اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۷، شمارهٔ ۱۰۷، پاییز ۱۳۹۸

DOL: 10.30490/aead.2020.252679.0

اثرات سیاست محدودیت عرضه آب کشاورزی بر الگوی کشت: مطالعهٔ موردی دشت دهگلان در استان کردستان

محمدعلی اسعدی[۱]، محمود حاجی‌رحیمی[۲]، سیدابوالقاسم مرتضوی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۳۱

چکیده

در سال‌های اخیر، برداشت‌های بی‌رویهٔ آب به‌منظور تولید محصولات کشاورزی از سطح آب‌های زیرزمینی دشت دهگلان استان کردستان به‌شدت کاسته و این منبع حیاتی را با خطر جدی مواجه کرده است. مطالعه حاضر اثرات سیاست کاهش عرضه آب بر الگوی کشت محصولات، درآمد کشاورزان و میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی دشت دهگلان را مورد بررسی قرار داد. بدین منظور، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) با رهیافت حداکثر

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲. نویسندهٔ مسئول و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.
(mhajirahimi@uok.ac.ir)

۳. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

آنتروپی (ME) مدل‌سازی و برآورد شد. داده‌های مورد نیاز با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دومرحله‌ای از طریق تکمیل ۹۶ پرسشنامه توسط بهره‌برداران آب‌های زیرزمینی منطقه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که با اعمال سیاست کاهش عرضه آب آبیاری، الگوی کشت به‌شدت تأثیر پذیرفته و به سمت محصولاتی مانند پیاز، سیب‌زمینی و خیار سوق یافته است؛ همچنین، در سناریوهای اول تا سوم، بازده ناخالص کل به‌ترتیب ۴/۹۸، ۹/۹۶ و ۱۴/۹۴ درصد کاهش و بازده اقتصادی آب کشاورزی به‌ترتیب ۵/۶۵، ۱۲/۶۴ و ۲۱/۶۳ درصد افزایش خواهد یافت. در مجموع، با توجه به نتایج تحقیق، راهبرد اعمال محدودیت عرضه آب در کنار تغییر الگوی کشت می تواند به‌گونه‌ای مؤثر برداشت آب را کاهش دهد و به حفظ و پایداری منابع آب زیرزمینی در دشت دهگلان کمک کند.

طبقه‌بندی JEL: Q25, Q28, C60

کلیدواژه‌ها: عرضه آب، الگوی کشت، برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، دهگلان (دشت)، کردستان (استان).

مقدمه

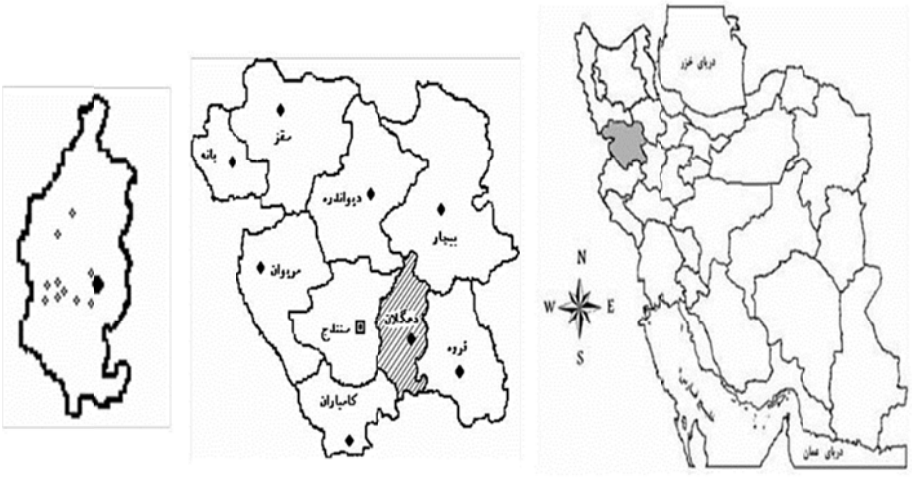
در ایران، طی سال‌های گذشته، به دلایل متعدد نظیر استحصال بی‌رویه و غیرمنطقی از منابع آب موجود به‌ویژه آب‌های زیرزمینی و بروز مشکلاتی نظیر خشکسالی و عدم رعایت اصول حفاظت در بهره‌برداری از منابع آبی، برخی از منابع آبی کشور نابود شده و یا در معرض نابودی قرارگرفته‌اند (۳۲). این مسئله، در بخش کشاورزی که بیش از نود درصد حجم آب مصرفی کشور را به خود اختصاص می‌دهد، شرایط حادتری را ایجاد کرده و آب به یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده این بخش تبدیل شده است (۳۳، ۲۸). باید توجه داشت که برداشت بیش‌ازحد از منابع آب‌های زیرزمینی موجب برهم خوردن توازن سیستم، عدم پایداری و کاهش ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود و در نهایت، توسعه پایدار کشاورزی را ناممکن می‌سازد. بنابراین، برای دستیابی به توسعه پایدار بخش کشاورزی، برقراری توازن میان

تغذیه و برداشت منابع آب زیرزمینی بسیار اهمیت دارد (۵). امروزه، برای سیاست‌گذاری در راستای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی و بهبود تخصیص آن در بین فعالیت‌های مختلف، تلاش‌های زیادی صورت می‌گیرد، که از آن جمله‌اند: سیاست‌های قیمت‌گذاری آب(۲۵ و ۲۷) و محدودیت عرضه آب (۶). برای بهبود کارآیی تخصیص آب، اقتصاددانان افزایش قیمت نهاده آب را پیشنهاد می‌کنند، ولی سیاست‌گذاران به دلایل اقتصادی، فرهنگی و سیاستی این پیشنهاد را نمی‌پذیرند (۸، ۱۲، ۱۷). سیاست‌گذاران بیم آن دارند که روش قیمت‌گذاری آب باعث از دست رفتن درآمد بعضی از کشاورزان و نابرابری درآمدی شود که در نهایت، نارضایتی عمومی و ناکارآمدی سیاست مورد نظر را در پی خواهد داشت (۹، ۲۶)؛ از سوی دیگر، ممکن است این روش با هدف توزیع عادلانه آب در بین گروه‌های اجتماعی مختلف سازگار نباشد (۸). افزون بر سیاست قیمت‌گذاری آب، کاهش بهره‌برداری آب نیز راهکار دیگری است که برای جلوگیری از مصرف بی‌رویه آب در بخش کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرد. این سیاست با کاهش حجم آب آبیاری در دسترس امکان‌پذیر است (۶).

منطقه دشتی و فلات‌گونه دهگلان واقع در استان کردستان یکی از دشت‌های حاصل‌خیز و قطب کشاورزی مکانیزه استان به‌حساب می‌آید و نقش مهمی در اقتصاد کشاورزی پیشرو استان ایفا می‌کند. انتخاب دشت دهگلان از این لحاظ دارای اهمیت است که به دلیل برداشت بیش‌ازحد از سفره آب زیرزمینی و منفی شدن بیلان آب منطقه، این دشت با مشکل جدی کمبود منابع آب روبه‌رو خواهد شد. آبخوان دشت دهگلان اصلی‌ترین و بزرگ‌ترین منبع آبی زیرزمینی استان است، و به دلیل افت قابل ملاحظه سطح این سفره آبی (از سال ۱۳۸۰ به بعد)، این دشت با بحران مواجه شده و به‌عنوان منطقه ممنوعه معرفی‌شده است. با این حال، ممنوعیت اعمال‌شده نیز نتوانسته است در به تعادل رساندن سفره آبی دشت کارساز باشد (۱۳). از این‌رو، آمارها بیانگر ادامه روند افت سطح سفره‌های آبی و حتی افت کیفیت آب‌های زیرزمینی است. تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان از مهرماه سال آبی ۶۷-۱۳۶۶

(۱۸۴۲/۰۸ متر) تا مهرماه سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ (۱۸۱۷/۰۵ متر) با افتی معادل ۲۵/۰۳ متر مواجه بوده و بنابراین، میزان افت متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی در این دوره برابر با ۱/۰۴- متر و کسری حجم مخزن سالانه آن برابر با ۱۲/۷۳۵- میلیون مترمکعب است (۱۸). بنابراین، ضرورت ورود به مرحله مدیریت جامع منابع آبی که بخش مهمی از آن مرتبط با مدیریت اقتصادی منابع آب است، بیش از پیش نمایان می‌شود. به‌طور کلی، با توجه به کاهش عرضه منابع آب و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در این منطقه و کل کشور، نیاز است تا مدیریت تقاضا و عرضه آب به‌صورت همزمان در سطح مزارع بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد. مدیریت تقاضای آب کشاورزی معمولاً از طریق سیاست‌های قیمتی مثل افزایش آب‌بها یا اخذ مالیات سبز از استخراج آب‌های زیرزمینی قابل اعمال است که در شرایط اقتصادی فعلی کشور، چندان عملی نیست. مطالعه حاضر بر آن است که با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP)[۴]، به بررسی اثرات سیاست غیرقیمتی کاهش عرضه آب کشاورزی در قالب راهکاری عملی و قابل اجرا برای حل مشکل آب و حفاظت از منابع آب منطقه بپردازد. در حال حاضر، کنتور هوشمند آب بر روی اکثر چاه‌های منطقه نصب شده است و در صورت همت و برنامه‌ریزی دولت و جلب همکاری و مشارکت بهره‌برداران، در کنار سایر سیاست‌های مدیریت تقاضا، این راهکار در کوتاه‌مدت و میان‌مدت به‌راحتی قابل اجرا و دارای اثرات قابل توجه خواهد بود. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است:

4. positive mathematical programming



شکل ۱. منطقه جغرافیایی مورد مطالعه

با توجه به اهمیت موضوع، در سال‌های اخیر، مطالعات مختلفی در خصوص مدیریت بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی و اعمال سیاست‌های قیمتی و غیرقیمتی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته که در آنها عمدتاً از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی با قابلیت بالا در شبیه‌سازی محدودیت‌های دنیای واقعی و واکنش کشاورزان در تحلیل سیاست‌های بخش کشاورزی استفاده شده است (۱۱، ۲۰، ۲۲). در پی نیاز روزافزون به الگو و شبیه‌سازی توابع رفتاری در شرایط فنی، اقتصادی، سیاسی و اخیراً زیست‌محیطی، بهره‌گیری از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی که فاقد الگوهای برنامه‌ریزی هنجاری[۵] بوده و دارای توانایی کالیبراسیون است، به‌عنوان مبنای ایجاد اطلاعات و آمار اولیه مورد نیاز برای PMP تقویت شده است (۱۶ و ۲۴). برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) یک روش تحلیل تجربی است که از تمام

۵. از جمله معایب الگوهای برنامه‌ریزی هنجاری (Normative Mathematical Programming) می‌توان به تخصیص بیش‌ازحد (excessive specialization)، مشکل معتبرسازی (validation) و عدم انعطاف‌پذیری (inflexibility) نسبت به تغییر پارامترها اشاره کرد که با رهیافت PMP، عیوب یادشده برطرف می‌شود.

اطلاعات موجود، فارغ از میزان کمیابی آنها، استفاده می‌کند. این روش در شرایط دسترسی اندک به داده‌های سری زمانی به‌ویژه در تحلیل‌های منطقه‌ای و بخشی کشورهای درحال‌توسعه و تحلیل اقتصادی زیست‌محیطی مفید است (۱۴، ۲، ۲۱). مهم‌ترین مزیت این الگوها توانایی آنها در بررسی تأثیر سیاست‌ها در سطح مزرعه به‌صورت تجمیعی و با بهره‌گیری از اطلاعات و داده‌های خرد و جزئی است (۲۷، ۴).

اسعدی (۳) به بررسی تحلیل اقتصادی راهبرد کم‌آبیاری برای مدیریت منابع آب کشاورزی شبکه آبیاری دشت قزوین با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و رهیافت حداکثر آنتروپی پرداخت. نتایج سناریوی برتر نشان داد که با اعمال راهبرد کم‌آبیاری در مراحلی از رشد محصولات که عملکرد با کمترین حساسیت نسبت به تنش آبی و حداقل کاهش محصول همراه است، در تنش کم‌آبی در محصولات گندم ۱۶، جو ۱۶، ذرت علوفه‌ای ۱۶، ذرت دانه‌ای ۱۶ و چغندر ۱۱ به‌صورت پنج درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن و در یونجه ۱ به‌صورت پنج درصد کم‌آبیاری در مرحله رشد رویشی، در بهترین شرایط و علی‌رغم کاهش سطح زیر کشت و صرفه‌جویی در مصرف آب، به‌ترتیب، به میزان ۶/۲ و ۵/۲ درصد، درآمد مزرعه ۰/۴ درصد نسبت به سال پایه افزایش‌یافته است. همچنین، اعمال این سیاست منجر به کاهش سطح زیر کشت محصولات گندم و جو و افزایش سطح زیر کشت محصولات چغندر، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و یونجه در الگوی کشت منطقه شد. یزدانی و همکاران (۳۱) به بررسی آثار سیاست سهمیه‌بندی آب آبیاری در مؤلفه‌های بخش کشاورزی استان قزوین با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی پرداختند. نتایج نشان داد که با اعمال سیاست کاهش آب در دسترس، الگوی کشت به‌شدت تأثیر می‌پذیرد و بیشتر به سمت محصولاتی سوق داده می‌شود که بازدهی اقتصادی بیشتری نسبت به مصرف آب ایجاد می‌کنند. میرزایی و احمدپور برازجانی (۲۱) به تحلیل اقتصادی اثرات سهمیه‌بندی آب آبیاری بر الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان شهرستان آمل با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی پرداختند. نتایج نشان داد که اعمال سیاست سهمیه‌بندی آب آبیاری به کاهش سطح زیر کشت اغلب

محصولات منتخب زراعی در مناطق با کشاورزی آبی شهرستان آمل می‌انجامد، اما محصول کلزا در مناطق دشت سر، مرانده و رئیس‌آباد و محصول شبدر در منطقه اسکو محله نسبت به دیگر محصولات الگوی کشت، بیشترین کاهش سطح زیر کشت و به عبارتی، بیشترین حساسیت را به همراه دارند. شیرزادی و صبوحی صابونی (۲۹) به بررسی وضعیت پایداری و تعادل سفره آب زیرزمینی در راستای مدیریت پایدار حوضه آبریز نیشابور پرداختند. نتایج نشان داد که بر اساس مقادیر آب تجدیدپذیر، حدود ۴۳۰۰ هکتار از اراضی منطقه تحت آبیاری غیرمجاز است. بر پایهٔ نتایج تخمین تابع تقاضا، با تغییر قیمت آب، انگیزه تغییر الگوی کشت، تخصیص مجدد و مصرف بهینه آب با کشت محصولات کم‌آب‌تر و صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزان به‌وجود می‌آید. وکیل‌پور و وزیری (۳۰)، به کمک مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، به بررسی اثرات کاهش موجودی منابع آب بر الگوی کشت و ارزش اقتصادی آب آبیاری در دشت دهگلان پرداختند. بر پایهٔ نتایج به‌دست آمده، ارزش اقتصادی آب به ازای هر متر مکعب در این دشت برابر با ۱۸۷۳ ریال برآورد شده که با اعمال سناریوهای مختلف کاهش موجودی آب در دسترس، مقدار آن افزایش می‌یابد. گراولاین و مرل (۱۰)، با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی اثباتی، چگونگی انطباق کشاورزان با کمیابی آب را در منطقه‌ای از فرانسه با تولیدات بالای غلات و متکی به آب‌های زیرزمینی بررسی کردند. نتایج نشان داد که کشاورزان با سناریوسازی کمبود آب، حدود بیست درصد به کاهش شدت آب‌بری محصولات آبی[۶]، پنجاه درصد به تغییر الگوی کشت به سمت کشاورزی دیم[۷] و حدود ۲۵ درصد به سمت محصولاتی با آب‌بری کمتر[۸] گرایش پیدا کردند. هاویت و همکاران (۱۵)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و مدل تولیدات کشاورزی ایالتی (SWAP)[۹]، به بررسی نقش بازارهای انتقال آب در کالیفرنیا پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که با

6. intensive margin
7. super-extensive margin
8. extensive margin
9. statewide agricultural production model

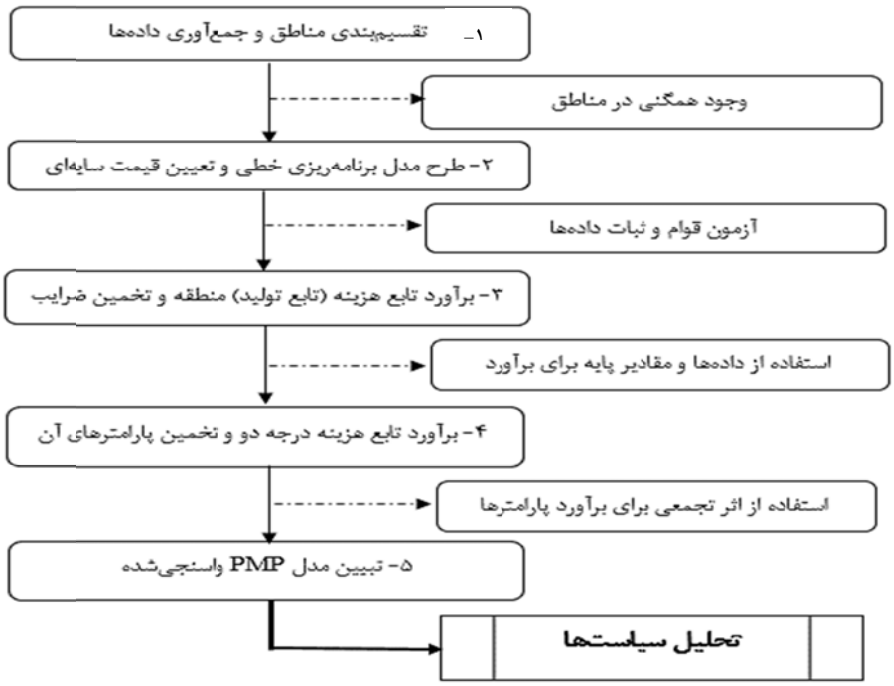
تخصیص آب آبیاری بر اساس سازوکار بازار می‌توان زیان‌های درآمدی ناشی از خشکسالی را تا ۷۳ درصد کاهش داد. مشتاق و مقدسی (۲۳) نیز با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی، به بررسی اثرات کم‌آبیاری در پاسخ به تقاضای آب محیط زیست در حوضهٔ آبریز ماری دارلینگ استرالیا پرداختند. در این تحقیق، سه سناریو مورد مقایسه قرار گرفت: بهینه‌سازی با آبیاری کامل، بهینه‌سازی با کم‌آبیاری، و کم‌آبیاری بدون بهینه‌سازی. نتایج نشان داد که کم‌آبیاری در به حداکثر رساندن بازده ناخالص و افزایش کارآیی مصرف آب مؤثر است. کورتیگنانی و سورینی (۷) پژوهشی را با عنوان «مدل‌سازی سطح مزرعه با اتخاذ شیوهٔ کم‌آبیاری با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی در ایتالیا» به انجام رساندند. نتایج نشان داد که اعمال سیاست‌های کاهش آب در دسترس به میزان پنج و ده درصد و افزایش قیمت آب به میزان دو و سه برابر نسبت به شرایط کنونی بر کاهش میزان مصرف آب مؤثر است. البته به گفتهٔ آنها، افزایش هزینه‌های آب برخلاف دو سیاست دیگر در این زمینه تأثیر ندارد.

با عنایت به مطالعات یادشده، بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای در زمینهٔ اثرات سیاست غیرقیمتی آب کشاورزی در راستای کاهش عرضه منابع آب زیرزمینی و پذیرش آن توسط زارعان شهرستان دهگلان (که از قطب‌های مهم استان کردستان محسوب می‌شود)، انجام نشده است. از این‌رو، پژوهش حاضر بر آن است که با استفاده از یک نظام مدل‌سازی مشتمل بر مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و رهیافت حداکثر آنتروپی[10]، به بررسی اثرات سیاست محدودیت منابع آب زیرزمینی بر الگوی کشت، شرایط اقتصادی منطقه و بازده اقتصادی آب دشت دهگلان بپردازد تا مطابق با مؤلفه‌های اقتصادی بخش کشاورزی، راهکاری مناسب برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی این دشت و افزایش امنیت غذایی ارائه شود.

10. maximum entropy method

مبانی نظری و روش تحقیق

از آنجاکه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی یکی از هدف‌های خود را آگاهی از نتایج اجرای سیاست‌های گوناگون و واکنش کشاورزان به آنها قرار داده‌اند، به دنبال مدل‌هایی هستند که بتوانند با اطمینان بالا آنها را بدین هدف برسانند. نظام مدل‌سازی ارائه‌شده در مطالعه حاضر شامل مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) و رهیافت حداکثر آنتروپی (ME) است، زیرا در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی برخلاف مدل‌های هنجاری، بعضی پارامترها به‌گونه‌ای تعدیل‌یافته‌اند که بتوانند دقیقاً حالت پایه مفروض را بازسازی کنند. چون این نوع مدل‌ها داده‌های فعلی را بازسازی می‌کنند، روش اثباتی (واقعی) نامیده می‌شود. هدف عمده این نوع مدل‌ها بیان واکنش‌های تولیدکنندگان به تغییرات خارجی بوده که سیاست‌گذاران را به مدل‌های PMP علاقه‌مند کرده است. مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط هاویت معرفی شد. این مدل برای تجزیه‌وتحلیل سیاست‌های کشاورزی مفید است و به‌طور گسترده، برای واسنجی مدل‌های اقتصادی استفاده می‌شود (۱۵). مراحل گام‌به‌گام واسنجی مدل PMP در شکل ۲ نشان داده شده است.



مأخذ: برگرفته از: مدلین- آزوآرا و همکاران (۱۹)

شکل ۲. مراحل واسنجی مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی

مدل تجربی نهایی مدل به‌صورت روابط (۱) تا (۶) نشان داده‌شده است:

$$\text{Max GM} = \sum_{i=1}^{n} a_i P_i Y_i - \sum_{j\neq Land}^{m} \sum_{i=1}^{n} (c_{ij}\, x_{ij}) - \sum_{j=Land}^{m} \sum_{i=1}^{n} (c_{i,Land}\, x_{ij} - \frac{1}{2}\, \beta_{ij} x_{i,Land}^{2}) \quad (۱)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \leq Tland \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i\, X_i \leq SW \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{n} L_i X_i \leq TLabor \quad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n} k_i X_i \leq TInvest \quad (۵)$$

$$x_i \geq 0 \quad (۶)$$

در مدل بالا، رابطه (۱) تابع هدف غیرخطی مدل PMP را نشان می‌دهد که شامل سه بخش تابع تولید محصولات، تابع هزینه غیرخطی برای نهاده زمین و تابع هزینه خطی برای سایر نهاده‌ها به‌جز زمین است. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، برای برآورد تابع هزینه غیرخطی، به روش حداکثر آنتروپی عمل شده است. در رابطه (۱)، Y_i تابع تولید محصول i، c_{ij} قیمت یا هزینه نهاده jبرای تولید محصول i و a_i میزان تغییرات عملکرد است که در اثر تغییر در قیمت محصول، هزینه آب و میزان آب در دسترس حاصل می‌شود. در مطالعهٔ حاضر، با توجه به فرض ثبات قیمت محصولات و هزینه تولید آنها در سال پایه و عدم ایجاد تغییرات نوسانی در آنها، ضریب بالا برابر با یک در نظر گرفته شد. رابطه (۲) محدودیت سطح زیر کشت لحاظ‌شده در مدل برای تولید محصولات منتخب زراعی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و بیانگر آن است که مجموع اراضی تخصیص داده‌شده به محصول i نباید از کل زمین‌های اختصاص‌یافته به کشت محصولات مختلف بیشتر باشد. رابطه (۳) بیانگر محدودیت مربوط به نهاده آب آبیاری است که در آن، w_i میزان آب استفاده‌شده برای تولید محصول i است. رابطه (۴) محدودیت نیروی کار را نشان می‌دهد که در آن، L_i تعداد نیروی کار لازم برای تولید محصول i است. رابطه (۵) بیانگر محدودیت سرمایه است که در آن، k_i کل هزینه‌های تولید مورد نیاز (اعم از ثابت و جاری) برای کشت محصول i است. در واقع، سمت چپ محدودیت (۵)، نیاز فعالیت تولیدی به سرمایه است که معادل هزینه‌های متغیر برای تولید محصول در هر هکتار می‌باشد. علاوه بر این، $Tland$، SW، $TLabor$ و $TInvest$ به‌ترتیب مقدار کل زمین‌های اختصاص‌یافته به محصولات مد نظر در منطقه موردمطالعه، کل آب زیرزمینی قابل استحصال،

کل نیروی کار در دسترس و میزان کل سرمایه قابل تخصیص به فعالیت‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه است. رابطه (۶) نیز بیانگر محدودیت غیرمنفی بودن سطح فعالیت است.

جامعه آماری پژوهش شامل بهره‌برداران آب‌های زیرزمینی واقع در دشت دهگلان است. بر اساس آمار شرکت آب منطقه‌ای، در دشت دهگلان ۱۱۵۱ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق وجود دارد که برای تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. محدوده یادشده دارای دو بخش (مرکزی و بلبان‌آباد)، پنج دهستان (ییلاق شمالی، ییلاق جنوبی، سیس، قروچای و حومه) و ۱۱۰ روستا با وسعتی معادل ۸۷۶/۲ کیلومتر مربع است. داده‌های پژوهش به‌صورت اسنادی و میدانی با مراجعه به ادارات ذی‌ربط شهرستان دهگلان و تکمیل پرسشنامه توسط بهره‌برداران در سطح روستاهای منطقه برای سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به‌دست آمد. به‌منظور انتخاب بهره‌برداران، از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دومرحله‌ای استفاده شد، بدین صورت که این دشت بر حسب دهستان به پنج ناحیه همگن تقسیم‌بندی شده و در هر دهستان دو روستا و در مجموع، ده روستا به‌عنوان خوشه‌های اصلی مطالعه در نظر گرفته شد. در مرحله بعد، در داخل هر خوشه، با بهره‌گیری از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده، اندازه نمونه از طریق رابطه (۷) تعیین شد (۱).

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)\,\frac{B^2}{4} + \sigma^2} \qquad (۷)$$

که در آن، n حجم نمونه، N حجم جامعه، B کران خطای برآورد (اشتباه قابل قبول در برآورد مقدار کل یا میانگین صفت مورد بررسی) و σ^2 واریانس متغیر اصلی مطالعه، میزان مصرف آب در هر هکتار است که بر اساس مطالعات پیشین و یک نمونه‌گیری مقدماتی به‌دست آمد. در مجموع، از کل منطقه مورد مطالعه، تعداد ۹۶ بهره‌بردار انتخاب شدند و داده‌های مربوط به ضرایب فنی محصولات و میزان مصرف آب در هر هکتار برای هر محصول و همچنین، بازدهی محصولات از طریق آن استخراج شد. با بهره‌گیری از این داده‌ها، در کنار اطلاعات اسنادی تکمیلی مانند کل سطح زیر کشت محصولات و الگوی فعلی و سایر داده‌های لازم، امکان

تدوین الگوها فراهم شد. برای ساخت الگوهای مورد بررسی و شبیه‌سازی سیاست‌ها، از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است.

نتایج و بحث

نخست، نتایج به‌دست‌آمده از حل الگو و سپس، اثرات اتخاذ سیاست محدودیت عرضه آب بر الگوی کشت و سود ناخالص مزرعه نشان داده خواهد شد. با توجه به به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی در ارتباط با تعیین الگوی بهینه کشت در منطقه مورد مطالعه، نتایج حاصل از اجرای مدل در حالت‌های کالیبره و بهینه در جدول ۱ آمده است. اختلاف قابل اغماض بین این مقادیر نشان داد که کالیبراسیون مدل به‌خوبی انجام‌شده و مدل توانسته است به‌خوبی با داده‌های سال مبنا تطبیق یابد و مدل پایه بازتولید شود.

جدول ۱. مقایسه سطح زیر کشت مدل مبنا و نتایج کالیبره حل مدل PMP

محصولات منتخب	گندم	جو	یونجه	سیب‌زمینی	خیار	پیاز	هندوانه	کلزا
مدل مبنا (هکتار)	۷۲۰۶	۷۰۱	۶۵۲۴	۴۸۴۳/۵	۳۱۴	۱۳۴	۶۸	۵۰
نتایج حل PMP (هکتار)	۷۲۰۷	۷۰۰	۶۵۲۳	۴۸۴۴	۳۱۴	۱۳۵	۶۸	۵۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

مروری بر مطالعات انجام‌شده و مصاحبه با کارشناسان آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی استان کردستان حاکی از آن بود که در حال حاضر، حدود بیست و سه میلیون متر مکعب آب مازاد بر حداقل مبنای بهره‌برداری پایدار از سفره زیرزمینی دشت دهگلان برداشت می‌شود. بنابراین، برای دستیابی به حداقل شاخص پایداری آبخوان، لازم است در کوتاه‌مدت حداقل بیست و سه میلیون متر مکعب آب در سال (یا حدود ده درصد برداشت فعلی) برداشت کاهش یابد. به همین دلیل، اولین سناریوی مطالعه، کاهش ده درصد برداشت آب زیرزمینی لحاظ شد. اما با توجه به شرایط بارش سال‌های آینده و احتمال گسترش خشکسالی و لزوم حفاظت بیشتر از این منبع حیاتی در بلندمدت، کاهش مطلوب بسیار بیش از این میزان خواهد بود و از این‌رو، کاهش بیست و سی درصد نیز به‌عنوان سناریوهای دوم و سوم در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از اعمال سناریوهای مختلف سیاست محدودیت منابع آب زیرزمینی در دسترس بهره‌برداران بخش کشاورزی شهرستان دهگلان پس از حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی

اثباتی در جدول ۲ آمده است که بر اساس آن، در اثر اعمال این سیاست، الگوی کشت محصولات منتخب زراعی منطقه مورد مطالعه نسبت به شرایط فعلی تغییر می‌کند، بدین ترتیب که سطح زیر کشت محصولات گندم، جو و یونجه نسبت به الگوی فعلی کاهش و الگوی کشت به نفع محصولات سیب‌زمینی، خیار و پیاز با صرفه اقتصادی بالاتر به ازای مصرف هر متر مکعب آب آبیاری به پیش می‌رود. با شدت یافتن میزان کاهش محدودیت منابع آب، تغییرات الگوی کشت نسبت به وضعیت موجود واکنش بیشتری را نشان می‌دهد، اما محصولات منتخب در الگوی‌کشت همان ترکیب سناریوهای قبل را داراست. در مجموع، سطح زیر کشت محصولات منتخب در سناریوهای اول تا سوم به‌ترتیب به میزان ۱۱/۵، ۲۳ و ۳۴/۶ درصد نسبت به سال پایه کاهش یافته و به‌صورت کشت‌نشده و آیش درآمده است، که به نوبهٔ خود فشار بر زمین را کاهش و امکان عملیات خاک‌ورزی و حفاظت خاک را افزایش می‌دهد. همچنین، نتایج گویای آن است که در شرایط کاهش منابع آب در دسترس کشاورزان منطقه دشت دهگلان، محصول جو در مقایسه با دیگر محصولات الگو (گندم و یونجه) از بیشترین میزان حساسیت (بیشترین میزان تغییرات) برخوردار بوده و بیشترین کاهش سطح زیر کشت را نیز به خود اختصاص داده است؛ این موضوع گویای عدم توسعه سطح زیر کشت جو برای کشاورزان منطقه در شرایط بحران کم‌آبی و سهمیه‌بندی شدن آب آبیاری است. از دلایل بیشترین کاهش سطح زیر کشت جو می‌توان یادآور شد که این محصول نسبت به سایر محصولات زراعی منطقه کمترین منافع اقتصادی را داراست و سیاست کاهش آب آبیاری باعث شده است که کشاورزان الگوی کشت آبی را انتخاب کنند که منافع اقتصادی بالایی در مقابل سایر محصولات داشته باشند. هندوانه و کلزا محصولاتی هستند که با اعمال این سیاست تغییری در سطح زیر کشت آنها صورت نگرفته است و بدین سیاست واکنش نشان نداده‌اند. این دو محصول در شرایط فعلی کمترین سطح زیر کشت را دارند، به‌گونه‌ای‌که در مجموع، کمتر از یک درصد زمین‌های منطقه به کشت این دو محصول اختصاص یافته است و با کاهش محدودیت آب موجود نیز چندان واکنش بدین سیاست نشان نخواهند داد. به‌طور کلی، زارعان پس از کاهش آب در دسترس می‌کوشند به حفظ محصولاتی در الگو بپردازند که به نسبت سایر محصولات به ازای هر متر مکعب آب، بازدهی اقتصادی بیشتری دارند و در عوض،

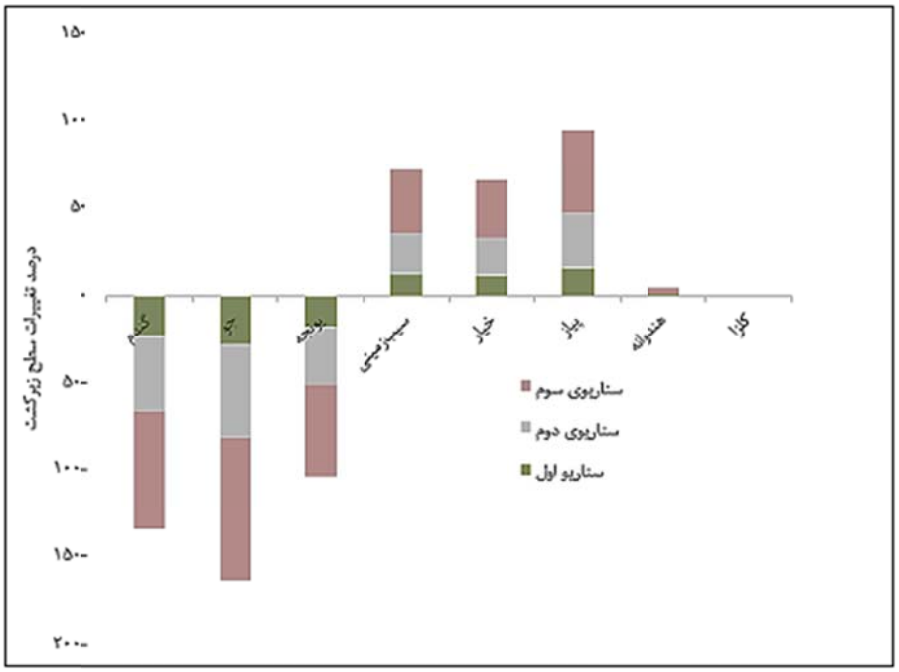
بیش‌ازپیش از سطح زیر کشت محصولاتی بکاهند که از آب‌بری بالاتر و در عین حال، از بازده ناخالص پایین‌تر برخوردارند.

جدول ۲. میزان و درصد تغییرات سطح زیر کشت محصولات و آب مصرفی در سناریوهای کاهش منابع آب (واحد زمین: هکتار، واحد آب مصرفی: هزار متر مکعب)

محصولات		وضع موجود	سناریو ۱۰٪		سناریو ۲۰٪		سناریو ۳۰٪	
			مقدار	درصد	مقدار	درصد	مقدار	درصد
گندم	زمین	۷۲۰۷	۵۵۹۸	-۲۲	۳۹۸۹	-۴۵	۲۳۸۰	-۶۷
	آب مصرفی	۵۲۶۱۱/۱	۴۰۸۶۵/۴	-۲۲	۲۹۱۱۹/۶	-۴۴/۵	۱۷۳۷۳	-۶۶
جو	زمین	۷۰۰	۵۰۹	-۲۷	۳۱۸	-۵۵	۱۲۶	-۸۲
	آب مصرفی	۴۶۲۰	۳۳۵۹/۴	-۲۷	۲۰۹۸/۷	-۵۴	۸۳۱/۴	-۸۱
یونجه	زمین	۶۵۲۳	۵۳۹۵	-۱۸	۴۲۶۷	-۳۴	۳۱۴۰	-۵۲
	آب مصرفی	۱۰۴۳۶۸	۸۶۳۲۰	-۱۷	۶۸۲۷۰	-۳۴	۵۰۲۳۸	-۵۱
سیب‌زمینی	زمین	۴۸۴۴	۵۴۲۳	۱۲	۶۰۰۲	۲۴	۶۵۸۲	۳۶
	آب مصرفی	۶۳۴۵۶/۴	۷۱۰۴۱/۱	۱۲	۷۸۶۲۶	۲۳/۵	۸۶۲۲۴	۳۵/۵
خیار	زمین	۳۱۴	۳۴۸	۱۱	۳۸۳	۲۲	۴۱۸	۳۳
	آب مصرفی	۴۵۵۳	۵۰۴۵	۱۰/۵	۵۵۵۲	۲۱	۶۰۶۱	۳۳
پیاز	زمین	۱۳۵	۱۵۶	۱۶	۱۷۸	۳۲	۱۹۹	۴۷
	آب مصرفی	۱۲۸۲/۵	۱۴۸۱	۱۵	۱۶۹۱	۳۱/۵	۱۸۹۰/۵	۴۶/۵
هندوانه	زمین	۶۸	۶۹	۱	۶۸	۰	۷۰	۳
	آب مصرفی	۶۴۶	۶۵۵/۵	۱/۴	۶۴۶	۰	۶۶۵	۲/۸
کلزا	زمین	۷۲۰۷	۵۰	۰	۵۰	۰	۵۰	۰
	آب مصرفی	۳۵۰	۳۵۰	۰	۳۵۰	۰	۳۵۰	۰
کل سطح زیرکشت		**۱۹۸۴۱**	**۱۷۵۴۸**	**۱۱/۵**	**۱۵۲۵۵**	**۲۳**	**۱۲۹۶۵**	**۳۴/۶**

مأخذ: یافته‌های تحقیق

درصد تغییرات الگوی کشت محصولات منتخب در اثر سیاست محدودیت عرضه آب زیرزمینی در سناریوهای اول تا سوم در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. درصد تغییرات الگوی کشت در اثر سناریوهای کاهش عرضه آب

علاوه بر سطح زیر کشت و مجموع سود ناخالص منطقه‌ای حاصل از الگوی کشت برای کشاورزان، متغیرهای دیگری هم از سیاست کاهش عرضه منابع آب تأثیر می‌پذیرند. از این‌رو، در مطالعه حاضر، اثرات سیاست‌های غیرقیمتی کاهش آب آبیاری، علاوه بر الگوی کشت، بر درآمد مزرعه و بازده اقتصادی هر متر مکعب آب نیز تحلیل و ارزیابی شد. با توجه به نتایج جدول ۳، ملاحظه می‌شود که اعمال سیاست ده درصد کاهش آب آبیاری در سناریوی اول، در کنار کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی منطقه به میزان ۱۱/۵ درصد، موجب کاهش سود ناخالص حاصل از کشت محصولات تولیدی منطقه به میزان حدود پنج درصد شده است. به دیگر سخن، در صورت رعایت الگوی کشت مناسب، کل سود ناخالص مزرعه به میزان کمتر از کاهش سطح زیر کشت کاهش خواهد یافت. همچنین، با اعمال سیاست‌های

کاهش عرضه آب در سناریوهای دوم و سوم، تمایل کشاورزان به کاهش سطح زیر کشت اغلب محصولات زراعی معمول منطقه (گندم آبی، جو آبی و یونجه) بیشتر خواهد شد و در عین حال، کاهش درآمد ناخالص از تولید محصولات زراعی می‌کاهد، اما این کاهش سود بسیار کمتر از کاهش مصرف آب بوده و در سناریوهای دوم و سوم تنها حدود ده و بیست درصد می‌شود. به عبارت دیگر، کاهش عرضه آب در صورت رعایت الگوی مطلوب کشت، ضمن کاهش سطح کل زمین زیر کشت محصولات و کاهش فشار بر زمین کشاورزی، موجب صرفه‌جویی در برداشت حجم زیادی از نهاده کمیاب زیرزمینی می‌شود و از این طریق، به پایداری و حفظ منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان کمک می‌کند.

جدول ۳. مقایسه اثرات کل سیاست کاهش عرضه آب در سناریوهای مختلف

	الگوی فعلی	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم
آب مصرفی (هزار متر مکعب)	۲۳۱۸۸۵/۵	۲۰۸۶۹۷	۱۸۵۵۰۸/۴	۱۶۲۳۱۹/۹
درصد تغییر نسبت به الگوی فعلی	-	-۱۰	-۲۰	-۳۰
سطح زیر کشت محصولات (هکتار)	۱۹۸۴۲	۱۷۵۴۸	۱۵۲۵۵	۱۲۹۶۵
درصد تغییر نسبت به الگوی فعلی	-	-۱۱/۵۶	-۲۳/۱۱	-۳۴/۶۵
سود ناخالص الگو (میلیون تومان)	۱۳۹۵۵۰	۱۳۲۶۰۰	۱۲۵۶۵۰	۱۱۸۷۰۰
درصد تغییر نسبت به الگوی فعلی	-	-۴/۹۸	-۹/۹۶	-۱۴/۹۴
بازده اقتصادی هر متر مکعب آب (ده ریال)	۶۰۱	۶۳۵	۶۷۷	۷۳۱
درصد تغییر نسبت به الگوی فعلی	-	۵/۶۵	۱۲/۶۴	۲۱/۶۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج اعمال سیاست محدودیت منابع آب آبیاری با یافته‌های کورتیگنانی و سورینی(۷)، یزدانی و همکاران (۳۱) و میرزایی و احمدپور برازجانی (۲۱) همخوانی دارد. نتایج تحقیقات یادشده نشان داد که اعمال محدودیت منابع آب به توسعه کشت محصولات با نیاز آبی پایین، همراه با بازدهی اقتصادی بالاتر به ازای مصرف هر متر مکعب آب آبیاری انجامیده است. اعمال سیاست محدودیت عرضه آب، همچنین، موجب افزایش چشمگیر بازدهی اقتصادی آب

می‌شود. همچنان که در جدول ۳ ملاحظه شد، اعمال سناریوهای اول تا سوم به‌ترتیب موجب افزایش ۵/۶، ۱۲/۶ و ۲۱/۶ درصد در بازدهی اقتصادی آب کشاورزی شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به وضعیت نامناسب بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان و برداشت بی‌رویه از این منبع طبیعی ارزشمند، سطح آب آبخوان این دشت به‌شدت کاهش یافته و پایداری ذخایر آب زیرزمینی آن با خطر جدی مواجه شده است. ادامه این روند، ضمن ایجاد مشکلاتی نظیر نشست زمین، اقتصاد منطقه را که بر شالوده کشاورزی استوار است، به مخاطره می‌اندازد و حتی تأمین آب صنعتی و آب شرب روستاها را با چالش مواجه می‌کند. بنابراین، ضرورت انجام مطالعات راهگشا و اقدامات سنجیده روشن و مبرهن است. در این راستا، در مطالعه حاضر، در قالب یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، اثرات سیاست کاهش عرضه منابع آب زیرزمینی بر الگوی کشت منطقه و مؤلفه‌های اقتصادی مانند درآمد حاصل از تولید محصولات و بازدهی نهاده آب کشاورزی بررسی شد. نتایج نشان داد که در همه سناریوهای کاهش عرضه آب قابل تخصیص به بخش کشاورزی (ده، بیست، و سی درصد)، سطح زیر کشت تقریباً متناسب با مقدار کاهش آب در دسترس کاهش خواهد یافت و الگوی کشت به نفع محصولاتی با درآمد بیشتر به ازای مقدار ثابت آب تغییر می‌کند. نکته قابل تأمل در نتیجهٔ به‌دست آمده این است که با کاهش عرضه آب کشاورزی، لزوماً سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی کمتر مانند کلزا یا جو و گندم افزایش نمی‌یابد، بلکه متغیرهای اقتصادی و میزان بازدهی محصولات عواملی مهم‌تر در این زمینه به‌شمار می‌روند. کشاورزان حاضرند بخشی از زمین آبی خود را به‌صورت کشت‌نشده و آیش باقی بگذارند، ولی حاضر به واردکردن محصولات کم بازده با نیاز آبی کمتر نخواهند بود. نکته مهم دیگر این است که هرچند، کاهش سود ناخالص تولید محصولات کشاورزی درپی کاهش عرضه آب اجتناب‌ناپذیر است، ولی این کاهش در صورت رعایت الگوی کشت مناسب اقتصادی، به‌مراتب کمتر از درصد

کاهش سطح زیر کشت و کاهش عرضه آب است. به دیگر سخن، در شرایط کنونی، به دلیل استفاده بی‌رویه از آب کشاورزی، ارزش تولید نهایی حاصل از آن به‌شدت کاهش‌یافته است؛ و در نتیجه، با کاهش عرضه آب، کاهش درآمد کشاورزان به‌صورت ملایم‌تری اتفاق می‌افتد. مفهوم دیگر نتیجهٔ یادشده این است، با کاهش عرضه منابع آب، ارزش اقتصادی آب که بیانگر ارزش کمیابی این منبع است، افزایش‌یافته و کشاورزان را به کشت‌های با ارزش اقتصادی بالاتر سوق می‌دهد و از این طریق، بخشی از کاهش درآمد جبران می‌شود. به‌طور کلی، اجرای سیاست کاهش آب آبیاری در منطقه شهرستان دهگلان کاهش تمایل کشاورزان این منطقه را برای توسعه سطح زیر کشت محصولات جو، گندم و یونجه به همراه دارد و کشاورزان این منطقه را به توسعه سطح زیر کشت محصولات با صرفهٔ اقتصادی بیشتر مانند سیب‌زمینی، خیار و پیاز متمایل می‌سازد.

با توجه به نتایج یادشده، گسترش و تداوم کنترل بهره‌برداری از منابع آب از طریق نصب کنتورهای هوشمند بر روی تمام چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق منطقه همراه با در نظر گرفتن سهمیه‌های محدودکننده برداشت آب در راستای دستیابی به بهره‌برداری پایدار به‌صورت تدریجی و گام‌به‌گام به‌عنوان راهکارهای بهینه‌سازی مدیریت عرضه منابع آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود مطالعات دیگری در مورد ارزیابی اثرات سیاست‌های قیمتی مدیریت تقاضای آب در منطقه انجام شود تا از این رهگذر، امکان تدوین راهبرد مدیریتی جامع آب کشاورزی با در نظر گرفتن سیاست‌های مدیریت عرضه و تقاضا فراهم شود.

منابع

1. Amidi, A. (2006). Sampling methods. Tehran: Payame Noor University press. (Persian)
2. Arfini, F. (2001). Mathematical programming models employed in the analysis of the common agricultural policy. INEA Working Paper No. 9.

3. Asaadi, M.A. (2017). Economic analysis of deficit irrigation strategies for management of agricultural water resources (case study: Qazvin Plain Irrigation Network). MSc Thesis in Agricultural Economics. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran. (Persian)
4. Bakhshi, A., Daneshvar Kakhki, M. and Moqaddasi, R. (2011). Application of positive mathematical planning model to analyze the effects of water price replacement policies in Mashhad Plain. *Journal of Agricultural Economics and Development* (Science and Technology of Agriculture), 25(3): 284-294. (Persian)
5. Belali, H. (2010). Effects of pricing and agricultural policy on conservation of groundwater resources: a case study of Bahar Plain. PhD Thesis in Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran. (Persian)
6. Cai, X. and Rosegrant, M.W. (2004). Irrigation technology choices under hydrologic uncertainty: a case study from Maipo River Basin, Chile. *Water Resources Research,* 40: 1-10.
7. Cortignani, R. and Severini, S. (2009). Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using positive mathematical programming. *Agricultural Water Management,* 96(12): 1785-1791.
8. Dinar, A. and Mody, J. (2004). Irrigation water management policies: allocation and pricing principles and implementation experiences. *Natural Resource Forum*, 28: 112-122.
9. Dinar, A. and Subraminian, A. (1997). Water pricing experiences: an international perspective. World Bank Technical Paper No. 386. Washington. DC.
10. Graveline, N. and Mérel, P. (2012). How do farmers adapt to water scarcity? Intensive margin adjustments in Beauce agriculture. Paper Presented at the EcoProd Seminar of INRA. Montpellier: September 2012 and at the SFER Conference, Toulouse.
11. He, L. (2004). Improving irrigation water allocation efficiency: analysis of alternative policy option in Egypt and Morocco, PhD Thesis, Purdue University, USA.
12. He, L., Tyner, W.E., Doukkali, R. and Siam, G. (2006). Policy options to improve water allocation efficiency: analysis on Egypt and Morocco. *Water International,* 31: 320-337.
13. Hegmatan-Ab Consulting Engineers (2007). Identification of surface and underground water sources in the study area of Ghorveh-Dehgolan. Published Report, Hamadan. (Persian)

14. Henry de Frahan, B., Buysse, J., Polomé, P., Fernagut, B., Harmignie, O., Lauwers, L., Van Huylenbroeck, G. and Van Meensel, J. (2007). Positive mathematical programming for agriculture and environmental policy analysis: review and practice. Handbook of Operations Research in Natural Resources. pp 129-154.
15. Howitt R.E., Medellin-Azuara J., MacEwan, D. and Lund, R. (2012). Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. *Science of the Environmental Modeling and Software,* 38: 244-258.
16. Howitt, R.E. and Hanak, E. (2005). Incremental water market development: the California water sector 1985-2004. *Canadian Water Resources Journal*, 30(1): 1-10.
17. Johansson, R.C. (2004). Pricing irrigation water. a literature survey. The World Bank Policy Resource Working Paper, 2449.
18. Kavosh-Abkhan Consultant Engineers (2011). Justification report on the extension of exploiting limitation on underground water sources in Dehgolan Plain. Tehran. (Persian)
19. Medellin-Azuara, J., Harou, J.J. and Howitt, R.E. (2012). Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Science of the Agricultural Water Management*, 108: 73-82.
20. Medellin-Azuara, J., Harou, J.J. and Howitt, R.(2010). Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation. *Science of the Total Environment*, 408: 5639-5648.
21. Mirzaei, K. and Ahmadpour Borazjani, M. (2016). Effects of irrigation water quota on crop pattern and gross profit of farmers in Amol region. *Iranian Water Resources Research,* 12(3): 166-179. (Persian)
22. Mousavi, S.N. and Forghani, F. (2011). Evaluation of agricultural water policy effect on groundwater resources by a positive mathematical programming model (case study: Eghlid County). *Quarterly Journal of Economic Research,* 11(4): 62-85. (Persian)
23. Mushtaq, S. and Moghaddasi, M. (2011). Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand. *Environmental Science and Policy,* 14(2): 1139-1150.
24. 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.

25. Reddy, V. (2009). Water pricing as a demand management option: potentials, problems and prospects. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, pp. 25-46.
26. Rhodes, G.F. and Sampath, P.K. (1988). Efficiency, equity and cost recovery implications of water pricing and allocation schemes in developing countries. *Canadian Journal of Agricultural Economics,* 36: 103-117.
27. Röhm, O. and Dabbert, S. (2003). Integrating agri-environmental programs into regional production models: an extension of positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics,* 85(1): 254-265.
28. Shahroudi, A. and Chizari, M. (2006). A behavioral analysis of farmers performance in optimal agricultural water management in Khorasan Razavi province: comparing participators and non-participators in water supply cooperatives. *Quarterly Journal of Agricultural Extension and Education Sciences,* 8(1): 235-244. (Persian)
29. Shirzadi, S. and Saboohi Sabooni, M. (2014). Study of the sustainability and balance of groundwater table to achieve sustainable management (case study: Neyshabour Basin). *Agricultural Economics Research,* 6(4): 107-128. (Persian)
30. Vakilpour, M.H. and Varziri, A. (2014). Investigating the effects of irrigation water reduction on the economic value of water in Dehgolan Plain. The 2nd National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, Tehran, October 13, 2014. (Persian)
31. Yazdani, S., Mahmoudi, A., Yavari, Gh.R., Showkat Fadaei, M., Nazari, M.R. and Mirzaei, M. (2016). Analysis of economic effects of non-pricing policies on reducing water supply in Qazvin Plain. *Economic Growth and Development*, 2(3): 89-98. (Persian)
32. Zare-Mehrjerdi, M. (2007). Evaluation of groundwater in agricultural sector: a case study of Kerman. PhD Thesis in Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran. (Persian)
33. Zibaei, M. (2007). Factors affecting non-continuity in the use of sprinkler irrigation systems in Fars province: comparison of logit and fractional analyses. *Economics and Agriculture*, 1(2): 183-194. (Persian)