

اثر کم آبیاری توأم با محدودیت مصرف کود و سموم شیمیایی بر تغییر الگوی کشت زراعی شبکه آبیاری قزوین

محمد علی اسعدی، صادق خلیلیان^{۱*} و سید حبیب الله موسوی

دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

a.asaadi@modares.ac.ir

دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

khalil_S@modares.ac.ir

استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

shamosavi@modares.ac.ir

چکیده

مطالعه حاضر به دنبال تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی شبکه آبیاری دشت قزوین با تأکید بر سیاست کم آبیاری و کاهش مصرف کود و سموم شیمیایی است. برای این منظور، از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) و حداکثر بی‌نظمی (ME) استفاده شده است. نتایج گزینه اول (کم آبیاری پنج درصد در محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و چغندر قند در مرحله رسیدن و کم آبیاری پنج درصد در مرحله رشد رویشی برای یونجه توأم با کاهش پنج درصد کود و سموم شیمیایی) نشان داد که محصولات چغندر قند، یونجه، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای به دلیل بالا بودن بازده اقتصادی نسبت به دو محصول گندم و جو وارد الگوی کشت می‌شوند. همچنین اعمال این سیاست منجر به افزایش بازده ناخالص مزرعه (۴/۵ درصد) و کاهش آب مصرفی (۵/۱ درصد) اراضی زراعی منطقه شد. در اثر اعمال گزینه دوم نیز الگوی کشت به سمت محصولاتی که صرفه اقتصادی بالاتری به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری دارند، پیش می‌رود، به طوری که اعمال این گزینه باعث افزایش بازده ناخالص مزرعه و کاهش آب مصرفی به ترتیب به میزان ۳/۶ و ۱۷/۲ درصد شده است. دیگر نتایج تحقیق نشان داد که شاخص‌های پایداری منابع آب، انواع کود و سموم شیمیایی در اثر اعمال سیاست‌های مذکور در الگوی PMP، کمتر از وضعیت فعلی الگوی کشت منطقه است. شاخص‌های مذکور مبین این واقعیت است که مصرف زیاد آب، کود و سموم شیمیایی مانع رسیدن به یک کشاورزی پایدار می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شاخص پایداری، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، حداکثر بی‌نظمی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: تهران، گروه مهندسی اقتصاد کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

*- دریافت: شهریور ۱۳۹۷ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۸

مقدمه

بخش کشاورزی نقش مهمی در اقتصاد ملی، اشتغال‌زایی و تأمین غذای افراد جوامع مختلف دارد (سکوایرا، ۲۰۱۰)؛ بنابراین، لازم است از منابع و ابزارهای تولید در این بخش به بهترین شیوه ممکن استفاده شود تا ضمن کاهش مصرف این منابع، سودآوری و رفاه کشاورزان نیز افزایش یابد (نعمتی و همکاران، ۱۳۹۱). از طرفی محدودیت منابع در بخش کشاورزی و نیاز به افزایش تولید محصولات زراعی برای پاسخ‌گویی به تقاضای فزاینده ناشی از رشد جمعیت و نیز ضرورت مبارزه مدیریت‌شده با آفات از سوی دیگر، سبب شده است فشار بر منابع تولید بخش کشاورزی به فشار بر محیط‌زیست منجر شود (هالکیدیس و پاپادیموس، ۲۰۰۷). به دلیل استفاده بیش‌ازحد از نهاده‌ها به‌خصوص در اثر آبیاری زیاد و استفاده از کودها و سموم شیمیایی که اولین تأثیر آن رسوب در آب آبیاری است، امروزه کشاورزی به‌عنوان یک تهدید برای زیست‌بوم‌ها مطرح می‌شود (برین، ۲۰۰۷)، به‌طوری‌که در حال حاضر مهم‌ترین جنبه‌های زیست‌محیطی نگران‌کننده فعالیت‌های کشاورزی، استفاده از نهاده‌های تهیه‌شده در بخش غیر کشاورزی (صنعت) همانند انواع کودها، سموم، آفت‌کش و علف‌کش‌هاست (کوپوسویک و همکاران، ۲۰۰۷). در پی آثار تخریبی نامتعادل کودها و سموم شیمیایی، وزارت جهاد کشاورزی به دنبال سیاستی است تا از مصرف بی‌رویه، نابهنگام و نامتعادل کودهای شیمیایی جلوگیری نماید و همزمان با علمی کردن مصرف کود یعنی مرتبط نمودن مصرف این نهاده با مقدار برداشت محصول و پتانسیل‌های بالفعل خاک در آزادسازی عناصر غذایی در طول رشد گیاه، مواد آلی موجود در خاک‌های کشور را حداقل تا سطح یک درصد برساند. در طی سال‌های اخیر با تشکیل شورای عالی سیاست‌گذاری کاهش مصرف سموم و کودهای شیمیایی در کشاورزی، مسائل تولید و کاهش منطقی مصرف سموم و کودها به‌منظور تحقق توسعه پایدار کشاورزی، تحت بررسی می‌باشد.

جدای از مسئله کم‌آبی و عدم مدیریت مناسب منابع آبی و همچنین مصرف بیش‌ازحد نهاده‌های کود و سموم شیمیایی، فقدان الگوی مناسب کشت نیز گریبان‌گیر کشاورزی کشور می‌باشد. عدم توجه عملی به این مسئله ضربات جبران‌ناپذیری را بر پیکره کشاورزی ایران وارد کرده است و شاید یکی از دلایلی که مانع رشد مناسب این بخش در همه ابعاد شده، به این نکته برمی‌گردد (نظری و همکاران، ۱۳۹۲)؛ بنابراین تعیین برنامه مناسب کشت یکی از مسائل اساسی در تولید محصولات کشاورزی است. به بیانی دیگر، الگوی کشت محصولات زراعی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی شبکه‌های آبیاری مطرح است (غفاری و همکاران، ۱۳۸۹) که در مراحل اولیه طراحی، با توجه به شرایط زمانی و مکانی و با در نظر گرفتن سیاست‌های کلان در بخش کشاورزی، پیشنهاد گردیده و مبنای طراحی ساختار فیزیکی شبکه آبیاری قرار می‌گیرد (نظری‌فر و همکاران، ۱۳۹۷). در شرایط فعلی و با توجه به موضوعات بیان‌شده، کمبود آب کشاورزی بخش وسیعی از کشور و از جمله استان قزوین را با مشکل مواجه ساخته است. به‌طوری‌که اکثر مناطق استان در بحران آب به سر می‌برند (اسعدی، ۱۳۹۶). با توجه به این مهم، در این مطالعه سعی بر این است با ارائه الگوی بهینه زراعی با تأکید بر محدودیت منابع آبی، کود و سموم شیمیایی، این مسئله مورد بررسی قرار بگیرد.

اهمیت توجه به کاهش مصرف نهاده‌های آب، کود و سموم شیمیایی باعث شده است که تمرکز بسیاری از مطالعات مختلف به بهینه‌سازی الگوی مصرف این نهاده‌ها معطوف گردد (بیلی و همکاران، ۱۹۹۹؛ بارتولینی و همکاران، ۲۰۰۷). در ایران نیز این تمرکز در بسیاری از مناطق کشور بایستی صورت پذیرد (کریم زادگان و همکاران، ۱۳۸۵). شبکه آبیاری دشت قزوین از جمله مهم‌ترین این مناطق می‌باشد و یکی از دشت‌های مستعد و مهم کشور در تولید محصولات کشاورزی است (ناصری و همکاران، ۱۳۸۸). این شبکه دارای مساحت خالص ۶۰ هزار هکتار و در وسعتی بالغ بر ۸۰ هزار هکتار ناخالص از

بازده ناخالص مزرعه مورد بررسی قرار گیرد تا سیاست-گذاران بخش کشاورزی را در انتخاب رهیافت‌های مناسب به‌منظور افزایش کارایی مصرف این نهاده‌ها و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف نامتعادل این نهاده‌ها یاری نماید.

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه توسعه پایدار کشاورزی و اعمال سیاست‌های کم‌آبایی توأم با کاهش نهاده‌های کود و سموم شیمیایی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است که عمدتاً از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) که قابلیت بالایی در شبیه‌سازی محدودیت‌های دنیای واقعی و عکس‌العمل زارعین در تجزیه و تحلیل سیاست‌های بخش کشاورزی برخوردارند، استفاده شده است (موسوی و قرقانی، ۱۳۹۰؛ مدلین-آزورا و همکاران، ۲۰۱۰). نیاز روزافزون به الگو و شبیه‌سازی توابع رفتاری تحت شرایط فنی، اقتصادی، سیاستی و اخیراً زیست‌محیطی، استفاده از الگوهای PMP که دارای توانایی کالیبراسیون می‌باشد را تقویت کرده است (هاویت، ۲۰۰۵). برنامه‌ریزی ریاضی مثبت یک روش تحلیل تجربی است که از تمام اطلاعات موجود، فارغ از اینکه به چه میزان کمیاب هستند استفاده می‌کند. این روش در وضعیتی که داده‌های سری زمانی اندکی در دسترس است به‌ویژه در تحلیل‌های منطقه‌ای و بخشی کشورهای در حال توسعه و تحلیل اقتصادی زیست‌محیطی مفید می‌باشد (آرفینی، ۲۰۰۱؛ رم و دابرت، ۲۰۰۳). 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 (پاریس و هاویت، ۱۹۹۸؛ بخشی و همکاران، ۱۳۹۰). در تحقیقی از الگوی برنامه‌ریزی مثبت به‌منظور چگونگی انطباق کشاورزان به کمیابی آب در منطقه‌ای از فرانسه که یک منطقه غلات با تولیدات بالا و متکی به آب‌های زیرزمینی است، استفاده شد. نتایج نشان داد که کشاورزان با گزینش کمیابی آب، حدود ۲۰ درصد به کاهش شدت آب برای محصولات آبی،

اراضی دشت را زیرپوشش قرار می‌دهد (سازمان جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴). اطلاعات نشان می‌دهد که حجم بهره‌برداری از منابع آبی استان بیش از ذخایر آن می‌باشد و برداشت اضافی باعث کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی در اغلب نقاط استان شده است (شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۳). برداشت بیش‌ازحد و وجود بیش از ۲۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز در استان با حجم برداشت ۳۵۰ میلیون مترمکعب، افت مستمر سطح آب زیرزمینی را در پی داشته است که این افت آثار نامطلوبی در منطقه به دنبال دارد که از جمله می‌توان به کاهش شدید آبدهی چاه‌ها، خشک شدن قنات، شور شدن آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی، از بین رفتن کیفیت خاک، تحمیل هزینه‌های زیاد برداش مالکان، ایجاد مشکل اساسی در تأمین آب شرب شهرها و روستاها و درنهایت فرونشست زمین در مناطقی از دشت قزوین اشاره کرد (شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۳). از طرفی دیگر، عوارض زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بیش از حد مواد شیمیایی و همچنین مصرف نامناسب و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع محدود آبی که به بهانه انجام فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه رواج دارد، وضعیت ناپایداری را از لحاظ استفاده از منابع تولیدی بخصوص آب و خاک و مسائل زیست‌محیطی به وجود آورده و تهدیدی برای امنیت غذایی محسوب می‌شود (سازمان جهاد کشاورزی، ۱۳۹۲). لذا لزوم توجه به الگوی مصرف بهینه این نهاده‌ها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به این اثرات، مدیریت مصرف نهاده‌ها یکی از مباحث مهم در کشاورزی پایدار می‌باشد. از میان نهاده‌ها نیز کاهش همزمان استفاده از نهاده‌های شیمیایی و آب بیشتر مورد توجه است (سیمن و همکاران، ۲۰۰۶؛ لاتینوپولوس و میلوپولوس، ۲۰۰۵).

در مطالعه حاضر سعی شده است تا با بهره‌گیری از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در طی دو گزینه، پیامدهای احتمالی راهبرد کم‌آبایی توأم با کاهش نهاده‌های کود و سم بر الگوی کشت و مصرف نهاده‌ها و همچنین

۵۰ درصد به تغییر الگوی کشت به سمت کشاورزی دیم و حدود ۲۵ درصد به سمت محصولات آب‌بر کمتر گرایش پیدا کردند (گراولین و مریل، ۲۰۱۲). در پژوهشی دیگر اثرات کم‌آبیاری در پاسخ به تغییرات اقلیم و تقاضای آب محیط‌زیست با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی در حوضه‌ی آبریز ماری دارلینگ استرالیا مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق سه گزینه 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 کارایی مصرف آب، مؤثر می‌باشد (مشتاق و مقدسی، ۲۰۱۱). راگکوس و سایکوداکیس (۲۰۰۹) با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی چندهدفه به بررسی حداقل کردن تأثیرات خسارت‌های زیست‌محیطی در کشاورزی رودخانه استریموناس^۱ واقع در کشور یونان پرداختند. در این مطالعه امکان دستیابی همزمان به اهداف زیست‌محیطی که شامل کاهش میزان کود و آب آبیاری با توجه به رسیدن به درآمد قابل قبول مزرعه است، بررسی شد. نتایج نشان داد که کاهش نهاده‌های مذکور تأثیر قابل‌توجهی بر درآمد، برحسب مابه‌التفاوت ناخالص دارد که باعث افزایش آن می‌شود و یک پهنه وسیعی از انتخاب‌های سیاستی را نشان می‌دهد. در داخل کشور نیز، در مطالعه‌ای اثر درصدهای مختلف کاهش آب مصرفی در در مراحل چهارگانه رشد محصولات زراعی به‌عنوان گزینه‌های کم‌آبیاری بر بهینه‌سازی مصرف آب و الگوی کشت غالب در شبکه آبیاری دشت قزوین با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری در بهترین حالت، علی‌رغم صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۵/۲ درصد، امکان افزایش درآمد مزرعه به میزان ۰/۴ درصد نسبت به وضعیت موجود وجود دارد (اسعدی و همکاران، ۱۳۹۷). در مطالعه‌ای دیگر در دشت خمین واقع در استان مرکزی، آثار مختلف کاهش میزان آب مصرفی و افزایش قیمت دو نهاده کود و آب بر الگوی کشت با استفاده از روش

برنامه‌ریزی ریاضی مثبت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، اعمال سیاست افزایش هزینه‌های دو نهاده آب و کود، کاهش تنوع الگوی کشت را به همراه داشته است. بدین ترتیب که مقدار شاخص تنوع الگوی کشت (EI) برای مزارع کمتر از پنج هکتار به ترتیب برابر با ۰/۴۹ و ۰/۶ و برای مزارع بیشتر از پنج هکتار ۰/۷ و ۰/۷۷۵۱ به دست آمد (زمانیان و همکاران، ۱۳۹۳). در تحقیق دیگر از روش برنامه‌ریزی آرمانی برای تعیین الگوی بهینه کشت برای منطقه شهرستان آمل استفاده شد. در این تحقیق مطابق با برنامه پنج‌ساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، اهداف کاهش هفت درصدی مصرف کودهای شیمیایی، کاهش یک درصدی مصرف سموم در راستای حفاظت از محیط‌زیست و کاهش ۰/۹۳ درصد مصرف آب برای حفاظت از منابع آبی کمیاب و توسعه پایدار کشاورزی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در صورت اجرای الگوی بهینه، میزان بازده برنامه‌ای نسبت به الگوی فعلی نزدیک به ۲۴۰ میلیارد ریال افزایش یافت (میرکریمی و همکاران، ۱۳۹۵). آق ارکاکلی و همکاران (۱۳۹۴) به‌منظور بررسی اثرات سیاست کاهش کود و آب بر الگوی کشت در شهرستان بهشهر واقع در استان مازندران با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت نشان دادند که در سیاست کاهش کود به میزان ۴۹ و ۵۶ درصد، سطح زیر کشت تمام محصولات زراعی کاهش می‌یابد. همچنین در دو سیاست کاهش مقدار آب به میزان ۱۳ و ۱۳/۹۳ درصد، سطح زیر کشت محصولات آبی کاهش و سطح زیر کشت محصولات دیم تغییری نمی‌یابد.

علاوه بر مطالعات فوق، در این تحقیق به مطالعات دیگری که در دشت قزوین به بررسی تاثیر سیاست‌های کاهش مصرف آب پرداخته‌اند، اشاره می‌شود. محمدخانی و همکاران (۱۳۹۶) در شبکه آبیاری قزوین به بررسی بهینه‌سازی تخصیص آب بین محصولات مختلف در شرایط تنش آبی پرداختند. در این تحقیق با استفاده از تابع آب-تولید از یک سو و سود حاصل از تولید محصول

^۱ Strymonas

بهره‌وری اقتصادی و یونجه کمترین مقدار این شاخص را دارا بوده است.

مرور بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که PMP ابزار مهم و مناسبی برای تحلیل و توسعه سیاست‌های کاربردی در بخش کشاورزی می‌باشد. همچنین در تحقیقات صورت گرفته در زمینه کاهش آب آبیاری، تأثیر کم‌آبیاری بر الگوی کشت عموماً به صورت یکنواخت در تمام فصل رشد بررسی شده است و تأکید این تحقیقات بیشتر بر تغییر الگوی کشت از گیاهان پرمصرف به گیاهان کم‌مصرف از لحاظ نیاز آبی بوده است در صورتی که کشاورزان کمتر تمایل دارند چنین تغییراتی در الگوی کشت بدهند. از طرفی دیگر، در جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار، کمتر به سیاست‌های کاهش نهاده‌های زیست‌محیطی همچون کود و سموم شیمیایی توجه شده است.

در مطالعه حاضر، سعی بر این است تا با استفاده از رهیافت نوین برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) طی چند سناریو مختلف در راستای کشاورزی پایدار، اثرات اقتصادی- زیست‌محیطی گزینه‌های راهبرد کم‌آبیاری در مراحل کم حساس رشد محصول توأم با کاهش مصرف نهاده‌های کود و سموم شیمیایی بر بازده برنامه‌ای و همچنین شاخص‌های پایداری این نهاده‌ها مورد بررسی قرار گیرد تا سیاست‌گذاران بخش کشاورزی را در انتخاب رهیافت‌های مناسب به منظور افزایش کارایی مصرف نهاده‌های آب، کود و سموم شیمیایی و کاهش اثرات جانبی ناشی از مصرف نامتعادل این نهاده‌ها یاری رساند.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر با هدف حداکثر کردن بازده ناخالص تولیدات کشاورزان منطقه مورد مطالعه در چارچوب محدودیت‌های حاکم بر فضای تصمیم‌گیری طراحی گردید. چارچوب شبیه‌سازی در قالب مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به منظور تجزیه و تحلیل سیاست‌های مورد نظر بر قسمت‌های مختلف نظام کشاورزی و به‌ویژه تغییرات احتمالی در مصرف نهاده‌ها و تغییرات الگوی

زراعی، الویت‌بندی تخصیص آب در محصولات کشت شده بر اساس ضریب بهره‌وری آب مشخص گردید. بر اساس این فاکتور سیب، گوجه فرنگی، انگور و سیب زمینی در اولویت‌های اول تا مین آب و نخود، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای و چغندر قند در اولویت‌های آخر قرار گرفتند. در تحقیقی دیگر، میرزایی و ضیائی (۱۳۹۵) به تعیین الگوی بهینه کشت در منطقه رودبار الموت غربی در استان قزوین با تأکید بر کاهش مصرف کود و سموم شیمیایی در جهت کاهش آلودگی حوزه رودخانه شاهرود پرداختند. نتایج ایت تحقیق نشان داد که الگوی کشت فعلی منطقه، هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست‌محیطی بهینه نیست.

مظفری (۱۳۹۴) به بررسی رفتار کشاورزان در استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی و تعیین برنامه سیاستی مناسب (افزایش قیمت آب آبیاری و کاهش منابع آب در دسترس) برای حفاظت منابع آب دشت قزوین پرداخت. این محقق به این نتیجه رسید که هر دو راهکار مورد بررسی در این تحقیق منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری شده، اما میانگین تغییرات بازده برنامه‌ای با به- کارگیری سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس و افزایش قیمت آب آبیاری به ترتیب ۱۵/۹۴ و ۲۷/۶۱ درصد کاهش می‌یابد. همچنین پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۴) اثرات تکنیک کم‌آبیاری همزمان با اعمال سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس بر الگوی کشت، حجم آب مصرفی و سود ناخالص کشاورزان را مورد بررسی قرار دادند. تایچ حاصل از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی نشان داد که بکارگیری کم‌آبیاری پنج درصد توأم با سیاست کاهش آب آبیاری در دسترس، اگرچه منجر به کاهش اندکی در سود ناخالص کشاورزان می‌شود، اما به حفظ و پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت قزوین کمک شایانی می‌کند. منتظر و لطفی (۱۳۸۷) تحقیقی با هدف توسعه یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی به منظور تعیین الگوی بهینه کشت و تخصیص آب در شبکه آبیاری قزوین انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در بین محصولات، پیاز بیشترین مقدار شاخص

به صورت کامل در نظر گرفته می شود. به طوری که اگر در یک دوره کم آبیاری $h > 0$ باشد، در سایر دوره های رشد $h = 0$ فرض شده است.

به منظور اجرایی کردن سیاست های اتخاذی در بخش کشاورزی، نیاز است تا پیش از هر چیز اثرهای این سیاست ها بر رفتار و یا واکنش بهره برداران این بخش ارزیابی شود. با توجه به اینکه امکان آزمون سیاست های گوناگون در یک شرایط کنترل شده و آزمایشگاهی وجود ندارد، فرد سیاست گذار در بخش کشاورزی پیش از اعمال سیاست تلاش می کند تا در سطح اطمینان بالایی از نتایج اجرای سیاست اتخاذ شده و واکنش کشاورزان نسبت به آن آگاه شود (هی و همکاران، ۲۰۰۶؛ پرهیزکاری و صبحی، ۱۳۹۲). امروزه این امر با توسعه مدل های برنامه ریزی ریاضی مثبت فراهم شده است. همانندسازی رفتار کشاورزان با استفاده از این مدل پیش از آنکه تصمیم به سیاست گذاری گرفته شود، می تواند کمک مؤثری در راستای اتخاذ تصمیم های صحیح تر قلمداد شود (هاویت، ۲۰۰۵). در این پژوهش نیز به منظور تحلیل پیامدهای سیاست راهبرد کم آبیاری توأم با کاهش کود و سموم شیمیایی مصرفی در منطقه شبکه آبیاری دشت قزوین از رهیافت برنامه ریزی ریاضی مثبت استفاده شده است. PMP برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط هاویت معرفی شد (هاویت، ۱۹۹۵؛ صبحی و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین در سال های اخیر کاربرد مدل های برنامه ریزی ریاضی مثبت برای تحلیل های اقتصادی در سطح کشتزار افزایش یافته است (کورتیگنانی و سورینی، ۲۰۰۹). ساختار این مدل به گونه ای است که با توجه به توابع هدف و محدودیت هایی که شامل می شود، بیشتر برای ارزیابی واکنش کشاورزان نسبت به تغییرات احتمالی در شرایط مزرعه و بازار، تحلیل سیاست های کشاورزی و بررسی پیامدهای اقتصادی سیاست ها مورد استفاده قرار می گیرد (پاریس، ۲۰۰۱). همان گونه که هاویت (۱۹۹۵) و پاریس و هاویت (۱۹۹۸)

کشت و شبیه سازی آثار آنها طی گزینه های مختلف مدل سازی شد. از آنجاکه یکی از اهداف مطالعه حاضر، بررسی امکان اعمال کم آبیاری بر الگوی زراعی گیاهان منتخب منطقه مورد مطالعه (گندم، جو، ذرت علوفه ای، ذرت دانه ای، چغندر قند و یونجه)^۱ است، در آن از تابع تولید آب و محصول^۲ در مراحل مختلف رشد محصولات استفاده گردید. در این بخش روابط مورد استفاده در محاسبات مربوط به کاهش عملکرد و به عبارتی رابطه بین مصرف آب و عملکرد در سطوح مختلف کم آبیاری با استفاده از مدل های کشاورزی ارائه شده فائو محاسبه و در مدل لحاظ گردید. این تابع توسط Stevart (۱۹۸۷) پیشنهاد و توسط دورنبوس و کاسام تصحیح گردیده و به قرار زیر نوشته می شود (دورنباس و کاسام، ۱۹۹۷؛ میر و همکاران، ۱۹۹۳)

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^n \left[1 - KY_i \left(1 - \frac{W_a}{W_p} \right) \right] \quad (1)$$

در رابطه (۱)، Y_p حداکثر محصول تولیدی در شرایط بدون تنش آبی، Y_a مقدار محصول واقعی در شرایط تنش آبی (شرایط واقعی)، Π : عملکرد حاصل ضرب، i : مرحله مشخصی از رشد، n : تعداد مراحل رشد و KY_i : ضریب حساسیت محصول نسبت به آب در i امین مرحله رشد گیاه است. لازم به ذکر است که ضریب KY_i از نشریه شماره ۳۳ سازمان خواروبار جهانی (FAO) گزارش شده است (دورنباس و کاسام، ۱۹۹۷). W_p حداکثر آب آبیاری مورد نیاز گیاه و W_a مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه که در دوره های مختلف رشد مقدار آن در شرایط آبیاری کامل برابر $W_a = W_p$ و در شرایط اعمال کم آبیاری از طریق رابطه (۲) به دست می آید:

$$W_{ai} = (1 - h)W_{pi} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، h مقدار کاهش نسبی مصرف آب در کل دوره رشد (کوچکتر یا مساوی یک) است. رابطه فوق در هر یک از مراحل مختلف رشد اعمال می شود. در این قسمت کم آبیاری به گونه ای تعریف شده است که اگر کم آبیاری در یک دوره رخ بدهد، در سایر دوره های آبیاری

^۱. Crop-water production function (cwpf)

^۲. محصولات منتخب مطالعه حاضر، ۸۹ درصد کل سطح زیر کشت منطقه را به خود اختصاص داده است.

دوگان مربوط به مجموعه محدودیت کالیبراسیون است. اضافه کردن محدودیت واسنجی به مدل باعث می‌شود که جواب بهینه‌ی برنامه‌ریزی خطی دقیقاً سطح فعالیت‌های مشاهده‌شده در سال پایه را به دست دهد (هکلی و بریتز، ۲۰۰۰؛ هکلی، ۲۰۰۲). در گام دوم، مقادیر دوگان به‌دست‌آمده از مرحله اول برای تخمین پارامترهای تابع تولید غیرخطی و کالیبره کردن آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌گونه‌ای که سطوح فعالیت‌های مشاهده‌ای در دوره‌ی پایه توسط الگوی غیرخطی یادشده و بدون استفاده از محدودیت‌های کالیبراسیون بازتولید می‌شوند. تابع هدف غیرخطی در مرحله‌ی دوم، با قرار دادن یک تابع تولید غیرخطی و یا یک تابع هزینه‌ی غیرخطی در تابع هدف مدل مرحله‌ی اول به دست می‌آید. در این مطالعه مطابق با الگوی ارائه‌شده توسط هاویت و مسنگی (۲۰۰۲) برای برآورد تابع هدف مدل تجربی مورد استفاده از تابع تولید غیرخطی درجه دوم به‌صورت زیر استفاده شد:

$$Y_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}X_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m q_{ijk}X_{ik}X_{kj} \quad \forall i=1,2,\dots,6 \quad (7)$$

در این مطالعه Y_i میزان عملکرد محصول i ، q_{ijk} ضریب جزء درجه دوم تابع تولید و X_{kj} مصرف نهاده k (جایگزین نهاده j است) در تولید محصول i است. لازم به ذکر است که در این مطالعه، به‌منظور برآورد ضرایب تابع تولید غیرخطی (تخمین پارامترهای a_{ij} و q_{ijk} تابع تولید)، از روش حداکثر بی‌نظمی استفاده شد. بر اساس مطالعات مختلف در حال حاضر کامل‌ترین روش جهت کالیبراسیون مدل‌های PMP، بر اساس روش حداکثر بی‌نظمی استوار است (هاویت، ۲۰۰۵؛ کاپولو و پاریس، ۲۰۰۸).

درنهایت با استفاده از تابع تولید غیرخطی به‌دست‌آمده در مرحله دوم و مجموعه محدودیت‌های منابع (به‌استثنای محدودیت کالیبراسیون)، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به‌صورت روابط زیر ساخته می‌شود:

بیان کرده‌اند، واسنجی رهیافت PMP برای تحلیل سیاست‌های مورد استفاده در این مطالعه با استفاده از بسته نرم‌افزاری GAMS^۱ در سه مرحله پیاپی صورت می‌گیرد. در مرحله‌ی نخست با اضافه کردن محدودیت‌های کالیبراسیون (سطح فعالیت‌ها را به سطوح مشاهده‌شده دوره پایه مقید می‌کند) به مجموعه محدودیت‌های منابع الگوی برنامه‌ریزی خطی معمول، مقادیر دوگان مربوط به محدودیت‌های یادشده محاسبه می‌شود که بیانگر قیمت سایه‌ای محصولات تولیدشده است.

$$\text{Max GM} = \sum_{i=1}^n X_i(P_i Y_i - CW_i - \sum_{j=1}^m C_{ij}) \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}X_i \leq b_j \quad \forall j=1,2,\dots,8 \quad [\lambda] \quad (4)$$

$$X_i \leq X_i^* + \varepsilon \quad \forall i=1,2,\dots,6 \quad [\rho] \quad (5)$$

$$X_i \geq 0 \quad \forall i=1,2,\dots,6 \quad (6)$$

در رابطه (۳)، GM ارزش تابع هدف می‌باشد که بایستی حداکثر شود، X_i سطح زیر کشت برای هر محصول i ، P_i قیمت بازاری محصول i ، Y_i عملکرد محصول i ، CW_i هزینه استفاده از آب در یک هکتار زمین زراعی محصول، C_{ij} کل هزینه نهاده‌های j به‌غیر از هزینه مربوط به نهاده آب، a_{ij} بیانگر ضرایب در محدودیت‌های منابع که نسبت استفاده هر عامل تولید به زمین را نشان می‌دهد، b_j کل منابع در دسترس برای تولید محصولات می‌باشد. رابطه (۵) محدودیت واسنجی مدل است که در آن X_i^* مقدار مشاهده‌شده فعالیت i در سال پایه و ε مقدار مثبت کوچکی برای جلوگیری از وابستگی خطی بین محدودیت‌های منابع و محدودیت‌های کالیبراسیون را نشان می‌دهد (مدلین-آزورا و همکاران، ۲۰۱۰). ارزش سایه‌ای دوگان مرتبط با محدودیت‌های فیزیکی منابع و بردار عناصر ρ شامل مقادیر

^۱ Generalized Algebraic Modeling System, GAMS/MINOS (Brooke et al., 1988)

را نشان می‌دهند. روابط (۹) تا (۱۴) محدودیت نهاده‌های مصرفی لحاظ شده در مدل برای تولید محصولات منتخب زراعی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند و بیانگر آن هستند که میزان استفاده از هر یک از منابع ذکر شده برای تولید هر هکتار محصول i نمی‌تواند از کل منابع در دسترس منطقه مورد مطالعه بیشتر باشد. رابطه (۱۵) نیز بیانگر محدودیت غیر منفی بودن سطح فعالیت می‌باشد.

با استفاده از میزان مصرف نهاده‌های آب، کود و سم در واحد سطح می‌توان به بررسی پایداری کشاورزی و تولید محصول سالم پرداخت. هرچه نسبت مصرف نهاده-های مذکور در واحد سطح در یک دوره زمانی کاهش یابد، بهره‌برداران در جهت کشاورزی پایدار عمل می‌کنند و یا سیاست‌های دولت، نظام تولید را به سمت پایداری هدایت می‌کند (کهنسال و فیروز زارع، ۱۳۸۷). شناخت شاخص‌های پایداری و استفاده از آنها به تصمیم‌گیران کمک می‌نماید تا در فرایند برنامه‌ریزی واقع‌بینانه‌تر عمل نمایند. در مطالعه حاضر سه نوع شاخص پایداری زیست‌محیطی که مربوط به مصرف کودها، سموم شیمیایی و همچنین میزان مصرف آب می‌باشند، به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند.

$$\text{میزان مصرف آب (کود و سم)} = \frac{\text{شاخص پایداری نهاده آب (کود و سم)}}{\text{سطح زیرکشت}} \quad (۱۶)$$

همان‌طور که از این نسبت‌ها مشخص است، هر چه شاخص مذکور کوچکتر شود، مبین پایداری بیشتر در تولید محصولات در بخش کشاورزی می‌باشد. به عبارت دیگر ارقام کوچکتر این شاخص نسبت به مقدار آن در وضعیت فعلی، به معنی آلودگی زیست‌محیطی کمتر و در جهت پایداری سیستم کشاورزی حرکت می‌نمایم. در این مطالعه به منظور تحلیل اثرات سیاست‌های کم آبیاری تحت گزینه‌های مختلف، با توجه به نظر کارشناسان جهاد کشاورزی منطقه مورد مطالعه برای محصولات منتخب تا ۲۵ درصد اعمال و مورد بررسی قرار گرفت. اعمال کم آبیاری در پنج سطح ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد در مراحل مختلف رشد از جمله مرحله رشد رویشی، مرحله گل‌دهی، مرحله

$$\begin{aligned} \text{Max GM} \\ = \sum_{i=1}^n X_i (P_i (\sum_{j=1}^m a_{ij} X_{ij} \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m q_{ijk} X_{ik} X_{kj})) - CW_i \\ - \sum_{j=1}^m C_{ij} \end{aligned} \quad (۸)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq Tland \quad (۹)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i X_i \leq SW \quad (۱۰)$$

$$\sum_{i=1}^n L_i X_i \leq TLabor \quad (۱۱)$$

$$\sum_{i=1}^n M_i X_i \leq TMachin \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^n Fertilize_{ir} X_i \leq TFertilize_r \quad (۱۳)$$

$$\sum_{i=1}^n Poison_{ir} X_i \leq TPoison_r \quad (۱۴)$$

$$X_i \geq 0 \quad (۱۵)$$

در مدل فوق، رابطه (۸) تابع هدف غیرخطی مدل PMP را نشان می‌دهد که شامل تابع تولید غیرخطی واسنجی شده برای نهاده‌های مصرفی آب، زمین، نیروی کار، ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی و سموم مصرفی می‌باشد و به صورت بازده ناخالص کشاورزان تعریف شده است. $Poison_{ir}, Fertilize_{ir}, M_i, L_i, W_i, X_i$ به ترتیب بیانگر میزان سطح زیر کشت، مصرف آب، نیروی کار، ماشین‌آلات و همچنین کود و سموم شیمیایی برای تولید محصول i در یک هکتار زمین زراعی هستند. آندیس r نمایانگر نوع کود و سموم شیمیایی می‌باشد که محدودیت کود شیمیایی برای هر یک از کودهای اوره، پتاس و فسفات و سموم شیمیایی نیز برای سموم حشره‌کش، علف‌کش و قارچ‌کش تکرار می‌گردد. علاوه بر این، $Tland, SW, TLabor, TMachin, TFertilize_r, TPoison_r$ به ترتیب مقدار کل منابع آب، زمین، نیروی کار، ماشین‌آلات، کودهای شیمیایی و سموم مصرفی در دسترس برای فعالیت‌های زراعی محصولات مدنظر در منطقه مورد مطالعه

میزان پنج درصد لازم به ذکر است که در این مطالعه، از میان نتایج گزینه‌های مختلف، فقط نتایج دو گزینه برتر گزارش گردیده است.

اطلاعات موردنیاز این تحقیق مربوط به سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ بوده که از سازمان‌های ذیربط و نیز تکمیل تعداد ۱۴۴ پرسشنامه توزیع شده و مصاحبه حضوری با کشاورزان شبکه آبیاری دشت قزوین به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای^۱ به دست آمد. از آنجایی که اراضی دشت قزوین توسط ۱۲ کانال پوشش داده شده است، زمین‌های زراعی تحت پوشش شبکه آبیاری برحسب کانال به نه ناحیه همگن تقسیم‌بندی شده که این نواحی به‌عنوان خوشه اصلی مطالعه در نظر گرفته شد. در مرحله بعد پنج ناحیه با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب و در گام بعدی نیز از هر یک از نواحی پنج‌گانه از هر خوشه، روستاهایی به‌عنوان روستای موردبررسی تعیین و از روستاهای موجود در آن نواحی در مجموع ۲۷ روستا به‌طور تصادفی انتخاب شد. در نهایت از تعداد روستاهای منتخب به‌صورت تصادفی یک نمونه ۱۴۴ نفری از بهره‌برداران انتخاب گردید. جهت تعیین نمونه‌گیری تصادفی ساده از رابطه (۱۶) استفاده شده است.

$$n = \frac{N\sigma^2}{(N-1)\frac{B^2}{4} + \sigma^2} \quad (16)$$

در معادله فوق n حجم نمونه، N حجم جامعه، B کران خطای برآورد و σ^2 واریانس جامعه است. لازم به ذکر است، با توجه به اینکه واریانس جامعه قابل برآورد نمی‌باشد، از واریانس نمونه (S^2) استفاده شده است.

نتایج و بحث

نتایج اولیه حاصل شده از کالیبراسیون مدل برنامه-ریزی ریاضی مثبت با کمک رهیافت حداکثر بی‌نظمی نشان داد که در زمینه مقدار تابع هدف، مقادیر کاربرد نهاده‌ها و همچنین مقدار محصول تولیدشده تفاوت چشمگیری بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر حاصل از کالیبراسیون مدل

شکل‌گیری عملکرد و مرحله رسیدن دانه‌ها برای شش محصول منتخب گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، چغندر قند و یونجه در نظر گرفته شد. به‌عنوان مثال، "گندم ۱" نشان‌دهنده گندم با پنج درصد تنش آبی در مرحله رشد رویشی و "گندم ۵" یعنی گندم با ۲۵ درصد تنش آبی در مرحله رشد رویشی در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که تنش در مرحله گلدهی برای محصول چغندر قند معنا ندارد و چغندر قند ۱ تا چغندر قند ۱۵ برای مراحل دیگر رشد محصول لحاظ گردید. از طرف دیگر با توجه به زمان برداشت یونجه در مرحله گلدهی، مراحل رشد رویشی و گلدهی لحاظ گردید. اطلاعات تفصیلی راجع به اثر تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد محصول گندم در جدول (۶) در پیوست گزارش شده است و برای سایر محصولات نیز به همین ترتیب اعمال می‌گردد. از طرفی دیگر توأم با راهبرد کم‌آبیاری، بر اساس چشم‌انداز سند ملی محیط‌زیست جمهوری اسلامی ایران، سیاست کاهش مصرف کود و سموم شیمیایی به میزان پنج درصد اعمال شده است. با توجه به مطالب بیان شده، گزینه‌های به‌کاررفته در این مطالعه (تلفیق سیاست کم‌آبیاری و کاهش نهاده‌های شیمیایی (کود و سموم)) به‌صورت زیر در نظر گرفته شده است تا اثرات آن در منطقه مورد مطالعه بررسی گردد.

گزینه اول: سیاست‌های کم‌آبیاری در محصولات گندم ۱۶، جو ۱۶، ذرت علوفه‌ای ۱۶، ذرت دانه‌ای ۱۶ و چغندر قند ۱۱ به‌صورت پنج درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن محصول، در یونجه یک به‌صورت پنج درصد کم‌آبیاری در مرحله رشد رویشی توأم با سیاست کاهش پنج درصد کود و سموم شیمیایی

گزینه دوم: سیاست‌های کم‌آبیاری در محصولات گندم ۱۹، جو ۱۹ و چغندر قند ۱۴ به‌صورت ۲۰ درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن دانه‌ها، ذرت دانه‌ای ۱۸ و ذرت علوفه‌ای ۱۸ به‌صورت ۱۵ درصد کم‌آبیاری در مرحله رسیدن دانه، یونجه هفت به‌صورت ۱۰ درصد کم‌آبیاری در مرحله گلدهی توأم با کاهش مصرف کود و سموم شیمیایی به

^۱ Two-Stage Cluster Sampling

وجود ندارد. اختلاف قابل اغماض (کمتر از ۰/۵ درصد) بین این مقادیر نشان داد که کالیبراسیون مدل به خوبی انجام شده است و مدل توانسته است به خوبی بر داده‌های سال مینا تطبیق یابد و مدل پایه بازتولید شود. جدول (۱) داده‌ها و

جدول ۱- اطلاعات کلی مربوط به محصولات برگزیده در منطقه مورد مطالعه

نهادها	گندم	جو	چغندر قند	ذرت دانه‌ای	ذرت علوفه‌ای	یونجه	کل
سطح زیر کشت ($10^3/h$)	۲۵	۲	۱	۴/۸	۳/۲	۳	۳۹
آب مصرفی ($10^6 m^3$)	۱۷۵	۱۱	۱۵	۵۷/۶	۳۵/۲	۴۸	۳۴۱/۸
کود نیترات ($10^3 kg$)	۴۶۸۷/۵	۲۹۰	۲۷۵/۲	۵۷۶	۶۱۹/۵	۳۵۵/۵	۶۸۰۳/۷
کود فسفات ($10^3 kg$)	۲۱۱۵	۱۶۴	۱۶۲/۵	۵۴۲/۴	۳۹۵/۸	۱۸۶	۳۵۶۵/۷
علف کش ($10^3 L$)	۳۵	۲	۲/۳	۱۲	۲/۵۶	۰/۸	۵۴/۶۶
سم حشره کش ($10^3 L$)	۳۰	۱/۲	۱/۹	۲/۴	۰/۹۶	۳	۳۹/۴۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

(۲) نشان داده شده است. طبق نتایجی که در جدول قابل مشاهده است، با توجه به اینکه هدف اصلی کشاورزان حداکثر کردن بازده برنامه‌ای است، محصولات چغندر قند، یونجه، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای به دلیل بالا بودن بازده برنامه‌ای نسبت به دو محصول گندم و جو وارد الگوی کشت می‌شود. دلایل بالا بودن سطح زیر کشت یونجه، علی‌رغم بازده برنامه‌ای بالا، اهمیت بالای این محصول در تأمین نیاز دامی منطقه اشاره نمود. اعمال توأم دو سیاست، منجر به کاهش میزان آب مصرفی مزرعه به میزان ۵/۱ درصد در اراضی زراعی منطقه شده است. همچنین طبق یافته‌های جدول، میزان استفاده از نهاده‌های مصرفی نیز کاهش می‌یابد.

پس از برآورد مدل تابع مصرف آب-عملکرد (مدل شماره ۱) در مراحل مختلف رشد محصولات منتخب با تأکید بر نهاد آب و طراحی شاخص‌های پایداری کشاورزی در سطح مزرعه از حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت تحت گزینه‌های مختلف، اثرات راهبرد کم آبیاری توأم با کاهش مصرف کود و سموم شیمیایی در قالب گزینه‌های سیاستی مختلف بر پایداری کشاورزی در منطقه مورد مطالعه تحلیل و بررسی گردید. درصد تغییرات الگوی کشت و مصرف نهاده‌های تولید در محصولات منتخب در هر کدام از سناریوهای مختلف در جدول‌های (۲) تا (۵) ارائه شده است.

نتایج مربوط به درصد تغییرات الگوی کشت و مصرف نهاده‌های تولید در اثر اعمال گزینه اول در جدول

جدول ۲- درصد تغییرات سطح زیر کشت و مقادیر مصرف نهاده‌ها در اثر اعمال گزینه اول

نام محصول	گندم ۱۶	جو ۱۶	چغندر قند ۱۱	ذرت دانه‌ای ۱۶	ذرت علوفه‌ای ۱۶	یونجه ۱	کل
زمین	-۱۴/۸	-۳۶	۱۳	۶	۷/۱	۳۶	-۶/۸
آب	-۱۸/۹	-۴۱/۱	۹/۹	۲/۵	۱/۹	۳۴/۲	-۵/۱
کود نیترات	-۱۸/۱	-۲۳/۶	۴/۶	-۱/۵	۷/۲	۱۰/۹	-۱۲/۷
کود فسفات	-۱۷	-۱۶	۳/۳	-۰/۹	۱/۶	۶/۵	-۱۰/۴
علف کش	-۱۶/۲	-۱۱	۲/۳	-۱/۲	-۱	۲/۴	-۱۱/۴
سموم	-۱۱/۴	-۱۴/۲	۳/۶	-۳/۷	-۱/۵	۲/۶	-۷/۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود شاخص‌های پایداری مربوط به میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی و همچنین میزان مصرف آب در الگوی برنامه‌ریزی ریاضی

جدول (۳) نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های پایداری از طریق حل مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در اثر اعمال گزینه اول و الگو کشت فعلی در منطقه مورد مطالعه

الگوی کشت فعلی خود به ویژگی‌های زیست‌محیطی و پایداری منطقه چندان توجهی ندارند، درحالی‌که با اعمال سیاست‌های موردبحث می‌توان با معرفی شاخص‌های پایداری، الگوی کشتی را تدوین کرد که ضمن ممکن ساختن کسب سود لازم، استفاده از حداقل نهاده‌های کودها، سموم شیمیایی و همچنین نهاده آب را میسر سازد.

مثبت کمتر از الگوی کشت فعلی منطقه است. با توجه به شاخص‌های پایداری می‌توان بیان کرد که الگوی کشت ارائه‌شده بر مبنای برنامه‌ریزی ریاضی مثبت با الگوی فعلی منطقه اختلاف دارد. این تفاوت مبین مؤثر بودن شروط پایداری لحاظ شده در الگوی PMP است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که زارعین منطقه مورد مطالعه در تدوین

جدول ۳- تغییرات شاخص‌های پایداری در اثر حل مدل PMP در گزینه اول نسبت به الگوی کشت فعلی

شاخص‌های پایداری	الگوی کشت فعلی	تغییرات نسبت به الگوی کشت فعلی	درصد تغییرات
بازده ناخالص (میلیون ریال)	۱۴۱۰۰۱۶	۱۴۷۳۸۷۴	۴/۵
مصرف آب (مترمکعب در هکتار)	۸۷۶۴/۱	۸۷۳۴/۸	-۰/۴
کود نیترات (کیلوگرم در هکتار)	۱۷۴/۴۵	۱۶۳/۵۷	-۶/۱
کود فسفات (کیلوگرم در هکتار)	۹۱/۴۲	۸۷/۹۴	-۳/۸
سم علف‌کش (لیتر در هکتار)	۱/۴۱	۱/۳۴	-۴/۹
سم حشره‌کش (لیتر در هکتار)	۱/۰۱	۱	-۰/۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

دارند، پیش می‌رود و سیاست کم‌آبایی توأم با کاهش نهاده‌های شیمیایی باعث گردیده است که کشاورزان الگوی کشت آبی را انتخاب نمایند که منافع اقتصادی بالایی در مقابل سایر محصولات داشته باشند. جدول (۵) نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های پایداری در الگوهای کشت فعلی و حل مدل PMP در اثر سیاست گزینه دوم را نشان می‌دهد.

در جدول (۴)، نتایج مربوط به درصد تغییرات الگوی کشت و مصرف نهاده‌های تولید حاصل از مدل PMP در گزینه دوم گزارش شده است. طبق نتایجی که در جدول قابل مشاهده است، در اثر اعمال گزینه دوم، سطح زیر کشت محصولات گندم، جو و ذرت علوفه‌ای نسبت به شرایط فعلی کاهش می‌یابد و الگوی کشت به نفع محصولات چغندر قند، ذرت دانه‌ای و یونجه که صرفه اقتصادی بالاتری به ازای مصرف هر مترمکعب آب آبیاری

جدول ۴- درصد تغییرات سطح زیر کشت و مقادیر مصرف نهاده‌ها در اثر اعمال گزینه دوم

نام محصول	گندم ۱۹	جو ۱۹	چغندر قند ۱۴	ذرت دانه‌ای ۱۸	ذرت علوفه‌ای ۱۸	یونجه ۷	کل
زمین	-۱۷/۳	-۳۷/۵	۶	۲/۲	-۱/۵	۵۰	-۸/۸
آب	-۳۳/۷	-۴۹/۵	-۱۲/۷	-۱۱/۵	-۱۶	۴۰/۷	-۱۷/۲
کود نیترات	-۲۰/۳	-۲۴/۴	۱/۶	-۳	-۶	۱۷/۱	-۱۴/۹
کود فسفات	-۲۱/۵	-۲۶/۸	۴/۶	-۳/۸	-۲/۶	۱۲/۹	-۱۴
علف‌کش	-۱۸/۲	-۱۲/۵	۲/۱	-۲/۹	-۵/۴	۳/۷	-۱۳/۱
سموم	-۱۳/۳	-۱۴/۶	۲	-۱/۲	-۳/۶	۵/۳	-۸/۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۵- تغییرات شاخص‌های پایداری در اثر حل مدل PMP در گزینه دوم نسبت به الگوی کشت فعلی

شاخص پایداری	الگوی کشت فعلی	تغییرات نسبت به الگوی کشت فعلی	درصد تغییرات
بازده ناخالص (میلیون ریال)	۱۴۱۰۰۱۶	۱۴۶۱۵۵۱	۳/۶
مصرف آب (مترمکعب در هکتار)	۸۷۶۴/۱	۸۷۰۷/۲	-۰/۶
کود نیتراژ (کیلوگرم در هکتار)	۱۷۴/۴۵	۱۶۲/۹	-۷
کود فسفات (کیلوگرم در هکتار)	۹۱/۴۲	۸۶/۳۸	-۵/۵
سم علف کش (لیتر در هکتار)	۱/۴۱	۱/۳۲	-۶/۳
سم حشره کش (لیتر در هکتار)	۱/۰۱	۱/۰۱	۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقدار شاخص‌های پایداری مربوط به میزان مصرف آب، مصرف کودها و سموم شیمیایی در الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت کمتر از الگوی کشت فعلی منطقه و کاهش ملموسی داشته است. می‌توان گفت که زارعین منطقه مورد مطالعه در تدوین الگوی کشت فعلی خود به ویژگی‌های زیست‌محیطی و پایداری منطقه توجه چندانی ندارند، درحالی‌که با استفاده از مدل PMP می‌توان با معرفی شاخص‌های پایداری، الگوی کشتی را تدوین کرد که ضمن ممکن ساختن کسب سود لازم، استفاده از حداقل نهاده‌های کودها، سموم شیمیایی و همچنین نهاده آب را میسر سازد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این تحقیق بررسی پایداری کشاورزی در اثر اعمال سیاست‌های راهبرد کم‌آبیاری توأم با کاهش مصرف نهاده‌های کود و سموم شیمیایی در بخش کشاورزی شبکه آبیاری دشت قزوین است. نتایج به‌دست‌آمده در اثر اعمال سناریوی کم‌آبیاری بر محصولات گندم ۱۶، جو ۱۶، ذرت علوفه‌ای ۱۶، ذرت دانه‌ای ۱۶، چغندر قند ۱۱ و یونجه ۱ توأم با کاهش پنج درصد کود شیمیایی و سموم (گزینه اول) و اعمال سیاست‌های کاهش آب مصرفی بر محصولات گندم ۱۹، جو ۱۹، چغندر قند ۱۴، ذرت دانه‌ای ۱۸، ذرت علوفه‌ای ۱۸ و یونجه ۷ توأم با کاهش کود و سموم به میزان پنج درصد (گزینه دوم) بر کل اراضی منطقه مورد مطالعه نشان داد که این امر علی‌رغم کاهش سطح زیر کشت به ترتیب به میزان ۶/۸ و ۸/۸ درصد نسبت به سال پایه، تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش مصرف

نهاده‌های آب، کود و سموم شیمیایی منطقه دارد و با توجه به اینکه هدف اصلی کشاورزان حداکثر کردن بازده برنامه‌ای می‌باشد، محصولات چغندر قند، یونجه، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای به دلیل بالا بودن بازده برنامه‌ای نسبت به دو محصول گندم و جو وارد الگوی کشت می‌شوند و باعث افزایش بازده برنامه‌ای به ترتیب به میزان ۴/۵ و ۳/۶ درصد خواهد گردید. تفاوت در استفاده از آب و نهاده‌های شیمیایی در وضعیت الگوی فعلی بهره‌برداران و حل مدل با هدف حداکثر بازده ناخالص بیانگر آن است که به‌طور کلی در میان بهره‌برداران، الگوی حداکثر بازده ناخالص حاصل از حل مدل PMP نسبت به وضعیت فعلی بهره‌برداران موجب کاهش معنی‌دار مصرف آب و سموم شیمیایی می‌شود. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از دو گزینه اول و دوم نشان می‌دهد که الگوی بهینه کشت گزینه دوم تطبیق بیشتری با الگوی کشاورزی ارگانیک و پایدار نسبت به گزینه اول دارد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که با اعمال سیاست‌های کم‌آبیاری توأم با کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، شاخص‌های پایداری روند رو به بهبودی را طی می‌کنند. درعین‌حال همان‌طور که مشاهده شد آثار اعمال سیاست‌های اول و دوم بر شاخص‌های پایداری مورد مطالعه متفاوت بود و در کل روند کاهش‌ی این شاخص‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به شرایط بحرانی زیست‌محیطی منطقه مورد مطالعه و گرایش به سمت کشاورزی پایدار در راستای کاهش مصرف نهاده‌های مختلف خصوصاً آب، کود و سموم شیمیایی، به نظر می‌رسد کاهش مصرف نهاده‌های مذکور اولویت بیشتری نسبت به افزایش سود مزرعه داشته باشند. لذا رهیافت به‌دست‌آمده از نتایج گزینه دوم می‌تواند

مناطق روستایی نیز خواهد بود؛ بنابراین به نظر می‌رسد راهکار مقابله با این معضل از طریق توسعه اشتغال‌زایی در صنایع جایگزین به‌ویژه توسعه صنایع پشتیبان بخش کشاورزی بوده و باید در دستور کار برنامه‌ریزان و متولیان امر قرار بگیرد.

در راستای کشاورزی پایدار مفید باشد. از طرفی دیگر، با توجه به نتایج گزینه‌ها، کاهش سطح زیرکشت به معنی کاهش توان اشتغال‌زایی بخش کشاورزی است، لذا این سیاست‌ها افزون بر پیامدهای اقتصادی- زیست‌محیطی، به علت افزایش نرخ بیکاری دارای پیامدهای اجتماعی در

پیوست

جدول ۶- اطلاعات مربوط به تابع مصرف آب_ عملکرد محصول گندم در اثر تنش کم‌آبی

پارامتر	مرحله رشد رویشی					مرحله گلدهی				
	گندم ۱	گندم ۲	گندم ۳	گندم ۴	گندم ۵	گندم ۶	گندم ۷	گندم ۸	گندم ۹	گندم ۱۰
KY_i	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶	۰/۶
h	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵
Y_a	۵۲۹۶/۵	۵۲۴۳	۵۱۸۹/۵	۵۱۳۶	۵۰۸۲/۵	۵۱۸۹/۵	۵۰۲۹	۴۸۶۸/۵	۴۷۰۸	۴۵۴۷/۵
پارامتر	مرحله شکل‌گیری عملکرد					مرحله رشد دانه				
	گندم ۱۱	گندم ۱۲	گندم ۱۳	گندم ۱۴	گندم ۱۵	گندم ۱۶	گندم ۱۷	گندم ۱۸	گندم ۱۹	گندم ۲۰
KY_i	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
h	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۲	۰/۲۵
Y_a	۵۲۱۶/۲۵	۵۰۸۲/۵	۴۹۴۸/۷۵	۴۸۱۵	۴۶۸۱/۲۵	۵۳۴۷/۳۲	۵۳۴۴/۶۵	۵۳۴۱/۹۷	۵۳۳۹/۳	۵۳۳۶/۶۲
	$Y_p = 5350 \text{ kg}$					$W_p = 7000 \text{ m}^3$				

مأخذ: یافته‌های تحقیق

فهرست منابع

۱. اسعدی م.ح. ۱۳۹۶. تحلیل اقتصادی راهبرد کم‌آبیاری جهت مدیریت منابع آب کشاورزی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین). رساله کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران. ۱۲۳ ص.
۲. اسعدی م.ع.، خلیلیان ص. و موسوی س.ح.ا. ۱۳۹۷. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت با تأکید بر راهبرد کم‌آبیاری (مطالعه موردی: شبکه آبیاری قزوین) تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۴، شماره ۵: ۱۴(۵): ۱-۱۴.
۳. آق ارکاکلی م.، جولایی ر.، کرامت زاده ع. و شیرانی بیدآبادی، ف. ۱۳۹۴. تعیین الگوی کشت محصولات زراعی با تأکید بر سیاست کاهش مصرف کود و آب در استان مازندران (مطالعه موردی شهرستان بهشهر). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، دوره ۵، شماره ۳: ۲۵۹-۲۴۷.
۴. بی‌نام. ۱۳۸۴. وزارت جهاد کشاورزی، ضرورت افزایش کارایی کودهای نیتروژنه در کشور. نشریه فنی شماره ۴۲۶، انتشارات سنا، تهران.
۵. پرهیزکاری ا.، مظفری م.م.، شوکت فدایی م. و محمودی، ا. ۱۳۹۴. کم‌آبیاری توأم با کاهش آب در دسترس راهکاری برای حفاظت منابع آب در دشت قزوین. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۵، شماره ۱: ۸۰-۶۷.
۶. جبلی ج. ۱۳۸۰. راهکارهای کاهش اثرات سوء پساب‌های کشاورزی، همایش اثرات زیست‌محیطی پساب‌های کشاورزی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی. ۲۵ بهمن. ۱۴ ص.

۷. زمانی ا، قادرزاده، ح. و مرتضوی س.ا. ۱۳۹۳. تعیین الگوی کشت با تأکید بر مصرف بهینه انرژی و کشاورزی پایدار (مطالعه موردی شهرستان سقز استان کردستان). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، دوره ۲۴، شماره ۱: ۳۱-۴۳.
۸. زمانیان غ. ر، جعفری م. و کلایی ع. ۱۳۹۳. اثر تنش محیطی و افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی بر الگوی کشت دشت خمین. اقتصاد کشاورزی و توسعه، دوره ۲۲، شماره ۸۷: ۸۹-۱۱۰.
۹. سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین. ۱۳۹۲. گزارشات سالیانه جهاد کشاورزی.
۱۰. شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین. ۱۳۹۳. مطالعات پایه منابع آب: ۲۸-۳۳.
۱۱. صبحی م، سلطانی غ، زیبایی م. و ترکمانی ج. ۱۳۸۵. تعیین راهبردهای مناسب کم آبیاری باهدف حداکثر سازی منافع اجتماعی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، دوره ۱۴، شماره ۵۶: ۱۶۷-۲۰۲.
۱۲. غفاری ا، منتظر ع. ا. و جمنانی ع. ر. ۱۳۸۹. توسعه و ارزیابی مدل تعیین الگوی کشت بهینه شبکه های آبیاری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. نشریه آب و خاک، دوره ۲۴، شماره ۶: ۱۱۱۹-۱۱۲۸.
۱۳. کریم زادگان ح، گیلانپور ا. و میرحسینی س. ا. ۱۳۸۵. اثر یارانه کود شیمیایی بر مصرف غیربهینه آن در تولید گندم. فصلنامه اقتصاد کشاورزی، شماره ۵۵: ۱۳۳-۱۲۱.
۱۴. کهنسال م. و فیروز زارع ع. ۱۳۸۷. تعیین الگوی بهینه کشت همسو با کشاورزی پایدار با استفاده از برنامه‌ریزی فازی
کسری با اهداف چندگانه (مطالعه موردی استان خراسان شمالی). فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه، دوره ۱۶، شماره ۶۲: ۳۱-۱.
۱۵. محمدخانی م، کریمی م. و گمرکچی، ا. ۱۳۹۶. بهینه سازی تخصیص آب بین محصولات مختلف در شرایط تنش آبی در شبکه آبیاری دشت قزوین. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی، دوره ۳۱، شماره ۱: ۱-۱۰).
۱۶. محمدی م، محمدی قلعه نی م. و ابراهیمی ک. ۱۳۹۰. تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی دشت قزوین. مجله پژوهش آب ایران، دوره ۵، شماره ۸: ۵۲-۴۱.
۱۷. مظفری م.م. ۱۳۹۴. تعیین برنامه سیاستی مناسب برای حفاظت منابع آب در دشت قزوین. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، دوره ۵، شماره ۲: ۴۶-۲۹.
۱۸. منتظر ع. ا. و لطفی، م. ۱۳۸۷. توسعه و کاربرد مدل برنامه ریزی الگوی بهینه کشت و تخصیص منابع آب شبکه های آبیاری، مجله آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۲، شماره ۱: ۱۰۸-۹۳.
۱۹. منصوری ه. و کهنسال م. ر. ۱۳۸۶. تعیین الگوی بهینه کشت زراعی بر اساس دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی. ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی، مشهد: ۲۰-۱۳.
۲۰. میرزایی ک. و ضیائی س. ۱۳۹۵. تعیین برنامه زراعی - اقتصادی الگوی کشت در جهت پایداری و حفظ محیط زیست با استفاده از مدل برنامه ریزی آرمانی اولویتی (مطالعه موردی: رودبار الموت غربی). تحقیقات اقتصاد کشاورزی، دوره ۸، شماره ۱: ۱۷۵-۱۶۱.
۲۱. میرکریمی ش، جولایی ر، اشراقی ف. و شیرانی بید آبادی ف. ۱۳۹۵. مدیریت الگوی کشت محصولات زراعی با تأکید بر ملاحظات زیست محیطی (مطالعه موردی شهرستان آمل). علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۱۸، شماره ۲: ۲۶۳-۲۵۳.

۲۲. ناصری م.، تقوی ف. و زهرایی ب. ۱۳۸۸. رفتارشناسی مکانی- زمانی بارش در محدوده استان قزوین با استفاده از روش توابع متعامد معمولی و فازی. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۳: ۲۰۳-۱۹۱.
۲۳. نظری ع.ا. منافی آذر ر. و عبدلهی ع. ۱۳۹۲. ارزیابی تأثیر گسترش آبیاری تحت فشار در تغییر ساخت زراعی، الگوی کشت و راندمان تولید (مطالعه موردی: شهرستان میاندوآب). چشم‌انداز جغرافیایی در مطالعات انسانی، دوره ۸، شماره ۲۵: ۱۶۱-۱۴۷.
۲۴. نظری فر م. ه.، سالاری ا. و مومنی ر. ۱۳۹۷. توسعه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط کم‌آبیاری. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۵: ۱۰۷۰-۱۰۵۵.
۲۵. نعمتی ا. و قربانی، م. ۱۳۹۱. همسویی رفتار اقتصادی و زیست‌محیطی کشاورزان در مدیریت علف‌های هرز. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، دوره ۴، شماره ۱۵: ۵۸-۳۹.
26. Arfini F. 2001. Mathematical Programming Models Employed in the Analysis of the Common Agricultural Policy. Working Paper n.9, National Institute of Agricultural Economics, Rome, Italy. P 34.
27. Bailey A.P., Rehman T., Park, J. and Tranter R. 1999. Towards a method for the economic evaluation of environmental indicators for UK integrated arable farming systems. Agriculture, Ecosystem and Environment, 72: 145-158.
28. Bartolini F., Bazzani G.M., Gallerani V., Raggi, M. and Viaggi D. 2007. The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models, Agricultural System, 93: 90-114.
29. Brooke A., Kendrick D. and Meeraus A. 1988. GAMS: A User's Guide. The Scientific Press, Redwood City, CA.
30. Bryan B.A. 2007. Lower Murray landscape futures dryland component: Volume 2 analysis of regional plans and landscape futures. CSIRO Water for a Healthy Country Flagship, 172.
31. Caputo M.R. and Paris Q. 2008. Comparative statics of the generalized maximum entropy estimator of the general linear model. European Journal of Operational Research, 185(1): 195-203.
32. Cortignani R. and Severini S. 2009. Modeling Farm-Level Adoption of Deficit Irrigation using Positive Mathematical Programming. Agricultural Water Management, 96: 1785-1791.
33. Daneshvar M., Sahnoushi N. and Salehi Reza Abdi F. 2009. The determination of optimal crop pattern with aim of reduction in hazards of environmental, American Journal of Agricultural and Biological Science, 4(4): 305-310.
34. Doorenbos J. and Kassam A. H. 1977. Yield response to water .Irrigation and Drainage, Paper 33 .Food and Agricultural Organization of the United Nations .Rome .Italy .39.
35. 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: at the SFER conference, Toulouse.
36. Halkidis I. and Papadimos D. 2007. Technical report of life environment project: Ecosystem based water resources manegment to minimize environmental impacts from agriculture using state of the art modeling tools in Strymonas basian. Greek Biotope/Wetland Center (EKBY).
37. 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.
38. Heckelei T. 2002. Calibration and estimation of programming models for agricultural supply analysis, University of Bonn Habitation Thesis, Bonn.
39. Heckelei T. and Britz W. 2000. Positive mathematical programming with multiple data points, Cahiers d'Economie ET Sociologie Rurales, 57, 28-50.

40. Howitt R. 2005. Agricultural and Environmental Policy Models: Calibration, Estimation and Optimization. Unpublished book. P 215. Downloadable pdf draft at <http://www.agecon.ucdavis.edu/>.
41. Howitt R. E. and Msangi S. 2002. Consistency of GME Estimates through Moment Constraints. Forthcoming Working Paper, Department of Agricultural and Resource Economics, University of California at Davis, USA.
42. Howitt R. E. 1995. A Calibration Method for Agricultural Economic Production Models. *Journal of Agricultural Economics*, 46(2): 147-159.
43. Kupusovic T., Midzic S., Silajdzic I. and Bjelavac J. 2007. Cleaner production measures in small-scale slaughterhouse industry: case study in Bosnia and Herzegovina. *Journal of cleaner production*, 15(4): 278-383.
44. Latinopoulos D., and Mylopoulos Y. 2005. Optimal allocation of land and water resources in irrigated agriculture by means of Goal Programming: Application in Loudias River basin. *Global Nest Journal*, 7: 264-273.
45. Medellin-Azuara J., Harou 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.
46. Meyer S.J., Hubbard K.G. and Wilhite D.A. 1993. A cropspecific drought index for corn: I. Model development and validation. *Agronomy Journal*, Vol. 85: 388-395.
47. Mushtaq Sh. and Moghaddasi M. 2011. Evaluating the potentials of deficit irrigation as an adaptive response to climate change and environmental demand, *Environmental Science and Policy*, Australia College of Agriculture, 14(2): 1139-1150.
48. Najam A., Paling J.M., Yamagishi N., Straub D.G., Sarno J., Deritter S.M. and Kim E.M. 2002. From Rio to Johannesburg: Progress and Prospect. *Environment*, 44 (7): 26-38.
49. Paris Q. 2001. Symmetric Positive Equilibrium Problem: A framework for rationalizing economic behavior with limited information, *American Journal of Agricultural Economics*, 83(4): 1049-1061.
50. 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.
51. Rogkos A. and Psychoudakis A. 2009. Minimizing adverse environmental effects of agriculture: A multi-objective programming approach, *Springer-verlag journal*, 9: 267-280.
52. 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: 254-265.
53. Seaman J., Flichman G., Scardigo A. and Steduto, P. 2006. Analysis of nitrate pollution control in the irrigated agriculture of Apulia Region (Southern Italy): A bio-economic modeling approach. *Agricultural Systems*, 94: 357-367.
54. Sequeira V. 2010. Three Essays on Agricultural Risk, Insurance and Technology. Ph.D thesis, North Carolina State University.

Effects of Deficit Irrigation Simultaneously with Reduced Usage of Fertilizer and Chemical Pesticides on Changing Cropping Pattern in Qazvin Irrigation Network

M.A. Asaadi, S. Khalilian^{1*}, and S.H.A. Mousavi

PhD student of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University.

a.asaadi@modares.ac.ir

Associate Professor of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University.

khalil_s@modares.ac.ir

Assistant Professor of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University.

shamosavi@modares.ac.ir

Abstract

The aim of this study was to determine the optimal cropping pattern in irrigation network of Qazvin plain with emphasis on deficit irrigation policy and reduction of fertilizers and chemical pesticides. For this purpose, the Positive Mathematical Programming approach (PMP) and Maximum Entropy Technique (ME) were used. The results of the first option (5% deficit irrigation in wheat, barley, grain corn, fodder maize and Sugar beet at the ripening stage, and 5% deficit irrigation in the vegetative growth stage for alfalfa simultaneously with 5% reduction in fertilizers and chemical pesticides) showed that sugar beet, alfalfa, grain corn and fodder maize were be desirable for cropping pattern due to their high economical profit in compared to wheat and barley. Also, applying this policy leads to an increase in gross margin (4.5%) and a reduction in water consumption (5.1%) in the agricultural lands of the region. As a result of the implementation of the second scenario, the cropping pattern goes towards products that have a higher economic margin due to their lower irrigation water consumption. This scenario leads to 3.6% increase in gross margin and 17.2% reduction in water consumption. Other results of the research showed that due to the application of these policies in PMP, the sustainability indicators of water resources, fertilizers and chemical pesticides are less than the current values for the region's present cropping pattern. The calculated environmental index revealed that high consumption of water, fertilizer, and other chemical inputs are a barrier to achieve sustainable agriculture.

Keywords: Sustainability Index, Positive Mathematical Programming, Maximum Entropy

¹ - Corresponding Author: Associate Professor, Department of Agricultural Economics, faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*- Received: September 2018, and Accepted: May 2019