فصلنامهٔ روستا و توسعه، سال ۱۷، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۳، صفحات ۷۱-۹۲

شبیه‌سازی رفتار کشاورزان با اعمال سیاست کاهش مقدار آب بر الگوی کشت با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)

وحید حسن‌وند، مریم حسن‌وند، رامتین جولایی، و فرهاد شیرانی بیدآبادی *

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۲۸

چکیده

مطالعهٔ حاضر، در راستای مدیریت بهینهٔ منابع آب کشاورزی، به بررسی واکنش و شبیه‌سازی رفتار کشاورزان با اعمال سیاست کاهش مقدار آب بر الگوی کشت محصولات زراعی راهبردی شهرستان خرم‌آباد می‌پردازد. داده‌های مورد نیاز پژوهش از طریق تکمیل ۱۲۰ پرسشنامه با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ جمع‌آوری شد. پس از تعیین الگوی کشت، با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)، به بررسی اعمال سیاست‌های کاهش بیست، سی، چهل و پنجاه درصدی آب موجود و نیز افزایش دو برابری قیمت آب همراه با کاهش سی و چهل درصدی مقدار آب در قالب شش سناریو پرداخته شد. نتایج نشان داد که با کاهش تا پنجاه درصدی در مقدار آب مصرفی، سطح زیر کشت محصولات آبی گندم، جو، کلزا و لوبیا قرمز، به‌ترتیب، تا

* به‌ترتیب، دانشجوی کارشناسی ارشد بیماری‌شناسی گیاهی دانشگاه تربیت مدرس؛ نویسندهٔ مسئول و دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (maryam.hasanvand@yahoo.com)؛ استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴۹/۵، ۴۶/۲، ۶۹/۶ و ۳/۸ درصد کاهش می‌یابد، اما سطح زیر کشت محصولات دیم به‌دلیل بازده و قیمت بازاری پایین‌تر تغییری نمی‌کند و البته در نهادهٔ آب نیز تا ۵۶/۵۳ درصد صرفه‌جویی می‌شود.

کلیدواژه‌ها: الگوی کشت، آب، محصولات زراعی، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، خرم‌آباد (شهرستان).

***

مقدمه

اهمیت کشاورزی در توسعهٔ اقتصادی سبب شده است که افزایش تولید و درآمد کشاورزان در ایران همواره در کانون توجه سیاستمداران باشد (Mansouri et al., 2009). منابع طبیعی سرمایه‌های اصلی بخش کشاورزی هر اقتصادی را تشکیل می‌دهد. منابع آب و خاک به‌مثابه منابع اصلی تولید از اساسی‌ترین موضوعات در حیطهٔ اقتصاد کشاورزی است (امینی فسخودی و نوری، ۱۳۹۰).

کمبود آب از مشکلات عمدهٔ اکثر کشورهای جهان به‌ویژه کشورهای دارای جمعیت رو به رشد به‌شمار می‌رود. یکی از راهکارهای مهم مدیریت تقاضای منابع آب در بخش کشاورزی تخصیص بهینهٔ آب بین بخش‌ها و مصارف مختلف است (کرامت‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

استان لرستان، با بهره‌مندی از ذخایر طبیعی و آب و هوای معتدل و کوهستانی، یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور محسوب می‌شود. کل سطح زیر کشت محصولات زراعی استان لرستان ٦٤٦/٧٦٤ هزار هکتار است که از این مقدار، ٢٤/٦ درصد به کشت محصولات زراعی آبی و ٧٥/٤ درصد به کشت دیم اختصاص دارد، آب کشاورزی آن از طریق چاه عمیق و چاه نیمه‌عمیق تأمین می‌شود. شهرستان خرم آباد منطقه‌ای با آب و هوای معتدل و مرطوب است. خرم‌آباد، با برخورداری از ١١٦/٠١٩ هزار هکتار سطح زیر کشت محصولات زراعی یکی از قطب‌های کشاورزی استان لرستان است؛ از این مقدار سطح زیر کشت، ۲۲ درصد به کشت آبی و ۷۸ درصد به کشت دیم اختصاص دارد. کل آب موجود

در شهرستان خرم‌آباد شامل ٦١ درصد آب‌های سطحی و ۳۹ درصد آب‌های زیرزمینی است (آب منطقه‌ای شهرستان خرم‌آباد، ۱۳۹۱). آب کشاورزی شهرستان خرم‌آباد از قنات و چاه‌ها تأمین می‌شود و محصولات عمدهٔ آن عبارت‌اند از گندم، جو، کلزا، نخود، عدس، و لوبیا قرمز. از این‌رو، به نظر می‌رسد که پیش از اتخاذ هر سیاستی در بخش کشاورزی، تجزیه و تحلیل آثار و پیامدهای آن برای بخش‌های مختلف کشاورزی ضروری باشد، و پیشنهاد اجرایی تحقیق حاضر نیز در همین راستاست. هدف از انجام مطالعهٔ حاضر بررسی تأثیر کاهش مقدار آب کشاورزی موجود بر الگوی کشت محصولات زراعی راهبردی شهرستان خرم‌آباد با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[1] است. نتایج مطالعهٔ حاضر سیاست‌گذاران را برای اتخاذ تصمیم درست و با اطمینان بالا کمک می‌کند. البته در این زمینه مطالعات زیادی در ایران و همین‌طور هم خارج از کشور انجام شده است که در پی، پاره‌ای از آنها را یادآور می‌شویم.

کرامت‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، در پژوهشی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)، به بررسی نقش بازار آب در تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی در اراضی پایین‌دست سد شیرین‌دره بجنورد پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بر اساس تعادل تقاضای آب و میزان عرضه در شرایط مختلف آب و هوایی، قیمت تعادلی آب در بازار آب شبیه‌سازی‌شده معادل ٤١٦ و ٥٧١ ریال به ازای هر متر مکعب، به‌ترتیب، در شرایط عادی و خشکسالی برآورد شده است. همچنین، بخشی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش دیگری برای تحلیل اثرات مختلف کاربرد سیاست‌های قیمت‌گذاری آب و نیز سیاست‌های جایگزین آن در دشت مشهد، از شیوهٔ برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در سطح مزرعه استفاده کرده‌اند؛ نتایج نشان می‌دهد که سیاست مالیات بر محصول می‌تواند جایگزینی مناسب برای سیاست قیمت‌گذاری آب کشاورزی باشد. موسوی و قرقانی (۱۳۹۰)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، با اعمال دو سناریوی «کاهش مقدار آب آبیاری» و «افزایش قیمت آب آبیاری»، به بررسی و

ارزیابی سیاست‌های آب کشاورزی در شهرستان اقلید پرداخته‌اند؛ نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که با اتخاذ سیاست کاهش ده درصدی در موجودی آب مصرفی همراه با دو برابر کردن قیمت آب، الگوی کشت بهینه نسبت به حالت مبنا چندان تغییر نمی‌کند. کورتیگنانی و سورینی (Cortignani and Severini, 2009) پژوهشی با عنوان «مدلسازی سطح مزرعه با اتخاذ تکنیک کم‌آبیاری با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)» در کشور ایتالیا به انجام رساندند؛ نتایج نشان می‌دهد که کشاورزان با کاهش سطح زیر کشت اختصاص‌یافته نسبت به سیاست کاهش دسترسی به آب و افزایش قیمت محصولات زراعی آبی واکنش نشان می‌دهند و هرچند، از انگیزهٔ کافی برای اتخاذ شیوهٔ کم‌آبیاری برخوردارند، اما افزایش هزینه‌های خدمات آب به‌تنهایی انگیزه‌ای برای اتخاذ این شیوه ایجاد نمی‌کند. همچنین، فراگوسو و همکاران (Fragoso et al., 2011)، در پژوهشی، به بررسی اثرات اقتصادی سیاست مشترک کشاورزی[۲] در زیست‌بوم مونتادو/ دهسا در مدیترانه پرداخته و در این راستا، از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) برای انجام پژوهش در منطقه آلن تجو در جنوب پرتغال استفاده کرده‌اند؛ نتایج حاکی از آن است که روند این سیاست (CAP) به تأثیر اقتصادی منفی در فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از منابع می‌انجامد. هی و همکاران (He et al., 2012)، با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، به تجزیه و تحلیل نتایج کاربرد روش «به اشتراک‌گذاری آب متناسب» در مقابل «تخصیص بر اساس رتبه» در کمان رودخانهٔ حوضهٔ فرعی جنوب آلبرتا پرداخته‌اند؛ نتایج نشان می‌دهد که انحرافات متوسط پنج سال گذشته از منطقه (P_5Y) به نتایج برتری در تخصیص مجدد آب و به حداکثر رساندن رانت اقتصادی انجامیده است. همچنین، هاویت و همکاران (Howitt et al., 2012)، با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) به توصیف و معرفی مدل کالیبراسیون جداگانهٔ مدل‌های اقتصادی تولید کشاورزی و مدیریت آب پرداخته‌اند؛ البته مدل مرکزی مدل تولید کشاورزی در ایالت کالیفرنیا[۳] بوده است و نتایج نشان می‌دهد که با انعطاف

بیشتر در تخصیص بازار آب می‌توان زیان‌های درآمدی در شرایط خشکسالی را تا سی درصد کاهش داد.

از نتایج مطالعات یادشده چنین برمی‌آید که کمبود و عدم استفادهٔ مناسب از منابع آب به‌ویژه در بخش کشاورزی باعث گرایش مطالعات اعم از داخلی و خارجی به سمت استفاده از سیاست‌های قیمت‌گذاری نهادهٔ آب و کاهش آب در دسترس شده است.

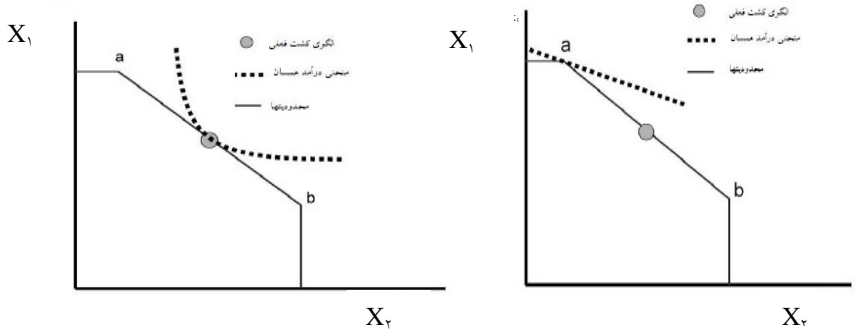
مطالعاتی که تاکنون در ایران در این زمینه انجام شده، به‌دلیل فاصلهٔ بین جواب‌های بهینه و سطح الگوی کشت موجود، تأثیر سیاست کاهش مقدار آب آبیاری و اثر تغییر قیمت را از لحاظ عملی به‌درستی نشان نمی‌دهند. همچنین، در زمینهٔ سیاست‌های مورد مطالعه و بررسی آثار آن بر الگوی کشت و مصرف نهاده‌ها در بخش کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک (غرب کشور) مطالعه‌ای انجام نشده است. با توجه به ضرورت مطالعه در زمینهٔ سیاست‌های آب کشاورزی، الگوی به‌کار رفته در پژوهش حاضر این ویژگی را دارد که سال پایه را بازسازی کند؛ بدین ترتیب، ابتدا مقادیر سال مورد بررسی (پایه) را در قالب جواب بهینه به‌دست می‌دهد و سپس، با اتخاذ سیاست‌های مورد نظر، واکنش کشاورزان را به‌صورت درصدی نسبت به سال پایه در مقدار مصرف نهاده‌ها از جمله آب آبیاری و سطح زیر کشت نشان می‌دهد؛ و در واقع، این مدل نشان‌دهندهٔ همان واکنش مورد انتظار کشاورزان در دنیای واقعی نسبت به کاهش تدریجی در مقدار آب آبیاری در قالب سیاست مقابله با خشکسالی و سیاست ترکیبی افزایش قیمت و کاهش مقدار آب مصرفی و اثر آن بر الگوی کشت و مصرف نهاده‌ها در شهرستان خرم‌آباد استان لرستان به‌عنوان نماینده‌ای از غرب کشور است.

روش تحقیق

در مطالعهٔ حاضر، از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت استفاده شده و از این‌رو، بسیاری از محدودیت‌ها و معایب برنامه‌ریزی ریاضی هنجاری[۴] برطرف شده است. این روش طی سال‌های اخیر مورد توجه محققان اقتصاد کشاورزی قرار گرفته و در بررسی اثرات سیاست‌های

کشاورزی، کاربرد گسترده داشته است (Arfini et al., 2003). برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) یک روش تحلیل تجربی است که از تمام اطلاعات موجود، فارغ از میزان کمیابی آنها استفاده می‌کند (Henry et al., 2005; Arfini, 2001; Roham and Dabert, 2003).همچنین، در تخمین پارامترهای تابع هزینه، از روش هلمینگ (Helming, 2005) استفاده می‌شود.

در شکل ۱، با بهره‌گیری از یک الگوی ساده‌شده، توضیحی از ایدهٔ اصلی نهفته در روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) و برنامه‌ریزی ریاضی هنجاری (NMP) ارائه شده است.



مأخذ: Buysse et al., 2007

شکل ۱- توضیح نموداری یک الگوی ساده با بهره‌گیری از روش‌های NMP و PMP با دو فعالیت X_1 و X_2

برخلاف روش NMP، در روش PMP، با این فرض که ترکیب فعالیت مشاهده‌شده در مزرعه منعکس‌کنندهٔ انتخاب بهینهٔ مورد نظر کشاورز است و نیز با توجه به محدودیت‌های کشاورز، سعی می‌شود که با استفاده از یک تابع هدف غیرخطی، سطوح مشاهده دهٔ فعالیت‌ها بازتولید شود. در شکل ۱، یک تابع هزینهٔ غیرخطی محدب در داخل تابع سود قرار داده شده است که در نتیجه، تابع سود کل مقعر است. در حقیقت، پارامترهای تابع هدف

یادشده به‌گونه‌ای برآورد می‌شود که بازتولید درست وضعیت پایه را به همراه داشته باشد (Buysse et al., 2007).

همان‌گونه که هاویت (Howitt, 1995) و پاریس و هاویت (Paris and Howitt, 1998) بیان می‌دارند، PMP در قالب یک روش طی سه مرحله دنبال می‌شود.

مرحلهٔ اول ***PMP***: با افزودن محدودیت‌های کالیبراسیون به مجموعهٔ محدودیت منابع، برآورد الگوی بهینهٔ کشت ساده با استفاده از برنامه‌ریزی خطی:

$$Maximise: Z = P'X - C'X \quad (۱)$$

$$subject\ to: AX \le b \quad [\lambda] \quad (۲)$$

$$X \le X_0 + \varepsilon \quad [\rho] \quad (۳)$$

$$X \ge 0$$

که در آن، Z ارزش تابع هدف، P بردار (n×۱) قیمت‌های محصول، X بردار(n×۱) غیرمنفی از سطوح فعالیت‌های تولیدی، C بردار (n×۱) هزینهٔ حسابداری هر واحد از فعالیت، A ماتریس (M× N) ضرایب در محدودیت‌های منابع، b بردار (m×۱) مقادیر منابع در دسترس، x_0 بردار (N×۱) غیرمنفی از سطوح مشاهده‌شدهٔ فعالیت‌های تولیدی، ε بردار (N×۱) اعداد مثبت کوچک برای جلوگیری از وابستگی خطی بین محدودیت‌های ساختاری (۲) و محدودیت‌های کالیبراسیون (۳)، λ بردار (m×۱) متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های منابع، ρ بردار (N×۱) متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های کالیبراسیون است.

مرحلهٔ دوم PMP: در این مرحله، از مقادیر دوگان به‌دست آمده در مرحلهٔ اول برای تخمین پارامترهای تابع هدف غیرخطی استفاده می‌شود. در اغلب مطالعات انجام‌شده با استفاده از

روش PMP، یک از تابع هزینهٔ متغیر چندمحصولی دارای شکل تابعی درجهٔ دوم به‌صورت زیر استفاده شده است.

$$C^{v}(x) = d'x + x'Qx \;/\; 2 \qquad (٤)$$

که در آن، d بردار (n×۱) از پارامترهای جزء خطی تابع هزینه، و Q ماتریس مثبت، معین و متقارن با ابعاد (n×n) از فراسنجه‌های جزء درجهٔ دوم تابع هزینه است. همچنین، بردار هزینهٔ نهایی متغیر (MC^{V}) مربوط به تابع هزینهٔ یادشده برابر با هزینهٔ حسابداری C و بردار هزینهٔ نهایی تفاضلی ρ است:

$$MC^{v} = \nabla C^{v}(x)'_{x0} = d + Qx_0 = c + p \qquad (٥)$$

مرحلهٔ سوم PMP: تابع هزینهٔ غیرخطی برآورد شده در مرحلهٔ قبل در تابع هدف مسئلهٔ مورد بررسی قرار داده شده، از تابع هدف غیرخطی یادشده در یک مسئلهٔ برنامه‌ریزی غیرخطی شبیه به مسئلهٔ اولیه به استثنای محدودیت‌های کالیبراسیون ولی همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی استفاده می‌شود:

$$Maximise \;\; Z = p'x - d'x - x'Qx/2 \qquad (٦)$$

$$Subject \quad to \;:\; Ax \;\leq\; b \qquad (٧)$$

$$x \geq 0$$

که در آن، بردار $\hat{d}$ و ماتریس $\hat{Q}$ نشان‌دهندهٔ پارامترهای کالیبره‌شدهٔ تابع هدف غیرخطی است.

روش کالیبراسیون تابع هزینه

هلمینگ (Helming, 2005)، با استفاده از کشش‌های خود قیمتی برون‌زا ($\bar{\varepsilon}jj$)، عناصر غیرقطری ماتریس Q را برابر با صفر قرار داده است. در این وضعیت، مشتقات جزئی $\frac{\partial x_j}{\partial P}$

برابر با q_{jj}^{-1} است، به‌گونه‌ای که با استفاده از معادلهٔ کشش (در مقادیر مشاهده‌شده)، مقادیر q_{jj} برای یک ε_{jj} معلوم به‌صورت رابطهٔ ۸ به‌دست می‌آید:

$$\bar{\varepsilon}_{jj} = \frac{1}{q_{jj}} \frac{p_j^0}{x_j^0} \qquad q_{jj} = \frac{1}{\bar{\varepsilon}_{jj}} \frac{p_j^0}{x_j^0} \qquad \forall_j = 1, \cdots, N \qquad (۸)$$

همچنین، به‌منظور برآورده شدن شرط کالیبراسیون، پارامترهای خطی تابع هزینهٔ متغیر به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$d_j = c_j + \rho_j - q_{jj} x_j^0 \qquad \forall_j = 1, \cdots, N \qquad (۹)$$

در حال حاضر، قیمت آب برای محصولات زراعی در کل کشور به‌طور متوسط حدود صد ریال است و به‌خاطر همین قیمت پایین، به هیچ وجه صرفه‌جویی در مصرف آب صورت نمی‌گیرد. از این‌رو، وزارت نیرو در نظر دارد که برای صرفه‌جویی در مقدار آب مصرفی، قیمت آن را به ازای هر متر مکعب از دو تا ده برابر به‌صورت پلکانی افزایش دهد؛ بدین ترتیب، کاهش پنجاه درصدی مقدار آب مصرفی در قالب سیاست مقابله با خشکسالی در نظر گرفته شد. خشکسالی و در پی آن، کاهش بیشتر در مقدار آب به کمبود آب در محصولات زراعی و حذف آنها از الگوی کشت می‌انجامد و به تولیدات کشاورزی زیان می‌رساند.

در حالت کلی، «کاهش مقدار آب در دسترس تا پنجاه درصد» در قالب سیاست شبیه‌سازی مقابله با خشکسالی و نیز سیاست استفاده از آب صرفه‌جویی‌شده در تبدیل سطح زیر کشت محصولات دیم به آبی (با جلوگیری از اتلاف آب) مطرح است و سناریوهای ترکیبی افزایش قیمت و کاهش مقدار آب برای افزایش کارآیی و صرفه‌جویی در مصرف آب اعمال می‌شود. سناریوهایی که در مطالعهٔ حاضر بررسی خواهد شد، عبارت‌اند از: *سناریوی اول*،

کاهش بیست درصدی در مقدار آب در دسترس؛ *سناریوی دوم*، کاهش سی درصدی در مقدار آب در دسترس؛ *سناریوی سوم*، کاهش چهل درصدی در مقدار آب در دسترس؛ *سناریوی چهارم*، کاهش پنجاه درصدی در مقدار آب در دسترس؛ *سناریوی پنجم*، افزایش دو برابری قیمت آب همراه با کاهش سی درصدی در مقدار آب در دسترس؛ و *سناریوی ششم*، افزایش دو برابری قیمت آب همراه با کاهش چهل درصدی در مقدار آب در دسترس.

هدف از مطالعهٔ حاضر شبیه‌سازی واکنش کشاورزان در سناریوهای اعمال سیاست کاهش مقدار آب در دسترس کشاورزی و نیز سیاست ترکیبی افزایش قیمت آب و کاهش مقدار آب بر الگوی کشت محصولات زراعی در شهرستان خرم‌آباد استان لرستان با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت است. پس از تدوین الگوی کشت بهینه، از مقدار آب در دسترس کشاورزی به‌صورت درصدی کاسته می‌شود؛ سپس، بررسی نتایج و سرانجام، تحلیل اثرات نوسان‌های قیمت همراه با نوسان‌های مقدار آب در قالب سیاست ترکیبی صورت می‌گیرد.

جامعهٔ آماری پژوهش دربرگیرندهٔ کل کشاورزان فعال شهرستان خرم‌آباد است. برای دستیابی به اهداف پژوهش، از دو نوع داده بهره‌گیری شده است؛ یکی، داده‌های مربوط به مقادیر مصرف نهاده‌های آب در بخش کشاورزی و مشکلات بحران آب در سطح کشور و شهرستان لرستان که به روش اسنادی و کتابخانه‌ای از اداره‌های ذی‌ربط جمع‌آوری شده دیگری، آمار و اطلاعات پژوهشی مورد نیاز که از طریق طراحی پرسشنامه و مصاحبه با کشاورزان منطقهٔ مورد مطالعه گردآوری شده است. در پژوهش حاضر، از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای استفاده شده است؛ بدین منظور، شهرستان خرم‌آباد در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به چهار طبقهٔ شمال، جنوب، شرق و غرب تقسیم‌بندی و سپس، در داخل هر طبقه نیز از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. از آنجا که تعداد کشاورزان محصولات

راهبردی در هر طبقه تقریباً برابر بود، برای انتخاب تعداد نمونه در هر طبقه، بدین صورت عمل شد:

$$n_i = \frac{N_i S_i}{\sum_{i=1}^{l} N_i S_i} \times n \qquad (۱۰)$$

$$n_i = n w_i \qquad (۱۱)$$

که در این روابط، N تعداد کشاورزان شهرستان، n تعداد نمونهٔ شهرستان، n_i تعداد نمونهٔ طبقهٔ iام، N_i تعداد کشاورزان طبقهٔ iام، S_i انحراف معیار مشاهدات در طبقه‌بندی در طبقهٔ iام، و σ^2 واریانس مشاهدات برای تعیین حجم نمونه است (w_i= حجم هر طبقه نسبت به کل کشاورزان شهرستان خرم‌آباد که برابر با یک‌چهارم است).

با توجه به کسرهای تخصیصی هر طبقه از کشاورزان محصولات راهبردی (w_i= ¼)، نمونه‌هایی به تعداد مساوی از هر طبقه انتخاب شدند و در نهایت، با استفاده از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای، ۱۲۰ پرسشنامه تکمیل شد. تعداد نمونهٔ هر طبقه سی پرسشنامه بوده است. در محاسبهٔ نیاز آبی محصولات، از نرم‌افزار NETWAT برای کلیهٔ محصولات زراعی استفاده شد و تجزیه و تحلیل اطلاعات نیز با استفاده از محیط Excel و بستهٔ نرم‌افزاری LINGO11 انجام گرفت.

نتایج و بحث

با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از جدول ۱، مدل PMP قادر به تولید دوبارهٔ مقادیر سال پایه شده و بر داده‌های سال پایه تطبیق یافته است. این مزیت در اتخاذ سیاست کمک می‌کند که کشاورز بتواند بر اساس الگوی واقعی سال پایه به الگوی بهینه دست یابد.

جدول ۱- مقایسهٔ عملکرد محصول در الگوهای کشت موجود و مدل PMP (هکتار)

محصول	الگوی کشت موجود	الگوی کشت در مدل PMP
گندم دیم	٤٨٠٠٠	٤٧٩٩٣/٥٩
گندم آبی	١٣٥٠٠	١٣٤٩٩/٧٩
جو دیم	٢٠٠٠٠	١٩٩٩٨/٦٧
جو آبی	١٤٠٠	١٣٩٩/٩٨
کلزا آبی	٢٥٤	٢٥٤
نخود دیم	١٨٠٠٠	١٧٩٩٨/٥٤
عدس دیم	٤٥٠٠	٤٤٩٩/٧٣
لوبیا قرمز آبی	٥٤٠	٥٣٩/٩٩

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۲- درصد تغییرات سطح زیر کشت در سیاست‌های اعمال‌شده نسبت به سال پایه در مدل PMP

سناریو	درصد کاهش مقدار آب در دسترس				سیاست ترکیبی افزایش قیمت و کاهش مقدار آب در دسترس	
محصول	۲۰	۳۰	٤٠	۵۰	افزایش دو برابری با کاهش ۳۰ درصدی	افزایش دو برابری با کاهش ٤٠ درصدی
گندم دیم	۰	۰	۰	۰	۰	۰
گندم آبی	-۱۹/۸۳	-۲۹/۷۵	-۳۹/٦٦	-٤۹/۵۸	-۲۹/۷٦	-۳۹/٦۷
جو دیم	۰	۰	۰	۰	۰	۰
جو آبی	-۱۸/٤۸	-۲۷/۸۳	-۳٦/۹۷	-٤٦/۲۱	-۲۷/۸۵	-۳٦/۹۸
کلزا آبی	-۲۷/۸۷	-٤۱/۸۵	-۵۵/۷	-٦۹/٦۲	-٤۱/۸٦	-۵۵/۷۲
نخود دیم	۰	۰	۰	۰	۰	+۰/۰۰۰۲
عدس دیم	۰	۰	۰	۰	۰	+۰/۰۰۰۹
لوبیا قرمز آبی	-۱/۵۱	-۱/۹۷	-۲/۵۲	-۳/۸۱	-۲/۱۱	-۲/۵۸

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج اعمال سیاست کاهش مقدار آب در دسترس بر الگوی کشت محصولات زراعی

پیش از بررسی نتایج، شایان یادآوری است که بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از سازمان جهاد کشاورزی و پرسشنامه‌های تکمیل‌شده، قیمت آب در شهرستان خرم‌آباد ۹۵ ریال است و همچنین، با توجه به نتایج آزمایش الگوی کشت به‌دست آمده با اعمال سیاست کاهش آب در دسترس تا سطح ده درصد، روشن شد که الگوی کشت نسبت به سال مبنا تغییری نداشته و از این‌رو، در مقالهٔ حاضر، از ذکر نتایج بررسی تا سطح زیر بیست درصد چشم‌پوشی شده است.

در سناریوی اول، مقدار آب در دسترس به مقدار بیست درصد کاهش داده شده و در پی آن، طبق نتایج به‌دست آمده، سطح زیر کشت تمام محصولات آبی کاهش یافته ولی در سطح زیر کشت محصولات دیم تغییری ایجاد نشده است. در این سناریو، از کل زمین منطقه استفاده نشده است؛ و از آنجا که مقدار سطح زیر کشت محصولات آبی کاهش یافته ولی این کاهش با افزایش در سطح زیر کشت محصولات دیم جبران نشده، مقدار بازده برنامه‌ای نیز کاهش یافته است. در سناریوی دوم، مقدار آب در دسترس به مقدار سی درصد کاهش داده شده است و بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۲)، تغییرات در سطح زیر کشت محصولات آبی بیشتر دیده می‌شود؛ بیشترین کاهش مربوط به محصول کلزا و کمترین کاهش مربوط به محصول لوبیا قرمز است؛ همچنین، سطح زیر کشت محصولات دیم نسبت به سناریوی اول تغییری نکرده، بازده برنامه‌ای نیز به مقدار ۲/۵۴ درصد کاهش یافته و میزان صرفه‌جویی در نهادهٔ آب به مقدار قابل توجه بیشتر شده است. در سناریوی سوم، کاهش چهل درصد در مقدار آب در دسترس انجام شده و در این سناریو نیز سطح زیر کشت محصولات آبی به مقدار قابل توجه کاهش یافته است؛ این کاهش در سطح زیر کشت نسبت به سناریوهای قبلی بیشتر دیده می‌شود و بیشترین کاهش مربوط به محصول کلزا آبی با ۵۵/۷ درصد و کمترین کاهش مربوط به محصول لوبیا قرمز آبی به میزان ۲/۵۲

درصد است؛ همچنین، نتایج نشان می‌دهد که میزان مصرف نهادهٔ آب و زمین به مقدار ۴۳/۸۹ و ۵/۶۷ درصد کاهش یافته است. در سناریوی چهارم، کاهش پنجاه درصد در مقدار آب در دسترس انجام شد. در این سناریو نیز سطح زیر کشت محصولات آبی به مقدار قابل توجه کاهش یافته، بیشترین کاهش مربوط به محصول کلزا آبی با ۶۹/۶۲ درصد و کمترین کاهش مربوط به محصول لوبیا قرمز آبی به میزان ۳/۸۱ درصد است. این کاهش زیاد در کلزا آبی مربوط به مقدار آب مصرفی بالاست. سطح زیر کشت محصولات دیم هم هیچ تغییری نکرده و میزان مصرف نهادهٔ آب و زمین، به‌ترتیب، ۵۶/۵۳ و ۷/۰۹ درصد کاهش یافته است.

با توجه به مشاهدات و یافته‌ها، سطح زیر کشت محصولات آبی کاهش یافته ولی این سطح زیر کشت کاهش‌یافته بدون استفاده باقی مانده است؛ در نتیجه، با اعمال این سیاست، تغییر الگوی کشت انجام نگرفته است. هرچند، از مقدار آب مصرفی کاسته شده، اما سود کشاورز به مقدار زیادتری کاهش یافته است. در مطالعهٔ قرقانی و همکاران (۱۳۸۸)، سیاست کاهش مقدار آب در دسترس تایید شده است؛ طبق این مطالعه، اعمال سیاست‌های کاهش بیش از ده درصدی میزان موجودی آب آبیاری و کمبود آب بر سطح زیر کشت، ترکیب محصول، ترکیب نهاده و منافع مزرعه اثر می گذارد؛ و همچنین، استفاده از روش‌هایی که بتواند راندمان انتقال آب آبیاری را به بیشینه برساند و از هدررفت این منبع باارزش جلوگیری کند، پیشنهاد می‌شود.

در سناریوی پنجم، افزایش دو برابری قیمت آب همراه با کاهش سی درصدی مقدار آب در دسترس در قالب سیاست ترکیبی اعمال شده و سطح زیر کشت محصولات آبی کاهش یافته است؛ بیشترین و کمترین کاهش مربوط به محصولات کلزا آبی و لوبیا قرمز آبی بوده و تغییر زیادی در سطح زیر کشت ایجاد شده است. البته این کاهش سطح زیر کشت محصولات آبی با افزایش در سطح زیر کشت دیم جبران نشده است؛ به‌دلیل اینکه با

کاهش سی درصدی مقدار آب، این مقدار آب را کشاورز از دست داده و همین موضوع باعث کاهش آب در مزرعه یا افزایش راندمان آب شده است، اگر این سطح زیر کشت کاهش‌یافته به محصولات دیم اختصاص داده شود، کشاورز به‌شدت متحمل ضرر می‌شود، چرا که محصولات دیم هم بازده کمتر و هم قیمت بازاری کمتری دارند. همان‌گونه که در جداول ۱ تا ۳ آمده، نهادهٔ آب به مقدار ۳۵/۸۵ درصد و سطح زیر کشت به مقدار ٤/۲۸ درصد کاهش یافته است. افزایش دو برابری قیمت آب باعث افزایش در هزینه‌های تولید شده و با کاهش سی درصدی مقدار آب در دسترس نیز سطح زیر کشت محصولات آبی و در نتیجه، درآمد کل کاهش می‌یابد؛ از آنجا که قیمت بازاری و نیز بازده محصولات آبی بیشتر است، در نهایت، این دو سیاست در قالب یک سیاست ترکیبی میزان بازده برنامه‌ای را به اندازهٔ ۲/۱۵ درصد کاهش داده است.

سناریوی ششم «افزایش دو برابری قیمت آب همراه با کاهش چهل درصدی مقدار آب در دسترس» است. طبق نتایج جداول ۱ و ۲، سطح زیر کشت محصولات آبی کاهش یافته و سطح زیر کشت محصولات دیم نیز تغییری نکرده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سطح زیر کشت محصولاتی مانند کلزا آبی و گندم آبی که نیاز آبی بالا و مصرف آب بیشتری دارند، نسبت به دیگر محصولات کاهش بیشتری داشته است؛ ولی این کاهش در محصولات آبی با افزایش سطح زیر کشت در محصولات دیم جبران نشده و به دیگر سخن، تغییر الگوی کشت از آبی به دیم انجام نگرفته است. بر اساس نتایج جداول ۳ و ٤، میزان مصرف نهادهٔ آب به مقدار ٤۳/۹ درصد کاهش یافته که قابل توجه است. سیاست افزایش دو برابری قیمت آب همراه با کاهش چهل درصدی مقدار آب در دسترس نشان‌دهندهٔ نتایج نسبتاً خوب است؛ همراه با کاهش سطح زیر کشت در محصولات آبی، میزان مصرف نهاده‌ها به‌ویژه آب کاهش یافته است که از این مازاد می‌توان در فعالیت‌های دیگر استفاده کرد. در نهایت، این دو سیاست ترکیبی با هم بازده برنامه‌ای را به مقدار ۳/۷۹ درصد کاهش داده است. بر اساس مطالعهٔ وارد و میشلسن (Ward and Michelsen, 2002)، با افزایش

قیمت آب، از میزان مصرف آب کاسته نمی‌شود؛ بلکه آب به محصولاتی با ارزش تولید بالا اختصاص می‌یابد. هی و همکاران (He et al., 2005)، طی مطالعهٔ خود در کشور مصر، بدین نتیجه رسیدند که تقاضای آب نسبت به سیاست قیمت‌گذاری بی‌کشش است. همچنین، طبق مطالعهٔ صبوحی و همکاران (۱۳۸۶) در ایران، افزایش قیمت آب آبیاری از طریق تغییر الگوی کشت منجر به کاهش مصرف آن در سطح مزرعه نمی‌شود. بر اساس مطالعات یادشده، سیاست قیمت‌گذاری نهادهٔ آب به‌تنهایی کارآیی نداشته و از این‌رو، از سیاست ترکیبی استفاده شده است.

جدول ۳- درصد تغییرات مقدار مصرف نهاده در سیاست‌های اعمال‌شده نسبت به سال پایه در مدل PMP

سناریو	درصد کاهش مقدار آب در دسترس				سیاست ترکیبی افزایش قیمت و کاهش مقدار آب در دسترس	
نهاده	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	افزایش دو برابری با کاهش ۳۰ درصدی	افزایش دو برابری با کاهش ۴۰ درصدی
زمین	-۲/۸۴	-۴/۲۶	-۵/۶۷	-۷/۰۹	-۴/۲۸	-۵/۶۹
آب	-۲۶/۸۲	-۳۵/۸۴	-۴۳/۸۹	-۴۶/۵۳	-۳۵/۸۵	-۴۳/۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۴- درصد تغییرات بازده برنامه‌ای نسبت به سال پایه در مدل PMP

سناریو	درصد کاهش مقدار آب در دسترس				سیاست ترکیبی افزایش قیمت و کاهش مقدار آب در دسترس	
	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	افزایش دو برابری با کاهش ۳۰ درصدی	افزایش دو برابری با کاهش ۴۰ درصدی
بازده برنامه‌ای	-۰/۹۶	-۲/۱۴	-۳/۷۸	-۵/۸۹	-۲/۱۵	-۳/۷۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج به‌دست آمده، با کاهش بیش از ده درصدی آب در دسترس، سطح زیر کشت محصولات آبی کاهش می‌یابد، ولی تغییری در سطح زیر کشت محصولات دیم ایجاد نمی‌شود؛ دلیل اینکه کاهش سطح زیر کشت آبی با افزایش سطح زیر کشت محصولات دیم جبران نمی‌شود، این است که محصولات دیم هم بازده پایین‌تر و هم قیمت بازاری پایین‌تر دارند و در نهایت، الگوی کشت آبی به دیم تبدیل نمی‌شود. در نتیجه، در نهادهٔ آب در مزرعه به مقدار مناسب صرفه‌جویی می‌شود و به دیگر سخن، در قالب سیاست شبیه‌سازی مقابله با خشکسالی، می‌توان نتایج را به‌خوبی ارزیابی کرد. در نهایت، با کاهش در سطح زیر کشت آبی، مقدار بازده برنامه‌ای به نسبت کمتر کاهش یافت. این نتیجه با تحقیقات پیشین تثبیت می‌شود. بر اساس نتایج پژوهش قرقانی و همکاران (۱۳۸۸)، افزایش قیمت آب تا ده درصد به تغییر الگوی کشت و مصرف آب نینجامیده و با افزایش بیشتر در قیمت آب آبیاری فقط الگوی کشت به مقدار کمی کاهش یافته و در مصرف آب صرفه‌جویی قابل توجه انجام نشده است. از این‌رو، در تحقیق حاضر، از سیاست‌های ترکیبی استفاده شد. مدلین- آزوارا و همکاران (Medellin-Azuara et al., 2012) طی مطالعهٔ خود در کشور آلبرتا، نتیجه گرفتند که افزایش قیمت آب باعث افزایش بیشتر در بهره‌وری آب کشاورزی می‌شود.

هرچند، می‌توان مسئله را بدین صورت مطرح کرد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک با صرفه‌جویی بیست، سی، چهل، و پنجاه درصد در مقدار نهادهٔ آب می‌توان باعث پایداری منابع آب در کشاورزی شد و در عین حال، بازده برنامه‌ای کشاورز نسبتاً کم کاهش می‌یابد و کشاورز کمتر متحمل ضرر می‌شود، اما نتیجه‌ای که از این سیاست به‌دست می‌آید، این است که با آب صرفه‌جویی‌شده می‌توان زمین در مناطق نیازمند آب را زیر کشت برد و کشاورزی را گسترش داد و در راستای تولیدات کشاورزی گام برداشت. در شهرستان خرم‌آباد استان لرستان، در مصرف آب صرفه‌جویی نشده، آبیاری بیشتر به شکل سنتی انجام می‌شود

و از این‌رو، هدررفت زیاد آب در بخش کشاورزی صورت می‌گیرد و به علت کمبود آب، بسیاری از محصولات راهبردی در این منطقه مثل گندم، جو، نخود و عدس به شکل دیم کاشته می‌شوند که در نتیجهٔ بازده کمتر، کمک کمتری به تولیدات کشاورزی می‌کنند. در این راستا، با اجرایی کردن این سیاست‌ها در کشاورزی دشت خرم‌آباد، می‌توان محصولات راهبردی دیم را به‌صورت آبی کشت کرد و بازده را افزایش داد و بر میزان تولیدات در شهرستان خرم‌آباد افزود.

بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از جهاد کشاورزی استان لرستان، قیمت آب در شهرستان خرم‌آباد بسیار پایین است (حدود ۹۵ ریال) و شاید کاهش مقدار آب در دسترس یا شبیه‌سازی افزایش راندمان در بخش کشاورزی در این شهرستان کارآمد نباشد و از این‌رو، سعی شده است که سیاست افزایش قیمت و کاهش آب در دسترس به‌صورت ترکیبی به‌کار گرفته شود.

با توجه به نتایج مطالعهٔ حاضر، به‌منظور مدیریت منابع موجود کشاورزی در منطقه، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

۱- برای تبدیل روش‌های سنتی آبیاری در کشاورزی به روش‌های پیشرفته، تسهیلات مالی پرداخت شود؛

۲- آگاه‌سازی مردم منطقه نسبت به عواقب ناشی از مصرف بی‌رویهٔ منابع آبی از طریق تقویت نظام‌های آموزشی و ترویج و به‌کارگیری هرچه بیشتر رسانه‌های گروهی منطقه نیز در راستای رسیدن به هدف‌های مورد نظر ضرورت دارد؛

۳- با توجه به احتمال ناکارآمدی سیاست کاهش مقدار آب در دسترس در منطقه، لازم است در قالب راهکارهای مدیریتی در راستای کاهش مصرف منابع آب، از سیاست‌های جایگزین مانند ترویج روش‌های نوین آبیاری و مدیریت مشارکت مردمی بهره‌گیری شود و تعیین الگوی بهینهٔ کشت بر اساس نیاز آبی منطقه صورت گردد. همچنین، می‌توان

استفاده از سیاست قیمت‌گذاری آب همراه با هر کدام از سیاست‌های یادشده به‌صورت یک سیاست مکمل را نیز مد نظر قرار داد؛ و

۴- مطالعات میدانی در سایر مناطق استان و کشور، مانند آنچه در مطالعهٔ حاضر انجام شده است، می‌تواند مورد استفادهٔ سیاست‌گذاران قرار گیرد.

یادداشت‌ها

1. Positive Mathematical Programming (PMP)
2. Common Agricultural Policy (CAP)
3. State-Wide Agricultural Production (SWAP)
4. Normative mathematical programming

منابع

بخشی، ع.؛ دانشور کاخکی، م.؛ و مقدسی، ر. (۱۳۹۰)، «کاربرد مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به منظور تحلیل اثرات سیاست‌های جایگزین قیمت‌گذاری آب در دشت مشهد». ***اقتصاد و توسعهٔ کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)***، سال ۲۵، شمارهٔ ۳، صص ۲۸٤-۲۹٤.

صبوحی، م.؛ سلطانی فسقندیس، غ.؛ و زیبایی، م. (۱۳۸٦)، «بررسی اثر تغییر قیمت آب آبیاری بر منافع خصوصی و اجتماعی با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت». ***اقتصاد و توسعهٔ کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)***، سال ۲۱، شمارهٔ ۱، صص ۵۳-۷۱.

قرقانی، ف.؛ بوستانی، ف.؛ و سلطانی، غ. (۱۳۸۸)، «بررسی تأثیر کاهش آب آبیاری و افزایش قیمت آب بر الگوی کشت با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، مطالعهٔ موردی شهرستان اقلید در استان فارس». ***تحقیقات اقتصاد کشاورزی***، سال ۱« شمارهٔ ۱، صص ۵۷-۷٤.

کرامت‌زاده، ع.؛ چیذری، ا. ح.؛ و شرزه‌ای، غ. (۱۳۹۰)، «نقش بازار آب در تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی (PMP) با رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، مطالعهٔ موردی اراضی پایین دست سد شیرین‌دره بجنورد». ***تحقیقات اقتصاد و توسعهٔ کشاورزی ایران (علوم کشاورزی ایران)***، دورهٔ ۲-۴۲، شمارهٔ ۱، صص ۲۹-٤٤.

موسوی، س. ن. و قرقانی، ف. (۱۳۹۰)، «ارزیابی سیاست‌های آب کشاورزی از منابع آب زیرزمینی، مدل برنامه‌ریزی مثبت (PMP)، مطالعهٔ موردی شهرستان اقلید». ***فصلنامهٔ پژوهش‌های اقتصادی***، سال ۱۱، شمارهٔ ٤، صص ٦۵-۸۲.

Arfini, F. (2001), "Mathematical programming models employed in the analysis of the common agriculture policy". Italian National Institute of Agricultural Economics (INEA), ***Working Paper No. 9***, pp. 26-35.

Arfini, F.; Donati, M.; and Paris, Q. (2003), "A national PMP model for policy evaluation in agriculture using micro data and administrative information". In: Paper Presented at ***the International Conference Agricultural Policy Reform and WTO: Where Are We Heading? Italy, Capri,*** June 23–26.

Buysse, J. (2006), Farm-level Mathematical Programming Tools for Agricultural Policy Support". ***PhD Dissertation***, Univ. of Ghent, Belgium.

Buysse, J.; Van Huylenbroeck, G.; and Lauwers, L. (2007), "Normative, positive and econometric mathematical programming as tools for incorporation of multifunctionality in agricultural policy modeling". ***Agriculture, Ecosystems and Environment***, Vol. 120, No. 1, pp. 70-81.

Cortignani, R. and Severini, S. (2009), "Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming". ***Agric. Water Managemant***, Italy, 10:1016/j.agwat.07.01.

Fragoso, R.; Marques, C.; Lucas, M. R.; Martins, M. B.; and Jorge, R. (2011), "The economic effects of common agricultural policy on Mediterranean montado/dehesa ecosystem". ***Journal of Policy Modeling 33, Universidade de Evora, Escola de Ciências Sociais***, Vol. 33, No. 2, pp. 311-327.

He, L.; Horbulyk, T. M.; Kamar Ali, Md.; Le Roy, D. G.; and Klein, K. K. (2012), "Proportional water sharing vs. seniority-based allocation in the Bow River basin of Southern Alberta". ***Journal of Agricultural Water Management 104***, University of Tennessee, Knoxville, 2012, Vol. 104, February, 2012, pp. 21- 31.

Henry de Frahan, B. et al. (2007), "Positive mathematical programming for agriculture and environmental policy analysis: review and practice". In: Weintraub, A.; Bjorndal, T.; Epstein, R.; and Romero, C. (Eds) ***Management of Natural Resuorces: A Handbook of Operations Research Models, Algorithms, and Implementations***. Kluwer Management Science (Series Editor: Hillier, F. S.).

Howitt, R. E. (1995), "Positive mathematical programming". ***American Journal of Agricultural Economics***, Vol. 77, No. 2, pp. 329-342.

Kelman, J. and Kelman, R. (2002), "Water allocation for ecocomic productin in a semi-arid region". ***Water Resources Development***, Vol. 18, No. 3, pp. 391-407.

Mansouri, H.; Kohansal, M. R.; and Khadem Ghousi, M. F. (2009), "Introducing a lexicographic goal programming for environmental conservation program in farm activities: a case study in Iran". ***China Agricultural Review***, Vol. 1, No. 4, pp. 478-484.

Medellin-Azuara, J. M.; Howitt, R. E.; and Harou, J. J. (2012), "Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology". ***Journal of Agricultural Water Management***, Vol. 108, 15 May, 2012, pp. 73-82.

Meister, D.; Chen, C. C.; and Heady, E. O. (1978), The Profitability of Crop and Livestock Production in the Settat Province of Morocco. ***PhD Thesis***, Purdue University Press.

Paris, Q. and Howitt, R. E. (19980), "An analysis of ill-posed production problems using Maximum Entropy". ***American Journal of Agricultural Economics***, Vol. 80, No. 1, pp. 124-138.

Röhm, O. and Dabbert, S. (2003), "Integrating agri-environmental programs into regional production models: an extension of positive mathematical

programming". ***American Journal of Agricultural Economics***, Vol. 85, No. 1, pp. 254-265.

Ward, F. A. and Michelsen, A. (2002), "The economic value of water in agriculture: concepts and policy applications". ***Journal of Water Policy***, Vol. 4, No. 5, pp. 423-446.