Research Paper

Agricultural Water Pricing Under Conditions of Uncertainty (Case study: Rafsanjan-Anar plain)

Simin Mohseni[1], Mohammad Reza Zare Mehrjerdi[2*], Mohammad Abdolahi Ezzatabadi[3], Hossein Mehrabi Boshrabadi[4]

1. PhD Student of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, mohseni.simin@agr.uk.ac.ir

2. Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, zare@mail.uk.ac.ir (Corresponding author)

3. Assistant Professor of Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran, abdolahi@pri.ir

4. Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, hmehrabi@uk.ac.ir

10.22125/IWE.2023.173318

Received:
January 4, 2022
Accepted:
April 9, 2022
Available online:
June 25, 2023

Keywords:
Interval mathematical programming, Pistachio, Risk, Uncertainty, Agricultural water pricing, Water quality, Demand management

Abstract

Of major constraints for crop production in arid and semi-arid regions of Iran are the lack of water resources and drought, and due to uncontrolled groundwater abstraction, the quality of agricultural water is declining gradually. Water pricing is one of the tools for water resources planning and water demand management. In this regard, the present study aims to determine the economic value of water in agriculture with respect to its different qualities in conditions of uncertainty in Rafsanjan and Anar provinces. Using interval mathematical programming, the shadow price range for different qualities of water was obtained. The price elasticity of demand was estimated in order to evaluate the effectiveness of pricing, the standard water demand function and to use it more efficiently. The findings show that the shadow price of water varies within different groups, and fresh water, moderately saline water and highly saline water were of the highest economic value, respectively. Comparing the efficiency of the plan in the current and equilibrium modes reveals that although water consumption has decreased by 50%, but the efficiency of activity has decreased by only 13.44%, and this implies that the amount of water consumption can be reduced in the virtue of redistributing water in pistachio orchards with minimal reduction in activity efficiency. This is feasible via eliminating low quality, yet preserving higher yield pistachio orchards, may lead to reducing water consumption and extraction, and it also ensures high economic benefits for farmers.

1. Introduction

There are various methods for implementing water demand management policies, which include water markets, pricing and economic value of water input in the agricultural sector. Given that price reflects the scarcity of a particular economic commodity, knowing the price or economic value of water in economic sectors plays a crucial role in managing water demand (Easter et al., 1999).

2. Materials and Methods

Grey programming is among the system analysis methods in decision-making under uncertainty conditions. Grey programming theory has been proposed by Deng (1980) and Huang (1996) to solve uncertainty problems. The applied experimental sub-models are as follows:

$$\max Z^{+} = \sum GM^{+}_{ijkv} X^{+}_{ijkv} \qquad i = 1,2,3 \quad j = 1,2,3 \quad k = 1,2 \quad v = 1,2$$

$$s.t.$$

$$\sum I^{-}_{ijkv} X^{+}_{ijkv} \leq b^{+}_{i}$$

$$\sum X^{+}_{ijkv} \leq b^{+}_{k}$$

$$\sum X^{+}_{ijkv} \leq b^{+}_{v}$$

$$X^{+}_{ijkv} \geq 0$$

where "+" and "-" represent upper and lower bounds of parameters and decision variables, respectively. The experimental sub-model of the lower bound is as follows:

$$\max Z^{-} = \sum GM^{-}_{ijkv} X^{-}_{ijkv} \qquad i = 1,2,3 \quad j = 1,2,3 \quad k = 1,2 \quad v = 1,2$$

$$s.t.$$

$$\sum I^{+}_{ijkv} X^{-}_{ijkv} \leq b^{-}_{i}$$

$$\sum X^{-}_{ijkv} \leq b^{-}_{k}$$

$$\sum X^{-}_{ijkv} \leq b^{-}_{v}$$

$$X^{-}_{ijkv} \geq 0$$

3. Results

Table 1. Shadow price range of water as well as absolute value of price elasticity range of water demand

Different qualities of water	EC>12000	8000<EC<12000	EC<8000	Total water
Shadow price range of water (Rial/m^3)	[20058, 65128]	[100930, 138325]	[193394, 210916]	-
Absolute value of price elasticity range of water demand	[0, 62.5]	[0, 0.09]	[0, 0.9]	[0.5, 7.27]

As indicated in Table 1, fresh water had the highest economic value in pistachio orchards, followed by moderately and highly saline water, respectively. Moreover, demand for fresh water and moderately saline water had low elasticity. However, demand for highly saline water and total water was elastic.

4. Discussion and Conclusion

The results revealed economic values per cubic meter of fresh water as well as moderately and highly saline water were estimated to be IRR 193,394-210,916, IRR 100,930-138,325 and IRR 20,058-65,128, respectively, which was significantly greater than the water price paid by farmers in Rafsanjan-Anar

plain per cubic meter of water (IRR [0, 2000]), suggesting a significant difference between the economic and market values of water input. Thus, it is recommended to motivate farmers to conserve and use water properly in order to improve and sustain the agricultural production system by adjusting the water rate based on the economic value of water.

5. Six important references

1) Ahmadpour, M. and Sabuhi Sabuni, M. 2009. Water pricing in the agricultural sector using interval mathematical programming method: Case study of Dashtestan region. Agricultural Economics, 3(3): 121-141.

2). Chineck, J.W. and K. Ramadan. 2000. Linear programming with interval coefficients. Journal of Operational Research Society, 51: 209-220.

3). Huang, G.H. 1996. IPWM: an interval parameter water quality management model. Engineering Engineer Optimization, 26: 79-103.

4). Mohseni, S. 2013. Investigation of optimal allocation of water resources in Yazd. Master Thesis, Sistan and Baluchestan University, Faculty of Economics and Management.

5). Nie, X.H., G.H. Huang, Y.P. Li and L. Liu, 2007. IFRP: A hybrid interval– parameter fuzzy robust programming approach for waste management planning under uncertainty. Journal of Environmental Management, 84: 1-11.

6.) Varziri, A., M.H. Vakilpoor and S.A. Mortazavi. 2016. Investigating the effect of economic pricing of irrigation water on cultivation pattern in Dehgolan plain. Agricultural Economics Research, 8(3): 81-100.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to Rafsanjan Pistachio Research Institute for helping us with the data, particularly the questionnaires.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه و دو . تابستان ۱۴۰۲

قیمت‌گذاری آب کشاورزی در شرایط عدم حتمیت
(مطالعه موردی: دشت رفسنجان- انار)

سیمین محسنی[۱]، محمدرضا زارع مهرجردی[۲]، محمد عبداللهی عزت آبادی[۳]، حسین مهرابی بشرآبادی[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۰/۱۰/۱۴
تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۱/۲۰

مقاله پژوهشی

چکیده

کمبود منابع آب و خشکسالی اصلی‌ترین محدودیت برای تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است و با توجه به برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، کیفیت آب کشاورزی رو به کاهش است. یکی از مهم‌ترین سیاست‌های تأثیرگذار در برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت تقاضای آب در بخش کشاورزی، قیمت‌گذاری آب است. در این راستا هدف پژوهش حاضر، تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی برای کیفیت‌های مختلف آن در شرایط عدم حتمیت، در شهرستان‌های رفسنجان و انار می‌باشد. با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای، بازه قیمت سایه‌ای برای آب‌های با کیفیت‌های متفاوت، بدست آمد و برای بررسی اثربخشی قیمت‌گذاری، تابع تقاضای معیاری آب و جهت استفاده کارآمدتر از آن، کشش قیمتی تقاضا برآورد شد. یافته‌ها نشان می‌دهد قیمت سایه‌ای آب در گروه‌های مختلف متفاوت است و آب‌های شیرین، با شوری متوسط و با شوری بالا به ترتیب دارای بیشترین ارزش اقتصادی می باشند. مقایسه بازده برنامه در دو حالت فعلی و تعادلی نشان می دهد، علی‌رغم اینکه مقدار مصرف آب ۵۰ درصد کاهش پیدا کرده است اما بازده فعالیت تنها ۱۳/۴۴ درصد کاهش یافته است و این نشان می‌دهد که می‌توان با تخصیص مجدد آب در باغات پسته با حداقل کاهش در بازده فعالیت، مقدار مصرف آب را کاهش داد. این کار با حذف باغات با عملکرد و بازدهی پایین و حفظ باغات پسته با عملکرد بالاتر امکان‌پذیر است که هم باعث کاهش مصرف و استحصال آب و هم متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای، پسته، ریسک، عدم حتمیت، قیمت‌گذاری آب کشاورزی، کیفیت آب، مدیریت تقاضا

[۱] دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، mohseni.simin@agr.uk.ac.ir

[۲] استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، zare@mail.uk.ac.ir (نویسنده مسئول)

[۳]استادیار پژوهش، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران، abdolahi@pri.ir

[۴] استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، hmehrabi@uk.ac.ir

مقدمه

امروزه تأمین آب و غذا از اساسی‌ترین نیازهای جوامع بشری می‌باشند اگرچه بهبود استانداردهای زندگی و حفاظت محیط زیست نیز مهم هستند. علاوه بر رشد روزافزون جمعیت، عواملی چون تخریب منابع طبیعی، گسترش زمینهای شور و آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی محدودیت منابع آب و خاک را شدیدتر کرده است (ناظمی، ۲۰۰۰). شیوع وخامت کیفیت آب و افزایش آگاهی در مورد مشکلات محیط‌زیستی و اجتماعی مرتبط با آب به ما کمک می کند تا بفهمیم چرا مدیریت منابع آب به یک چالش اساسی در سیاست تبدیل شده است (تسور، ۲۰۰۴).

وجود خلأ بین توان تأمین و شدت تقاضای آب، بیانگر این مهم است که تقاضای آب بحران‌آفرین بوده و یکی از بزرگترین چالش‌های قرن حاضر بشریت بشمار می‌رود که می‌تواند منشأ بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد. بنابراین با توجه به تنگناهای موجود در راستای بهره‌برداری، تخصیص، استفاده بهینه و جلوگیری از اتلاف این منبع ارزشمند و مبارزه با مشکل کم‌آبی بویژه در بخش کشاورزی، اتخاذ سیاست‌ها و راهبردهای درازمدت که از لوازم مدیریت کارآمد منابع آب می‌باشد، ضروری بوده تا با تأمین آب با کیفیت مشخص و تخصیص آن بین بخش‌های متفاوت، موجب بهبود مدیریت آب کشاورزی شده و تعادل بین عرضه و تقاضای آن برقرار گردد (ورزیری و همکاران، ۱۳۹۵؛ چیذری و همکاران، ۱۳۸۴).

برای اجرای سیاست‌های مدیریت تقاضای آب، ابزارهایی گوناگون وجود دارد که از آن جمله می‌توان به بازارهای آب، تعیین قیمت و ارزش اقتصادی نهاده آب در بخش کشاورزی اشاره کرد و از آنجا که مانند هر کالای اقتصادی دیگر، قیمت بیان کننده کمیابی آن کالا است، لذا اطلاع از قیمت یا ارزش اقتصادی آب در بخش‌های اقتصادی نقش تعیین‌کننده‌ای را در مدیریت تقاضای آب بر عهده دارد؛ به گونه‌ای که اگر این ارزش کمتر از واقعیت برآورد گردد باعث زیاده‌روی در مصرف آب شده و انگیزه را برای حفاظت و استفاده اقتصادی آن تضعیف کند و این امر سایر کشاورزان و مصرف‌کنندگان را نیز از مصرف آب محروم می‌نماید و باعث عدم تخصیص بهینه آب در بین مصارف مختلف آن می‌شود. از سوی دیگر، اگر ارزش آب بیش از حد تعیین گردد، باعث عدم رفاه اجتماعی و صدمه رسیدن به اقشار آسیب‌پذیر و کم‌توان از نظر مالی شده و مصرف آب را از سوی آنان با مشکل روبه‌رو می‌کند، و چنین قیمتی برای آب، مغایر با اهداف رشد کشاورزی و افزایش درآمد کشاورزان می‌باشد (ایستر[5] و همکاران، ۱۹۹۹؛ احسانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ زارع مهرجردی، ۱۳۹۰؛ ورزیری و همکاران، ۱۳۹۵؛ قرئلی، ۱۳۸۱؛ اسعدی و همکاران، ۱۳۹۸). تعیین یک قیمت منطقی برای آب در بخش کشاورزی، با توجه به سهم بالای آب تخصیص یافته به این بخش نسبت به دیگر بخشها (حدود ۹۰ درصد)، موجب افزایش کارایی در مصرف آب و جلوگیری از تغییرات شدید قیمت‌ها و تقویت انگیزه برای حفاظت، صرفه‌جویی و استفاده اقتصادی از آب می‌شود (خواجه روشنایی و همکاران، ۱۳۸۹؛ اسعدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ محمدپور هنگروانی، ۱۳۹۵؛ کلایی، ۱۳۹۳).

هدف اصلی فعالیت‌های کشاورزی به عنوان یک فعالیت اقتصادی بحث سودآوری است، از این رو طبیعی است که واحدهای تولیدی کشاورزی در مقابل تغییر متغیرهای اقتصادی واکنش نشان دهند. با افزایش قیمت آب هزینه نهایی استفاده از این نهاده افزایش یافته و همین مسئله سبب می‌گردد که ترکیبی از مصرف آب را انتخاب کنند که به ازای هر واحد آب مصرفی منافع بیش‌تری بدست آید. از این رو، افزایش هزینه بهره‌برداری نهاده آب از راه قیمت‌گذاری می‌تواند با فرض ثابت بودن سایر عوامل منجر به کاهش مصرف و تقاضای آب گردد (جاهنسون، ۲۰۰۳). همچنین قیمت‌گذاری آب قدمی مناسب و ضروری به سمت چارچوبی است که نهایتاً ارزش کامل و اقتصادی آب را روشن می‌سازد (بیسواس[6]، ۲۰۰۵).

دو شهرستان انار و رفسنجان از جمله شهرستان‌های شمالی استان کرمان می‌باشند. با توجه به شرایط آب و هوایی گرم و خشک، و پایین بودن کمیت و کیفیت آب در منطقه، تنها محصول کشاورزی اقتصادی و برجسته که در

[5] Easter et al.

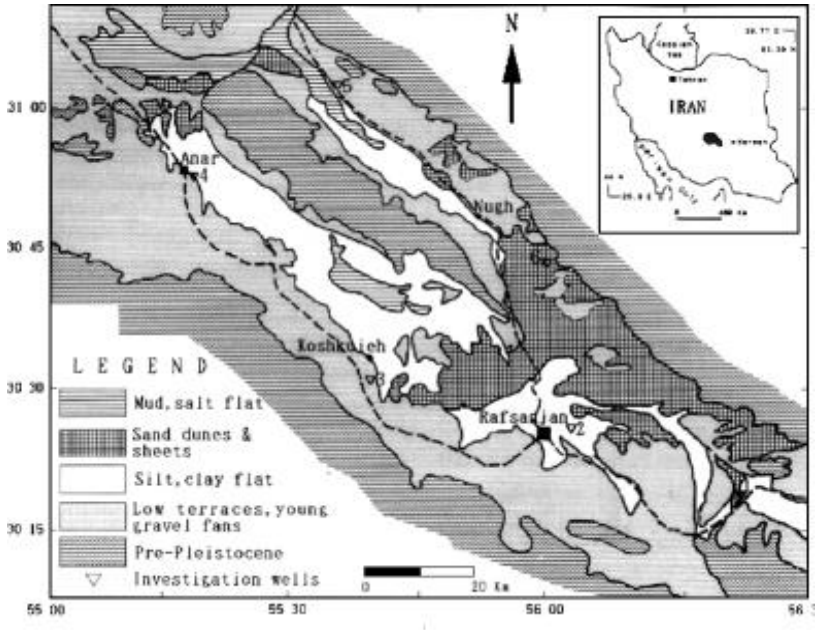
[6] Biswas

حال حاضر در این دو شهرستان کشت می‌شود پسته است و سایر محصولات به صورت محدود کشت می‌شوند و قابلیت رقابت با محصول پسته را ندارند. میزان بارندگی سالانه بسیار کم و متوسط آن در شهرستان انار و رفسنجان به ترتیب برابر با ۶۸.۶ و ۸۰.۳ میلی‌متر است. در این شهرستان‌ها رودخانه دائمی وجود ندارد و منبع اصلی تأمین آب دشت رفسنجان- انار، آب‌های زیرزمینی بوده است. نکته‌ای که مورد قبول تمام صاحب‌نظران و همچنین کشاورزان می‌باشد، مسأله تخریب منابع آب زیرزمینی است که ناشی از استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی می‌باشد (عبداللهی عزت آبادی و سالارنظر رفسنجانی‌پور، ۱۳۸۴). شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

افزایش سطح زیر کشت پسته در ایران، هر چند باعث رونق اقتصادی، افزایش صادرات و ارزآوری شده است، در کنار آن ناپایداری‌هایی در برداشت منابع آب را نیز ایجاد نموده است. به طوری‌که، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی علاوه بر افت سطح ایستابی، باعث کاهش کیفیت آب‌های منطقه نیز شده است. به طوری که سطح شوری آب برای شهرستان‌های انار و رفسنجان حداقل برابر با ۱۱۰۰ و حداکثر برابر با ۱۹۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد (پژوهشکده پسته رفسنجان، ۱۳۹۷). طبق آخرین آمار ارائه شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان کرمان، در حال حاضر سالانه ۵۴۰ میلیون متر مکعب آب از سفره‌های زیرزمینی در شهرستان‌های انار و رفسنجان در استان کرمان برداشت می‌شود. این در حالی است که طبق گزارشات همین شرکت، میزان تعادلی برداشت آب در این دو شهرستان سالانه ۲۷۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. به عبارت دیگر، برای داشتن پایداری برداشت آب از این منابع نیاز است تا بهره‌برداری آب از چاه‌های کشاورزی منطقه به نصف کاهش یابد.

با توجه به وضعیت بحرانی تمام دشت‌های کشور به لحاظ آب پروژه‌هایی از سوی وزارت نیرو تعریف شده که یکی از آن‌ها طرح تعادل‌بخشی و احیاست. در استان کرمان شش دشت پایلوت در نظر گرفته شده که یکی از آن‌ها دشت بحرانی رفسنجان- انار است که با توجه به بحرانی بودن آب در این دشت و کسری مخازن طرح تعادل‌بخشی و حفاظت از منابع آب قابل اجراست. تعادل‌بخشی به این معناست، طوری عمل کنیم که بیلان منفی آب صفر شود و احیا یعنی علاوه بر تعادل‌بخشی دشت را احیا کنیم و سطح آب را به ۲۰ سال گذشته برسانیم. در چارچوب آن بایستی در پایان اجرای طرح، برداشت از منابع آب به سطح پایدار برسد. به عبارت دیگر، لازم است جهت داشتن توسعه پایدار، بین سیاست‌های افزایش صادرات و حفاظت از منابع آب هماهنگی و تعادل ایجاد شده و در سمت منابع تولید، به ویژه آب بایستی ابزار و سیاست‌های مناسبی جهت حفاظت از این منابع به کار گرفته شود.

مطالعات فراوانی در زمینه قیمت‌گذاری آب انجام شده است، اما در مطالعات محدودی برای کیفیت‌های مختلف آب، قیمت‌گذاری‌های متفاوتی در شرایط عدم حتمیت ارائه شده است. در این مطالعه سعی شد که با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای و درنظرگرفتن شرایط عدم حتمیت و با چهار محدودیت هدایت الکتریکی (EC)، مقدار مصرف آب، بافت خاک و نوع (رقم) پسته، قیمت‌های متفاوتی برای کیفیت‌های مختلف آب (آب شیرین، آب با شوری متوسط و آب بسیار شور) ارائه شود.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهرستان‌های انار و رفسنجان)

مواد و روش‌ها

در جهان واقعی، بسیاری از داده‌ها به دلیل دستیابی به اطلاعات و ناقص بودن آن‌ها، ناشناخته و مبهم هستند. یکی از فرض‌های برنامه‌ریزی ریاضی، فرض قطعی‌بودن و مشخص‌بودن پارامترها و علائم مدل تصمیم است. این مسائل غیرقطعی معمولاً توسط اعداد قطعی بیان می‌شوند، که برای بیان عدم حتمیت نادرست است (هاپ، ۲۰۰۷). برنامه‌ریزی خاکستری یکی از روش‌های تحلیل سیستم در تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم‌حتمیت است. تئوری برنامه‌ریزی خاکستری توسط دنگ (۱۹۸۰) و بعدها توسط هانگ (۱۹۹۶)، برای حل مسائل عدم حتمیت بیان شد. یک عدد که ارزش واقعی آن به طور قطعی نمی‌تواند بیان شود اما توسط یک بازه شناخته می‌شود یک عدد خاکستری است (هانگ، ۱۹۹۶).

الف- مبانی تئوریک (نظری) برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای

ابتدا با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای و محاسبه قیمت سایه‌ای، ارزش واقعی آب به دست می‌آید. بدین منظور نخست یک الگوی کشت بهینه برای کشاورز نماینده در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی بازه‌ای طراحی می‌شود و سپس با افزایش فرضی یک واحد به آب قابل دسترس در مدل، قیمت سایه‌ای آب محاسبه می‌شود.

روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی فازی (FMP)[7]، تصادفی (SMP)[8] و بازه‌ای (IMP)[9] برای بهینه‌سازی در شرایط عدم‌حتمیت (نبود حتمیت) به کار می‌رود. با وجود این که FMP می‌تواند به طور مؤثری جنبه احتمالی[10] یک مسأله بهینه‌سازی نامعین[11] را بیان کند، اما ممکن است منتج به زیرمدل‌های پیچیده‌ای شود که کاربرد عملی ندارد. افزون بر آن، FMP نمی‌تواند عدم‌حتمیت (نبود حتمیت) را به طور مستقیم در فرایند بهینه‌سازی وارد کند. روش SMP نیز برای بیان عدم‌حتمیت‌های احتمالی گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما به داده‌های زیادی برای تعیین توزیع‌های احتمال پارامترها نیاز دارد که این امر قابلیت آن را در عمل تحت تأثیر قرار می‌دهد (نای و همکاران، ۲۰۰۷). روش IMP به دلیل دارا بودن ویژگی‌های زیر بر دو روش بالا برتری دارد: ۱) این روش عدم‌حتمیت را در فرآیند بهینه‌سازی و جواب‌های به دست آمده، به طور مستقیم وارد

[7] Fuzzy Mathematical Programming
[8] Stochastic Mathematical Programming
[9] Interval Mathematical Programming
[10] Possibilistic
[11] Inexact

می‌کند. ۲) سبب پیچیده‌تر شدن مدل‌های واسطه‌ای نمی‌شود؛ بنابراین به ملزومات کمتری برای محاسبات نیاز دارد. ۳) این روش نیاز به اطلاعات توزیعی[12] برای پارامترهای مدل ندارد که این اطلاعات به ویژه در کاربردهای عملی مهم هستند؛ زیرا برای طراحان (مهندسان) در مقایسه با تعریف بازه‌های نوسان، تعیین توزیع‌ها به شکل معمول خیلی مشکل‌تر است (هانگ و همکاران، ۱۹۹۵؛ محسنی، ۱۳۹۱). بر این اساس به فرض اینکه ضرایب متغیرهای تصمیم در تابع هدف، ضرایب فنی و سمت راست محدودیت‌ها غیرقطعی و در یک بازه در نوسان باشند، فرم کلی برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای به صورت زیر قابل نمایش است (چاینک و رامادن، ۲۰۰۰؛ احمدپور و صبوحی، ۱۳۸۸).

$$Max \;\; Z^{\pm} = \sum_{i=1}^{n} GM_i^{\pm} X_i^{\pm} \qquad (۱)$$

$$S.t:$$

$$\sum_{i=1}^{n} A_{ij}^{\pm} X_i^{\pm} \le b_j^{\pm} \qquad j = 1, \dots, m$$

$$X_i^{\pm} \ge 0 \qquad \forall i$$

در اینجا $Z^{\pm}$ بازه سود ناخالص کل مزرعه؛ $GM_i^{\pm}$ بازه سود ناخالص فعالیت iام؛ $X_i^{\pm}$ بازه متغیر تصمیم iام؛ $A_{ij}^{\pm}$ بازه میزان نهاده jام مورد نیاز برای تولید یک واحد از محصول iام و $b_j^{\pm}$ بازه میزان نهاده jام در دسترس است.

برای حل مدل‌هایی مانند الگوی بالا، روشی توسط رومل‌فانگر و همکاران (۱۹۸۹) ارائه شد که در آن بر اساس این پیش‌فرض که حد بالا و پایین همبستگی شدید دارند و بنابراین، با مقدار میانگین بازه نیز همبسته‌اند، می‌توان تابع هدف بازه‌ای را به تعداد محدودی هدف قطعی تقسیم و چند مسأله برنامه‌ریزی خطی ساده ساخت. در اینجا می‌توان با درنظرگرفتن فقط حد بالا و پایین، مدل (۱) را به صورت دو زیرمدل (۲) و (۳) بازنویسی کرد (چاینک و رامادن، ۲۰۰۰؛ احمدپور و صبوحی صابونی، ۱۳۸۸).

$$Max \;\; Z^{+} = \sum_{i=1}^{n} GM_i^{+} X_i^{+} \qquad (۲)$$

$$S.t: \;\; \sum_{i=1}^{n} A_{ij}^{-} X_i^{+} \le b_j^{+U} \qquad j = 1, \dots, m$$

$$X_i^{+} \ge 0 \qquad \forall i$$

با حل زیرمدل (۲)، حد بالای بردار متغیر تصمیم (X_i^{+}) به دست خواهد آمد.

$$Max \;\; Z^{-} = \sum_{i=1}^{n} GM_i^{-} X_i^{-} \qquad (۳)$$

$$\text{S. t:} \;\; \sum_{i=1}^{n} A_{ij}^{+} X_i^{-} \le b_j^{-L} \qquad j = 1, \dots, m$$

$$X_i^{-} \ge 0 \qquad \forall i$$

با حل زیرمدل (۳)، نیز حد پایین بردار متغیر تصمیم (X_i^{-}) به دست خواهد آمد.

زیر مدل‌های تجربی به کار رفته در این مطالعه به صورت زیر است.

$$\max Z^{+} = \sum GM_{ijkv}^{+} X_{ijkv}^{+} \qquad i = 1,2,3 \quad j = 1,2,3 \quad k = 1,2 \quad v = 1,2 \qquad (۴)$$

$$s.t.$$

$$\sum I_{ijkv}^{-} X_{ijkv}^{+} \le b_i^{+}$$

$$\sum X_{ijkv}^{+} \le b_k^{+}$$

$$\sum X_{ijkv}^{+} \le b_v^{+}$$

$$X_{ijkv}^{+} \ge 0$$

علامت‌های "+" حد بالا و "-" حد پایین پارامترها و متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد و تمامی متغیرها در جدول (۱) تعریف شده‌اند. زیرمدل تجربی مربوط به حد پایین نیز به صورت زیر است:

$$\max Z^{-} = \sum GM_{ijkv}^{-} X_{ijkv}^{-} \qquad i = 1,2,3 \quad j = 1,2,3 \quad k = 1,2 \quad v = 1,2 \qquad (۵)$$

$$s.t.$$

$$\sum I_{ijkv}^{+} X_{ijkv}^{-} \le b_i^{-}$$

$$\sum X_{ijkv}^{-} \le b_k^{-}$$

$$\sum X_{ijkv}^{-} \le b_v^{-}$$

$$X_{ijkv}^{-} \ge 0$$

متغیرها، پارامترها و محدودیت‌های این زیرمدل نیز مشابه زیر مدل (۶) تعریف می‌شوند و فرم کلی تجربی برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای به کار رفته در این مطالعه به صورت زیر قابل نمایش است:

Max $Z^{\pm}$ = [644168624,4076000000] $X_{1111}^{\pm}$+ [9204749,434773359] $X_{1112}^{\pm}$ + [245894036, 2510250000] $X_{1121}^{\pm}$+ [239262480,1958063710] $X_{1122}^{\pm}$+ [-70235310,2245023000]$X_{1211}^{\pm}$+ [200663950, 1928343600]$X_{1212}^{\pm}$+ [-198923304, 2973000000] $X_{1221}^{\pm}$+ [142284188, 2065000000] $X_{1222}^{\pm}$+ [1075020335, 3751156000]$X_{1311}^{\pm}$+ [110201565, 1112036000] $X_{1312}^{\pm}$+ [480231069, 3626077000] $X_{1321}^{\pm}$+ [-147358702, 1499186000] $X_{1322}^{\pm}$+ [139182000, 407602000]$X_{2111}^{\pm}$+ [32377750, 269197750]$X_{2112}^{\pm}$+ [22022000, 407602000]$X_{2121}^{\pm}$+ [-26076686, 374375000]$X_{2122}^{\pm}$+ [361065759, 858150000] $X_{2211}^{\pm}$+ [1721148110, 4064439000] $X_{2212}^{\pm}$+ [79549980, 1152750000]$X_{2221}^{\pm}$+ [-300287670, 98392330] $X_{2222}^{\pm}$+ [664782000, 3756246000] $X_{2311}^{\pm}$+ [675374750, 2396865000]

[12] Distribution Information

$X^{\pm}_{2312}$+ [303169064, 2540271564]$X^{\pm}_{2321}$+ [383424500, 2310864500]$X^{\pm}_{2322}$+ [71363750, 843272950]$X^{\pm}_{3111}$+ [147623750, 874500000]$X^{\pm}_{3112}$+ [12543750, 751043750]$X^{\pm}_{3121}$+ [94653500, 860250000] $X^{\pm}_{3122}$+ [608850655, 1840745000] $X^{\pm}_{3211}$+ [-55221450, 292018550]$X^{\pm}_{3212}$+ [449061685, 1840745000] $X^{\pm}_{3221}$+ [-111021450, 292018550] $X^{\pm}_{3222}$+ [649639855, 1418325000] $X^{\pm}_{3311}$+ [594904920, 962337500] $X^{\pm}_{3312}$+ [-145730000, 504850000] $X^{\pm}_{3321}$+ [55655000, 252425000] $X^{\pm}_{3322}$ (۶)

$s.t.$

1) [5943, 2640]$X^{\pm}_{1111}$+ [5869, 4596]$X^{\pm}_{1112}$+ [5793, 3830]$X^{\pm}_{1121}$+ [5869, 2523]$X^{\pm}_{1122}$+ 11820, 6279]$X^{\pm}_{1211}$+ [9945, 6840]$X^{\pm}_{1212}$+ 11820, 6024]$X^{\pm}_{1221}$+ [10022, 6901]$X^{\pm}_{1222}$+ [19800, 12528]$X^{\pm}_{1311}$+ [15022, 13144]$X^{\pm}_{1312}$+ [92160, 12038]$X^{\pm}_{1321}$+ 30372, 13144]$X^{\pm}_{1322}$ ≤ [26936000, 287872000]

2) [2561, 2561]$X^{\pm}_{2111}$+ [1836, 1836]$X^{\pm}_{2112}$+ [5059, 5059]$X^{\pm}_{2121}$+ [1836, 973]$X^{\pm}_{2122}$+ [9918, 6235]$X^{\pm}_{2211}$+ [11264, 8142]$X^{\pm}_{2212}$+ [11263, 6977]$X^{\pm}_{2221}$+ [11264, 11264]$X^{\pm}_{2222}$+ [24198, 15604]$X^{\pm}_{2311}$+ [27400, 20442]$X^{\pm}_{2312}$+ [24198, 12749]$X^{\pm}_{2321}$+ [41472, 41472]$X^{\pm}_{2322}$ ≤ [144928443, 151856886]

3) [5211, 3819]$X^{\pm}_{3111}$+ [5211, 3370]$X^{\pm}_{3121}$+ [5613, 1688]$X^{\pm}_{3122}$+ [10744, 7297]$X^{\pm}_{3211}$+ [7072, 7072]$X^{\pm}_{3212}$+ [11576, 6895]$X^{\pm}_{3221}$+ [7072, 7072]$X^{\pm}_{3222}$+ [20218, 13133]$X^{\pm}_{3311}$+ [17319, 17319]$X^{\pm}_{3321}$ ≤ [98135557, 100271114]

4) [1, 1]$X^{\pm}_{1111}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1121}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1211}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1221}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1311}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1321}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2111}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2121}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2211}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2221}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2311}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2321}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3111}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3121}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3211}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3221}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3311}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3321}$ ≤ [61600, 73700]

5) [1, 1]$X^{\pm}_{1112}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1122}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1212}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1222}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1312}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1322}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2112}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2122}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2212}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2222}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2312}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2322}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3112}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3122}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3212}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3222}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3312}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3322}$ ≤ [18400, 36300]

6) [1, 1]$X^{\pm}_{1111}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1112}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1211}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1212}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1311}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1312}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2111}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2112}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2211}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2212}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2311}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2312}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3111}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3112}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3211}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3212}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3311}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3312}$ ≤ [28800, 39600]

7) [1, 1]$X^{\pm}_{1121}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1122}$ [1, 1]$X^{\pm}_{1221}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1222}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1321}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{1322}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2121}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2122}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2221}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2222}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2321}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{2322}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3121}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3122}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3221}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3222}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3321}$+ [1, 1]$X^{\pm}_{3322}$ ≤ [51200, 70400]

8) $X^{\pm}_{ijkv} \geq 0$

محدودیت‌های ۱، ۲ و ۳ حداقل و حداکثر مصرف انواع آب برحسب مترمکعب در هکتار می‌باشد و به ترتیب مربوط به آب EC کمتر از ۸۰۰۰، بین ۸۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ و بیشتر از ۱۲۰۰۰ می‌باشد. محدودیت‌های ۴ و ۵ حداقل و حداکثر سطح زیرکشت باغ‌ها با انواع بافت خاک بر حسب هکتار می‌باشد و به ترتیب باغات موجود با بافت خاک سبک و متوسط و بافت سنگین را نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۶ و ۷ مربوط به ارقام پسته می‌باشد که محدودیت ۶ بازه سطح زیر کشت باغات موجود با ارقام پسته اکبری و احمدآقایی و محدودیت ۷ بازه سطح زیر کشت باغات موجود با ارقام کله قوچی و اوحدی را بر حسب هکتار نشان می‌دهد و در نهایت محدودیت ۸ بیانگر نامنفی بودن متغیرهای تصمیم می‌باشد. جدول (۱) متغیرهای موجود در فرمول‌ها را تعریف می‌کند.

جدول (۱) تعریف متغیرها

متغیرها	تعاریف	متغیرها	تعاریف
Z	سود ناخالص کل (ریال)	j	میزان مصرف آب (مترمکعب/ هکتار)
GM_{ijkv}	سود حاصل از یک هکتار هر فعالیت قبل از کم‌کردن هزینه آب (ریال)	k	رقم پسته
I_{ijkv}	میزان مصرف آب هر فعالیت (مترمکعب/هکتار)	v	بافت خاک
X_{ijkv}	سطح زیرکشت هر فعالیت (هکتار)	b_i	آب قابل دسترس با شوری‌های مختلف (مترمکعب)
P	هزینه پمپاژ (ریال/ مترمکعب)	b_k	سطح زیرکشت باغ‌های احمدآقایی، اکبری، کله قوچی و اوحدی (هکتار)
i	شوری آب (میکروموس/سانتی‌متر)	b_v	سطح زیرکشت باغ‌ها با بافت خاک سبک، متوسط و سنگین (هکتار)

با توجه به اینکه در حال حاضر، چهار رقم تجاری پسته احمدآقایی، اکبری، کله‌قوچی و فندقی در منطقه به طور غالب در حال تولید می‌باشند، در این مطالعه از چهار رقم پسته مذکور، استفاده شد. با توجه به نتایج مقایسه آماری عملکرد انجام شده، دو رقم پسته احمدآقایی و اکبری در یک گروه و دو رقم پسته فندقی و کله قوچی در گروه دوم قرار داده شد. بافت خاک باغات پسته مورد مطالعه به سه گروه سبک، متوسط و سنگین تقسیم شد. از آنجایی که خاک‌های سبک درصد شن بالاتری داشته و نفوذ آب بهتری دارند و در مقابل خاک‌های سنگین درصد رس بالاتری داشته و بنابراین نفوذ آب در آن‌ها کم‌تر است. خاک‌های با بافت متوسط بین این دو قرار دارند و با توجه به تجربه کشاورز و مشاهده پرسشگر از خاک باغ، تقسیم‌بندی صورت گرفت. همچنین با توجه به عملکرد محصول مشابه، باغات پسته با خاک‌های سبک و متوسط در یک گروه طبقه‌بندی شده و بافت خاک سنگین با توجه به عملکرد کمتر و معنی‌دار، در گروه دیگری قرار داده شد. در نهایت، کیفیت آب به سه دسته EC کمتر از ۸۰۰۰، بین ۸۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ و بیشتر از ۱۲۰۰۰ تقسیم بندی شد. شایان ذکر است تقسیم‌بندی بافت خاک و شوری آب توسط پژوهشکده پسته رفسنجان صورت گرفته است.

ب) مبانی تئوریک (نظری) تابع تقاضای معیاری

برای تعیین تابع تقاضای معیاری آب، مقدار آب در دسترس بهره‌برداری‌ها نامحدود در نظر گرفته شده است و P(هزینه پمپاژ آب برای هر مترمکعب) از صفر ریال شروع گردید و برای هر تغییر قیمت در دفعات بعد، از تحلیل حساسیت استفاده شد. بدین صورت که در هر میزان از Pحدی از تغییرات که میزان مصرف آب و الگو ثابت می‌ماند مشخص گردید و ورای آن جهت تغییرات بعدی انتخاب شد. بدین ترتیب میزان مصرف آب در قیمت‌های مختلف به دست آمد. با داشتن قیمت آب و میزان مصرف آب در آن قیمت، تابع تقاضای معیاری آب تخمین زده می‌شود.

برای دستیابی به اطلاعات لازم برای تخمین تابع تقاضای معیاری آب، پس از حل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای پیش‌گفته، با تغییر مقادیر آب در دسترس، قیمت‌های سایه‌ای متفاوت برای آب محاسبه می‌شود. سپس با قیمت‌های سایه‌ای به دست آمده، تابع تقاضای معیاری و کشش‌های قیمتی تقاضا برای کیفیت‌های مختلف آب به طور جداگانه و همچنین برای کل آب محاسبه گردید.

از آنجا که در روش برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای، عدم حتمیت به نوعی در مدل لحاظ می‌شود، این عدم حتمیت در نتایج حاصل از مدل نیز به نحوی خود را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه می‌توان تابع تقاضای معیاری را از هر دو زیرمدل به دست آورد، می‌توان گفت که توابع تقاضای حد بالا و پایین (در این مطالعه برای آب) وجود دارد. به بیان دیگر، تابع تقاضای بازه‌ای می‌تواند وجود داشته باشد. این به معنای وجود توابع تقاضای متعدد نیست، بلکه بیانگر آن است که یک تابع تقاضا با مکان نامشخص در فضای قیمت-مقدار وجود دارد. با توجه به این امر، می‌توان گفت که کشش بازه‌ای نیز بایستی وجود داشته باشد. به این معنی که در مقابل یک درصد تغییر قیمت نمی‌توان به طور قطع گفت چند درصد تغییر در مقدار مصرف نهاده رخ خواهد داد. در واقع، انتظار می‌رود که در مقابل یک درصد تغییر قیمت، مقدار در یک بازه تغییر کند. بنابراین از یک مدل برنامه‌ریزی بازه‌ای می‌توان به تابع تقاضا و کشش قیمتی بازه‌ای نیز دست یافت (احمدپور و صبوحی، ۱۳۸۸). در این مطالعه به این موضوع به طور تجربی پرداخته شده است.

داده‌های مورد نیاز

آمار و اطلاعات مورد نیاز پژوهش شامل نیروی کار (نفر/ روز)، ماشین‌آلات (ساعت/ هکتار)، کود حیوانی (کیلوگرم/ هکتار)، کود شیمیایی (کیلوگرم/ هکتار)، سم (لیتر/ هکتار)، آب (مترمکعب/ هکتار)، تولید (کیلوگرم/ هکتار) و قیمت پسته (ریال/ کیلوگرم) می‌باشد و از ۲۸۶ کشاورز پسته‌کار شهرستان‌های انار و رفسنجان در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ از طریق نمونه‌گیری تصادفی و تکمیل پرسشنامه توسط پژوهشکده پسته رفسنجان گردآوری شد و به منظور تخمین مدل از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

در این مقاله با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی خاکستری، الگوی بهینه کشت در حالت عدم حتمیت در دو حالت شرایط فعلی ناپایدار برداشت از منابع آب و الگوی تعادلی پایدار مورد نظر وزارت نیرو در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. در جدول (۲)، حداقل و حداکثر الگوی بهینه کشت پسته در بازه معین نشان داده شده است.

جدول (۲) بازه بهینه سطح زیر کشت پسته

فعالیت‌ها	x_{1111}	x_{1121}	x_{1122}	x_{1221}	x_{2212}	x_{3211}	x_{3221}	x_{3312}
بازه سطح زیر کشت (هکتار)	[۲۰۹۴۹ ، ۱۰۲۰۳]	[۱۹۲۰۲ ، ۰]	[۰ ، ۱۷۶۴۹]	[۰ ، ۱۹۰۰۶]	[۱۸۶۵۱ ، ۱۷۸۰۰]	[۰ ، ۱۹۷]	[۱۴۵۴۳ ، ۱۴۰۲۴]	[۰ ، ۶۰۰]

X_{1111} نشان دهنده سطوح زیرکشتی است که هدایت الکتریکی (EC) آن کمتر از ۸۰۰۰ میکروموس/ سانتی‌متر، مصرف آب در آن‌ها کمتر از ۶۰۰۰ متر مکعب/ هکتار، نوع پسته‌ای که در آن کشت می‌شود از ارقام اکبری و احمدآقایی و بافت خاک آن سبک و متوسط باشند. X_{1121} نشان دهنده سطوح زیرکشتی است EC آن کمتر از ۸۰۰۰ میکروموس/ سانتی‌متر، مصرف آب در آن‌ها کمتر از ۶۰۰۰ متر مکعب/ هکتار، نوع پسته ای که در آن کشت می‌شود از ارقام کله قوچی و اوحدی و بافت خاک آن سبک و متوسط باشند. X_{1122} نشان دهنده سطوح زیرکشتی است که EC آن کمتر از ۸۰۰۰ میکروموس/ سانتی‌متر، مصرف آب در آن‌ها کمتر از ۶۰۰۰ متر مکعب/ هکتار، نوع پسته ای که در آن کشت می‌شود از ارقام کله قوچی و اوحدی و بافت خاک آن سنگین باشند. X_{1221} نشان‌دهنده سطوح زیرکشتی است که EC آن کمتر از ۸۰۰۰ میکروموس/ سانتی‌متر، مصرف آب در آن‌ها ۶۰۰۰-۱۲۰۰۰ متر مکعب/ هکتار، نوع پسته ای که در آن کشت میشود از ارقام کله قوچی و اوحدی و بافت خاک آن سبک و متوسط باشند. X_{2212} نشان‌دهنده سطوح زیرکشتی است که EC آن ۸۰۰۰-۱۲۰۰۰ میکروموس/ سانتی‌متر، مصرف آب در آن‌ها ۶۰۰۰-۱۲۰۰۰ متر مکعب/ هکتار، نوع پسته ای که در آن کشت می‌شود از ارقام اکبری و احمدآقایی و بافت خاک آن سنگین باشند. X_{3221} نشان‌دهنده سطوح زیرکشتی است که EC آن بیش از ۱۲۰۰۰ میکروموس/ سانتی‌متر، مصرف آب در آن‌ها ۶۰۰۰-۱۲۰۰۰ متر مکعب/ هکتار، نوع پسته ای که در آن کشت میشود از ارقام کله قوچی و اوحدی و بافت خاک آن سبک و متوسط باشند. X_{3312} نشان‌دهنده سطوح زیرکشتی است که EC آن بیش از ۱۲۰۰۰ میکروموس/ سانتی‌متر، مصرف آب در آن‌ها بیش از ۱۲۰۰۰ متر مکعب/ هکتار، نوع پسته‌ای که در آن کشت می‌شود از ارقام اکبری و احمدآقایی و بافت خاک آن سنگین باشند.

پس از تعیین بازه الگوی کشت بهینه، بازه مصرف و صرفه‌جویی در مصرف آب محاسبه شده است. در حالت اول میزان مصرف فعلی آب (که حداکثر مصرف آب را نشان می‌دهد) و در حالت دوم میزان مصرف آب در طرح تعادل‌بخشی وزارت نیرو (که حداقل مصرف آب را نشان می‌دهد) محاسبه شده است. با در نظر گرفتن این دو حالت و لحاظ‌کردن آن‌ها در مدل برنامه‌ریزی خطی خاکستری به تعیین میزان صرفه‌جویی در آب پرداخته شده است که نتایج در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳) بازه مصرف و صرفه‌جویی در مصرف آب

کیفیت‌های مختلف آب	بازه مصرف آب (متر مکعب)	صرفه‌جویی در مصرف آب (متر مکعب)
EC<8000	[۲۸۷۸۷۲۰۰۰ ، ۲۶۹۳۶۰۰۰]	۲۶۰۹۳۶۰۰۰
8000<EC<12000	[۱۵۱۸۵۶۸۸۶ ، ۱۴۴۹۲۸۴۴۳]	۶۹۲۸۴۴۳
EC>12000	[۱۰۰۲۷۱۱۱۴ ، ۹۸۱۳۵۵۵۷]	۲۱۳۵۵۵۷
کل آب	[۵۴۰۰۰۰۰۰۰ ، ۲۷۰۰۰۰۰۰۰]	۲۷۰۰۰۰۰۰۰

میزان صرفه‌جویی آب در الگوی بهینه طرح تعادل‌بخشی وزارت نیرو نسبت به الگوی بهینه میزان مصرف فعلی آب برای EC<۸۰۰۰، ۲۶۰۹۳۶۰۰۰ مترمکعب است و برای ۸۰۰۰<EC<۱۲۰۰۰ و EC>۱۲۰۰۰ به‌ترتیب برابر ۶۹۲۸۴۴۳ و ۲۱۳۵۵۵۷ مترمکعب می‌باشد و در مجموع میزان صرفه‌جویی برای کل آب‌ها با انواع کیفیت‌ها ۲۷۰۰۰۰۰۰۰ می‌باشد.

اجرای طرح تعادل بخشی وزارت نیرو منجر به تغییرات گسترده در الگوی کشت منطقه و خالص منافع ناشی از کشت پسته منطقه می گردد. جدول (۴) حداقل و حداکثر سود ناخالص آب را با درنظرگرفتن طرح تعادل بخشی وزارت نیرو نشان می‌دهد.

جدول (۴) سود ناخالص آب

دامنه نوسان	حداقل	حداکثر
سود ناخالص آب (ریال/متر مکعب)	۴۳۹۸۳۷۱۵۷۶۰۰۲۶	۳۲۷۲۲۸۹۵۰۵۶۳۷۸۵

نتایج نشان می‌دهد که هر چند مالکین چاه‌های کشاورزی، ۵۰ درصد از حجم آب تحت مالکیت خود را از دست خواهند داد، سود ناخالص آن‌ها ۱۳/۴۴ درصد کاهش خواهد یافت به عبارت دیگر در صورتی که دولت بخواهد ضررهای ناشی از کاهش بهره‌برداری منابع آب را به کشاورزان جبران کند تنها بایستی ۱۳/۴۴ درصد از منافع اقتصادی فعلی را به کشاورزان پرداخت کند. این در حالی است که ۵۰ درصد از مصرف آب کم شده است که بخاطر تخصیص بهینه منابع آب بوده است. البته این به شرط وجود بازار آب و روان‌شدن انتقال آب بین باغات پسته با کیفیت‌های مختلف و وجود شرایط مناسب جهت تخصیص بهینه آب بین باغات پسته می‌باشد. بنابراین ما به دو هدف دسترسی پیدا خواهیم کرد؛ اول دستیابی به سطح پایدار آب و دوم تخصیص بهتر منابع آب. هدف نخست از دیدگاه پایداری[۱۳] مطرح بوده که هدفی اجتماعی است و دومی، کسب منافع اقتصادی بیشتر را پیگیری می‌نماید که از دیدگاه فردی مطرح می‌باشد.

قیمت سایه‌ای (ارزش اقتصادی) آب بیانگر میزان تغییر سود کشاورزان منطقه در ازای افزایش یک واحد به مقادیر موجود منابع آب تخصیص داده شده، است. پس از محاسبه مصرف و سود ناخالص آب، ارزش اقتصادی آب در یک بازه مشخص محاسبه شده است که نتایج قیمت سایه‌ای آب در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵) بازه قیمت سایه‌ای آب (ریال/ مترمکعب)

کیفیت‌های مختلف آب	EC<8000	8000<EC<12000	EC>12000
بازه قیمت سایه‌ای آب	[۱۹۳۳۹۴ ، ۲۱۰۹۱۶]	[۱۰۰۹۳۰ ، ۱۳۸۳۲۵]	[۲۰۰۵۸ ، ۶۵۱۲۸]

با توجه به جدول (۵)، در حالت اول افزایش هر واحد منابع آبی در EC<۸۰۰۰، سود کشاورزان منطقه را حداقل ۱۹۳۳۹۴ و حداکثر ۲۱۰۹۱۶ ریال افزایش می‌دهد. همچنین افزایش هر واحد منابع آبی در ۸۰۰۰<EC<۱۲۰۰۰ و EC>۱۲۰۰۰، سود کشاورزان منطقه را به ترتیب در بازه [۱۳۸۳۲۵ ، ۱۰۰۹۳۰] و [۶۵۱۲۸ ، ۲۰۰۵۸] ریال افزایش می‌دهد. این مقادیر به عنوان ارزش اقتصادی آب به ترتیب در ECهای مذکور

[۱۳] sustainability

خواهدبود. چنان چه جدول (۵) نشان می‌دهد، آب شیرین بیشترین ارزش اقتصادی برای باغات پسته ایجاد می‌نماید و پس از آن آب با شوری متوسط و در نهایت آب‌های شور دارای بیشترین ارزش اقتصادی می‌باشند.

برای تعیین قیمتی مناسب که بتواند به طور موثری تقاضای آب را کاهش دهد، تابع تقاضای معیاری برآورد شد. در جدول (۶) نتایج آماری مربوط به تقاضای معیاری آب در بازه مشخص برای هر سه نوع کیفیت آب (شیرین، با شوری متوسط و بسیار شور) و مجموع آب‌ها ارائه شده است.

جدول (۶) بازه تقاضای معیاری آب

قیمت آب (ریال/ مترمکعب)	تقاضای آب (متر مکعب)			
	EC<8000	8000<EC<12000	EC>12000	کل آب
۲۰۰۰-۸۵۱۲۸	[۳۹۷۸۷۲۰۰۰ ، ۲۶۹۳۶۰۰۰]	[۱۳۱۸۵۶۸۸۶ ، ۱۴۴۹۲۸۴۴۳]	[۹۸۱۳۵۵۵۷ ، ۱۰۲۷۱۱۱۴]	[۵۴۰۰۰۰۰۰۰ ، ۲۷۰۰۰۰۰۰۰]
۸۵۱۲۹-۱۰۳۴۳۸	[۳۹۷۸۷۲۰۰۰ ، ۲۶۹۳۶۰۰۰]	[۱۳۱۸۵۶۸۸۶ ، ۱۴۴۹۲۸۴۴۳]	[۱۰۲۷۱۱۱۴ ، ۱۴۳۷۲۸۸]	[۵۴۰۰۰۰۰۰۰ ، ۱۷۱۸۶۴۴۴۳]
۱۰۳۴۳۹-۱۵۸۳۲۵	[۳۹۷۸۷۲۰۰۰ ، ۲۶۹۳۶۰۰۰]	[۱۳۱۸۵۶۸۸۶ ، ۱۴۴۹۲۸۴۴۳]	[۰ ، ۱۰۲۷۱۱۱۴]	[۵۴۰۰۰۰۰۰۰ ، ۱۷۱۸۶۴۴۴۳]
۱۵۸۳۲۶-۲۶۴۰۰۳	[۳۹۷۸۷۲۰۰۰ ، ۲۶۹۳۶۰۰۰]	[۰ ، ۱۳۱۸۵۶۸۸۶]	[۰ ، ۱۰۲۷۱۱۱۴]	[۰ ، ۵۴۰۰۰۰۰۰۰]
$۲۶۴۰۰۴ - ۲\times 10^{16}$ $۲/۱\times 10^{16}$	[۰ ، ۳۹۷۸۷۲۰۰۰] [۰ ، ۰]	[۰ ، ۱۳۱۸۵۶۸۸۶] [۰ ، ۰]	[۰ ، ۱۰۲۷۱۱۱۴] [۰ ، ۰]	[۰ ، ۰]

نتایج حاصل از تخمین تابع تقاضای معیاری آب نشان داد که برای این که بتوان تنها با استفاده از ابزارهای انگیزه اقتصادی و افزایش قیمت آب، تقاضای آب را در منطقه مورد مطالعه کاهش داده و به سطح تعادلی ۲۷۰ میلیون متر مکعب در سال رساند، قیمت آب بایستی حداقل تا ۱۳۲ برابر هزینه فعلی استحصال آب در منطقه افزایش یابد. این موضوع نشان می‌دهد که تنها با استفاده از ابزار قیمت‌گذاری آب نمی‌توان به بهره‌برداری پایدار از منابع آب در منطقه دست یافت. به عبارت دیگر، حتی افزایش اندکی در قیمت آب‌های باکیفیت بسیار پایین نیز تقاضای مصرف آن‌ها را تا حد بهره‌برداری پایدار پایین نمی‌آورد. این موضوع به علت محصول مورد بررسی یعنی پسته می‌باشد که به علت مقاومت به شوری از یک طرف و قیمت بالای صادراتی چنین شرایطی را رقم زده است. این در حالی است که در مورد هیچ محصول کشاورزی دیگری در ایران نمی‌توان با چنین آب‌های کم‌کیفیتی تولید اقتصادی داشت. بنابراین در مطالعات مربوط به تقاضای آب در سایر محصولات کشاورزی نیز کمتر به تفکیک بین آب با کیفیت‌های مختلف پرداخته شده است.

دانستن ارزش اقتصادی آب و کشش قیمتی آن می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا سیاست‌های آبی را طراحی کنند که استفاده کارآمدتر از این منبع کمیاب را ترویج می‌کند. در جدول (۷) نتایج مربوط به بازه کشش قیمتی تقاضای آب برای کیفیت‌های مختلف آب و کل آب نشان داده شده است.

جدول (۷) قدرمطلق بازه کشش قیمتی تقاضای آب برای کیفیت‌های مختلف آب

کیفیت‌های مختلف آب	EC<8000	8000<EC<12000	EC>12000	کل آب
بازه کشش قیمتی تقاضای آب	[۰،۰/۹]	[۰،۰/۰۹]	[۰ ،۶۲/۵]	[۰/۵ ،۷/۲۷]

زمانی که EC<۸۰۰۰ است کشش در بازه [۰،۰/۹] می‌باشد که بیانگر این است که اگر قیمت آب شیرین یک درصد افزایش یابد، مقدار تقاضا حداکثر ۰/۹ درصد کاهش می‌یابد. این امر حاکی از کم کشش بودن تابع تقاضای آب است. این موضوع نشان می‌دهد که ابزارهای زیادی از جمله تخصیص بهتر و استفاده از تکنولوژی برای استفاده بهتر از آب وجود دارد. به عبارت دیگر، هر چند که هزینه خرید یک متر مکعب آب بالا رفته است اما افزایش بهره‌وری آب باعث شده که درآمد حاصل از مصرف آن نیز بالا رود و تقاضای آب کم نشود. البته این موضوع در عمل بستگی به شرایط اقتصادی جامعه و عکس‌العمل واقعی کشاورزان دارد. به عبارت دیگر، در کنار دنبال‌نمودن سیاست قیمت‌گذاری آب، بایستی بازخوردهای آن را نیز دنبال کرده و شرایط لازم برای افزایش بهره‌وری آب را فراهم نمود. به بیان دیگر، کشاورزان افزایش قیمت آب را فقط بـا کاهش مصرف آن پاسخ نمی‌دهند، بلکه با تخصیص دوباره آب یا تغییـر الگـوی کشـت نیز ممکن است واکنش نشان دهند. بنابراین این امر نیز به نحوی سبب کاهش اثربخشی سیاسـت قیمت‌گـذاری آب در راه رسیدن به هدف کاهش مصرف آب آبیاری می‌شود. زمانی که ۸۰۰۰<EC<۱۲۰۰۰ باشد مقدار تقاضا در بازه [۰،۰/۰۹] کاهش می‌یابد. همچنین زمانی که EC>۱۲۰۰۰ است کشش در بازه [۶۲/۵، ۰] می‌باشد و کشاورزان نسبت به افزایش قیمت آب شور عکس‌العمل بیشتری نشان می‌دهند. در نهایت کشش برای مجموع آب با کیفیت‌های متفاوت حداقل ۰/۵ و حداکثر ۷/۲۷ می‌باشد که به این معناست اگر یک درصد قیمت افزایش پیدا کند مقدار تقاضا در بازه [۷/۲۷، ۰/۵] کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

با توجه به برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق پسته‌کاری ایران و به ویژه استان کرمان، دولت ایران تصمیم به اجرای طرح تعادل بخشی منابع آب در این مناطق گرفت. از آن جایی که در مناطق پسته‌کاری شهرستان‌های انار و رفسنجان در استان کرمان، نزدیک به ۹۵ درصد از آب استحصال شده از سفره های زیرزمینی، در باغات پسته مصرف می شود، در این مقاله با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای و قیمت‌گذاری آب برای کیفیت‌های مختلف آن در شرایط عدم‌حتمیت، امکان اجرای طرح تعادل بخشی و پیامدهای آن مورد بررسی قرار گرفت. طبق اهداف اعلام شده این طرح، میزان برداشت آب از منابع زیرزمینی در این دو شهرستان بایستی از برداشت سالانه ۵۴۰ میلیون متر مکعب به ۲۷۰ میلیون متر مکعب کاهش یابد.

در این پژوهش ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب برای آب‌های شیرین، با شوری متوسط و بسیار شور به ترتیب در بازه [۲۱۰۹۱۶ ، ۱۹۳۳۹۴]، [۱۳۸۳۲۵ ، ۱۰۰۹۳۰] و [۶۵۱۲۸ ، ۲۰۰۵۸] ریال برآورد گردید که در مقایسه با میزان آب‌بهائی که کشاورزان در دشت رفسنجان- انار، برای هر مترمکعب آب ([۲۰۰۰ ، ۰] ریال) می‌پردازند به مراتب بیشتر است که این خود نشان‌دهنده تفاوت زیاد ارزش اقتصادی و بازاری نهاده آب است که مطابق با نتایج مطالعه سلطانی (۱۳۷۲)، اسدی و همکاران (۱۳۸۶) و فلاحتی و همکاران (۱۳۹۱) می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود به منظور بهبود و پایداری نظام تولید کشاورزی، با تعدیل آب‌بها بر اساس ارزش اقتصادی آب، انگیزه صرفه‌جویی و استفاده صحیح از آب در میان کشاورزان ایجاد گردد.

چیذری و میرزایی خلیل آبادی (۱۳۷۸) قیمت آب را در باغ‌های پسته شهرستان رفسنجان بدون در نظرگرفتن کیفیت آب مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که تقاضای آب کشش‌پذیر بوده است. این در حالی است که در مطالعه فعلی با توجه به درنظرگرفتن کیفیت آب، تقاضای آب برای آب‌های شیرین و با شوری متوسط کم‌کشش بوده و برای آب‌های شور و مجموع آب‌ها کشش‌پذیر می‌باشد.

با توجه به کشش‌های قیمتی پایین محاسبه شده برای آب (به ویژه آب‌های با کیفیت بالا) استفاده از سیاست قیمت‌گذاری آب تنها در کنار سایر ابزارها می‌تواند مفید واقع شود و به تنهایی کار ساز نخواهد بود. با این وجود، این سیاست، با توجه به شکاف بین قیمت حقیقی و آب‌بهای کشاورزی در کوتاه‌مدت ممکن است موجب نارضایتی کشاورزان شده و تأثیری منفی را در انگیزه تولید آن‌ها بگذارد، اما افزایش تدریجی قیمت آب در بلندمدت، به منظور ایجاد تعادل بین منافع و هزینه‌های ناشی از اعمال

این سیاست در کنار سایر ابزارها، اثرات اجتماعی و اقتصادی بهینه‌تری به همراه دارد. همچنین هزینه پایین استفاده از این منبع و ارزان‌بودن آن برای بهره‌برداران باعث بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی می‌شود.

در نهایت نتایج نشان می‌دهد لازم است جهت داشتن توسعه پایدار، بین سیاست‌های کاهش مصرف آب و حفاظت از منابع آب هماهنگی و تعادل ایجاد شده و در سمت منابع تولید، به ویژه آب بایستی ابزار و سیاست‌های مناسبی جهت حفاظت از این منابع به کار گرفته شود. بنابراین بایستی در کنار ابزار قیمت‌گذاری، از روش‌های دیگری مانند اعمال قانون و منع بهره‌برداران، روش‌های توصیه‌ای، مشارکت‌های مردمی و ... استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از پژوهشکده پسته رفسنجان، به دلیل تأمین داده‌های مورد نیاز و امکانات لازم جهت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

احسانی، م.، ق. دشتی و ب.ا. حیاتی. ۱۳۹۰. ارزش اقتصادی آب شبکه آبیاری دشت قزوین: کاربرد رهیافت دوگان. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، سال بیست و پنجم، شماره ۲، ص ۲۴۵-۲۳۷.

احمدپور، م. و م. صبوحی صابونی. ۱۳۸۸. قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای: مطالعه موردی منطقه دشتستان. اقتصاد کشاورزی، دوره ۳، شماره ۳، ص ۱۴۱-۱۲۱.

اسدی، ه.، غ.ر. سلطانی و ج. ترکمانی. ۱۳۸۶. قیمت‌گذاری آب کشاورزی در ایران: مطالعه موردی اراضی زیر سد طالقان. فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه، شماره ۵۸، ص ۹۰-۶۱.

اسعدی، م. ع.، ص. خلیلیان و س.ح.ا. موسوی. ۱۳۹۸. تعیین ارزش اقتصادی آب در مزارع گندم و کلزا (مطالعه نمونه‌ای: شبکه آبیاری دشت قزوین). مجله مهندسی منابع آب، سال دوازدهم، شماره ۴۰، ص ۱۴۸-۱۳۷.

پژوهشکده پسته رفسنجان. ۱۳۹۷. رفسنجان، کرمان، ایران، https://pri.ir.

چیذری، ا. ح.، غ. ع. شرزه‌ای و ع. کرامت‌زاده. ۱۳۸۴. تعیین ارزش اقتصادی آب با رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی (مطالعه موردی: سد بارزو شیروان). تحقیقات اقتصادی، شماره ۷۱، ص ۶۶-۳۹.

چیذری، ا.ح.. و ح.ر. میرزایی خلیل آبادی. ۱۳۷۸. روش قیمت‌گذاری آب و تقاضای آب کشاورزی در باغ‌های پسته شهرستان رفسنجان. فصلنامه اقتصادکشاورزی و توسعه، شماره ۲۶، ص ۱۱۳-۹۹.

خواجه روشنایی، ن.، م. دانشور کاخکی و غ.ر. محتشمی برزادران. ۱۳۸۹. تعیین ارزش اقتصادی آب در روش تابع تولید، با به کارگیری مدل‌های کلاسیک و آنتروپی (مطالعه موردی: محصول گندم در شهرستان مشهد). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، سال بیست و چهارم، شماره ۱، ص ۱۱۹-۱۱۳.

زارع مهرجردی، م.ر. ۱۳۹۰. تعیین الگوی کشت بهینه و ارزش‌گذاری آب با استفاده از تلفیق روش‌های برنامه‌ریزی تحت ریسک و ارزش مانده، مطالعه موردی: منطقه ارزوئیه شهرستان بافت. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲، شماره ۲، ص ۱۳۴-۱۲۱.

سلطانی، غ.ر. ۱۳۷۲. تعیین آب‌بها و تخصیص بهینه آب در اراضی زیر سدها: مطالعه موردی سد درودزن. مجموع مقالات دومین سمپوزیم سیاست کشاورزی، انتشارات دانشگاه شیراز، ص ۲۱۱-۱۹۵.

عبداللهی عزت آبادی، م. و س. سالارنظر رفسنجانی‌پور. ۱۳۸۴. علل و انگیزه‌های بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در مناطق پسته‌کاری. شورای انتشارات موسسه تحقیقات پسته کشور.

فلاحتی، ع.، ک. سهیلی و م. واحدی. ۱۳۹۱. قیمت‌گذاری اقتصادی آب در بخش کشاورزی به روش رمزی. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۲، ص ۱۴۰-۱۳۴.

قرئلی، ع.ا. ۱۳۸۱. تعیین ارزش آب کشاورزی و الگوی بهینه کشت در شرایط کمبود منابع آب (اراضی زیر سد درودزن). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز .

کلایی، ع. ۱۳۹۳. بررسی اجمالی وضعیت مدیریت و قیمت‌گذاری آب کشاورزی در ایران و برخی‌کشورهای منتخب. وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، مدیریت خدمات پژوهشی، تهران.

محسنی، س. ۱۳۹۱. بررسی تخصیص بهینه منابع آب در شهر یزد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده اقتصاد و مدیریت.

محمدپور هنگروانی، م. ۱۳۹۵. بحران آب و تعیین قیمت اقتصادی آب در بخش کشاورزی. پنجمین کنفرانس الگوی اسلامی ایرانی پیشرفت؛ الگوی پایه پیشرفت، ص ۱۳-۱.

ورزیری، آ.، م.ح. وکیل‌پور و س.ا. مرتضوی. ۱۳۹۵. بررسی اثر قیمت‌گذاری اقتصادی آب آبیاری بر الگوی کشت در دشت دهگلان. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۸، شماره ۳، ص ۱۰۰-۸۱.

Abdulla, H., H. Naber, R. Quossous and T. Asad. 2002. Pricing as a Tool for Water Demand Management in Water Scarcity. Eco. Consult, Amman, Jordan.

Ahmadi, H. and M. Baaghideh. 2020. Assessment of anomalies and effects of climate change on reference evapotranspiration and water requirement in pistachio cultivation areas in Iran. Arabian Journal of Geosciences, 13(332).

Biswas, A.K. 2005. An Assessment of Future Global Water Issues. Water Resources Development, 21(2): 229-237.

Chineck, J.W. and K. Ramadan. 2000. Linear programming with interval coefficients. Journal of Operational Research Society, 51: 209-220.

Easter, K.W., M.W. Rosegratant and A. Dinar. 1999. Formal and Informal Markets for Water: Institutions, Performance, and Constraints. The World Bank Research Observer. 14(1): 99-116, https://doi.org/10.1093/wbro/14.1.99

Hop, N.V. 2007. Fuzzy stochastic goal programming problem. European Journal of Operation Research., 176: 77-86.

Huang, G.H. 1996. IPWM: an interval parameter water quality management model. Engineering Engineer Optimization, 26: 79-103.

Huang, G.H., B.W. Beatz and G.G. Patry. 1995. Grey integer programming: an application to waste management planning under uncertainty. European Journal of Operational Research, 83: 594-620.

Johanson, J.W. 2003. Water conservation Policy Alternatives for the Southern Portion of the Ogalala Aquifer. P.h.D thesis, Department of Agricultural and Applied Economic, Texas Tech University.

Kejser, A. 2016. European attitudes to water pricing: Internalizing environmental and resource costs. Journal of Environmental Management, 1-7.

Nie, X.H., G.H. Huang, Y.P. Li and L. Liu, 2007. IFRP: A hybrid interval– parameter fuzzy robust programming approach for waste management planning under uncertainty. Journal of Environmental Management, 84: 1-11.

Nazemi, A.H. 2000. Water resources in Iran, problems and plans, proceeding of International Conference on Sustainable Development of Water Resources: water resource sector in the coming decades. Delhi, India, 10-19.

Olmstead, S. 2010. The economics of managing scarce water resources. Rev. Environ. Econ. Policy, 4(2): 179-198.

Parween, F., P. Kumari and A. Singh. 2021. Irrigation water pricing policies and water resources *management.* Water Policy, 23 (1): 130–141.

Rommelfanger, H., R. Hnuscheck and J. Wolf. 1989. Linear programming with fuzzy objectives. Fuzzy Set and Systems, 29: 31–48.

Tsur, Y. 2004. Introduction to special section on Irrigation Water Pricing, Water Resources Research, 40, W07S01, doi:10.1029/2003WR002213.

Zhou, Q. F. Wu and Q. Zhang. 2015. Is irrigation water price an effective leverage for water management? An empirical study in the middle reaches of the Heihe River basin. Physics and Chemistery of the Earth, Parts A/B/C. 8990: 25-32.

Agricultural Water Pricing Under Conditions of Uncertainty (Case study: Rafsanjan-Anar plain)

Simin Mohseni[1], Mohammad Reza Zare Mehrjerdi[2], Mohammad Abdolahi Ezzatabadi[3], Hossein Mehrabi Boshrabadi[4]

Abstract

Of major constraints for crop production in arid and semi-arid regions of Iran are the lack of water resources and drought, and due to uncontrolled groundwater abstraction, the quality of agricultural water is declining gradually. Water pricing is one of the tools for water resources planning and water demand management. In this regard, the present study aims to determine the economic value of water in agriculture with respect to its different qualities in conditions of uncertainty in Rafsanjan and Anar provinces. Using interval mathematical programming, the shadow price range for different qualities of water was obtained. The price elasticity of demand was estimated in order to evaluate the effectiveness of pricing, the standard water demand function and to use it more efficiently. The findings show that the shadow price of water varies within different groups, and fresh water, moderately saline water and highly saline water were of the highest economic value, respectively. Comparing the efficiency of the plan in the current and equilibrium modes reveals that although water consumption has decreased by 50%, but the efficiency of activity has decreased by only 13.44%, and this implies that the amount of water consumption can be reduced in the virtue of redistributing water in pistachio orchards with minimal reduction in activity efficiency. This is feasible via eliminating low yield and profit, yet preserving higher yield pistachio orchards, may lead to reducing water consumption and extraction, and it also ensures high economic benefits for farmers.

Key words: Interval mathematical programming, Pistachio, Risk, Uncertainty, Agricultural water pricing, Water quality, Demand management

[1] PhD Student of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, mohseni.simin@agr.uk.ac.ir
[2] Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, zare@mail.uk.ac.ir (Corresponding author)
[3] Assistant Professor of Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran, abdolahi@pri.ir
[4] Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, hmehrabi@uk.ac.ir