



## شناسایی و اندازه گیری اثر جهش آب ناشی از بهبود فناوری آبیاری در کشاورزی ایران

احمد سلطانی ذوقی\* و غلامرضا سلطانی محمدی

بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۰

سلطانی ذوقی، ا. و غ. سلطانی محمدی. ۱۳۹۸. شناسایی و اندازه گیری اثر جهش آب ناشی از بهبود فناوری آبیاری در کشاورزی ایران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۴): ۴۳-۶۰.

**سابقه و هدف:** از دید بسیاری از کارشناسان و تصمیم سازان پیشرفت فناوری آبیاری، عامل اصلی کاهش سطح مصرف آب است. با وجود این دیدگاه، بسیاری از کارشناسان به این نتیجه گیری با دیده ی تردید نگاه می کنند. با وجود بهبود فناوری های آبیاری و زهکشی و گونه های مقاوم، کاهش مورد انتظار در مصرف آب هرگز رخ نداده است. آیا پدیده ی جهش می تواند عامل این اختلاف تلقی شود؟ در ایران وضعیت اثر جهش به چه شکلی است؟ این مطالعه به دنبال یافتن پاسخی مناسب برای این سوال ها می باشد.

**مواد و روش ها:** ابتدا نیاز است تا با استفاده از داده های پانل، تأثیر فناوری در بخش کشاورزی استان های کشور مشخص گردد. برای این هدف داده های سال های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ مورد استفاده قرار گرفت. در گام بعد با استفاده از اطلاعات مربوط به مصرف آب و تولید بخش کشاورزی در سال های مورد بررسی در کنار مدل تخمین زده شده، فاکتورهای نرخ رشد کشاورزی، نرخ رشد آب مصرفی، میزان صرفه جویی مورد انتظار و به وقوع پیوسته محاسبه گردید. نتایج حاصل از این محاسبه ها، میزان پدیده ی جهش را در کشاورزی کشور برای ۳۱ استان مشخص نموده و این امکان را فراهم می کند که با یک مقایسه ساده نسبت به بررسی شدت اثر جهش در منطقه های مختلف اظهار نظر گردد. در این بخش برای کمک به سیاست گذاران از تقسیم بندی ۵ گانه وزارت کشور بهره برده شده است.

**نتایج و بحث:** نرخ مشارکت پیشرفت فناوری در سطح بالای معنی داری برابر ۰/۰۴۳ حاصل شد. مقدار WRE کشاورزی در ایران ۱۰۹/۳۱۵٪ به دست آمده است. این مطالعه وجود اثر جهش را در کشاورزی کشور تأیید می نماید. اثر جهش در همه منطقه های کشور نیز به روشنی مشاهده می گردد و حتی برخی استان های صنعتی کشور نظیر آذربایجان شرقی و خوزستان نیز با این پدیده با شدت بسیار بیشتری مواجه هستند. بالاترین شدت پدیده ی جهش در منطقه ۳ کشور شامل استان های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، زنجان، گیلان و کردستان و کمترین مقدار آن در منطقه ۵ شامل خراسان رضوی، جنوبی و شمالی، کرمان و یزد و سیستان و بلوچستان مشاهده گردیده است. شدت پدیده ی جهش در منطقه های جنوبی و شرقی کشور WRE کمتر از منطقه های شمالی و غربی مشاهده شده است، دلیل شدت به نسبت کمتر این پدیده در نواحی جنوبی و شرقی محدودیت در دسترسی به منبع های آب، سرمایه لازم برای تغییر تکنولوژی آبیاری، زمین با کیفیت و نیروی کار متخصص است. با وجود شدت کمتر ولی به روشنی می توان مشاهده کرد در سراسر کشور بیش از ۸۰ درصد از آب صرفه جویی شده ی ناشی از بهبود فناوری که به صورت قابل ملاحظه ای در حیطه فناوری های آبیاری است، توسط همان بخش کشاورزی مصرف می گردد که نشان از شدت پدیده جهش در کشاورزی کشور است.

**نتیجه گیری:** روند افزایش مصرف آب در کشاورزی کشور بعد از اعمال سیاست های حمایتی دولت و گسترش فناوری های آبیاری در کنار مقدار محاسبه شده ی WRE نشان می دهد، بهبود فناوری های آبیاری بدلیل افزایش بهره وری در ابتدا موجب کاهش مصرف آب می گردد از سوی دیگر

\*Corresponding Author: Email Address: ahmad\_soltanizoghi@yahoo.com

بدلیل کاهش هزینه های مصرف آب امکان دستیابی به سود بالاتر فراهم می شود. افزایش سود خود انگیزه ای برای گسترش سطح زیر کشت است و همین امر موجب افزایش مصرف آب، در برخی موارد بیش از مقدار مصرف اولیه خواهد شد. در حال حاضر نیاز است تا دیدگاه مسئولین افزون بر مفهوم کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی به کنترل پدیده ی جهش نیز معطوف گردد.

**واژه های کلیدی:** اثر جهش، بهره وری آب، فناوری، کشاورزی ایران.

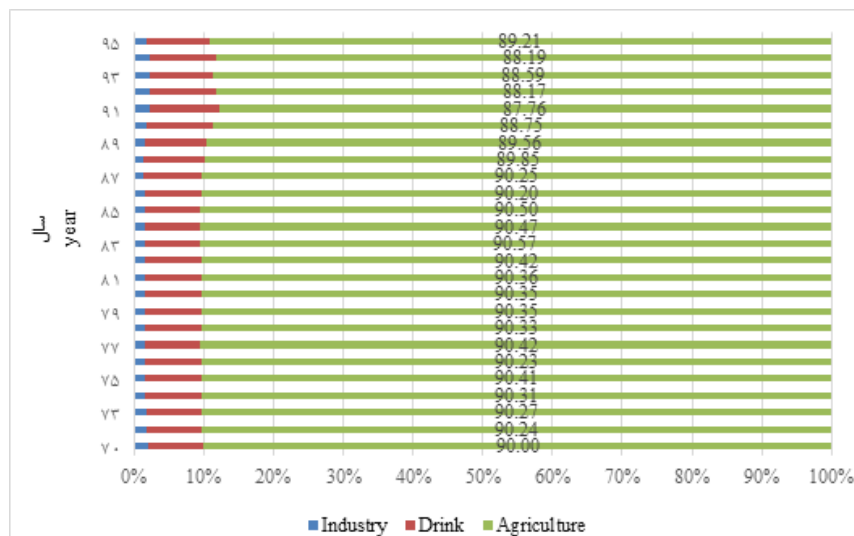
## مقدمه

با توجه به عرضه محدود، توزیع نامتعادل و مصرف بیش از حد آب توسط جمعیت رو به رشد و افزایش توسعه اقتصادی، ایران نیز مانند بسیاری از کشورهای جهان با کمبود شدید آب مواجه است. بطور متوسط سرانه آب تجدیدپذیر سالانه کشور، از حدود ۱۳۰۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۰۰، به حدود ۱۴۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۹۳، تقلیل یافته و با ادامه این روند، وضعیت در سالین اخیر به مراتب بحرانی تر گردیده است. پراکنش شدید در دسترسی به منبع ها، عاملی است که همین میزان در دسترس آب را نیز نامتوازن در اختیار مصرف کنندگان قرار می دهد (Anonymous, 2015).

همانطور که در نمودار ۱ نشان داده شده است، شکل مدیریت آب به مصرف بیش از ۸۰ درصدی آب در بخش کشاورزی کشور منجر گردیده است. روش های کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی همواره مورد توجه محققان و سیاست گذاران می باشد. بهبود بهره وری استفاده از آب یک فرصت بسیار مناسب برای صرفه جویی در مصرف آب

بویژه در بخش کشاورزی محسوب می گردد (Babran and Honarbakhsh, 2008). بخش دولتی در ایران در سالین اخیر به شدت از توسعه فناوری آبیاری حمایت و به بخش کشاورزی یارانه های بالایی را برای استفاده از فناوری های آبیاری با هدف کاهش مصرف آب بوسیله ی بهبود بهره وری، پرداخت نموده است (Keshavarzi and Rousta, 2013). بهره وری آب بخش کشاورزی در کشور بطور پیوسته از ۷۷۳/۶۲ ریال بر مترمکعب در سال ۱۳۷۰ به میزان ۱۷۲۶/۵۷ ریال بر مترمکعب (سال پایه: ۱۳۷۶) افزایش یافته است (شکل ۲). باین حال، مصرف آب در کشاورزی مطابق انتظار، ناشی از بهبود بهره وری آب و میزان تولید، کاهش نیافته است.

بر اساس نظر بیشتر کارشناسان بهبود فناوری و کاربرد دانش در کنار سیاست های حمایتی بخش دولتی موجب کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی می گردد (جایگزینی سیستم های آبیاری بارانی به جای سیستم سنتی غرقابی و تبدیل هر دو سیستم به سیستم قطره ای)، امری که در دوره ی اعمال دانش جدید فناوری آبیاری، مانند آبیاری



شکل ۱- درصد مصرف آب در ایران طی ۲۵ سال  
Fig. 1- Water consumption in Iran over 25 years



شکل ۲- تولید ناخالص بخش کشاورزی و مصرف آب کشاورزی در کشور از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶

Fig. 2- Gross agricultural production and agricultural water consumption in the country from 1991 to 1996

\*توجه: Y: ارزش ناخالص کشاورزی به قیمت ثابت (میلیارد ریال، سال پایه ۱۳۷۶). W: مصرف آب کشاورزی (میلیون مترمکعب) و WP: بهره‌وری آب کشاورزی (هزار ریال / مترمکعب)، WP = Rials/W. \*\*منبع داده‌ها: سالنامه آمار ایران.

\*Note: Y: Gross agricultural value at constant prices (Rls. Billion, base year 1997); W: Agricultural water consumption (million cubic meters); WP: Agricultural productivity (thirty Rials / m<sup>3</sup>), WP = Rials / W. \*\* Data sources: Iranian Statistics.

(Dimitropoulos, 2008)، اگر چه در مطالعات مختلف شدت این اثر متفاوت مشاهده گردیده است، ولی مهمترین کاربرد اثر جهش از دید کارشناسان و سیاست گذاران در بخش های آب و انرژی می باشد (Geng et al., 2019).

مسئله جوانس (اثر مثبت بهره‌وری انرژی) در ایران نیز از سوی بسیاری از کارشناسان در مباحثی نظیر حفاظت از منابع و مدیریت یکپارچه انرژی نیز موردبررسی قرار گرفته است (Nabavi, 2018). در ابتدا محققان برای مطالعه پدیده تأثیر باز توزیع در ادبیات اقتصادی از این مفهوم بهره بردند چرا که پیشرفت افزون بر بهبود بهره‌وری انرژی، سبب رشد اقتصادی و همچنین افزایش تقاضا برای انرژی نیز می گردد (Dagnino and Ward, 2012). این افزایش تقاضای انرژی می‌تواند انرژی صرفه‌جویی شده ناشی از بهبود بهره‌وری را کاهش دهد. پس از این مطالعات، تحقیقات نظری و تجربی در مورد اثر های جهش انرژی به‌سرعت پیشرفت کرده و نتایج مشابهی نیز در بسیاری از مطالعات نظیر Small and Van dender (2007) و Alcott (2005) حاصل شده است. اثر جهش انرژی با استفاده از روش‌های مختلف

تحت فشار و تحت سیاست حمایتی رخ داده و مورد تاکید برنامه ریزان کشوری است (فصل ۱۳ قانون برنامه توسعه، ماده ۱۰ قانون برنامه چهارم توسعه، ماده ۱۴۰ قانون برنامه پنجم توسعه و بخش هفتم قانون برنامه ششم توسعه) (Islamic Consultative Research Center, 2017).

مفهوم "اثر جهش"، بیشتر در مطالعات انرژی استفاده می‌شود، در حالیکه می‌تواند به شکلی جامع در بررسی میزان تأثیر بهره‌وری بر مصرف آب نیز مورد استفاده قرار گیرد. "تأثیر جهش" ابتدا توسط جوانس در سال ۱۸۶۶ پیشنهاد شد، بر اساس مشاهده‌ها موتورهای بخار کارآمدتر در ابتدا سبب کاهش مصرف زغال‌سنگ و بالطبع کاهش تقاضای و قیمت زغال‌سنگ شدند، ولی در ادامه با کاهش قیمت زغال‌سنگ در نهایت تقاضا برای زغال‌سنگ افزایش یافت. این پدیده نشان داد هرچند موتورهای کارآمدتر ابتدا سبب کاهش مصرف زغال‌سنگ خواهند شد ولی در ادامه بدلیل اثر جهش ناشی از به‌صرفه بودن مصرف بیشتر زغال‌سنگ اثر کمتری در کاهش مصرف زغال‌سنگ خواهند داشت و بخشی از اثر ابتدایی جبران خواهد شد (Sorrell and

(Berbel *et al.*, 2015) و مشاهده نکردن آن (et al., 2019) در سال های متوالی در مطالعات مختلف صورت پذیرفته است. مشاهده و شناخت اثر مدیریت آب سبب کمک به برنامه ریزی و مدیریت دیگر منابع نیز خواهد شد، مهم ترین نکته تلاش برای اجتناب از برخورد با اثر جهش است. کلید اساسی برای اجتناب از اثر جهش (۱) محدودیت های شدید در اندازه های منطقه آبیاری شده، (۲) کاهش حقایق سابق و (۳) تخصیص مجدد صرفه جویی آب برای دستیابی به هدف های محیط زیستی است. کشش کارایی مصرف آب، شامل سه اثر شناخته شده ی فنی، هزینه و بهره وری، در صورتی که انعطاف پذیری مثبت نشان دهند، بیانگر رخ دادن پارادوکس جونس هستند (Gomez and Perez-Blanco, 2014).

در مطالعه حاضر آب بعنوان نهاده ای کمیاب، پراهمیت و بدون جایگزین در تولید محصول های کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. با تغییر در ساختار مدیریتی می توان بسیاری از مشکل ها را کاهش داد هرچند در بسیاری از مطالعات هر گونه تغییر در ساختار سامانه ها، سیاست های آبیاری و محیط زیستی می تواند آثاری بسیار متفاوت و در عین حال متناقض داشته باشد (Kaveh and Hosseini, 2009; Rodríguez-Díaz *et al.*, 2011; Avazyar, 2013; Freire-González, 2019). بزرگ ترین مشکل در محاسبه اثر جهش آب، تعریف و اندازه گیری متغیرهای کلیدی است، این متغیرها بر اساس آنکه هدف و مقیاس تحقیق، حفاظت یا بهره وری آب باشد، بسیار متغیر است (Ahmadi and Sepaskhah, 2017). انتظار می رود نتایج به دست آمده در این مطالعه بتواند برای درک بهتر نقش بهبود فناوری در حفاظت از آب کشاورزی در ایران مفید باشد.

## مواد و روش ها

### تجزیه و تحلیل تئوری اثر جهش آب کشاورزی

برخی از محققان (Gomez and Perez-Blanco, 2014) مدل هایی را برای تجزیه و تحلیل اثر جهش و چرایی افزایش مصرف آب در اثر بهبود بهره وری آب، ارائه و نشان می دهند که اثر جهش در استفاده از آب بطور عمده از دو مکانیسم بهره می گیرد، مکانیسم های هیدرولوژیکی

اقتصادسنجی و داده های نمونه ای برآورد می گردد. یک روش معمول، برآورد اثر جهش انرژی با بهره گیری از برآورد کشش قیمت (Wang and Lu, 2014) یا کارایی (Azevedo, 2014) است.

برای کشورها یا بخش هایی که قیمت، واقعیت عرضه و تقاضا را منعکس نمی کند و با نبود شفافیت در اطلاعات مواجه هستند، اثر جهش انرژی با استفاده از روش مقایسه مستقیم (Shao *et al.*, 2014) و نرخ بهبود ناشی از پیشرفت فناوری تخمین زده می شود (Li and Han, 2011)، بسیاری از مطالعات اثر جهش را تأیید می کنند. بر اساس مطالعات صورت گرفته آب کشاورزی نیز می تواند همچون انرژی اثر جهش را تجربه نماید. این اثر در اجلاس کشورهای قاره اروپا (European, 2012) بعنوان یک مشکل نهفته شناخته شد. بسیاری از محققان اثر های آبیاری کارآمد را با استفاده از شبیه سازی مدل های نظری، تحلیلی، مقایسه ای و تجربی مقایسه کرده و نشان دادند که مصرف آب پس از بهبود سیستم آبیاری، نه تنها با کاهش مواجه نشده که در مطالعاتی نیز مانند (Konar *et al.*, 1985) Ellis *et al.*, (2019) Avazyar (2013) Kaveh and Hosseini (2009) و Freire-González (2019) افزایش میزان مصرف آب مواجه بوده است. برخی از محققان (Pfeiffer and Lin, 2014) مطالعات خود را بر روی اثر جهش بر اساس اطلاعات سال های گذشته متمرکز نموده و این اثر را در طول زمان تحلیل کرده اند. وجود اثر جهش ناشی از تغییر فناوری آبیاری به سمت فناوری های کارآمدتر و در کنار آن با حمایت بخش دولتی می تواند سبب افزایش میزان استخراج آب های زیرزمینی گردد (Barkhordar, 2019). اثر جهش در جهت تشریح و تجزیه و تحلیل هدفمند، عاملی است که تحت آن بهبود فناوری بهره برداری از نهاده ها سبب افزایش یا کاهش مصرف نهاده مورد نظر مانند نهاده ی آب می گردد. بطور معمول انتظار بر آن است که با بهبود فناوری مصرف آب در هر واحد و در حجم آب استخراجی کاهش یابد (Playán and Mateos, 2006).

مشاهده اثر جهش (Loch and Adamson, 2015; Sharmina)

محاسبه نمود:

$$WRE = \frac{EWS-AWS}{EWS} * 100\% = \frac{RWU}{EWS} * 100\% \quad (1)$$

EWS نشان‌دهنده ی مقدار مورد انتظار ذخیره آب (محاسبه یا پیش‌بینی شده) پس از بهبود فناوری های آبیاری است و AWS نشان‌دهنده ی آب صرفه‌جویی شده در شرایط واقعی پس از تغییر روش آبیاری است. تفاوت میان این دو مقدار (RWU = EWS - AWS) بیانگر اثر جهش آب در پاسخ به افزایش بهره‌وری یک واحد آب است.

WRE ۰٪ نشان‌دهنده موفقیت کامل حفظ منبع و WRE ۱۰۰٪ نشان‌دهنده شکست کامل در حفاظت از منبع های آب است. افزون بر این، اگر  $WRE > 100\%$  باشد، اقدام های بهبود بهره‌وری حتی می‌تواند سبب افزایش مصرف آب شود که " اثر انفجاری " نامیده می‌شود. اندازه‌گیری اثر جهش آب می‌تواند از رابطه (۲) و به شکلی دیگر استخراج شود:

$$WRE = 1 + \eta P_w (W) = 1 + \frac{\partial \ln W}{\partial \ln WP} \quad (2)$$

که در آن W آب مصرفی، WP بهره‌وری آب و  $\eta P_w (W)$  کشش مصرف آب است. می‌توان اثر جهش را از برآورد کشش قیمتی (معادله ۳) نیز به دست آورد (Wang and Geng et al., 2019; Lu, 2014).

$$WRE = \eta P_w (W) = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln WP} \quad (3)$$

$P_w$  قیمت آب و  $\eta P_w (W)$  کشش مصرف آب است.

### تخمین اثر جهش آب در کشاورزی

همانگونه که پیشتر اشاره شد، دو روش مختلف برای تخمین اثر جهش وجود دارد: انجام مقایسه مستقیم و استفاده از کشش قیمت بعنوان یک متغیر نماینده. روش دوم روش اولیه‌ای است که برای محاسبه ی اثر جهش انرژی استفاده می‌شود. روش کشش نیازمند وجود بازار آب کشاورزی است. استفاده از کشش قیمت تنها زمانی امکانپذیر است که قیمت بطور کامل مفهوم تقاضای آب کشاورزی را منعکس کند (Jafary and Bradley, 2018). قیمت آب کشاورزی در ایران، برای سالیان متمادی، در سطحی پایین، پایدار و البته بصورت محدود و تنها در برخی منطقه ها تعیین می‌گردد. نبود بازاری کارا در نهاده آب سال هاست موردانتقاد

و اقتصادی. در مکانیسم‌های هیدرولوژیکی بر اثر افزایش بهره‌وری آب عملکرد محصول افزایش می‌یابد، زیرا سیستم آبرسانی دقیق‌تر، یکنواخت‌تر و مطابق با نیاز آبی محصول است. مکانیسم هیدرولوژیکی، بخش فنی اثر جهش است، چرا که بدلیل ویژگی‌های ذاتی سیستم آبیاری عملکرد افزایش می‌یابد (Dagnino and Ward, 2012; Barkhordar, 2019). (Freire-González, 2019). پارادوکس جونس در استفاده از آب مثالی برای مکانیسم های اقتصادی است. در حقیقت اثر جهش در آب همانند بخش انرژی، بر تنظیم رفتار مصرفی کشاورزان در پاسخ به کارایی بهبود یافته ی ناشی از فناوری‌های جدید تمرکز دارد. مکانیسم اقتصادی بازده مصنوعی است، این مکانیسم بستگی به گزینه‌های مدیریتی در آبیاری دارد و می‌تواند از طریق سیاست مصرف آب کنترل شود. متغیر کلیدی در مکانیسم های اقتصادی، بهره‌وری آب است. اساس این مکانیسم سود اقتصادی با توجه به مقدار مصرف آب بیشتر به جای آب ذخیره‌شده است.

این مطالعه بر اثر جهش آب ( $WRE^1$ ) ناشی از مکانیسم اقتصادی تأکید دارد. فناوری آبیاری کارآمد بطور کلی بهره‌وری (خروجی تولیدشده در هر حجم آب مصرفی) را افزایش و موجب سودآوری بیشتر خواهد شد و می‌تواند منجر به تغییر در عملکرد، انتخاب محصول، چرخش الگوهای کشت و یا گسترش زمین‌های زیرکشت شده که منجر به مصرف بیشتر آب خواهد شد. اثر جهش آب در کشاورزی ناشی از فناوری های آبیاری، میزان مصرف آب را نسبت به صرفه‌جویی نهفته آب از طریق بهبود بهره‌وری آب افزایش می‌دهد.

از آنجایی که تئوری اثر جهش در آب بر مبنای الگوی اثر جهش انرژی پیشنهاد شده است، دو روش مختلف، (۱) مقایسه ی مستقیم تقاضای قبل و بعد از بهبود بهره‌وری آب (۲) استفاده از کشش تقاضا برای تخمین میزان اثر جهش مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Wang and Lu, 2014; Freire-Gonz and Lez, 2011). WRE کشاورزی را می‌توان بطور مستقیم از تفاوت میان صرفه‌جویی مورد انتظار آب و صرفه‌جویی واقعی از بهبود بهره‌وری آب - معادله (۱) -

معادله (۴) است،  $W$  کل مصرف آب کشاورزی،  $Y$  تولید کشاورزی کل و  $WP$  بهره‌وری آب کشاورزی است:

$$W = \frac{Y}{WP} \quad (4)$$

فرض کنید که مصرف آب، تولید کشاورزی و بهره‌وری آب در سال  $t$  به ترتیب  $W_t$ ،  $Y_t$  و  $WP_t$  است، بنابراین تغییر در مصرف آب کشاورزی از سال  $t-1$  تا سال  $t$  ( $\Delta W_t$ ) می‌تواند بصورت زیر تجزیه شود:

$$W = W_t - W_{t-1} = \frac{Y_t}{WP_t} - \frac{Y_{t-1}}{WP_{t-1}} = \frac{Y_t \Delta WP_t}{WP_t WP_{t-1}} + \frac{\Delta Y_t}{WP_{t-1}} \quad (5)$$

بنابر معادله (۶)، اثر جهش آب، بصورت افزایش نسبت مصرف آب ناشی از رشد تولید کشاورزی، بمیزان تخمین زده شده (مورد انتظار) صرفه جویی بدلیل بهبود بهره‌وری آب تعریف می‌گردد. بهبود بهره‌وری آب و رشد تولید کشاورزی بوسیله روش‌های بهبود یافته آبیاری ایجاد می‌شود. بنابر معادله (۶) یک عامل مهم برآورد اثر جهش، میزان سهم فتاوری ( $\rho$ ) است. برای رسیدن به این ضریب می‌توان از توابع تولید مختلف بهره برد، در این مطالعه از تابع تولید کاب و داگلاس هیکس - خنثی در کشاورزی بصورت معادله (۷) بهره برده می‌شود:

$$Y_{it} = A_{it} W_{it}^\alpha X_{vit}^\beta X_{vit}^\gamma \dots X_{nit}^\eta = A_i e^{rt} W_{it}^\alpha X_{vit}^\beta X_{vit}^\gamma \dots X_{nit}^\eta \quad (7)$$

آب و سایر نهاده‌ها مانند کار و زمین،  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\eta$  بیانگر کشش محصول‌ها و  $W_{it}$ ،  $X_{vit}$ ،  $X_{vit}^\gamma$  و  $X_{nit}$  مقدار محصول و نهاده‌ها است. لگاریتم طبیعی معادله (۸) عبارت است از:

$$\ln Y_{it} = \ln A_{it} + rt + \alpha \ln W_{it} + \beta \ln X_{vit} + \gamma \ln X_{vit} + \dots + \eta \ln X_{nit} \quad (8)$$

کشاورزی را در سطح کلان اقتصادی با استفاده از معادله (۶)، محاسبه می‌گردد.  $WRE$  کشاورزی بطور کلی به صورت درصد بیان می‌شود که بطور معمول بین صفر تا ۱۰۰ درصد است،  $WRE$  را می‌توان با توجه به میزان آن طبقه‌بندی نمود. بعد از بازنشانی معادله (۶)، فرمول دیگری برای  $WRE$  با استفاده از نرخ رشد قابل دسترس است.

$$WRE_t = \frac{\rho \Delta Y_t / \Delta WP_t}{Y_t} = \frac{\rho GY_t}{GWP_T} = \rho GY_t / (GY_t - GW_t) \times 100\% \quad (10)$$

کارشناسان بخش کشاورزی قرار دارد، بنابراین، روش کشش قیمتی برای برآورد اثر جهش آب کشاورزی بدلیل وجود بازار منبع - های آب ضعیف در کشور نامناسب است. روش دیگر روش مقایسه مستقیم است که روشی دقیق نیست، ولی برای تخمین اثر جهش آب کشاورزی در سطح کشور قابل اتکاست. در معادله (۱)، تخمین اثر جهش، باید میزان ذخیره شده ی آب مورد انتظار ( $EWS$ ) از افزایش بهره‌وری و مصرف مجدد آب ( $RWU$ ) در پاسخ به کاهش هزینه تخمین زده شود. رابطه بین مصرف و بهره‌وری آب به صورت

معادله (۵)، تغییر در مصرف آب کشاورزی را به دو بخش تغییر در مصرف بدلیل تغییر بهره‌وری آب ( $\frac{Y_t \Delta WP_t}{WP_t WP_{t-1}}$ ) و تغییر در مصرف بدلیل رشد اقتصادی ( $\frac{\Delta Y_t}{WP_{t-1}}$ ) تقسیم می‌نماید. مصرف مجدد آب ( $RWU$ ) برابر با  $\frac{\Delta Y_t}{WP_{t-1}}$  و صرفه جویی مورد انتظار مصرف آب کشاورزی ناشی از بهبود بهره‌وری آب ( $EWS$ )، برابر با  $\frac{Y_t \Delta WP_t}{WP_t WP_{t-1}}$  است. بنابراین، برآورد اثر جهش آب در سال  $t$  با استفاده از معادله (۶) صورت می‌گیرد:

$$WRE = \left( \sum \frac{\rho \Delta Y_t}{WP_{t-1}} / \sum \frac{Y_t \Delta WP_t}{WP_t WP_{t-1}} \right) * 100 \quad (6)$$

که در آن  $A_{it} = A_i e^{rt}$  پارامتر فنی فتاوری هیکس خنثی است که  $r$  نشان دهنده نرخ پیشرفت فتاوری،  $W_{it}^\alpha$ ،  $X_{vit}^\beta$ ،  $X_{vit}^\gamma$  و  $X_{nit}^\eta$  به ترتیب محصول‌ها، نهاده

بنابراین، با استفاده از داده‌های داده - ستاده برای تولید محصولات کشاورزی ایران، می‌توان  $r$  را برآورد کرد. نرخ مشارکت در پیشرفت فتاوری را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

$$\rho = \frac{r}{g_Y} \quad (9)$$

$g_Y$  نرخ رشد تولید کشاورزی است. در نهایت، اثر جهش آب



های دیگر در کنار پیشرفت فناوری است. در صورتی که نرخ رشد محصول کشاورزی با نرخ رشد مصرف آب کشاورزی برابر قرار داده شود و نرخ رشد محصول کشاورزی حاصل از پیشرفت فناوری (pGY) برابر با نرخ رشد بهره‌وری آب (GWP) گردد، یک اثر جهش آب ۱۰۰٪ (جهش کامل) به دست می‌آید که نشان‌دهنده شکست کامل صرفه جویی و ذخیره سازی آب است. اگر اثر جهش آب بیشتر از ۱۰۰ درصد باشد، اقدام‌ها بهبود بهره‌وری آب موجب افزایش استفاده از آب شده است، این پدیده اثر انفجاری

مقدار WRE و روابط متناظر میان متغیرها در جدول ۴ دیده می‌شود. همان‌گونه که در بالا اشاره شد، اگر صرفه‌جویی آب بطور کامل مقدار صرفه‌جویی مورد انتظار را برآورده نکرد، بخشی از صرفه‌جویی مورد انتظار آب بدلیل استفاده مجدد از آب کاهش یافته است. زمانی که pGY کمتر از GWP و (1-p)GY کمتر از GW است بازده جزئی وجود دارد. رشد تولید بخش کشاورزی به واسطه پیشرفت فناوری و همچنین عامل‌های دیگر مانند رشد نیروی کار، ماشین‌آلات و واردات کود حاصل می‌شود. (1-p)GY نرخ رشد محصول کشاورزی حاصل از رشد عامل

جدول ۱- اثر جهش آب کشاورزی  
Table 1. Agricultural water rebound effect

GY vs GW (%)	GY vs GWP(%)	AWS vs EWS	(%) WRE	
(1-p)GY>GW>0	pGY > GWP >0	AWS < 0	WRE > 100	اثر انفجاری Backfire
0<(1-p)GY=GW	pGY =GWP > 0	AWS = 0	WRE = 100	اثر جهش کامل Full rebound
0<(1-p)GY<GW	pGY< GWP>0	AWS < EWS>0	WRE < 100 > 0	جهش جزئی Partial rebound
pGY = 0	pGY = 0	AWS = EWS>0	WRE = 0	اثر صفر Zero rebound
pGY < 0	pGY < 0	AWS > EWS >0	WRE < 0	حفاظت فوق‌العاده Super conservation
GY ≤ GW	GWP ≤ 0	EWS ≤ 0	-	غیرممکن Impossible

\*WRE: اثر جهش آب (%). AWS: صرفه‌جویی واقعی (صد میلیون مترمکعب). EWS: صرفه‌جویی مورد انتظار (صد میلیون مترمکعب). GY: نرخ رشد تولیدات کشاورزی (%). GWP: میزان رشد بهره‌وری آب کشاورزی (%). GW: میزان رشد مصرف آب کشاورزی (%).

\*WRE: water rebound effect (%); AWS: Real savings (100 million cubic meters); EWS: Expected savings (100 million cubic meters); GY: Agricultural production growth rate (%); GWP: Agricultural productivity growth rate (%); GW: Growth rate of agricultural water consumption (%).

بیشتر از صرفه‌جویی مورد انتظار است. به لحاظ نظری، این پدیده تنها زمانی اتفاق می‌افتد که تولید کشاورزی با بهبود کارایی، کاهش یابد. اگر محصول کشاورزی دارای ویژگی‌های مشابهی با کالای جیفن باشد و یا عامل‌های دیگری با تأثیر متفاوت بر محصول کشاورزی سبب گردند که کاهش قیمت موجب کاهش تقاضا شود، این احتمال وجود دارد که تولید کشاورزی زمانی که بهره‌وری آب بهبود یافته است کاهش یابد و WRE کمتر از صفر گردد. تحلیل مقدار منفی بی‌معنی است زیرا زمانی که  $EWS \leq 0$  یا  $GWP \leq 0$  یا  $GY \leq GW$ ، فرضیه ضمنی محاسبه اثر جهش آب، که بهره‌وری آب بهبود یافته

یا عقب‌ماندگی نامیده می‌شود. پس از افزایش بهره‌وری این امکان وجود دارد که مصرف آب افزایش یابد و تأثیر بازده بیش از ۱۰۰٪ رخ دهد. تخمین و مقایسه تغییر مصرف آب قبل و بعد از بهبود کارایی منطقی نیست، بنابراین در تحلیل‌ها باید به این نکته توجه شود که بهبود بهره‌وری تنها بخشی از رشد در تولید کشاورزی را سبب می‌گردد و رشد آب مصرفی به دلیل‌های دیگر نباید بعنوان استفاده از آب حاصل از بهبود بهره‌وری تعریف شود. در موارد خاص، ارزش WRE منفی است؛ این را می‌توان بعنوان «حفاظت فوق‌العاده» نامید، عبارتی میزان واقعی صرفه‌جویی آب

سال پایه) محاسبه شده اند. اطلاعات داده- ستاده کشاورزی از سالنامه آماری کشور در سال‌های (۱۳۷۰-۱۳۹۶) و سالنامه ها و گزارش های سازمان مدیریت منابع آب کشور به دست آمده است. داده‌های جمعیتی مربوط به کارگران کشاورزی از سالنامه آماری استان ها به صورت تفکیکی استخراج شده است.

### نتایج و بحث

اولین گام برای محاسبه اثر جهش آب کشاورزی، برآورد میزان پیشرفت فناوری (t) و تعیین میزان اثر پیشرفت فناوری (p) است. همان طور که در بخش ۳ توضیح داده شد، مقدار r با استفاده از تابع تولید محصول های کشاورزی معادله (۸) تعیین می گردد. نتایج برآورد معادله (۸) در جدول ۲ نشان داده شده است.

است، برآورده نشده و نتیجه محاسبه بی معنی است. داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی اثر جهش آب در کشاورزی ایران بصورت داده‌های پانل برای استان ها می باشد. داده‌های مورد استفاده شامل ۸ نهاده کشاورزی، آب (W)، کار (LB)، زمین (LD)، ماشین آلات (M)، کود (F)، بذر (S)، سم (P)، سرمایه (K) و تولید کشاورزی (Y) در ۳۱ استان مختلف کشور است. بمنظور نشان دادن تولید کشاورزی حقیقی، ارزش تولید ناخالص کشاورزی (میلیارد ریال) در سطح قیمت سال ۱۳۷۶ (Y) بعنوان سال پایه، برآورد گردیده است. این داده‌ها بر مبنای ارزش تولید ناخالص کشاورزی در قیمت های فعلی و تعرفه‌های تولید ناخالص محصول های کشاورزی (نسبت تولید کشاورزی ناخالص در قیمت‌های فعلی به متغیر مشابه در قیمت‌های ثابت

جدول ۲- برآورد ضریب عملکرد تولید کشاورزی

Table 2. Estimation of agricultural production function coefficients

مدل اثر تصادفی Random Effect Model		مدل اثر ثابت Fixed Effect Model		مدل تلفیقی Pooled Model		متغیر
0.113	4.731***	0.117	7.180***	0.157	4.731***	C
0.012	0.102***	0.008	0.043***	0.017	0.102***	t
0.002	0.108-***	0.001	0.104-***	0.003	0.108-***	lnW
0.021	0.060-**	0.016	0.058-***	0.029	0.060-**	lnLB
0.003	0.082***	0.003	0.010***	0.004	0.082***	lnP
0.031	0.118***	0.024	0.181**	0.043	0.118***	lnS
0.012	0.340***	0.010	0.365***	0.017	0.340***	lnF
0.141	0.721***	0.131	0.347**	0.196	0.721***	lnLA
0.062	0.154**	0.045	0.087*	0.086	0.154*	lnM
0.101	0.004	0.078	0.427***	0.140	0.004	lnK
616		616		616		تعداد مشاهده observation
0.80		0.80		0.80		R <sup>2</sup>
0.78		0.92		0.80		Adj R <sup>2</sup>

\*\*\* معنی داری در سطح ۱٪، \* معنی داری در سطح ۱۰٪  
LnY: Natural logarithm of agricultural products value,  
t: year, lnW: Natural logarithm of agricultural water  
consumption, lnLB: Natural logarithm of agricultural  
workers, lnLD: Natural logarithm of crop yields, lnM:  
Natural logarithm of agricultural machinery, lnF Natu-  
ral logarithm of fertilizer use, lnS: Natural logarithm

متغیر وابسته lnY: لگاریتم طبیعی ارزش محصول های  
کشاورزی، t: سال، lnW: لگاریتم طبیعی آب کشاورزی  
مصرف شده، lnLB: لگاریتم طبیعی کارگران کشاورزی،  
lnLD: لگاریتم طبیعی از سطح های کشت محصول ها، lnM:  
لگاریتم طبیعی از ماشین آلات کشاورزی، lnF: لگاریتم طبیعی مصرف  
کود شیمیایی، lnS: لگاریتم طبیعی برای مصرف بذر، lnK:  
لگاریتم طبیعی سرمایه نقدی، lnP: لگاریتم طبیعی سم مورد استفاده.



قرار دارد، بطور مؤثری بر نتایج به دست آمده مؤثر است.

$$(11) \quad F(30, 576) = 31,036; pr = 0,000$$

از میان دو مدل اثر ثابت و اثر تصادفی کدام گزینه برای تخمین تابع مورد نظر مناسب است؟ برای پاسخ به این سؤال در گام اول مدل های اثر ثابت و تصادفی را برای داده های موجود تخمین زده و در ادامه از آزمون هاسمن برای انتخاب مدل مورد استفاده بهره برده شد. نتایج آزمون هاسمن مدل اثر ثابت را در مقابل اثر تصادفی تأیید می نماید، بنابراین مدل اثر ثابت تخمین زده می شود.

نتایج نشان می دهد که نرخ پیشرفت فتاوری (t)، برآورد ضریب مربوط به زمان t، ۰/۰۴۳ است. ضرایب برآورد شده برای lnW، lnLB نشان می دهد که آب و نیروی کار اثر منفی هر چند ناچیزی بر تولید کشاورزی دارند. ضرایب رگرسیون منفی lnW و lnLB از نظریه اقتصادی حمایت نمی کنند. با این حال، علامت منفی در آنها منعکس کننده این واقعیت است که در ایران، منابع آب کشاورزی بدلیل بهره برداری بی رویه از منبع های آبی و خشک سالی های پی در پی بدلیل توسعه اقتصادی، ارتقاء بخش های غیر کشاورزی و از همه مهم تر از دست رفتن جایگاه بخش کشاورزی و روستایی که منجر به مهاجرت از روستاها به شهرها شده است، در طول این سال ها به شدت کاهش یافته است. آزمون ناهمسانی واریانس گروهی در مدل های رگرسیون اثر ثابت با استفاده از آزمون اصلاح شده والد نشان می دهد که فرض ناهمسانی واریانس در میان استان های مختلف رد و واریانس برای همه استان ها برابر است.

$$(12) \quad \chi^2(31) = 238,44; pr = 0,000$$

خطای استاندارد مدل اثر ثابت در کنار تخمین های مدل اثر ثابت در ستون دوم از جدول ۲ نشان داده شده است. از آنجا که T یا همان دوره مورد بررسی بسیار بزرگ نیست (۲۶ سال)، فرض می شود که همبستگی سریالی دارای اثری معنی دار در مطالعه است، به این منظور از آزمون ولدریج برای بررسی استقلال مقطعی داده ها استفاده می گردد، نتایج نشان می دهد که داده ها بصورت مقطعی بدون

for seed consumption, lnK Natural logarithm of cash capital, lnP logarithm of natural toxins used

\*\*\* Significantly at level 1%, \* Significantly at the level of 10%

ستون اول جدول ۲ تخمین کمترین مربعات مدل ترکیبی معادله (۸) را نشان می دهد. بنابر نتایج به دست آمده بیشتر ضریب ها معنی دار شده اند. سم های مورد مصرف شامل مجموع علف کش ها، قارچ کش ها، حشره کش ها و هرگونه سم مورد استفاده در بخش کشاورزی است. منظور از سرمایه نیز در این بخش شامل مجموع یارانه و وام های پرداختی به کشاورزان از طریق صندوق حمایتی کشاورزی و بانک کشاورزی است. در ستون نخست، ضرایب مدل ترکیبی وارد شده که از این متغیرها، ۲ نهاده ی ماشین آلات و سرمایه در هیچ یک از سطوح ۱ و ۱۰ درصد معنی دار نیستند. هر چند برآورد مدل ترکیبی از ویژگی های اساسی برخوردار است ولی این مدل ها نمی توانند ویژگی های پانل بودن داده را تشخیص دهند.

زمانی که شناختی از متغیرهای مشاهده نشده در استان ها وجود داشته باشد، مدل پانل با اثر ثابت گزینه مناسب تری برای برآورد و تخمین مدل است. در مرحله بعد مدل اثر تخمین زده شده و ضرایب آن در ستون (Fixed Effect) ثابت دوم از جدول (۲) و در پایان نیز مدل اثر های تصادفی تخمین زده شد. ستون سوم جدول ۲ یک (Random Effect) تخمین برای داده های پانل با اثر-های تصادفی را گزارش می دهد که ضرایب برآورد شده آن بطور معنی داری از مدل با اثرات ثابت همتای مدل اثر های تصادفی متفاوت است. برای آزمون پانل بودن داده ها از آزمون F لیمر استفاده می شود تا بتوان میان روش اثر ثابت و روش حداقل مربعات معمولی قضاوت نمود. اثر ثابت در محصول های کشاورزی بخوبی توجیه شده است، فرض صفر ناشی از برابری اثر های ناخواسته در همه استان ها رد می شود. بعبارت دیگر اثر های ناخواسته یا مشاهده نشده در هر استان، بر پایه ی این نکته که این استان در چه شرایطی از مختصات اقتصادی

خودهمبستگی هستند.

$$(13) \quad F(1,30) = pr(1,251) = (0,272)$$

آزمون Pesaran نیز فرض استقلال مقطعی داده ها را تأیید می کند.

$$(14) \quad \text{Test Pesaran} = Pr(3,235) = (0,0012)$$

ضرایب برآورد شده و مقدار  $R^2$  در ستون‌ها (۲)، (۳) و (۴) بسیار به هم نزدیک، ولی خطاهای استاندارد متفاوت هستند. ضرایب برآورد شده برای  $t$  از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی دار است، که نشان می دهد میزان برآورد شده  $0/043$ ، برای نرخ پیشرفت فناوری دارای سطح معنی داری بالایی است. پس از تعیین مقدار  $t$ ، نرخ مشارکت پیشرفت فناوری،  $p$ ، می تواند با استفاده از معادله (۹) محاسبه و در ادامه برآورد میزان پیشرفت فناوری از معادله (۵) صورت گیرد.

ویزد و سیستان و بلوچستان است.

رتبه نخست اثر جهش آب کشاورزی در استان همدان به میزان  $805/167\%$ ، رتبه دوم استان مازندران  $847/149\%$  و رتبه سوم سیستان و بلوچستان  $788/149\%$  است. در بسیاری از استان‌های کشور میزان اثر جهش بالاتر از  $100$  درصد است که بیانگر آن است که میزان صرفه جویی پیش‌بینی شده برای منبع های آب ناشی از پیشرفت فناوری محقق نشده است. این نتایج نشان می دهد که بهبود بهره وری سبب افزایش مصرف آب گردیده است. در بیشتر استان‌های کشور پیشرفت فناوری منجر به رشد مصرف آب گردیده است. در میان این استان ها اثر جهش در همدان، مازندران و سیستان و بلوچستان، کرمانشاه و فارس قابل توجه است. هر چند که میزان بالای برآورد شده در استان سیستان و بلوچستان را می توان به منطقه چابهار نسبت داد.

### برآورد نتایج اثر جهش آب کشاورزی

با استفاده از نرخ مشارکت در پیشرفت فناوری ( $p$ )، می توان مصرف مجدد و اثر جهش آب کشاورزی را بر اساس معادله (۶) محاسبه نمود. نتایج به دست آمده در جدول و شکل (۳) نشان داده شده است. نرخ رشد بخش کشاورزی ایران در سال های  $1370-1396$  برابر  $85/3\%$  و میزان اثر جهش آب معادل  $315/109\%$  به دست آمده است، عبارتی  $315/109\%$  از پس انداز آب مورد پیش‌بینی ناشی از بهبود بهره‌وری با افزایش استفاده از آب برای رشد تولید کشاورزی جبران می شود. این امر نشان می دهد در  $26$  سال اخیر نه تنها بهبود فناوری کمکی به کاهش مصرف آب نکرده است که میزان بهره برداری از آب ها را بالا برده است.

بنابراین، نرخ رشد بهره‌وری آب کشاورزی ( $GWP = GY$ ) در استان‌های کشور مثبت و در نتیجه  $WRE$  محاسبه شده مثبت باقی مانده است. این نتایج از این فرضیه که کشاورزی دارای اثر جهش است حمایت می کند. صرفه جویی مورد انتظار در مصرف آب ( $EWS$ )، نرخ رشد کشاورزی ( $GWP$ ) و  $WRE$  محاسبه شده نیز مثبت است، این نتایج نشان از معنی دار بودن اثر جهش در استان ها دارد. چرا که  $WRE$  کشاورزی ( $1370-1396$ ) در تمام  $31$  استان کشور در محدوده مثبت قرار می گیرد. اثر جهش آب کشاورزی در استان یزد  $708/69\%$  پایین ترین میزان ارزش های مثبت  $WRE$  است. در مجموع نتایج نشان از عدم حمایت داده‌ها از فرضیه کاهش مصرف آب ناشی از فناوری در استان هاست. فناوری، صرفه جویی در مصرف آب را برآورده نکرده و صرفه جویی مورد انتظار آب با استفاده از مصرف آب اضافه شده بعلاوه اثر جهش مختلف جبران می شود. تفاوت در اثر جهش آب منطقه های مختلف در شکل ۳ دیده می شود که نشان می دهد که در میان استان‌های کشور،  $WRE$  کشاورزی منطقه ۳ کشور  $417/125\%$  بالاترین مقدار است و کشاورزی منطقه ۵،  $WRE$  برابر با  $268/95\%$  نشان دهنده کمترین مقدار است.

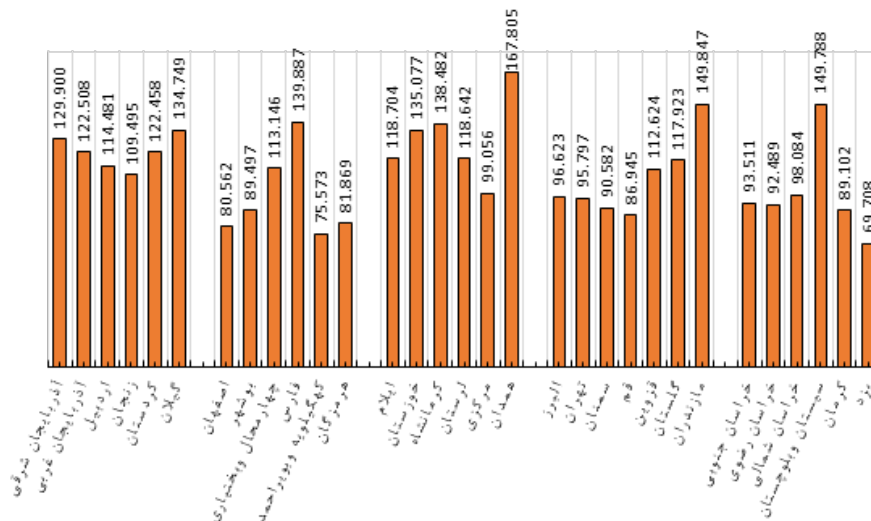
برای آنکه تحلیلی جامع تر بیان شود، نتایج استان ها بر اساس دسته بندی منطقه های ۵ گانه ی وزارت کشور صورت گرفته است. منطقه ۱ شامل استان‌های تهران، قزوین، گلستان، مازندران، سمنان، البرز و قم، منطقه ۲ اصفهان، فارس، بوشهر، چهارمحال و بختیاری، هرمزگان و کهگیلویه و بویراحمد، منطقه ۳ آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، زنجان، گیلان و کردستان، منطقه ۴ کرمانشاه، ایلام، لرستان، همدان، مرکزی و خوزستان و منطقه ۵ خراسان رضوی، جنوبی و شمالی، کرمان

جدول ۳- تأثیر باز تولید آب کشاورزی استان‌های ایران (۱۳۷۰-۱۳۹۶)  
Table 3. Agricultural water rebound effect of Iran's provinces (1991-2017)

اثر جهش آب (WRE) Water Rebound Effect	صرفه جویی مورد انتظار آب (EWS) Expected Water Savings	استفاده از آب‌های جهشی (RWU) Rebounded Waters Use	نرخ رشد مصرف آب (GW) Rate of Water Consumption	نرخ رشد کشاورزی (GY) Agricultural Development Rate	استان Province
129.900	892.254	686.880	2.922	3.197	آذربایجان شرقی East Azerbaijan
122.508	1134.862	926.354	2.633	2.898	آذربایجان غربی West Azerbaijan
114.481	225.621	197.081	3.015	3.342	اردبیل Ardabil
80.562	2448.931	3039.828	2.527	2.935	اصفهان Esfahan
96.623	413.392	427.840	3.687	4.171	البرز Alborz
118.704	175.253	147.639	2.787	3.078	ایلام Ilam
89.497	284.858	318.287	3.042	3.477	بوشهر Bushehr
95.797	1732.557	1808.567	3.231	3.658	تهران Tehran
113.146	319.894	282.728	3.055	3.390	چهارمحال و بختیاری Chaharmahal va Bakhtiari
93.511	755.678	808.119	1.171	1.331	خراسان جنوبی South Khorasan
92.489	4443.799	4804.690	4.841	5.508	خراسان رضوی Khorasan Razavi
98.084	218.103	222.363	1.939	2.189	خراسان شمالی North Khorasan
135.077	390.151	288.836	3.292	3.590	خوزستان Khuzestan
109.495	290.056	264.903	2.616	2.914	زنجان Zanjan
90.582	503.185	555.502	1.136	1.297	سمنان Semnan
149.788	1823.588	1217.449	2.960	3.199	سیستان و بلوچستان Sistan and Baluch- estan
139.887	10526.720	7525.134	4.044	4.396	فارس Fars
112.624	496.080	440.476	3.377	3.749	قزوین Qazvin
86.945	386.357	444.370	1.727	1.982	قم Qom
122.458	371.136	303.073	4.596	5.059	کردستان Kurdistan
89.102	4868.183	5463.597	6.079	6.954	کرمان Kerman
138.482	316.405	228.481	2.582	2.809	کرمانشاه Kermanshah
75.573	113.690	150.438	2.856	3.353	کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluyeh and Boyer Ahmad
117.923	194.214	164.696	4.945	5.464	گلستان Golestan
134.749	216.523	160.687	6.937	7.566	گیلان Gilan

118.642	130.227	109.764	1.492	1.648	لرستان
149.847	238.560	159.203	4.072	4.401	Lorestan
99.056	1376.818	1389.943	2.654	2.992	مازندران
81.869	626.060	764.708	2.862	3.315	Mazandaran
167.805	1290.650	769.136	4.528	4.852	مرکزی
69.708	505.525	725.204	2.383	2.839	Markazi
109.315	37709.330	34495.976	3.456	3.850	هرمزگان
					Hormozgan
					همدان
					Hamedan
					یزد
					Yazd
					کشور
					Country

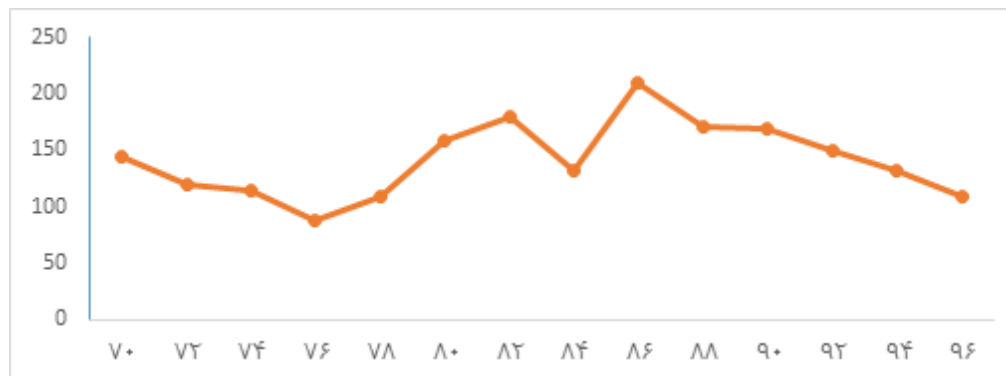
GY: نرخ رشد تولید کشاورزی (%), GW: نرخ رشد مصرف آب کشاورزی (%), RWU: استفاده از آب‌های جهشی (صد میلیون مترمکعب), EWS: صرفه‌جویی مورد انتظار آب (صد میلیون مترمکعب), WRE: اثر جهش آب (%).  
 GY: Growth rate of agricultural output (%); GW: Growth rate of agricultural water use (%); RWU: Rebound water use (100 million cubic meters); EWS: Expected water saving (100 million cubic meters), WRE: Water rebound effect (%)



شکل ۳- اثر جهش در منطقه‌های ۵ گانه ایران (۱۳۷۰-۱۳۹۶)  
 Fig. 3- Water rebound effect in Iran's 5 divisions (1971-2017)

های آب مجاز و غیرمجاز در سال ۱۳۸۵ است. افزون بر این، کمترین WRE کشاورزی در سال ۱۳۹۰ ظاهر شد زیرا مصرف آب کشاورزی در آن سال به میزان قابل توجهی کاهش یافت. در واقع، WRE سالانه به تغییر در مصرف آب کشاورزی وابسته است که تا حدودی وابسته به شاخص‌های طبیعی مانند بارش هاست و این عاملی شده تا در سالیان اخیر اثر جهش با کاهش مواجه گردد. برای مشاهده روند کلی تغییر ناشی از اثر جهش آب کشاورزی در طول زمان، تغییرات کل WRE در شکل ۴ نشان داده شده است. از دید کلی و به شکل جامع، اثر جهش آب کشاورزی در ایران نشان‌دهنده نوسانات دوره‌ای است این روند بدلیل مقیاس زمان کوتاه این مطالعه بسیار متمایز

در منطقه‌های ۲ و ۴ نیز مانند منطقه ۳، WRE های کشاورزی بالاتر از ۱۰۰٪ و در منطقه ۱ اثر جهشی کمتر از ۱۰۰ مشاهده می‌شود. این نتایج با آنچه به صورت تجربی انتظار مواجه با آن وجود دارد، دارای ارتباطی معنی‌دار است چراکه استان‌های کم‌آب که دارای کمبودهای شدیدی در آب و زمین هستند؛ در رشد مصرف آب کشاورزی با محدودیت مواجه بوده و در نتیجه WRE کشاورزی کمتر است. از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ GW همیشه کمتر از GY بوده و WP نرخ رشد مثبت را حفظ کرده است. تغییرات اثر جهش آب کشور در طول زمان در نمودار ۴ نشان داده شده است. سال ۱۳۸۶ که شدیدترین اثر جهش در آن مشاهده شده است یک سال بعد از امکان صدور مجوز چاه



شکل ۴- تأثیر اثر جهش آب کشاورزی سالانه (۱۳۷۰-۱۳۹۶)  
 Fig. 4- Annual agricultural water rebound effect (1971-2017)

کمکی نکرده است بلکه به روشنی می توان تخلیه شدید منبع های آب زیرزمینی را در کشور و بویژه منطقه های با WRE بالاتر مشاهده نمود، در مطالعات داخلی مطالعه ی حاضر بیشترین تشابه در نتایج را در شکل کلی با مطالعات (Barkhordar (2019) و (Ahmadi and Sepaskhah (2017) داراست. هر چند در مطالعات مورد نظر به مبحث WRE بصورت دقیق و کامل اشاره نگردیده است و تنها بخشی از دامنه ی تحقیق کارشناسان را مباحث WRE تشکیل می دهد اما به روشنی می توان مشاهده کرد که تاکید بر هدفمندسازی در سیاست های اقتصادی در کنار برنامه های فنی و مهندسی اهم سیاست های بیان شده است.

به شکلی جامع و یکپارچه هر چند استفاده از سیستم های آبیاری نوین سبب کاهش مصرف آب در کوتاه مدت خواهد بود (Ahmadi and Sepaskhah, 2017). ولی در بلند مدت بدلیل امکان افزایش سطح زیر کشت این میزان صرفه جویی شده، توسط مصرف بالاتر آب جبران (Avazyar, 2013) و خسارات بیشتری به منبع های آب زیرزمینی وارد خواهد آمد. امری که در اسناد بالادستی کشور به صورت مشخص باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

### نتیجه گیری

برآورد میزان اثر جهش آب در مقیاس کلان، شدت اثر جهش آب کشاورزی در ایران را نشان می دهد. اندازه گیری اثر جهش آب نشان می دهد که حتی اگر بازده به سطح پیش آگهی یا پارادوکس جونس برسد (تأثیر بازده ۰ تا ۱۰۰ درصد) باز هم عاملی برای نگرانی است. اثر جهش

نیست. باین حال، WRE بطور مشخص در سال های ۱۳۸۶-۱۳۸۴ بالاترین ارزش را تجربه و بعد از سال ۱۳۸۶ شروع به افت کرده است. روند رو به افزایشی نیز در سال های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۲ می شود. دلیل اصلی این نتیجه، توزیع ناهمسان منبع های آب ایران است که این پراکندگی از شمال به جنوب افزایش و میزان منبع ها در دسترس کاهش می یابد. باین حال، اثر جهش آب کشاورزی در تمام کشور برجسته است. اعداد مربوط به منطقه های ۵ گانه نشانگر این مطلب است که هرگاه در هر ناحیه امکان صرفه جویی فراهم شده است بلافاصله با بهبود سیستم آبیاری و تغییر الگوی کشت این میزان آب صرفه جویی شده مجدداً مصرف شده است.

در این مطالعه وجود WRE همانند مطالعه ی، (2019) Kaveh and Ellis et al., (2009) Konar et al., (1985) Avazyar Hosseini, (2013) و (2019) Freire-González (2019) Geng et al., (2019) تایید گردید اگر چه دامنه ی انجام این مطالعه با مطالعات مذکور تفاوت فراوانی دارد. نوسانات در مقدار WRE در مناطق مختلف در این مطالعه نیز به روشنی قابل مشاهده است، این مقادیر مختلف عاملی مهم در تعیین الگوهای برنامه ریزی و سیاستی در هر منطقه است. بطور کلی همانند مطالعات اشاره شده، در این مطالعه نیز بهبود فناوری های آبیاری و افزایش حمایت های بخش دولتی از این فناوری ها منجر به کاهش مصرف آب نگردیده است و با افزایش سطح زیر کشت، مصرف آب در بخش کشاورزی برخلاف انتظار با افزایش همراه بوده است. بهبود فناوری های آبیاری در سالیان اخیر نه تنها به حل معضل کم آبی، مقابله با خشکسالی های پی در پی و بحران آب

گذاران قرار دارد، اگرچه روند اجرای این استراتژی ها به کندی در حال پیشرفت است. سیاست‌های قیمت پایین و ثابت آب کشاورزی در ایران با تلاش‌های حفاظت از آب در تضاد مشخص است و رسیدن به هدف‌هایی نظیر ذخیره بیشتر آب تحت چنین شرایطی غیرقابل تأمین است. نیاز است تا دولت توسعه بازار آب را در دستور کار خود قرار دهد تا قیمت آب کشاورزی در کنار سایر مصارف آب استحصالی بتواند هزینه واقعی و کمبود آن را منعکس کند. از سوی دیگر، همراه با استراتژی ذخیره، با تمرکز بر ارتقاء بهره‌وری آب، سیاست کنترل سهمیه‌ای آب کشاورزی برای استفاده پایدار آب در ایران ضروری به نظر می‌رسد.

#### پی‌نوشت‌ها

- <sup>1</sup> Water Rebound Effect
- <sup>2</sup> Expected Water Saving
- <sup>3</sup> Actual Water Saving
- <sup>4</sup> Growth rate of agricultural Water Productivity

Ahmadi, S. and Sepaskhah, A., 2017. Challenge of greenhouse structures in Iran, *Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and Natural Resources*. 2, 141-149.

Alcott, B., 2005. Jevons' paradox. *Ecological Economic*. 54, 9-21.

Anonymous. 2015. The status of irrigation and drainage networks in the country in the year of 2014-2015. IRAN.

Avazyar, R., 2013. Optimal allocation of irrigation water and lands under the dam of Mulla-sadra in Fars province. M.Sc Thesis. University of Zabol, Sistan and Baluchestan, Iran.

Azevedo, I., 2014. Consumer end-use energy efficiency and rebound effects. *Annual Review of Environment and Resources*. 39, 393-418.

Babran, S. and Honarbakhsh, N. 2008. Water situation cri-

sis in the world and Iran. *Rahbord Journal*. 48, 193-212.

sis in the world and Iran. *Rahbord Journal*. 48, 193-212.

Barkhordar, Z. A., 2019. Evaluating the economy-wide effects of energy efficient lighting in the household sector of Iran. *Energy Policy*, 127, 125-133.

Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Rodríguez-Díaz, J.A., Camacho, E. and Montesinos, P. 2015. Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. *Water Resource Management*. 29, 663-678.

Dagnino, M. and Ward, F., 2012. Economics of agricultural water conservation: empirical analysis and policy implications. *International Journal of Water Resource Development*. 28, 577-600.

Ellis, J.R., Lacewell, R.D. and Reneau, D.R., 1985. Estimated economic impact from adoption of water-related agricultural technology. *West Journal of Agricultural Eco-*

#### منابع

sis in the world and Iran. *Rahbord Journal*. 48, 193-212.

Barkhordar, Z. A., 2019. Evaluating the economy-wide effects of energy efficient lighting in the household sector of Iran. *Energy Policy*, 127, 125-133.

Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Rodríguez-Díaz, J.A., Camacho, E. and Montesinos, P. 2015. Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. *Water Resource Management*. 29, 663-678.

Dagnino, M. and Ward, F., 2012. Economics of agricultural water conservation: empirical analysis and policy implications. *International Journal of Water Resource Development*. 28, 577-600.

Ellis, J.R., Lacewell, R.D. and Reneau, D.R., 1985. Estimated economic impact from adoption of water-related agricultural technology. *West Journal of Agricultural Eco-*



- nomics. 10, 307–321.
- European, C. 2012. A blueprint to safeguard Europe's water resources. Europe Environmental Policy Document Catalogue. Europe.
- Freire-Gonz, A. and Lez, J., 2011. Methods to empirically estimate direct and indirect rebound effect of energy-saving technological changes in households. *Ecological Modeling*. 223, 32–40.
- Freire-González, J., 2019. Does Water Efficiency Reduce Water Consumption? The Economy-Wide Water Rebound Effect. *Water Resources Management*. 1-12.
- Geng, Q., Ren, Q., Nolan, R. H., Wu, P. and Yu, Q., 2019. Assessing China's agricultural water use efficiency in a green-blue water perspective: A study based on data envelopment analysis. *Ecological indicators*, 96, 329-335.
- Gomez, C.M. and Perez-Blanco, C.D., 2014. Simple myths and basic math's about greening irrigation. *Water Resource Management*. 28, 4035–4044.
- Islamic Consultative Research Center, 2017. Available online at: <http://rc.majlis.ir/fa/law>.
- Jafari, F. and Bradley, C., 2018. Groundwater irrigation management and the existing challenges from the farmers' perspective in central Iran. *Land*. 7(1), 15.
- Kaveh, F. and Hosseini, Q., 2009. Increasing water productivity in aquatic agriculture. *Proceedings of the 12th Conference of Iranian National Irrigation and Drainage Commission, Irrigation Management in Iran: Challenges and Perspectives*. 5th -6th March, Tehran, Iran.
- Keshavarzi, M. and Rousta, A., 2013. Water bottoms, underground dams a way to protect groundwater aquifers. 2th National Conference on Water Crisis, Tehran, Iran.
- Konar, M., Garcia, M., Sanderson, M.R., Yu, D.J. and Sivapalan, M., 2019. Expanding the Scope and Foundation of Sociohydrology as the Science of Coupled Human-Water Systems. *Water Resources Research*. 55(2), 874-887.
- Li, L. and Han, Y., 2011. The energy efficiency rebound effect in China from three industries perspective. 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE). China.
- Loch, A. and Adamson, D. 2015. Drought and the rebound effect: a Murray–Darling Basin example. *Natural Hazards*. 79, 1429–1449.
- Nabavi, E., 2018. Failed policies, falling aquifers: Unpacking groundwater overabstraction in Iran. *Water Alternatives*, 11(3), 699.
- Pfeiffer, L. and Lin, C.Y.C., 2014. Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. *Journal of Environmental Economics and Management*. 67, 189–208.
- Playán, E. and Mateos, L. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management*. 80, 100–116.
- Rodríguez-Díaz, J.A., Pérez-Urrestarazu, L., Camacho-Poyato, E. and Montesinos, P., 2011. The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand. *Span. Journal of Agricultural Research*. 9, 1000–1008.
- Shao, S., Huang, T. and Yang, L., 2014. Using latent variable approach to estimate China's economy-wide energy rebound effect over 1954–2010. *Energy Policy*. 72, 235–248.
- Sharmina, M., Ghanem, D. A., Browne, A. L., Hall, S.M., Mylan, J., Petrova, S. and Wood, R., 2019. Envisioning surprises: How social sciences could help models represent 'deep uncertainty' in future energy and water demand. *Energy Research and Social Science*. 50, 18-28.
- Small, K.A. and VanDender, K., 2007. Fuel efficiency and motor vehicle travel: the declining rebound effect. *Energy*

Journal. 28, 25–51.

Sorrell, S. and Dimitropoulos, J., 2008. The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*. 65, 636–649.

Wang, Z. and Lu, M., 2014. An empirical study of direct rebound effect for road freight transport in China. *Applied Energy*. 133, 274–281.





## Identification and measurement of the water rebound effect of irrigation technology in Iranian agriculture

Ahmad Soltani-Zoghi\* and Gholam Reza Soltani Mohammadi

Department of Agricultural Economics, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 2018.11.27 Accepted: 2019.04.30

**Soltani-Zoghi, A. and Soltani Mohammadi, R., 2020.** Identification and Measurement of water rebound effect of Irrigation Technology in Iranian Agriculture. *Environmental Sciences*. 17(4), 43-60.

**Introduction:** From the perspective of many experts and decision makers, advances in irrigation technology are the main cause of reducing water consumption. Despite these comments, many experts are skeptical of this conclusion. Despite the improvement of irrigation, drainage technologies and improvement of resistant species, the expected reduction in water consumption have never occurred. Can the water rebound effect (WRE) phenomenon be responsible for the lack of reduction in water intake? What is the situation in Iran? This study sought to answer these questions.

**Material and methods:** First, it was necessary to determine the impact of technology on the agricultural sector in the provinces using panel data. The data for the years 1370 to 1396 were used for this purpose. In the next step, using information about water consumption and agricultural sector products over the years under consideration along with the estimated model, the factors of agricultural growth rate, water consumption growth rate, and expected and ongoing savings were calculated. The results of these calculations indicated the rate of water rebound effect in the agriculture sector for 31 provinces and made it possible to discuss the effect of WRE on different regions with a simple comparison. To help policy-makers, the five divisions of the Ministry of Interior was used.

**Results and discussion:** The rate of participation in the development of technology was at a high level of significance (0.043). The agricultural WRE amount in Iran was 319.9%. This study confirmed the effect of WRE on agriculture in the country. The effect of water rebound on all regions of the country was also clearly visible and even some industrial provinces such as East Azerbaijan and Khuzestan were more severely affected by this phenomenon. The highest intensity of WRE was observed in the 3rd region of the country, including the provinces of East Azerbaijan, West Azerbaijan, Ardabil, Zanjan, Gilan and Kurdistan, and the lowest was in the 5th area including Razavi, Southern and Northern Khorasan, Kerman, Yazd, and Sistan and Baluchestan. The intensity of the WRE in the southern and eastern regions of the country was lower than

\*Corresponding Author: *Email Address:* ahmad\_soltanizoghi@yahoo.com

in the northern and western regions. The reason for the relatively lower intensity of this phenomenon in the southern and eastern regions was the limited access to water resources, lack of funding to change the irrigation technology, high-quality land, and specialized labor. Although less intensely, it could be clearly seen that more than 80 percent of the saved water across the country was due to the improvement of technology, which was significant in the field of irrigation technologies, by the same agricultural sector. This it indicates the intensity of the WRE phenomenon on the country's agriculture.

**Conclusion:** The trend of increasing water use in agriculture in the country after applying government support policies and the development of irrigation technologies along with the calculated WRE indicated that improving irrigation technologies, due to the increased productivity, initially reduces water consumption, and also, higher profitability can be achieved by reducing water consumption costs. Increased profit is a motive to expand the crop area, which will increase water consumption, in some cases, more than initial consumption. At this very moment, it is necessary that the authorities focus on controlling the water rebound phenomenon, in addition to the concept of reducing water consumption in the agricultural sector.

**Keywords:** Water rebound effect, Water productivity, Technology, Iran's agriculture.