Archive of SID

اقتصاد کشاورزی/ جلد ٤/ شماره‌ی ٤/ صفحه‌های ۴۸ ۱

بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی:
مطالعه‌ی موردی در منطقه‌ی کامفیروز استان فارس

آشان شوشتریان، منصور زیبایی و غلامرضا سلطانی*

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/٤/٦ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/٥/١٦

چکیده

افزایش رقابت میان زارعان بر سر منابع آب به‌همراه آلودگی شیمیایی به‌علت عملیات زراعی کنونی باعث ناپایداری کشاورزی در منطقه‌ی کامفیروز استان فارس شده است. بایستی اثر راه‌کارهای سیاستی پایدار را به‌گونه‌یی تحلیل کرد که زارعان را از مسیر پایداری در آینده دور نسازد. مدل بیو اقتصادی پیش‌نهاد شده در این مطالعه چارچوب متدولوژی جدیدی برای تحلیل اثر عملیات زراعی آب و خاک متفاوت ارائه می‌کند. در مدل ارائه شده یک مدل بیوفیزیک (WinEPIC)، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی نشان‌دهنده‌ی رفتار اقتصادی زارعان و تئوری بازی‌ها با هم ترکیب شده است تا ارائه‌ی واقعی‌تری از جنبه‌های کشاورزیِ زیست‌محیطی و اقتصادی فراهم آید. مطالعه‌ی حاضر راه‌حل بهینه‌یی برای اهداف متناقض زارعان و محیط زیست به‌عنوان دو مجموعه‌ی بازی‌گر را به‌دست می‌دهد. کاربرد چهار روش برای حل مساله‌ی کشمکش نشان داد که دو گروه بازی‌گر قادر اند به‌منظور ایجاد تعادل میان اهداف متناقض‌شان به توافق برسند. این مطالعه مبین این واقعیت است که با به‌کارگیری سیستم‌های عملیات زراعی مناسب می‌توان سیستم‌های کشاورزی را به‌گونه‌یی در جهت پایداری مدیریت کرد که منابع برای استفاده در آینده حفظ شود. علاوه بر این، نتایج به‌دست آمده از مطالعه‌ی حاضر نشان داد که در شرایطی که به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی وزن یک‌سان داده شود، شاخص‌های آب تلف شده و نیتروژن و فسفر ازدست رفته به‌ترتیب ۲۰، ۸۱ و ۵/۴٪ بهبود می‌یابد، در حالی که بازده برنامه‌یی تنها ۴ درصد کاهش می‌یابد.

طبقه بندی JEL: C61، C71، Q01، Q15، Q53

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی بیو اقتصادی، تئوری بازی‌ها، شاخص‌های پایداری، آلودگی نیترات، آب ازدست‌رفته

* به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز
Email: ashanshooshtarian@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تاکید بر تولید بیش‌تر به‌منظور قطع وابستگی‌ها و تکیه بر خودکفایی در دهه‌های گذشته، افزایش سطح زیر کشت و در نتیجه افزایش فشار بر منابع آب و خاک را به‌دنبال داشته است (صبوحی و همکاران ۱۳۸٦). بالا بودن نرخ بهره و به‌دنبال آن بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی، شرایط مذکور را تشدید کرده است. همه‌ی این مسایل باعث شده است که تولید در شرایطی افزایش یابد که توجه کم‌تری به محیط زیست اعمال شود. افزایش برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی و هم‌چونین افزایش استفاده از مواد شیمیایی شامل کودها و سم‌ها، مثال‌هایی از نادیده انگاشتن محیط زیست در سال‌های اخیر بوده است (لطیف و همکاران، ۱۳۸٤؛ قیصری و همکاران، ۱۳۸٦).

در این میان، آب منبعی است که دست‌رسی نسبتا آزاد به آن، نبود بازار آب و قیمت پایین آن بهره‌برداری بی‌رویه از این منبع را به‌دنبال داشته است، به‌نحوی که در اکثر دشت‌های ایران بیلان منفی و افت سطح ایستابی ایجاد شده است. بررسی‌های صورت گرفته در منطقه‌ی مطالعه نشان داد که اکثر زارعان مورد مطالعه در استفاده از آب در ناحیه‌ی سوم تولید قرار دارند. به‌عبارت دیگر، زارعان آب را بیش از حد نیاز گیاه مورد استفاده قرار می‌دهند. از سوی دیگر، پرسش‌های صورت‌گرفته حین تحقیق مبین این مساله بود که زارعان دانش و آگاهی کافی در رابطه با روش‌های کم‌آبیاری و هم‌چونین اثر استرس کم آبی بر رشد گیاه در مراحل مختلف رشد گیاه ندارند. بدین ترتیب، به‌نظر می‌رسد که تشویق زارعان به استفاده‌ی عاقلانه‌تر از منابع آبی از طریق تخصیص مجدد منابع آبی به‌نحوی که به حفظ منابع آبی و طبیعی کمک نماید، می‌تواند موثر باشد. از سوی دیگر کاربرد مواد شیمیایی شامل آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها و کودهای شیمیایی در فعالیت‌های کشاورزی باعث ایجاد آلودگی‌های محیط زیستی شده است (لطیف و همکاران، ۱۳۸٤؛ قیصری و همکاران، ۱۳۸٦). پرداخت یارانه به کودهای شیمیایی در سیاست‌های حمایت از تولید یکی از مهم‌ترین عوامل استفاده بیش‌ازحد از کودهای شیمیایی و در نتیجه آلودگی‌های ناشی از آن بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

منطقه‌ی کامفیروز با مساحت ۵۸/۵۶ کیلومترمربع در استان فارس یکی از زیرحوضه‌های سد درودزن است که در فاصله‌ی اندکی از جنوب غرب دریاچه‌ی سد درودزن واقع شده است. کاشت برنج الگوی کشت عمده در این منطقه است که گاهی به‌صورت تناوب برنج گندم هم دیده می‌شود. منابع آبی کشاورزان در این منطقه تلفیقی از منابع آبی سطحی (رودخانه) و زیرزمینی است. در سال‌های اخیر سطح زیر کشت گندم در منطقه افزایش یافته است، که نشان از تلاش کشاورزان در غلبه بر مشکلات کم آبی است که باعث می‌گردد سطح زیر کشت کم‌تری به برنج اختصاص یابد. اما واقعیت آن است که کشاورزان منطقه بدون کوچک‌ترین توجهی به پایداری منابع آبی تا آن‌جا که می‌توانند به کشت برنج و پس از آن گندم اقدام می‌کنند. هر چند که آب سطحی مورد استفاده‌ی کشاورزان تا حدی قابل کنترل است، اما افزایش تعداد چاه‌های بدون مجوز، جابه‌جایی چاه‌ها و پمپاژ آب تا آنجا که امکان دارد، نمونه‌هایی از فشار بیش‌ازحد کشاورزان این منطقه مانند سایر کشاورزان بر منابع آبی است. کشت فشرده، مسایل مربوط به آب و افزایش استفاده از کودهای شیمیایی مشکلات جدی را برای محیط زیست منطقه‌ییجاد کرده است، به‌نحوی که به‌نظر می‌رسد فعالیت‌های کشاورزی در این منطقه به سمت ناپایداری در حرکت است، و ممکن است منجر به نابودی منابع در آینده شود. عدم توجه به پایداری کشاورزی و نادیده انگاشتن محیط زیست و منابع آبی و خاکی فعالیت‌های کشاورزی آینده را محدود خواهد کرد. بنابراین، پایداری در مطالعه‌ی حاضر لحاظ نمودن مسایل زیست‌محیطی در حفظ منابع آبی و خاکی به‌گونه‌یی است که ادامه‌ی فعالیت‌های کشاورزی در آینده به‌راحتی میسر باشد. در این وضعیت، نیاز به توسعه‌ی مدل‌هایی است که قادر باشد عملیات مدیریتی آلترناتیو را بررسی کند و اثر آن‌ها را بر رفتار زارعان مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد.

مدل‌های کلاسیک اقتصاد کشاورزی روابط میان نهاده‌های خاک و آب و عمل‌کرد محصولات و هم‌چونین نقش سایر بازی‌گران در محیط تصمیم‌گیری را مورد توجه قرار نمی‌دهد و تنها بر حداکثرسازی سود تولیدکنندگان تاکید دارد (بازانی و همکاران، ۲۰۰۵؛ مک کارل و اسپرین، ۱۹۹۷؛ رومرو و همکاران، ۱۹۹۷؛ وارلا ارتگا و همکاران، ۱۹۹۸). از سوی

www.SID.ir

Archive of SID

دیگر درنظر گرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی در مدل‌های اقتصادی وضعیت متفاوتی را با تصمیم‌گیرندگان متفاوت ایجاد می‌سازد. زارعان به‌دنبال حداکثرسازی منافع اقتصادی‌شان هستند در حالی‌که جامعه با هدف حداقل‌سازی تاثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های کشاورزی به تصمیم‌سازی اقدام می‌کند. در این شرایط، ارزیابی مسایل زیست‌محیطی و اقتصادی در کشاورزی مساله چندبعدی را به‌وجود می‌آورد که به‌منظور لحاظ کردن دیدگاه‌ها و مسایل مختلف علوم دیگر در مدل، نیازمند مدل‌سازی بیو اقتصادی است. در سال‌های اخیر، تلفیق اطلاعات بیوفیزیک با مدل‌های اقتصادی در تحقیقات متعددی صورت گرفته است (به‌عنوان مثال یوهانسون و همکاران، ٢٠٠٧؛ وی و همکاران، ٢٠٠٩؛ شی آ و وید، ٢٠٠٩؛ شولر و ستلر، ٢٠١٠؛ ستلر و همکاران، ٢٠١٠ را بمیانید).

زارعان منطقه عملیات مدیریتی سنتی خود را بر منابع آب و خاک اعمال می‌کنند که البته می‌تواند با تکنولوژی جدید سازگار شود. هرچند که تعداد عملیات مدیریتی در منطقه محدود است، اما تقاضای اطلاعات بیش‌تر از سوی تصمیم گیرندگان به‌دلیل افزایش فشار بر منابع طبیعی و اهمیت پایداری زراعیِ زیست‌محیطی در حال افزایش است (ارياد و دیلون، ١٩٩٧). نتایج حاصل از مدل‌های اقتصادی می‌تواند با دست‌یابی به اطلاعات دقیق‌تری که جنبه‌های گوناگون مراحل مختلف رشد گیاه و تاثیرات آن بر محیط کشاورزی و اقتصادی را مورد ملاحظه قرار می‌دهد، بهبود یابد. مدل‌های شبیه‌سازی بیوفیزیک جنبه‌های بیولوژیک و فیزیکی تولید کشاورزی را با هم ترکیب می‌کند (ارياد و دیلون، ١٩٩٧).

مدل بیو اقتصادی استفاده شده در این مطالعه، ابزار جدیدی را به‌منظور درک بهتر فرآیند اکولوژیکی روابط آب و خاک در فضای مدل‌های اقتصادی ارائه می‌نماید تا اطلاعات بیش‌تری را برای ارزیابی دقیق‌تر سیاست‌های کشاورزی و زیست‌محیطی فراهم آورد. این در حالی است که تهیه‌ی چونین اطلاعاتی در محیط واقعی مستلزم هزینه و صرف وقت زیادی است و هزینه‌ی فرصت تحقیق را برای محقق بالا می‌برد. در این تحقیق، کاربرد توام مدل برنامه‌ریزی خطی و تئوری بازی‌ها با یک مدل شبیه‌سازی بیوفیزیک (EPIC) نشان داده شده است، به‌گونه‌یی که در نهایت مدل قادر باشد کشمکش میان زارعان و محیط زیست را در منطقه

www.SID.ir

Archive of SID

کامفیروز حل کند. EPIC مدل بیوفیزیکی است که اطلاعات وسیعی را برای یک عملیات مدیریتی فراهم می‌آورد تا داده‌های مورد نیاز برای مدل برنامه‌ریزی خطی در اختیار محقق قرار گیرد. نهایتا با استفاده از تئوری بازی‌ها مساله‌ی کشمکش چند هدفی میان زارعان و محیط زیست با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از مدل برنامه‌ریزی خطی حل می‌شود.

مدنی (۲۰۱۰) معتقد است که تئوری بازی‌ها در تحلیل‌های اقتصادی و سیاستی ابزار قدرتمندی را به‌منظور بررسی رفتارهای استراتژیک تصمیم‌سازان منطقه‌یی در اختیار محقق می‌گذارد تا بتواند به راه‌حلی دست یابد که نه‌تنها از نظر اقتصادی قابل قبول باشد، بل‌که از لحاظ اجتماعی هم مورد قبول واقع شود. هرچند که مدنی (۲۰۱۰) به مطالعات زیداروفسکی و همکاران (۱۹۸٤)، ساوور و همکاران (۲۰۰۳) و شرایدر (۲۰۰۷) به‌عنوان مطالعاتی اشاره کرده است که در تحقیقات‌شان به بررسی مساله‌ی کیفیت آب با استفاده از تئوری بازی‌ها پرداخته اند، مساله‌ی آلودگی‌ها با منبع نامشخص به‌ندرت در این دسته از مطالعات قرار می‌گیرد. مطالعه‌ی راکوئل و همکاران (۲۰۰۷) از معدود مطالعاتی است که منابع آب زیرزمینی را با توجه به مسایل زیست‌محیطی مورد مطالعه قرار داده اند. اما حتا در این مطالعه هم سیستم‌های مختلف مدیریتی کشاورزی و عملیات متعدد کشاورزی شامل سیستم‌های مختلف کم‌آبیاری, انواع مختلف خاک و مقدار کود مورد استفاده در هر سیستم مورد بررسی قرار نگرفته است. ایجاد مسائل زیست‌محیطی در منطقه‌ی مورد مطالعه و افزایش تاثیرات روزافزون آن‌ها و هم‌چونین امکان بررسی عملیات مدیریتی کشاورزی آلترناتیو و تاثیرات زیست‌محیطی آن‌ها انگیزه‌ی لازم برای انجام تحقیق حاضر را ایجاد کرد. هم‌چونین تعدادی از مطالعات داخلی نیز مسایل پایداری را به‌خصوص در رابطه با استفاده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی مورد مطالعه قرار داده اند که از آن جمله می‌توان به مطالعات کهنسال و زارع (۱۳۸۷)، بریم‌نژاد (۱۳۸۵)، بریم‌نژاد و صدر الاشرافی (۱۳۸٤) و منصوری و کهنسال (۱۳۸٦) اشاره کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

روش تحقیق

جزء "بیو"ی مطالعه: مدل شبیه‌سازی WinEPIC

به‌دلیل عواملی چون منطقه‌ی مورد مطالعه، کیفیت و دست‌رسی به داده‌های مورد نیاز مدل، دقت و حمایت‌های مدل، EPIC به‌عنوان مدل مناسبی برای مطالعه‌ی حاضر انتخاب گردید. EPIC که قبلا به‌عنوان نرم‌افزار محاسبه‌گر اثر بهره‌وری فرسایش[1] شناخته می‌شد برای اولین بار در سال ١٩٨١ به‌وسیله‌ی محققان وزارت کشاورزی ایالات متحده ایجاد شد (گسمن و همکاران، ٢٠٠٥). اما از آن زمان تا به‌حال هر روز توسط گروه‌های مختلفی از محققان توسعه داده شده است تا آن را برای ارزیابی‌های جامع مناسب سازد، اما پس از مدتی با حفظ نام خلاصه‌ی EPIC به‌عنوان یک‌پارچگی سیاست‌های زیست‌محیطی با اقلیم[2] تغییر نام یافت (گسمن، ٢٠٠٥). مرکز تحقیقات و ترویج بلک‌لند در دانشگاه ای اند ام تگزاس نسخه‌ی کامل‌تر و در عین حال راحت‌تری از این مدل را با نام WinEPIC ارائه کرد که شامل نه جزء است: آب و هوا، هیدرولوژی, فرسایش, مواد ریزمغذی، دمای خاک، رشد گیاه، کنترل زیست‌محیط گیاه، شخم، و بودجه اقتصادی (ویلیامز، ١٩٩٠). این مدل بیوفیزیک مدلی در مقیاس سطح مزرعه است که محیط‌های کشاورزی همگن از نظر آب و هوا، خاک, شیب زمین، تناوب زراعی و پارامترهای سیستم مدیریت را شبیه‌سازی می‌کند. مدل مذکور بر اساس داده‌های روزانه طراحی شده است که قابلیت شبیه‌سازی بلندمدت را حتا به‌مدت صد سال دارا است (گسمن و همکاران، ٢٠٠٥). جزییات بیش‌تر در رابطه با این مدل و اجزای آن در مطالعات ویلیامز و همکاران (١٩٨٤)، ویلیامز (١٩٩٠)، شارپلی و ویلیامز (١٩٩٠) و ویلیامز (١٩٩٥) قابل دست‌یابی است.

هرچند که نرم‌افزار EPIC در ایالات متحده طراحی شده است، اما کاربردهای متعددی از این نرم‌افزار در سایر نقاط جهان طی دو دهه گذشته انجام شده است. هم‌چونین به‌دلیل انعطاف‌پذیری بالای مدل EPIC مطالعات اقتصادی بسیاری به‌منظور ارزیابی سیاست‌های

1- Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC)
2- Environmental Policy Integrated Climate (EPIC)

www.SID.ir

Archive of SID

کشاورزی در سطح مزرعه، حوضه‌ی آب‌ریز و یا منطقه از این مدل در ترکیب با مدل‌های اقتصادی بهره گرفته اند (مانند مطالعات تیلور و همکاران، ۱۹۹۲؛ فولتز و همکاران، ۱۹۹۳؛ بابکوک و همکاران، ۱۹۹۷). در اکثر این مطالعات هم‌زمان بر تحلیل درآمد خالص و یا سایر شاخص‌های اقتصادی در مقابل فرسایش، ریزمغذی‌های ازدست‌رفته و یا سایر شاخص‌های محیط زیستی تاکید شده است تا اثر سیستم‌های مختلف کاشت، عملیات مدیریتی مختلف و یا سایر سناریوها بررسی گردد (کورکالووا و همکاران، ۲۰۰٤؛ ساوارد، ۲۰۰۰؛ پاوچ و همکاران، ۲۰۰۱؛ فنگ و همکاران، ۲۰۰٤؛ ژاو و همکاران، ۲۰۰٤؛ روبن و همکاران، ۲۰۰٦؛ کورتیس و همکاران، ۲۰۰۸).

داده‌های مورد نیاز

مطالعه‌ی حاضر از اطلاعات مختلفی بهره گرفته است. عمده‌ترین اطلاعات مورد نیاز از طریق پیمایش و جمع‌آوری داده در طول زمان به‌دست آمده است. در این رابطه ٦۰ مزرعه در روستاهای عباس آباد، مهجن‌آباد و منصورآباد و هم‌چونین شهرستان کامفیروز انتخاب گردید که در سال‌های ۸۷ تا ۸۹ با چندین بار مراجعه و بررسی دقیق و ثبت دقیق همه‌ی عملیات زراعی در تاریخ و مقدار و نیز تعیین میزان دقیق برداشت با استفاده از کیل گذاری اطلاعات مناسبی جمع آوری گردید. هم‌چونین در مراحل مختلف تحقیق از منابع کتابخانه‌یی هم بهره گرفته شده است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

در مطالعه‌ی حاضر، با درنظر گرفتن سه تناوب زراعی، چهار نوع خاک موجود در منطقه، پنج سطح استفاده از کود شیمیایی و ۱۳ استراتژی آبیاری، ٥٤۰ عملیات مدیریتی کشاورزی برای منطقه‌ی مورد مطالعه شبیه‌سازی شد. تناوب‌های زراعی مورد مطالعه شامل برنج (R)، گندم (W)، و برنج گندم (WR) است. هم‌چونین براساس سیستم طبقه‌بندی جدید ایالات متحده، چهار نوع خاک مناسب برای زراعت در منطقه درنظر گرفته شد (S1، S2، S3 وS4). این چهار نوع خاک در عمق، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شیب و سایر خصوصیات خاک با هم متفاوت اند. برنج به‌صورت آبیاری غرقابی در منطقه کشت می‌شود درحالی‌که گندم هم

www.SID.ir

Archive of SID

به‌صورت آبیاری کامل، کم‌آبیاری و یا دیم در منطقه‌ی کامفیروز قابل کشت است. به‌دلیل سطح زیر کشت پایین اراضی دیم در منطقه، گندم دیم در مطالعه‌ی حاضر لحاظ نشده است. اما ۱۳ استراتژی آبیاری بسته به کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه لحاظ شده است که شامل موارد زیر است: آبیاری کامل (I1)، ۱۰٪ تنش آبی در مرحله‌ی استقرار (I2)، ۱۰٪ تنش آبی در مرحله‌ی رشد و گل‌دهی (I3)، ۱۰٪ تنش آبی در مرحله‌ی رسیدن (I4)، ۲۰٪ تنش آبی در مرحله‌ی استقرار (I5)، ۲۰٪ تنش آبی در مرحله‌ی رشد و گل‌دهی (I6)، ۲۰٪ تنش آبی در مرحله‌ی رسیدن (I7)، ۳۰٪ تنش آبی در مرحله‌ی استقرار (I8)، ۳۰٪ تنش آبی در مرحله‌ی رشد و گل‌دهی (I9)، ۳۰٪ تنش آبی در مرحله‌ی رسیدن (I10)، ۱۰٪ تنش آبی در همه‌ی مراحل رشد گیاه (I11)، ۲۰٪ تنش آبی در همه‌ی مراحل رشد گیاه (I12) و ۳۰٪ تنش آبی در همه‌ی مراحل رشد گیاه (I13). علاوه بر این‌ها، پنج سطح برای استفاده از کود شیمیایی در نظر گرفته شدکه شامل میزان معمول مورد استفاده از کود در منطقه، ۸۵٪، ۷۰٪، ۵۵٪، و ٤۰٪ میزان معمول مورد استفاده‌ی کنونی کود شیمیایی در منطقه است، که به‌ترتیب با نام‌های N1 ، N2، N3، N4 و N5 در مطالعه شناخته می‌شوند. از ترکیب سطوح مختلف مربوط به نوع خاک، تناوب زراعی، استراتژی‌های آبیاری و سطح کود مورد استفاده، ٥٤۰ عملیات زراعی مدیریتی متفاوت را می‌توان برای منطقه لحاظ نمود. برای مثال WRI11S3N2 نشان‌دهنده‌ی عملیات مدیریتی زراعی است که در آن تناوب برنج گندم در خاک نوع سوم با ۸۵٪ میزان معمول کود شیمیایی در منطقه با ۱۰٪ تنش کم آبی در همه‌ی مراحل رشد گیاه کشت می‌شود.

نرم‌افزار EPIC قادر است ۲۰ لایه برای هر خاک درنظر بگیرد. در مطالعه‌ی حاضر اطلاعات مربوط به به سه لایه از هر چهار نوع خاک موجود در منطقه به مدل داده شده است. بافت خاک، گروه هیدرولوژیکی خاک، آلبدوی خاک، درصد شن و سیلت خاک، اسیدیته‌ی خاک، میزان کربن آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و هدایت هیدرولیکی خاک از جمله اطلاعات مورد نیاز مدل است که برای همه‌ی خاک‌ها از مطالعه‌ی تفصیلی سازمان منابع طبیعی وزارت جهاد کشاورزی استان فارس در پارسل ٤۳ درودزن استخراج شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

داده‌های هواشناسی مورد نیاز از نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک منطقه یعنی ایستگاه سد درودزن که متعلق به وزارت نیرو است تهیه گردید. داده‌های روزانه‌ی بارندگی، حداکثر و حداقل دما، تشعشع، متوسط رطوبت نسبی و سرعت باد به‌عنوان ورودی مدل EPIC مورد نیاز است که همه داده‌های در ایستگاه مذکور به‌صورت روزانه از سال ۱۹۸۸ ثبت گردیده است، به‌جز میزان تشعشع که با استفاده از داده‌های ساعات آفتابی روزانه و بهره‌گیری از روش پیش‌نهادی فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) محاسبه گردید.

میزان نهاده‌های مورد استفاده و عمل‌کرد مربوط به هر عملیات مدیریتی کشاورزی در منطقه از طریق داده‌های پیمایشی که با پرکردن ٦٠ پرسش‌نامه از زارعان منطقه‌ی کامفیروز به دست آمد. از سوی دیگر عمل‌کرد و پارامترهای زیست‌محیطی مربوط به هر یک از عملیات مدیریتی کشاورزی در منطقه از مدل EPIC به‌دست آمد. بدین ترتیب اعتبار مدل بررسی شد و با تغییر تعدادی از پارامترهای فیزولوژی موجود در نرم‌افزار، مدل EPIC برای منطقه‌ی کامفیروز کالیبره شد. سپس ٥٤٠ عملیات مدیریتی کشاورزی برای مدل کالیبره شده تعریف شد و پس از شبیه‌سازی بیو فیزیک توسط مدل عمل‌کرد و تعدادی از شاخص‌های زیست‌محیطی به‌عنوان ستانده‌ی مدل به‌دست آمد. نیتروژن ازدست‌رفته در رواناب سطحی، جانبی و نفوذ زیر ناحیه‌ی ریشه (در مجموع به‌عنوان NLOSS)، فسفر ازدست‌رفته در رواناب و نفوذ زیر ناحیه‌ی ریشه (در مجموع به‌عنوان PLOSS) و تبخیر و تعرق، آب تلف شده در روان‌آب سطحی، جانبی و نفوذ زیر ناحیه‌ی ریشه (درمجموع به‌عنوان WLOSS) پارامترهای زیست‌محیطی مورد بررسی در مطالعه‌ی حاضر اند.

جزء اقتصادی مدل

اولین جزء اقتصادی مدل، مدل برنامه‌ریزی خطی است که رفتار زارعان منطقه‌ی کامفیروز را نشان می‌دهد. این مدل ماتریس بازده را برای تئوری بازی‌ها فراهم می‌آورد. بدین ترتیب، استفاده از تئوری بازی‌ها دومین جزء اقتصادی مدل است که به‌دنبال حل کشمکش میان زارعان با هدف حداکثرسازی سود اقتصادی است، و محیط زیست که به‌دنبال حدقل‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

آلودگی‌های نیرات و فسفر و هم‌چونین آب تلف شده است. هرچند که پیش‌رفت‌های بسیاری در متودولوژی مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی صورت گرفته است و کاربردهای متفاوتی از آن‌ها در مطالعات اقتصاد کشاورزی وجود دارد، سادگی و کارآیی مدل برنامه‌ریزی خطی دلیل بهره‌گیری از این مدل در مطالعه‌ی حاضر است. در این مدل، تابع هدف حداکثرسازی سود اقتصادی زارعان (GM) است که به‌صورت زیر نشان داده شده است:

$$\text{Max:} \quad Z = \sum_i TR_i X_i - \sum_i TC_i X_i \qquad i=1, 2, ..., 540 \qquad (۱)$$

در این رابطه، i نشان‌دهنده‌ی ٥٤٠ عملیات مدیریتی کشاورزی شامل ۲۰ عملیات مدیریتی کشاورزی تناوب برنج، ۲٦۰ عملیات مدیریتی کشاورزی تناوب گندم و ۲٦۰ عملیات مدیریتی کشاورزی تناوب برنج گندم و X_i سطح زیر کشت هر یک از عملیات مدیریتی کشاورزی بر حسب هکتار است. TR_i درآمد کل حاصل از هر یک از عملیات مدیریتی کشاورزی است که براساس عمل‌کرد به‌دست آمده از مدل EPIC (برحسب تن در هکتار) در قیمت محصول مورد نظر (بر حسب ریال تن) به‌دست می‌آید. درآمد کل برای تناوب‌های برنج گندم از مجموع درآمد حاصل از برنج و گندم به‌دست آمده است. TC_i نیز هزینه‌ی تولید برای هر یک از عملیات مدیریتی کشاورزی است.

همانند تمامی مدل‌های بهینه‌سازی محدودیت منابع آبی و زمین در مدل لحاظ می‌گردد. در محدودیت زمین، مجموع سطح زیر کشت عملیات مدیریتی متفاوت برای هر نوع خاک (s) و برای هر تناوب ($land_{i,s}$) نبایستی از مجموع زمین‌های موجود با خاک نوع sام (TI_s) بیش‌تر باشد:

$$\sum_s land_{i,s} X_{i,s} \le TI_s \qquad i=1,2,...,540 \quad s=1,2,3,4 \qquad (۲)$$

به‌منظور اعمال محدودیت بر منابع آبی ۲۱ فاصله‌ی زمانی برای دوره‌های آبیاری (t) در نظر گرفته شد. در این محدودیت، مجموع آب مورد نیاز عملیات مدیریتی کشاورزی انتخاب شده در هر دوره‌ی زمانی (t) و برای هر نوع خاک ($water_{t,s}$) (بر حسب متر مکعب در هکتار) نبایستی از کل منابع آبی موجود بیش‌تر باشد. دو منبع آب در منطقه‌ی کامفیروز شامل منابع

www.SID.ir

Archive of SID

آب سطحی ($ava_sw_{t,s}$) و زیرزمینی ($ava_uw_{t,s}$) است. بنابراین محدودیت زیر در مدل لحاظ شده است:

$$\sum_{t,s} water_{i,t,s} X_{i,t,s} \le ava_sw_{t,s} + ava_uw_{t,s} \qquad (۳)$$

$$i = 1,2,...,540 \quad s = 1,2,3,4 \quad t = 1,2,...,21$$

در مرحله‌ی اول مدل برنامه‌ریزی خطی بدون لحاظ نمودن هیچ‌گونه محدودیت زیست‌محیطی حل شد تا عملیات مدیریتی کشاورزی حداکثر کننده‌ی سود مشخص شود. در مرحله‌ی بعد، پارامتر زیست‌محیطی NLOSS مربوط به هر یک از عملیات مدیریتی کشاورزی از مدل EPIC به‌دست آمد. مقدار NLOSS به‌دست آمده از الگوی مدل اقتصادی بهینه شده که با TNL نشان داده شده است، در مرحله‌ی دوم در محدودیت زیست‌محیطی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدودیت محیط زیستی مدل به‌صورت زیر تعیف شده است:

$$\sum_{i} NLOSS_i X_i \le (1-\alpha) TNL \qquad (٤)$$

که در آن α نشان‌دهنده‌ی وزنی است که به دیدگاه اقتصادی تعلق می‌گیرد و از صفر (حداکثر وزن متعلق به محیط زیست) تا ۱ (حداکثر وزن متعلق به اقتصاد) با فواصل ۰/۰۱ تغییر می‌کند. بدین ترتیب، مدل برنامه‌ریزی خطی با اعمال محدودیت محیط زیستی ۱۰۰ مرتبه حل شد تا عملیات مدیریتی کشاورزی مربوط به هر یک از وزن‌های اقتصادی را فراهم آورد. سود اقتصادی و پارامتر زیست‌محیطی NLOSS حاصل از مدل EPIC مربوط به هر یک از ۱۰۰ وزن اقتصادی ماتریس بازده مورد نیاز برای تئوری بازی‌ها را به‌دست می‌دهد.

در مطالعه‌ی حاضر، زارعان و محیط زیست دو گروه از تصمیم گیرندگان اند که به‌عنوان دو بازیگر در موقعیت کشمکش قرار دارند. چندین مجموعه از عملیات مدیریتی کشاورزی (به‌عنوان سیستم کشاورزی) جای‌گزین‌هایی‌اند که هر یک اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی متفاوتی دارند. مساله، یافتن راه‌حل توافقی میان آلترناتیوهای موجود است که بهترین پیامد را برای دو گروه بازگیر ارائه نماید.

www.SID.ir

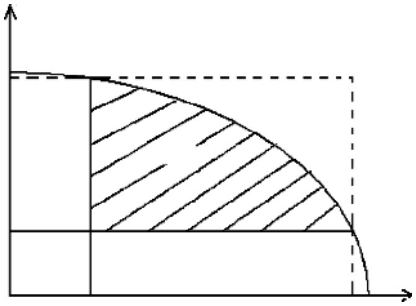
Archive of SID

هدف اقتصادی، بازده برنامه‌یی است که از مدل برنامه‌ریزی خطی، همان‌طور که در بالا اشاره شده است، به‌دست می‌آید و میان صفر و یک به‌نحوی نرمال می‌شود که بیش‌ترین مقدار بازده برنامه‌یی به ۱ و کم‌ترین آن به صفر تعلق می‌گیرد. هدف زیست‌محیطی، پارامتر زیست‌محیطی پیش‌گفته است که میان صفر و یک به‌نحوی نرمال می‌شود که ۱ نشان‌دهنده‌ی بدترین حالت و صفر نشان‌دهنده‌ی بهترین حالت پارامتر مذکور باشد. بدین ترتیب پارامتر زیست‌محیطی نرمال شده با NL نشان داده شده است.

از طریق رگرس کردن هدف اقتصادی به‌عنوان تابع f_1 بر هدف زیست‌محیطی به‌عنوان تابع f_2 مرز پارتو به‌دست می‌آید. مرز پارتو توسط تابع مقعر و اکیداً نزولی g در فاصله‌ی $[d_1,f_1^*]$ مشخص می‌شود که در آن $g(f_1^*) = d_2$ و $f_2^* = g(d_1)$ است (نمودار۱). برخی مواقع بردار d به‌عنوان بردار منافع در حالت عدم توافق (وضعیت موجود) در نظر گرفته می‌شود و ترکیبی از منافع بازیگرها در حالتی که به یک توافق کلی نمی‌رسند. در این موارد، مجموعه‌ی منافع ممکن S، به مجموعه‌ی S_+ که در زیر تعریف شده است، محدود می‌شود. چرا که هیچ بازیکن عاقلی، توافقی را که بدتر از حالت عدم توافق یا وضعیت موجود است، نمی‌پذیرد (راکوئل و همکاران، ۲۰۰۷).

$$S_+ = \{f = (f_1, f_2) / f \in S, f \geq d\} \qquad (۵)$$

اگر بردار d به‌عنوان بدترین نتایج ممکن دو گروه هدف انتخاب شود، آن‌گاه $S_+=S$ خواهد بود (راکوئل و همکاران، ۲۰۰۷).



نمودار (۱). مرز پارتوی دو بازیکن در موقعیت تعارض

www.SID.ir

Archive of SID

جان نش تعریف استراتژی بهینه را تعمیم داد که به‌وسیله‌ی آن می‌توان در هر بازی دو نفره و بدون همکاری تعادل را پیدا کرد. بعضی از محققان مدل اولیه‌ی نش را توسعه دادند و آن را اصلاح کردند. به‌عنوان مثال، راه‌حل نامتقارن نش توسط هارسانی و سلتن (۱۹۷۲) معرفی شد که در این روش می‌توان چانه‌زنی دو طرف را با نیروهای متفاوت تعیین کرد. در این راه‌حل، یک نقطه‌ی منحصر به فرد روی مرز پارتو به گونه‌یی تعیین می‌شود که حاصل‌ضرب منافع، ماکزیمم شود. راه‌حل نش حل منحصربه‌فرد مساله‌ی بهینه‌سازی زیر است:

$$\text{Max}: \quad (f_1 - d_1)w_1(f_2 - d_2)w_2 \qquad (۶)$$

$$\text{S. to}: \quad d_1 \le f_1 \le f_1^*,$$

$$f_2 = g(f_1)$$

w_1 و w_2 وزن‌های نامساوی است که به هر یک از بازیکن‌ها داده می‌شود. جمع وزن‌ها برابر با یک است. هر بازیکنی که دارای وزن بیش‌تری باشد، در تابع هدف از اهمیت بیش‌تری برخودار است (هارسانی و سلتن، ۱۹۷۲؛ راکوئل، ۲۰۰۷). اگر $f_1 = d_1$ و $f_1 = f_1^*$ باشد، تابع هدف برابر صفر و برای همه‌ی مقادیر $f_1 \in (d_1, f_1^*)$، تابع هدف مثبت است. در صورتی که محدودیت دوم، $f_2 = g(f_1)$، در تابع هدف جای‌گزین شود، مساله به صورت تک‌بعدی زیر در می‌آید و با یک الگوریتم جستجوی ساده‌ی تک‌بعدی می‌توان آن را حل کرد.

در سال ۱۹۷۵، کالای و اسمورودینسکی راه‌حل پیش‌نهادی نش را تعمیم داده و روش جدیدی برای یافتن نقطه‌ی توافق بازیکنان ارائه داده اند. در این روش یک پاره‌خط میان نقطه‌ی عدم توافق (d_1, d_2)و نقطه‌ی ایده‌آل (f_1^*, f_2^*) رسم می‌شود. نقطه‌ی برخورد این پاره‌خط با مرز پارتو به‌عنوان جواب میانه معرفی می‌شود (عرض از مبدا این پاره‌خط با مرز پارتو). پس با حل رابطه‌ی زیر در فاصله‌ی (d_1, f_1^*)، جواب میانه به‌دست می‌آید.

$$d_2 + \{(f_2^* - d_2)/(f_1^* - d_1)\}(f_1 - d_1) - g(f_1) = 0, \qquad (۷)$$

www.SID.ir

Archive of SID

اگر اهداف نرمالیزه شود، آن‌گاه $d_1 = d_2 = 0$ و $f_1^* = f_2^* = 1$ می‌شود. بنابراین دو هدف $\overline{f_1}$ و $\overline{f_2}$ ، در طول پاره‌خطی که پاره‌خطی که نقطه‌ی عدم توافق و نقطه‌ی ایده‌آل را به هم وصل می‌کند، با نرخ مشابهی افزایش می‌یابد. این نظریه منجر به شکل‌گیری راه‌حل نامتقارن کالای اسمورودینسکی شده است که محل برخورد مرز پارتو و پاره‌خط مستقیم زیر جواب بهینه به‌دست می‌آید (راکوئل، ۲۰۰۷):

$$\bar{g}(\overline{f_1}) = (w_2 / w_1)\bar{f}_1, \qquad (۸)$$

آنبارسی (۱۹۹۳)، راه‌حل سطوح یک‌نواخت را ارائه داد که در آن پاره‌خطی از نقطه‌ی عدم توافق شروع می‌شود و S_+ را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند (شکل ۲). اگر وزن اهداف با هم برابر نباشد ($w_1 \neq w_2$)، آن‌گاه مساله به‌صورت نامتقارن در می‌آید و بایستی به گونه‌یی حل شود که نسبت مساحت دو قسمت، برابر w_1/w_2 باشد. بنابراین جواب بهینه، ریشه‌ی معادله‌ی غیر خطی زیر در فاصله‌ی (d_1, f_1^*) است (آنبارسی،۱۹۹۳):

$$w_2\left[\int_{d_1}^{x} g(t)dt - ½(x-d_1)(g(x)+d_2\right] = \qquad (۹)$$

$$w_1\left[\int_{x}^{f_1^*} g(t)dt - (f_1^* - x)d_2 + ½(x-d_2)(g(x)-d_2)\right],$$

راه‌حل زیان مساوی تعمیم دیگری از راه‌حل نش است که توسط چان (۱۹۸۸) ارائه شده است. این راه‌حل، در ابتدا برای حالتی معرفی شد که اهداف وزن‌های یک‌سانی بودند و هر دو گروه به‌طور هم‌زمان و با سرعت یک‌سان، به یک توافق می‌رسیدند. اما در راه‌حل نامتقارن، اهداف دارای وزن‌های متفاوتی است ($w_1 \neq w_2$). دراین روش، نقطه‌ی $(f_1, g(f_1))$ روی مرز پارتو به‌صورت زیر تعیین می‌شود (راکوئل، ۲۰۰۷).

$$(f_1^* - x)w_1 = (f_2^* - g(x))w_2. \qquad (۱۰)$$

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

الگوی زراعی موجود در منطقه‌ی کامفیروز به‌سوی ناپایداری پیش می‌رود. زارعان این منطقه آب، زمین و سایر منابع را به‌گونه‌یی تخصیص می‌دهند که آلودگی‌های شیمیایی ناشی از عملیات کشاورزی و آب هدررفته در این مناطق رو به افزایش بوده است. در جدول‌های ۱ و ۲ مقایسه‌ی میان الگوی زراعی زارعان در سال‌های ۱۳۸۵ و ۸۷ و الگوی بهینه‌ی اقتصادی نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، تمامی عملیات زراعی انجام گرفته در سال‌های ۸۵ و ۸۷ عملیاتی است که زارعان با استفاده از آبیاری کامل و حداکثر میزان استفاده از کود شیمیایی گندم و برنج را کشت می‌کنند. هرچند که در الگوی بهینه‌ی اقتصادی اولیه (بدون لحاظ نمودن محدودیت‌های زیست‌محیطی) تعدادی از استراتژی‌های آبیاری کم‌آبیاری و هم‌چونین استفاده از میزان کود شیمیایی کم‌تر از میزان معمول در منطقه انتخاب شده است (مانند WI5S4N2, WRI11S3N1, WRI13S1N4, WRI13S2N3). کم آبی سال‌های اخیر در منطقه باعث شده است که الگوی زراعی منطقه از کاشت برنج در یک سال زراعی به تناوب‌های برنج – گندم تغییر یابد. در برخی موارد هم زمین‌های کشاورزی با آب کم‌تر تنها به کاشت گندم اختصاص داده می‌شود و در فصل برنج به‌صورت آیش رها می‌شود. افزایش سطح زیر کشت گندم در سال ۸۷ در مقایسه با سال ۸۵ تغییر الگوی کشت زارعان به‌دلیل کمبود آب در منطقه را تایید می کند. با این همه هنوز هم بنظر می رسد که فشار بر منابع آب و خاک به‌دنبال شرایط خشک‌سالی، عملیات فشرده‌ی کاشت برنج و گندم به‌عنوان تناوب غالب در منطقه شناخته می‌شود.

مقایسه میان بازده برنامه‌یی و شاخص‌های زیست‌محیطی الگوی کشت زارعان در سال‌های ۸۵ و ۸۷ با الگوی بهینه‌ی اقتصادی (بدون لحاظ نمودن محدودیت زیست‌محیطی) در جدول ۲ آورده شده است. افزایش سطح زیر کشت گندم به‌دنبال مشکلات کم‌آبی سبب گردیده است که بازده برنامه‌یی در سال ۸۷ نسبت به سال ۸۵ کاهش یابد. از سوی دیگر مدل بهینه منجر به انتخاب سیستمی با بازده برنامه‌یی بالاتر و شاخص‌های زیست‌محیطی بهتر شده است. این

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه نشان می‌دهد که حتی بدون لحاظ نمودن محدودیت زیست‌محیطی در مدل، راه‌حل بهینه نسبت به الگوی کشت فعلی پایدارتر است و فشار کم‌تری را بر منابع اعمال می‌کند.

جدول (۱). الگوی کشت در سال‌های ۸۵ و ۸۷ و الگوی کشت بهینه‌ی اول بدون لحاظ نمودن محدودیت زیست‌محیطی

عملیات زراعی	RS1N1	RS2N1	RS3N1	RS4N1	WI1S1N1	WI1S2N1	WI1S3N1	WI5S4N2	WI6S4 N1
الگوی سال ۸۵	۱۳۱۵	۷۰	٦۵۰	۷۵	۳۷۰	۱۰۰	۵۰	–	–
الگوی سال ۸۷	۱۵۰۰	۱۰۰	٤۵۰	۷۵	۸۰۰	۱۵۰	۵۰	–	–
الگوی بهینه	۹۹۸/۳	۱۷۱/۳	۲٦٤	۷۵	–	–	–	۱۲	۳٦/۲

عملیات زراعی	WI13S4N3	WRI1S1N1	WRI1S3N1	WRI11S3N1	WRI13S1N4	WRI13S2N3
الگوی سال ۸۵	–	٤٤۰	۱۰۰	–	–	–
الگوی سال ۸۷	–	–	–	–	–	–
الگوی بهینه	۲٦/۸	–	–	٤۸٦	۸۵۳/۲	۱۷۸/۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۲). مقایسه‌ی نشان‌گرهای اقتصادی و زیست‌محیطی میان الگوی کشت سال‌های ۸۵ و ۸۷ و الگوی بهینه بدون لحاظ نمودن محدودیت‌های زیست‌محیطی

الگوی کشت	سطح زیرکشت (هکتار)	NLOSS (kg/ha)	WLOSS ($1000m^3$)	PLOSS (kg/ha)	بازده برنامه‌یی (ریال)
الگوی سال ۸۵	۳۱۷۰	۲٤۱	٦۵۷۸۹	۹/۳	$۱/۱۱ \times ۱۰^{۱۰}$
الگوی سال ۸۷	۳۱۲۵	۲٤۳	٦٤۷۳۸	۹/۵	$۹/۱\times ۱۰^{۹}$
الگوی بهینه	۳۱۰۱/٤	۱۸٤	٦۳۹۱۰	۹/۱	$۱/۳۰ \times ۱۰^{۱۰}$

مأخذ: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

در مرحله‌ی بعد، محدودیت زیست‌محیطی رابطه‌ی ٤ در مدل در نظر گرفته شد و با درنظر گرفتن صد حالت برای پارامتر α مدل صد مرتبه حل شد و صد راه‌حل بهینه بر اساس مقدار درنظر گرفته برای پارامتر α به‌دست آمد که تنها ۱۱ حالت آن در جدول (۳) آورده شده است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است، درنظر گرفتن وزن‌های بالاتر به اهداف زیست‌محیطی (α کم‌تر) منجر به انتخاب سیستم‌های زراعی با استراتژی کم‌آبیاری و هم‌چونین عملیات زراعی با میزان کم‌تری از کودشیمیایی می‌گردد. از سوی دیگر، وزن‌های بالاتر جنبه‌ی اقتصادی (α بالاتر)، فشار بیش‌تری بر منابع وارد می‌آورد و سطح زیرکشت بالاتر، بازده برنامه‌یی بالاتر و هم‌چونین آب، نیتروژن و فسفر ازدست‌رفته‌ی بیشتری می‌شود (جدول ٤). با توجه به نتایج ارائه شده در جدول‌های ۳ و ٤، می‌توان بیان کرد که با استفاده از عملیات زراعی مناسب می‌توان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی را بهبود بخشید، اما آن‌چه باعث ناپایداری در منطقه‌ی مورد مطالعه و مناطق مشابه گردیده است این است که زارعان با سیستم‌های زراعی جایگزین که می‌توانند به‌کار گیرند تا عمل‌کرد مشابهی را با شاخص‌های زیست‌محیطی بهتر ارائه دهند، آشنا نیستند. به زبان دیگر اثر استرس آبی یا نیتراتی در مراحل مختلف رشد گیاه برای زارعان آشنا نیست. بنابراین، زارعان قادر به انتخاب سیستم‌های زراعی مناسب با منافع اقتصادی بالاتر و مسایل زیست‌محیطی کم‌تر نیستند.

جدول (۳). سیستم عملیات زراعی منتخب برای ۱۱ سناریو بر اساس پارامتر α

وزن اقتصادی	۰/۰۱	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/٤	۰/٥	۰/٦	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱
وزن زیست‌محیطی	۰/۹۹	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/٦	۰/٥	۰/٤	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰
عملیات زراعی منتخب (سطح زیر کشت بر حسب هکتار)											
R1	۰	۰	۰	۰	۲۰۸/۱	٦۱۷/٤	۹۹۸/۳	۹۹۸/۳	۹۹۸/۳	۹۹۸/۳	۹۹۸/۳
R5	۰	۱۲۱/٥	٦۷۲/۱	۱۰۰۷/۹	۷۹۰/۱	۳۸۰/۹	۰	۰	۰	۰	۰
R6		۰	۰	۰	۰	۰	۲۷/۸	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳
R10	۰	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱٤۳/٥	۰	۰	۰	۰
R11	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱٥۱/۷	۲۲۸/۲	۲٦٤	۲٦٤
R15	۰	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	۱۲٥/۱	۱۲٥/۱	۱۲٥/۱	۰	۰	۰	۰

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول (۳). سیستم عملیات زراعی منتخب برای ۱۱ سناریو بر اساس پارامتر α

R16	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۵	۷۵
R20	۰	۰	۰	۰	٦/٤	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1W97	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲	۰
T1W100	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲	۰
T1W116	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳٦/۲
T1W120	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳٦/۲	۳٦/۲
T1W258	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲٦/۸	۲٦/۸
T1WR55	٤۳۱/٤	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1WR60	٦٤/٥	٦۱/٥	٦۱/٥	٤۸/٤	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1WR155	٤٦/٥	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1WR160	۰	٤/٤	٤/٤	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1WR165	۱٦/۲	۱٦/۲	۱٦/۲	۱٦/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1WR175	۰	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۰	۰
T1WR180	۰	۰	۰	۰	۲/۷	۲/۷	۲/۷	۲/۷	۲/۷	۰	۰
T1WR211	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۹۲/۹	۳٦۰/۷	٤۸٦	٤۸٦
T1WR225	٦۰٥/٥	٦۰٥/٥	٦۰٥/٥	٦۷/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1WR235	۳/۲	٤٦۱/۷	٤٦۱/۷	٤٦۱/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1WR239	۰	۰	۰	۰	۷۲/۳	۷۲/۳	۷۲/۳	۷۲/۳	۷۲/۳	۰	۰
T1WR240	۰	۰	۰	۲۰/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1WR245	۰	۰	۰	٦۱٤/٥	۸٥۳/۲	۸٥۳/۲	۸٥۳/۲	۸٥۳/۲	۸٥۳/۲	۸٥۳/۲	۸٥۳/۲
T1WR249	۰	۰	۰	۰	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷
T1WR250	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
T1WR255	۰	۰	۰	۰	٥۲۷/٦	٥۲۷/٦	٥۲۷/٦	٤۰۸/۲	٦٤	۰	۰
کل سطح زیر کشت	۱٤۹۱/۲	۲۰٥٤/۱	۲٦۰٤/۷	۳۰۲٦/٥	۳۰۲٦/٥	۳۰۲٦/٥	۳۰۲٦/٥	۳۰۲٦/٥	۳۰۲٦/٥	۳۱۰۱/٥	۳۱۳۷/۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (٤). شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی برای سیستم‌های عملیات زراعی منتخب برای ۱۱ سناریو بر اساس پارامتر α

سناریو (وزن اقتصادی (α	سطح زیر کشت (هکتار)	بازده برنامه‌یی (میلیون ریال)	NLOSS (kg/ha)	PLOSS (kg/ha)	WLOSS ($1000m^3$)
۰/۰۱	۱٤۹۱/۲	٦٦۷۱	٤/۲۱	۸/۱٥	۲۹۷۷
۰/۱	۲۰٥٤/۱	۸۸۲۹	۳۰/٥	۸/۳۸	٤۱۹۳
۰/۲	۲٦۰٤/۷	۱۰۹۱٦/٥	٤۸/۲	۸/۸۳	٥۳٥۹
۰/۳	۳۰۲٦/٥	۱۲٦۳٥/۱	٦۲/۳	۸/۹۸	٦۲۲۳
۰/٤	۳۰۲٦/٥	۱۲۷٥۹	۸۳/۰	۸/۹۱	٦۱۸٤
۰/٥	۳۰۲٦/٥	۱۲۸۲۸/۸	۱۰۳/۸	۸/۹۲	٦۱۸۲
۰/٦	۳۰۲٦/٥	۱۲۸۹۸/٥	۱۲٤/٥	۸/۹٤	٦۱۸۲
۰/۷	۳۰۲٦/٥	۱۲۹٦۰/٥	۱٤٥/۳	۸/۹۸	٦۱۹۲
۰/۸	۳۰۲٦/٥	۱۳۰۰۹/۸	۱٦٦/۱	۹/۰٥	٦۲۲٤
۰/۹	۳۱۰۱/٥	۱۳۰۳٦/۷	۱۷۹/٥	۹/۱۳	٦۳۹۱
۱	۳۱۳۷/۷	۱۳۰۳٦/۷	۱۸۰/۸	۹/۰۳	٦۳۹۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نیتروژن ازدست‌رفته برای ۱۰۰ سیستم انتخابی به‌دست آمده از ۱۰۰ وزن تخصیص داده شده به پارامتر α به‌عنوان هدف زیست‌محیطی درنظر گرفته شد. بنابراین با نرمالیزه کردن آن به‌گونه‌یی که ۱ به بهترین حالت (کم‌ترین مقدار نیتروژن ازدست‌رفته) و صفر به بدترین حالت (بیش‌ترین مقدار نیتروژن ازدست‌رفته) تعلق بگیرد، هدف زیست‌محیطی تئوری بازی‌ها به‌دست می‌آید. علاوه بر این، بازده برنامه‌یی این ۱۰۰ سیستم انتخاب شده نیز نرمالیزه می‌شود تا ماتریس نتایج برای ۱۰۰ سیستم زراعی تهیه گردد. در جدول ۵ ماتریس نتایج مقادیر نرمالیزه شده برای تنها ۱۱ سیستم زراعی انتخابی نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول نیز دیده می‌شود، وزن‌های بالاتر به جنبه‌ی زیست‌محیطی در مساله‌ی کشمکش، منافع اقتصادی

www.SID.ir

Archive of SID

کم‌تر و شاخص‌های زیست‌محیطی کم‌تری را به‌دنبال دارد. به بیان دیگر اهمیت بیش‌تر به جنبه‌ی زیست‌محیطی مساله‌ی تولید باعث می‌شود تا آلودگی شیمیایی در سیستم‌های زراعی کم‌تر باشد و آب تلف شده کم‌تری را به‌دنبال داشته باشد.

جدول (۵). ماتریس نتایج برای ۹ سناریو بر اساس پارامتر α

سناریو (α)	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/٤	۰/۵	۰/٦	۰/۷	۰/۸	۰/۹
GM*	۰/۳۳۹۱	۰/٦٦۷۰	۰/۹۳٦۹	۰/۹۵٦٤	۰/۹٦۷۳	۰/۹۷۸۳	۰/۹۸۸۰	۰/۹۹۵۸	۱
NL*	۰/۱٤۹٤	۰/۲٤۹۳	۰/۳۲۸۸	۰/٤٤٦٤	۰/۵٦٤۰	۰/٦۸۱۵	۰/۷۹۹۱	۰/۹۱٦٦	۰/۹۹۲۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

به منظور تخمین مرز پارتو، هدف اقتصادی نرمالیزه شده بر هدف زیست‌محیطی نرمالیزه شده برای ۱۰۰ راه‌حل بهینه ارائه شده بر اساس ۱۰۰ پارامتر α رگرس گردید تا رابطه‌ی زیر به‌دست آید:

$$f2 = 0.9604 + 1.355f1 - 34.9645f1^2 + 178.3320f1^3 - 391.9979f1^4 + 378.9870f1^5 - 141.6029f1^6$$

ضریب تعیین مرز پارتوی تخمین زده شده برابر ۰/۹۹۰۹ بود و تمامی ضرایب با احتمال ۹۹ درصد معنی دار بودند. در این رابطه، f2 و f1 به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی است. در این مرحله با تخصیص ۱۰۰ وزن نامساوی به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی با فواصل ۰/۰۱ مساله‌ی کشمکش میان دو گروه بازیگر حل گردید. بدین منظور از چهار روش پیش‌گفته برای حل مساله‌ی تئوری بازی‌ها بهره گرفته شد که ماتریس نتایج برای ۹ سناریوی انتخابی در جدول ٦ نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، وزن‌های بالاتر به اهداف زیست‌محیطی باعث فشار کم‌تری بر منابع و آلودگی شیمیایی کم‌تری به محیط زیست می‌شود. از سوی دیگر، اگر وزن بیش‌تری به اهداف اقتصادی تخصیص داده شود، زارعان منافع اقتصادی بیش‌تری کسب می کنند و زمین بیش‌تری را زیر کشت می‌برند. هم‌چونین فشار بر منابع افزایش می‌یابد، نیترات و فسفات بیش‌تری به محیط زیست وارد

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود، و آب بیش‌تری تلف می‌شود. نمودار ۲ این موضوع را بر اساس راه‌حل مساحت یک‌نواخت نشان می‌دهد. وقتی تنها منافع اقتصادی مورد توجه باشد، شاخص زیست‌محیطی در حداکثر مقدار خود قرار می‌گیرد و هنگامی‌که هدف اقتصادی برای تصمیم‌گیرندگان مهم نباشد، در حداقل مقدار خود قرار می‌گیرد.

جدول (٦). ماتریس نتایج حل مساله‌ی کشمکش با استفاده از ٤ روش حل پیش‌گفته برای ۹ سناریو

وزن		روش اول		روش دوم		روش سوم		روش چهارم	
W1	W2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
۰/۱	۰/۹	۰/۰۹٦	۰/۹٥	۰/۱۱	۰/۹٤	۰/۱۲	۰/۹۲	۰/۱٤	۰/۹۰
۰/۲	۰/۸	۰/۳٦	۰/۷٤	۰/۲۱	۰/۸۳	۰/۲٤	۰/۸۰	۰/۲٤	۰/۸۱
۰/۳	۰/۷	۰/٤۲	۰/۷۱	۰/۳۲	۰/۷٥	۰/۳۸	۰/۷۳	۰/۳۸	۰/۷۳
۰/٤	۰/٦	۰/٤۷	۰/٦٦	۰/٤٥	۰/٦۸	۰/٤۹	۰/٦٤	۰/٤۸	۰/٦٥
۰/٥	۰/٥	۰/٥۲	۰/٦۱	۰/٥٦	۰/٥٦	۰/٥۹	۰/٥۲	۰/٥٦	۰/٥٦
۰/٦	۰/٤	۰/۸۹	۰/٤۱	۰/٦۷	۰/٤٤	۰/۷۲	۰/٤۱	۰/٦٤	۰/٤۷
۰/۷	۰/۳	۰/۹۰	۰/۳۹	۰/۹۱	۰/۳۹	۰/۹۳	۰/۳۷	۰/۷٤	۰/٤۰
۰/۸	۰/۲	۰/۹۲	۰/۳۷	۰/۹۷	۰/۲٤	۰/۹٦	۰/۲٤	۰/۸٥	۰/٤۲
۰/۹	۰/۱	۰/۹٥	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۱۱	۰/۹۸	۰/۱۲	۰/۹۳	۰/۳٦

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۷) به‌طور خاص عملیات کشاورزی توافقی به‌دست آمده مربوط به ۵ سناریو را نشان می‌دهد، زمانی‌که اهمیت دیدگاه اقتصادی یک سوم، سه پنجم، برابر، پنج سوم و سه برابر اهمیت دیدگاه زیست‌محیطی است. از آن‌جا که راه‌حل ارائه شده از چهار روش مختلف حل مساله کشمکش اختلاف چندانی با هم ندارد، تنها نتایج مربوط به روش سوم (راه‌حل مساحت یک‌نواخت) در جدول ۷ نشان داده شده است. مساله‌ی تناقض میان زارعان و محیط زیست منجر به انتخاب عملیات زراعی با حداقل میزان کود مورد استفاده گردیده است. همان طور که در این جدول دیده می‌شود، در تمام عملیات زراعی انتخاب شده سطح کود N5 دیده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

هم‌چونین، استراتژی‌های آبیاری انتخاب‌شده آب تلف‌شده‌ی کم‌تری دارند. علاوه‌براین، پارامترهای زیست‌محیطی با پارامترهای مربوط به هر مجموعه از سیستم‌های عملیات زراعی در این جدول نشان داده شده است. مقایسه‌ی این پارامترهای زیست‌محیطی مربوط به الگوی زراعی سال ۱۳۸۵ مبین این نکته است که با نادیده انگاشتن مقدار کمی از منافع اقتصادی می‌توان به حفظ محیط زیست کمک کرد.

جدول (۷). سیستم‌های عملیات زراعی منتخب با استفاده از راه‌حل مساحت یک‌نواخت برای ۵ مجموعه وزن مختلف برای اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی

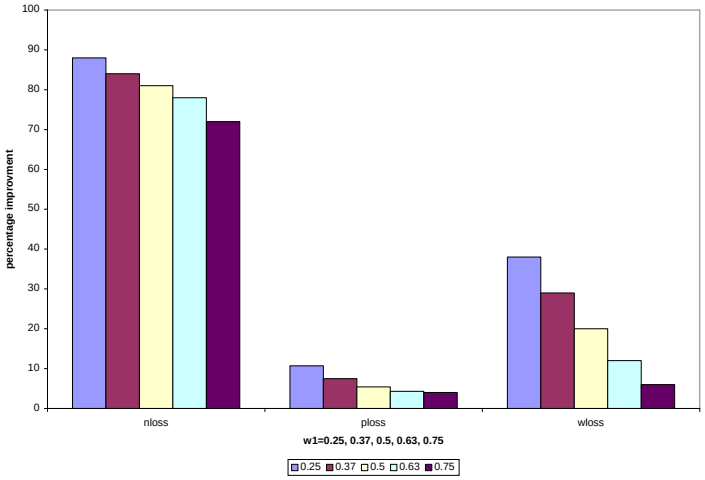
	سناریوها	w_1 = ۰/۲۵ w_2 = ۰/۷۵	w_1 = ۰/۳۷ w_2 = ۰/۶۳	w_1 = ۰/۵ w_2 = ۰/۵	w_1 = ۰/۶۳ w_2 = ۰/۳۷	w_1 = ۰/۷۵ w_2 = ۰/۲۵
عملیات زراعی	R5	٦٦/٤	۳٤۱/۷	٦۱۷	۸۹۲/۳	۹۹۸/۳
	R10	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳
	R15	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	۱۲۵/۱
	T1WR60	٦۱/۵	٦۱/۵	٦۱/۵	٦۱/۵	۱۰
	T1WR160	٤/٤	٤/٤	٤/٤	٤/٤	۰
	T1WR165	۱٦۱/۲	۱٦۱/۲	۱٦۱/۲	۱٦۱/۲	۱٦۱/۲
	T1WR175	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲
	T1WR180	۰	۰	۰	۰	۱۲/۷
	T1WR225	٦۰۵/۵	٦۰۵/۵	٦۰۵/۵	٦۰۵/۵	۰
	T1WR235	٤٦۱/۷	٤٦۱/۷	٤٦۱/۷	٤٦۱/۷	۰
	T1WR240	۰	۰	۰	۰	۵۲/۲
	T1WR245	۰	۰	۰	۰	۸۵۳/۲
	T1WR249	۰	۰	۰	۰	۱٦٦/۳
	T1WR250	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۲/٤
	T1WR255	۰	۰	۰	۰	۵۲۷/۷
شاخص‌ها	GM	$۸/٦۲ \times ۱۰^{۹}$	$۹/٦٦ \times ۱۰^{۹}$	$۱/۰۷ \times ۱۰^{۱۰}$	$۱/۱۸ \times ۱۰^{۱۰}$	$۱/۲۷ \times ۱۰^{۱۰}$
	NLOSS	۲۸/۳	۳۸/۷	٤٦/۸	۵۳/٤	٦۷/۰۰
	WLOSS	٤۰۷٦	٤٦۵۹	۵۲٤۳	۵۸۲٦	٦۱۸۵
	PLOSS	۸/۳	۸/٦	۸/۸	۸/۹	۸/۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار (۲) بهبود در شاخص‌های زیست‌محیطی (WL، NL و PL) برای ۵ سناریوی مختلف (زمانی‌که وزن هدف اقتصادی برابر با ۰/۲۵، ۰/۳۷، ۰/۵، ۰/۶۳ و ۰/۷۵ است) را در مقایسه با الگوی زراعی منطقه در سال ۱۳۸۵ نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال در صورتی‌که که برای اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی اهمیت یک‌سانی در نظر گرفته شود، کاهش تنها ٤ درصد از منافع اقتصادی منجر به بهبود ۲۰٪ در شاخص آب تلف شده خواهد شد. این به معنای صرفه جویی ۵ درصدی در آب مصرفی سال ۸۵ منطقه است که چیزی معادل ٤/۵ میلیون متر مکعب آب است. این مقدار آب بایستی به‌منظور حرکت در راستای پایداری کشاورزی منطقه در سفره‌ی آب منطقه ذخیره گردد. هم‌چونین، در این شرایط بهبود قابل توجه ۸۱ درصدی در شاخص نیتروژن ازدست‌رفته و بهبود ٥/٤ درصدی شاخص فسفر ازدست‌رفته نیز تنها با به‌کارگیری عملیات زراعی مناسب امکان‌پذیر است. همان‌طور که در نمودار هم مشخص است، با افزایش اهمیت هدف زیست‌محیطی (w_2) در حل مساله‌ی کشمکش بهبودهای بیش‌تری در تمامی شاخص‌های زیست‌محیطی مورد انتظار است.



نمودار (۲). بهبود شاخص‌های زیست محیطی برای ۵ سناریوی مختلف در مقایسه با الگوی زراعی منطقه در سال ۱۳۸۵

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری و پیش‌نهادها

تلفیق مدل بیوفیزیک EPIC با یک مدل برنامه‌ریزی خطی و هم‌چـونین اسـتفاده از تئـوری بازی‌ها امکان بررسی هم‌زمان منافع اقتصادی زارعان و پارامترهـای زیـست‌محیطـی را در ایـن مطالعه فراهم آورد. بررسی پایداری کشاورزی در منطقه‌ی کامفیروز نشان داد که هرچند منـافع اقتصادی زارعان در الگوی زراعی موجود در منطقه نسبتا بالا است، امـا از پایـداری برخـوردار نیست و شاخص‌های زیست‌محیطی الگوی زراعی فعلی وضعیت مناسـبی را نـشان نمـی‌دهـد. بنابراین دو هدف متناقض برای بازی در نظر گرفته شد: بازده برنامه‌یی به‌عنوان هدف اقتصادی و نیتروژن ازدست‌رفته به‌عنـوان هـدف زیـست‌محیطـی. مـدل شـبیه سـازی بیوفیزیـک EPIC داده‌های مورد نیاز تحلیل اقتصادی رفتار زارعان را فراهم کرد. هم‌چونین این مدل با محاسبه‌ی شاخص‌های زیست‌محیطی برای الگوی زراعی نشان داد که به‌علت بـه‌کـارگیری سیـستم‌هـای زراعی نامناسب آلودگی شیمیایی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و هم‌چونین آب تلف‌شـده در این منطقه بالا است.

با حل مساله‌ی کشمکش با استفاده از مجموعه وزن‌هـای مختلـف بـه اهـداف اقتـصادی و زیست‌محیطی (w_1 و w_2) چندین جای‌گزین برای سیستم عملیات زراعی کنونی به‌منظور بهبود در شاخص‌های پایداری ارائه شد. مطالعه‌ی حاضر نشان داد که بـا بـه‌کـارگیری سیاسـت‌هـای مناسب می‌توان کشاورزی منطقه را به سـمت پایـداری هـدایت کـرد. مـدیریت تقاضـای آب، کاهش یارانه‌ی کودهای شیمیایی و تشویق زارعان به حفاظت از محـیط زیـست کـشاورزی بـا ارائه‌ی دانش مربوط به آن‌ها می‌تواند مثال‌هایی از این گونه سیاست‌ها باشند. به‌نظر می‌رسد که به‌منظور حفاظـت و حراسـت از محـیط زیـست و منـابع کـشاورزی و پایـداری سیـستم‌هـای کشاورزی تغییر در دیدگاه زارعان با فراهم آوردن دانش مربوط برای آنان ضروری اسـت. ایـن مطالعه نشان داد که مدیریت پایدار سیستم‌های کشاورزی با بـه‌کـارگیری مجموعـه‌ی عملیـات زراعی مناسب به‌راحتی امکان‌پذیر است.

مدل بیواقتصادی پیشنهاد شده ابزار ارزشـمندی را بـرای تجزیـه‌وتحلیـل‌هـای کـشاورزی زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. هرچند که مدل پیش‌نهاد شـده اسـتراتژی‌هـای مختلـف آبیـاری را

www.SID.ir

Archive of SID

به‌همراه مقادیر متفاوت کود مورد استفاده توسط زارعان مورد مطالعه قرار داده است، اما سایر جنبه‌های مدیریتی مزرعه مثل کاربرد آفت‌کش‌ها یا عملیات مدیریت شخم نیز به‌راحتی می‌تواند در تحلیل لحاظ شود. این مدل برای تحلیل‌های سیاستی در زمینه‌ی کشاورزی – زیست‌محیطی نیز مناسب است زیرا توان یافتن راه‌حل برای هر شرایط کشمکش با اهداف متناقض را دارد.

منابع

بریم‌نژاد، و. (۱۳۸۵). برنامه‌ریزی کسری، ابزاری برای اندازه‌گیری شاخص‌های کمی پایداری در بخش کشاورزی. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ٥٤: ٩٦ـ ١٧٩.

بریم‌نژاد، و. و صدرالاشرافی، س.م. (۱۳۸٤). مدل‌بندی پایداری در منابع آب با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. *علوم کشاورزی*، ۱۱(٤): ۸ـ ۱.

صبوحی، م.، سلطانی، غ. و زیبایی، م. (۱۳۸٦). ارزیابی راه‌کارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی: مطالعه‌ی موردی دشت نریمان در استان خراسان. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۱(۱(ب)): ٤٨٤ ٤٧٥.

قیصری، م.م.، هودچی، م.، نجفی، پ. و عبداللهی، آ. (۱۳۸٦). بررسی آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی ناحیه‌ی جنوب شرقی شهر اصفهان. *محیط شناسی*، ۳۳(٤۲): ۵۰ ٤۳.

کهنسال، م.ر. و زارع، ع.ف. (۱۳۸۷). تعیین الگوی بهینه‌ی کشت هم‌سو با کشاورزی پایدار با استفاده از برنامه‌ریزی کسری با اهداف چندگانه. مطالعه‌ی موردی استان خراسان شمالی. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ٦۲: ٩٦ـ ١٧٩.

منصوری، ه. و کهنسال، م.ر. (۱۳۸٦). تعیین الگوی بهینه‌ی کشت زراعی بر اساس دو دیدگاه اقتصادی و زیست‌محیطی. اقتصاد و کشاورزی، ویژه‌نامه‌ی ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، ۱(۳): ۲۰ـ ۱۳.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and

www.SID.ir

Archive of SID

drainage paper 56, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Babcock, B.A., Wu, J., Campbell, T., Gassman, P.W., Mitchell, P.D., Otake T., Siemers, M. and Hurley, T.M. (1997). RAPS 1997: Agricultural and environmental outlook, Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University.

Bazzani, G., Viaggi, D., Berbel, J., López, M. and Gutiérrez, C. (2005). Methodology for analysis of irrigated farming in Europe, in: Berbel J., Gutiérrez, C., (Eds), WADI - The sustainability of European irrigated agriculture under Water Framework Directive and Agenda 2000. European Commission, Joint Research Center, Institute of Prospective Technological Studies, Seville, Spain, 26−48.

Curtis, K., Bishop, C., Emm, S., Kobayashi, M., Harris, T. and Kim, M.K. (2008). Economic analysis of water conservation practices for agricultural producers in the Walker river basin, Technical Report UCED 2008/09-06, UNIVERSITY OF NEVADA, RENO.

Feng, H., L. Kurkalova, C.L. Kling and Gassman P.W. (2004). Environmental Conservation in Agriculture: Land Retirement versus Changing Practices on Working Land." CARD Working Paper 04-WP 365. Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University.

Foltz, J.C., Lee, J.G. and Martin, M.A. (1993). Farm-level economic and environmental impacts of Eastern Corn Belt cropping systems, *Journal of Production Agriculture*, 6: 290–96.

Gassman, Ph.W., Williams, J.R., Benson, V. W., Izaurralde, R.C., Hauck, L.M., Jones, C.A., Atwood, J.9D., Kiniry, J.R. and Flowers, J.D. (2005). Historical development and applications of the EPIC and APEX models, Working Paper 05-WP 397, Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University.

Harsanyi, J.C. and Selten, R. (1972). A generalized Nash solution for two- person bargaining games with incomplete information. *Management Science*, 18(2): 80–160.

Kalai, E. and Smorodinsky, M. (1975). Other solutions to Nash`s Bargaining problem, *Econometrica*, 43: 513–518.

Kurkalova, L., Kling, C.L. and Zhao, J. (2004). Multiple benefits of carbon-friendly agricultural practices: Empirical assessment of conservation tillage, *Environmental Management*, 33(4): 519–27.

Madani, K. (2010). Game theory and water resources. *Journal of Hydrology*, 381: 225–238.

McCarl, B. and Spreen, T. (1997). Applied mathematical programming using algebraic systems. Texas A&M University.

www.SID.ir

Archive of SID

Oriade, C.A. and Dillon, C.R. (1997). Developments in biophysical and bioeconomic simulation of agricultural systems: a review, *Agricultural Economics*, 17: 45-58.

O'Shea L. and Wade, A. (2009). Controlling nitrate pollution: An integrated approach, *Land Use Policy*, 26: 799–808.

Pautsch, G.R., Kurkalova, L.A., Babcock, B.A. and Kling, C.L. (2001). The efficiency of sequestering carbon in agricultural soils, *Contemporary Economic Policy*, 19(2): 123–134.

Raquel S., Ferenc, S., Emery Jr., C. and Abraham, R. (2007). Application of game theory for groundwater conflict in Mexico, *Journal of Environmental Management*, 84: 560–51.

Romero, C., Amador, F. and Barco, A. (1987). Multiple objectives in agricultural planning: A compromise programming application. *American Journal of Agricultural Economics*, 69: 78–86.

Ruben, N. L., Bucholtz, Sh., Claassen, R., Roberts, M.J., Cooper, J.C., Gueorguieva, A. and Johansson, R. (2006). Environmental effects of agricultural land-use change: The role of economics and policy, Economic Research Report Number 25, United States Department of Agriculture, Economic Research Service

Sauer, P., Dvorak, A., Lisa, A. and Fiala, P. (2003). A procedure for negotiating pollution reduction under information asymmetry. Surface water quality case, *Environmental and Resource Economics*, 24(2): 103–119.

Savard, M. (2000). Modelling risk, trade, agricultural and environmental policies to assess trade-offs between water quality and welfare in the hog industry. *Ecological Modelling*, 125: 51–66.

Schreider, S., Zeephongsekul, P. and Fernandes, M. (2007). A game-theoretic approach to water quality management, in: Oxley, L., Kulasiri, D. (Eds.), MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2007, pp. 2312–2318.

Sharpley, A.N. and Williams, J.R. (1990). EPIC– Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model documentation. Washington, DC: USDA Technical Bulletin No. 1768.

Szidarovszky, F., Duckstein, L. and Bogardi, I. (1984). Multiobjective management of mining under water hazard by game theory. *European Journal of Operational Research*, 15(2): 251–258.

Taylor, M.L., Adams, R.M. and Miller, S.F. (1992). Farm-level response to agricultural effluent control strategies: The case of the Willamette Valley, *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 17(1): 173–83.

Varela-Ortega, C., Sumpsi, M., Garrido, A., Blanco, M. and Iglesias, E. (1998). Water pricing policies, public decision making and farmers' response: implications for water policy. *Agricultural Economics*, 19: 193–202.

www.SID.ir

Archive of SID

Williams, J.R. (1990). The Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC) Model: A Case History. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*, B 329: 421–28.

Williams, J.R. (1995). The EPIC model, in: Singh, V.P., (Eds), Computer Models of Watershed Hydrology, Highlands Ranch, CO. Water Resources Publications, pp 909-1000.

Williams, J.R., Jones, C.A. and Dyke, P.T. (1984). A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Transactions of the ASAE*, 27(1): 129–44.

Zhao, J., Kurkalova, L.A. and Kling, C.L. (2004). Alternative green payment policies when multiple benefits matter. *Agricultural and Resource Economics Review*, 33(1): 148–58.

www.SID.ir