

اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۷، شماره ۱۰۸، زمستان ۱۳۹۸

DOI: 10.30490/aead.2020.257431.1001

بهینه‌سازی سیاست‌های زیست‌محیطی بخش زراعت کشاورزی ایران مبتنی بر رهیافت بهینه‌سازی چندهدفه دوسطحی

مهدی جعفری^۱، جواد شهرکی^۲، احمد اکبری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۳

چکیده

در طول سه دهه اخیر، با توجه به رشد جمعیت، رشد اقتصادی و مصرف انرژی، خطرات و آسیب‌های زیست‌محیطی بیشتر نمایان شده است. ایران کشوری رو به رشد است و یکی از مصادیق الگوی رشد با فشار بر منابع طبیعی محسوب می‌شود؛ از این‌رو، بررسی اثرات زیست‌محیطی مصرف منابع طبیعی و توسعه در ایران بسیار حائز اهمیت است. هدف پژوهش

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

(Mehdijafari@Pgs.usb.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

(J.shahraki@Eco.usb.ac.ir)

۳. استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران (aakbari@hamoon.usb.ac.ir).

حاضر بهینه‌یابی سیاست‌های کشاورزی با محوریت حفظ محیط زیست و بهبود بهره‌وری اقتصادی از طریق ساخت یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه دوسطحی و ارزیابی مجموعه جواب‌های بهینه به دست آمده از دو نوع ابزار سیاستی «افزایش قیمت نهاده آب» و «برقراری مالیات بر کود مصرفی» بود. پژوهش به صورت مطالعه موردی در بخش زراعت کشاورزی دشت خمین و طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ صورت گرفت. مجموعه جواب‌های بهینه پارتو به دست آمده از ارزیابی سیاست افزایش قیمت نهاده آب و برقراری مالیات بر کود شیمیایی نشان داد که در الگوهای کشت شامل محصولات لوبیا و پیاز، بهره‌وری بالاتر و مصرف کود کمتر از سایر الگوهای کشت بهینه است؛ همچنین، تغییر الگوی کشت به محصولات پیشنهادی افزایش بهره‌وری مصرف آب به میزان ۱۶۲ درصد و کاهش ۲۹ درصدی میانگین کود مصرفی و نیز کاهش ۳۳ درصدی فرسایش خاک را موجب می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، شایسته است با انتخاب ابزار سیاستی افزایش قیمت نهاده آب، از محصولات لوبیا و پیاز در ترکیب الگوی کشت کشاورزان بهره گرفته شود.

طبقه‌بندی JEL: Q56, Q53, Q15, C61

کلیدواژه‌ها: بهینه‌یابی چندهدفه دوسطحی، سیاست‌های زیست‌محیطی، محصولات زراعی، خمین (دشت).

مقدمه

آینده جوامع بشری نکته‌ای مبهم است که بدون تردید، با دو قضیه فناوری و تجدد مواجه بوده و این دو نیز بی‌شک با پیامدهایی مهم برای بشریت همراه بوده است (۱). یکی از مهم‌ترین مشکلات امروز بشر عدم انتخاب صحیح بین زوال یا پیشرفت است. توجه به تمامی ابعاد زیستی، اقتصادی و اجتماعی زندگی بشری بر روی کره زمین می‌تواند ضمن برآوردن نیازهای جاری بشر، رفاه، آرامش و برابری را فراهم آورد و علاوه بر آن، توانایی زیست‌بوم را در ارائه خدمات زیستی به تمامی ساکنان آن اعم از انسان و غیرانسان حفظ کند. توجه به نیازهای نسل آتی و برآورده کردن آن از اصول اخلاقی حاکم بر نظام جهانی است که

در بعضی دیدگاه‌ها در تعارض با اقتصاد انگاشته شده است (۲۶). در طول سه دهه اخیر، خطرات و آسیب‌های محیط زیست بیشتر نمایان شده است. این آسیب‌ها ناشی از ترکیب عواملی همچون رشد جمعیت، رشد اقتصادی، مصرف انرژی و فعالیت‌های صنعتی است (۲۸). از سوی دیگر، ارتباط بین توسعه اقتصادی و محیط زیست از مسائل مهم و پیچیده است. چنانچه در بستر توسعه پایدار، فعالیت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی به صورت توأم لحاظ شود، محیط زیست و توسعه اقتصادی دو عامل مکمل یکدیگرند که موجب تعادل و توازن بوم‌شناختی می‌شوند و فعالیت‌های اقتصادی عامل برهم‌زننده این تعادل و توازن نخواهد بود. از آنجا که ایران کشوری رو به رشد و برخوردار از منابع غنی و گسترده انرژی است و یکی از مصادیق «الگوی رشد با فشار بر منابع طبیعی» محسوب می‌شود، بررسی اثرات زیست‌محیطی مصرف منابع طبیعی و رشد اقتصادی در ایران، با توجه به اتخاذ رویکرد رشد اقتصادی بالا با حفظ محیط زیست، بسیار حائز اهمیت است (۳۱).

بخشی از اخلاق تعامل انسان با طبیعت به حفاظت از محیط زیست در کشاورزی مربوط می‌شود که در آن، اخلاق خوب و بد بر حسب رعایت ارزش‌های جاری در روابط طبیعی بین اجزای تشکیل‌دهنده یک زیست‌بوم کشاورزی قابل تعریف است. این ارزش‌ها مشخص می‌کنند که؛ چه کار یا رفتاری در قبال محیط زیست خوب است و چه کاری نادرست است. از این رو، واکاوی اثرات زیست‌محیطی از موضوعات اساسی اخلاق کشاورزی است (۲۶). ترویج الگوهای تولیدی در راستای توسعه پایدار اقتصاد روستایی، حفظ منابع طبیعی و کشاورزی زیست‌محیطی، سه رکن اساسی در تعریف سیاست کشاورزی است. به دیگر سخن، در تحلیل سیاست‌های کشاورزی، نیاز است که اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با یکدیگر ادغام شوند (۱). این الزامات تاکنون مشکلات جدی برای سیاست‌گذاران و محققان در دستیابی به سطوحی از اهداف به وجود آورده که به طور مستقیم، به قوانین این سیاست‌ها بستگی ندارد، بلکه تا حدودی تحت تأثیر انتخاب الگوی کشت کشاورزان، تنوع بازارها و شرایط سیاستی است. تغییرات در الگوهای تولیدی بر شمار عوامل نظام‌های کشاورزی و در

نهایت، بر سطوح دستیابی به اهداف سیاستی تأثیرگذار است. سیاست‌گذاران تنها روی تعداد محدودی از متغیرها از جمله مالیات‌ها، یارانه‌ها، محدودیت‌های کمی، و تصمیم‌گیری خرید کنترل دارند و دیگر متغیرهای اثرگذار بر برنامه‌ها و اهداف دولت تحت کنترل مستقیم کشاورزی با قدرت انتخاب مجموعه‌ای مختلف از تصمیمات است (۱۶)

واضح است که هر دو طیف سیاست‌گذاران و تولیدکنندگان می‌کوشند متغیرهای تحت کنترل خود را در راستای ارتقای مطلوبیت خود تا بیشترین حد ممکن تعدیل کنند. در این میان، تمایز مهمی وجود دارد، بدین صورت که سیاست‌گذاران از بازخورد دقیق تولیدکنندگان در قبال اتخاذ یک سیاست خاص آگاه نیستند؛ و از سوی دیگر، سیاست‌گذاران به‌طور مستقیم بر بازخورد تولیدکنندگان کنترل ندارند، بلکه این کنترل تنها در قالب یارانه، مالیات و حمایت‌ها در چارچوب قانون وجود دارد. تشخیص واکنش تولیدکنندگان در قبال اتخاذ برنامه‌های دولت مردان بسیار مهم است، چراکه کارآیی اتخاذ سیاست‌ها از جانب دولت (از نظر دستیابی به اهداف) منوط به پاسخ و بازخورد تولیدکنندگان است. در نتیجه، سیاست‌گذاران به‌طور مستقیم نمی‌توانند در الگوهای تولیدی تغییری ایجاد کنند، بلکه به‌طور غیرمستقیم از طریق کنترل انتخاب‌ها و تغییر انگیزه‌های قابل دسترس کشاورزان می‌توانند اعمال سیاست کنند. پاسخ یک بخش، به تغییر سیاست و درجه تطبیق با الگوی تولید بهینه، در راستای دستیابی به اهداف سیاستی به دو عامل اساسی بستگی دارد: ۱- پاسخ کشاورزان به محرک‌ها و علائم اقتصاد (سوددهی نسبی)، ۲- اهداف و اولویت‌های شخصی بر اساس منابع و فناوری‌های در دسترس و همچنین، محدودیت‌های زیست‌محیطی (۲۴). از این رو، اوکلاهان (۲۴) بدین موضوع اشاره می‌کند که: «اهداف شخصی کشاورزان می‌تواند یک معیار کلی برای هماهنگی برنامه‌ریزی سیاست‌ها باشد، به شرط اینکه مشوق‌های لازم برای اصلاح الگوهای تولیدی در آن مکان وجود داشته باشد». در تحلیل سیاست‌های کشاورزی، لازم است اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با یکدیگر ادغام شوند. لازمه بررسی روابط متقابل سیاست کشاورزی، اقتصاد کشاورزی و محیط زیست در یک فضای سه‌بعدی، در نظر گرفتن این خصوصیت است که در

یک نمونه عینی در بازخورد واقعی چرخه سیستم، هر جزء خروجی هم‌زمان ورودی نیز به‌شمار می‌رود که از این نظر، اقتصاد کشاورزی مبتنی بر محیط زیست را بسیار پیچیده می‌کند (۲۹).

برقراری مالیات بر نهاده‌ها به‌منظور کاهش استفاده از آنها یک ابزار سیاستی برای بهبود عملکرد استفاده از آنهاست (۱۳). این کار به‌ویژه در خصوص مواد شیمیایی که اثرات منفی بر محیط زیست دارند، می‌تواند بسیار کارساز باشد. برای نمونه، مطالعه فالکونر و هاج (۱۳) نشان داد که در صورت برقراری مالیات صد درصدی بر کود شیمیایی به‌عنوان مهم‌ترین منبع آلودگی محیط زیست، ده تا بیست درصد در کاهش آلودگی مؤثر واقع خواهد شد. بر پایه نتایج پژوهشی دیگر (۱۷)، برقراری مالیات صد درصدی بر کود ازت موجود منجر به کاهش ۱۴/۶ درصدی در مصرف کود و کاهش ۰/۳ درصدی در عملکرد محصول برنج و ۳/۱ درصدی در درآمد مزرعه می‌شود. همچنین، نتایج پژوهش شهرکی و همکاران (۳۰) نشان داد که برقراری مالیات بر کود مصرفی در بخش زراعت گلخانه‌ای باعث کاهش سود و تغییر الگوی کشت می‌شود. نتایج مطالعه نشاط و همکاران (۲۲) نیز نشان داد که بهره‌برداران، کود ازته را در ناحیه سوم تولید و به‌صورت غیراقتصادی مصرف می‌کنند که از طریق به‌کارگیری ابزارهای سیاستی مناسب از جمله اقدامات ترویجی و اطلاع‌رسانی در مورد آثار سوء مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و ترویج مصرف کودهای آلی، می‌توان به‌گونه‌ای کارآ مصرف نهاده‌های آلاینده را مدیریت کرد. همچنین، نتایج پژوهش زین‌الدین و همکاران (۳۱) نشان داد که با اتخاذ سناریوهای سیاستی، کاهش منافع اقتصادی به میزان ۳۱ درصد منجر به کاهش ۵۸/۶ درصدی در مصرف کود شیمیایی خواهد شد. بر پایه نتایج مطالعه موسوی و همکاران (۲۱)، با حذف یارانه کود شیمیایی، ضمن کاهش آلاینده‌های شیمیایی، سود ناخالص نیز کاهش ۵/۱ درصدی خواهد داشت. با توجه به حصول نتایج متفاوت، نمی‌توان از قبل پیش‌بینی کرد که با اتخاذ چه نوع ابزار سیاستی منفرد و یا ترکیبی می‌توان به اهداف مورد نظر دست یافت؛ این سیاست‌ها ممکن است به‌صورت پرداخت‌های رفاهی و یا در قالب حمایت از تولیدات داخلی باشد. بر پایه نتایج پژوهش‌های وروریدیس (۳۴)، فالکونر و هاج (۱۳) و کیم و کیم (۲۱)، انواع

متعددی از سیاست‌ها برای دستیابی به اهداف بهینه زیست‌محیطی مطرح شده است. در مجموع، این ابزارهای سیاستی به پنج دسته تقسیم می‌شوند: سه مجموعه از ابزارهای اقتصادی (پرداخت منفرد^۱، افزایش قیمت نهاده‌های راهبردی از جمله آب و مالیات بر کود شیمیایی)، و یک دسته از ابزارهای نظارتی (محدودیت‌ها)، یک مجموعه ترکیبی از ابزارهای نظارتی و اقتصادی. هدف اصلی پژوهش حاضر توسعه و بسط یک مدل ریاضی برای تحلیل سیاست‌های زیست‌محیطی کشاورزی است. از این‌رو، ارائه شیوه‌های مدل‌سازی و رهیافت‌های مفید و قابل بهره‌برداری در طرح‌ریزی سیاست‌های زیست‌محیطی کشاورزی از دستاوردهای اصلی پژوهش حاضر به‌شمار می‌رود که ضمن پرداختن به مسائل و محدودیت‌های پیش‌رو در حوزه بهینه‌یابی، در بخشی دیگر، حل این مسائل مورد تأکید قرار خواهد گرفت. در مقاله حاضر، تحلیل سناریوهای سیاستی در دشت کشاورزی خمین صورت خواهد پذیرفت. لازم به توضیح است که شهرستان خمین با توجه به میانگین بارندگی سالانه ۲۴۰ میلی‌متر و همچنین، افزایش جمعیت و توسعه فعالیت‌های کشاورزی، به‌صورت یک دشت هموار و مستعد برای کشاورزی، با تقاضا و کمبود روزافزون آب و به خطر افتادن منابع زیست‌محیطی مواجه است. با توجه به ارتباط بسیار زیاد بین ذخایر منابع آبی و میزان بارندگی‌ها، بررسی‌ها نشان می‌دهد که علی‌رغم وقوع خشکسالی‌ها با درجه متوسط تا شدید طی سال‌های ۹۰-۱۳۸۷، برداشت سالانه از منابع آب منطقه خمین به‌طور متوسط ۱۳/۱ میلیون متر مکعب افزایش داشته است (۳۸). با وضعیت موجود، امکان کاهش چشمگیر کشت بهاره در این شهرستان وجود دارد؛ همچنین، پیش‌بینی می‌شود که در وضعیت عملکرد و تولید کشت پاییزه نیز با توجه به کاهش ۳۵ درصدی نزولات آسمانی مناسب نباشد. با توجه به مطالب پیش‌گفته و موقعیتی که دشت خمین به‌لحاظ تولید محصولات راهبردی کشاورزی (گندم، جو، سیب‌زمینی و پیاز) داراست، در مطالعه حاضر، با مبنای قرار دادن سیاست‌های هم‌راستا با کشاورزی زیست‌محیطی، به بررسی بهترین راه‌حل برای

1. single payments

بهینه‌یابی برنامه‌ها و سیاست‌های زیست‌محیطی با اهداف چندگانه در بخش زراعی کشاورزی دشت خمین پرداخته شده است.

روش تحقیق

در تحلیل سیاست‌های کشاورزی، ضروری است که اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با یکدیگر ادغام شوند. این الزامات مطرح شده تاکنون برای سیاست‌گذاران و محققان در دستیابی به سطوحی از اهداف مشکلات جدی به وجود آورده‌اند که به‌طور مستقیم، به مقررات این سیاست‌ها بستگی ندارند، بلکه تا حدودی از انتخاب نوع تولید کشاورزان و بازارهای مختلف و نیز از شرایطی سیاستی تأثیر می‌پذیرند. تغییر الگوهای تولیدی بر شمار عوامل نظام‌های کشاورزی و در نهایت، بر سطوح دستیابی به اهداف سیاستی تأثیرگذار است. مسئله بهینه‌سازی برنامه‌های کشاورزی دو ویژگی متمایز دارد. اولین ویژگی برگرفته از این شاخص برنامه کشاورزی است که تمایل برنامه‌ریزان به حداقل‌سازی / حداکثرسازی و مشاهده بیش از یک هدف یا برنامه است؛ همچنین، اغلب فعالان جامعه از ارزش‌ها، برداشت‌ها و منافع مختلف و عموماً متضاد برخوردارند، بدین معنی که نمی‌توان یک راه‌حل منحصر به فرد مطلوب را تعریف کرد، بلکه باید مجموعه‌ای از راه‌حل‌های قابل جایگزینی به نام بهینه پارتو^۱ در نظر گرفته شود. در چنین مواردی، گونه‌ای از تصمیم‌گیری با نسلی از مبادلات بین اهداف مختلف مطرح است. آگاهی از این تبادلات برای رسیدن به راه‌حل‌های بهینه پارتو دارای تنوع امکان‌پذیر است (۲۳، ۳۵). ویژگی دوم از مسئله بهینه‌سازی برگرفته از این واقعیت است که دو تعامل در سطوح تصمیم‌گیری وجود دارد که عمدتاً ساختار سلسله‌مراتبی دارند. هر سطح از فرآیند دارای برنامه و اهداف مستقل است که ممکن است با اهداف سطح دیگر در تضاد باشد؛ در نتیجه، هر سطح از بهینه‌سازی دارای تابع هدف ویژه و مستقل از سطوح دیگر است. اثرات خارجی در یک واحد تصمیم‌گیری می‌تواند در هر دو (تابع هدف و مجموعه تصمیمات

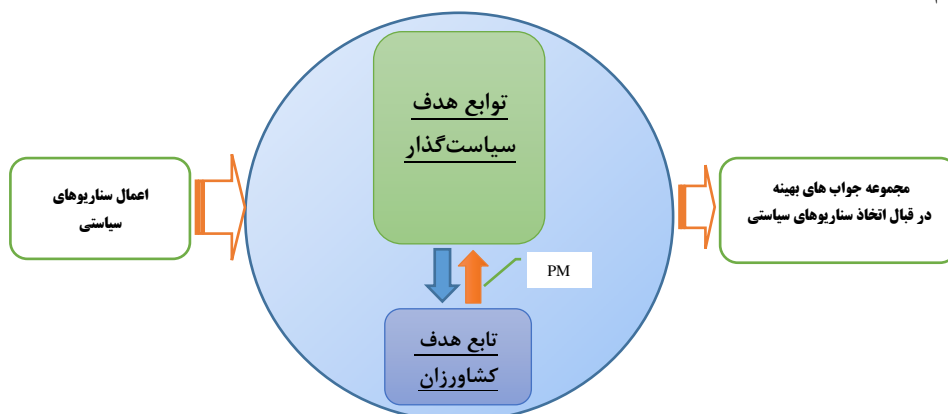
عملی) منعکس شود. این تعامل بین یک پیرو و یک رهبر به طور مؤثر از طریق بهینه‌سازی دوسطحی^۱ (BLO) یا مسئله برنامه‌ریزی دوسطحی^۲ (BLP) انجام می‌شود (۳۲). در برخی از مطالعات (۲۸، ۳۳، ۳۷)، از مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه^۳ برای بهینه‌سازی کشاورزی زیست‌محیطی استفاده شده است، اگرچه در این پژوهش‌ها فرض می‌شود که اهداف سیاسیون و تولیدکننده‌ها به طور هم‌زمان مقید به همان محدودیت‌های از پیش توصیف شده است که در هر دو مورد، مسئله سیاست را به یک سطح کاهش می‌دهد و معمولاً راه‌حل به دست آمده زیر حد مطلوب خواهد بود. در زمینه سیاست کشاورزی، نتایج پژوهش‌های کندلر و نورتون (۶) و کندلر و همکاران (۷) نشان داد که چگونه می‌توان از برنامه‌ریزی دوسطحی در تحلیل‌های پویای قواعد اقتصاد کشاورزی بهره گرفت. اونال و همکاران (۲۷) در مطالعه تخصیص بهینه تسهیلات یارانه‌ای در میان گروه‌های زراعی مختلف در کشور اندونزی و همچنین، بارد (۳) در مطالعه‌ای که برای وزارت کشاورزی فرانسه انجام داد، به منظور بررسی اقتصادی و ترویج تولید سوخت‌های زیستی از محصولات کشاورزی، از برنامه‌ریزی دوسطحی بهره گرفتند.

بیشتر پژوهشگران به روش‌های کلاسیک برای مسئله BLP علاقه‌مند بودند که توسط ویسنته و کلمای (۳۵) و کالسون و همکاران (۹) معرفی شد. همچنین، مطالعات متعددی با توسعه فرآیندهای به‌گزینی برای حل مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی و چندسطحی صورت گرفته است. با مشاهدات پیش رو، در مطالعه حاضر، راه‌حلی برای مسئله سیاست برنامه‌ریزی دوسطحی چندهدفه^۴ پیشنهاد شده که شکل توسعه‌یافته بهینه‌سازی برای مسئله سیاست کشاورزی با در نظر گرفتن بهینه‌سازی مسئله بهره‌برداران است. طرح‌های سیاستی مختلف باید مجموعه‌های مختلف متغیرهای سیاستی را شامل شود، به گونه‌ای که همگام با ارقام مختلف، مجموعه جواب‌های متفاوت را دربرداشته باشد. به دیگر سخن، طرح‌های سیاستی باید از یک

1. Bi-Level Optimisation
2. Bi-level Programming (BLP) problem
3. Multi-Objective Programming (MOP)
4. Multi-Objective Bi-Level Programming (MOBLP)

بهینه‌سازی سیاست‌های زیست‌محیطی بخش.....

تناسب حداقلی برخوردار باشند. الگویی مشابه را می‌توان در سیر تکاملی سیاست‌های کشاورزی پیشین مشاهده کرد که ظاهراً نسبت به مدل‌های قدیمی‌تر، معیارهایی جدید را در خود جای داده است. برای نمونه، دو نمونه از ابزارهای سیاستی محبوب که در مجموعه اتحادیه اروپا اتخاذ شده، عبارت‌اند از نظام پرداخت بر اساس یارانه خروجی محور و قوانین جدید کشاورزی زیست‌محیطی، که هر دو متعلق به انواع پرداخت‌های مستقیم بودند (۱۲). برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه دوسطحی دو مسئله بهینه‌سازی را به‌طور تکرارشونده حل می‌کند: اول، برای سیاست‌گذار با همه متغیرهای تحت کنترل او (x) و زیرمجموعه‌ای از متغیرهای مرتبط با بهینه‌سازی بر اساس مسئله تصمیم‌گیرنده؛ و دوم، بهینه‌سازی مسئله تصمیم‌گیرنده با ثابت در نظر گرفتن همه متغیرها (X). مسئله بنگاه پیرو برای پارامترهای x و y حل شده است و راه‌حل آن هم به مسئله سیاست‌گذار بستگی دارد (۳۴).



شکل ۱. مدل مفهومی بهینه‌سازی چندهدفه
(با در نظر گرفتن ارتباط بین تصمیم‌ساز و تصمیم‌گیرنده)

برای حل مدل یادشده، لازم بود که نسبت به طراحی یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با در نظر گرفتن رفتار متقابل کشاورز و سیاست‌گذار اقدام شود. بر اساس مطالعات هوانگ و همکاران (۱۵)، روش‌های حل مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه را می‌توان با توجه به مرحله بیان

ترجیحات تصمیم‌گیرنده، به سه دسته تقسیم کرد، که عبارت‌اند از: روش‌های پیشین‌نگر^۱، روش‌های تعاملی^۲ و روش‌های نسل‌گرا یا پسین‌نگر^۳. در روش‌های پیشین‌نگر، تصمیم‌گیرنده قبل از شروع فرآیند راه‌حل، با تعیین اهداف و یا وزن‌دهی به اهداف، ترجیحات خود را بیان می‌کند. نقدی که بر این روش‌ها وجود دارد، این است که تصمیم‌گیرنده از قبل باید میزان وزن‌دهی به اهداف را با دقت اندازه‌گیری و اعمال کند، که در عمل، این کار دشوار و غیردقیق است (۱۹). در روش‌های تعاملی، مراحل گفت‌وگو با تصمیم‌گیرنده با مراحل محاسبه صورت می‌گیرد و روند معمولاً پس از چندین تکرار، به بهترین راه‌حل همگرا می‌شود. تصمیم‌گیرنده به تدریج جست‌وجو را با پاسخ‌های خود به سمت بهترین راه‌حل هدایت می‌کند. اشکال کار این است که او تصویر کلی یا تقریبی از مجموعه راه‌حل‌های کارآمد را نمی‌بیند. به دیگر سخن، راه‌حل ارجح، راه‌حلی است که در مقایسه با سایر راه‌حل‌های دیده‌شده تاکنون، بیشترین ارجحیت را دارد. در روش‌های نسل‌گرا یا پسین‌نگر، راه‌حل‌های کارآمد مسئله (همه یا برخی به نمایندگی از همه) تولید می‌شوند و سپس، تصمیم‌گیرنده به منظور انتخاب میان آنها، برای یکی از آنها ارجحیت قائل می‌شود (برای نمونه، فیلتر کردن تعاملی فرآیند که توسط استیور (۳۲) پیشنهاد شد). از انواع متعدد روش‌های نسل‌گرا می‌توان به روش وزن‌دهی و روش محدودیت-اپسیلون^۴ اشاره کرد. در روش محدودیت-اپسیلون، یکی از توابع هدف با استفاده از تابع هدف دیگر به عنوان محدودیت بهینه‌سازی می‌شود و در بخش محدودیت مدل به کار می‌رود، به شرح زیر:

1. priori methods
2. interactive methods
3. generation or a posteriori methods
4. ϵ -constraint

$$\begin{aligned} \max f_1(x) & \quad (1) \\ f_2(x) & \geq e_2 \\ f_3(x) & \geq e_3 \\ & \dots \\ f_p(x) & \geq e_p \\ x & \in S \end{aligned}$$

با تغییر پارامتری توابع هدف مقید، راه‌حل کارآمد برای مسئله به دست خواهد آمد.

روش محدودیت-اپسیلون دارای مزایای متعددی نسبت به روش وزن‌دهی است (۱۷):

برای مسائل خطی، روش وزن‌دهی تنها در ناحیه امکان‌پذیر اولیه اعمال می‌شود و به یک راه‌حل گوشه‌ای (مفرط^۱) می‌انجامد؛ بنابراین، تولید تنها راه‌حل‌های کارآمد مفرط (حداکثر) ممکن می‌شود، در حالی که روش محدودیت-اپسیلون با تغییر ناحیه امکان‌پذیر اولیه، قادر به تولید راه‌حل‌های کارآمد^۲ است. به دیگر سخن، با استفاده از روش وزن‌دهی، از بسیاری از فرآیندهای حل مسئله صرف‌نظر می‌شود، در حالی که ترکیبی از وزن‌ها می‌تواند وجود داشته باشد که منجر به یک نتیجه راه‌حل مؤثر کارآمد شود. از سوی دیگر، با روش محدودیت-اپسیلون، می‌توان تقریباً از هر اجرا^۳ برای تولید یک راه‌حل کارآمد متفاوت بهره‌برداری کرد؛ بدین ترتیب، یک خروجی غنی‌تر از مجموعه کارآمد به دست می‌آید.

روش وزن‌دهی نمی‌تواند راه‌حل‌های کارآمد پشتیبانی‌نشده در چندهدفه عدد صحیح و ترکیب مسائل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح چندگانه را تولید کند، در حالی که روش محدودیت-اپسیلون این نارسایی را ندارد (۱۹، ۳۱).

در روش وزن‌دهی، مقیاس‌سازی توابع هدف تأثیر زیادی در نتایج به دست آمده دارد و از این رو، باید تابع هدف را به مقیاس معمولی تقسیم کند.

1. extreme
2. non-extreme
3. run

در روش محدودیت- اپسیلون، می‌توان تعداد راه‌حل‌های کارآمد تولیدشده توسط تعدیل تعداد نقاط شبکه در هر محدوده تابع هدف را کنترل کرد. این راهکار با روش وزن‌دهی بسیار دشوار است (چنان‌که در بند ۱ گفته شد).

بنابراین، در پژوهش حاضر، با توجه به مزیت‌های اساسی مدل‌های بهینه‌سازی کلاسیک، به بسط و توسعه یک مدل بهینه‌سازی با عنوان «روش محدودیت- اپسیلون تقویت‌شده» پرداخته شد؛ همچنین، برای لحاظ کردن رفتار کشاورزان در بخش مربوط به تصمیم‌گیرنده، یک برنامه‌ریزی ریاضی استاندارد در نظر گرفته شد. ساختار و نوع تابع هدف این برنامه‌ریزی، بر اساس روش کالیبراسیون، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت^۱ است. این برنامه‌ریزی (PMP)، برای اولین بار، توسط هاویت (۱۴) توسعه پیدا کرد. مدل‌های کالیبراسیون کشاورزی با محوریت PMP با استفاده از داده‌های سال پایه و بازخورد، پارامتری می‌شوند. برنامه‌ریزی ریاضی مثبت یک روش تحلیل تجربی است که از تمام اطلاعات موجود، فارغ از میزان کمیابی آنها 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 نیز تحلیل اقتصادی زیست‌محیطی مفید است (۲).

طراحی اهداف و ابزارهای سیاستی زیست‌محیطی

نخستین گام پیش از کاربرد عملی مدل بهینه‌سازی سیاست کشاورزی^۲ در بخش زراعت کشاورزی ایران بسط و توسعه سناریوهای سیاستی مرتبط است. در طراحی یک سناریوی سیاستی مرتبط و واقع‌بینانه، لازم است که به چشم‌انداز سیاسی، اجتماعی و اقتصادی حاکم بر نظام کنونی کشاورزی ایران توجه شود. هر سناریوی سیاستی شامل دو بخش اساسی است: یکی، اهداف و دیگری، ابزارهای سیاستی برای دستیابی به اهداف (۱۳). شایان یادآوری است

1. Positive Mathematical Programming (PMP)
2. Agricultural Policy Optimisation (APOLO)

بهبودسازی سیاست‌های زیست‌محیطی بخش.....

که انتخاب‌های مختلف از این دو بخش و ترکیبات متنوع می‌تواند تعدادی قابل توجه از سناریوهای قابل جایگزینی را فراهم سازد. در این بخش از مقاله، تنها به تعدادی از سناریوهای سیاستی متناسب با اهداف زیست‌محیطی پژوهش و قابل استفاده در مدل بهبودسازی کشاورزی پرداخته شده است. خلاصه‌ای از اهداف و ابزارهای متناسب با آن در جداول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱. اهداف سیاستی

کد	نماد مورد استفاده در تابع هدف / نوع بهبودسازی	شاخص‌ها	اهداف
SO	WaterPr/max	بهره‌وری آب	اقتصادی-اجتماعی
BO1	MNU / min	میانگین کود ازته مورد استفاده (تن در هکتار)	زیست‌محیطی
BO2	MEc / min	میانگین سالانه فرسایش خاک (تن در هکتار)	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۲. ابزارهای سیاستی

محدوده مقادیر	حرف اختصاری	توصیف ابزار و واحد اندازه‌گیری	نوع ابزار سیاستی
افزایش قیمت نهاده	TI	درصد به ازای قیمت هر کیلوگرم کودهای حاوی ازت (N)	مالیات بر کود شیمیایی
(۲۰۰ درصد)	TW	درصد افزایش به ازای هر متر مکعب حداکثر میزان مجاز استفاده از کودهای ازته به ازای هر هکتار حداکثر میزان مجاز استفاده از سموم شیمیایی به ازای هر هکتار	افزایش قیمت آب مقررات محدودکننده

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بهره‌وری استفاده از آب

$$Water\ Pr = \sum_{j=1}^j gm_j X_j / \sum_{j=1}^j Wa_j X_j \quad (2)$$

در رابطه (۲)، Wa_j ضریب بیان‌کننده میزان آب (متر مکعب) استفاده‌شده به ازای هر واحد فعالیت Z در هر هکتار^۱، X_j سطح فعالیت Z و gm_j سود ناخالص است. رابطه (۱) سود ناخالص تولیدی به ازای استفاده از هر واحد آب در قبال اتخاذ سیاست‌های منطقه‌ای یا بالاتر را نشان می‌دهد.

آلودگی ناشی از کود شیمیایی

ماهیت اثرگذاری کودهای شیمیایی غیرآلی در کشاورزی بستگی به شیوه کوددهی به خاک و نیز آزادسازی آمونیاک و شسته شدن آن دارد. همچنین، این عوامل خود به‌نوعی با کاربری زمین، پوشش و ساختار خاک، توپوگرافی منطقه و آب‌وهوای آن و حضور گونه‌های مختلف در ارتباط است (۱۰). کاهش حجم کل ورودی ازت غیرآلی همیشه راه‌حلی کارآ و اثربخش برای تأمین امنیت و کاهش خطر برای سلامتی و محیط زیست نیست (با توجه به همبستگی ناقص میان حجم و ظرفیت محیط زیست). با این همه، حجم نهاده جایگزین هزینه جابه‌جایی پایین برای ظرفیت و گنجایش محیط زیست است که حداقل در طراحی سیاست‌ها می‌تواند بسیار مفید باشد (۱۴). فرض کنید که ضریب N_j بیانگر مقدار کود ازت مورد نیاز به ازای هر واحد فعالیت زراعی است؛ می‌توان میانگین کل کود مصرفی در تولید محصولات کشاورزی را از طریق رابطه زیر به‌دست آورد:

$$MNU = \sum_{j=1}^i n_j X_j / \sum_{j=1}^j X_j \quad (3)$$

در رابطه (۳)، MNU میانگین کود ازته مورد استفاده برای کشت هر محصول به ازای هر هکتار و N_j میزان کود مورد نیاز هر محصول به ازای هر هکتار است.^۲

۱. اطلاعات مربوط به نهاده مصرفی آب مورد نیاز به ازای هر هکتار فعالیت‌های زراعی (موجود در مدل) از بانک اطلاعات و آمار وزارت کشاورزی به‌دست آمده است.

۲. اطلاعات مربوط به میزان کاربرد کود نیترات به ازای هر هکتار فعالیت‌های زراعی (موجود در مدل) از بانک اطلاعات و آمار وزارت جهاد کشاورزی به‌دست آمده است.

فرسایش خاک

گروه‌های کاری سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) (۲۶) بر این باور بودند که مهم‌ترین اثرات ناشی از فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت خاک مربوط به فرسایش خاک، از دست رفتن مواد معدنی و از دست رفتن تنوع زیستی خاک است. در مطالعه حاضر، از این سه شاخص، تنها شاخص کیفیت خاک در نظر گرفته شده است. از بین رفتن مواد آلی خاک را نمی‌توان از طریق برداشت نمونه‌ای و همچنین، روش‌های مدیریتی پیش‌بینی کرد؛ بنابراین، سازمان OECD (۲۶) بر اندازه‌گیری‌های ex-post برای ردیابی تغییرات تأکید دارند و شاخص مربوط را برای مدل ex-ante نامناسب می‌دانند. از سوی دیگر، یک مدل تجربی پیش‌بینی فرسایش خاک (معادله جهانی فرسایش خاک^۱) توسط ویشمیر و اسمیت (۳۶) ارائه شد. شکل اصلی این رابطه به صورت زیر است:

$$E = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، E میانگین سالانه فرسایش خاک (تن در هکتار)، R عامل فرسایش باران، K عامل فرسایش‌پذیری خاک (تن در هکتار)، L میزان شیب طولی، S میزان شیب عرضی، C مدیریت زراعت، و P عامل کنترل‌کننده فرسایش است.

عامل مدیریت زراعت نشان‌دهنده نسبت خسارت ناشی از یک محصول به نهاده خاک است. با توجه به اینکه از بین رفتن خاک با فرسایش و مورفولوژی پوشش گیاهی متفاوت است، از لحاظ نظری، لازم است که تغییرات در این عوامل اثرگذار در طول سال‌ها در نظر گرفته شود. با این همه، مقادیر C برای کشور ایالات متحده به‌طور دقیق استخراج و در پژوهش وروریدیس (۳۴) ارائه شده است و می‌توان از آن استفاده کرد؛ اما بر اساس مطالعات مورگان (۲۰)، بهتر است مقادیر متوسط سالانه هر منطقه کشاورزی محاسبه شود و مورد استناد قرار گیرد. میزان فرسایش خاک از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

1. Universal Soil Loss Equation (USLE)

$$TE = \sum_j E_j X_j \quad (5)$$

با این حال، در پژوهش حاضر، مدل فضایی نبوده و از این رو، قابل شناسایی نیست که به ازای هر محصول چه میزان تخصیص یافته و تنها در کل منطقه قابل محاسبه است. در نتیجه، اطلاعات مرتبط در شرایط خاص یک مکان نمی تواند در اینجا استفاده شود و به دیگر سخن، E_j محاسبه نمی شود. با این همه، یک رویکرد ساده تر در جاهایی که تنها عوامل مدیریتی C_j مورد نیاز است، می تواند برای نشان دادن حساسیت به فرسایش خاک به کار برده شود. در مدل PMP، به دلیل اینکه زمین ها طبقه بندی نمی شوند، فعالیت های کشاورزی ممکن است بر سر استفاده از زمین حالت رقابتی داشته باشند. بدین ترتیب، اگر یک عامل کنترل فرسایش (P) را در مورد هر فعالیت زراعی و برای هر دو فعالیت مختلف دارای رقابت بر سر استفاده از یک زمین به کار رود، میانگین فرسایش خاک متفاوت به ازای هر عامل مدیریتی محصول به دست می آید که به عبارتی، نماینده پوشش گیاهی مختلف است؛ بنابراین، حاصل ضرب $P_j.S_j.L_j.k_j.R_j$ در رابطه (۴) می تواند با ضریب ثابت $Z_j=Z$ هم معنی باشد. با جایگزینی آن در رابطه، حال رابطه (۵) به صورت زیر نشان داده می شود:

$$TE = \sum_j z_j E_j X_j = \sum_j z C_j X_j = z \sum_j C_j X_j \quad (6)$$

با بازنویسی رابطه (۶)، خواهیم داشت:

$$\sum_j C_j X_j = \frac{TE}{z_j} = TE_c \quad (7)$$

TEC را می توان به عنوان مجموع کل سالانه فرسایش خاک ناشی از مدیریت کشت

تعریف کرد:

$$ME_c = \sum_{j=1}^j C_j X_j / \sum_{j=1}^j X_j \quad (8)$$

بهینه‌سازی سیاست‌های زیست‌محیطی بخش.....

این رابطه به‌عنوان شاخصی از سنجش کیفیت خاک در مدل PMP مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مدل ساختاری بهینه‌سازی سیاست‌های کشاورزی (APOLO)

پس از مشخص کردن توابع هدف، مدل بهینه‌سازی سیاست‌های بخش زراعت کشاورزی (APOLO) به‌دست آمده را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

بردار مقادیر محدودیت‌ها $b=(B_1, B_2, \dots, B_j)$

بردار مقادیر فعالیت‌ها $x=(X_1, X_2, \dots, X_j)$

$$\text{Max Water Pr} = \sum_{j=1}^j gm_j X_j / \sum_{j=1}^j Wa_j X_j \quad (9)$$

$$\text{Min MNU} = \sum_{j=1}^j n_j X_j / \sum_{j=1}^j X_j \quad (10)$$

$$\text{Min } ME_c = \sum_{j=1}^j C_j X_j / \sum_{j=1}^j X_j \quad (11)$$

(12)

Max

$$TGM = \sum_{j=1}^j \left((CHer_j + Cwq_j + Fer_j + Land_j + ACQ_j)(1 + T_j) + S_j \right) X_j - \sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^j \frac{1}{2} q_{ji} X_j X_i$$

$$\text{Subject to: } \sum_{j=1}^j a_{kj} X_j \leq B_k, k=1, \dots, k \quad (13)$$

$$X_j \geq 0, j=1, \dots, j$$

که در این روابط، Fer_j هزینه متوسط کود شیمیایی به ازای هر هکتار، $Land_j$ هزینه متوسط زمین به ازای هر هکتار، Cwq_j هزینه متوسط آب به ازای هر هکتار، $CHer_j$ هزینه متوسط سموم به ازای هر هکتار، ME_c متوسط فرسایش خاک به ازای هر هکتار، ACO_j : متوسط سایر هزینه‌ها (کاشت، داشت، برداشت)، X_j محصولات مختلف، C_j ضریب فرسایش خاک

برای هر محصول، α_{ij} محدودیت‌های فنی در مدل است؛ مهم‌ترین محدودیت‌های فنی و نظارتی که می‌توانند در واقعی‌تر شدن مدل مؤثر باشند، عبارت‌اند از:

- میزان سموم مورد استفاده در روند تولید فعالیت‌های زراعی زیر پوشش مدل (شامل قارچ‌کش و سموم دفع آفات)،
- میزان کود مورد استفاده (شامل کود نیترات، کود حیوانی، کود فسفات، کود پتاس، ریزمغزی‌ها)،
- میزان آب مورد نیاز برای کشت به ازای هر هکتار (شامل منابع مختلف تأمین آب)،
- نیروی کار مورد نیاز به ازای هر هکتار،
- بذر مورد نیاز به ازای هر هکتار،
- میزان به‌کارگیری ماشین‌آلات در روند تولیدی فعالیت‌های زراعی (کاشت، داشت، برداشت).

این روابط شکل استاندارد ویژگی‌های یک مدل بهینه‌سازی سیاست‌های بخش زراعت کشاورزی (APOLO) است. با این همه، سناریوهای مختلف سیاستی مشتمل بر تعداد مختلفی از ترکیب‌هایی از اهداف و انواع مختلف ابزارهای سیاستی است که نیازمند مدل با ویژگی‌های خاص است. بنابراین، زمانی که مدل تحت سناریوهای سیاستی مختلف اجرا می‌شود، تنها توابع هدف و متغیرهای مرتبط را شامل می‌شود. در ادامه، ضمن بیان روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک با سازوکار مناسب، از روش بهینه‌سازی چندهدفه محدودیت-اپسیلون برای حل مسئله در دو سطح کشاورز و سیاست‌گذار استفاده می‌شود.

نتایج و بحث

در مطالعه حاضر، دشت خمین در قالب جامعه آماری انتخاب شد. این دشت با مساحت ۲۲۶۷ کیلومتر مربع در استان مرکزی واقع شده و میزان بارندگی در آن به‌طور متوسط حدود ۲۴۰ میلی‌متر در سال است. تعداد کل بهره‌برداران کشاورزی این منطقه بیش از ۱۳۱۰۸ نفر

بهینه‌سازی سیاست‌های زیست‌محیطی بخش.....

است که از آن میان، ۷۴۵۲ نفر به کشت محصولات زراعی و بقیه به کشت محصولات باغی و پرورش دام و طیور می‌پردازند. با توجه به شرایط آب‌وهوایی خاص این منطقه، عمده محصولات زراعی آن عبارت‌اند از گندم، جو، لوبیا، پیاز، سیب‌زمینی، یونجه و ذرت. در جدول ۱، خلاصه‌ای از میانگین سطح زیر کشت و تولید محصولات عمده در منطقه مورد بررسی ارائه شده است.

جدول ۳. وضعیت فعالیت‌های زراعی تحت پوشش مدل

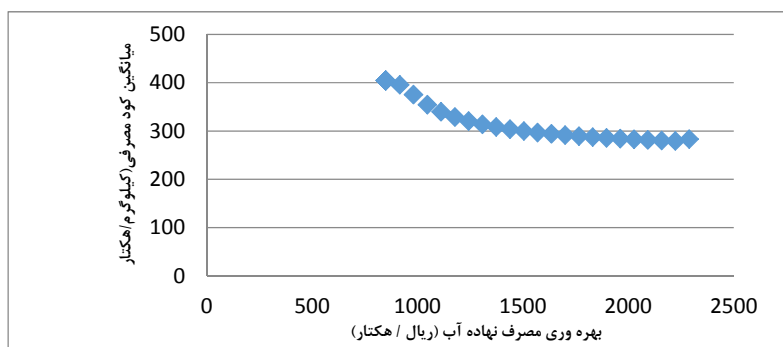
محصول	سطح زیر کشت	عملکرد (کیلوگرم)
گندم آبی	۴/۰۳	۲۶۵۵/۲
گندم دیم	۹/۳۱	۹۶۲/۴
جو	۲/۸	۲۱۲۱/۹
لوبیا	۲/۹	۲۴۰۸/۸
سیب زمینی	۳/۸۶	۴۰۰۰۰
پیاز	۰/۴	۵۰۰۰۰
یونجه	۱/۴	۵۳۵۱/۹
ذرت آبی	۲/۵	۴۰۰۰۰

انحراف معیار: ۲/۴۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بهینه‌سازی دوهدفه با در نظر گرفتن اهداف تصمیم‌ساز و رفتار تصمیم‌گیرنده (کشاورز)
 بهینه‌سازی هم‌زمان دو هدف می‌تواند منجر به مجموعه‌ای از راه‌حل‌های غیرغالب یا بهینه پارتو شود. موقعیت، شکل و جهت‌گیری مجموعه‌های بهینه پارتو که توسط این مدل یافت می‌شود، به نوع بهینه‌سازی دو هدفه بستگی دارد. هنگامی که هر دو هدف به حداقل یا به حداکثر می‌رسند، مجموعه پارتو مطلوب به ترتیب از «Min» به «Min» و از «Max» به «Max» گسترش می‌یابد. اما هنگامی که بهینه‌سازی دو هدف از نوع مینیمکس است، مجموعه بهینه پارتو از راه‌حل‌های «min» تا «max» گسترش می‌یابد.

پس از تشکیل توابع هدف و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده با در نظر گرفتن دو تابع هدف حداکثرسازی بهره‌وری مصرف نهاده آب و حداقل‌سازی مصرف کود، خروجی به‌دست‌آمده از پنجاه راه‌حل غیرغالب ناشی از بهینه پارتو در قالب نمودار نقطه پراکنش نشان داده شده است (شکل ۲). با اتخاذ سیاست افزایش قیمت نهاده آب، در سطوح پایین مصرف نهاده کود، بیشترین بهره‌وری آب حاصل می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از ترکیب الگوی کشت برای هر راه‌حل غیرمغلوب بهینه پارتو، مشاهده می‌شود که محصولات لوبیا، سیب‌زمینی، پیاز و ذرت در اکثر راه‌حل‌های سیاستی وجود دارد. نکته قابل تأمل، افزایش بهره‌وری مصرف آب به میزان ۱۶۹ درصد (از ۸۴۸ به ۲۲۸۸ ریال به ازای هر هکتار) و کاهش سی درصدی میانگین کود مصرفی (از ۴۰۴ به ۲۸۳ کیلوگرم به ازای هر هکتار) با تغییر الگوی کشت از کشت هم‌زمان محصولات پیاز و ذرت به کشت محصولات پیاز و لوبیا و در نهایت، کشت منفرد محصول لوبیا بوده است. نتایج حاکی از بهره‌وری بالاتر کشت محصول لوبیا در مصرف نهاده آب نسبت به سایر محصولات زراعی است.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۲. نمودار پراکنش نتایج بهینه‌سازی دو هدفه اهداف بهره‌وری نهاده آب و میانگین کود مصرفی

یکی دیگر از اهداف زیست‌محیطی پژوهش حاضر تحلیل ابزار سیاستی برقراری مالیات بر کود شیمیایی با هدف کاهش میزان مصرف آن بود. بدین منظور، مدل بهینه‌سازی سیاست کشاورزی با در نظر گرفتن دو تابع هدف اصلی حداقل‌سازی میزان کود مصرفی و فرسایش خاک به ازای هر هکتار، با بهره‌گیری از اطلاعات گردآوری شده تحلیل و ارزیابی شد. بهینه‌سازی هم‌زمان دو تابع هدف حداقل‌سازی میزان کود مصرفی و همچنین، متوسط فرسایش خاک به ازای هر هکتار با در نظر گرفتن ابزار سیاستی برقراری مالیات بر نهاده کود نشان داد که تمام پنجاه راه‌حل غیرغالب پارتو در محدوده الگوی کشت هم‌زمان محصولات پیاز و ذرت، میانگین مصرف کود به میزان ۴۰۴ کیلوگرم به ازای هر هکتار را نتیجه می‌دهد؛ همچنین، این ترکیب کشت به‌طور متوسط به ازای هر هکتار ۰/۳۳ تن فرسایش خاک را به همراه دارد.

بهینه‌سازی سه‌هدفه با در نظر گرفتن اهداف تصمیم‌ساز و رفتار تصمیم‌گیرنده (کشاورز)
در بخش پیشین، توانایی مدل بهینه‌سازی چندهدفه دوسطحی بخش زراعت در تولید مجموعه‌ای از راه‌حل‌های غالب برای مجموعه‌ای از بازنمایی‌های مسئله دوسطحی بهینه‌سازی سیاست‌های دوهدفه برای نظام‌های بخش زراعت ارزیابی شد. بر اساس نتایج مطالعات وروریدیس (۳۴)، فالکونر و هاج (۱۳) و کیم و کیم (۱۷)، مسئله یافتن جبهه بهینه پارتو صحیح بستگی به تعداد اهداف بهینه‌سازی شده دارد. با افزایش تعداد اهداف، ابعاد فضای هدف نیز افزایش می‌یابد. جبهه بهینه پارتو با در نظر گرفتن مقاصد M حداکثر می‌تواند یک سطح M بعدی باشد. هنگامی که تعداد زیاد از اهداف و در نتیجه، فضای جست‌وجو در ابعاد بزرگ، با مسئله مشقت بعدچندی^۱ حجم فضا آن‌قدر سریع افزایش می‌یابد که داده‌های موجود پراکنده و تُنک می‌شوند. این تنگی در هر روشی که مستلزم معنی‌داری آماری است، مشکل‌ساز می‌شود. با افزایش ابعاد، لازم است داده‌های موردنیاز برای پشتیبانی از نتیجه هم

اغلب به‌طور نمایی افزایش یابند تا نتیجه به‌دست‌آمده از نظر آماری معقول و معتبر باشد. همچنین، سامان‌دهی و جست‌وجوی داده اغلب متکی بر شناسایی ناحیه‌هایی است که در آن، نقاط اشیاء گروه‌هایی با خواص مشابه تشکیل داده باشند؛ اما در داده‌های کثیرالابعاد همه اشیاء از بسیاری جهات تُنک و نامشابه به‌نظر می‌رسند، که البته از کارآیی راهبردهای معمول و متعارف سامان‌دهی داده‌ها می‌کاهد. اصطلاح مشقت بعدچندی را بلمن (۵) هنگام بررسی برنامه‌ریزی پویا وضع و مطرح کرد. تمام راه‌حل‌ها در چنین سطحی به یکدیگر غالب نیستند؛ بنابراین، فضای جست‌وجوی عملی در بالای این سطح قرار دارد. وظیفه بهینه‌سازی چندهدفه پارتو این است که از داخل فضای جست‌وجو بدین سطح رسانده شود و راه‌حل‌ها به‌صورت یکنواخت در بالای این سطح توزیع شود. متأسفانه در برنامه‌های دنیای واقعی، مجموعه‌ای مستقل از سه‌بعدی واقعی پارتو ممکن است یک سطح منظم و پیوسته را نشان ندهد و در نتیجه، راه‌حل‌های بهینه غالب به‌صورت تصادفی توزیع می‌شود؛ بنابراین، ممکن است راه‌حل‌های بهینه به‌صورت هم‌زمان و جفتی برای هر دو هدف در یک جبهه پارتو قابل تشخیص نباشند.

از این‌رو، در این قسمت از پژوهش، برای دستیابی به پاسخ سؤالات تحقیق، خروجی مدل بهینه‌سازی سیاست‌ها با در نظر گرفتن سه هدف اصلی زیست‌محیطی (یعنی، حداکثرسازی بهره‌وری مصرف‌کننده آب، حداقل‌سازی میزان مصرف و آلاینده‌گی کود شیمیایی، و حداقل‌سازی فرسایش خاک) بر اساس دو سناریوی سیاستی افزایش قیمت نهاد آب (TW) و برقراری مالیات بر کود شیمیایی (TI) ارائه شده است.

جدول ۴. سناریوهای سیاستی چندهدفه

نوع ابزار سیاستی اجرا شده در سناریو		
اهداف موجود در سناریو	سناریوی اول افزایش قیمت نهاد آب	سناریوی دوم مالیات بر مصرف کود شیمیایی
بهره‌وری نهاد آب مصرفی	SO, BO1 BO2_TW	SO, BO1 BO2_TI
میانگین مصرف کود شیمیایی		
متوسط فرسایش خاک		

مأخذ: یافته‌های پژوهش

شایان یادآوری است که برای تضمین بررسی هر سه هدف در فضای سه‌بعدی، مقدار m (منقطع کردن مجموع جواب‌های بهینه) صد در نظر گرفته شد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده می‌شود که با اتخاذ ابزار سیاستی افزایش قیمت نهاده آب، ۶۸ راه‌حل غیرغالب بهینه پارتو حاصل می‌شود. همچنین، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از ترکیب الگوی کشت برای هر راه‌حل غیرمغلوب بهینه پارتو، مشاهده می‌شود که محصولات لوبیا، پیاز و ذرت در اکثر راه‌حل‌های سیاستی وجود دارد. نکته قابل تأمل، افزایش بهره‌وری مصرف آب به میزان ۱۶۲ درصد و کاهش ۲۹ درصدی میانگین کود مصرفی و همچنین، کاهش ۳۳ درصدی فرسایش خاک با تغییر الگوی کشت از کشت هم‌زمان محصولات پیاز و ذرت به کشت محصولات پیاز و لوبیا و سطح پایین زیر کشت محصول لوبیا بوده است. با توجه به کشت عمده محصول لوبیا در الگوی کشت راه‌حل بهینه، نتایج حاکی از بهره‌وری بالاتر کشت محصول لوبیا نسبت سایر محصولات با در نظر گرفتن هر سه هدف اصلی است. همچنین، مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از اتخاذ ابزار سیاستی برقراری مالیات بر مصرف کود شیمیایی نشان می‌دهد که در مجموع ۶۸ راه‌حل بهینه پارتو به‌دست‌آمده، اتخاذ این سیاست در دستیابی به اهداف از پیش تعیین‌شده کارآمدی کمتری دارد، چراکه بهره‌وری به‌دست‌آمده برای آن نسبت به نهاده آب در حدود پانزده درصد کمتر است و میزان کود مصرفی نیز تغییری محسوس نسبت به اتخاذ سیاست افزایش قیمت آب ندارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روش‌های تجزیه و تحلیل سنتی سیاست‌ها عموماً ابزاری مناسب برای حل مسائلی با ماهیت سلسله‌مراتبی و دووجهی ارائه نمی‌کنند. بحث اساسی و اصلی پژوهش حاضر بهره‌گیری از روش‌های متنوع بهینه‌سازی و توسعه آن در حل مسائل دنیای واقعی بود. رویکرد ترکیبی به مسائل دوسطحی با پیشرفت قابل توجه در حل مسائل همراه است و فرآیند سیاست را به گام منطقی بعدی یعنی، چالش تلاش برای یافتن بهترین یا نزدیک‌ترین راهکارهای ممکن سوق

می‌دهد. افزون بر این، تسهیل در دستیابی به راه‌حل برای چندین تابع هدف گاه متضاد و همچنین، ارزیابی ابزارهای سیاستی متعدد در راستای دستیابی به ابزار مناسب از جمله ویژگی‌های این رویکرد حل مسئله است. مدل بهینه‌سازی چندهدفه دوسطحی بخشی از اولین مدل در زمینه تجزیه و تحلیل سیاست‌های کشاورزی است که قادر به یافتن هم‌زمان راه‌حل‌های مطلوب پارتو یا نزدیک به بهینه پارتو برای مسائل سیاستی چندهدفه، تعیین الگوی مدیریتی تولید و همچنین، تعیین ارزش عینی هر کدام از متغیرهای سیاستی برای دستیابی بدین اهداف است. نتایج پژوهش مؤید آن است که استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه دوسطحی به خوبی می‌تواند در برنامه‌های تولید کشاورزان با اهداف گاه متضاد مورد استفاده قرار گیرد. همان‌گونه که نتایج پژوهش‌های گلدبرگ (۱۲)، زاندر و کاجله (۳۷)، کندلر و همکاران (۷)، بارد (۳)، اودگان و ری (۲۵)، پاسینی و همکاران (۲۸)، کالسون و همکاران (۹)، و کوندری و همکاران (۱۸) نشان داد، برنامه‌ریزی دوسطحی (BLP) و همچنین، برنامه‌ریزی چندهدفه در قالب رهیافت‌های پارتو در یافتن مجموعه جواب‌های بهینه در تحلیل‌های پویای قواعد اقتصاد کشاورزی به خوبی می‌توانند اهداف متضاد و ناهم‌راستا را در یک مجموعه یکپارچه بهینه‌یابی کنند. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که پرداخت‌های مشروط به خوبی می‌تواند رفتار تولیدی کشاورزان را با اهداف زیست‌محیطی همراه کند. در پایان، با توجه به ارزیابی ابزارهای سیاستی و همچنین، نتایج مدل‌سازی انجام‌شده می‌توان پیشنهادهای کاربردی زیر را برای همه طرف‌های ذی‌نفع پژوهش ارائه کرد:

- از آنجا که مدل بهینه‌سازی ساخته‌شده در پژوهش حاضر نتایجی مطلوب را برای ارزیابی ابزارهای سیاستی به دست داد، پیشنهاد می‌شود که از این مدل بهینه‌سازی در سایر حوزه‌های هدف بخش کشاورزی از جمله تعیین قیمت نهاده‌های مهم مثل آب بهره گرفته شود.
- با توجه به نتایج به دست آمده از مدل بهینه‌سازی با اتخاذ ابزار سیاستی افزایش قیمت نهاده آب، پیشنهاد می‌شود که به ترتیب، محصولات زراعی پياز و لوبیا با هدف

افزایش بهره‌وری مصرف نهاده آب و کاهش مصرف کودشیمیایی در الگوی کشت بهره‌برداران قرار گیرد.

- با توجه به ارزیابی نتایج به دست آمده از ابزارهای مختلف سیاستی در راستای تحقق اهداف زیست‌محیطی، پیشنهاد می‌شود که ابزار سیاستی افزایش قیمت نهاده آب در سرلوحه تصمیم‌گیری‌های سیاست‌گذاران قرار گیرد.

- با توجه به نتایج به دست آمده از مدل بهینه‌سازی سیاست‌های زیست‌محیطی که با ارزیابی قابل قبول از این اهداف به‌طور هم‌زمان همراه بود و به مجموعه راه‌حل‌های امکان‌پذیر و در دسترس از متغیرهای تصمیم‌انجامید و همچنین، محوریت حفظ منابع طبیعی و محیط زیست در برنامه‌های پنجم و ششم توسعه، به دست‌اندرکاران سیاست‌گذاری کلان کشور پیشنهاد می‌شود که اتخاذ ابزارهای سیاستی زیست‌محیطی را در اولویت بخش کشاورزی قرار دهند.

منابع

1. Abedi-Sarvestani, A. and Shahvali, M. (2012). Environmental ethics: toward an Islamic perspective. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 3(4): 609-617.
2. Arfini, F., Donati, M., Zuppiroli, M. and Paris, Q. (2011). Exposit evaluation of set-aside using Symmetric Positive Equilibrium Problem. *EAAE Proc.*, 89th Symposium of the European Association of Agricultural Economists, Parma, Italy.
3. Bard, J.F. (1996). Solution algorithms for the government-agriculture bilevel programming model. Progress Report, Prepared for Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Thivernal-Grignon, France by Department of Mechanical Engineering, University of Texas, Austin.
4. Bellman, R. (2013). Dynamic programming. Courier Corporation.
5. Candler, W. and Norton, R. (1977). Multi-level programming and development policy. Washington DC: World Bank.
6. Candler, W., Fortunyamat, J. and Mccarl, B. (1981). The potential role of multilevel programming in agricultural economics. *American Journal*

- of Agricultural Economics, 3(63): 521-531.
7. Colson, B., Marcotte, P. and Savard, G. (2019). A trust-region method for nonlinear bilevel programming: algorithm and computational experience. *Computational Optimization and Applications*, 3(30): 211-227.
 8. Di, H.J. and Cameron, K.C. (2009). Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 64(3): 237-256.
 9. European Commission (2012). Rural development in the EU. Statistical and Economic Information Report 2012. European Commission: Directorate-General for Agriculture and Rural Development.
 10. Falconer, K. and Hodge, I. (2014). Using economic incentives for pesticide usage reductions: responsiveness to input taxation and agricultural systems. *Agricultural Systems*, 3(63): 175-194.
 11. Giampietro, M. (2014). Multi-scale integrated analysis of agroecosystems. Boca Raton, Florida: CRC Press.
 12. Goldberg, D. E., Deb, K., & Korb, B. (1999). Don't worry, be messy. R. K. Belew & L. B. Booker, eds., Morgan Kaufmann Publishers, University of California, San Diego, pp. 24-30.
 13. Harvey, D.R. (2003). Agri-environmental relationships and multi-functionality: further considerations. *The World Economy*, 26: 705-725.
 14. Howitt, R.E. (1995). Positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 2(77): 329-342.
 15. Hwang, C.L., Masud, A.S.N., Paidy, S.R. and Yoon, K. (1979). Multiple objective decision making - methods and applications: a state-of-the-art survey. Berlin: Springer-Verlag.
 16. Jaraitė, J. and Kažukauskas, A. (2012). The effect of mandatory agro environmental policy on farm fertiliser and pesticide expenditure. *Agricultural Economics*, 63(3): 656-676.
 17. Kim, C. and Kim, Y. (2016). Economic effects of eco-taxation on chemical fertilizers. *Korean Journal of Agricultural Economics*, 3(42): 25-43.
 18. Koundouri, P., Laukkanen, M., Myyrä, S. and Nauges, C. (2009). The effects of EU agricultural policy changes on farmers' risk attitudes. *European Review of Agricultural Economics*, 36(1): 53-57.
 19. Mavrotas, G. (2007). Generation of efficient solutions in Multiobjective Mathematical Programming problems using GAMS: effective implementation of the ϵ -constraint method. Lecturer, Laboratory of Industrial and Energy Economics, School of Chemical Engineering.

National Technical University of Athens.

20. Morgan, R.P.C. (1995). Soil erosion and conservation. London: Longman Group.
21. Mousavi, S., Farajzadeh, Z. and Taheri, F. (2015). Study of economic and environmental consequences of eliminating chemical and pesticides subsidy using general equilibrium analysis. *Agricultural Economics and Development*, 22(88): 171-205. (Persian)
22. Neshat, A., Ahmadian, M., Khalilian, S. and Vakilpour, M. (2017). Determining the optimal economic use of environmental pollutant chemical inputs in irrigated wheat production of Varamin Plain. *Agricultural Economics and Development*, 24(95): 123-145. (Persian)
23. Norton, R.D. and Schiefer, G.W. (1980). Agricultural sector programming models: a review of alternative approaches. *European Review of Agricultural Economics*, 7(9): 229-264. Also, available at <https://doi.org/10.1093/erae/7.3.229>.
24. O'Callaghan, J.R. (1996). Land use: the interaction of economics, ecology and hydrology. New York City: Springer.
25. Oduguwa, V. and Roy, R. (2010). Bi-level optimisation using genetic algorithm 2002. *IEEE International Conference on Artificial Intelligence Systems, Proceedings* pp. 322-327.
26. OECD (1999). Environmental indicators for agriculture; issues and design. Paris: OECD Publications Service.
27. Onal, H., Darmawan, D.H. and Johnson, S.H. (1995). A multilevel analysis of agricultural credit distribution in East Java, Indonesia. *Computers and Operations Research*, 2(22): 227-236.
28. Pacini, C., Wossink, A., Giesen, G. and Huirne, R. (2004), Ecological-economic modelling to support multi-objective policy making: a farming systems approach implemented for Tuscany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 3(102): 349-364.
29. Paris, Q. (2015). Positive mathematical programming with generalized risk: a revision. UC Davis Department of Agricultural and Resource Economics Working Paper No. 15-002. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2594573> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2594573>.
30. Shahraki, J., Akbari, A. and Jafari, M. (2017). Effects of eliminating the water subsidy on production of ornamental flowers. *Agricultural Economics and Development*, 24(95): 147-165. (Persian)
31. Sheikhzeinoddin, A., Esmaeili, A. and Zibaei, M. (2016). Management of water and fertilizer consumption using bio-economic approach: a case

- study of irrigation and drainage of Doroudzan. *Agricultural Economics and Development*, 24(93): 27-47. (Persian)
32. Steuer, R.E. (1986). *Multiple criteria optimization theory, computation and application*. 2nd Edition, Krieger, Malabar FL.
 33. Tiwari, D.N., Loof, R. and Paudyal, G.N. (1999). Environmental-economic decision-making in lowland irrigated agriculture using multi-criteria analysis techniques. *Agricultural Systems*, (60): 99-112.
 34. Ververidis, K.A. (2016). A multi-objective bi-level optimisation model for agricultural policy in Scotland. PhD Thesis Submitted to University of Edinburgh..
 35. Vicente, L.N. and Calamai, P.H. (1994). Bi-level and multilevel programming: a bibliography review. *Global Optimization*, 3(5): 291-306.
 36. Wischmeier, W.C. and Smith, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Agricultural Handbook 537, U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
 37. Zamanian, G., Jafari, M. and kalaei, A. (2013). Effects of environmental stress and increase in the price of agricultural inputs on crop pattern in Khomein Plain. *Agricultural Economics and Development*, 22(87): 89-110. (Persian)
 38. Zander, P. and Kächele, H. (1999). Modelling multiple objectives of land use for sustainable development. *Agricultural Systems*, 2(55): 311-325.