Geography and Environmental Sustainability
Homepage: http://ges.razi.ac.ir/
Print ISSN:2322-3197 Online ISSN:2676-5683

Optimization of Cropping Pattern Using Linear Programming Method and Lingo software in Dehgolan Plain in Kurdistan Province, Iran

Hemen Shariati [1] | Bahark Motamedvaziri [2] | Masoud Goudarzi [3]| Hasan Ahmadi[4]

1. Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. E-mail: hemen.sh59@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. E-mail: bmvaziri@gmail.com
3. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Tehran, Iran. E -mail: mgoodarzi@scwmri.ac.ir
4. Department of Forestry, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: ahmadi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 27 June 2021
Accepted: 10 Nov. 2021

Keywords:
Water Resources Management,
Groundwater,
Planning,
Agriculture Management,
Employment.

ABSTRACT

The optimal allocation of available production resources to the activities that bring the most benefit to farmers and also minimize water consumption, is one of the most important issues in agriculture management where disregarding this issue leads to inefficiency in the agricultural production system. Therefore, in this study; Linear programming has been used to allocate the optimal water resources as well as optimal cropping pattern in Dehgolan plain (Kurdistan province). Lingo software version 14 was used to run the linear programming model. Linear programming ran in 7 modes considering water constraints, cropping pattern, workforce, reduction in groundwater consumption, and minimizing water consumption to determine the optimal cropping pattern as well as a suitable solution for increasing net profit and water productivity. In addition, optimal cropping patterns were assessed in order to minimize water consumption. In general, the results of the current study showed that the net profit of these assessed seven scenarios increased 7.92 to 400 percent in comparison with the current cultivation pattern, while most of the scenarios considered both changes in the cropping pattern and minimizing water consumption. In the scenario of groundwater reduction, despite water availability decreased, the net profit compared to the current situation increased by 10.11%. Accordingly, it can be concluded that during the shortage of available water, such as droughts or applying the strategy of utilizing less groundwater to compensate for the groundwater withdrawal, economic benefits still can be increased along with decreasing water consumption by changes in cropping patterns. The results of this study indicated that optimization of cropping patterns is crucial for economy and water consumption purposes. Unfortunately, farmers in Dehgolan plain do not use available resources in optimal mode at present.

Cite this article: Shriati, H., Motamed Vaziri, B., Goudarzi, M & Ahmadi, H. (2021). Optimization of Cropping Pattern Using Linear Programming Method and Lingo software in Dehgolan Plain in Kurdistan Province, Iran. *Geography and Sustainability of Environment*, *11* (3), 81-96. DOI: 10.22126/GES.2021.6601.2409

© The Author(s).
Publisher: Razi University
DOI: 10.22126/GES.2021.6601.2409

جغرافیا و پایداری محیط
وبگاه نشریه: http://ges.razi.ac.ir/
شاپای چاپی: ۲۳۲۲-۳۱۹۷ شاپای الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۶۸۳

بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی و نرم‌افزار Lingo در دشت دهگلان استان کردستان، ایران

هیمن شریعتی[۱] | بهارک معتمد وزیری[۲] | مسعود گودرزی[۳] | حسن احمدی[۴]

۱. گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران. ایران. رایانامه: hemen.sh59@gmail.com

۲. نویسنده مسئول: گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران. ایران. رایانامه: bmvaziri@gmail.com

۳. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش وترویج کشاورزی، تهران. ایران. رایانامه: mgoodarzi@scwmri.ac.ir

۴. گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ahmadi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچهٔ مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۹

کلیدواژه‌ها:
مدیریت منابع آب، آب زیرزمینی، برنامه‌ریزی، مدیریت کشاورزی، اشتغال‌زایی.

چکیده

تخصیص بهینه منابع تولید در دسترس به فعالیت‌هایی که بیشترین سودآوری را برای کشاورزان به همراه داشته و درعین‌حال مصرف آب را به حداقل می‌رساند، از مسائل مهم و اساسی در مدیریت کشاورزی است که بی‌توجهی به آن موجب ناکارآمدی نظام تولید کشاورزی می‌شود. بر این اساس، در این پژوهش برای تخصیص بهینه منابع آب و الگوی کشت مناسب در دشت دهگلان (استان کردستان) از روش برنامه‌ریزی خطی استفاده شد. به منظور اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی از نرم‌افزار لینگو نسخه ۱۴ استفاده شد. برای تعیین الگوی کشت بهینه و ارائه راهکاری مناسب برای افزایش سود خالص و بهره‌وری آب، مدل برنامه‌ریزی خطی در قالب ۷ سناریوی مختلف با در نظر گرفتن محدودیت‌های آب، الگوی کشت، نیروی کار، کاهش مصرف آب زیرزمینی و حداقل‌سازی مصرف آب اجرا شد. همچنین الگوی کشت بهینه با هدف حداقل‌سازی مصرف آب انجام شد. به‌طورکلی، نتایج این مطالعه نشان داد که در هفت سناریو مورد بررسی، سود خالص این سناریوها نسبت به وضع موجود بین ۷/۹۲ تا ۴۰۰ درصد افزایش می‌یابد. این در حالی است که در بیشتر سناریوها، کاهش مصرف آب همگام با تغییر الگوی کشت مدنظر قرار گرفته است. در سناریوی کاهش مصرف آب زیرزمینی، با وجود کاهش آب در دسترس، سود خالص این سناریو نسبت به وضع موجود ۱۰/۱۱ درصد افزایش یافت که در شرایط خشکسالی‌ها و یا در صورت اتخاذ استراتژی‌هایی مانند بهره‌برداری کمتر از آب‌های زیرزمینی برای جبران افت آبخوان‌ها، می‌توان با تغییر در الگوی کشت ضمن کاهش مصرف آب، سود اقتصادی را افزایش داد. نتایج این پژوهش نشان داد که بهینه‌سازی الگوی کشت از نظر اقتصادی و مصرف آب از اهمیت بالایی برخوردار است و متأسفانه در شرایط فعلی در دشت دهگلان، کشاورزان از منابع موجود به نحو بهینه استفاده نمی‌کنند.

استناد: شریعتی، هیمن؛ معتمدوزیری، بهارک؛ گودرزی، مسعود و احمدی، حسن (۱۴۰۰). بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی و نرم‌افزار Lingo در دشت دهگلان استان کردستان، ایران. *جغرافیا و پایداری محیط*، *۱۱* (۳)، ۹۶-۸۱. DOI: 10.22126/GES.2021.6601.2409

ناشر: دانشگاه رازی

حق‌مؤلف © نویسندگان.

مقدّمه

تأمین غذای کافی و با کیفیت برای جمعیت در حال افزایش کره زمین، نیازمند توسعه فعالیت‌های کشاورزی است که در صورت برنامه‌ریزی نامناسب می‌تواند پایداری منابع آب‌وخاک را با خطر جدی مواجه نماید.

فائو[1] (۲۰۱۳) اعلام کرد که به منظور تغذیه ۹/۵ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ به افزایش ۶۰ ٪ غذا نیاز خواهد بود. این کمبود غذا را می‌توان به هر دو روش افزایش سطح زیر کشت یا افزایش تولید در واحد سطح اراضی و منابع آب قابل‌دسترس جبران کرد. از سوی دیگر، قابلیت دسترسی به آب آبیاری به سبب تقاضای حاصل از دیگر بخش‌ها از جمله صنعت، خانگی و برق آبی، کاهش خواهد یافت (سینگ[2]، ۲۰۱۵). استانداردهای زندگی بهبود یافته و تغییر عادات غذایی که به آب بیشتری نیاز دارد، موضوع را جدی‌تر می‌کند (ماریولاکس[3]، ۲۰۰۷). همچنین تغییرات آب‌وهوایی و کاهش کیفیت آب، قابلیت دسترسی به آب را محدودتر می‌کند. بنابراین، بهینه‌سازی منابع آب و زمین موجود برای دستیابی به حداکثر بازده از اهمیت بسزایی برخوردار است. تخصیص بهینه منابع آب با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی انجام می‌شود (استرای[4] و همکاران، ۲۰۱۲).

مشکل کمبود آب، مناطق خشک و نیمه‌خشک را بیشتر از سایر مناطق تحت تأثیر قرار می‌دهد. ایران با قرار گرفتن در کمربند خشک جهان، بیشتر از بسیاری از کشورها با مسئله بحران آب روبرو است. با توجه به پیش‌بینی‌های اقلیمی و رشد جمعیت، فقدان تأمین نیازهای آبی در سال‌های آتی به‌عنوان چالشی بزرگ‌تر از شرایط فعلی مطرح می‌شود. در این شرایط، اصلاح روش‌های استفاده از آب و بهینه‌سازی مصرف آب بایستی مدنظر قرار گیرد. بخش عمده دشت قروه-دهگلان در گذشته دارای کاربری زراعت دیم بوده است و یا اراضی محدودی تحت آبیاری با آب‌های سطحی قرار داشتند، بااین‌حال امروزه با توسعه بهره‌برداری از چاه‌ها و منابع آب زیرزمینی، بخشی از اراضی دیم به آبی تبدیل شده و باعث افت شدید آبخوان در یک دهه مصرف بی‌رویه آب زیرزمینی شده است به‌طوری‌که در برخی از نواحی آبخوان‌های دشت قروه – دهگلان، افت آب زیرزمینی تا ۷۰ متر اتفاق افتاده است (اوسطی، ۱۳۹۵).

نتایج مطالعه‌ای در هند نشان داد که رویکرد برنامه‌ریزی خطی با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی شامل مصرف آب، نیروی کار، کود و بذر و با هدف حداکثرسازی درآمد، ابزاری کارآمد برای بهینه‌سازی الگوی کشت است (شریدهار[5] و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج مطالعه‌ای در منطقه جنوب‌شرقی ترکیه نشان داد که درآمد مزرعه حاصل از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی بر اساس روش کم آبیاری، بیشتر از مدل برنامه‌ریزی خطی بوده و مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین برنامه‌های آبیاری مناسب‌تر بود (بنلی[6] و همکاران، ۲۰۰۳). نشان داده شده است که الگوی بهینه کشت باعث کاهش مصرف آب به اندازه ۱۰ درصد می‌شود و همچنین، ارزش افزوده بخش کشاورزی در حالت بهینه به اندازه ۱۰ درصد نسبت به حالت فعلی افزایش پیدا خواهد کرد (ناذر[7] و همکاران، ۲۰۱۰). تخصیص مطلوب آب، زمین و سایر منابع به وسیله پژوهشگران مختلف مطالعه شده است. در ابتدا ماهیت مطالعات کیفی بوده و بعدها جنبه‌های کمی نیز اهمیت پیدا کردند. در گذشته، رویکرد

1. Food and Agriculture Organization
2. Singh
3. Mariolakos
4. Stray
5. Shreedhar
6. Benli
7. Nazer

حل چنین مسائلی بر روش‌های برنامه‌ریزی خطی متکی بود. چندین روش مدل‌سازی مانند برنامه‌ریزی کسری فازی (دای[1] و همکاران، ۲۰۲۱)، مدل برنامه‌ریزی ساختاری چند هدفه (نجف‌آبادی[2] و همکاران، ۲۰۱۹)، برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله (کاشانیان[3] و همکاران، ۲۰۲۰)، برنامه‌ریزی کسری چند هدفه، برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی دینامیک و برنامه‌ریزی خطی فازی در ادبیات علمی مختلف استفاده شده است (کارآموز[4] و همکاران، ۲۰۰۴؛ ودولا[5] و همکاران، ۲۰۰۵؛ اسعدی‌مهربانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ پارساپور و همکاران، ۱۳۹۶؛ اسماعیلی و شهسواری[6]، ۲۰۱۵). مدل‌های بهینه‌سازی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی به وسیله پژوهشگران مختلف برای حل مسائل تخصیص بهینه منابع آب استفاده شده است (دوی[7] و همکاران، ۲۰۰۵؛ سینگ، ۲۰۱۲؛ گارج[8]، ۲۰۱۴).

تکنیک برنامه‌ریزی خطی به منظور بهینه‌سازی سیاست‌های تخصیص منابع آب و زمین برای کشاورزی آبی در هند (داس[9] و همکاران، ۲۰۱۵) و بهینه‌سازی الگوی کشت در مصر (اوساما[10] و همکاران، ۲۰۱۷) استفاده شده است. فاکتورهای اقتصادی، فنی و استراتژیک، سه عامل مهم در بررسی الگوی کشت در ایران هستند. به دلیل موقعیت جغرافیایی ایران، بخش عمده‌ای از کشور در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. یکی از ویژگی‌های بارز اقلیم خشک و نیمه‌خشک، رخداد سیل و خشکسالی‌های مکرر است که به شدت منابع آب‌وخاک و تولیدات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرف دیگر محدودیت‌هایی مانند ویژگی‌ها و محدودیت‌های نامناسب خاک، عوامل اقتصادی، تغییرات آب و هوایی و نیروی کار کشاورزی، چالش‌های تولید در کشور را چند برابر می‌کند (نجف‌آبادی و همکاران، ۲۰۱۹). با توجه به تعدد محدودیت‌ها، برنامه‌ریزی منسجم، هدفمند و بهینه برای دستیابی به تولیدات مناسب و مدیریت بهینه منابع آب برای غلبه بر مشکلات موجود اجتناب‌ناپذیر است.

رویکردهای مختلفی شامل برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده شده‌اند. مدل برنامه‌ریزی خطی از ساده‌ترین مدل بهینه‌سازی بوده که توابع هدف یا قیود مسئله خطی هستند و جواب بهینه آنها نیز جواب سراسر است؛ در صورتی‌که در مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی به طور معمول، تضمینی برای رسیدن به جواب بهینه سراسری وجود ندارد. مدل پویایی سیستم برای بهینه‌سازی فرایندهای تصمیم‌گیری متوالی و مرحله‌ای و در نتیجه مسئله بهره‌برداری از مخزن تطابق خوبی دارد (انوری و همکاران، ۱۳۹۳).

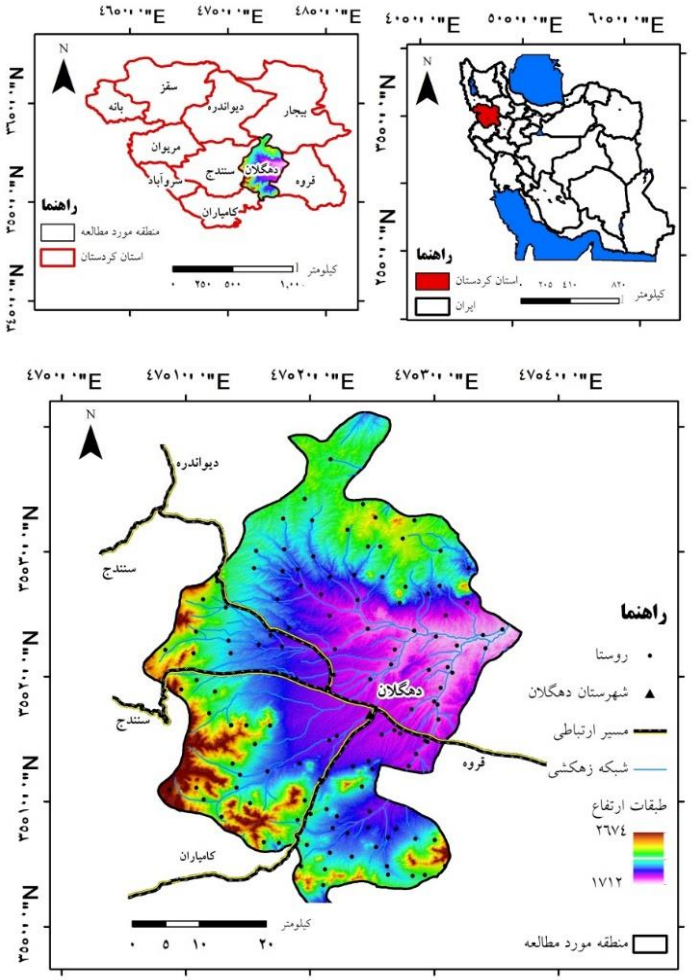
دشت قروه- دهگلان به‌عنوان مهم‌ترین دشت استان کردستان به دلیل برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی در دو دهه گذشته برای تأمین آب مورد نیاز محصولات کشاورزی، به طور جدی در خطر نابودی قرار گرفته است. با توجه به خشکسالی‌های اخیر و توسعه نامتوازن کشاورزی و تبدیل اراضی دیم به آبی با تکیه بر استخراج آب‌های زیرزمینی، منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه کاهش چشمگیری را نشان می‌دهند و فقدان رعایت مدیریت پایدار منابع آب در حوضه به چالشی بزرگ تبدیل شده است، به‌طوری‌که مدیریت بهینه منابع آب و بهینه‌سازی الگوی کشت را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل کرده است. بر این اساس، در این پژوهش تلاش شده است با گردآوری منابع اطلاعاتی شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان و

1. Dai
2. Najafabadi
3. Kashanian
4. Karamouz
5. Vedula
6. Esmaeili & Shahsavari
7. Devi
8. Garg
9. Das
10. Osama

بازدیدهای صحرایی از دشت دهگلان و با به‌کارگیری مدل برنامه‌ریزی خطی و نرم‌افزار لینگو، ۷ سناریو تعریف شده و بازده اقتصادی و میزان کاهش مصرف آب در سناریوهای مختلف الگوی کشت در دشت دهگلان استان کردستان بررسی شود.

معرّفی منطقهٔ مورد بررسی

دشت دهگلان از دشت‌های زراعی استان کردستان بوده و دارای سفره‌های آب زیرزمینی است. دشت دهگلان در شرق استان کردستان و در حوضه تلوار واقع شده است. رودخانه تروال به‌عنوان سرشاخه حوضه درجه دو سفیدرود در شرق استان کردستان قرار دارد و سرچشمه آن از کوه‌های عبدالرحمن خسروکش در جنوب غربی شهرستان قروه می‌باشد که به خاطر عبور از روستای تروال به این نام مشهور شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، شهرستان دهگلان بین مختصات "۴۸ '۰۲ °۳۵ تا "۴۷ '۴۱ °۳۵ عرض شمالی و "۴۲ '۰۷ °۴۷ تا "۲۸ '۳۸ °۴۷ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). شهرستان دهگلان متشکل از دو شهر، دو بخش، پنج دهستان و ۱۰۷ روستا است که جمعیت شهری و روستایی آن به ترتیب ۲۶۲۸۱ و ۳۶۵۶۳ نفر است.



شکل ۱- موقعیت شهرستان دهگلان در استان کردستان، ایران

مواد و روش‌ها

اطلاعات و داده‌های موردنیاز

اطلاعات و داده‌های موردنیاز برای استفاده در این مطالعه شامل الگوی کشت موجود، میزان تولید در واحد سطح، قیمت محصولات، سطح زیر کشت، نیاز آبی محصولات، دبی روزانه، میزان برداشت از چاه‌ها و اطلاعات جمعیتی از سازمان‌های آب منطقه‌ای استان کردستان، جهاد کشاورزی و مرکز آمار گردآوری شد. نیاز آبی گیاهان زراعی اصلی منطقه مورد مطالعه (گندم، نخود، سیب‌زمینی، جو و یونجه) با استناد به نرم‌افزار نت‌وات[1] (نرم‌افزار تعیین نیاز آبی گیاهان و محصولات زراعی و باغی) تعیین شد. در این نرم‌افزار اطلاعات مربوط به تبخیر و تعرق گیاهان کشت شده در ۶۲۰ دشت ایران موجود می‌باشد. با برآورد صحیح تبخیر و تعرق مربوط به گیاه کشت شده در سطح مزرعه، می‌توان مدیریت‌های آبی و زراعی را با کیفیت مطلوب در سطح مزرعه انجام داد. عموماً آمار هواشناسی ۳۰ ساله به‌صورت اصلاح شده، برای برآورد تبخیر تعرق در این نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفته است. اساس روش محاسباتی نرم‌افزار، استفاده از روش پنمن مانتیث فائو است. در این نرم‌افزار با مشخص شدن استان، منطقه و نوع محصول، نیاز آبی گیاه تعیین می‌شود. در این مطالعه، بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی بر اساس آمار ماهانه سطح پیزومتری و تعیین میزان تغذیه و برداشت از آب‌های زیرزمینی صورت گرفت. میزان بهره‌برداری مجاز از آب‌های زیرزمینی بر اساس وضعیت تغذیه آبخوان و با توجه به افت و اصول توسعه پایدار صورت گرفت. مقدار برداشت (آمار چاه‌های پیزومتر در سال ۱۳۹۴)، میانگین برداشت از آب‌های زیرزمینی با اجرای روش درون‌یابی کریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS تعیین شد. در نهایت میزان برداشت آب زیرزمینی در شهرستان دهگلان تعیین شد.

الگوی کشت منطقه (بر پایه‌ی سرشماری محصولات زراعی سال ۱۳۹۴) به ترتیب اهمیت شامل گندم، نخود، سیب‌زمینی، جو و یونجه بود که حدود ۹۸/۹٪ سطح زیر کشت در منطقه را تشکیل می‌دادند. همچنین بررسی اقتصادی هزینه‌های تولید و درآمد خالص محصولات برای تعیین الگوی کشت بهینه ضروری است. در این راستا، اطلاعات مربوط به هزینه تولید و درآمد خالص حاصل از فعالیت‌های کشاورزی از سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان تهیه شد.

ساختار مدل برنامه‌ریزی خطی

روش‌های مختلفی از جمله رویکرد پویایی سیستم‌ها (براتی[2] و همکاران، ۲۰۲۰)، برنامه‌ریزی خطی (اوساما و همکاران، ۲۰۱۷؛ بوجانگ[3] و همکاران، ۲۰۱۶)، برنامه‌ریزی کسری چند هدفه (پارساپور و همکاران، ۱۳۹۶)، برنامه‌ریزی خطی فازی (اسعدی‌مهربانی و همکاران، ۱۳۹۷)، برنامه‌ریزی فازی (سرگزی و قویدل، ۱۳۹۶)، مدل برنامه‌ریزی کسری آرمانی فازی (پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۴)، مدل برنامه‌ریزی چند شاخصه فازی (فیض‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۳)، برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه (براتی و همکاران، ۲۰۲۰) برای بهینه‌سازی الگوی کشت استفاده شده است. در پژوهش کنونی رویکرد برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی الگوی کشت استفاده شد.

مدل برنامه‌ریزی خطی در حالت کلی به صورت روابط ۱-۳ است (سینگ، ۲۰۱۵):

$$Max\ E = \sum_{j=1}^{n} cjXj \qquad \text{رابطه (۱)}$$

1. NETWAT
2. Barati
3. Bojang

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j \leq b_i$$ رابطه (۲)

$$X_j \geq 0$$ رابطه (۳)

m=۱ ،۲ ،.... i N=۲،۱ ،.....j

که در آن E تابع هدف؛ Xj متغیر تصمیم (سطح j امین فعالیت مزرعه)؛ cj ضریب تابع هدف، سود خالص پیش‌بینی شده برای یک واحد از J امین فعالیت مزرعه؛ aij ضریب فنی، مقدار استفاده هر واحد فعالیت J ام از منبع i ام؛ bi مقدار در دسترس i امین منبع؛ m تعداد منابع محدود کننده؛ n تعداد فعالیت. رابطه (۱) تابع هدف، سود کل را ماکزیمم می‌کند، رابطه (۲)، موجودی منابع یا محدودیت تکنیکی و رابطه (۳) محدودیت غیر منفی بودن متغیرها را نشان می‌دهد.

تابع هدف و محدودیت‌ها

- تابع هدف: بازده تابعی را حداکثر می‌کند که برای هر یک از سناریوها به صورت ضریب متغیرهای تصمیم‌گیری (درآمد ناخالص منهای هزینه متغیر) وارد مدل می‌شود (رابطه ۱ ارائه شده در بالا).

-محدودیت آب: میانگین برداشت از آب‌های زیرزمینی شهرستان دهگلان با استفاده از رابطه (۴) و با توجه به مقدار تخلیه آبخوان تعیین شد. میانگین افت آبخوان دهگلان در سال آبی ۱۳۹۴ معادل ۵/۶۹ متر و ضریب متوسط ذخیره آبخوان ۰/۰۱۹ بود.

رابطه (۴) مساحت آبخوان × ضریب ذخیره × میانگین برداشت از آب‌های زیرزمینی=مقدار برداشت از آب زیرزمینی

- محدودیت نیروی کار: محدودیت نیروی کار با استفاده از رابطه (۵)به دست آمد. برای i ماه (۱۲، .....، i=۱) و J محصول (۸، ....، J=۱)؛ که با استفاده از هزینه مراحل مختلف آن به واحد روز نفر تبدیل شد و بر اساس تقویم زراعی محصولات برای ۱۲ ماه سال محاسبه گردید. در سمت راست، معادله نیز تعداد نیروی کار (افراد بالای ۱۰ سال شهرستان دهگلان) شهرستان که طبق آمار و اطلاعات مرکز آمار به دست آمد، قرار داده می‌شود.

رابطه (۵)

$$\sum_{J=1}^{n} La_{ij} X_j \leq STLa_i$$

در اینجا La_{ij} تعداد نیروی کار مورد نیاز در ماه i برای محصول J، X_j محصول J، $STLa_i$ تعداد نیروی کار فعال در بخش کشاورزی است.

-محدودیت زمین: محدودیت زمین با استفاده از رابطه (۶) به دست آمد. سطح زیر کشت J محصول (۸، ....، J=۱)؛ که برای همه محصولات، مقدار یک هکتار به‌عنوان ضریب فنی وارد مدل شده و مقدار کل سطح زیر کشت محصولات برای سمت راست محدودیت در نظر گرفته می‌شود.

رابطه (۶)

$$\sum_{J=1}^{n} L_j X_j \leq Tf$$

در اینجا، L_j سطح زیر کشت برای محصول J، X_j محصول J، Tf مقدار کل سطح زیر کشت محصولات در منطقه مورد مطالعه است.

-محدودیت کشت آبی: محدودیت کشت آبی با استفاده از رابطه (۷) به دست آمد. برای J محصول آبی (۵، ...۱=J)؛ که در قالب زمین‌هایی که قابلیت این نوع کشت را دارند، وارد مدل می‌شوند. طبق آمار و گزارشات موجود، سطح زیر کشت محصولات به تفکیک آبی و دیم وجود دارد. سطح زیر کشت این نوع زمین‌ها به طور جداگانه با عنوان محدودیت کشت آبی و دیم وارد مدل می‌شوند.

رابطه (۷)

$$\sum_{J=1}^{n} Lw_j X_j \leq TLw$$

در اینجا، Lw_j سطح زیر کشت آبی برای محصول J، X_j محصول J، TLw مقدار کل سطح زیر کشت محصولات آبی در منطقه مورد مطالعه است.

-محدودیت کشت دیم: محدودیت کشت دیم با استفاده از رابطه (۸) به دست آمد. برای J محصول دیم (۳، ...۱=J)؛ که در قالب زمین‌هایی که قابلیت این نوع کشت را دارند وارد مدل می‌شوند.

رابطه (۸)

$$\sum_{J=1}^{n} Lz_j X_j \leq TLz$$

در اینجا، Lz_j سطح زیر کشت دیم برای محصول J، X_j محصول J، TLz مقدار کل سطح زیر کشت محصولات دیم در منطقه مورد مطالعه است.

- محدودیت کشت گندم و جو

محدودیت کشت گندم و جو با استفاده از رابطه (۹) به دست آمد. این محدودیت برای محصولات گندم و جو به میزان ۵۰ درصد سطح زیر کشت فعلی این محصولات در نظر گرفته شده است. این حداقل سطح زیر کشت، نشان‌دهنده عوامل متعددی همچون خودمصرفی، تناوب زراعی و سلیقه کشاورزان است. به همین دلیل این محدودیت‌ها باید در مدل قرار گیرند تا وضع موجود منطقه به‌خوبی در مدل ترسیم شود.

رابطه (۹)

$$X_j \geq L_{xj}min$$

-محدودیت حداقل سطح زیر کشت: این محدودیت بر اساس اطلاعات سطح زیر کشت محصولات طی ۷ سال وارد مدل می‌شود، بدین ترتیب که حداقل سطح زیرکشت طی سال‌ها به‌عنوان مقدار سمت راست در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند بیانگر وضع موجود سطح زیر کشت محصولات باشد.

سناریوها

در این پژوهش هفت سناریو به شرح زیر مد نظر قرار گرفت:

۱) بهینه‌سازی بدون در نظر گرفتن محدودیت؛
۲) بهینه‌سازی با در نظر گرفتن محدودیت آب؛
۳) بهینه‌سازی با در نظر گرفتن محدودیت آب و الگوی کشت؛
۴) بهینه‌سازی با در نظر گرفتن محدودیت آب، الگوی کشت و نیروی کار؛
۵) نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی با توجه به سناریوی افزایش نیروی کار به میزان ۱۰٪ نیروی کار موجود؛
۶) نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی با توجه به سناریوی کاهش ۲۰ درصدی مصرف آب زیرزمینی؛
۷) نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی باهدف حداقل‌سازی مصرف آب

نتایج

سناریوی اول: بررسی نتایج بهینه‌سازی بدون در نظر گرفتن محدودیت

با توجه به نتایج بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی در شرایط نبود محدودیت، چون هدف در این سناریو تنها ماکزیمم کردن سود است، فقط محصولاتی کشت خواهند شد که میزان درآمد خالص آنها بالاتر باشد. در این سناریو، تنها محصول سیب‌زمینی به سبب سودآوری بیشتر پیشنهاد شده که ۱۱۲۶۰۳/۸ (۹۸/۹ درصد از اراضی زیر کشت) هکتار از اراضی کشاورزی منطقه به کشت این محصولات اختصاص یافته است. سودآوری این سناریو ۱۶۸۹۰۵۷ میلیون تومان بوده که سودآوری آن حدود ۴ برابر الگوی کشت فعلی (۴۲۶۲۳۳/۴) می‌باشد. شایان ذکر است که میزان مصرف آب در سناریوی اول ۶/۹ برابر وضع موجود است.

سناریوی دوم: بررسی نتایج بهینه‌سازی با در نظر گرفتن محدودیت آب

در اجرای مدل با سناریوی دوم نیز تنها محصول سیب‌زمینی و محصول نخود آبی در الگوی کشت وارد شدند. سودآوری این سناریو ۹۷۹۳۷۴/۶ میلیون تومان بوده که سودآوری آن حدود ۲۲۹ برابر الگوی کشت فعلی (۴۲۶۲۳۳/۴) می‌باشد. میزان درآمد خالص این سناریو نسبت به سناریوی اول، کاهش ۴۲/۱ درصدی داشت. از طرف دیگر، میزان مصرف آب در این سناریوی نسبت به سناریوی اول ۴۲ درصد کاهش یافته اما ۳/۹ برابر میزان مصرف آب در وضع موجود می‌باشد.

سناریوی سوم: بررسی نتایج بهینه‌سازی با در نظر گرفتن محدودیت آب و الگوی کشت

در اجرای مدل با سناریوی سوم، هشت محصول موجود در الگوی کشت فعلی، در الگوی کشت بهینه وارد شدند. سودآوری این سناریو ۴۷۵۴۹۲/۵ میلیون تومان بوده که سودآوری آن حدود ۱۱/۵۶ برابر الگوی کشت فعلی (۴۲۶۲۳۳/۴) می‌باشد. میزان درآمد خالص این سناریو نسبت به سناریوی دوم، کاهش ۵۱ درصدی داشت. میزان مصرف آب در این سناریوی نسبت به سناریوی دوم ۷۳ درصد کاهش یافته و نسبت به وضع موجود ۶ درصد افزایش یافته است.

سناریوی چهارم: نتایج بهینه‌سازی با در نظر گرفتن محدودیت آب، الگوی کشت و نیروی کار

سطح زیر کشت سیب‌زمینی ۸۰/۶۶ و نخود دیم ۳۱/۵۳ درصد در سناریوی چهارم نسبت به وضعیت فعلی افزایش یافته است. گندم آبی، جو آبی، یونجه، گندم دیم و جو دیم به مقادیر مختلف کاهش سطح داشتند که بیشترین آن مربوط به جو آبی و کمترین آن مربوط به گندم دیم می‌باشد. همچنین سود خالص در سناریوی چهارم نسبت به وضع موجود ۱۰/۹۸ درصد افزایش یافته است. میزان سود حاصل از سناریوی چهارم نسبت به سناریوی سوم به میزان ۰/۵۱ درصد کاهش یافته است. میزان مصرف آب در این سناریوی مشابه سناریوی سوم بود.

سناریوی پنجم: نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی با توجه به سناریوی افزایش نیروی کار به میزان ۱۰٪ نیروی کار کنونی

همچنین سطح زیر کشت نخود دیم ۴۷/۰۳ درصد و سیب‌زمینی ۸۰/۶۶ درصد در حالت سناریوی پنجم نسبت به وضع موجود افزایش یافته است. گندم آبی، جو آبی، یونجه، گندم دیم و جو دیم به مقادیر مختلف کاهش سطح داشتند که

بیشترین آن مربوط به جو آبی (۳۹/۹۶) و کمترین آن مربوط به گندم دیم (۱۰/۱۹) می‌باشد. همچنین سود خالص در سناریوی پنجم نسبت به وضع موجود ۱۱/۵۶ درصد افزایش یافته است. میزان سود حاصل از سناریوی پنجم نسبت به سناریوی چهارم به میزان ۰/۵۲ درصد افزایش یافته است. میزان مصرف آب در این سناریو مشابه میزان مصرف آب در سناریوی سوم و چهارم بود.

سناریوی ششم: نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی با توجه به سناریوی کاهش ۲۰ درصدی مصرف آب

در سناریوی ششم، اگر کاهش مصرف آب زیرزمینی بیشتر از ۲۰٪ شود، راه‌حل بهینه به دست نمی‌آید. همان‌طور که مشاهده می‌شود سطح زیر کشت نخود آبی، سیب‌زمینی و نخود دیم به ترتیب به میزان ۹۸/۸ درصد، ۳۸/۹۱ و ۳۱/۹۹ درصد در حالت سناریوی ششم نسبت به حالت وضع موجود افزایش یافته است؛ اما سطح زیر کشت محصولات دیگر کاهش داشتند. بیشترین و کمترین کاهش در محصولات جو آبی (۶۶/۵۶) و گندم آبی (۱۱/۳۵) مشاهده شد. همچنین سود خالص در حالت سناریوی ششم نسبت به حالت وضع موجود ۱۰/۱۱ درصد افزایش یافت. میزان سود حاصل از سناریوی ششم نسبت به سناریوی پنجم به میزان ۱/۳ درصد کاهش یافته است. میزان مصرف آب در این سناریو نسبت به سناریوی پنجم، ۲/۴ درصد کاهش یافته و نسبت به وضع موجود ۳/۶ درصد افزایش یافته است.

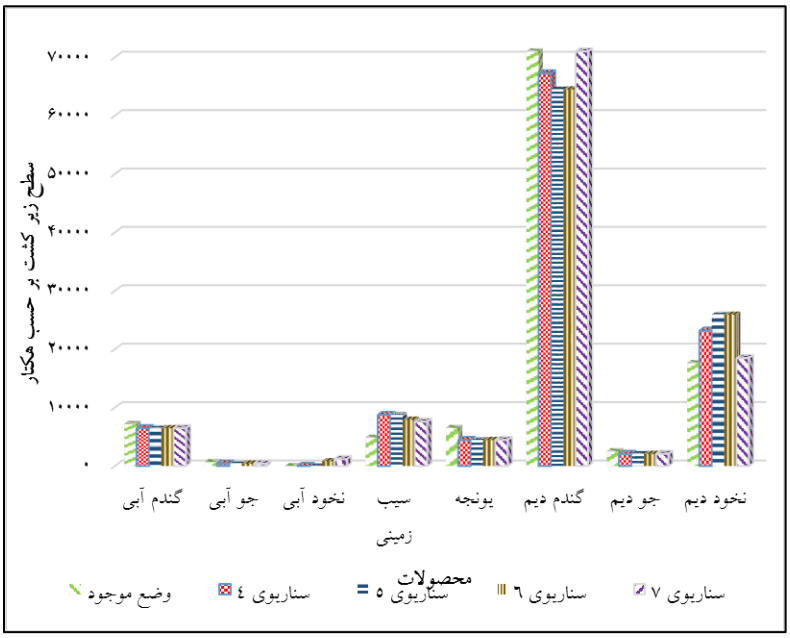
سناریوی هفتم: نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی باهدف حداقل سازی مصرف آب

در سناریوی هفتم، سطح زیر کشت نخود آبی، سیب‌زمینی و نخود دیم به ترتیب به میزان ۱۱۷۲۸ درصد، ۵۶/۴۴ و ۴/۸۲ درصد در حالت سناریوی هفتم نسبت به حالت وضع موجود افزایش یافته است؛ اما سطح زیر کشت محصولات دیگر کاهش داشتند. بیشترین و کمترین کاهش در محصولات جو آبی (۳۹/۹۶) و گندم آبی (۱۰/۱۹) مشاهده شد. همچنین سود خالص در حالت سناریوی هفتم نسبت به حالت وضع موجود ۷/۹۲ درصد افزایش یافت. میزان سود حاصل از سناریوی هفتم نسبت به سناریوی ششم به میزان ۱/۹ درصد کاهش یافته است. میزان مصرف آب در این سناریو نسبت به سناریوی ششم، ۱/۰۵ درصد کاهش یافته و نسبت به وضع موجود ۲/۶ درصد افزایش یافته است.

در نهایت و با توجه به اهداف کاهش مصرف آب، بهینه‌سازی الگوی کشت و افزایش سودآوری، سناریوهای سوم و پنجم به عنوان سناریوهای برتر انتخاب شدند.

بررسی سطوح زیر کشت سناریوهای مختلف نسبت به وضع موجود

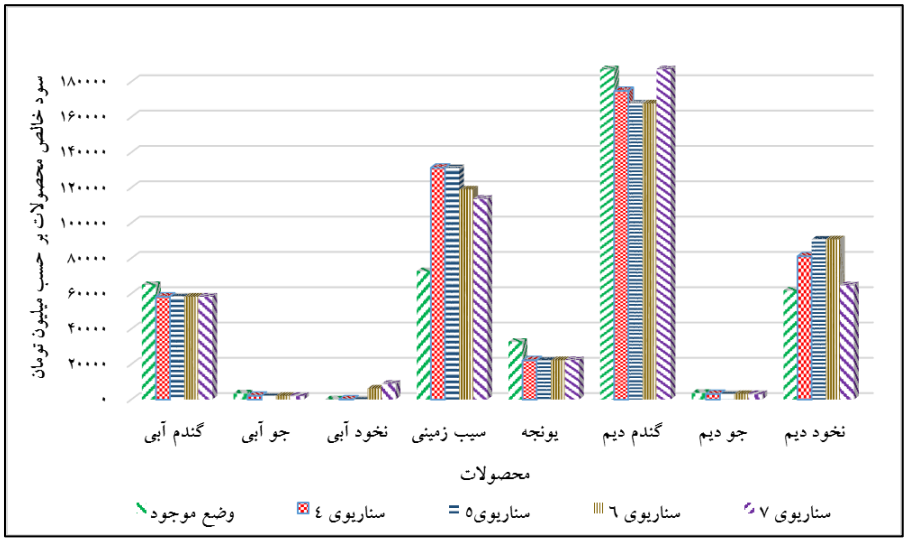
در شرایط بهینه و سناریوی افزایش نیروی کار نسبت به وضعیت موجود، سطح زیر کشت نخود آبی تغییر نکرده؛ اما در سناریوی کاهش مصرف آب زیرزمینی به مقدار ۹۸/۸٪ افزایش یافت. همچنین سطح زیر کشت یونجه در حالت بهینه و اعمال سناریوها کاهش یافته و بیشترین کاهش در سناریوی کاهش مصرف آب مشاهده شد (شکل ۲).



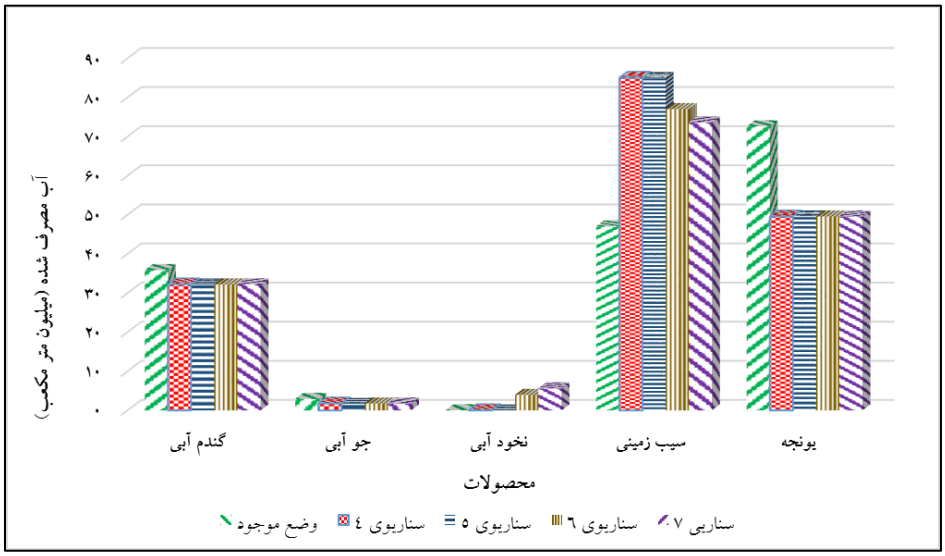
شکل ۲: بررسی سطوح زیر کشت سناریوهای مختلف نسبت به وضع موجود بر اساس الگوی برنامه‌ریزی خطی

سود خالص محصولات در وضعیت موجود و سناریوها

همان‌طور که مشاهده می‌شود، سود خالص محصولات سیب‌زمینی و نخود دیم در شرایط بهینه و اعمال سناریوها نسبت به وضع موجود افزایش یافته است. بازده برنامه‌ای سناریوی کاهش مصرف آب زیرزمینی نسبت به وضع موجود (۱۰/۱۱٪) افزایش داشت و بیشترین سود در شرایط نبود محدودیت آب حاصل می‌شود (شکل ۳). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگر محدودیت‌های منطقه از جمله آب کاهش یابد، امکان افزایش سطح زیر کشت و سودآوری وجود خواهد داشت.



شکل ۳: سود خالص محصولات در وضعیت موجود و سناریوها



شکل ۴: میزان مصرف آب (میلیون مترمکعب) محصولات آبی در وضعیت موجود و سناریوها

میزان مصرف آب (میلیون مترمکعب) محصولات آبی در وضعیت موجود و سناریوها

میزان مصرف آب محصول یونجه و گندم آبی در سناریوهای مختلف نسبت به وضع موجود به میزان یکسانی کاهش یافته است؛ اما در مورد محصول سیب‌زمینی، مصرف آب در شرایط بهینه و سناریوها نسبت به وضع موجود افزایش یافته که کمترین افزایش در سناریوی ۳ (حداقل‌سازی مصرف آب) اتفاق افتاده است (شکل ۴).

بحث

سناریوی اول که با هدف بیشینه کردن سود طراحی شده بود، تنها محصول سیب‌زمینی را پیشنهاد کرده است. ولی با توجه به محدودیت فروش و نیاز منطقه به محصولات دیگر و همچنین محدودیت آب در منطقه، از لحاظ عملی، امکان اجرای این گزینه مشکل بوده و در عمل بایستی تصمیم‌گیری‌ها برگرفته از شرایط واقعی منطقه باشد. از طرف دیگر، کشت این میزان سیب‌زمینی به ۱۰۹۴/۵ میلیون مترمکعب آب نیاز دارد که عملی نیست.

عاملی که در بهینه‌سازی الگوی کشت از اهمیت زیادی برخوردار است، محدودیت منابع آب در دسترس می‌باشد زیرا در صورت کمبود آب در یکی از مراحل کشت، میزان عملکرد محصول افت خواهد کرد. در اجرای مدل با سناریوی دوم نیز تنها محصول سیب‌زمینی به سبب سودآوری بیشتر و محصول نخود آبی به سبب مصرف آب کمتر نسبت به گندم آبی و همچنین سود بیشتر نسبت به محصولات دیگر، در الگوی کشت وارد شدند. میزان مصرف آب در سناریوهای سوم، چهارم و پنجم نسبت به سناریوی دوم، ۷۳ درصد کاهش یافته، اما نسبت به وضع موجود ۶ درصد افزایش یافته است. در عین حال، سودآوری سناریوهای سوم، چهارم و پنجم به ترتیب ۱۱/۵۶، ۱۰/۹۸ و ۱۱/۵۶ برابر وضع موجود بود. میزان مصرف آب در سناریوی ششم نسبت به سناریوی پنجم، ۲/۴ درصد کاهش یافته و نسبت به وضع موجود ۳/۶ درصد افزایش داشته است. از طرف دیگر میزان سودآوری این سناریو نسبت به وضع موجود، ۱۰/۱۱ برابر بود. کمترین مصرف آب در سناریوی هفتم مشاهده شده و در عین حال میزان سودآوری آن نسبت به وضع موجود ۷/۹۲ برابر بود.

بهترین سناریو را می‌توان با توجه به فاکتورهای میزان سودآوری، بهینه‌سازی الگوی کشت و کاهش مصرف آب تعیین کرد. از نظر میزان سودآوری در مقایسه با وضع موجود، سناریوی اول دارای بالاترین عملکرد بوده و بعد از آن سناریوی دوم قرار دارد؛ اما اجرای سناریوی اول عملاً غیرممکن می‌باشد. از طرف دیگر، کمترین میزان مصرف آب در سناریوی هفت مشاهده شده؛ اما نسبت به سناریوهای دیگر کمترین سودآوری را داشت. با در نظر گرفتن دو فاکتور سودآوری و کاهش مصرف آب، دو سناریوی سوم و پنجم به دلیل سودآوری بهتر نسبت به سناریوهای چهارم، ششم و هفتم؛ مصرف آب کمتر نسبت به سناریوهای اول و دوم؛ اجرای الگوی کشت کامل (شامل هشت محصول زراعی) نسبت به سناریوی اول و دوم، به‌عنوان سناریوهای برتر انتخاب شدند.

بهینه‌سازی منابع موجود و تعیین سطح بهینه کشت در منطقه مورد مطالعه، امکان افزایش ۱۰٪ سود حاصل از الگوی کشت موجود را فراهم می‌نماید. در سناریوی کاهش مصرف آب زیرزمینی، باوجود کاهش آب در دسترس، سود خالص این سناریو نسبت به وضع موجود ۱۰/۱۱ درصد افزایش یافت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط کمبود آب در دسترس مانند خشکسالی‌ها و یا در اتخاذ تصمیماتی مانند بهره‌برداری کمتر از آب‌های زیرزمینی برای جبران افت آبخوان‌ها، می‌توان با تغییر در الگوی کشت ضمن کاهش مصرف آب، سود اقتصادی را افزایش داد. سود اقتصادی بخش کشاورزی استان تهران نیز در الگوی کشت محصولات و استفاده از تکنیک کم آبیاری، ۲۳/۵ درصد در مقایسه با شرایط فعلی الگوی کشت و آبیاری، افزایش یافته بود (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

تنها در سناریوی ۲، نهاده آب دارای قیمت سایه‌ای بوده و نشان می‌دهد که تأمین یک واحد آب اضافی، سود کشاورزان را به میزان ۷۷۱ تومان افزایش می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییر مقدار منابع محدودی مانند آب می‌تواند ضرایب الگو و قیمت‌های سایه‌ای نهاده‌ها را دچار تغییر کند. در مطالعه‌ای در حوضه‌های آبریز غرب ایران نشان دادند قیمت سایه‌ای هر مترمکعب آب کشاورزی کمتر از هزینه تمام شده آن است (تهامی‌پور زرندی و یزدانی[1]، ۲۰۱۶). بنابراین، قیمت‌گذاری بر اساس دریافت تمام هزینه‌های تأمین، انتقال و توزیع آب کشاورزی گزینه مناسبی برای قیمت‌گذاری نیست و اجرای این سیاست در راستای مدیریت یکپارچه منابع آب، مستلزم حمایت دولت از بخش کشاورزی و اعمال سیاست قیمت‌گذاری ترجیحی در بلندمدت است. بهینه‌سازی منابع موجود و تعیین سطح بهینه کشت در منطقه مورد مطالعه، امکان افزایش ۱۰٪ سود حاصل از الگوی کشت موجود را فراهم می‌نماید. چنانچه افزایش ۱۸/۶٪ سود حاصل از بهینه‌سازی نسبت به آبیاری به شیوه سنتی نیز نشان داده شده است (حسن اصفهانی[2] و همکاران، ۲۰۱۵).

نتایج این پژوهش نشان داد که کشاورزان از منابع موجود به نحو بهینه استفاده نمی‌کنند به طوری که با به‌کارگیری الگوی بهینه کشت، بازده برنامه‌ای به میزان ۱۰/۹۸ درصد افزایش می‌یابد. افزایش حدود ۱۳ درصدی شاخص کارایی «نسبت سود به آب مصرفی» علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی در سطح مزارع در رودبار الموت نشان داده شده است (پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به یافته‌های این تحقیق، در الگوی پیشنهادی برنامه‌ریزی خطی باهدف حداقل‌سازی مصرف آب، سطح زیر کشت یونجه به میزان ۳۱/۷۳٪ کاهش یافت که می‌تواند به دلیل نیاز آبی بالای این محصول باشد. میزان مصرف آب در سناریو ۷ نسبت به وضع موجود، حدود ۲/۷٪ افزایش داشت اما نسبت به وضعیت بهینه به میزان ۳/۷٪ کاهش وجود داشت.

1. Tahami Pour Zarandi & Yazdani
2. Hassan-Esfahani

در مورد آنالیز حساسیت می‌توان نتیجه گرفت که هم افزایش و هم کاهش سود، بیشترین حساسیت را نسبت به کاهش حجم آب قابل بهره‌برداری دارد. دلیل این مسئله آن است که در منطقه مورد بررسی، حجم آب قابل استحصال محدودکننده‌ترین عامل اثرگذار است چرا که در منطقه مورد مطالعه، کمتر از ۲۰ درصد اراضی حاصلخیز دشت به کشت آبی اختصاص دارد و محصولات آبی در الگوی کشت منطقه سود بیشتری نسبت به محصولات دیم دارند. بنابراین حساسیت مدل نسبت به این موضوع بسیار زیاد است و سطح اراضی در دسترس برای کشت آبی در مقایسه با آب به‌عنوان عامل محدودکننده محسوب نمی‌شود. در مطالعه دیگری نیز تأثیرپذیری زیاد توابع هدف از میزان آب در دسترس، سطح کل اراضی و سطح کشت یونجه نشان داده شده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۶). از طرفی می‌توان گفت که کل اراضی تخصیص‌یافته نیز در رتبه دوم حساسیت قرار دارد در این مورد هرچه سطح اراضی بیشتر باشد، به یقین میزان سود حاصل بیشتر است. دلیل این موضوع آن است که به رغم آنکه امکان کشت آبی وجود ندارد اما اختصاص زمین بیشتر سبب افزایش سطح زیر کشت محصولات دیم و در نتیجه افزایش سود حاصل از تولید کل می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه هدف مطالعه کنونی کاهش مصرف آب و در عین حال بهینه‌سازی الگوی کشت است، سناریوهای سوم و پنجم به‌عنوان سناریوهای برتر انتخاب شدند. از دلایل انتخاب این سناریوها می‌توان به سودآوری بهتر نسبت به سناریوهای «چهارم، ششم و هفتم»، مصرف آب کمتر نسبت به سناریوهای «اول و دوم» و اجرای الگوی کشت کامل اشاره کرد. طبق نتایج این پژوهش، بهینه‌سازی منابع موجود و تعیین سطح بهینه کشت در منطقه مورد مطالعه، امکان افزایش ۱۰٪ سود حاصل از الگوی کشت موجود را فراهم کرد. در سناریوی کاهش مصرف آب زیرزمینی، باوجود کاهش آب در دسترس، سود خالص این سناریو نسبت به وضع موجود ۱۰/۱۱ درصد افزایش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که کشاورزان از منابع موجود به نحو بهینه استفاده نمی‌کنند به طوری که با به‌کارگیری الگوی بهینه کشت، بازده برنامه‌ای به میزان ۱۰/۹۸ درصد افزایش می‌یابد. در نهایت، با توجه به نتایج مطالعه و شرایط منطقه، پیشنهادهایی شامل «تدوین الزامات قانونی، سیاست‌های تشویقی و تنبیهی و به‌کارگیری مروجان کشاورزی در جهت حرکت به سمت الگوهای زراعی پیشنهادی»، «ترویج و آموزش استفاده از روش‌ها و فناوری‌های نوین آبیاری و ایجاد انگیزه در کشاورزان برای بالا بردن بازده آبیاری و ارائه تسهیلات و وام‌های با نرخ سود کم به کشاورزان برای استفاده از تکنولوژی‌های جدید در کشاورزی» و «تضمین خرید و فروش محصولات مختلف به وسیله سازمان‌های ذیربط دولتی با این هدف که کشاورزان فقط به دنبال محصولات با سودآوری بیشتر نباشند» ارائه می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دانند از مدیران، مسئولین و کارکنان شرکت آب منطقه‌ای کردستان و سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان به دلیل همکاری صمیمانه در تهیه داده‌ها و در اختیار قرار دادن اطلاعات موردنیاز تشکر و قدردانی کنند.

منابع

اسعدمهربانی، مژگان؛ بنی‌حبیب، محمدابراهیم؛ روزبهانی، عباس (۱۳۹۷). مدل برنامه‌ریزی خطی فازی برای بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه زرینه‌رود. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۴ (۱): ۱۳-۲۴.

انوری، صدیقه؛ موسوی، جمشید؛ مرید، سعید. (۱۳۹۳). مقایسه رویکردهای برنامه‌ریزی پویا، خطی و غیرخطی در بهره‌برداری بهینه از مخزن (مطالعه موردی: خشکسالی سال‌های ۸۰-۱۳۷۷ شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود اصفهان). *نشریه علمی آبیاری و زهکشی ایران، ۸* (۴): ۷۱۳-۷۲۵.

اوسطی، خالد (۱۳۹۵). نوسانات سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های دشت قروه-دهگلان: شواهدی از مدیریت نامناسب منابع آب در شرایط خشکسالی. *ششمین کنفرانس ملی مهندسی منابع آب ایران*، دانشگاه کردستان، سنندج.

پارساپور، سارا؛ سلطانی، سحر؛ شاهنوشی، ناصر (۱۳۹۶). مدیریت پایدار منابع آب بر اساس بهینه‌سازی عوامل زراعی، زیست‌محیطی و اقتصادی با استفاده از برنامه‌ریزی کسری چند هدفه (مطالعه موردی: دشت فریمان تربت جام). *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۷* (۱): ۱۴۷-۱۶۳.

پرهیزکاری، ابوذر؛ مظفری، محمدمهدی؛ خاکی، مهران؛ تقی‌زاده‌رنجبری، حسین (۱۳۹۴). تخصیص بهینه منابع آب و اراضی درمنطقه رودبارالموت با استفاده از مدل FGFP. *نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۴* (۴): ۱۱-۲۴.

حسین‌زاده، مرضیه؛ بنی‌حبیب، محمدابراهیم؛ اولادقره‌گوز، محمود (۱۳۹۱). بهینه‌سازی تخصیص آب و الگوی کشت محصولات کشاورزی با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی؛ مطالعه موردی استان تهران. *سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب*، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

سرگزی، علیرضا؛ قویدل، مهدیه (۱۳۹۶). برنامه‌ریزی و تخصیص بهینه منابع آب در بخش کشاورزی (مطالعه موردی شهرستان صومعه سرا). *تحقیقات منابع آب، ۱۳* (۲): ۸۱-۷۴.

فیض‌آبادی، یاسر؛ یوسف پور، فاطمه؛ اسدپور، حسن (۱۳۹۳). کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی چند شاخصه فازی در تعیین الگوی بهینه کشت ارقام برنج در شالیزارهای بابلسر. *نشریه اقتصاد کشاورزی، ۸* (۱): ۳۱-۴۵.

مرادی، حمیدرضا؛ جلیلی، خلیل؛ بزرگ‌حداد، امید (۱۳۹۶). بهینه‌سازی تخصیص اراضی و آب آبیاری مبتنی بر دیدگاه بیلان آب با استفاده از برنامه‌ریزی خطی. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۱* (۲): ۳۷۲-۳۸۵.

References

Anvari, S., Mousavi, S. J., & Morid, S. (2014). Comparison of Dynamic, linear and Nonlinear Programming Approaches in Optimal Operation of Reservoir (Case study: the 1998-2000 Droughts of Zayandeh Rud Agricultural System). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *8* (4), 713-725 (In Persian).

Asaadi Mehrabani, M., Banihabib, M. & Roozbahany, A. (2018). Fuzzy Linear Programming Model for the Optimization of Cropping Pattern in Zarrinehroud Basin. *Iran-Water Resources Research*, *14* (1), 13-24 (In Persian).

Avsati, Kh. (2016).Groundwater level fluctuations in aquifers of Qorveh-Dehgolan plain: Evidence of improper management of water resources in drought conditions. *Sixth National Conference on Water Resources Engineering of Iran*, Kurdistan University, Sanandaj (In Persian).

Barati, K., Abedi Koupai, J., Darvishi, E., Arzani, A. & Yousefi, A. (2020). Crop Pattern Optimization using System Dynamics Approach and Multi-Objective Mathematical Programming. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *22* (5), 1397-412.

Benli, B. S., Kodul. (2003). A non-linear model for farm optimization with adequate and limited water supplies application to the south-east Anatolain project (GAP) region. *Agricultural Water Management, 62*, 187-203.

Bojang, PO., Yu, P., Yang,T. & Kuo, C. (2016). Optimal Cropping Patterns for Profit Maximization Using a Linear Programming Model: A Case Study in Njawara Village, the Gambia. *Hydro-Science & Engineering for Environmental Resilience*, 3-10.

Dai, C., Qin, X. S. & Lu, W.T. (2021). A fuzzy fractional programming model for optimizing water footprint of crop planting and trading in the Hai River Basin, China. *Journal of Cleaner Production,* 278, 123196.

Das, B., Singh, A., Panda, S. & Yasuda, H. (2015). Optimal land and water resources allocation policies for sustainableirrigated agriculture. *Land Use Policy*, *42*, 527-37.

Devi, S., Srivastava, D.K. & Mohan, C. (2005). Optimal water allocation for the Trans boundary Subernarekha River, India. *Journal of water resources planning and management*, *131*(4), 253-69.

Esmaeili, A. & Shahsavari, Z. (2015). Water allocation for agriculture in southwestern Iran using a programming model. *Applied Water Science*, *5*, 305-10.

Faizabadi, Y., Yousefpour, F. & asadpour, H. (2014). Application of Fuzzy Multi-objective Linear Programming Model for Determining Optimal Cultivation Pattern of Different Varieties of Rice in Paddies Babolsar. *Agricultural Economics*, *8* (1), 31-45 (In Persian).

FAO. (2013). FAO Statistical Yearbook 2013, World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp 289.

Garg, N.K. & Sushmita, M. (2014). Integrated non-linear model for optimal cropping pattern and irrigation scheduling under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, *140*, 1-13.

Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A. & McKee, M. (2015). Assessment of optimal irrigation water allocation for pressurized irrigation system using water balance approach, learning machines, and remotely sensed data. *Agricultural Water Management*, *153*, 42–50.

Hosseinzadeh, M., Bani Habib, M. & Avlad Qara-Guz, M. (2012). Optimization of water allocation and cultivation pattern of agricultural products using nonlinear programming; Case study of Tehran province. *Third National Conference on Comprehensive Water Resources Management*. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

Karamouz, M., Kerachian, R. & Zahraie, B. (2004). Monthly water resources and irrigation planning: case study of conjunctive use of surface and groundwater resources. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *130* (5), 391-402.

Kashanian, M., Pishvaee, M. S. & Sahebi, H. (2020). Sustainable biomass portfolio sourcing plan using multi-stage stochastic programming. *Energy*, *204*, 117923.

Mariolakos, I. (2007). Water resources management in the framework of sustainable development. *Desalination*, *213* (1-3), 147–51.

Moradi, H., Jalili, K. & Bozorg Hadad, O. (2017). Optimization of Land and Irrigation Water Allocation Based on Water Balance Approach Using Linear Programming. *Water and Soil*, *31* (2), 372-85 (In Persian).

Najafabadi, M. M., Ziaee, S., Nikouei, A. & Borazjani, M. A. (2019). Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. *Agricultural Systems, 173*, 218-32.

Nazer, W., Tilmant, D. & Mimi, Z. (2010). Optimizing irrigation water use in the West Bank Palestine. *Agricultural Water Management, 97*, 339–345.

Osama, S., Elkholy, M. & Kansoh, R. (2017). Optimization of the cropping pattern in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, *56*(4), 557-66.

Parhizkari, A., mozaffari, M., khaki, M. &Taghizade Ranjbari, H. (2015). Optimal allocation of water and lands resources in the Roudbar Alamout region using the FGFP model. *Journal of Soil and Water Resources Conservation, 4* (4), 11-24 (In Persian).

Parsapour, S., Soltani, S. & Shahnoushi, N. (2017). Sustainable Management of Water Resources Based on Optimizing of Agricultural, Environmental and Economic Factors Using Multi Objective Linear Fractional Programming Approach: Fariman-Torbat Jam Plain. *Agriculture Science and Sustainable Production, 27* (1), 147-63 (In Persian).

Sargazi, A. & Ghavidel, M. (2017). Planning and optimal allocation of water resources in the agricultural sector using fuzzy programming approach (Case study of Someh Sara city). Iran-*Water Resources Research, 13* (2), 74-81 (In Persian).

Shreedhar, R., Hiremath, C. G., & Shetty, G. G. (2015). Optimization of cropping pattern using linear programming model for Markandeya command area. *International Journal of Scientific & Engineering Research, 6* (9), 1311-1326.

Singh, A. (2012). Optimal allocation of resources for the maximization of net agricultural return. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 138* (9), 830-36.

Singh, A. (2015). Land and water management planning for increasing farm income in irrigated dry areas. *Land Use Policy, 42*, 244-50.

Stray, B.J., Van Vuuren, J.H. & Bezuidenhout, C.N. (2012). An optimisation-based seasonal sugarcane harvest scheduling decision support system for commercial growers in South Africa. *Computers and Electronics in Agriculture, 83*, 21-31.

Tahami Pour Zarandi M. & Yazdani, S. (2016). The Role of Economic Instruments in IWRM: The Case Study of Irrigation Water Pricing in Western Basins of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 47* (3), 545-556.

Vedula, S., Mujumdar, P.P. & Sekhar, G.C. (2005). Conjunctive use modeling for multi crop irrigation. *Agricultural Water Management, 73* (3), 193-221.