10.22092/rafhc.2013.100131

مجله علمی- ترویجی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی
جلد ۲، شماره ۱، سال ۱۳۹۲

چالش‌ها و راهکارهای افزایش کارایی مصرف آب گیاهان زراعی در ایران

نادر حیدری

عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۴/۱۷

چکیده

حیدری ن (۱۳۹۲) چالش‌ها و راهکارهای افزایش کارایی مصرف آب گیاهان زراعی در ایران. **مجله یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی ۲ (۱): ۵۱-۲۵.**

از شاخص‌های اساسی در تعیین کارایی استفاده از آب جهت تولید محصولات کشاورزی، شاخص کارایی مصرف آب می‌باشد. در منابع علمی این شاخص در مقیاس‌های مدیریتی گیاه، مزرعه، شبکه آبیاری، و یا حوضه آبریز تعریف و بررسی شده است. گیاه به تنهایی نقش مهمی در استفاده بهینه از آب و افزایش کارایی مصرف آب کشاورزی دارد. مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی (نظیر کم آبی، شوری، گرما و غیره)، و سایر عوامل فیزیولوژیکی گیاهی تأثیرگذار بر تولید زیست توده و عملکرد نهایی به ازای واحد آب مصرفی، تماماً می‌توانند بر کارایی مصرف آب در مقیاس گیاه تأثیرگذار باشند. در این مقاله ضمن تشریح مفهوم و روابط کارایی مصرف آب گیاه و چالش‌ها و راهکارهای بهبود آن، نتایج تحقیقات مختلف در این زمینه در کشور به صورت جمع‌بندی ارایه و تحلیل شده است. برای افزایش کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی، گیاه نقش اساسی در کنار سایر اقدامات صرفه‌جویی آب ایفا می‌نماید. برنامه‌ها و اقدامات کاهش آب مصرفی و افزایش عملکرد باید به طور همزمان و مرتبط با هم باشند. این رویکرد برای افزایش کارایی مصرف آب، رویکرد علمی‌تر و عملی‌تر برای نیل به اهداف برنامه‌های توسعه در کشور و امنیت غذایی از منابع محدود آب آبیاری می‌باشد. علاوه بر اقدامات فنی مرتبط، همچنین مهمترین فاکتور در بالا بردن کارایی مصرف آب گیاه، مدیریت زراعی بوده و مهارت و دانش فنی کشاورز نقش کلیدی در این زمینه ایفا می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: چالش، راهکار، کارایی، گیاه و مصرف آب

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: nrheydari@yahoo.com

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک ۸۰ درصد منابع آب تجدید شونده صرف کشاورزی می‌گردد (۱۲). این میزان در ایران بالغ بر ۹۳ درصد است (۹). کمبود منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک نظیر کشور ایران، ضرورت استفاده بهینه از آب برای تولید محصولات کشاورزی را نمایان می‌سازد. یکی از شاخص‌های اساسی در تعیین استفاده کارا از آب جهت تولید محصولات کشاورزی شاخص کارایی مصرف آب[1] (WUE) می‌باشد. کارایی مصرف آب برای اولین بار در سال ۱۹۵۸ به صورت نسبت میزان عملکرد گیاه (برحسب کیلوگرم) به میزان تعرق گیاه (برحسب مترمکعب) بیان شد(۴). این شاخص نشان دهنده میزان تولید (عملکرد) در ازای واحد حجم آب آبیاری مصرفی در واحد هکتار است. یعنی کارایی مصرف آب به مقدار محصولی گفته می‌شود که از هر واحد حجم آب بدست می‌آید و معمولا به واحد کیلوگرم بر مترمکعب ارایه می‌گردد. لازم به ذکر است در تعریف شاخص کارایی مصرف اجزای تشکیل‌دهنده این شاخص (صورت کسر عملکرد و مخرج کسر آب مصرفی) به صور مختلف ارایه شده‌اند. مثلاً صورت کسر می‌تواند عملکرد تر یا خشک محصول، بیوماس، پروتئین تولیدی، کالری ایجاد شده و غیره باشد. مخرج کسر نیز می‌تواند حجم آب خالص، حجم آب ناخالص، و یا میزان آب تبخیر و تعرق شده از گیاه باشد. در واقع کارایی مصرف آب بیانگر رابطه کمی میان نهاده‌ها و ستاده‌های سیستم می‌باشد و از دیدگاه متخصصان آبیاری، زراعت، فیزیولوژی، اقتصاد و همچنین کاربرها دارای مفاهیم مختلفی است (۳). متخصصان پیشرو کارایی مصرف آب را معادل با نیاز آبی گیاه می‌دانستند. متخصصان زراعت کارایی مصرف آب را نسبت ماده خشک تولید شده به ازای واحد آب مصرف شده تعریف می‌کنند. از آنجا که اساس تولید و مصرف در گیاهان، فتوسنتز و تعرق می‌باشد، لذا فیزیولوژیست‌های گیاهی،کارایی مصرف آب را «نسبت فتوسنتز به تعرق به ازای واحد سطح برگ یا واحد بوته گیاه در یک دوره زمانی معین» تعریف می‌نمایند (۵). به عبارت دیگر بحث کارایی مصرف آب و یا بهره‌وری آب بسیار وابسته به مقیاس و محدوده‌ای است که ما به آن پرداخته‌ایم و بسته به مقیاس‌های مدیریتی گیاه، مزرعه، شبکه آبیاری، و یا حوضه آبریز اجزای این شاخص می‌تواند متفاوت باشد. با این وجود یک اصل در همه این تعابیر مختلف وجود دارد که صورت کسر تولید و مخرج آب مصرفی است. بنابراین شاخص کارایی مصرف آب آبیاری مورد استفاده برای تولید محصول مورد نظر را می‌توان به صورت رابطه ۱ ارایه نمود:

[1] -Water Use Efficiency

$$\text{کارایی مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد (فتوسنتزی، بیولوژیکی، اقتصادی)}}{\text{واحد آب مصرفی (تعرق، تبخیر و تعرق و یا حجم آب مصرفی)}} \quad (۱)$$

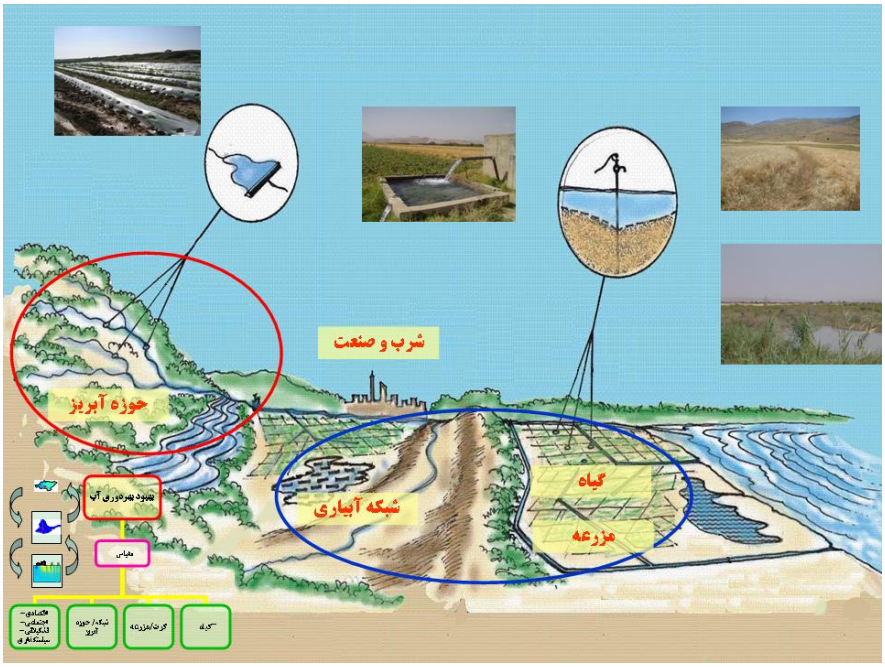
وابستگی تولید به آب آبیاری در ایران زیاد است و عمده تولیدات غذایی کشور نیز از کشاورزی فاریاب (زراعت آبی) می‌باشد. جمعیت کشور در سال ۱۴۰۴ بالغ بر ۸۹ میلیون نفر بر آورد می‌گردد. در سال مزبور برای تأمین احتیاجات غذایی کشور باید کل تولیدات کشاورزی حداقل ۱۷۲ میلیون تن باشد که از این میزان ۱۶۰ میلیون تن آن باید توسط کشاورزی فاریاب تأمین گردد. با فرض حداکثر امکان تأمین ۱۰۰ میلیارد مترمکعب آب برای بخش کشاورزی در آن سال، کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی فاریاب باید به حدود ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب برسد. در صورتی که درحال حاضر کارایی مصرف آب کشاورزی کشور حدود یک کیلوگرم بر مترمکعب و بازده (راندمان) آبیاری در اراضی زیر کشت آبی (زراعی و باغی) حدود ۴۰ درصد برآورد شده است (۴).

در این مقاله مروری، ضمن تشریح مفهوم و روابط کارایی مصرف آب گیاه و چالش‌ها و راهکارهای بهبود آن، نتایج تحقیقات مختلف در این زمینه در کشور به صورت جمع‌بندی ارایه و تجزیه و تحلیل شده است.

کارایی مصرف آب گیاه

در مدیریت منابع آب و خاک کشور به بحث جامع‌نگری و سطوح مختلف مدیریتی در این زمینه خیلی توجه نشده است. به عنوان نمونه بهره‌برداری از بسیاری از پروژه‌های آبی منجر به بروز مشکلاتی نظیر تأثیرات بالا دست بر پایین دست، گسترش بی‌رویه اراضی تحت کشت، تغییرات الگوی کشت، کم آبی، تنش‌های اجتماعی، افت و آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی، و زهکشی و مسائل زیست محیطی و سایر مشکلات گردیده است. با توجه به منابع علمی جدید جهانی، مسائل و معضلات بخش آب و خاک باید بطور سیستماتیک در سطوح (یا مقیاس‌های) حوضه آبریز، شبکه آبیاری، مزرعه، و گیاه و با توجه به مسائل اقتصادی، اجتماعی، سیاستگذاری، تشکیلاتی مرتبط، به طور همزمان بررسی گردد.

در نظر گرفتن مقیاس‌های مختلف در زمینه مدیریت آب کمک می‌نماید تا مشکل تعریف بهره‌وری آب "محصول بیشتر با آب کمتر" یعنی "کدام محصول و کدام آب" را حل نماییم (۱۱). مصرف و مدیریت آب در کشاورزی، مقیاس‌های مختلفی از جمله گیاه، کرت، مزرعه، سیستم توزیع آب، حوضه آبریز، کشور، و جهان را در برمی‌گیرد (۱۱) (شکل ۱). زمانیکه مقیاس مدیریت آب، گیاه است، در زمینه مسائلی نظیر فرایندهای فیزیولوژیکی، فتوسنتز، جذب مواد غذایی، و تنش گیاهی



شکل ۱- تصویر شماتیکی از نگرشی سیستمی و جامع به بحث بهره‌وری آب در مقیاس‌های مختلف (گیاه، مزرعه، شبکه، و حوضه آبریز) (۴)

تمرکز می‌نماییم. دامنه موضوعات و عوامل مرتبط در این مقیاس شامل موضوع کارایی مصرف آب گیاه در سیستم‌های زراعی مختلف، جذب و استفاده آب توسط گیاه، مدیریت آب توسط کشاورزان، ارقام گیاهی متحمل به خشکی، اصلاح ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی و خشکی، مدیریت خشکسالی، بیوتکنولوژی، بهبود ژنتیکی، الگوی کشت و عملیات به‌زراعی می‌گردد. در مقیاس کرت و مزرعه، فرایندهای دلخواه مختلف بوده و به عنوان نمونه شامل مواردی نظیر کاربرد کودها، فعالیت‌های حفظ رطوبت در خاک توسط عملیات خاک‌ورزی و غیره می‌باشند. وقتی که آب در یک شبکه آبیاری توزیع می‌شود، فرایندهای مهم در این مقیاس شامل تخصیص آب، توزیع آب، حل مناقشات و مسائل زهکشی هستند. در مقیاس حوضه آبریز، تخصیص و توزیع آب مهم است، اما آنها شامل موارد مختلفی از مصارف و مصرف کنندگان نیز می‌گردند. در مقیاس‌های ملی و بین‌المللی (کشوری و جهانی)، تجارت، قیمتها، و آب مجازی مطرح می‌گردند. به هر حال فرایندهای بین این مقیاس‌ها دارای ارتباطات داخلی هستند. نتیجه‌گیری شده است که مسئله مقیاس، در برداشت ما از مفهوم کارایی و بهره‌وری آب تأثیر بسیار زیادی دارد (۱۱). مسائل و معضلات بخش آب و

خاک بایستی بطور سیستماتیک در سطوح (یا مقیاس‌های) حوضه آبریز، شبکه، مزرعه و گیاه همزمان بررسی گردد (شکل ۱).

مفهوم کارایی مصرف آب در سطوح مختلف مدیریت آب تفاوت‌های زیادی با هم دارند. در این ارتباط کارایی مصرف آب گیاه در سه سطح تعریف شده است (۷). اولین تعریف کارایی مصرف آب بر پایه تبخیر و تعرق بنا شده است. بر این اساس کارایی مصرف آب گیاه عبارت است از نسبت مقدار زیست توده تولید شده به مجموع مقدار آب تعریق شده از سطح گیاه و مقدار آب تبخیر شده از سطح خاک. تعریف دوم عبارت است از نسبت مقدار ماده تولید شده به مقدار آب آبیاری. در تعریف سوم نسبت مقدار ماده تولید شده به مقدار آب آبیاری و بارندگی به عنوان کارایی مصرف آب معرفی شده است. از نقطه نظر فیزیولوژی گیاهی نیز دو تعریف در این زمینه ارایه شده است (۱۳) که عبارتند از: (الف) راندمان مصرف آب یعنی نسبت مقدار ماده تولید شده به مقدار آب تعریق شده از سطح گیاه و (ب) راندمان تعرق که عبارت است از نسبت فتوسنتز به مقدار آب تعریق شده از سطح گیاه. تعاریف فوق‌الذکر توسط محققین مختلف نشان می‌دهد که مفهوم کارایی مصرف آب گیاه از دیدگاه‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد.

یکی از شاخص‌های بسیار مهم که در تعریف مفهوم کارایی مصرف آب از آن استفاده شده است سیستم گیاهی و به ویژه سیستم گیاهی دیم می‌باشد. در سیستم کشت گیاهان دیم سعی بر این است که میزان کارایی مصرف آب (با مخرج کسر آب آبیاری + بارندگی) را با کشت ارقام گیاهی که کاملاً از آب باران به عنوان آب مورد نیاز خود استفاده می‌نمایند به حداکثر مقدار خود برسانند. متقابلاً مفهوم یا تعریف کارایی مصرف آب (با مخرج کسر تبخیر و تعرق) به عنوان یک پارامتر بسیار با ارزش می‌باشد که با آن می‌توان گیاهان با راندمان مصرف بالای آب و مدیریت بهینه کشاورزی را در زمینه مصرف آب ارزیابی نمود. مقایسه این دو تعریف کارایی مصرف آب اطلاعاتی را فراهم می‌نماید که امکان استفاده از نزولات جوی را با توجه به ساختمان ریشه گیاه و شرایط و ساختار ساختمان خاک، می‌توان ارزیابی نمود (۱).

در سیستم کشت گیاهان دیم که در آن از آبیاری تکمیلی برای تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه استفاده می‌شود مفهوم کارایی مصرف آب (با مخرج کسر آب آبیاری) می‌تواند به عنوان شاخص مهمی برای ارزیابی بهترین زمان مناسب آبیاری در این سیستم کشت بکار گرفته شود، در صورتی که مفهوم کارایی مصرف آب با مخرج کسر تبخیر و تعرق، می‌تواند به عنوان شاخصی برای ارزیابی راندمان آبیاری گیاهان مختلف و ارقام مختلف و مدیریت‌های متفاوت بکار گرفته شود. این مفهوم زمانی کاربرد لازم را برای ارزیابی پیدا خواهد کرد که فقط به

مقدار آب تبخیر و تعرق شده از سطح گیاه و مزرعه توجه داشته باشیم که در آن صورت این شاخص فقط به نوع و رفتار گیاهان بستگی پیدا می‌نماید. در صورتی که مفهوم شاخص کارایی مصرف آب بر اساس آب آبیاری و آب آبیاری + بارندگی، به عنوان شاخص‌هایی می‌باشند که نه فقط تبخیر و تعرق را در برمی‌گیرند، بلکه آب مصرفی در کل مزرعه را که ممکن است شامل نفوذ عمقی، آب خارج شده از مزرعه و غیره باشد را نیز در برگیرند (۱).

خصوصیات ذاتی گیاه و ارتباط متقابل گیاه با عوامل محیطی نقش زیادی در افزایش کارایی مصرف آب دارد. فعالیت‌ها و اهداف به‌نژادی و به‌زراعی برای تولید ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی (خشکی، شوری، سرما، و ...) نقش بسزایی در این ارتباط دارد. در سال‌های اخیر با پیشرفت علم بیوتکنولوژی پیشرفت‌های زیادی در اصلاح ارقام و ایجاد ارقام گیاهی با تولید و عملکرد بیشتر حاصل شده است. روش‌های کنترل تعرق از گیاه و در نظر گرفتن مسائل بوم‌شناسی کشاورزی نیز نقش مهمی در استفاده بهینه از آب و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای کشت محصولات دارد. اهداف و فعالیت‌های اصلاح ارقام محصولات کشاورزی در طی قرن اخیر در ترکیب با سایر عوامل تولید به طور غیر مستقیم سبب افزایش کارایی مصرف آب کشاورزی گردیده است. زیرا در این حالت عملکرد محصول بدون استفاده از آب بیشتر افزایش یافته است. بیشتر تأثیرات برنامه‌های اصلاح ارقام بر افزایش عملکرد ناشی از بهبود شاخص برداشت[1] بوده است (۱۰).

"گیاه" نقش مهمی در استفاده بهینه از آب و افزایش بهره وری آب کشاورزی دارد. مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی (نظیر کم آبی، شوری، گرما و...)، باز شدن روزنه ها در عمل فتوسنتز و خروج آب از گیاه، جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه‌ها، تولید زیست توده[2] و عملکرد نهایی به ازای واحد آب مصرفی، تماماً می‌توانند بر بهره‌وری آب در مقیاس گیاه تأثیرگذار باشند.

مسائل، چالش‌ها، و راهکارهای افزایش کارایی مصرف آب گیاه

در بحث کمبود آب و تولیدات گیاهی در این شرایط، پارامترها و عوامل مختلفی معمولاً مورد بحث و بررسی و تحقیق قرار گرفته و راهکارهای مرتبط با آن نیز ارایه شده‌اند. بر اساس مرور منابع مختلف در این زمینه، مباحث و موضوعات زیر معمولاً مورد بررسی قرار گرفته و به عنوان راهکار ارایه شده‌اند: آب مصرفی توسط گیاه، مدیریت استفاده از آب توسط کشاورزان، تنش خشکی، اصلاح نژاد گیاهان برای تحمل به خشکی، راه‌کارهای مدیریت جامع تنش‌خشکی، عکس‌العمل گیاهان به کمبود رطوبتی خاک، راهکارهای

۱- Harvest Index

۲- Biomass

ارتقاء ژنتیکی گیاهان، تولید ارقام جدید گیاهی متناسب با شرایط آب و هوایی هر منطقه، راهکارهای افزایش کارایی مصرف آب سطح گیاه با مدیریت آبهای شور، تناوب زراعی، مدیریت سطح ایستایی در مناطقی که سطح آب زیرزمینی در عمق کمی قرار دارد، ملاحظات ویژه برای استفاده از آب شور برای گیاهان، فصل مناسب کاشت، جایگزینی گیاه، افزایش آب قابل استفاده توسط گیاه، افزایش ظرفیت جذب آب گیاهان، الگوی کاشت و مدیریت‌های زراعی و غیره. همانگونه که ملاحظه می‌شود طیف وسیعی از عوامل و راهکارها در این زمینه در منابع ارایه شده‌اند.

راندمان و کارایی زیست توده به ازای آب مصرفی در واقع زنجیره‌ای از راندمان‌های اجزاء سیستم تولید می‌باشد شائو و همکاران زنجیره راندمان‌های آبیاری و عملکرد محصول را به صورت زیر (رابطه ۲) بیان نمود (۸):

$$E_{all} = \frac{W_{fg}}{W_{vo}} \times \frac{W_{fd}}{W_{fg}} \times \frac{W_{rz}}{W_{fd}} \times \frac{W_{et}}{W_{rz}} \times \frac{W_{tr}}{W_{et}} \times \frac{m_{as}}{W_{tr}} \times \frac{m_{bn}}{m_{as}} \times \frac{m_{yld}}{m_{bm}} \times \frac{m_{yid}}{W_{vo}} \qquad (۲)$$

که در آن:

E_{all}: راندمان کل آبیاری

$\frac{Wfg}{Wvo}$: راندمان انتقال آب (W_{fg}= مقدار آب دریافت شده در محل دریچه توزیع آب و W_{vo}: مقدار آب منحرف شده از محل مخزن یا منبع آب)

تلفات آب در این مرحله شامل نشت و تبخیر آب از کانال‌ها می‌باشد. راندمان این مرحله بستگی به وضعیت شبکه آبیاری و فعالیت‌های مهندسی و مدیریتی در آن دارد و می‌تواند از خیلی کم تا خیلی زیاد تغییر نماید (۸).

بعد از آنکه آب به مزرعه رسید، می‌تواند به طور موقت ذخیره شود (که بستگی به کشاورز دارد) و بعد از آن به قطعات زراعی برای آبیاری توزیع و تقسیم می‌گردد. برای سادگی معمولاً این دو مرحله ذخیره و انتقال آب در مزرعه را در یک مرحله ادغام نموده و آن راندمان مزرعه (راندمان قطعات زراعی E_{farm}) خوانده می‌شود و برابر نسبت W_{fd}/W_{fg} می‌باشد که در آن W_{fg}: آب تحویلی در دریچه مزرعه و W_{fd} آب در ابتدای مزرعه می‌باشد. وقتی آب در ابتدای مزرعه است می‌تواند به عنوان آب آبیاری به گیاه داده شود.

گیاه فقط می‌تواند آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه (W_{rz}) را استفاده نموده و آبی که در سطح مزرعه به صورت رواناب خارج می‌شود و یا به صورت نفوذ عمقی به اعماق زیر منطقه توسعه ریشه می‌رود، جزء تلفات محسوب می‌شود. این مرحله در مهندسی آبیاری به خوبی شناخته شده و راندمان آن به نام راندمان کاربرد (E_{appl}) می‌باشد که برابر است با W_{rz}/W_{fd}.

تا به مرحله عملکرد گیاه پنج مرحله دیگر

مورد نیاز است. اولین آن یا در واقع چهارمین مرحله زنجیره راندمان‌ها، راندمان مصرف (W_{et}) می‌باشد که برابر است با W_{et}/W_{rz} و در واقع روشی برای تعیین راندمان تخلیه رطوبت منطقه توسعه ریشه با تبخیراز خاک و تعرق از گیاه (W_{et}) می‌باشد. پایین بودن راندمان در این مرحله ناشی از رطوبت باقی مانده در خاک در زمان برداشت محصول می‌باشد. یعنی در واقع رطوبت درخاک باقی مانده و به استفاده گیاه نخواهد رسید و به تدریج بلااستفاده، تبخیر خواهد شد.

مرحله بعد راندمان تعرق می‌باشد ($E_{tr}=W_{tr}/W_{et}$) که بیانگر راندمان جذب آب توسط گیاه و تعرق آن (W_{tr}) می‌باشد و در واقع تعرق از گیاه را از تبخیر از خاک تفکیک می‌نماید.

مرحله بعدی راندمان جذب است ($E_{as}=m_{as}/W_{tr}$) که بیانگر نسبت جذب گاز دی‌اکسیدکربن توسط عمل فتوسنتز درگیاه (m_{as}) می‌باشد. واحدهای این نسبت در اینجا حجم گاز دی اکسیدکربن جذب شده به حجم آب است.

مرحله بعدی راندمان تبدیل بیوماس (زیست توده) (E_{bm}) می‌باشد. این راندمان بیانگر نسبت تولید زیست توده توسط گیاه (M_{bm}) به حجم گاز دی اکسیدکربن جذب شده است. مقدار این راندمان اساساً توسط ترکیب شیمیایی گیاه تعیین شده و به آسانی قابل تغییر نبوده مگر آنکه تغییرات احتمالی را بتوان درجذب و ساخت گیاهی از طریق رژیم حرارتی گیاه ایجاد نمود.

و بالاخره مرحله نهایی در زنجیره راندمان آب، راندمان عملکرد (E_{yld}) می‌باشد که بیانگر نسبت زیست توده حاصله در مرحله برداشت محصول (M_{yld}) به کل زیست توده می‌باشد و آن معادل نسبت شاخص برداشت (HI)، که شاخص معروف و شناخته شده‌ای در علوم زراعی است، می‌باشد.

لازم به ذکر است که مراحل راندمان ذکر شده الزاماً نباید به طور کامل به واحد یکسان بوده و می‌توانند مقادیر مختلفی را از نظر ماهیت دارا باشند. در این زنجیره ذکر شده (رابطه ۲) پنج مرحله اول راندمان به کمیت آب (W) بستگی دارند و دو مرحله آخر مرتبط با جرم و یا توده مواد با ماهیت مختلف وابسته هستند. برای هر یک از مراحل راندمان (معادله ۱) مقدار راندمان بسته به شرایط و عملیات ما می‌تواند تغییرات زیادی داشته باشد. در جدول (۱) مقادیر محتمل قابل قبول برای هریک از راندمان‌ها ارایه شده است.

در ادامه راندمان‌های مختلف زنجیره راندمان تعریف شده و عوامل مهمی که بر این راندمان‌ها تأثیر گذارند به همراه روش‌های بهبود ارایه گردیده‌اند:

- راندمان‌های انتقال و مزرعه

راندمان انتقال (E_{conv}) اولین راندمان زنجیره راندمان‌ها می‌باشد. مقادیر پایین این راندمان بیانگر نشت بیش از حد از مجاری انتقال آب و

یا تبخیر زیاد در کانال‌های انتقال آب می‌باشد. تلفات تبخیر معمولاً سهم کمی از تلفات در این راندمان را حتی در کانال‌ها و مخازن رو باز تشکیل داده، مگر آنکه مسیر طولانی و انتقال آب از محل مخزن تا سر مزرعه زمان زیادی به طول بیانجامد و در زمان انتقال آب دمای هوا بالا باشد. تبخیر از کانال‌های آبیاری می‌تواند غیر مستقیم بوده و آن ناشی از تعرق گیاهان پوششی و علف‌های هرز در کانال‌های نهرهای پوشش نشده صورت گیرد. بهبود راندمان E_{conv} می‌تواند خیلی هزینه بر باشد (نظیر تبدیل کانال‌های روباز به رو بسته) و یا بیش از حد و اندازه‌های متعارف باشد (نظیر پرکردن شکاف‌ها و درز و ترک‌ها در طول کانال). وضعیت اکثر شبکه‌های آبیاری در جهان چنین است که بسیاری از برنامه مدرن‌سازی در شبکه‌ها بر کاهش تلفات آب در این مرحله تمرکز می‌نمایند.

مرحله بعدی راندمان مزرعه (E_{farm})، برای اصلاح و بهبود بیشتر مستعد بوده و می‌توان روی آن کار نمود. دلیل عمده و معمول برای مقادیر پایین E_{farm}، نشت آب از نهرهای انتقال آب و از مخازن پوشش نشده و یا پوشش شده ضعف مخازن مزرعه (درجاهایی که وجود دارند) می‌باشد. ایجاد پوشش با صفحات پلاستیکی نسبتاً روش کم هزینه‌ای در مقایسه با روش پخشیدگی وکوبیدن رس در استخرها به منظور کاهش تلفات نشت می‌باشد. این اقدامات می‌تواند راندمان مزرعه را ازکم به خوب بهبود بخشد (جدول ۱).

راه حل طولانی‌مدت این مسئله، که به سرمایه‌گذاری زیادی نیاز دارد، پوشش مخازن و نهرها با بتن یا سیمان و استفاده از لوله بجای نهر می‌باشد. راه دیگر بهبود این راندمان، که به سرمایه‌گذاری اولیه زیادی نیاز دارد، عمیق‌تر کردن مخازن آب مزرعه می‌باشد تا از این طریق تبخیر سطحی آب از سطح مخزن حداقل شود.

اگر چه روابط راندمان‌های انتقال و ذخیره به طور ضمنی بین تلفات نشت و تبخیر تفاوتی قائل نیستند، این مهم است که بین این دو نوع تلفات، به خصوص وقتی که آب‌های نشتی می‌توانند جمع آوری شده و مورد مصرف قرار گیرند، تفاوت قائل شد.

- راندمان کاربرد

پس از رسیدن آب به ابتدای مزرعه، راندمان بعدی راندمان کاربرد (E_{appl}) است. E_{appl} تقریباً وابسته به یکنواختی توزیع آب سیستم انتخابی برای پخش آب می‌باشد. درسیستم آبیاری سطحی اگر شدت پخش آب با شدت نفوذ آب در خاک و شیب زمین انطباق نداشته باشد، آب به طور غیر یکنواختی از ابتدا تا انتهای مزرعه توزیع می‌گردد و راندمان E_{appl} پایین می‌آید. حالت خیلی وخیم این مسئله می‌تواند بوسیله آبیاری شیاری دریک خاک سبک شنی (با نفوذ بالا) با شیب کم نظیر

جدول ۱- دامنه مقادیر راندمان‌های مختلف در زنجیره راندمان از محلی که آب از منبع منحرف شده تا عملکرد محصولات زراعی سالانه و یا محصولات چند سالانه باغی و در شرایط خوب و بد و در کل (۸)

راندمان	مرحله راندمان	کسر راندمان	واحد	راندمان	
				شرایط و عملکرد ضعیف	شرایط و عملکرد خوب
انتقال	E_{conv}	Wfg/Wvo	بدون بعد	۰/۰-۵/۷	۰/۰-۸/۹۶
مزرعه	E_{farm}	Wfd/Wfg	بدون بعد	۰/۰-۴/۶	۰/۰-۷۵/۹۵
کاربرد	E^{appl}	Wrz/Wfd	بدون بعد	۰/۰-۳/۵	۰/۰-۷/۹۵
مصرف	E_{et}	Wet/Wrz	بدون بعد	۰/۰-۸۵/۹۲	۰/۰-۹۷/۹۹
تعرق	E_{tr}	W_{tr}/W_{et}	بدون بعد	۰/۰-۲۵/۵	۰/۰-۷/۹۲
جذب	E_{as}	m_{as}/W_{tr}	کیلوگرم دی‌اکسیدکربن جذب شده به مترمکعب آب تعرق شده	۶/۸-۰/۰	۹/۱۴-۰/۰
تبدیل زیست توده	E_{bm}	m_{bm}/m_{as}	کیلوگرم زیست توده تولید شده به کیلوگرم دی‌اکسیدکربن جذب شده	۰/۰-۲۲/۳۶	۰/۰-۴/۵
عملکرد	E_{yld}	m_{yld}/m_{bm}	بدون بعد	۰/۰-۲۴/۳۶	۰/۰-۴۴/۵۲
کل	E_{all}	m_{yld}/W_{vo}	کیلوگرم بر متر مکعب	۰/۰۲۴۳	۱/۲۲

بیابان‌های تازه توسعه یافته در شمال آفریقا ایجاد شود. وقتی که آبیاری سطحی خوب اجرا شود، E_{appl} می‌تواند در دامنه خوبی قرار گیرد و می‌تواند تا حد ۰/۸ نیز برسد (۸). آبیاری سطحی از نوع کرتی تسطیح شده با دبی ورودی زیاد، که در آریزونای آمریکا اجرا گردید، E_{appl} بالاتر از ۰/۸ را نیز حاصل نمود. در سیستم‌های آبیاری تحت فشار که خوب اجرا شده باشند، می‌توان به یکنواختی‌های توزیع بالاتری نیز دست یافت و راندمان کاربرد در سیستم‌ها می‌تواند از ۰/۹ (۹۰ درصد) و یا بالاتر نیز باشد.

به هر حال با ضریب یکنواختی بالا سیستم توزیع آب، اگر ظرفیت ذخیره خاک و یا عمق توسعه رشد بیش از حد تخمین زده شده باشد، E_{appl} می‌تواند پایین بیاید.

حتی با ارزیابی صحیح ظرفیت نگهداشت آب در خاک و عمق توسعه ریشه، E_{appl} می‌تواند هنوز پایین باشد، اگر نیاز آبی گیاه (ET) بیش از حد تخمین زده شده باشد و هر آبیاری از مقدار تخلیه رطوبت خاک در دوره آبیاری تجاوز نماید. به عنوان یک قاعده کلی کم‌آبیاری می‌تواند به بهبود E_{appl} با کاهش و یا حتی حذف آب زهکشی کمک نماید. E_{appl} در صورت وجود رواناب کاهش می‌یابد.

- راندمان مصرف و راندمان تعرق

بعد از راندمان کاربرد راندمان مصرف (E_{et}) قرار می‌گیرد که آن برابر است با نسبت آب تبخیر و تعرق شده به آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه. این مرحله یا راندمان معمولاً به صورت صریحی شناخته شده نیست و معمولاً در تجزیه و تحلیل‌های بیلان آب محصولات زراعی به رطوبت باقی مانده در خاک ارتباط داده می‌شود.

برای اولین سیکل ترشدگی– خشک شدگی خاک، E_{et} نسبتاً پایین است (به خصوص برای گیاهانی که به تنش آبی بسیار حساس هستند و باید در شرایطی که رطوبت خاک هنوز خیلی کاهش نیافته و بالاست، مجدداً آبیاری شوند). از طرفی دیگر، وقتی کل طول دوره رشد گیاه را درنظر بگیریم، E_{et} معمولاً بالا بوده و حتی به ۱۰۰ درصد نیز می‌تواند برسد. این امر ناشی از این حقیقت است که بعد از اولین سیکل تر و خشک شدگی خاک، آبیاری بعدی آب کمتری را وارد خاکی که هنوز مقدار متنابهی رطوبت (آب) در منطقه ریشه در بر دارد وارد می‌نماید. بنابراین اگر این در طول فصل رشد جمع زده شود، آب وارد منطقه توسعه ریشه اغلب به تبخیر و تعرق (ET) تجمعی گیاه نزدیک بوده و با آن انطباق دارد، و فقط هنگامی که در زمان برداشت مقداری رطوبت در خاک باقی مانده باشد، مخرج کسر این راندمان از مقدار صورت کسر بزرگتر خواهد شد. با توجه به جدول ۱ مقادیر متفاوت بین E_{et} در شرایط خوب و بد مدیریتی مقدار کوچکی است، زیرا مقادیر ارایه شده مربوط به یک فصل زراعی هستند نه یک آبیاری خاص.

در کشاورزی دیم، که در آن رطوبت خاک به مقدار زیادی از منطقه توسعه ریشه در خاک و توسط گیاه تخلیه می‌گردد، E_{et} می‌تواند به مقدار زیادی در گونه‌های مختلف گیاهی و حتی در ارقام مختلف یک گونه گیاهی نیز متفاوت باشد.

راندمان بعدی، راندمان تعرق[1] (Transpiration efficiency- E_{tr}) می‌باشد که بیانگر آن است که چه مقدار از کل تبخیر وتعرق انجام شده عملاً توسط گیاه جذب شده و تعرق شده است. از مدتها قبل معلوم گردیده است که تعرق بیانگر استفاده مطلوب از آب است، زیرا در فرآیند جذب و ساخت گیاهی و جذب دی اکسید کربن، در عمل فتوسنتز تبادل می‌گردد، در حالیکه تبخیر آب از سطح خاک تلفات آب می‌باشد. بسته به شرایط و مراحل رشد گیاه، E_{tr} می‌تواند به مقدار زیادی تغییر نموده و به طور پویا و مجازی از صفر تا ۱۰۰ درصد تغییر یابد. این تغییرات ناشی از مبنا و بنیان فرایند تبخیر ازخاک می‌باشد. به طور معمول تبخیر از خاک بوسیله دو عامل: شرایط رطوبتی خاک و میزان انرژی دریافتی که سطح

۱- در اینجا راندمان تعرق که نسبت تعرق به تبخیر و تعرق تعریف شده با تعریف بعضی از منابع که آن برابر با نسبت میزان جذب گیاهی به تعرق بیان شده (و با تعریف راندمان کارایی جذب و ساخت Assimilation efficiency-E_{as} معادل است) تفاوت داشته و از آن متمایز شده است.

خاک برای فرایند تبخیر دریافت می‌کند، تفاوت می‌نماید. به عنوان نمونه برای مزرعه‌ای که پوشش گیاهی آن کامل است (مثلاً ۹۵ درصد سایه در اواسط روز) تبخیر از خاک معمولاً کمتر از ۱۰ درصد کل ET، حتی موقعی که سطح خاک هنوز کاملاً مرطوب است، را تشکیل می‌دهد. تبخیر از خاک (E) بخش کوچک و کوچکتری از ET را، وقتی که پوشش گیاهی با رشد گیاه بیشتر و وسیع‌تر شده وسطح خاک نیز شروع به خشک شدن می‌نماید، تشکیل می‌دهد. در شرایط مساوی هرچه پوشش گیاهی سریعتر سطح خاک را بپوشاند، تبخیر از سطح خاک کوچکتر شده و E_{tr} بالاتر می‌رود. از طرفی دیگر در صورت عدم پوشش کامل سطح خاک توسط گیاه، مرطوب شدن مکرر سطح خاک توسط باران یا آبیاری (نظیر آبیاری‌های قطره‌ای و بارانی)،E_{tr} پائین‌تر خواهد بود.

بنابراین تنظیم با حالت سعی و خطا با نسبت رشد تاج و پوشش گیاهی و تواتر آبیاری، تشکیل ابزار مدیریتی مناسبی را برای کاهش سهم تبخیر (E) از کل سهم تبخیر و تعرق (ET) و بنابراین افزایش E_{tr} می‌دهد.

- راندمان کارایی جذب و ساخت

آب تعرق شده توسط گیاه در تبادل دی اکسیدکربن جذب شده برای عمل فتوسنتز و غذا سازی درگیاه می باشد. به این نرخ تبادل راندمان کارایی جذب و ساخت (Assimilation efficiency-E_{as}) می‌گویند. در منابع علمی معمولاً به E_{as} راندمان کارایی جذب و ساخت اطلاق می‌گردد و گاهی اوقات به آن بهره وری آب فتوسنتزی نیز می‌گویند (۸). به هر حال برای یک گونه گیاهی خاص و شرایط اقلیمی و آب وهوایی (میزان دی اکسید کربن موجود در جو)، E_{as} در طی شبانه روز و حتی روزهای مختلف معمولاً ثابت بوده و به سادگی نمی‌توان آن را دستخوش تغییرات نمود. ولی راه حل‌ها و فرصت‌هایی برای تغییر این راندمان وجود دارد از جمله تغییر گونه‌های گیاهی، بهبود تغذیه و مواد معدنی، تغییر محل و یا تاریخ کشت گیاه به منظور کاهش شرایط ایجاد تبخیر و تعرق گیاهی.

راه‌های دیگر تغییر در E_{as} نیازمند تغییر در محیط زیست گیاه می‌باشد. همانگونه که ذکر گردید دو عامل کلیدی تأثیرگذار بر E_{as}، تقاضای تبخیر اتمسفر (کمبود رطوبت، دمای زیاد، و...) و غلظت دی اکسیدکربن اتمسفر می‌باشد.

- راندمان تولید ماده گیاهی (زیست توده)

بعد از راندمان کارایی جذب و ساخت (E_{as}) راندمان تبدیل به زیست توده (Biomass efficiency-E_{bm}) مطرح می‌گردد که روشی برای تعیین مقدار زیست توده تولید شده به ازای مقدار دی اکسید کربن جذب شده می‌باشد. بنابراین E_{bm} به میزان زیادی وابسته به ترکیب شیمیایی زیست توده دارد. همچنین

متأثر از شرایطی است که بر فرآیند جذب و ساخت گیاهی (به خصوص درجه حرارت) تأثیرگذار هستند. اگر چه رابطه محکمی بین جذب و ساخت تجمعی در شب و دی اکسیدکربن جذب شده تجمعی در طی روز وجود دارد، ولی احتمالاً بیشتر دی‌اکسیدکربن جذب شده بوسیله جذب در شرایط دمایی گرم از دست خواهد رفت و منجر به E_{bm} پایین‌تر می‌گردد. روش‌های بهبود احتمالی E_{bm} می‌تواند تغییر محل کشت به محلی با دمای پایین‌تر یا تغییر تاریخ کشت گیاه باشد تا رشد گیاه با ماه‌های خیلی گرم سال تلاقی ننماید.

قابل ذکر است که در منابع علمی، بیشتر داده‌های طولانی مدت‌تر مربوط به کارایی مصرف آب به صورت نسبت زیست توده تولید شده به میزان آب تعرق شده گزارش گردیده است. لذا در واقع داده‌های ارایه شده حاصل نسبت راندمان‌های زیست توده و تعرق ($E_{as} \times E_{bm}$) می‌باشند.

- راندمان عملکرد

آخرین مرحله زنجیره راندمان عملکرد (Yield efficiency- E_{yld}) است. این شاخص بیانگر نسبت زیست توده تولید شده‌ای است که در نهایت در عملکرد نهایی هنگام برداشت خود را نشان می‌دهد و درعلوم موضوع معمولاً به نام شاخص برداشت (Harvest Index) اطلاق می‌گردد. بیشتر مطالعات مربوط به تولیدات گیاهی فقط زیست توده تولید شده روی سطح خاک را به دلیل مشکلات ارزیابی زیست توده غیر قابل ذخیره درون ریشه گزارش می‌نماید. بنابراین روش معمول آن است که فقط زیست توده روی سطح زمین (اندام‌های هوایی) را در محاسبه E_{yld} گیاهان غیرریشه‌ای و غده‌ای در نظر بگیرند. خوشبختانه برای گیاهان غیر ریشه‌ای عملکرد ریشه‌ای آنها فقط بخش کوچکی (شاید در دامنه ۰-۱۰ درصد) کل زیست توده تولید شده در مرحله رسیدگی گیاه را شامل می‌گردد و دیگر اینکه معمولاً نسبت وزن اندام ریشه‌ای به اندام هوایی ثابت می‌باشد. بنابراین E_{yld} می‌تواند ۰/۵ و یا برای ارقام جدید محصول حتی مقداری بیشتر باشد.

در طی قرن گذشته، اصلاح کنندگان گیاه، ارقام گیاهی را که دارای عملکرد بالاتری بوده‌اند برای افزایش کارایی مصرف آب انتخاب نموده‌اند. این افزایش عملکرد بیشتر ناشی از تقسیم بیشتر زیست توده تولیدی به دانه و یا میوه و تقسیم کمتر آن به قسمت‌های رویشی بوده است. برای نمونه E_{yld} برای گندم و برنج در دامنه ۰/۳۳ (دراوایل قرن بیستم) بود و بعداً به مقدار ۰/۵۳ در سال‌های ۱۹۸۰ رسید. در همین مدت راندمان تولید زیست توده از آب تعرق شده (یعنی $E_{as} \times E_{bm}$) به نظر می‌رسد که تقریباً بدون تغییر باقی مانده است. بنابراین با فرض شرایط یکسان، این افزایش در E_{yld} برابر ۶۰ درصد، منجر به افزایش کارایی مصرف آب کل برابر با همان ۶۰ درصد گردیده است.

از سال‌های ۱۹۸۰ به بعد فقط افزایش کمی

در E_{yld} محصولات کشاورزی اساسی اتفاق افتاده است. دلیل این امر هنوز معلوم نیست. از نظر تئوری دلیل این امر می‌تواند ناشی از حد مجاز شاخص برداشت (HI) برای محصولات دانه‌ای (غلات و....) باشد. زیرا ساقه گیاه باید به اندازه کافی قوی بوده تا وزن دانه را تحمل نموده و از خم شدگی جلوگیری نموده و دیگر اینکه باید به اندازه کافی برگ باشد تا فرآیندجذب و ساخت گیاهی را تأمین نماید. لذا ممکن است که ما قبلاً به این حد از شاخص برداشت رسیده باشیم. به هر حال بر اساس ارقام آزمایشگاهی حدود بالاتر HI (نزدیک به ۰/۶۲) نیز برای گندم زمستانه حاصل شده است.

کاملاً معلوم است که بسته به نوع گیاهی، E_{yld} می‌تواند به مقدار زیادی در اثر عواملی نظیر رژیم آبیاری، تحت تأثیر و تغییر قرار گیرد. اگر چه E_{yld} اغلب در شرایط کم آبی (کم آبیاری) کاهش می‌یابد، ولی می‌تواند تحت رژیم‌های تنش آبی ملایم در بعضی از گیاهان از طریق کاهش رشد رویشی زیاد افزایش یابد. همچنین اگر گیاه در هنگام گل‌دهی و گرده‌افشانی تحت تنش آبی زیاد قرار گیرد، این شاخص می‌تواند به مقدار زیادی کاهش یابد.

مقادیر کارایی مصرف آب گیاه و راهکارهای تحقیقاتی برای افزایش آن

ارتقاء شاخص کارایی مصرف آب مستلزم توسعه فعالیت‌های علمی و فنی و به وجود آمدن موقعیت‌های جدیدی است که از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ایجاد نسل جدیدی از گیاهان که به خشکی مقاوم باشند
- مدیریت جامع منابع آب در داخل یک حوزه آبریز و زیست بوم
- مدیریت آب در داخل مجموعه‌های کشاورزی
- بررسی اثرات سیستم‌ها و سازمان‌های مختلف بر روی کیفیت آب موجود

با توجه به شرایط خاص اقلیمی کشور و پایین بودن امکان افزایش منابع جدید آب مورد استفاده در بخش کشاورزی و ضرورت افزایش تولیدات کشاورزی، تعیین دقیق و علمی شاخص کارایی مصرف آب در شرایط موجود و پیشنهاد روش‌های زراعی علمی و فنی مناسب جهت افزایش کارایی مصرف آب بر اساس تحقیقات و مطالعات مختلف در این زمینه از ضروریات بخش کشاورزی است. با تعیین شاخص کارایی مصرف آب آبیاری می‌توان تا حدی به دلایل پایین بودن این شاخص و مشکلات مدیریتی آبیاری و زراعی محصولات زراعی در مناطق مختلف کشور پی برد و راهکارهای لازم را ارایه نمود.

در این تحقیق داده‌های جمع‌آوری شده مقدار کارایی مصرف آب محصولات کشاورزی تحت شرایط مختلف ایستگاه‌های تحقیقاتی و مدیریت کشاورزان در سطح کشور جمع‌آوری و ارایه گردیده است. این نتایج

حاصل تعداد متنابهی پروژه تحقیقاتی انجام شده در زمینه کارایی مصرف در طول دو دهه اخیر می‌باشد. نتایج در قالب دو جدول ارایه گردیده است. در جدول ۲ کارایی مصرف آب در طرح‌های اجرا شده در ایستگاه‌های تحقیقاتی مختلف و در جدول ۳ کارایی مصرف آب محاسبه شده از نتایج طرح‌های تحقیقاتی انجام شده در شرایط مدیریت کشاورزان ارایه گردیده است. برای هر تحقیق ضمن ارایه عدد کارایی مصرف آب، نتیجه و توصیه اصلی حاصل از پروژه تحقیقاتی نیز ارایه شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

"گیاه" نقش مهمی در استفاده بهینه از آب و افزایش کارایی مصرف آب کشاورزی دارد. در خصوص تحقیقات مورد نیاز برای حل مسایل افزایش کارایی مصرف آب، همانگونه که از شاخص آن مشهود است، باید به موازات کاهش مصرف آب (مخرج کسر) عملکرد محصول (صورت کسر) نیز افزایش یابد. در واقع اثرگذاری اقدامات و فعالیت‌های افزایش کارایی مصرف آب وقتی عملی می‌گردد که اقدامات منجر به تغییرات درصورت و مخرج کسر (افزایش صورت و کاهش مخرج) به طور همزمان باشد. به عنوان نمونه با فرض کارایی مصرف آب گندم برابر ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب، اگر صرفاً عملکرد گندم (صورت کسر شاخص کارایی مصرف آب) افزایش یابد ولی مصرف آب برای تولید آن ثابت بماند، برای نیل به کارایی مصرف آب در سال هدف (سال ۱۴۰۴) (۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب) میزان تولید این محصول در هکتار باید حدود ۸۵ درصد افزایش یابد و این افزایش با افزایش میزان کارایی مصرف آب هدف، به صورت نمایی افزایش می‌یابد. همچنین با فرض ثابت ماندن عملکرد در واحد سطح، برای رسیدن به کارایی مصرف آب ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب، میزان کاهش مصرف آب باید حدود ۴۲ درصد باشد. ولی در صورت انجام اقدامات هم برای کاهش مصرف آب و هم افزایش عملکرد، می‌توان با ۳۰ درصد کاهش مصرف آب و ۳۰ درصد افزایش عملکرد به راحتی به شاخص کارایی مصرف آب در سال هدف (سال ۱۴۰۴)، یعنی کارایی مصرف آب کشاورزی ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب دست یافت. به عبارت دیگر برای حل معضل افزایش کارایی مصرف آب، نگاه‌ها نباید فقط به بخش آب کشور معطوف بوده و بلکه باید نگرش ویژه‌ای به سایر بخش‌ها، نظیر زراعت، باغبانی، دامپروری، آبزی‌پروری، و غیره نموده و در این اقدامات و راهکارهای افزایش عملکرد، گیاه نقش اساسی در کنار اقدامات صرفه‌جویی آب ایفا می‌نمایند. لذا توام دیدن کاهش آب مصرفی و افزایش عملکرد برای افزایش کارایی مصرف آب، رویکرد علمی‌تر و عملی‌تر برای نیل به اهداف برنامه‌های توسعه در کشور و امنیت غذایی از منابع محدود آب آبیاری می‌باشد (۲). بهبود بهره‌وری آب حتی فراتر از

جدول ۲- کارایی مصرف آب در محصولات زراعی مختلف (محاسبه شده از طرح های تحقیقاتی ایستگاهی) (۶)

منطقه	محصول	دامنه کارایی مصرف آب (کیلو گرم بر متر مکعب)		نتیجه نهایی تحقیق
		حداقل	حداکثر	
مشهد	هیبرید ذرت دانه‌ای	۰/۸۱ (با حذف نوبت‌های آبیاری به صورت یک در میان در دوره رشد رویشی (قبل از گلدهی) و تیمار شاهد (آبیاری کامل در طول دوره رشد با دور آبیاری هفت روز))	۱/۵ (با حذف نوبت‌های آبیاری به صورت یک در میان در طول دوره رشد گیاه)	اعمال تنش در مراحل مناسب رشدی (به صورتی که حداقل تنش در مرحله رشد زایشی و بعد از آن اعمال گردد) باعث کاهش قابل توجه عملکرد دانه نسبت به شاهد گردیده و از طرفی به علت مصرف آب کمتر در تیمارهای تنش، کارایی مصرف آب نسبت به شاهد افزایش یافت.
گرگان	گندم	۰/۸۵ (با سطح مقدار آب ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه و سطح شوری آب برابر ۱۴/۲ دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۲۲ (با سطح مقدار آب ۵۰٪ نیاز آبی گیاه و سطح شوری آب برابر ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر)	شوری، مقدار مصرف آب گیاه را در شرایط یکسان کاهش و سبب افزایش کارایی مصرف آب گردید.
خوزستان	برنج	۰/۰۶ (با آبیاری هر روزه)	۰/۱۱ (با آبیاری دو روز در میان)	ــــ
همدان	سیب زمینی	۱/۷ (با دور آبیاری ۹ روز یکبار)	۲/۲ (با دور آبیاری سه روز یکبار)	اثر خاک‌ورزی (خاک‌ورزی مرسوم و مرسوم + زیرشکنی) بر عملکرد معنی‌دار نشد ولی تیمار سه روز یکبار آبیاری نسبت به بقیه تیمارهای آبیاری برتری نشان داد.
بیرجند	هندوانه	۰/۵ (با شوری آب ۱۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر)	۲/۳: (با شوری آب ۱/۴ دسی‌زیمنس بر متر) ۱/۶: (با شوری آب ۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر)	
اصفهان	گرمک	۴/۴ (با روش آبیاری سطحی)	۱۱/۲ (با روش آبیاری قطره‌ای)	خاکپوش پلی‌اتیلن علاوه بر افزایش محصول و پیش رسی آن، در کاهش مصرف آب (تعداد دفعات آبیاری) به خصوص در اوایل فصل مؤثر بود. سیستم آبیاری قطره‌ای توأم با مدیریت کم آبیاری و مالچ پلی‌اتیلن در استفاده بهینه از آب بسیار مؤثر بود.

ادامه جدول ۲

منطقه	محصول	دامنه کارایی مصرف آب (کیلو گرم بر متر مکعب)		نتیجه نهایی تحقیق
		حداقل	حداکثر	
کاشمر	پنبه	۰/۱۰	۰/۲۲ (با تیمار قطع موج اول پس از پیشروی به اندازه نصف طول جویچه در آبیاری اول)	بهتر است در آبیاری اول محصولات ردیفی از روش موجی استفاده شود.
	پنبه	۰/۱۸	۰/۲۲	اعمال تیمارهای آبیاری یک در میان موجب افزایش کارایی مصرف آب به میزان حدود ۳۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد شد.
		۰/۳۱	۰/۶۲ آبیاری یک در میان جویچه‌ای ثابت با پشته‌های پهن (۱۴۰ سانتی‌متر) و با جویچه‌های به فاصله ۷۰ سانتی‌متر و آبیاری تا آخر فصل رشد حداکثر کارایی مصرف آب را داشت	
شمال خوزستان	ذرت	۰/۱۶	۰/۵۷	میزان آب صرفه‌جویی شده در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب تا زمان شروع گلدهی، و آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت تا زمان شروع گلدهی، نسبت به تیمار شاهد (آبیاری برنامه‌ریزی شده) ۳۰ درصد بیشتر بود. تنش و کم آبیاری در مراحل زایشی و گل‌دهی گیاه نباید اعمال گردد.

در این منطقه به راحتی امکان افزایش کارایی مصرف آب تا دو برابر مقدار فعلی وجو دارد.

د

ا

ز

ه

ا

ی

ادامه جدول ۲

منطقه	محصول	دامنه کارایی مصرف آب (کیلو گرم بر متر مکعب)		نتیجه نهایی تحقیق
		حداقل	حداکثر	
داراب، خوی، مغان، کرج، و مشهد	کلزا			روش آبیاری شیاری یک در میان و کاشت دو ردیفه بر روی پشته از لحاظ شاخص کارایی مصرف آب برتری داشت.
	داراب	۱/۳۰ (دانه) ۰/۵۳ (روغن)	۱/۹۰ (دانه) ۰/۸۰ (روغن)	
	خوی	۰/۴۴ (دانه)	۱/۵۱ (دانه)	
	مغان	۰/۵۸ (دانه)	۰/۷۵ (دانه)	
	کرج	۰/۵۵ (دانه) ۰/۲۰ (روغن)	۰/۹۳ (دانه) ۰/۴۰ (روغن)	
	خراسان	۰/۵۷(دانه)	۰/۸۷(دانه)	
شاهرود	گوجه فرنگی	۶/۵	۹/۵۵ (با تیمار سطح آبیاری ۷۵ در صد در مرحله پس از برداشت اول تا انتهای فصل و تیمار سطح آبیاری ۵۰ درصد در مرحله رشد نشاء تا گل دهی)	به جز مرحله گل‌دهی تا میوه‌هی می‌توان میزان آب مصرفی را تا ۵۰ درصد بدون کاهش قابل ملاحظه عملکرد کاهش داد.
کرج	ذرت	۱/۰ (با دور ۵ روز و آبیاری یک در میان ثابت)	۱/۴ (با دور ۵ روز و کم آبیاری از طریق جویچه یک در میان متغیر)	اعمال هرگونه تنش رطوبتی در مراحل نمو اندامهای زایشی در گیاهانی نظیر ذرت که تولید مثل جنسی دارند باعث کاهش شدید عملکرد می‌شود. در مراحل بحرانی رشد در حالت آبیاری یک در میان (ثابت و یا متغیر) بهتر است آبیاری کامل استفاده شود و کم آبیاری اعمال نشود.
کبوتر آباد اصفهان	ذرت دانه‌ای	۰/۸۵ (با آبیاری کامل)	۱/۴۲ (با کم آبیاری- ۶۰ درصد تبخیر)	تیمارهای ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل از لحاظ شاخص کارایی مصرف آب به سایر تیمارها برتری داشتند.

ادامه جدول ۲

منطقه	محصول	دامنه کارایی مصرف آب (کیلو گرم بر متر مکعب)		نتیجه نهایی تحقیق
		حداقل	حداکثر	
آذربایجان غربی- ارومیه	گندم	۰/۲۳	۱/۳۱	ـــــ
اصفهان	یونجه و گندم	- در آمد خالص یونجه و گندم ۱۶۰ ریال بر مترمکعب آب مصرفی - در آمد خالص چغندرقند ۴۸۰ ریال بر مترمکعب آب مصرفی	- در آمد خالص برنج ۲۴۰۰ ریال بر مترمکعب آب مصرفی - در آمد ناخالص گندم ۱۰۰۰ ریال بر مترمکعب آب مصرفی - در آمد ناخالص یونجه ۲۳۰۰ ریال بر مترمکعب آب مصرفی	میزان بهره‌وری آب در زراعت یونجه و گندم در حوضه آبریز اصفهان بسیار ناچیز بوده و حداکثر حدود ۱۶۰ ریال (در آمد خالص) بر مترمکعب می باشد. برنج سودآورترین زراعت در حوضه زاینده‌رود می‌باشد ولی میتواند پیامدهایی بر منابع آب به خصوص بر کشاورزی پایین دست حوزه داشته باشد.

	چغندر قند			
اصفهان (لنجان)	بزرگ	۰/۳	۰/۹۱ با تیمار کنترل عمق آبیاری بین (۰-۱ سانتیمتر) و رقم زاینده رود	----
کبوتر آباد اصفهان	گندم	۱/۱۷	۱/۵۴ (با تیمار ۶۰ درصد تبخیر و تعرق محصول و مربوط به رقم پیشتاز و لاین‌های M-73-18 و کراس روشن)	---
خوی	چغندر قند	۱/۲۵ (شکر استحصالی) ۹/۸۷ (غده تولیدی)	۱/۷۶(شکر استحصالی) ۱۱/۴(غده تولیدی)	- تیمارهای عدم آبیاری در مرحله کاشت تا سبز شدن (تنظیم توسط رطوبت حاصله از بارندگی) و قطع آبیاری آخر و تیمار عدم آبیاری در مرحله کاشت تا سبز شدن بیشترین کارایی مصرف آب از نظر تولید شکر به ازای واحد حجم آب مصرفی (به ترتیب۱/۷۶ و ۱/۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب) را داشتند. تنش‌های وارده در تیمارهای مذکور منجر به عیار بیشتر محصول نیز گردیده است و از عیار ۱۶/۸ درصد در تیمار بدون محدودیت آبیاری (شاهد) به ۱۸/۳ درصد افزایش یافته است.

ادامه جدول ۲

منطقه	محصول	دامنه کارایی مصرف آب (کیلو گرم بر متر مکعب)		نتیجه نهایی تحقیق
		حداقل	حداکثر	
ارومیه	گوجه‌فرنگی رقم کورال	۸/۳ (۱۲۵ درصد نیاز گیاه)	۱۰/۳ (۵۰ درصد نیاز کامل گیاه)	در صورتی که هدف از کم آبیاری افزایش کارایی مصرف آب و توسعه سطح کشت باشد، سطوح آبیاری به میزان، ۷۰-۵۰ درصد نیاز کامل آبیاری توصیه می‌شود.
بم	خرمای مضافتی	۰/۵۶ (با تیمار ۱۲۰ درصد تبخیر از طشتک)	۰/۹۱ (با تیمار ۸۰ درصد تبخیر از طشتک)	تیمار ۰/۸۰ درصد تبخیر از طشتک کلاس A به عنوان یک روش مدیریتی در آبیاری باغهای خرما در بم توصیه می‌گردد ولی با توجه به راندمان پایین آبیاری باغات و تلفات عمقی زیاد تیمار ۰/۶۰ تبخیر از طشتک کلاس A می‌تواند گزینه‌ای مناسب‌تر باشد.
مغان	گندم	۱/۰۹۰ ۰/۷۵۷	۱ /۷۳۸ ۱/۳۷۰	بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری گندم در مرحله پس از کاشت و ساقه‌روی حاصل شد. کمترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری گندم در مراحل پس از کاشت، ساقه‌روی، گل‌دهی، خمیری نرم و خمیری سخت بود. بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار فرعی سوم (نسبت عمق آب آبیاری به مقدار تبخیر از طشتک برابر ۰/۵۰) و کمترین مقدار کارایی مصرف آب در تیمار فرعی اول (نسبت عمق آب آبیاری به مقدار تبخیر از طشتک برابر یک) حاصل گردید.
گرگان	رقم استقلال کلزا رقم طلائیه	۰/۷۵ ۰/۳۶	۱/۱۲ ۰/۴۸	رقم استقلال بهترین کارایی مصرف آب را در شرایط آب و خاک شور (شوری آب ۷-۰/۱۴ و شوری خاک دسی‌زیمنس بر متر۹/۶-۱/۲) داشته است.
همدان	چغندرقند	-	۰/۴۶ (براساس قند استحصالی) (با قطع دور آبیاری در مرحله رشد برگی)	تنش به طور کلی سبب کاهش عملکرد و کیفیت چغندرقند شد. کاهش عملکرد ریشه و قند ناشی از تنش در مرحله رشد ریشه و در مرحله ذخیره‌سازی قند شدیدتر بود. جهت افزایش کارایی مصرف آب و قند استحصالی، قطع آبیاری در مرحله اول رشد (مرحله رشد برگی یعنی شش هفته پس از کاشت) توصیه می‌گردد.

ادامه جدول ۲

منطقه	محصول	دامنه کارایی مصرف آب (کیلو گرم بر متر مکعب)		نتیجه نهایی تحقیق
		حداقل	حداکثر	
خوی	آفتابگردان	۰/۳۵	۰/۵۰	مناسب‌ترین تیمار آبیاری در صورت نیاز به صرفه‌جویی در آب آبیاری تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی در تمامی مراحل رشد بجز مرحله گل‌دهی می‌باشد.
کرج	گندم	۱/۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب (آبیاری در تمام مراحل مختلف گندم) ۱/ ۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب (تنش در مرحله شیری)	۱/۵۱ کیلوگرم بر مترمکعب (تنش در مرحله گل‌دهی) ۲/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب (قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی) ۱/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب (قطع آبیاری از مرحله شیری شدن)	کاهش آب آبیاری در ارقام گندم در اواخر دوره رشد گیاه بایستی با توجه به شرایط آب و هوایی بویژه درجه حرارت و رطوبت نسبی محیط انجام پذیرفته و بهتر است حتی‌الامکان در اواخر دوره رشد گیاه به ویژه پس از مرحله خمیری نرم باشد تا عملکرد دانه از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر باشد.
میاندوآب	چغندرقند	۱/۰۱ (دورآبیاری ۱۰ روز و سطح ۱۰۰ درصد)	۱/۳۳ (دور آبیاری ۱۴ روز و سطح ۵۰ درصد)	تیمار دور آبیاری ۱۰ روزه و سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز کامل آبیاری جهت دستیابی به کارایی مصرف آب بالا با در نظر گرفتن ضریب اطمینان‌های لازم در زراعت منطقه توصیه می‌گردد.
کرمانشاه	چغندرقند	۰/۵۴	۰/۷۳ (با دور آبیاری ۱۲روز و تامین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه)	
لرستان (گندم دیم-منطقه هنام)	گندم	-		آبیاری تکمیلی (به دو صورت تک-آبیاری در پاییز و یا آبیاری تکمیلی در بهار) نقش زیادی (تا دو برابر) در افزایش کارایی مصرف آب گندم دیم دارد.

ادامه جدول ۲

منطقه	محصول	دامنه کارایی مصرف آب (کیلو گرم بر متر مکعب)		نتیجه نهایی تحقیق
		حداقل	حداکثر	
صفی‌آباد ذزفول	گندم	۱/۳۶	۱/۶۰	از نظر کارایی مصرف آب آبیاری وعملکرد دانه، تیمار ۵۰۰ دانه در واحد سطح برترین تیمار بود.
شاهرود	سیب زمینی	ـــــ	۳/۱۴ (با آبیاری معمولی تمام جویچه‌ها) ۳/۱۲ (با آبیاری جویچه‌ها به صورت یک در میان متغیر تا انتهای مرحله تشکیل غده‌ها) ۳/۱۱ (با آبیاری جویچه‌ها به صورت یک در میان ثابت تا ابتدای مرحله تشکیل غده‌ها)	ـــــ
ارومیه	گوجه‌فرنگی	۱۵	۳۵	نتایج نشان می‌دهد که کاهش فاصله ردیف‌ها و همچنین فاصله بوته‌ها در روی ردیف‌ها علاوه بر افزایش عملکرد در واحد هکتار موجب افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب می‌شود. بطور کلی استفاده از مالچ به صورت پوشش نصف پشته و کل جوی نسبت به حالت بدون پوشش مالچ موجب صرفه‌جویی در مصرف آب برابر ۴۰ درصد و در صورت پوشش کل پشته و نصف جوی ۲۷/۶ درصد شده است. کارایی مصرف آب در تیمار بدون پوشش ۱۸/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و در تیمارهای پوشش داده شده با مالچ ۳۴/۱ و ۲۵/۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود.
خوزستان (دزفول-دشت سرخه)	ذرت دانه‌ای	۰/۴۲		مهم‌ترین فاکتور مؤثر در مقدار کارایی مصرف آب، مدیریت آبیاری و زراعی بوده و مهارت و دانش کشاورز در استفاده از ارقام گیاهی، روش‌های کاشت، کودهای پایه و سرک و دور آبیاری متناسب دوره‌های رویشی گیاه نقش کلیدی در این زمینه ایفا می‌نماید.

ادامه جدول ۲

منطقه مـ حـ صـ و ل	دامنه کارایی مصرف آب (کیلو گرم بر متر مکعب)		نتیجه نهایی تحقیق
	حداقل	حداکثر	
کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان ، گـ ز د م ، چـ غ ز د ر ق ز د س ی ب	۰/۸ ۱ (شبکه)	مقـدار متوسـط بـرای کلیـه محصولات در کلیه مناطق ۱/۲ ۱/۳ (چاه)	مقدار شاخص مذکور هنوز پایین می‌باشد ولی نشان‌دهنده آن است که در طول سال‌های اخیر با پیشرفت‌های بعمل آمده در بخش‌های کشاورزی و آب و بالاخص تحقیقات کشاورزی این شاخص ارتقاء یافته است. مهمترین فاکتور در بالا بردن کارایی مصرف آب مدیریت زراعی بوده و مهارت و دانش فنی کشاورز نقش کلیدی در این زمینه ایفا می‌نماید. بالاتر بودن کارایی مصرف آب در اراضی آبخور چاه نشان‌دهنده استفاده بهتر از آب نسبت به اراضی تحت شبکه آبیاری است.

ز
م
ی
ز
ی
،

ذ
ر
ت

ع
ل
و
ف
ه

ا
ی
،

پ
ز
ب
ه

	ی و ن ج ه ج و و ن ی ش ک ر		
خوزستان- دشت آزادگان	گ ن د م	۰/۹۶ (آبیاری نواری)، ۰/۸۸ (کرتی)، ۰/۵۳ (مرسوم زارعین)	به دلیل برخی محدودیت‌های عملی در توصیه آبیاری نواری، روش آبیاری کرتی بطور عام برای این منطقه توصیه گردید. همچنین استفاده از روش‌های کاشت جوی پشته‌ای همدانی و خطی کار تاکا با مصرف بذر ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار که علاوه بر ۴۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف بذر، باعث بهبود در درصد سبز شدن بذور شد توصیه گردید.
خوزستان (دزفول- دشت سرخه)	گ ن د م	۰/۸۴	مهم‌ترین فاکتور مؤثر در مقدار کارایی مصرف آب، مدیریت آبیاری و زراعی بوده و مهارت و دانش کشاورز در استفاده از ارقام گیاهی، روش‌های کاشت، کودهای پایه و سرک و دور آبیاری متناسب دوره‌های رویشی گیاه نقش کلیدی در این زمینه ایفا می‌نماید.

کرمانشاه (گندم دیم- منطقه مرک)	گ ن د م	-	آبیاری تکمیلی (به دو صورت تک-آبیاری در پاییز و یا آبیاری تکمیلی در بهار) نقش زیادی (تا دو برابر) در افزایش کارایی مصرف آب گندم دیم دارد

ادامه جدول ۲

منطقه	محصول	دامنه کارایی مصرف آب (کیلو گرم بر متر مکعب)		نتیجه نهایی تحقیق
		حداقل	حداکثر	
خوزستان (دشت آزادگان)	گندم	۰/۱	۱/۲	برای دستیابی به کارایی مصرف آب بالاتر توصیه می‌گردد اقدامات زیر به عمل آید: الف) روش آبیاری مرسوم به روش کرتی، به نحوی که کرتها بطور مجزا آبیاری شوند، تغییر یابد، ب)کرت‌بندی‌ها متناسب با شیب مزرعه ایجاد گردد، ج) اقدامات لازم برای آموزش زارعین و نظارت بر مدیریت آنان به عمل آید د) آب بندهای ثابت و کم هزینه برای کانال‌های آبگیر مزرعه‌ای احداث گردد، اقدامات لازم برای آموزش زارعین و نظارت بر مدیریت آنها به عمل آید و امکانات و تمهیدات لازم برای اجرا نمودن توصیه‌های به زراعی از پیش تدوین شده توسط مراکز تحقیقاتی منطقه فراهم گردد.

جدول ۳- مقدار کارایی مصرف آب محصولات زراعی مختلف (محاسبه شده تحت شرایط مدیریت کشاورزان) (۶)

منطقه	محصول	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
آذربایجان غربی	گندم	۰/۸۴
خراسان (مشهد)		۰/۵۷
اصفهان (مهیار)		۰/۵۶
اصفهان (کبودآباد)		۰/۳۴
اصفهان (جی وقهاب)		۰/۶۹
آذربایجان غربی	یونجه	۰/۷-۱/۴
آذربایجان غربی	چغندرقند	۱/۳-۴/۸
خراسان (مشهد)	(بر اساس عملکرد غده)	۳/۱۱
گلستان (کفشگیری)	پنبه	۱/۹۱
گلستان (چالکی)		۱/۳۴
گلستان (پیچک محله)		۱/۲۷
گلستان (روستای سیاقی)		۱/۷۰
گلستان (آهنگر محله)	سویا	۰/۹۲
گلستان (روستای سیاقی)		۰/۷۵
گلستان(روستای فاضل‌آباد)		۲/۰۹
خراسان (مشهد)	جو	۱/۰۰
اصفهان (فریدن)	سیب زمینی	۱/۷۲
آذربایجان غربی	گوجه‌فرنگی	۳/۳۳
آذربایجان غربی	لوبیا	۰/۹۱
خوزستان (دزفول)	کاهو	۴/۷۷
خوزستان (دزفول)	کنجد	۰/۲۰
خوزستان (دزفول)	ذرت دانه‌ای	۰/۶۵

افزایش کارایی مصرف آب بوده و آن از الزامات استفاده پایدار از منابع آب کشور می‌باشد. بهبود بهره‌وری آب کاری چند جانبه (فنی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی) می‌باشد که تعامل و همکاری سایر بخش‌ها و سایر دستگاه‌های مرتبط خارج از بخش را می‌طلبد.

درک مفاهیم و ادبیات کارایی/بهره‌وری آب و آموزش و فرهنگ‌سازی، نقش کلیدی در صرفه‌جویی آب و استفاده پایدار از آن در تولید محصولات کشاورزی دارد.

توصیه های ترویجی

راهکارهای اصلی افزایش کارایی مصرف آب در مقیاس گیاه زراعی را می‌توان به صورت زیر بر شمرد:

۱- ایجاد و معرفی ارقام اصلاح شده متحمل به تنش‌های محیطی (خشکی، شوری، گرما و...)

۲- بهبود مدیریت‌های به‌زراعی

۳- توجه بیشتر به تناسب اقلیمی

۴- مطالعه و توجه بیشتر به تغییر اقلیم و تأثیرات آن روی گیاه

۵- افزایش و بهبود فرایند انتقال اطلاعات و یافته‌های تحقیقاتی به کشاورزان

منابع

۱- **اشرفی ش و حیدری ن (۱۳۸۸)** برنامه راهبردی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در مقیاس گیاه. گزارش پژوهشی شماره ۸۸/۵۵۷، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۹۶ صفحه

۲- **حیدری ن (۱۳۸۸)** چالش‌ها و راهبردهای بهبود بهره‌وری و استفاده پایدار از منابع آب در بخش کشاورزی ایران. صفحه ۱۹. مجموعه مقالات همایش ملی پایداری کمی و کیفی منابع آب کشور، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران. ۱۵ بهمن ۱۳۸۸، تهران، ایران

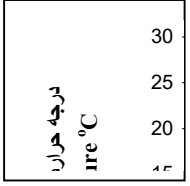
۳- **حیدری ن، خیرابی ج، علایی تفتی م، فرشی ع ا، کاظمی پ، وزیری ژ، انتصاری م ر، دهقانی سانیج ح، سادات میری م ح، میرلطیفی م (۱۳۸۶)** کارایی مصرف آب در کشت گلخانه‌ای. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. ۱۸۰ صفحه

۴- **حیدری ن، عباسی ف، اشرفی ش (۱۳۸۸)** برنامه راهبردی بهبود بهره‌وری مصرف آب کشاورزی. گزارش پژوهشی شماره ۸۸/۶۵، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۳۱۸ صفحه

۵- **عباسی ف و حیدری ن (۱۳۸۸)** مسائل و راهبردهای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در مقیاس مزرعه. گزارش پژوهشی شماره۸۸/۱۴۵۱ ، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۸۷ صفحه

۶- **یک دهه تلاش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (۱۳۸۵)** کارایی مصرف آب محصولات زراعی در سطح کشور. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی. تهران. شماره ثبت در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی ۸۵/۱۰۲۸ مورخ ۸۵/۱۱/۵. ۳۸۵ صفحه

7. **Dong B, Loeve R, Li YH, Chen CD, Deng L, Molden D (2001)** Water productivity in the Zhanghe irrigation system: issues of scale. In: Barker R, Li YH, Tuong, TP (eds) Water-saving Irrigation for Rice. International Water



Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka, pp 97-115

8. **Hsiao TC, Steduto P, Fereres E (2007)** A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. Irrig. Sci. 25: 209–231. DOI 10.1007/s00271-007-0063-2.
9. **Keshavarz A, Ashrafi SH, Heydari N, Pouran M, Farzaneh E (2005)** Water allocation and pricing in agriculture of Iran. Proceedings of an Iranian-American workshop on Water Conservation, Reuse and Recycling, U. S. National Research Council of the National Academies, The National Academies Press, Washington, D. C. pp. 153-172
10. **Kijne JW, Baker R, Molden D (2003)** Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. CAB International, Pp. 321
11. **Molden D, Murray-Rust H, Sakthivadivel R, Makin I (2003)** A water-productivity framework for understanding and action. In: Kijne JW, Barker R, Molden D (eds.), Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 1. CABI/IWMI, Wallingford/Colombo, pp 1–18
12. **Oweis TY and Hachum A (2003)** Improving water productivity in the dry areas of West Asia and North Africa. In: Kijne JW, Barker R, Molden D (eds) Water Productivity in Agriculture, limits and opportunities for improvement, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka. pp179-198
13. **Peng SB, Laza RC, Khush GS, Sanico AL, Visperas RM, Garcia FV (1998)** Transpiration efficiencies of indica japonica rice grown under irrigated conditions. Euphotique 103, 103-108