



عنوان مقاله:

بهره‌وری مصرف آب محصولات زراعی گندم، برنج، پنبه و ذرت
در اراضی آبی دنیا و مقایسه آن با ایران

نویسندگان:

محمد اسماعیل اسدی^۱، رؤیا عقیلی^۲

چکیده

با افزایش سریع جمعیت جهان، فشار بر منابع محدود آب شیرین، افزایش می‌یابد. کشت آبی، بزرگترین بخش مصرف کننده آب در دنیاست و با رقابت فزاینده دیگر بخش‌ها مانند صنعت و شرب روبرو است. با جمعیت فزاینده و آب کمتری که برای تولیدات کشاورزی در دسترس است، تضمین امنیت غذایی برای نسل‌های آینده مبهم است. در جهان امروز، چالش بزرگ در بخش کشاورزی، تولید غذای بیشتر با آب کمتر است که از طریق افزایش بهره‌وری آب نباتات زراعی (CWP) حاصل می‌گردد. شاخص CWP بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب که معمولاً در منابع به عنوان کارایی مصرف آب (WUE) ارائه می‌شود، عبارت است از نسبت عملکرد، محصولات تجاری به میزان تبخیر و نترقی. بر اساس مرور ۸۴ منبع علمی ثبت شده جهان از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۴ همراه با نتایج تحقیقاتی که قدمت آنها حداکثر به ۳۰ سال می‌رسد، مشخص شد که دامنه CWP گندم، برنج، پنبه و ذرت که قبلاً توسط FAO گزارش شده بود، از روند افزایشی برخوردار بوده است. بر اساس این آمار، متوسط جهانی مقادیر CWP در واحد کاهش آب برای گندم ۱/۰۹، برنج ۱/۰۹، دانه پنبه ۰/۱۶۵، الیاف پنبه ۰/۲۳ و ذرت ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. البته دامنه ارقام بسیار وسیع بوده (گندم ۰/۱۶ تا ۱/۷، برنج ۰/۱۶ تا ۱/۶، پنبه دانه ۰/۴۱ تا ۰/۹۵، الیاف پنبه ۰/۱۴ تا ۰/۳۳ و ذرت ۱/۱ تا ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) و بیانگر فرصت‌های شگرف برای نگهداری یا افزایش تولیدات کشاورزی با ۲۰ تا ۴۰

۱- عضو هیأت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، رایانامه: iwc977127@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران دانشکده مهندسی علوم آب، رایانامه: aghili_roya@yahoo.com

درصد منابع آب کمتر می‌باشد. همچنین ارقام متناظر در ایران برای گندم ۰/۵۶ تا ۱/۴۶، ذرت علوفه ای ۵/۵۸ و پنبه ۰/۷۱ کیلوگرم محصول بر متر مکعب آب مصرفی اندازه گیری و گزارش شده است. تنوع CWP را می‌توان به عواملی چون آب و هوا، مدیریت آب در آبیاری، و مدیریت مواد غذایی خاک نسبت داد. کمبود فشار بخار آب با CWP رابطه معکوس دارد. کمبود فشار بخار همراه با عرض جغرافیایی کاهش می‌یابد و بنابراین نواحی مناسب برای کشاورزی با آبیاری معقول، در عرضهای جغرافیایی بالاتر قرار می‌گیرند. مهمترین نتیجه این بحث اینست که در صورتیکه مقدار آب آبیاری کاهش یافته و یا کمبود آب مورد نیاز گیاه مرتفع گردد CWP می‌تواند به طور معنی داری افزایش یابد.

کلمات کلیدی: بهره وری آب زراعی، کمبود آب، گندم، برنج، پنبه، ذرت.

۱- مقدمه

با افزایش سریع جمعیت جهان، فشار بر منابع محدود آب شیرین، افزایش می‌یابد. کشت آبی، بزرگترین بخش مصرف کننده آب در دنیاست و با رقابت فزاینده دیگر بخشها مانند صنعت و شرب روبرو است. با توجه به رشد جمعیت و آب کمتری که برای تولیدات کشاورزی در دسترس است، تضمین امنیت غذایی برای نسل‌های آینده، مبهم است.

بخش کشاورزی با چالش تولید غذای بیشتر و مصرف آب کمتر، و به عبارت دیگر افزایش بهره وری آب زراعی (CWP) مواجه است (Kijne et al. 2003a). یک CWP بالاتر، یا از همان تولید با منابع آب کمتر یا از تولیدات بیشتر با همان منابع آب ناشی می‌شود و این منفعتی است مستقیم که دیگر استفاده کنندگان آب نیز از آن برخوردار می‌شوند. در این مقاله CWP (بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب) که معمولاً در منابع به عنوان کارایی مصرف آب (WUE) اشاره گردیده بعنوان نسبت عملکرد واقعی محصولات تجاری به میزان تبخیر و تعرق تعریف شده است.

$$CWP = Y_{act} / ET_{act} \text{ (kg m}^{-3}\text{)} \quad (1)$$

در اینجا Y_{act} عملکرد واقعی محصول تجاری (بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب) و ET_{act} میزان مصرف واقعی آب فصلی نبات است که بصورت تبخیر و تعرق (بر حسب متر مکعب در هکتار) بیان می‌شود. هنگام بررسی این رابطه، از نقطه نظر فیزیکی، باید صرفاً تعرق را بررسی کرد. جدا سازی فرآیند تبخیر- تعرق به تبخیر و تعرق در آزمایشات مزرعه ای، مشکل است و بنابراین راه حل عملی نیست. علاوه بر این، تبخیر، مولفه‌ای است که همیشه به خصوصیات رشد محصول، عملیات خاک ورزی و شیوه‌های مدیریت آب وابسته است و این آب به طور کلی، مدت زیادی برای سایر مصرف کنندگان یا استفاده مجدد، در دسترس نیست. از آنجایی که تبخیر و تعرق بر مبنای جذب آب از ریشه بوده، تامین آب از طریق بارش، آبیاری و صعود مویبندی به هم وابسته اند. علیرغم اینکه CWP عامل کلیدی در برنامه ریزی دراز مدت و استراتژیک منابع آب است، عناصر تأثیرگذار آن، به سختی قابل درک می‌باشند. تاکنون، کاملترین پژوهش بین المللی، توسط محققین فائو انجام شده است که در این تحقیق فاکتورهای واکنش عملکرد گیاه زراعی (k_p)، برای ارتباط ET_{act} با Y_{act} استفاده شده است (Doorenbos and Kassam, 1979). مشکل استاندارد فائو ۳۳ این است که بایستی

عملکرد ماکزیمم مشخص شود، که با روشهای زراعت موجود فرق می کند و این امر دلالت بر این نکته دارد که رابطه $Y_{act} = f(K_y, Y_{pot}, ET_{act}, ET_{pot})$ دقیق نیست، هرچند که به دلیل عدم وجود جایگزین به کار گرفته می شود. برخی محققین استراتژیهای متعددی را برای افزایش CWP از طریق یکپارچه سازی، اصلاح واریته و مدیریت بهتر منابع در سطح گیاه، سطح مزرعه و سطح خرد اقلیم کشاورزی ارائه دادند (Kijne et al. 2003b). مثالهایی از راهها و شیوههای انجام شده عبارتست از: افزایش شاخص برداشت، بهبود مقاومت به خشکی و شوری (سطح گیاه)، کاربرد کم آبیاری، تنظیم تاریخهای کاشت و خاک ورزی برای کاهش تبخیر و افزایش نفوذ (سطح مزرعه)، استفاده مجدد آب و آنالیز مکانی برای تولید ماکزیمم و حداقل تبخیر تعرق واقعی (سطح، محیطی و زراعی). با افزایش تحقیقات در زمینه زراعت محصولات مختلف و شیوههای بهبود یافته مدیریت زمین و آب، CWP در طی سالها، افزایش یافته است. بعنوان مثال، (Grismer, 2002) تحقیقی بر روی مقادیر CWP برای پنبه آبیاری شده در آریزونا و کالیفرنیا انجام داد و نتیجه گرفت که دامنه CWP از دامنه ای که توسط محققین فائو (Doorenbos and Kassam, 1979) ارائه کرده اند، در بسیاری موارد فراتر می رود. همچنین در تولید برنج، CWP به خاطر دوره های کوتاهتر رشد (Tuong, 1999) و در اثر افزایش نسبت فتوسنتز به تعرق (Peng et al. 1998)، افزایش می یابد. به احتمال زیاد مقادیر CWP برای سایر محصولات نیز به صورت بسیار معنی داری تغییر می کند. تحقیقات متنوعی، رابطه بین کاربرد آب و عملکرد را روی محصولات مشخص، در شرایط شاخ و با شیوههای مدیریت آبی و کشت ویژه موزد بررسی قرار داده اند. بحث حاضر، نتایج آزمایشات مزرعه ای که در بیش از ۳۰ سال اخیر اجرا شده است را جمع آوری نموده و سعی دارد که دامنه ای قابل قبول برای چهار محصول عمده اصلی گندم (*Triticum aestivum* L.) برنج (*Oryza sativa* L.)، پنبه (*Gossypium* spp) و ذرت (*Zea mays* L.) پیدا کند. هدف دوم این مقاله اینست که علل اصلی تفاوت در مقادیر CWP مشخص شود.

۲- پایگاه داده ها و کاربرد اصطلاحات

در این تحقیق از داده های آزمایشات مزرعه ای CWP که در مجامع بین المللی، کنفرانسها و گزارشهای فنی مکتوب بوده یک پایگاه داده ها تشکیل گردید. اکثر آزمایشات مزرعه ای، در ایستگاههای آزمایشی تحت شرایط متنوع رشد، شامل تنوع در آب و هوا، آبیاری، حاصلخیزی، خاکها، شیوه های کشت و غیره اجرا شده است. از آنجا که هدف این بحث، یافتن دامنه های قابل قبول CWP طبق شرایط مدیریت کشاورزی است، تمام مقادیر اندازه گیری شده CWP یک آزمایش در پایگاه داده ها گنجانده شده است. برای آنکه داده ها در پایگاه گنجانده شوند، نتایج آزمایشات بایستی به طور مختصر تبخیر - تعرق واقعی اندازه گیری شده فصلی (ET_{act}) و روشهای بکار رفته در تعیین (ET_{pot}) و عملکرد محصول Y_{act} را ارائه دهند. اغلب مطالعات، ET_{act} را اندازه گیری نمی کنند و بجای آن تبخیر - تعرق بالقوه (ET_{pot}) را بکار می برند. این مطالعات معمولاً در پایگاه داده ها ثبت نمی شود و به این دلیل، در این بحث استفاده نمی شود. نتایج حاصل از آزمایشات گلخانه ای، آزمایشات گلدانی و مدلهای شبیه سازی بیلان آب، در نظر گرفته شده است. همچنین آزمایشاتی که بر مبنای روشهای تبخیر - تعرق (Allen et al. 1998)، بوده است، در این بررسی، مناسب تشخیص داده نشده است. لایسمترها ابزار مناسب و متداولی در تعیین ET_{act} است. روشهای متوازن کردن آب خاک که

مقدار آب خاک را در هنگام فصل رشد از طریق اندازه گیری رطوبت خاک با شیوه ثقلی تعیین می‌کند یا از طریق دستگاه‌های نوترونمتر یا توسط روش انعکاس سنجی زمانی (TDR) نیز اغلب کاربرد دارد. تکنیک‌های اندازه گیری میکرو هواشناسی، مثل نسبت باون و روش‌های همبستگی تلاطمی اغلب در اینگونه مطالعات معمول نیست (آنها عمدتاً برای مطالعات میکرو هواشناسی و اقلیمی کاربرد دارد و گزارشی از نقش آنها در عملکرد محصولات ارائه نشده است). عملکرد، بعنوان بخش تجاری تولید بیوماس نهایی در سطح زمین تعریف می‌شود. برای گندم، ذرت و برنج، مجموع عملکرد دانه و برای پنبه مجموع عملکرد الیاف کتان و یا مجموع عملکرد بذر آن بررسی شده است.

متأسفانه در منابع به میزان رطوبتی را که در آن عملکرد اندازه گیری شده باشد کمتر پرداخته شده است، که بصورت مشخصی، نشانه وجود خطا در نتایج نهایی است. صدیق و همکارانش (Siddique et al, 1990) مقادیر CWP وارپته‌های قدیمی و جدید گندم را بررسی کردند و نشان دادند که وارپته‌های قدیمی تر، بعلت شاخص برداشت پایین تر، مقدار CWP کمتری دارند. در واقع تفاوت معنی داری در مجموع بیوماس تولیدی بین وارپته‌های قدیمی و جدید گندم پیدا نشده است. بعنوان مثال در تولید برنج، CWP تکامل در انواع گیاهان جدید با ضریب بالای نسبت فتوسنتز به تعرق و بعلت کاهش دوره رشد، افزایش یافته است (Peng et al, 1998 Tung 1999). بنابراین از نتایج آزمایشات با قدمت بیشتر از تقریباً ۳۰ سال به خاطر کم کردن تأثیر وارپته‌های قدیمی تر با شاخص برداشت پایین تر و دوره رشد طولانی تر استفاده نشده است. نتایج آزمایشات، قبل از هر چیز در داخل یک پایگاه داده‌های گسترده نباتات مجدداً سازماندهی شدند که شامل طول و عرض جغرافیایی، کشور، موقعیت، Y_{act} ، ET_{act} ، تولید بیوماس، شاخص برداشت، سالهای آزمایشات و منابع می‌باشند. برخی منابع، نتایج هر یک از آزمایشات مزرعه‌ای را ارائه می‌دهند، در حالی که برخی دیگر میانگین‌ها میانگین‌ها را (به عنوان مثال هر سال آزمایش یا هر استراتژی مدیریتی به کار رفته) را ارائه می‌کنند. در واقع هر نتیجه چه به صورت میانگین و چه به صورت یک نتیجه مجزا برای یک آزمایش، بعنوان یک مقدار در پایگاه داده‌ها در نظر گرفته شده است.

۳- نتایج

۳-۱- پایگاه داده‌ها

محتوای پایگاه داده‌ها، در جدول (۱) نشان داده شده است. در این مطالعه ۸۴ انتشارات معتبر از لحاظ علمی مد نظر قرار گرفت. برای گندم، ۲۸ منبع اطلاعاتی از ۱۳ کشور در ۵ قاره تحلیل گردید. داده‌ها در مورد برنج با ۱۳ منبع معتبر در ۸ کشور بررسی شد. مطالعات بسیاری روی تولید برنج و مصرف آب (که بر روی میزان آب ورودی تمرکز داشته) موجود بوده است، در حالیکه تعداد کمی از مطالعات، تبخیر - تعرق واقعی (ET_{act}) را بررسی کرده اند. در مورد پنبه، ۱۶ آزمایش انجام شده در ۹ کشور مختلف و برای ذرت ۲۷ منبع در ۱۰ کشور مختلف در ۴ قاره بررسی گردید. بررسی روی CWP ذرت، به طور عمده در آمریکا (۹ منبع) و چین (۷ منبع) متمرکز شده است. همچنین در بررسی منابع علمی با زبانهای فرانسوی و اسپانیولی، منابع چاپ شده کمی که حداقل نیازهای اطلاعاتی را در مورد این ۴ محصول ارائه دهند در قاره‌های آفریقا،

آمریکای لاتین و اروپا یافت شد. متأسفانه بسیاری از منابع چاپ شده، یا روی تعیین کارایی مصرف آب یا عملکرد نباتات متمرکز شده اند، در حالیکه بقیه، صرفاً آب آبیاری کاربردی را بررسی کرده‌اند.

۳-۲- بهره‌وری آب زراعی

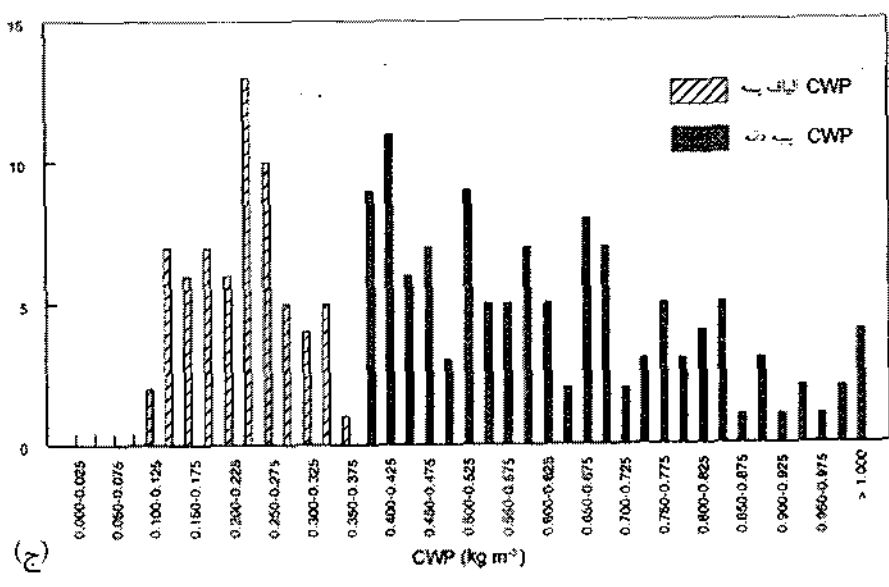
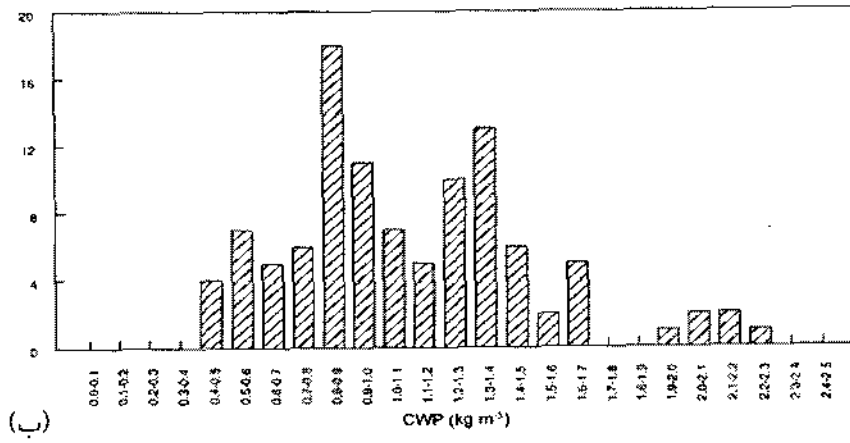
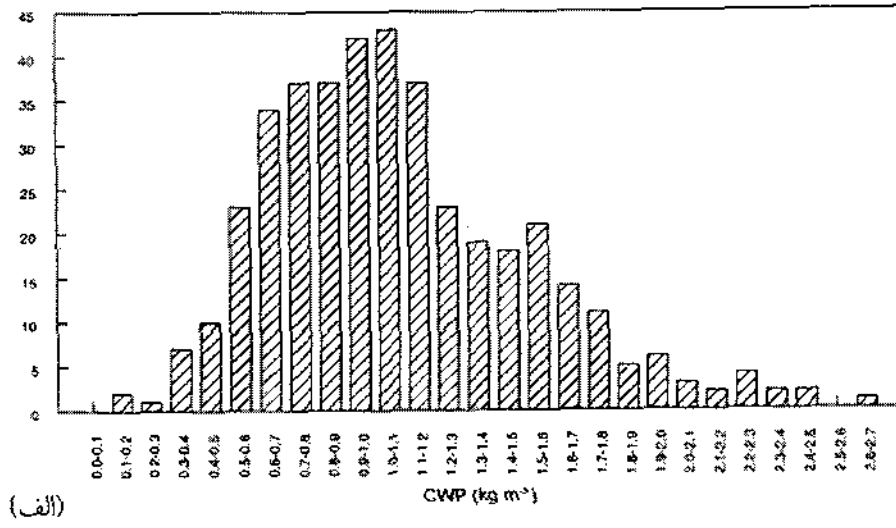
شکل ۱ (الف تا د) هیستوگرامهای توزیع فراوانی گندم، برنج، پنبه و ذرت را نشان می‌دهد. به منظور استثنا کردن مقادیر حداکثر، دامنه CWP با در نظر گرفتن ملاکهای ۵ و ۹۵ درصد توزیع فراوانی تجمعی، تعیین گردید. نتایج در جدول ۲ ارائه شده‌اند. گندم، بیشترین تعداد نقاط تحقیقاتی را دارد ($n=412$) و دامنه CWP آن بین ۰/۶ و ۱/۷ است. دورنبوس و کاسم دامنه پایین تری را از ۰/۸ تا ۱/۰ ارائه می‌دهند (جدول ۲). حداکثر مقادیر، در چین پیدا شد (Jint et al. 1999).

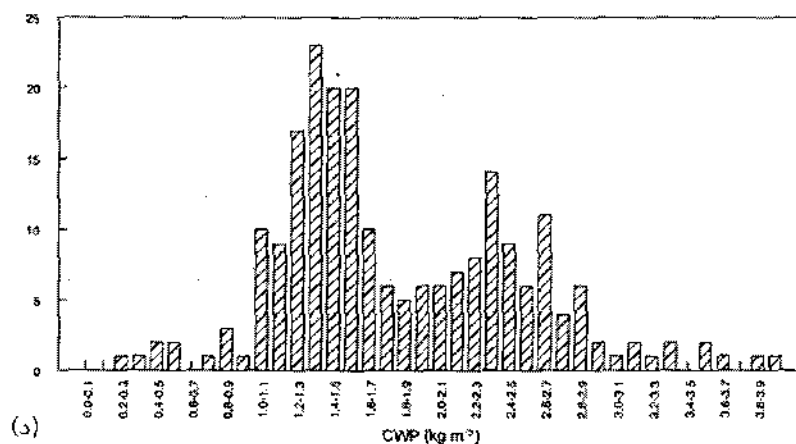
استفاده از کود دامی منجر به تولید بیشتر شد و مالچ کاه، آب خاک و وضعیت درجه حرارت خاک را بهبود بخشید. CWP برای آزمایش با مالچ کاه، ۲/۶۷ و برای ترکیب مالچ و کود، ۲/۴۱ بود. در فصل زمستان میزان ET_{act} به ۲۶۸ و ۲۳۶ تعدیل شد و به ترتیب عملکردها بالا رفت و بین ۷۱۵۰ و ۵۷۰۷ بود (شکل ۲-الف). دامنه CWP برنج بین ۰/۶ و ۱/۶ است (شکل ۱-ب). دامنه مشابهی از ۰/۴ تا ۱/۶ برای زمین‌های برنج ارائه شد (Tuong and Bouman, 2003). حداکثر مقدار CWP از ۱/۱ برای برنج، که توسط (Doorenbos and Kassam, 1979) (جدول ۲) ارائه شد، به فراتر از ۶ در ۱۳ منبع عملی رسید.

جدول ۱. خلاصه داده‌ها (Zwart 2004, and Bastiaanssen)

تعداد کشورها	تعداد قاره‌ها	تعداد انتشارات	محصول
۱۳	۵	۲۸	گندم
۸	۴	۱۳	برنج
۹	۵	۱۶	پنبه
۱۰	۴	۲۷	ذرت

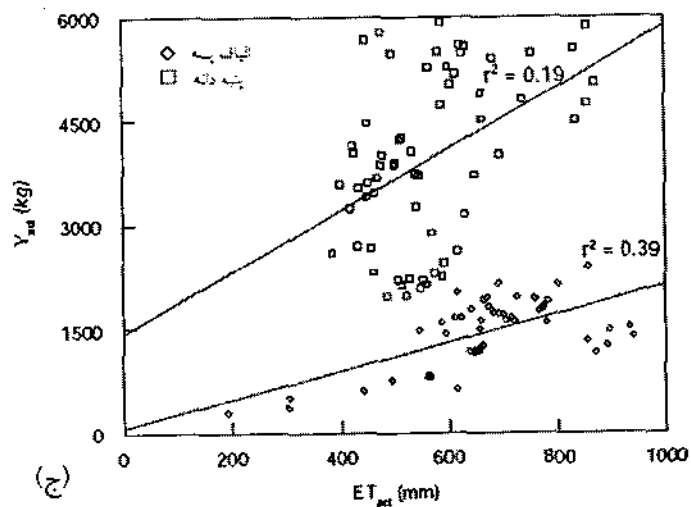
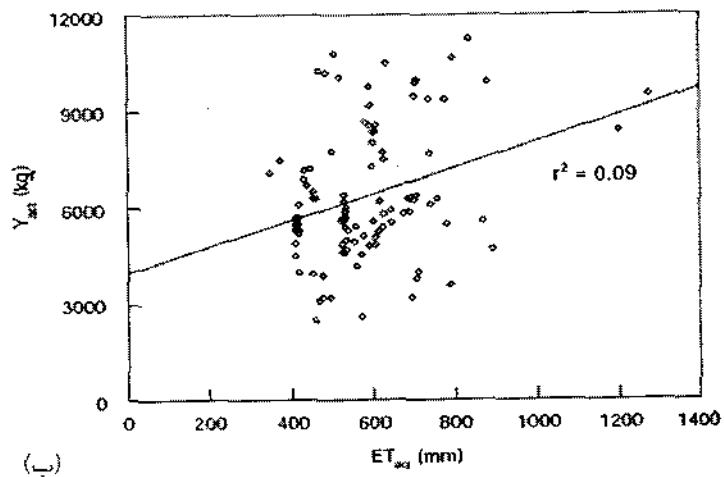
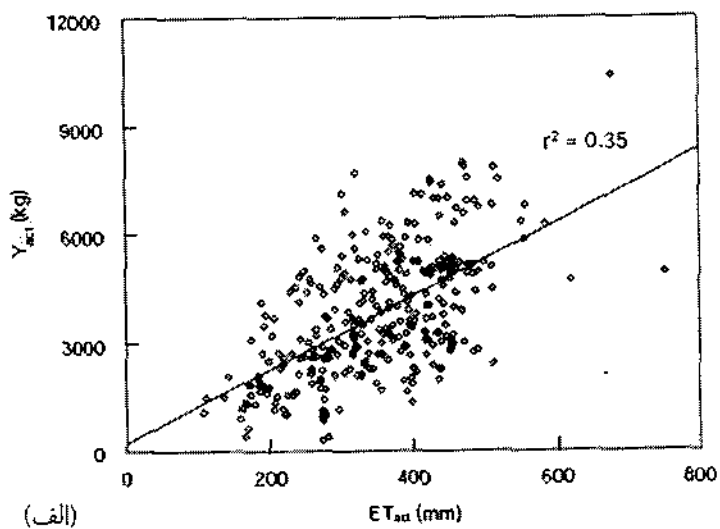
دامنه CWP برنج، مشابه گندم است؛ شکل توزیع فراوانی در برنج، به همواری (ملایمت) گندم نیست زیرا نقاط کمتری موجود است. مقدار ماکزیمم آن به بالاتر از ۲/۲۰ رسید و در چین بر روی زمین‌های برنج با تناوب خشکی و رطوبت، اندازه‌گیری شد (Dong et al ۲۰۰۱). عملکرد دانه برنج بالای ۱۰ تن در هکتار یکی از بالاترین موارد اندازه‌گیری بود، در حالیکه ET_{act} آن به سمت پایین تر با ۴۶۵ میلیمتر بود (شکل ۲-ب).

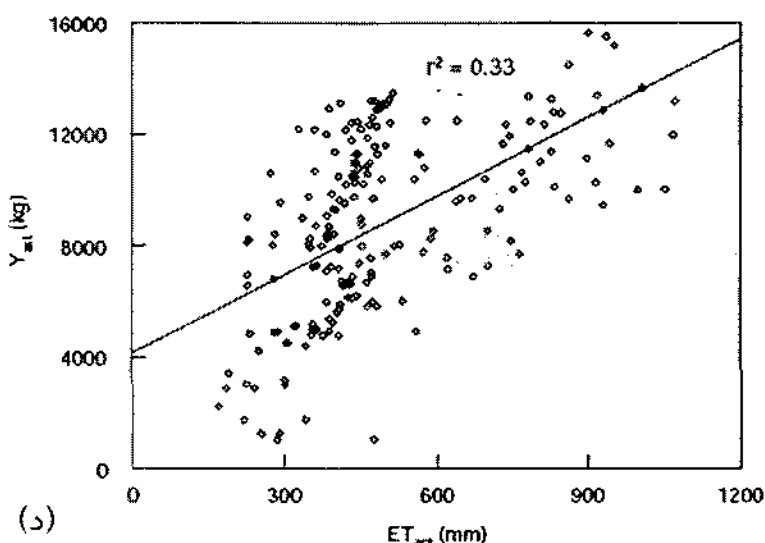




شکل ۱. فراوانی CWP به ازای هر واحد کاهش آب برای گندم (الف)، برنج (ب)، پنبه (ج) و ذرت (د) (تعداد آزمایشات گندم ۴۱۲، برنج ۱۰۵، پنبه دانه ۱۲۶، الیاف پنبه ۶۶ و ذرت ۲۳۳).

مقدار CWP پنبه برای عملکرد الیاف آن، از ۰/۱۴ تا ۰/۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب گسترده است. مقدار بیشینه آن فراتر از ۰/۳۵ است و توسط (Jin et al. 1999) و (Saranga et al. 1998) به ترتیب در چین و اسرائیل نتیجه شد. جین و همکاران (Jin et al. 1999) آزمایشاتی انجام دادند که در آن پنبه در شیارهایی کاشته شد و خاک توسط پلاستیک سوراخدار به منظور نفوذ آب در مجاور گیاه و بنابراین کاهش تبخیر خاک و بهبود وضعیت آب خاک ناحیه ریشه، پوشانده شد. (Saranga et al. 1998) مقدار میانگین عملکرد الیاف پنبه را در یک آزمایش مزرعه‌ای با کم آبیاری، ۱۳۰۰ کیلوگرم در هکتار ارزیابی کردند. در حالیکه میزان ET_{act} فصلی بسیار پایین و در حدود ۳۹۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (شکل ۲-ج). هاول و همکاران (Howel et al. 1984) مقدار مشابهی را (۰/۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب) در یک آزمایش با فراوانی بالا با آبیاری قطره‌ای و مدیریت کم آبیاری برای ردیف‌های کم عرض پنبه در کالیفرنیا آمریکا اندازه‌گیری کرد. عملکرد الیاف پنبه بیشتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بود در حالیکه ET_{act} فصلی نسبتاً پایین بود (۶۱۷ میلی‌متر). دامنه عملکرد پنبه دانه با مقادیر ۰/۴۱ تا ۰/۹۵ کیلوگرم بر متر مکعب بیشتر از دامنه‌ای بود که در فائو ۳۳ (۰/۴-۰/۶ کیلوگرم بر متر مکعب) ارائه شده است. در کشور آرژانتین مقادیر ماکزیمم، در آزمایشاتی که آب در طی دوره‌های بحرانی مثل قبل از دانه بندی و گلدهی بکار رفت، بیشتر از ۱ کیلوگرم بر متر مکعب اندازه‌گیری شد (Prieto and Angueira, 1999). عملکرد پنبه دانه، در مقایسه با سایر عوامل تغییری نکرد، ولی تبخیر تعرق واقعی آن پایین تر بود (۴۴۷-۴۹۵ میلی‌متر، شکل ۲-ج).





شکل ۲- نمودارهای عملکرد در مقابل تبخیرتعرق برای نباتات گندم(الف)، برنج(ب)، پنبه(ج) و ذرت(د) (Zwart and Bastiaanssen 2004)

در نهایت، مقدار CWP ذرت در دامنه ۰/۲۲ تا ماکزیمم ۲/۹۹ اندازه گیری شد (شکل ۱ - د) که دامنه وسیعی از تنوع را نشان می دهد (ضریب تغییرات = ۳۸/۰). در ۶۷ درصد مقالات چاپ شده، مقدار ماکزیمم، از مقداری که در فائو ۳۳ تعیین شده بیشتر می شود. دامنه CWP از ۱/۱ تا ۲/۷ برای ذرت و گیاهان چهار کربنه به طور چشمگیری بیشتر از گندم، برنج و پنبه می باشد که جزء گیاهان سه کربنه اند. مقدار ماکزیمم توسط کنگ و همکاران (Kang et al, 2000b) در آزمایشاتی با تلفیق آبیاری شیاری یک در میان و کم آبیاری، تحت شرایط کشور چین بدست آمد. این مقدار کم آب آبیاری به طور متناوب به یکی از دو شیار مجاور می رسید. تبخیر تعرق واقعی با ۲۲۶ میلیمتر بسیار کم بود، در حالیکه عملکرد دانه در حدود ۹۰۵۸ کیلوگرم بر هکتار است.

جدول ۲-مقادیر CWP برای ۴ نبات مهم زراعی بر اساس داده های فائو ۳۳، تحقیق حاضر و همچنین مقادیر ماکزیمم، مینیمم، متوسط و میانه و انحراف معیار و ضریب تغییرات، (Zwart and Bastiaanssen (2004)

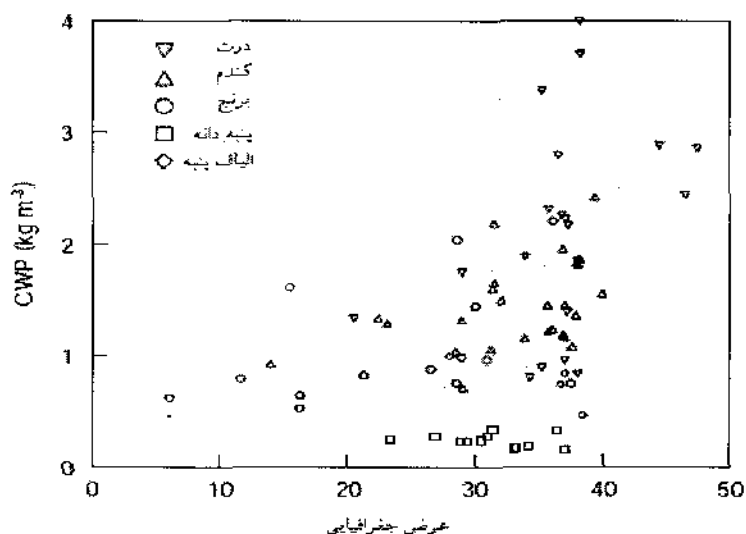
محصول	دامنه CWP در فائو ۳۳ Kg m ⁻³	دامنه CWP در این تحقیق Kg m ⁻³	تعداد آزمایشات	حداقل	حداکثر	متوسط	میانه	انحراف معیار (S.D)	ضریب تغییرات (CV)
گندم	۱ - ۰/۱۸	۱/۷ - ۰/۱۶	۴۱۲	۰/۱۱	۲/۶۷	۱/۰۹	۱/۰۲	۰/۴۴	۰/۴۰
برنج	۱/۱ - ۰/۱۷	۱/۶ - ۰/۱۶	۱۰۵	۰/۴۶	۲/۲۰	۱/۰۹	۱/۰۲	۰/۴۰	۰/۳۶
پنبه دانه	۰/۱۶ - ۰/۱۴	۰/۹۵ - ۰/۴۱	۱۲۶	۰/۳۸	۱/۷۰	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۲۳	۰/۳۵
الیاف پنبه	ندارد	۰/۳۳ - ۰/۱۴	۶۶	۰/۱	۰/۳۷	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۰۶۴	۰/۲۸
ذرت	۱/۶ - ۰/۱۸	۲/۷ - ۱/۱	۲۳۳	۰/۲۲	۳/۹۹	۱/۸۰	۱/۶۰	۰/۶۹	۰/۳۹

و اما در کشور ایران بر طبق اندازه گیریهای نقطه ای که بر اساس عملکرد و حجم آب مصرفی در سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ در نقاط مختلف کشور صورت گرفت نتایج زیر بدست آمد. دامنه کارایی مصرف آب گندم در مناطق کرمان، گلستان و خوزستان از ۰/۵۶ تا ۱/۴۶ بدست آمد (Heydari et al. 2005). همچنین این مقدار برای ذرت علوفه ای برابر ۵/۵۸ و پنبه برابر ۰/۷۱ بدست آمد. نتایج بدست آمده یا نتایج گرد آوری شده در جدول ۲ بیانگر این است که مقادیر بهره وری مصرف آب در ایران برای گندم و پنبه از مقادیر گزارش شده در گزارش فائو ۳۳ بالاتر بوده ولی در دامنه گزارش شده در این تحقیق (ستون سوم جدول ۲) قرار می گیرد.

۴- بحث

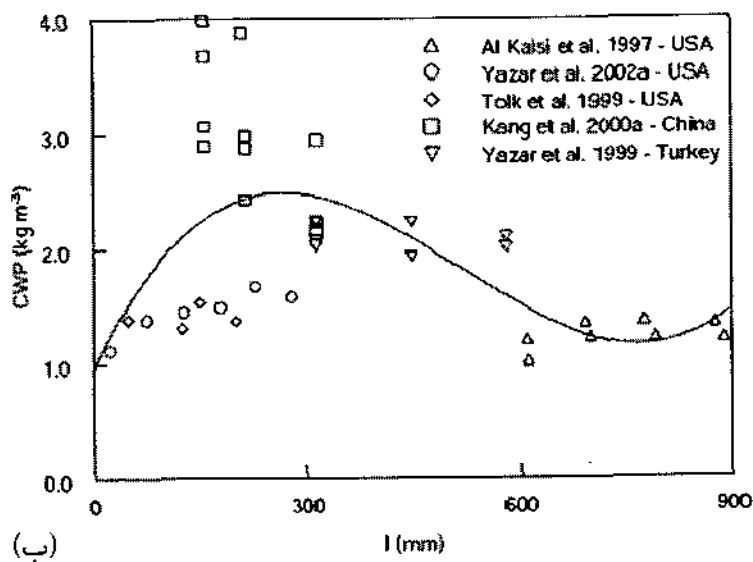
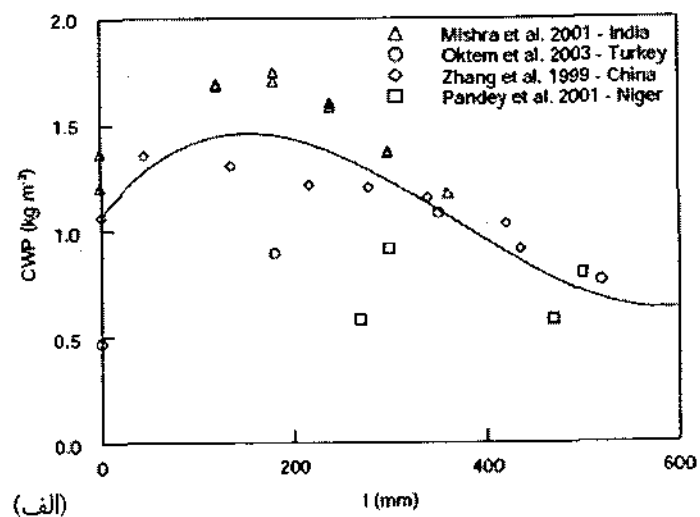
در شکل ۲ - الف تا د عملکرد چهار محصول، در برابر تبخیر تعرق واقعی برای هر محصولی، ترسیم شده است. تمام چهار نمودار، نشان می دهد که رابطه $Y_{act} - Et_{act}$ به سادگی آنچه اغلب به نظر می رسد نیست. مقادیر ضریب همبستگی کم است؛ الیاف پنبه بیشترین مقدار (۰/۳۹) را داشته و سپس گندم (۰/۳۵)، ذرت (۰/۳۳)، پنبه دانه (۰/۱۹) و برنج (۰/۰۹) قرار می گیرند. نتیجه ای که در اینجا گرفته می شود آنست که توابع Y_{act} (Et_{act}) صرفاً به صورت محلی دارای اعتبار شده اند و نمی توانند در برنامه ریزی مدیریت آب کشاورزی با مقیاس بزرگ استفاده شوند همچنین دامنه وسیعی از مقادیر CWP برای این چهار محصول، موجود است (جدول ۲)، که بواسطه فاکتورهای زیادی که در رابطه آب - خاک گیاه موثرند، ایجاد می شود. در یک تحقیق در مرحله اول به منظور شرح گسترده مقادیر CWP، فقط سه موضوع، مورد بحث قرار می گیرد که عبارتند از: عوامل اقلیمی، مدیریت آب آبیاری و مدیریت خاک.

دی ویت (De Wit, 1958) تقریباً از اولین افرادی بود که رابطه فتوسنتز - تعرق را تشریح کرد. بیرهوزن و اسلایتر (Bierhuizen and Slayter, 1965) تاثیر پارامترهای اقلیمی را بر روی این رابطه بررسی کردند و دریافته اند که به طور نسبی، رابطه معکوسی بین کمبود فشار بخار هوا و CWP وجود دارد. نتایج مشابهی توسط استانهیل (Stanhill, 1960) بر روی مراتعی که در عرض های جغرافیایی مختلف بودند، یافت شد. همانطور که کمبود فشار بخار، هنگامی که از خط استوا دور می شویم، کاهش می یابد، انتظار می رود که با افزایش عرض جغرافیایی، مقدار CWP نیز افزایش یابد. این مسئله برای مجموعه اطلاعات حاضر، آزمایش شده است. بدین ترتیب که برای هر مکان آزمایشی (که بعنوان موقعیت جغرافیایی یکسان تعریف شده است)، مقدار ماکزیمم CWP هر گیاه، در برابر مقدار عرض جغرافیایی مکان آزمایش رسم شده است. در واقع مقدار ماکزیمم به عنوان رهیافتی برای شرایط رشد بهینه با توجه به مدیریت حاصلخیزی خاک و کاربرد آب آبیاری در هر منطقه معین گرفته شده است. نتایجی که در شکل ۳ نشان داده شده است، تأیید می کند که CWP با کم شدن عرض جغرافیایی، کاهش می یابد. همچنین نشان می دهد که بیشترین مقادیر CWP بین عرضهای جغرافیایی ۳۰ و ۴۰ درجه ثبت شده است.



شکل ۳- رابطه بین عرض جغرافیایی و حداکثر مقادیر CWP به ازای هر واحد کاهش آب مصرفی، هر منطقه و هر نبات (هر دو عرض جغرافیایی شمالی و جنوبی، مثبت در نظر گرفته شده است).

مثالهای متعددی در مقالات علمی، تاثیر مدیریت آب آبیاری را بر CWP توصیف کرده‌اند (Yazar et al. 2002a; Kang et al. 2000a; Sharma et al. 1990; Oktem et al. 2003; Zhang et al. 1998). تاثیر شیوه‌های کم آبیاری بر روی عملکرد و پیدا کردن مقدار بهینه CWP بررسی شده است. در شکل ۴- الف و ۴- ب مقادیر CWP گندم و ذرت در مقابل مقدار خالص آب آبیاری در آزمایشات مختلف ارائه شده است. در این آزمایشها مشخص شد که CWP در سیستم‌های بدون آبیاری (دیم)، پایین است. اما هنگامیکه آب آبیاری اندکی به سیستم اضافه شود CWP به سرعت افزایش می‌یابد. بر اساس پایگاه داده‌ها، میزان بهینه CWP تقریباً در حدود ۱۵۰ و ۲۸۰ میلی‌متر آب آبیاری بکار رفته به ترتیب برای گندم و ذرت بدست می‌آید (اضافه بر بارندگی). شکل ۴ نشان می‌دهد که چگونه CWP توامان می‌تواند با ذخیره آب و کاهش آبیاری، افزایش یابد. حداکثر بهره‌وری آب معمولاً با خواسته‌های یک کشاورز که هدفش بهره‌وری حداکثر زمین و سود دهنی اقتصادی است، منطبق و هماهنگ نمی‌باشد. این مسئله نیازمند یک تغییر عظیم در علم آبیاری، مدیریت آب آبیاری و تخصیص منابع آب، برای حرکت از استراتژی "حداکثر آبیاری - حداکثر محصول" به سوی سیاست "آبیاری کمتر CWP بالاتر" می‌باشد. در کنار مقدار کل آب آبیاری بکار رفته، تنظیم زمانبندی آبیاری نیز عاملی مهم است. تنش آب در طی مراحل مختلف رشد CWP را به طرق مختلفی تحت تاثیر قرار می‌دهد. در آزمایشاتی که روی پنبه انجام شد، مشخص گردید که تنش آب هنگام رشد رویشی و دوره شکل‌گیری غوزه‌ها بر کاهش مقدار CWP موثر است. تنش ملایم در هنگام تشکیل محصول بر میزان عملکرد موثر نیست اما رشد رویشی گیاه را کاهش می‌دهد و بنابراین ممکن است، CWP را بهبود بخشد، (Prieto and Angueira 1999).



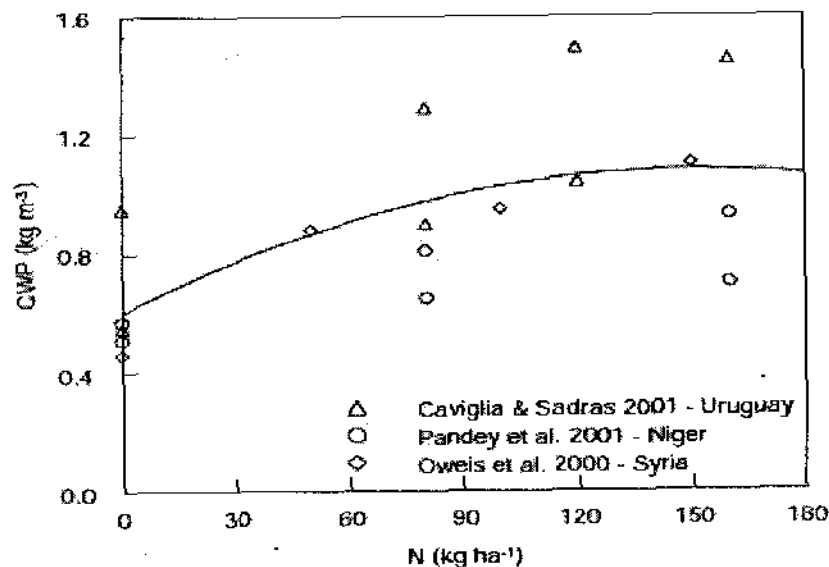
شکل ۴- ارتباط بین میزان آب آبیاری (I) و CWP اندازه گیری شده به ازای هر واحد کاهش آب برای گندم (الف) و ذرت (ب)

ارتباط بین آبیاری و CWP در برنج مشابه آنچه که در گندم و ذرت یافت می‌شود، نیست. در کشت برنج، بجای آبیاری غرقابی پیوسته سنتی سایر استراتژیهای مدیریت آب، مانند مرطوب و خشک کردن متناوب (آبیاری تناوبی) و فرهنگ خاک اشباع شده، مورد تحقیق واقع شده اند. تجزیه و تحلیل آزمایشات مرطوب و خشک کردن متناوب در هندوستان توسط میسرا و همکاران، (Mishra et al. 1990) نشان داد که اگر چه آب آبیاری ذخیره می‌شود اما بهبود معنی داری در CWP دیده نمی‌شود و مقدار آن برای تعداد آزمایش ۲۴ تایی، بین ۰/۸ و ۰/۹۹ کیلوگرم بر متر مکعب باقی می‌ماند. برای این تحقیق مشخص در هند، ET_{act} کاهش نیافت زیرا آبیاری انجام شده، مازاد بر ET_{act} بود. دانگ و همکاران (Dong et al, 2001) به نتایج مشابهی دست یافتند و پی بردند که تفاوت زیادی بین آبیاری غرقابی پیوسته و آزمایشات تناوبی مرطوب و

خشک کردن وجود ندارد؛ میانگین ۱۰ ساله تبخیر تعرق واقعی و CWP مقادیر ۵۹۰ و ۵۹۱ میلی‌متر و ۱/۴۹ و ۱/۵۸ کیلوگرم بر متر مکعب به ترتیب برای آبیاری غرقابی پیوسته و آزمایشات تناوبی محاسبه شد. از سوی دیگر شی و همکارانش (Shi et al. 2003) در کار با لایسیمتر، مقدار بیشتری برای CWP را برای آزمایشات آبیاری تناوبی (۲ کیلوگرم بر متر مکعب) در مقایسه با آبیاری غرقابی پیوسته (۱/۶ کیلوگرم بر متر مکعب) اندازه‌گیری نمودند. در حالیکه، عملکردها فقط ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کمتر بود. علاوه بر این، تبخیر تعرق واقعی در آزمایشات تناوبی (۳۴۷ میلی‌متر) و در مقایسه با آبیاری غرقابی پیوسته، ۲۲ درصد کمتر بود. برای روشن تر شدن مطلب سکلا (Seckler, 1996) ذخیره آب (خشک) و (مرطوب) را از هم متمایز ساخت. کاهش در تبخیر تعرق واقعی، یک ذخیره مرطوب محسوب می‌شود زیرا تبخیر-تعرق آب قابلیت استفاده در آینده در حوزه آبریز را ندارد. از طرف دیگر، ذخایر آب آبیاری به معنی ذخیره خشک است، زیرا آب ممکن است در حوزه‌های آبریز برای استفاده مجدد، بازیافت شود (مگر اینکه آلوده شود). همچنان که نتایج بدست آمده توسط میسرا و همکاران (Mishra et al. 1990) ودونگ و همکاران (Dong et al.) 2001 نشان داد، آبیاری تناوبی، صرفاً یک مثال ذخیره آب خشک است زیرا تبخیر تعرق واقعی به سختی توسط کاهش منابع، تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

هاتفیلد و همکارانش (Hatfield et al. 2001) تاثیرات مدیریت خاک را بر CWP از طریق اصلاح سطح خاک مانند خاک ورزی و مالچ‌بازی و بواسطه بهبود مواد معدنی خاک از طریق اضافه کردن نیتروژن و یا فسفر بررسی کردند. اصلاح سطح خاک، روند تبخیر تعرق واقعی را تغییر می‌دهد و اغلب مشخص شده که رابطه مثبتی با CWP دارد. مواد معدنی، بصورت غیر مستقیم بر کارایی فیزیولوژیکی گیاه موثر است. در شکل ۵ مقدار نیتروژن در مقابل CWP گندم طی تحقیقات در نیجریه، سوریه و اروگوئه ترسیم شده است. CWP هنگامی که نیتروژن بکار رفت و به مقدار بهینه و تقریبی ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار رسید، افزایش یافت. از طرف دیگر کربلس و همکاران (Corbeels et al, 1998) و فرناندز و همکاران (Fernandez et al, 1996) تفاوت معنی داری را هنگامی که از کود نیتروژن استفاده شد، اندازه‌گیری نکردند. ترکیب مواد معدنی و سطوح آبیاری، بسیار معمولی بررسی شدند.

(Li et al. 2001 Pandey et al. 2001 Oweis et al. 2000 Zimaszalokine and Szaloki 2002) مقدار بهینه برای میزان عناصر معدنی و کاربرد آب آبیاری می‌تواند در CWP ماکزیمم یافت شود.



شکل ۵- رابطه بین مقدار کود نیتروژن مصرفی با CWP اندازه گیری شده به ازای هر واحد کاهش مصرف آب برای گندم در سه کشور مختلف

۵- نتیجه گیری

دامنه تغییرات CWP برای چهار محصول تحقیق حاضر به اندازه‌ای وسیع است که ضریب تغییرات بالا بین ۲۸ و ۴۰ درصد بدست آمده است، و این موضوع یک رابطه منطقی با همبستگی پایین بین تبخیر تعرق واقعی و عملکرد گیاه دارد ضریب همبستگی = $0.39 - 0.09$ این تغییرپذیری، عمدتاً ناشی از عوامل مشروحه ذیل می باشد: (۱) نوع اقلیم (۲) مدیریت آب آبیاری (۳) مدیریت (حاصلخیزی) خاک. اگر چه بیشتر متغیرهای توصیفی، غالب هستند. کمربند آب و هوایی بین عرضهای جغرافیایی ۳۰ و ۴۰ درجه بعثت CWP بالاتر و کمبود فشار بخار کمتر برای کشاورزی مناسبتر هستند. در نواحی با خاکهای کم بازده، استفاده از کود، امکان بهبود در CWP را افزایش می دهد. افزایش در مقادیر CWP بیشتر می گردد اگر مقادیر کم نیتروژن استفاده شود (کمتر از ۸۰ کیلوگرم در هکتار). روشهای کم آبیاری برای بهبود CWP بسیار مفید هستند و گاهی تا بیش از ۲۰۰ درصد تاثیر دارد. گیاهان زمانیکه در حضور آب تحت تاثیر تنش قرار می گیرند، کارایی بالاتری نشان می دهند. بنابراین به طور تجربی نتیجه گیری می شود که در رسیدن به CWP بهینه در مناطق کم آب، عاقلانه است که گندم و ذرت با آب کمتر آبیاری شود، همانطور که برای دستیابی به عملکردهای ماکزیمم توصیه گردید. در کشت برنج، افزایش CWP هنگام کاربرد آب کمتر، در پایگاه داده‌ها تایید نشده است. چرا که در خلال بسیاری از آزمایشات متناوب مرطوب و خشک کردن و آبیاری غرقابی پیوسته، تفاوت معنی داری در CWP وجود نداشت. بنابراین، ذخیره آب در برنج، ذخیره خشک است، زیرا کاربرد مصرفی یا تحت تاثیر واقع نشده یا اندکی تحت تاثیر واقع شده است. دامنه گسترده مقادیر CWP مؤید آنست که در صورت اتخاذ روشهای جدید مدیریتی آب، می توان حتی با منابع آبی در حدود ۲۰-۴۰ درصد کمتر نیز تولیدات کشاورزی را حفظ کرد.

منابع

- 1- Al-Kaisi, M.M., Berrada, A., Stack, M. 1997. Evaluation of irrigation scheduling program and spring wheat yield response in Southwestern Colorado. *Agric. Water Manage.* 34: 137–148.
- 2- Allen, R.G., Pereira L.S., Raes, D., Smith M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 3- Caviglia, O.P., Sadras, V.O. 2001. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Res.* 69: 259–266.
- 4- Corbeels, M., Hofman, G., van Cleemput, O. 1998. Analysis of water use by wheat grown on a cracking clay soil in a semi-arid Mediterranean environment: weather and nitrogen effects. *Agric. Water Manage.* 38: 147–167.
- 5- Cracium, I., Cracium, M. 1999. Water and nitrogen use efficiency under limited water supply for maize to increase land productivity. In: Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C., Nielsen, D.R. (Eds.), *Crop Yield Response to Deficit Irrigation. Developments in Plant and Soil Sciences*, vol. 84. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 87–94.
- 6- Deju, Z., Jingwen, L. 1993. The water-use efficiency of winter wheat and maize on a salt-affected soil in the Huang Huai Hai river plain of China. *Agric. Water Manage.* 23: 67–82.
- 7- De Wit, C.T. 1958. Transpiration and crop yields. *Verslag. Landbouwk. Onderz.* 64.6. Inst. of Biol. and Chem. Res. on Field Crops and Herbage. Wageningen, The Netherlands, pp. 1–88.
- 8- Dong, B., Loeve, R., Li, Y.H., Chen, C.D., Deng, L., Molden, D. 2001. Water productivity in the Zhanghe irrigation system: issues of scale. In: Barker, R., Loeve, R., Li, Y.H., Tuong, T.P. (Eds.), *Proceedings of an International Workshop in Water-saving Irrigation for Rice*, Wuhan, China, March 23–25, 2001, pp. 97–115.
- 9- Doorenbos, J., Kassam, A.H. 1979. *Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- 10- Fengrui, L., Songling, Z., Geballe, G.T., 2000. Water use patterns and agronomic performance for some cropping systems with and without fallow crops in a semi-arid environment of northwest China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 79: 129–142.
- 11- Fernández, J.E., Moreno, F., Murillo, J.M., Cayuela, J.A., Fernández-Boy, E., Cabrera, F. 1996. Water use and yield of maize with two levels of nitrogen fertilization in SW Spain. *Agric. Water Manage.* 29: 215–233.

- 12- Grismer, M.E., 2002. Regional cotton lint yield, ETC and water value in Arizona and California. *Agric. Water Manage.* 54, 227–242.
- 13- Hatfield, J.L., Sauer, T.J., Prueger, J.H. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agron. J.* 93, 271–280.
- 14- Heydari, N., Eslami, A., Ghadami, A., Kanoni, A., Asadi, M. E., Khajehabdollahi, M.H. 2005. Determination and evaluation of agricultural water use efficiency(WUE) in Iran. International Agricultural Engineering Conference, Asian Institute of Technology (AIT), Bangkok, Thailand, December 6-9, 2005.
- 15- Howell, T.A., Davis, K.R., McCormick, R.L., Yamada, H., Walhood, V.T., Meek, D.W. 1984. Water use efficiency of narrow row cotton. *Irrig. Sci.* 5, 195–214.
- 16- Jin, M., Zhang, R., Sun, L., Gao, Y., 1999. Temporal and spatial soil water management: a case study in the Heilonggang region, PR China. *Agric. Water Manage.* 42, 173–187.
- 17- Kang, S., Shi, W., Zhang, J., 2000a. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Res.* 67, 207–214.
- 18- Kang, S.Z., Shi, P., Pan, Y.H., Liang, Z.S., Hu, X.T., Zhang, J. 2000b. Soil water distribution, uniformity and water-use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. *Irrig. Sci.* 19, 181–190.
- 19- Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D., 2003a. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement.* CAB International, Wallingford, UK.
- 20- Kijne, J.W., Tuong, T.P., Bennett, J., Bouman, B., Oweis, T. 2003b. Ensuring food security via improvement in crop water productivity. In: *Challenge Program on Water and Food: Background Papers to the Full Proposal.* The Challenge Program on Water and Food Consortium, Colombo, Sri Lanka.
- 21- Li, F-M., Song, Q-H., Liu, H-S., Li, F-R., Liu, X-L. 2001. Effects of pre-sowing irrigation and phosphorus application on water use and yield of spring wheat under semi-arid conditions. *Agric. Water Manage.* 49, 173–183.
- 22- Liu, W.Z., Li, Y.S. 1995. Crop yield response to water and fertilizer in Loess tableland of China: a field research. *Pedosphere* 5, 259–266.
- 23- Mishra, H.S., Rathore, T.R., Pant, R.C. 1990. Effect of intermittent irrigation on groundwater table contribution irrigation requirement and yield of rice in Mollisols of the Tarai Region. *Agric. Water Manage.* 18, 231–241.
- 24- Mishra, H.S., Rathore, T.R., Tomar, V.S. 1995. Water use efficiency of irrigated wheat in the Tarai Region of India. *Irrig. Sci.* 16, 75–80.

- 25- Mishra, H.S., Rathore, T.R., Savita, U.S. 2001. Water-use efficiency of irrigated winter maize under cool water conditions of India. *Irrig. Sci.* 21, 27–33.
- 26- Oktem, A., Simsek, M., Oktem, A.G. 2003. Deficit irrigation effects on sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt) with drip irrigation in a semi-arid region. I. Water yield relationship. *Agric. Water Manage.* 61, 63–74.
- 27- Orgaz, F., Mateos, L., Fereres, E. 1992. Season length and cultivar determine the optimum evapotranspiration deficit in cotton. *Agron. J.* 84, 700–706.
- 28- Oweis, S., Zhang, H., Pala, M., 2000. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agron. J.* 92, 231–238.
- 29- Pandey, R.K., Maranville, J.W., Admou, A. 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. *Eur. J. Agron.* 15: 93–105.
- 30- Peng, S., Laza, R.C., Khush, G.S., Samico, A.L., Visperas, R.M., Garcias, F.V. 1998. Transpiration efficiencies of indica and improved tropical japonica rice grown under irrigated conditions. *Euphytica* 103, 103–108.
- 31- Prieto, D., Angueira, C. 1999. Water stress effect on different growing stages for cotton and its influence on yield reduction. In: Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C., Nielsen, D.R. (Eds.), *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Developments in Plant and Soil Sciences, vol. 84. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 161–179.
- 32- Seckler, D., 1996. The New Era of Water Resources Management: From “Dry” to “Wet” Water Savings. Research report 1. International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- 33- Sharma, K.D., Kumar, A., Singh, K.N., 1990. Effect of irrigation scheduling on growth, yield and evapotranspiration of wheat in sodic soils. *Agric. Water Manage.* 18, 267–276.
- 34- Sharma, K.S., Samra, J.S., Singh, H.P., 2001. Influence of boundary plantation of poplar (*Populus deltoides* M.) on soil-water use and water use efficiency of wheat. *Agric. Water Manage.* 51, 173–185.
- 35- Shi, Q., Zheng, X., Zhu, A., Li, M., Fu, S., Liu, F., Hengsdijk, H., Henstra, P., Bindran, P. 2003. Effects of intermittent irrigation on growth, yield and water use efficiency of rice in a field lysimeter experiment. In: *Proceedings of the International Symposium on Transitions in Agriculture for Enhancing Water Productivity*, Killikulam, India, September 23–25, 2003.

- 36- Siddique, K.H.M., Tennant, D., Perry, M.W., Belford, R.K., 1990. Water use and water use efficiency of old and modern cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aus. J. Agric. Res.* 41, 431–447.
- 37- Tolck, J.A., Howell, T.A., Evett, S.R. 1999. Effect of mulch, irrigation and soil type on water use and yield of maize. *Soil Till. Res.* 50: 137–147.
- 38- Tuong, T.P., 1999. Productive water use in rice production: opportunities and limitations. *J. Crop Prod.* 2, 241–264.
- 39- Tuong, T.P., Bouman, B.A.M., 2003. Rice production in water scarce environments. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. CAB International, Wallingford, UK.
- 40- Wang, H., Zhang, L., Dawes, W.R., Lu, C., 2001. Improving water use efficiency of irrigated crops in the North China Plain—measurements and modelling. *Agric. Water Manage.* 48, 151–167.
- 41- Yazar, A., Howell, T.A., Dusek, D.A., Copeland, K.S., 1999. Evaluation of water stress index for LEPA irrigated corn. *Irrig. Sci.* 18: 171–180.
- 42- Yazar, A., Sezen, S.M., Gencel, B., 2002a. *Drip irrigation in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey*. *Irrig. Drain.* 51: 293–300.
- 43- Yazar, A., Sezen, S.M., Sesveren, S., 2002b. LEPA and trickle irrigation of cotton in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Agric. Water Manage.* 54: 189–203.
- 44- Zhang, J., Sui, X., Li, B., Su, B., Li, J., Zhou, D., 1998. An improved water-use efficiency for winter wheat grown under reduced irrigation. *Field Crops Res.* 59: 91–98.
- 45- Zhang, H., Wang, X., You, M., Liu, C. 1999. Water-yield relations and water-use efficiency of winter wheat in the North China Plain. *Irrig. Sci.* 19: 37–45.
- 46- Zwart, S. J., and Bastiaanssen, G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agric. Water Manage.* 69:115-133.