اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال بیست و چهارم، شمارهٔ ۹۳، بهار ۱۳۹۵

مدیریت مصرف آب و کود با رویکرد اقتصادی–زیست محیطی
(مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی درودزن)

آذر شیخ زین الدین[۱]، عبدالکریم اسماعیلی[۲]، منصور زیبایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۲

چکیده

تصور افزایش عملکرد ناشی از مصرف هرچه بیشتر آب و کود شیمیایی سبب استفادهٔ بی‌رویه از این منابع وخسارت‌های مالی، تشدید عدم تعادل عناصر غذایی در خاک، وآلودگی خاک و آب شده است. به منظور مدیریت صحیح استفاده از آب و کود نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از آثار اقتصادی و زیست‌محیطی روش‌های مدیریتی متفاوت است. از این رو، با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWAT آثار اقتصادی و زیست‌محیطی هر یک از راهبردهای مدیریتی شبیه‌سازی شد، سپس با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی به تعیین الگوی کشت بهینه با توجه به محدودیت‌های کمی و محدودیت‌های زیست‌محیطی در اراضی کشاورزی

۱. دانشجوی دکتری اقتصادکشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (نویسندهٔ مسئول)
e-mail: azeinoddin@yahoo.com
۲. استاد اقتصادکشاورزی، دانشگاه شیراز e-mail: esmaeili68@yahoo.com
۳. ستاد اقتصادکشاورزی، دانشگاه شیراز e-mail: zibaei@shirazu.ac.ir

شبکه آبیاری و زهکشی درودزن پرداخته شد. بر اساس یافته‌های این مطالعه، امکان بهبود منافع اقتصادی و زیست‌محیطی با حرکت از وضع موجود به الگوی اقتصادی و یا اقتصادی-زیست‌محیطی وجود دارد. همچنین با حرکت از الگوی اقتصادی به اقتصادی-زیست محیطی، کاهش ۰/۳۱ درصدی منافع اقتصادی منجر به بهبود ۶/۵۸ درصدی تلفات نیتروژن می‌شود؛ به عبارت دیگر، به طور متوسط برای کاهش هر کیلوگرم نیتروژن رهاسازی شده در طبیعت، هزینه‌ای معادل ۶۴/۵ هزار ریال‌متحمل می‌شویم.

طبقه‌بندی JEL: C61، Q53، Q57

کلیدواژه‌ها:

الگوی اقتصادی-زیست‌محیطی، آب، کود، تلفات نیتروژن، استان فارس، درودزن

مقدمه

کودهای شیمیایی، که همگام با توسعه کشاورزی روز به روز بر مصرفشان آن افزوده می‌شود، از آلاینده‌های مهم می‌باشند. کودها بخش جدانشدنی کشاورزی به حساب آمده و محصولات کشاورزی وابستگی شدیدی به آن پیدا کرده‌اند. هم‌زمان با افزایش تولید، مشکلاتی نیز در رابطه با مصرف این نهاده‌ها ایجاد شده است که آلودگی آب‌های زیرزمینی و غنی‌سازی تالاب‌ها و رودخانه‌ها از آن جمله است. کودهای شیمیایی در آب حل شده و قادرند به سادگی به منابع آب راه پیدا کنند. این کودها در اثر آب‌شویی از دسترس ریشه خارج شده و می‌توانند به آب‌های زیرزمینی برسند. بسته به شرایط محیطی، بین ۳۵ تا ۷۰ درصد از کودهای شیمیایی مورد استفاده گیاهان بوده و مابقی تحت فرایند آب‌شویی قرار می‌گیرند. یکی از مهم‌ترین مشکلات ناشی از مصرف کودها وجود مقادیر قابل توجهی نیترات در آب‌های زیرزمینی است (جبلی، ۱۳۸۰).

کشاورزی، به عنوان یکی از منابع غیرنقطه‌ای، نقش مهمی در کیفیت محیط زیست ایفا می‌کند. تلفات و نشت مواد مغذی نیتروژن و فسفر از مزارع کشاورزی به آب‌های سطحی کیفیت آب را تنزل داده و منجر به خسارات زیست‌محیطی شده است (لورنز و همکاران، ۱۹۹۷؛ گلسبای و همکاران، ۲۰۰۱). با این حال، مدیریت نیتروژن و فسفر به دلیل تغییرات آب و هوایی، تنوع فضایی توپوگرافی و روابط قوی برای فعالیت‌های بشری و ... بسیار پیچیده می‌باشد. همچنین آبیاری می‌تواند باعث شستشوی کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها شده و در نتیجه در محیط‌زیست تأثیر بگذارد. برای این منظور، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی می‌تواند مفید باشد. مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز یکی از مهم‌ترین روش‌های استفاده بهینه از منابع آب و خاک می‌باشد. برای این کار نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از روش‌های مدیریتی و اجرایی متفاوت است. متخصصین علم آبخیزداری، هیدرولوژیست‌ها و محققین منابع آب راه‌حل‌های مختلفی مانند فرمول‌های تجربی و مدل‌های ریاضی و کامپیوتری عرضه کرده‌اند که تاکنون هیچ یک نتوانسته‌اند راه‌حل مطلوبی ارائه دهند. عقیده بر این است که شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوضه‌های آبخیز می‌تواند راه‌حل‌های بهینه‌ای برای آن‌ها باشد. مدل‌های هیدرولوژی حوضه آبریز به دسته‌های مختلفی اعم از مدل‌های تجربی[1] در برابر فیزیکی[2]، مدل‌های رویدادگرا[3] در برابر پیوسته[4] و مدل‌های یکپارچه[5] در مقابل پارامتر توزیعی[6] طبقه‌بندی می‌شوند (جادی‌یانگکون و همکاران، ۲۰۰۱). شبیه‌سازی بهتر فرایندهای هیدرولوژیکی مستلزم این امر است که داده‌های ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی بتوانند به خوبی شرایط واقعی حوضه آبریز را بیان کنند. این امر ضرورت استفاده از مدل‌هایی را که برخی از پارامترهای خود را با پردازش لایه‌های اطلاعاتی GIS بدست می‌آورند، روشن

1. Empirical
2. Physical
3. Event Base
4. Continues
5. Lumped
6. Distributed

می‌سازد. از میان انواع مدل‌های شبیه‌سازی مدل SWAT[1] به دلیل توانایی آن برای پیش‌بینی تأثیر شیوه‌های مدیریتی اراضی روی آب و خاک در حوضه‌های بزرگ و پیچیده انتخاب شد (آرنولدوهمکاران، ۱۹۹۸؛نیتچ وهمکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این، مدل SWAT می‌تواند مقدار آب،کیفیت آب و رشد محصول را به طور هم زمان شبیه‌سازی نماید.

تعیین الگوی بهینه کشت یکی از ابزارهای مؤثر در بهبود کیفیت آب معرفی شده است. با بررسی مطالعات صورت گرفته به منظور تعیین الگوی بهینه کشت در داخل کشور آشکار می‌شود که اکثر آن‌ها با توجه به محدودیت منابع (به ویژه محدودیت در منابع آب) و بدون توجه به مسائل زیست‌محیطی، الگوی بهینه کشت را تعیین نموده‌اند. از جمله می‌توان به مطالعات صالح و همکاران، ۱۳۸۶؛ صبوحی و سلطانی، ۱۳۸۷؛ محمدی و بوستانی، ۱۳۸۸؛ لطیف‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ محسن‌پور و زیبایی، ۱۳۸۹؛ مجیدی و همکاران، ۱۳۹۰و سخدری و صبوحی، ۱۳۹۱ اشاره کرد. تنها در مطالعه شوشتریان و همکاران (۱۳۸۹) با کاربرد مدل‌های زیست فیزیکی و همچنین مدل‌های اقتصادی به ارزیابی سیاست‌ها در سطح مزرعه پرداخته شده است. در این مطالعه مدل شبیه‌سازی WinEPIC، با یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای نشان دادن رفتار اقتصادی زارعان و تئوری بازی‌ها با هم ترکیب شد. نتایج این مطالعه نشان داد که با به کارگیری سیستم‌های عملیات زراعی مناسب می‌توان سیستم‌های کشاورزی را به گونه‌ای در جهت پایداری مدیریت کرد که منابع برای استفاده در آینده حفظ شود.

همچنین نتایج حاصل از بررسی وضعیت آب رودخانه کر حاکی از آن است که کیفیت آب رودخانه کر در محدوده پایین‌دست پتروشیمی تا حوالی بند امیر نامطلوب می‌باشد که علت آن تراکم مراکز صنعتی از جمله مجتمع پتروشیمی، مجتمع گوشت، کارخانه چرمینه و اراضی کشاورزی حاشیه رودخانه، زهکش‌های کشاورزی شبکه آبیاری و زهکشی زیردست سد درودزن نظیر کوه سبز و آهوچر است که در این محدوده در رودخانه تخلیه می‌شوند (رزمخواه و نیاورانی، ۱۳۸۷). به‌علاوه، رعایت نکردن حریم رودخانه، احداث مزارع

1. Soil and Water Assessment Tool

کشاورزی در کنار رودخانه، وسعت زمین‌های کشاورزی و استفاده بی‌رویه از انواع کودهای نیتراته از مهم‌ترین مسائل اثرگذار بر روی آلودگی آب رودخانه کر می‌باشند که منجر به روند افزایشی آلودگی رودخانه کر گردیده‌اند (استوان، ۱۳۸۸؛ شیردره و منصوری، ۱۳۸۸؛ جداری عیوضی و همکاران، ۱۳۸۹).

مطالعات متعددی به منظور کنترل آلودگی غیرنقطه‌ای از رویه مدل‌سازی زیست اقتصادی استفاده نموده‌اند که در آن مدل‌های بیوفیزیکی و اقتصادی را به تناسب پیچیدگی روابط بین کشاورزی و محیط‌زیست ترکیب کرده‌اند (مانند: دیب، ۱۹۹۴؛ بوزاهر و همکاران، ۱۹۹۵؛ تیگ و همکاران، ۱۹۹۵؛ دالتون و مسترز،۱۹۹۷؛ سمان و همکاران، ۲۰۰۸؛ وی و همکاران، ۲۰۰۹؛ درادی و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعه حاضر، ترکیبی از مدل بیوفیزیکی (SWAT) و یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی در سطح منطقه برای تولید یک مدل زیست اقتصادی استفاده شد. برای این منظور، در مرحله اول با استفاده از مدل شبیه‌سازی بیوفیزیکی که رشد محصول را در تعامل با آب و هوا، ویژگی‌های خاک و شیوه‌های کشاورزی (آبیاری، کوددهی و ...) بررسی می‌کند، عملکرد محصول، فرسایش خاک و تلفات نیتروژن برای استراتژی‌های مختلف شبیه‌سازی شد. در مرحله دوم، از خروجی مدل بیوفیزیکی (یعنی عملکرد محصول، تلفات نیتروژن و فرسایش خاک) به عنوان ورودی مدل اقتصادی به همراه سایر اطلاعات اقتصادی از جمله قیمت و هزینه عوامل تولید (مانند آب، نیروی‌کار، کود شیمیایی، آفت کش‌ها و ...) استفاده شد. برای هر سناریو، مدل اقتصادی درآمد و توزیع محصول را با توجه به استراتژی‌های آبیاری و کوددهی ایجاد می‌کند. بر اساس الگوی کشت انتخاب شده، میزان تلفات نیتروژن به‌دست خواهد آمد. درآمد خالص کشاورز متغیر اقتصادی است که بایستی حداکثر شود، در حالی که تلفات نیتروژن و فرسایش خاک به عنوان یک متغیر نماینده برای تعیین اثرات کشاورزی بر محیط‌زیست انتخاب شده است.

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شبکه آبیاری و زهکشی درودزن می‌باشد. این شبکه در ۵۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان شیراز و در قسمت شمالی دشت رودخانه کر و غرب

شهرستان مرودشت واقع شده است. دشت رودخانه کر با شیب ملایم شمال غربی-جنوب شرقی بین سد درودزن تا جاده اصلی شیراز مرودشت امتداد یافته و رودخانه کر تقریباً از مرکز آن عبور می‌نماید. این منطقه شامل شش ناحیه عمرانی می‌باشد که مطالعه حاضر در ۵ ناحیه از این شش ناحیه (واحد عمرانی یک، دو، سه، چهار و شش) انجام شده است. مساحت کل این محدوده حدود ۶۹ هزار هکتار می‌باشد که از این مقدار بیش از ۵۴ هزار هکتار زراعی است. حجم آب تحویلی از سد درودزن در این منطقه در یک سال زراعی نرمال حدود ۲۱۳ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که به کشت گندم و جو اختصاص داده می‌شود. همچنین متوسط مقدار برداشت آب از چاه‌ها حدود ۲۲۸/۵۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، ۱۳۹۲).

بنابراین مطالعه حاضر به دنبال در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی در سطح حوضه و ارائه استراتژی‌های مدیریتی به منظور بهبود شاخص‌های محیط‌زیستی در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی به عنوان بخشی از حوضه آبریز طشک-بختگان با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی می‌باشد.

مبانی نظری و روش تحقیق

مدل بیوفیزیکی SWAT

مدل SWAT یک مدل جامع و کامل در مقیاس حوضه می‌باشد که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا برای پیش‌بینی اثرات شیوه‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است (نیتچ و همکاران، ۲۰۰۲). به منظور استفاده از این مدل، نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی، خاک و نقشه حوضه آبریز طشک-بختگان مورد نیاز می‌باشد. همچنین داده‌های هواشناسی شامل، بارندگی، حداقل و حداکثر درجه حرارت، رطوبت نسبی، باد و تابش خورشیدی به صورت روزانه برای ۳۰

ایستگاه از سایت اطلاعات آب و هوایی جهانی[1] برای SWAT و سازمان هواشناسی برای دوره آماری ۱۹۷۹ -۲۰۱۰ جمع‌آوری شد. از سوی دیگر آمار مربوط به مدیریت کشاورزی (شامل تاریخ کاشت، تاریخ و میزان آبیاری و کود مصرفی، تاریخ برداشت، عملیات خاکورزی و ...) در منطقه مورد مطالعه از طریق تکمیل پرسش نامه در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در اراضی کشاورزی زیر سد درودزن جمع‌آوری شد. همچنین اطلاعات مربوط به موقعیت سد درودزن و دبی خروجی ماهانه و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری از سازمان آب منطقه‌ای استان فارس به دست آمد. همچنین اطلاعات مربوط به غلظت نیترات در ایستگاه پل‌خان از سازمان حفاظت محیط‌زیست جمع‌آوری شد.

در این مطالعه بعد از کالیبره کردن مدل SWAT، با اعمال استراتژی‌های کم آبیاری (کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی آب مورد نیاز گیاه در تمام مراحل رشد و همچنین کاهش ۱۰ درصدی تا حذف کامل آبیاری در مراحل رشد غیرحساس به کم آبیاری) و کوددهی (کاهش ۱۰ تا ۷۰ درصدی کود اوره مصرفی) و تلفیق این دو استراتژی، به بررسی اثرات این استراتژی‌ها بر عملکرد، فرسایش خاک و تلفات نیتروژن در محدوده اراضی شبکه آبیاری و زهکشی درودزن پرداخته شد.

مدل اقتصادی

تابع هدف حداکثرسازی سود اقتصادی زارعان GM است که به صورت زیر نشان داده شده است:

$$\text{Max: } GM^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} (TR_i^{\pm} - TC_i^{\pm}) X_i^{\pm} \quad , \quad i = 1, 2, \ldots, m = 340 \qquad (۱)$$

در این رابطه، i نشان دهنده ۳۴۰ استراتژی مدیریتی اعمال شده برای محصولات گندم، جو، ذرت و برنج می‌باشد که شامل ۹۶ عملیات مدیریتی کشت گندم، ۷۲ عملیات مدیریتی کشت جو، ۸۸ عملیات مدیریتی کشت ذرت و ۸۴ عملیات مدیریتی کشت برنج است (جدول

1. Global Weather data for SWAT

۱). با اعمال این استراتژی‌ها در مدل SWAT، خروجی مدل شامل شبیه‌سازی عملکرد، فرسایش خاک و آب‌شویی نیترات برای هر یک از این استراتژی‌ها می‌باشد. همچنین X_i سطح زیرکشت هر یک از عملیات مدیریتی کشاورزی برحسب هکتار می‌باشد. درآمد کل (TR_i) حاصل هریک از عملیات مدیریتی کشاورزی است که براساس عملکرد مدل SWAT (برحسب تن در هکتار) در قیمت محصول مورد نظر (بر حسب ریال تن) به‌دست می‌آید. همچنین هزینه تولید برای هر یک از عملیات مدیریتی کشاورزی TC_i می‌باشد که با تغییر در میزان آب و کود مصرفی تغییر خواهد کرد.

جدول ۱. استراتژی‌های مدیریتی شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل SWAT

استراتژی		توضیحات
استراتژی‌های کم آبیاری	۱۰ درصد کم آبیاری در تمام مراحل رشد	۵۰ درصد کم‌آبیاری در مراحل‌رشد غیرحساس به کم‌آبیاری
	۲۰ درصد کم‌آبیاری در تمام مراحل رشد	۶۰ درصد کم‌آبیاری در مراحل‌رشد غیرحساس به کم‌آبیاری
	۳۰ درصد کم‌آبیاری در تمام مراحل رشد	۷۰ درصد کم‌آبیاری در مراحل‌رشد غیرحساس به کم‌آبیاری
	۱۰ درصد کم‌آبیاری در مراحل رشد غیرحساس به کم آبیاری	۸۰ درصد کم‌آبیاری در مراحل رشد غیرحساس به کمآبیاری
	۲۰ درصد کم‌آبیاری در مراحل رشد غیرحساس به کم آبیاری	۹۰ درصد کم‌آبیاری در مراحل‌رشد غیرحساس به کم‌آبیاری
	۳۰ درصد کم‌آبیاری در مراحل رشد غیرحساس به کم آبیاری	حذف آبیاری در مراحل رشد غیرحساس به کم آبیاری
	۴۰ درصد کم‌آبیاری در مراحل رشد غیرحساس به کم آبیاری	
استراتژی‌های کوددهی	۱۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	۵۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن
	۲۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	۶۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن
	۳۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	۷۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن
	۴۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	
تلفیق استراتژی‌های آبیاری و کوددهی		

همانند تمامی مدل‌های بهینه سازی، محدودیت منابع آبی (آب سد و چاه)، نیروی‌کار، سرمایه و زمین در مدل لحاظ گردید. علاوه بر این محدودیت‌ها، محدودیت‌های زیست-محیطی شامل فرسایش خاک و تلفات نیتروژن نیز در نظر گرفته شد. این محدودیت‌ها به شرح زیر می‌باشند:

$$\sum_{i=1}^{m} W_i \; X_i \; \leq WA_j \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_i \; \leq K \qquad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{m} Capital_i \; X_i \; \leq CA, \quad \forall t \qquad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{m} \mathrm{Labor_i} \; X_i \; \leq \mathrm{LA}, \quad \forall t \qquad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{m} SE_i \; X_i \; \leq \alpha K \qquad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{m} NL_i \; X_i \; \leq \beta K \qquad (۷)$$

W_i مقدار آب آبیاری مورد استفاده به وسیله محصول iام (مترمکعب /هکتار) و WA حداکثر مقدار آب در دسترس (مترمکعب در سال) می‌باشد. این محدودیت به صورت دو محدودیت مقدار آب در دسترس از مخزن و چاه وارد مدل شد؛ به عبارت دیگر، از آنجا که محصولات شتوی غالباً از طریق آب مخزن و محصولات صیفی با استفاده از آب چاه آبیاری می‌شوند از این رو، با توجه به میزان دسترسی به هریک از این منابع، دو محدودیت برای آب در نظر گرفته شد. K کل ناحیه قابل کشت (هکتار)، $Capital_i$ سرمایه مورد نیاز برای کشت محصول iام (هزار ریال در هکتار)،CA مقدار سرمایه در دسترس برای کشت (هزار ریال/هکتار)، $Labor_i$ نیروی‌کار مورد نیاز برای کشت محصول iام (نفر روز در هکتار) و LA مقدار نیروی کار در دسترس (نفر) می‌باشد. همچنین محدودیت‌های ۶ و ۷ محدودیت‌های زیست‌محیطی می‌باشند که در آن SE_i فرسایش خاک زمین کشت شده برای محصول iام (تن

در هکتار)، α حداکثر مجاز تلفات خاک (تن در هکتار)، NL_i تلفات نیتروژن از زمین کشت شده برای محصول iام (کیلوگرم در هکتار) و β حداکثر تلفات مجاز نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. α و β بر اساس مطالعه ژو و کوین (۲۰۱۰) در نظر گرفته شده است.

در مرحله اول مدل برنامه‌ریزی خطی بدون لحاظ نمودن هرگونه محدودیت زیست‌محیطی حل شد تا عملیات مدیریتی کشاورزی حداکثرکننده سود مشخص شود. در مرحله بعد، پارامتر زیست محیطی تلفات نیتروژن و فرسایش خاک مربوط به هر یک از عملیات مدیریتی کشاورزی به عنوان محدودیت وارد مدل شد (Xu and Qin, 2010).

شاخص هزینهٔ مؤثر[1]

شاخص هزینهٔ مؤثر بیانگر هزینه صرف شده برای کاهش یک کیلوگرم تلفات نیتروژن می‌باشد. با استفاده از این شاخص محاسبه میزان کاهش در منافع اقتصادی به منظور کاهش تلفات نیتروژن میسر می‌شود. به منظور محاسبه شاخص هزینه مؤثر از رابطه ۸ استفاده شد:

$$CE = \frac{B_1 - B_2}{NL_1 - NL_2} \qquad (۸)$$

که در این رابطه B_1 سود خالص (ریال) در وضعیت اول و B_2 سود خالص در وضعیت جدید بر اثر اعمال سیاست‌های مدیریتی جدید می‌باشد. همچنین NL_1 تلفات نیتروژن (کیلوگرم) در وضعیت اول و NL_2 تلفات نیتروژن در وضعیت جدید می‌باشد (Pena-Haro et al., 2014).

نتایج و بحث

در این مطالعه با استفاده از مدل SWAT، حوضه آبریز طشک-بختگان به ۱۳۳ زیرحوضه تقسیم شد. سپس این مدل با استفاده از الگوریتم SUFI2 در نرم‌افزار SWAT_CUP و داده‌های مشاهده شده رواناب ماهانه، عملکرد سالانه محصولات زراعی و نیترات ماهانه واسنجی و اعتبارسنجی شد. پارامترهایی که برای واسنجی مدل استفاده شدند بر

1- Cost-effectiveness

اساس مطالعات عباسپور و همکاران (۲۰۰۷)، شول و همکاران (۲۰۰۸)، اخوان و همکاران (۲۰۱۰) انتخاب شدند. واسنجی مدل در دوره آماری ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۲ و اعتبارسنجی مدل در دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ در دو ایستگاه هیدرومتری چمریز و پل‌خان برای جریان سطحی و ایستگاه پل‌خان برای نیترات انجام شد. همچنین داده‌های دوره ۱۹۷۹ -۱۹۸۳ به عنوان داده‌های اولیه[1] برای مدل معرفی شدند. نتایج حاصل از واسنجی مدل برای جریان سطحی و نیترات در ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. ضرایب آماری حاصل از واسنجی هیدرولوژی و تلفات نیترات در حوضه طشک-بختگان

	نام ایستگاه		P-factor	R-factor	R^2	NS	bR^2
جریان سطحی	چمریز	واسنجی	۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۵۷
		اعتبارسنجی	۰/۳۸	۰/۳	۰/۷	۰/۶۹	۰/۵۶
	پل خان	واسنجی	۰/۶۴	۰/۹۹	۰/۵۴	۰/۴۵	۰/۳۵۵
		اعتبارسنجی	۰/۵۷	۰/۸۹	۰/۵۲	۰/۴۳	۰/۳۴
نیترات	پل خان	واسنجی	۰/۵۹	۰/۰۸	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۵۲

منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول ۳، وضع موجود منطقه گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بخش قابل توجهی از اراضی زیرکشت در این منطقه، یعنی حدود ۹۴ درصد، به کشت گندم و جو به عنوان محصولات شتوی و حدود ۹۳ درصد کشت صیفی به کشت ذرت و برنج اختصاص داده شده است. لازم به ذکر است از آنجا که مدل بیوفیزیکی برای این چهار محصول کالیبره شده است، قادر به برآورد شاخص‌های زیست‌محیطی مربوط به سایر محصولات نبوده و با توجه به اینکه سهم سطح زیر کشت سایر محصولات نسبت به چهار محصول اصلی ناچیز می‌باشد، اثرات این محصولات در نظر گرفته نشده است.

1. Warm up

جدول۳. ترکیب بهینه کشت در سال زراعی نرمال

محصول	سطح زیر کشت	آب مصرفی	کود اوره	تلفات نیترات	فرسایش خاک	سود
	هکتار	مترمکعب در هکتار	کیلوگرم در هکتار	کیلوگرم در هکتار	تن در هکتار	هزار ریال در هکتار
وضع موجود						
گندم	۳۵۰۶۷	۱۰۰۰۰	۵۵۰	۴۵/۰۵	۰/۹۷۱	۲۹۶۲۴/۶
جو	۴۲۸۳	۸۵۰۰	۲۵۰	۱۱/۱۷	۰/۶۴	۱۵۳۷۲/۲
ذرت	۴۷۴۲	۲۰۰۰۰	۸۰۰	۱۰۴/۳۶	۰/۵۵	۴۳۴۵۶/۳
برنج	۲۲۶۵	۲۸۵۰۰	۳۰۰	۳۷/۰۹	۰/۱۴۵	۶۴۰۲۳/۳
مجموع	۴۶۳۵۷	۵۴۶/۴۷	۲۴۸۳۰/۷	۲۲۰۶/۶۲	۴۰۵۶۹/۳	۱۴۵۵/۷۷
(واحد)	(هکتار)	(میلیون مترمکعب)	(تن)	(تن)	(تن)	(میلیارد ریال)
ترکیب بهینه کشت در الگوی اقتصادی						
گندم ۲۸	۳۸۷۲۹/۵۵	۸۷۵۰	۳۸۵	۲۰/۶۹	۰/۵۸۸	۲۸۸۴۷/۰۸۴
ذرت ۵	۴۸۳۲/۲۲	۲۰۰۰۰	۴۸۰	۴۴/۸۳	۰/۴۶۸	۴۴۰۱۵/۱۵
برنج۱۶	۲۷۳۴/۹	۲۲۸۰۰	۲۱۰	۲۳/۶۳	۰/۱۳۳	۶۷۶۹۹/۵۵۶
مجموع	۴۶۲۹۶/۷	۴۹۷/۸۸	۱۷۸۰۴/۶۷	۱۰۸۲/۵۶	۲۵۳۹۵/۴۶	۱۴۸۷/۴
(واحد)	(هکتار)	(میلیون‌متر مکعب)	(تن)	(تن)	(تن)	(میلیارد ریال)
ترکیب بهینه کشت در الگوی اقتصادی-زیست‌محیطی						
گندم ۲۸	۳۸۷۲۹/۵۵	۸۷۵۰	۳۸۵	۲۰/۶۹	۰/۵۸۸	۲۸۸۴۷/۰۸۴
ذرت ۵	۴۷۳/۹۵۵	۲۰۰۰۰	۴۸۰	۴۴/۸۳	۰/۴۶۸	۴۴۰۱۵/۱۵
ذرت ۶	۴۲۲۵/۱۳	۲۰۰۰۰	۴۰۰	۳۲/۳۹	۰/۵۶۵	۴۲۶۳۹/۷۴
برنج ۱۷	۲۸۵۱/۶۷	۲۲۸۰۰	۱۸۰	۱۸/۱۹	۰/۱۳۳	۶۷۴۲۲/۶۹
مجموع	۴۶۲۸۰/۳۱	۴۹۷/۸۸	۱۷۳۴۱/۷	۱۰۱۱/۲۸	۲۵۷۶۱/۲۶	۱۴۸۲/۸
(واحد)	(هکتار)	(میلیون‌متر مکعب)	(تن)	(تن)	(تن)	(میلیارد ریال)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

گندم ۲۸: ۳۰ درصد کم آبیاری در تمام مراحل رشد و ۳۰ درصد کاهش مصرف کود

ذرت ۵: آبیاری کامل و ۴۰ درصد کاهش مصرف کود

ذرت ۶: آبیاری کامل و ۵۰ درصد کاهش مصرف کود

برنج ۱۶: ۲۰ درصد کم آبیاری در تمام مراحل رشد و ۳۰ درصد کاهش مصرف کود

برنج ۱۷: ۲۰ درصد کم آبیاری در تمام مراحل رشد و ۴۰ درصد کاهش مصرف کود

در جدول ۳، سطح زیر کشت، میزان آب و کود مصرفی و همچنین تلفات نیتروژن و فرسایش خاک در وضع موجود و همچنین نتایج حاصل از الگوی بهینه کشت اقتصادی نیز ارائه شده است. برای دستیابی به بهینه اقتصادی سود خالص با توجه به محدودیت‌های آب، سرمایه، نیروی‌کار و زمین حداکثر شده است. در شرایط حداکثرسازی سود خالص با توجه به محدودیت‌ها الگوی کشت به سمت کشت محصولات با مصرف آب کمتر سوق پیدا کرده به گونه‌ای که میزان آب مصرفی برای گندم از ۱۰۰۰۰ مترمکعب به ۸۷۵۰ مترمکعب در هکتار کاهش یافته است. همچنین محصول جو نیز به دلیل داشتن منافع اقتصادی پایین از الگوی کشت حذف شده است. به‌علاوه، در گندم انتخاب شده مصرف کود اوره نسبت به وضع موجود از ۵۵۰ کیلوگرم به ۳۸۵ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته است که این امر منجر به کاهش هزینه‌های تولید شده است. لازم به ذکر است که تغییر در سود ناشی از تغییر در عملکرد و تغییر در میزان آب و کود مصرفی می‌باشد. در شرایط بهینه اقتصادی، میزان آب مصرفی در تولید ذرت تغییری نیافته ولی مصرف کود نیتروژنه از ۸۰۰ به ۴۸۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته که این امر منجر به کاهش عملکرد و هزینه‌های تولید شده امادر نهایت سود در واحد سطح افزایش یافته است. همچنین در مدل بهینه اقتصادی، تولید برنج و مصرف آب و کود اوره کاهش یافته اما این امر منجر به افزایش سود در واحد سطح شده است.

در جدول ۳، میزان تلفات نیتروژن و فرسایش خاک در واحد سطح نیز گزارش شده است. با مقایسه مقادیر این دو شاخص مشاهده می‌شود که با کاهش مصرف آب و یا کود و یا کاهش هر دو، میزان تلفات نیتروژن کاهش می‌یابد. در مورد میزان فرسایش خاک از آنجا که در مدل بیوفیزیکی میزان رواناب از مزارع کشاورزی صفر در نظر گرفته شده است(به دلیل

بسته بودن مزارع)، از این رو مقدار فرسایش خاک ناچیز بوده و از حداکثر مقادیر مجاز بسیار کمتر می‌باشد.

در مرحله نهایی، محدودیت‌های زیست‌محیطی (حداکثر تلفات مجاز نیتروژن و فرسایش خاک) به محدودیت‌های کمی اضافه شده است. از آنجا که در داخل کشور استانداردی برای این شاخص‌ها تعریف نشده است، با استفاده از مطالعات خارجی مقدار مجاز این پارامترها به‌دست آمد. در مطالعه نی و همکاران (Nie et al., 2008) حداکثر مقدار مجاز تلفات نیتروژن ۳۸ کیلوگرم در هکتار و حداکثر مقدار مجاز فرسایش خاک ۳/۹۲ تن در هکتار گزارش شده است. در این مطالعه نیز با توجه به این مقادیر محدودیت‌های زیست-محیطی در مدل لحاظ شدند. نتایج حاصل از الگوی بهینه کشت از نظر اقتصادی-زیستی در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با اعمال محدودیت‌های زیست-محیطی تغییری در سطح زیر کشت گندم و استفاده از نهاده‌های آب و کود برای تولید این محصول ایجاد نمی‌شود که دلیل آن سودآوری بالا و آثار زیست‌محیطی پایین این محصول می‌باشد. اما در مورد ذرت مصرف کود اوره از ۴۸۰ به ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته است. همین امر منجر به کاهش تلفات نیتروژن از ۴۴/۸۳ به ۳۲/۳۹ کیلوگرم در هکتار شده است که از نظر زیست‌محیطی مطلوب می‌باشد.

اعمال محدودیت‌های زیست‌محیطی همچنین منجر به کاهش مصرف کود در تولید برنج و کاهش مصرف کود منجر به کاهش تلفات نیتروژن از ۲۳/۶۳ به ۱۸/۱۹ کیلوگرم در هکتار شده است. تغییرات اعمال شده در تولید برنج منجر به کاهش جزئی در میزان سود و همچنین کاهش تلفات نیتروژن در واحد سطح شده است، بنابراین از نظر زیست‌محیطی، این تغییرات مطلوب می‌باشد.

در جدول ۴، الگوهای مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در شرایط موجود، تراکم کشت معادل ۴۶۳۵۷ هکتار می‌باشد که از این میزان ۳۹۳۵۰ هکتار به محصولات شتوی و حدود ۷۰۰۰ هکتار به محصولات صیفی اختصاص یافته است. همچنین در این شرایط، حدود

۵۴۶/۴۷ میلیون مترمکعب نیاز آبی بوده که حدود ۳۸۷ میلیون مترمکعب آن از طریق مخزن و مابقی با برداشت از چاه‌ها تأمین می‌شود. کل کود اوره مصرفی در این شرایط۲۴۸۳۰/۷ تن و کل تلفات نیتروژن ۲۲۰۶/۶۲ تن می‌باشد. سود خالص به دست آمده در این وضعیت نیز معادل ۱۴۵۵/۷۷ میلیارد ریال است.

جدول ۴. مقایسهٔ وضعیت‌های مختلف

وضعیت	تراکم کشت	آب مصرفی	کود	کل تلفات نیتروژن	فرسایش خاک	سود خالص
	هکتار	میلیون متر مکعب	تن	تن	تن	میلیارد ریال
وضع موجود	۴۶۳۵۷	۵۴۶/۴۷	۲۴۸۳۰/۷	۲۲۰۶/۶۲	۴۰۵۶۹/۳	۱۴۵۵/۷۷
بهینه اقتصادی	۴۶۲۹۶/۷	۴۹۷/۸۸	۱۷۸۰۴/۶۷	۱۰۸۲/۵۶	۲۵۳۹۵/۴۶	۱۴۸۷/۴
بهینه اقتصادی-زیستی	۴۶۲۸۰/۳۱	۴۹۷/۸۸	۱۷۳۴۱/۷	۱۰۱۱/۲۸	۲۵۷۶۱/۲۶	۱۴۸۲/۸
وضع‌موجود-اقتصادی(درصد)	-۰/۱۳	-۸/۸۹	-۲۸/۳	-۵۰/۹۴	-۳۷/۴	۲/۱۷
وضع‌موجود-اقتصادی‌زیستی	-۰/۱۶	-۸/۸۹	-۳۰/۱۶	-۵۴/۱۷	-۳۶/۵	۱/۸۶
اقتصادی-اقتصادی زیستی	-۰/۰۴	۰	-۲/۶	-۶/۵۸	۱/۴۴	-۰/۳۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در الگوی بهینه اقتصادی و اقتصادی-زیستی، تراکم کشت نسبت به وضع موجود به ترتیب ۰/۱۳ و ۰/۱۶ درصد کاهش یافته و میزان آب و کود مصرفی، کل تلفات نیتروژن و فرسایش خاک به میزان قابل توجهی کاهش داشته اما در مقابل، سود خالص اندکی افزایش یافته است. کاهش تلفات نیتروژن به علت تغییر مصرف نهاده‌های آب و کود نیتروژنه در محصولات کشت شده می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که مدیریت مصرف کود و آب نه تنها منجر به بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی شده بلکه شاخص‌های اقتصادی را نیز بهبود می‌بخشد.

با مقایسه دو الگوی اقتصادی و اقتصادی-زیستی همچنین این نتیجه حاصل می‌گردد که در الگوی اقتصادی-زیستی مصرف کود اوره، تلفات نیتروژن و سود نسبت به الگوی اقتصادی کاهش یافته است. گرچه کاهش سود از منظر اقتصادی نامطلوب می‌باشد اما کاهش ۶/۵۸ درصدی تلفات نیتروژن از نظر زیست‌محیطی مطلوب می‌باشد؛ به عبارت دیگر، کاهش تنها ۰/۳۱درصدی منافع اقتصادی منجر به بهبود ۶/۵۸درصدی تلفات نیتروژن می‌شود. با محاسبه شاخص هزینه مؤثر مشخص گردید که به طور متوسط برای کاهش هر واحد تلفات نیتروژن (کیلوگرم) معادل ۲۳/ ۶۴۵۳۵ریال هزینه صرف می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که هم الگوی اقتصادی و هم الگوی اقتصادی-زیستی از منظر زیست‌محیطی بهتر از وضع موجود می‌باشند؛ به عبارت دیگر، با مدیریت صحیح مصرف آب و کود می‌توان منافع زیست‌محیطی و همچنین اقتصادی را بهبود بخشید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه به منظور مطالعه اثرات مدیریت مصرف آب و کود از یک مدل بیوفیزیکی (SWAT) استفاده شد. این مدل به دلیل توانایی آن در پیش‌بینی تأثیر شیوه‌های بزرگ و پیچیده (Arnold et al., 1998 & Neitsch et al., 2005) و همچنین شبیه‌سازی هم‌زمان مقدارآب،کیفیت آب و رشد محصول، انتخاب شد.سپس خروجی این مدل به عنوان ورودی مدل اقتصادی در نظر گرفته شد. در نهایت وضع موجود، الگوی بهینه اقتصادی و الگوی بهینه اقتصادی-زیستی تعیین و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که حرکت از وضع موجود به الگوی اقتصادی و یا الگوی اقتصادی-زیست محیطی منجر به بهبود منافع اقتصادی و محیط‌زیست می‌شود. به عبارت دیگر، نتایج مطالعه حاضر این مسئله را تأیید نمود که با مدیریت صحیح مصرف نهاده‌ها نه تنها می‌توان سود را بهبود بخشید، بلکه می‌توان زیان‌های زیست‌محیطی را کاهش داد. از این رو، با توجه به تصور افزایش عملکرد ناشی از مصرف هرچه بیشتر آب و کود شیمیایی که منجر به استفاده بی‌رویه از منابع آب و کود شده

است و همچنین عرضه نهاده‌های کشاورزی به ویژه آب و کودهای شیمیایی در قیمت‌های پایین، یکی از راه‌های مدیریت مصرف این نهاده‌ها، افزایش قیمت آن‌ها بوده به نحوی که نه تنها منجر به بهبود مصرف شده بلکه کاهش اثرات زیست‌محیطی را نیز به همراه داشته باشد.

الگوی اقتصادی-زیستی ارائه شده ابزاری ارزشمند برای تحلیل‌های کشاورزی زیست‌محیطی است. این مدل در یک محدوده بزرگ (حدود ۵۴۰۰۰ هکتاری) استفاده شده است، از این رو می‌توان از آن برای تحلیل‌های‌سیاستی در زمینه‌های‌کشاورزی و زیست‌محیطی استفاده کرد و ابزارهای سیاستی مناسب را به منظور دستیابی به اهداف متناقض وضع نمود.

بر اساس نتایج به‌دست آمده رابطه مبادله منفی میان شاخص اقتصادی (سود) و شاخص‌های زیست‌محیطی وجود دارد، بنابراین، بهبود در شاخص‌های مختلف اقتصادی و محیط زیستی از طریق یکی از دو روش ترغیب زارعان در جهت کاهش مصرف نهاده‌های کود نیتروژنه و آب (مانند پرداخت جبرانی به آنها) و یا جریمه زارعان در تخریب محیط‌زیست مانند اخذ مالیات از فعالیت‌های مضر زراعی امکان‌پذیر است. همچنین به‌کارگیری استراتژی‌های کم‌آبیاری و استفاده از سطوح بهینه مصرف کود نیتروژنه با توجه به نیاز گیاهی به‌طور اخص مهم است و باید به آن توجه بیشتری کرد.

منابع

استوان، ه. ۱۳۸۸ برآورد شاخص زیستی و کیفیت آب رودخانه در فصل پائیز با استفاده از فون حشرات آبزی. *فصلنامه گیاه پزشکی*، ۱(۱):۱ -۱۱.

جبلی،ج. ۱۳۸۰. راهکارهای کاهش اثرات سوء پساب های کشاورزی، همایش اثرات زیست محیطی پساب‌های کشاورزی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی.

جداری‌عیوضی، ج.، مقیمی، ا.، یمانی، م.، محمدی، ح. و عیسایی، ا. ر. ۱۳۸۹. تاثیر عوامل اکوژئومورفولوژیک بر کیفیت شیمیایی آب مطالعه موردی: رودخانه کر و دریاچه سد درودزن. *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۱(۳۷): ۱۷ -۳۲.

رزمخواه، ه. و نیاورانی، م. ا. ۱۳۸۷. تجزیه و تحلیل تاثیرات منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه کر با کاربرد شبیه‌سازی WASP. *مجله مهندسی آب*، سال ۱: ۴۳- ۵۲.

سخدری، ح. و صبوحی، م. ۱۳۹۱. کاربرد برنامه ریزی فرا آرمانی در تعیین الگوی بهینه کشت محصولات کشاورزی مطالعه موردی: شهرستان نیشابور. *اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲۶ (۳): ۱۵۰ -۱۵۸.

شوشتریان، آ.، زیبایی، م. و سلطانی، غ.ر. ۱۳۸۹. بررسی پایداری سیستم‌های زراعی با توجه به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی: مطالعه موردی در منطقه کامفیروز استان فارس. *اقتصاد کشاورزی*، ۴(۴): ۱ -۲۸.

شیردره، م. ر. و منصوری، م. ۱۳۸۸. بررسی آلودگی رودخانه کر در استان فارس در سال ۸۷ و مقایسه آن با تحقیقات انجام شده در سال ۸۳. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، ۹۸۷-۹۸۰.

صالح، ا.،پیکانی، غ. ر. و باقریان، ع. ۱۳۸۶. تعیین الگوی بهینه کشت و استخراج تقاضای هنجارین آب: مطالعه موردی شهرستان کازرون. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۱۵ (۶۰): ۷۱ -۸۰.

صبوحی، م. و سلطانی، غ. ر. ۱۳۸۷. بهینه سازی الگوهای کشت در سطح حوضه آبریز با تاکید بر منافع اجتماعی واردات آب مجازی: مطالعه موردی منطقه خراسان. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۲ (۴۳):۲۹۷ -۳۱۳.

لطیف‌زاده، ش.، مختاران، ر.، لطیف‌زاده، ل. و حمزه، س. ۱۳۸۹. تعیین الگوی کشت بهینه در راستای مدیریت مصرف آب کشاورزی در حوزه شبکه آبیاری عقیلی-گتوند. *فصلنامه مهندسی آب*، پیش شماره ۱: ۶۱ -۶۷.

مجیدی، ن.، علیزاده، ا. و قربانی، م. ۱۳۹۰. تعیین الگوی کشت بهینه همسو با مدیریت منابع آب دشت مشهد-چناران. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۵(۴):۷۷۶ -۷۸۵.

محسن‌پور، ر. و زیبایی، م. ۱۳۸۹. تعیین الگوی بهینه کشت در اراضی زیر سد درودزن با استفاده از برنامه ریزی غیرخطی و استراتژیهای کم آبیاری. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۱۸ (۷۱): ۱ -۲۲.

محمدی، ح. و بوستانی، ف. ۱۳۸۸. کاربرد برنامه ریزی چند هدفی در تعیین الگوی بهینه کشت در شهرستان مرودشت با تأکید بر محدودیت آب. *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱ (۳):۲ – ۴۵.

Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and Srinivasan, R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *J. Hydrol*, 333 (2-4):413-430.

Akhavan, S., Abedi-Koupai, J., Mousavi, S.F., Afyuni, M. Eslamian, S.S. and Abbaspour, K. 2010. Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamedan-Bahar Watershed, Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139: 675-688.

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. and Williams, J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resource Association*, 34 (1): 73-89.

Bouzaher, A., Cabe, R., Johnson, S.R., Manale, A. and Shogren, J.F. 1995. CEEPES: an evolving system for agroenvironmental policy. In: Milon, J.W., Shogren, J.F. (Eds.), Integrating Economic and Ecological Indicators: Practical Methods for Environmental Policy Analysis. Praeger Publishers, Greenwich, pp. 67–89.

Dalton, T.J. and Masters, W.A. 1997. Soil degradation, technical change and government policies in Southern Mali. Selected Papers of the American Agricultural Economics Association (AAEA), no. 5.

Darradi, Y., Saur, E., Laplana, R., Lescot, J.M., Kuentz, V. and Meyer, B.C. 2012. Optimizing the environmental performance of agricultural

activities: A case study in La Boulouze watershed. Ecological Indicators, 22: 27-37.

Deybe, D. 1994. Versune agriculture durable. Unmode`le bio-e´conomique. CIRAD.

Jothityangkoon, C., Sivapalan, M. and Farmer, D.L. 2001. Process controls of water balance variability in a large semi-arid catchment: downward approach to hydrological model development. *Hydrology*, 254:174-198.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R. and King, K. W. 2005. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 494 p.

Nie, X.H., Huang, G.H., Wang, D. and Li, H.L. 2008. Robust optimisation for inexact water quality management under uncertainty. *CivEng. Environ. Syst,* 25(2):167–84.

Pena-Haro, S., Garcia-Prats, A. and Pulido-Velazquez, M. 2014. Influence of soil and climate heterogeneity on the performance of economic instrument for reducing nitrate leaching from agriculture. *Science of the Total Environment*, 1-10.

Schuol, J., Abbaspour, K. C., Yang, H., Srinivasan, R. and Zehnder, A. J. B. 2008. Modelling blue and green wateravailability in Africa. *Water Resour.* Res. 44: 1-18.

Semaan, J., Flichman, G., Scardigno, A. and Steduto, P. 2008. Analysis of nitrate pollution control policies in theirrigated agriculture of Apulia

Region (Southern Italy): A bio-economic modelling approach. *Agricultural Systems*, 94: 357-367.

Teague, M.L., Bernardo, D.J. and Mapp, H.P. 1995. Farm-level economic analysis incorporating stochastic environmental risk assessment. *American Journal of Agricultural Economics*, 77:8–19.

Wei, Y., Chen, D., Hu, K., Willett, I.R. and Langford, J. 2009. Policy incentives for reducing nitrate leaching from intensive agriculture in desert oases of Alxa, Inner Mongolia, China. *Agricultural Water Management*, 96: 1114-1119.

Xu, Y. and Qin, X. S. 2010. Agricultural effluent control under uncertainty: An inexact double-sided fuzzy chance constrained model. *Advances in Water Resource*, 33: 997-1014 .