فصلنامه علوم محیطی،دوره هفدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸

۴۳-۶۰

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

**احمد سلطانی ذوقی*و غلامرضا سلطانی محمدی**

گروه 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 فنّاوری آبیاری در کشاورزی ایران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۴): ۶۰-۴۳.

**سابقه و هدف:** از دید بسیاری از کارشناسان و تصمیم سازان پیشرفت فنّاوری آبیاری، عامل اصلی کاهش سطح مصرف آب است. با وجود این دیدگاه، بسیاری از کارشناسان به این نتیجه گیری با دیده‌ی تردید نگاه می‌کنند. با وجود بهبود فنّاوری‌های آبیاری و زهکشی و گونه‌های مقاوم، کاهش مورد انتظار در مصرف آب هرگز رخ نداده است. آیا پدیده‌ی جهش می‌تواند عامل این اختلاف تلقی شود؟ در ایران وضعیت اثر جهش به چه شکلی است؟ این مطالعه به دنبال یافتن پاسخی مناسب برای این سوال‌ها می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** ابتدا نیاز است تا با استفاده از داده‌های پانل، تأثیر فنّاوری در بخش کشاورزی استان‌های کشور مشخص گردد، برای این هدف داده‌های سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ مورد استفاده قرار گرفت. در گام بعد با استفاده از اطلاعات مربوط به مصرف آب و تولید بخش کشاورزی در سال‌های مورد بررسی در کنار مدل تخمین زده شده، فاکتورهای نرخ رشد کشاورزی، نرخ رشد آب مصرفی، میزان صرفه‌جویی مورد انتظار و به وقوع پیوسته محاسبه گردید. نتایج حاصل از این محاسبه‌ها، میزان پدیده‌ی جهش را در کشاورزی کشور برای ۳۱ استان مشخص نموده و این امکان را فراهم می‌کند که با یک مقایسه ساده نسبت به بررسی شدت اثر جهش در منطقه‌های مختلف اظهار نظر گردد. در این بخش برای کمک به سیاست‌گذاران از تقسیم بندی ۵ گانه وزارت کشور بهره برده شده است.

**نتایج و بحث:** نرخ مشارکت پیشرفت فنّاوری در سطح بالای معنی داری برابر ۰/۰۴۳ حاصل شد. مقدار WRE کشاورزی در ایران ۱۰۹/۳۱۵ ٪ به دست‌آمده است. این مطالعه وجود اثر جهش را در کشاورزی کشور تائید می‌نماید. اثر جهش در همه منطقه‌های کشور نیز به روشنی مشاهده می‌گردد و حتی برخی استان‌های صنعتی کشور نظیر آذربایجان شرقی و خوزستان نیز با این پدیده با شدت بسیار بیشتری مواجه هستند. بالاترین شدت پدیده‌ی جهش در منطقه ۳ کشور شامل استان‌های 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 پدیده‌ی جهش در منطقه‌های جنوبی و شرقی کشور WRE کمتر از منطقه‌های شمالی و غربی مشاهده شده است، دلیل شدت به نسبت کمتر این پدیده در نواحی جنوبی و شرقی محدودیت در دسترسی به منبع‌های آب، سرمایه لازم برای تغییر تکنولوژی آبیاری، زمین با کیفیت و نیروی کار متخصص است. با وجود شدت کمتر ولی به روشنی می‌توان مشاهده کرد در سراسر کشور بیش از ۸۰ درصد از آب صرفه جویی شده‌ی ناشی از بهبود فنّاوری که به صورت قابل ملاحظه ای در حیطه فنّاوری‌های آبیاری است، توسط همان بخش کشاورزی مصرف می‌گردد که نشان از شدت پدیده جهش در کشاورزی کشور است.

**نتیجه گیری:** روند افزایش مصرف آب در کشاورزی کشور بعد از اعمال سیاست‌های حمایتی دولت و گسترش فناوری‌های آبیاری در کنار مقدار محاسبه شده‌ی WRE نشان می‌دهد، بهبود فناوری‌های آبیاری بدلیل افزایش بهره وری در ابتدا موجب کاهش مصرف آب می‌گردد از سوی دیگر بدلیل کاهش

* Corresponding Author. *Email Address*: ahmad_soltanizoghi@yahoo.com

هزینه‌های مصرف آب امکان دستیابی به سود بالاتر فراهم می‌شود. افزایش سود خود انگیزه ای برای گسترش سطح زیرکشت 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 مسئولان افزون بر مفهوم کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی به کنترل پدیده ی جهش نیز معطوف گردد.

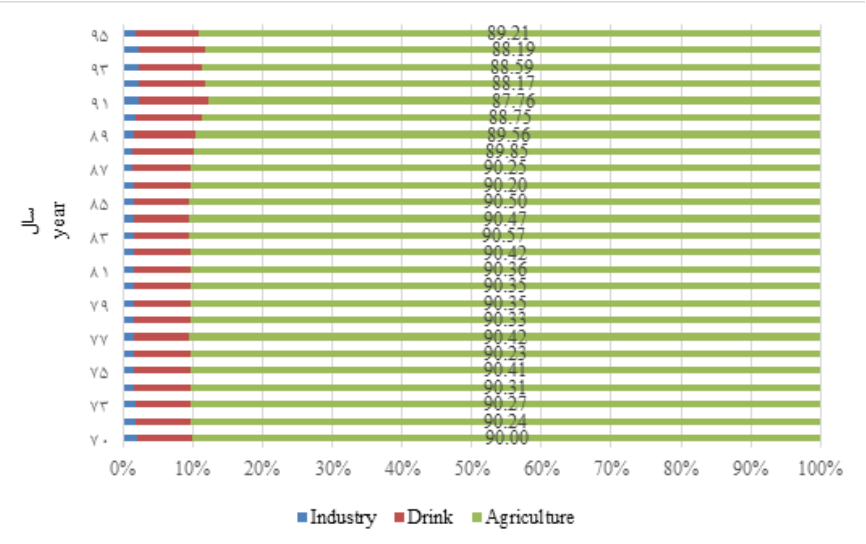
**واژه‌های کلیدی:** اثر جهش، بهره وری آب، فنّاوری، کشاورزی ایران.

## مقدمه

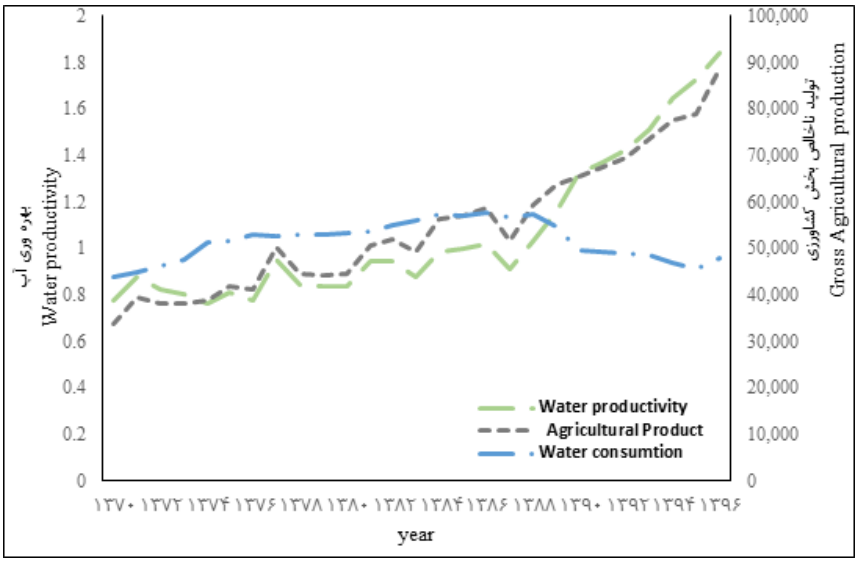
با توجه به عرضه محدود، توزیع نامتعادل و مصرف بیش‌ازحد آب توسط جمعیت رو به رشد و افزایش توسعه اقتصادی، ایران نیز مانند بسیاری از کشورهای جهان با کمبود شدید آب مواجه است. بطور متوسط سرانه آب تجدیدپذیر سالانه کشور، از حدود ۱۳۰۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۰۰، به حدود ۱۴۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال ۱۳۹۳، تقلیل یافته و با ادامه این روند، وضعیت در سالیان اخیر به‌مراتب بحرانی‌تر گردیده است. پراکنش شدید در دسترسی به منبع‌ها، عاملی است که همین میزان در دسترس آب را نیز نامتوازن در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد (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. روش‌های کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی همواره مورد توجه محققان و سیاست‌گذاران می‌باشد. بهبود بهره‌وری استفاده از آب یک فرصت بسیار مناسب برای صرفه‌جویی در مصرف آب بویژه در بخش کشاورزی محسوب می‌گردد (Babran and Honarbakhsh, 2008). بخش دولتی در ایران در سالیان اخیر به‌شدت از توسعه فنّاوری آبیاری حمایت و به بخش کشاورزی یارانه‌های بالایی را برای استفاده از فنّاوری‌های آبیاری با هدف کاهش مصرف آب بوسیله‌ی بهبود بهره‌وری، پرداخت نموده است (Keshavarzi and Rousta, 2013). بهره‌وری 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). با این‌حال، 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 سیاست‌های حمایتی بخش دولتی موجب کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی می‌گردد (جایگزینی سیستم‌های آبیاری بارانی به جای سیستم سنتی غرقابی و تبدیل هر دو سیستم به سیستم قطره‌ای)، امری که در دوره‌ی 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 1396**

*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 / m3), WP = Rials / W. ** Data sources: Iranian Statistics.

تحت فشار و تحت سیاست حمایتی رخ داده و مورد تاکید برنامه ریزان کشوری است (فصل ۱۳ قانون برنامه سوم توسعه، ماده ۱۰ قانون برنامه چهارم توسعه، ماده ۱۴۰قانون 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 بهره وری 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 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 بخش‌های آب و انرژی می‌باشد (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 قرارگرفته 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 می‌گردد (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 اثرهای جهش انرژی به‌سرعت پیشرفت کرده و نتایج مشابهی نیز در بسیاری از مطالعات نظیر Small (2007) and Van dender و Alcott (2005) حاصل شده است. اثر جهش انرژی با استفاده از روش‌های مختلف اقتصادسنجی و

داده‌های نمونه‌ای برآورد می‌گردد. یک روش معمول، برآورد اثر جهش انرژی با بهره‌گیری از برآورد کشش قیمت (Wang and Lu, 2014) یا کارایی (Azevedo, 2014) است.

برای کشورها یا بخش‌هایی که قیمت، واقعیت عرضه و تقاضا را منعکس نمی‌کند 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 فنّاوری تخمین زده می‌شود (Li and Han, 2011)، بسیاری از مطالعات اثر جهش را تائید می‌کنند. بر اساس مطالعات صورت گرفته آب کشاورزی نیز می‌تواند 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 اثرهای آبیاری کارآمد را با استفاده از شبیه‌سازی مدل‌های نظری،تحلیلی، مقایسه‌ای و تجربی مقایسه کرده و نشان دادند که مصرف آب پس از بهبود سیستم آبیاری، نه‌تنها با کاهش مواجه نشده که در مطالعاتی نیز مانند Konar *et al*. (2019); Ellis *et al*. (1985); Kaveh and Hosseini (2009); Avazyar (2013) 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 سال‌های گذشته متمرکز نموده و این اثر را در طول زمان تحلیل کرده‌اند. وجود اثر جهش ناشی از تغییر فنّاوری آبیاری به سمت فنّاوری‌های کارآمدتر و در کنار آن با حمایت بخش دولتی می‌تواند سبب افزایش میزان استخراج آب‌های زیرزمینی گردد (Barkhordar, 2019). اثر جهش در جهت تشریح و تجزیه‌وتحلیل هدفمند، عاملی است که تحت آن بهبود فنّاوری بهره‌برداری از نهاده‌ها سبب افزایش یا کاهش مصرف نهاده مورد نظر مانند نهاده‌ی آب می‌گردد. بطور معمول انتظار بر آن است که با بهبود فنّاوری مصرف آب در هر واحد و در حجم آب استخراجی کاهش یابد (Playán and Mateos, 2006).

مشاهده اثر جهش (Loch and Adamson, 2015; Sharmi-na *et al*., 2019) و مشاهده نکردن آن (Berbel *et al*., 2015) در سال‌های متوالی در مطالعات مختلف صورت پذیرفته است. مشاهده و شناخت اثر مدیریت آب سبب کمک به برنامه‌ریزی و مدیریت دیگر منابع نیز خواهد شد، مهم‌ترین نکته تلاش برای اجتناب از برخورد با اثر جهش است. کلید اساسی برای اجتناب از اثر جهش (۱) محدودیت‌های شدید در اندازه‌های منطقه آبیاری شده، (۲) کاهش حقآبه سابق و (۳) تخصیص مجدد صرفه‌جویی آب برای دستیابی به هدف‌های محیط زیستی است. کشش کارایی مصرف آب، شامل سه اثر شناخته‌شده‌ی فنی، هزینه و بهره وری، درصورتی‌که انعطاف‌پذیری مثبت نشان دهند، بیانگر رخ دادن پارادوکس جونس هستند (Gomez and Perez-Blanco, 2014).

در مطالعه حاضر آب بعنوان نهاده‌ای کمیاب، پراهمیت و بدون جایگزین در تولید محصول‌های کشاورزی مورد توجه قرارگرفته است. با تغییر در ساختار مدیریتی می‌توان بسیاری از مشکل‌ها را کاهش داد هرچند در بسیاری از مطالعات هرگونه تغییر در ساختار سامانه‌ها، سیاست‌های آبیاری و محیط زیستی می‌تواند آثاری بسیار متفاوت و در عین حال متناقض داشته باشد (Kaveh and Hosseini, 2009; Rodríguez-Díaz *et al*., 2011; Avazyar, 2013; Freire-González, 2019). بزرگ‌ترین مشکل در محاسبه اثر جهش آب، تعریف و اندازه‌گیری متغیرهای کلیدی است، این متغیرها بر اساس آنکه هدف و مقیاس تحقیق، حفاظت یا بهره‌وری آب باشد، بسیار متغیر است (Ahmadi and Sepaskhah, 2017). انتظار می‌رود نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه بتواند برای درک بهتر نقش بهبود فنّاوری در حفاظت از آب کشاورزی در ایران مفید باشد.

## مواد و روش‌ها

### تجزیه و تحلیل تئوری اثر جهش آب کشاورزی

برخی از محققان (Gomez and Perez-Blanco, 2014) مدل‌هایی را برای تجزیه‌وتحلیل اثر جهش و چرایی افزایش مصرف آب در اثر بهبود بهره‌وری آب، ارائه و نشان می‌دهند که اثر جهش در استفاده از آب بطور عمده از دو مکانیسم بهره می‌گیرد، مکانیسم‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی. در مکانیسم‌های هیدرولوژیکی براثر 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 مکانیسم‌های اقتصادی است. در حقیقت اثر جهش در آب همانند بخش انرژی، بر تنظیم رفتار مصرفی کشاورزان در پاسخ به کارایی بهبودیافته‌ی ناشی از فنّاوری‌های 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 مکانیسم‌های اقتصادی، بهره‌وری آب است. اساس این مکانیسم سود اقتصادی با توجه به مقدار مصرف آب بیشتر به‌جای آب ذخیره‌شده است.

این مطالعه بر اثر جهش آب(WRE[1]) ناشی از مکانیسم اقتصادی تأکید دارد. فنّاوری آبیاری کارآمد بطورکلی بهره وری (خروجی تولیدشده در هر حجم آب مصرفی) را افزایش و موجب سودآوری بیشترخواهد 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 فنّاوری‌های آبیاری، میزان مصرف آب را نسبت به صرفه‌جویی نهفته آب از طریق بهبود بهره وری آب افزایش می‌دهد.

ازآنجایی‌که تئوری اثر جهش در آب بر مبنای الگوی اثر جهش انرژی پیشنهاد شده است، دو روش مختلف، (۱) مقایسه‌ی 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 صرفه جویی مورد انتظار آب و صرفه‌جویی واقعی از بهبود بهره‌وری آب، معادله (۱) محاسبه نمود:

$$WRE=\frac{EWS-AWS}{EWS}*100\%=\frac{RWU}{EWS}*100\% \quad (۱)$$

EWS[2] نشان‌دهنده‌ی مقدار مورد انتظار ذخیره آب (محاسبه یا پیش‌بینی‌شده) پس از بهبود فنّاوری‌های آبیاری است و AWS[3] نشان‌دهنده‌ی 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 منبع‌های آب است. افزون بر این، اگر WRE >٪۱۰۰ باشد، اقدام‌های 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:

$$WRE=1+\eta P_w(W)=1+\frac{\partial lnW}{\partial lnWP} \quad (۲)$$

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

$$WRE=\eta P_w(W)=\frac{\partial lnW}{\partial lnWP} \quad (۳)$$

$P_w$ 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 محاسبه‌ی 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 منطقه‌ها تعیین می‌گردد. نبود بازاری کارا در نهاده آب سال‌هاست موردانتقاد 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 شده‌ی 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 به‌صورت معادله (۴) است، W کل مصرف آب کشاورزی، Y تولید کشاورزی کل وWP بهره‌وری آب کشاورزی است:

$$W=\frac{Y}{WP} \qquad (۴)$$

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

$$W= W_t - W_{t-1} = \frac{Y_t}{WP_t}-\frac{Y_{t-1}}{WP_{t-1}}=\frac{Y_t \Delta WP_t}{WP_t WP_{t-1}}+\frac{\Delta Y_t}{WP_{t-1}} \qquad (۵)$$

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 صرفه‌جویی 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:

$$WRE=\left(\sum \frac{\rho \Delta Y_t}{WP_{t-1}} / \sum \frac{Y_t \Delta WP_t}{WP_t WP_{t-1}}\right)*۱۰۰ \qquad (۶)$$

بنابر معادله (۶)، اثر جهش آب، بصورت افزایش نسبت مصرف آب ناشی از رشد تولید کشاورزی، بمیزان تخمین زده‌شده (مورد انتظار) صرفه جویی بدلیل بهبود بهره‌وری آب تعریف می‌گردد. بهبود بهره‌وری آب و رشد تولید کشاورزی بوسیله روش‌های بهبودیافته آبیاری ایجاد می‌شود. بنابر معادله (۶) یک عامل مهم برآورد اثر جهش، میزان سهم فنّاوری (ρ) 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 معادله‌ی (۷) بهره برده می‌شود:

$$Y_{it} = A_{it} W_{it}^{\alpha} X_{1it}^{\beta} X_{2it}^{\gamma} \dots X_{nit}^{\eta} = A_i e^{rt} W_{it}^{\alpha} X_{1it}^{\beta} X_{2it}^{\gamma} \dots X_{nit}^{\eta} \qquad (۷)$$

که در آن $A_{it}=A_i e^{rt}$ پارامتر فنی فنّاوری هیکس خنثی است که r نشان‌دهنده نرخ پیشرفت فنّاوری، $Y_{it}$ ، $W_{it}^{\alpha}$ ، $X_{1it}^{\beta}$ ، $X_{2it}^{\gamma}$ و $X_{nit}^{\eta}$ ، به ترتیب محصول‌ها، نهاده آب و سایر نهاده‌ها مانند کار و زمین، α، β، γ و ... η بیانگر کشش محصول‌ها و $Y_{it}$ ، $W_{it}$ ، $X_{1it}$ ، $X_{2it}$ ، ... و $X_{nit}$ مقدار محصول و نهاده‌ها است. لگاریتم طبیعی معادله (۸) عبارت است از:

$$lnY_{it} = lnA_{it} + rt + \propto \ln W_{it} + \beta \ln X_{1it} + \gamma \ln X_{2it} + \dots + nX_{nit} \qquad (۸)$$

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

$$\rho=\frac{r}{g_Y} \qquad (۹)$$

$g_Y$ نرخ رشد تولید کشاورزی است. درنهایت، اثر جهش آب کشاورزی را در سطح کلان اقتصادی با استفاده از معادله (۶)، محاسبه می‌گردد. WRE کشاورزی بطورکلی به‌صورت 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 قابل‌دسترس است.

$$WRE_t = \frac{\rho \Delta Y_t}{Y_t} \Big/ \frac{\Delta WP_t}{WP_t} = \frac{\rho GY_t}{GWP_T} = \rho GY_t / (GY_t - GW_t) \times 100\% \qquad (۱۰)$$

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 ρGY کمتر از GWP و GY(ρ-۱) کمتر از GW است بازده جزئی وجود دارد. رشد تولید بخش کشاورزی به‌واسطه پیشرفت فنّاوری و همچنین عامل‌های دیگر مانند رشد نیروی کار، ماشین‌آلات و واردات کود حاصل می‌شود.

(1-ρ)GY نرخ رشد محصول کشاورزی حاصل از رشد عامل‌های دیگر در کنار پیشرفت فنّاوری است. درصورتی‌که نرخ رشد محصول کشاورزی با نرخ رشد مصرف آب کشاورزی برابر قرار داده شود و نرخ رشد محصول کشاورزی حاصل از پیشرفت فنّاوری (ρGY) برابر با نرخ رشد بهره‌وری آب (GWP[۴]) گردد، یک اثر جهش آب ۱۰۰٪ (جهش کامل) به‌دست 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 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،

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

| GY vs GW (%) | GY vs GWP(%) | AWS vs EWS | (%) WRE | |
|---|---|---|---|---|
| (1-ρ)GY>GW>0 | ρGY > GWP >0 | AWS < 0 | WRE > 100 | اثر انفجاری<br>Backfire |
| 0<(1-ρ)GY=GW | ρGY =GWP > 0 | AWS = 0 | WRE = 100 | اثر جهش کامل<br>Full rebound |
| 0<(1-ρ)GY<GW | ρGY< GWP>0 | AWS < EWS>0 | WRE < 100 > 0 | جهش جزئی<br>Partial rebound |
| ρGY = 0 | ρGY = 0 | AWS = EWS>0 | WRE = 0 | اثر صفر<br>Zero rebound |
| ρGY < 0 | ρGY < 0 | AWS > EWS >0 | WRE < 0 | حفاظت فوق‌العاده<br>Super conservation |
| GY ≤ GW | GWP ≤ 0 | EWS ≤0 | – | غیرممکن<br>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 (%).

ارزش WRE منفی است، این را می‌توان بعنوان «حفاظت فوق‌العاده» نامید، بعبارتی میزان واقعی صرفه‌جویی آب 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 گیفن 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 بهبودیافته است کاهش یابد و WRE کمتر از صفر گردد. تحلیل مقدار منفی بی‌معنی است زیرا زمانی که EWS ≤۰ یا GWP≤۰ یا GY≤GW، فرضیه ضمنی محاسبه اثر جهش آب، که بهره‌وری آب بهبودیافته است، برآورده نشده و نتیجه محاسبه بی‌معنی است.

داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی اثر جهش آب در کشاورزی ایران بصورت داده‌های پانل برای استان‌ها می‌باشد. داده‌های مورد استفاده شامل ۸ نهاده کشاورزی، آب (W)، کار (LB)، زمین (LD)، ماشین‌آلات (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 قیمت‌های فعلی و تعرفه‌های تولید ناخالص محصول‌های کشاورزی (نسبت تولید کشاورزی ناخالص در قیمت‌های فعلی به متغیر مشابه در قیمت‌های ثابت سال پایه) محاسبه شده‌اند. اطلاعات داده - ستاده کشاورزی از سالنامه آماری کشور در سال‌های (۱۳۷۰-۱۳۹۶) و سالنامه‌ها و گزارش‌های سازمان مدیریت منابع آب کشور به‌دست‌آمده است. داده‌های جمعیتی مربوط به کارگران کشاورزی از سالنامه آماری استان‌ها به صورت تفکیکی استخراج شده است.

## نتایج و بحث

اولین گام برای محاسبه اثر جهش آب کشاورزی، برآورد میزان پیشرفت فنّاوری (r) و تعیین میزان اثر پیشرفت فنّاورانه (ρ) است. همان‌طور که در بخش ۳ توضیح داده شد، مقدار r با استفاده از تابع تولید محصول‌های کشاورزی معادله (۸) تعیین می‌گردد. نتایج برآورد معادله (۸) در جدول ۲ نشان داده شده است.

ستون اول جدول ۲ تخمین کمترین مربعات مدل ترکیبی

**جدول ۲- برآورد ضریب عملکرد تولید کشاورزی**
**Table 2. Estimation of agricultural production function coefficients**

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

متغیر وابسته lnY: لگاریتم طبیعی ارزش محصول‌های کشاورزی، t: سال، lnW: لگاریتم طبیعی آب کشاورزی مصرف‌شده، lnLB: لگاریتم طبیعی کارگران کشاورزی، lnLD: لگاریتم طبیعی از سطح‌های کشت محصول‌ها، lnM: لگاریتم طبیعی از ماشین‌آلات کشاورزی، lnF: لگاریتم طبیعی مصرف کود شیمیایی. lnS: لگاریتم طبیعی برای مصرف بذر، lnF: لگاریتم طبیعی سرمایه نقدی، lnP: لگاریتم طبیعی سم مورد استفاده.
*** معنی‌داری در سطح ۱٪، * معنی‌داری 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: Natural logarithm of fertilizer usem, lnF: Natural logarithm for seed consumption, lnK: Natural logarithm of cash capital, lnP: logarithm of natural toxins used.
*** Significantly at 1% level, * Significantly at 10% the level of

معادله (۸) را نشان می‌دهد. بنابر نتایج به‌دست‌آمده بیشتر ضریب‌ها معنی‌دار شده‌اند. سم‌های مورد مصرف شامل مجموع علف کش‌ها، قارچ کش‌ها، حشره کش‌ها و هرگونه سم مورد استفاده در بخش کشاورزی است. منظور از سرمایه نیز در این بخش شامل مجموع یارانه و وام‌های پرداختی به کشاورزان از طریق صندوق حمایتی کشاورزی و بانک کشاورزی است. در ستون نخست، ضرایب مدل ترکیبی واردشده که از این متغیرها، ۲ نهاده‌ی ماشین‌آلات و سرمایه در هیچ‌یک از سطوح ۱ و ۱۰ درصد معنی‌دار نیستند. هرچند برآورد مدل ترکیبی از ویژگی‌های اساسی برخوردار است ولی این مدل‌ها نمی‌توانند ویژگی‌های پانل بودن داده را تشخیص دهند.

زمانی که شناختی از متغیرهای مشاهده نشده در استان‌ها وجود داشته باشد، مدل پانل با اثر ثابت گزینه مناسب‌تری برای برآورد و تخمین مدل است. در مرحله بعد مدل اثر ثابت (Fixed Effect) تخمین زده‌شده و ضرایب آن در ستون دوم از جدول (۲) و در پایان نیز مدل اثرهای تصادفی (Random Effect) تخمین زده شد. ستون سوم جدول۲ یک تخمین برای داده‌های پانل با اثرهای تصادفی را گزارش می‌دهد که ضرایب برآورد شده آن بطور معنی‌داری از مدل با اثرات ثابت همتای مدل اثرهای تصادفی متفاوت است.

برای آزمون پانل بودن داده‌ها از آزمون F لیمر استفاده می‌شود تا بتوان میان روش اثر ثابت و روش حداقل مربعات معمولی قضاوت نمود. اثر ثابت در محصول‌های کشاورزی بخوبی توجیه شده است، فرض صفر ناشی از برابری اثرهای ناخواسته در همه استان‌ها رد می‌شود. بعبارت دیگر اثرهای ناخواسته یا مشاهده نشده در هر استان، بر پایه‌ی این نکته که این استان در چه شرایطی از مختصات اقتصادی قرار دارد، بطور مؤثری بر نتایج به‌دست آمده مؤثر است.

$$(f(30,576)=31.036,\ pr=0.000) \qquad (۱۱)$$

از میان دو مدل اثر ثابت و اثر تصادفی کدام گزینه برای تخمین تابع موردنظر مناسب است؟ برای پاسخ به این سؤال در گام اول مدل‌های اثر ثابت و تصادفی را برای داده‌های 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 تائید می‌نماید، بنابراین مدل اثر ثابت تخمین زده می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که نرخ پیشرفت فنّاوری (r)، برآورد ضریب مربوط به زمان t، ۰/۰۴۳ است. ضرایب برآورد شده برای *lnW*،*lnLB* نشان می‌دهد که آب و نیروی کار اثر منفی هرچند ناچیزی بر تولید کشاورزی دارند. ضرایب رگرسیون منفی *lnW* و *lnLB* از نظریه‌ی اقتصادی حمایت نمی‌کنند. بااین‌حال، علامت منفی در آن‌ها منعکس‌کننده این واقعیت است که در ایران، منابع آب کشاورزی بدلیل بهره‌برداری بی‌رویه از منبع‌های آبی و خشک‌سالی‌های پی‌درپی بدلیل توسعه اقتصادی، ارتقاء بخش‌های غیر کشاورزی و از همه مهم‌تر از دست رفتن جایگاه بخش کشاورزی و روستایی که منجر به مهاجرت از روستاها به شهرها شده است، در طول این سال‌ها به‌شدت کاهش‌یافته است. آزمون ناهمسانی واریانس گروهی در مدل‌های رگرسیون اثر ثابت با استفاده از آزمون اصلاح‌شده والد نشان می‌دهد که فرض ناهمسانی واریانس در میان استان‌های مختلف رد و واریانس برای همه استان‌ها برابر است.

$$(\chi^2\ (31) =(238.44)\ pr = 0.000\ ) \qquad (۱۲)$$

خطای استاندارد مدل اثر ثابت در کنار تخمین‌های مدل اثر ثابت در ستون دوم از جدول ۲ نشان داده شده است. ازآنجا که T یا همان دوره مورد بررسی بسیار بزرگ نیست (۲۶سال)، فرض می‌شود که همبستگی سریالی دارای اثری معنی دار در مطالعه است، به این منظور از آزمون ولدریج برای بررسی استقلال مقطعی داده‌ها استفاده می‌گردد، نتایج نشان می‌دهد که داده‌ها بصورت مقطعی بدون خودهمبستگی هستند.

$$(f(1, 30)=(1,251)pr=0.272) \qquad (۱۳)$$

آزمون Pesaran نیز فرض استقلال مقطعی داده‌ها را تائید می‌کند.

$$(\text{test pesaran}=(3.235),\ pr = 0.0012) \qquad (۱۴)$$

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 ازلحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار است، که نشان می‌دهد میزان برآورد شده ۰/۰۴۳، برای نرخ پیشرفت فنّاوری دارای سطح معنی داری بالایی است. پس از تعیین مقدار r، نرخ مشارکت پیشرفت فنّاوری، ρ، می‌تواند با استفاده از معادله (۹) محاسبه و در ادامه برآورد میزان پیشرفت فنّاوری از معادله (۵) صورت گیرد.

## برآورد نتایج اثر جهش آب کشاورزی

با استفاده از نرخ مشارکت در پیشرفت فنّاوری (ρ)، می‌توان مصرف مجدد و اثر جهش آب کشاورزی را بر اساس معادله (۶) محاسبه نمود. نتایج به‌دست‌آمده در جدول و شکل (۳) نشان داده‌شده است. نرخ رشد بخش کشاورزی ایران در سال‌های ۱۳۷۰-۱۳۹۶ برابر ۸۵/۳٪ و میزان اثر جهش آب

معادل ۳۱۵/۱۰۹٪ به‌دست‌آمده است، بعبارتی ۳۱۵/۱۰۹٪ از پس‌انداز آب مورد پیش‌بینی ناشی از بهبود بهره‌وری با افزایش استفاده از آب برای رشد تولید کشاورزی جبران می‌شود. این امر نشان می‌دهد در ۲۶ سال اخیر نه‌تنها بهبود فنّاوری کمکی به کاهش مصرف آب نکرده است که میزان بهره‌برداری از آب‌ها را بالابرده است.

برای آنکه تحلیلی جامع‌تر بیان شود، نتایج استان‌ها بر اساس دسته بندی منطقه‌های ۵ گانه‌ی 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 و یزد و سیستان و بلوچستان است.

رتبه نخست اثر جهش آب کشاورزی در استان همدان به میزان ۸۰۵/۱۶۷٪، رتبه دوم استان مازندران ۸۴۷/۱۴۹٪ و رتبه سوم سیستان و بلوچستان ۷۸۸/۱۴۹% است. در بسیاری از استان‌های کشور میزان اثر جهش بالاتر از ۱۰۰ درصد است که بیانگر آن است که میزان صرفه‌جویی پیش‌بینی‌شده برای منبع‌های آب ناشی از پیشرفت فنّاوری محقق نشده است. این نتایج نشان می‌دهد که بهبود بهره وری سبب افزایش مصرف آب گردیده است. در بیشتر استان‌های کشور پیشرفت فنّاوری منجر به رشد مصرف آب گردیده است. در میان این استان‌ها اثر جهش در همدان، مازندران و سیستان و بلوچستان، کرمانشاه و فارس قابل‌توجه است. هر چند که میزان بالای برآورد شده در استان سیستان و بلوچستان را می‌توان به منطقه چابهار نسبت داد.

بنابراین، نرخ رشد بهره‌وری آب کشاورزی (GWP = GY - GW) در استان‌های کشور مثبت و درنتیجه WRE محاسبه‌شده مثبت باقی‌مانده است. این نتایج از این فرضیه که کشاورزی دارای اثر جهش است حمایت می‌کند. صرفه‌جویی مورد انتظار در مصرف آب (EWS)، نرخ رشد کشاورزی(GWP) و WRE محاسبه‌شده نیز مثبت است، این نتایج نشان از معنی دار بودن اثر جهش در استان‌ها دارد. چرا که WRE کشاورزی (۱۳۷۰- ۱۳۹۶) در تمام ۳۱ استان کشور در محدوده مثبت قرار می‌گیرد. اثر جهش آب کشاورزی در استان یزد ۷۰۸/۶۹ ٪ پایین‌ترین میزان ارزش‌های مثبت WRE است. درمجموع نتایج نشان از عدم‌حمایت داده‌ها از فرضیه کاهش مصرف آب ناشی از فنّاوری در استان‌هاست. فنّاوری، صرفه جویی در مصرف آب را برآورده نکرده و صرفه جویی مورد انتظار آب با استفاده از مصرف آب اضافه‌شده بعلت اثر جهش مختلف جبران می‌شود. تفاوت در اثر جهش آب منطقه‌های مختلف در شکل ۳ دیده می‌شود که نشان می‌دهد که در میان استان‌های کشور، WRE کشاورزی منطقه ۳ کشور ۴۱۷/۱۲۵٪ بالاترین مقدار است و کشاورزی منطقه ۵، WRE برابر با ۲۶۸/۹۵٪ نشان‌دهنده کمترین مقدار است.

در منطقه‌های ۲ و ۴ نیز مانند منطقه ۳، WREهای کشاورزی بالاتر از ۱۰۰٪ و در منطقه ۱ اثر جهشی کمتر از ۱۰۰ مشاهده می‌شود. این نتایج با آنچه به‌صورت تجربی انتظار مواجه با آن وجود دارد، دارای ارتباطی معنی دار است چراکه استان‌های کم آب که دارای کمبودهای شدیدی در آب و زمین هستند، در رشد مصرف آب کشاورزی با محدودیت مواجه بوده و در نتیجهWRE کشاورزی کمتر است. از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶ GW همیشه کمتر از GY بوده و WP نرخ رشد مثبت را حفظ کرده است. تغییرهای اثر جهش آب کشور در طول زمان در نمودار ۴ نشان داده‌شده است. سال ۱۳۸۶ که شدیدترین اثر جهش در آن مشاهده شده است یک سال بعد از امکان صدور مجوز چاه‌های 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 قابل‌توجهی کاهش یافت. درواقع، WRE سالانه به تغییر در مصرف آب کشاورزی وابسته است که تا حدودی وابسته به شاخص‌های طبیعی مانند بارش‌هاست و این عاملی شده تا در سالیان اخیر اثر جهش با کاهش مواجه گردد.

برای مشاهده روند کلی تغییر ناشی از اثر جهش آب

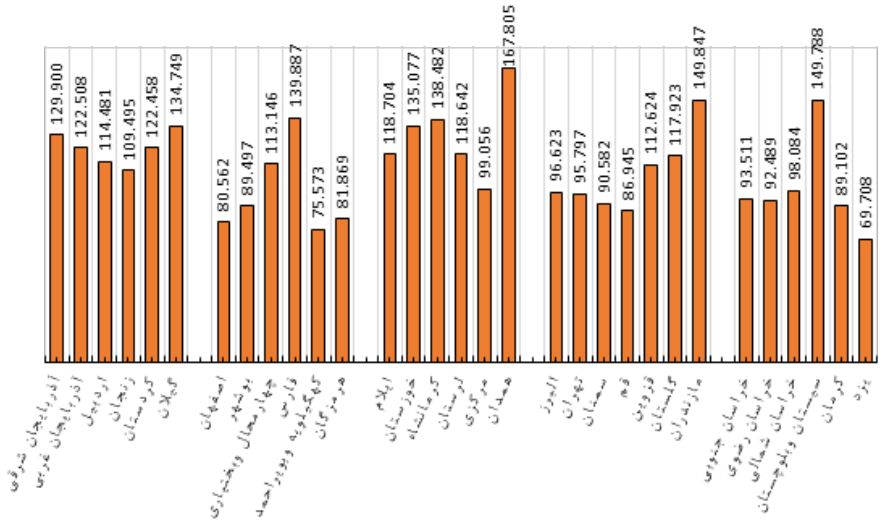
**جدول ۳-تأثیر بازتولید آب کشاورزی استان‌های ایران (۱۳۹۶-۱۳۷۰)**
**Table 3. Agricultural water rebound effect of Iran's provinces (1991–2017)**

| اثر جهش آب (WRE) Water rebound effect | صرفه‌جویی 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 |

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

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 (٪)

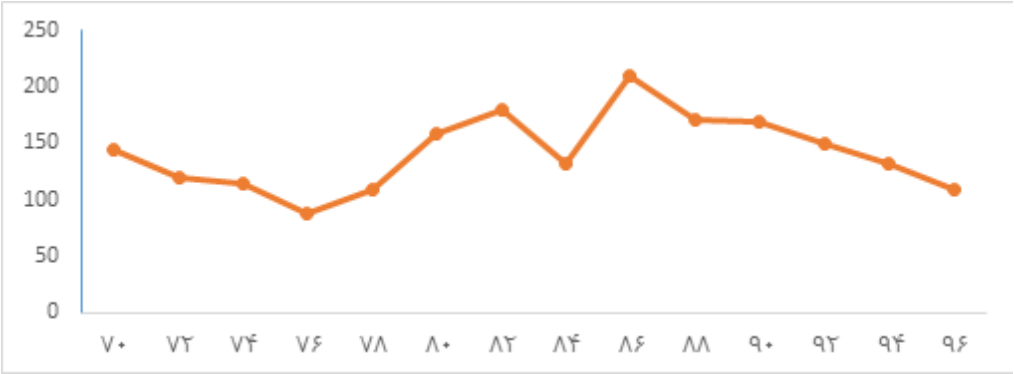



**شکل ۳- اثر جهش در منطقه‌های ۵ گانه ایران (۱۳۹۶-۱۳۷۰)**

**Fig. 3- Water rebound effect in Iran's 5 divisions (1971-2017)**

کشاورزی در طول زمان، تغییرات کل WRE در شکل ۴ نشان داده‌شده 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 نیست. بااین‌حال، WRE بطور مشخص در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۴ بالاترین ارزش را تجربه و بعد از سال ۱۳۸۶ شروع به افت کرده است. روند رو به افزایشی نیز در سال‌های ۱۳۷۶ تا۱۳۸۲می‌شود. دلیل اصلی این نتیجه، توزیع ناهمسان منبع‌های آب ایران است که این پراکندگی از شمال به جنوب افزایش و میزان منبع‌ها در دسترس کاهش می‌یابد. بااین‌حال، اثر جهش آب کشاورزی در تمام کشور برجسته است. اعداد مربوط به منطقه‌های ۵ گانه نشانگر این مطلب است که هرگاه در هر ناحیه امکان صرفه‌جویی فراهم‌شده است بلافاصله با بهبود سیستم آبیاری و تغییر الگوی کشت این میزان آب صرفه‌جویی شده مجدداً مصرف‌شده است.

در این مطالعه وجود WRE همانند مطالعه‌ی، Konar *et al*. (2019); Ellis *et al*. (1985); Kaveh and Hosseini (2009);Avazyar (2013); Geng *et al*., (2019)و Freire-González (2019) تایید گردید اگر چه دامنه‌ی 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




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

در تعیین الگوهای برنامه ریزی و سیاستی در هر منطقه است. بطور کلی همانند مطالعات اشاره شده، در این مطالعه نیز بهبود فناوری‌های آبیاری و افزایش حمایت‌های بخش دولتی از این فناوری‌ها 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 فناوری‌های آبیاری در سالیان اخیر نه تنها به حل معضل کم آبی، مقابله با خشکسالی‌های پی در پی و بحران آب کمکی نکرده است بلکه به روشنی می‌توان تخلیه شدید منبع‌های آب زیرزمینی را در کشور و بویژه منطقه‌های با WRE بالاتر مشاهده نمود، در مطالعات داخلی مطالعه‌ی 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 دامنه‌ی تحقیق کارشناسان را مباحث WRE تشکیل می‌دهد اما به روشنی می‌توان مشاهده کرد که تاکید بر هدفمندسازی در سیاست‌های اقتصادی در کنار برنامه‌های فنی و مهندسی اهم سیاست‌های بیان شده است.

به شکلی جامع و یکپارچه هر چند استفاده از سیستم‌های 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 منبع‌های آب زیرزمینی وارد خواهد آمد. امری که در اسناد بالادستی کشور به‌صورت 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 می‌دهد. اندازه‌گیری اثر جهش آب نشان می‌دهد که حتی اگر بازده به سطح پیش‌آگهی یا پارادوکس جونس برسد (تأثیر بازده ۰ تا ۱۰۰ درصد) باز هم عاملی برای نگرانی است. اثر جهش آب، به این معنی است که بخشی از افزایش استفاده از آب حاصل از رشد تولید کشاورزی می‌تواند بدلیل استفاده از آب با هدف بهره‌مندی از پیشرفت‌های فنّاوری استحصال آب و آبیاری باشد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف آب باهدف بهبود بهره‌وری آب به‌اندازه مورد انتظار مؤثر نخواهد بود. سیاست‌گذاران نمی‌توانند صرفه‌جویی در مصرف آب را بوسیله پیشرفت فنّاوری به‌عنوان تنها رویکرد برای دستیابی به هدف‌های صرفه‌جویی آب و یا حل مشکل کمبود آب در نظر بگیرند. در ارزیابی نقش بهبود سیستم آبیاری در کاهش مصرف آب کشاورزی، باید اثر جهش را در نظر گرفت. افزون بر این، دولت ایران نیازمند آن است تا شروع به توسعه و پیاده‌سازی برخی از سیاست‌های پیوسته برای کاهش اثر جهش آب در کشاورزی نماید. برای حمایت از رشد اقتصادی و حفظ ثبات اجتماعی، اصلاحات قیمت‌گذاری آب بعنوان سیاستی اقتصادی مورد توجه مدیران و سیاست گذاران قرار دارد، اگرچه روند اجرای این استراتژی‌ها 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

[1] Water Rebound Effect (WRE)

[2] Expected Water Saving (EWS)

[3] Actual Water Saving (AWS)

[4] Growth rate of agricultural Water Productivity (GWP)

## منابع


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 crisis 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 Economics. 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. 31(6), 2191-2202.

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.

Jafary, 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. Energy Procedia. 14, 1105-1110.

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.

Environmental Sciences Vol.17/ No.4 /winter 2020

43-60

# 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, Gh., 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, five divisions of the Ministry of Interior were 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

* Corresponding Author. *Email Address*: ahmad_soltanizoghi@yahoo.com

than 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.

**Conclusions:** 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.