

Research Paper

application of game theory in optimal allocation of water resources in Sistan region under drought conditions with deficit irrigation strategy

Zahra Ghaffari moghadam * 

Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Agriculture Institute, Research Institute of zabol, Zabol, Iran

Email (zahraghafari@uoz.ac.ir)

Ali Sardarshahraki

Associate Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran,

Email: a.s.shahraki@eco.usb.ac.ir

Arash Ghaffari moghadam

Master's degree in Computer Engineering, Hatef University, Zahedan, Iran

Email: Arashgh68@gmail.com

Received:

Revised:

Accepted:

Use your device to scan and read the article online



DOI:

Keywords:

Stackelberg, requirements, algorithm, Allocation, Water market, Water Genetic water

Abstract

Introduction: Due to frequent droughts, it is usually not possible to increase water allocation and therefore it is the limiting factor of water volume. Considering the limitation of water resources, the use of appropriate techniques to optimize the allocation of water to different products can be a solution. Using deficit irrigation methods is an optimal strategy to deal with the water shortage crisis.

Methods: In the current study have been investigated the effects of deficit irrigation on water allocation between crops and regions, system profit, water exchange between regions. For this purpose, the Stackelberg-Nash-Cournot equilibrium model has been used with the aim of allocating water between different irrigated areas at the leader level and allocating water between different crops at the follower level in the condition that the water market is formed and emphasis on deficit irrigation. In this study, three scenarios of 5% deficit irrigation, 10% deficit irrigation and 15% deficit irrigation have been considered to deal with drought conditions in Sistan region.

Findings: The results showed that in the condition that full irrigation is done, the most water is allocated to the melon crop and the least amount of water to the wheat crop, and the profit in this case is 2.71×10^{11} IRR, which increases the profit by applying deficit irrigation scenarios. The results of this research can be used as assistants for network managers and responsible people for water allocation.

Citation:

***Corresponding author:** Zahra Ghaffari moghadam

Address:

Tell: +9854-32220690

Email: zahraghafari@uoz.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

One of the most important challenges in water resource management is the sharp increase in human water consumption alongside a reduction in water availability for agricultural production. Due to frequent droughts, increasing water allocation is usually not possible, and water volume becomes a limiting factor.

Materials and Methods

Given the limitations on water resources, employing appropriate techniques to optimize water allocation across different crops could be a viable solution. One such strategy is the use of deficit irrigation, which has proven to be an optimal method for addressing water shortages. This study investigates the effects of deficit irrigation on water allocation between crops and regions, system profitability, and water exchanges between regions. To achieve this, the Stackelberg-Nash-Cournot equilibrium model has been applied to allocate water among irrigated areas at the leadership level, and among different crops at the follower level, within the context of a water market and with an emphasis on deficit irrigation.

In this study, the model proposed by Kalerk was used to estimate functional changes in selected agricultural products under water stress conditions. Three deficit irrigation scenarios (5%, 10%, and 15%) were considered to address drought conditions in the Sistan region. In this framework, local managers are considered high-level decision makers (leaders) who distribute available water among various irrigated regions, represented by the decision variable X_i . Farmers, actin as low-level decision makers, allocate the water to crops within each region, denoted by ET_{aij} . The model also allows for water exchange between regions, whereby regions with excess water can sell surplus to others, generating income and increasing overall profits. The goal of farmers is to maximize economic benefits for their irrigated areas through the creation of a water market.

Findings

The results indicated that in full irrigation conditions, the melon crop received the highest water allocation, while wheat received the least. In this scenario, the total profit was 2.71×10^{11} IRR, with the water allocation inequality index being 0.0334, indicating equitable water distribution among the regions. With the implementation of deficit irrigation scenarios, profits increased and the water allocation inequality index decreased. The analysis revealed that the benefits from the stored water in deficit irrigation compensated for the reduction in crop yields. By saving water and reallocating it to high-yielding crops, the loss from reduced yields could be mitigated. Moreover, deficit irrigation reduced the relative decline in crop performance, as unmet water needs were minimized, and a higher percentage of water demands were fulfilled.

Conclusion

Although deficit irrigation is not currently practiced in the Sistan region for income generation through water sales, it presents a viable approach for optimizing water use in areas with crops that yield higher economic returns. The combined policy of deficit irrigation and water markets will likely enhance water exchanges between regions and increase economic profits. This policy is recommended as an effective tool for the sustainability of water resources in the Sistan region. The findings from this study can assist network managers and water allocation authorities in making informed decisions.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

The cost of this research was provided by the grant of Zabol Research Institute with the code IR-RIOZ-GR-0702.

Authors' contributions

Design and conceptualization: zahra ghaffari moghadam, Ali Sardarshahraki.
Methodology and data analysis: zahra ghaffari moghadam, Arash Ghaffari moghadam.

Supervision and final writing: zahra ghaffari moghadam, Ali Sardarshahraki.

رویدادها ویرایش شده

مقاله پژوهشی

کاربرد تئوری بازی در تخصیص بهینه منابع آب منطقه سیستان تحت شرایط خشکسالی با راهبرد کم‌آبیاری

زهرا غفاری مقدم^{1*}، علی سردار شهرکی²، آرش غفاری مقدم³

1- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران

zahraghafari@uoz.ac.ir

2- دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

a.s.shahraki@eco.usb.ac.ir

3- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه هاتف، زاهدان، ایران

Arashgh68@gmail.com

چکیده

مقدمه: با توجه به خشکسالی‌های فراوان، معمولاً امکان افزایش تخصیص آب وجود ندارد و بنابراین عامل محدودکننده حجم آب می‌باشد. با توجه به محدودیت منابع آب استفاده از تکنیک‌های مناسب جهت بهینه سازی تخصیص آب به محصولات مختلف می‌تواند راهگشا باشد. استفاده از روش‌های کم‌آبیاری راهبردی بهینه جهت مقابله با بحران کم‌آبی می‌باشد.

روش: در مطالعه حاضر اثرات کم‌آبیاری بر تخصیص آب بین محصولات و مناطق، سود سیستم، مبادله آب بین مناطق بررسی شده است. برای این منظور از مدل تعادلی استاکلبرگ- نش- کورنو با هدف تخصیص آب بین مناطق مختلف تحت آبیاری در سطح رهبر و تخصیص آب بین محصولات مختلف در سطح پیرو در شرایطی که بازار آب شکل بگیرد و تأکید بر کم‌آبیاری انجام شده است. در این مطالعه سه سناریو 5 درصد کم‌آبیاری، 10 درصد کم‌آبیاری و 15 درصد کم‌آبیاری جهت مقابله با شرایط خشکسالی در منطقه سیستان در نظر گرفته شده است.

یافته‌ها: نتایج حاصل نشان داد در شرایطی که آبیاری کامل انجام شود بیشترین آب به محصول خربزه و کمترین آب به محصول گندم اختصاص یافته است و سود حاصل در این حالت $2/71 \times 10^{11}$ ریال می‌باشد که با اعمال سناریوهای کم‌آبیاری میزان سود افزایش خواهد یافت. مقدار شاخص نابرابری تخصیص در آب بدست آمده در این سناریو 0/0334 می‌باشد که مقدار این شاخص نزدیک به صفر می‌باشد و نشان می‌دهد تخصیص آب بین مناطق عادلانه بوده است. در بین محصولات بیشترین آب به محصول خربزه و کمترین آب به محصول گندم تخصیص داده شده است. با اعمال سناریو کم‌آبیاری مقدار سود افزایش و مقدار شاخص نابرابری تخصیص در آب کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد در صورت استفاده از روش کم‌آبیاری، منفعت حاصل از مقدار آب ذخیره شده جبران کاهش عملکرد محصول را کرده و با استفاده از مقدار آب صرفه جویی می‌توان به محصولات پربازده آب بیشتری تخصیص داد و ضرر ناشی از کاهش عملکرد را جبران کرد. همچنین با اعمال سناریو کم‌آبیاری کاهش در عملکرد نسبی برای محصولات کاهش پیدا می‌کند. کم‌آبیاری سبب شده است که نیاز آبی تامین نشده محصولات کاهش یابد و درصد بیشتری از نیاز آبی آنها تامین شود.

تاریخ دریافت:

تاریخ داوری:

تاریخ پذیرش:

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

واژه‌های کلیدی:

استاکلبرگ، نیاز آبی، الگوریتم ژنتیک، تخصیص آب، بازار آب

* نویسنده مسئول: زهرا غفاری مقدم

نشانی: گروه اقتصاد کشاورزی، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران.

تلفن: 05432220690

پست الکترونیکی: zahraghafari@uoz.ac.ir

مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مدیریت منابع آب روبه‌رو شدن انسان با افزایش شدید تقاضای آب و کاهش عرضه آب در تولید محصولات کشاورزی می‌باشد (1, 2). بنابراین، رویکردهای برنامه ریزی موثری با توجه به مدیریت تقاضا برای بهبود مدیریت تولید محصولات کشاورزی بایستی تدوین گردد. با توجه به پیچیدگی سیستم برنامه‌ریزی تولید محصولات کشاورزی، محققان دائما در تلاشند تا روش‌های کاربردی‌تری برای برنامه‌ریزی موثر تولید محصولات کشاورزی ایجاد کنند. این روش‌ها بیشتر بر آب آبیاری، سطح زیرکشت و توزیع منبع مهم متمرکز است (3). کمبود آب در بین مصرف‌کنندگان مختلف آب باعث ایجاد مناقشات و درگیری بین آنها در بخش‌های مختلف شده است بنابراین جهت کاهش چنین درگیری‌هایی می‌توان به تعیین و تخصیص عادلانه آب مبادرت ورزید. کلید تخصیص اولیه حقوق آب، پایبندی به اهداف متعدد منافع اقتصادی، برابری اجتماعی، کنترل ریسک و حفاظت از محیط زیست می‌باشد (4, 5). از جمله مطالعاتی که در زمینه مدیریت و تخصیص منابع آب در سالهای اخیر انجام شده است می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: فرانسسکو و همکاران (6) از مدل‌های برنامه ریزی ریاضی، زنگ و همکاران (7) از برنامه‌ریزی مشترک چند مرحله‌ای بازه‌ای- احتمالاتی و روش شبیه‌سازی مونت کارلو، ایگزویو و همکاران (8) و یائو و همکاران (9) از مدل استاکلیک نش - کورنو، آلاکون و ژوانا (10) از مدل‌های بهینه‌سازی در قالب بازار آب، جهت تخصیص منابع آب استفاده نمودند. که در همه این مطالعات به اثر بخشی بازار آب در تخصیص منابع آب اشاره شده است (11-13). روشهای شبیه‌سازی (14, 15)، مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی توام (16-18) و تئوری بازی‌ها (19-21) اشاره نمود.

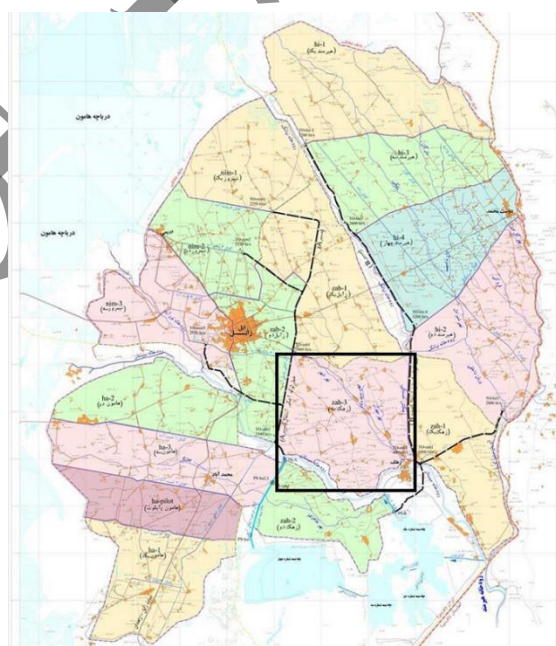
تخصیص آب صرفا بر اساس سطوح کشت و بدون توجه به نوع محصولات کشت شده، واکنش محصولات به کم‌آبی و میزان عملکرد آن انجام می‌گیرد. اگرچه کمبود آبیاری عملکرد محصول را کاهش می‌دهد، با تخصیص بهینه آب به مصارف داخل و خارج از مزرعه، کشاورزان ممکن است درآمد خالص خود را از ترکیبی از تولید محصول و فروش آب افزایش دهند (22-24). برای به حداکثر رساندن درآمد خالص مزرعه در این حالت، کشاورزان باید برای هر کاربری به طور بهینه آب را تخصیص دهند. بنابراین هنگامی که تامین آب، گران یا ناکافی است تا نیازهای آبی کامل محصول را برآورده کند، کم آبیاری ممکن است با کاهش استفاده از آب گران قیمت یا آبیاری زمین بیشتر با منابع آبیاری محدود، درآمد خالص را به حداکثر برساند (25). یکی از استراتژی‌های بهینه‌سازی کم آبیاری می‌باشد که در این استراتژی گیاه به صورت هدفمند درجاتی از کم‌آبی و کاهش عملکرد را محتمل می‌شود. هدف اصلی و اساسی در کم‌آبیاری افزایش کارایی مصرف آب می‌باشد که با استفاده از کاهش میزان آب مورد نیاز در هر آبیاری یا حذف آبیاری‌های فاقد بهره‌وری امکان پذیر می‌باشد. چنانچه عرضه آب محدود باشد و یا هزینه تامین آب بالا باشد، سطح بهینه اقتصادی آبیاری کمتر از میزان آبی است که گیاه جهت دستیابی به حداکثر

عملکرد (آبیاری کامل) نیاز دارد. این تکنیک کم آبیاری به طور گسترده در نواحی مواجه با کم آبی، مورد استفاده قرار گرفته است (26). امروزه با استفاده از تکنیک کم آبیاری می‌توان عملکرد قابل قبول و اقتصادی را با حداقل آب مصرفی داشت (27) و از آن به عنوان یک استراتژی درآمدزا اقتصادی در وضعیت بحران آب، راهکار مصرف آب کمتر با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی و همچنین ذخیره آب صرفه‌جویی برای توسعه کشاورزی و دیگر بخشهای مصرف آب مطرح نمود (28). در این مطالعه هدف، تخصیص بهینه آب بین مناطق و محصولات مختلف در شرایط خشکسالی و کم‌آبی با تاکید بر سیاست کم‌آبیاری می‌باشد از جمله مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است می‌توان به مطالعات شیرشاهی و همکاران (29) در رابطه با بهینه‌سازی سطح زیر کشت در سناریوهای مختلف آبیاری، محمدخانی و همکاران (30) بهینه‌سازی تخصیص آب در شرایط تنش آبی، پانده و اوماماهش (31) الگوی کشت و تخصیص بهینه آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک در شرایط کم آبیاری اشاره نمود. محمودزاده ورزی و همکاران (24) در مطالعه خود مدلی برای بهینه‌سازی تخصیص آب برای یک مزرعه و محصول با استفاده از توابع تولید آب محصول و مفهوم کم آبیاری ارائه نمودند. نتایج مطالعه نشان داد زمانی که قیمت محصول نسبت به قیمت اجاره آب پایین است، اجاره تمام آب موجود و آیش یا کاشت محصولات بدون آبیاری بیشترین درآمد را به همراه دارد. در منطقه سیستان سطوح قابل کشت کشاورزی مطابق مطالعات جامع منابع آب، 135 هزار هکتار است و با توجه به الگوی کشت منطقه سرانه آب مصرفی در بخش کشاورزی به طور میانگین بیش از 8500 مترمکعب در هکتار می‌باشد (32). شرایط آب و هوایی منطقه سیستان و وابستگی کامل به رودخانه هیرمند و اقدامات کشور افغانستان در مهار آب رودخانه هیرمند، باعث بروز مخاطرات شدید آبی و تأثیرات منفی در اشتغال، اقتصاد، محیط زیست و کشاورزی شده است و باعث ایجاد مشکلات فراوانی در مسئله مدیریت آب در این منطقه شده است (32). بنابراین بررسی وضعیت آب در منطقه سیستان به عنوان مسئله‌ای استراتژیک و حیاتی از اهمیت بالایی برخوردار است. میزان آب ورودی رودخانه هیرمند به منطقه سیستان و آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی در طی سالهای اخیر روند کاهشی داشته است و باعث کاهش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی شده است به‌طوری‌که در صورت ادامه این روند ضمن ایجاد مشکلات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی وقایعی نظیر مهاجرت، افزایش سطح فقر، خالی شدن روستاها از سکنه، شکل‌گیری اعتراض‌ها و تنش‌های منطقه‌ای بر سر منابع آب، نابودی کشاورزی، مرگ گونه‌های جانوری و گیاهی، نابودی محیط‌زیست، بیابان‌زایی و گرد و غبار از مصادیق بحران آبی در بخش کشاورزی منطقه سیستان می‌باشد. لذا با توجه به بحران آبی و خشکسالی‌های پی در پی که منطقه سیستان سال‌های متمادی با آن گرفتار است. این مطالعه به دنبال آن است با استفاده از مدل استاکلیک- نش - کورنو و تاکید بر بازار آب مقدار آب موجود در بخش کشاورزی در شرایط خشکسالی در سه سناریو کم آبیاری بین مناطق و محصولات مختلف کشاورزی تخصیص داده شود. در مطالعات گذشته

به تخصیص آب در شرایطی که کم آبیاری و بازار آب به طور همزمان اعمال شود اشاره نشده است

مواد و روش‌ها

منطقه سیستان با وسعت بیش از 2500 کیلومتر مربع و طول جغرافیایی 61 درجه و 31 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 30 درجه و 55 دقیقه شمالی، نسبت به نیم روز گرینویچ با ارتفاع بیش از 400 متر از سطح دریا در شرق ایران و در شمال استان سیستان و بلوچستان قرار گرفته است. منطقه سیستان با متوسط بارندگی 50 تا 55 میلیمتر، حدود 7 درصد از متوسط بارندگی جهان را دارد. میزان تبخیر سالانه آن در حدود 4800 میلیمتر گزارش شده است. متوسط حداکثر درجه حرارت متوسط حداقل درجه حرارت در این منطقه به ترتیب 8/5 و 5 درجه سانتی گراد است. بادهای 120 روزه از مهم‌ترین ویژگی‌های آب و هوایی سیستان می‌باشد که سرعت آن در سالهای خشکسالی به بیش از 120 کیلومتر در ساعت نیز رسیده است این بادهای از اواسط خرداد ماه شروع و تا اوایل پاییز ادامه دارد و در سالهای اخیر به بیش از 120 روز هم رسیده است. انتقال شن و ماسه، تشدید فرسایش و افزایش میزان تبخیر از عواقب بادهای 120 روزه می‌باشد (33).



شکل 1: موقعیت جغرافیایی منطقه سیستان

مدل‌های متعددی توسعه یافته‌اند. در این راستا، الگوی پیشنهادی کارلر که توسط بخش توسعه آب و خاک فائو توسعه یافته و امروزه به عنوان مدل پیش‌فرض در نرم‌افزار کروبوات لحاظ شده است، یکی از روشهای کاربردی جهت محاسبه کاهش عملکرد بر پایه روش‌های مدرن برآورد تبخیر و تعرق و عکس‌العمل محصولات به تنش آبی می‌باشد. به این ترتیب در مطالعه جاری به منظور اعمال کم آبیاری و تعیین استراتژی کم آبیاری برای گیاه از رابطه 1 در فضای سایر محدودیت‌ها و هدف‌های مدل استفاده شد (35-37).

این الگو با استفاده از روابط زیر تعریف می‌شود:

در این رابطه ET_o میزان تبخیر و تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع و K_y ضریب گیاهی است. تاثیر کاهش آب بر روی عملکرد محصولات بر اساس تابع تولید زیر محاسبه می‌شود:

$$\left[1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right] = K_y \left[1 - \frac{ET_a}{ET_p}\right] \quad (1)$$

در رابطه بالا Y_a عملکرد واقعی، Y_m عملکرد پتانسیل، ET_a تبخیر و تعرق واقعی، ET_p تبخیر و تعرق پتانسیل، $\frac{Y_a}{Y_m}$ عملکرد نسبی محصولات و K_y ضریب حساسیت گیاه به تنش آبی می‌باشد (35-37).

مدل تعادلی استاکلبرگ-نش-کورنو

بر مبنای چارچوب مدل تعادلی استاکلبرگ-نش-کورنو که یکی از انواع مدل‌های تئوری بازی می‌باشد، دو نهاد تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است. مدیران محلی به عنوان تصمیم‌گیرندگان سطح بالا (رهبر) که آب موجود در بخش کشاورزی را بین نواحی مختلف تحت آبیاری توزیع می‌کنند و با متغیر تصمیم X_i نشان داده می‌شود. سپس کشاورزان به عنوان تصمیم‌گیرندگان سطح پایین آب تخصیص داده شده به هر منطقه را به محصولات کشاورزی تخصیص می‌دهند و با ET_{aij} نشان داده می‌شود (8). در مدل پیشنهادی مطالعه امکان مبادله آب بین مناطق وجود دارد. به‌طوری‌که مناطقی که آب مازاد دارند می‌توانند این آب اضافه را به مناطق دیگر بفروشند و از این طریق امکان ایجاد درآمد و افزایش سود برای آنها وجود و با BSW_i^+ نشان داده می‌شود (38). هدف پیروان این است که با ایجاد بازار آب، مزایای اقتصادی بیشتری را برای مناطق آبیاری خودشان بدست آورند.

تصمیم‌گیرندگان سطح بالا (رهبر)

تصمیم‌گیرندگان سطح بالا تعیین می‌کند چه مقدار حق آبه به هر یک از مناطق آبیاری اختصاص یابد. هدف رهبر در این مطالعه این است که بر اساس اصل برابری، نابرابری در تخصیص آب به ازای هر واحد سود اقتصادی در هر ناحیه را طبق معادله 3 حداقل کنند (8).

افزایش کارایی مصرف آب از طریق کاهش میزان مصرف آب محصولات در اثر اعمال تنش‌های آبی (سناریوهای کم آبیاری) هدف اصلی به کارگیری روش کم آبیاری در سطح اراضی می‌باشد که روی میزان عملکرد محصولات تاثیر می‌گذارد (34). در سالهای اخیر، جهت بررسی مدیریت آبیاری تحت شرایط کم آبی در سطح مزارع زراعی

$$\min E = \sum_{i=1}^m \sum_{i'=2}^m \left| \frac{X_i A_i}{R_i} - \frac{X_{i'} A_{i'}}{R_{i'}} \right| \quad (2)$$

E شاخص نابرابری در تخصیص آب را نشان می‌دهد هر چه E به صفر نزدیکتر باشد به این معنی است که تخصیص آب عادلانه‌تر خواهد بود و هر چه مقدار E به یک نزدیک شود نشان می‌دهد تخصیص آب بین مناطق ناعادلانه‌تر می‌باشد.

مقدار تخصیص آب به ازای هر واحد سود اقتصادی در هر منطقه آبیاری می‌باشد. R_i تابع سود اقتصادی می‌باشد که با استفاده از رابطه 4 تعریف می‌شود:

$$R_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot Y_{aij} \cdot A_{ij} - \gamma X_i A_i + c_i BSW_i^- - c_i BSW_i^+, i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

محدودیت‌های سطح بالا

$$\sum_{i=1}^m X_i A_i \leq S \quad (4)$$

تصمیم گیرندگان سطح پایین (پیرو)

هدف تصمیم گیرندگان پایین که کشاورزان هر منطقه هستند حداکثر کردن سود اقتصادی می‌باشد که با استفاده از رابطه 6 تعریف می‌شود:

$$\max \sum_{i=1}^m R_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot Y_{aij} \cdot A_{ij} - \gamma X_i A_i + c_i BSW_i^- - c_i BSW_i^+, i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

محدودیت‌های مدل در سطح پایین برابر است با:

$$\sum_{j=1}^n ET_{aij} A_{ij} \leq X_i A_i + \tau_i \cdot BSW_i^+ + (\tau_i - 1) \cdot BSW_i^-, i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$\tau_i = \begin{cases} 0, & X_i \geq \sum_{j=1}^n (ET_{Pij} A_{ij}) \\ 1, & X_i < \sum_{j=1}^n (ET_{Pij} A_{ij}) \end{cases} \quad (7)$$

$$BSW_i^- \leq X_i A_i - \sum_{j=1}^n (ET_{aij} A_{ij}), i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n \{BSW_i^- - BSW_i^+\} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (9)$$

$$ET_{mij} \leq ET_{aij} \leq ET_{Pij} \quad (10)$$

با توجه به توابع هدف و محدودیت‌ها مدل کلی استاکلیبرگ-نش-کورو را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\min E = \sum_{i=1}^m \sum_{i'=2}^m \left| \frac{X_i A_i}{R_i} - \frac{X_{i'} A_{i'}}{R_{i'}} \right|$$

$$R_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot Y_{aij} \cdot A_{ij} - \gamma X_i A_i + c_i BSW_i^- - c_i BSW_i^+, i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m X_i A_i \leq S$$

$$\max \sum_{i=1}^m R_i$$

$$s.j. \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n ET_{aij} A_{ij} \leq X_i A_i + \tau_i \cdot BSW_i^+ + (\tau_i - 1) \cdot BSW_i^-, i = 1, 2, \dots, m \\ \tau_i = \begin{cases} 0, & X_i \geq \sum_{j=1}^n (ET_{Pij} A_{ij}) \\ 1, & X_i < \sum_{j=1}^n (ET_{Pij} A_{ij}) \end{cases} \\ BSW_i^- \leq X_i A_i - \sum_{j=1}^n (ET_{aij} A_{ij}), i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^n \{BSW_i^- - BSW_i^+\} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m. \\ \left[1 - \frac{Y_{aij}}{Y_{pij}} \right] = K_y \left[1 - \frac{ET_{aij}}{ET_{mij}} \right] \\ ET_{mij} \leq ET_{aij} \leq ET_{Pij} \end{array} \right.$$

(11)

از آنجائیکه مدل‌های برنامه ریزی دو سطحی با چندین پیرو یک مسئله سخت چند جمله ای غیر قطعی و غیر محدب می‌باشد که امکان بافتن جواب بهینه برای آن مشکل است که در این مطالعه از یک فرایند فراابتکاری استفاده شده است که ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و روش برنامه ریزی فازی می‌باشد (8). جهت حل مدل از یک فرایند فراابتکاری که ترکیبی از الگوریتم ژنتیک پویا و برنامه ریزی فازی است استفاده شده است (8). برای این منظور ابتدا هر یک از توابع هدف را با توجه به محدودیت‌های متناظر با خودش مقادیر حداقل و حداکثر آنها را بدست آورده سپس با استفاده از روش برنامه ریزی آرمانی فازی توابع عضویت مربوط به هر یک را تشکیل داده و به عنوان تابع برازندگی وارد الگوریتم ژنتیک می‌کنیم.

$$M^U = \begin{cases} 0, & F \geq F_{\max} \\ \frac{F_{\max} - F}{F_{\max} - F_{\min}}, & F_{\min} \leq F \leq F_{\max} \\ 1, & F \leq F_{\min} \end{cases} \quad (12)$$

$$M^L = \begin{cases} 0, & f \leq f_{\min} \\ \frac{f - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}, & f_{\min} \leq f \leq f_{\max} \\ 1, & f \geq f_{\max} \end{cases}$$

جدول 1- ضریب حساسیت و نیاز آبی گیاهان در شرایط مختلف

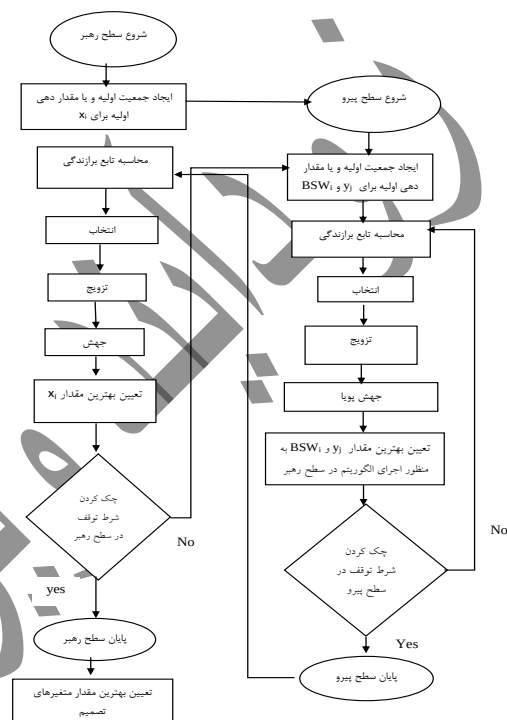
نیاز آبی در شرایط	نیاز آبی در شرایط	نیاز آبی در شرایط	نیاز آبی در شرایط	ضریب حساسیت	گندم
نیاز آبی	10	نیاز آبی	در شرایط	در شرایط	0/9
در شرایط	درصد	در شرایط	درصد	در شرایط	0/95
15 درصد	کم	5 درصد	کم	آبیاری	0/9
کم آبیاری	کم آبیاری	کم آبیاری	کامل	تنش آبی	0/8
4556	4824	5092	5360		0/85
4250	4500	4750	5000		0/85
2924	3096	3268	3440		0/85
6366/5	6741	7115/5	7490		0/75
4420	4680	4940	5200		
6230/5	6597	6963/5	7330		
19074	20196	21318	22440		
9350	9900	10450	11000		

نتایج

میزان آب ورودی به منطقه سیستان در شرایط خشکسالی با استفاده از روش داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی مونت کارلو 260 میلیون متر مکعب بدست آمد که با توجه به اراضی قابل کشت در منطقه آب بسیار کمی می‌باشد بنابراین سعی بر این است که مدلی توسعه داده شود که علاوه بر حفظ حداکثری اراضی قابل کشت و ماندگاری مردم در منطقه آب به گونه ای بین محصولات و مناطق مختلف تخصیص داده شود که حداکثر سود اقتصادی از آن حاصل شود. در این مطالعه 16 منطقه تحت آبیاری (بر اساس تقسیم بندی طرح 46 هزار هکتاری) در نظر گرفته شده است و محصولات منتخب نیز از بین محصولاتی انتخاب شده است که بیشترین سطح زیر کشت در طی سالهای اخیر در منطقه داشته و کشاورزان تمایل زیادی به کشت این محصولات داشتند.

برای بدست آوردن سطح زیرکشت محصولات مختلف در مناطق مختلف تحت آبیاری از نتایج مدل نرلاو ارائه شده توسط غفاری مقدم و همکاران (39) استفاده شده است و سطح زیر کشت مربوط به هر منطقه با استفاده از این مدل پیش‌بینی گردید که نتایج آن در جدول 2 آورده شده است.

در این مطالعه یک الگوریتم ژنتیک جدید برای حل مسئله پیشنهاد شده است که می‌توان آن را الگوریتم ژنتیک پویا نامید که در این الگوریتم عملکرد جهش برای سطح پایین به صورت پویا تغییر می‌کند. که با معرفی این الگوریتم جوابهای بهتری برای مدل حاصل شده است. که در این الگوریتم در تکرارهای بالاتر میزان حداکثر جهش متغیر 7 کمتر خواهد شد تا 7 مقدار کمتری تغییر کند. این الگوریتم از همگرایی زودرسی که در الگوریتم ژنتیک ساده وجود دارد جلوگیری می‌کند. در شکل فلوچارت این الگوریتم آورده شده است



شکل 2- فلوچارت روش الگوریتم ژنتیک برای مدل استاکلبرگ-نش - کورنو

جدول 2- پیش‌بینی سطح زیر کشت محصولات با استفاده از مدل نرلاو (هکتار)

گندم	جو	عدس	پياز	خریزه	هندوانه	یونجه	انگور	جمع کل
163/17	1718/6	89/15	129/4	2042/5	2091/4	346	249	7639
هیرمند یک								
164	1707/5	89	129	2030	2886/5	343	247/4	7596/6
هیرمند دو								
152/6	1835/6	93	134	2174/6	3056	377	267/5	8090
هیرمند سه								
156/6	1790	91/4	132	2123	2996	365	260	7914
هیرمند چهار								
161/6	967	44/6	59	655/4	1334	299	212	3732
هامون یک								
153/3	1019/3	46/2	60/5	689	1390/6	320	224	3903
هامون دو								
176	890	42/4	56	605/5	1249	268/5	193/6	3481/6
هامون سه								
151/4	1031/8	46/5	61	697	1404	325	227	3943/6
هامون چهار								
135	1306	71/3	63	854	1496	366	237	4528/6
نیمروز یک								
158	1117	64/6	58	736	1322	299	200	3954/7
نیمروز دو								
149/3	1183/6	67	60	778	1384	322	213	4156/4
نیمروز سه								
137/5	1133/8	93/4	64	762	1513	367	251/5	4278
زابل یک								
184/6	849	41/2	55	579	1203/5	253	184	3348/5
زابل دو								
232	935	46/4	74	712	992	269	281	3543
زهک یک								
225	964	47/3	75/4	733/4	1016/5	280	290	3632/5
زهک دو								
125/5	1716	68	102/4	1269	1603	589	541	6014
زهک سه								
جمع کل	2625/57	20164/2	231858	50596/4	165440/3	452065/6	5388/5	7145832

ماخذ: (39)

با در نظر گرفتن شرایط خشکسالی در منطقه و تخصیص 260 میلیون مترمکعب آب از مخازن چاه نیمه به این منطقه و راندمان آبیاری 35 درصد مقدار آب موجود با استفاده از مدل تعادلی استاکلبرگ-نش-کورنو بین مناطق و محصولات مختلف تخصیص داده شد که نتایج آن در ادامه آورده شده است.

با استفاده از مدل عرضه نرلاو الگوی کشت برای هر یک از نواحی تحت بررسی در منطقه سیستان پیش‌بینی شد که جمع کل سطح زیر کشت در منطقه سیستان 79756 هکتار می‌باشد (39).

تخصیص آب بین مناطق و محصولات

جدول 3- مقدار آب تخصیص یافته به هر منطقه و محصول در شرایط آبیاری کامل (هزار متر مکعب)

مناطق	میزان آب تخصیصی به محصول
-------	--------------------------

میزان آب تخصیصی به منطقه	گندم	جو	عدس	پياز	خرېزه	هندوانه	يونجه	انگور	
هیرمند یک	17363/87	205	1460	456	2769	6841	2941	666	674
هیرمند دو	14242/47	154	1758	49	2474	7652	3361	631	1208
هیرمند سه	18872/3	1298	1667	240	2867	7732	3325	900	506
هیرمند چهار	19588	147	1440	249	2754	6592	2876	625	573
هامون یک	14362/6	148	802	25	1152	9215	2036	2452	674
هامون دو	15541	751	1063	337	1250	8892	1751	2403	1652
هامون سه	13139	413	1624	163	1205	7847	3001	460	672
هامون چهار	15551/6	139	761	26	1295	8753	3727	1884	966
نیمروز یک	17945	331	1045	80	1223	8122	1498	1154	3397
نیمروز دو	13290/5	600	1307	621	1100	5723	1376	5096	1832
نیمروز سه	18525	137	1058	70	1283	7875	1355	1253	611
زابل یک	18694	409	836	159	1371	10523	2100	770	1576
زابل دو	15877	392	1007	23	1175	8600	1821	433	329
زهک یک	13930/7	1066	900	291	1396	9308	953	581	881
زهک دو	14464/6	207	1141	241	1613	8649	1632	495	1781
زهک سه	18426/6	471	1653	668	1988	5279	1539	1748	1009
جمع کل	260000	6868	19522	3698	26915	127603	35292	21551	18341

ماخذ: یافته‌های تحقیق

یکی از راههای مقابله با شرایط خشکسالی، کم‌آبایی می باشد لذا در این مطالعه برای مقابله با شرایط کم آبی سه سناریو کم آبایی شامل 5 درصد کم آبایی، 10 درصد کم آبایی و 15 درصد کم آبایی در نظر گرفته شد. در این حالت نیاز آبی محصول به میزان 5، 10 و 15 درصد کاهش داده و در هر یک از این حالت‌ها میزان سود، آب تخصیص داده شده به تفکیک برای هر شهرستان، عملکرد نسبی، نیاز آبی تامین شده، حجم آب مبادله شده محاسبه و با شرایط آبیاری کامل مقایسه شدند. نتایج مربوط به اعمال سناریوها در جداول 4، 5 و 6 آورده شده است

آبیاری کامل به شرایطی گفته می‌شود که هدف تامین نیاز آبی گیاه به طور کامل باشد با در نظر گرفتن نیاز آبی گیاه، مقدار آب موجود در بخش کشاورزی که 260 میلیون مترمکعب برآورد شده بود، ابتدا بین مناطق و سپس بین محصولات مختلف تخصیص داده شد. در بین مناطق بیشترین آب به منطقه هیرمند 4 و کمترین آب به نیمروز 2 تخصیص داده شده است. در بین محصولات نیز بیشترین آب به خربزه و هندوانه به دلیل بازدهی بالا و نیاز آبی پایین این محصولات و کمترین آب به گندم به دلیل بازدهی پایین و نیاز آبی بالا تخصیص داده شده است.

جدول 4- مقدار آب تخصیص یافته به هر منطقه و محصول در شرایط 5 درصد کم آبایی (هزار متر مکعب)

مناطق	میزان آب تخصیصی به منطقه	گندم	جو	عدس	پياز	خرېزه	هندوانه	يونجه	انگور
هیرمند یک	18923	836	1423	260	2259	4181	3283	1331	994
هیرمند دو	17741	614	4140	79	2352	6312	3532	2661	575
هیرمند سه	18344	154	1805	115	2638	6283	3299	664	580
هیرمند چهار	17302	937	2382	494	2688	6745	3081	625	2193
هامون یک	12540	148	796	160	1197	7473	1333	1152	466
هامون دو	14910/5	141	1205	282	1230	7406	1896	548	2677
هامون سه	14225/8	243	724	317	1145	7826	2886	721	385
هامون چهار	14726/8	365	816	133	1029	8778	2080	2115	377

1345	8388	6204	6979	867	651	1136	845	17106	نیمروز یک
1434	512	1472	8708	1138	56	1317	483	17309	نیمروز دو
1396	2839	4466	7457	1218	37	927	137	16954	نیمروز سه
585	629	1485	9192	1302	140	984	352	17250	زابل یک
323	1735	1499	8047	1096	74	796	286	14438	زابل دو
466	462	953	6658	1125	180	1552	1772	14439	زهک یک
487	2272	1023	8048	1532	441	1171	432	16766	زهک دو
2109	1955	1951	4985	1996	283	1570	459	17018	زهک سه
16390	28609	40442	115077	24814	3700	22743	8205	260000	جمع کل

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول 5- مقدار آب تخصیص یافته به هر منطقه و محصول در شرایط 10 درصد کم آبیاری (هزار متر مکعب)

مناطق	میزان آب تخصیصی به منطقه	میزان آب تخصیصی به محصول							انگور
		گندم	جو	عدس	پیاز	خریزه	هندوانه	یونجه	
هیرمند یک	14962	1553	1407	75	2492	4685	3160	1436	901
هیرمند دو	18853	693	3248	462	2411	5929	3367	753	791
هیرمند سه	16383	260	1842	509	2581	4063	2934	3520	444
هیرمند چهار	15007	1368	1445	144	2546	3807	3392	1367	432
هامون یک	12546	1145	745	121	1134	5368	1345	698	1231
هامون دو	15877	141	1414	26	966	7843	3046	1156	670
هامون سه	14090	359	1463	318	929	8054	1806	501	640
هامون چهار	13055/8	874	978	375	1173	5232	3894	770	625
نیمروز یک	19449	522	1179	150	1024	8907	1842	627	393
نیمروز دو	18108	284	1259	200	1119	7015	3010	932	332
نیمروز سه	19318	991	1045	37	1029	9151	2649	552	1340
زابل یک	17064	381	1329	173	1170	8896	4203	679	417
زابل دو	15871	293	6003	137	993	7414	4509	4781	3720
زهک یک	13502	834	2365	26	702	9191	5671	462	566
زهک دو	16739	212	1024	122	1452	7692	2487	933	1061
زهک سه	19068	234	1330	38	1973	5065	2468	1808	2432
جمع کل	260000	10144	28075	2912	23694	108311	49781	20976	15995

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول 6- مقدار آب تخصیص یافته به هر منطقه و محصول در شرایط 15 درصد کم آبیاری (هزار متر مکعب)

مناطق	میزان آب تخصیصی به منطقه	میزان آب تخصیصی به محصول							انگور
		گندم	جو	عدس	پیاز	خریزه	هندوانه	یونجه	
هیرمند یک	16413/7	153	1579	620	2281	8410	3585	1940	2395
هیرمند دو	13380/5	154	1271	148	2188	5861	2948	1609	566
هیرمند سه	17325	1781	1449	258	2242	3975	2958	646	676

1225	652	3929	5438	2268	261	1428	224	16704	هیرمند چهار
421	531	1760	8277	1071	332	939	581	17218	هامون یک
372	739	1603	8700	1098	318	898	141	16096	هامون دو
773	460	1788	7647	1024	173	1067	347	13274	هامون سه
1150	623	1411	8801	965	121	872	139	16392	هامون چهار
678	627	4592	8733	790	88	963	124	19048	نیمروز یک
503	3816	2934	7492	856	61	823	188	17724	نیمروز دو
1132	1260	2489	8302	1090	483	937	447	14308	نیمروز سه
417	2010	1619	9259	1165	139	1119	688	17933	زابل یک
305	903	2911	7269	869	161	1760	502	16527	زابل دو
509	462	3882	8997	1349	90	750	1917	17964	زهک یک
4432	4289	4073	9262	1371	187	5383	243	16553	زهک دو
1124	1127	1539	4502	1863	302	1427	132	13120	زهک سه
16679	21692	44021	120924	22491	3743	22665	7760	260000	جمع کل

ماخذ: یافته‌های تحقیق

تخصیص آب به سمت محصولاتی پیش می‌رود که صرفه اقتصادی بالاتری داشتند

نیاز آبی تامین شده

از آنجائیکه منطقه در شرایط خشکسالی قرار دارد و آورد رودخانه هیرمند بسیار کم می‌باشد و سطح زیر کشت پیش‌بینی شده 79756 هکتار می‌باشد لذا با این مقدار آب محصولات به طور کامل نیاز آبی خود را دریافت نکرده‌اند. نتایج مربوط به متوسط میزان نیاز آبی تامین شده محصولات در جدول 7 آورده شده است

جدول 7- متوسط نیاز آبی تامین شده محصولات منتخب در مناطق مختلف (درصد)

گندم	جو	عدس	پياز	خریزه	هندوانه	یونجه	انگور
17	7	38	96	64	6	6	15
21	8	42	93	61	8	9	14
29	12	34	92	62	11	7	15
21	10	46	94	72	10	8	15

ماخذ: یافته‌های تحقیق

در مدل محصولی که سودآوری بیشتری داشته باشد با تنش کمتری مواجه می‌شود تا کاهش محصول کمتری داشته باشد. در نمودار 2 تا 5 عملکرد نسبی محصولات در سناریوهای مختلف آبیاری کامل و کم آبیاری نمایش داده شده است. از آنجا که حد اقتصادی بودن عملکرد گیاهان ضریب 0/7 در نظر گرفته شده است (40). برای محصولاتی که این نسبت برای آنها کمتر از 0/7 می‌باشد نشان می‌دهد که کشت این گیاهان در شرایط کم آبی به دلیل نیاز آبی بالا و کاهش عملکرد چندان اقتصادی نیست. در شرایط آبیاری کامل عملکرد تخمینی به دست آمده برای پیاز در همه مناطق تحت بررسی بیشتر از 0/7 می‌باشد، بعد از پیاز خربزه بیشترین نسبت عملکرد را داشته است. با اعمال سناریو کم آبیاری کاهش در عملکرد نسبی برای محصولات کاهش پیدا

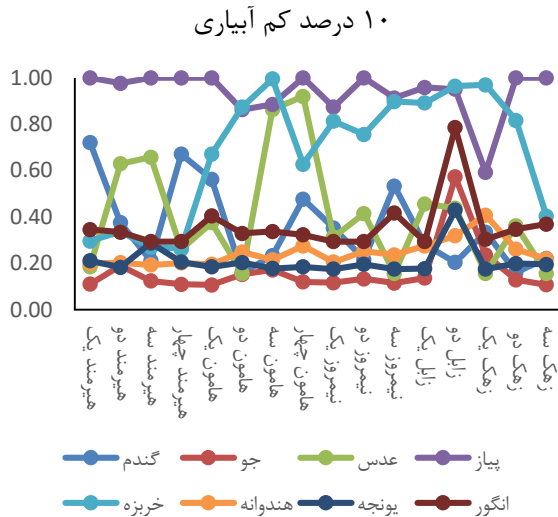
با اعمال گزینه‌های کم آبیاری، با استفاده از مدل پیشنهادی مقدار آب موجود در بخش کشاورزی بین محصولات و مناطق تخصیص داده شد به طوریکه اهداف مورد نظر مدل برآورده شود. در سناریو 5 درصد کم آبیاری بیشترین آب به هیرمند یک، در سناریو 10 و 15 درصد کم آبیاری بیشترین آب به نیمروز یک و در بین محصولات نیز بیشترین آب در هر سه سناریو به خربزه اختصاص پیدا کرده است. با اعمال سناریو کم آبیاری و صرفه جویی در آب مصرفی میزان آب تخصیص داده شده به محصولات افزایش یافته است و این افزایش برای محصولاتی که نیاز آبی بالاتری بیشتری داشتند کمتر بوده است. و

با توجه به نتایج جدول 7 مشاهده می‌شود در تمام سناریوها پیاز به دلیل سود اقتصادی بالا بیش از 90 درصد نیاز آبی خود را دریافت کرده است. با اعمال سناریو کم آبیاری به دلیل افزایش آب قابل دسترس برای گیاه مقدار تامین نیاز آبی برای محصولات نیز افزایش یافته است. نیاز آبی تامین شده یونجه نسبت به سایر محصولات کمتر است و این نشان می‌دهد آب کمی در هر سه سناریو به این محصول تخصیص داده شده است که می‌تواند به علت نیاز آبی بالای این محصول باشد.

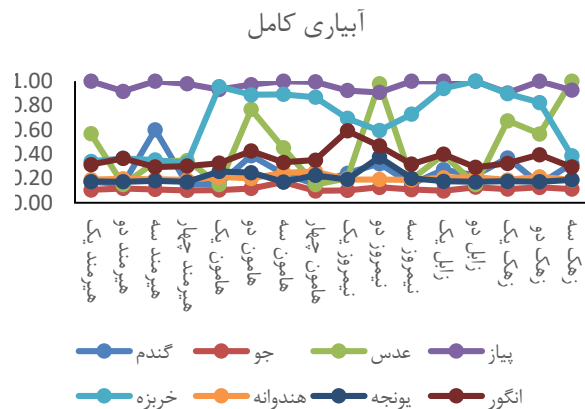
عملکرد نسبی

با اعمال تنش آبی و عدم تامین آب کافی مورد نیاز، با کاهش محصول مواجه خواهیم شد به طوریکه برای محصولات با ضریب حساسیت بالا با کاهش بیشتر محصول روبه‌رو خواهند شد البته با توجه به تابع هدف

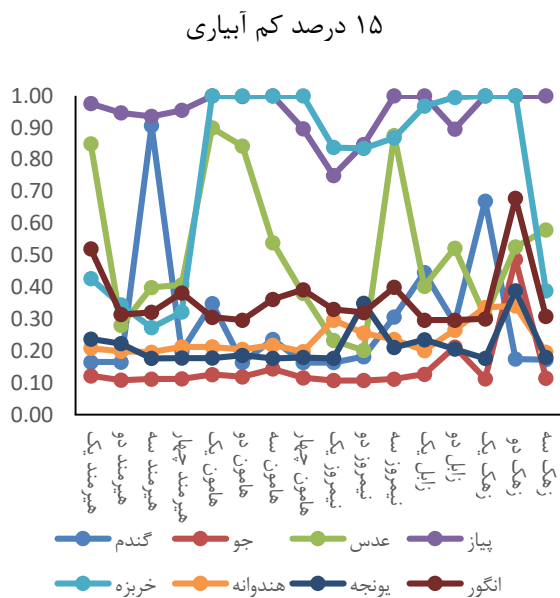
کرده است. نتایج شیرشاهی و همکاران (29) نشان داد که کشت محصولات گوجه، یونجه و چغندر قند به دلیل اینکه عملکرد نسبی آنها کمتر از 0/7 می باشد اقتصادی نیست.



نمودار 3- نتایج عملکرد نسبی محصولات در مناطق مختلف در سناریو 10 درصد کم آبیاری



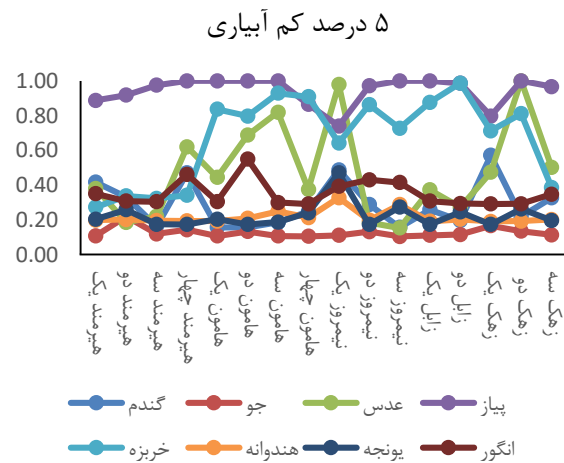
نمودار 1- نتایج عملکرد نسبی محصولات در مناطق مختلف در سناریو آبیاری کامل



نمودار 4- نتایج عملکرد نسبی محصولات در مناطق مختلف در سناریو 15 درصد کم آبیاری

سود اقتصادی سیستم

با اعمال سناریوهای کم آبیاری مقدار سود اقتصادی و شاخص E در هر یک از سناریوها محاسبه شد



نمودار 2- نتایج عملکرد نسبی محصولات در مناطق مختلف در سناریو 5 درصد کم آبیاری



بیشترین مقدار سود در بین مناطق در همه سناریوها متعلق به چهار منطقه هیرمند می‌باشد و کمترین سود اقتصادی را در منطق زابل دو داشته‌ایم. در رتبه بندی سود اقتصادی بین محصولات تولید خربزه، پیاز و هندوانه بیشترین سود اقتصادی را به همراه داشته است و کمترین سود نیز تولید گندم و عدس دارد.

در این مطالعه تلاش شده است علاوه بر در نظر گرفتن شرایط کم آبیاری اثرات شکل گیری بازارهای آب منطقه‌ای بر تخصیص آب بین مناطق و محصولات نیز ارزیابی شود. نتایج حاصل از مبادله آب بین مناطق تحت سناریوهای مختلف در جدول 8 آورده شده است

آبیاری کامل	5 درصد کم آبیاری	10 درصد کم آبیاری	15 درصد کم آبیاری	
17847	16840	20090	20435	حجم آب فروخته شده
17847	16840	20090	20435	حجم آب خریداری شده

کم آبیاری مقدار آب در دسترسی افزایش پیدا می کند لذا این آب صرفه جویی شده یا جهت تخصیص به محصولات و یا خرید و فروش استفاده می شود. نتایج حاصل از مبادله آب در سناریوهای مختلف کم آبیاری به تفکیک بین مناطق مختلف در نمودارهای 9-6 نشان داده شده است.

سناریو	سود اقتصادی (ریال)	سیستم	شخص E
آبیاری کامل	$2/71 \times 10^{11}$		0/0334
5 درصد کم آبیاری	$2/77 \times 10^{11}$		0/033
10 درصد کم آبیاری	$2/79 \times 10^{11}$		0/031
15 درصد کم آبیاری	$3/04 \times 10^{11}$		0/030

از آنجائیکه مقدار شاخص E مقداری کوچک و نزدیک به صفر است نشان میدهد تخصیص آب بین مناطق عادلانه می‌باشد. و با اعمال سناریوها مقدار این شاخص نیز کاهش یافته است و نشان می‌دهد چنانچه کم آبیاری اعمال شود تخصیص آب بین مناطق عادلانه‌تر خواهد بود. مقدار سود اقتصادی در شرایط آبیاری کامل $2/71 \times 10^{11}$ ریال میباشد که در سناریوهای مختلف مقدار سود اقتصادی افزایش می‌یابد به طوری که با اعمال سناریوی کم آبیاری 5 درصد میزان سود $0/06 \times 10^{11}$ ، در سناریوی 10 درصد کم آبیاری $0/08 \times 10^{11}$ و در سناریوی 15 درصد کم آبیاری $0/33 \times 10^{11}$ ریال نسبت به حالت آبیاری کامل افزایش یافته است که این حاکی از این می‌باشد اب صرفه جویی شده ناشی از کم آبیاری باعث افزایش آب تخصیص داده شده به محصولات می‌شود که در نتیجه منجر به افزایش سود اقتصادی خواهد شد. در نمودار 3 مقایسه میزان سود هر منطقه در هر سناریو نشان داده شده است.

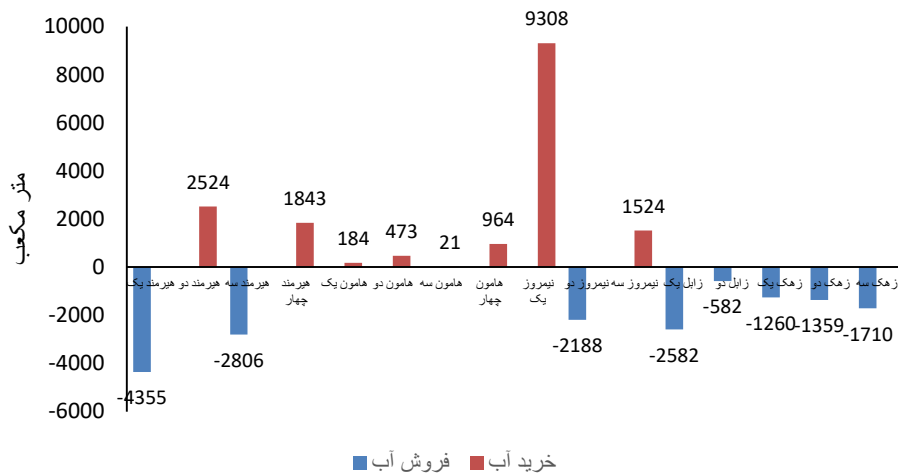
در شرایط آبیاری کامل حجم آب مبادله شده بین مناطق 17847 هزار متر مکعب بوده است که با اعمال شرایط کم آبیاری حجم آب مبادله شده نیز تغییر پیدا کرده است به طوریکه با اعمال 5 درصد کم آبیاری مقدار خرید و فروش آب به 16840 هزار مترمکعب کاهش پیدا کرده است. در شرایط کم آبیاری 10 درصد و 15 درصد مقدار خرید و فروش نسبت به آبیاری کامل افزایش پیدا کرده است از آنجائیکه با اعمال

آبیاری کامل



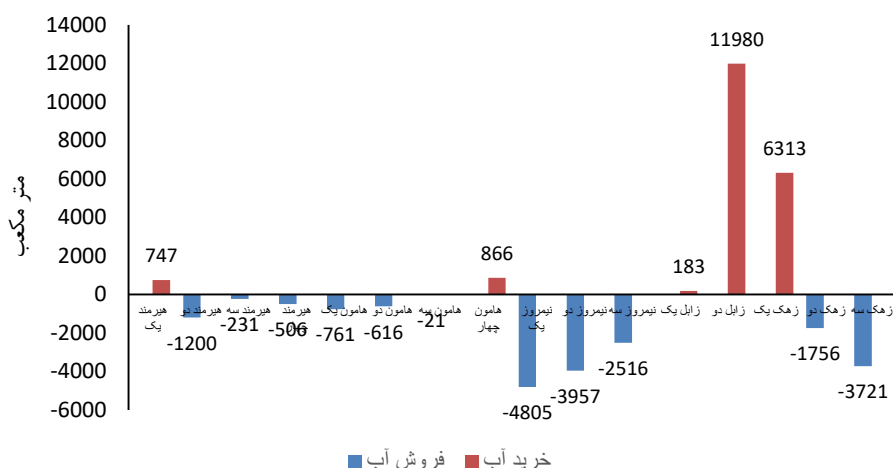
نمودار 6- میزان مبادله آب بین مناطق در شرایط آبیاری کامل

۵ درصد کم‌آبیاری



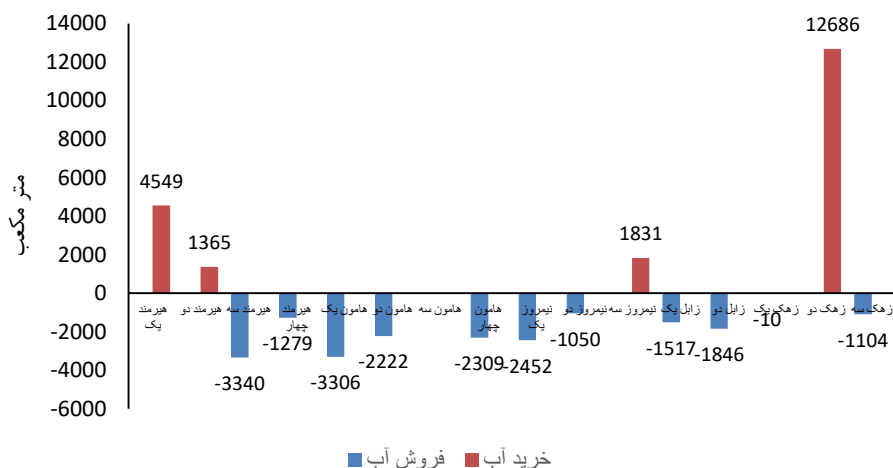
نمودار 7- میزان مبادله آب بین مناطق در شرایط 5 درصد کم‌آبیاری

۱۰ درصد کم آبیاری



نمودار 8- میزان مبادله آب بین مناطق در شرایط 10 درصد کم آبیاری

۱۵ درصد کم آبیاری



نمودار 9- میزان مبادله آب بین مناطق در شرایط 15 درصد کم آبیاری

در شرایط آبیاری کامل مناطق هیرمند سه، هامون چهار، نیمروز یک و زهک یک خریدار آب و سایر مناطق فروشنده آب بودند که بیشترین خرید آب توسط نیمروز یک انجام گرفته شده است و بیشترین فروش آب در زهک سه مشاهده می شود. با 5 درصد اعمال کم آبیاری بیشترین خرید در نیمروز یک و بیشترین فروش در هیرمند یک اتفاق افتاده است و چهار منطقه هامون، هیرمند چهار، نیمروز یک و سه خریدار آب و دیگر مناطق فروشنده آب بودند. در شرایط 10 درصد کم آبیاری نیز بیشترین مقدار فروش آب در نیمروز یک و بیشترین خرید آب در زابل دو و در شرایط 15 درصد کم آبیاری بیشترین خرید توسط زهک دو و بیشترین فروش توسط هیرمند سه انجام گرفته است.

بحث و نتیجه گیری

هدف در این مطالعه تخصیص منابع آب در بخش کشاورزی جهت توسعه پایدار می باشد که برای این منظور از مدل استاکلبرگ - نش - کورنو که یکی از انواع مدل های برنامه ریزی دو سطحی می باشد، استفاده شده است. این مدل نه تنها تعادل بین مدیران و کشاورزان را مورد توجه قرار می دهد بلکه مبادله آب بین مناطق نیز در این مدل در نظر گرفته می شود. یافته های پژوهش از این نظر اهمیت دارند که نشان می دهند با اعمال یک مدیریت بهینه و هدفمند جهت تخصیص آب می توان اثرات خشکسالی را جبران نمود به طوریکه که با تغییرات حاصل از بهینه سازی، میتوان سود خالص کشاورزان را در بسیاری از موارد افزایش داد. اگرچه کم آبیاری در حال حاضر در منطقه سیستان به منظور ایجاد درآمد از طریق فروش آب انجام نمی شود، اما این یک رویکرد قابل قبول جهت استفاده بهینه آب برای مناطق و محصولات که بازده اقتصادی بیشتری دارند مفید خواهد بود.

سود خالص سالانه در سناریو آبیاری کامل $2/71 \times 10^{11}$ ریال می باشد و میزان کل آب در دسترس برای بخش کشاورزی 260 میلیون متر مکعب می باشد. مقدار شاخص نابرابری تخصیص در آب بدست آمده در این سناریو 0/0334 می باشد که مقدار این شاخص نزدیک به صفر می باشد و نشان می دهد تخصیص آب بین مناطق عادلانه بوده است. در بین محصولات بیشترین آب به محصول خربزه و کمترین آب به محصول گندم تخصیص داده شده است. با اعمال سناریو کم آبیاری مقدار سود افزایش و مقدار شاخص نابرابری تخصیص در آب کاهش می یابد. نتایج نشان داد در صورت استفاده از روش کم آبیاری، منفعت حاصل از مقدار آب ذخیره شده جبران کاهش عملکرد محصول را کرده و با استفاده از مقدار آب صرفه جویی می توان به محصولات پربازده آب بیشتری تخصیص داد و ضرر ناشی از کاهش عملکرد را جبران کرد. همچنین با اعمال سناریو کم آبیاری کاهش در عملکرد نسبی برای محصولات کاهش پیدا می کند. کم آبیاری سبب شده است که نیاز آبی تامین نشده محصولات کاهش یابد و درصد بیشتری از نیاز آبی آنها تامین شود. نتایج مطالعه حاضر منطبق با نتایج مطالعه ایگزیرو و همکاران (8) و یائو و همکاران (9) می باشد آنها نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که با ایجاد بازار آب و معامله آب بین مناطق تحت آبیاری سود اقتصادی افزایش خواهد یافت و تخصیص آب بین مناطق عادلانه تر خواهد بود. همچنین فرانسیسکو و همکاران (6) زنگ و همکاران (38)، غفاری مقدم و همکاران (14) در مطالعات خود به اثر بخشی بازار آب در فرایند تخصیص آب نیز اشاره نمودند. در این مطالعه علاوه بر تخصیص آب در شرایطی که بازار آب ایجاد می شود شرایط کم آبیاری نیز در نظر گرفته شده است.

پیشنهادهای

با توجه به نتایج سیاست تلفیقی شامل اعمال کم آبیاری و بازار آب منجر به افزایش مبادله آب بین مناطق و سود اقتصادی خواهد شد لذا پیشنهاد

می شود جهت پایداری منابع آب در منطقه سیستان از این سیاست به عنوان ابزاری موثر استفاده نمود. از نتایج این تحقیق به عنوان کمک یار مدیران شبکه و افراد مسئول برای تخصیص آب می توان استفاده کرد.

تعریف متغیرها و پارامترها

نماد	توضیحات
i	مناطق تحت آبیاری $i = 1, 2, \dots, m$
j	نوع محصول در منطقه آبیاری $j = 1, 2, \dots, n$
S	کل آب موجود در بخش کشاورزی (مترمکعب)
b_{ij}	بازده خالص محصول j در منطقه i به ازای هر واحد آب (ریال)
γ	قیمت آب که توسط رهبر تعیین می شود (ریال)
c_i	هزینه آبی که از بازار آب خریداری می شود (ریال)
A_{ij}	سطح زیر کشتی محصول j در منطقه i (هکتار)
η	راندمان آبیاری
A_i	سطح زیر کشت در منطقه i (هکتار)
Y_{aij}	عملکرد واقعی محصول j به ازای یک هکتار در منطقه i (کیلوگرم)
Y_{pij}	عملکرد بالقوه محصول j به ازای یک هکتار در منطقه i (کیلوگرم)
R_i	سود اقتصادی (ریال)
X_i	میزان حق ایه اولیه هر منطقه i که توسط تصمیم گیرنده سطح بالا (رهبر) تعیین می شود (مترمکعب)
ET_a	آبی که به هر محصول در منطقه i تخصیص داده می شود و توسط تصمیم گیرنده سطح پایین (پیرو) تعیین می شود (مترمکعب)
BSW_i^-	مقدار آب فروخته شده (مترمکعب)
BSW_i^+	مقدار آب خریداری شده (مترمکعب)
τ_i	متغیر 0-1 که آیا آب خریداری شود یا خیر
ET_p	حداکثر نیاز آبی گیاه (مترمکعب)
ET_m	حداقل آب مورد نیاز گیاه برای ادامه حیات و عدم قرار گرفتن در تنش های معنی دار آبی (مترمکعب)

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر از محل گرنت پژوهشگاه زابل با کد IR-RIOZ-GR-0702 تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: زهرا غفاری مقدم، علی سردار شهرکی؛ روش-شناسی و تحلیل داده ها: زهرا غفاری مقدم، آرش غفاری مقدم؛

نظارت و نگارش نهایی: زهرا غفاری مقدم، علی سردار شهرکی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

رویدادیند ویرایش نشده

References

1. Ren C, Li Z, Zhang H. Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. *Journal of Cleaner Production*. 2019;210:12-24.
2. Li M, Fu Q, Singh VP, Ma M, Liu X. An intuitionistic fuzzy multi-objective non-linear programming model for sustainable irrigation water allocation under the combination of dry and wet conditions. *Journal of Hydrology*. 2017;555:80-94.
3. Zhang F, Guo P, Engel BA, Guo S, Zhang C, Tang Y. Planning seasonal irrigation water allocation based on an interval multiobjective multi-stage stochastic programming approach. *Agricultural Water Management*. 2019;223:105692.
4. Wu D, Liu M. Coordinated optimal allocation of water resources and industrial structure in the Beijing–Tianjin–Hebei regions of China. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*. 2022;20(4):392-401.
5. Feng J. Optimal allocation of regional water resources based on multi-objective dynamic equilibrium strategy. *Applied Mathematical Modelling*. 2021;90:1183-203.
6. Francesco S, Dionisio, P., Carlos, G., Vito, F. An ensemble experiment of mathematical programming models to assess socio-economic effects of agricultural water pricing reform in the Piedmont Region, Italy. *Journal of Environmental Management*. 2020;17(3). Epub 29.
7. Zeng X, Li Y, Huang G, Liu J. Modeling water trading under uncertainty for supporting water resources management in an arid region. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 2016;142(2):04015058.
8. Xu Z, Yao L, Zhou X, Moudi M, Zhang L. Optimal irrigation for sustainable development considering water rights transaction: A Stackelberg-Nash-Cournot equilibrium model. *Journal of Hydrology*. 2019;575:628-37.
9. Yao L, Xu Z, Chen X. Sustainable water allocation strategies under various climate scenarios: A case study in China. *Journal of Hydrology*. 2019;574:529-43.
10. Alarcón J, Juana L. The Water Markets as Effective Tools of Managing Water Shortages in an Irrigation District. *Water Resources Management*. 2016;30(8):2611-25.
11. Yue Q, Zhang F, Zhang C, Zhu H, Tang Y, Guo P. A full fuzzy-interval credibility-constrained nonlinear programming approach for irrigation water allocation under uncertainty. *Agricultural Water Management*. 2020;230:105961.
12. Li M, Xu Y, Fu Q, Singh VP, Liu D, Li T. Efficient irrigation water allocation and its impact on agricultural sustainability and water scarcity under uncertainty. *Journal of Hydrology*. 2020;586:124888.
13. Elleuch MA, Anane M, Euch J, Frikha A. Hybrid fuzzy multi-criteria decision making to solve the irrigation water allocation problem in the Tunisian case. *Agricultural systems*. 2019;176:102644.
14. Wu R-S, Liu J-S, Chang S-Y, Hussain F. Modeling of mixed crop field water demand and a smart irrigation system. *Water*. 2017;9(11):885.
15. Lin P, You J, Gan H, Jia L. Rule-based object-oriented water resource system simulation model for water allocation. *Water Resources Management*. 2020;34:3183-97.
16. Li M, Li J, Singh VP, Fu Q, Liu D, Yang G. Efficient allocation of agricultural land and water resources for soil environment protection using a mixed optimization-simulation approach under uncertainty. *Geoderma*. 2019;353:55-69.
17. Wang Y, Yang J, Chang J. Development of a coupled quantity-quality-environment water allocation model applying the optimization-simulation method. *Journal of Cleaner Production*. 2019;213:944-55.
18. Chakraei I, Safavi HR, Dandy GC, Golmohammadi MH. Integrated simulation-optimization framework for water allocation based on sustainability of surface water and groundwater resources. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 2021;147(3):05021001.
19. Zeng Y, Li J, Cai Y, Tan Q, Dai C. A hybrid game theory and mathematical programming model for solving trans-boundary water conflicts. *Journal of Hydrology*. 2019;570:666-81.

- 20.Kosolapova NA, Matveeva LG, Nikitaeva AY, Molapisi L. Modeling resource basis for social and economic development strategies: Water resource case. *Journal of Hydrology*. 2017;553:438-46.
- 21.Philpot SL, Johnson PA, Hipel KW. Analysis of a brownfield management conflict in Canada. *Hydrological Research Letters*. 2017;11(3):141-8.
- 22.Geerts S, Raes D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*. 2009;96(9):1275-84.
- 23.Fereres E, Soriano MA. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of experimental botany*. 2007;58(2):147-59.
- 24.Mahmoudzadeh Varzi M, Trout TJ, DeJonge KC, Oad R. Optimal water allocation under deficit irrigation in the context of Colorado water law. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2019;145(5):05019003.
- 25.Trout TJ, Howell, T. A., English, M. J., Martin, D. L. Deficit irrigation strategies for the western US. *Transactions of the ASABE*. 2020;63(6):12.
- 26.English M, Raja SN. Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 1996;32(1):1-14.
- 27.Englsih M, Music J, Murty V. Deficit irrigation. *Management of Farm Irrigation Systems ASAE Monograph*, Michigan. 1990:631-63.
- 28.Salemi H, Soom MAM, Lee TS, Mousavi SF, Ganji A, Yusoff MK. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of Winter wheat in arid region. *African Journal of Agricultural Research*. 2011;610(1):2204-15.
- 29.Shirshahi F, Babazadeh H, Ebrahimipak N, Khaledian M. Determining Optimum major Crops Cultivation Areas in Different Levels of deficit Irrigation in Qazvin Irrigation and drainage district. *Water and Soil Science*. 2020;30(1):69-81.
- 30.Mohammad khani M, karimi m, Gomrokchi a. Optimization of Water Allocation between Different Crops in Water Stress Conditions in Qazvin Irrigation Network. *Water and Soil*. 2017;31(1):1-10.
- 31.Pande G, Umamahesh N. Optimal Cropping Pattern and Water Allocation Using Ga Under Deficit Irrigation Conditions. 2022.
- 32.Ali S. Optimal Allocation of Water Resources of Hirmand Basin by Application of Game Theory and Evaluating the Managerial Scenarios [thesis]: university of Sistan and Baluchestan. ; 2016.
- 33.Ghaffari Moghadam Z, SardarShahraki A. Prediction of monthly consumption of drinking water in the Sistan region under climate change impact. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 2023;12(37):75-100.
- 34.Zapata-Sierra AJ, Manzano-Agugliaro F. Controlled deficit irrigation for orange trees in Mediterranean countries. *Journal of Cleaner Production*. 2017;162:130-40.
- 35.Clark D, Smith M, El-Askari K, editors. *CropWat for Windows: user guide*. 2001: IHE Oak Brook, IL, USA.
- 36.Steduto P, Hsiao TC, Fereres E, Raes D. *Crop yield response to water: fao Rome*; 2012.
- 37.Graveline N, Mérel P. Intensive and extensive margin adjustments to water scarcity in France's Cereal Belt. *European Review of Agricultural Economics*. 2014;41(5):707-43.
- 38.Goetz RU, Martínez Y, Xabadia À. Efficiency and acceptance of new water allocation rules-The case of an agricultural water users association. *Science of the total environment*. 2017;601:614-25.
- 39.Ghaffari Moghadam Z, Moradi E, Hashemi Tabar M, Sardar Shahraki A. Developing a Bi-level programming model for water allocation based on Nerlove's supply response theory and water market. *Environment, Development and Sustainability*. 2023;25(6):5663-89.
- 40.Georgiou P, Papamichail D, Vougioukas S. Optimal irrigation reservoir operation and simultaneous multi-crop cultivation area selection using simulated annealing. *Irrigation and drainage: the journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*. 2006;55(2):129-44.