

تحلیل آثار اقتصادی سیاست غیرقیمتی کاهش عرضه آب در دشت قزوین

سعید یزدانی^۱، ابوالفضل محمودی^۲، غلامرضا یآوری^۳، محسن شوکت فدایی^۴، محمدرضا نظری^۵، *مهرنوش میرزایی^۶

۱. استاد گروه اقتصاد کشاورزی و رئیس دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی دانشگاه تهران، ایران

۲. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران شرق، ایران

۳. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران شرق، ایران

۴. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران شرق، ایران

۵. استادیار پژوهشگاه علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، ایران

۶. دانشجوی دکتری و عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی قزوین، ایران

(دریافت: ۱۳۹۵/۳/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۲۹)

Analysis of the Economic Effects of Nonprice Policy Reduced Water Supply in Qazvin Plain

Saeid Yazdani¹, Aboalfazl Mahmoodi², GholamReza Yavari³, Mohsen Shokat Fadaei⁴,
MohammadReza Nazari⁵, *Mehrnosh Mirzaei⁶

1. Professor of Agricultural Economics, Tehran University, Iran

2. Assistant Professor of Agricultural Economics, Payam-e-Noor University, Iran

3. Associate Professor of Agricultural Economics, Payam-e-Noor University, Iran

4. Assistant Professor of Agricultural Economics, Payam-e-Noor University, Iran

5. Assistant Professor, Shahid Beheshti University, Iran

6. Ph.D. Student, Qazvin University, Iran

(Received: 14/June/2016 Accepted: 19/July/2016)

Abstract:

Due to increasing demand and supply gap of water and reclamation plan and balance of groundwater resources by the Department of Energy It is expected to reduce water resources, regardless of the agricultural sector, Excessive pressure on the sector in the future through rations and water from reallocation of resources to sectors with higher priority enters this section. In this study, the effects of In this study, the economic effects of nonprice policy reduced water supply on the components of the agricultural sector in the province of Qazvin According to the data of the crop year 93-92 and by developing a positive mathematical programming model is investigated. The results showed that, with the policy of reduce water availability, crop patterns are highly impressed And more driven towards products that make water use more than economic efficiency. With increasing restrictions on water resources, increased economic efficiency water This suggests that the increasing scarcity of water resources and the signal value to agricultural producers To allocate water more economically valuable products in terms of lack of water resources.

Keywords: Economic Efficiency, Scarcity Value of Water Resources, Positive Mathematical Programming, Qazvin province.

JEL: C61, Q25, Q28, O21.

چکیده:

با توجه به افزایش روزافزون شکاف عرضه و تقاضای آب و اجرای طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی توسط وزارت نیرو پیش‌بینی می‌شود صرف نظر از کاهش طبیعی منابع آب بخش کشاورزی، فشار مضاعفی بر این بخش در آینده از طریق سهمیه‌بندی و بازتخصیص منابع آب از این بخش به بخش‌های با اولویت بالاتر وارد شود. در این پژوهش آثار اقتصادی اجرای سیاست غیرقیمتی کاهش عرضه منابع آب بر مؤلفه‌های بخش کشاورزی در استان قزوین بر اساس آمار و اطلاعات سال زراعی ۹۳-۹۲ و با بسط یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت بررسی شده است. نتایج نشان داد که، با اعمال سیاست کاهش آب در دسترس، الگوی کشت به شدت تحت تأثیر قرار گرفته و بیشتر به سمت محصولات سوق داده می‌شود که بازدهی اقتصادی بیشتری نسبت به مصرف آب ایجاد می‌کنند. با افزایش محدودیت منابع آب، بازده اقتصادی آب افزایش یافته که این امر بیانگر افزایش ارزش کمیابی منابع آب و علامت‌دهی آن به تولیدکنندگان بخش کشاورزی برای تخصیص آب به محصولات با ارزش اقتصادی بالاتر در شرایط کمبود منابع آب است.

واژه‌های کلیدی: بازده اقتصادی آب، ارزش کمیابی منابع آب،

برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، استان قزوین.

طبقه‌بندی JEL: O21, Q28, Q25, C61.

۱- مقدمه

تقاضا برای آب به دلیل رشد سریع جمعیت و تقاضا برای غذا و انرژی روز به روز در حال افزایش است. در عین حال، عرضه آب سطحی و زیرزمینی محدود و متغیر بوده و به طور فزاینده در معرض خطر تغییر اقلیم و تخریب‌های زیست محیطی است. این در شرایطی است که در بسیاری از مناطق کشور، توسعه منابع آب از طریق سیاست‌های طرف عرضه به حداکثر مقدار پتانسیل خود رسیده و حتی در پاره‌ای از موارد، از محدوده‌های مجاز و پایدار برداشت نیز فراتر رفته است. توزیع نامناسب موجودی منابع آب شیرین، نیز چالش مهم دیگری است به طوری که موجودی آن در برخی از نقاط فراوان اما عرضه آن در زمان‌ها و جاهایی که به آن نیاز بیشتری وجود دارد، محدود است. پیامد این امر، کمیابی فزاینده منابع آب در بخش‌های بزرگی از کشور و تشدید رقابت برای آب در بین بخش‌های مختلف مصرف است. پیش‌بینی می‌شود تغییر اقلیم نیز به عنوان یک تهدید بالقوه در سمت عرضه منابع آب این مشکلات را با تغییر الگوهای آب وهوایی و افزایش ریسک خشکسالی‌ها افزایش دهد. افزون بر این، روز به روز بر اهمیت ملاحظات زیست محیطی در برنامه‌ریزی منابع آب و تأمین حقابه‌های زیست محیطی و حفظ جریان‌های اکولوژیکی رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها افزوده می‌شود. در این صورت این سؤال اساسی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان منابع آب کشور مطرح است که تقاضاهای جدید برای منابع آب ناشی از رشد جمعیت و توسعه اقتصادی- اجتماعی در شرایطی که منابع آب موجود در حداکثر مقدار پتانسیل خود تخصیص یافته‌اند، از چه راهی باید تأمین شود.

یکی از راهکارهایی که در شرایط کمبود منابع آب برای غلبه بر این چالش از سوی سیاست‌گذاران و مدیریت منابع آب کشور مطرح می‌شود بازنگری در سیاست‌های تخصیص منابع آب و بازتخصیص مجدد به نفع بخش‌های با اولویت بالاتر مثل شرب و صنعت و به ضرر بخش کشاورزی است که در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد مصرف آب کشور را به خود اختصاص داده است. بر همین اساس پایداری منابع آب کشور بیش از هر چیز تحت تأثیر چگونگی تخصیص و بهره‌برداری از منابع آب در بخش کشاورزی قرار می‌گیرد. در حال حاضر با توجه به بر هم خورد توازن سیستم، عدم پایداری و کاهش ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی، اجرای طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی از سوی وزارت نیرو در دستور کار قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین برنامه‌های اجرایی این طرح، مسدود

نمودن چاه‌های غیرمجاز است که بخش قابل توجهی از آب استحصالی آنها در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. تعقیب این سیاست به معنی کاهش موجودی آب قابل دسترس بخش کشاورزی در آینده‌ای نه چندان دور خواهد بود. کاهش تخصیص آب به طور طبیعی اثرات تولید و اقتصادی بر بهره‌برداران بخش کشاورزی خواهد داشت. لذا این سؤال برای سیاست‌گذاران کلان و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی مطرح که آثار چنین سیاست‌هایی بر مؤلفه‌های اقتصادی بخش کشاورزی چه خواهد بود.

۲- پیشینه تحقیق

پیرو این ضرورت در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی در داخل و خارج از کشور در این خصوص صورت گرفته است که عمدتاً از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی مثبت که قابلیت بالایی در شبیه‌سازی محدودیت‌های دنیای واقعی و عکس‌العمل زارعین در تجزیه و تحلیل سیاست‌های بخش کشاورزی برخوردارند، استفاده شده است (هی و همکاران^۱، ۲۰۰۶؛ مدلین-آزورا و همکاران^۲، ۲۰۱۰؛ صبوچی و همکاران، ۱۳۸۶؛ قرقانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ موسوی و قرقانی، ۱۳۹۰). مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی بسته به کاربردی که در تحلیل سیاست‌های کشاورزی دارند، به سه دسته مدل‌های برنامه‌ریزی هنجاری^۳، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت^۴ و برنامه‌ریزی ریاضی اقتصادسنجی^۵ تقسیم می‌شوند (محسنی و زیبایی، ۱۳۸۸). در بین مدل‌های ارائه شده فوق، طی سال‌های اخیر کاربرد مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مثبت برای تحلیل‌های اقتصادی در سطح مزرعه افزایش یافته است (کورتیگنانی و سورینی^۶، ۲۰۰۹؛ ۱۷۸۵). مهم‌ترین مزیت این الگوها توانایی آنها در بررسی تأثیر سیاست‌ها در سطح مزرعه به صورت تجمیعی و با بهره‌گیری از اطلاعات و داده‌های خرد و جزئی می‌باشد (پاریس و هوویت^۷، ۱۹۹۸: ۲۴۴؛ بخشی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۸۴).

صبوچی و همکاران در مطالعه‌ای با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به بررسی اثرات تغییر قیمت آب آبیاری و کاهش منابع آب در دسترس بر منافع خصوصی و اجتماعی کشاورزان دشت مشهد پرداختند. نتایج ایشان نشان

1. He et al. (2006)
2. Medellin-Azuara et al. (2010)
3. Normative Mathematical Programming (NMP)
4. Positive Mathematical Programming (PMP)
5. Econometrics Mathematical Programming (EMP)
6. Cortignani and Severini (2009)
7. Paris & Howitt (1998)

مثبت و تابع تولید با کشت جانمایی ثابت برای ارزیابی اثرات انتقال آب تحت شرایط خشکسالی در ایالت کالیفرنیا استفاده نمودند. نتایج آنان نشان داد که انعطاف بیشتر بازار تخصیص آب می‌تواند زیان‌های درآمدی حاصل از خشکسالی را تا ۳۰ درصد کاهش دهد. همچنین، نتایج نشان داد زمانی که تقاضای آب در بخش کشاورزی و محیط‌زیست وجود داشته باشد، این مدل‌ها می‌توانند برای همه شرایط به کار گرفته شوند (هویت و همکاران^۱، ۲۰۱۲: ۲۴۴).

تا جایی که بررسی‌های محقق نشان می‌دهد، تاکنون پژوهشی در خصوص بررسی آثار سیاست غیرقیمتی کاهش عرضه آب در دسترس (سه‌میه بندی آب) بر مؤلفه‌های اقتصادی بخش کشاورزی در استان قزوین که یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور محسوب می‌شود، انجام نشده است. لذا هدف پژوهش حاضر بررسی این موضوع می‌باشد که سیاست کاهش عرضه منابع آب قابل تخصیص به بخش کشاورزی تحت سناریوهای مختلف، چه آثاری بر الگوی کشت، درآمد کشاورزان و همچنین مقدار مصرف و بازده اقتصادی آب خواهد داشت.

۳- مواد و روش‌ها

در شبیه‌سازی اثرات یک تغییر سیاستی یا زیست محیطی، سیاست‌گذار به دنبال مقایسه نتایج بین شرایط موجود (شرایط مرجع) و شرایط بعد از وقوع تغییرات مورد نظر است. برای معتبر بودن چنین تحلیلی، الگوی تحلیل سیاستی باید قادر به بازسازی سطوح مشاهده شده در سال پایه تا بیشترین حد ممکن باشد. در الگوهای هنجاری برنامه‌ریزی ریاضی، به دلیل فقدان وجود یک مکانیسم واسنجی، بازسازی یا تکرار سطوح مشاهده شده در سال پایه متغیرهای تصمیم مشکل است و این امکان وجود دارد که برخی از محصولات در الگوی کشت وارد نشوند (این پدیده به دلیل وجود هزینه‌های نهایی پنهان است) در حالی که این امر در دنیای واقعی مشاهده نخواهد شد، حتی اگر سایر محصولات سود بالاتری داشته باشند. الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت برای فائق آمدن بر ویژگی نرماتیو بودن، توسط هاویت^۲ در سال ۱۹۹۵ معرفی گردید. هاویت، ۱۹۹۵: ۳۲۹). این الگو به طور کلی دارای سه مرحله به شرح زیر است که در این پژوهش نیز مبنای کار قرار گرفته است.

داد که در شرایط وجود سیاست‌های انحرافی (پرداخت یارانه) و نقص بازار (عوارض جانبی)، با افزایش قیمت آب آبیاری، منافع اجتماعی افزایش و منافع خصوصی کاهش می‌یابد (صوبو و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۳).

قرقانی و همکاران در پژوهشی تأثیر کاهش آب آبیاری و افزایش قیمت آب بر الگوی کشت را با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در شهرستان اقلید استان فارس مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های مطالعه نشان داد که در مورد نخست، با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت و تابع تولید با کشت جانمایی ثابت، با اتخاذ سیاست کاهش در موجودی آب مصرفی، الگوی کشت بهینه در سطح ۱۰ درصد نسبت به حالت مینا تغییر چندانی نمی‌یابد (قرقانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۵۷).

معین‌الدینی در مطالعه‌ای واکنش زارعین استان کرمان را نسبت به سیاست‌های قیمتی و سه‌میه بندی آب آبیاری مطالعه نمود. نتایج نشان داد که افزایش هزینه آبیاری و کاهش آب در دسترس در پذیرش کم آبیاری مؤثر است. افزون بر این، نتایج ایشان حاکی از آن بود که تأثیر سیاست کاهش عرضه آب در دسترس نسبت به سیاست افزایش قیمت آب و سیاست‌های تلفیقی در تغییر الگوی کشت بیشتر می‌باشد (معین‌الدینی، ۱۳۸۹: ۱۴۵).

موسوی و قرقانی با انجام تحقیقی به کمک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به ارزیابی سیاست‌های آب کشاورزی در شهرستان اقلید پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با اتخاذ سیاست کاهش در موجودی آب مصرفی به میزان ۱۰ درصد و با دو برابر نمودن قیمت آب، الگوی بهینه کشت نسبت به حالت مینا تغییر چندانی نمی‌کند. بنابراین، با مدیریت بهینه تقاضای آب می‌توان از اتلاف و هدرروی آن جلوگیری کرد، چرا که تلفی از آب به عنوان کالای اقتصادی و با ارزش، بهترین راه رسیدن به مصرف مناسب آب و مشوقی برای ذخیره و حفاظت از آن است (موسوی و قرقانی، ۱۳۹۰: ۶۵).

وزیری در تحقیقی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی به بررسی اثرات کاهش موجودی منابع آب بر الگوی کشت و ارزش اقتصادی آب آبیاری در دشت دهگلان پرداختند. ارزش اقتصادی آب در این دشت به ازای هر مترمکعب برابر با ۱۸۷۳ ریال برآورد شده که با اعمال سناریوهای مختلف کاهش موجودی آب در دسترس، مقدار آن افزایش می‌یابد (وکیل‌پور و وزیری، ۱۳۹۳: ۷۵).

هویت و همکاران در پژوهشی از مدل برنامه‌ریزی ریاضی

1. Howitt et al. (2012)

2. Howitt (1995)

برای انتخاب توابع دیگر از تابع هزینه متغیر درجه دوم زیر استفاده می‌گردد (هکلی، ۲۰۰۲: ۲۹):

$$C^v = d'x + \frac{1}{2}x'Qx \quad (۶)$$

که در آن C^v هزینه متغیر، d یک بردار $(n \times 1)$ از پارامترهای مربوط به جزء خطی تابع هزینه و Q یک ماتریس متقارن مثبت معین $(n \times n)$ از پارامترهای مربوط به جزء درجه دوم تابع هزینه می‌باشند. این تابع با این شرط که هزینه متغیر نهایی فعالیت‌ها با مجموع هزینه حسابداری فعالیت‌ها (c) و متغیر دوگان محدودیت واسنجی (λ) برابر باشد، به دست می‌آید. بنابراین پارامترهای تابع هزینه بایستی با شرط زیر محاسبه شوند:

$$MC^v = \frac{\partial C^v(x^0)}{\partial x} = d + Qx^0 = c + \lambda \quad (۷)$$

برای برآورد تابع هزینه غیر خطی به روش ماکزیمم آنترופی^۱ عمل شده است که توسط پاریس و هوویت^۲ برای برآورد همه پارامترهای بردار d و ماتریس Q پیشنهاد شده است (پاریس و هوویت، ۱۹۹۸: ۱۲۴). این مدل‌ها امکان برآورد توابع تولید یا هزینه را با کاربرد روش‌های اقتصادسنجی و برنامه‌ریزی ریاضی امکان‌پذیر می‌کنند. فرمولاسیون ماکزیمم آنترופی، جهت برآورد پارامترهای مدل بر اساس آنچه هکلی و بریتز^۳ ارائه نمودند، به صورت زیر می‌باشد (هکلی و بریتز، ۲۰۰۰: ۲۹):

$$\text{Max} \quad (۸)$$

$$H(p) = -\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n p d_{k,i} \ln p d_{k,i} - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p q_{k,i,j} \ln p q_{k,i,j}$$

Subject to

$$d_i + \sum_{j=1}^n q_{i,j} x_j^* = c_i + p_i \quad \forall i, j=1, \dots, n \quad j=1, \dots, n \quad (۱۰)$$

$$d_i + \sum_{k=1}^K p d_{k,i} z d_{k,i} \quad \forall i=1, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (۱۱)$$

$$q_{i,j} + \sum_{k=1}^K p q_{k,i,j} z q_{k,i,j} \quad \forall i, j=1, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (۱۲)$$

$$\sum_{k=1}^K p d_{k,i} = 1, \quad \forall i=1, \dots, n \quad k=1, \dots, K \quad (۱۴)$$

$$\sum_{k=1}^K p q_{k,i,j} = 1, \quad \forall i, j=1, \dots, n \quad k=1, \dots, K$$

۳-۱- محاسبه قیمت سایه‌ای محصولات با استفاده از یک الگوی برنامه‌ریزی خطی

مرحله اول یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت را با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی ساده که برای حداکثر کردن بازده‌های ناخالص طراحی شده است، می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$\text{Max} \quad Z = GM'X \quad (۱)$$

Subject to:

$$A'X \leq b \quad [\pi] \quad (۲)$$

$$X \leq (X^0 + e) \quad [\lambda] \quad (۳)$$

$$X \geq 0 \quad (۴)$$

که در آن Z مقدار تابع هدف (بایستی حداکثر شود)، X بردار فعالیت‌ها، GM بردار بازده ناخالص محصولات (حاصلضرب قیمت در عملکرد محصولات منهای هزینه‌های متغیر تولید) می‌باشد که برای هر فعالیت از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$GM = (Y'P) - C \quad (۵)$$

که در آن، p قیمت محصول، Y عملکرد محصول و C کل هزینه‌های متغیر می‌باشد. A ماتریس ضرایب فنی، b و π به ترتیب بردار منابع موجود و متغیرهای دوگان (یا قیمت‌های سایه‌ای) این منابع، e و λ به ترتیب برداری از اعداد کوچک مثبت و متغیر دوگان محدودیت واسنجی و X^0 سطح فعالیت مشاهده شده در سال پایه می‌باشد (هوویت، ۲۰۰۵). رابطه (۲) محدودیت منابع و رابطه (۳) محدودیت واسنجی نام دارد. محدودیت منابع برای منطقه مطالعاتی (دشت قزوین) شامل دو نهاده زمین و آب (به طور فصلی شامل بهار، تابستان، پاییز و زمستان) در نظر گرفته شده است. اضافه کردن محدودیت‌های واسنجی باعث می‌شود که جواب بهینه برنامه‌ریزی ریاضی دقیقاً سطوح کشت فعالیت‌های مشاهده شده در سال پایه را به دست دهد (هوویت و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۴۴؛ هوویت، ۱۹۹۵: ۳۲۹).

۳-۲- برآورد پارامترهای تابع هزینه غیرخطی محصولات

در مرحله دوم، مقادیر λ به دست آمده در مرحله اول، برای برآورد توابع هزینه متغیر غیرخطی محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً برای آسانی محاسبه و فقدان دلایل قوی

1. Maximum Entropy (ME)
2. Paris & Howitt (1998)
3. Heckelei & Britz (2000)

۱۳۹۲: ۵۳؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۳). آب‌های سطحی این استان عمدتاً در دو حوضه آبریز سفیدرود و رودشور جاری می‌باشند. مجموع آب قابل برنامه‌ریزی بخش کشاورزی استان حدود ۱۵۳۱ میلیون مترمکعب می‌باشد که ۶۵۳ میلیون مترمکعب آن مربوط به آب استحصالی از منابع سطحی است. همچنین سالانه حدود ۸۷۸ میلیون مترمکعب از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی استحصال می‌شود (سازمان شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۲). براساس مطالعات انجام شده طی سال‌های اخیر، در سطح استان قزوین تعداد ۹۲۶۸ حلقه چاه، ۳۶۸ رشته قنات و ۱۸۷۲۴ چشمه وجود دارد (سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین، ۱۳۹۲).

گندم آبی با ۴۸۰۰۰ هکتار سطح زیرکشت، بیشترین سهم را در الگوی کشت فعلی استان به خود اختصاص داده و پس از آن یونجه با ۲۲۰۰۰ هکتار قرار دارد. علت اصلی توسعه بیشتر سطح زیرکشت محصولات گندم و جو نسبت به سایر محصولات (ذرت دانه‌ای، چغندر قند، گوجه فرنگی و کلزا) در محدوده مطالعاتی دشت قزوین، ریسک پایین‌تر تولید این محصولات نسبت به مخاطرات طبیعی و شرایط بازار (وجود قیمت تضمینی خرید) و همچنین نیاز آبی پایین‌تر آنها نسبت به سایر محصولات می‌باشد.

در این بخش، نتایج تجربی حاصل از شبیه‌سازی الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت در خصوص اثرات سیاست کاهش عرضه آب در دسترس بخش کشاورزی، تحت سه سناریوی سیاستی ۱۰ درصد، ۳۰ درصد کاهش و ۵۰ درصد کاهش تشریح شده است. لازم به ذکر است که این سیاست می‌تواند به صورت نصب کنتور بر روی چاه‌های کشاورزی و مسدود گردد چاه‌های غیر مجاز ایجاد گردد. بر اساس نتایج مندرج در جدول ۱ با کاهش ۱۰ درصدی در عرضه منابع آب در دسترس بهره‌برداران بخش کشاورزی استان، پیش‌بینی می‌شود سطح زیر کشت به میزان ۱۰/۰۵ درصد کاهش پیدا می‌کند با این حال کل سود ناخالص به میزان کمتر از این ارقام کاهش می‌یابد. کشاورزان پس از کاهش آب در دسترس سعی می‌کنند محصولاتی که به نسبت سایر محصولات به ازای هر مترمکعب مصرف آب، صرفه اقتصادی بیشتری دارند را در الگو حفظ کنند و در عوض سطح زیرکشت محصولاتی را که از آب بری بالاتر و در عین حال از سودناخالص پایین‌تر برخوردارند را به میزان بیشتری کاهش دهند. بدین ترتیب، محصول پياز با ۱۰ درصد کاهش در موجودی منابع آب از الگوی کشت استان حذف شده و همه محصولات، به جزء خربزه، کاهش سطح

رابطه ۹ بیان‌کننده شرط اول تخمین ضرایب تابع هزینه متغیر است که در بالا به آن اشاره شد. محدودیت دوم و سوم (روابط ۱۰ و ۱۱) پارامترهای بردار d و ماتریس Q را که به ترتیب اجزای ثابت و شیب تابع هزینه متغیر غیرخطی هستند، معرفی می‌کنند. محدودیت چهارم و پنجم (روابط ۱۲ و ۱۳) نیز مجموعه احتمالات d و Q را بیان می‌کنند و در نهایت محدودیت ششم (رابطه ۱۴) شرط تقارن عناصر ماتریس Q را تضمین می‌کند.

۴- واسنجی الگوی برنامه‌ریزی ریاضی

در مرحله سوم، با استفاده از توابع هزینه غیرخطی واسنجی شده برای محصولات مختلف و همچنین محدودیت‌های منابع، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های واسنجی و به صورت روابط زیر ساخته می‌شود:

$$MaxZ = GM \dot{x} - d \dot{x} - x' Qx / 2 \quad (15)$$

Subject to:

$$Ax \leq b \quad (16)$$

$$x \geq 0 \quad (17)$$

در این الگو توابع هزینه غیر خطی محصولات جایگزین هزینه متوسط آنها در الگوی برنامه‌ریزی خطی شده و الگو به طور مجدد تحت محدودیت‌های منابع تولید و بدون حضور قیود کالیبراسیون اجرا می‌شود. جواب الگوی واسنجی شده فوق در شرایط سال پایه، دقیقاً سطوح فعالیت‌های سال پایه خواهد بود که در این حالت می‌توان با تغییر شرایط و تعریف سناریوهای مختلف با استفاده از این مدل به تحلیل سیاست‌ها پرداخت. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز تحقیق حاضر از نوع اسنادی و ثبت شده در دستگاه‌های دولتی ذیربط می‌باشند که از طریق مراجعه مستقیم به ادارات مربوطه (سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای) در استان قزوین جمع‌آوری شده است. الگوی برنامه‌ریزی ریاضی این پژوهش نیز در محیط نرم افزاری GAMS. 24 کد نویسی و اجرا شد.

۵- نتایج

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع در حوزه مرکزی ایران قرار گرفته و به علت موقعیت منحصر به فرد، یکی از مناطق مستعد کشور برای تولید محصولات کشاورزی است (ناصری و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۹۱، پرهیزکاری و صبوخی،

زیرکشت را داشته‌اند. محصولات ذرت دانه‌ای، چغندرقد، جو، کلبا به ترتیب با ۰/۵، ۳/۲۳ و ۶/۸۳ درصد کم‌ترین مقدار ذرت علوفه‌ای به ترتیب با ۱۸، ۱۶، ۱۳ و ۱۲/۶ درصد بیشترین کاهش و در مقابل، محصولات سیب زمینی، گوجه فرنگی و

جدول ۱. تغییرات الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان تحت سناریوی کاهش ۱۰ درصد آب در دسترس

نام محصول	سال پایه		تحت سناریوی ۱۰٪ کاهش عرضه آب	
	سطح زیرکشت	درصد در الگوی کشت	سطح زیرکشت	درصد در الگوی کشت
گندم	۴۸۰۰۰	۳۴	۴۳۴۸۴	۳۳/۸
جو	۱۷۰۰۰	۱۲	۱۴۸۳۱	۱۱/۵
یونجه	۲۲۰۰۰	۱۵/۴	۱۹۸۰۰	۱۵/۴
سیب زمینی	۵۶۰	۰/۵	۵۷۰	۳/۴
چغندرقد	۱۹۵۰	۱/۵	۱۶۳۶	۱/۲
گوجه فرنگی	۱۵۰۰۰	۱۰/۵	۱۴۵۱۵	۱۱/۲
پیاز	۵۰	۰/۰۳	۰	۰
ذرت دانه‌ای	۱۴۰۰۰	۱۰	۱۱۴۷۹	۸/۹
ذرت علوفه‌ای	۱۶۰۰۰	۱۱/۳	۱۳۹۸۹	۱۰/۸
خریزه	۴۵۰۰	۱/۲	۴۶۵۰	۳/۶
هندوانه	۲۰۰۰	۱/۵	۱۸۶۲	۱/۶
کلبا	۱۸۰۰	۱/۲	۱۶۷۷	۱/۳
کل سود ناخالص (میلیون ریال)	۷۸۳۷۶۰۰		۷۵۶۱۰۰۰	
کل سطح زیرکشت (هکتار)	۱۴۲۸۶۰		۱۲۸۴۷۹	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۲. تغییرات الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان تحت سناریوی کاهش ۳۰ درصد آب در دسترس

نام محصول	سال پایه		تحت سناریوی ۳۰٪ کاهش عرضه آب	
	سطح زیرکشت	درصد در الگوی کشت	سطح زیرکشت	درصد در الگوی کشت
گندم	۴۸۰۰۰	۳۴	۴۰۹۵۷	۴۱/۵
جو	۱۷۰۰۰	۱۲	۳۳۵۷	۳/۴
یونجه	۲۲۰۰۰	۱۵/۴	۱۱۳۵۶	۱۱/۴
سیب زمینی	۵۶۰	۰/۵	۵۸۴	۰/۶
چغندرقد	۱۹۵۰	۱/۵	۱۳۷۴	۱/۴
گوجه فرنگی	۱۵۰۰۰	۱۰/۵	۱۴۰۰۶	۱۴/۱
پیاز	۵۰	۰/۰۳	۰	۰
ذرت دانه‌ای	۱۴۰۰۰	۱۰	۹۴۹۰	۹/۵
ذرت علوفه‌ای	۱۶۰۰۰	۱۱/۳	۱۰۶۶۶	۱۰/۷
خریزه	۴۵۰۰	۱/۲	۴۴۵۰	۴/۵
هندوانه	۲۰۰۰	۱/۵	۱۶۶۰	۱/۶۷
کلبا	۱۸۰۰	۱/۲	۱۳۶۷	۱/۴
کل سود ناخالص (میلیون ریال)	۷۸۳۷۶۰۰		۶۷۹۷۶۰۰	
کل سطح زیرکشت (هکتار)	۱۴۲۸۶۰		۹۹۲۶۹	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳. تغییرات الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان تحت سناریوی کاهش ۵۰ درصد منابع آبی

نام محصول	سال پایه		تحت سناریوی ۳۰٪ کاهش عرضه آب	
	سطح زیر کشت	درصد در الگوی کشت	سطح زیر کشت	درصد در الگوی کشت
گندم	۴۸۰۰۰	۳۴	۳۳۱۳	۴۵/۴
جو	۱۷۰۰۰	۱۲	۰	۰
یونجه	۲۲۰۰۰	۱۵/۴	۲۹۶۳	۴/۱
سیب زمینی	۵۶۰	۰/۵	۵۸۳	۰/۸
چغندر قند	۱۹۵۰	۱/۵	۱۰۱۹	۱/۴
گوجه فرنگی	۱۵۰۰۰	۱۰/۵	۱۳۱۳۵	۱۸/۱
پیاز	۵۰	۰/۰۳	۰	۰
ذرت دانه‌ای	۱۴۰۰۰	۱۰	۷۴۲۶	۱۰/۲
ذرت علوفه‌ای	۱۶۰۰۰	۱۱/۳	۷۸۵۰	۱۰/۴
خریزه	۴۵۰۰	۱/۲	۴۲۲۱	۵/۹
هندوانه	۲۰۰۰	۱/۵	۱۴۵۸	۲
کلزا	۱۸۰۰	۱/۲	۱۰۰۱	۱/۳
کل سود ناخالص (میلیون ریال)	۷۸۳۷۶۰۰		۵۸۲۳۱۰۰	
کل سطح زیر کشت (هکتار)	۱۴۲۸۶۰		۷۲۶۷۰	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۴. مقایسه مقدار مصرف آب، سود ناخالص و بازده اقتصادی آب در سناریوهای مختلف کاهش آب در دسترس

عنوان شاخص	میزان سال پایه	سناریوی کاهش منابع آب		
		۱۰٪	۳۰٪	۵۰٪
آب بهار	۶۵۵۶۲۵	۵۹۰۰۶۳/۴	۴۵۸۹۳۸/۲	۳۲۷۸۱۳
آب تابستان	۵۹۳۳۶۰	۵۳۴۰۲۴	۴۱۵۳۵۲	۲۹۶۶۸۰
آب پاییز	۲۶۴۲۸۴/۹	۲۳۷۸۵۶/۵	۱۷۸۶۵۷/۴	۱۲۷۵۷۳/۷
آب زمستان	۲۲۰۰۰	۱۹۸۰۰	۱۱۳۵۶/۴	۲۹۶۲/۶
کل مصرف آب	۱۵۳۵۲۶۹/۹	۱۳۸۱۷۴۳/۹	۱۰۶۴۳۰۴	۷۵۵۰۲۹/۳
درصد تغییرات مصرف آب	۰	-۱۰	-۳۰/۷	-۵۰/۸
مقدار تغییر مصرف آب	۰	-۱۵۳۵۲۶	-۴۷۰۹۶۵/۹	-۷۸۰۲۴۰/۶
مقدار سود ناخالص (میلیون ریال)	۷۸۳۷۶۰۰	۷۵۶۱۰۰۰	۶۷۹۷۶۰۰	۵۸۲۳۱۰۰
بازده اقتصادی هر متر مکعب آب (ریال)	۵۱۰۶	۵۴۷۲	۶۳۸۲	۷۷۱۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

آبی بالا هستند به ترتیب به میزان ۸۰، ۴۸، ۳۳ و ۲۹/۵ درصد کاهش سطح کشت داشته‌اند و در مقابل محصولاتی مانند خربزه، گوجه‌فرنگی، گندم و هندوانه کم‌ترین کاهش سطح زیر کشت به ترتیب به میزان ۱، ۷، ۱۵ و ۱۷ درصد از خود نشان دادند. تنها محصولی که با اعمال این سناریو، سطح زیر کشت آن افزایش یافته است محصول سیب زمینی است که درصد افزایش آن ۴/۳۸ درصد بوده است.

در جدول ۳، تأثیر سناریوی ۵۰ درصد کاهش آب در دسترس بر الگوی کشت و سود ناخالص کشاورزان آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با کاهش عرضه آب به

در جدول ۲ نتایج حاصل از اعمال سناریوی کاهش ۳۰ درصدی در منابع آبی استان قزوین آورده شده است. با کاهش ۳۰ درصدی آب در دسترس کشاورزان، سطح زیر کشت ۳۱ درصد کاهش یافته و سود ناخالص نیز به میزان ۱۳/۳ درصد کاهش می‌یابد. در سناریوی کاهش عرضه منابع آب، کشاورزان عکس‌العمل شدیدی جهت تغییر الگوی کشت و انتخاب محصولات با صرفه اقتصادی بیشتر به ازاء هر متر مکعب آب مصرفی از خود نشان می‌دهند و به همین دلیل محصول پیاز به طور کلی از مدل حذف شده است و محصولاتی نظیر جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای و چغندر قند که اغلب محصولات با نیاز

که در همه سناریوهای کاهش منابع آب قابل تخصیص به بخش کشاورزی، سطح کل زیرکشت تقریباً متناسب با مقدار کاهش آب در دسترس کاهش خواهد یافت با این حال مقدار کاهش در سود ناخالص بخش کشاورزی همواره و به مراتب کمتر از درصد کاهش منابع آب و حتی کمتر از کاهش سطح زیرکشت است. این امر بیانگر راهبردهای تطبیقی است که زراعین در مواجهه با کمیابی منابع در پیش می‌گیرند. بدین معنی که با کاهش منابع آب، ارزش سایه‌ای آب که بیانگر ارزش کمیابی منبع است افزایش یافته و با علامت دهی به کشاورزان آنها را به سمت کشت‌های با ارزش اقتصادی بالاتر و در عین با مصرف آب پایین‌تر سوق می‌دهد. بر این اساس بخشی از آثار ناشی از کمبود آب با اعمال راهبردهای تطبیق قابل جبران است اما همچنان بخشی از منافع این بخش از دست خواهد رفت. بر اساس نتایج پژوهش پیشنهادی زیر ارائه می‌شود: ۱- کاهش سطح زیرکشت به معنی کاهش توان اشتغالزایی بخش کشاورزی است لذا این سیاست افزون بر پیامدهای اقتصادی، دارای پیامدهای اجتماعی به شکل بیکاری بیشتر در مناطق روستایی استان نیز خواهد بود. بنابراین چاره‌اندیشی برای مقابله با آن از طریق توسعه اشتغالزایی در صنایع جایگزین با مصرف آب پایین به ویژه توسعه صنایع پشتیبان بخش کشاورزی باید در دستور کار برنامه‌ریزان و متولیان امر قرار گیرد.

۲- از تغییر الگوی کشت به عنوان یکی از راهکارهای تطبیق بدون هزینه در مقابله و اجتناب از خسارت ناشی از کمبود منابع آب یاد می‌شود. نتایج این پژوهش، تحت سناریوهای مختلف از کمبود منابع آب، الگوی کشت سازگار با آن را برای استان قزوین ارائه کرده است. با توجه به اینکه سطوح اختصاص یافته به کشت محصولات مختلف بر اساس یک الگوی بهینه تعیین شده است، تغییر الگوی کشت استان به الگوی منطبق با شرایط کمبود منابع آب، زبان رفاهی ناشی از این پدیده را به حداقل ممکن کاهش خواهد داد.

۳- نکته دیگری که در این نتایج جالب توجه است، کاهش قابل توجه سطح زیرکشت محصولات علوفه‌ای در استان است که در حاضر سهم بالایی در الگو داشته (از جمله این موارد می‌توان به جو و یونجه اشاره کرد) و با توجه به پتانسیل‌های موجود در خصوص تولید محصولات دامی در استان قزوین، تولید این این محصولات همواره مورد توجه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی استان قرار داشته است. بنابراین چنانچه سیاست‌گذاران تمایل به حفظ یا افزایش سطح تولید

میزان ۵۰ درصد مقدار آن در سال پایه، سطح زیرکشت به طور قابل ملاحظه‌ای (۴۹ درصد) کاهش می‌یابد. با این حال، مقدار کاهش کل سود ناخالص بخش کشاورزی استان به میزان ۲۵/۷ درصد برآورد شده است. در این حالت، محصول پیاز و جو به طور کامل از الگو حذف شدند و کاهش سطح زیرکشت محصولات یونجه، ذرت علوفه‌ای، چغندر قند، ذرت دانه‌ای و کلزا (به ترتیب با ۸۰، ۵۱، ۴۷، ۴۶ و ۴۴ درصد کاهش) قابل توجه است. کم‌ترین کاهش سطح زیرکشت در این سناریو نیز مربوط به محصولات خربزه، گوجه فرنگی، گندم و هندوانه به میزان ۶، ۱۲/۵، ۳۱ و ۲۷ درصد می‌باشد.

در جدول ۴، مقدار کل آب مصرفی، کل سود ناخالص و بازده اقتصادی هر مترمکعب آب در سه سناریوی کاهش آب با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همانگونه که ملاحظه می‌شود، سناریوی ۵۰ درصد کاهش عرضه آب، دارای حداکثر میزان بازده اقتصادی به ازاء هر مترمکعب آب مصرفی است. سود ناخالص با اعمال سناریوی ۵۰ درصدی آب در دسترس، به دلیل کاهش حدود ۵۰ درصدی سطح زیر کشت نسبت به دو سناریوی ۳۰ و ۱۰ درصدی، کاهش بیشتری نشان داده است. بالاتر بودن بازده اقتصادی آب در سناریوی ۳۰ درصد کاهش (۷۶۳۸ ریال بر مترمکعب) نسبت به سناریوی ۱۰ درصد کاهش منابع آب (۵۴۷۲ ریال بر مترمکعب) و به همین نحو، مقدار بالاتر آن در سناریوی ۵۰ درصد کاهش (۷۷۱۲ ریال بر مترمکعب) در مقایسه با مقدار آن در سناریوی ۳۰ درصد کاهش، در واقع بیانگر افزایش ارزش کمیابی منابع آب است بدین نحو که هر چه کمیابی منبع افزایش می‌یابد، ارزش اقتصادی آب نیز افزایش می‌یابد.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به چالش‌های ذکر شده در خصوص کمبود منابع آب و جهت‌گیری‌های سیاستی وزارت نیرو برای احیا و تعادل بخشی به منابع آب زمینی، اعمال سهمیه بندی و کاهش عرضه منابع آب بخش کشاورزی در آینده امری محتمل به نظر می‌رسد. بر این اساس لازم است بخش کشاورزی خود را برای این موقعیت آماده کند و ضمن آگاهی از آثار و پیامدهای اقتصادی این سیاست‌ها و تغییرات اقلیمی، راهکارهای مؤثری را در راستای سازگاری به این شرایط و برای اجتناب از هزینه‌های ناشی از آن شناسایی نماید. در ادبیات موضوع، کاهش ۱۰ درصد منابع آب در بخش کشاورزی به عنوان مرز مواجهه با بحران منابع آب قلمداد می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد

این ارقام می‌تواند راهنمایی برای سیاست‌گذاران در انتخاب و اجزای راهکارهای سازگاری به کمبود منابع آب از طریق مقایسه منافع و هزینه‌های گزینه‌های مختلف باشد. بدین معنی که هزینه نهایی (به ازای هر مترمکعب) هر راهکار صرفه‌جویی منابع آب باید با منافع هر مترمکعب آب مورد مقایسه قرار گرفته و اقتصادی‌ترین راهبردها انتخاب شوند.

این محصولات دارند باید برای افزایش سودآوری آنها تلاش کنند. توسعه و تحقیق بیشتر در این زمینه و معرفی ارقام مقاوم به خشکی می‌تواند یکی از کارهای مؤثر در این راه باشد.

۴- نتایج الگو نشان داد که ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب در دشت قزوین بین ۵۱۰۶ ریال به ازای هر مترمکعب در شرایط پایه تا ۷۷۱۲ ریال در سناریوی کاهش ۵۰ درصدی منابع آب قابل دسترس بخش کشاورزی متغیر است. بنابراین

منابع

- بخشی، علی؛ دانشور کاخکی، محمود و مقدسی، رضا (۱۳۹۰). "کاربرد مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به منظور تحلیل اثرات سیاست‌های جایگزین قیمت‌گذاری آب در دشت مشهد". *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)*، دوره ۲۵، شماره ۳، ۲۹۴-۲۸۴.
- پرهیزکاری، ابودر (۱۳۹۲). "تعیین ارزش اقتصادی آب آبیاری و پاسخ کشاورزان به سیاست‌های قیمتی و غیرقیمتی در استان قزوین". پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، دانشکده کشاورزی.
- پرهیزکاری، ابودر؛ صبوچی، محمود؛ احمدپور، محمود و بدیع‌برزین، حسین (۱۳۹۳). "شبیه‌سازی پاسخ کشاورزان به سیاست‌های قیمت‌گذاری و سهمیه‌بندی آب آبیاری (مطالعه موردی: شهرستان زابل)". *مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی*، دوره ۲۸، شماره ۲، ۱۷۶-۱۶۴.
- سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین (۱۳۹۲). "مطالعات پایه منابع آب".
- صبوچی، محمود؛ سلطانی، غلامرضا و زیبایی، منصور (۱۳۸۶). "بررسی اثر تغییر قیمت آب آبیاری بر منافع خصوصی و اجتماعی با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت". *اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)*، دوره ۲۱، شماره ۱، ۷۱-۵۳.
- قرقانی، فریبا؛ بوستانی، فردین و غلامرضا (۱۳۸۸). "بررسی تأثیر کاهش آب آبیاری و افزایش قیمت آب بر الگوی کشت با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت: allocation efficiency: analysis on Egypt and Morocco". *Water International*, 31, 320-337.
- Heckelei, t. & britz, w. (2000). "Concept and explorative application of an eu-wide, regional agricultural sector model". *proceeding of the 65th eae seminar, bonn*,
- مطالعه موردی شهرستان اقلید در استان فارس". *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، دوره ۱، شماره ۱، ۷۴-۵۷.
- محسنی، ابوالفضل و زیبایی، منصور (۱۳۸۸). "تحلیل پیامدهای افزایش سطح زیر کشت کلزا در دشت نمدان استان فارس: کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی مثبت". *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۴۷، ۷۸۴-۷۷۳.
- معین‌الدینی، زینب (۱۳۸۹). "بررسی واکنش زارعین به سیاست‌های قیمتی و سهمیه‌بندی آب آبیاری در استان کرمان". پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل.
- موسوی، سید نعمت‌الله و قرقانی، فریبا (۱۳۹۰). "ارزیابی سیاست‌های آب کشاورزی از منابع آب زیرزمینی، مدل برنامه‌ریزی مثبت: مطالعه موردی: شهرستان اقلید". *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، دوره ۱۱، شماره ۴، ۸۲-۶۵.
- ناصری، محسن؛ تقوی، فرحناز و زهرایی، بنفشه (۱۳۸۸). "رفتارشناسی مکانی-زمانی بارش در محدوده استان قزوین با استفاده از روش توابع متعامد معمولی و فازی". *مجله فیزیک زمین و فضا*، دوره ۳۷، شماره ۳، ۲۰۳-۱۹۱.
- وکیل‌پور، محمد حسین و وزیری، آریتا (۱۳۹۳). "بررسی تأثیر کاهش آب آبیاری بر ارزش اقتصادی آب در دشت دهگلان". دومین همایش ملی و منطقه‌ای کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوست‌داران محیط‌زیست.
- Cortignani, R. & Severini, S. (2009). "Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming". *Agricultural Water Management*, 96, 1785-1791.
- He, L., Tyner, W. E., Doukkali, R. & Siam, G. (2006). "Policy options to improve water

- 29-31.
- Heckeley, T. (2002). "Calibration and Estimation of Programming Models for Agricultural Supply Analysis". University of Bonn.
- Howitt, R. E. (1995). "Positive mathematical programming". *American Journal of Agricultural Economics*, 77, 329-342.
- Howitt, R. E. (1995). "A calibration method for agricultural economic production models". *Journal of agricultural economics*, 46 (2), 147-159.
- Howitt, R. E., Medellin-Azuara, J., MacEwan, D. & Lund, J. R. (2012). "Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management". *Environmental Modeling & Software*, 38, 244-258.
- Medellan-Azuara, J., Harou, J. J. & Howitt, R. E. (2010). "Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation". *Science of the Total Environment*, 408, 5639-5648.
- Paris, Q. & Howitt, R. E. (1998). "An analysis of ill-posed production problems using Maximum Entropy". *Journal of Agricultural Economics*, 80 (1), 124-138.