اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۹، شمارهٔ ۱۱۳، بهار ۱۴۰۰

DOI: 10.30490/AEAD.2021.252457.0

مقاله پژوهشی

تعیین الگوی بهینهٔ کشت با تأکید بر محدودیت منابع آب در شهرستان ارزوئیه

شیوا سلجوقی[۱]، ماشااله سالارپور[۲]، محمود احمدپور برازجانی[۳]، علیرضا سرگزی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۱۶

چکیده

تاکنون، هدف اغلب روش‌های تعیین الگوهای بهینه کشت محصولات زراعی صرفاً افزایش سود تولیدکنندگان بوده، در حالی که در بیشتر مناطق ایران، با بهره‌برداری بی‌رویه از منابع محدود، تولید پایدار به خطر افتاده است. بنابراین، مد نظر قرار دادن اهداف کمینه‌سازی مصرف نهاده‌های کمیاب نظیر آب در تعیین الگوی بهینه کشت ضروری است. هدف تحقیق

۱- دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲- نویسندهٔ مسئول و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. (hosssalarpour@gmail.com)

۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۴- عضو هیئت علمی گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

حاضر تعیین الگوی کشت بهینه با توجه به شرایط کم‌آبی در منطقه ارزوئیه از توابع استان کرمان بود. بدین منظور، از روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت بیشینهٔ آنتروپی (ME) استفاده شد. نتایج نشان داد که با اِعمال محدودیت پنج تا چهل درصدی در عرضه آب آبیاری، سطح زیر کشت کلیه محصولات زراعی منتخب شهرستان ارزوئیه، به‌جز گندم آبی که اصولاً نیاز آبی آن کمتر از دیگر محصولات آبی است، کاهش می‌یابد. بنابراین، اجرای برنامه‌های سیاستی مناسب مانند قیمت تضمینی گندم و جو همگام با نرخ تورم، تعیین نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان مطابق با روند تغییرات ارزش اقتصادی آب در بلندمدت و استفاده از سیاست محدودیت منابع آب در دسترس توأم با سیاست تعدیل در قیمت‌گذاری توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)، بیشینهٔ آنتروپی (ME)، محدودیت آب، ارزوئیه (شهرستان).
طبقه‌بندی JEL: C02, C61, Q01

مقدمه

کمبود منابع اولیه برای تولید محصولات کشاورزی سبب شده است که بهینه‌سازی و بهینه‌یابی در کاربرد منابع بسیار مورد توجه واقع شود. در بخش کشاورزی، واحدهای تولیدی همواره سعی دارند که در تخصیص منابع موجود برای یک دوره زمانی معین به‌صورت عقلایی و اقتصادی تصمیم‌گیری کنند تا در این رهگذر، از اتلاف منابع کمیاب جلوگیری شود و تخصیص آنها بین فعالیت‌های مختلف زراعی به‌گونه‌ای مطلوب و بهینه صورت پذیرد. در فعالیت‌های زراعی، از نهاده‌های متعدد برای کشت محصولات استفاده می‌شود و یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌ریزان زراعی بهینه‌سازی کاربرد منابع و نهاده‌ها در طراحی الگوهای مناسب کشت است (Asgaripour and Bagheri, 2010).

در این راستا، تولید محصولات کشاورزی از عوامل گوناگون تأثیر می‌پذیرد، که هر کدام از این عوامل به‌تنهایی بدون ارزش بوده، در تقابل با یکدیگر معنی می‌یابند (Fallahi and Khalilian, 2009; Mohammadi et al., 2015). تولید محصولات در بخش کشاورزی به منابع فراوان آب نیاز دارد. با توجه به ثابت بودن منابع تجدیدشوندهٔ آب در جهان، تأمین آب به یکی از اساسی‌ترین مشکلات برای بشر تبدیل شده است و با گذر زمان، کمبود آن بیش از پیش احساس می‌شود (Riazi and Montazeri, 2008).

طی دهه‌های اخیر، استفاده فزاینده از منابع آب و کارآیی پایین روش‌های بهره‌برداری از آن در الگوهای کشت، موجب نگرانی‌های زیست‌محیطی بسیاری شده است. انحراف گسترده آب از رودخانه و کانال‌ها به‌منظور آبیاری و مصارف دیگر به پدیده‌های ناخوشایند بوم‌شناختی و زیست‌محیطی برای مناطق پایین‌دست انجامیده که از جمله مسائل زیست‌محیطی ناشی از آن کاهش آب قابل دسترس و کاهش کیفیت و افزایش شوری آب و خاک است. افزون بر مسائل یادشده، رشد روزافزون جمعیت درجهان امروز نیاز به فرآورده‌ها و محصولات کشاورزی را افزایش داده و در نتیجه، فشار بر منابع پایه مورد استفاده (آب، سموم و کودهای شیمیایی و...) برای این تولیدات را زیاد کرده است. تدوین و ارائه الگو یا برنامه‌ای که بتواند اهداف اقتصادی کشاورزان شهرستان ارزوئیه را در شرایط کم‌آبی و مواجه شدن با محدودیت نهاده آب تحقق بخشد، ضروری است. به همین منظور، مطالعه حاضر در پی دستیابی به الگوی بهینه کشت محصولات زراعی و تخصیص بهینه منابع آب و اراضی در شرایط کم‌آبی در شهرستان ارزوئیه (از توابع استان کرمان) است، به‌گونه‌ای که علاوه بر حداکثر شدن سود ناخالص کشاورزان منطقه، مصرف نهاده آب در واحد سطح اراضی حداقل شوند و علاوه بر اهداف اقتصادی کشاورزان این منطقه، اهداف زیست‌محیطی و جنبه‌های پایداری منابع آب زیرزمینی نیز به‌طور هم‌زمان مد نظر قرار گیرند. بر این اساس، اهدافی که در تحقیق حاضر دنبال شده، عبارت‌اند از:

۱- تعیین الگوی بهینه کشت در راستای پایداری منابع آب با تأکید بر محدودیت نهاده آب آبیاری و مقایسه اهداف ارائه‌شده در شرایط فعلی تحت شرایط متفاوت کم‌آبی در شهرستان ارزوئیه؛

۲- تحلیل اثرات کم‌آبی بر الگوی کشت و بازده ناخالص کشاورزان در شهرستان ارزوئیه؛ و

۳- تدوین و ارائه راهکارهای مناسب در راستای پایداری و حفاظت از منابع آب کشاورزی شهرستان ارزوئیه و رفع مشکلات کم‌آبی در این منطقه با توجه به تغییرات الگوی بهینه کشت نسبت به الگوی فعلی کشت.

در زمینه موضوع تحقیق حاضر، مطالعات گسترده در داخل و خارج کشور صورت گرفته است که از آن میان، پاره‌ای از پژوهش‌ها در پی تشریح می‌شود.

صبوحی و همکاران (Sabouhi et al., 2007)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی[1]، به بررسی تأثیر سناریوهای افزایش قیمت آب آبیاری بر منافع خصوصی و اجتماعی کشاورزان دشت مشهد پرداختند و نتایج تحقیق نشان داد که افزایش قیمت آب آبیاری الزاماً منجر به کاهش مصرف آب نمی‌شود؛ همچنین، در صورت وجود سیاست‌های انحرافی و نقص بازار، خشکسالی ممکن است منافع اجتماعی حاصل از فعالیت‌های زراعی را چندان تغییر ندهد.

زارع مهرجردی (Zare Mehrjerdi, 2007) در مطالعه‌ای نشان داد که امروزه، در اغلب نقاط کشور، به‌دلایل مختلف از جمله استحصال بی‌رویه و غیرمنطقی از منابع آب موجود، به‌ویژه آب های زیرزمینی، بروز مشکلاتی نظیر خشکسالی و عدم رعایت اصول حفاظت در بهره‌برداری از منابع آب، برخی از منابع آبی کشور از بین رفته‌اند و یا اینکه در معرض خطر نابودی قرار دارند. چنانچه افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت‌های کشور ادامه یابد، علاوه بر شوری آب، منجر به تهی شدن کامل دشت‌ها از منابع آب خواهد شد و کلیه سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده و امکانات معیشتی ایجادشده در این دشت‌ها از بین خواهد رفت.

1. Positive Mathematical Programming (PMP)

بخشی و همکاران (Bakhshi et al., 2011)، به‌منظور تحلیل اثرات سیاست‌های جایگزین قیمت‌گذاری آب آبیاری در دشت مشهد، مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی را به‌کار گرفتند؛ سناریوهای شبیه‌سازی‌شده شامل افزایش قیمت نهاده آب، مالیات بر نهاده‌های مکمل نهاده آب و مالیات بر محصول بود. نتایج نشان داد که اثر سیاست‌های جایگزین بسته به گروه بهره‌بردار نماینده متفاوت بوده و اثرات آن بر درآمد، تقاضای آب و الگوی کشت هر گروه از بهره‌برداران گسترده‌تر است. در زمینه پایداری منابع آب نیز سیاست قیمت‌گذاری آب آبیاری و مالیات بر محصول، در مقایسه با سیاست مالیات بر نهاده مکمل، مؤثرتر و مناسب‌تر است.

زمانیان و همکاران (Zamanian et al., 2014)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت حداکثر بی‌نظمی یا همان بیشینهٔ آنتروپی[1]، به بررسی اثر تنش محیطی و افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی بر الگوی کشت دشت خمین پرداختند. هدف این پژوهش بررسی اثرات مختلف کاهش میزان آب مصرفی و افزایش قیمت نهاده‌های کود شیمیایی و آب بر الگوی کشت بود. نتایج نشان داد که الگوی PMP برآوردشده به‌خوبی مقادیر سطح فعالیت‌ها را در سال پایه بازتولید می‌کند و اعمال سیاست افزایش هزینه‌های دو نهاده آب و کود با کاهش تنوع الگوی کشت در منطقه مورد مطالعه همراه است.

شیرماهی و همکاران (Shirmahi et al., 2014)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت بیشینهٔ آنتروپی (ME)، به بررسی اثرات حذف یارانه گازوئیل بر الگوی کشت در شهرستان ری پرداختند. نتایج نشان داد که با اعمال سیاست حذف یارانه گازوئیل، سطح زیر کشت تمام محصولات به‌جز گندم و گل کلم کاهش یافته و استفاده از نهاده‌ها و بازده برنامه‌ای نیز در گروه‌های مختلف کاهش چشمگیر داشته است؛ همچنین، اجرای سیاست حذف یارانه گازوئیل به سود کشاورز نبوده است.

هاتف و همکاران (Hatef et al., 2016)، بر اساس مزیت نسبی و با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی فازی چندهدفه، به تعیین الگوی بهینه کشت محصولات منتخب زراعی استان

1. Maximum Entropy (ME)

خراسان رضوی پرداختند و در کنار هدف کشت محصولات دارای مزیت نسبی، هدف‌هایی نظیر بیشترین سود برای کشاورز را نیز در نظر گرفتند.

علی‌پور و موسوی (Alipour and Mousavi, 2018)، الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در شرکت مزرعه نمونه گرگان را با تأکید بر افزایش کارایی مصرف آب مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که با تدوین الگوی بهینه تولید محصولات زراعی در این واحد کشاورزی، کارایی مصرف آب به میزان ۱۵ درصد، بازده ناخالص به میزان ۹ درصد و خالص انرژی تولیدی به میزان ۲۰ درصد افزایش می‌یابد.

اسعدی و همکاران (Asadi et al., 2019) به بررسی اثر سناریوهای کم‌آبیاری بر بهینه سازی مصرف آب و الگوی کشت غالب (گندم، جو، چغندرقند، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و یونجه) در شبکه آبیاری دشت قزوین پرداختند و به منظور بیشینه‌سازی درآمد مزرعه، از روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) به‌همراه روش بیشینهٔ آنتروپی (ME) مشروط به توابع واکنش عملکرد محصولات نسبت به آب در فضای سایر محدودیت‌ها استفاده کردند. نتایج نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری در بهترین حالت یعنی، سناریوی اول (کاهش پنج درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن برای محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و چغندرقند و پنج درصد کم‌آبیاری در مرحله رشد رویشی محصول یونجه)، علی‌رغم صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۵/۲ درصد، امکان افزایش درآمد مزرعه به میزان ۰/۴ درصد وجود دارد.

جادز و همکاران (Judez et al., 1998)، با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)، به بررسی اثرات برخی سیاست‌های اتخاذشده در سازمان بازار مشترک[1] اروپا بر تعدادی مزرعه پرداختند و از یک مدل چنددوره ای[2] که از PMP با یک تابع هزینه درجه دوم

1. Common Market Organization (CNO)
2. multi-period model

بهره می‌برد، استفاده کردند. نتایج نشان داد که این سیاست‌ها باعث کاهش سطح زیر کشت انگور و افزایش سطح زیر کشت غلات، دانه‌های روغنی و محصولات پروتئینی خواهد شد.

ستی و همکاران (Sethi et al., 2006)، به‌منظور اتخاذ سیاست‌های بلندمدت برای مدیریت پایدار زمین‌های کشاورزی و منابع آب موجود در منطقه به‌صورت توأم در منطقه بالاسور[1] در کشور هند، به بررسی تخصیص منابع آب و برنامه‌ریزی بهینهٔ کشت محصولات زراعی پرداختند. نتایج نشان داد که بیست درصد آب سطحی و سی درصد آب زیرزمینی قابل دسترس سطوح بهینه تخصیص آب را تشکیل می‌دهند؛ و همچنین، چهل درصد انحراف از الگوی کشت فعلی برای تأمین حداقل نیاز غذایی بهینه است.

مدلین آذوارا و همکاران (Medellin-Azuara et al., 2012)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و با فرض حداکثرسازی سود سرمایه‌گذاری در فناوری آبیاری، به بررسی واکنش کشاورزان نسبت به برنامه‌های سیاستی قیمت‌گذاری، سهمیه‌بندی آب آبیاری و حذف یارانه‌ها در ایالت کالیفرنیا پرداختند. نتایج نشان داد که یارانه فناوری کارآمد بوده و ممکن است سهمیه‌بندی آب آبیاری اثر کمی بر زمین و آب استفاده‌شده بگذارد و از این‌رو، حفاظت و پایداری منابع آب به مشوق های دیگری در این زمینه نیاز دارد؛ همچنین، سیاست شبیه‌سازی افزایش قیمت آب به میزان بیست درصد منجر به افزایش بهره وری آب کشاورزی در حدود ۴۳ درصد می‌شود.

فراگوسو و همکاران (Fragoso et al., 2011)، با انجام تحقیقی کاربردی در زمینه تحلیل سیاست‌های بخش کشاورزی، به بررسی اثرات اقتصادی سیاست مشترک کشاورزی[2] در منطقه‌ای از مدیترانه پرداختند و بدین منظور، از روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی استفاده کردند. بر پایهٔ نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، پرداخت‌هایی که به تصمیم‌گیری تولید وابسته نیستند،

1. Balasore
2. Common Agricultural Policy (CAP)

اثرات اقتصادی منفی بر فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از منابع یا نهاده‌های تولید در الگوی کشت محصولات منتخب زراعی دارند.

هاویت و همکاران (Howitt et al., 2012)، در تحقیقی پیرامون موضوع «واسنجی مدل‌های اقتصادی تفکیک‌شدهٔ تولیدات کشاورزی و مدیریت منابع آب» برای بررسی نقش بازارهای انتقال آب در منطقه کالیفرنیا، از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و مدل تولیدات کشاورزی ایالتی[1] بهره گرفتند و بدین منظور، در مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی خود، از تابع هزینهٔ نمایی[2] و تابع تولید با کشش های جانشینی ثابت[3] بهره‌گیری کردند؛ البته استفاده از این نوع مدل جداگانه برای تجزیه‌وتحلیل سیاست بالقوهٔ ارزیابی انتقال آب در شرایط خشکسالی بود. نتایج این مطالعه نشان داد که با تخصیص آب در الگوی کشت بهینه بر اساس سازوکار بازار، می‌توان زیان های درآمدی ناشی از خشکسالی و کم‌آبی را تا حدود سی درصد کاهش داد.

لهمان و همکاران (Lehmann et al., 2013)، در بررسی تأثیر اقلیم و نوسان‌های قیمت محصولات زراعی بر مدیریت کاربری زمین‌های کشاورزی در غرب کشور سوئیس، از یک مدل زیست‌محیطی در سطح کشتزار در قالب الگوریتم ژنتیک[4] استفاده کردند و تابع هدف کشاورزان را معادل قطعیت در نظر گرفتند که در آن، نه‌تنها میانگین درآمد، بلکه نوسان درآمد نیز قابل بررسی است. نتایج نشان داد که معادل قطعیت به‌دست‌آمده در شرایط نوسان قیمت محصولات کشاورزی بیش از تغییرپذیری اقلیم است.

بررسی پژوهش‌های پیشین حاکی از آن است که تعیین الگوی بهینه کشت برای یک منطقه کشاورزی در راستای حفظ و پایداری منابع و نهاده‌های تولید با مجهولات و پیچیدگی‌های فراوان همراه است. تنوع محصولات قابل کشت، درصد کشت، میزان نهاده‌های

1. Statewide Agricultural Production Model (SWAP)
2. Exponential Cost Functions (ECF)
3. Constant Elasticity of Substitution (CES)
4. genetic algorithm

استفاده‌شده، میزان آب موردنیاز، حداکثر توان خاک منطقه، میزان سوددهی هر محصول، میزان منابع آب در دسترس و همچنین، محدودیت این منابع کمیاب از جمله عوامل مؤثر در تعیین الگوهای بهینه کشت است که از آن میان، محدودیت منابع آب در دسترس طی سال‌های اخیر مهم‌ترین نقش را در تصمیم‌گیری‌های مدیران واحدهای کشاورزی داشته است. از این‌رو، پژوهش حاضر، با تأکید بر محدودیت منابع آب، به تعیین الگوی بهینه کشت در دشت ارزوئیه پرداخته است.

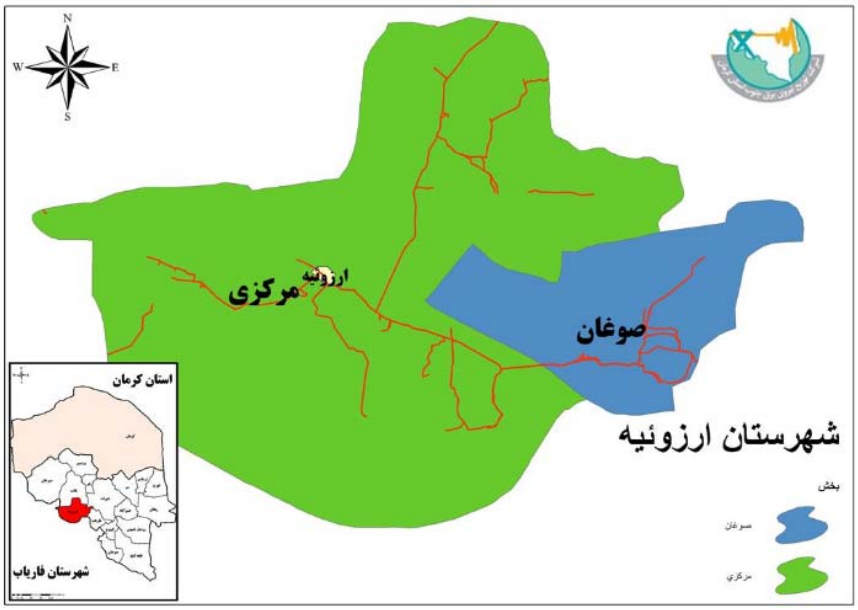
افزون بر این، از آنجا که نتایج مرور مطالعات مرتبط حاکی از یک روند رو به افزایش در بررسی پیامدها و اثرات انواع سیاست‌های دولت به‌منظور مدیریت منابع آب و تخصیص بهینه آب آبیاری در الگوهای کشت با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و کاربرد گسترده این رهیافت در تحلیل سیاست‌های بخش کشاورزی است، در مطالعهٔ حاضر نیز برای تعیین الگوی بهینه کشت در شرایط متفاوت کم‌آبی در شهرستان ارزوئیه، از روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت بیشینهٔ آنتروپی (ME) استفاده شده و در ادامه، پس از استخراج تابع تقاضای آب آبیاری کشاورزان این شهرستان، اثرات محدودیت منابع آب بر الگوی کشت و وضعیت درآمدی کشاورزان این منطقه تحلیل و ارزیابی شده است.

روش تحقیق

برنامه‌ریزی ریاضی یکی از روش‌های بهینه‌سازی است که امروزه، در مسائل مختلف از قبیل برنامه‌ریزی صنعتی، تخصیص منابع، تصمیم‌گیری و مدیریت واحدهای کشاورزی به‌کار می‌رود. اغلب تصور می‌شود که برنامه‌ریزی ریاضی شیوه‌ای در خدمت تصمیم‌گیران برای توسعه مقادیر بهینهٔ متغیرهای تصمیم است، در حالی که بهینه‌سازی فقط یکی از کاربردهای روش برنامه‌ریزی ریاضی است. با توجه به پیشرفت‌های علم اقتصاد کشاورزی در سال‌های اخیر، روش‌های نوین سیاست‌گذاری و اجرای برنامه‌های چندمنظوره یا چندهدفه در زیربخش‌های کشاورزی پدید آمده که از آن میان، استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی

اینک به ابزاری مهم و پرکاربرد در تحلیل سیاست‌های کشاورزی تبدیل شده است (Howitt et al., 2012). مهم‌ترین مزیت مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در تحلیل سیاست‌های کشاورزی توانایی بررسی جزئی‌تر تأثیر سیاست‌ها در سطح مزرعه است.

شهرستان ارزوئیه در ۲۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان واقع شده و دارای شرایط آب‌وهوایی گرمسیری و نیمه‌خشک است و از نظر وضعیت اقلیمی، از مناسب‌ترین مناطق کشاورزی در استان کرمان و نواحی هم‌جوار این استان محسوب می‌شود، به‌گونه‌ای که در تمام طول سال، امکان کاشت، داشت و برداشت محصولات زراعی در این منطقه وجود دارد و می‌توان متنوع‌ترین محصولات زراعی را همراه با درختان نیمه‌گرمسیری در این منطقه کشت کرد. بنابراین، شهرستان ارزوئیه از نواحی مهم کشاورزی در استان کرمان محسوب می‌شود. در شکل ۱، موقعیت این شهرستان در استان کرمان روی نقشه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقیت جغرافیایی شهرستان ارزوئیه در استان کرمان

داده‌ها و اطلاعات آماری مربوط به محصولات زراعی منتخب شهرستان ارزوئیه (گندم آبی، جو آبی، ذرت دانه‌ای، سیب‌زمینی، پنبه، یونجه و هندوانه) طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ از طریق مراجعه به سازمان‌ها و ادارات ذی‌ربط در استان کرمان (سازمان جهاد کشاورزی کرمان و اداره جهاد کشاورزی شهرستان ارزوئیه) گردآوری شدند.

هدف تحقیق حاضر ارائه الگوی بهینه کشت برای منطقه ارزوئیه در شرایط محدودیت منابع آب است و همچنین، بررسی اثرات کم‌آبیاری بر الگوی کشت کشاورزان بوده و بدین‌منظور، از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) استفاده شده است.

روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)

فرآیند حل مسئله در روش PMP شامل سه مرحله است که در پی، تشریح می‌شود.

مرحله اول: یک مسئله برنامه‌ریزی خطی برای برآورد مقادیر دوگان یا قیمت‌های سایه‌ای مجموعه محدودیت‌های مدل حل می‌شود. مدل برنامه‌ریزی خطی، پس از جمع‌آوری اطلاعات کشاورزی در سطح منطقه، تدوین می‌شود. شکل ریاضی این مرحله از مدل PMP را می‌توان به‌صورت روابط زیر نشان داد (Helming et al., 2001; Howitt et al., 2012):

$$
\begin{aligned}
&Max \quad Z = GM'X \\
&\textit{Subject to:} \\
&AX \le b \qquad [\pi] \\
&X \le \left(X^{0} + e\right) \qquad [\lambda] \\
&X \ge 0
\end{aligned}
\tag{۱}
$$

در روابط بالا، Z بیانگر مقدار تابع هدف است که باید حداکثر شود؛ همچنین، X بردار فعالیت‌ها و GM بردار بازده ناخالص واحد سطح محصولات منتخب زراعی است که از حاصل‌ضرب قیمت در عملکرد منهای هزینه‌های متغیر به‌دست م‌آید.

مرحله دوم: برای به‌دست آوردن یک تابع هزینهٔ متغیر غیرخطی، از مقادیر دوگان (λ) به‌دست‌آمده در مرحله اول استفاده می‌شود. البته، معمولاً برای آسانی محاسبه و فقدان دلایل

قـوی بـرای انتخـاب توابـع دیگـر، از تـابع هزینـه متغیـر درجـه دوم اسـتفاده مـی‌شـود (Heckelei, 2002). علت استفاده از این شکل تبعی در مرحله دوم مدل PMP آن است که نتایج به‌دست‌آمده از این مـدل بـا تـابع هزینـه غیرخطـی انعطـاف‌پـذیری رفتـاری و شـبیه‌سـازی واقعی‌تری را نسبت به مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی با تابع هزینه خطی ساده (معمـولی) فـراهم می‌کند و این موضوع از ایجاد ناپیوستگی ناگهـانی و غیرمحتمـل در رهیافـت‌هـای شـبیه‌سـازی جلوگیری می‌کند (Howitt, 1995). با توجه به توضیحات پیش‌گفته، شکل ریاضی تـابع هزینـه درجه دوم به‌صورت رابطه (۲) قابل ارائه است:

$$C^{v} = d'x + \frac{1}{2}x'Qx \qquad (۲)$$

که در آن، C^{v} هزینهٔ متغیر، d یک بـردار (n×1) از فراسـنجه‌هـای مربـوط بـه جـزء خطـی تـابع هزینه، Q یک ماتریس متقارن مثبت معین (n×n) از فراسنجه‌های مربوط به جزء درجه دوم تـابع هزینه است؛ این تابع هزینهٔ متغیر غیرخطی با این شرط که هزینه متغیر نهایی فعالیت‌ها با مجمـوع هزینه حسابداری فعالیت‌ها (c) و متغیـر دوگـان محـدودیت واسـنجی (λ) برابـر باشـد، بـه‌دسـت می‌آید. بنابراین، فراسنجه‌های تابع هزینه باید با شرط زیر محاسبه شوند:

$$MC^{v} = \frac{\partial C^{v}(x^{0})}{\partial x} = d + Qx^{0} = c + \lambda \qquad (۳)$$

که در آن، باید n فراسنجه برای بردار d و به‌علت متقارن بودن *Q*، *n(n+1)/2* فراسـنجه بـرای *Q* محاسبه شوند؛ یعنی، در کل، باید مقدار عـددی *n+n(n+1)/2* فراسـنجه را بـه‌دسـت آورد، امـا فقط n معادله (برای هر محصول، یک معادله) در این رابطـه وجـود دارد. بـه چنـین مسـائلی کـه تعداد فراسنجه‌هـای مـورد محاسـبهٔ آنهـا بیشـتر از تعـداد معـادلات اسـت، مسـائل بـدفرم[1] گفتـه می‌شود. برای حل این مشکل، روش‌های گوناگون پیشنهاد شده است که از آن میان، پـاریس و

1. ill-posed problems

هاویت (Paris and Howitt, 1998) استفاده از روش حداکثر بی‌نظمی یا بیشینهٔ آنتروپی را پیشنهاد کردند.

در صورتی که k نقطه پشتیبان در نظر گرفته شود و احتمال وقوع نقاط پشتیبان Zd_i با $pd_{k,i}$ و احتمال وقوع نقاط پشتیبان $Zq_{i,j}$ با $pq_{k,i,j}$ نشان داده شود، آنگاه ارزش تخمینی حاصل از عناصر بردار d و ماتریس Q از طریق روابط (۴) و (۵) محاسبه می‌شود (Cortignani and Severini, 2009; Howitt et al., 2012):

$$d_i = \sum_{k=1}^{K} pd_{k,i} zd_{k,i} \qquad \forall_i \tag{۴}$$

$$q_{i,j} = \sum_{k=1}^{K} pq_{k,i,j} zq_{k,i,j} \qquad \forall_i \tag{۵}$$

در این صورت، روابط ریاضی مربوط به روش حداکثر بی‌نظمی (ME) برای تخمین پارامترهای بردار d و ماتریس Q به‌صورت زیر قابل ارائه است:

$$\underset{p}{Max}\, H(p) = -\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{n} pd_{k,i} \ln pd_{k,i} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} pq_{k,i,j} \ln pq_{k,i,j} \tag{۶}$$

$$d_i + \sum_{j=1}^{n} q_{i,j} x_j^0 = c_i + \lambda_i \qquad \forall_i \tag{۷}$$

$$d_i = \sum_{k=1}^{K} pd_{k,i} zd_{k,i} \qquad \forall_i \tag{۸}$$

$$q_{i,j} = \sum_{k=1}^{K} pq_{k,i,j} zq_{k,i,j} \qquad \forall_{i,j} \tag{۹}$$

$$\sum_{k=1}^{K} pd_{k,i} = 1 \qquad \forall_i \tag{۱۰}$$

$$\sum_{k=1}^{K} pq_{k,i,j} = 1 \qquad \forall_{i,j} \tag{۱۱}$$

$$q_{i,j} = q_{j,i} \qquad \forall_{i,j} \tag{۱۲}$$

در روابط (۶) تا (۱۲)، H نمایانگر بی‌نظمی مدل است که باید حداکثر شود. تساوی آخر برای متقارن بودن ماتریس Q اضافه شده است. روابط آخر نیز این مطلب را بیان می‌کنند که مجموع احتمالات باید برابر با یک باشد.

مرحله سوم: در این مرحله پایانی واسنجی مدل PMP، با استفاده از تابع هزینه غیرخطی برآوردشده در مرحله دوم و مجموعه محدودیت‌های مدل (به استثنای محدودیت واسنجی)، یک مسئلهٔ برنامه‌ریزی غیرخطی مطابق با شرایط منطقه مورد مطالعه ساخته می‌شود، به‌گونه‌ای که دقیقاً داده‌های سال پایه (مبنا) را بازسازی کند (Cortignani and Severini, 2009; Heckelei, 2002; Howitt et al., 2012):

$$Max\ Z = GM\,\acute{x} - d\,\acute{x} - x\,\acute{Q}x\ /\ 2$$
$$Subject\ to: \qquad (۱۳)$$
$$Ax \le b$$
$$x \ge 0$$

شایان یادآوری است که جواب مدل نهایی بالا در شرایط سال پایه دقیقاً سطوح فعالیت‌های سال پایه خواهد بود که در این حالت، با تغییر شرایط و تعریف سناریوهای مختلف با استفاده از مدل ارائه‌شده، می‌توان به تحلیل سیاست پرداخت.

نتایج و بحث

در این بخش، به بررسی نتایج و تحلیل داده‌ها در قسمت‌های مختلف پرداخته شده است. در جدول ۱، سطح زیر کشت محصولات منتخب زراعی شهرستان ارزوئیه و همچنین، سهم هر کدام از محصولات منتخب زراعی در الگوی منطقه ارائه شده است.

جدول ۱- میزان و درصد سطح زیر کشت محصولات زراعی شهرستان ارزوئیه طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

محصولات منتخب زراعی	سطح زیر کشت (هکتار)	سهم در الگو (درصد)
گندم آبی	۲۳۱۶۰	۴۳/۷۲
جو آبی	۲۵۳۰	۴/۷۸
ذرت دانه‌ای	۱۴۶۸۵	۲۷/۷۳
سیب‌زمینی	۱۲۳۸	۲/۳۴
پنبه	۱۳۴۰	۲/۵۳
یونجه	۱۷۶۰	۳/۳۲
هندوانه	۸۲۵۰	۱۵/۵۸
مجموع	۵۲۹۶۳	۱۰۰

مأخذ: وزارت جهاد کشاورزی (MAJ, 2014)

با توجه به مندرجات جدول ۱، ملاحظه می‌شود که محصول گندم آبی با سطح زیر کشت ۲۳۱۶۰ هکتار (حدود ۴۳/۷۲ درصد از کل سطح زیر کشت منطقه)، در مقایسه با سایر محصولات منتخب در الگوی کشت فعلی منطقه مورد مطالعه، بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است و کشت غالب منطقه تلقی می‌شود که علت آن به پایین‌تر بودن هزینه تولید و نیاز آبی گندم و همچنین، وجود قانون خرید تضمینی برای این محصول توسط دولت برمی‌گردد؛ و این شرایط کشاورزان شهرستان ارزوئیه را طی سال‌های اخیر به توسعه کشت گندم آبی ترغیب کرده است.

طبق گزارش‌های کارشناسان آب منطقه‌ای استان کرمان، میانگین آب‌بهای پرداختی کشاورزان طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در شهرستان ارزوئیه معادل ۶۵۰ ریال به ازای هر مترمکعب بود. بر اساس نتایج جدول ۲، ارزش اقتصادی یا واقعی برآوردشده (قیمت سایه‌ای آب محاسبه‌شده از طریق برنامه‌ریزی ریاضی) برای هر مترمکعب آب آبیاری طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در سطح شهرستان ارزوئیه معادل ۱۱۷۳ ریال بوده است، در حالی که کشاورزان این شهرستان به ازای هر مترمکعب آب آبیاری تنها ۶۵۰ ریال هزینه پرداخته‌اند. نتایج گویای آن

است که کشاورزان شهرستان ارزوئیه تنها حدود ۵۵/۴ درصد از ارزش واقعی نهاده آب آبیاری را در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال آب پرداخت می‌کنند. این عامل می‌تواند در بلندمدت منجر به رایگان تلقی شدن نهاده آب و در نتیجه، هدر رفت و تهدید این منبع کمیاب در سطح اراضی شهرستان ارزوئیه شود.

جدول ۲- مقایسه آب‌بهای پرداختی کشاورزان با ارزش اقتصادی نهاده آب در سطح منطقه‌ای

مؤلفه مورد بررسی	کل منابع آب در دسترس در سال پایه	حداکثر حق‌آبه مجاز در واحد سطح	آب‌بهای پرداختی توسط کشاورزان	ارزش اقتصادی یا واقعی نهاده آب	پرداخت از کل ارزش واقعی نهاده آب
مقدار	۴۷۶/۴۵	۹۴۰۰	۶۵۰	۱۱۷۳	۵۵/۴
واحد	میلیون مترمکعب	مترمکعب/ هکتار	ریال/ مترمکعب	ریال/ مترمکعب	درصد

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با اعمال سناریوی پنج تا چهل درصد کاهش آب در دسترس کشاورزان، تغییراتی محسوس و چشمگیر در الگوی کشت محصولات منتخب زراعی شهرستان ارزوئیه پدید می‌آید، به‌گونه‌ای که با اعمال شرایط کم‌آبی یادشده در این منطقه، سطح زیر کشت کلیه محصولات منتخب، به‌جز گندم آبی، نسبت به شرایط سال پایه کاهش می‌یابد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، با اعمال سیاست کاهش منابع آب در دسترس و ایجاد محدودیت پنج تا چهل درصد در عرضه آب آبیاری، سطح زیر کشت جو آبی ۲/۶۲ تا ۲۲/۴ درصد، ذرت دانه‌ای ۰/۵۳ تا ۴/۲۳ درصد، سیب‌زمینی ۳/۹۷ تا ۳۱/۷ درصد، پنبه ۷/۱۷ تا ۵۷/۳ درصد، یونجه ۱۱/۸ تا ۹۴/۸ درصد و هندوانه ۰/۴۶ تا ۳/۶۱ درصد نسبت به شرایط سال پایه کاهش پیدا می‌کند. این در حالی است که در شرایط یادشده، سطح زیر کشت گندم آبی در منطقه مورد مطالعه از ۲۳۶۹۹ به ۲۷۴۷۶ هکتار می‌رسد که افزایشی برابر با ۲/۳۲ تا ۱۸/۶ درصد را نسبت به شرایط سال پایه (الگوی فعلی کشت در منطقه) به‌همراه دارد.

جدول ۳- تغییرات در الگوی بهینه کشت در شرایط محدودیت عرضه آب

محصولات منتخب	الگوی کشت سال پایه*	میزان تغییرات	محدودیت عرضه آب آبیاری در سناریوهای مختلف				
			٪۵	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰
گندم آبی	۲۳۱۶۰	مقدار	۲۳۶۹۹	۲۴۲۳۹	۲۵۳۱۸	۲۶۳۹۷	۲۷۴۷۶
		درصد	۲/۳۲	۴/۶۵	۹/۳۱	۱۴/۰	۱۸/۶
جو آبی	۲۵۳۰	مقدار	۲۴۵۸	۲۳۸۷	۲۲۴۵	۲۱۰۲	۱۹۵۹
		درصد	-۲/۶۲	-۵/۴۵	-۱۱/۱	-۱۶/۷	-۲۲/۴
ذرت دانه‌ای	۱۴۶۸۵	مقدار	۱۴۶۰۷	۱۴۵۲۹	۱۴۳۷۴	۱۴۲۱۹	۱۴۰۶۴
		درصد	-۰/۵۳	-۱/۰۷	-۲/۱۲	-۳/۱۷	-۴/۲۳
سیب‌زمینی	۱۲۳۸	مقدار	۱۱۸۸	۱۱۳۹	۱۰۴۱	۹۴۳	۸۴۵
		درصد	-۳/۹۷	-۷/۹۲	-۱۵/۸	-۲۳/۸	-۳۱/۷
پنبه	۱۳۴۰	مقدار	۱۲۴۳	۱۱۴۸	۹۵۶	۷۶۴	۵۷۲
		درصد	-۷/۱۷	-۱۴/۳	-۲۸/۶	-۴۲/۹	-۵۷/۳
یونجه	۱۷۶۰	مقدار	۱۵۵۱	۱۳۴۲	۹۲۵	۵۰۸	۹۱
		درصد	-۱۱/۸	-۲۳/۷	-۴۷/۴	-۷۱/۱	-۹۴/۸
هندوانه	۸۲۵۰	مقدار	۸۲۱۲	۸۱۷۵	۸۱۰۲	۸۰۲۷	۷۹۵۳
		درصد	-۰/۴۶	-۰/۹۰	-۱/۸۱	-۲/۷۰	-۳/۶۱

* بر حسب هکتار

مأخذ: یافته‌های پژوهش

متغیر اقتصادی (بازده ناخالص)، در شرایط کاهش منابع آب، تنها برای محصول گندم آبی روند افزایشی دارد و برای سایر محصولات الگو روند آن کاهشی است. بیشترین تغییرات پدیدآمده در بازده ناخالص حاصل از هر هکتار محصولات زراعی مربوط به یونجه و پنبه است، به‌گونه‌ای که با کاهش پنج تا چهل درصد منابع آب در دسترس کشاورزان، سود ناخالص حاصل از هر هکتار یونجه و پنبه، به‌ترتیب، از ۲۶/۳۲۳ به ۱۷/۳۷۱ میلیون ریال و از ۵۱/۱۹۶ به ۴۸/۱۸۰ میلیون ریال می‌رسد، که این میزان تغییرات، به‌ترتیب، کاهشی معادل ۰/۲۵ تا ۳۴/۱۷ درصد و ۰/۳۵ تا ۶/۲۸ درصد را در بازده ناخالص هر هکتار از محصولات یادشده

نسبت به شرایط سال پایه به‌همراه دارد. افزون بر این، نتایج حاکی از آن است که با کاهش عرضه منابع آب در دسترس کشاورزان شهرستان ارزوئیه به میزان پنج تا چهل درصد نسبت به شرایط فعلی منطقه، میزان مجموع بازده ناخالص حاصل از الگوی کشت از $۱۸/۴۵\times۱۰^{۱۰}$ به $۱۷/۹۷\times۱۰^{۱۰}$ میلیون ریال می‌رسد، که کاهشی معادل ۱/۷۹ تا ۲۷/۹ درصد را در کل بازده ناخالص الگوی کشت منطقه به‌دنبال دارد.

جدول ۴- تغییرات بازده ناخالص کشاورزان در الگوی بهینه کشت در شرایط محدودیت عرضه آب

محصولات منتخب	بازده ناخالص در سال پایه*	میزان تغییرات	محدودیت عرضه آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف				
			٪۵	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰
گندم آبی	۲۵/۰۶۵	مقدار	۲۵/۰۶۹	۲۵/۰۷۳	۲۵/۰۸۱	۲۵/۰۸۷	۲۵/۰۹۴
		درصد	۰/۰۱۶	۰/۰۳۱	۰/۰۶۱	۰/۰۸۸	۰/۱۱۳
جو آبی	۲۱/۲۱۴	مقدار	۲۱/۱۹۷	۲۱/۱۸۰	۲۱/۱۴۰	۲۱/۰۹۵	۲۱/۰۴۴
		درصد	-۰/۰۷۹	-۰/۱۶۴	-۰/۳۴۸	-۰/۵۶۰	-۰/۸۰۰
ذرت دانه‌ای	۳۸/۰۲۹	مقدار	۳۸/۰۲۷	۳۸/۰۲۶	۳۸/۰۲۴	۳۸/۰۲۱	۳۸/۰۱۹
		درصد	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۶	-۰/۰۱۲	-۰/۰۱۸	-۰/۰۲۵
سیب‌زمینی	۵۴/۹۴۷	مقدار	۵۴/۹۱۹	۵۴/۸۸۸	۵۴/۸۱۷	۵۴/۷۳۲	۵۴/۶۲۸
		درصد	-۰/۰۵۲	-۰/۱۰۸	-۰/۲۳۶	-۰/۳۹۱	-۰/۵۸۲
پنبه	۵۱/۳۷۹	مقدار	۵۱/۱۹۶	۵۰/۹۸۱	۵۰/۴۲۲	۴۹/۵۸۲	۴۸/۱۸۰
		درصد	-۰/۳۵۸	-۰/۷۷۶	-۱/۸۶۴	-۳/۴۹۸	-۶/۲۲۸
یونجه	۲۶/۳۸۹	مقدار	۲۶/۳۲۳	۲۶/۲۳۶	۲۵/۹۴۵	۲۵/۱۷۶	۱۷/۳۷۱
		درصد	-۰/۲۵۱	-۰/۵۸۰	-۱/۶۸۴	-۴/۶۰۰	-۳۴/۱۷
هندوانه	۵۷/۲۷۶	مقدار	۵۷/۲۷۴	۵۷/۲۷۳	۵۷/۲۷۱	۵۷/۲۶۹	۵۷/۲۶۶
		درصد	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۷	-۰/۰۱۲	-۰/۰۱۶
کل بازده ناخالص الگو	$۱۸/۴۸*۱۰^{۱۰}$	مقدار	$۱۸/۴۵*۱۰^{۱۰}$	$۱۸/۴۱*۱۰^{۱۰}$	$۱۸/۳۰*۱۰^{۱۰}$	$۱۸/۱۵*۱۰^{۱۰}$	$۱۷/۹۷*۱۰^{۱۰}$
		درصد	-۱/۷۹	-۴/۰۵	-۱۰/۱	-۱۷/۸	-۲۷/۹

* بازده ناخالص از طریق کسر هزینه‌های متغیر از درآمد کل مزرعه بر حسب میلیون ریال محاسبه شده است.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

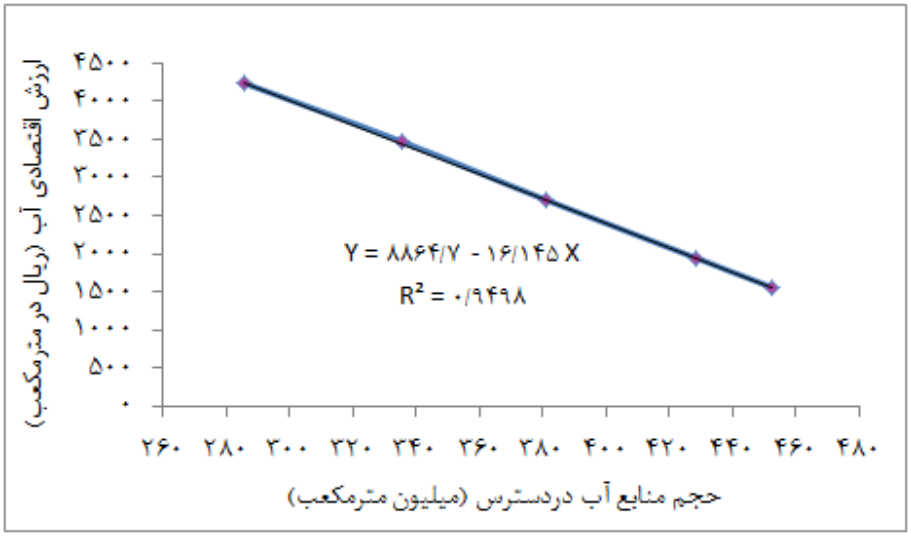
برای اجرای سیاست‌های کم‌آبیاری، سمت راست محدودیت آب در مدل برنامه‌ریزی ریاضی، به‌صورت تجویزی تغییر داده می‌شود. با ایجاد محدودیت در عرضه آب آبیاری به میزان پنج تا چهل درصد نسبت به شرایط سال پایه، ارزش واقعی یا اقتصادی به‌دست‌آمده برای هر مترمکعب آب آبیاری نسبت به شرایط سال پایه ۳/۲۶ تا ۲۶/۰۹ درصد افزایش می‌یابد و به‌لحاظ ارزش ریالی، از ۱۱۷۳ ریال در سال پایه به ۴۲۳۶ ریال می‌رسد. با تشدید محدودیت عرضه آب آبیاری و کاهش چهل درصدی منابع آب، حجم کل منابع آب موجود به ۲۸۵/۸۷ میلیون مترمکعب می‌رسد که در این حالت، ارزش واقعی برآوردشده برای هر مترمکعب آب آبیاری معادل ۴۲۳۶ ریال است. این نکته حاکی از وجود یک رابطه غیرمستقیم یا معکوس بین دو متغیر اقتصادی ارزش آب و حجم کل منابع آب در دسترس است.

جدول ۵- تغییرات ارزش اقتصادی آب در سناریوهای متفاوت محدودیت عرضه آب آبیاری

مولفه‌های مورد بررسی	مقادیر در سال پایه*	میزان تغییرات	محدودیت عرضه آب آبیاری تحت سناریوهای مختلف				
			٪۵	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰
حجم آب در دسترس	۴۷۶/۴۵	مقدار	۴۵۲/۶۲	۴۲۸/۸۱	۳۸۱/۱۶	۳۳۳/۵۲	۲۸۵/۸۷
		درصد	-۵/۰۰	-۱۰/۰	-۲۰/۰	-۳۰/۰	-۴۰/۰
ارزش اقتصادی آب	۱۱۷۳	مقدار	۱۵۵۶	۱۹۳۹	۲۷۰۵	۳۴۷۱	۴۲۳۶
		درصد	۳/۲۶	۶/۵۲	۱۳/۰۴	۱۹/۵۷	۲۶/۰۹

* حجم آب در دسترس بر حسب میلیون مترمکعب و ارزش اقتصادی آب بر حسب ریال در مترمکعب است.

مأخذ: یافته‌های پژوهش



شکل ۲- تابع تقاضای آب آبیاری کشاورزان شهرستان ارزوییه در شرایط متفاوت محدودیت عرضه آبیاری طی سال پایه ۹۳-۱۳۹۲

مطابق با شکل ۲، ملاحظه می‌شود که تابع تقاضای آب آبیاری کشاورزان بیانگر ارتباط معکوس یا غیرمستقیم بین متغیرهای ارزش اقتصادی آب و حجم کل منابع آب در دسترس است. مقدار بالای ضریب تعیین برآوردشده (حدود ۰/۹۵) برای تابع تقاضای آب آبیاری کشاورزان شهرستان ارزوئیه نیز بیانگر خوبی برازش انجام‌شده است و نشان می‌دهد که با کاهش هرچه بیشتر منابع آب در دسترس کشاورزان این شهرستان، ارزش واقعی هر مترمکعب آب در این منطقه افزایش می‌یابد و یک سیر صعودی را دنبال می‌کند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه، اغلب دشت‌های کشور به‌دلیل استحصال بی‌رویهٔ منابع آب زیرزمینی و خشکسالی درازمدت با کسری مخزن روبه‌روست؛ همچنین، برخی از منابع آبی کشور از بین رفته‌اند و یا در معرض خطر نابودی قرار دارند. در صورتی که افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت های کشور ادامه یابد، علاوه بر شوری آب، منجر به تهی شدن کامل دشت‌ها از منابع آب

خواهد شد و کلیه سرمایه گذاری‌های انجام‌شده و امکانات معیشتی ایجادشده در این دشت‌ها از بین خواهد رفت. شهرستان ارزوئیه نیز با قرار گرفتن در بخش کویری استان کرمان، از این قاعده مستثنی نیست و کشاورزان این منطقه طی سال‌های اخیر با محدودیت عرضه آب آبیاری در سطح اراضی فاریاب خود مواجه شده‌اند. این شهرستان نقش مهمی را در تولید محصولات کشاورزی استان کرمان ایفا می‌کند و قطب تولیدات زراعی استان به‌شمار می‌رود.

با توجه به چالش‌ها و مسائل یادشده، تدوین و ارائه الگو یا برنامه‌ای که در شرایط کم‌آبی، بتواند اهداف اقتصادی کشاورزان شهرستان ارزوئیه را تحقق بخشد، ضروری است. از این‌رو، مطالعه حاضر در پی دستیابی به یک الگوی کشت است که علاوه بر اهداف اقتصادی کشاورزان منطقه، اهداف زیست‌محیطی و جنبه‌های پایداری منابع آب زیرزمینی را نیز مد نظر قرار دهد. در مطالعه حاضر، به‌منظور تعیین الگوی بهینه کشت در شرایط متفاوت محدودیت عرضه آب آبیاری در شهرستان ارزوئیه، از یک سیستم یا منظومهٔ مدل‌سازی اقتصادی مشتمل بر مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت بیشینهٔ آنتروپی (ME) استفاده شد. این منظومه برگرفته از روش هاویت (Howitt, 1995)، هکلی (Heckelei, 2002) و کورتیگنانی و سورینی (Cortignani and Severini, 2009) است.

نتایج نشان داد که الگوی فعلی کشت در شهرستان ارزوئیه بهینه نیست و کشاورزان این شهرستان هم‌اکنون تنها ۵۵ درصد از ارزش اقتصادی آب آبیاری را در قالب هزینه‌های استحصال و انتقال آب می‌پردازند؛ همچنین، با ایجاد محدودیت پنج تا چهل درصد در عرضه آب آبیاری، سطح زیر کشت کلیه محصولات منتخب زراعی شهرستان ارزوئیه (به‌جز گندم آبی) کاهش می‌یابد و افزون بر این، با اعمال محدودیت یادشده، مجموع بازده ناخالص کشاورزان ۱/۷۹ تا ۲۷/۹ درصد کاهش و ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب آبیاری ۳/۲۶ تا ۲۶/۰۹ درصد نسبت به شرایط سال پایه افزایش می‌یابد. بنابراین، برای پایداری منابع آب زیرزمینی شهرستان ارزوئیه، تغییر الگوی کشت و تعیین یک الگوی بهینه در راستای کاهش سطح زیر کشت محصولات آب‌بر توصیه می‌شود. در همین راستا، پیشنهاد می‌شود که

تسهیلاتی با نرخ بهره کم به کشاورزان برای تجهیز مزارع به سامانه‌های نوین آبیاری اعطا شود. به‌کارگیری راهبردهای مدیریتی در شرایط وقوع کم‌آبی، اجرای برنامه‌های سیاستی مناسب مانند خرید تضمینی محصولات کشاورزی، تعیین نرخ آب‌بهای پرداختی کشاورزان مطابق با روند تغییرات ارزش اقتصادی آب در بلندمدت و استفاده از سیاست کاهش منابع آب در دسترس توأم با سیاست تعدیل در قیمت‌گذاری آب نیز می‌تواند مفید باشد.

سرانجام، با توجه به اهمیت نهاده آب در بهینه‌سازی الگوی کشت این منطقه و اثرات کمبود آن در دوره‌ها و زمان‌های آتی، می‌توان راهکارهایی را در قالب پیشنهادهای زیر مطرح کرد:

۱- تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری در سطح منطقه‌ای و تعیین یک قیمت منطقی به‌عنوان آب‌بهای کشاورزان در شهرستان ارزوئیه و دیگر مناطق کشاورزی آبی استان کرمان در راستای ترغیب کشاورزان منطقه به صرفه‌جویی در مصرف این نهاده کمیاب؛ و

۲- اعمال سیاست کاهش آب در دسترس با هدف تشویق کشاورزان شهرستان ارزوئیه به مدیریت صحیح منابع آب از طریق صرفه‌جویی و ذخیره منابع آب در فصول پرآب و رفع نیازهای موجود در فصول کم‌آب در منطقه.

منابع

1. Asgaripour, A.R. and Bagheri, A. (2010). Modifying the strategic crop model for sustainable agricultural development. Rasht: Islamic Azad University, Rasht Branch/ Available at https://www.civilica.com/Paper-AGRI1404-AGRI1404_1023.html. (Persian)
2. Alipour, A. and Mousavi, S.H. (2018). The optimal model of crop production with emphasis on increasing water use efficiency (case study: Gorgan Sample Farm Company). *Iranian Water Resources Research*. 14(4): 96-107. (Persian)
3. Asadi, M.A., Khalilian, S. and Mousavi, S.H. (2019). Optimal water management and cultivation pattern with emphasis on under-irrigation strategy (case study: Qazvin Irrigation Network. *Iran Water Resources Research*, 14(5): 1-13. (Persian)

4. Bakhshi, A., Moghaddasi, R. and Daneshvar Kakhki, M. (2011). An application of positive mathematical programming model to analyzing the effects of alternative policies to water pricing in Mashhad Plain. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 35(3): 284-295. (Persian)
5. Cortignani, R. and Severini, S. (2009). Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming. *Agricultural Water Management*, 96(12): 178-197.
6. Fallahi, E. and Khalilian, S. (2009). Study and comparison of the importance of oil products and electricity with other production factors in x agricultural sector of Iran. *Agricultural Economics Research*, 1(2): 1-12. (Persian)
7. Fragoso, R., Marques, C., Lucas, M.R., Martins, M.D.B. and Jorge, R. (2011). The economic effects of common agricultural policy on Mediterranean Montado/Dehesa ecosystem. *Journal of Policy Modeling*, 33(2): 311-327.
8. Hatef, H., Sarvari, A.A., Daneshvar Kakhki, M. (2016). Determining the optimal cultivation pattern of major crops in Khorasan Razavi province based on comparative advantage of production. *Agricultural Economics Research*, 8(31): 167-191. (Persian)
9. Heckelei, T. (2002). Calibration and estimation of programming models for agricultural supply analysis. Landwirtschaftlichen Fakultät derRheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
10. Helming, J.F., Peeters, L. and Veendendaal, P. (2001). Assessing the consequences of environmental policy scenarios in Flemish agriculture (pp. 237-245). Vauk.
11. Howitt, R.E. (1995). Positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(2): 329-342.
12. Howitt, R.E., Medellín-Azuara, J., MacEwan, D. and Lund, J.R. (2012). Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Environmental Modelling and Software*, 38: 244-258.
13. Judez, L., Martinez, S. and Fuentes-Pila, J. (1998). Positive mathematical programming revisited. Paper Presented at the Trabajo Presentado al Meeting de Madrid.
14. Lehmann, N., Briner, S. and Finger, R. (2013). The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions. *Land Use Policy*, 35: 119-130.
15. MAJ (2014). Statistics of crops cultivated area in Kerman province. Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ), Agriculture-Jahad Organization of Kerman Province. Available at http://www.agriis.ir/doc/30060/. (Persian)

16. Medellin-Azuara, J., Howitt, R. and Harou, J. (2012). Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Agricultural Water Management*, 108: 73-82.
17. Mohammadi, H., Sargazi, A.R., Dehbashi, V. and Poudineh, M. (2015). Optimization of cropping pattern with an emphasis on social benefits in the rational exploitation of water (a case study of Fars province). *Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4): 107-115. (Persian)
18. Paris, Q. and Howitt, R.E. (1998). An analysis of ill-posed production problems using Maximum Entropy. *American Journal of Agricultural Economics*, 80(1): 124-138.
19. Riazi, H. and Montazeri, A. (2008). Development and application of optimal allocation model for groundwater and surface water resources of Qazvin Plain Irrigation Network. The Second National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management, Shahid Chamran University of Ahvaz. (Persian)
20. Sabouhi, M., Soltani, G. and Zibaei, M. (2007). Evaluation of the strategies for groundwater resources management: a case study in Narimani Plain, Khorasan Province. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 11(1): 475-485. (Persian)
21. Sethi, L.N., Panda, S.N. and Nayak, M.K. (2006). Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin, Orissa, India. *Agricultural WDter Management*, 83(3): 209-220.
22. Shirmahi, S., Peykani, G.R., Mortazavi, S.A. and Zamani, O. (2014). Evaluating the effect of removing of chemical fertilizers subsidy on the cropping pattern in Rey County. *Journal of Agricultural Economics Research*, 6(21): 155-176. (Persian)
23. Zamanian, Gh., Jafari, M. and Kalaei, A. (2014). Effect of environmental stress and increase of agricultural inputs on the Khomein Plain cropping pattern. *Agricultural Economics and Development*, 22(87): 89-110. (Persian)
24. Zare Mehrjerdi, M. (2007). Valuation of groundwater in agriculture: a case study of Kerman County. Agricultural Economics Dissertation, Tarbiat Modarres University, Tehra. (Persian)