

## اثر بازگشت به حالت اولیه یا معمای جیونز: مفهومی برای درک مناسب تر پیامدهای بهبود کارایی آب

محمدحسین زیبایی\* و علی محمد آخوندعلی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۱۷)

DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.157

### چکیده

کمبود آب یک مسئله مهم و ساختاری در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا است که به شدت موجب نگرانی سیاست گزاران محیط زیست شده است. مسئله تعدیل تقاضای افزون بر عرضه پایدار آب عمدتاً با سیاست‌های مدیریت تقاضای آب که به دنبال افزایش کارایی آب و فناوری‌های آب‌اندوز است، پیگیری می‌شود. ارزیابی‌های بسیار کمی از این برنامه‌ها انجام شده است. اما تعداد زیادی از ارزیابی‌های موجود، شک جدی در مورد اثر بخشی آنها در زمینه‌های حفاظتی و کاهش مصرف آب، به دلیل وقوع پدیده "اثر بازگشت به حالت اولیه"، مطرح می‌کنند. در این مطالعه، با مراجعه میدانی به مزرعه ۲۴۳ زارع که اقدام به نصب سیستم‌های آبیاری بارانی کرده‌اند و استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و مدل رگرسیون چندگزینه‌ای مرتب شده، پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه مطالعه شد. نتایج نشان داد که در ۷۴/۵ درصد از مزارع مورد مطالعه، این پدیده به میزان متوسط تا زیاد وجود داشته است. همچنین، مشخص شد که میزان اراضی دیم و آیش مزارع به هنگام نصب سیستم آبیاری بارانی، رابطه مستقیمی با وقوع پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه دارند. از نتایج این مدل می‌توان برای تعیین احتمال وقوع افزایش مصرف آب بعد از نصب سیستم آبیاری بارانی در مزارعی که اطلاعات آنها موجود است، استفاده کرد. به طور مثال، در مزارعی با ویژگی‌های مزرعه شماره ۲۴ احتمال وقوع پدیده اثر بازگشت ناشی از اقدامات آب‌اندوز در سطح کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۳۲۰/۴ و ۶۷/۶ درصد می‌باشد. بنابراین در چنین مزارعی باید اقدامات کارایی و حفاظتی آب را براساس تلفیقی از ابزارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی به کار گرفت تا فشارهای وارد بر منابع کمیاب آب، کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: کمبود آب، سیاست مدیریت تقاضای آب، اثر بازگشتی، استان فارس

۱. گروه هیدرولوژی و منابع آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hosseinzibaei@gmail.com

## مقدمه

آب نقش کلیدی در تأمین غذای مورد نیاز جامعه دارد و به همین دلیل امروزه مدیریت کارای آن به معنای ایده تولید بیشتر محصولات کشاورزی با مصرف کمتر آب، در سرلوحه خط‌مشی‌های مؤثر جهت تأمین نیازهای جاری و آینده توسعه اقتصادی قرار دارد. روند افزایشی مصرف آب در بخش‌های مختلف، به‌ویژه بخش کشاورزی، تعادل میان عرضه و تقاضای آب را که جهت توسعه پایدار ضروری است، به هم زده است. این مازاد تقاضا در کنار خشک‌سالی‌های متوالی و تغییر اقلیم احتمالی، کمبود آب را به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به‌دنبال داشته است. کاهش رواناب‌ها موجب استفاده بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی شده است که پیامد آن منفی شدن بیلان آب‌های زیرزمینی در بسیاری از دشت‌ها بوده است. از دهه ۱۹۷۰ بسیاری از مناطق جهان، کاهش در سطح سفره‌های آب زیرزمینی را به‌دلیل متراکم شدن کشاورزی و برداشت بیش از تغذیه طبیعی تجربه کرده‌اند (۲، ۳ و ۲۳). وضعیت موجود و روند و گرایش‌های حاکم بر منابع آب به‌گونه‌ای است که کمتر سیاستمداری یافت می‌شود که به بحران آب نیااندیشد. هرچند جهت مقابله با کمبود آب - سیاست‌های مدیریت عرضه، مانند مهار آب‌های سطحی از طریق احداث سازه‌های مناسب و حتی استفاده از آب‌های غیرمتعارف می‌تواند مؤثر باشد. اما به‌طور یقین، سیاست‌های مدیریت تقاضای آب جهت ایجاد تعادل مجدد بین عرضه و تقاضای آب از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین کمیابی آب یک مسئله مهم و ساختاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا است که به‌شدت موجب نگرانی سیاست‌گزاران محیط زیست شده است. در قرن بیستم، مسئله تقاضای افزون بر عرضه پایدار منابع آب را عمدتاً با سیاست‌ها یا اقدامات مدیریت عرضه آب نظیر افزایش آب در دسترس از طریق ساختن سد و کانال‌های انتقال آب حل می‌کردند. این سیاست‌ها در دهه ۱۹۹۰ مورد چالش جدی قرار گرفت و به‌جای آن سیاست‌های مدیریت تقاضای آب که به‌دنبال افزایش کارایی مصرف آب و فناوری‌های آب‌اندوز است، مورد توجه

قرار گرفت و در این راستا، مدرن کردن روش‌های آبیاری و به‌کارگیری سیاست‌های مناسب قیمت‌گذاری آب به‌عنوان مهم‌ترین خط‌مشی مطرح شد (۴ و ۲۳). هدف اصلی این سیاست‌ها که با عملیاتی شدن آنها، مبالغ زیادی در بخش کشاورزی هزینه شد، افزایش کارایی آبیاری بوده است. دولت در بسیاری از این برنامه‌ها با مشارکت در بخشی از هزینه‌ها یا ارائه یارانه، انگیزه لازم را در زارعین برای بهبود کارایی آبیاری فراهم می‌ساخته است (۲۳). هرچند که تفکر حاکم بر مدیریت منابع آب ایران در سال‌های اخیر عمدتاً از سیاست‌های صرف عرضه، یعنی ساختن سدهای متعدد، جانب‌داری کرده است، اما اقدامات صورت‌گرفته در زمینه مدیریت تقاضا نظیر پوشش انهار، تسطیح اراضی و به‌ویژه تبدیل آبیاری سنتی به سیستم‌های آبیاری تحت فشار نیز مورد توجه بوده است. اکنون این سؤال مطرح است که آیا اقداماتی که با هدف بهبود کارایی آب انجام شده است، کاهش مصرف آب و در نتیجه کاهش مازاد تقاضای آب از عرضه پایدار آن را موجب شده است.

متأسفانه ارزیابی‌های اندکی از این برنامه‌ها موجود است و آنهایی که موجودند نیز شک زیادی در مورد اثر بخشی برنامه‌ها در کاهش مصرف آب را مطرح می‌کنند. واقعیت این است که همواره بحثی دامنه‌دار بین آنهایی که معتقدند افزایش کارایی آبیاری می‌تواند مقدار قابل توجهی آب را برای سایر کاربردها در دسترس قرار دهد و آنهایی که معتقدند این سیاست‌ها ممکن است که پیامدهای ناخواسته‌ای همچون افزایش سطح زیر کشت آبی، عملکرد و حرکت به سمت محصولات با نیاز آبی زیاد و به‌طور کلی افزایش مصرف آب را ایجاد کند، وجود داشته است (۲۹، ۲۸، ۳۲، ۲۰، ۱۴، ۹ و ۳۳). اخیراً در مطالعه متعددی نشان داده شده که انتقال به فناوری‌های آبیاری کارا تر لزوماً به کاهش کل آب مصرفی منجر نمی‌شود و حتی می‌تواند موجب افزایش مصرف آب نیز شود (۶، ۷، ۱۱، ۱۳، ۱۶، ۱۷، ۲۲، ۲۴، ۲۵، ۲۶ و ۳۲). در صورتی که سیاست‌های بهبود کارایی آب از طریق سرمایه‌گذاری در روش‌های آبیاری نوین، به‌جای کاهش مصرف آب، موجب افزایش مصرف آن گردد، اصطلاحاً گفته می‌شود

بازگشتی قبلی و نحوه استفاده از آب صرفه‌جویی شده دارد (۲۵). همچنین، می‌توان نتیجه گرفت که اگر میزان اراضی محدود باشد، اثر بازگشت به حالت اولیه وجود ندارد و بنابراین آب صرفه‌جویی شده به اهداف حفاظتی تخصیص داده خواهد شد (۱۰).

بعد از بررسی شواهد تجربی اثر بازگشت به حالت اولیه بهتر است که خود پدیده کمی مورد بررسی قرار گیرد. در حقیقت، اثر بازگشت به حالت اولیه یا معمای جیونز به بهبود کارایی در فرآیندهای فنی استفاده از منابع، که نهایتاً منظور اصلی با استفاده بیشتر جامعه از آن، خشی می‌شود، بر می‌گردد. این اثر و توضیح آن نخستین بار در رابطه با استفاده از زغال‌سنگ در انگلستان توسط ویلیام استانلی جیونز در اواخر قرن نوزدهم مطرح شد و به‌همین دلیل به‌نام معمای جیونز نیز نامیده می‌شود (۱۵). مثال‌های زیادی از کاربرد این معما، به‌ویژه در رابطه با انرژی، یعنی جایی‌که موضوع در آنجا رخ داده، وجود دارد. کاربرد این مفهوم و بررسی آن همچنان با این هدف انجام می‌شود که اطمینان حاصل شود که برنامه‌های حفاظت از انرژی، مؤثر هستند (۳۱). بنابراین، مفید و جذاب به‌نظر می‌رسد که این چارچوب برای منابع آب به‌کار برده شود تا میزان واقعی آب‌اندوزی ارزیابی شود (۸). آیا اثر بازگشت به حالت اولیه، یا معمای جیونز، مبنای نظری قابل قبولی دارد؟ واقعیت این است که تعداد کمی از تحقیقات نظری کوشیده‌اند که شرایطی را که تحت آن، افزایش کارایی آبیاری منتج به کاهش مصرف آب می‌شود را تعیین کنند. در یکی از مهم‌ترین مطالعات انجام شده در این زمینه، نشان داده شده که وقتی تقاضای آب بی‌کشش باشد، افزایش در کارایی آبیاری، به کاهش مصرف آب می‌انجامد. اما وقتی که تقاضای آب با کشش باشد، افزایش در کارایی آبیاری، مصرف آب را افزایش می‌دهد (۵). تخمین‌های تجربی کشش تقاضا برای آب آبیاری محدود است. اما تعداد کمی که موجود است، حکایت از آن دارد که تقاضا برای آب آبیاری بی‌کشش است (۱۲، ۲۱، ۲۶ و ۲۷). بنابراین، باید افزایش کارایی آبیاری، مصرف آب را کاهش دهد. در مقابل این تفکر، تعداد زیادی از محققین با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی

که این سرمایه‌گذاری دارای اثر بازگشت به حالت اولیه بوده است.

اثر بازگشتی در مطالعات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله، با استفاده از داده پانل مربوط به ۲۰ هزار مزرعه برای دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ در منطقه کانزاس آمریکا نشان داده شد که با تبدیل سیستم آبیاری متداول به سیستم‌های آبیاری کارا تر، مقدار برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی این منطقه افزایش یافته است. در مزارع با کشت متراکم، کشاورزان آب بیشتری در هر ایکر مصرف کردند و در مزارع کشت گسترده، اراضی بیشتری از مزارع خود را به کشت آبی اضافه کردند و در مقابل مقدار کمتری از اراضی را برای آیش یا کشت محصولات دیم باقی گذاشتند (۲۳). جهت مطالعه، اثر سوبسید بر طرح‌های بهبود کارایی آبیاری، یک مدل شبیه‌سازی زراعی با یک مدل برنامه‌ریزی خطی اقتصادی تلفیق شد. نتایج نشان داد که مصرف آب در چنین شرایطی (پرداخت سوبسید) بسیار بعید است که کاهش یابد. وقتی که سطح زیر کشت ثابت باشد، یا امکان افزایش سطح زیر کشت وجود نداشته باشد، تعداد دفعات آبیاری افزایش می‌یابد و در صورتی که امکان افزایش سطح زیر کشت آبی وجود داشته باشد، سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی زیاد، افزایش می‌یابد (۶).

در مطالعه دیگری در حوضه آبریز ریو گراند نیومکزیکو، اثر سوبسید بر به‌کارگیری آبیاری قطره‌ای بر عملکرد محصولات، سطح زیر کشت آبی، درآمد و کل تخلیه آب زیرزمینی در یک افق ۲۰ ساله بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد و درآمد مزرعه در شرایط سوبسید، افزایش می‌یابد. در مقابل، کل آب برداشت شده از سفره‌های زیرزمینی بیش از زمانی است که سوبسیدی برای تغییر روش آبیاری وجود نداشت (۳۲).

در مطالعه‌ای، نشان داده شده که سرمایه‌گذاری درزمینه بهبود کارایی مصرف آب در حوضه آبریز ماری-دارلینگ، فرصت‌های مناسبی را درزمینه کاهش هزینه فراهم می‌سازد. اما نتیجه نهایی خالص این نوع سرمایه‌گذاری مبهم بوده و بستگی به جریان

نهاده‌های مورد نیاز برای هر واحد محصول است. بنابراین، صرفه‌جویی منابع را در پی خواهد داشت. کمی کردن صرفه‌جویی آب بر اساس این فرضیه است که با سیستم‌های آبیاری کاراتر، سهم بیشتری از آب برداشت شده به تولید محصول مطلوب اختصاص می‌یابد که اجازه کاهش در میزان برداشت اولیه را می‌دهد. بنابراین، حجم برداشت اولیه یا آب مصرفی اولیه، کارایی اولیه و انتظاری آبیاری، داده‌های مورد نیاز برای تخمین میزان آب صرفه‌جویی شده، هستند. در این زمینه نصب کنتور، تحویل حجمی آب و به‌طور کلی ایجاد یک روش حسابداری مناسب آب در سطح مزرعه و حوضه آبریز، پیش نیاز اجرای سیاست‌ها و اقدامات آب اندوز در راستای حفاظت از منابع آب است.

## ۲- دلایل تقاضای آب بیشتر

در برنامه محیط زیست سازمان ملل (۳۰) بیان شده است که چون کارایی بیشتر، قیمت محصول تولید شده را کاهش می‌دهد، اثر بازگشت به حالت اولیه اتفاق می‌افتد. بنابراین، انگیزه لازم برای مصرف بیشتر را فراهم می‌سازد. همچنین، هر بهبود کارایی فنی آب، نیازمند کاهش تقاضای آب است و این امر موجب کاهش قیمت آب می‌شود و کاهش قیمت آب، افزایش مصرف آنرا به دنبال دارد (۱۸). بنابراین، اثر کارایی اولیه به‌طور کامل یا جزئی لغو می‌شود. در این فرآیند، میزان کشتش تقاضای آب برای تشخیص اثر بازگشت به حالت اولیه، ضروری است. صرفه‌جویی در هزینه مانند پول صرفه‌جویی شده از کاهش هزینه پمپاژ آب زیرزمینی می‌تواند برای تأمین مالی افزایش در سطح زیر کشت یا حفر یک حلقه چاه جدید به‌کار گرفته شود. از دیدگاه اقتصاد کلان نیز می‌توان پیامد بهبود کارایی را از طریق مدل داده- ستانده بررسی کرد. مطالعات دیگری تحلیل جزئی‌تر را انجام داده و دلایل دیگری را برای افزایش تقاضای آب مطرح کرده‌اند (۱۰ و ۲۳). زمانی که دو گام فوق برداشته شد، یعنی میزان آب صرفه‌جویی تعیین شد و مکانیزم اثر بازگشت به حالت اولیه تشخیص داده شد، سیاست‌های مکملی لازم است تا اطمینان حاصل شود که

و واسنجی شده، اثر افزایش کارایی آبیاری بر مصرف آب را بررسی کرده‌اند. آنها نتیجه گرفته‌اند که چون سیستم‌های آبیاری مدرن، کارایی آبیاری را افزایش می‌دهند و در نتیجه هزینه‌های مفید آبیاری را کاهش می‌دهند، تولیدکنندگان، آب بیشتری برای هر واحد سطح جهت افزایش عملکرد در هکتار و افزایش سطح زیر کشت آبی به‌کار می‌برند.

بنابراین سؤال اصلی مطالعه حاضر این است که آیا سرمایه‌گذاری در تکنولوژی نوین آبیاری در استان فارس، موجب کاهش مصرف آب شده است یا خیر؟ یا اینکه به‌دلیل اثر بازگشت به حالت اولیه یا معمای جیونز، مصرف بیشتر آب را از طریق افزایش سطح زیر کشت آبی، تبدیل اراضی دیم به آبی و افزایش عملکرد در هکتار به دنبال داشته است. علاوه بر این، مشخص کردن سهم عامل‌های مختلف در احتمال وقوع این پدیده کمک خواهد کرد تا در آینده بتوان چنین طرح‌هایی را در مزرعه‌ای که احتمال وقوع اثر بازگشت به حالت اولیه آن کم است و آب صرفه‌جویی شده عمدتاً برای منظورهای حفاظتی به‌کار خواهد رفت، اجرا کرد یا اینکه در مزارعی که احتمال وقوع اثر بازگشت به حالت اولیه آن زیاد است، اقداماتی را همراه با سیاست‌های بهبود کارایی به‌کار گرفت تا اطمینان حاصل شود که آب صرفه‌جویی شده جهت منظورهای حفاظتی به‌کار گرفته خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

در این قسمت، نخست سه گام اصلی در فرموله کردن معمای جیونز بیان شده است به‌دنبال آن چگونگی اندازه‌گیری اثر بازگشتی تشریح شده است و در انتها مدل رگرسیون لاجیت مرتب شده، معرفی گردیده است.

در فرموله کردن معمای جیونز، سه گام اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از:

### ۱- کمی کردن ظرفیت صرفه‌جویی

در حالت کلی، بهبود کارایی در یک فرآیند تولیدی به معنی کاهش

پرسیده نشده است. تحلیل سلسله‌مراتبی برای تعیین وزن‌های لازم به کار گرفته شده و نهایتاً میزان اثر بازگشت به حالت اولیه برای هر مزرعه در سه سطح مختلف (بدون اثر تا کم، متوسط و زیاد) تعیین شده است. سپس، اثر متغیرهایی همچون میزان آیش، میزان اراضی دیم، مقدار عملکرد محصول شاخص (گندم)، میزان محدودیت آب، میزان کل اراضی آبی، سطح زیر کشت آبی و شرایط اقلیمی منطقه بر این اثر در قالب تحلیل رگرسیون چند گزینه‌ای مرتب شده تعیین شده و اثر هر یک از متغیرهای مستقل بر افزایش احتمال پدیده اثر بازگشتی مشخص شده است. همان‌گونه که اشاره شد برای بررسی میزان اثر بازگشتی در مزارع مورد مطالعه، علاوه بر مراجعه مستقیم به مزرعه و لحاظ نمودن تغییرات رخ داده پس از نصب سیستم‌های آبیاری بارانی و جمع‌آوری اطلاعات کمی در خصوص سطح زیر کشت، عملکرد در هکتار، تعداد دفعات آبیاری و ساعات مورد نیاز برای یک نوبت آبیاری محصولات مختلف قبل و بعد از نصب سیستم آبیاری بارانی، سئوالاتی به شرح زیر در رابطه با اثر بهبود کارایی آبیاری بر افزایش مصرف آب یا همان پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه، از کشاورزان مورد مطالعه پرسیده شد:

- تا چه میزان استفاده از روش آبیاری بارانی موجب افزایش تولید در واحد سطح در مزرعه شما شده است؟ (هیچ □، کم □، متوسط □ و زیاد □)

- تا چه میزان استفاده از روش آبیاری بارانی، موجب افزایش سطح زیر کشت در مزرعه شما شده است؟ (هیچ □، کم □، متوسط □ و زیاد □)

- تا چه میزان استفاده از روش آبیاری بارانی، موجب تبدیل اراضی دیم به اراضی آبی در مزرعه شما چه شده است؟ هیچ □، کم □، متوسط □ و زیاد □)

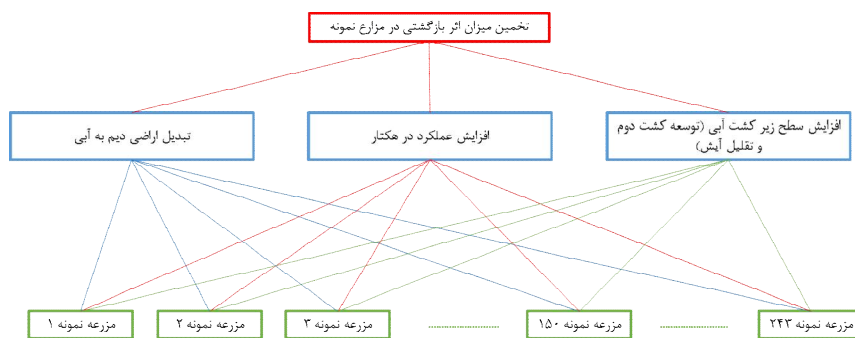
با استفاده از تغییرات مشاهده شده و نظرات جمع‌آوری شده، وضعیت هر مزرعه در سه زمینه فوق مشخص شد. برای گزینه‌های هیچ، کم، متوسط و زیاد به ترتیب ارزش‌های صفر، ۱، ۲ و ۳ منظور شد. برای ساختن شاخصی که برآیند سه معیار

کاهش بالقوه در مصرف نهاده (آب) به دلیل بهبود کارایی رخ خواهد داد یا دست کم اثر بازگشت به حالت اولیه حداقل خواهد شد. در این مرحله، کلید اصلی برای طراحی سیاست‌ها و مجموعه اقدامات لازم، به تشخیص صحیح در محرک‌ها یا ایجاد کننده‌های پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه که باید هدف قرار گیرند، بستگی دارد.

### ۳- طراحی اقدامات پیشگیرانه مکمل

اقداماتی همراه با سیاست‌های بهبود کارایی نیز باید به کار گرفته شود تا اطمینان حاصل گردد که آب صرفه‌جویی شده جهت منظورهای حفاظتی به کار گرفته خواهد شد (از آبخوان‌های زیرزمینی برداشت نمی‌شود). استفاده از ابزارهای قیمتی در کنار تجدید نظر در حقوق برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی می‌تواند مؤثر باشد. مثلاً محدودیت قانونی ایجاد شود که آب صرفه‌جویی شده نباید تقاضای جدید را تأمین کند.

مطالعه حاضر در استان فارس انجام شده است، جامعه آماری را مزارعی در این استان تشکیل می‌دهند که سیستم آبیاری سنتی خود را به آبیاری بارانی تبدیل کرده‌اند و منبع آب تمامی آنها آب زیرزمینی است. با یک روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی شده تصادفی، یک نمونه شامل ۲۴۳ مزرعه از کل جامعه آماری، جهت بررسی اثر بازگشتی انتخاب شد. الگوی کشت منطقه عمدتاً شامل سه محصول گندم، جو و کلز به‌عنوان محصول شتوی و ذرت و برنج که غالباً به‌صورت کشت مجدد کاشته می‌شوند، به‌عنوان محصول صیفی می‌باشد. برخلاف مطالعات گذشته که عمدتاً با روش‌های شبیه‌سازی ریاضی به بررسی پیامدهای بهبود راندمان آبیاری پرداخته‌اند، در این مطالعه، پیامدهای به‌کارگیری سیستم‌های نوین آبیاری با مراجعه میدانی، مشاهده و پرسش از خود زارعین در زمینه افزایش سطح زیر کشت آبی، تبدیل اراضی دیم به آبی و افزایش عملکرد در هکتار مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که تغییر الگوی کشت به مفهوم وارد شدن محصول جدید در منطقه رخ نداده است، سئوالی در زمینه تغییر الگوی کشت



نمودار ۱. سلسله مراتب اثر بازگشتی در مزارع مورد مطالعه

اگر میزان افزایش مصرف آب متوسط باشد = ۲

اگر میزان افزایش مصرف آب زیاد باشد = ۳

ارزش متغیر مشاهده شده  $y$  به این بستگی دارد که از چه آستانه‌ای گذر کرده باشد. برای تحقیق حاضر که برابر  $3M$  است، می‌توان نوشت (۱ و ۱۹):

$$y = \begin{cases} 1 & \text{if } y^* \leq k_1 \\ 2 & \text{if } k_1 < y^* \leq k_2 \\ 3 & \text{if } k_2 < y^* \leq k_3 \end{cases} \quad [1]$$

رابطه بین متغیر پنهان پیوسته و متغیرهای مستقل را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$y_i^* = \sum_{k=1}^K \beta_k X_k + \varepsilon_i = Z_i + \varepsilon_i \quad [2]$$

$\varepsilon_i$  جمله پسماند تصادفی است که در این مدل دارای توزیع لوجستیک می‌باشد.  $X$ ها متغیرهای مستقل هستند که عبارت‌اند از کل اراضی آبی، کل اراضی دیم، سطح زیر کشت آیش، عملکرد محصول شاخص، اقلیم منطقه و محدودیت آب. امید ریاضی رابطه فوق به صورت زیر است:

$$E(y_i^*) = \sum_{k=1}^K \beta_k X_k = Z_i \quad [3]$$

مدل لاجیت مرتب شده، تعداد  $K$  تا  $\beta$  و  $(M-1)$  آستانه یا  $K$  را با استفاده از روش حداکثر راست نمایی تخمین می‌زند. توجه داشته باشید که در مدل، عرض از مبدأ با مقدار ثابت وجود ندارد. احتمال این که  $y$  ارزش خاصی را بین ۱ تا ۳ اخذ کند به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$P(Y_i > j) = \frac{\exp(X_i \beta - k_j)}{1 + [\exp(X_i \beta - k_j)]}, j = 1, 2, \dots, M-1, \quad [4]$$

فوق یعنی افزایش عملکرد در هکتار، افزایش سطح زیر کشت آبی و تبدیل اراضی دیم به آبی باشد، وزن این معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و توسط چهار کارشناس خبره تعیین شد. سلسله مراتب مسئله اثر بازگشتی در نمودار (۱) نشان داده شده است. با ضرب وزن‌های به دست آمده در ارزش گزینه انتخاب شده در سئوالات سه گانه فوق، میزان اثر بازگشت به حالت اولیه برای هر یک از مزارع مشخص شد و برای اینکه این متغیر به صورت یک متغیر ترتیبی درآید، اعداد حاصله به گونه‌ای مرتب شدند که متغیر اثر بازگشت به حالت اولیه ارزشی بین ۱ تا ۳ اخذ نماید. سپس، با استفاده از مدل رگرسیون لاجیت مرتب شده اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته، که همان اثر بازگشت به حالت اولیه بود، بررسی شد.

#### مدل رگرسیون لاجیت مرتب شده

برای بررسی پیامدهای افزایش راندمان آبیاری بر مصرف آب از مدل رگرسیون لاجیت مرتب شده استفاده شد. این مدل می‌تواند به صورت یک مدل متغیر پنهان بیان شود (۱ و ۱۹). متغیر پنهان پیوسته  $y^*$  دارای چند آستانه متفاوت است. این آستانه‌ها را می‌توان با  $K_1, K_2, K_3, \dots$  و  $K_j$  نشان داد. به گونه‌ای که  $K_1 < K_2 < K_3 < \dots < K_j$  است. تأثیر بهبود کارایی بر افزایش مصرف آب یا همان اثر بازگشت به حالت اولیه ( $y$ ) یک متغیر ترتیبی است که براساس شرایط زیر ارزشی بین ۱ تا ۳ اختیار می‌کند:

اگر میزان افزایش مصرف آب صفر یا کم باشد = ۱

جدول ۱. ماتریس مقایسه زوجی پیامدهای افزایش کارایی آبیاری

پیامدها	افزایش سطح زیر کشت	افزایش عملکرد در هکتار	تبدیل اراضی دیم به آبی
افزایش سطح زیر کشت آبی	۱	۷	۲
افزایش عملکرد در هکتار	۰/۱۴۳	۱	۰/۱۶۷
تبدیل اراضی دیم به آبی	۰/۵	۰/۱۶۷	۱

جدول ۲. وزن نسبی و نرمالایز شده پیامدها در شکل‌گیری پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه

پیامدها	وزن نسبی	وزن نرمالایز شده
افزایش سطح زیر کشت آبی	۰/۵۸۲۱	۱
افزایش عملکرد در هکتار	۰/۰۶۹۵	۰/۱۱۹
تبدیل اراضی دیم به آبی	۰/۳۴۸۴	۰/۵۹۸

Inconsistency index = ۰/۰۳۱۱

بنابراین:

$$P(Y_i = 1) = \frac{\exp(X_i\beta - k_1)}{1 + [\exp(X_i\beta - k_1)]} \quad [5]$$

$$P(Y_i = j) = \frac{\exp(X_i\beta - k_{j-1})}{1 + [\exp(X_i\beta - k_{j-1})]} - \frac{\exp(X_i\beta - k_j)}{1 + [\exp(X_i\beta - k_j)]}, j = 2, \dots, M-1 \quad [6]$$

$$P(Y_i = M) = \frac{\exp(X_i\beta - k_{M-1})}{1 + [\exp(X_i\beta - k_{M-1})]} \quad [7]$$

بعد از تخمین مدل، با استفاده از بسته نرم‌افزاری SPSS و Stata امکان محاسبه اثر نهایی متغیرهای مستقل فراهم می‌شود. از این طریق می‌توان دریافت که افزایش کدام یک از متغیرهای مستقل، احتمال وقوع پدیده بازگشت به حالت اولیه را افزایش می‌دهد و کدام یک احتمال وقوع این پدیده را کاهش می‌دهد. مقدار این فرایند و کاهش احتمال را هم می‌توان مشخص کرد.

## نتایج و بحث

اطلاعات لازم برای محاسبه وزن سه معیار مؤثر در پدیده بازگشت به حالت اولیه، ماتریس مقایسه زوجی است که به وسیله گروه کارشناسی انجام شده است. جدول (۱)، ماتریس مقایسه زوجی را برای این سه معیار نشان می‌دهد. وزن نسبی و

نرمالایز شده که در حقیقت عناصر بردار ویژه ماتریس مقایسه زوجی می‌باشند با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده است. نتایج حاصل که از طریق نرم‌افزار Super Decision فراهم آمده در جدول (۲) نشان داده شده است. همان‌گونه که از بررسی این جدول ملاحظه می‌گردد، مقدار شاخص ناسازگاری برای این ماتریس ۰/۰۲۴۵ است که چون کمتر از ۰/۱ می‌باشد، نشان‌دهنده مقایسه منطقی صورت گرفته توسط گروه کارشناسی است. با تقسیم اعداد ستون دوم این ماتریس بر بزرگ‌ترین عدد این ستون، اعداد ستون سوم به دست آمد. از میان سه معیار مورد مطالعه، افزایش سطح زیر کشت آبی با وزنی معادل ۰/۵۸۲۱، بیشترین سهم را از دیدگاه گروه کارشناسی در پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه داشته است و کمترین سهم با ۰/۰۶۹۵ مربوط به افزایش عملکرد در هکتار بوده است.

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، با ضرب وزن‌هایی که از روش تحلیل سلسله مراتبی به دست آمد در ارزش گزینه‌های انتخاب شده، میزان اثر بازگشت به حالت اولیه برای هر یک از مزارع مشخص شد. فراوانی پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه در مزارع مورد مطالعه، در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳. فراوانی پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه در مزارع مورد مطالعه

افزایش مصرف آب یا اثر بازگشت به حالت اولیه	فراوانی	درصد	درصد تجمعی
هیچ تا کم	۶۲	۲۵/۵	۲۵/۵
متوسط	۱۴۹	۶۱/۳	۶۸/۸
زیاد	۳۲	۱۳/۲	۱۰۰
جمع	۲۴۳	۱۰۰	-

جدول ۴. اطلاعات مناسب بودن مدل

مدل	-۲ Log likelihood	کای دو	درجه آزادی	معنی داری
مدل پایه (فقط با عرض از مبدأ)	۳۳۵/۹۶۹			
مدل نهایی	۱۶۱/۱۵۶	۱۷۴/۸۱۳	۷	۰/۰۰۰

است که مدل نهایی نسبت به مدل پایه، بهبود معنی داری را در پیش بینی نتایج به همراه داشته است.

در مدل های رگرسیون خطی،  $R^2$  (ضریب تعیین) نسبتی از واریانس متغیر وابسته که توسط متغیرهای مستقل توضیح داده می شود را بیان می کند. برای مدل های رگرسیون با متغیرهای وابسته محدود شده نظیر مدل لاجیت مرتب شده، امکان محاسبه  $R^2$  به صورت مدل های خطی وجود ندارد. به همین دلیل، اقدام به محاسبه چندین تقریب به جای آن می شود. مقدار این  $R^2$  تقریبی برای مدل تخمینی عبارت اند از:

$$\text{Cox and Shell } R^2 = ۰/۵۲۹$$

$$\text{Nagelkerke } R^2 = ۰/۶۹۱$$

$$\text{McFadden } R^2 = ۰/۵۲۰$$

همان گونه که ملاحظه می شود ارزش  $R^2$  های به دست آمده، گویای آن است که متغیرهای توضیحی منظور شده در مدل، بخش نسبتاً زیادی (بین ۵۲ درصد تا ۶۹/۱ درصد) از نوسانات میان مزارع نمونه در زمینه افزایش مصرف آب ناشی از بهبود کارایی آبیاری را توضیح می دهند. بنابراین، به طور کلی می توان نتیجه گرفت که مدل در پیش بینی نتایج از توانایی قابل توجهی برخوردار است.

یکی از آزمون های ضروری قبل از پرداختن به نتایج، آزمون

همان گونه که ملاحظه می شود، در ۶۲ مزرعه نمونه یعنی ۲۵/۵ درصد از کل مزارع نمونه، افزایش مصرف آب یا اثر بازگشت به حالت اولیه هیچ یا کم بوده است. بیشترین فراوانی مربوط به مزارعی است که افزایش مصرف آب بعد از نصب سیستم آبیاری بارانی در آنها متوسط بوده است. تعداد این مزارع ۱۴۹ عدد بود که بیش از ۶۱ درصد مزارع نمونه را تشکیل می دادند و تنها در ۳۲ مزرعه یعنی ۱۳/۲ درصد مزارع نمونه، این اثر زیاد بوده است.

ارائه و تحلیل نتایج حاصل از تخمین مدل لاجیت مرتب شده که با استفاده از دو بسته نرم افزاری SPSS و Stata انجام شده است با اطلاعات مناسب یا برازنده بودن مدل شروع می شود. قبل از اینکه به بررسی اثر هر یک از متغیرهای مستقل در مدل پرداخته شود، نیاز است که دانسته شود مدل تا چه حد توانایی ما را در پیش بینی نتایج بهبود بخشیده است. همان گونه که از اطلاعات درج شده در جدول (۴) به دست می آید، این کار از طریق مقایسه مدل نهایی با مدلی که تنها دارای عرض از مبدأ می باشد، انجام می گیرد. بدین منظور، ارزش لگاریتم راستی نمایی هر دو مدل در عدد -۲ ضرب شده است (-۲LL). برای آزمون معنی داری تفاوت میان -۲LL دو مدل، از توزیع کای ۲ استفاده شده است. معنی داری آماری آماره کای ۲ نشان دهنده آن



جدول ۵. آزمون خط‌های موازی

مدل	-2 Log Likelihood	کای دو	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
فرضیه H <sub>۰</sub>	۱۶۱/۱۵۶			
مدل آلترناتیو	۱۵۳/۰۳۸	۸/۱۱۸	۷	۰/۳۲۲

جدول ۶. نتایج حاصل از تخمین معادله با روش لاجیت مرتب شده

متغیرهای مستقل	ضرایب	خطای معیار	آماره Z	P> z
کل اراضی آبی	۰/۰۲۰	۰/۰۱۷۶	-۱/۱۶	۰/۲۴۶
کل اراضی دیم	۰/۲۳۲	۰/۳۱۳	۷/۴۲	۰/۰۰۰
سطح زیر کشت	۰/۰۲۸	۰/۲۲۷	۱/۲۳	۰/۲۱۷
میزان آیش	۰/۰۳۹	۰/۰۱۷	۲/۲۲	۰/۰۲۶
عملکرد محصول شاخص	۰/۰۲۷	۰/۰۱۳	۲/۰۲	۰/۰۴۴
اقليم منطقه	۰/۹۱۷	۰/۵۱۷	-۱/۷۷	۰/۰۷۶
محدودیت آب	۰/۸۶۷	۰/۵۵۴	۱/۵۶	۰/۱۱۸
آستانه اول (k <sub>۱</sub> )	۳/۰۶۰	۰/۷۷۶		
آستانه دوم (k <sub>۲</sub> )	۷/۸۵۴	۱/۲۱۳		

Prob>chi<sup>2</sup> = ۰۰۰ LR chi<sup>2</sup> (۷) = ۱۷۴ Pseudo R<sup>2</sup> = ۰/۵۲

حالت اولیه بیشتر است. این نتیجه با نتایج گزارش شده توسط (۶، ۱۵ و ۱۷) هماهنگی دارد. در این مطالعات، اشاره شده بود که در صورت وجود اراضی جهت افزایش سطح زیر کشت آبی، احتمال افزایش مصرف آب ناشی از بهبود راندمان آبیاری افزایش می‌یابد. به همین ترتیب هر چه که عملکرد محصول شاخص، که در این مطالعه گندم می‌باشد، بعد از نصب سیستم، بیشتر باشد، احتمال اثر بازگشت به حالت اولیه نیز بیشتر خواهد بود. هر چند علامت کل اراضی آبی مطابق انتظار است، اما این ضریب معنی‌دار نشده است. اگر تمامی اراضی یک مزرعه به چرخه تولیدات آبی اضافه شده باشد، احتمال اینکه آب صرفه‌جویی شده از به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری بارانی صرف اهداف حفاظتی شود، بیشتر خواهد بود. دو متغیر اقلیم منطقه و محدودیت آب به‌صورت متغیرهای مجازی وارد معادله شده‌اند. بدین صورت که اگر اقلیم منطقه گرم باشد، ارزش این متغیر ۱ و در غیر این صورت صفر بوده است. علامت متغیر نشان می‌دهد

خط‌های موازی است. این آزمون از طریق مقایسه مدلی که دارای یک مجموعه ضرایب برای تمام آستانه‌ها است (فرضیه H<sub>۰</sub>) با مدل دیگری که برای هر آستانه دارای یک مجموعه ضرایب جداگانه است، مقایسه می‌شود. نتایج حاصل از آزمون در جدول (۵) نشان داده شده است.

همان‌گونه که از بررسی جدول (۵) به‌دست می‌آید، فرضیه H<sub>۰</sub> رد نمی‌شود. بنابراین، مدل منظور شده در این تحقیق، فرضیه مدل لاجیت مرتب شده را لحاظ نموده و تحلیل نتایج با مشکل روبرو نیست.

نتایج حاصل از تخمین‌ها و kها در جدول (۶) نشان شده است. هر دو آستانه (k<sub>۲</sub>, k<sub>۱</sub>) و سه تا از ضرایب در سطح کمتر از ۵ درصد و یکی از ضرایب در سطح کمتر از ۱۰ درصد معنی‌دار می‌باشند. علامت ضرایب نشان می‌دهد که هر چه میزان آیش و اراضی دیم قبل از نصب سیستم آبیاری بارانی در مزارع بیشتر باشد، احتمال افزایش مصرف آب یا پدیده بازگشت به

که در مناطق گرم، احتمال وقوع پدیده بازگشت به حالت اولیه، کاهش می‌یابد. همچنین، اگر منطقه با محدودیت شدید آب روبرو باشد (دسترس‌ی به کمتر از ۵ لیتر در ثانیه به ازای هر هکتار)، برای متغیر محدودیت آب عدد ۱ و در غیر این صورت عدد صفر منظور شده است که هرچند ضریب متغیر محدودیت آب معنی‌دار نیست اما توجیه مثبت بودن علامت آن، اندکی مشکل است.

یکی از مهم‌ترین نتایجی که از تخمین حاصل می‌شود محاسبه احتمال وقوع ارزش‌هایی است که متغیر  $Y$ ، یعنی همان اثر بازگشت به حالت اولیه، برای مزارعی که اطلاعات مربوط به متغیرهای مستقل آنها موجود است، می‌تواند اختیار کند. به‌طور مثال، اگر در آینده، مزرعه‌ای با مشخصات مزرعه شماره ۲۹ متقاضی وام جهت نصب سیستم آبیاری بارانی باشد، مقدار  $Z$  و احتمال این‌که ارزش  $Y$  به ترتیب ۱، ۲ و ۳ باشد با استفاده از روابط ۳ و ۶ عبارتند از ۸/۵۸۹، ۰/۰۰۴، ۰/۳۲۰ و ۰/۶۷۶. به‌عبارت‌دیگر، احتمال این‌که در این مزرعه، افزایش مصرف آب ناشی از بهبود کارایی آبیاری رخ ندهد یا به مقدار کم صورت گیرد در حد صفر یعنی ۰/۴ درصد است و احتمال این‌که میزان افزایش مصرف آب در حد متوسط و زیاد باشد به ترتیب ۳۲ و ۶۷/۶ درصد است. با توجه به این اطلاعات، می‌توان این فرد را از اولویت دریافت وام کنار گذاشت یا در صورت پرداخت تسهیلات بانکی، تعهد لازم را برای ممانعت از مصرف آب صرفه‌جویی شده جهت مصارف جدید از او اخذ کرد. راه سوم این است که دولت آب صرفه‌جویی شده را از این زارعین بخرد تا انگیزه لازم برای نصب سیستم‌های آبیاری برای چنین زارعینی نیز فراهم شود. اما اگر زارعی با مشخصات زارع شماره ۱۱ چنین تصمیمی را داشته باشد مقدار  $Z$  و احتمال این‌که ارزش  $Y$  به ترتیب ۱، ۲ و ۳ باشد برای این زارع ۰/۹۱۸، ۰/۰۸۱ و ۰/۰۰۱ است. به‌عبارت‌دیگر، احتمال این‌که در این مزرعه، پدیده بازگشت به حالت اولیه در حد متوسط یا زیاد رخ دهد، در مجموع کمتر از ۹ درصد است و با احتمال بسیار بالا یعنی نزدیک به ۹۲ درصد، در این مزرعه، پدیده بازگشت به

حالت اولیه رخ نمی‌دهد؛ یا اگر رخ دهد در حد کم خواهد بود. به تعبیر دیگر، تمامی آب صرفه‌جویی شده در این مزرعه با احتمال نزدیک به ۹۲ درصد، صرف اهداف حفاظتی خواهد شد. بنابراین، پرداخت تسهیلات بانکی به چنین مزرعه‌ای کاملاً با اهداف ملی یعنی کاهش مصرف آب جهت برقراری تعادل بین تقاضای و عرضه پایدار آب سازگار است. با توجه به غیرخطی بودن معادله تخمینی، برای بررسی اثر نهایی متغیرها نمی‌توان از ضرایب به‌طور مستقیم استفاده کرد. به‌همین دلیل، از دستور محاسبه اثر نهایی در بسته نرم‌افزاری Stata استفاده شده و نتایج برای زمانی که  $Y$  برابر با ۱ و ۲ است در جداول (۷) و (۸) نشان داده شده است. همان‌گونه که از بررسی جداول (۷) و (۸) به‌دست می‌آید، با افزایش یک هکتار به کل اراضی دیم یا آیش یک مزرعه، احتمال این‌که مقدار متغیر وابسته برای این مزرعه برابر با یک باشد به میزان ۰/۴۲۲ یعنی ۴/۲۲ درصد کاهش می‌یابد. اما احتمال این‌که مقدار متغیر وابسته برای این مزرعه برابر با ۲ باشد، یعنی افزایش مصرف آب به‌دنبال افزایش کارایی آبیاری رخ دهد، به میزان ۴/۱۶ درصد افزایش می‌یابد. نظیر چنین تحلیل‌هایی را می‌توان برای بقیه متغیرهای مستقل نیز انجام داد.

### نتیجه‌گیری

روند افزایش مصرف آب در بخش‌های مختلف، به‌ویژه بخش کشاورزی، تعادل میان عرضه و تقاضای آب را که جهت توسعه پایدار ضروری است، به‌هم زده است. امروزه مسئله تعدیل تقاضای افزون بر عرضه پایدار آب، عمدتاً با سیاست‌های مدیریت تقاضای آب که عمدتاً به‌دنبال استفاده از فناوری آب‌اندوز و در نتیجه افزایش کارایی آب است، پیگیری می‌شود. متأسفانه ارزیابی‌های اندکی در مورد این برنامه‌ها موجود است و آنهایی که موجودند نیز شک جدی در مورد اثر بخشی آنها در کاهش مصرف آب و حفاظت از منابع، مطرح می‌کنند. مطالعات جدید نشان داده‌اند که انتقال به فناوری‌های آبیاری کارا تر لزوماً به کاهش آب مصرفی منجر نمی‌شود و حتی می‌تواند افزایش

جدول ۷. اثر نهایی متغیرها برای وضعیتی که افزایش مصرف آب ناشی از بهبود کارایی آبیاری  
(پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه) وجود ندارد یا خیلی کم است ( $\gamma = 1$ )

متغیرهای مستقل	اثر نهایی	خطای معیار	آماره Z	$P >  z $
کل اراضی آبی (هکتار)	۰/۰۰۳۷۲	۰/۰۰۳۲	۱/۱۶	۰/۲۴۴
کل اراضی دیم (هکتار)	-۰/۰۰۴۲۲	۰/۰۰۸۳	-۵/۰۸	۰/۰۰۰
سطح زیر کشت (هکتار)	-۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۰۰۴۲	-۱/۲۲	۰/۲۲۲
میزان آیش (هکتار)	-۰/۰۰۰۷۰	۰/۰۰۰۳۲	-۲/۲۱	۰/۰۲۴۲
عملکرد محصول شاخص (تن)	-۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۰۲۴	-۲/۰۳	۰/۰۴۲
اقلیم	۰/۱۹۲۲	۰/۱۱۸۳۵	۱/۶۲	۰/۱۰۴
محدودیت آب	-۰/۱۴۴۵	۰/۰۸۰۹	-۱/۷۹	۰/۰۷۴

جدول ۸. اثر نهایی متغیرها برای وضعیتی که افزایش مصرف آب ناشی از بهبود کارایی آبیاری  
(پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه) متوسط است ( $\gamma = 2$ )

متغیرهای مستقل	اثر نهایی	خطای معیار	آماره Z	$P >  z $
کل اراضی آبی (هکتار)	-۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۳۱	-۱/۱۶	۰/۲۴۵
کل اراضی دیم (هکتار)	۰/۰۰۴۱۶	۰/۰۰۰۸۵	۴/۹۰	۰/۰۰۰۰۰
سطح زیر کشت (هکتار)	۰/۰۰۰۵۰	۰/۰۰۰۴۱	۱/۲۲	۰/۲۲۳
میزان آیش (هکتار)	۰/۰۰۰۶۹	۰/۰۰۰۳۱	۲/۲۰	۰/۰۲۳
عملکرد محصول شاخص (تن)	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۰۰۲۴	۲/۰۲	۰/۰۴۳
اقلیم	-۰/۱۸۸۸	۰/۱۱۵۹	-۱/۶۳	۰/۱۰۳
محدودیت آب	۰/۱۴۲۵	۰/۰۷۹۹	۱/۷۸	۰/۰۷۳

راندمان آبیاری پرداخته‌اند، در این مطالعه، پیامدهای به‌کارگیری سیستم‌های نوین آبیاری با پرسش‌هایی از خود زارعین در زمینه افزایش سطح زیر کشت آبی، تبدیل اراضی دیم به آبی و افزایش عملکرد در هکتار، مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن‌های لازم به‌کار گرفته شده و نهایتاً میزان اثر بازگشت به حالت اولیه برای هر مزرعه در سه سطح مختلف (بدون اثر تا کم، متوسط و زیاد) تعیین شده است. سپس، اثر متغیرهایی همچون میزان آیش، میزان اراضی دیم، مقدار عملکرد اولیه محصول شاخص (گندم) میزان محدودیت آب، میزان کل اراضی، شرایط اقلیمی منطقه بر این پدیده در قالب تحلیل رگرسیون چندگزینه‌ای مرتب شده، تعیین

مصرف آب را به دنبال داشته باشد. در صورتی که برنامه‌های بهبود کارایی آب از طریق سرمایه‌گذاری در روش‌های آبیاری نوین، به‌جای کاهش مصرف موجب افزایش مصرف آب شود، اصطلاحاً گفته می‌شود که این سرمایه‌گذاری‌ها دارای اثر بازگشت به حالت اولیه بوده‌اند. هرچند این پدیده در خارج از کشور در مطالعات زیادی مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما در داخل کشور کمتر مورد توجه بوده است. مطالعه حاضر، اثر بازگشت به حالت اولیه را در ۲۴۳ مزرعه در استان فارس که سیستم آبیاری سنتی را به سیستم آبیاری تحت فشار تبدیل کرده‌اند، مورد مطالعه قرار می‌دهد. برخلاف مطالعات گذشته که عمدتاً با روش‌های شبیه‌سازی به بررسی پیامدهای بهبود

راستا، استفاده از ابزارهای قیمتی در کنار تجدیدنظر در حقوق برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی می‌تواند مؤثر باشد، ضمن اینکه نصب کنتور، تحویل حجمی آب و به‌طور کلی ایجاد یک روش حسابداری مناسب آب در سطح مزرعه و حوضه آبریز، پیش نیاز اجرای سیاست‌ها و اقدامات آب‌اندوز در راستای حفاظت از منابع آب است. از نتایج این مدل می‌توان برای تعیین احتمال وقوع افزایش مصرف آب بعد از نصب سیستم آبیاری بارانی در مزارعی که اطلاعات آنها موجود است، استفاده کرد.

شده و اثر هر یک از متغیرهای مستقل بر افزایش احتمال پدیده اثر بازگشتی مشخص شده است. نتایج نشان داد که در ۷۴/۵ درصد از مزارع مورد مطالعه، این پدیده به میزان متوسط و زیاد وجود داشته است. همچنین، مشخص شد که میزان اراضی دیم و آیش مزارع در موقع نصب سیستم آبیاری بارانی رابطه مستقیمی با وقوع پدیده اثر بازگشت به حالت اولیه دارد. بنابراین، اقداماتی همراه با سیاست‌های بهبود کارایی نیز باید به‌کار گرفته شود تا اطمینان حاصل شود که آب صرفه‌جویی شده جهت منظورهای حفاظتی به‌کارگرفته خواهد شد. در این

### منابع مورد استفاده

1. Agresti, A. 2002. Categorical data analysis. 2<sup>nd</sup> (Ed.), John Wiley & Sons, N.Y.
2. Berbel, J. and L. Mateos. 2014. Does investment in irrigation necessarily generate rebound effects? a simulation analysis based on an agro-economic model. *Agric. Syst.* 128: 25-34.
3. Berbel, J., C. Gutierrez-Martin, J. A. Roadringues-Diaz, C. Camacho and P. Montesinos. 2015. Literature review of rebound effect of water saving measure and analysis of a Sapancho case study. *Water Resour. Manag.* 29:663-678.
4. Berbel, J., J. Martin-Ortega and P. Mesa. 2011. A cost-effectiveness analysis of water-saving measures for water framework directive: the case of the Guadalquivir river basin in Southern Spain. *Water Resour. Manag.* 25: 623-640.
5. Caswell, M. F. and D. Zilberman. 1986. The effects of well depth and land quality on the choice of irrigation technology. *Am. J. Agric. Econ.* 68(4): 798-811.
6. Cheierling, S. M., R. A. Young and G. E. Cardon. 2006. Public subsidies for water-conserving irrigation investments: hydrologic, agronomic, and economic assessment. *Water Resour. Res.* 42: 1-11.
7. Contor, B. A. and R. G. Taylor. 2013. Why improving irrigation efficiency increases total volume of consumptive use. *Irrig. Drain.* 62(3):273-280.
8. Dumont, A., B. Mayor and E. Lopez-Gunn. 2013. Is the rebound effect or Jevons paradox a useful concept for better management of water resources? insights from the irrigation modernization process in Spain. *Aquat. Proc.* 1: 64-76.
9. Ellis, J. R., R. D. Lacewell and D. R. Reneau. 1985. Estimated economics impact from adoption of water-related agricultural technology. *Western. J. Agric. Econ.* 10(2): 307-321.
10. Guttierrez-Martin, C. and C. M. Gomez-Gomez. 2011. Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model. *Span. J. Agric. Res.* 9(4): 1009-1020.
11. Hanak, E., J. Lund, A. Dinar, B. Gary, R. Howitt, J. Mount, P. Moyle and B. B. Thompson. 2010. Myths of California water-implications and reality. Technical Report. Public Policy Institute of California.
12. Hendricks, N. P. and J. M. Peterson. 2012. Fixed effects estimation of the intensive and extensive margins of irrigation water demand. *J. Agric. and Resour. Econ.* 37(1):1-19.
13. Huffaker, R. 2008. Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. *Water Resour. Res.* 44. doi:10.1029/2007WR6183
14. Jackson, T. M., S. Khan and M. Hafeez. 2010. A comparative analysis of water application and energy consumption at the irrigated field level. *Agric Water Manag.* 97:1477-1485
15. Jevons, W. S. 1865. *The Coal Question*. Macmillan and Co, London.
16. Khanna, M., M. Isik and D. Zilberman. 2002. Cost-effectiveness of alternative green payment policies for conservation technology adoption with heterogeneous land quality. *Agric. Econ.* 27: 157-174.
17. Lecina S., D. Isidoro, E. Playán and R. Aragüés. 2010. Irrigation modernization and water conservation in Spain: the case of Riegos del Alto Aragón. *Agric. Water Manag.* 97:1663-1675.
18. Llop, M. 2008. Economic impact of alternative water policy scenarios in the Spanish production system: an input-output analysis. *Ecol. Econ.* 68(1-2): 288-294.
19. Long, J.S. and J. Freese. 2014. *Regression Models for Categorical Dependent Variables using Stata*. 3<sup>rd</sup> (Ed.), Stata

Press, Texas.

20. Lopez-Gunn E., P. Zorrilla, F. Prieto and M. R. Llamas. 2012. Lost in translation? water efficiency in Spanish agriculture. *Agric. Water Manag.* 108:83-95.
21. Moore, M. M., N. Gollehon and M. Carey. 1994. Multicrop production decisions in western irrigated agriculture: the role of water price. *Am. J. Agric. Econ.* 76: 859-974.
22. Peterson, J. M. and Y. Ding. 2005. Economic adjustments to groundwater depletion in the high plains: do after-saving irrigation systems save water? *Am. J. Agric. Econ.* 87(1): 147-159.
23. Pfeiffer, L. and C. Y. C. Lin. 2014. Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? empirical evidence. *J. Environ. Manage.* 67: 189-208.
24. Playán, E. and L. Mateos. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agric. Water Manag.* 80:100-105.
25. Qureshi, M. E., K. Schwabe, J. Connor and M. Kirby. 2010. Environmental water incentive policy and return flows. *Water Resour. Res.* 46, W4517. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007445>.
26. Scheierling, S. M., J. B. Loomis and R. A. Young. 2006. Irrigation water demand: a meta-analysis of price elasticities. *Water Resour. Res.* 42(1).
27. Schoengold, K., D. Sunding and G. Moreno. 2006. Price elasticity reconsidered: panel estimation of an agricultural water demand function. *Water Resour. Res.* 42(9).
28. Soto-García, M., V. Martínez-Álvarez, P. A. García-Bastida, F. Alarcón and B. Martín-Górriz. 2013. Effect of water scarcity and modernization on the performance of irrigation districts in South-eastern Spain. *Agric. Water. Manage.* 124: 11-19.
29. Törnqvist, R. and J. Jarsjö. 2012. Water savings through improved irrigation techniques: basin-scale quantification in semi-arid environments. *Water Resour. Manag.* 26(4):949-962.
30. UNEP. 2012. Measuring water use in a green economy: a report of the working group on water efficiency to the international resource panel, United Nations Environment Programme (UNEP).
31. Van den Bergh, J. C. J. M. 2010. Energy conservation more effective with rebound policy. *Environ. Resour. Econ.* 48: 43-58.
32. Ward, F. A. and M. Pulido-Velazquez. 2008. Water conservation in irrigation can increase water use. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 105(47): 18215-18220.
33. Whittlesey, N. and R. Huffaker. 1995. Water policy issues for the twenty-first century. *Am. J. Agric. Econ.* 77(5): 1199-1203.

## The Rebound Effect or Jevons Paradox: A Concept for More Proper Understanding of the Consequences of Improvements in Water Productivity

M. H. Zibaei\* and A. M. Akhoond-Ali<sup>1</sup>

(Received: May 23-2015 ; Accepted: Aug 7-2016)

DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.157

### Abstract

Water scarcity is a major and structural problem in arid and semi-arid regions across the world that greatly concerns environmental policy-makers. The problem of adjusting the demand exceeding the sustainable supply has been mainly tackled with demand policies, particularly through investment in water saving technology and promotion of irrigation efficiency programs. However, there have been very few evaluations of these programs and many of those that exist raise serious doubt about the programs' effectiveness in reducing the consumptive use of water, due to the occurrence of the rebound effect. In this study, a sample of 243 farmers in Fars province who have the sprinkler irrigation system installed in their farms was interviewed to collect needed data for investigating the rebound effect using AHP and ordered logit regression model. The results indicated that 74.5 percent of sampled farmers have experienced medium to large rebound effect. It was also found that the amount of dry and fallow land during installation of sprinkler irrigation system have a positive relationship with the probability of occurrence of the rebound effect. Finally, the results of this study can be used to determine the probability of the rebound effect occurrence after installment of the sprinkler system for farms where data is available. For example, in the farms with farm features 24, probability of the rebound effect as a result of water saving measures at the low, medium and high levels are 0.4, 32 and 67.4 percent, respectively. Therefore, we must apply specific water conservation and efficiency practices in such farms based on a combined use of technical, economic, social and political tools to reduce pressure on scarce water supplies.

**Keywords:** Fars province, Rebound effect, Water scarcity, Water demand policy.

---

1. Dept. of Hydrology and Water Resour., Faculty of Water Resour. Eng., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: hosseinzibaei@gmail.com