

حسابداری آب در مزرعه چغندرقد تحت مدیریت دور و عمق آب آبیاری (مطالعه موردی: منطقه میاندواب)

Water Accounting in Sugar Beet Farm under Duration and Depth water irrigation management (Case study: Meandoab region)

امیر نورجو^{۱*}، مجید منتصری^۲، جواد بهمنش^۳ و مهدی اکبری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶

۱. نورجو، م.، منتصری، ج.، بهمنش و م. اکبری. ۱۳۹۷. حسابداری آب در مزرعه چغندرقد تحت مدیریت دور و عمق آب آبیاری (مطالعه موردی: منطقه میاندواب). چغندرقد، ۳۴(۱): ۳۱-۴۷. DOI: 10.22092/jsb.2018.115370.1165

چکیده

یکی از عمده دلایل خشکی دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و توسعه کشت محصولات با نیاز آبی بالا از جمله چغندرقد بوده است. حسابداری آب با ارائه تصویر روشن از آب مصرفی در مزرعه، قادر به تشخیص فرصت‌های صرفه‌جویی در مصرف آب می‌باشد. بدین منظور اجزاء حسابداری آب و شاخص‌های عملکرد بر اساس نتایج تحقیقاتی مزرعه آزمایشی چغندرقد در منطقه میاندواب با استفاده از مدل Aqua Crop استخراج و سیستم حسابداری بر اساس مدیریت کم آبیاری و دور آبیاری در چارچوب حسابداری آب در مقیاس مزرعه‌ای پیاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده سهم بارش از جریان ورودی خالص در آبیاری کامل با نوبت هفت روز در حدود هشت درصد بود و با افزایش دور آبیاری و اعمال مقادیر بیشتر کم آبیاری به ۱۴ درصد افزایش یافت. بررسی نشانگر سهم تخلیه از جریان ناخالص ورودی نشان داد در دور آبیاری کوتاه مقدار آن به یک نزدیک بوده و تقریباً تمام آب ورودی به مزرعه به مصرف (تخلیه) رسید و فرصتی برای صرفه‌جویی در مصرف آب مهیا نگردید. همچنین افزایش دور آبیاری موجب افزایش نشانگر سهم تخلیه فرایندی از کل آب مصرفی شد که افزایش آن جزء اهداف مدیریت آب در مزرعه محسوب می‌گردد و سهم تخلیه فرایندی را بهبود می‌بخشد. بررسی شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب نشان داد کم آبیاری بهبود شاخص‌ها را به دنبال داشت ولی کارایی مصرف آب را کاهش داد چرا که در کم آبیاری نسبت تبخیر که جزو تلفات غیرفرایندی است افزایش چشمگیری پیدا می‌کند لذا موفقیت در اتخاذ استراتژی کم آبیاری برای صرفه‌جویی در مصرف آب مستلزم به کارگیری شیوه‌های دیگر مدیریتی در مزرعه نظیر استفاده از خاکپوش‌ها و آبیاری قطره‌ای می‌باشد که بتواند جزء تبخیر را که جزو تلفات غیرفرایندی و غیرمفید است تحت کنترل درآورد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، چغندرقد، حسابداری آب، دریاچه ارومیه، مدل Aqua Crop

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ارومیه و مربی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران. * نویسنده مسئول
nourjou@yahoo.com

۲- استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۴- دانشیار پژوهشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

روش‌های حسابداری آب (Water accounting) گزینه مناسبی برای تخصیص بهینه آب و شناسایی مصارف غیرمولد آب به‌شمار می‌آیند. حسابداری آب در مقیاس حوضه، شبکه و مزرعه قابل پیاده‌سازی است و به شیوه‌ای توسعه یافته است که قادر است مورد استفاده مصرف کنندگان عمده آب شامل بخش کشاورزی، شهری، صنعتی و دیگر مصرف کنندگان آب قرار گیرد (Molden 1997). سیستم حسابداری آب امکانی را فراهم می‌کند که به توان فرصت‌های ذخیره و صرفه‌جویی در آب را در محدوده مطالعاتی تشخیص داد (Gleick et al. 2011). نگرش سیستم حسابداری آب از دو دیدگاه هیدرولوژی و مهندسی آبیاری قابل بررسی است. از دیدگاه هیدرولوژی با تعیین حرکت، توزیع و کیفیت آب در محدوده مورد مطالعاتی، درک بهتری از جریان آب به ویژه در مقیاس بزرگ مطالعاتی فراهم می‌گردد. در این دیدگاه معمولاً مقادیر بارش، تبخیر، تبخیر و تعرق، روان‌آب و جریان سطحی و تغییرات ذخایر رطوبتی مورد توجه و بررسی قرار می‌گیرد. از دیدگاه مهندسی آبیاری با محدود شدن منطقه مورد مطالعه، جریانات آب با دقت بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدیهی است کل آب برداشت شده از منبع تأمین آب (به علت تلفات نشت از کانال، تبخیر آب و غیره) در مزرعه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. بر این اساس در طول ۶۰ سال اخیر مفاهیم مختلف کارایی مصرف آب ارائه شده است تا میزان ثمربخشی آب از منبع تأمین تا ذخیره آن در ناحیه توسعه ریشه قابل محاسبه و ارزیابی گردد. در هر صورت کارایی هر دو دیدگاه هیدرولوژی و مهندسی آبیاری دارای اهمیت می‌باشند. رویکرد هیدرولوژی

منتهی به درک بهتر از جریانات آب و رویکرد مهندسی برای طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری مناسب به نظر می‌رسد. همواره بایستی دقت شود که استفاده از آب کمتر به منزله صرفه‌جویی در آب نبوده و الزاماً بهبود بهره‌وری مصرف آب و کاهش مصرف آب منجر به افزایش آب قابل دسترس نخواهد شد (Perry et al. 2009).

حسابداری آب مبتنی بر روش بیلان آب بوده و جریانات ورودی و خروجی آب را در محدوده مشخص شده در نظر می‌گیرد. اولین قدم در تعریف بیلان آب، تعیین محدوده و مرز مکانی و زمانی مورد مطالعه است. که در این بازه میزان آب ورودی معادل آب خروجی و تغییرات ذخیره آبی در محدوده مورد نظر می‌باشد. حسابداری آب اجزا بیلان آب را در نظر گرفته و آنها را بر اساس نوع مصارف و بهره‌وری مصرف آب حاصله طبقه‌بندی می‌کند. روش بیلان آب در مزرعه توسط میسرا و همکاران (Mishra et al. 1995)، راتور و همکاران (Rathore et al. 1996)، تیونگ و همکاران (Tuong et al. 1996) و بیان و همکاران (Bhuyian et al. 1995) با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین اکبری (Akbari 2012) مدل Aqua Crop را برای محاسبه اجزا بیلان آب با موفقیت در مزرعه گندم تحت سناریوهای مختلف آبیاری (زمان و عمق آبیاری) به کار گرفت. در اغلب موارد برآوردهای اولیه از بیلان آب، زمینه را برای تجزیه و تحلیل‌های عمیق‌تر بعدی و ارائه سرنخ‌های مهم در بهبود بهره‌وری مصرف آب به دنبال داشته است.

طبق پیش‌بینی به عمل آمده در سطح جهانی تقاضا برای مواد غذایی تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۷۰-۹۰ درصد افزایش خواهد

عملیات آبیاری میباید. حسابداری آب در این رابطه از توانایی لازم برخوردار است (Molden and Sakthivadivel 1999; Clemmens *et al.* 2008; Perry *et al.* 2009; Foster and Perry 2010). تمرکز کنونی محققان روی توسعه واژه بهره‌وری مصرف آب است که در سطح وسیع‌تری با اهداف افزایش عملکرد، حصول بیشترین سود اقتصادی و اجتماعی و با حداقل پیامدهای زیست محیطی و اجتماعی به ازای واحد مصرف آب استوار می‌باشد (Molden and Oweis 2007). بهبود بهره‌وری مصرف آب بدون اتخاذ استراتژی‌های مبتنی بر فاکتورهای بیولوژیکی و اقتصادی اجتماعی نیز میسر نخواهد بود (Molden *et al.* 2010).

دریاچه ارومیه دومین دریاچه فوق شور دنیا، به دلیل خشکسالی‌های اخیر و گسترش سطح زیرکشت اراضی آبی در معرض خشکی قرار گرفته و مشکلات جدی زیست محیطی برای دریاچه و مناطق اطراف آن پدید آورده است (AghaKouchak *et al.* 2015). از جمله اقدامات دولت در رابطه با احیاء دریاچه ارومیه، می‌توان به مصوبه کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی در حوزه زرنه‌رود و سیمینه‌رود اشاره نمود (Anon 2015). یکی از چالش‌های پیش‌روی این مصوبه مدیریت آبیاری گیاهان پرمصرف می‌باشد که در سال‌های اخیر به دلیل منافع اقتصادی در منطقه توسعه یافته و زیربنای اقتصادی آن محکم شده است. از بین این محصولات می‌توان به چغندر قند اشاره نمود. در حال حاضر استان آذربایجان غربی با بیشترین مقدار تولید و عیار بالا همچنان رتبه اول تولید چغندر قند در ایران را داراست (Anon 2013). با توجه به منافع اقتصادی این محصول

یافت (FAO 2003)، افزایش بهره‌وری مصرف آب با صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود ثمر بخشی هر قطره از آب و اختصاص آب کافی به رودخانه‌ها، آبخوان‌ها و اکوسیستم، اقدام مهمی در مقابله با بحران کمبود آب و تأمین آب مورد نیاز جمعیت رو به افزون و به دنبال آن افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های شرب، صنعت، کشاورزی و محیط زیستی به شمار می‌آید (Molden *et al.* 2010). در ابتدا متخصصین فیزیولوژی گیاهی واژه کارایی مصرف آب ($Water\ Use\ Efficiency = WUE$) را نسبت کربن جذب شده و یا عملکرد گیاه به واحد تبخیر-تعرق معرفی نمودند (Viets 1962) که بعداً نسبت مقدار زیست توده و یا عملکرد تجاری محصول به واحد تبخیر-تعرق گیاه نیز به عنوان کارایی مصرف آب در نظر گرفته شد. سپس متخصصین آبیاری با در نظر گرفتن تلفات آب در مسیر منبع اصلی تأمین آب و محل مصرف توسط گیاه، کارایی مصرف آب آبیاری ($Water\ Irrigation\ Use\ Efficiency = WIE$) را معرفی کردند (Israelsen 1932) که بعدها مفاهیم دیگری نظیر یکنواختی و کفایت آبیاری نیز به آن اضافه گردید (Solomon 1984; Whittlesey *et al.* 1986; Solomon and Burt 1997). بنا به اعتقاد برخی محققان، رابطه بین آب مصرفی و عملکرد محصول صرفاً یک نشانگر بوده و توصیف‌گر اثر بخشی آب نیست (Seckler *et al.* 2003). افزایش راندمان آبیاری در مقیاس مزرعه‌ای الزاماً منتهی به صرفه‌جویی آب نشده و چه بسا مصرف آب در سطح شبکه و حوضه افزایش یابد (Huffaker *et al.* 2008; Lecina *et al.* 2010). درک اینکه مقصد نهایی آب در چرخه استفاده در کجاست لازمه بررسی هیدرولوژیکی تاثیر

مزرعه‌ای سال اول واسنجی و طبق نتایج سال دوم آزمایش صحت‌سنجی نمودند. نتایج نشان داد مدل مذکور قادر است عملکرد چغندر قند تحت شرایط مدیریت‌های مختلف آبیاری را با موفقیت شبیه‌سازی کند.

در این پژوهش از مدل واسنجی شده Aqua Crop توسط ذوالفقاران و نورجو (2015) برای تعیین اجزاء بیلان آب و داده‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی چارچوب حسابداری آب در مزرعه چغندر قند در منطقه میان‌دوآب (از قطب‌های مهم کشاورزی در حوضه جنوبی دریاچه ارومیه) استفاده به عمل آمد.

چارچوب حسابداری آب

هنر حسابداری آب، طبقه‌بندی اجزاء بیلان آب بر اساس مصارف بخش‌های مختلف است، بطوری‌که بتوان تاثیر عامل انسانی در فرایند بیلان و مصرف آب را تشخیص داد. در واقع حسابداری آب تصویر روشنی از بیلان آب، مصارف و بهره‌وری بخش‌های مختلف مصرف ارائه می‌دهد و نقش مداخلات انسانی در چرخه آب را تعیین می‌نماید. در چارچوب حسابداری آب مفاهیم اصلی زیر قابل تعریف است (Molden 1997):

جریان ورودی ناخالص (Gross inflow): کل مقادیر آب ورودی به مزرعه از طریق بارندگی، آبیاری و جریان نشتی آب‌های سطحی و زیرزمینی

جریان ورودی خالص (Net inflow): مجموع جریان‌ات ورودی ناخالص و تغییرات رطوبتی در محدوده مورد مطالعه است. اگر در بازه زمانی مورد نظر از رطوبت محدوده منتخب کاسته شود، جریان ورودی خالص کمتر از جریان ورودی ناخالص می‌گردد و

و وابستگی صنایع مرتبط با آن، تغییر الگوی کشت با مقاومت چغندرکاران و مشاغل وابسته مواجه شده و از طرفی کاهش سهمیه آب این مزارع، تبعات اقتصادی و سیاسی فراوانی به همراه خواهد داشت. لذا لازم است علاوه بر کنترل سطح کشت چغندر قند مطابق با ظرفیت صنایع وابسته داخل استانی، با تحقیقات لازم نسبت به افزایش بهره‌وری مصرف آب در مزارع چغندر قند با هدف کاهش مصرف آب و در راستای مصوبه کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب کشاورزی اقدام نمود. در این پژوهش بهبود بهره‌وری مصرف آب در زراعت چغندر قند با هدف کاهش مصرف آب و حفظ تولید کنونی با رعایت آب تخصیص یافته و بر اساس گزارشات حسابداری مورد بررسی قرار گرفت. بدیهی است در ارزیابی جامع‌تر لازم است به موضوع تأثیرات اقدامات انجام یافته به منظور بهبود بهره‌وری مصرف آب در مقیاس مزرعه‌ای، در سطح حوضه نیز مورد بررسی قرار گیرد که به این موضوع در مقالات بعدی پرداخته خواهد شد.

مواد و روش‌ها

مقیاس مطالعاتی

در این پژوهش، چارچوب حسابداری در مقیاس مزرعه‌ای پیاده‌سازی شد. برای داده‌های مورد نیاز سیستم حسابداری آب از نتایج تحقیقات نورجو و همکاران (Nourjou et al. 2002) و همچنین ذوالفقاران و نورجو (Zolfagharaan and Nourjou 2015) استفاده گردید. نورجو و همکاران (2002) در پژوهشی تأثیر کم‌آبیاری در دوره‌های مختلف آبیاری روی چغندر قند در منطقه میان‌دوآب را مورد بررسی قرار دادند. در ادامه تحقیقات، ذوالفقاران و نورجو (2015) مدل Aqua Crop را بر اساس نتایج

برعکس. در صورت عدم تغییرات در ذخیره رطوبتی، مقدار جریان ناخالص و خالص ورودی یکسان خواهد شد.

تخلیه آب (Water depletion): هرگونه برداشت و یا مصرف آب را شامل می‌شود که از دسترس خارج شده و برای مصارف بعدی قابل استفاده نباشد. تخلیه آب واژه کلیدی در حسابداری آب محسوب می‌گردد و تعیین بهره‌وری و سودبخشی واحد مصرف آب در محدوده مطالعاتی را میسر می‌سازد. تشخیص میزان آب اختصاص یافته برای مصارف مختلف از این جهت مهم است که آب تخصیص یافته دیگر قابل دستیابی نیست. معمولاً فرایند تخلیه از چهار طریق تبخیر، جریان به مخازن سطحی و زیرزمینی، آلودگی (طوری که استفاده مجدد آن ممکن نباشد) و مصرف آب برای تولید محصول یا فرآورده مورد انتظار صورت می‌گیرد (Seckler 1996; Keller and Keller 1995).

تخلیه فرایندی (Process depletion): عبارت است از آب مصرف شده برای تولید کالای مورد انتظار، نظیر آب مصرف شده در فرایند تعرق توسط گیاه مورد نظر برای تولید محصول کشاورزی.

تخلیه غیرفرایندی (Non-process depletion): این تخلیه زمانی روی می‌دهد که آب تخلیه شده جزء فرایند تولیدی کالای مورد انتظار نیست. تبخیر آب از سطح خاک و گیاه، تخلیه غیرفرایندی محسوب می‌شود. همچنین خروجی آب کشاورزی به سمت دریا و یا نفوذ عمقی آب و پیوستن آن به سفره آب‌های زیرزمینی شور، طوری که استفاده مجدد آن غیرممکن و یا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد، تخلیه غیرفرایندی به شمار

می‌آید. همچنین تخلیه غیرفرایندی را می‌توان به دو صورت مفید و غیرمفید نیز طبقه‌بندی نمود.

آب‌های خروجی: جریان روان‌آب و یا نفوذ عمقی آب زمانی که میزان آبیاری یا بارش بیش از ظرفیت زراعی مزرعه باشد، روی می‌دهد. اختلاف دیدگاه حسابداری آب در مقیاس مزرعه‌ای و حوضه‌ای از این بخش منشا می‌گیرد. چرا که در مقیاس مزرعه‌ای آب خروجی جزء آب‌های تخلیه غیرفرایندی محسوب می‌شود این در حالی است که در مقیاس بزرگتر (حوضه‌ای و شبکه‌ای) این آب‌ها می‌توانند مجدداً مورد استفاده قرار گرفته و جزو آب‌های تخلیه فرایندی مفید محسوب شوند (Bluemling *et al.* 2007).

آب تخصیص یافته یا تعهد داده شده (Committed water): بخشی از آب خارج شده از محدوده مورد مطالعه که برای مصرف سایر استفاده‌کنندگان تعهد داده شده است. مانند نیازهای زیست محیطی پایین یا حبابه شرب و کشاورزی مناطق پایین دست.

جریان خروجی تعهد داده نشده (Uncommitted outflow): میزان آب خروجی از محدوده مورد مطالعه که مورد مصرف واقع نشده و جزء آب‌های تعهد داده شده نیز نمی‌باشد. این آب‌ها می‌توانند توسط سایر مصرف‌کنندگان مورد استفاده قرار گرفته و یا در مخازن آب سطحی یا زیرزمینی ذخیره شوند.

آب قابل دسترس (Available water): مقدار آب قابل استفاده در محدوده مورد نظر بوده و برابر است با کسر آب تعهد داده شده از جریان ورودی خالص.

در این پژوهش سیستم حسابداری IWMI (Molden 1997) و همچنین اصلاحات انجام شده توسط بلوملینگ و همکاران (Bluemling *et al.* 2007) مورد بازبینی

آب (WUE) گستره بیشتری در مفهوم و کاربرد دارد. که تولید یا عملکرد را به تخلیه فرآیندی آب (تبخیر-تعرق یا تعرق) ارتباط می‌دهد (Viets 1962). اولین گام در ارزیابی بهره‌وری مصرف آب، تفکیک مقیاس مورد مطالعه است چرا که در هر مقیاس اهداف مورد نظر تغییر پیدا می‌کنند. در مقیاس محصول و مزرعه، بیشترین توجه به افزایش تولید جرمی، افزایش درآمد حاصله و حفظ امنیت غذایی خانواده متمایل است. در مناطقی که کمبود آب وجود دارد، سعی می‌شود با استفاده از روش‌های مختلف مانند کم آبیاری، آبیاری تکمیلی، روش‌های آبیاری تحت فشار و یا اقدامات حفاظت آب میزان عملکرد به ازای واحد مصرف آب افزایش یابد. در راستای عملی‌سازی این مفاهیم بلوملینگ (Bluemling *et al.* 2007) چارچوب حسابداری مولدن (1997) را برای یک مزرعه اصلاح نمود. برخلاف باور عموم که دلیل پیش نیاز بودن تعیین مقیاس را در مشخص کردن منبع آب (کدام قطره) می‌دانند، در این چارچوب علت اصلی برای تعیین مقیاس، تعیین هدف و خروجی مورد نظر از مصرف منابع آب است. این موضوع از نکات قوت این چارچوب است، زیرا از امکان تغییر در اهداف، می‌توان نتیجه گرفت که مفهوم بهره‌وری آب دارای انعطاف است و می‌تواند جنبه‌های مختلف را برجسته نماید. به بیان دیگر بهره‌وری آب تنها یک تعریف نبوده، بلکه مفهومی است که به دنبال ارزیابی مصرف آب می‌باشد. حال این مصرف می‌تواند برای اهداف گوناگون انجام شده باشد. مهم این است که بتوان در شرایط مختلف، ابتدا هدف نهایی از مصرف آب را مشخص کرد و پس از آن به دنبال ارزیابی کمی و کیفی جریان آب در راستای رسیدن به هدف پرداخت.

قرار گرفته و چارچوبی مطابق با شرایط مزرعه برای بررسی پیامدهای تغییر در الگوی مصرف آب در سطح مزرعه در شکل (۱) پیشنهاد گردید.

در سیستم حسابداری آب، برای تبیین هر چه بهتر نحوه مصرف آب و مسیر حرکت آب در سیستم، نشانگرهایی بر اساس جریانات ورودی، مصارف و خروجی آب تعریف شده است. بر اساس چارچوب حسابداری آب در مزرعه می‌توان نشانگرهای ذیل را استخراج نمود (Bluemling *et al.* 2007):

$$DF_{net} = \frac{\text{میزان تخلیه}}{\text{جریان ورودی خالص}} \quad (۱) \text{ سهم تخلیه از جریان ورودی خالص}$$

$$(۲) \text{ سهم تخلیه از جریان ورودی ناخالص}$$

$$DF_{grass} = \frac{\text{میزان تخلیه}}{\text{جریان ورودی ناخالص}}$$

$$PF_{depleted} = \frac{\text{تخلیه فرآیندی}}{\text{کل تخلیه}} \quad (۳) \text{ سهم تخلیه فرآیندی از کل تخلیه}$$

$$(۴) \text{ سهم رواناب از جریان ورودی}$$

$$\text{Runoff Fraction} = \frac{\text{رواناب}}{\text{جریان ورودی ناخالص}}$$

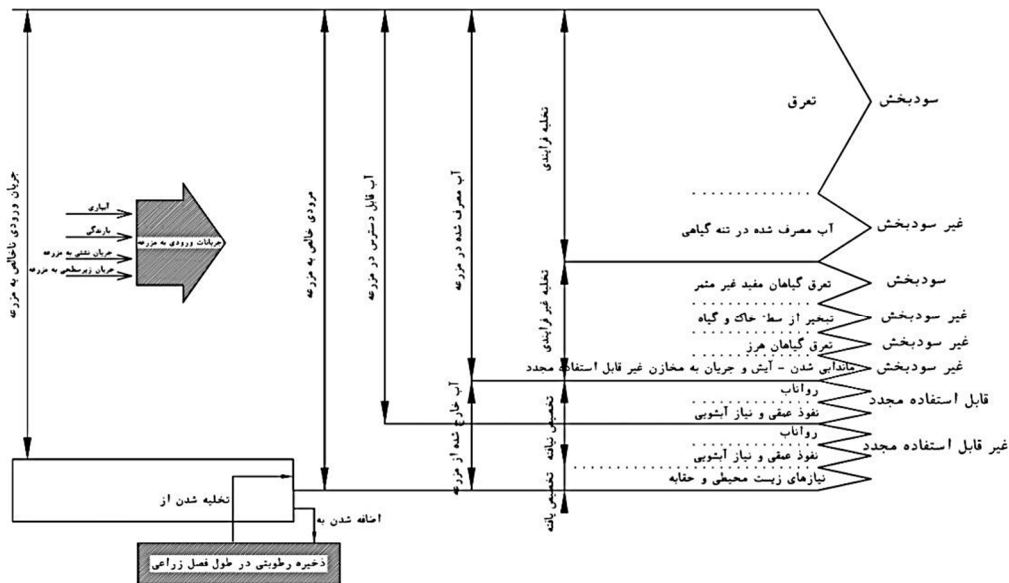
$$\text{ET Fraction} = \frac{\text{تعرق و تبخیر}}{\text{جریان ورودی}} \quad (۵) \text{ سهم تبخیر و تعرق از جریان ورودی}$$

$$(۶) \text{ سهم خروجی فرآیندی از مزرعه}$$

$$\text{Process Outflow} = \frac{\text{نقوذ عمقی}}{\text{جریان ورودی}}$$

شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب

شاخص‌های عملکرد در سیستم حسابداری آب با تکیه بر کسر تخلیه و مفاهیم کارایی اثر بخش (Effective efficiency) توسط ویلاردسن و همکاران (Willardson *et al.* 1994) و کلر و کلر (Keller and Keller 1995) ارائه شده است. بهره‌وری مصرف آب (Water Productivity) در مقایسه با کارایی مصرف



شکل ۱ چارچوب پیشنهادی برای حسابداری آب در مزرعه

می‌رود و در صورت بیشتر بودن ارزش آب نسبت به ارزش عواید حاصل از آن، دیگر محصول بیشتر به ازای قطره کمتر متضمن مطلوبیت نخواهد بود. در این راستا شعار محصول بیشتر به ازای هر قطره توسط بلوم (Blum 2009) مورد انتقاد قرار گرفت.

روابط کاربردی بهره‌وری مصرف آب در مزرعه در سیستم

حسابداری آب به قرار زیر است:

(۷) بهره‌وری آب جریان ورودی خالص

$$PW_{inflow} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{جریان ورودی خالص}}$$

(۸) بهره‌وری آب جریان تخلیه شده

$$PW_{depleted} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{آب تخلیه شده}}$$

(۹) بهره‌وری آب جریان فرایندی

$$PW_{process} = \frac{\text{عملکرد}}{\text{تخلیه فرایندی}}$$

(۱۰) کارایی مصرف آب کلاس

اما نکته دیگری نیز از این چارچوب قابل برداشت است و

آن لحاظ نمودن اثر وضعیت منابع آب در بهره‌وری آب می‌باشد.

در بهره‌وری آب دو بعد محصول و قطره مورد توجه است.

محصول در مفهوم عام، هر گونه سودی است که از مصرف آب

حاصل می‌شود و قطره نیز آبی است که برای تولید محصول

خرج می‌شود. اینکه به توان به ازای قطره کمتر یا ثابتی به

محصول ثابت یا بیشتری رسید مسلماً مطلوب است، اما باید دید

که تا کجا این فرایند می‌تواند قابل قبول و البته مفید برای یک

سیستم باشد. در سیستمی که دچار کاهش شدید در منابع آب

خود است، تا کجا می‌توان محصول بیشتر به ازای هر قطره را از

لحاظ منطقی تأیید کرد. برای این کار لازم است تا علاوه بر

تعیین ارزش محصول، ارزش خود آب نیز مشخص شود. واضح

است که در صورت محدودیت منابع آب، ارزش آب بسیار بالا

افشانی) که هر کدام تابع کمبود رطوبتی خاک در ناحیه ریشه می‌باشند، تأثیرگذار است (Steduto et al. 2009).

با توجه به اینکه یکی از داده‌های ورودی مدل Aqua Crop تبخیر تعرق مرجع می‌باشد، در این پژوهش با استفاده از اطلاعات لایسیمیتری در سال‌های گذشته، مدل زیر برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آمار تشتک تبخیر مورد استفاده قرار گرفت (Nourjou et al. 2007).

$$ET_0 = 1.1184 * Ep^{0.8578} \quad (12)$$

که در آن Ep تبخیر از تشتک و ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد.

نتایج و بحث

اطلاعات پایه مورد نیاز برای بررسی حسابداری آب در مزرعه بر اساس مدیریت‌های مختلف آبیاری در مزرعه، در جدول ۱ آورده شده است.

بخش مهم در سیستم حسابداری آب، تخلیه یا مصرف آب در قلمرو مورد نظر است. آبی که در این بخش مصرف می‌شود از دسترس خارج شده و قابل دستیابی نخواهد بود لذا ارائه جزییات هر چه بیشتر از نحوه مصرف منجر به تعیین نقاط قوت و ضعف سیستم مدیریت بهره‌برداری از آب شده و بخش‌هایی که موجب تلفات غیرمفید آب می‌گردد آشکار شود. بدیهی است اندازه‌گیری‌های دقیق مزرعه‌ای جهت تعیین جزییات بیشتر بخش مصرف در مزرعه در دستیابی به اهداف سیستم حسابداری ضرورت دارد. از آنجایی که اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مستلزم صرف وقت و هزینه می‌باشد لذا استفاده از مدل‌ها برای دستیابی به اطلاعات مورد نیاز مورد تأکید محققین و کارشناسان قرار گرفته

$$WUE_{class} = \frac{\text{تخلیه فرایندی}}{\text{جریان ورودی خالص}}$$

در این پژوهش از مدل واسنجی شده Aqua Crop برای گیاه چغندرقد در شرایط آب و هوایی جنوب دریاچه ارومیه برای تعیین اجزاء بیلان آب در مزرعه و همچنین پیش‌بینی عملکرد چغندرقد تحت سناریوهای مختلف مدیریتی آب و تأثیر آن در اجزای بیلان آب در مزرعه استفاده به عمل آمد. در این مدل بیلان روزانه آب بر اساس کلیه جریانات ورودی و خروجی آب (نفوذ، رواناب، نفوذ عمقی، تبخیر و تعرق) و تغییرات رطوبت در خاک محاسبه گردید. در این راستا مدل عمق توسعه ریشه را به لایه‌هایی با ضخامت یکسان تقسیم نموده و بیلان آب بر اساس جریانات ورودی و خرجی از مرزهای تعیین شده و معادلات حاکم بر جریان آب در خاک در لایه‌های مذکور محاسبه می‌نماید. در بازه زمانی دوره رشد، معادله بیلان آب در ناحیه توسعه ریشه از رابطه زیر استفاده می‌گردد.

$$I + P + CR = ET + DP + Ro \pm \Delta W \quad (11)$$

که در آن I عمق آب آبیاری، P عمق بارش، CR صعود شعریه، ET تبخیر-تعرق واقعی، DP نفوذ عمقی، Ro عمق رواناب خروجی و ΔW تغییرات رطوبتی در عمق توسعه ریشه در بازه زمانی داده شده می‌باشد. مدل به منظور افزایش دقت محاسبات، منطقه توسعه ریشه و بازه زمانی دوره رشد را به اجزاء ریزتر تقسیم می‌کند بدین طریق یک شبکه خطوط جریان با فواصل زمانی و مکانی ایجاد می‌گردد. اثر کم آبیاری روی محصول از طریق چهار ضریب واکنشی گیاه به استرس آبی (رشد گیاه، هدایت روزنه‌ای، کاهش سطح پوشش گیاهی و کاهش گرده

افزایش تعداد عملیات آبیاری و کاهش عمق آب آبیاری در هر نوبت از آبیاری شده و بدین ترتیب تبخیر از سطح خاک مرطوب و آب‌های نزدیک به لایه سطحی خاک افزایش می‌یابد. با توجه به شرایط مزرعه منتخب و کنترل علف‌های هرز، سهم گیاهان هرز در مصرف آب قابل اغماض بوده و صفر در نظر گرفته شد. همچنین شرایطی که منجر به ماندابی شدن آب و یا پیوستن بخشی از آب‌های ورودی مزرعه به مخازن آب غیراستفاده مجدد، مشاهده نگردید و مقادیر مذکور در جدول حسابداری آب صفر منظور شد.

از جریانات خروجی، مقدار روان‌آب با توجه به بسته بودن انتهای شیاریها صرف‌نظر گردید ولی نفوذ عمقی با استفاده از خروجی مدل Aqua Crop برآورد شده و در جدول حسابداری آب در مزرعه آورده شد. افزایش دور آبیاری موجب افزایش مقدار نفوذ عمقی در مزرعه گردید. در شرایط بدون تنش آبی افزایش دور آبیاری از هفت به ۱۰ و ۱۴ روز به ترتیب موجب افزایش ۱۴ و ۵۶ درصدی نفوذ عمقی به عنوان جریان خروجی از مزرعه گردید. در صورتی که جریانات خروجی از مزرعه به منابع آب شور و یا آلوده غیرقابل مصرف نیبوند، می‌تواند مورد استفاده مجدد قرار گرفته و جزء تلفات آب محسوب نمی‌گردد. نتایج ابراهیمی پاک و غالبی (Ebrahimipak and Ghalebi 2014) در کشت چغندر قند در لایسیمتر در منطقه شهرکرد نشان داد که از مجموع ۱۰۰۶/۵ میلی‌متر آب آبیاری و ۱۸/۲ بارندگی، ۱۰۱۳/۸ میلی‌متر صرف تبخیر و تعرق، ۷۵/۱ میلی‌متر نفوذ عمقی (خروجی از زهکش) و ۶۴/۲ میلی‌متر تغییرات رطوبتی در خاک گردید که با نتایج کلی این تحقیق مطابقت دارد

است (Whisler *et al.* 1986). در این تحقیق با استفاده از مدل Aqua Crop تبخیر و تعرق گیاه در شرایط مختلف مدیریتی به دو جزء تعرق و تبخیر تفکیک گردید. تعرق جزو تخلیه فرایندی محسوب شده و از آنجایی‌که در راستای تولید کالای مورد انتظار است، مفید محسوب می‌شود. اما بخش تبخیر، تخلیه غیرفرایندی بوده و تلفات غیرمفید محسوب می‌گردد و کاهش آن از اهداف مدیریتی در مزرعه به منظور صرفه‌جویی در آب می‌باشد. کم آبیاری و افزایش دور آبیاری موجب کاهش تخلیه فرایندی (تعرق) در مزرعه گردید به طوری که در آبیاری کامل با دور هفت روز مقدار آن ۸۴۵۰ مترمکعب در هکتار و در دور ۱۴ روز و اعمال ۵۰ درصد کم آبیاری، تعرق به ۳۸۸۰ مترمکعب در هکتار کاهش یافت. تأمین آب مورد نیاز گیاه موجب افزایش فرایند تعرق و در نهایت افزایش عملکرد می‌گردد. در شرایط فوق با کاهش ۵۴ درصدی در تعرق مقدار عملکرد ۴۴ درصد کاهش نشان داد. تحقیقات جوزی و زارع ایبانه (Jovzi and Zare Abyaneh 2015) نیز نشان داد با کاهش مقدار آب آبیاری، عملکرد ریشه چغندر قند به دلیل کاهش سطح برگ، مواد فتوسنتزی و به دنبال آن کاهش مواد ذخیره‌ای در ریشه کاهش می‌یابد. همچنین شهبازی و همکاران (Shahbazi *et al.* 2014) نیز نشان دادند با افزایش حجم آب آبیاری عملکرد ریشه و قند روند افزایشی به خود می‌گیرد. با افزایش دور آبیاری از میزان تبخیر آب در مزرعه کاسته شد طوری که در آبیاری کامل با افزایش دور آبیاری از هفت به ۱۰ و ۱۴ روز مقدار تبخیر از مزرعه به ترتیب ۳۴ و ۴۷ درصد کاهش یافت. این جزء از تخلیه غیرفرایندی بخشی از آب مصرفی تلف شده و غیرمفید را شامل می‌شود که کاهش آن از اهداف مدیریت آب در مزرعه است. کاهش دور آبیاری موجب

جدول ۱ نتایج اجزاء بیلان آب و اطلاعات مورد نیاز حسابداری آب در مزرعه

مدیریت آبیاری در شرایط مزرعه تحقیقاتی											
دور آبیاری			۷ روز			۱۰ روز			۱۴ روز		
میزان کم آبیاری			%۵۰	%۲۵	%۰	%۵۰	%۲۵	%۰	%۵۰	%۲۵	%۰
جریانات ورودی به مزرعه											
آبیاری			۹۶۰	۷۵۶	۵۵۰	۸۸۵	۶۹۷	۵۱۳	۸۳۰	۶۵۴	۴۸۵
بارندگی			۸۲	۸۲	۸۲	۸۲	۸۲	۸۲	۸۲	۸۲	۸۲
جریان زیرسطحی			.	.	.	.	.	.	.	.	.
جریانات نشئی افقی			.	.	.	.	.	.	.	.	.
ورودی ناخالص			۱۰۴۲	۸۳۸	۶۳۲	۹۶۷	۷۷۶	۵۹۵	۹۱۲	۷۳۶	۵۶۷
تغییرات ذخیره رطوبتی			۱۹	۱۵	۱۲	۱۷	۱۵	۱۱	۱۵	۱۳	۸
جریان ورودی خالص			۱۰۶۱	۸۵۳	۶۴۴	۹۸۴	۷۹۴	۶۰۶	۹۲۷	۷۴۹	۵۷۵
تخلیه فرایندی											
تعرق واقعی گیاه			۸۴۵	۶۴۳	۴۳۷	۸۰۳	۶۲۴	۴۱۳	۷۳۰	۵۷۰	۳۸۸
تخلیه غیر فرایندی			۱۳۶	۱۴۲	۱۵۴	۹۰	۹۳	۱۱۹	۷۲	۹۰	۱۱۱
تبخیر واقعی			.	.	.	.	.	.	.	.	.
تبخیر و تعرق گیاهان هرز			.	.	.	.	.	.	.	.	.
جریان به مخازن غیر قابل استفاده مجدد			.	.	.	.	.	.	.	.	.
جمع تخلیه			۹۸۱	۷۸۵	۵۹۱	۸۹۳	۷۱۷	۵۳۲	۸۰۲	۶۶۰	۴۹۹
جریانات خروجی											
رواناب خروجی			.	.	.	.	.	.	.	.	.
نفوذ عمقی			۸۰	۶۸	۵۳	۹۱	۷۷	۷۴	۱۲۵	۸۹	۷۶
جمع جریانات خروجی			۸۰	۶۸	۵۳	۹۱	۷۷	۷۴	۱۲۵	۸۹	۷۶

(واحدها بر حسب میلی متر می باشند)

شرکت نمی کند. کم آبیاری تأثیری در این نشانگر نگذاشت. نشانگر سهم تخلیه خالص آب نیز ارقامی نسبتاً مشابه با نشانگر سهم تخلیه ناخالص داشت که دلیل آن سهم ناچیز تغییرات ذخیره رطوبتی در ابتدا و انتهای دوره رشد می باشد. ال بابلی و همکاران (El-Bably et al. 2015) نیز در حسابداری آب در مزرعه، نشانگر سهم تخلیه ناخالص و خالص آب را به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۸۱ برای چغندر قند به دست آوردند. نشانگر سهم تخلیه فرایندی از کل تخلیه آب در مزرعه به نوعی بیانگر سهم تعرق

نشانگرهای مورد استفاده در چارچوب حسابداری آب و شاخص های بهره وری مصرف آب در مزرعه مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است.

بررسی نشانگر سهم تخلیه ناخالص آب نشان داد که با افزایش دور آبیاری، سهم تخلیه آب از کل آب ورودی به مزرعه کاهش پیدا می کند. طوری که در دور آبیاری هفت روز این مقدار به یک نزدیک بوده و تقریباً تمام آب ورودی به مزرعه به مصرف (تخلیه) می رسد و در دور ۱۴ روز مقدار آن به ۰/۸۸ کاهش یافته و به عبارتی ۱۲ درصد آب ورودی به مزرعه در فرایند تخلیه

صورت گرفت طوری که در ۲۵ درصد کم آبیاری مقدار کاهش آن به طور متوسط در حدود ۴ درصد و در اعمال ۲۵ درصد تنش آبی دیگر کاهش آن ۸ درصد شد. تحقیقات باستینسن و همکاران (Bastiaanssen *et al.* 1997) نیز نشان داد که با کم آبیاری از مقدار این نشانگر کاسته می‌شود. بر خلاف کم آبیاری، افزایش دور آبیاری موجب افزایش این نشانگر شده و سهم تخلیه فرایندی که افزایش آن جزء اهداف مدیریت آب در مزرعه در چارچوب حسابداری آب محسوب می‌گردد، را بهبود می‌بخشد.

گیاه از کل تبخیر-تعرق می‌باشد، تحت تأثیر مدیریت دور آبیاری و همچنین کم آبیاری قرار گرفت. با افزایش کم آبیاری سهم تعرق از تخلیه کل کاهش یافت به عبارتی تنش آبی موجب کاهش جذب آب توسط گیاه شده و مشارکت آن در تخلیه فرایندی (تعرق) کاهش می‌یابد، سهم تلفات آب در مزرعه که از مزرعه خارج شده و قابل استفاده مجدد نیست، افزایش یافت. همچنین رابطه کم آبیاری با نشانگر تخلیه فرایندی خطی نبوده و با افزایش شدت تنش آبی، کاهش نشانگر مذکور با شدت بیشتری

جدول ۲ نشانگرها و شاخص‌های بهره‌وری آب

مدیریت آبیاری در شرایط مزرعه تحقیقاتی									نشانگر/شاخص
روز ۱۴			روز ۱۰			روز ۷			دور آبیاری
%۵۰	%۲۵	%۰	%۵۰	%۲۵	%۰	%۵۰	%۲۵	%۰	میزان کم آبیاری
۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	DF _{grass}
۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	DF _{net}
۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۹۱	۰/۷۸	۰/۸۷	۰/۹۰	۰/۷۴	۰/۸۲	۰/۸۶	PF _{depleted}
۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	Process Outflow
۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	Run off Fraction
۴۳/۵۰	۵۶/۰۰	۶۲/۰۰	۵۲/۹۰	۵۸/۸۰	۷۱/۸۰	۵۴/۸۰	۶۷/۷۰	۷۸/۱۰	Y (t/ha)
۷/۵۷	۷/۴۸	۶/۶۹	۸/۷۳	۷/۴۱	۷/۳۰	۸/۵۱	۷/۹۴	۷/۳۶	PW _{inflow}
۸/۷	۸/۵	۷/۷	۹/۹	۸/۲	۸/۰	۹/۳	۸/۶	۸/۰	PW _{depleted}
۱۱/۲۱	۹/۸۲	۸/۴۹	۱۲/۸۱	۹/۴۲	۸/۹۴	۱۲/۵۴	۱۰/۵۳	۹/۲۴	PW _{process}
۰/۶۷	۰/۷۶	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۸۰	WUE _{class}

نیافته محسوب نمود که از نظر محیط زیستی دارای ارزش بوده و توسط سایر مصرف کنندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد لذا خروجی فرایندی طبقه‌بندی می‌شود. ماهیت عمده این تلفات به روش آبیاری بستگی دارد. در این پژوهش که به روش آبیاری سطحی آبیاری شده است با توجه به کوچک بودن کرت‌های آزمایشی، کوتاه بودن طول شیارها و کنترل آبیاری تلفات نفوذ عمقی کم بوده و در شرایط زارعین پیش بینی می‌شود مقدار آن

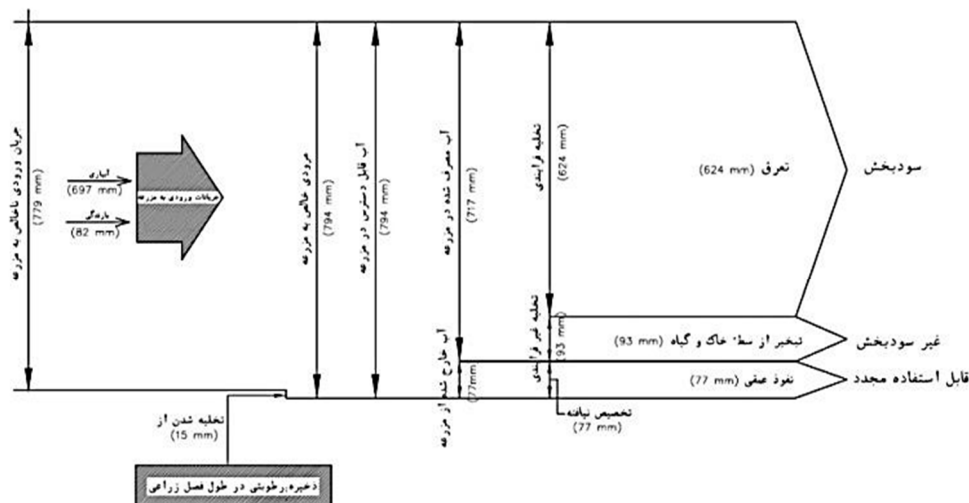
کم آبیاری تأثیری در نشانگر سهم خروجی فرایندی نداشت ولی افزایش دور آبیاری منجر به افزایش آن شد. این نشانگر بیانگر خروج آب از منطقه ریشه و نفوذ عمقی آب بوده و در حسابداری آب جزء تلفات فرایندی می‌باشد. از آنجایی که این آبها در محدوده مطالعه (مزرعه) مورد استفاده گیاه در تولید محصول قرار نمی‌گیرد لذا تلفات محسوب می‌شود از طرفی با پیوستن به آب‌های زیرزمینی می‌توان جزء آب‌های تخصیص

بهبود این شاخص شده و دور آبیاری ۱۴ روز نامناسب تشخیص داده شد و در دور هفت و ۱۰ روز تغییرات زیاد در این شاخص مشاهده نشد. شاخص بهره‌وری آب جریان فرایندی که توانایی گیاه در استفاده از آب تخلیه فرایندی (تعرق) در تولید عملکرد می‌باشد نشان داد که کم آبیاری موجب تقویت توانایی گیاه را فراهم نموده و با افزایش کم آبیاری در تمامی دوره‌های آبیاری این شاخص بهبود یافت. این در حالی است که افزایش دور آبیاری به طور کلی موجب کاهش این شاخص گردید کارایی مصرف آب کلاس که نشان دهنده سهم تعرق از جریان ورودی خالص است، با افزایش کم آبیاری کاهش یافت.

نمودار مفهومی حسابداری آب برای مدیریت آبیاری ۱۰ روزه و اعمال ۲۵ درصد کم آبیاری در شکل ۲ ارائه گردیده است. مطابق شکل، ۸۲ درصد از آب مصرف شده در مزرعه توسط آبیاری، ۱۰ درصد از طریق بارندگی و ۲ درصد از ذخیره رطوبتی تأمین شده است. از ۷۷۹۰ مترمکعب آب ورودی ناخالص ۷۸ درصد توسط تعرق گیاه چغندرقد صرف تخلیه فرایندی، ۱۲ درصد تبخیر از خاک (تخلیه غیرفرایندی) و ۱۰ درصد شامل جریانات خروجی شد. جریان خروجی در مزرعه به علت نفوذ عمقی جزء آب‌های قابل استفاده مجدد محسوب می‌گردد. که با فرض پیوست به لایه آب‌های زیرزمینی می‌تواند مجدداً قابلیت بهره‌برداری داشته و در بهبود بهره‌وری شبکه و حوضه مفید خواهد بود. مقدار ۹۳۰ مترمکعب در هکتار نیز در شرایط مزرعه مورد مطالعه توسط تبخیر و به صورت غیر سودبخش از دسترس خارج می‌شود که می‌توان با اعمال مدیریت‌های مختلف نظیر استفاده از خاکپوش‌ها از تلفات آن جلوگیری به عمل آورد.

قابل ملاحظه باشد. علیرغم اینکه این آب‌ها در مقیاس مزرعه‌ای تلفات محسوب می‌شوند ولی در مقیاس شبکه‌ای و حوضه‌ای تلفات محسوب نمی‌شود و ممکن است منجر به افزایش بهره‌وری آب گردد، لذا لازم است در مقایسه بهره‌وری مصرف آب روش‌های مختلف آبیاری به این مورد توجه شده و تأثیر روش‌های مختلف آبیاری در مقیاس مطالعاتی بزرگتری مورد بررسی قرار گیرد. تلفات نفوذ بر تلفات تبخیر ارجحیت داشته و بر این اساس نمی‌توان با قطعیت روش‌های آبیاری بارانی را که دارای تلفات بیشتر تبخیر هستند روش کارا برای بهبود بهره‌وری آب در سطح شبکه و حوضه مورد توصیه قرار داد.

با توجه به انتهای بسته شیارها، سهم رواناب در این پژوهش صفر بود. در مزارعی که دارای رواناب خروجی هستند، این بخش از مصرف جزء خروجی غیرفرایندی محسوب می‌شود. مدیریت‌های مختلف دور آبیاری و میزان کم آبیاری عملکرد گیاه چغندرقد را تحت تأثیر قرار داد طوری که با افزایش دور آبیاری و اعمال مقادیر بیشتر کم آبیاری از عملکرد گیاه کاسته شد. از آنجایی که هدف اصلی در مناطق درگیر با مسائل کمبود منابع آب، حصول بهره‌وری بیشتر از قطره آب است لذا لازم است شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در ارتباط با عملکرد گیاه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. در این راستا شاخص بهره‌وری آب جریان ورودی خالص نشان داد کم آبیاری بهبود این شاخص را فراهم می‌نماید. همچنین با افزایش دور آبیاری از مقدار این شاخص کاسته شد. هر چند تغییرات در دور آبیاری هفت و ۱۰ روزه کمتر بوده و بیشترین کاهش در دور آبیاری ۱۴ روز اتفاق افتاد. در خصوص شاخص بهره‌وری آب تخلیه شده نیز کم آبیاری موجب



شکل ۲ مدل مفهومی حسابداری آب در مزرعه چغندر قند با دور آبیاری ۱۰ روز و اعمال ۲۵٪ کم آبیاری

نتیجه گیری

تعرق بیشترین سهم از تخلیه را به خود اختصاص می‌دهد و عملیات کم آبیاری و افزایش دور آبیاری موجب کاهش تخلیه فرایندی را فراهم نموده است، ولی بایستی توجه نمود سهم تبخیر با اقدامات فوق نسبت به تعرق افزایش یافت که جزو تلفات غیرفرایندی و غیرمفید است لذا پیشنهاد می‌گردد در کنار مدیریت کم آبیاری و افزایش دور آبیاری عملیات دیگری نظیر استفاده از خاکپوش و تجهیز مزرعه به سیستم‌های آبیاری موضعی به منظور کنترل و کاهش تلفات تبخیر در نظر گرفته شود.

بخشی از آب ورودی به مزرعه به واسطه نفوذ عمقی، از مزرعه خارج می‌گردد که کم آبیاری در کاهش آن نقش مثبت داشته و افزایش دور آبیاری منجر به افزایش آن گردید. در برخی مواقع، قضاوت در خصوص بررسی و تعیین سرنوشت آب‌های خروجی در سیستم حسابداری آب در مقیاس مزرعه‌ای، مشکل یا غیرممکن می‌گردد در این شرایط لازم است حسابداری آب در سطح شبکه و حوضه نیز مورد توجه قرار گیرد.

معمولاً در مقیاس مزرعه‌ای به دنبال افزایش بهره‌وری واحد آب مصرفی می‌باشیم. برای پاسخ به این سوال که کدام آب موجب بهبود بهره‌وری مصرف آب می‌شود و اینکه کدام جزء از آب مصرفی قابل ذخیره است، طبقه‌بندی مصارف آب در مزرعه مهم و ضروری است. سیستم حسابداری آب در مزرعه تلاش می‌کند تأثیر کلیه عوامل نظیر روش‌های آبیاری، گیاهان مختلف و عملیات زراعی را در چگونگی مصرف آب و تخلیه آب در مزرعه را مشخص کند. اجزاء بیلان آب در مقیاس مزرعه‌ای تابعی از گیاه و مدیریت زراعی بوده و گیاهان مختلف و همچنین گونه‌های متفاوت هر گیاه، نیاز آبی متفاوتی دارند.

روش‌های آبیاری نیز تأثیر زیادی در تلفات تبخیر، نفوذ عمقی و رواناب خروجی از مزرعه دارند. سایر اقدامات و عملیات زراعی نظیر استفاده از خاکپوش‌ها، آماده‌سازی مزرعه، آرایش کاشت، ذخیره آب در مزرعه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بر اساس نتایج پیاده‌سازی مزرعه‌ای در سیستم حسابداری مشخص شد

References:**منابع مورد استفاده:**

- Akbari M. Soil water balance and crop yield of winter wheat using Aqua Crop Simulation Model. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2012; 12(4):19-34. (in Persian, abstract in English)
- Agha Kouchak A, Norouzi H, Madani K, Mirchi A, Azarderakhsh M, Nazemi A. Aral sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action. *Journal of Great Lakes Research*. 2015; 41: 307–311.
- Anon. Urmia Lake restoration program. Brief report and projects outline. Urmia Lake restoration program and Sharif University of technology. 2015, 37 p. (in Persian)
- Anon. Annual Agricultural Statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. Available at: <http://www.maj.ir>. 2013. (in Persian)
- Anon. The ETo calculator evapotranspiration from a reference surface. Reference Manual. 2009;Version 3.1. FAO. Rome. Italy.
- Bastiaanssen WGM, Schakel JK, Singh R, Kumar S, Jhorar RK. Analysis and recommendations for integrated on-farm water management in Haryana, India: A model approach. 1997. Report 118. Wageningen, The Netherlands: Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)-Winand Staring Centre.
- Bhuyian SI, Sattar MA, Khan MAK. Improving water use efficiency in rice irrigation through wet seeding. *Irrigation Science*. 1995; (16): 1–8.
- Bluemling B, Yang H, Pahl-Wostl C. Making water productivity operational—A concept of agricultural water productivity exemplified at a wheat–maize cropping pattern in the North China plain. *Agricultural Water Management*. 2007; 91(1–3): 11-23.
- Blum A. Effective Use of Water (EUW) and not Water Use Efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*. 2009; 112(2–3):119-123.
- Clemmens AJ, Allen RG, Burt CM. Technical concepts related to conservation of irrigation and rainwater in agricultural systems. *Water Resources Research*. 2008; 44, 16.
- Ebrahimipak NA, Ghalebi S. Determination of evapotranspiration and crop coefficient (kc) of sugar beet using lysimeter and comparing it with experimental methods in Shahrekord. *Journal of Sugar Beet*. 2014; 30 (1): 41-58.
- El-Bably AZ, Abd El-Hafez SA, Mahmoud MA, Oud, AAH. A New Conceptual Framework for Water Conservation Based on Addressing Water Balance, Crop Rotation and Economics. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*. 2015; 4(2): 120-127.

- FAO. World Agriculture: towards 2015/2030. An FAO Perspective. FAO-Earthscan Publications Ltd., London, UK. 2003; pp 432.
- Foster SSD, Perry CJ. Improving groundwater resource accounting in irrigated areas: a prerequisite for promoting sustainable use. *Hydrogeology Journal*. 2010; 18(2): 291–294.
- Gleick PH, Christian-Smith J, Cooley H. Water-use efficiency and productivity: Rethinking the basin approach. *Water International*. 2011; 36 (7): 784-798.
- Israelsen OW. Irrigation principles and practices. Wiley and Sons, New York, 1932; pp 411.
- Huffaker R. Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. *Water Resources Research*. 2008; 44:1-8. 44. W00E01,doi:10.1029/2007WR006183.
- Jovzi M, Zare Abyaneh H. Effects of nitrogen fertilizer and deficit irrigation on quantitative and qualitative traits of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*. 2015; 31(2): 141-156.
- Keller A, Keller J. Effective efficiency: A water use concept for allocating freshwater resources. *Water Resources and Irrigation Division Discussion Paper 22*. Arlington, VA, USA: Winrock International. 1995.
- Lecina S, Isidoro D, Playjn E, Aragüés R. Irrigation modernization in Spain: effects on water quantity and quality. A conceptual approach. *Int. Journal of Water Resources*. 2010; 26 (2):265–282.
- Mishra HS, Rathore TR, Tomar VS. Water use efficiency of irrigated wheat in the Tarai region of India. *Irrigation Science*. 1995; 16 (2): 75–80.
- Molden D. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. Colombo, Sri Lanka. International Irrigation Management Institute. 1997; pp 16.
- Molden D, Sakthivadivel R. Water accounting to assess use and productivity of water. *Int. Journal of Water Resources*. 1999; 15(1/2): 55–71.
- Molden D, De Fraiture C. Investing in Water for Food, Ecosystems and Livelihoods. *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, 2004. Blue Paper Discussion Draft. Stockholm, IWMI.
- Molden DJ, Oweis T. Pathways for increasing agricultural water productivity, Water for food, water for life. *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Earthscan, London and International WaterManagement Institute, Colombo. 2007.
- Molden D, Oweis T, Steduto P, Bidraban P, Hanjra MA, Kijne J. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. *Agricultural Water Management*. 2010; 97: 528-535.

- Nourjou A, Bagaee Kia M, Jodaee A. An investigation on the effects of deficit irrigation and its economic evaluation on the sugar beet crop. West Azarbaijan Agricultural Research Center. 2002. 93 p. Research Report. 81/205. (in Persian, abstract in English)
- Nourjou A, Abbasi F, Bagaee kia M, Jodaee A. The effects of deficit irrigation on the quality and quantity of sugar beet crop in Meandoab region. *Journal of Sugar Beet*. 2007; 22(2):53-66. (in Persian, abstract in English)
- Perry CJ, Steduto P, Allen RG, Burt CM. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities. *Agric. Water Manage.* 2009; 96(11): 1517–1524.
- Raes D, Steduto P, Hsiao TC, Fereres E. AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and soft ware description. *Agronomy Journal*, 2009; 101: 438-447.
- Rathore AL, Pal AR, Sahu RK, Chadhary JL. On-farm rainwater and crop management for improving productivity of rainfed areas. *Agricultural Water Management*. 1996; 31: 253–267.
- Seckler D. The New Era of Water Resources Management: From 'Dry' to 'Wet' Water Savings. *Issues in Agriculture*, 8, April 1996. Consultative Group on International Agricultural Research. http://www.cgiar.org/publications/pub_issues.html.
- Seckler D, Molden D, Sakthivadivel R. The concept of efficiency in water resources management and policy. Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvements. *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 1*, CABI International, UK. 2003.
- Shahbazi HA, Zolfagharan A, Ghaemi AR, Ahmadi M, Mohammadian R. Effects of different irrigation levels and salinity on qualitative and quantitative yield of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*; 2014; 30(2):183-192.
- Solomon KH. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. *Irrigation Science*. 1984; 5: 161-172.
- Solomon KH, Burt CM. Irrigation sagacity: A performance parameter for reasonable and beneficial user. 1997; ASAE Paper No. 97-2181.
- Steduto P, Hsiao TC, Raes D, Fereres E. Aqua Crop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 2009; 101: 426-437.
- Tuong TP, Cabangon RJ, Wopereis MCS. Quantifying flow processes during land soaking of cracked rice soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1996; 60(3):1002-1018.
- Viets FG. Fertilizer and efficient use of water. *Advances in Agronomy*. 1962; 14: 223-264.

- Whisler FD, Acock B, Baker DN, Fye RE, Hodges HF, Lambert JR, Lemmon HE, Mc Kinion JM, Reddy VR. Crop simulation models in agronomic systems. *Advanced Agronomy*, 1986; 40:141–208.
- Whittlesey NK, McNeal BL, Obersinner VF. Concepts affecting irrigation management. *Energy and Water Management in Western Irrigated Agriculture. Studies in Water Policy and Management*. 1986; 7: 101-127.
- Willardson LS, Allen RG, Frederiksen HD. Universal fractions and the elimination of irrigation efficiencies. Paper presented at the 13th Technical Conference, USCID, Denver, Colorado, and October 19-22, 1994. Duplicated.
- Zolfagharan A, Nourjou A. Investigation of irrigation management effects on sugar beet yield with SWAP and Aqua Crop models (case study of Khorasan Razavi and West Azarbaijan). 2015. 47 p. *Agricultural Engineering Research Institute. Research Report. 95/50415.* (in Persian, abstract in English)