شود و میزان سطح زیر کشت آن در زمین‌های با کیفیت آب بد همانند برنامه II می‌باشد و نسبت به برنامه I با افزایش بیشتری در سطح زیر کشت روبرو می‌گردد، ولی سطح زیر کشت آن نسبت به سطح زیر کشت فعلی، تقریباً برابر است. اما یونجه با کاهش سطح زیر کشت نسبت به برنامه I و II روبرو می‌شود که میزان این کاهش نسبت به برنامه II کمتر است؛ اما با سطح زیر کشت فعلی منطقه برابری می‌کند. محصول ذرت علوفه‌ای هیچ تغییری نسبت به برنامه I و II ندارد و همان‌طورکه قبلاً ذکر شد سطح زیرکشت آن نسبت به سطح زیر کشت فعلی منطقه بیشتر است. اما سیب زمینی با افزایش سطح زیر کشت به میزان کمتری نسبت به برنامه II و میزان بیشتری نسبت به برنامه I روبرو می‌شود، ولی سطح زیر کشت آن باز هم نسبت به سطح زیر کشت فعلی منطقه کمتر است. این برنامه نیز در منطقه کارا قرار دارد، زیرا با کاهش در سود مورد انتظار، افزایش در پایین‌ترین سطح درآمد را در پی دارد و باز هم این نقطه، نقطه ماکزیمم تقعر نمی‌باشد.

برنامه IV

در این برنامه، کاهش سود از ۱۴۷۵۲۳۰۰۰۰۰۰ به ۱۴۷۵۰۰۰۰۰۰۰۰، افزایش پایین‌ترین سطح درآمد از۱۰۸۰۰۷۲۰۰۰۰۰ به ۱۰۸۰۰۸۲۰۰۰۰۰ را در پی دارد. این میزان در واقع ماکزیمم تقعر بوده و بیشترین میزان

پایین‌ترین سطح درآمد را دارا می‌باشد و الگوی کشت بهینه توصیه شده به کشاورزان منطقه می‌باشد که در آن حداقل ریسک وارد از طرف طبیعت را با بیشترین درآمد ممکن دریافت می‌کنند. در این الگوی کشت به کشاورزان منطقه توصیه می‌گردد که سطح زیر کشت گندم را از مقدار ۷۴۰۰ هکتار که سطح زیر کشت فعلی منطقه است به ۷۱۱۲ کاهش دهند و توصیه می‌شود گندم تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب کشت گردد. سطح زیر کشت گندم در برنامه‌های II و III نیز همین مقدار بوده و در زمین‌های با کیفیت آب خوب کشت می‌شود؛ اما سطح زیر کشت آن در برنامه I تقریباً همین میزان بود ولی در زمین‌های با هر دو کیفیت آب کشت می‌شود. محصول جو با سطحی معادل ۱۸۸۷/۵۱۱ هکتار و در زمین‌های با کیفیت آب خوب و سطحی معادل ۲۵۰۶/۹ هکتار در زمین‌های با کیفیت آب بد کشت می‌شود. زیرا این گیاه نسبت به کیفیت آب از حساسیت کمتری برخوردار است و با کاهش عملکرد در واحد سطح روبرو نمی‌گردد. بنابراین در مناطقی که دارای آب با کیفیت بد می‌باشند، توصیه به کشت محصول جو می‌شود؛ اما سطح زیر کشت این محصول در زمین‌های با کیفیت آب بد با برنامه‌های II و III برابر است و تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب دارای افزایش می‌باشد. سطح زیر کشت محصول جو ۴۴۰۵/۱۲۶ هکتار در الگوی کشت توصیه شده و سطح زیر کشت فعلی منطقه ۴۷۴۵/۲ هکتار می‌باشد. محصول یونجه باز هم با کاهش سطح زیر کشت نسبت به برنامه‌های قبلی روبرو می‌شود، اما نسبت به برنامه III این کاهش کمتر می‌باشد و تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب کشت می‌شود. میزان سطح زیر کشت فعلی آن ۶۵۴۸/۴ هکتار است که برنامه ۶۷۶۸/۷۱۷ هکتار را توصیه می‌کند. میزان ذرت علوفه‌ای در هر چهار برنامه یکسان و برابر ۳۱۰۴ هکتار است که نسبت به سطح زیر کشت فعلی دارای افزایش می‌باشد و تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب کشت می‌گردد. محصول سیب زمینی باز هم با افزایش در سطح زیر کشت نسبت به برنامه‌های قبلی روبرو بوده و سطح زیر کشت توصیه شده در این برنامه ۱۹۶۷/۸۲ هکتار و تنها در زمین‌های با کیفیت آب خوب است، درحالی‌که سطح زیر کشت فعلی آن در منطقه ۲۲۳۹/۸ هکتار می‌باشد که در واقع به کشاورزان توصیه می‌گردد سطح زیر کشت سیب زمینی را کاهش دهند. همان‌طورکه در ابتدا به آن اشاره شد بیشترین میزان پایین‌ترین سطح درآمد در این نقطه به‌دست آمد، بنابراین الگوی کشت ارائه شده در این برنامه، برنامه توصیه شده به کشاورزان منطقه می‌باشد.

برنامهV

در این برنامه، کاهش سود از ۱۴۷۵۰۰۰۰۰ به ۱۴۶۵۲۳۰۰۰۰۰۰، بر خلاف برنامه‌های قبلی، کاهش پایین‌ترین سطح درآمد از ۱۰۸۰۰۸۲۰۰۰۰۰ به ۱۰۷۹۳۲۴۰۰۰۰۰ را موجب می‌شود. در واقع در قسمت ناکارا قرار گرفته و با کاهش درآمد مورد انتظار، ریسک وارد از طرف طبیعت کاهش نداشته و پایین‌ترین سطح درآمد شروع به کاهش می‌کند. در این الگو باز هم میزان گندم با برنامه‌های IV، III و II برابر و از برنامهIبیشتر است.سطح زیر کشت جو در زمین‌های با کیفیت آب خوب، افزایش و میزان آن در زمین‌های با کیفیت آب بد دربرنامه‌های IV، III و II برابر است. سطح زیر کشت یونجه، ذرت علوفه-ای و سیب زمینی کاهش می‌یابد.

برنامه VI

در این برنامه نیز مانند برنامهV، با کاهش درآمد مورد انتظار از ۱۴۶۵۲۳۰۰۰۰۰۰ به ۱۴۵۵۲۳۰۰۰۰۰۰، با کاهش پایین‌ترین سطح درآمد از ۱۰۷۹۳۲۴۰۰۰۰۰ به ۱۰۷۷۴۰۹۰۰۰۰۰ ا همراه است. همانند برنامه V، سطح زیر کشت جو در آب با کیفیت خوب، افزایش و سطح زیر کشت یونجه و ذرت علوفه‌ای کاهش می‌یابد. این برنامه نیز در منطقه ناکارا قرار دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه، ابتدا ردپای آب برای محصولات عمده زراعی آبی شهرستان بردسیر طی دوره ۹۶-۱۳۸۴ محاسبه شد و همچنین کیفیت آب مشخص گردید. سپس به تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از تئوری بازی پرداخته شد. نتایج نشان داد گندم دارای بیشترین میزان ردپای آب می‌باشد و بعد از آن به‌ترتیب جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای و سیب‌زمینی قرار دارند. کیفیت آب با ۴۸ نمونه آب برای

سال ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. با دخیل کردن کیفیت آب می‌توان کاهش عملکرد به علت کیفیت آب را با استفاده از گیاهان مقاوم به کیفیت آب کاهش داد که این افزایش عملکرد موجب کاهش ردپای آب می‌گردد. همچنین کشاورزان برای جبران کاهش عملکرد محصولشان به علت کیفیت پایین آب مجبور به استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی نمی‌شوند که موجب کاهش ردپای آب خاکستری و آلودگی آب نیز می‌گردد. در واقع می‌توان گفت بین ردپای آب و کیفیت آب، یک ارتباط دوسویه برقرار است. نتایج حاصل از تئوری بازی‌ها نشان داد که کاهش ۲٪ در سود مورد انتظار، بیشترین کاهش ریسک از طرف طبیعت را سبب می‌شود. در واقع بهترین درآمد در بدترین شرایط طبیعت دریافت می‌شود. علاوه بر کاهش ریسک، در این مطالعه سعی شد کاهش ردپای آب و تأثیر کیفیت آب نیز مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به نتایج به‌دست آمده برنامه شماره چهار (IV) با کاهش ۲٪ در درآمد مورد انتظار یعنی میزان ۱۴۷۵۰۰۰۰۰۰۰ که همان نقطه ماکزیمم می‌باشد، کاهش در ریسک طبیعت ملاحظه می‌گردد و کشاورزان در قسمت کارا قرار دارند. اما بعد از این میزان با کاهش در درآمد مورد انتظار ریسک و خسارات از طرف طبیعت کاهش نمی‌یابد در واقع کشاورزان در قسمت ناکارا قرار می‌گیرند. در این الگوی کشت، اهداف کیفیت آب و کاهش ردپای آب نیز تحقق یافتند. در الگوی کشت بهینه تعیین شده، سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای افزایش داشته که کمترین میزان ردپای آب را دارا می‌باشد و جو به دلیل مقاومت بالا نسبت به کیفیت آب تنها محصولی است که در آب با کیفیت بد کشت می‌گردد.

در این مطالعه با توجه به نتایج به‌دست آمده، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

- کشاورزان در مناطقی که آب از کیفیت پایین برخوردار است، به کشت محصول جو بپردازند. این محصول نسبت به کیفیت پایین آب، مقاوم بوده و با کاهش عملکرد در واحد سطح روبرو نمی‌شود، در نتیجه کشاورزان مجبور به استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی برای جبران کاهش عملکرد به علت کیفیت پایین آب نمی‌شوند و این موضوع هم به بهبود کیفیت و هم به کاهش ردپای آب خاکستری کمک می‌کند. همچنین افزایش عملکرد در واحد سطح نیز خود موجب کاهش ردپای آب و افزایش درآمد کشاورزان می‌شود.

- با توجه به موجودی منابع و محدودیت‌ها توصیه می‌گردد که کشاورزان منطقه که از کیفیت آب خوب برخوردارند، سطح زیر کشت محصول ذرت علوفه‌ای را افزایش و سطح زیرکشت سیب‌زمینی را کاهش دهند.

- با توجه به میزان ردپای آب خاکستری و وارد شدن پساب‌ها به منابع آب زیرزمینی که علاوه بر آلودگی منابع آب زیرزمینی، کاهش کیفیت منابع آب را نیز در پی دارد، توصیه می‌گردد در اراضی زهکشی صورت گردد و پساب‌های جمع‌آوری شده به مخازن منتقل و در آن‌جا مجدداً تصفیه شده و در فصولی که بارندگی کم است و تنها از ذخایر آب زیرزمینی استفاده می‌شود، مورد استفاده قرار گیرند تا میزان ردپای آب آبی کاهش یابد؛ علی‌رغم این‌که کیفیت آب حفظ می‌شود.

- با توجه به بذرهای اصلاح شده در بازار، از بذرهایی که در فصل‌های خنک‌تر قابل کشت می‌باشند، استفاده شود تا میزان تبخیر و تعرق، کاهش و میزان ردپاهای آب کاهش یابد

.

منابع

احسان، ع.، ح. ارزانی، ح. فرح‌پور، م. جعفری و م. اکبرزاده.۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه نرم افزار cropwat 8.0 (مطالعه موردی :منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رود شور). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد۱۹، شماره ۱، ص ۱۶-۱.

اژدری، ا. ۱۳۹۰. مجموعه گزارشات پژوهشی شماره۵۰ یونسکو-۲۰۱۱.

آماده، ح و م. صدرالاشرافی. ۱۳۸۰. بهینه سازی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در کشاورزی. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۲۳، ص ۸۲۳-۸۱۵.

حاج محمدی، ح.، م. میرحبیبی و ن. سیاری. ۱۳۹۳. دومین همایش ملی بحران آب. شهرکرد.

خالقی،ن.۱۳۹۴. مقایسه روش‌های برآورد بارش در کشاورزی. نشریه آب و توسعه پایدار. سال دوم، شماره۲،ص ۵۱-۵۸.

خلیلی، طیبه.، م. سرائی تبریزی، ح. بابازاده و ه. رمضانی اعتدالی. ۱۳۹۸. مدیریت منابع آب محصولات زراعی استان قم با استفاده از مفهوم ردپای آب. اکوهیدرولوژی، دوره۶، شماره۴، ص ۱۱۱۹-۱۱۰۹.

رواسی‌زاده، س.، خ.قربانی و س. یزدانی. ۱۳۹۴. کاربد نظریه بازی‌ها در مدیریت ریسک درآمدی کشت محصولات دیم استان کردستان (دوره زمانی برنامه چهارم توسعه تا سال ۱۳۹۱). اولین همایش بین المللی و سومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار.

شکوهی، ع.، ه. رمضانی اعتدالی، ا. مجتبوی و و. بی سینگ. ۱۳۹۵. استفاده از حسابداری ردپای آب برای تعیین ترکیب کشت بهینه در توسعه پایدار (مطالعه موردی: دشت قزوین). تحقیقات منابع آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۳، ص ۱۱۳-۹۹.

علیزاده، ا.، غ. کمالی، ف. موسوی و م. موسوی بایگی. ۱۳۹۱. هوا و اقلیم شناسی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

فاضل پور عقدائی، م.، ح. ملکی نژاد، م. اختصاصی و ج. برخورداری. (۱۳۹۴). تحلیل کیفیت منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه منابع؛ مطالعه موردی حوزه آبخیز خوانسار هرات. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ۵، شماره ۲۰، ص ۱۰۶-۹۶.

قربانی‌زاده خرازی، ح و م. چله مال دزفول نژاد . ۱۳۹۳. ابداع روش طبقه‌بندی اقلیمی جدید بر مبنای هیدرومتئولوژی. فصلنامه تخصصی مهندسی آب. دوره۲، شماره ۲، ص ۱۰۸-۹۷.

محمدی، ح.، ف. بوستانی و ف. کفیل زاده. ۱۳۹۱. تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی چند هدفه غیر خطی فازی: مطالعه موردی. آب و فاضلاب، شماره۴،ص ۵۵-۴۳.

نورا، ر و ف. سخی. ۱۳۹۵. تعیین الگوی کشت بهینه محضولات زراعی با استفاده از نظریه بازی (مطالعه موردی: استان گلستان).سومین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران.

یوسفی، ح.، ع. محمدی، ی. نوراللهی و س.ج. ساداتی نژاد. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص ردپای آب محصولات زراعی و باغی استان تهران. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب وخاک، جلد ۲۴، شماره ۶، ص ۸۵-۶۷.

Gleick P.H. 2003. Water use. Annual Review of Environment and Resources, 28: 275-314.

Hao, L., X. Su and V.P. Singh. 2018. Cropping pattern optimization considering uncertainty of water availability and water saving potential. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11(1): 178-186.

Hazel, P.B. and R.D. Norton. 1986. Mathematical programming for economic analysis in agriculture (No. U10 H419). Macmillan.

Jing, H., B.G. Ridoutt, X.U.Chang-chun, Z.H. Hai-lin and C.H. Fu .2012. Cropping pattern modifications change water resource demands in the Beijing metropolitan area. Journal of Integrative Agriculture, 11(11): 1914-1923.

Nouri, H., B.Stokvis, S.C.Borujeni, A.Galindo, M.Brugnach,M.L.Blatchford, S.Alaghmand and A.Y. Hoekstra. 2020. Reduce blue water scarcity and increase nutritional and economic water productivity through changing the cropping pattern in a catchment. Journal of Hydrology, 588: 125086.

Osama, S., M.Elkholy andR.M.Kansoh. 2017. Optimization of the cropping pattern in Egypt. Alexandria Engineering Journal, 56(4): 557-566.

Rodriguez, C.I., V. R. de Galarreta and E.E. Kruse. 2015. Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. Journal of Cleaner Production, 90: 91-96.

Determining the Optimal Cropping Pattern with Footprint and Quality Water Approach (Case Study: Bardsir City)

Samira Sistani[1], Mohammad Reza Zare Mehrjardi[2], Nasreen Sayari[3], Somayeh Amirtaimoori[4]

Abstract

Agriculture has always been considered as an important factor in the development of human civilization and today this sector is one of the most important economic sectors and the largest consumer of water in Iran and the world. Irregular extraction of groundwater by this sector has caused a water shortage crisis in most parts of Iran. Therefore, the country's water resources need to be planned and managed in order to be sustainable. One way is to determine the optimal cropping pattern by considering the quantity and quality of water. Therefore, in this study, using game theory, the optimal cropping pattern has been determined by considering the footprint index and water quality in Bardsir city. For this purpose, five major crops of this city have been considered and the necessary statistics and information have been collected from the Meteorological Organization, the Regional Water Administration and the Agricultural Jihad Organization of Kerman province and Bardsir city for the years 2005-2017. The results showed that wheat, barley, alfalfa, potato and fodder corn had the highest water footprint, respectively. In the optimal cropping pattern obtained from game theory compared to the current cropping pattern; the area under cultivation of wheat, barley and potato decreased by 4%, 7% and 12%, respectively, and the area under cultivation of alfalfa and fodder corn increased by 4% and 25%, respectively. The optimal cropping pattern obtained from game theory is recommended for this city, because in this pattern, in addition to economic benefits, attention has been paid to the quantity and quality of water so that water resources do not face a crisis.

Keywords: Game Theory, Domarten Method, Piper Diagram, Schuler Diagram, Wilcox Diagram

[1] Master's student in Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[2] Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[3] Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran