دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مدیریت آبیاری در ایران، چالش‌ها و چشم‌اندازها

۱۲ همایش ملی

چهارشنبه و پنجشنبه
۵ و ۶ اسفند ماه ۱۳۸۸

عنوان مقاله:

افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی آبی

نویسندگان:

فریدون کاوه[۱] و سید علی حسینی ابری[۲]

چکیده

بخش بسیار بزرگی از محصولات غذایی از درصد بسیار کوچک اراضی آبی در سطح جهان بدست می‌آید. به عنوان مثال در سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ سطح کل زیر کشت اراضی زراعی و باغی کشور برابر بود با ۱۴/۵۴ میلیون هکتار بود که فقط ۶/۶۵ میلیون هکتار آن کشت آبی است. تقریباً حدود ۹۰ درصد از محصولات غذایی کشور از همین اراضی آبی بدست آمده است.

اهداف این مقاله عبارتند از: (الف) بررسی مختصر وضعیت آبیاری در سطح جهان از نظر امکان برآورده ساختن نیازهای رو به افزایش تولید غذا، (ب) بررسی روند آبیاری در ایران، (ج) بررسی مفاهیم مختلف « بازده مصرف آب» (WUE)[۳] در کشاورزی آبی از نقطه نظر مهندسی و آگرونومیک و (د) بررسی اثرات بهبود بازده مصرف آب در صرفه‌جویی آب آبیاری. بهره‌وری آب در کشاورزی به صورت‌های گوناگونی تعریف می‌شود. در اینجا بهره‌وری به دو شکل تعریف و مورد استفاده قرار گرفته است. اولین تعریف آن عبارتست از کیلوگرم محصول تولید شده قابل ارائه به بازار در واحد حجم آب مصرفی خالص (WPET) . دومین تعریف عبارتست از کیلوگرم محصول تولید شده قابل ارائه به بازار در واحد حجم آب مصرفی ناخالص با احتساب کلیه تلفات (WPsupply).

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات (تهران)- تلفن : ۰۹۱۲۱۴۸۷۷۴۵ ، رایانامه: fhnkaveh@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه- تلفن : ۰۹۱۲۵۲۱۰۰۹۱، رایانامه: hosseini_abari@yahoo.com

3 -Water Use Efficiency

نتایج این تحقیق نشان داد که در کشور ما هر دو نوع بهره‌وری نسبت به آنچه در کشاورزی علمی متداول است دارای مقادیر بسیار پائینی می‌باشد. پائین بودن بهره‌وری از نوع اول (WET) عمدتاً به لحاظ کشت گیاهان در اقلیم‌های نامناسب کشور از نظر مصرف آب می‌باشد. پائین بودن بهره‌وری از نوع دوم (WPsupply) به خاطر راندمان کل آبیاری بسیار پائین در تقریباً کلیه مناطق کشاورزی کشور است. این مقادیر بهره‌وری برای زیر حوزه‌های مختلف کشور در سال‌های زراعی ۸۱-۱۳۸۰ و ۱۴۰۴ (سال هدف) محاسبه و ارائه گردیده است. در خاتمه توصیه‌هایی برای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی ارائه گردیده است.

۱- مقدمه

تعاریف زیادی برای بهره‌وری آب[1] در کشاورزی ابی ارایه گردیده است. هر یک از این تعاریف هدف خاصی در کشاورزی را برآورده می‌نماید. همچنین« بازده مصرف آب» نیز توسط گروهی از محققین برای نشان دادن کارآیی یک واحد آب مصرفی در تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته که در حقیقت مترادف می‌باشد با بهره‌وری آب در کشاورزی. از نظر متخصصین فیزیولوژی و آگرونومیست‌ها بهره‌وری آب در کشاورزی عبارتست از عملکرد ماده خشک به ازاء یک واحد آب مصرفی خالص توسط گیاه که در حقیقت همان تبخیر و تعرق واقعی (ETc) می‌باشد. کارشناسان آبیاری علاوه بر منظر فوق به لحاظ آنکه در تأمین آب آبیاری مورد نیاز گیاه از منبع تأمین (بند انحرافی، چاه، چشمه، قنات و غیره) مسئولیت دارند بهره‌وری آب در کشاورزی را به صورت عملکرد محصول اصلی هر گیاه در واحد ناخالص آب مصرفی تعریف می‌نمایند. در این تعریف لازم است تا تلفات ناشی از بازده انتقال، توزیع و آبیاری و همچنین آب از دست رفته توسط آبشویی جهت نگهداری یک توازن املاح مناسب در ناحیه ریشه گیاه ملحوظ گردد. از آنجایی که محصول اصلی کلیه گیاهان زراعی، باغی و سبزیجات در یک رطوبت مشخصی به بازار ارائه می‌گردد، بنابراین مقایسه ماده خشک تولیدی از منظر کارشناسان آبیاری ارزش عملی چندانی ندارد. محصولات کشاورزی که به بازار عرضه می‌گردد دارای رطوبت متغیری هستند که مقایسه آن‌ها از نظر تولید ماده خشک گمراه کننده و غیرعملی است. بنابراین مبنای مقایسه عملکرد هر محصول در رطوبت‌های خاص مربوط به آن ملاک قرار گرفته و در واحد حجم آب مصرفی محاسبه می شود. الویت در کشت هر یک از گیاهان می‌باید مبتنی باشد بر سود خالص در واحد حجم آب مصرفی در صورتی که محدودیت‌های کشت و برنامه کشت دیکته شده‌ای وجود نداشته باشد. در این تحقیق هر دو نوع بهره‌وری آب (بهره‌وری براساس تبخیر و تعرق و بهره‌وری براساس آب ناخالص مصرفی) که با WPET و WPsupply مشخص می‌شوند محاسبه و مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در WPsupply دو مؤلفه از توازن رطوبت خاک در نظر گرفته نشده است. این دو مؤلفه عبارتند از تغییرات رطوبت خاک در طول فصل رشد گیاهان و رواناب سطحی مزارع ناشی از آبیاری. اغلب رواناب سطحی بعداً به مصرف مفید خواهد رسید چون هم آلودگی آن نسبت به آب فرونشت عمقی بسیار کمتر است و هم جمع‌آوری و استفاده از آن ساده‌تر می‌باشد. با وجود اهمیت کم بارندگی در مقایسه با حجم کل آب مصرفی در مناطق خشک و نیمه خشک، به لحاظ تغییرات زمانی و مکانی بسیار زیاد که می‌تواند در

1 - Water Productivity (WP)

برآورده ساختن بخشی از نیاز آبی گیاهان نقش مؤثری داشته باشد در این محاسبات از آن استفاده گردیده است. هدف اصلی این تحقیق مقایسه بهره‌وری آب در کشاورزی آبی در شرایط متفاوت بازده آبیاری است تا از طریق ارائه راهکارهای مختلف بتوان بهره‌وری آب در کشاورزی را افزایش داد.

۲- پیشینه تحقیق

کشورهای توسعه یافته پیشرفت‌های علمی خود را مدیون عبور آرام و مرحله ای در تولید فناوری‌های جدید هستند. به همین خاطر ملاحظه می‌شود که مشکلات عدیده زیست محیطی مانند آلودگی آب‌ها، فرسایش خاک، از بین رفتن منابع گیاهی و غیره را تدریجاً طی قرن بیستم حل نموده و با ورود به قرن بیست و یکم دیگر گرفتار این مشکلات نمی‌باشند. مسلماً در قرن ۲۱ مشکلات دیگری فراروی آنها قرار گرفته که به لحاظ دارا بودن پیشینه علمی در حل مشکلات قبلی اینها را هم حل خواهند نمود. متأسفانه کشورهای در حال توسعه که می‌خواستند به طور سرسری و با استفاده از تجارب موفقیت آمیز کشورهای توسعه یافته به صورت کپی برداری مشکلات فرا روی جوامع خود را حل کنند قادر به این کار نشدند به طوری که برای مثال کشور ما همراه با اکثر کشورهای در حال توسعه در ابتدای قرن ۲۱ هنوز گرفتار آلودگی‌های ناشی از محل‌های زیست، مکان‌های صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی بوده و نتوانسته همانند کشورهای توسعه یافته بر آنها غلبه نماید.

۲-۱- روند آبیاری و افزایش جمعیت در جهان

با توجه به مطالب فوق چنانکه بهره‌وری آب در کشاورزی را که از نظر منابع آب کشور موضوعی فوق العاده مهم می‌باشد در نظر بگیریم ملاحظه می‌شود که برای بهبود بهره‌وری آب راهی طولانی در پیش داریم. با توجه به نیازهای غذا و الیاف جمعیت در حال رشد کشور ما و جهان که در حال حاضر از مرز ۷۵ میلیون و ۷ میلیارد نفر گذشته و در سال ۲۰۵۰ به راحتی به ۱۱۰ میلیون و ۱۰ میلیارد نفر خواهد رسید، می باید نگرانی ما درباره افزایش بهره وری آب بسیار زیاد باشد (Howell,2001). روند افزایش سطح زیر کشت آبی در جهان نشان می دهد که برخلاف گذشته سرعت افزایش این سطح سال به سال رو به کاهش است زیرا اراضی مناسب کشت آبی تقریباً نایاب گردیده است (Howell,2001) به نحوی که طی ۴۰ سال (۲۰۰۰-۱۹۶۰) با افزایش جمعیت، اراضی آبی برای هر نفر در سطح ۰/۰۴۵ هکتار باقی مانده است، لکن اراضی قابل کشت طی این مدت از ۰/۳۸ به ۰/۲۸ هکتار برای هر نفر کاهش یافته است. بر پایه آمار ارائه شده توسط فائو از اراضی قابل کشت در جهان فقط ۱۵ درصد آبی بود که ۳۶ درصد غذای مورد نیاز جهان از آن تأمین می گردید (FAO,1988). در سال ۱۹۹۶ سطح زیر کشت آبی جهان ۲۶۳ میلیون هکتار بود که با اعمال نسبت ۱۵ درصد آبی ملاحظه می شود که مجموع اراضی قابل کشت برابر با ۱۷۵۰ میلیون هکتار می‌شود (FAO STAT, 1999). بر اساس برآورد فائو (FAO,1988) تقریباً ۶۷ درصد افزایش عملکرد گیاهان کشاورزی در کشورهای در حال توسعه که در دهه‌های آتی مورد نیاز این کشورها می باشند باید از افزایش عملکرد در واحد سطح تأمین شود. این امر نشان می دهد که افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی آبی موضوعی بسیار مهم می‌باشد.

۲-۲- روند آبیاری در ایران

در کشور ما سطح زیر کشت اراضی آبی ۶/۶۵ میلیون هکتار در سال پایه (۱۳۸۰) می‌باشد که تولید متوسط این اراضی به زحمت به رقم ۴۷/۵ میلیون تن می‌رسد (گزارش جاماب،۱۳۸۴). در حال حاضر سطح زیرکشت آبی کشور به ۹ میلیون هکتار بالغ گردیده و تولید متوسط به زحمت به ۸۰ میلیون تن می‌رسد. این امر نشان می‌دهد که از این به بعد امکان افزایش سطح زیر کشت آبی همانند گذشته وجود ندارد و به لحاظ توزیع آب روی یک سطح بزرگتر، عملکرد در واحد سطح کاهش یافته و باید تمام کوشش برنامه‌ریزان معطوف به افزایش بهره‌وری آب شود.

۲-۳- افزایش بهره وری آب

در حال حاضر بر پایه عملکرد گیاهان و آب مصرفی (گزارشات جاماب،۱۳۸۴ و وزارت جهاد کشاورزی،۱۳۸۲) بهره‌وری آب در ایران بسیار پایین و لازم است که کوشش‌های همه جانبه‌ای در زمینه‌های مربوط به افزایش بهره‌وری آب صورت گیرد. به منظور افزایش بهره‌وری آب تعداد چهار گزینه توسط Wallace & Batchelor (1997) برای کشاورزی آبی ارائه گردید. این چهار گزینه عبارت بودند از: آگرونومیک (شامل مدیریت گیاهان زراعی به منظور بهبود دریافت بارندگی یا کاهش تبخیر، استفاده از واریته‌های گیاهی اصلاح شده، استفاده حداکثر از استراتژی‌های کشت پیشرفته در دوره‌های پائین بودن تقاضای آب و یا دوره‌هایی که احتمال ریزش بیشتری وجود دارد)، گزینه مهندسی (شامل استفاده از سیستم‌های آبیاری که تلفات آب را کاهش می‌دهد، بهبود یکنواختی توزیع یا هر دو و ساختار فیزیکی که دریافت بارندگی را بهبود ببخشد)، گزینه مدیریتی (برنامه‌ریزی آبیاری براساس تقاضا، کم آبیاری خفیف تا متوسط به منظور جذب آب خاک از عمق بیشتر، اجتناب از کاهش عملکرد توسط شوری ناحیه ریشه، نگهداری تجهیزات به منظور کاهش خرابی غیر قابل انتظار ادوات و تجهیزات)، و گزینه نهادی (شامل مشارکت مصرف کنندگان آب در بهره‌برداری و نگهداری ناحیه آبیاری، قیمت‌گذاری آب و انگیزه‌های قانونی تا مصرف آب را کاهش داد و اعمال جریمه برای مصارف با بازده پائین، ایجاد فرصت‌های آموزشی برای یادگیری تکنیک‌های جدید و پیشرفته‌تر).

۲-۴- راه‌های افزایش بهره وری آب

به لحاظ گستردگی راه‌های افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی آبی لازم است تا گزینه یا گزینه‌هایی انتخاب گردد که بتوان حداکثر افزایش بهره‌وری با حداقل هزینه ممکنه را کسب کرد. نکته بسیار حائز اهمیت عملی بودن شرایط انتخاب گزینه می‌باشد که می‌باید با توجه به امکانات قابل دستیابی در هر منطقه کشاورزی تدوین گردد. در گذشته به لحاظ در نظر نگرفتن جنبه عملی کار، ناکامی‌های زیادی متوجه راه‌های پیشنهادی افزایش بهره‌وری آب بوده است. در این تحقیق کوشش گردیده تا در ابتدا راه‌های افزایش بهره‌وری عملی‌تر از آب توصیه گردد تا بتوان در کوتاهترین زمان ممکن و با صرف حداقل هزینه، بهره‌وری آب کشاورزی را افزایش داد.

۳- روش تحقیق

۳-۱- تعاریف و روابط مورد استفاده

وضع موجود بهره‌وری آب در حوزه‌های آبریز کشور محاسبه می‌شود. این محاسبات براساس آب ناخالص مصرفی، تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصول اصلی انجام خواهد شد. اصولاً بهره‌وری آب را می‌توان به راه‌های مختلف تعریف کرد. آنچه مهم است ارائه بهره‌وری آب به صورت یک نسبت می‌باشد که در صورت، کیلوگرم ماده خشک یا محصول اصلی تولید شده و در مخرج آن حجم آب مصرفی ارائه می‌گردد. برای جلوگیری از اشتباه تعاریف زیر را برای بهره‌وری آب ارائه می‌شود:

در مقیاس گیاهی، با در نظر گرفتن فیزیولوژی گیاه: بهره‌وری آب بر پایه تعرق (WPT)، عبارتست از کیلوگرم ماده خشک تولیدی برای هر متر مکعب آب مصرف شده در تعرق؛

در مقیاس قطعه زراعی، شامل آب تبخیر شده از خاک: بهره وری آب بر پایه تبخیر و تعرق (WPET)، عبارتست از کیلوگرم ماده خشک تولیدی برای هر متر مکعب آب مصرف شده در تبخیر و تعرق؛

مقیاس قطعه زراعی، شامل آب لازم برای نگهداری غلظت نمک در پروفیل خاک در حدّ قابل قبول بهره وری آب بر پایه آبشویی (WPLeach)، عبارتست از ماده خشک تولیدی برای هر متر مکعب آب مصرفی در تبخیر و تعرق به علاوه آب به کار برده جهت آبشویی؛

مقیاس ناحیه ای، شامل تلفات از سیستم کانال‌های آبیاری : بهره وری آب بر پایه منبع آب (WPsupply)، عبارتست از کیلوگرم ماده خشک تولیدی توسط یک متر مکعب آب مصرف شده در تبخیر و تعرق به علاوه آبشویی از خاک و تلف شده از کانال‌ها.

از میان تعاریف مذکور توجه ما عمدتاً به تعریف شماره (۲) و (۴) جلب می‌شود. علت انتخاب این دو تعریف آن است که می‌توان تلفات آب آبیاری در هر نقطه از یک پروژه یا طرح کشاورزی را تعریف نمود. بنابراین پس از محاسبه WPET و WPsupply می‌توان به خوبی از میزان تلفات آب آبیاری در هر نقطه دلخواه مطلع گردید. هم چنین قبلاً به این نکته اشاره شد که مقایسه تولید ماده خشک در گیاهانی که برای استفاده‌های خاصی به کار برده می‌شوند آموزنده است (برای مثال گیاهان علوفه‌ای در مقایسه با غلات و غیره). ولی برای مقایسه گیاهانی که استفاده‌های متفاوتی دارند استفاده از ماده خشک می‌تواند گمراه کننده باشد. برای مثال مقایسه ماده خشک گیاهان علوفه‌ای با ماده خشک میوه‌ها از نظر مصرف آب گمراه کننده می‌باشد.

براساس تعاریف ارائه شده در بالا دو رابطه بهره‌وری آب به شرح زیر ارائه می‌گردد:

$$WP_{ET} = \frac{Y_m}{V_{ET} - V_{pte}} \qquad (۱)$$

در این رابطه Y_m برابر است با کیلوگرم عملکرد محصول اصلی، V_{ET} حجم آب مصرفی برای تبخیر و تعرق، WP_{ET} بهره‌وری آب براساس تبخیر و تعرق و V_{pte} عبارت از حجم باران موثر می‌باشد.

$$WP_{\sup pfv} = \frac{Y_m}{V_{IW}} \qquad (۲)$$

در این رابطه V_{IW} آب ناخالص مصرفی در آبیاری که از بندهای انحرافی، چاه‌ها، چشمه‌ها، قنوات و غیره تأمین می‌شود و WP_{supply} بهره‌وری آب بر پایه منبع آب یا آب برداشت شده برای آبیاری می‌باشند. بدیهی است که در آب ناخالص مصرفی آبیاری کلیه تلفات باید منظور شود. در صورتیکه رواناب سطحی مجدداً بازیافت و مصرف شود می‌توان بخش مفید آن را از V_{IW} کسر نمود.

۳-۲- نمونه‌ای از بهره‌وری آب در کشور هند

به منظور نشان دادن تغییرات سالانه بهره‌وری آب و روشن ساختن اساس روش تحقیق جدول شماره (۱) برای سال‌های ۱۹۹۳ الی ۲۰۰۲ نشان داده شده است. لازم به توضیح است که این ارقام مربوط می‌شود به گیاه گندم. انتخاب این منطقه به خاطر شباهت اقلیمی زیاد با مناطق گندم کاری کشور ایران است (بارندگی سالانه ۳۰۰ تا ۵۵۰ میلیمتر و تبخیر و تعرق گیاه مرجع ۴ تا ۵ برابر بارندگی سالانه می باشد). جدول (۱)- مقادیر WPET و WPsupply طی سال‌های مختلف برای قطعه شماره ۱۶ کشاورزان در منطقه آبیاری سیسرا (Sisra) واقع در ایالات Haryana کشور هند برای گندم (به نقل از Leffelaar,2003).

سال زراعی	۱۹۹۳	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲
بارندگی (mm)	۱۷۳	۳۴۳	۴۴۱	۴۵۵	۶۶۹	۴۲۴	۲۸۶	۲۵۵	۳۹۲	۱۸۷
آب آبیاری از چاه (mm)	۳۹۶	۳۹۶	۳۹۶	۳۹۶	۳۹۶	۳۹۶	۳۹۶	۳۹۶	۳۹۶	۳۹۶
باران مؤثر (mm)	۵۳	۵۴	۱۱۶	۱۳۸	۱۴۳	۱۹۱	۱۶۲	۶۷	۷۴	۳۶
عملکرد گندم (Kg/ha)	۴۹۸۵	۴۶۷۹	۶۲۴۷	۵۸۲۳	۷۱۷۰	۵۴۶۲	۴۷۹۶	۵۴۶۸	۶۰۶۰	۵۱۸۰
تبخیر و تعرق (mm)	۳۰۵	۲۹۹	۲۷۶	۳۱۸	۳۲۵	۲۷۹	۲۷۴	۲۹۵	۳۰۷	۲۷۹
WP_{ET} (Kg/m³)	۱/۶۳	۱/۵۶	۲/۲۶	۱/۸۳	۲/۲۱	۱/۹۶	۱/۷۵	۱/۸۵	۱/۹۵	۱/۸۶
WP_{supply} (Kg/m³)	۱/۱۱	۱/۰۴	۱/۲۲	۱/۰۹	۱/۳۳	۰/۹۳	۰/۸۶	۱/۱۸	۱/۲۹	۱/۲۰

از جدول بالا چند نکته مهم قابل ذکر است. با وجود آنکه مقدار آب آبیاری مورد استفاده (۳۹۶ میلیمتر) از چاه طی سال‌های مختلف تغییری ننموده لحاظ وجود باران مؤثر قابل توجه در سال‌های ۱۹۹۵ الی ۱۹۹۹ شاید امکان کاهش استفاده از آب چاه نیز وجود داشت. عملکرد گندم در طول ده سال نوسانات چشمگیری داشته است (از حداقل ۴۶۷۹ کیلوگرم تا حداکثر ۷۱۷۰ کیلوگرم در هکتار) که این نوسانات را نمی‌توان به مقدار باران مؤثر نسبت داد. شاید بتوان این نوسانات را به توزیع مناسب باران مؤثر طی فصل رشد گیاه نسبت داد. هم چنین بارش در زمان نامناسب می‌تواند به محصول از طریق فرآیند خوابیدگی یا از طریق رطوبت بیش از اندازه خاک خسارت وارد کند. به هر حال میانگین WPET و WPsupply به ترتیب برابرست با ۱/۹۰ و ۱/۱۲ .

۳-۳- روش‌های مورد استفاده برای محاسبه بهره وری آب در کشاورزی

چنانکه قبلاً گفته شد در این تحقیق از دو روش برای تعیین بهره وری آب در کشاورزی استفاده می‌شود. یک روش محاسبه WPsupply است که در آن مقادیر عملکرد محصول اصلی گیاهان و آب مصرفی ناخالص مورد استفاده در یک ناحیه به یکدیگر تقسیم و به صورت یک نسبت بر حسب کیلوگرم محصول اصلی به ازاء یک متر مکعب آب ناخالص مصرفی نشان داده می‌شود. فرضیات به کار برده شده در این روش به شرح زیر خلاصه می‌شود:

(الف) تغییرات رطوبت خاک به لحاظ طولانی بودن فصل رشد گیاهان و کم بودن مقدار آن در نظر گرفته نمی‌شود.

(ب) مجموع تلفات آبیاری اعم از رواناب سطحی، فرونشست عمقی، تلفات از کانال‌های انتقال و توزیع و آب مورد نیاز آبشویی یک جا و به صورت آب غیرمفید در نظر گرفته می‌شود.

(ج) با وجود آنکه رواناب سطحی و فرونشست عمقی ممکن است در نقطه دیگری در پائین دست مورد استفاده کشاورزان قرار گیرند ولی به لحاظ وجود آلاینده‌های زیاد در این آبها، از نقطه نظر اهداف این مقاله بعنوان آب از دست رفته تلقی می‌شود.

(د) به لحاظ آنکه محصول ارائه شده به بازار دارای یک رطوبت ثابت بازار پسند می‌باشد بنابراین نیازی به تفکیک ماده خشک گیاه و رطوبت از یکدیگر نمی‌باشد.

روش دیگر، محاسبه WPET می‌باشد که در آن مقادیر عملکرد محصول اصلی یک گیاه (در رطوبت بازار پسند خاص) و آب مصرفی در تبخیر و تعرق واقعی به یکدیگر تقسیم شده و نتیجه به صورت نسبت برحسب کیلوگرم محصول اصلی به ازاء یک مترمکعب آب مصرفی در تبخیر و تعرق نشان می‌دهیم. اگر چه ارائه عملکرد به صورت ماده خشک کل یا ماده خشک محصول در مقایسه‌هایی که بین گیاهان مشابه از نظر مصرف برای انسان و دام در پاره ای از رشته‌های کشاورزی بسیار مطلوب می‌باشد، لکن استفاده از آن در این مقاله غیر عملی است، چون در اینجا کلیه محصولات کشاورزی باید با یکدیگر نه تنها از نظر عملکرد بلکه از نظر سود خالص نیز مقایسه شوند. هم چنین رقابت بین بخش‌های مختلف مصرف کننده آب نظیر آب شهری، صنعتی و غیره ایجاب می‌نماید که آب در بخشی مورد استفاده قرار گیرد که بازده بالاتری در اقتصاد کشور داشته باشد.

۴- نتایج

چنانچه اشاره شد، نتایج گزارش‌های قابل استناد تهیه شده توسط سازمان‌ها و مؤسسات مختلف داده‌های پایه این تحقیق را تشکیل می‌دهد. برای دستیابی به بهره وری آب بر پایه تبخیر و تعرق واقعی و بر پایه منابع آب مصرف شده جهت تولید محصولات به شرح زیر عمل می‌نمائیم.

۱- در اینجا اطلاعات و آمار ضروری برای بهره وری آب بر پایه تبخیر و تعرق واقعی ارائه می‌گردد. با استخراج داده‌های عملکرد محصول اصلی گیاهان کشاورزی طی سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ در نقاط مختلف کشور و

همچنین تبخیر و تعرق واقعی گیاهان کشاورزی در نقاط مختلف و باران مؤثر می‌توان بهره وری آب بر پایه تبخیر و تعرق واقعی با احتساب بارندگی مؤثر را محاسبه و برای گیاهان زراعی و مناطق مختلف کشور در جداولی ارائه نمود. از نتایج این جداول تغییرات مکانی و زمانی WPET در کشور کاملاً مشخص خواهد گردید. نتایج پهنه بندی WPET در سطح کشور به ما نشان خواهد داد کدام مناطق دارای بهره‌وری بهتری می‌باشند. بر پایه این جدول می‌توان ملاحظه نمود که کدام یک از محصولات مختلف در کدام یک از مناطق کشاورزی کشور دارای بالاترین WPET می‌باشد تا بر اساس آن الگوی کشت بهینه منطقه کشاورزی را تدوین نمود. نتایج این محاسبات به ما این امکان را می‌دهد تا گیاهان نامناسب از نظر WPET در هر منطقه کشاورزی را از الگوی کشت حذف نمائیم.

۲- در این بخش فقط باید آب ناخالص مورد استفاده برای آبیاری که از منبع آب تأمین می‌شود با احتساب بارندگی مؤثر به عنوان منبع آب مورد استفاده قرار گیرد. پس از محاسبه بهره وری آب بر پایه منبع آب می‌توان مقادیر متفاوت WPsupply را در نقاط مختلف کشور و در زمان‌های مختلف محاسبه و در جداول درج نمود. مقادیر بدست آمده WPsupply به مراتب کمتر از مقادیر WPET می‌باشند. بنابراین دو سطح بهره وری آب از محاسبات فوق بدست خواهد آمد. یکی WPET است که بالاترین سطح بهره وری آب محسوب می‌شود و فقط جنبه تئوری دارد و هرگز نمی‌توان با تأمین منحصراً تبخیر و تعرق واقعی گیاهان به یک کشاورزی پایدار دست یافت چون انجام آبیاری با بازده کل آبیاری ۱۰۰ درصد امکان پذیر نمی‌باشد. در سطح دیگر WPsupply یعنی بهره وری آب در شرایط فعلی قرار گرفته که سطح بسیار نامطلوبی از نظر بهره وری آب محسوب می‌شود. هر اندازه عملیات آبیاری بهبود یابد مقدار WPsupply افزایش یافته و به WPET نزدیکتر خواهد گردید. در حقیقت هدف اصلی این تحقیق هم ارتقاء بهره‌وری آب بوده است.

۳- در این قسمت می‌توان در جداول (۳) و (۴) نه تنها بهره‌وری‌های WPET و WPsupply را در سال‌های ۱۳۸۰ و۱۴۰۴ (هدف) برای زیر حوزه‌های مختلف کشور نشان داد بلکه با افزایش بازده‌های آبیاری از مقادیر کنونی تا مقادیری که دستیابی به آنها در سال‌های آینده امکان پذیر می‌باشد افزایش بهره وری آب و هم چنین صرفه جویی‌ها در آب مصرفی کشاورزی مشخص خواهد شد. مقایسه بهره وری‌ها در هر زیر حوزه یا پروژه به ما نشان می‌دهد که در حال حاضر از نظر میزان بهره وری آب در کجا قرار داریم و با بهبود بهره وری آب آبیاری به چه موقعیتی می‌توانیم برسیم.

جدول (۲)- بهره وری آب بر اساس تبخیر و تعرق واقعی (WP_{ET}) برای محصولات مختلف بر اساس عملکرد سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ بر حسب کیلوگرم محصول در یک مترمکعب آب مصرفی.

استان	گندم	برنج (شلتوک)	ذرت دانه ای	یونجه	پنبه	چغندر	خیار	هندوانه	خربزه طالبی	نخود	لوبیا	عدس	پیاز	سیب زمینی	گوجه فرنگی	سیب	مرکبات	انگور	پسته	خرما
آ. غربی	۱/۱۵	۰/۲۷	۰/۹۲	۰/۷۳		۵/۸۷	۳/۰۵	۸/۵۳		۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۴۸	۳/۳۶	۳/۸۳	۴/۳۲	۳/۶۰		۲/۴۸		
آ. شرقی	۰/۹۹	۰/۲۵	۰/۸۱	۰/۹۲		۲/۵۲	۴/۰۴	۴/۴۷	۴/۵۸	۰/۴۸	۰/۲۹	۰/۴۶	۵/۲۴	۴/۴۳	۶/۲۰	۳/۰۸		۳/۱۱		
اردبیل	۱/۱۵			۰/۶۵	۰/۴۶	۵/۲۴	۲/۷۶			۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۱۴		۴/۵۶	۶/۱۹	۴/۱۸		۳/۰۷		
مازندران	۱/۹۵	۰/۷۰		۲/۲۹	۰/۶۱		۸/۳۶			۰/۴۳	۰/۵۱	۰/۲۸	۱/۷۵		۸/۵۲		۷/۷۷			
گلستان	۱/۴۰	۰/۳۳	۱/۱۹	۰/۸۷	۰/۳۱		۱۱/۱۴	۳/۵۹	۵/۶۸	۰	۱/۴۲	۰/۳۷	۴/۱۷	۴/۲۵	۵/۸۵			۳/۶۱		
گیلان		۰/۶۰															۱۱/۶۳			
مرکزی	۰/۶۴		۰/۹۴	۰/۶۳	۰/۲۹	۲/۸۶	۵/۶۷	۲/۹۴	۳/۰۹	۰/۲۴	۰/۳۵	۰/۳۳	۴/۷۲	۳/۳۸	۴/۰۳	۱/۷۵		۲/۶۱	۰/۳۱	
تهران	۰/۹۹	۰/۲۶	۱/۱۱		۰/۲۸		۶/۴۸	۳/۶۴	۲/۹۳		۰/۱۷		۶/۵۷	۲/۷۷	۴/۲۱	۲/۲۱		۲/۳۵	۰/۲۸	
همدان	۰/۸۸		۱/۵۲	۱/۳۲		۳/۷۳				۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۲۰	۱/۶۸	۴/۳۹	۵/۰۴	۲/۸۷		۳/۲۱		
لرستان	۰/۷۰	۰/۳۰		۰/۳۷		۲/۳۷		۳/۰۴		۰/۶۳	۰/۲۷		۳/۶۸	۲/۶۲	۲/۶۹	۱/۸۷		۱/۶۶		
اصفهان	۰/۷۰	۰/۳۵	۰/۸۳	۰/۶۵	۰/۳۰	۳/۰۲	۱۰/۴۹	۳/۲۲	۳/۷۵	۰/۴۳	۰/۳۷	۰/۲۴	۶/۳۳	۳/۲۹	۴/۳۹	۱/۶۰		۱/۲۶	۰/۳۰	۰/۲۴
چهار محال	۰/۷۷	۰/۲۹		۰/۷۴		۲/۸۰	۹/۸۷						۷/۲۸	۳/۲۱	۵/۳۶	۱/۶۹		۲/۵۲		
خوزستان	۰/۸۶	۰/۳۲	۱/۰۲	۰/۵۲		۸/۲۹	۵/۵۰	۵/۱۱	۴/۴۳		۰/۲۴		۷/۴۹	۵/۲۳	۸/۲۷		۱/۳۷	۰/۹۱		۰/۳۱
ایلام	۱/۲۷	۰/۲۴	۰/۹۳	۰/۶۷			۳/۶۱	۴/۵۹		۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۱۳	۱۱/۵۷	۳/۷۶	۱/۹۱			۱/۵۸		۰/۱۱
کرمانشاه	۱/۲۵	۰/۲۳		۰/۶۷	۰/۲۰	۳/۰۹	۴/۸۶	۴/۰۲	۳/۸۳	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۰۹			۳/۲۹	۲/۰۴		۱/۸۳		
کردستان	۰/۶۷	۰/۱۸	۱/۰۸	۰/۵۳			۳/۶۹	۴/۵۲	۲/۹۴	۰/۲۰			۲/۲۷	۳/۷۲	۲/۱۳	۱/۵۷		۱/۶۴		
فارس	۰/۹۳	۰/۳۱	۰/۸۶	۰/۵۷	۰/۲۵	۲/۳۱	۲/۹۹	۳/۷۶		۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۱۹	۴/۶۴	۲/۸۱	۴/۸۸	۱/۲۸	۳/۲۵	۱/۵۱	۰/۱۶	۰/۵۰
بوشهر	۰/۵۶		۱/۰۳	۰/۳۸			۷/۱۲	۲/۰۹	۳/۱۸				۷/۱۳	۵/۷۹	۷/۹۳		۱/۲۴			۰/۳۵
یزد	۰/۵۱		۰/۷۸	۰/۶۵	۰/۲۱	۱/۹۵	۷/۵۸	۳/۷۷	۳/۳۰	۰/۱۹	۰/۳۰	۰/۲۱	۳/۶۷		۴/۴۱			۲/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۵
کرمان	۰/۵۴		۰/۹۸	۰/۶۰	۰/۱۴	۲/۶۶		۲/۴۸		۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۱۸	۸/۶۴	۲/۶۰	۳/۵۲		۱/۱۰	۱/۴۱	۰/۱۴	۰/۵۸
هرمزگان	۰/۸۵			۰/۴۰			۴/۹۰	۶/۶۷	۳/۷۲				۶/۱۶	۴/۳۲	۳/۳۷		۱/۵۲	۱/۰۶	۰/۲۴	۰/۳۵
سیستان	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۷۱	۰/۹۹			۳/۹۶	۴/۲۴	۱/۹۰			۰/۳۳	۳/۲۸	۵/۹۴	۴/۶۵		۱/۰۱	۰/۶۶	۰/۱۱	۰/۴۶
زنجان	۰/۶۶	۰/۱۶		۰/۴۳			۳/۸۴			۰/۱۶	۰/۴۰	۰/۲۳	۳/۰۶	۳/۱۵	۳/۰۷	۲/۶۱		۱/۹۱	۰/۲۹	
خراسان	۰/۷۶	۰/۲۸	۰/۷۷	۰/۵۸	۰/۴۳	۳/۳۱	۳/۵۳	۴/۰۹	۲/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۳	۵/۰۴	۲/۹۳	۵/۶۶	۱/۳۸		۲/۵۱	۰/۲۵	۰/۳۶
کهکلویه	۱/۱۳	۰/۵۶	۰/۷۰	۰/۷۷		۲/۵۶	۱۴/۵۶	۷/۰۹	۵/۶۳	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۵۴	۵/۱۷		۳/۸۰	۴/۵۴	۲/۰۸	۵/۷۴		
سمنان	۰/۶۹		۰/۶۸	۰/۴۷	۰/۲۵	۳/۶۹	۳/۲۸	۳/۳۵	۲/۲۸	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۲۲	۳/۳۴	۱/۶۹	۲/۰۰	۲/۳۶		۳/۱۱	۰/۳۸	

جدول (۳)- بهره وری آب آبیاری ناخالص و خالص مصرفی طی سال ۱۳۸۰ در زیر حوزه‌های کشور

کد زیرحوزه	نام زیرحوزه	محصولات تولید شده (تن)	آب آبیاری ناخالص (میلیارد مترمکعب)	بازده کل آبیاری (٪)	آب آبیاری خالص (میلیارد مترمکعب)	WP_{supply}	WP_{ET}
11	ارس	1740474	2.506	35.5	0.89	0.69	1.96
12	تالش- مرداب انزلی	287212	1.264	65	0.82	0.23	0.35
13	سفیدرود بزرگ	2229314	3.608	49	1.77	0.62	1.26
14	رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز	515793	0.913	62	0.57	0.56	0.91
15	رودخانه‌های هراز تا قره سو	1748931	2.333	57	1.33	0.75	1.32
16	قره‌سو- گرگانرود	1032200	1.323	38	0.50	0.78	2.05
17	اترک	315377	0.491	35.8	0.18	0.64	1.79
21	مرزی غرب	655383	1.316	35	0.46	0.50	1.42
22	کرخه	2613645	4.148	36	1.49	0.63	1.75
23	کارون بزرگ	10152086	9.257	34.5	3.19	1.10	3.18
24	زهره- جراحی	1064518	2.342	32.7	0.77	0.45	1.39
25	حله و مسیل‌های دو طرف آن	590040	1.056	32.5	0.34	0.56	1.72
26	مند	1364445	2.554	36.8	0.94	0.53	1.45
27	کل و مهران و مسیل‌های جنوبی	954607	1.661	36.8	0.61	0.57	1.56
28	بندرعباس و سدیج	924793	1.207	36.6	0.44	0.77	2.09
29	بلوچستان جنوبی	86430	0.18	35.5	0.06	0.48	1.35
30	دریاچهٔ ارومیه	2464528	4.022	35.8	1.44	0.61	1.71
41	دریاچهٔ نمک	5666055	8.245	36.7	3.03	0.69	1.87
42	گاوخونی	1893083	2.773	36.4	1.01	0.68	1.88
43	طشک- بختگان و مهارلو	2208187	3.749	38.5	1.44	0.59	1.53
44	کویر ابرقو- سیرجان	429607	1.393	36.5	0.51	0.31	0.84
45	هامون- جازموریان	1178898	2.314	35.6	0.82	0.51	1.43
46	کویر لوت	671521	1.832	36.2	0.66	0.37	1.01
47	کویر مرکزی	3383580	5.237	35.8	1.87	0.65	1.80
48	کویرهای سیاهکوه، ریگ زرین و دق‌سرخ	539329	0.828	36.6	0.30	0.65	1.78
49	کویرهای ذرانجیر و ساغند	307703	1.813	37	0.67	0.17	0.46
51	دق تیرگان- نمکزار خواف	318359	0.623	36.5	0.23	0.51	1.40
52	هامون هیرمند	151904	0.278	35.3	0.10	0.55	1.55
53	هامون مشکیل	131239	0.37	36.7	0.14	0.35	0.97
60	سرخس	1823136	2.229	36.3	0.81	0.82	2.25

جدول (۴)- بهره وری آب آبیاری ناخالص و خالص مصرفی طی سال ۱۴۰۴ در زیر حوزه‌های کشور

کد زیرحوزه	نام زیرحوزه	محصولات تولید شده (تن)	آب آبیاری ناخالص (میلیاردمترمکعب)	بازده کل آبیاری (٪)	آب آبیاری خالص (میلیارد مترمکعب)	WPsupply	WPET
۱۱	ارس	۴۹۹۲۱۶۷	۴.۰۶۹	۴۵	۱.۸۳	۱.۲۳	۲.۷۳
۱۲	تالش- مرداب انزلی	۶۳۶۰۲۲	۱.۳۲	۷۰	۰.۹۲	۰.۴۸	۰.۶۹
۱۳	سفیدرود بزرگ	۵۳۱۲۹۹۵	۵.۵	۵۰	۲.۷۵	۰.۹۷	۱.۹۳
۱۴	رودخانه‌های بین سفیدرود وهراز	۱۷۴۴۷۹۴	۱.۰۶۷۸	۶۴	۰.۶۸	۱.۶۳	۲.۵۵
۱۵	رودخانه‌های هراز تا قره سو	۴۲۷۵۵۵۱	۲.۸۹۶	۶۴	۱.۸۵	۱.۴۸	۲.۳۱
۱۶	قره‌سو- گرگانرود	۲۵۲۶۱۶۰	۲.۰۱۶	۵۲	۱.۰۵	۱.۲۵	۲.۴۱
۱۷	اترک	۷۹۸۰۶۶	۱.۱۱۱	۴۵	۰.۵۰	۰.۷۲	۱.۶۰
۲۱	مرزی غرب	۴۱۶۵۲۹۰	۳.۷۸۳	۵۰	۱.۸۹	۱.۱۰	۲.۲۰
۲۲	کرخه	۸۰۵۲۲۶۷	۷.۳۹۷	۴۷	۳.۴۸	۱.۰۹	۲.۳۲
۲۳	کارون بزرگ	۲۴۲۹۲۲۱۳	۱۳.۱۴۹	۴۵	۵.۹۲	۱.۸۵	۴.۱۱
۲۴	زهره- جراحی	۱۷۵۴۱۹۵	۲.۷۵۹	۴۵	۱.۲۴	۰.۶۴	۱.۴۱
۲۵	حله و مسیل‌های دو طرف آن	۱۱۰۶۹۱۶	۱.۵۹۸	۴۵	۰.۷۲	۰.۶۹	۱.۵۴
۲۶	مند	۲۴۴۸۲۵۵	۲.۶۸۲	۴۶	۱.۲۳	۰.۹۱	۱.۹۸
۲۷	کل و مهران و مسیل‌های جنوبی و جزایر	۱۱۲۳۲۶۱	۱.۵۰۵	۴۹	۰.۷۴	۰.۷۵	۱.۵۲
۲۸	بندرعباس و سدیج	۱۹۶۱۳۳۹	۱.۴۹۱	۴۷	۰.۷۰	۱.۳۲	۲.۸۰
۲۹	بلوچستان جنوبی	۲۳۸۸۷۸	۰.۳۳۳	۴۵	۰.۱۵	۰.۷۲	۱.۵۹
۳۰	دریاچهٔ ارومیه	۶۶۰۰۱۴۰	۵.۳۴۲	۵۰	۲.۶۷	۱.۲۴	۲.۴۷
۴۱	دریاچهٔ نمک	۹۷۹۲۰	۸.۸۸۹	۵۰	۴.۴۴	۰.۰۱	۰.۰۲
۴۲	گاوخونی	۴۳۸۵۴۲۴	۳.۷۸۳	۵۰	۱.۸۹	۱.۱۶	۲.۳۲
۴۳	طشک- بختگان و مهارلو	۳۹۰۰۲۵۵	۳.۵۰۳	۵۰	۱.۷۵	۱.۱۱	۲.۲۳
۴۴	کویر ابرقو- سیرجان	۶۸۴۸۲۰	۱.۲۲۲	۵۰	۰.۶۱	۰.۵۶	۱.۱۲
۴۵	هامون- جازموریان	۲۱۱۸۷۹۰	۲.۲۱۷	۵۰	۱.۱۱	۰.۹۶	۱.۹۱
۴۶	کویر لوت	۱۲۵۰۴۳۷	۱.۹۹۸	۴۵	۰.۹۰	۰.۶۳	۱.۳۹
۴۷	کویر مرکزی	۵۹۴۸۳۸۹	۵.۸۹۹	۴۸	۲.۸۳	۱.۰۱	۲.۱۰
۴۸	کویرهای سیاهکوه، ریگ زرین و دق‌سرخ	۵۶۳۳۲۱	۰.۷۴۶	۴۶	۰.۳۴	۰.۷۶	۱.۶۴
۴۹	کویرهای ذرانجیر و ساغند	۸۶۵۴۰۶	۱.۷۵۹	۵۰	۰.۸۸	۰.۴۹	۰.۹۸
۵۱	دق تیرگان- نمکزار خواف	۴۸۸۹۵۹	۰.۶۲۹	۴۶	۰.۲۹	۰.۷۸	۱.۶۹
۵۲	هامون هیرمند	۷۶۷۹۱۶	۱.۲۱۴	۴۲	۰.۵۱	۰.۶۳	۱.۵۱
۵۳	هامون مشکیل	۲۴۶۸۵۱	۰.۳۷۸	۴۵	۰.۱۷	۰.۶۵	۱.۴۵
۶۰	سرخس	۳۵۶۷۴۳۱	۳.۰۰۸	۴۹	۱.۴۷	۱.۱۹	۲.۴۲

۵- پیشنهادات

در پایان با استفاده به نتایج فوق و با توجه به امکانات کشاورزان از نظر دسترسی به آب آبیاری و فناوری‌های آبیاری موجود در کشورهای توسعه یافته می‌توان پیشنهاداتی برای افزایش بهره وری آب در کشاورزی کشور به شرح زیر ارائه داد :

۱- مقایسه بهره وری آب بر اساس تبخیر و تعرق واقعی می‌باید از طرف وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی به نحوی در تهیه الگوی کشت منطقه ای مورد استفاده قرار گیرد تا گیاهان با بازده مصرف آب پایین از الگوهای کشت حذف گردد. این امر مستلزم آنست تا از طریق خریدهای تضمینی، کشاورزان به کشت گیاهان الگوهای کشت پیشنهادی تشویق گردند.

۲- هزینه هر مترمکعب آب صرفه جویی شده از طریق افزایش باید از طرف دولت مستقیماً در اختیار سازمان مسئول مدیریت بهره وری آب کشاورزی قرار گیرد. به عبارت دیگر کلیه هزینه‌های احداث یک سد ۲۰ میلیون مترمکعبی مستقیماً در اختیار سازمان فوق قرار گیرد.

۳- بخشی از درآمد فوق می‌باید در ایجاد زیرساختارهای مزارع هزینه گردد که بتوان تدریجاً بازده آبیاری را افزایش داد.

۴- جوایز ویژه ای برای کشاورزانی که بتوانند WP_{ET} و WP_{supply} را کاهش دهند اختصاص داد.

۶- منابع

۱- جاماب، مهندسین مشاور.۱۳۸۴. مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر امور آب ،کشاورزی و منابع طبیعی.

۲- فرشی ،علی اصغر. ،شریعتی ، محمد رضا. جارالهی، رقیه . قائمی ، محمدرضا . شهابی فر ، مهدی . تولایی ، میر مسعود.۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد اول و جلد دوم. نشر آموزش کشاورزی، وابسته به معاونت آموزشی و تجهیز نیروی انسانی سازمان تحقیقات ، آموزش و ترویج کشاورزی/کرج .

۳- وزارت جهاد کشاورزی ، ۱۳۸۲.آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ . جلد اول . محصولات زراعی و باغی. معاونت برنامع ریزی و اقتصادی ، دفتر آمار و فناوری اطلاعات.

4- [FAO] Food and Agriculture Organization. 1988. World agriculture toward 2000: An FAO study . Bwllhaven Pross , London.

5-[FAO S TAT] Food and Agricultre Organization of the Vnited Nations . 1999. FAO STAT statistical database.[Online]. Available athttp://apps.fao.org/(verified2Nov.2000).

6- Hargreaves , G. H. 1972. The evaluation of water fediciencies. Irrigation and Drainage Division Specialty Conference , Age of Chamging Priorities for Land and water. ASCE. September 26-28. , P 1-18. Spokane , Washington.

7- Howell, T. A. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Agronomy Journal. 93:281-289.

8- Leffelaar , P. A. , van Dam , J. C. , Bessembinder , j. j. E. , and Pansioen , T. , 2003, Water prouductivity of irrigated cropsim Sirsa district , India . Edited by Van Dam , J. C. and Malik , R. S. , Wageningen , Nether land.

9- Wallace , J. S. , and Bachelor , C. H. 1997. Managing water resources for crop production . Philos. Trans . R. Soc. London Ser. B 352:937-947.