نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۹، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۷۴-۶۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 19, Apr.-May. 2025, p. 63-74

مقاله علمی-پژوهشی

بیلان آب و املاح در روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای مزارع گندم در شرایط شوری آب و خاک

مهدی اکبری*[۱] ، مسعود فرزام‌نیا[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای بر تجمع نمک در ناحیه ریشه گندم زمستانه در خاک لومی دشت مهیار اصفهان بود. در این تحقیق از ترکیب نتایج یک مزرعه آزمایشی و مدل شبیه‌سازی AquaCrop استفاده شد. بر اساس نتایج، میزان آب آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری (تیپ) با فواصل ردیف ۷۵ سانتیمتر، به ترتیب ۱۰۰۰۰ و ۶۵۰۰ مترمکعب در هکتار با شوری آب ۴ دسی زیمنس بر متر بود. تأثیر روش‌های آبیاری بر میزان مصرف آب آبیاری در سطح ۱ درصد معنی دار بود و نشان داد که براساس این شاخص، آبیاری قطره‌ای نسبت به روش سنتی برتری دارد. نتایج نشان داد که در روش آبیاری سطحی و قطره‌ای نواری به ترتیب ۶۰ و ۸۵ درصد از مجموع آب آبیاری و بارندگی موثر در فرآیند تبخیر و تعرق گیاه و مابقی صرف آبشویی خاک شده است. بیلان سالانه نمک خاک نشان داد که در روش آبیاری سطحی، نمک ورودی به خاک ۰/۵ تن بر هکتار کمتر از نمک آبشویی شده از منطقه ریشه است، اما در روش آبیاری قطره‌ای، سالیانه میزان ۲ تن در هکتار نمک در خاک تجمع یافت. لذا به منظور حفظ پایداری شوری خاک در روش آبیاری قطره‌ای نواری عمق آبیاری ۲۰ درصد افزایش داده شد. با این وجود ضمن پایداری شوری خاک، میزان آب آبیاری در روش آبیاری قطره‌ای ۲۰ درصد کمتر از آبیاری سطحی بود، ولی اندازه‌گیرهای مزرعه‌ای نشان داد که در روش آبیاری قطره‌ای نواری، بخشی از سطح مزرعه خیس شده و آبشویی خاک به خوبی انجام نمی‌شود، لذا توصیه می‌شود آبشویی سالیانه خاک به روش آبیاری سطحی یا بارانی برای پایداری شوری خاک و پایداری تولید انجام گردد.

واژه‌های کلیدی: آبشویی خاک، کشاورزی پایدار، مدل‌های شبیه‌سازی، مدیریت آبیاری

مقدمه

بخش عمده‌ای از مناطق کشور به دلیل بالا بودن مقدار تبخیر و تعرق و پایین بودن میزان نزولات جوی جزو مناطق خشک و نیمه خشک طبقه بندی می‌شود. اگرچه آب برای تولید محصولات کشاورزی حیاتی است و نقش مهمی در امنیت غذایی ایفا می‌کند (Zhang et al 2021). کمبود آب همواره عامل محدود کننده فعالیت‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک کشور است. توسعه بی‌رویه سطح زیرکشت و برداشت نامناسب از منابع آب زیرزمینی، موجب پایین رفتن سطح آب زیرزمینی شده است و کشاورزان را با مشکل کم آبی مواجه کرده است. بیشتر اراضی کشور به روش سنتی و بصورت کرتی و یا جویچه‌ای آبیاری می‌شود و زارعین از معیار دقیقی برای مقدار آبی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، استفاده نمی‌کنند(اکبری و همکاران۱۴۰۲).

با توجه به اینکه بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب است و بیش از ۷۰ درصد برداشت جهانی آب شیرین را به خود اختصاص داده است(FAO, 2021)، هر گونه برنامه‌ریزی در خصوص استفاده پایدار از آب در این بخش نقش موثری در استفاده بهینه از منابع آب خواهد داشت. روش‌های نوین آبیاری به‌ویژه روش آبیاری قطره‌ای روشی موثر برای کاهش کمبود آب منطقه‌ای است(Zhou et al 2021). گزارش سالانه کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID)در سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که سطح کل آبیاری جهانی و سطح تحت آبیاری تحت فشار در ۱۰ سال گذشته، به‌ویژه آبیاری قطره‌ای افزایش یافته است. آبیاری قطره‌ای به عنوان یکی از روش‌های آبیاری تحت فشار و کارآمدترین روش صرفه‌جویی در

۱- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج- ایران
۲- مربی پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: akbari_m43@yahoo.com)

مصرف آب مطرح و به طور گسترده در جهان استفاده می‌شود. علاوه بر این، استفاده از فنآوری کود آبیاری در این سامانه آبیاری به میزان قابل توجهی مصرف کود را کاهش می‌دهد(Zhou, 2016). در سال‌های اخیر، کمبود منابع آب باعث استفاده از منابع مختلف آب از جمله آب بازیافت شده، آب شور و سایر منابع آبی با کیفیت پایین شده است (Zhangzhong et al., 2022).

شوری یکی از مشکلات جدی محیطی است که باعث تنش اسمزی و کاهش رشد و عملکرد محصولات می‌گردد. خاک و آب شور از منابعی هستند که با مدیریت صحیح و با داشتن شناخت کامل می‌توان از آنها استفادهٔ لازم را برد. با اصلاح مدیریت مصرف آب با شیوه‌های مناسب آبیاری می‌توان عملکرد محصول را در خاک‌های شور نیز افزایش داد (Decsi et al., 2022; Siad et al., 2019).

در ایران، شوری مسئله‌ای فراگیر و محدود کنندهٔ تولید پایدار در کشاورزی است. بخش وسیعی از مناطق خشک و نیمه خشک کشور به ویژه در فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان و در شمال غرب سطح قابل‌توجهی از حوضهٔ شمالی دریاچهٔ ارومیه دارای خاک شور و سدیمی با درجات مختلف هستند (Shojaei et al., 2020).

گندم مادهٔ غذایی اصلی و مهم‌ترین محصول زراعی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و به دلیل اهمیت آن در تغذیهٔ مردم، یکی از محصولات استراتژیک کشور به شمار می‌رود. این محصول از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات مختلف زراعی و باغی برخوردار است، زیرا حدود ۴۵ درصد از انرژی و حدود ۵۰ درصد از پروتئین لازم برای فعالیت‌های مردم جامعه از مصرف گندم تأمین می‌شود. با توجه به نیمه متحمل بودن گندم نسبت به شوری و اهمیت آن در سبد خانوارهای ایرانی، بیشترین تحقیقات شوری در ایران روی گندم و پس از آن روی کلزا، حبوبات و برنج بوده است. رشد و عملکرد گندم در بسیاری از مناطق تحت تاثیر تنش شوری کاهش می‌یابد (رنجبر و پیرسته‌انوشه، ۱۳۹۴). سطح وسیعی از اراضی استان اصفهان نیز به درجات مختلف با مشکل شوری مواجه است که از جمله می‌توان به قسمت وسیعی از اراضی شرق شهر اصفهان اشاره نمود. استفاده از ارقام متحمل به شوری، رعایت برخی نکات به‌زراعی و توجه به برخی اصول در تغذیه گندم، می‌تواند تا حد نسبتا زیادی به افزایش بازده تولید این محصول در شرایط تنش شوری کمک نماید. در صورتیکه در مناطق فاریاب مخصوصاً در شرایط استفاده از منابع آب شور، مدیریت آبیاری دقیقی اعمال نشود، املاح در خاک تجمع یافته و مشکل شوری اتفاق می‌افتد. زیرا آب آبیاری دارای املاح است، در حالیکه آب حاصل از تعرق توسط گیاه یا آبی که از زمین تبخیر می‌شود، املاح را انتقال نمی‌دهد. بمنظور پایداری تولید محصول لازم است که املاحی که توسط آب آبیاری وارد منطقه ریشه گیاه می‌شود، با در نظر گرفتن میزان آب آبشویی از منطقه ریشه گیاه خارج شود. لذا باید یک آبیاری اضافی انجام گیرد. بنابراین میزان آب کاربردی برای آبیاری باید به اندازه‌ای برنامه‌ریزی شود که از تجمع املاح در منطقه ریشه جلوگیری نماید. اگر چه با انجام آزمایشات مزرعه‌ای می‌توان تاثیر تیمارهای مختلف میزان و شوری آب آبیاری بر پایداری شوری خاک را بررسی و تجزیه و تحلیل نمود، اما محدودیت های مهم متعددی در این آزمایشات ظاهر می‌شود که اثرات آنها نمایان‌تر است. قبل از هر چیز صحت آزمایشات محدود به منطقه و شرایط فیزیکی خاص محل انجام آزمایشات است. ثانیاً آزمایشات در مقیاس مزرعه اکثراً در یک پریود زمانی کوتاه دو ساله انجام می شود که منجر به حذف یک نکته خیلی مهم در مسائل مربوط به تجمع املاح در خاک در دراز مدت است، می‌گردد. این تجمع املاح در خاک می‌توانند تدریجی باشد ولی تجمع نمک آن هم بصورت ثابت و همیشگی در ناحیه ریشه انجام می‌شود. نهایتاً تعداد تیمارهایی که می‌توانند در آزمایشات مزرعه‌ای مورد مطالعه قرار گیرند لزوماً محدود است و بایستی دارای اهمیت عملی و کاربردی بوده و در مزارع موجود قابل اجرا باشند. از طرف دیگر امروزه مدل‌های شبیه سازی معتبر برای استفاده و پاسخگوئی به سئوالات مربوط به شوری آب و خاک تدوین و قابل دسترس هستند که می‌توان از این مدل‌ها برای گسترش آزمایشات مزرعه‌ای و چیره شدن بر محدودیت‌های موجود در سطح مزارع استفاده کرد.

اهداف این تحقیق امکان استفاده مرکب از اندازگیری‌های مزرعه‌ای، اطلاعات موجود و مدل‌های مشابه‌سازی برای تعیین اثرات استفاده از آب شور در آبیاری اراضی گندم تحت روش‌های مختلف آبیاری و بررسی تاثیر مدیریت آبیاری و مدیریت به‌زراعی بر پایداری شوری خاک و تولید محصول بوده است. این رهیافت بوسیله تجزیه و تحلیل بیلان آب و املاح در خاک، عملکرد محصول در ارتباط با کمیت و کیفیت آب مورد استفاده در آبیاری انجام گردیده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت مهیار در طول جغرافیائی ۵۱ و ۴۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیائی ۳۲ و ۱۷ دقیقه شمالی در قسمت مرکزی ایران با ارتفاع تقریبی ۱۶۵۰ متر واقع شده است .این دشت از نظر اقلیمی ، خشک با طیف درجه حرارت از ۳۰ درجه سانتیگراد در تابستان تا ۳ درجه سانتیگراد در زمستان و متوسط بارش سالیانه ۱۲۰ میلیمتر است. خاک منطقه شامل لایه‌های آبرفتی و ریزدانه بوده و محصولات اصلی الگوی کشت آن گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای، و چغندرقند است.

داده‌های ورودی مدل شبیه سازی، AquaCrop

داده‌های ورودی مدل‌ها عمدتا شامل: داده‌های مربوط به آب و

هوا، گیاه، خاک، مدیریت زراعی و مدیریت آبیاری است. در بخش آب و هوا، پنج متغیر ورودی شامل درجه حرارت حداکثر و حداقل روزانه هوا، بارندگی روزانه ، تبخیر و تعرق مرجع (ETo) و میانگین غلظت دی اکسید کربن سالانه در جو مورد نیاز است. در بخش گیاه به اطلاعات جامعی در خصوص مراحل رشد گیاه، زمان و درصد پوشش سطح زمین، زمان و مدت گلدهی، عمق توسعه ریشه و زمان حداکثر مقدار آن، ضرایب مرتبط با ماده خشک تولیدی از جمله شاخص برداشت محصول، ضرایب مرتبط با تنش آبی و دمایی گیاه و تنش های کود گیاه نیاز است که عمدتاً در دسترس نبود و عموماً از مقادیر بدست آمده در تحقیقات قبلی یا منقادیر اولیه که در مدل قرار داده شده است استفاده گردید.

داده‌های ورودی در بخش خاک شامل ویژگی‌های هیدرولیکی خاک از جمله هدایت هیدرولیکی اشباع ، درصد رطوبت حجمی در حالت اشباع، ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی است. در بخش مدیریت زراعی مقادیر مربوط به کود دهی، میزان استفاده از مالچ و روناب سطحی مطرح است و در بخش مدیریت آبیاری، روش آبیاری، زمان و میزان آب آبیاری، شوری آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی اطلاعات موجود و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای

در این تحقیق از نتایج تحقیقات مزرعه‌ای انجام شده طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ در دشت مهیار برای واسنجی، صحت سنجی و داده‌های ورودی مدل‌های شبیه سازی استفاده شده است (فرزام‌نیا و همکاران ۱۳۹۹). با توجه به متفاوت بودن تقویم زراعی و مدیریت آبیاری درشرایط مختلف نوع محصول، شوری و نوع خاک، با بررسی نقشه‌های طبقه بندی خاک، دشت مهیار به عنوان منطقه با بافت همگن انتخاب گردید (شکل ۱). برای این منطقه، مشخصات بافت خاک و مشخصات هیدرولیکی شامل میزان رطوبت در ظرفیت زراعی(FC)، حد پژوردگی دائم (PWP)، درصد رطوبت اشباع(θsat)، کل رطوبت قابل دسترس در خاک(TAW) و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک(Ksat) که در تحقیقات مزرعه‌ای انجام شده در منطقه تعیین شده بود، جمع‌آوری و در مدل‌های شبیه‌سازی مورد استفاد قرار گرفت. جدول‌های ۱ تا۳ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و مشخصات کیفی آب محل انجام آزمایش‌ها را در طی دو سال نشان می‌دهد.

برای تأمین اطلاعات هواشناسی شامل تشعشعات خورشیدی، بارندگی، درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر، رطوبت نسبی و سرعت باد در ارتفاع دو متری، از اطلاعات روزانه ایستگاه هواشناسی منطقه برای سال‌های زراعی ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸ استفاده شد.

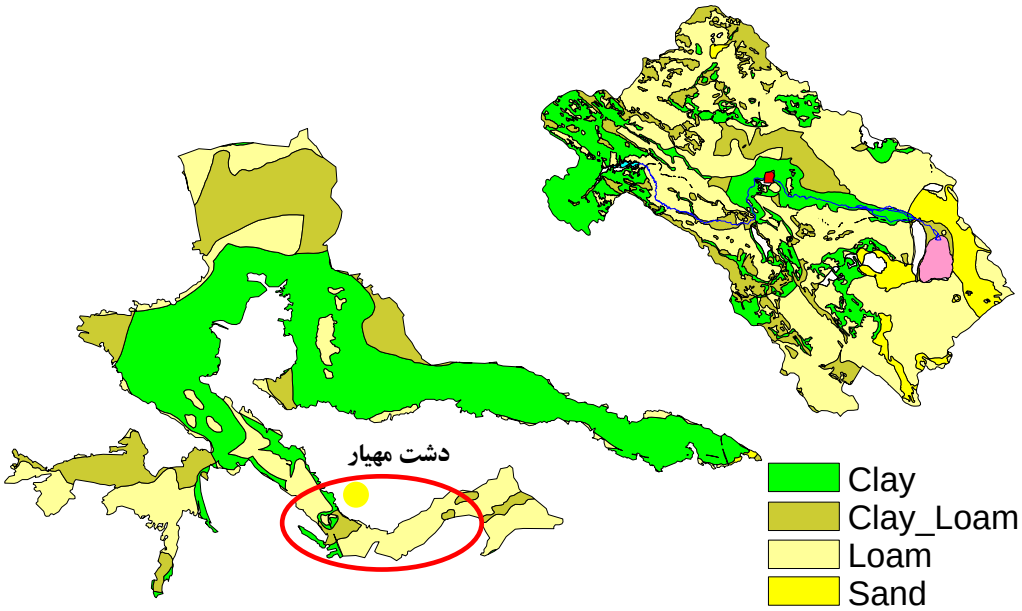
واسنجی و صحت سنجی

با توجه به اینکه برای استفاده از هر مدل، واسنجی و صحت‌سنجی آن ضروری است. در این تحقیق به منظور انجام مراحل فوق در مدل AquaCrop محصول گندم انتخاب و از بخش‌های مربوط به رشد محصول و بیلان آب و املاح و برنامه ریزی آبیاری، مدل استفاده شد. در این پژوهش برای صحت سنجی مدل از داده‌های سال زراعی۹۷-۱۳۹۶ یک مزرعه آزمایشی گندم (فرزام‌نیا و همکاران ،۱۳۹۹) در دشت مهیار شامل تاریخ‌های آبیاری، میزان آب آبیاری، شوری آب آبیاری، و تاریخ برداشت محصول که داده‌های دقیق مزرعه‌ای برای آن قابل دسترس بود، استفاده شد. در این مزرعه آزمایشی گندم، روش آبیاری قطره‌ای نواری با سه فاصله ۴۵، ۶۰ و ۷۵ سانتیمتر همراه با روش آبیاری سطحی در چهار تکرار انجام شده بود و در هر نوبت آبیاری همه فواصل نوارهای آبیاری به مقدار ثابتی آبیاری انجام گرفته بود. با استفاده از اطلاعات این مزرعه آزمایشی، داده‌های ورودی مورد نیاز تهیه و واسنجی مدل AquaCrop مطابق با مراحل زیر انجام گردید:

– اجرای مدل و مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده با عملکرد اندازه گیری شده در شرایط مختلف مزرعه آزمایشی در صورت عدم تطابق عملکرد شبیه‌سازی شده با عملکرد اندازه‌گیری شده، شاخص‌های گیاهی از جمله مراحل رشد گیاه، زمان و درصد پوشش سطح زمین، زمان و مدت گلدهی، عمق توسعه ریشه و زمان حداکثر مقدار آن، ضرایب مرتبط با ماده خشک تولیدی از جمله شاخص برداشت محصول، ضرایب مرتبط با تنش آبی در دامنه مجاز بر اساس داده‌های اندازه‌گیری یا جمع آوری شده تغییر داده شد و مراحل فوق الذکر تکرار تا نتایج عملکرد شبیه سازی شده بر عملکرد اندازه‌گیری با دقت قابل قبولی منطبق گردد.

جدول ۱- نتایج تجزیهٔ فیزیکی خاک قطعه آزمایشی

عمق (سانتی‌متر)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی مترمکعب)	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	نقطه پژمردگی (درصد حجمی)
۰-۳۰	۳۷	۲۶	۳۷	لوم	۱/۴۹	۳۰/۱	۱۶/۴
۳۰-۶۰	۳۶	۲۵	۳۹	لوم	۱/۵۴	۲۸/۵	۱۵/۴



شکل ۱- بافت خاک دشت مهیار در حوضه زاینده رود (طرح جامع کشاورزی، اقتباس از Droogers and Torabi, 2003)

جدول ۲- مشخصات شیمیایی خاک قطعه آزمایشی

عمق (سانتی‌متر)	شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	کربن آلی خاک (درصد)
۰-۳۰	۹	۷/۸	۱/۴۹
۳۰-۶۰	۸	۷/۸	۱/۵۴

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی آب مزرعه آزمایشی در ابتدای فصل زراعی

EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	TDS (میلی‌گرم در لیتر)	SAR	کاتیون‌ها و آنیون‌ها برحسب (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)						
				CO32-	HCO3-	Cl-	SO42-	Ca2+	Mg2+	Na+
۴/۵۵	۷	۲۹۱۲	۸/۵	۰	۳/۱	۳۱/۲۵	۱۳/۳	۱۷/۵	۳	۲۶/۶
۳/۸۷	۶/۹	۲۴۷۶	۴/۶	۰	۴	۳۰	۷/۵	۲۱/۳	۳/۷	۱۶/۴

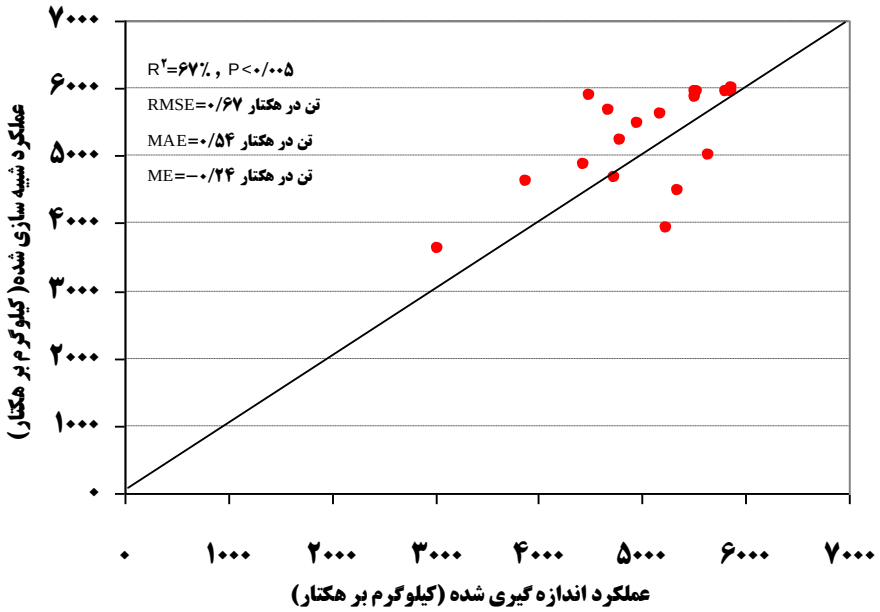
- به منظور صحت سنجی مدل، با استفاده از مدل واسنجی شده و بکارگیری اطلاعات اندازه‌گیری شده در مزرعه در شرایط مختلف مدیریتی (تاریخ آبیاری، عمق آب آبیاری)، عملکرد محصول در تیمارهای مختلف شبیه‌سازی و با عملکرد اندازه‌گیری شده مقایسه شد.

در این تحقیق بررسی پایداری شوری خاک و عملکرد محصول گندم تحت شرایط مختلف کمیت و کیفیت آب آبیاری در دشت مهیار در حوضه زاینده‌رود اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیقاتی در جهان، انتقال آب و املاح و عملکرد محصول در مقیاس مزرعه با استفاده از مدل‌های با پایه و اساس فیزیکی، پس از صحت‌یابی استفاده شده است (Salman et al., 2021) میزان آب آبیاری، شوری آب آبیاری، ارتفاع گیاه ، تاریخ برداشت و میزان عملکرد محصول در تمام نوبت‌های آبیاری در مزرعه مورد مطالعه اندازه‌گیری و وارد مدل گردید. همچنین سایر اطلاعات مورد نیاز از تحقیقات گذشته استفاده گردیده است . با توجه به امکان بررسی اثرات مدیریت آبیاری با استفاده از مدلهای هیدرولوژیکی، در این تحقیق بیشتر روی نتایج حاصل از مدل در رابطه تعادل آب و املاح تأکید شده است. در این پژوهش با توجه به توزیع گردشی آب بین حقابه‌داران، فرض شد که تغییر تاریخ نوبت‌های آبیاری برای تعدادی از کشاورزان امکانپذیر نیست، لذا این دسته از کشاورزان، به منظور کاهش یا افزایش آب آبیاری آب فقط می‌توانند عمق آب آبیاری را تغییر دهند و یا تعدادی از آبیاری‌ها را حذف نمایند. از طرف دیگر با توجه به عدم بارندگی مناسب در زمان کاشت گندم پاییزه در منطقه مورد مطالعه، انجام آبیاری اول ضروری است و نمی‌توان آنرا حذف کرد. لذا برای حفظ

پایداری تولید و شوری خاک زمان آبیاری ثابت در نظر گرفته شده و فقط میزان آب آبیاری افزایش یا کاهش یافته است.

نتایج و بحث

نتایج صحت‌سنجی مدل AquaCrop حاکی از آن است که مدل از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و می توان از آن به عنوان یک ابزار برای بررسی بیلان آب و املاح در خاک، عملکرد محصول و برنامه ریزی ابیاری استفاده نمود. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2022) نیز نشان دادند که این مدل از قابلیت خوبی برای بهبود مدیریت آبیاری تحت سناریوهای متفاوت آب و هوایی برخوردار است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. نتایج صحت‌سنجی مدل در شرایط مختلف مدیریت آبیاری مزارع به شرح ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها برای گندم در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از صحت سنجی مدل AquaCrop برای گندم حاکی از آن بود که این مدل عملکرد محصول را با دقت قابل قبولی شبیه سازی می‌نماید. شکل(۲) نشان می‌دهد که ضریب همبستگی مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده برای محصول گندم ۶۷ درصد و ریشه میانگین مربعات خطاها (RMSE) ۰/۵۳ تن در هکتار است. همچنین شاخص میانگین خطای مطلق(MAE) و انحراف مدل (ME) مبین آن است که مدل باخطای ۳۴۸ کیلوگرم برهکتار عملکرد گندم را برآورد نموده و از ضریب همبستگی نسبتاً بالایی برخوردار است. بدیهی است که عملکرد محصول به عوامل مختلفی از جمله میزان کود، آفات و امراض، علف‌های هرز و مدیریت آبیاری بستگی دارد، ولی در شبیه سازی‌ها از این محدودیت‌ها صرف نظر شده است.

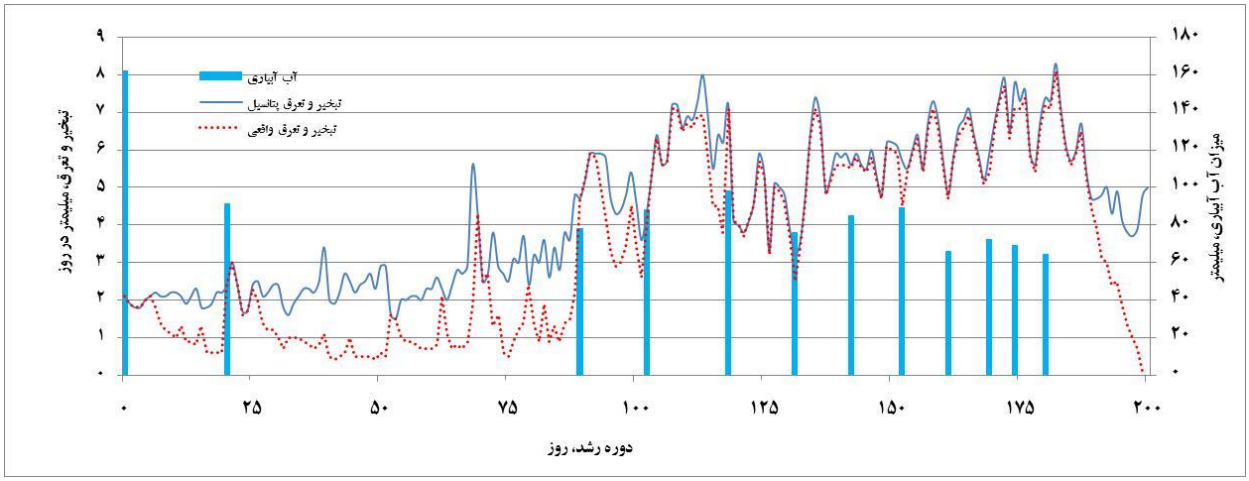


شکل۲- نتایج صحت سنجی مدل AquaCrop برای گندم در شبکه آبیاری آبشار اصفهان

بیلان آب در روش آبیاری سطحی (کرتی)

نتایج اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مبین آن است که کشاورزان برای آبیاری نوبت اول (خاک آب) گندم در شرایط موجود بیش از ۱۵۰ میلیمتر و برای سایر نوبت‌های آبیاری حدود ۷۰ تا ۱۰۰ میلیمتر آب آبیاری استفاده می‌کنند(شکل ۳) که با توجه به خصوصیات خاک و عمق توسعه ریشه گندم بیش از مقدار مورد نیاز است، لیکن به علت مشکلات شوری آب آبیاری و خاک و لزوم آبشویی خاک، کاهش عمق آب آبیاری مخصوصا عمق آب آبیاری در نوبت اول مد نظر قرار نگرفت. همانطوری که در شکل ۳ نشان داده شده است آبیاری اول به میزان ۱۶۰ میلیمتر با هدف آبشویی خاک و سبز شدن بذر گندم انجام شده است. آبیاری دوم به فاصله ۲۰ روز پس از آبیاری اول و به میزان ۹۰ میلیمتر انجام شده در صورتیکه در این فاصله نیاز آبی گیاه بسیار ناچیز است، لذا هدف اصلی این دو آبیاری توسط زارع عمدتا آبشویی خاک و کاهش شوری برای جوانه زنی گیاه است. پس از آبیاری دوم به علت سردی هوا و خواب زمستانه گیاه، آبیاری تا اسفند ماه و بهبود شرایط اقلیمی برای رشد گیاه انجام نشده است. به عبارت دیگر رشد واقعی گیاه در منطقه از آبیاری سوم که عمدتا در نیمه دوم اسفندماه انجام می شود، شروع می‌گردد. همانطوری که در شکل ۳ نشان داده

شده است، میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه از آبیاری سوم به بعد تقریبا با میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مطابقت دارد و نشان می دهد که گیاه با تنش آبی قابل مقایسه ای مواجه نشده است. در مراحل انتهایی رشد نیز به دلیل رسیدگی محصول و برای استفاده از آب موجود در خاک آبیاری انجام نشده است.



شکل ۳- تبخیر-تعرق، واقعی و پتانسیل و میزان آب آبیاری مزرعه گندم در روش آبیاری کرتی با در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

یکی از راهکارها، بهبود مدیریت آبیاری در شرایط موجود(آبیاری کرتی)، برنامه ریزی آبیاری بر اساس اصول مهندسی آبیاری است. این راهکار می‌تواند تلفات نفوذ عمقی را کاهش دهد. بهبود مدیریت آبیاری به منظور کاهش عمق آب آبیاری در شرایط موجود در دو بخش شبیه سازی و تجزیه تحلیل گردید. نتایج نشان داد عمق آب آبیاری اول با توجه به نفوذ پذیری و شوری اولیه خاک مناسب است لیکن، با بهبود مدیریت زراعی در سطح مزرعه می توان عمق آب سایر آبیاری‌ها را به ۷۰ میلیمترکاهش داد. نتایج نشان داد که کاهش عمق آب سایر آبیاری ها به ۷۰ میلیمتر تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب ندارد. یکی دیگر از راهکارهای که در سال‌های اخیر برای کاهش عمق آب آبیاری پیشنهاد شده است استفاده از روش آبیاری قطره ای نواری (تیپ) است که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

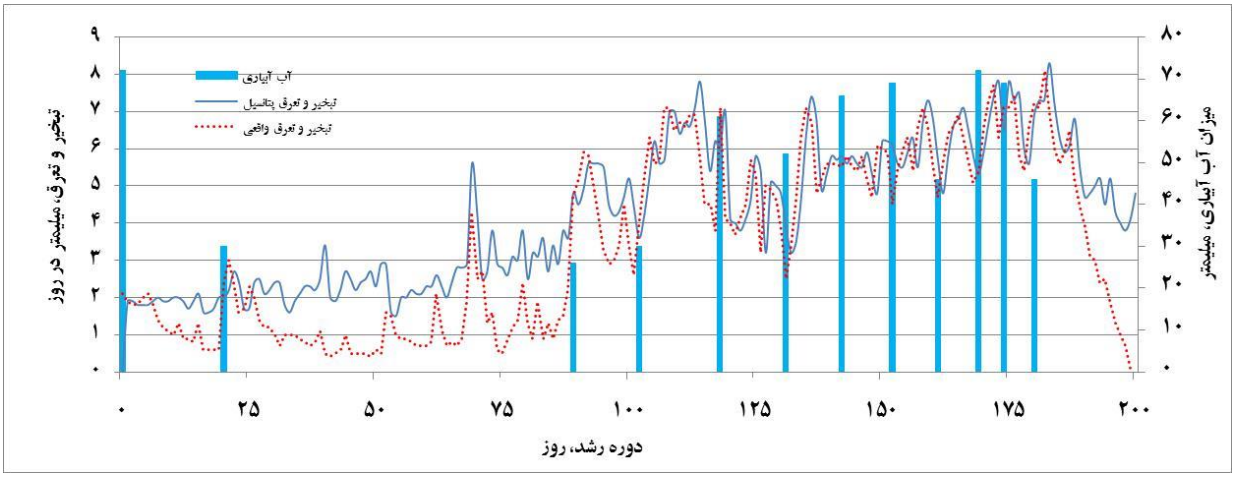
بیلان آب در روش آبیاری قطره‌ای نواری

نتایج ارائه شده در شکل ۴ وضعیت تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل همراه با نوبت‌های آبیاری را نشان می‌دهد. در این شیوه آبیاری عمق نوبت اول آبیاری به ۷۰ میلیمتر و عمق نوبت دوم آبیاری به ۳۰ میلمتر کاهش یافته است. عمق آب آبیاری در سایر آبیاری‌ها نیز باتوجه به نیاز آبی گیاه بین ۳۰ تا ۷۰ میلیمتر است. همانطوری که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در مرحله اصلی رشد محصول (از روز ۱۰۰ تا ۱۸۰ دوره رشد) دو منحنی تبخیر و تعرق واقعی و تبخیر و تعرق پتانسیل از هم فاصله گرفته‌اند و نشان می دهد که در این بخش از دوره رشد گیاه نتوانسته است نیاز آبی خود را جذب کند. از دلایل عدم جذب آب کافی می‌تواند به افزایش شوری آب خاک اشاره کرد.

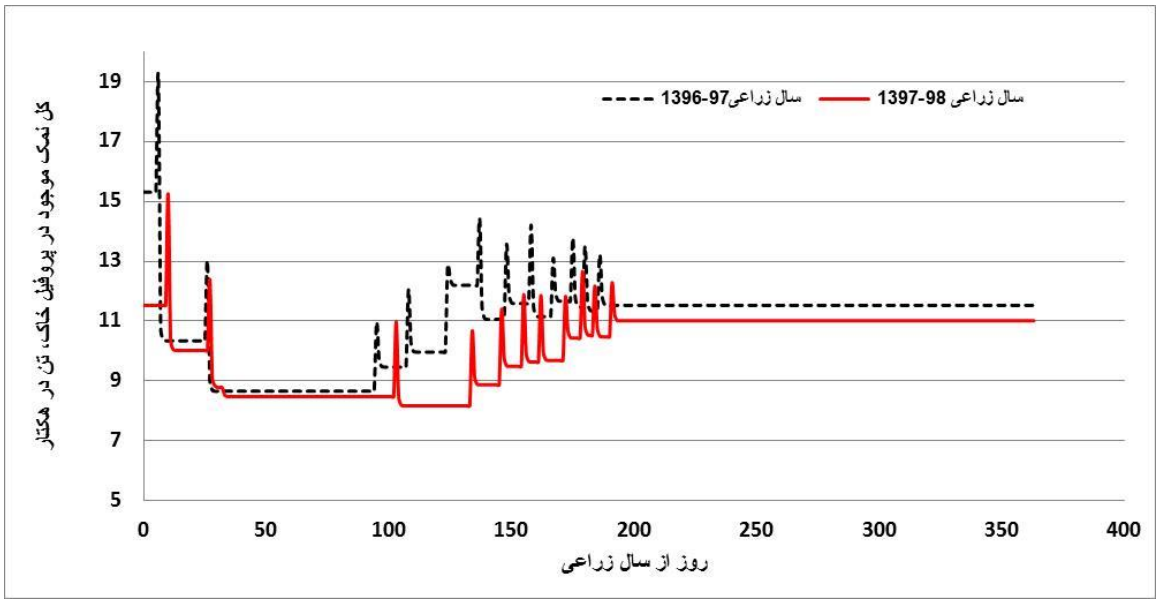
بیلان املاح در روش آبیاری کرتی

تغییرات نمک موجود در خاک مزرعه گندم طی سال‌های مختلف زراعی در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می‌گردد، در شروع شبیه سازی بر اساس اندازه‌گیری‌های مزرعه شوری عصاره اشباع خاک ۸ دسی زیمنس بر متر بوده است که به عنوان شرایط ورودی به مدل وارد شده است که با در نظر گرفتن عمق نهایی ۷۰ سانتیمتر ریشه گیاه گندم، کل نمک موجود در پروفیل خاک ۱۵/۳ تن در هکتار تعیین شده است. ژای و همکاران (Zhai et al., 2022) نیز برای بررسی تاثیر شوری آب آبیاری بر بیلان آب و املاح در خاک در گندم زمستانه از مدل AquaCrop استفاده کردند و نشان دادند که مدل از قابلیت خوبی برای بررسی بیلان آب و املاح در خاک برخوردار است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

نتایج تغییرات نمک تجمع یافت در خاک طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ مزرعه گندم در روش آبیاری کرتی نشان می‌دهد که در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ میزان نمک موجود در خاک از ۱۵/۳ تن در هکتار به ۱۱/۵ تن در هکتار کاهش یافته است. ولی در سال دوم نمک موجود در خاک کاهش قابل ملاحظه‌ای نداشته است. علت کاهش شدید نمک خاک در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ بالاتر بودن میزان بارندگی سالیانه است که توانسته در فصل پاییز و زمستان شوری خاک را کاهش دهد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که در این مدیریت آبیاری نه تنها املاح در خاک تجمع نیافته‌اند بلکه موجب آبشویی خاک و خارج کردن بخش از املاح خاک نیز شده است.



شکل ٤- تبخیر-تعرق، واقعی و پتانسیل ومیزان آب آبیاری مزرعه گندم در روش آبیاری قطره‌ای نواری با فاصله نوارهای ۷۵ سانتیمتر در سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦



شکل ٥- میزان کل نمک موجود در عمق توسعه ریشه گندم در روش آبیاری کرتی در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ و ۹۸-۱۳۹۷.

بیلان املاح درروش آبیاری قطره‌ای نواری

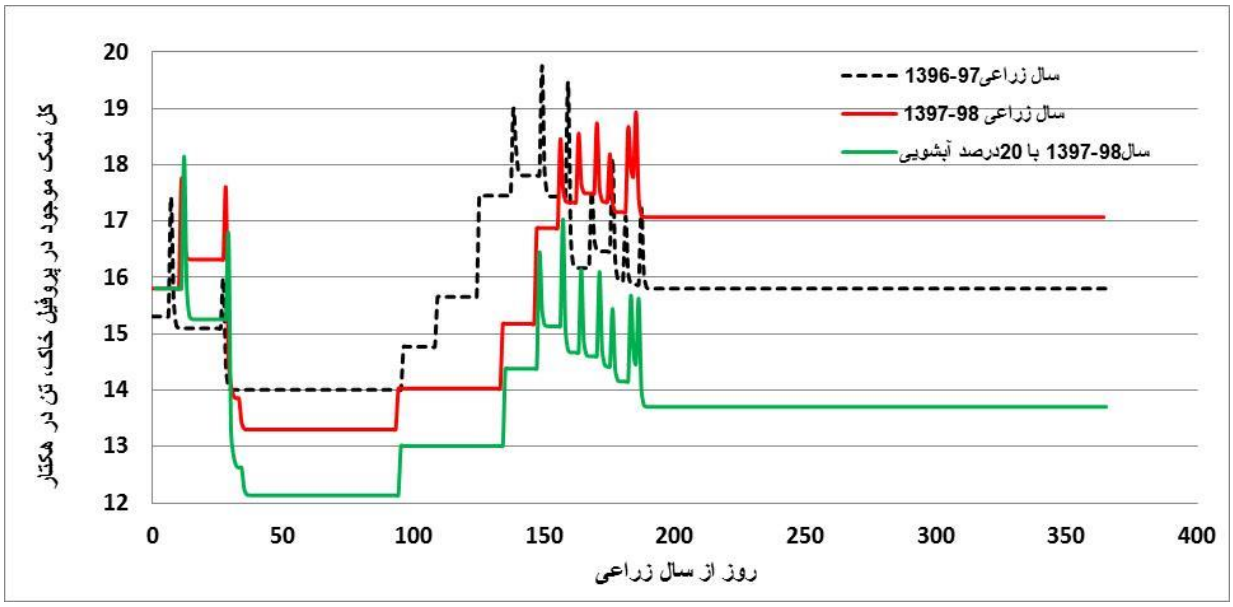
با توجه به شوری آب آبیاری، همراه با انجام آبیاری مقداری نمک به پروفیل خاک اضافه شده و با توجه به شوری آب خروجی از ناحیه ریشه مقداری نمک از منطقه ریشه خارج شده است که تغییرات آن در روش آبیاری قطره ای نواری در سال‌های زراعی در شکل ۶ نشان داده شده است.

همانطوری که در شکل ۶ مشاهد می شود بیلان نمک طی سال‌های زراعی مختلف در این روش آبیاری مثبت بوده است و هر ساله به میزان یک تن درهکتار به نمک موجود در خاک اضافه شده است. به عبارت دیگر میزان نمک موجود در عمق توسعه ریشه از ۱۵/۳ تن در هکتار در شروع سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به ۱۷ تن در هکتار در انتهای سال زراعی۹۸-۱۳۹۷ افزایش یافته است. برای کاهش شوری خاک و جلوگیری از تجمع املاح در خاک به عمق هر آبیاری ۲۰ درصد به عنوان عمق آب ابشویی اضافه شد. نتایج نشان داد که املاح موجود در خاک به حدود ۱۴تن در هکتار کاهش یافته و با این مدیریت آبیاری املاح در خاک تجمع نداشته است. بدیهی است، در صورتیکه که هیچگونه مدیریت آبشوری برای جلوگیری از تجمع املاح در خاک صورت نگیرید، افزایش شوری خاک باعث کاهش محصول و عدم پایداری تولید خواهد شد. این نتایج نشان داد که مدل AquaCrop از قابلیت خوبی برای بررسی بیلان آب و املاح

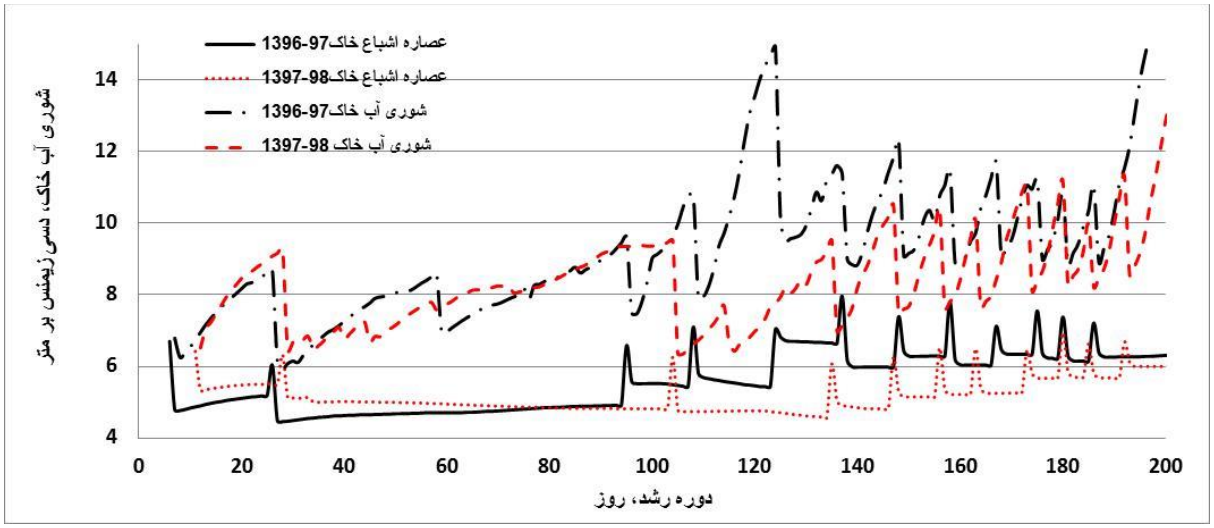
در خاک برخوردار است که با نتایج ژای و همکاران (Zhai et al., 2022) مطابقت دارد.

تغییرات شوری آب خاک در روش آبیاری کرتی

تغییرات شوری آب خاک و شوری عصاره اشباع خاک طی سال‌های زراعی۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که در روش آبیاری سطحی (کرتی) با مدیریت آبیاری موجود، شوری عصار اشباع خاک در ابتدای مرحله رشد حدود۶/۷ دسی‌زیمنس بر متر بوده است. پس از آبیاری اول و دوم به ترتیب با عمق ۱۶۰ و ۹۱ میلیمتر، بخشی از املاح موجود در خاک از منطقه عمق نهایی ریشه خارج شده و موجب شده است شوری عصاره اشباع خاک به ۴/۹ کاهش یابد. شوری عصاره اشباع خاک در فاصله ۲۵ تا نزدیک به ۱۰۰ روز از زمان کاشت تغییرات چندانی نداشته است و نشان می دهد که بارش‌های زمستانه نقش چندانی در کاهش شوری خاک نداشته‌اند، ولی از این تاریخ تا حدود ۱۴۰ روز پس از کاشت، با شروع دوباره فصل رشد و انجام آبیاری میزان نمک ورودی به خاک افزایش یافته و در نتیجه شوری عصاره اسباع خاک نیز افزایش داشته است.



شکل ٦- میزان کل نمک موجود در عمق توسعه ریشه گندم در روش آبیاری قطره ای نواری در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ و ۹۸-۱۳۹۷.



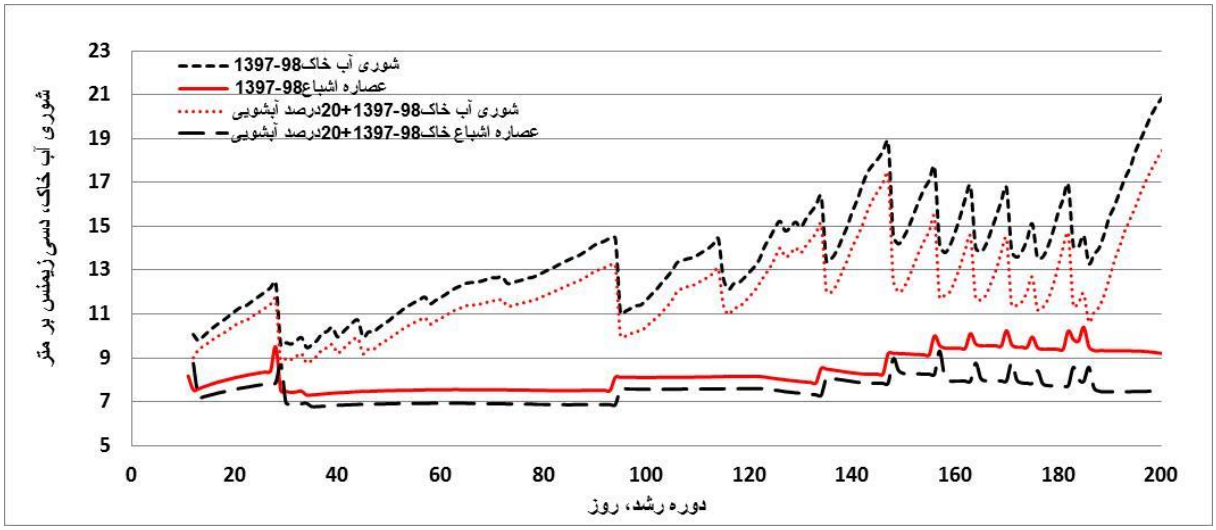
شکل ۷- میزان شوری آب و عصاره اشباع خاک در عمق توسعه ریشه گندم در روش آبیاری کرتی در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹٦ و ۹۸-۱۳۹۷.

در فاصله ۱۴۰ تا ۱۷۰ روز از زمان کاشت بارش‌های فصل بهار همراه با آبیاری موجب شده است که بخش از املاح از منطقه ریشه خارج گردد و شوری عصاره اشباع خاک مجددا کاهش یابد و از این تاریخ به بعد با توجه به عدم آبیاری و زمان رسیدگی محصول، تغییرات شوری عصاره اشباع خاک ناچیز است. بطوری کلی شوری عصاره اشباع خاک طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اندکی کاهش داشته است و از ۶/۷ به ۶/۴ دسی زیمنس بر متر رسیده است. بدیهی است که شوری آب خاک بسته به میزان آب خاک همواره از شوری عصاره اشباع خاک بیشتر است و فقط پس از آبیاری در صورتی که خاک اشباع گردد برابر با شوری عصاره اشباع خاک خواهد بود. با توجه به اینکه گیاه باید آب موجود در خاک را جذب نماید لذا شوری آب خاک از اهمیت زیادی برخوردار است و همواره باید رطوبت خاک به اندازه‌ای باشد که برای گیاه قابل جذب باشد.

همانطوری که در شکل ۷ نشان داده شده است روند تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در سال زراعی۹۸-۱۳۹۷ تا حدود ۱۰۰ روز از کاشت مشابه سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ است و تغییرات فاحشی ندارد، ولی بارش‌های بهاری سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ عمدتا در فاصله ۱۰۰ تا ۱۳۰ روز از زمان کاشت اتفاق افتاده است لذا شوری عصاره اشباع خاک در این محدود تغییرات زیادی نداشته است. به عبارت دیگر در این محدوده آبیاری انجام نشده و نیاز آبی گیاه از طریق بارندگی تامین شده است. از این تاریخ به بعد با شروع آبیاری‌های فصل بهار میزان املاح ورودی به خاک افزایش یافته و موجب افزایش شوری عصاره اشباع خاک شده است ولی در نهایت تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در ابتدا و انتهای سال زراعی۹۸-۱۳۹۷ تغییرات فاحشی ندارد و از ۶/۴ به حدود ۶ دسی زیمنس بر متر کاهش یافته است. با توجه به رطوبت موجود در منطقه ریشه، شوری آب خاک در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ روند مشابهی با سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ را نشان می‌دهد ولی در محدوده بارش‌های بهاری (۱۰۰ تا ۱۳۰ روز از کاشت) شوری آب خاک نسبت به سال زراعی۹۷-۱۳۹۶کاهش داشته است.

تغییرات شوری آب خاک در روش آبیاری قطره‌ای

تغییرات شوری آب خاک و شوری عصاره اشباع خاک در روش آبیاری قطره‌ای نواری با فاصله ردیف‌های ۷۵ سانتیمتر طی سال زراعی۹۸-۱۳۹۷ در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطوری که در این شکل نشان داده شده است. اگر چه در ابتدای فصل کاشت همراه با آب آبیاری اول و دوم مقداری نمک وارد منطقه ریشه می‌گردد، ولی این آبیاری‌ها باعث می‌شود بخشی از املاح تجمع یافته در خاک منطقه ریشه خارج گردد و عصاره اشباع خاک از۸/۲ دسی زیمنس بر متر به ۷/۵ کاهش یابد.



شکل ۷- میزان شوری آب و عصاره اشباع خاک در عمق توسعه ریشه گندم در روش آبیاری قطره‌ای نواری با فاصله ردیف های ۷۵ سانتیمتر در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷.

از این مرحله تا حدود ۹۵ روز پس از کاشت به علت عدم آبیاری عصاره اشباع خاک ثابت است. در روش آبیاری قطره‌ای نواری با توجه به اینکه عمق آب آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه محاسبه شده است. مقدار نفوذ عمقی بسیار کم است و در نهایت بیلان نمک در خاک مثبت است و پس از هر آبیاری باعث افزایش شوری عصاره اشباع خاک شده است. همانطوری که در شکل ۸ مشاهده می‌شود نتیجه این مدیریت آبیاری تجمع املاح در خاک و در نتیجه افزایش شوری عصاره اشباع خاک از۸/۲ به ۹/۲ دسی زیمنس بر متر است. شوری

آب خاک نیز بسته به میزان آب موجود در خاک پس از هر آبیاری کاهش یافته و تا قبل از آبیاری بعدی با توجه به مصرف آب برای تبخیر و تعرق گیاه افزایش یافته که تغییرات آن در شکل ۸ نشان داده شده است. برای پایداری تولید لازم است که از تجمع املاح در خاک جلوگیری شود و یکی از راهکارها، در نظر گرفتن میزان آب آبشویی در هر نوبت آبیاری است. همانطوری که در شکل ۸ نشان داده شده است در صورتیکه به عمق هر آبیاری ۲۰ درصد به عنوان عمق آب آبشویی اضافه گردد از تجمع املاح در خاک جلوگیری شده و شوری عصاره اشباع سالیانه خاک اندکی کاهش یافته و از ۸/۲ به حدود ۷/۲ دسی زیمنس بر متر کاهش می یابد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج حاصل از این تحقیق، بهبود مدیریت آبیاری در مزارع از طریق بکارگیری سامانه مناسب آبیاری، برنامه ریزی صحیح آبیاری در شرایط مختلف امکان پذیر است. ولی برای استفاده پایدار از آب و خاک لازم است که بیلان نمک موجود در خاک مورد بررسی قرار گیرد و در صورت تجمع املاح در خاک با در نظر گرفتن آب اضافی برای آبشویی در هر آبیاری یا انجام آبشویی خاک در فصلی که دسترسی به آب بیشتر است از تجمع املاح در خاک جلوگیری شود. نتایج این تحقیق نشان داد که با بکارگیری روش آبیاری قطره‌ای با فواصل ردیف های ۷۵ ساتیمتر و در نظر گرفتن ۲۰ درصد آب اضافی برای آبشویی خاک تعادل نمک در خاک حفظ می شود ولی در صورتیکه میزان آب آبشویی در نظر گرفته نشود در سال اول و دوم شاهد صرفه جویی آب و افزایش تولید محصول بوده ولی در سال های بعد به علت تجمع املاح در خاک، اراضی شور شده و پایداری تولید محصول را نخواهیم داشت. این نتایج نشان داد که می‌توان از مدل‌های شبیه سازی صحت سنجی شده به عنوان یک ابزار مناسب و با قابلیت‌های مختلف برای بهبود مدیریت آبیاری و بررسی بیلان آب و املاح در خاک استفاده نمود.

منابع

اکبری، م.، عباسی،،ف.، ناصری.، ا و همکاران. (۱۴۰۲). بهره‌وری آب یونجه در مناطق مختلف کشور ، پژوهش آب در کشاورزی. ۳۷(۲): ۱۳۷-۱۱۹.

اکبری،م.، دهقانی سانیج، ح.، ترابی،م. ۱۳۸۶. بررسی شوری در مزرعه با استفاده از مدل شبیه سازی SWAP (مطالعه موردی برای منطقه رودشت اصفهان)، علوم و صنایع کشاورزی، ویژه خاک. ۲۱(۲): ۱۰۵-۱۱۴.

فرزام‌نیا، م.، میران‌زاده، م.، امین‌آزرم، د.، زیدی، م.، و امینی، م. ۱۳۹۹. تعیین فاصله بهینه نوار در آبیاری قطره‌ای نواری و کارآیی مصرف آب گندم در بافت خاک سنگین و متوسط .گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۷۵۲۲، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

رنجبر، غ.ح.، پیرسته‌انوشه، ه. ۱۳۹۴. نگاهی به تحقیقات شوری در ایران با تاکید بر بهبود تولید محصولات زراعی. نشریه علوم زراعی ایران. ۲۱(۲): ۱۰۵-۱۱۴.

Decsi, B., Ács, T., Jolánkai, Z., Kardos, M. K., Koncsos, L., Vári, Á. and Kozma, Z. 2022. From simple to complex—comparing four modelling tools for quantifying hydrologic ecosystem services. Ecological Indicators. 141, 109143. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109143

Droogers, P., Torabi, M., Akbari, M. and Pazira, E. 2001. Field-scale modeling toexplore salinity problems in irrigated agriculture. Irrigation and Drainage. 50:77-90.

FAO. The State of Food and Agriculture 2021. Overcoming Water Challenges in Agriculture; FAO: Rome, Italy, 2021.

Salman, M., García-Vila, M., Fereres, E., Raes, D. and Steduto, P. 2021. The AquaCrop model, enhancing crop water productivity. Ten years of development, dissemination and implementation 2009–2019. FAO Water Report No. 47. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cb7392en.

Shojaei, S., Kalantari, Z. and Rodrigo-Comino, J. 2020. Prediction of factors affecting activation of soil erosion by mathematical modeling at pedon scale under laboratory conditions. Scientific Reports, 10(1), 20163. https://doi.org/10.1038/s41598-020-76926-1

Siad, S.M., Iacobellis, V., Zdruli, P., Gioia, A., Stavi, I. and Hoogenboom, G. 2019. A review of coupled hydrologic and crop growth models. Agricultural Water Management, 224, 105746. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105746

Zhai, Y., Huang, M., Zhu, C., Xu, H. and Zhang, Z. 2022. Evaluation and Application of the AquaCrop Model in Simulating Soil Salinity and Winter Wheat Yield under Saline Water Irrigation. Agronomy 2022, 12, 2313. https://doi.org/10.3390/agronomy12102313

Zhang, J., Li, K., Gao, Y., Feng, D. and Zheng, C. 2022. Evaluation of saline water irrigation on cotton growth and yield using the AquaCrop crop simulation model. Agricultural Water Management. 261, 107355.

Zhang, T., Zou, Y., Kisekka, I., Biswas, A. and Cai, H. (2021). Comparison of different irrigation methods to synergistically improve maize's yield, water

Irrigation Emitters. Ph.D. Thesis, China Agricultural University, Beijing, China.

Zhou, X., Zhang, Y., Sheng, Z., Manevski, K., Andersen, M.N., Han, S., Li, H. and Yang, Y. (2021). Did water-saving irrigation protect water resources over the past 40 years? A global analysis based on water accounting framework. Agricultural Water Management. 249, 106793.

productivity and economic benefits in an arid irrigation area. Agricultural Water Management. 243, 106497.

Zhangzhong, L.L., Yang, P.L., Zheng, W.G. and Li, Y.K. (2022). Effects of water salinity on emitter clogging in surface drip irrigation systems. Irrigation Science. 39, 209–222.

Zhou, B. (2016). Characteristics, Evalution and Mechanism of Bio-Clogging Process in Drip

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 19, Apr.-May. 2025, p. 63-74

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۹، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۷۴-۶۳

Water and Salt Balance in Surface and Drip Irrigation of Winter Wheat Fields under Water and Soil Salinity Conditions.

M. Akbari[1]*, Ma. Farzamnia[2]

Recived: Nov.28, 2024 Accepted: Jan.19, 2025

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effects of surface and drip irrigation on salt accumulation in the root zone of winter wheat in Loamy Soil of Mehyar plain of Esfahan. In this experiment, combining the results of an experiment field and the AquaCrop simulation model was used. According to the results, the amount of applied water in surface and drip irrigation was 10000 and 6500 m3/ha, respectively with a water salinity of 4 dS/m. The effect of irrigation methods on applied water was significant at 1% level and showed that based on this index, drip irrigation is superior to traditional method. The results showed that in surface and drip irrigation methods 60 and 85% of the total applied water and effective rainfall were used in the process of evapotranspiration, respectively, and the rest was used for leached the soil. The annual balance of soil salt showed that in the surface irrigation, the salt input is 0.5 tons per hectare less than the salt output from the root zone area, but in the drip irrigation, the amount of soil salt has increased 2 tons per hectare per year. Therefore, in order to remove the salt from the root zone, the irrigation depth was increased by 20%. In this situation, despite the stability of soil salinity, the amount of irrigation water was 20% less than surface irrigation. The field measurements showed that in the drip Tape method, a part of the field surface gets wet and soil leaching is not done well. Therefore, it is recommended to leach the salt from the soil annually using the surface or sprinkler irrigation methods.

Keywords: Irrigation management, Simulation models, Soil leaching, Sustainable agriculture

1- Associated Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
2- Academic member, Agricultural Engineering Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
(*-Corresponding Author Email: akbari_m43@yahoo.com)