

## 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 پذیرش: ۱۳۸۹/۵/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۶

#### 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 به‌گونه‌ی 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 کشاورزی زیست‌محیطی و اقتصادی فراهم آید. مطالعه‌ی حاضر راه‌حل بهینه‌ی برای اهداف متناقض زارعان و محیط زیست به‌عنوان دو مجموعه‌ی بازی‌گر را به‌دست می‌دهد. کاربرد چهار روش برای حل مسأله‌ی 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 به‌گونه‌ی 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 از دست رفته به‌ترتیب ۲۰، ۸۱ و ۵/۴٪ بهبود می‌یابد، در حالی که بازده برنامه‌ی 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 از دست‌رفته

\* به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز

## 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 ۱۳۸۶). 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 هم‌چنین افزایش استفاده از مواد شیمیایی شامل کودها و سم‌ها، مثال‌هایی از نادیده انگاشتن محیط زیست در سال‌های اخیر بوده است (لطیف و همکاران، ۱۳۸۴؛ قیصری و همکاران، ۱۳۸۶).

در این میان، آب منبعی است که دست‌رسی نسبتاً 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 صورت گرفته حین تحقیق مبین این مساله بود که زارعان دانش و آگاهی کافی در رابطه با روش‌های کم‌آبیاری و هم‌چنین 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، ۱۳۸۴؛ قیصری و همکاران، ۱۳۸۶). 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.

## بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

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 منطقه بیجاد 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 به‌گونه‌ی 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

دیگر در نظر گرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی در مدل‌های اقتصادی وضعیت متفاوتی را با تصمیم‌گیرندگان متفاوت ایجاد می‌سازد. زارعان به دنبال حداکثرسازی منافع اقتصادی‌شان هستند در حالی که جامعه با هدف حداقل‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های کشاورزی به تصمیم‌سازی اقدام می‌کند. در این شرایط، ارزیابی مسایل زیست‌محیطی و اقتصادی در کشاورزی مساله چندبعدی را به وجود می‌آورد که به منظور 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، ۲۰۰۷؛ وی و همکاران، ۲۰۰۹؛ شی آ و وید، ۲۰۰۹؛ شولر و ستلر، ۲۰۱۰؛ ستلر و همکاران، ۲۰۱۰ را ببینید).

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 تصمیم‌گیرندگان به دلیل افزایش فشار بر منابع طبیعی و اهمیت پایداری زراعت زیست‌محیطی در حال افزایش است (اریاد و دیلون، ۱۹۹۷). نتایج حاصل از مدل‌های اقتصادی می‌تواند با دستیابی به اطلاعات دقیق‌تری که جنبه‌های گوناگون مراحل مختلف رشد گیاه و تأثیرات 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 (اریاد و دیلون، ۱۹۹۷).

مدل بیو اقتصادی استفاده شده در این مطالعه، ابزار جدیدی را به منظور 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 چنین 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، به‌گونه‌ی که در نهایت مدل قادر باشد کشمکش میان زارعان و محیط زیست را در منطقه

## بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

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. نهایتاً 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 نه تنها از نظر اقتصادی قابل قبول باشد، بل که از لحاظ اجتماعی هم مورد قبول واقع شود. هرچند که مدنی (۲۰۱۰) به مطالعات زیداروفسکی و همکاران (۱۹۸۴)، 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 (۱۳۸۴) و منصوری و کهنسال (۱۳۸۶) اشاره کرد.

## روش تحقیق

## جزء "بیو"ی مطالعه: مدل شبیه‌سازی WinEPIC

به دلیل عواملی چون منطقه‌ی مورد مطالعه، کیفیت و دسترسی به داده‌های مورد نیاز مدل، دقت و حمایت‌های مدل، EPIC به عنوان مدل مناسبی برای مطالعه‌ی حاضر انتخاب گردید. EPIC که قبلاً به عنوان نرم‌افزار محاسبه‌گر اثر بهره‌وری فرسایش<sup>۱</sup> شناخته می‌شد برای اولین بار در سال ۱۹۸۱ به وسیله‌ی محققان وزارت کشاورزی ایالات متحده ایجاد شد (گسمن و همکاران، ۲۰۰۵). اما از آن زمان تا به حال 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 به عنوان یک پارچگی سیاست‌های زیست‌محیطی با اقلیم<sup>۲</sup> تغییر نام یافت (گسمن، ۲۰۰۵). 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، ۱۹۹۰). 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 حتی به مدت صد سال دارا است (گسمن و همکاران، ۲۰۰۵). جزییات بیشتر در رابطه با این مدل و اجزای آن در مطالعات ویلیامز و همکاران (۱۹۸۴)، ویلیامز (۱۹۹۰)، شارپلی و ویلیامز (۱۹۹۰) و ویلیامز (۱۹۹۵) 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. هم‌چنین به دلیل انعطاف‌پذیری بالای مدل EPIC مطالعات اقتصادی بسیاری به منظور ارزیابی سیاست‌های

---

1- Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC)

2- Environmental Policy Integrated Climate (EPIC)

## بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

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؛ فولتر 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، ۲۰۰۴؛ ساوارد، ۲۰۰۰؛ پاوچ و همکاران، ۲۰۰۱؛ فنگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ ژاو و همکاران، ۲۰۰۴؛ روبن و همکاران، ۲۰۰۶؛ 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 ۶۰ مزرعه در روستاهای عباس آباد، مهجن آباد 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 جمع‌آوری 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، ۵۴۰ 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 و S4). 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

به صورت آبیاری کامل، کم آبیاری و یا دیم در منطقه کامفیروز قابل کشت است. به دلیل سطح زیر کشت پایین اراضی دیم در منطقه، گندم دیم در مطالعه حاضر لحاظ نشده است. اما ۱۳ استراتژی آبیاری بسته به کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه لحاظ شده است که شامل موارد زیر است: آبیاری کامل (I1)، ۱۰٪ تنش آبی در مرحله استقرار (I2)، ۱۰٪ تنش آبی در مرحله رشد و گل دهی (I3)، ۱۰٪ تنش آبی در مرحله رسیدن (I4)، ۲۰٪ تنش آبی در مرحله استقرار (I5)، ۲۰٪ تنش آبی در مرحله رشد و گل دهی (I6)، ۳۰٪ تنش آبی در مرحله رسیدن (I7)، ۳۰٪ تنش آبی در مرحله استقرار (I8)، ۱۰٪ تنش آبی در همه رشد و گل دهی (I9)، ۳۰٪ تنش آبی در مرحله رسیدن (I10)، ۱۰٪ تنش آبی در مراحل رشد گیاه (I11)، ۲۰٪ تنش آبی در همه مراحل رشد گیاه (I12) و ۳۰٪ تنش آبی در همه مراحل رشد گیاه (I13). علاوه بر اینها، پنج سطح برای استفاده از کود شیمیایی در نظر گرفته شد که شامل میزان معمول مورد استفاده از کود در منطقه، ۸۵٪، ۷۰٪، ۵۵٪، و ۴۰٪ میزان معمول مورد استفاده کنونی کود شیمیایی در منطقه است، که به ترتیب با نامهای N1، N2، N3، N4 و N5 در مطالعه شناخته می شوند. از ترکیب سطوح مختلف مربوط به نوع خاک، تناوب زراعی، استراتژی های آبیاری و سطح کود مورد استفاده، ۵۴۰ عملیات زراعی مدیریتی متفاوت را می توان برای منطقه لحاظ نمود. برای مثال WR11S3N2 نشان دهنده ی 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 همه مراحل رشد گیاه کشت می شود.

نرم افزار EPIC قادر است ۲۰ لایه برای هر خاک در نظر بگیرد. در مطالعه حاضر اطلاعات مربوط به سه لایه از هر چهار نوع خاک موجود در منطقه به مدل داده شده است. بافت خاک، گروه هیدرولوژیکی خاک، آلدوی خاک، درصد شن و سیلت خاک، اسیدیته خاک، میزان کربن آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و هدایت هیدرولیکی خاک از جمله اطلاعات مورد نیاز مدل است که برای همه ی خاکها از مطالعه ی تفصیلی سازمان منابع طبیعی وزارت جهاد کشاورزی استان فارس در پارسال ۴۳ درودزن استخراج شده است.



## بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

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 ۶۰ 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 ۵۴۰ 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، جانی 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، جانی و نفوذ زیر ناحیه‌ی ریشه (در مجموع 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 حداقل‌سازی

آلودگی‌های نیرات و فسفر و هم‌چنین 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 کارایی 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:

$$\text{Max: } Z = \sum_i \text{TR}_i X_i - \sum_i \text{TC}_i X_i \quad i=1, 2, \dots, 540 \quad (1)$$

در این رابطه،  $i$  نشان‌دهنده‌ی ۵۴۰ عملیات مدیریتی کشاورزی شامل ۲۰ عملیات مدیریتی کشاورزی تناوب برنج، ۲۶۰ عملیات مدیریتی کشاورزی تناوب گندم و ۲۶۰ عملیات مدیریتی کشاورزی برنج گندم و  $X_i$  سطح زیر کشت هر یک از عملیات مدیریتی کشاورزی بر حسب هکتار است.  $\text{TR}_i$  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.  $\text{TC}_i$  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 ( $\text{land}_{i,s}$ ) نبایستی از مجموع زمین‌های موجود با خاک نوع  $s$  ( $\text{TI}_s$ ) بیشتر باشد:

$$\sum_s \text{land}_{i,s} X_{i,s} \leq \text{TI}_s \quad i=1,2,\dots,540 \quad s=1,2,3,4 \quad (2)$$

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 ( $\text{water}_{i,s}$ ) (بر حسب متر مکعب در هکتار) نبایستی از کل منابع آبی موجود بیشتر باشد. دو منبع آب در منطقه‌ی کامفیروز شامل منابع

## بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

آب سطحی ( $ava\_sw_{t,s}$ ) و زیرزمینی ( $ava\_uw_{t,s}$ ) است. بنابراین محدودیت زیر در مدل لحاظ شده است:

$$\sum_{t,s} water_{i,t,s} X_{i,t,s} \leq ava\_sw_{t,s} + ava\_uw_{t,s} \quad (3)$$

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

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 به دست آمد. مقدار NLOSS به دست 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 به صورت زیر تعریف شده است:

$$\sum_i NLOSS_i X_i \leq (1 - \alpha) TNL \quad (4)$$

که در آن  $\alpha$  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 به دست می‌دهد.

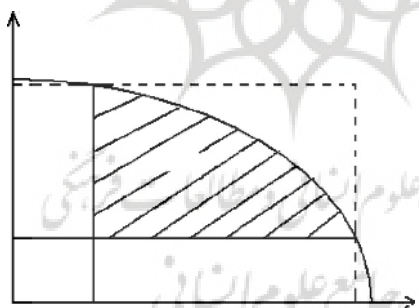
در مطالعه‌ی حاضر، زارعان و محیط زیست دو گروه از تصمیم‌گیرندگان اند که به‌عنوان دو بازیگر در موقعیت کشمکش قرار دارند. چندین مجموعه از عملیات مدیریتی کشاورزی (به‌عنوان سیستم کشاورزی) جای‌گزین‌هایی اند که هر یک اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی متفاوتی دارند. مساله، یافتن راه‌حل توافقی میان ال‌ترناتیوهای موجود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

هدف اقتصادی، بازده برنامه‌ی است که از مدل برنامه‌ریزی خطی، همان‌طور که در بالا اشاره شده است، به دست می‌آید و میان صفر و یک به نحوی نرمال می‌شود که بیش‌ترین مقدار بازده برنامه‌ی به ۱ و کم‌ترین آن به صفر تعلق می‌گیرد. هدف زیست‌محیطی، پارامتر زیست‌محیطی پیش‌گفته است که میان صفر و یک به نحوی 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 به دست 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 (نمودار ۱). 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).

$$S_+ = \{f = (f_1, f_2) / f \in S, f \geq d\} \quad (5)$$

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

جان نش تعریف استراتژی بهینه را تعمیم داد که به وسیله‌ی 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. به عنوان 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 گونه‌ی تعیین می‌شود که حاصل ضرب منافع، ماکزیمم شود. راه‌حل نش حل منحصر به فرد مساله‌ی بهینه‌سازی زیر است:

$$\text{Max: } (f_1 - d_1)w_1(f_2 - d_2)w_2 \quad (6)$$

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

$$f_2 = g(f_1)$$

$w_1$  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 برخوردار 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 داده‌اند. 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 به عنوان 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 به دست می‌آید.

$$d_2 + \{(f_2^* - d_2)/(f_1^* - d_1)\}(f_1 - d_1) - g(f_1) = 0, \quad (7)$$

اگر اهداف نرمالیزه شود، آن گاه  $d_1 = d_2 = 0$  و  $f_1^* = f_2^* = 1$  می شود. بنابراین دو هدف  $\bar{f}_1$  و  $\bar{f}_2$ ، در طول پاره خطی که پاره خطی که نقطه ی عدم توافق و نقطه ی ایده آل را به هم وصل می کند، با نرخ مشابهی افزایش می یابد. این نظریه منجر به شکل گیری راه حل نامتقارن کلاچ اسمورودینسکی شده است که محل برخورد مرز پارتو و پاره خط مستقیم زیر جواب بهینه به دست می آید (راکوتل، ۲۰۰۷):

$$\bar{g}(\bar{f}_1) = (w_2 / w_1) \bar{f}_1, \quad (8)$$

آنبارسی (۱۹۹۳)، راه حل سطوح یک نواخت را ارائه داد که در آن پاره خطی از نقطه ی عدم توافق شروع می شود و  $S_+$  را به دو قسمت مساوی تقسیم می کند (شکل ۲). اگر وزن اهداف با هم برابر نباشد ( $w_1 \neq w_2$ )، آن گاه مساله به صورت نامتقارن در می آید و بایستی به گونه یی حل شود که نسبت مساحت دو قسمت، برابر  $w_1/w_2$  باشد. بنابراین جواب بهینه، ریشه ی معادله ی غیر خطی زیر در فاصله ی  $(d_1, f_1^*)$  است (آنبارسی، ۱۹۹۳):

$$w_2 \left[ \int_{d_1}^x g(t) dt - \frac{1}{2}(x - d_1)(g(x) + d_2) \right] = w_1 \left[ \int_x^{f_1^*} g(t) dt - (f_1^* - x)d_2 + \frac{1}{2}(x - d_2)(g(x) - d_2) \right], \quad (9)$$

راه حل زیان مساوی تعمیم دیگری از راه حل نش است که توسط چان (۱۹۸۸) ارائه شده است. این راه حل، در ابتدا برای حالتی معرفی شد که اهداف وزن های یکسانی بودند و هر دو گروه به طور هم زمان و با سرعت یکسان، به یک توافق می رسیدند. اما در راه حل نامتقارن، اهداف دارای وزن های متفاوتی است ( $w_1 \neq w_2$ ). در این روش، نقطه ی  $(f_1, g(f_1))$  روی مرز پارتو به صورت زیر تعیین می شود (راکوتل، ۲۰۰۷).

$$(f_1^* - x)w_1 = (f_2^* - g(x))w_2. \quad (10)$$

## نتایج و بحث

الگوی زراعی موجود در منطقه‌ی کامفیروز به سوی ناپایداری پیش می‌رود. زارعان این منطقه آب، زمین و سایر منابع را به‌گونه‌ی 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 همچنین استفاده از میزان کود شیمیایی کم‌تر از میزان معمول در منطقه انتخاب شده است (مانند WRI13S2N3, WRI13S1N4, WRI11S3N1, WI5S4N2). 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 به دلیل کمبود آب در منطقه را تایید می‌کند. با این همه هنوز هم بنظر می‌رسد 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 برنامه‌ی 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 برنامه‌ی در سال ۸۷ نسبت به سال ۸۵ کاهش یابد. از سوی دیگر مدل بهینه منجر به انتخاب سیستمی با بازده برنامه‌ی بالاتر و شاخص‌های زیست‌محیطی بهتر شده است. این

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 بهینه اول بدون لحاظ نمودن محدودیت زیست‌محیطی

WI6S4 N1	WI5S4N2	WI1S3N1	WI1S2N1	WI1S1N1	RS4N1	RS3N1	RS2N1	RS1N1	عملیات زراعی
-	-	۵۰	۱۰۰	۳۷۰	۷۵	۶۵۰	۷۰	۱۳۱۵	الگوی سال ۸۵
-	-	۵۰	۱۵۰	۸۰۰	۷۵	۴۵۰	۱۰۰	۱۵۰۰	الگوی سال ۸۷
۳۶/۲	۱۲	-	-	-	۷۵	۲۶۴	۱۷۱/۳	۹۹۸/۳	الگوی بهینه

WRI13S2N3	WRI13S1N4	WRI11S3N1	WRI1S3N1	WRI1S1N1	WI13S4N3	عملیات زراعی
-	-	-	۱۰۰	۴۴۰	-	الگوی سال ۸۵
-	-	-	-	-	-	الگوی سال ۸۷
۱۷۸/۷	۸۵۳/۲	۴۸۶	-	-	۲۶/۸	الگوی بهینه

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

بازده برنامه‌ی (ریال)	PLOSS (kg/ha)	WLOSS (1000m <sup>3</sup> )	NLOSS (kg/ha)	سطح زیر کشت (هکتار)	الگوی کشت
$1/11 \times 10^{10}$	۹/۳	۶۵۷۸۹	۲۴۱	۳۱۷۰	الگوی سال ۸۵
$9/1 \times 10^9$	۹/۵	۶۴۷۳۸	۲۴۳	۳۱۲۵	الگوی سال ۸۷
$1/30 \times 10^{10}$	۹/۱	۶۳۹۱۰	۱۸۴	۳۱۰۱/۴	الگوی بهینه

مأخذ: یافته‌های تحقیق



### بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

در مرحله‌ی بعد، محدودیت زیست‌محیطی رابطه‌ی ۴ در مدل در نظر گرفته شد و با در نظر گرفتن صد حالت برای پارامتر  $\alpha$  مدل صد مرتبه حل شد و صد راه‌حل بهینه بر اساس مقدار در نظر گرفته برای پارامتر  $\alpha$  به دست آمد که تنها ۱۱ حالت آن در جدول (۳) آورده شده است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است، در نظر گرفتن وزن‌های بالاتر به اهداف زیست‌محیطی ( $\alpha$  کم‌تر) منجر به انتخاب سیستم‌های زراعی با استراتژی کم‌آب‌باری و هم‌چونین عملیات زراعی با میزان کم‌تری از کودشیمیایی می‌گردد. از سوی دیگر، وزن‌های بالاتر جنبه‌ی اقتصادی ( $\alpha$  بالاتر)، فشار بیش‌تری بر منابع وارد می‌آورد و سطح زیرکشت بالاتر، بازده برنامه‌ی بالاتر و هم‌چونین آب، نیتروژن و فسفر ازدست‌رفته‌ی بیشتری می‌شود (جدول ۴). با توجه به نتایج ارائه شده در جدول‌های ۳ و ۴، 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  $\alpha$

۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۰۱	وزن اقتصادی
۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۰/۹۹	وزن زیست‌محیطی
عملیات زراعی منتخب (سطح زیر کشت بر حسب هکتار)											
۹۹۸/۳	۹۹۸/۳	۹۹۸/۳	۹۹۸/۳	۹۹۸/۳	۶۱۷/۴	۲۰۸/۱	۰	۰	۰	۰	R1
۰	۰	۰	۰	۰	۳۸۰/۹	۷۹۰/۱	۱۰۰۷/۹	۶۷۲/۱	۱۲۱/۵	۰	R5
۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۲۷/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	R6
۰	۰	۰	۰	۱۴۳/۵	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۰	R10
۲۶۴	۲۶۴	۲۲۸/۲	۱۵۱/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	R11
۰	۰	۰	۰	۱۲۵/۱	۱۲۵/۱	۱۲۵/۱	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	۰	R15

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

۷۵	۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	R16
۰	۰	۰	۰	۶/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	R20
۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	T1W97
۰	۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	T1W100
۳۶/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	T1W116
۳۶/۲	۳۶/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	T1W120
۲۶/۸	۲۶/۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	T1W258
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۳۱/۴	T1WR55
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۸/۴	۶۱/۵	۶۱/۵	۶۴/۵	T1WR60
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۶/۵	T1WR155
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴/۴	۴/۴	۰	T1WR160
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶/۲	۱۶/۲	۱۶/۲	۱۶/۲	T1WR165
۰	۰	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	T1WR175
۰	۰	۲/۷	۲/۷	۲/۷	۲/۷	۲/۷	۰	۰	۰	۰	T1WR180
۴۸۶	۴۸۶	۳۶۰/۷	۹۲/۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	T1WR211
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۷/۸	۶۰۵/۵	۶۰۵/۵	۶۰۵/۵	T1WR225
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۶۱/۷	۴۶۱/۷	۴۶۱/۷	۳/۲	T1WR235
۰	۰	۷۲/۳	۷۲/۳	۷۲/۳	۷۲/۳	۷۲/۳	۰	۰	۰	۰	T1WR239
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰/۲	۰	۰	۰	T1WR240
۸۵۳/۲	۸۵۳/۲	۸۵۳/۲	۸۵۳/۲	۸۵۳/۲	۸۵۳/۲	۸۵۳/۲	۶۱۴/۵	۰	۰	۰	T1WR245
۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۰	۰	۰	۰	T1WR249
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	T1WR250
۰	۰	۶۴	۴۰۸/۲	۵۲۷/۶	۵۲۷/۶	۵۲۷/۶	۰	۰	۰	۰	T1WR255
۳۱۳۷/۷	۳۱۰۱/۵	۳۰۲۶/۵	۳۰۲۶/۵	۳۰۲۶/۵	۳۰۲۶/۵	۳۰۲۶/۵	۳۰۲۶/۵	۲۶۰۴/۷	۲۰۵۴/۱	۱۴۹۱/۲	کل سطح زیر کشت

مأخذ: یافته‌های تحقیق  
 پروژه گام‌های علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
 رتال جامع علوم انسانی

بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

جدول (۴). شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی برای سیستم‌های عملیات زراعی منتخب برای

۱۱ سناریو بر اساس پارامتر  $\alpha$

WLOSS (1000m <sup>3</sup> )	PLOSS (kg/ha)	NLOSS (kg/ha)	بازده برنامه‌ی (میلیون ریال)	سطح زیر کشت (هکتار)	سناریو (وزن اقتصادی $\alpha$ )
۲۹۷۷	۸/۱۵	۴/۲۱	۶۶۷۱	۱۴۹۱/۲	۰/۰۱
۴۱۹۳	۸/۳۸	۳۰/۵	۸۸۲۹	۲۰۵۴/۱	۰/۱
۵۳۵۹	۸/۸۳	۴۸/۲	۱۰۹۱۶/۵	۲۶۰۴/۷	۰/۲
۶۲۲۳	۸/۹۸	۶۲/۳	۱۲۶۳۵/۱	۳۰۲۶/۵	۰/۳
۶۱۸۴	۸/۹۱	۸۳/۰	۱۲۷۵۹	۳۰۲۶/۵	۰/۴
۶۱۸۲	۸/۹۲	۱۰۳/۸	۱۲۸۲۸/۸	۳۰۲۶/۵	۰/۵
۶۱۸۲	۸/۹۴	۱۲۴/۵	۱۲۸۹۸/۵	۳۰۲۶/۵	۰/۶
۶۱۹۲	۸/۹۸	۱۴۵/۳	۱۲۹۶۰/۵	۳۰۲۶/۵	۰/۷
۶۲۲۴	۹/۰۵	۱۶۶/۱	۱۳۰۰۹/۸	۳۰۲۶/۵	۰/۸
۶۳۹۱	۹/۱۳	۱۷۹/۵	۱۳۰۳۶/۷	۳۱۰۱/۵	۰/۹
۶۳۹۱	۹/۰۳	۱۸۰/۸	۱۳۰۳۶/۷	۳۱۳۷/۷	۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نیترژن ازدست‌رفته برای ۱۰۰ سیستم انتخابی به‌دست آمده از ۱۰۰ وزن تخصیص داده شده به پارامتر  $\alpha$  به‌عنوان هدف زیست‌محیطی در نظر گرفته شد. بنابراین با نرمالیزه کردن آن به‌گونه‌ی که ۱ به بهترین حالت (کم‌ترین مقدار نیترژن ازدست‌رفته) و صفر به بدترین حالت (بیش‌ترین مقدار نیترژن ازدست‌رفته) تعلق بگیرد، هدف زیست‌محیطی تئوری بازی‌ها به‌دست می‌آید. علاوه بر این، بازده برنامه‌ی 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

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  $\alpha$

سناریو ( $\alpha$ )	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹
GM*	۰/۳۳۹۱	۰/۶۶۷۰	۰/۹۳۶۹	۰/۹۵۶۴	۰/۹۶۷۳	۰/۹۷۸۳	۰/۹۸۸۰	۰/۹۹۵۸	۱
NL*	۰/۱۴۹۴	۰/۲۴۹۳	۰/۳۲۸۸	۰/۴۴۶۴	۰/۵۶۴۰	۰/۶۸۱۵	۰/۷۹۹۱	۰/۹۱۶۶	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  $\alpha$  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،  $f1$  و  $f2$  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 ۶ 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 می‌کنند و زمین بیش‌تری را زیر کشت می‌برند. هم‌چنین فشار بر منابع افزایش می‌یابد، نیترات و فسفات بیش‌تری به محیط زیست وارد

### بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

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 هنگامی که هدف اقتصادی برای تصمیم‌گیرندگان مهم نباشد، در حداقل مقدار خود قرار می‌گیرد.

جدول (۶). ماتریس نتایج حل مساله‌ی کشمکش با استفاده از ۴ روش حل پیش‌گفته برای ۹ سناریو

روش چهارم		روش سوم		روش دوم		روش اول		وزن	
F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	W2	W1
۰/۹۰	۰/۱۴	۰/۹۲	۰/۱۲	۰/۹۴	۰/۱۱	۰/۹۵	۰/۰۹۶	۰/۹	۰/۱
۰/۸۱	۰/۲۴	۰/۸۰	۰/۲۴	۰/۸۳	۰/۲۱	۰/۷۴	۰/۳۶	۰/۸	۰/۲
۰/۷۳	۰/۳۸	۰/۷۳	۰/۳۸	۰/۷۵	۰/۳۲	۰/۷۱	۰/۴۲	۰/۷	۰/۳
۰/۶۵	۰/۴۸	۰/۶۴	۰/۴۹	۰/۶۸	۰/۴۵	۰/۶۶	۰/۴۷	۰/۶	۰/۴
۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۶۱	۰/۵۲	۰/۵	۰/۵
۰/۴۷	۰/۶۴	۰/۴۱	۰/۷۲	۰/۴۴	۰/۶۷	۰/۴۱	۰/۸۹	۰/۴	۰/۶
۰/۴۰	۰/۷۴	۰/۳۷	۰/۹۳	۰/۳۹	۰/۹۱	۰/۳۹	۰/۹۰	۰/۳	۰/۷
۰/۴۲	۰/۸۵	۰/۲۴	۰/۹۶	۰/۲۴	۰/۹۷	۰/۳۷	۰/۹۲	۰/۲	۰/۸
۰/۳۶	۰/۹۳	۰/۱۲	۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۹۹	۰/۳۲	۰/۹۵	۰/۱	۰/۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۷) به‌طور خاص عملیات کشاورزی توافقی به‌دست آمده مربوط به ۵ سناریو را نشان می‌دهد، زمانی که 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. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود، در تمام عملیات زراعی انتخاب شده سطح کود N5 دیده می‌شود.

هم‌چنین، 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 نادیده‌انگاشتن مقدار کمی از منافع اقتصادی می‌توان به حفظ محیط زیست کمک کرد.

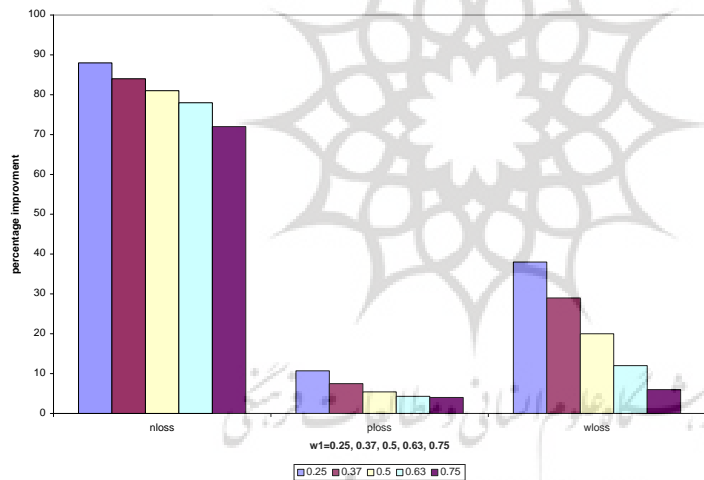
جدول (۷). سیستم‌های عملیات زراعی منتخب با استفاده از راه‌حل مساحت یک‌نواخت برای ۵ مجموعه وزن مختلف برای اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی

$W_1 = 0/75$ $W_2 = 0/25$	$W_1 = 0/63$ $W_2 = 0/37$	$W_1 = 0/5$ $W_2 = 0/5$	$W_1 = 0/37$ $W_2 = 0/63$	$W_1 = 0/25$ $W_2 = 0/75$	سناریوها	
۹۹۸/۳	۸۹۲/۳	۶۱۷	۳۴۱/۷	۶۶/۴	R5	عملیات زراعی
۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	۱۷۱/۳	R10	
۱۲۵/۱	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	۱۹۱/۱	R15	
۱۰	۶۱/۵	۶۱/۵	۶۱/۵	۶۱/۵	T1WR60	
۰	۴/۴	۴/۴	۴/۴	۴/۴	T1WR160	
۱۶۱/۲	۱۶۱/۲	۱۶۱/۲	۱۶۱/۲	۱۶۱/۲	T1WR165	
۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	۹۷/۲	T1WR175	
۱۲/۷	۰	۰	۰	۰	T1WR180	
۰	۶۰۵/۵	۶۰۵/۵	۶۰۵/۵	۶۰۵/۵	T1WR225	
۰	۴۶۱/۷	۴۶۱/۷	۴۶۱/۷	۴۶۱/۷	T1WR235	
۵۲/۲	۰	۰	۰	۰	T1WR240	
۸۵۳/۲	۰	۰	۰	۰	T1WR245	
۱۶۶/۳	۰	۰	۰	۰	T1WR249	
۱۲/۴	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	۱۷۸/۷	T1WR250	
۵۲۷/۷	۰	۰	۰	۰	T1WR255	
$1/27 \times 10^{10}$	$1/18 \times 10^{10}$	$1/07 \times 10^{10}$	$9/66 \times 10^9$	$8/62 \times 10^9$	GM	شاخص‌ها
۶۷/۰۰	۵۳/۴	۴۶/۸	۳۸/۷	۲۸/۳	NLOSS	
۶۱۸۵	۵۸۲۶	۵۲۴۳	۴۶۵۹	۴۰۷۶	WLOSS	
۸/۵	۸/۹	۸/۸	۸/۶	۸/۳	PLOSS	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

## بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

نمودار (۲) بهبود در شاخص‌های زیست‌محیطی (WL، NL و PL) برای ۵ سناریوی مختلف (زمانی که 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 صورتی که برای اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی اهمیت یکسانی در نظر گرفته شود، کاهش تنها ۴ 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 ۴/۵ میلیون متر مکعب آب است. این مقدار آب بایستی به‌منظور حرکت در راستای پایداری کشاورزی منطقه در سفره‌ی آب منطقه ذخیره گردد. هم‌چنین، در این شرایط بهبود قابل توجه ۸۱ درصدی در شاخص نیتروژن ازدست‌رفته و بهبود ۵/۴ 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 مسأله‌ی کشمکش بهبودهای بیش‌تری در تمامی شاخص‌های زیست‌محیطی مورد انتظار است.



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

## نتیجه گیری و پیشنهادات

تلفیق مدل بیوفیزیک EPIC با یک مدل برنامه ریزی خطی و هم‌چنین استفاده از تئوری بازی‌ها امکان بررسی هم‌زمان منافع اقتصادی زارعان و پارامترهای زیست‌محیطی را در این مطالعه فراهم آورد. بررسی پایداری کشاورزی در منطقه‌ی کامفیروز نشان داد که هرچند منافع اقتصادی زارعان در الگوی زراعی موجود در منطقه نسبتاً بالا است، اما از پایداری برخوردار نیست و شاخص‌های زیست‌محیطی الگوی زراعی فعلی وضعیت مناسبی را نشان نمی‌دهد. بنابراین دو هدف متناقض برای بازی در نظر گرفته شد: بازده برنامه‌ی به‌عنوان هدف اقتصادی و نیتروژن ازدست‌رفته به‌عنوان هدف زیست‌محیطی. مدل شبیه‌سازی بیوفیزیک EPIC داده‌های مورد نیاز تحلیل اقتصادی رفتار زارعان را فراهم کرد. هم‌چنین این مدل با محاسبه‌ی شاخص‌های زیست‌محیطی برای الگوی زراعی نشان داد که به‌علت به‌کارگیری سیستم‌های زراعی نامناسب آلودگی شیمیایی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و هم‌چنین آب تلف‌شده در این منطقه بالا است.

با حل مسأله‌ی کشمکش با استفاده از مجموعه وزن‌های مختلف به اهداف اقتصادی 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 با به‌کارگیری سیاست‌های مناسب می‌توان کشاورزی منطقه را به سمت پایداری هدایت کرد. مدیریت تقاضای آب، کاهش یارانه‌ی کودهای شیمیایی و تشویق زارعان به حفاظت از محیط زیست کشاورزی با ارائه‌ی دانش مربوط به آن‌ها می‌تواند مثال‌هایی از این گونه سیاست‌ها باشند. به‌نظر می‌رسد که به‌منظور حفاظت و حراست از محیط زیست و منابع کشاورزی و پایداری سیستم‌های کشاورزی تغییر در دیدگاه زارعان با فراهم آوردن دانش مربوط برای آنان ضروری است. این مطالعه نشان داد که مدیریت پایدار سیستم‌های کشاورزی با به‌کارگیری مجموعه‌ی عملیات زراعی مناسب به‌راحتی امکان‌پذیر است.

مدل بیواقتصادی پیشنهاد شده ابزار ارزشمندی را برای تجزیه و تحلیل‌های کشاورزی زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. هرچند که مدل پیش‌نهاد شده استراتژی‌های مختلف آبیاری را



## بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف ...

به همراه 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 به راحتی 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*، ۵۴: ۴۹۶-۱۷۹.
- بریم‌نژاد، و. و صدرالاشرفی، س.م. (۱۳۸۴). مدل‌بندی پایداری در منابع آب با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. *علوم کشاورزی*، ۱۱(۴): ۴۸-۱.
- صباحی، م.، سلطانی، غ. و زیبایی، م. (۱۳۸۶). ارزیابی راه‌کارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی: مطالعه‌ی موردی دشت نریمان در استان خراسان. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۱(۱(ب)): ۴۸۴-۴۷۵.
- قیصری، م.م.، هودچی، م.، نجفی، پ. و عبداللهی، آ. (۱۳۸۶). بررسی آلودگی نیتراتی آب زیرزمینی ناحیه‌ی جنوب شرقی شهر اصفهان. *محیط‌شناسی*، ۳۳(۴۲): ۵۰-۴۳.
- 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*، ۶۲: ۴۹۶-۱۷۹.
- منصوری، ه. و کهنسال، م.ر. (۱۳۸۶). تعیین الگوی بهینه‌ی کشت زراعی بر اساس دو دیدگاه اقتصادی و زیست‌محیطی. *اقتصاد و کشاورزی*، ویژه‌نامه‌ی ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، ۱(۳): ۴۰-۱۳.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and

- 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., Izaurrealde, 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.

- 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., Zeepongsekul, 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.

- 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.

