نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، ص. ۱۳۵-۱۲۷

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 30, No. 2, Summer 2016, p. 127-135

مشوق‌های سیاستی به منظور کاهش آبشویی نیترات در مزارع کشاورزی: منطقه مورد مطالعه شبکه آبیاری و زهکشی درودزن

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۳

چکیده

کاربرد بیش از اندازه آب و کود نیتروژن در فعالیت‌های زراعی، منجر به آبشویی نیترات به آب‌های زیرزمینی شده است. این مسئله معضلات زیست-محیطی فراوانی را در پی خواهد داشت که می‌توان به تسریع پدیده یوتروفیکاسیون اشاره کرد که به تبع آن رشد جلبک‌ها و سایر گیاهان آبزی افزایش یافته که در نهایت منجر به کاهش اکسیژن محلول در آب و کاهش شفافیت آب خواهد شد. در این مطالعه یک رویه مدلسازی یکپارچه به منظور مقایسه ابزارهای سیاستی برای کاهش آبشویی نیترات استفاده شده است. مدل یکپارچه شامل یک مدل بیوفیزیکی (SWAT)، یک مدل اقتصادی، یک مدل زیست‌محیطی و ارزیابی سیاست‌های افزایش قیمت آب و مالیات بر مصرف کود نیتروژنه می‌باشد. اطلاعات زراعی مورد نیاز از طریق تکمیل پرسشنامه برای سال زراعی ۹۲-۹۱ جمع‌آوری شد. برای این منظور، عملکرد محصولات منتخب (گندم، جو، ذرت دانه‌ای و برنج) و همچنین شاخص زیست‌محیطی (آبشویی نیترات) در سطوح مختلف مصرف آب و کود با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی شد. سپس به منظور اتصال مدل بیوفیزیکی با مدل اقتصادی، از تکنیک رگرسیونی استفاده شد که از این طریق نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل بیوفیزیکی در مدل اقتصادی تولید مزرعه به کار برده می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که با حرکت از وضع موجود به بهینه اقتصادی می‌توان سود را افزایش و آبشویی نیترات را کاهش داد. اما از این نقطه به بعد، کاهش تلفات نیتروژن بدون کاهش سود امکان‌پذیر نخواهد بود. به عبارت دیگر برای حرکت از بهینه اقتصادی به بهینه اقتصادی-زیستی بایستی مبادله بین سود مزرعه و تلفات نیتروژن صورت گیرد. همچنین نتایج حاصل از اعمال سیاست‌های قیمتی به منظور دستیابی به حداکثر مقدار مجاز تلفات نیتروژن در واحد هکتار نشان داد که برای محصول گندم استفاده از سیاست افزایش قیمت آب و برای محصولات ذرت و برنج به دلیل حساسیت بالای عملکرد این محصولات به نهاده آب، استفاده از سیاست مالیات بر نهاده کود نیتروژن مقرون به صرفه‌تر می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آبشویی نیترات، بهینه اقتصادی، بهینه اقتصادی-زیستی، مدل بیوفیزیکی

مقدمه

در بسیاری ازکشورها، تمامی انواع فعالیت‌های کشاورزی و کاربری زمین از جمله دامداری، به عنوان کانون‌های نامتمرکز آلودگی در نظر گرفته شده‌اند. کشاورزی به عنوان تنها یکی از انواع عوامل آلاینده با منبع نامعین است با این حال عموما به عنوان یکی از بزرگترین عوامل ایجادکننده آلودگی محسوب می‌شود. کودهای شیمیایی که همگام با توسعه کشاورزی روز به روز بر مصرف 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 آب-های زیرزمینی برسند. بسته به شرایط محیطی بین ۳۵ تا ۷۰ درصد از کودهای شیمیایی مورد استفاده گیاهان بوده و مابقی تحت فرایند آبشویی قرار می‌گیرد. یکی از مهمترین مشکلات ناشی از مصرف کودها وجود مقادیر قابل توجهی نیترات در آب‌های زیرزمینی است.

همچنین آبیاری می‌تواند از طریق پذیرش فعالیت‌های کشاورزی فشرده و افزایش سطح زیرکشت و در نتیجه افزایش استفاده از آب، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، بر روی محیط‌زیست تاثیر بگذارد. از این رو، استفاده از ابزارهای مناسب به منظور مدیریت مصرف کود و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دکتری اقتصاد کشاورزی و استادان گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: (Email:azeinoddin@yahoo.com

آب می‌تواند در جهت بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی موثر باشد.

مکانیسم‌های سیاستی مورد استفاده برای کنترل آلودگی ناشی از کشاورزی، تنظیمات مستقیم (یعنی استانداردها روی مقدار و استفاده از آلاینده‌های بالقوه (مواد آلوده‌کننده) و شیوه‌های تولید) و سیاست‌های قیمت‌گذاری مانند مالیات‌ها یا یارانه‌ها هستند. مطالعات مختلفی نقش بالقوه سیاست‌های قیمت‌گذاری آب را در اصلاح تصمیمات آبیاری در سطح مزرعه به سمت انتخاب‌های دوستدار محیطزیست نشان دادند (۳، ۷، ۱۰، ۱۴ و ۲۳).

همچنین مطالعات متعددی به منظور حل تئوری اقتصادی کنترل آلودگی غیرنقطه‌ای، از رویه مدلسازی اقتصادی-زیستی استفاده کرده‌اند که در این رویه مدل‌های بیوفیزیکی و اقتصادی به منظور گنجاندن پیچیدگی‌های روابط بین کشاورزی و محیطزیست با هم ترکیب می‌شوند (۴، ۵، ۶، ۹، ۱۳، ۱۴، ۲۰، ۲۲ و ۲۴).

سمان و همکاران (۲۰) با استفاده از ترکیب مدل شبیه‌سازی (EPIC) و مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفی، اثرات سه سیاست کشاورزی را بر روی درآمد کشاورز و آبشویی نیترات بررسی کردند. رفتار کشاورز در هر سناریو برحسب محصولات منتخب، روش و تکنیک آبیاری و شیوه‌های مدیریتی پذیرفته شده با تمرکز بر شیوه‌های مدیریت مزرعه و کارایی کاربرد آب مطالعه شد. برای این منظور قیمت‌گذاری آب آبیاری، سوبسید برای پذیرش سطوح مدیریتی بهبود یافته و مالیات روی استفاده از کود نیتروژن مورد آزمون قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که آبشویی نیتروژن می‌تواند حدود ۴۰ درصد با هزینه خالص اجتماعی ۲۶۹ دلار در هکتار برای سیاست قیمت‌گذاری آب، ۱۸۳ دلار در هکتار برای مالیات بر کود و ۹۵ دلار در هکتار برای سوبسید روی مدیریت کاراتر، کاهش یابد.

دوشه و وید (۱۷)در مطالعه خود یک چارچوب بهینه‌سازی اقتصادی را با یک مدل شبیه‌سازی پویا از انتقال نیتروژن، به منظور ایجاد ارتباط بین تصمیمات اتخاذ شده در سطح مزرعه با کاهش غلظت نیترات ترکیب نمودند. در این مطالعه انواع سیاست‌های هدفمند به منظور کاهش استفاده از کود شیمیایی و تغییر در روش کاربری اراضی کشاورزی، بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مالیات بر روی نیتروژن به عنوان بهترین سیاست هم از نظر هزینه و هم از نظر زیست‌محیطی می‌باشد. چنین سیاستی منجر به کاهش قابل توجهی در استفاده از کود شیمیایی می‌گردد.

وی و همکاران (۲۴) در مطالعه‌ی خود با ادغام یک مدل بیوفیزیکی و اقتصادی به ارزیابی سیاست‌های مدیریتی برای کنترل آبشویی نیترات پرداخت. برای این منظور بعد از شبیه‌سازی استراتژی‌های مدیریتی (شامل دامنه مصرف آب، تعداد دفعات آبیاری، دامنه مصرف نهاده کود و تعداد دفعات مصرف آن) به برآورد تابع تولید ذرت پرداخت. سپس نقاط بهینه تولید و اقتصادی را بر اساس تابع تولید برآورد شده بدست آورند. در نهایت اثر اعمال سیاست قیمت‌گذاری آب بر روی آبشویی نیترات و سود مزرعه بررسی شد.

سمراسینهی و همکاران (۱۹) در مطالعه خود با استفاده از یک مدل اقتصادی حوضه به ارزیابی اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی (تغییرات در کاربری زمین، توزیع محصول، سطح بارگذاری مواد مغذی و انتشار گازهای گلخانه‌ای) مجموعه‌ای از سیاست‌ها برای کاهش مواد مغذی مبتنی بر تولید پرداختند. در این مطالعه تغییرات در درآمد خالص، کاربری زمین، ترکیب تولید و خروجی‌های زیست-محیطی زمانی که مالکان زمین در منطقه دشت حوضه آبریز بایستی مجموع اهداف بارگذاری نیتروژن و فسفر را ۱۵ و ۳۰ درصد پائین‌تر از سطوح پایه کاهش دهند، برآورد شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که اهداف زیست‌محیطی می‌تواند با تغییرات نسبتا کم در کل درآمد خالص برای منطقه، حاصل شوند.

با توجه به آنچه گفته شد، هدف از انجام این مطالعه استفاده از مدلسازی اقتصادی-زیستی و ارائه ابزارهای سیاستی مناسب به منظور کاهش تلفات نیتروژن ناشی از فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. برای این منظور مدل بیوفیزیکی SWAT با مدل اقتصادی ترکیب شده و پیامدهای حاصل از استراتژی‌های مدیریتی مختلف در زمینه کاربرد آب و کود نیتروژن شبیه‌سازی شد. در نهایت با استفاده از مشوق‌های سیاستی به دنبال یافتن سطوحی از کاربرد نهاده‌های آب و کود نیتروژن بودیم که با کمترین هزینه بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی (دستیابی به استانداردهای زیست‌محیطی) حاصل شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری و زهکشی درودزن در ۵۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان شیراز و در قسمت شمالی دشت رودخانه کر و غرب شهرستان مرودشت واقع شده است. این دشت با شیب ملایم شمال غربی-جنوب شرقی بین سد درودزن تا جاده اصلی شیراز مرودشت امتداد یافته و رودخانه کر تقریبا از مرکز آن عبور می‌نماید. ارتفاع اراضی دشت در شمال ۱۶۲۰ متر و در پائین‌ترین نقطه به ۱۵۸۰ متر می‌رسد. نواحی مرتفع منطقه دارای ارتفاع ۲۲۰۰ تا ۲۸۰۰ متر می‌باشد که سد مخزنی درودزن در ارتفاع ۱۶۲۰ متر احداث گردیده است. این شبکه مشتمل بر شش ناحیه عمرانی می‌باشد که وسعتی بالغ بر ۷۸۰۰۰ هکتار دارد که از این میزان حدود ۶۴۰۰۰ هکتار، اراضی کشاورزی می‌باشد. 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 (۸).

مدلسازی یکپارچه

در این مطالعه یک مدل بیوفیزیکی-اقتصادی با پنج جزءتوسعه داده شده است. جز اول بر اساس یک مدل بیوفیزیکی است که فرایندهای کلیدی رشد محصول را در رابطه با چرخه نیتروژن و آب شبیه‌سازی می‌کند. مدل بیوفیزیکی SWAT به منظور شبیه‌سازی اثرات شیوه‌های مدیریتی کشاورزی شامل تناوب زراعی، آبیاری، کوددهی، عملیات خاکورزی و برداشت برای حوضه آبریز طشک-بختگان واسنجی و اعتبارسنجی شد. این مدلبهدلیلتواناییآنبرایپیش-بینیتاثیرشیوه‌هایمدیریتیاراضیویآبوخاکدرحوضه-هایبزرگوپیچیدهانتخابشد (۲،۱۶). ازسویدیگرمدلSWATمی-تواندمقدارآب،کیفیتآبورشدمحصولرابهطورهمزمانشبیه‌سازینماید.

جزء دوم یک متا-مدل[1] است که به منظور اتصال مدل بیوفیزیکی با مدل اقتصادی استفاده شده است. برای این منظور از تکنیک رگرسیونی استفاده شده است که از این طریق نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل بیوفیزیکی در مدل اقتصادی تولید مزرعه به کار برده می‌شود (۱۲). عمکرد محصول متغیر کلیدی اتصال بین دو مدل است. یک تابع درجه دو که امکان برآورد اثر افزایش سطح نهاده‌ها و کاهش بازده نهایی را فراهم می‌کند (۱۱، ۱۸) در این مطالعه استفاده شده است. برای این منظور تابع تولید گندم، جو، ذرت دانه‌ای و برنج به صورت تابعی از مقادیر مصرف کود نیتروژن و آب بررسی شد. تابع تولید به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$Y = f(W, N) \qquad (۱)$$

که در این رابطه Y، W و N به ترتیب بیانگر عملکرد (تن در هکتار)، کل آب آبیاری[2] (مترمکعب در هکتار) و مقدار کود نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد.

جزء سوم یک مدل اقتصادی مزرعه است که به منظور پیش‌بینی واکنش کشاورزان نسبت به سناریوهای مختلف و برای تعیین مقدار آب و کود نیتروژن مصرفی و سود ناشی از آن استفاده شده است.

$$GM = Y.P - WP_w - NP_N - C \qquad (۲)$$

که در این رابطه، GM بیانگر سود مزرعه (ریال در هکتار)، P قیمت محصول (ریال/تن)، P_w قیمت آب (ریال/مترمکعب)، P_N قیمت کود نیتروژن (ریال/کیلوگرم) و C سایر هزینه‌های تولید می‌باشد. این مدل می‌تواند مقدار بهینه استراتژی کاربرد کود نیتروژن و آب را به نحوی که سود مزرعه حداکثر شود، تعیین کند.

جزء چهارم تابع آبشویی نیترات به صورت تابعی از میزان مصرف آب و کود نیتروژن می‌باشد. این جز به منظور پیش‌بینی آثار زیست-محیطی استراتژی‌های مختلف و تعیین مقدار مصرف آب و کود نیتروژن در مدل لحاظ شده است. این تابع به صورت رابطه (۳) خواهد بود:

$$N_{loss} = f(W, N) = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 W \qquad (۳)$$

در این رابطه N_loss آبشویی نیترات (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. در این صورت مدل می‌تواند استراتژی کاربرد بهینه کود نیتروژن و آب را به نحوی تعیین کند که آبشویی نیترات از مقدار مجاز آن تجاوز نکند. به عبارت دیگر با هدف حداکثرسازی سود و اعمال محدودیت حداکثر مقدار مجاز تلفات نیتروژن، به نحوی سطوح بهینه نهاده‌های کود نیتروژنه و آب تعیین می‌شود که مقدار تلفات نیتروژن از حداکثر مقدار مجاز (یعنی ۳۸ کیلوگرم در هکتار) تجاوز نکند. برای این منظور از رابطه (۴) استفاده می‌شود:

$$Max: GM = Y.P - WP_w - NP_N - C \qquad (۴)$$
$$s.t:\ \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 W \leq \gamma$$

در این رابطه γ بیانگر حداکثر مقدار مجاز تلفات نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد که بر اساس مطالعه ژو و کوین (۲۵) معادل ۳۸ کیلوگرم در هکتار بیان شده است (۲۵).

جزء آخر ارزیابی مشوق‌های سیاستی به منظور کاهش آبشویی نیترات می‌باشد. ابزارهای سیاستی می‌توانند به وسیله کاهش انتقال نیترات به وسیله آب (چرخه آب) و یا به وسیله کاهش مقدار بالقوه نیترات انتقال یافته (چرخه نیتروژن) کار کنند (۱۵). برای این منظور دو سیاست قیمت‌گذاری آب و مالیات بر روی مصرف کود نیتروژن مورد استفاده قرار گرفت.

عملیات مدلسازی یکپارچه

در قدم اول اطلاعات مورد نیاز جهت برآورد تابع تولید به وسیله مدل بیوفیزیکی SWAT برای سطوح مختلف مصرف نهاده‌های آب و کود نیتروژن برای محصولات مختلف شبیه‌سازی شد. به عبارت دیگر، عملکرد محصولات منتخب (گندم، جو، ذرت دانه‌ای و برنج) و همچنین شاخص زیست‌محیطی (آبشویی نیترات) در سطوح مختلف مصرف آب و کود شبیه‌سازی شد. داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی توسط مدل SWAT عبارتند از نقشه توپوگرافی، نقشه پوشش گیاهی و خاک، داده‌های هواشناسی و مدیریتی. برای این منظور نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰، سازمان نقشه‌برداری ایران)، کاربری اراضی (۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان منابع طبیعی)، خاک (۱:۵۰۰۰۰ سازمان مدیریت و برنامه) و ماسک حوضه آبریز طشک-بختگان بدست آمد. از سوی دیگر آمار مربوط به مدیریت کشاورزی (شامل تاریخ کاشت، تاریخ و میزان آبیاری و کود مصرفی، تاریخ برداشت و ...) در منطقه مورد مطالعه از طریق تکمیل پرسشنامه به روش نمونه‌گیری تصادفی در اراضی کشاورزی زیر سد درودزن جمع‌آوری شد. در جدول (۱) دامنه ر نیست. به عبارت دیگر یک مبادله بین سود و تلفات نیتروژن وجود ارائه شده است.

1- Meta-model

۲- منظور میزان آب آبیاری مصرفی در طول دوره رشد می‌باشد. این پارامتر از طریق تکمیل پرسشنامه اندازه‌گیری شده است.

با کاربرد سطوح مختلف مصرف آب و کود نیتروژن در مجموع، ۹۶ استراتژی برای محصول گندم، ۷۲ استراتژی برای محصول جو، ۸۸ استراتژی برای محصول ذرت و ۸۴ استراتژی برای محصول برنج شبیه‌سازی شد. سپس تابع تولید درجه دوم برای هر یک از محصولات با استفاده از نرم افزار Eviews برآورد شد و در انتها با استفاده از تابع تولید برآورد شده تابع سود بدست آمد. همچنین تابع آبشویی نیترات با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده برای هر یک از محصولات به صورت تابعی از میزان مصرف آب و کود نیتروژنه برآورد شد (۲۴).

نتایج و بحث

تابع تولید برآورد شده به صورت معادله (۵) می‌باشد (۲۴). این رابطه با استفاده از خروجی مدل SWAT و به منظور بررسی رابطه آماری بین عملکرد و سطوح کاربرد نهاده‌های کود نیتروژنه و آب برآورد شده است. نتایج حاصل از برآورد در جدول (۲) ارائه شده است.

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 W + \alpha_2 W^2 + \alpha_3 N + \alpha_4 N^2 + \alpha_5 W.N \quad (۵)$$

جدول ۱- سطوح کاربرد نهاده‌های آب و کود نیتروژن در محصولات مختلف

Table 1- Water and Nitrogen fertilizer application levels in different crops

محصول Crop	آب مصرفی (متر مکعب در هکتار) Water use (m^3/ha)		کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen fertilizer (kg/ha)	
	حداکثر Max	حداقل Min	حداکثر Max	حداقل Min
گندم Wheat	12500	7500	550	165
جو Barely	9500	6650	250	75
ذرت Corn	20000	14000	800	240
برنج Rice	28500	15500	300	150

مأخذ: یافته های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۲- نتایج حاصل از برآورد تابع تولید

Table 2- Results of estimation production function

پارامتر Parameter	گندم Wheat	جو Barely	ذرت Corn	برنج Rice
α_0	0.978^{***}	-2.64^{***}	-11.335^{**}	-6.011^{***}
	(5.125)	(-4.073)	(-2.075)	(-6.252)
α_1	0.0098^{***}	0.0288^{***}	0.047^{***}	0.0221^{***}
	(11.342)	(7.00)	(2.68)	(8.17)
α_2	$-1.38\times10^{-5***}$	$-4.31\times10^{-5***}$	$-3.21\times10^{-5***}$	$-1.13\times10^{-5***}$
	(-12.985)	(-6.657)	(-2.478)	(-7.726)
α_3	0.01^{***}	0.008^{***}	-	0.00158^{***}
	(31.407)	(5.835)	-	(6.272)
α_4	$-1.22\times10^{-5***}$	$-3.24\times10^{-5***}$	$-4.88\times10^{-6***}$	$-3.23\times10^{-6***}$
	(-42.378)	(-10.422)	(-6.815)	(-6.378)
α_5	$5.89\times10^{-6***}$	2.19×10^{-5}	$9.15\times10^{-6***}$	-
	(11.27)	(5.563)	(7.766)	-
R^2	0.994	0.955	0.98	0.99

***، ** معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد. اعداد داخل پرانتز بیانگر آماره t می‌باشند

***,** Significant at the 1% and 5%, Numbers in parentheses are t-statistics

مأخذ: یافته های تحقیق

Source: Research findings

جدول ۳- مقایسه بین بهینه زراعی، بهینه اقتصادی و بهینه اقتصادی-زیستی

Table 3- A comparison between agronomic, economic and bio-economy optimum

محصول (Crop)	سناریو (Scenario)	آبیاری* (Irrigation)	کود نیتروژن (N fertilizer)	عملکرد (Yield)	تلفات نیترات (Nitrogen loss)	سود (Profit)
		m^3/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	rial/ha
گندم (Wheat)	بهینه زراعی Agronomic optimum	11721.5	523	5913.2	56.81	26743460
	بهینه اقتصادی Economic optimum	10727	486.4	5882.9	49.83	26995120
	بهینه اقتصادی-زیستی Bio-economic optimum	9824.5	408.59	5723.4	37.99	26354880
جو (Barely)	بهینه زراعی Agronomic optimum	10020	262	4203.5	15.08	16314000
	بهینه اقتصادی Economic optimum	9637.75	245.8	4105.8	14.71	16416560
	بهینه اقتصادی-زیستی Bio-economic optimum	9637.75	245.8	4105.8	14.71	16416560
ذرت (Corn)	بهینه زراعی Agronomic optimum	20000	750	9009	101.31	44180040
	بهینه اقتصادی Economic optimum	20000	684	8988	89.57	44364700
	بهینه اقتصادی-زیستی Bio-economic optimum	20000	394	8390	37.9	40805580
برنج (Rice)	بهینه زراعی Agronomic optimum	24450	244.58	5020	51.98	66876590
	بهینه اقتصادی Economic optimum	23918.14	209.91	5000	42.43	67111950
	بهینه اقتصادی-زیستی Bio-economic optimum	23918.4	197.3	4900	38	67098590

*راندمان آبیاری ۴۰ درصد در نظر گرفته شده است

*Irrigation efficiency 40%

مأخذ: یافته های تحقیق

Source: Research findings

بر اساس نتایج این جدول تمام متغیرها در سطح یک درصد معنی‌دار و علامت آنها مطابق انتظار می‌باشد. به عبارت دیگر افزایش مصرف نهاده‌های آب و کود نیتروژن منجر به افزایش تولید شده اما از یک سطحی به بعد افزایش مصرف این نهاده‌ها اثر منفی بر روی تولید داشته و منجر به کاهش عملکرد می‌گردد. تنها برای محصول ذرت ضریب متغیر N از لحاظ آماری معنی‌دار نشد از این رو از معادله حذف شد. همچنین برای محصول برنج ضریب متغیر اثر متقابل نهاده‌های آب و کود از لحاظ آماری معنی‌دار نشد و از معادله حذف شد.

بعد از برآورد تابع تولید، نتایج حاصل از نهاده‌های آب و کود نیتروژن، عملکرد محصول، سود مزرعه و آبشویی نیترات در شرایط بهینه تولید[3]، بهینه اقتصادی[4] و بهینه اقتصادی-زیستی[5] در جدول (۳) گزارش شده است.

همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود با استفاده از ۱۱۷۲۱/۵ متر مکعب و ۵۲۳ کیلوگرم در هکتار از نهاده‌های آب و کود نیتروژن حداکثر سطح تولید گندم معادل ۵۹۱۳/۲ کیلوگرم در هکتار حاصل می‌شود. این سطح تولید بدون هیچ‌گونه تنش آبی و کودی قابل دستیابی است. در این شرایط تلفات نیتروژن معادل ۵۶/۸۱ کیلوگرم و سود مزرعه معادل ۲۶/۷۴۳ میلیون ریال در هکتار می‌باشد. همچنین با حداکثرسازی سود اقتصادی مصرف نهاده‌های آب و کود نیتروژن به ترتیب حدود ۹۹۵ متر مکعب و ۳۵ کیلوگرم کاهش می‌یابد. در این

3- Agronomic Optimum
4- Economic Optimum
5- Bio-economic Optimum

شرایط تلفات نیتروژن به ۴۹/۸۳ کیلوگرم کاهش و سود بـه ۲۶/۹۹۵ میلیون ریال افزایش می‌یابـد. در نهایـت بـا وارد کـردن محـدودیت حداکثر تلفات نیتروژن به مدل اقتصـادی، سـطوح بهینـه اسـتفاده از نهاده‌های آب و کود نیتروژن تعیین شد. در این حالت نسبت به بهینه اقتصادی، مصرف نهاده‌های آب و کود بـه ترتیـب حـدود ۹۰۳ متـر مکعب و ۷۸ کیلوگرم در هکتـار کـاهش یافـت. در نتیجـه سـود بـه ۲۶/۳۵۴ میلیون ریال و تلفات نیتروژن به ۳۷/۹۹ کیلوگرم در هکتـار کاهش یافت. بنابراین هزینه کاهش تلفات نیتـروژن معـادل ۵۴۰۸۴ ریال به ازای هر کیلوگرم می‌باشـد. بـه عبـارت دیگـر بـه ازای هـر کیلوگرم کاهش تلفات نیتروژن در محصول گندم معادل ۵۴۰۸۴ ریال از سود تولیدکننده کاسته خواهد شد.

همچنین برای محصول جو با اسـتفاده از ۱۰۰۲۰ متـر مکعـب و ۲۶۲ کیلوگرم در هکتار از نهاده‌های آب و کود نیتروژن حداکثر سطح تولید معادل ۴۲۰۳/۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. در این شرایط تلفات نیتروژن معادل ۱۵/۰۸ کیلوگرم و سود مزرعه معادل ۱۶/۳۱۴ میلیون ریال در هکتار می‌باشد. همچنـین بـا حداکثرسـازی سـود اقتصـادی مصرف نهاده‌های آب و کود نیتروژن به ترتیب، حدود ۳۸۲ متر مکعب و ۱۶ کیلوگرم در هکتار کاهش می‌یابد. این امـر منجـر بـه کـاهش تلفات نیتروژن به ۱۴/۷ کیلوگرم و افزایش سود به ۱۶/۴۶۱ میلیـون ریال گردید. با توجه به اینکه مقدار تلفات نیتروژن در تولید محصـول جو، پائین (کمتر از ۳۸ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد، از این رو با اعمال محدودیت زیست‌محیطی تغییری در نتایج ایجاد نخواهد شد.

در مورد محصول ذرت، با کاربرد ۲۰۰۰۰ متر مکعب نهاده آب و ۷۵۰ کیلوگرم نهاده کود نیتروژن در هکتار حداکثر سطح تولید معادل ۹۰۰۹ کیلوگرم در هکتار حاصل می‌شود. این سطح تولید بدون هیچ‌گونه تنش آبی و کودی قابل دستیابی اسـت. در ایـن حالـت تلفـات نیتروژن معـادل ۱۰۱/۳۱ کیلـوگرم و سـود مزرعـه معـادل ۴۴/۱۸۰ میلیون ریال در هکتـار مـی‌باشـد. همچنـین بـا حداکثرسـازی سـود اقتصادی مصرف نهاده آب بدون تغییر باقی مانده و مصرف نهاده کود نیتروژن به ۶۸۴ کیلوگرم در هکتار می‌رسد. این امر منجر به کـاهش تلفات نیتروژن به ۸۹/۵۷ کیلوگرم و افزایش سود به ۴۴/۳۶۴ میلیون ریال گردید. همانطور که مشاهده می‌شود تلفات نیتروژن در محصول ذرت بسیار بالاتر از مقدار مجاز می‌باشد. از این رو با اعمال محدودیت زیست‌محیطی سطوح بهینه اسـتفاده از نهـاده‌هـای آب و کـود را در الگوی اقتصادی-زیستی بدست آوردیم. در این حالت مصرف نهـاده-های آب و کود به ترتیب معادل ۲۰۰۰۰ متر مکعب و ۳۹۴ کیلـوگرم در هکتار می‌باشد، که نسبت به بهینه اقتصـادی مصـرف آب بـدون تغییر و مصرف کود نیتروژن به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در نتیجه این تغییرات، سود به ۴۰/۸۰۵ میلیون ریال و تلفات نیتروژن به ۳۷/۹ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت. بنابراین بـا یـک محاسـبه سرانگشتی به این نتیجه می‌رسیم که هزینه کاهش تلفـات نیتـروژن معادل ۶۸۸۸۲ ریال به ازای هر کیلوگرم می‌باشد. به عبارت دیگر بـه منظور کاهش هر کیلوگرم تلفات نیتروژن در محصول ذرت بایسـتی معادل ۶۸۸۸۲ ریال صرف نمود.

در انتها برای محصول برنج، حداکثر سطح تولید در زمان مصرف ۲۴۴۵۰ متر مکعب نهاده آب و ۲۴۴/۵۸ کیلوگرم نهاده کود نیتـروژن در هکتار حاصل می‌شود. در این سطح کاربرد نهاده‌ها ۵۱/۹۸ کیلوگرم تلفات نیتروژن و ۶۶/۸۸ میلیون ریال سود ایجاد می‌شـود. همچنـین بهینه اقتصادی با مصرف ۲۳۹۱۸ متر مکعب آب و ۱۹۷ کیلوگرم کود نیتروژن بدست می‌آید، در این حالت تلفات نیتروژن به ۴۲/۵ کیلوگرم در هکتار کاهش و سود به ۶۷/۱۱ میلیون ریال در هکتار افزایش می‌یابد. برای دستیابی به بهینه اقتصادی-زیستی مصرف نهاده آب بدون تغییر باقی مانده اما مصرف نهـاده کـود نیتـروژن بـه ۱۹۷ کیلـوگرم کاهش یابد، که این امر منجـر بـه کـاهش تلفـات نیتـروژن بـه ۳۸ کیلوگرم در هکتار و کاهش سود به ۶۷/۰۹ میلیون ریـال مـی‌گـردد. همانطور که مشاهده مـی‌شـود میـزان سـود حاصـله در هـر یـک از وضعیت‌های بررسی شده، تفاوت قابل توجهی با یکدیگر ندارنـد کـه دلیل این مسئله عدم استفاده کود نیتروژنه بیش از نیاز گیاه می‌باشد. زیرا مصرف کود نیتروژنه بیش از نیاز گیاه توسط زراعین، منجـر بـه خوابیدگی محصول و در نتیجه ایجاد خسارت در این محصـول مـی-شود.

در ادامه به منظور رسیدن به حداکثر مقدار مجاز تلفات نیتـروژن در هکتار (یعنی ۳۸ کیلوگرم در هکتار) از دو سیاست افـزایش قیمـت آب و اخذ مالیات از مصرف نهاده کود نیتروژن که معادل با افـزایش قیمت این نهاده می‌باشد، استفاده شد. در جدول (۴) نتایج حاصـل از افزایش قیمت آب و کود نیتروژن و اثر آن بر سود و تلفات نیتـروژن برای محصول گندم نشان داده شده اسـت. لازم بـه ذکـر اسـت کـه افزایش قیمت هر یک از این نهاده‌ها تا جایی ادامه می‌یابـد کـه بـه مقدار مجاز تلفات نیتروژن در واحد هکتار دست یابیم.

بر اساس نتایج جدول (۴) مشاهده می‌شود که به منظور رسـیدن به حداکثر مقدار مجاز تلفات نیتروژن با اسـتفاده از سیاسـت افـزایش قیمت آب، بایستی قیمت این نهاده از ۳۰۰ به ۷۵۰ ریال به ازای هـر متر مکعب افزایش یابد که منجر به کاهش، ۱۲۶۴ متر مکعبی آب در تولید محصول گندم می‌گردد. در نتیجه اعمال ایـن سیاسـت سـود و تلفات نیتـروژن بـه ترتیـب ۱۶/۸ و ۲۵/۳ درصـد کـاهش مـی‌یابـد. همچنین با افزایش قیمت نهاده کـود نیتـروژن از ۵۶۰۰ بـه ۲۵۲۰۰ ریال به ازای هر کیلوگرم، می‌توان به بهینه شاخص زیسـت‌محیطـی دست یافت. در نتیجه اعمال این سیاست مصـرف کـود نیتـروژن در تولید هر هکتار گندم حدود ۱۰۰ کیلوگرم کاهش می‌یابـد. همچنـین این سیاست منجر به کاهش ۳۱/۶۹ درصدی سود کشاورز می‌گـردد. بنابراین با مقایسه هزینه‌های ناشی از اعمال هر یک از این سیاست‌ها این نتیجه حاصل می‌شود که به دلیل حساسیت بیشتر کشاورزان بـه

افزایش قیمت آب می‌توان با استفاده از افزایش قیمت آب بـا هزینـه کمتری به اهداف زیست‌محیطی برای محصول گندم دست یافـت. از این رو سیاست بهینه برای محصول گندم سیاست افزایش قیمت آب می‌باشد.

جدول ٤- اثر اعمال سیاست‌های قیمتی بر شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی برای محصول گندم
Table 4- Effect of impose price policy in economic and environmental indicators (wheat)

سناریو Scenario	مصرف آب Water use	مصرف کود نیتروژن Nitrogen use	تلفات نیتروژن Nitrogen loss	سود Profit
افزایش قیمت آب Increasing of water price	M^3/ha	Kg/ha	Kg/ha	Rial/ha
+50%	10305.5	482.34	42.19	25417670
+100%	9884.25	478.28	39.69	23903420
+150%	9463	474.2	37.21	22452360
مالیات بر مصرف کود (Tax on nitrogen use)				
+50%	10650	472.17	43.66	25653100
+100%	10575	457.94	42.63	24350920
+150%	10497.5	443.7	41.62	23088610
+200%	10422.5	429.4	40.61	21866140
+250%	10345	415.2	39.61	20683530
+300%	10270	401	38.62	19540780
+350%	10195	386.8	37.64	18437880

مأخذ: یافته های تحقیق
Source: Research findings

در مورد محصول جو چون تلفات نیتروژن کمتـر از مقـدار مجـاز می‌باشد بنابراین نیازی با اعمـال مشـوق‌هـای سیاسـتی بـرای ایـن محصول نمی‌باشد.

از آنجایی که در محصول ذرت تلفات نیتروژن قابل توجه می‌باشد و همچنین رسیدن به بهینه اقتصادی-زیستی مستلزم مصـرف کمتـر کود نیتروژن می‌باشد، از این رو برای این محصول، با اعمال مالیـات بر مصرف کود نیتروژن در مدل اقتصادی، سعی در رسیدن به مقـدار مجاز تلفات نیتروژن داریم. در جدول (۵) نتایج حاصل از مالیـات بـر مصرف کود نیتروژن و اثر آن بر سود و تلفات نیتروژن نشان داده شده است.

جدول ٥- اثر اعمال سیاست‌های قیمتی بر شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی برای محصول ذرت
Table 5- Effect of impose price policies in economic and environmental indicators to corn

سناریو Scenario	مصرف آب Water use	مصرف کود نیتروژن Nitrogen use	تلفات نیتروژن Nitrogen loss	سود Profit
مالیات بر مصرف کود (Tax on nitrogen use)	**M^3/ha**	**Kg/ha**	**Kg/ha**	**Rial/ha**
+50%	20000	651	83.69	42495530
+100%	20000	618	77.82	40718690
+150%	20000	585	71.94	39034180
+200%	20000	551	65.88	37442330
+250%	19834	512	60.38	35952700
+300%	19699	474	54.49	34569640
+350%	19563	437	48.44	33293150
+400%	19428	399	42.23	32123230
+435%	19333	372	37.79	31367690

مأخذ: یافته های تحقیق
Source: Research findings

با افزایش قیمت کود نیتروژن از ۵۶۰۰ به ۲۹۹۶۰ ریال مصـرف کود نیتروژن به ۳۷۲ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته و در نتیجه این امر تلفات نیتروژن و سود به ترتیب به ۵۷/۸ درصد و ۲۹/۲۹ درصـد کاهش می‌یابد.

همچنین تلفات نیتروژن در محصول برنج خیلی بالا نمی‌باشد، زیرا مصرف بیش از نیاز گیاه توسط زراعین منجر به خوابیدگی محصول و در نتیجه ایجاد خسارت می‌شود، از این رو در منطقه مورد مطالعه میزان مصرف کود نیتروژن (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) نزدیک به مقدار مورد نیاز گیاه (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده با افزایش جزئی قیمت کود نیتروژن می‌توان به بهینه اقتصادی-زیستی دست یافت. برای این منظور با افزایش ۳۵ درصدی قیمت هر کیلوگرم کود نیتروژنه می‌توان مصرف این نهاده را نسبت به بهینه اقتصادی ۶/۱۱ درصد کاهش داده و به بهینه اقتصادی-زیستی دست یابیم.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

همانطور که در این مطالعه بیان شد تفاوت قابل توجهی بین میزان مصرف آب و کود توسط زارعین و مقادیر بهینه در الگوی اقتصادی و اقتصادی-زیستی وجود دارد. به عبارت دیگر رفتار زارعین از نقاط بهینه اقتصادی و بهینه اقتصادی-زیستی دور می‌باشد که علت آن عدم آگاهی کشاورزان در مورد نیاز آبی و کودی گیاهان و همچنین توهم افزایش عملکرد ناشی از مصرف هرچه بیشتر آب و کود شیمیایی می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده در این مطالعه مشاهده شد که می‌توان با حرکت از نقطه بهینه تولید به نقطه بهینه اقتصادی به یک نتیجه برد-برد دست یافت و علاوه بر افزایش سود، تلفات نیتروژن را نیز کاهش داد. البته زمانی که به بهینه اقتصادی دست یافتیم، کاهش تلفات نیتروژن بدون کاهش سود امکان‌پذیر نیست. به عبارت دیگر یک مبادله بین سود و تلفات نیتروژن وجود دارد که برای این منظور به سیاست‌های مشوق اقتصادی نیاز است. بر اساس مطالعات مختلف استفاده از سیاست افزایش قیمت آب و یا مالیات بر نهاده کود بستگی به هزینه موثر اجرای این سیاست‌ها دارد. به عنوان مثال در مطالعه شورتل و هوران (۲۱) و وی و همکاران (۲۴) استفاده از سیاست افزایش قیمت آب مقرون به صرفه‌تر از افزایش قیمت نهاده نیتروژن بود. در مطالعه البیک و مارتینز (۱) و سمان و همکاران (۲۰) استفاده از مالیات بر نهاده کود مقرون به صرفه‌تر از قیمت آب بود.

در این مطالعه نتیجه حاصل از اعمال سیاست‌های افزایش قیمت آب و مالیات بر نهاده کود نشان داد که برای محصولاتی مثل گندم و جو که با استفاده از آب سد آبیاری می‌شوند و قیمت دریافتی از زارعین به ازای هر متر مکعب آب ناچیز می‌باشد، استفاده از سیاست افزایش قیمت آب برای کاهش تلفات نیتروژن مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. اما در مورد محصولاتی مثل ذرت و برنج به منظور کاهش تلفات نیتروژن بایستی از سیاست مالیات بر نهاده کود نیتروژن استفاده نمود، زیرا عملکرد این محصولات حساسیت زیادی به تغییرات مصرف آب دارند. همچنین نتایج نشان داد که کشش تلفات نیتروژن در مقابل مالیات بر نهاده کود نسبتا پائین است. این کشش‌ناپذیری نشان می‌دهد که افزایش قابل توجه قیمت این نهاده به منظور تغییرات رفتاری معنی‌دار لازم است.

به طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه مشاهده می‌شود که هزینه کاهش تلفات نیتروژن زیاد می‌باشد، از این رو استفاده از سیاست‌های افزایش قیمت آب و یا مالیات بر نهاده کود اگر همراه با یارانه برای پذیرش شیوه‌های کاهش آبشویی نیترات باشد، منافع زیست‌محیطی را با هزینه‌های کمتری میسر سازد. همچنین با افزایش بهره‌وری استفاده از نهاده‌های کشاورزی و راندمان آبیاری و توصیه‌های ترویجی می‌توان با هزینه کمتری به اهداف زیست‌محیطی دست یافت.

منابع

1- Albiac J., and Martinez Y. 2004. Agricultural pollution control under Spanish and European environmental policies. Water Resources Research. 40: 1–12.
2- 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.
3- Berbel J., and Go´mez-Limo´n J.A. 2000. The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. Agricultural Water Management, 43: 219–238.
4- 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, 67–89.
5- 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.
6- Deybe D. 1994. Versune agriculture durable. Unmode`le bio-e´conomique. CIRAD.
7- Dinar A., Knapp K.C., and Letey J. 1989. Irrigation water pricing policies to reduce and finance subsurface drainage disposal. Agricultural Water Management, 16: 155–171.
8- Fars Regional Water Authority. 2013. Statistics.
9- Flichman G. 1997. Bio-economic models integrating agronomic, environmentaland economic issues with agricultural use of water. In: Dupuy, B. (Ed.). Economic Aspects of Water Management in the Mediterranean Area (Options Me´diterrane´ennes: Se´rieA n.31). CIHEAM, Paris., 327–337.
10- Gardner R.L., and Young R.A. 1988. Assessing strategies for controlof irrigation-induced salinity in the Upper Colorado River Basin. American Journal of Agriculture Economics, 70 (1): 37–49.
11- Hexem R.W., and Heady E.O. 1978. Water production functions for irrigated agriculture. Iowa State University Press, Ames.
12- Kruseman G., and Bade J. 1998. Agrarian policies for sustainable land use: Bio-economic modeling to assess the effectiveness of policy instruments. Agricultural Systems, 58: 465-481.
13- Louhichi K., Flichman G., and Zekri S. 1999. UN mode`le bio-e´conomique pour analyserl'impact de la politique de conservation des eauxet du sol. EconomieRurale, 252. 55–64.
14- Mimouni M., Zekri S., and Flichman G. 2000. Modelling the trade-offs between farm revenue and the reduction of erosion and nitrate pollution. Annals of Operations Research, 94: 91–103.
15- Morari F., Lutago E., and Borin M. 2004. An integrated non-point source model-GIS system for selecting criteria of best management practices in the Po Valley, North Italy. Agriculture, Ecosystems and Environment, 102: 247–262.
16- Neitsch S. L., Arnold J. G., Kiniry J. R., Williams J. R., and King K. W. 2005. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation. Black land Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 494 p.
17- O'Shea L., and Wade A. 2009. Controlling nitrate pollution: An integrated approach, Land Use Policy. 26: 799-808.
18- Overman A.R., and Scholtz R.V. 2002. Mathematical Models of Crop Growth and Yield. Marcel Dekker, New York. 23–35.
19- Samarasinghe O., Daigneault A., Greenhalgh S., and Sinclair R. 2011. Modelling economic impacts of nutrient reduction policies in the Hurunui catchment, Canterbury.Selected paper prepared for presentation at the New Zealand Association of Economists Annual Meeting. Wellington, New Zealand.
20- Semaan J., Flichman G., Scardigno A., and Steduto P. 2007. Analysis of nitrate pollution control policies in the irrigated agriculture of Apulia Region (Southern Italy): a bio-economic modelling approach. Agricultural Systems, 94: 357–367.
21- Shortle J.S., and Horan R.D. 2001. The economics of non-point pollution control. Journalof Economic Survey, 15: 255–289.
22- 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.
23- Varela-Ortega C., Sumpsi J.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.
24- 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.
25- 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.