مدرن سازی سیستم‌های آبیاری و حفاظت از آب با تاکید بر اثربازگشتی در سطح مزرعه در حوضه آبریز بختگان

محمدحسین زیبایی[۱*]، علی محمد آخوندعلی[۲]، فریدون رادمنش[۳] و حیدر زارعی[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۷/۹ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۱۲/۱۱

چکیده

مدرن‌سازی سیستم‌های آبیاری و بهبود راندمان آبیاری به منزله فرصتی برای صرفه‌جویی قابل‌توجه آب در بخش کشاورزی در نظر گرفته می‌شود، اما این صرفه‌جویی می‌تواند به دلیل وقوع پدیده اثربازگشتی رخ ندهد. فرضیه اثر بازگشتی به عنوان پیامدی از سرمایه‌گذاری آب - اندوز از معمای جونز در اقتصاد انرژی گرفته شده است. هدف از این مطالعه، ارزیابی مقدار اثر بازگشتی آب (WRE) در سطح مزرعه در حوضه آبریز بختگان با استفاده از مدل تخصیص زمین اصلاح شده و رویکرد مقایسه مستقیم است. داده‌های مورد نیاز با روش نمونه‌گیری تصادفی جند مرحله‌ای و مراجعه به ۲۷۶ مزرعه نمونه برای سال زراعی۹۵-۹۶ جمع آوری شد. نتایج نشان دادند که مقدار WRE در حوضه آبریز بختگان می‌تواند بین ۱۰٪ تا ۱۰۹٪ نوسان داشته باشد. WRE به مقدار ۱۰ درصد نشان‌دهنده این است که تنها۱۰ درصد از مقدار آب صرفه‌جویی مورد انتظار، محقق نمی‌شود و WRE به مقدار ۱۰۰ درصد، بیانگر شکست کامل در اقدامات حفاظت از آب است. نتایج هم‌چنین،، نشان دادند که مزارع واقع در مناطق زیر تنش آبی بالا، در مقایسه با مزارعی که در مناطق زیر تنش آبی کم قرار دارند، WRE بیش‌تری را تجربه می‌کنند. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که سهم قابل توجه از آبی که انتظار می‌رود از مدرنیزه کردن سیستم‌های آبیاری صرفه‌جویی شود، به دلیل افزایش سطح زیرکشت آبی، بهبود عملکرد در هکتار محصولات و تغییر الگوی کشت، تحقق نمی‌یابد. در نتیجه، در چنین مزارعی جهت جلوگیری از اثر بازگشتی آب یا تعدیل آن، باید عملیات حفاظت از آب و بهبود کارایی، بر اساس ترکیبی از ابزارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی انجام شود.

[۱] - دانشجوی دکتری گروه هیدرولوژی و منابع آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران.
[۲] - استاد گروه هیدرولوژی و منابع آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران.
[۳] - دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران.
*- نویسنده مسئول مقاله: hosseinzibaei@gmail.com

طبقه بندی JEL: Q25,Q27,Q28
واژه‌های کلیدی: مدرنیزه کردن آبیاری، بهره‌وری آب، اثر بازگشتی آب ،حوضه آبریز بختگان، ایران.

پیشگفتار

به دلیل پایین بودن میانگین بارندگی و روند نزولی آن بویژه در دهه اخیر ناشی از نوسات اقلیمی و وقوع خشکسالی‌های متعدد، ایران با کمبود شدید آب روبروست. مقایسه سرانه آب کشور که در سال ۲۰۱۴ میلادی، برابر با ۱۶۴۴ مترمکعب بوده است با میانگین جهانی که در این سال به مقدار ۶۲۲۵ مترمکعب برای هر نفر در سال گزارش شده، گویای وضعیت نامناسب کشور از نظر برخورداری از منابع آب می‌باشد (بانک جهانی، ۲۰۱۴). بررسی روند تغییرات متغیرهای اقلیمی نیز محدودیت در حال افزایش منابع آب کشور را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که مقدار آب تجدیدپذیر از متوسط بلندمدت آن به مقدار ۱۳۰ میلیارد مترمکعب به ۸۹ میلیارد مترمکعب بر اساس متوسط ده سال اخیر کاهش یافته است (مرکز پژوهش‌ها مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۶). وضعیت موجود منابع آب در ایران، روند و گرایشات حاکم بر آن و هم‌چنین، در نظر گرفتن توزیع مکانی و زمانی نامناسب سرانه محدود آب و مصرف بیرویه آن، به خوبی ضرورت مدیریت تقاضا، تعدیل مصرف آب و ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب را نشان می‌دهد. در این راستا، معمولاً بهبود کارایی مصرف آب به ویژه در بخش کشاورزی به عنوان فرصتی برای صرفه‌جویی بیش‌تر در آب قلمداد می‌شود (دامونت و همکاران، ۲۰۱۳) به همین دلیل بیش‌تر دولت‌ها از جمله دولت ایران از توسعه فناوری آبیاری حمایت می‌کنند. در همین رابطه اقدامات صرفه‌جویی آب گسترده‌ای از راه بکارگیری روش‌های نوین آبیاری، پوشش انهار، احداث شبکه‌های آبیاری، تسطیح اراضی و خاک ورزی حفاظتی با هدف بهبود بهره‌وری و کاهش مصرف آب در کشور انجام شده و پیشرفت‌هایی نیز بدست آمده است، به گونه‌ای که مقدار راندمان آبیاری در بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۴ از حدود ۳۰ درصد به بیش از ۴۳ درصد افزایش یافته است. (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). اما کل آب مصرفی بخش کشاورزی نه تنها کاهش نیافته که در پاره‌ای موارد افزایش نیز یافته است، به گونه‌ای که مقدار تجمعی برداشت بیش از تغذیه از سفره‌های آب زیرزمینی به حدود ۱۲۰ میلیارد مترمکعب رسیده است که حدود یک چهارم کل ذخیره استاتیک آب زیرزمینی می‌باشد. هرچند در ۴۳ سال آبی اخیر تقریباً همه ساله، مقدار برداشت آب زیرزمینی از مقدار تغذیه آن بیش‌تر بوده است، اما با یک روند افزایشی، نیانگین کسری سالیانه مخزن در بازه زمانی ده سال آبی اخیر به حدود ۵ میلیارد مترمکعب رسیده است که اگر با آن مقابله نشود، در آینده نه چندان دور شاهد تخلیه کامل

ذخیره استاتیک آب زیرزمینی خواهیم بود (وزارت نیرو، ۱۳۹۴). در شرایط کنونی از تعداد ۶۰۹ دشت کشور، افزودن بر نیمی از آن‌ها یعنی ۳۵۵ دشت به دلیل افت سفره‌های آب زیرزمینی، ممنوعه می‌باشند. در همین راستا، منابع آب سطحی نیز کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد، به گونه‌ای که مقدار رواناب‌ها در دهه اخیر نسبت به میانگین بلندمدت حدود ۴۴ درصد کاهش نشان می‌دهد که یکی از پیامدهای آن، عدم تأمین حقابه دریاچه‌ها و تالاب‌ها بوده است (وزارت نیرو ۱۳۹۴، مرکز پژوهش‌ها مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۶). برای مثال، دریاچه بختگان و طشک در حوضه آبریز مورد مطالعه تقریبا از بین رفته‌اند و برای احیاء آن‌ها به اراده ملی و یک مجموعه سیاست‌های یکپارچه و هماهنگ نیاز است.

در سراسر دنیا، مکان‌های زیادی یافت می‌شوند که در آنجا منابع آب به شیوه بسیار کارا مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما این منابع همزمان به سرعت در حال تخلیه شدن می‌باشند (هوکسترا، ۲۰۱۳)؛ بنابراین، تنها بکارگیری روش‌های مدرن و کارای آبیاری نمی‌تواند در تعدیل مصرف و تعادل بخشی بین عرضه و تقاضای آب، مؤثر باشد. در توضیح این موضوع که چرا با وجود سرمایه گذاری گسترده در زمینه فناوری نوین آبیاری، مصرف آب کاهش نیافته است، مفهومی که قبلاً در رابطه با مصرف انرژی مطرح شده است یعنی اثر بازگشتی، می‌تواند مفید باشد. در حقیقت در چارچوب نظری این پدیده، می‌توان اثر بهره‌وری آب را بر مصرف آن کمی و تحلیل کرد. اثر بازگشتی نخستین بار توسط جونز (۱۸۶۶) مطرح شد. جونز پی برد که موتورهای کاراتر تولید انرژی، مصرف ذغال سنگ را کاهش می‌دهند، اما هم‌زمان به دلیل کاهش قیمت ذغال سنگ، تقاضا برای آن افزایش می‌یابد. با مطرح شدن این موضوع، اثر مثبت کارایی انرژی بر حفاظت از منابع در محافل اقتصادی مورد پرسش واقع شد (بینس وانگر، ۲۰۰۱؛ سورل و دیمیتروپولوس، ۲۰۰۸) و پژوهشگران زیادی به بررسی وقوع این پدیده پرداختند. از جمله افرادی که این موضوع را مورد بررسی قرار دادند بروکس (۱۹۹۰،۲۰۰۰) و خازوم (۱۹۸۰) بودند؛ آن‌ها این موضوع را مطرح کردند که پیشرفت‌های فنی نه تنها کارایی انرژی را افزایش می‌دهند که هم‌چنین، رشد اقتصادی را بهبود می‌بخشند، در نتیجه تقاضای کل برای انرژی افزایش خواهد یافت. در حقیقت افزایش تقاضا برای انرژی می‌تواند تمام یا بخشی از انرژی صرفه‌جویی شده ناشی از بهبود کارایی را خنثی کند. پس از مطرح شدن این یافته، پژوهش‌های تجربی و تئوریک در زمینه اثر بازگشتی انرژی به سرعت افزایش یافت (آلکات، ۲۰۰۵؛ برخوت و همکاران، ۲۰۰۰؛ گرینینگ و همکاران،۲۰۰۰ ؛ اسمال و وان دندر، ۲۰۰۷). بیش‌تر این مطالعات، وجود اثر بازگشتی را تأیید کرده‌اند. هرچند آب به گونه‌ای معنی داری متفاوت از انرژی است، اما شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد، اثر بازگشتی در رابطه با مصرف آب نیز می‌تواند رخ دهد. برخی از پژوهشگران مدلی را

توسعه داده‌اند که با آن می‌توان چرایی افزایش مصرف آب ناشی از بهبود کارایی آبیاری را تحلیل کرد(کانتور و تیلور، ۲۰۱۳ ؛ گمز و پرز- بلانکو، ۲۰۱۴؛ هافاکر، ۲۰۰۸).

مطالعات پیشین به این نتیجه رسیده‌اند که اثر بازگشتی آب مصرفی در بخش کشاورزی ممکن است عمدتاً از راه دو ساز و کار رخ دهد. یکی از این‌ها، ساز و کار هیدرولوژیکی است چون بهبود سیستم آبیاری نیازهای آبی یک محصول را دقیق‌تر و یکنواخت‌تر، تأمین می‌کند، اغلب باعث افزایش مصرف آب همراه با افزایش عملکرد در هکتار می‌شود (برینگر و وارد، ۲۰۰۹ ؛ داگ نینو و وارد، ۲۰۱۲ ؛ لسینا و همکاران، ۲۰۱۰ ؛ وارد و پولیدو – ولازکوز، ۲۰۰۸). مکانیزم دیگر، مکانیزم اقتصادی، یعنی معمای جونز در مصرف آب است(گوتیریز و گمز گمز، ۲۰۱۱ ؛ پفیفر و لین ۲۰۱۴). یورپین[۱] (۲۰۱۲) بتازگی این اثر را به عنوان یک مسئله بالقوه در بخش کشاورزی مطرح کرده است، به بیان دیگر، نشان داده است که عرضه آب کشاورزی هم می‌تواند اثر بازگشتی خودش را تجربه کند (بربل و ماتیاس، ۲۰۱۴). پژوهشگران زیادی، اثر بهبود کارایی را بر مصرف و کاربرد آب با استفاده از مدل‌های ریاضی، شبیه‌سازی کرده یا از راه مقایسه تجربی، تحلیل کرده‌اند و نشان داده‌اند که مصرف آب با بهبود سیستم‌های آبیاری کاهش نمی‌یابد و حتی می‌تواند افزایش پیدا کند (برینگر و وارد، ۲۰۰۹ ؛ داگ نینو و وارد، ۲۰۱۲ ؛ داینار و زیلبرمن، ۱۹۹۱ ؛ الیس و همکاران، ۱۹۸۵ ؛ گارسیا – گاریزابال و کاساپی، ۲۰۱۰ ؛ هافاکر و وایت لسی، ۲۰۰۰ ؛لسینا و همکاران، ۲۰۱۰ ؛ پیترسون و داینگ، ۲۰۰۵ ؛ پلایان و ماتیوس، ۲۰۰۶ ؛قریشی و همکاران، ۲۰۱۰ ؛ رودریگواز دیاز و همکاران، ۲۰۱۱؛شیرلینگ و همکاران، ۲۰۰۶ ؛ وارد و پولیدو – ولازکوز، ۲۰۰۸ ؛ وایت لسی،۲۰۰۳). در همین رابطه دومانت و همکاران[۲] (۲۰۱۳) مفید بودن پدیده اثر بازگشتی را به عنوان یک مفهوم در مدیریت منابع آب مطرح کردند. هم‌چنین،، یفیفر و لین[۳] (۲۰۱۴) مشاهده کردند که حرکت به سمت فناوری‌های کاراتر، باعث افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی در غرب کاتزاس شده است. آن‌ها نشان می‌دهند که در این منطقه، اثر بازگشتی بیش از ۱۰۰ درصد بوده است. بربل ماتیوس (۲۰۱۴) شرایطی را که در آن شرایط بهبود کارایی ممکن است منتج به افزایش مصرف آب شود را با یک مدل به گونه سیستماتیک تحلیل کردند.

در همین راستا، بربل و همکاران[۴] (۲۰۱۵) ادبیات مربوط به اثر بازگشتی آب را مرور کرده‌اند و شرایطی که ممکن است منتج به اثر بازگشتی آب نشود را با یک مطالعه موردی در حوضه آبریز

---

۱ - European
۲ - Dumont et al.
۳ - Pfeifer and lin
۴ - Berbel et al.

گوآدکیویر اسپانیا نشان دادند و عوامل کلیدی برای اجتناب از اثر بازگشتی را به شرح زیر پیشنهاد کردند:

۱- اعمال محدودیت شدید بر وسعت اراضی آبی.

۲- کاهش حقابه سابق.

۳- تخصیص دوباره آب صرفه‌جویی شده در راستای رسیدن به اهداف محیط زیستی.

گمز و پرز- بلانکو[۱] شرایطی که طی آن معمای جونز در آب مصرفی رخ می‌دهد را با تکیه بر اصول اقتصاد پایه، مطالعه کردند. بر اساس دیدگاه آن‌ها، کشش کارایی آب مصرفی شامل سه اثر فنی، هزینه‌ای و بهره‌وری است و هرگاه این کشش مثبت باشد معمای جونز یا اثر بازگشتی رخ خوهد داد. هم‌چنین، لوچ و آدامسون[۲] (۲۰۱۶) پیامد اثر بازگشتی آب پیش بینی شده را بر مقدار دسترسی بخش خصوصی به آب آبیاری و حقابه محیط زیست در حوضه آبریز ماری دارلینگ استرالیا بررسی کردند. لی و ژائو[۳] (۲۰۱۶) نقش حقابه را در محدود کردن اثر بازگشتی آب در منطقه آبرفتی کانزاس مطالعه کردند. در همین رابطه سونگ و همکاران[۴] (۲۰۱۸) با ارایه تعریفی از اثر بازگشتی آب در قالب شاخص‌هایی در مقیاس کلان از آب مصرفی و بهره‌وری آب و بکارگیری یک روش مقایسه مستقیم، مقدار اثر بازگشتی آب را در مقیاس کلان با استفاده از داده‌های پانل استانی برای کشور چین محاسبه کردند. بر اساس نتایج این مطالعه مقدار اثر بازگشتی آب در دوره ۲۰۱۴- ۱۹۹۸ در چین برابر با ۶۱/۴۹ درصد بوده است و مقدار این اثر بازگشتی در مناطق شمالی و غربی بیش از مناطق جنوبی و شرقی و در پاره ای از مناطق بیش از ۱۰۰ درصد بوده است.

در ایران نیز زیبایی و آخوند علی (۱۳۹۵) با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و مدل رگرسیون چند گزینه‌ای مرتب شده، پدیده اثر بازگشتی آب را با داده‌های فراهم آمده از ۲۴۳ مزرعه در استان فارس اندازه گیری کردند. نتایج این پژوهش نشان دادند که در ۷۴/۵ درصد از مزارع مورد مطالعه، این پدیده به مقدار متوسط تا زیاد وجود داشته است. از نتایج مدل ارایه شده در این پژوهش می‌توان برای تعیین احتمال وقوع افزایش مصرف آب پس از نصب سیستم آبیاری بارانی در مزارعی که داده‌های آن‌ها موجود است، استفاده کرد. بنابراین، هرچند تاکنون پژوهشگران زیادی، پدیده اثر بازگشتی را بررسی و وقوع آن را در مدیریت منابع آب تأیید کرده‌اند، اما پژوهش‌های تجربی در رابطه با محاسبه کمی مقدار اثر بازگشتی آب بسیار محدود است. حال آن‌که بررسی و کمی کردن اثر بازگشتی آب کشاورزی برای تأیید وجود و شدت اثر بازگشتی در مصرف

---

[۱] - Gomez and Perz- Blanco
[۲] - Loch and Adamson
[۳] - Li and Zhao
[۴] - Song et al.

آب کشاورزی، بسیار حیاتی است. بزرگترین مشکل در محاسبه اثر بازگشتی مربوط به تعریف و اندازه‌گیری متغیرهای کلیدی نظیر حفاظت و کارایی آب مصرفی است که با توجه به اهداف و مقیاس پژوهش می‌تواند بسیار متفاوت باشد. امروزه اثر بازگشتی آب کشاورزی به صورت شاخصی از مصرف آب و بهره‌وری در سطح مزرعه تعریف و با یک روش مقایسه مستقیم، مقدار اثر بازگشتی آب کشاورزی در شرایط گوناگون دسترسی به آب در حوضه آبریز بختگان در سطح مزرعه شبیه سازی، اندازه گیری و تحلیل شد. یافته‌های فراهم آمده از این مطالعه می‌تواند اطلات مفیدی را برای درک بهتر نقش بهبود فناوری حفاظتی آب به دست داده و شرایطی را که تحت آن، بهبود سیستم‌های آبیاری منتج به پدیده اثر بازگشتی آب خواهد شد را مشخص کند و سیاستمداران و تصمیم سازان را در تعیین عوامل و سیاستهای کلیدی برای اجتناب از اثر بازگشتی آب یاری نماید.

محدوده مورد مطالعه، اراضی حدفاصل سد مخزنی درودزن تا دریاچه‌های بختگان و طشک است که دارای مساحتی حدود ۳۱۵ هزار هکتار است که در شش ناحیه عمرانی قرار دارد. عمده‌ترین عواملی که محدودیت‌های خاک محدوده مطالعاتی را شکل می‌دهند عبارتند از قابلیت نفوذ آهسته و یافت خاک سطحی سنگین تا خیلی سنگین، محدودیت شوری کم و در مناطقی با قلیاییت جزیی است. مهم‌ترین منابع آب زراعی منطقه و محدوده مطالعاتی، سفره‌های آب زیرزمینی و آب تنظیمی سد مخزنی دروزدن می‌باشد. حجم تنظیمی این سد که در حد فاصل دشت کامفیروز و دشت رامجرد احداث شده است در سال‌های بهره‌برداری (از سال ۱۳۵۱ تا کنون) ۷۶۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. این سد افزون بر تأمین آب شرب شهر شیراز (حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب)، مرودشت و تعدادی از روستاها و واحدهای بزرگ صنعتی نظیر پتروشیمی، آب کشاورزی حدود ۷۶ هزار هکتار از اراضی دشت‌های رامجرد، کربال و مرودشت را تأمین کرده است که با وقوع خشکسالی‌های اخیر، نقش آن در تأمین آب کشاورزی به مقدار زیادی کاسته شده است. اولویت‌های تأمین آب این سد همراه با سد ملاصدرا به ترتیب عبارتند از: شرب و صنعت شیراز، نیاز زیست محیطی، شبکه درودزن، نیاز بالا دست درودزن و شبکه‌های پایین دست درودزن که البته، نیاز محیط زیستی در سال‌های اخیر به هیچ وجه تأمین نشده و دریاچه‌های بختگان و طشک کاملاً خشک شده‌اند. از دیگر منابع تأمین آب کشاورزی منطقه مورد مطالعه، استفاده از سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد. مجموع تخلیه از منابع آب زیرزمینی در سال ۱۳۹۰ حدود ۲۴۳ میلیون مترمکعب بوده که عمدتاً به وسیله چاههای عمیق و نیمه عمیق انجام می‌گیرد. با توجه به این‌که مقدار مجاز برداشت سالانه حدود ۱۸۹ میلیون مترمکعب در این سال تخمین زده شده است. میانگین اضافه برداشت از ذخایر زیرزمینی بدون در نظر گرفتن برداشت‌های غیرمجاز در این محدوده مطالعاتی حدود ۵۵ میلیون مترمکعب بوده است (مهاب قدس) در شرایط کنونی از سهم

منابع آب سطحی (کنترل شده و غیرکنترل شده) به دلیل خشکسالی‌های متعدد به مقدار چشمگیری کاسته شده و تمام فشارها به سمت منابع آب زیرزمینی است و به همین دلیل در تمامی نواحی اضافه برداشت از سفره آب زیرزمینی وجود دارد. مقدار این اضافه برداشت در سال ۱۳۹۰ از بیشینه ۱۹ میلیون مترمکعب در ناحیه دو (اراضی اطراف کانال سمت چپ) تا کمینه دو میلیون مترمکعب در ناحیه سه (اراضی اطراف کانال اردیبهشت) نوسان داشته است، اما در شرایط کنونی این ارقام افزایش چشمگیری یافته‌اند. بنابراین، ضرورت مدیریت تقاضا برای ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب، تأمین حقابه محیط زیستی و حرکت به سمت کشاورزی پایدار کاملاً ضروری است. در این راستا بهبود راندمان آبیاری از طریق مدرن کردن سیستم‌های آبیاری از جایگاه خاصی برخوردار است که پیامد آن بر مصرف آب، بهره‌وری آب و اثر بازگشتی آب کشاورزی در این بررسی مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش

از زمان مطرح شدن تئوری اثر بازگشتی انرژی، دو روش متفاوت برای تخمین مقدار اثر بازگشتی توسعه داده شده است. یکی از روش‌ها، مقایسه مستقیم تقاضا قبل و بعد از بهبود کارایی و بهره‌وری آب است و روش دیگر بر کشش تقاضا متمرکز است و اغلب از کشش قیمتی آب به عنوان متغیر نماینده استفاده می‌کند (برخوت و همکاران، ۲۰۰۰؛ فریری- گونز و لیز، ۲۰۱۱ ؛ ایویانگ و همکاران، ۲۰۱۰ ؛ ساندرز، ۲۰۰۰ ؛ سورل و دیمیتروپولوس، ۲۰۰۸ ؛ وانگ و لو، ۲۰۱۴).

اثر بازگشتی آب کشاورزی می‌تواند به گونه مستقیم به صورت تفاوت میان آب صرفه‌جویی شده انتظاری و واقعی ناشی از بهبود بهره‌وری آب اندازه‌گیری شود:

$$WRE = \frac{EWS - AWS}{EWS} \times ۱۰۰\% = \frac{RWU}{EWS} \times ۱۰۰\%$$

که در این رابطه، WRE اثر بازگشتی آب کشاورزی، EWS آب صرفه‌جویی شده انتظاری؛ AWS آب صرفه‌جویی شده واقعی پس از بهبود روش آبیاری است. بنابراین، RWU=EWS-AWS بیانگر مصرف آب اضافی یا مصرف آب بازگشتی به چرخه تولید در پاسخ به افزایش کارایی یک واحد آب است. یک افزایش ۱۰ درصدی WRE نشان دهنده آن است که ۱۰ درصد از مقدار آب صرفه‌جویی شده انتظاری با افزایش مصرف آب خنثی می‌شود. بنابراین WRE به مقدار صفر درصد بیانگر تحقق یا موفقیت کامل استراتژیهای حفاظت از آب است در حالی که WRE به مقدار ۱۰۰ درصد، نشان‌دهنده شکست کامل استراتژی‌های حفاظت از آب می‌باشد. افزون بر این، اگر WRE بزرگ‌تر

از ۱۰۰٪ باشد، اقدامات بهبود کارایی آبیاری حتی می‌تواند مصرف آب را افزایش دهد که در این حالت آن را اثر معکوس[۱] می‌گویند.

روش دیگر اندازه‌گیری اثر بازگشتی آب به صورت غیرمستقیم و با استفاده از کشش آب است:

$$WRE = 1 + \eta_{WP}(W) = 1 + \frac{\partial \ln W}{\partial \ln WP}$$

که در این رابطه W مصرف آب، WP بهره‌وری آب و $\eta_{WP}(W)$ کشش بهره‌وری مصرف آب است. هم‌چنین، تحت فرضیه‌های خاصی می‌توان مقدار اثر بازگشتی آب کشاورزی را از راه کشش قیمتی تقاضای آب بدست آورد (فریری- گونز و لیز، ۲۰۱۱ ؛ ساندرز، ۲۰۰۰ ؛ سورل و دیمیتروپولوس، ۲۰۰۸ ؛ وانگ و لو، ۲۰۱۴):

$$WRE = 1 - \eta_{PW}(W) - 1 = -\eta_{PW}(W) = -\frac{\partial \ln W}{\partial \ln PW}$$

که در این رابطه PW قیمت آب و η_{PW} کشش قیمتی مصرف آب است.

در این بررسی از روش مستقیم استفاده شده است. از آن‌جا که داده‌های مربوط به مصرف و بهره‌وری آب پیش و پس از بهبود سیستم‌های آبیاری به دلیل نبود حسابداری آب در مزرعه، موجود نبود، اقدام به شبیه‌سازی این فرآیند با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی شد. استفاده از روش‌های گوناگون برنامه‌ریزی ریاضی در بررسی اثر بازگشتی آب متداول است (قریشی و همکاران، ۲۰۱۰ ؛ پیترسون و داینگ، ۲۰۰۵ ؛گمز و گوتیرز-مارتین ، ۲۰۱۱ ؛ کانتور و تیلور، ۲۰۱۳؛هیومسر و همکاران، ۲۰۱۲؛گراویلانی و همکاران، ۲۰۱۳؛ داگ نینو و وارد، ۲۰۱۲).

در این بررسی از مدل تخصیص زمین اصلاح شده، استفاده شد که در آن برای هر محصول چند عمق آبیاری در نظر گرفته شده است. به دلیل محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت از جمله مقید بودن جواب‌ها به فعالیت‌ها و استراتژی‌های آبیاری سال پایه و هم‌چنین، عدم دسترسی به داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه ردیف‌های ریسکی[۲]، از مدل برنامه‌ریزی بیشینه‌کننده سود انتظاری استفاده شد. در این روش امکان تغییر الگوی کشت، سطح زیرکشت آبی و استراتژی آبیاری آن گونه که لازمه بررسی پیامدهای بهبود سیستم‌های آبیاری است، کاملاً وجود دارد.

مزارع نمونه با یک روش نمونه‌گیری خوشه‌های چند مرحله ای تعیین شدند. در مجموع به ۲۷۶ مزرعه مراجعه و اطلاعات مورد نیاز برای سال زراعی ۹۵-۹۶ از طریق تکمیل پرسش‌نامه گردآوری شده است. مزارع نمونه از نظر برخورداری از منابع آب به سه گروه تفکیک شده‌اند:

---

[۱] - Backfire Effect

[۲]- محاسبه ردیف‌های ریسکی برای محصولات زراعی در استراتژی‌های گوناگون آبیاری نیازمند داده‌هایی است که موجود نمی‌باشد.

مزارع با محدودیت کم آب (مقدار دسترسی به آب ۱/۵ لیتر در ثانیه برای هر هکتار)،
مزارع با محدودیت متوسط آب (مقدار دسترسی به آب ۱ لیتر در ثانیه برای هر هکتار)،
مزارع با محدودیت شدید آب (مقدار دسترسی به آب ۰/۷ لیتر در ثانیه برای هر هکتار)،

با ساختن مدل برای مزرعه نماینده هر یک از گروهها، پیامدهای بهبود کارایی آبیاری در قالب مدل برنامه‌ریزی ریاضی طراحی شده برای هر یک از این گروهها، شبیه سازی و تحلیل شده است. با اعمال محدودیت‌هایی بر مدل به گونه‌ای عمل شده است که الگوی زراعی در سطح کارایی ۴۰ درصد با الگوی کشت فعلی هر یک از گروهها حتی‌الامکان نزدیک باشد. اندازه مزرعه در تمام موارد ۱۱ هکتار در نظر گرفته شده است.

مدل تخصیص زمین اصلاح شده

در مدل تخصیص زمین اصلاح شده، برای هر فعالیت یا هر محصول چند استراتژی آبیاری یا عمق آبیاری در نظر گرفته شده است به تعبیر دیگر هر استراتژی آبیاری برای هر محصول به صورت یک فعالیت تعریف شده است. برای تعیین عملکرد در هکتار و نیاز آبی هر فعالیت در بازه‌های زمانی مورد نظر از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی استفاده شده است که پس از تعیین کم آبیاری مورد نظر در مدل، عملکرد و نیاز آبی متناظر با آن بدست می‌آید. با توجه به داده‌های بدست آمده از کشاورزان نمونه در این بررسی برای محصولات گندم، ذرت و پیاز هر کدام هشت استراتژی آبیاری، برای جو و چغندرقند هر کدام چهار استراتژی آبیاری و برای یونجه تنها یک استراتژی آبیاری در نظر گرفته شد. اعداد کنار نام هر محصول، استراتژی آبیاری آن را نشان می‌دهد برای مثال، دو فعالیت گندم ۱ و گندم ۸، هر دوی این فعالیت مربوط به محصول گندم می‌باشند، اما استراتژی آبیاری آن‌ها متفاوت است و با افزایش شماره درج شده در کنار محصول، مقدار کم آبیاری اعمال شده، افزایش یافته است و به تبع آن عملکرد نسبی یعنی نسبت عملکرد کنونی به عملکرد بالقوه کاهش یافته است.

نتایج

پس از تعیین مزارع نماینده، تعریف فعالیت‌ها و ساختن مدل برنامه ریزی ریاضی، شبیه سازی در سطح سه راندمان آبیاری [۱] انجام شد. راندمان آبیاری ۴۰ درصد، وضعیت کنونی را نشان می‌دهد و راندمان آبیاری ۶۰ درصد و ۸۰ درصد ارتقاء راندمان را در صورت مدرن کردن سیستم‌های آبیاری، بهبود راندمان انتقال آب از منبع به مزرعه و راندمان توزیع، خاک ورزی حفاظتی و پوشش

[۱] - Application efficiency

سطح خاک برای کاهش تبخیر نشان می‌دهد. الگوهای کشت همراه با استراتژهای آبیاری بهینه، کل آب مصرفی، شاخص بهره‌وری فیزیکی[۱] و اقتصادی[۲]، مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری[۳] و واقعی[۴]، مقدار آب مصرفی بازگشتی[۵] و در نهایت، اثر بازگشتی آب کشاورزی[۶] در سطح مزرعه و در شرایط گوناگون محدودیت آب در جدول ۱ تا ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که از بررسی جدول ۱ بدست می‌آید حتی در شرایط محدودیت کم آب یعنی دسترسی به آب نسبتاً کافی، پایین بودن راندمان آبیاری و منظور کردن هزینه‌های تأمین آب، موجب شده است که برای دو محصول گندم و ذرت استراتژی کم آبیاری در کنار استراتژی تمام آبیاری انتخاب شود. به بیان دیگر، کشاورزان بخشی از اراضی خود را در قالب استراتژی کم آبیاری (گندم ۲ و ذرت ۲ و ۳) بکار گرفته‌اند، اما بازده اقتصادی بالا، ضریب حساسیت بالاتر نسبت به تنش آبی و دسترسی به آب کافی، موجب شده است که مدل برای دو فعالیت پیاز و چغندرقند تنها استراتژی تمام آبیاری را انتخاب کند. افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ درصد و ۸۰ درصد، آب بیش‌تری در اختیار زارع قرار داده است و با توجه به این‌که زارع در شرایط راندمان آبیاری ۴۰ درصد از تمام منابع خاک خود یعنی ۱۱ هکتار استفاده می‌کرده است، امکان افزایش سطح زیرکشت یا تغییر الگوی کشت برای مزارع وجود نداشته است. بنابراین دسترسی به آب بیش‌تر باعث شده است که مدل اقدام به تغییر استراتژی آبیاری از کم آبیاری به تمام آبیاری نماید. در این شرایط همان گونه که توضیح داده خواهد شد، اثر بازگشتی آب نسبتاً کم و مربوط به تغییر استراتژی آبیاری خواهد بود. شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب هم در این جدول نشان داده شده است. مقدار شاخص فیزیکی آب از دست‌کم ۰/۵۳۲ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب برای ذرت ۱ تا حداکثر ۲/۳۵ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب برای پیاز در سطح راندمان کاربردی ۴۰ درصد، متغیر است، اما با بهود راندمان آبیاری به ۸۰ درصد مقدار شاخص بهره‌وری آب برای گندم۱، ذرت ۱، پیاز ۱ و چغندرقند ۱ به ترتیب به ۱/۰۸۴ ، ۱/۰۶۵، ۴/۷۰۰ و ۴/۳۶۳ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب افزایش می‌یابد. مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی آب نیز در سطح راندمان آبیاری ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪ به ترتیب ۴۹۴۲، ۷۳۶۴ و ۱۰۰۶۹ ریال به ازای مصرف هر مترمکعب آب بوده است که تأثیر بهبود راندمان کاربردی آب را بر بهبود بهره‌وری اقتصادی و در نتیجه درآمد کشاورزان نشان می‌دهد، اما موضوع اصلی مقاله حاضر یعنی اثر بازگشتی با محاسبه شاخص‌های مختلف ، محاسبه و در زیر جدول ۱ نشان داده شده است. کل

---

۱ - Physical productivity index
۲ - Economic productivity index
۳ - Expected water saving (EWS)
۴ - Actual water saving (AWS)
۵ - Rebound water use (RWU)
۶ - Agricultural water rebound effect

مصرف آب این مزرعه ۱۱ هکتاری، در راندمان کاربردی ۴۰ درصد، ۲۷۳۸۱۴ مترمکعب در یک سال زراعی بوده است که با بهبود راندمان آبیاری به ۶۰ درصد انتظار می‌رفته است که مقدار مصرف به ۱۸۲۵۴۳ مترمکعب کاهش یابد یعنی مقدار صرفه‌جویی انتظاری (EWS) حدود ۹۱۲۷۱ مترمکعب پیش بینی می‌شود، اما آنچه که تحقق خواهد یافت ۷۲۸۵۴ مترمکعب می‌باشد، دلیل این امر همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، تغییر استراتژی آبیاری (AWS) است. بنابراین در حقیقت مقدار آب مصرفی بازگشتی (RWU) برابر با ۱۸۴۱۷ مترمکعب می‌باشد که اگر این اعداد بر مقدار صرفه‌جویی انتظاری (EWS) تقسیم شود، اثر بازگشتی آب کشاورزی (WRE) به مقدار ۲۰/۲ درصد بدست می‌آید (نمودار و جدول ۱). به بیان دیگر، اندکی بیش از ۲۰ درصد مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری به دلیل تغییر استراتژی آبیاری، تحقق نمی‌یابد. با بهبود راندمان

آبیاری به ۸۰ درصد، مقدار اثر بازگشتی آب کشاورزی (WRE) به ۱۰/۱ درصد کاهش می‌یابد. در حقیقت با تغییر راندمان آبیاری از ۶۰ درصد به ۸۰ درصد هرچند مقدار دسترسی واحد زراعی به آب افزایش می‌یابد، اما به دلیل این‌که امکان استفاده از آب بیش‌تر نه برای افزایش سطح زیرکشت و نه برای تغییر استراتژی آبیاری دیگر وجود ندارد، بنابراین اثر بازگشتی نیز کاهش می‌یابد و تنها ۱۰/۱ درصد مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری تحقق پیدا نمی‌کند، اما همان‌گونه که خواهید دید در شرایط افزایش محدودیت آب، اثر بازگشتی آب کشاورزی به یک پدیده کاملاً عادی تبدیل شده و بر مقدار آن افزوده می‌شود. جدول و نمودار۲، نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی اقدامات بهبود بهره‌وری آب را در شرایط محدودیت متوسط آب نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این حالت در سطح راندمان آبیاری ۴۰ درصد، چغندرقند از الگوی کشت حذف می‌شود. تعبیر بعدی مربوط به استراتژی آبیاری است، بدین صورت که در این سطح از راندمان آبیاری و با توجه به محدودیت نسبی آب، استراتژی تمام آبیاری برای هر دو محصول گندم و ذرت حذف شده و جای خود را به استراتژی کم آبیاری می‌دهد. کل آب مصرفی برای مزرعه نماینده در این شرایط برابر با ۲۰۱۴۹۶ مترمکعب است که نسبت به کل آب مصرفی مزرعه مشابه در شرایط محدود کم آب، حدود ۲۶ درصد کاهش نشان می‌دهد. اتخاذ استراتژی‌های کم آبیاری موجب بهبود بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب برای تمامی فعالیت‌های زراعی شده است و شاخص کل بهره‌وری آب نیز از ۴۹۴۲ ریال به ۵۶۷۷ ریال به ازای هر مترمکعب افزایش یافته است به بیان دیگر، افزایش محدودیت آب، بهره‌وری استفاده از آن را افزایش داده است (۱۴/۸۷ درصد). مقدار آب مصرفی این مزرعه با بهبود راندمان آبیاری به ۶۰ درصد، باید به ۱۳۴۳۳۱ مترمکعب کاهش یابد یا به بیان دیگر، مقدار صرفه‌جویی انتظاری آب (EWS) حدود ۶۷۱۶۵ مترمکعب پیش بینی می‌شود، اما آنچه که در عمل تحقق خواهد یافت، صرفه‌جویی آب به مقدار ۱۸۹۵۴ مترمکعب است

که به مراتب کم‌تر از مقدار صرفه‌جویی انتظاری آب است. دلیل این امر از بررسی جدول ۲ به راحتی برداشت می‌شود، نخست این‌که افزایش مقدار آب در دسترس، الگوی کشت را تغییر داده است به گونه ای که چغندرقند که در سطح راندمان کاربردی ۴۰ درصد در الگوی کشت حضور نداشت با بهبود راندمان کاربردی به مقدار ۱/۵ هکتار وارد الگوی بهینه کشت می‌شود. دوم این‌که به عمق آبیاری محصولات افزوده می‌شود به گونه‌ای که بخش قابل توجهی از سطح زیرکشت گندم و ذرت با استراتژی تمام آبیاری، مشروب می‌شوند و فعالیت‌های گندم ۳ و ۵ و ذرت ۳ و ۶ جای خود را به استراتژی‌های با مصرف آب بیش‌تری مانند گندم ۲ و ذرت ۲ می‌دهند. اگر مقدار آب صرفه‌جویی شده در خروجی مدل را از مقدار بالقوه صرفه‌جویی کسر کنیم، عدد ۴۸۲۱۱ مترمکعب بدست می‌آید. به بیان دیگر، مقدار آب مصرفی بازگشتی (RWU) به چرخه تولید برابر با ۴۸۲۱۱ مترمکعب می‌باشد که اگر این اعداد بر مقدار صرفه‌جویی انتظاری (EWS) تقسیم شود، اثر بازگشتی آب کشاورزی (WRE) به مقدار ۷۱/۷۸ درصد بدست می‌آید، یعنی نزدیک به ۷۲ درصد مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری به دلیل تغییر الگوی کشت و استراتژی آبیاری تحقق پیدا نمی‌کند. با تغییر راندمان آبیاری از ۶۰ ٪ به ۸۰ ٪، تمامی استراتژیهای کم آبیاری گندم و ذرت به استراتژی تمام آبیاری تغیر می‌کند و الگوی کشتی مشابه الگوی کشت در وضعیت محدود کم آب در راندمان کاربردی ۴۰ درصد به دست می‌آید. با بهبود راندمان آبیاری ا ز۴۰ درصد به ۸۰ درصد انتظار می‌رود که مقدار مصرف آب نصف شود، یعنی مقدار مصرف آب در مزرعه ۲۰۱۴۹۶ به ۱۰۰۷۴۸ کاهش پیدا کند و در نتیجه مقدار صرفه‌جویی انتظاری (EWS) معادل ۱۰۰۷۴۸ مترمکعب باشد. اما مقدار صرفه‌جویی آب که در مزرعه رخ خواهد داد معادل ۵۰۷۷۶ مترمکعب می‌باشد که اگر این اعداد بر مقدار صرفه‌جویی انتظاری تقسیم شود، اثر بازگشتی آب کشاورزی (WRE) معادل ۴۹/۶ درصد خواهد بود. علت کاهش اثر بازگشتی آب کشاورزی نسبت به حالت قبل، یعنی بهبود راندمان کاربردی از ۴۰ درصد به ۶۰ درصد به این علت است که با ارتقاء راندمان آبیاری از ۶۰ درصد به ۸۰ درصد دیگر تغییر الگوی کشت رخ نمی‌دهد و فقط شاهد تغییر استراتژی آبیاری البته به مقدار قابل توجهی می‌باشیم. بنابراین WRE در شرایط محدودیت متوسط آب بین ۵۰ تا ۷۲ درصد می‌تواند نوسان داشته باشد که بیانگر عدم توفیق برنامه‌ها و اقدام‌های حفاظت از آب به مقدار قابل توجهی است (نمودار ۲)، اما در وضعیت محدودیت شدید آب، پدیده اثر معکوس (Backfire Effect) رخ خواهد داد. همان گونه که از بررسی جدول و نمودار ۳ بدست می‌آید، کل مصرف آب در این شرایط برای مزرعه مورد مطالعه با بهبود راندمان کاربردی از ۴۰ درصد به ۶۰ درصد نه تنها کاهش نمی‌یابد بلکه از ۱۳۶۹۵۰ متر مکعب در سال فعلی به ۱۴۱۲۳۲ مترمکعب افزایش می‌یابد به این پدیده که بیانگر اثر بازگشتی آب کشاورزی (WRE) بیش از ۱۰۰ درصد

است، در اصطلاح اثر معکوس گفته می‌شود. دلیل وقوع پدیده این است که در این وضعیت، مجموع سطح زیرکشت مزرعه (کشت نخست + کشت دوباره) از ۱۴/۷۰۵ هکتار به ۱۹/۴۳ هکتار افزایش می‌یابد. این امر در کنار تغییر استراتژی آبیاری باعث می‌شود که با بهبود راندمان کاربردی نه تنها مصرف آب کاهش نیابد که ما حتی شاهد افزایش مصرف آب به مقدار ۴۲۸۲ مترمکعب نیز باشیم. در حقیقت با افزایش راندمان آبیاری از ۴۰ درصد به ۶۰ درصد انتظار می‌رفته است که مصرف آب از ۱۳۶۹۵۰ مترمکعب به ۹۱۳۰۰ مترمکعب در سال کاهش یابد یعنی مقدار صرفه‌جویی انتظاری آب (EWS) در این شرایط حدود ۴۵۶۵۰ مترمکعب پیش بینی می‌شود حال آنکه این مقدار صرفه‌جویی نه تنها رخ نداده که به مقدار ۴۲۸۲ مترمکعب نیز اضافه مصرف انجام شده است. بنابراین اگر این رقم با مقدار بالقوه صرفه‌جویی جمع زده شود به عدد ۴۹۹۳۲ مترمکعب خواهیم رسید که از تقسیم این رقم بر مقدار انتظاری صرفه‌جویی عدد ۱۰۹/۳۸ درصد بدست می‌آید که بیانگر پدیده اثر معکوس می‌باشد (نمودار ۲). مقدار اثر بازگشتی آب کشاورزی (WRE) بیش از ۱۰۰ درصد در مطالعات پفیفر و لین(۲۰۱۴) و سونگ و همکاران(۲۰۱۸) نیز گزارش شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در تمام موارد، بهبود بهره وری فیزیکی و اقتصادی آب با افزایش راندمان کاربردی و اتخاذ استراتژی کم آبیاری به گونه کامل مشهود است.

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه با ارائه تعریفی از اثر بازگشتی آب کشاورزی در سطح مزرعه، مقدار آن با روش مقایسه مستقیم در شرایط گوناگون محدودیت آب در قالب مدل برنامه‌ریزی ریاضی حداکثر کننده سود انتظاری تخصیص زمین اصلاح شده، شبیه‌سازی و تحلیل شده است. مطالعه حاضر بر اثر بازگشتی ناشی از تعدیل رفتار زارع یا به عبارت دیگر بر استراتژیهای تطبیقی زارع در پاسخ به بهبود کارایی آبیاری متمرکز است. هرچند فناوریهای کاراتر آبیاری معمولاً بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد اما همزمان بر هدف زارع یعنی حداکثر کردن سود انتظاری او نیز مؤثر است و می‌تواند به تغییر در عملکرد در هکتار، الگوی کشت، تناوب‌های زراعی و افزایش سطح زیرکشت آبیاری یعنی مصرف بیش‌تر آب منتج شود. بعد از مشخص کردن مقدار صرفه‌جویی انتظاری و تحقق یافته آب، تفاوت آنها به عنوان آب بازگشتی به چرخه تولید در نظر گرفته شد، از تقسیم این عدد بر مقدار صرفه‌جویی انتظاری، مقدار اثر بازگشتی آب کشاورزی به صورت درصد در شرایط مختلف محدودیت آب به دست آمد. نتایج فراهم آمده از پژوهش، حکایت از وجود اثر بازگشتی آب کشاورزی در حوضه آبریز مورد مطالعه دارد. مقدار اثر بازگشتی آب کشاورزی از حداقل ۱۰/۱ درصد در شرایط محدودیت کم آب که امکان افزایش سطح زیرکشت و تغییر الگوی کشت وجود

ندارد و تنها می‌توان با آب صرفه‌جویی شده، استراتژی آبیاری را تغییر داد شروع و به بیشینه ۱۰۹/۳۸ درصد در شرایطی که امکان افزایش سطح زیرکشت آبی و تغییر الگوی کشت و استراتژی آبیاری با هم وجود دارد، ختم می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت که در تمام شرایط در نظر گرفته شده، اقدامات حفاظت از منابع آب با موفقیت کامل همراه نبوده است. مقدار عدم توفیق نیز بین ۱۰ تا ۱۰۹ درصد متغیر بوده است. به بیان دیگر، معادل مقدار عدم توفیق، از آب صرفه‌جویی شده انتظاری کاسته شده و به چرخه تولیدات کشاورزی به صورت افزایش سطح زیرکشت، تغییر الگوی کشت و تغییر استراتژی آبیاری افزوده می‌شود. همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، مقدار اثر بازگشتی آب کشاورزی (WRE) بیش از ۱۰۰ درصد در مطالعات پفیفر و لین(۲۰۱۴) و سونگ و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش شده است، بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که هدف صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق بهبود روشهای آبیاری، آن گونه که انتظار می رود موثر نیست. به تعبیر دیگر نمی‌توان بکارگیری فناوری‌های آب اندوز را به عنوان تنها مسیر رسیدن به اهداف صرفه‌جویی آب یا حل مسئله کمیابی آن در نظر گرفت بلکه لازم است در این زمینه به مسئله اثر بازگشتی آب توجه ویژه داشت و برای رویارویی و تعدیل اثر بازگشتی آب کشاورزی، سیاست‌ها و اقدام‌هایی را همراه با سیاست‌های افزایش بهره وری آب از طریق ترویج فناوری های آب اندوز، بکار گرفت. در این راستا اگر بتوان با ایجاد حسابداری آب در مزرعه، حقابه پیش از اجرای روشهای مدرن آبیاری کشاورزان را به مقدار صرفه‌جویی انتظاری کاهش داد و بر وسعت اراضی موجود در چرخه کشاورزی آبی محدودیت شدید اعمال کرد، امکان وقوع پدیده اثر بازگشتی آب کشاورزی به کم‌ترین حد ممکن کاهش می‌یابد و در صورت وقوع از شدت آن به مقدار زیادی کاسته می‌شود. در این صورت می‌توان آب صرفه‌جویی شده را جهت اهداف محیط زیستی نظیر تعادل بخشی بین تغذیه و مقدار برداشت در سفره‌های آب زیر زمینی و تامین بخشی از حقابه تالاب ها و دریاچه ها بکار گرفت، اما باید مراقب انگیزه کشاورزان نیز بود یعنی اعمال محدودیتها نباید از تمایل آن‌ها برای استفاده از اقدامات حفاظتی آب بکاهد.

منابع

- زیبایی، م. و آخوند علی، ع. م. (۱۳۹۵). اثر بازگشتی به حالت اولیه یا معمای جیونز: مفهومی برای درک مناسبتر پیامدهای بهبود کارایی آب. نشریه علوم آب و خاک، سال بیستم، شماره ۷۸.
- عباسی، ف. و همکاران.(۱۳۹۴). ارتقای بهره‌وری مصرف آب، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان پژوهشات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه پژوهشات فنی و مهندسی کشاورزی.

- مظـاهری، م. و عبـدالمنافی، ن. (۱۳۹۶). بررسـی بحـران آب و پیامـدهای آن در کشـور، مرکـز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، شـماره مسلسـل: ۱۵۶۰۸.
- وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، گزارش آخرین آمار و ارقام مربوط به سدها و درصـد پربودن حجم مخازن، (۱۳۹۵).

Refrences

- Alcott, B., (2005). Jevons' paradox. Ecol. Econ. 54, 9–21.
- Berbel, J., & Mateos, L., (2014). Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model. Agric. Syst.128, 25–34.
- Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Rodríguez-Díaz, J.A., Camacho, E., & Montesinos, P., (2015). Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. Water Resour. Manag. 29, 663–678.
- Berkhout, P.H., Muskens, J.C., & Velthuijsen, J.W., (2000). Defining the rebound effect. Energ Policy 28, 425–432.
- Binswanger, M., (2001). Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? Ecol. Econ. 36, 119–132.
- Brinegar, H.R., & Ward, F.A., (2009). Basin impacts of irrigation water conservation policy.Ecol. Econ. 69, 414–426.
- Brookes, L., (1990). The greenhouse effect: the fallacies in the energy efficiency solution. Energ Policy 18, 199–201.
- Brookes, L., (2000). Energy efficiency fallacies revisited. Energ Policy 28, 355–366.
- Chai, Q., Gan, Y., Turner, N.C., Zhang, R.Z., Chao, & Siddique, K.H.M., (2014). Water-saving innovations in Chinese agriculture. Adv. Agron. 126, 149–202.
- Contor, B.A., & Taylor, R.G., (2013). Why improving irrigation efficiency increases total volume of consumptive use. Irrig. Drain. 62, 273–280.
- Dagnino, M., & Ward, F.A., (2012). Economics of agricultural water conservation: empirical analysis and policy implications. Int. J. Water Resour. Dev. 28, 577–600.
- Dinar, A., & Zilberman, D., (1991). The economics of resource-conservation, pollution-reduction technology selection: the case of irrigation water. Resour. Energy 13,323–348.
- Dumont, A., Mayor, B., & López-Gunn, E., (2013). Is the rebound effect or Jevons paradox a useful concept for better management of water resources?

Insights from the irrigation modernisation process in Spain. Aquat. Procedia 1, 64–76.
- Ellis, J.R., Lacewell, R.D., & Reneau, D.R., (1985). Estimated economic impact from adoption of water-related agricultural technology. West. J. Agric. Econ. 307–321.
- European, C., (2012). A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources. Author, pp. 11.
- Fernandez Garcia, I., Rodriguez Diaz, J.A., Camacho Poyato, E., Montesinos, P., & Berbel, J., (2014). Effects of modernization and medium term perspectives on water and energy use in irrigation districts. Agric. Syst. 131, 56–63.
- Freire-Gonz, A., & Lez, J., (2011). Methods to empirically estimate direct and indirect rebound effect of energy-saving technological changes in households. Ecol. Model. 223, 32–40.
- García-Garizábal, I., & Causapé, J., (2010). Influence of irrigation water management on the quantity and quality of irrigation return flows. J. Hydrol. 385, 36–43.
- Graveline, N. Majone, B. Van Duinen, R. & Ansink, E. (2013) Hydro-economic modeling of water scarcity under global change: an application to the Gállego river basin (Spain). Reg Environ Chang 14:119-132. doi:10.1007/s10113-013-0472-0
- Gomez, C.M., Perez-Blanco, C.D., (2014). Simple myths and basic maths about greening irrigation. Water Resour. Manag. 28, 4035–4044.
- Gómez, C.M. & Gutierrez, C. (2011). Enhancing irrigation efficiency but increasing water use: the Jevons' Paradox. EAAE 2011, Congress Change and Uncertainty Challenges for Agriculture, Food and Natural Resources. Zurich, Switzerland.
- Greening, L.A., Greene, D.L., & Difiglio, C., (2000). Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey. Energ Policy 28, 389–401.
- Graveline, N. Majone, B. Van Duinen, R. & Ansink, E. (2013). Hydro-economic modeling of water scarcity under global change: an application to the Gállego river basin (Spain). Reg Environ Chang 14:119-132. doi:10.1007/s10113-013-0472-0
- Gutierrez-Martin, C., & Gomez Gomez, C.M., (2011). Assessing irrigation efficiency improvements by using a preference revelation model. Span. J. Agric. Res. 9,1009–1020.
- Heumesser, C. Fuss, S. Szolgayová, J. Strauss, F. & Schmid, E. (2012) Investment in irrigation systems under precipitation uncertainty. Water Resour Manag 26(11): 3113-3137
- Hoekstra, A.Y., (2013). The Water Footprint of Modern Consumer Society. Routledge, New York.

- Huffaker, R., (2008). Conservation Potential of Agricultural Water Conservation Subsidies.
- Huffaker, R., & Whittlesey, N., (2000). The Allocative Efficiency and Conservation Potential of Water Laws Encouraging Investments in On-farm Irrigation Technology. 24. AGR Econ-Blackwell, pp. 47–60.
- Khazzoom, J.D., (1980). The incorporation of new technologies in energy supply estimation. In: Ziemba, W.T., Schwartz, S.L., Koenigsberg, E. (Eds.), Energy Policy
- Modeling: United States and Canadian Experiences. Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-8748-7_14.
- Lecina, S., Isidoro, D., Playan, E., & Aragues, R., (2010). Irrigation modernization and water conservation in Spain: the case of Riegos del Alto Aragon. Agric. Water Manag. 97, 1663–1675.
- Li, H., & Zhao, J., (2016). Rebound Effect of Irrigation Technologies? The Role of Water Rights. Author. 2016 Annual Meeting, July 31–August 2, 2016, Boston, Massachusetts Agricultural and Applied Economics Association.
- Loch, A., & Adamson, D., (2015). Drought and the rebound effect: a Murray–Darling Basin example. Nat. Hazards 79, 1429–1449.
- Lopez-Gunn, E., Zorrilla, P., Prieto, F., & Llamas, M.R., (2012). Lost in translation? Water efficiency in Spanish agriculture. Agric. Water Manag. 108, 83–95.
- Ouyang, J., Long, E., & Hokao, K., (2010). Rebound effect in Chinese household energy efficiency and solution for mitigating it. Energy 35, 5269–5276.
- Perry, C., (2007). Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations. Irrig. Drain. 56, 367–378.
- Peterson, J.M., & Ding, Y., (2005). Economic adjustments to groundwater depletion in the high plains: do water-saving irrigation systems save water? Am. J. Agric. Econ. 87, 147–159.
- Pfeiffer, L., & Lin, C.Y.C., (2014). Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. J. Environ. Econ. Manag. 67, 189–208.
- Playán, E., & Mateos, L., (2006). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. Agric. Water Manag. 80, 100–116.
- Qureshi, M.E., Schwabe, K., Connor, J., & Kirby, M., (2010). Environmental water incentive policy and return flows. Water Resour. Res. 46.
- Rodríguez-Díaz, J.A., Pérez-Urrestarazu, L., Camacho-Poyato, E., & Montesinos, P., (2011). The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand. Span. J. Agric. Res. 9, 1000–1008.

- Saunders, H.D., (2000). A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom–Brookes. Energ Policy 28, 439–449.
- Scheierling, S.M., Young, R.A., & Cardon, G.E., (2006). Public subsidies for water-conserving irrigation investments: hydrologic, agronomic, and economic assessment. Water Resour. Res. 42.
- Small, K.A., & Van Dender, K., (2007). Fuel efficiency and motor vehicle travel: the declining rebound effect. Energy J. 25–51.
- Sorrell, S., & Dimitropoulos, J., (2008). The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions. Ecol. Econ. 65, 636–649.
- Törnqvist, R., & Jarsjö, J., (2012). Water savings through improved irrigation techniques: basin-scale quantification in semi-arid environments. Water Resour. Manag. 26, 949–962.
- Wang, Z., & Lu, M., (2014). An empirical study of direct rebound effect for road freight transport in China. Appl. Energy 133, 274–281.
- Wang, H., Zhou, D.Q., Zhou, P., & Zha, D.L., (2012). Direct rebound effect for passenger transport: empirical evidence from Hong Kong. Appl. Energy 92, 162–167.
- Ward, F.A., & Pulido-Velazquez, M., (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 105, 18215–18220.
- Whittlesey, N., (2003). Improving irrigation efficiency through technology adoption: when will it conserve water? Dev. Water Sci. 50, 53–62.

پیوست‌ها

جدول ۱- الگوی کشت، استراتژی آبیاری، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی، مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری و اثر بازگشتی ناشی از بکارگیری سیستم‌های آبیاری نوین در سطح مزرعه در شرایط محدودیت کم آب.

	راندمان آبیاری ۴۰٪		
نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب ($Rials/m^3$)
گندم ۱	۳/۱۷۶	۰/۵۴۲	۲۶۵۷
گندم۲	۴/۸۲۴	۰/۵۳۳	۲۵۸۵
ذرت۱	۲/۱۱۳	۰/۵۳۲	۳۳۲۱
ذرت۲	۲/۸۹۴	۰/۵۳۷	۳۳۶۰
ذرت۳	۲/۹۹۳	۰/۷۴۹	۵۲۸۰
پیاز۱	۱/۵۰۰	۲/۳۵۰	۱۰۶۹۹
چغندرقند۱	۱/۵۰۰	۲/۱۸۲	۲۸۱۰
کل آب مصرفی (مترمکعب)		۲۷۳۸۱۴	
بازده برنامه‌ای کل (ریال)		۱۳۵۳۲۴۳۰۰	
شاخص کل بهره‌وری آب (ریال در هر مترمکعب)		۴۹۴۲	
مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری [۱](EWS) (مترمکعب)			
مقدار صرفه‌جویی آب واقعی [۲](AWS) (مترمکعب)			
مقدار آب مصرفی بازگشتی [۳](RWU) (مترمکعب)			
اثر بازگشتی آب کشاورزی [۴](WRE) درصد			

[۱]- Expected Water Saving
[۲] - Actual Water Saving
[۳] - Rebound Water Use
[۴]- Agricultural Water Rebound Effect

		راندمان آبیاری ۶۰٪	
نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب ($Rials/m^3$)
گندم ۱	۸	۰/۸۱۳	۴۷۳۶
ذرت۱	۸	۰/۷۹۸	۵۷۳۲
پیاز۱	۱/۵	۳/۵۲۵	۱۶۷۹۹
چغندرقند۱	۱/۵	۳/۲۷۲	۴۹۶۶

۲۰۰۹۶۰
۱۴۸۰۰۰۱۰۰
۷۳۶۴
۲۷۳۸۱۴ − ۱۸۲۵۴۳ = ۹۱۲۷۱
۲۷۳۸۱۴ − ۲۰۰۹۶۰ = ۷۲۸۵۴
۹۱۲۷۱ − ۷۲۸۵۴ = ۱۸۴۱۷
$\frac{۱۸۴۱۷}{۹۱۲۷۱}\times ۱۰۰ = ۲۰/۲\%$

راندمان آبیاری ۸۰٪			
نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب ($Rials/m^3$)
گندم ۱	۸	۱/۰۸۴	۶۸۱۴
ذرت۱	۸	۱/۰۶۵	۸۱۴۳
پیاز۱	۱/۵	۴/۷۰۰	۲۲۸۹۹
چغندرقند۱	۱/۵	۴/۳۶۳	۷۱۲۱

۱۵۰۷۲۰
۱۵۱۷۶۸۱۰۰
۱۰۰۶۹
۲۷۳۸۱۴ − ۱۳۶۹۰۷ =۱۳۶۹۰۷
۲۷۳۸۱۴ − ۱۵۰۷۲۰ = ۱۲۳۰۹۴
۱۳۶۹۰۷ − ۱۲۳۰۹۴ = ۱۳۸۱۳
$\frac{۱۳۸۱۳}{۱۳۶۹۰۷}\times ۱۰۰ = ۱۰/۱\%$

جدول ۲- الگوی کشت، استراتژی آبیاری، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی، مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری و اثر بازگشتی ناشی از بکارگیری سیستم‌های آبیاری نوین در سطح مزرعه در شرایط محدودیت متوسط آب.

راندمان آبیاری ۴۰٪			
نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب($Rials/m^3$)
گندم ۲	۰/۵۳۰	۰/۵۳۳	۲۵۸۵
گندم۳	۳/۶۳۵	۰/۵۲۱	۲۵۰۱
گندم۵	۵/۳۳۵	۰/۵۶۱	۲۸۰۴
ذرت۳	۶/۱۲۱	۰/۷۴۹	۵۲۸۰
ذرت۶	۲/۰۵۱	۰/۵۱۰	۳۱۲۱
پیاز۱	۱/۵۰۰	۲/۳۵۰	۱۰۶۹۹

کل آب مصرفی (مترمکعب)	۲۰۱۴۹۶
بازده برنامه‌ای کل (۱۰ریال)	۱۱۴۳۹۰۲۰۰
شاخص کل بهره‌وری آب (ریال به ازای هرمترمکعب)	۵۶۷۷
مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری (EWS) (مترمکعب)	
مقدار صرفه‌جویی آب واقعی (AWS) (مترمکعب)	
مقدار آب مصرفی بازگشتی(RWU) (مترمکعب)	
اثر بازگشتی آب کشاورزی(WRE) درصد	

راندمان آبیاری ۶۰٪			
نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب ($Rials/m^3$)
گندم ۱	۳/۱۷۶	۰/۸۱۳	۴۷۳۶
گندم ۲	۴/۸۲۴	۰/۷۹۹	۴۶۲۸
ذرت۱	۲/۱۱۳	۰/۷۹۸	۵۷۳۲
ذرت۲	۲/۸۹۴	۰/۸۰۵	۵۷۹۰
ذرت۳	۲/۹۹۳	۱/۱۲۳	۸۶۷۰
پیاز۱	۱/۵۰۰	۳/۵۲۵	۱۶۷۹۹
چغندرقند۱	۱/۵۰۰	۳/۲۷۲	۴۹۶۶
		۱۸۲۵۴۲	
		۱۴۲۱۶۹۶۰۰	
		۷۷۸۸	
۲۰۱۴۹۶ − ۱۳۴۳۳۱ = ۶۷۱۶۵			
۲۰۱۴۹۶ − ۱۸۲۵۴۲ = ۱۸۹۵۴			
۶۷۱۶۵ − ۱۸۹۵۴ = ۴۸۲۱۱			
$\frac{۴۸۲۱۱}{۶۷۱۶۵}\times ۱۰۰ = ۷۱/۷۸\%$			

راندمان آبیاری ۸۰٪			
نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب($Rials/m^3$)
گندم ۱	۸	۱/۰۸۴	۶۸۱۴
ذرت۱	۸	۱/۰۶۵	۸۱۴۳
پیاز۱	۱/۵	۴/۷۰۰	۲۲۸۹۹
چغندرقند۱	۱/۵	۴/۳۶۳	۷۱۲۱

۱۵۰۷۲۰
۱۵۱۷۶۸۱۰۰
۱۰۰۶۹
۲۰۱۴۹۶ − ۱۰۰۷۴۸ =۱۰۰۷۴۸
۲۰۱۴۹۶ − ۱۵۰۷۲۰ = ۵۰۷۷۶
۱۰۰۷۴۸ − ۵۰۷۷۶ = ۴۹۹۷۲
$\frac{۴۹۹۷۲}{۱۰۰۷۴۸}\times ۱۰۰ = ۴۹/۶\%$

جدول ۳- الگوی کشت، استراتژی آبیاری، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی، مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری و اثر بازگشتی ناشی از بکارگیری سیستم‌های آبیاری نوین در سطح مزرعه در شرایط محدودیت شدید آب.

	راندمان آبیاری ۴۰٪		
نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب($Rials/m^3$)
گندم ۵	۰/۲۹۰	۰/۵۶۱	۲۸۰۴
گندم ۷	۷/۷۱۰	۰/۵۰۶	۲۳۷۳
ذرت۳	۴/۴۱۹	۰/۷۴۹	۵۲۸۰
ذرت۶	۰/۷۸۶	۰/۵۱۰	۳۱۲۱
پیاز۱	۰/۹۱۱	۲/۳۵۰	۱۰۶۹۹
پیاز۲	۰/۵۸۹	۲/۳۹۸	۱۰۹۵۲

کل آب مصرفی (مترمکعب)	۱۳۶۹۵۰
بازده برنامه‌ای کل	۸۴۸۹۵۷۳۰۰
شاخص کل بهره‌وری آب	۶۱۹۸
مقدار صرفه‌جویی آب انتظاری[۱] (EWS) (مترمکعب)	
مقدار صرفه‌جویی آب واقعی[۲] (AWS) (مترمکعب)	
مقدار آب مصرفی بازگشتی[۳] (RWU) (مترمکعب)	
اثر بازگشتی آب کشاورزی[۴](WRE) (درصد)	

رانداﻣان آبیاری ۶۰٪			
نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب ($Rials/m^3$)
گندم ۲	۰/۷۶۰	۰/۷۹۹	۴۶۲۸
گندم ۳	۵/۴۲۱	۰/۷۸۲	۴۵۰۱
گندم ۵	۳/۳۱۹	۰/۸۴۲	۴۹۵۶
ذرت۳	۶/۰۳۴	۱/۱۲۳	۸۶۷۰
ذرت۵	۲/۳۹۶	۰/۷۷۶	۵۵۳۳
پیاز۱	۱/۵۰۰	۳/۵۲۵	۱۶۷۹۹

۱۴۱۲۳۲
۱۲۳۰۳۳۱۰۰
۸۷۱۱
۱۳۶۹۵۰ − ۹۱۳۰۰ = ۴۵۶۵۰
۱۳۶۹۵۰ − ۱۴۱۲۳۲ = -۴۲۸۲
۴۵۶۵۰ − (-۴۲۸۲) = -۴۹۹۳۲
$\frac{۴۹۹۳۲}{۴۵۶۵۰}\times ۱۰۰ = ۱۰۹/۳۸\%$

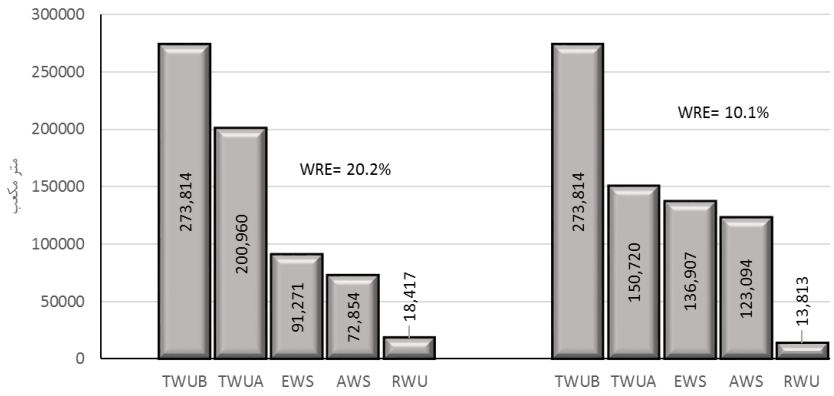
راندمان آبیاری ۸۰٪			
نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (Kg/m^3)	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب ($Rials/m^3$)
گندم ۱	۱/۰۴۶	۱/۰۸۴	۶۸۱۴
گندم ۲	۶/۹۵۴	۱/۰۶۵	۶۶۷۱
ذرت۲	۳/۱۶۰	۱/۰۷۳	۸۲۲۱
ذرت۳	۴/۶۷۷	۱/۴۹۷	۱۲۰۶۱
ذرت۵	۰/۱۶۳	۱/۰۳۵	۷۸۷۷
پیاز۱	۱/۵۰۰	۴/۷۰۰	۲۲۸۹۹
چغندرقند۱	۱/۵۰۰	۴/۳۶۳	۷۱۲۱
		۱۳۰۰۷۷	
		۱۴۲۸۵۴۸۰۰	
		۱۰۹۸۲	

۱۳۶۹۵۰ − ۶۸۴۷۵ =۶۸۴۷۵

۱۳۶۹۵۰ − ۱۳۰۰۷۷ = ۶۸۷۳

۴۷۵۶۸ − ۶۸۷۳ = ۶۱۶۰۲

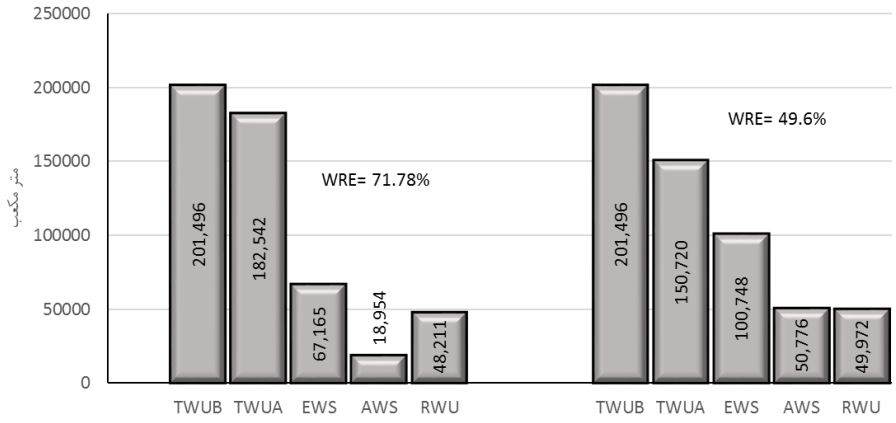
$\frac{۶۱۶۰۲}{۶۸۴۷۵} \times ۱۰۰ = ۸۹/۹۶\%$



بهبود راندمان آبیاری از ۴۰ درصد به ۶۰ درصد

بهبود راندمان آبیاری از ۴۰ درصد به ۸۰ درصد

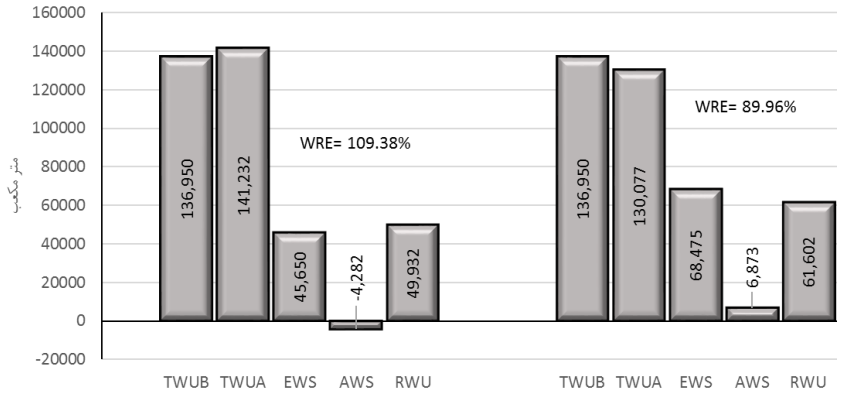
نمودار ۱- مقدار آب مصرفی پیش (TWUB) و پس (TWUA) از بهبود راندمان آبیاری، مقدار آب صرفه‌جویی شده انتظاری (EWS)، مقدار آب صرفه‌جویی شده پژوهش یافته (AWS)، و مقدار آب بازگشتی (RWU) در شرایط محدود کم آب.



بهبود راندمان آبیاری از ۴۰ درصد به ۸۰ درصد

بهبود راندمان آبیاری از ۴۰ درصد به ۶۰ درصد

نمودار ۲- مقدار آب مصرفی پیش (TWUB) و پس (TWUA) از بهبود راندمان آبیاری، مقدار آب صرفه‌جویی شده انتظاری (EWS)، مقدار آب صرفه‌جویی شده پژوهش یافته (AWS)، و مقدار آب بازگشتی (RWU) در شرایط محدود متوسط آب.



بهبود راندمان آبیاری از ۴۰ درصد به ۸۰ درصد

بهبود راندمان آبیاری از ۴۰ درصد به ۶۰ درصد

نمودار ۳- مقدار آب مصرفی پیش (TWUB) و پس (TWUA) از بهبود راندمان آبیاری، مقدار آب صرفه‌جویی شده انتظاری (EWS)، مقدار آب صرفه‌جویی شده پژوهش یافته (AWS)، و مقدار آب بازگشتی (RWU) در شرایط محدود شدید آب.