Archive of SID

تاثیر فناوری‌های به‌زراعی بر بهبود شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی و کارایی مصرف آب در حوضه شرقی دریاچه ارومیه

علی سنگتراشان ، سید مجید میرلطیفی[1] و حسین دهقانی‌سانیج

دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی ، دانشگاه تربیت مدرس.
a.sangtarashan@modares.ac.ir
دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس.
mirlat_m@modares.ac.ir
دانشیار پژوهش ، موسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
h.dehghanisanij@areeo.ac.ir

دریافت : اسفند ۱۳۹۸ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۹

چکیده

تحقیق حاضر در راستای بهبود بهره‌وری آب با اعمال برخی فناوری‌های به‌زراعی مانند تغییر روش‌های خاک‌ورزی، اصلاح ابعاد کرت آبیاری، تغییر ارقام گیاهی و اصلاح برنامه کودی در هشت مزرعه کشاورزان (چهار مزرعه تیمار و چهار مزرعه شاهد) در شهرستان‌های بناب، اسکو و عجب‌شیر واقع در حوضه‌ی شرقی دریاچه ارومیه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید. در مزارع تیمار، فناوری‌های پیشنهادی بدون اعمال مدیریت کشاورزان انجام شد و در مزارع شاهد کشاورزان به‌صورت سنتی و براساس دانش بومی خود و تجربه قبلی اقدام به انجام عملیات کاشت، داشت و برداشت نمودند. آب ورودی به مزارع، رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد، و شاخص‌های مرتبط با رشد و تولید گیاه در زمان برداشت در همه مزارع اندازه‌گیری گردید. شاخص‌های بهره‌وری آب (WP)، کارایی مصرف آب (WUE) و بهره‌وری اقتصادی آب (WPe) برای هریک از مزارع محاسبه شد. نتایج نشان داد که در مزارع تیمار نسبت به شاهد، آب مصرفی به میزان ۹٪ کاهش و عملکرد محصول ۳۴٪ افزایش داشت. نیز، در مقایسه با مزارع شاهد، فناوری‌های اعمال‌شده در مزارع تیمار به‌طور متوسط منجر به افزایش شاخص‌های WP، WUE و WPe به ترتیب به میزان ۳۸٪، ۳۱٪ و ۵۶٪ گردید.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، تبخیر–تعرق واقعی، روش خاک‌ورزی، مدیریت آب در مزرعه

[1] – آدرس نویسنده مسئول :تهران، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر با کاهش شدید مقدار آب ورودی و خشکی گسترده‌ای مواجه شده که نگرانی‌هایی در سطح ملی و بین‌المللی به همراه داشته است (مقدسی و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به توسعه قابل توجه بخش کشاورزی به‌عنوان اصلی‌ترین بخش مصرف‌کننده منابع آب بدیهی است که تأمین تقاضای زیست‌محیطی دریاچه، نیاز به برنامه‌ریزی خاص خود را دارد که سرآمد آن‌ها ارتقاء بهره‌وری آب در بخش کشاورزی می‌باشد (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه بخش قابل‌توجهی از تحقیقات کشاورزی روی راهبردهایی برای بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بهره‌وری متمرکزشده است (فاطمی و همکاران، ۲۰۱۴). بی‌تردید یک احساس نیاز برای یافتن راه‌هایی جهت افزایش بهره‌وری آب از طریق بهبود ستاده های اقتصادی یا زراعی به ازای واحد آب مصرفی در هر دو سامانه زراعت آبی و دیم وجود دارد (کی سام و همکاران، ۲۰۰۷). از سویی دیگر با توجه به شرایط منابع و نهاده‌های کشاورزی در جهان امروز، مدیریت مناسب نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه آب آبیاری با استفاده از فناوری مدرن برای به حداکثر رساندن تولید و ارائه بازده بالا به کشاورزان ضروری است (پاندا و همکاران، ۲۰۰۳). به‌عنوان یک قاعده، هر عامل مدیریتی که موجب افزایش عملکرد گیاهی شود، بهره‌وری آب را نیز افزایش می‌دهد (مؤمنی، ۱۳۹۰). البته باید به این نکته توجه نمود که افزایش عملکرد با میزان نهاده‌های کشاورزی و به‌خصوص آب مصرفی به صورتی در تعادل باشد (مهتدی و همکاران، ۱۳۹۲). روش‌های بهبود بهره‌وری آب از طریق صرفه‌جویی و جلوگیری از تلفات فیزیکی آب شامل تمامی اقدامات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مرتبط برای صرفه‌جویی‌های واقعی و کاهش تلفات فیزیکی آب در مقیاس‌های گیاه، مزرعه، شبکه آبیاری و حتی حوضه آبریز است (حیدری، ۱۳۹۰). ازاین‌رو یکی از شیوه‌های کاربردی نمودن مدیریت‌های کارا و نوین، اجرای پژوهش‌های مزرعه‌ای و با مشارکت مؤلفه‌های درگیر (محقق، مروج و بهره‌بردار) است که امکان شکل‌گیری و فرهنگ‌سازی یک شیوه تولید را پدید می‌آورد (توکلی، ۱۳۸۹). راه‌کارهایی مانند بهبود گونه‌های گیاهی، تغییر الگوی کشت، بهبود مدیریت آبیاری، بهبود عملیات زراعی و بکارگیری روش‌های نوین آبیاری موجود ازجمله این مدیریت‌ها می‌باشد (نی‌ریزی و حلمی فخر داود ۱۳۸۲). به این منظور پژوهشگرانی بیان داشتند که اجرای تمهیدات ساده و کاربردی در مقیاس مزرعه‌ای، مانند کاربرد خاک پوشه‌ها، بی‌خاکورزی، کم آبیاری، اصلاح الگوی کشت و استفاده از ارقام اصلاح‌شده و غیره علی‌رغم افزایش عملکرد محصول و ترغیب زارع به استفاده از این تمهیدات موجب کاهش مصرف آب نیز گردیده است؛ که هر دو عامل نقش مستقیم در رابطه با افزایش بهره‌وری آب دارد (یان و همکاران، ۲۰۱۵).

سازمان محیط‌زیست کشور با همکاری وزارت جهاد کشاورزی اقدام به انجام پروژه‌ای در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه به‌منظور افزایش بهره‌وری آب با حفظ درآمد کشاورزان نموده است. در این پروژه سعی بر آن است تا با آموزش و مشارکت کشاورزان منطقه، اقدام به تغییراتی در شیوه‌ی کشاورزی سنتی صورت گیرد. در این زمینه اجرای فناوری‌هایی از قبیل تغییر در روش‌های خاک‌ورزی، اصلاح ابعاد کرت آبیاری، تغییر ارقام گیاهی و اصلاح برنامه کودی صورت گرفت. این مقاله در راستای ارزیابی اثربخشی فناوری‌های اعمال‌شده بر شاخص‌های بهره‌وری آب[1]، کارایی مصرف آب[2] و بهره‌وری اقتصادی آب[3] برای محصولات زراعی غالب منطقه (گندم، جو و کلزا) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش در مناطق اسکو، عجب‌شیر و بناب واقع در استان آذربایجان شرقی و در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه با مختصات '۴۰ °۳۷ شمالی و '۲۷ °۴۵ شرقی برای یک سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. در این مناطق هشت مزرعه کشاورزان در نظر گرفته شد که فناوری‌های به

1-Water Productivity
2-Water Use Efficiency
3-Economic productivity of water

www.SID.ir

Archive of SID

زراعی در چهار مزرعه اعمال گردید. برای مقایسه اثربخشی فناوری‌های اعمالی چهار مزرعه نیز با شیوه کشت سنتی و غالب منطقه انتخاب شد. در این تحقیق به مزارعی که فناوری‌های به زراعی در آن اعمال‌شده به‌اختصار تیمار و به مزارعی که به شیوه سنتی کشت گردیده است شاهد اطلاق می‌شود. سطح مزارع تیمار و شاهد با توجه به حدود مالکیت کشاورزان بوده و بر اساس آن تعیین گردید. مقایسه اثر بخشی مزارع تیمار نسبت به شاهد نیز برای هر محصول ومزرعه به صورت جداگانه انجام پذیرفت. لازم به ذکر است در انتخاب جفت مزارع تیمار–شاهد تلاش گردید تا سایر فاکتورهای کشاورزی از قبیل بافت خاک، هواشناسی، روش آبیاری بین مزارع تیمار و شاهد یکسان باشد و وجه تفاوت مزارع تیمار و شاهد مربوط به فناوری‌های به‌کار رفته به‌زراعی در مزراع تیمار باشد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات عمومی و فناوری‌های بکار رفته در مزارع طرح

نوع محصول	شهرستان	کد مزرعه	نوع مزرعه	ابعاد کرت‌ها* (متر*متر)	فناوری‌های به‌کاررفته
گندم	بناب	W1	تیمار	۳۱٫۵×۳٫۷	استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی، تسطیح مناسب زمین، استفاده از کود حیوانی، اصلاح کردن ابعاد کرت‌ها، استفاده از کود زیستی
		W2	شاهد	۴۷×۳٫۸	–
جو	بناب	B1	تیمار	۲۷×۳٫۳	استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی، تسطیح مناسب زمین، استفاده از کود حیوانی، اصلاح کردن ابعاد کرت‌ها استفاده از کود زیستی و همچنین حفظ بقایای گیاهی محصول کشت قبل
		B2	شاهد	۴۲٫۴×۴٫۷	–
کلزا	عجب‌شیر	C1	تیمار	۲۹×۳٫۵	اصلاح کردن ابعاد کرت‌ها، تسطیح مناسب زمین و استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی
		C2	شاهد	۱۳۵×۳٫۶	–
کلزا	اسکو	C3	تیمار	۱۲٫۷×۱۲	استفاده از کود دامی، اصلاح ابعاد کرت و تسطیح مناسب زمین
		C4	شاهد	۲۰×۱۲	–

*ابعاد تمام کرت‌های موجود در هر مزرعه مطابق ارقام ذکرشده می‌باشد

محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب

به‌طور کلی بهره‌وری آب کشاورزی از دیدگاه‌های مختلفی موردبحث و بررسی قرار می‌گیرد. به عبارتی نوع و تعداد شاخص‌های بهره‌وری با توجه به دیدگاه‌های گوناگون، متفاوت است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). ازاین‌رو با توجه به اهداف تحقیق حاضر شاخص‌های بهره‌وری آب، کارایی مصرف آب و بهره‌وری اقتصادی آب موردبحث و بررسی قرار گرفت. نحوه محاسبه شاخص‌های ذکرشده با استفاده از معادلات زیر می‌باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$WP = \frac{Y_c}{\sum I + \sum R_t} \quad (۱)$$

$$WUE = \frac{Y_c}{ET_A} \quad (۲)$$

$$WPe = \frac{I_N}{\sum I + \sum R_t} \quad (۳)$$

در این روابط: WP بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y_c عملکرد محصول (کیلوگرم)، $\sum I$ حجم آب آبیاری در طول فصل رشد (مترمکعب)، $\sum R_t$ حجم بارش مؤثر در طول فصل رشد (مترمکعب)، WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، ET_A تبخیر–تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد (مترمکعب)، WPe بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب) و I_N سود خالص (که از تفاوت هزینه‌های انجام‌شده در طی فصل و درآمد ناشی از تولید برحسب ریال به دست می‌آید) می‌باشد.

همچنین با استفاده از معادلات (۴)، (۵) و (۶)، ΔWP، WUE، WPe، بین مزارع تیمار و شاهد مقایسه شدند.

$$\Delta WP = \frac{WP_t - WP_s}{WP_s} \times 100 \quad (۴)$$

$$\Delta WUE = \frac{WUE_t - WUE_s}{WUE_s} \times 100 \quad (۵)$$

$$\Delta WP_e = \frac{WP_{et} - WP_{es}}{WP_{es}} \times 100 \quad (۶)$$

www.SID.ir

Archive of SID

در معادلات بالا:

ΔWP تفاوت بهره‌وری مصرف آب بین مزارع تیمار و شاهد (درصد)، WP_t بهره‌وری مصرف آب در مزارع تیمار (کیلوگرم بر مترمکعب)، WP_s بهره‌وری مصرف آب در مزارع شاهد (کیلوگرم بر مترمکعب) ΔWUE تفاوت در کارایی مصرف آب بین مزارع تیمار و شاهد (درصد)، WUE_t کارایی مصرف آب در مزارع تیمار (کیلوگرم بر مترمکعب) و WUE_s کارایی مصرف آب در مزارع تیمار شاهد (کیلوگرم بر مترمکعب)، ΔWP_eفاوت در بهره‌وری اقتصادی آب بین مزارع تیمار و شاهد (درصد)، WP_{et} بهره‌وری اقتصادی آب در مزارع تیمار (کیلوگرم بر مترمکعب) و WP_{es} بهره‌وری اقتصادی آب در مزارع شاهد (کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد.

حجم آب ورودی به مزارع

اندازه‌گیری حجم آب ورودی به مزارع با توجه به امکانات موجود جهت اندازه گیری و همچنین شرایط هر مزرعه به سبب عرض و عمق و دبی ورودی برای هر مزرعه با استفاده از فلوم‌های WSC[1] تیپ دو، چهارو پنج صورت گرفت. معادلات محاسبه آن به شرح زیر می‌باشد:

$$Q = 0.0374H^{2.64} \quad (۷)$$

$$Q = 0.0294H^{2.102} \quad (۸)$$

$$Q = 0.0232H^{2.196} \quad (۹)$$

در این روابط:

Q دبی عبوری از فلوم (لیتر در ثانیه) و H ارتفاع آب در فلوم (سانتی‌متر) می‌باشد. در هر نوبت آبیاری ارتفاع آب عبور یافته از فلوم اندازه‌گیری شد و دبی آب ورودی به مزرعه با استفاده از روابط بالا به دست آمد (چامبرلین، ۱۹۵۲). با استفاده از دبی جریان ورودی و مدت‌زمان آبیاری، حجم آب ورودی به مزارع در هر نوبت آبیاری مشخص شد. با تقسیم حجم آب ورودی بر مساحت مزارع، عمق آبیاری مشخص گردید (جدول ۲). همچنین به دلیل بسته بودن انتهای کرت‌ها آب از انتهای کرت‌ها خارج نمی شد.

$$I = \frac{Q*t}{A} \quad (۱۰)$$

در این رابطه:

Q دبی جریان ورودی (لیتر بر ثانیه)، I عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، t مدت‌زمان آبیاری (ثانیه) و A مساحت زمین (مترمربع) می‌باشد (علیزاده، ۱۳۹۰).

جدول ۲- اطلاعات آبیاری مزارع تحت پایش

کد مزرعه	تعداد دفعات آبیاری	عمق آبیاری در هر نوبت (میلی‌متر)					عمق تجمعی آبیاری فصلی (میلی‌متر)
		نوبت اول	نوبت دوم	نوبت سوم	نوبت چهارم	نوبت پنجم	
W1	۴	۱۲۷	۲۲۵	۲۲۵	۱۸۰	–	۶۹۹
W2	۴	۲۱۸	۴۲۱	۲۱۸	۱۷۴	–	۱۰۳۱
B1	۳	۱۶۰	۲۰۸	۱۱۱	–	–	۴۷۹
B2	۳	۱۷۹	۲۳۹	۱۲۰	–	–	۵۳۸
C1	۵	۱۱۱	۱۱۱	۱۰۹	۱۲۴	۱۰۰	۵۵۵
C2	۵	۱۳۱	۱۳۱	۱۳۱	۸۶	۱۳۱	۶۱۰
C3	۵	۱۲۳	۱۳۳	۱۲۳	۱۱۸	۱۱۸	۶۱۵
C4	۵	۱۰۷	۱۱۸	۱۰۷	۱۰۱	۱۰۱	۵۳۴

برداشت شاخص‌های گیاهی

به‌منظور تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از هر مزرعه به‌صورت تصادفی از سطحی به مساحت یک مترمربع و با توجه به ابعاد مزرعه از سه الی شش نقطه نمونه‌برداری انجام گرفت. همچنین از هر مزرعه تعداد ۲۰ بوته به‌صورت کاملاً تصادفی به‌منظور تعیین اجزای عملکرد شامل تعداد دانه در سنبله (گندم و جو)، دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته (کلزا) و وزن هزار دانه محصولات

1-Washington State Collage

www.SID.ir

Archive of SID

برداشت گردید. به‌منظور تعیین تراکم کشت، تعداد بوته‌های برداشت‌شده از سطح یک مترمربع برای محصولات گندم و جو شمارش گردید؛ و برای گیاه کلزا تعداد بوته‌ها در یک سطح ۲*۲ مترمربع شمارش شد. کلیه نمونه‌های گیاهی برداشت‌شده به‌منظور تعیین عملکرد مزارع و وزن خشک اندام مختلف گیاه پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد داخل آون قرار گرفت و درنهایت به‌وسیله ترازو با دقت ۰,۰۱ گرم وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به خاک

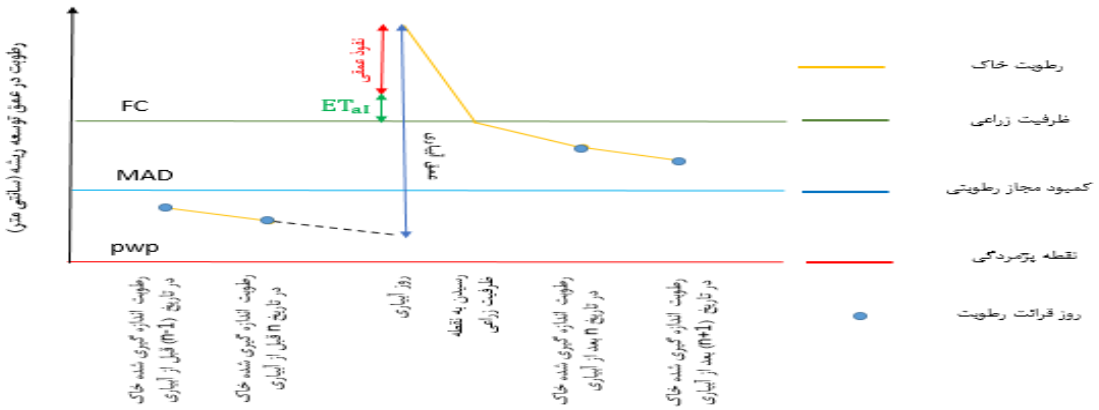
عمق توسعه ریشه ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری رطوبت هرچند روز یک‌بار در اعماق ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر، توسط مته نمونه‌برداری و دستگاه رطوبت‌سنج خاک PR2 صورت می‌گرفت. برای بدست آوردن پارامترهای مختلف مرتبط به خاک ازجمله بافت، PH، رطوبت اشباع، نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی و تجزیه شیمیایی از هر مزرعه از سه الی شش نقطه (متناسب با مساحت مزرعه) و در سه عمق (۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰) سانتی‌متر نمونه‌گیری خاک انجام گرفت. درنهایت با اختلاط خاک هر لایه و انتقال بخشی از آن به آزمایشگاه، باف خاک و سایر مشخصات مرتبط با خاک مزارع تعیین گردید. همچنین نمونه‌های دست‌نخورده خاک از اعماق اشاره‌شده، در هر مزرعه از سه‌نقطه به‌منظور تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک برداشت گردید.

رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (WC) (سانتیمتر عمق آب بر ۶۰ سانتی‌متر عمق خاک) بر اساس معادله‌ی (۱۱) و با استفاده از داده‌های رطوبتی اندازه‌گیری شده خاک محاسبه شد.

$$WC = DR_{10} \times 10 + DR_{20} \times 10 + DR_{30} \times 10 + DR_{45} \times 15 + DR_{60} \times 15 \qquad (11)$$

در این رابطه:

DR_{10} رطوبت حجمی خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر خاک، R_{20} رطوبت حجمی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر خاک ، DR_{30} رطوبت حجمی خاک در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متر خاک ، DR_{45} رطوبت حجمی خاک در عمق ۴۵-۳۰ سانتی‌متر خاک و DR_{60} رطوبت حجمی خاک در عمق ۶۰-۴۵ سانتی‌متر خاک می‌باشد. (شکل ۱)تصویر شماتیک و نحوه تغییرات رطوبت خاک مزارع را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تصویر شماتیک تغییرات رطوبت در خاک مزارع تحت پایش

تبخیر- تعرق واقعی

پس از ترسیم و استخراج منحنی‌های تغییرات رطوبت خاک در هریک از مزارع در طول فصل رشد، اختلاف رطوبت خاک در یک محل اندازه‌گیری، در دو زمان متوالی و تقسیم آن بر بازه ی زمانی بین تاریخ‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک میزان تبخیر-تعرق واقعی روزانه گیاه مطابق معادله زیر محاسبه شد:

$$ET_{A-D} = \frac{WC_{n-1} - WC_n}{\Delta t} \qquad (12)$$

www.SID.ir

Archive of SID

در این رابطه:
ET_{A-D} تبخیر-تعرق واقعی روزانه گیاه (میلی‌متر)، WC_n رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متر) در تاریخ اندازه‌گیری n ام (میلی‌متر)، WC_{n-1}رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه در تاریخ اندازه‌گیری n-1 (سانتی‌متر) و Δt بازه‌ی زمانی بین تاریخ‌های n و n-1 (روز) می‌باشد. همچنین تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد برای مزارع طرح به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$ET_A = \sum_{i=\text{روز کاشت}}^{\text{روز برداشت محصول}} (ET_{A-D})_i \qquad (۱۳)$$

در این رابطه ET_A تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد (میلی‌متر) و ET_{A-D} تبخیر-تعرق واقعی روزانه گیاه (میلی‌متر) می‌باشد.

نتایج و بحث

حجم آب کاربردی در مزارع

در همه مزارع تیمار به‌جز مزرعه تیمار کلزا C3، حجم آب کاربردی نسبت به مزرعه شاهد کاهش یافت (جدول ۴). درصد کاهش مصرف آب برای مزارع تیمار W1، B1 و C1 به ترتیب برابر ۳۲، ۱۱ و ۹ درصد بود. ازاین‌رو می‌توان اظهار داشت که کاهش طول کرت‌ها در مزارع W1، B1 و C1 و همچنین استفاده از کود دامی به‌ویژه در مزرعه W1 نقش عمده‌ایی در کاهش مصرف آب آبیاری داشته است. مشاهدات عینی و برداشت نمونه رطوبتی از مزرعه W1 نشان‌دهنده آن بود که استفاده از کود دامی تأثیر بسزایی در نگهداشت آب مزرعه داشته است. به‌طوری‌که در مزرعه شاهد W2 علی‌رغم یکسان بودن بافت خاک در مقایسه مزرعه W1 خاک مزرعه با سرعت بیشتری رطوبت خود را از دست می‌داد. محققان زیادی افزایش نگهداشت رطوبت خاک توسط کودهای آلی را تائید می‌کنند که می‌توان به نتایج تحقیقات، احمدآبادی و قاجار سپانلو (۱۳۹۱)، وانگ و یانگ (۲۰۰۲) و کارلن و کامپ (۱۹۸۵) اشاره نمود. در مزرعه تیمارC3 آبیاری کرت‌ها از آبراهه اصلی انجام می‌شد و آبیاری کرت‌های شاهد C4 از انتهای کرت‌های تیمار صورت می‌گرفت. در تمام مدت آبیاری کرت‌های شاهد، آب از روی کرت‌های تیمار عبور پیدا می‌نمود. این امر درنهایت منجر به افزایش مصرف آب مزرعه تیمار C3 نسبت به مزرعه شاهد C4 شد. عمق آب آبیاری در نوبت دوم مزرعه W2 نسبت به سایر نوبت‌ها زیادتر می باشد (جدول ۲). در نوبت مذکور آبیاری توسط کانال آب‌رسان شبکه‌ایی صورت گرفته است. به دلیل حجم بالای آب تحویلی به مزرعه (۲۰۰ لیتر بر ثانیه) و عدم مدیریت بهینه زارع در آبیاری بیش از نیاز آب وارد مزرعه شده است.

عملکرد مزارع

در همه مزارع عملکرد دانه در مزارع تیمار نسبت به مزارع شاهد بیشتر بود. درصد افزایش محصول مزارع تیمار W1، B1، C1 و C3 به ترتیب برابر با ۲۶، ۲۲، ۵ و ۸۳ درصد نسبت به مزرعه شاهد بود (جدول ۴). در مزرعه C1 فناوری اعمال‌شده اصلاح ابعاد کرت مزرعه نسبت به مزرعه شاهد بود؛ که گرچه این مهم بر میزان آب مصرفی تأثیر گذاشت اما تأثیر چندانی بر عملکرد محصول نداشت؛ بنابراین کمترین درصد افزایش محصول متعلق به مزرعه C1 به دست آمد.

تبخیر-تعرق واقعی

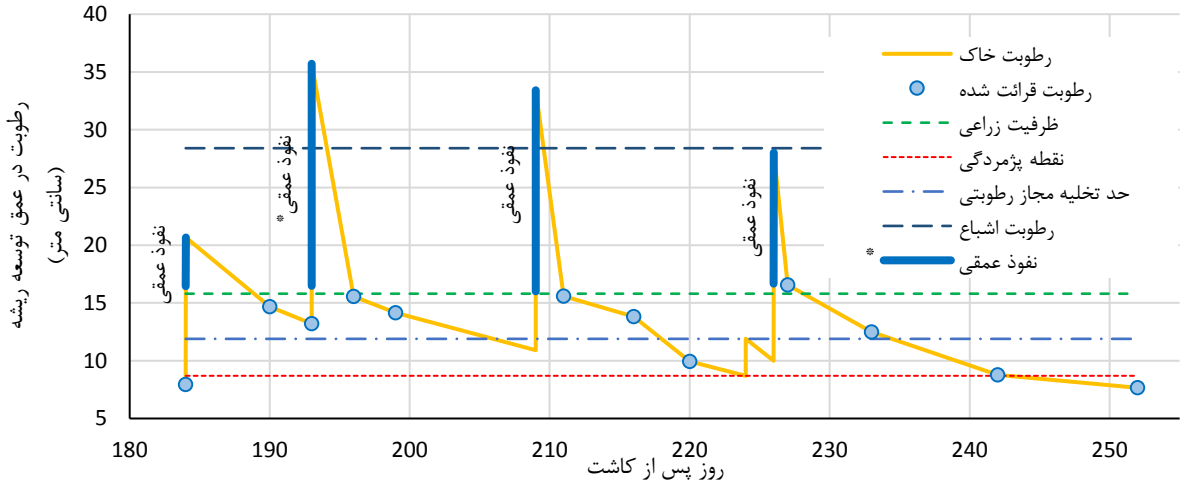
ETa یکی از پارامترهای اصلی مورد نیاز برای محاسبه شاخص کارآیی مصرف آب می‌باشد. با ترسیم منحنی‌های رطوبتی مزارع مطابق (شکل ۲) که به‌عنوان نمونه برای مزرعه گندم W1 در این مقاله آورده شده است و با استفاده از فرمول ETa(۱۳) برای کلیه مزارع محاسبه گردید (جدول ۳). همچنین با توجه به اینکه ETa متأثر از شرایط محیطی و اقلیمی می‌باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، لذا اختلاف بین نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج گزارش شده در کشور توسط سایر محققین خارج از انتظار نیست.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده در این مطالعه با مناطق مختلف کشور

تبخیر-تعرق واقعی مزارع مورد مطالعه		تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده توسط سایر محققین برای مناطق مختلف		
کد مزرعه	ETa(میلی‌متر)	نام منطقه	Eta(میلی‌متر)	محقق
W1	۵۲۶	سرپل ذهاب	۶۷۸	لشکری و همکاران (۱۳۸۸)
		روانسر	۵۸۱	
W2	۵۷۱	اسلام‌آباد غرب	۵۸۱	
B1	۴۰۰	دشت نیشابور	۳۹۲	(حقایقی مقدم و فرزام نیا، ۱۳۹۱)
		دشت برخوار اصفهان	۴۲۹	(نصر اصفهانی و گلچین، ۱۳۸۷)
B2	۴۱۲	دشت بناب- مراغه	۳۵۷	دهقان و همکاران، ۱۳۸۸)
C1	۶۵۲	حاجی‌آباد هرمزگان	۵۰۵	(مرادی دالینی و نیشابوری، ۱۳۸۴)
C2	۶۰۰			
C3	۴۶۲	زرقان فارس	۷۰۰ و ۷۰۹ و ۷۴۰	(نیازی و فولادمند، ۱۳۸۵)
C4	۵۲۰			



شکل ۲- تغییرات رطوبت خاک در مزرعه تیمار گندم W1

* در مواقعی که رطوبت خاک در شکل، بیش از رطوبت اشباع مشاهده می‌شود، نشانگر آن است که بخشی از آب که در ابتدای آبیاری به پروفیل ریشه اضافه شده در حین آبیاری از پروفیل ریشه خارج شده است

جدول ۴- شاخص‌های بهره‌وری (WP)، کارایی مصرف (WUE) و بهره‌وری اقتصادی آب (WPe) مزارع تحت پایش

کد مزرعه	I∑	R +∑I∑	ETa -s	Yc	WPe	WP	WUE
	(میلی‌متر)			(کیلوگرم بر هکتار)	(ریال بر مترمکعب)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	
W1	۶۹۹	۹۵۰	۵۲۶	۱۱۱۰۲	۳۲۷۵	۱٫۱۷	۲٫۱۱
W2	۱۰۳۱	۱۲۴۸	۵۷۱	۹۹۶۱	۲۱۳۲	۰٫۸	۱٫۷۴
B1	۴۷۹	۶۸۴	۴۰۶	۵۰۵۸	۸۰۲	۰٫۷۴	۱٫۲۵
B2	۵۳۸	۷۳۴	۴۱۲	۳۹۴۷	۲۳۳	۰٫۵۴	۰٫۹۶
C1	۵۵۵	۸۰۵	۶۵۲	۵۹۲۱	۳۹۲۳	۰٫۷۴	۰٫۹۱
C2	۶۱۰	۸۶۰	۶۰۰	۵۶۱۴	۳۴۰۳	۰٫۶۵	۰٫۹۴
C3	۶۱۵	۸۰۲	۴۶۲	۸۸۸۵	۶۷۲۷	۱٫۱۱	۱٫۹۲
C4	۵۳۴	۷۲۱	۵۲۰	۱۵۰۷	-۲۴۴	۰٫۲۱	۰٫۲۹

∑ I: عمق تجمعی آب آبیاری در طول فصل رشد
∑ I+∑R: عمق تجمعی آب آبیاری و بارش در طول فصل رشد
ETa: تبخیر-تعرق واقعی تجمعی گیاه در طول فصل رشد
Yc: عملکرد دانه محصولات

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های بهره‌وری آب

شاخص WP در مزارع تیمار در مقایسه با مزارع شاهد در هر چهار منطقه مورد مطالعه در مزارع تیمار نسبت به شاهد بیشتر بود (جدول ۴). همان‌طور که در بخش‌های قبل اشاره شد نتایج نشان‌دهنده کاهش آب مصرفی (به استثنا مزرعه C3) و افزایش عملکرد همه مزارع تیمار نسبت به مزارع شاهد بود؛ بنابراین با توجه به اینکه شاخص بهره‌وری آب با میزان عملکرد نسبت مستقیم و با آب مصرفی نسبت عکس دارد، افزایش WP مزارع تیمار نسبت به شاهد خارج از انتظار نیست. همچنین نتایج نشان‌دهنده آن می‌باشد که شاخص WUE مزارع تیمار W1، B1 و C3 نسبت به مزرعه شاهد بیشتر بوده و تنها در مزرعه تیمار C1 این شاخص نسبت به مزرعه شاهد کمتر است (جدول ۲). از آنجاکه شاخص کارایی مصرف آب با میزان عملکرد نسبت مستقیم و با تبخیر-تعرق گیاه نسبت عکس دارد و با توجه به اینکه عملکرد مزارع تیمار نسبت به شاهد بیشتر بوده و مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مزارع شاهد و تیمار به‌طور تقریب برابر می‌باشد، لذا بیشتر بودن مقادیر WUE مزارع تیمار W1، B1 و C3 نسبت به مزرعه شاهد بدیهی است. کشت محصول در مزرعه تیمار C1 حدود ۱۲ روز زودتر و برداشت آن ۱۰ روز دیرتر از مزرعه C3 انجام گردید به نظر می‌رسد بیشتر بودن تبخیر و تعرق تجمعی این مزرعه نسبت به مزرعه C2 به این دلیل باش؛ اما علت کمتر بودن شاخص WUE در مزرعه تیمارکلزا، سایت عجب‌شیر به سبب بیشتر بودن تبخیر-تعرق تجمعی گیاه در مزرعه تیمار نسبت به شاهد و برابر بودن تقریبی مقدار محصول به دلایل ذکرشده قبلی در مزارع تیمار و شاهد می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری WPe کلیه هزینه‌های مراحل مختلف به دلیل به روز نبودن آمار وزارت جهاد برای سال زراعی مورد مطالعه مطابق باقیمت‌های سال زراعی ۹۱-۹۰ از آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی اخذ گردید. قیمت تضمینی خرید محصولات مورد مطالعه نیز بر اساس نرخ مصوب ارائه‌شده توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور در همان سال زراعی اخذ شد (جدول ۵). درنهایت سود اقتصادی با استفاده از تفاضل درآمد ناخالص از مجموع هزینه‌های انجام‌شده به ازای سطح کشت هر محصول حاصل گردید. همچنین به دلیل مسائل اجتماعی و مشکلات موجود امکان محاسبه هزینه اختصاصی برای هر مزرعه وجود نداشت. نتایج نشان داد که شاخص WPe نیز در هر چهار منطقه مورد مطالعه در مزارع تیمار نسبت به مزارع شاهد بیشتر بود (جدول ۴). به سبب اینکه شاخص بهره‌وری اقتصادی آب با میزان سود نسبت مستقیم و با حجم آب مصرفی نسبت عکس دارد و از آنجا که سود اقتصادی و آب مصرفی همه مزارع تیمار (به استثنا مزرعه C3) نسبت به شاهد به ترتیب بیشتر و کمتر بود، سبب گردید تا WPe مزارع تیمار نسبت به شاهد بیشتر باشد (شکل ۳).

جدول ۵- هزینه‌های مراحل مختلف کاشت به ازای هر هکتار و قیمت خرید تضمینی محصولات (واحد ۱۰ ریال)

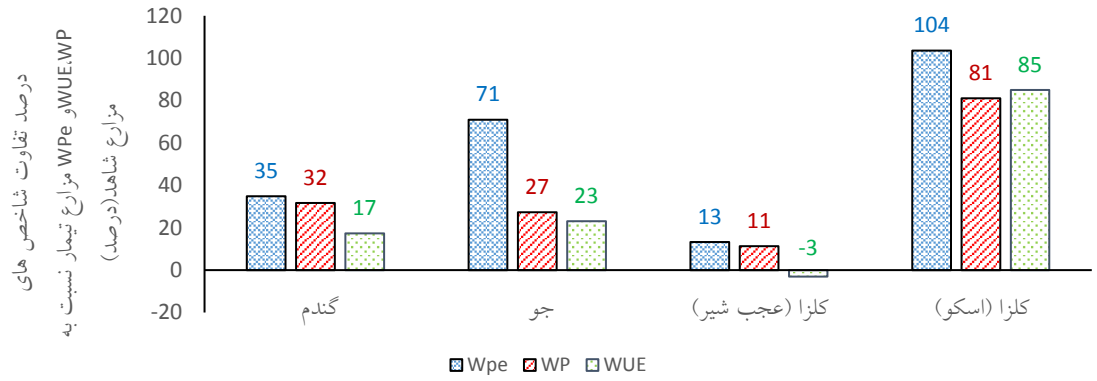
نام محصول	آماده‌سازی زمین	کاشت	داشت	برداشت	اجاره بهاء زمین	جمع کل هزینه‌ها	قیمت خرید واحد کیلوگرم
گندم	۱۵۴۳۸۱	۲۵۰۳۸۱	۳۲۸۵۶۸	۱۴۹۹۱۲	۳۸۹۹۵۶	۱۲۷۳۱۹۸	۳۹۵
جو	۱۵۰۲۳۹	۲۰۸۱۰۸	۳۶۷۰۱۱	۱۲۸۵۶۲	۳۱۶۹۰۲	۱۱۷۰۸۲۲	۳۹۴
کلزا	۱۰۵۳۱۲	۱۱۴۲۰۵	۲۳۲۵۹۰	۱۲۶۷۰۶	۷۳۵۰۶۵	۱۳۱۳۸۷۸	۷۵۵

نتایج به‌دست‌آمده دلالت بر آن دارد که فناوری های به زراعی اعمال‌شده در مزارع تیمار در افزایش شاخص‌های WP، WUE و WPe مؤثر واقع شده است. به نظر می‌رسد برخی از فناوری‌های اعمال‌شده مانند اصلاح برنامه کودی و تغییر واریته گیاهی بر افزایش مقدار محصول و برخی دیگر مانند اصلاح ابعاد کرت‌ها و تسطیح مناسب زمین بر کاهش میزان آب مصرفی مؤثر بوده است. بااین‌حال به دلیل اینکه در این مطالعه مزارع به‌صورت کامل تحت مدیریت کشاورزان بود. پیاده‌سازی طرح‌های آماری در مزرعه به‌منظور مقایسه اثربخشی هر یک از فناوری‌های اعمال‌شده به‌صورت جداگانه و همچنین بررسی اثرات متقابل هریک بر شاخص‌هایWP ، WUE و WPe میسر

www.SID.ir

Archive of SID

نبود؛ اما بر طبق نتایج حاصل می‌توان ذکر نمود که مجموع فناوری‌های اعمال‌شده بدون در نظر گرفتن سهم هرکدام منجر به افزایش شاخص‌های مذکور شده است. تحقیقات متعددی اهمیت فناوری‌های به زارعی مختلف را به تفکیک بر بهره‌وری آب مورد بررسی قرار داده‌اند. عمده تحقیقات صورت گرفته در این زمینه برافزایش شاخص‌های بهره‌وری توسط اعمال فناوری‌های به زراعی تأکید دارد که از این منظر با نتیجه تحقیق حاضر منطبق می‌باشد. در خصوص اصلاح برنامه کودی به‌عنوان یکی از فناوری‌های اعمال‌شده محققانی گزارش نمودند که مدیریت زراعی و مصرف کود نقش بسزایی در افزایش بهره‌وری آب دارد (اویس، ۱۹۹۹). همچنین پژوهشگرانی مشاهده کردند که مصرف بهینه‌ی کود ازت در مرکبات بهره‌وری آب را ۱۵ درصد افزایش داد (کین و همکاران، ۲۰۱۶). در خصوص اصلاح ابعاد کرت در گزارشی ذکرشده است که یکنواختی و راندمان کاربرد آبیاری با کاهش طول شیار و کرت افزایش می‌یابد (سوان و فرنکین، ۲۰۰۲). همچنین شیوه مناسب خاک‌ورزی که از دیگر فناوری‌های اعمال‌شده در مزارع تحت پایش می‌باشد، بر میزان افزایش عملکرد و بهره‌وری آب تأثیرگذار بوده است. به‌طوری‌که محققانی گزارش نمودند که عملیات متناوب خاک‌ورزی[1] باعث بهبود مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک شده و درنتیجه سبب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب می‌گردد (هایو و همکاران، ۲۰۱۲).



شکل ۳- میزان اثربخشی فناوری‌های به زراعی در مزارع گندم، جو و کلزا بر اساس شاخص‌های WP، WUE و Wpe

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این تحقیق نشان داد WP مزارع تیمار W1، B1، C1 و C3 به ترتیب برابر با ۳۲، ۲۷، ۱۱ و ۸۱ درصد، WUE مزارع تیمار W1، B1 و C3 به ترتیب برابر با ۱۷، ۲۳ و ۸۵ درصد و Wpe مزارع تیمار W1، B1، C1 و C3 به ترتیب برابر با ۳۵، ۷۱، ۱۳ و ۱۰۴ نسبت به مزارع شاهد افزایش و تنها در مزرعه C1 شاخص WUE به میزان سه درصد نسبت به مزرعه شاهد کاهش یافت. در مجموع به‌طور متوسط فناوری‌های به زراعی اعمال‌شده در همه مزارع منجر به افزایش شاخص‌های WP، WUE و Wpe به ترتیب به میزان ۳۸، ۳۱ و ۵۶ درصد گردید.

متأسفانه اغلب مقالات و رساله‌های علمی انجام‌شده در زمینه بهره‌وری و عوامل تأثیر گزار بر آن بدون در نظر گرفتن شرایط واقعی مزرعه و مبتنی بر نتایج مستخرج از طرح‌های ایستگاه‌های تحقیقاتی و استناد به منابع خارجی می‌باشد. این امر می‌تواند موجب ناکارآمدی تصمیمات و عدم رضایت ذینفعان گردد. چراکه بسیاری از ایده‌های تحقیقاتی به دلایل مسائِل مختلف اجتماعی قابلیت اجرایی و انطباق با شرایط واقعی ندارد. به نظر می‌رسد شرط لازم برای موفقیت در افزایش بهره‌وری و منافع حاصل از آن همکاری مشترک بین محققان و کشاورزان در تحلیل مشکلات کشاورزی و آزمایش شیوه‌های کشاورزی جایگزین است. به صورتی که منافع کشاورزان به دنبال

1- Rotational Tillage

www.SID.ir

Archive of SID

اجرای طرح تأمین گردد؛ بنابراین با رعایت اصول ذکرشده پیشنهاد می‌گردد فناوری‌های بکار گرفته‌شده در این تحقیق با مشارکت کشاورزان برای سایر مزارع منطقه اعمال گردد. تا علاوه بر ارتقا معیشت کشاورزان و افزایش بهره‌وری، کاهش برداشت از منابع آب نیز حاصل گردد. اگرچه افزایش بهره‌وری آب شرط لازم برای کاهش مصرف آب بوده و شرط کافی نمی‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی به‌منظور برنامه‌ریزی دقیق‌تر، با افزایش مزارع تحت مطالعه اثربخشی هریک از فناوری‌های اعمال‌شده به‌صورت جداگانه بررسی شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت و پشتیبانی طرح حفاظت از تالاب‌های ایران و در قالب پروژه همکاری در احیا دریاچه ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی در معرض خطر با حمایت مالی دولت ژاپن انجام گرفت.

فهرست منابع

۱. احسانی، م. و خالدی ه (۱۳۸۲) بهره‌وری آب کشاورزی. نشریه۸۲. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران . ۱۱۵صفحه.

۲. احمد آبادی، ز. و قاجار سپانلو م (۱۳۹۱) تأثیر کاربرد کودهای آلی روی برخی خواص فیزیکی خاک. پژوهش-های حفاظت آب‌وخاک. ۱۹(۲): ۱۶۶-۹۹.

۳. احمدزاده، ح.، مرید، س. و دلاور م (۱۳۹۳) ارزیابی مدل SWAT در شبیه‌سازی هم‌زمان رواناب رودخانه، تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات کشاورزی: مطالعه موردی، حوضه زرینه‌رود. آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸(۵): ۸۸۹-۸۷۶ .

۴. توکلی، ع. ر (۱۳۸۹) بهبود بهره‌وری آب با به‌کارگیری مدیریت تلفیقی آبیاری محدود و عملیات زراعی برتر در زراعت غلات دیم. دانشگاه تهران. تهران. رساله‌ی دکتری.

۵. حقایقی مقدم، س. ا. و فرزام نیا م (۱۳۹۱) تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری بر شاخص‌های بهره‌وری آب، مطالعه موردی :دشت نیشابور. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶(۲):۱۳۱-۱۴۱.

۶. حیدری ن (۱۳۹۰) تعیین و ارزیابی شاخص کارآیی مصرف آب محصولات زراعی تحت مدیریت کشاورزان در سطح کشور. مدیریت آب و آبیاری. ۱(۲): ۵۷- ۴۳.

۷. دهقان، م. ذبیحی افروز، ر.ع. و حسینی ثابت م (۱۳۸۸) بهره‌وری محصولات زراعی در ازای مصرف آب در ایران و مقایسه آن با کشورهای جهان. وزارت جهاد کشاورزی. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی. ۸۲صفحه.

۸. علیزاده ا (۱۳۸۹) رابطه آب‌وخاک و گیاه. چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد. ۴۷۰ صفحه.

۹. لشکری، ح. کیخسروی، ق. و رضایی ع (۱۳۸۸) تحلیل میزان کارایی مدل CROPWAT در برآورد نیاز آبی محصول گندم در غرب کرمانشاه: شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب، سر پل زهاب و روانسر. برنامه‌ریزی و آمایش فضا. ۱۳(۱): ۲۴۷-۲۷۰.

۱۰. مرادی دالینی، ا. و نیشابوری م ر(۱۳۸۴) تعیین نیازآبی گیاه کلزا با استفاده از لایسیمتر در منطقه حاجی‌آباد هرمزگان. مجموع مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۱. مقدسی، م.، مرید، س.، دلاور، م. و عرب پور ف (۱۳۹۴) رویکرد مدیریت آب در بخش کشاورزی در راستای احیای دریاچه ارومیه. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۱(۱): ۱۲-۱.

۱۲. مهتدی، م. الباجی، م. و دوست محمدی م م (۱۳۹۲) بررسی بهره‌وری آب سه محصول زراعی جو، گندم و یونجه در استان خوزستان به تفکیک شهرستان. مجموع مقالات چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

۱۳. مؤمنی ر (۱۳۹۰) ارزیابی سناریوهای افزایش بهره‌وری مصرف آب گندم دیم در حوزه کرخه با استفاده از آنالیزهای مدیریتی مدل رشد گیاهی CropSyst. مدیریت آب و آبیاری. ۱(۱): ۴۰-۲۹.

۱۴. نصر اصفهانی، ا. و گلچین ن ا (۱۳۸۷) برآورد کارایی مصرف آب محصولات زراعی در دشت برخوان اصفهان و دشت گرگان و گنبد. وزارت جهادکشاورزی معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصادکشاورزی. ۴۷صفحه.

۱۵. نی‌ریزی، س. حلمی فخرداود ر(۱۳۸۲) مقایسه کارآیی مصرف آب در چند نقطه خراسان. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران. ایران.

۱۶. نیازی، ج. و فولادمند ح ر(۱۳۸۵) دور و نیاز آبیاری سه رقم کلزا در منطقه زرقان استان فارس. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰(۳):۷۱ -۸۱.

۱۷. عباسی، ف. ناصری، ا. سهراب، ف. باغانی، ج. عباسی، ن. و اکبری، م. ۱۳۹۴. ارتقای بهره وری مصرف آب. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

18. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith M (1998) Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper, No.56, FAO, Rome, Italy, 300 P.
19. Chamberlain, A (1952) Measuring water in small channels with WSC flume (Stations circular 200). State College of Washington.
20. Fatemi, Z., Paknejad, F., Amiri, E. and Eilkaee M N (2014) Capability of the CERES-Barley Model for Prediction of Barley Varieties Growth under Deficit Irrigation. Biology. 2(1):1-7.
21. Hou, X., Li, R., Jia, Z., Han, Q., Wang, W. and Yang B (2012) Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China. Field crops research.129 (2): 7-13.
22. Karlen, D. L. and Camp C R (1985) Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. Agronomy. 77(3):393-398.
23. Kassam, A. H., Molden, D., Fereres, E. and Doorenbos J (2007) Water productivity: science and practice—introduction. Irrigation Science. 25(3): 185-188.
24. Li, S. X., Wang, Z. H., Li, S. Q. and Gao Y J (2015) Effect of nitrogen fertilization under plastic mulched and non-plastic mulched conditions on water use by maize plants in dryland areas of China. Agricultural Water Management. 162: 15-32.
25. Oweis T (1999) Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas (Vol. 7). IWMI.
26. Panda, R. K., Behera, S. K. and Kashia P S (2003) Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions. Agricultural water management. 63(1): 37-56.
27. Qin, W., Assinck, F. B., Heinen, M and Oenema O (2016) Water and nitrogen use efficiencies in citrus production: A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems &

www.SID.ir

Archive of SID

Environment. 222: 103-111.

28. Savva, A. P and Frenken K (2002) Irrigation manual. Planning, development monitoring and evaluation of irrigated agriculture with farmer participation. FAO.
29. Wang, M. C. and Yang C H (2002) Effect of paddy-upland crop rotation with various fertilizations on soil physical and chemical properties. In 17. World congress of soil science, Bangkok. Thailand
30. Yan, N., Wu, B., Perry, C and Zeng H (2015) Assessing potential water savings in agriculture on the Hai Basin plain, China. Agricultural Water Management. 154: 11-19.

www.SID.ir