مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۳/ شماره ٤/سال ۱۳۹۱/ص ٤۰-۲۵

بررسی آثار زهکشی کنترل شده بر شوری خاک، مدیریت آبیاری و عملکرد نیشکر (مطالعهٔ موردی کشت و صنعت امام‌خمینی)

آرش محجوبی*، عبدعلی ناصری، عبدالرحیم هوشمند و سعید برومندنسب**

* نگارنده مسئول، نشانی: اهواز- بلوار گلستان- سازمان آب و برق خوزستان- مدیریت فنی و مهندسی، تلفن ۰۹۱۶۳۱۳۷۳۵۹، پیام‌نگار:arashmahjoobi@gmail.com

** به‌ترتیب: مدیر دفتر شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان؛ استاد؛ استادیار؛ و استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۱۸

چکیده

واحد کشت و صنعت امام‌خمینی یکی از واحدهای ده گانهٔ نیشکر در استان خوزستان است. شوری خاک اراضی این واحد به خوبی کاهش یافته و در حد تحمل گیاه قرار دارد، اما به دلیل وجود زهکش‌های زیرزمینی عمیق و مصرف زیاد آب، زهکشی در این اراضی بیش از نیاز است و سالانه حجم قابل توجهی زهاب تولید و به رودخانهٔ دز تخلیه می‌شود. این پژوهش به منظور بررسی امکان استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده و آثار آن بر کاهش مصرف آب، شوری خاک، حجم زهاب خروجی، میزان شوری زهاب و عملکرد نیشکر در دو مزرعه از این واحد اجرا شد. مزرعهٔ اول تیمار زهکشی آزاد و در مزرعهٔ دوم تیمار زهکشی کنترل شده در نظر گرفته شد. سطح ایستابی در مزرعه با تیمار زهکشی کنترل شده در ۹۰ سانتی‌متری سطح خاک نگه داشته شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین حجم آب مصرفی در تیمار زهکشی کنترل شده، حدود ۲۷ درصد و حجم زهاب خروجی حدود ۵۵ درصد، کمتر از حجم آب مصرفی و حجم زهاب تیمار زهکشی آزاد است. در مدت اجرای طرح، میزان نمک خروجی در حدود ۲٤ تن در هکتار در مزرعه با زهکشی کنترل شده کمتر در رودخانه دز تخلیه شد. عملکرد محصول نیشکر در تیمار زهکشی کنترل شده ۸/۷ درصد بیشتر به دست آمد. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده سبب صرفه‌جویی در مصرف آب، کاهش حجم زهاب خروجی، کاهش میزان شوری زهاب و مقدار نمک خروجی خواهد شد. علاوه بر این، با کاربرد این روش، کاهش بار آلودگی رودخانه و حفظ محیط‌زیست نیز امکان‌پذیر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی

خوزستان، زهاب، زهکشی کنترل شده، شوری، نیشکر

مقدمه

امروزه چنین پنداشته می‌شود که نگرش جامع به مدیریت آب و خاک و افزایش کارآیی مصرف آب، گامی مهم در تأمین امنیت غذایی است. طبق مطالعات ولتمن و جانسن (Vlotman & Jansen, 2003)، در حال حاضر بیش از ۷۰ درصد آب بازیافت شدهٔ جهان به مصرف کشاورزی می‌رسد. در آینده‌ای نزدیک، رقابتی سخت برای استفاده از آب برای مصرف در کشاورزی، شرب، صنعت و محیط زیست در خواهد گرفت. بر اساس شاخص‌های بین‌المللی، هر کشوری که بیش از ۴۰ درصد منابع آب تجدیدشونده خود را مصرف کند، وارد مرحلهٔ تنش آبی شده است. به این ترتیب، ایران با مصرف بیش از ۷۴ درصد منابع آب خود (که بیش از ۹۰ درصد آن سهم بخش کشاورزی است)، سال‌هاست از مرحلهٔ تنش آبی

Archive of SID
www.SID.ir

گذشته و به مرحلهٔ بحران آب نزدیک شده است. از این رو، کاهش حجم زهاب و حفظ کیفیت و استفادهٔ مجدد از آن به همراه افزایش راندمان آبیاری از ضروریات توسعه کشاورزی ایران به شمار می‌رود (Akram, 2004).

در حال حاضر مساحت کل سامانه‌های زهکشی زیرزمینی کشور به حدود ۲۰۰ هزار هکتار می رسد. برآورد شده است که دست‌کم طراحی و اجرای ۷۰۰ هزار هکتار دیگر نیز الزامی باشد. درصد عمده‌ای از زمین‌های زهکشی شده و زمین‌هایی که نیاز به زهکشی دارند در خوزستان قرار دارد.

به دلیل محدودیت‌های منابع آب و آثار منفی زیست‌محیطی تخلیهٔ زهاب اراضی کشاورزی به منابع پذیرنده، باید در اندیشهٔ تغییر تدریجی دیدگاه‌ها و روش‌های معمول در زهکشی بود. مدیریت سطح ایستابی، افزایش کارایی مصرف آب، کاهش حجم و بهبود کیفیت زهاب، استفادهٔ مجدد از زهاب‌ها، و اجرای روش‌های نوین زهکشی (مانند زهکشی زیستی، زهکشی خشک، و زهکشی کنترل شده) از اقدامات لازم در زهکشی است (Anon, 2010).

زهکشی کنترل شده یکی از مهم‌ترین راهکارهای رسیدن به اهداف فوق است. زهکشی کنترل شده تلفیق آبیاری و زهکشی است. با باز و بسته کردن خروجی زهکش، می‌توان سطح آب را در داخل خاک در حدی مطلوب حفظ کرد به طوری‌که گیاه بتواند به کمک نیروی موییننه‌ای از آب استفاده کند و در عین حال، آسیبی از نظر ماندابی شدن به گیاه وارد نشود. زهکشی کنترل شده می‌تواند نقشی مهم در حفظ آب، بالابردن راندمان آبیاری، حفظ موادغذایی خاک، و حفظ کیفیت آب پایین‌دست داشته باشد (Akram *et al.*, 2008).

تا کنون در خصوص امکان استفاده از زهکشی کنترل شده و وجود پتانسیل استفاده گیاه از آب زیرزمینی کم‌عمق در مناطق خشک و نیمه‌خشک بررسی‌های زیادی شده است. مروری بر مطالعات آیارز و همکاران (Ayars *et al.*, 1999)، نشان می‌دهد که در اکثر گیاهان، پتانسیل استفاده از آب زیرزمینی کم‌عمق وجود دارد. از نتایج مهم این تحقیق، لزوم استفاده ترکیبی از سیستم‌های آبیاری و زهکش‌های زیرزمینی به عنوان راهکارهایی در مدیریت کنترل زهکش‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با در نظر گرفتن مدیریت در شوری خاک، است.

در مصر تحقیقی در خصوص تأثیرات زهکشی کنترل شده بر کیفیت آب خروجی زهکش‌ها انجام شد. محصولات کشت شده شامل ذرت و گندم بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میزان خروجی کل زهکش‌های کنترل شده در فصل تابستان ۶۸ درصد و در فصل زمستان ۲۸ درصد نسبت به زهکشی آزاد، کاهش یافته است (Wahba *et al.*, 2005).

در تحقیقی در لیتوانی در یک خاک شنی‌لوم، اثر زهکشی کنترل شده در مدت ۸ سال (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که در زهکشی کنترل شده، مدت‌زمان استمرار خروج سالیانه زهاب از زهکش‌ها در حدود ۴۰ تا ۶۲ درصد کوتاه‌تر از زمان استمرار خروج سالیانهٔ زهاب از تیمار زهکشی آزاد بود. علاوه بر این در زهکشی کنترل شده مقدار خروجی زهاب حدود ۲۵ درصد کاهش و میزان عملکرد محصولات (گندم و جو) از ۵/۶ تا ۱۰ درصد افزایش نشان داد (Ramoska *et al.*, 2011).

وردی‌نژاد و همکاران (Verdinejad *et al.*, 2008) مطالعه‌ای در خصوص تأثیر زهکشی کنترل شده بر کاهش تأثیرات زیست‌محیطی در اراضی کشاورزی شهرستان بهشهر انجام دادند. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین عمق سطح ایستابی جهت برداشت‌حداکثر محصول (جو) و به حداقل رساندن تأثیرات زیست‌محیطی، تثبیت سطح ایستابی در عمق ۰/۷۵ متری است.

Archive of SID

www.SID.ir

اسمعیل‌نیا و همکاران (Esmaeelnia *et al*., 2005) تحقیقی در خصوص مدیریت سطح ایستابی در ۱۲ لایسیمتر در کرج روی گیاه گوجه‌فرنگی انجام دادند. در این پژوهش سه تیمار شامل زهکشی آزاد، زهکشی کنترل شده، و آبیاری زیرزمینی در چهار تکرار مد نظر قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد میزان آب مصرفی در آبیاری زیرزمینی نصف دو تیمار دیگر و تجمع شوری و توزیع نمک در هر سه تیمار حدوداً نزدیک به هم بود. مقدار محصول در تیمار کنترل شده در زهکشی آزاد و آبیاری زیرزمینی، به ترتیب ۷۳ و ۱۲ درصد بیشتر از مقدار محصول بود.

نوری و همکاران (Noory *et al*., 2008) تحقیقی در خصوص تأثیر مدیریت سطح ایستابی و آبیاری زیرزمینی روی عملکرد یونجه و کیفیت آب خروجی زهکش‌های زیرزمینی در لایسیمتر در کرج انجام دادند. در این مطالعه، چهار تیمار مورد مقایسه قرار گرفت: سه تیمار آبیاری زیرزمینی با تثبیت عمق سطح ایستابی در ۳۰، ۵۰، و ۷۰ سانتی‌متری سطح زمین و یک تیمار زهکشی آزاد در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری. نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که غلظت نیترات در لایسیمترهای با آبیاری زیرزمینی نسبت به لایسیمترهای با زهکشی آزاد به طور معنی‌داری کاهش یافته است و میانگین غلظت نیترات در خروجی زهکش در سیستم کنترل شده نسبت به سیستم آزاد در حدود ۸۵ درصد کاهش داشته است. در ضمن میانگین هدایت الکتریکی آب زهکش در زهکشی کنترل شده کمتر از سیستم آزاد بود. اختلاف معنی‌داری در غلظت فسفر در دو تیمار مشاهده نشد. میزان متوسط مادهٔ خشک در آبیاری زیرزمینی نسبت به زهکشی آزاد بین ۷۰ تا ۸۰ درصد افزایش نشان داد.

در خصوص مشارکت سطح ایستابی در تأمین تبخیر و تعرق نیشکر نیز مطالعات محدودی انجام شده است. در هند در یک خاک لوم‌شنی، وجود سطح ایستابی در عمق یک متری سبب تأمین ۶۵ درصد از تبخیر و تعرق نیشکر شده است (Hunsigi & Srivastava, 1977). در پژوهش دیگری در هند مشارکت آب زیرزمینی در تأمین تبخیر و تعرق پتانسیل (ETp) نیشکر برای اعماق سطح ایستابی ۰/۲، ۰/۴، و ۰/۶ متری در یک خاک لوم شنی و در طول تابستان به ترتیب ۹۱، ۸۶، و ۵۵ درصد بوده است. این تحقیق نشان می‌دهد که عملکرد محصول نیشکر زمانی که سطح ایستابی در عمق ۰/۲ متری بود به طور معنی‌داری کاهش یافته است (Gupta & Yadav, 1993).

بر اساس نتایج هارست و همکاران (Hurst *et al*., 2004)، هنگامی که سطح ایستابی از ۱/۵ متری سطح خاک پایین‌تر نباشد، گیاه نیشکر قادر به استفاده از منابع آب زیرزمینی خواهد بود. بررسی میزان جریان رو به بالا از سطح ایستابی پایین‌تر از ۱/۵ متر و مقدار مشارکت در تأمین نیازهای آبی گیاه، نیازمند تحقیقات دقیق‌تر و کامل‌تری است.

نتایج تحقیقی دیگر در خصوص امکان استفاده گیاه نیشکر از آب زیرزمینی کم‌عمق و با کیفیت مناسب در استرالیا نشان می‌دهد در مناطقی که سطح آب زیرزمینی حدود یک متری سطح زمین قرار دارد نیازی به آبیاری تکمیلی نیشکر نیست. همچنین پتانسیل مناسبی جهت کاهش میزان آبیاری و افزایش راندمان کاربرد آب در حضور آب زیرزمینی کم‌عمق با کیفیت مناسب وجود دارد (Hurst *et al*., 2004).

مرور نتایج حاصل از این تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از سیستم‌های زهکشی کنترل شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک امکان‌پذیر است و اجرای آن فوائد زیادی در بر خواهد داشت. بسته به شرایط آب و هوا، خاک و نوع گیاه، تأثیر زهکشی کنترل شده بر روی میزان کاهش مصرف آب، تغییرات شوری خاک، و عملکرد محصول متفاوت است و اجرائی کردن این سیستم مستلزم تحقیقات کامل خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir

به نظر می‌رسد در طرح‌های نیشکر، کلیهٔ شرایط لازم برای اجرای زهکشی کنترل شده مهیا باشد. زمین نسبتاً مسطح است، روش آبیاری سطحی رایج است، و در طول هر خط زهکش تنها یک محصول یعنی نیشکر کشت می‌شود. علاوه بر این، نیشکر ریشه‌ای سطحی دارد و چنانچه حالت ماندابی طولانی‌مدت نباشد، به نظر نمی‌رسد که گیاه از آن آسیب ببیند (Akram *et al.*, 2008).

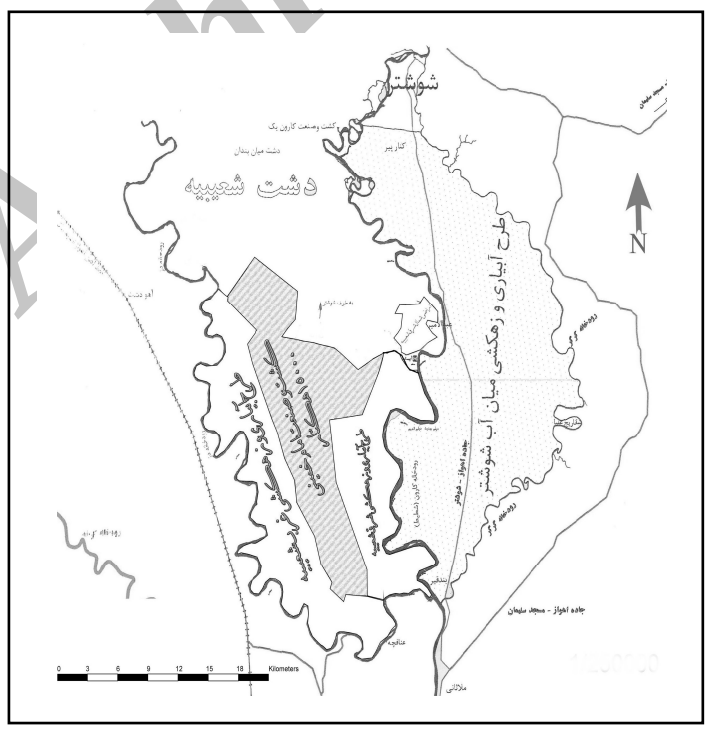
هدف از اجرای این تحقیق، کاربرد زهکشی کنترل شده در مزارع نیشکر کشت و صنعت امام‌خمینی و تأثیر آن بر میزان صرفه‌جویی در مصرف آب، تغییرات شوری خاک، کاهش حجم آب زهکشی، کاهش میزان نمک خروجی، و میزان عملکرد نیشکر است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های محدوده مورد مطالعه

این تحقیق در واحد امام‌خمینی، یکی از واحدهای ده‌گانهٔ کشت و صنعت نیشکر اجرا شد. منطقهٔ مورد مطالعه بخشی از دشت شعیبیه در خوزستان به مساحت ناخالص ۱۵۸۰۰ هکتار است که در ۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان شوشتر و ۵۰ کیلومتری شمال اهواز قرار دارد (شکل۱). اراضی این واحد به قطعات منظم ۲۰ و ۲۵ هکتاری (۸۰۰ ×۲۵۰) و (۱۰۰۰×۲۵۰) تقسیم شده است و مجموعا ۴۸۰ مزرعه دارد. این تحقیق در دو مزرعه به نام‌های B1-115 و B1-129 هر کدام به مساحت حدود ۲۰ هکتار اجرا شد.

این منطقه جزء اقلیم خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود. متوسط دمای سالیانه ۲۴/۳ درجه سلسیوس، دمای حداقل و حداکثر مطلق به ترتیب ۷- و ۵۲/۵ درجه سلسیوس است. میزان متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۶۶ و مقدار تبخیر سالیانه حدود ۲۷۸۸ میلی‌متر است. بافت خاک مزارع، سیلتی کلی لوم تا کلی لوم، میانگین هدایت هیدرولیکی ۱/۵ متر در روز، متوسط شوری آب آبیاری ۱/۴ و شوری آب زیرزمینی ۵ دسی‌زیمنس بر متر است.



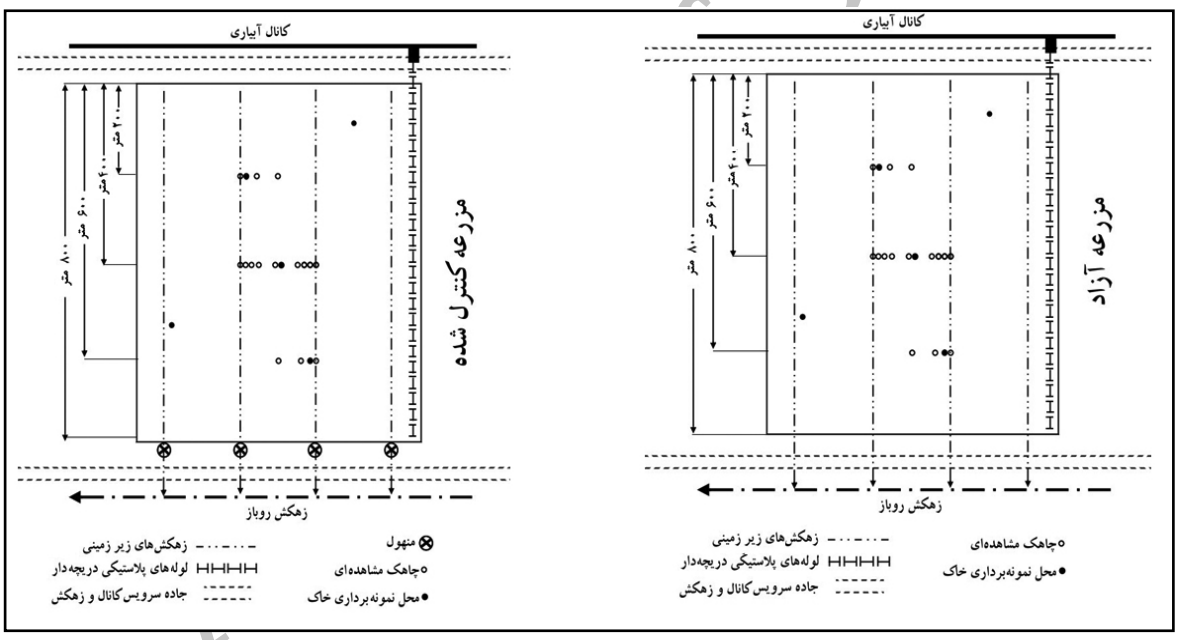
شکل ۱- موقعیت اراضی کشت و صنعت امام‌خمینی در شعیبیه خوزستان.

www.SID.ir

سیمای شبکهٔ آبیاری و زهکشی

آب اراضی مورد نظر از طریق ایستگاه پمپاژ احداث شده روی رودخانهٔ دز به کانال اصلی و از آن‌جا به کانال درجه ۲ و سپس به آبگیرهای مزارع انتقال داده می‌شود. در ابتدای هر مزرعه یک آبگیر وجود دارد که آب را از کانال درجه ۲ دریافت و از آن‌جا به لولهٔ پلاستیکی دریچه‌دار انتقال می‌دهد. لولهٔ پلاستیکی هر مزرعه در طول مزرعه قرار دارد و آب از دریچه‌های نصب شده روی لوله به داخل فاروها هدایت می‌شود. زهکش‌های زیرزمینی نیز در طول مزرعه و به موازات لوله‌های دریچه‌دار پلاستیکی نصب شده‌اند و زهاب را مستقیما به زهکش روباز جمع‌کننده واقع در پایین مزرعه تخلیه می‌کنند (شکل ۲). زهاب تولیدی را زهکش‌های جمع‌کننده مزارع، ابتدا به زهکش درجه یک، پس از آن به زهکش اصلی طرح و سپس از طریق ایستگاه پمپاژ به رودخانهٔ دز تخلیه می‌کنند.

فاصلهٔ زهکش‌های زیرزمینی در هر دو مزرعه ۷۰ متر، عمق نصب آن‌ها به طور متوسط ۲ متر، قطر آن‌ها از ۱۲۵ تا ۱۶۰ میلی‌متر، و شیب طولی آن‌ها ۰/۰۰۰۷ است. جنس لوله‌ها PVC موج‌دار و پوشش دور آن‌ها از نوع شن و ماسه است.



شکل ۲- نقشه شماتیک از سیمای شبکه آبیاری و زهکشی و تجهیز مزرعه آزاد و کنترل شده.

کنترل سطح آب زیرزمینی

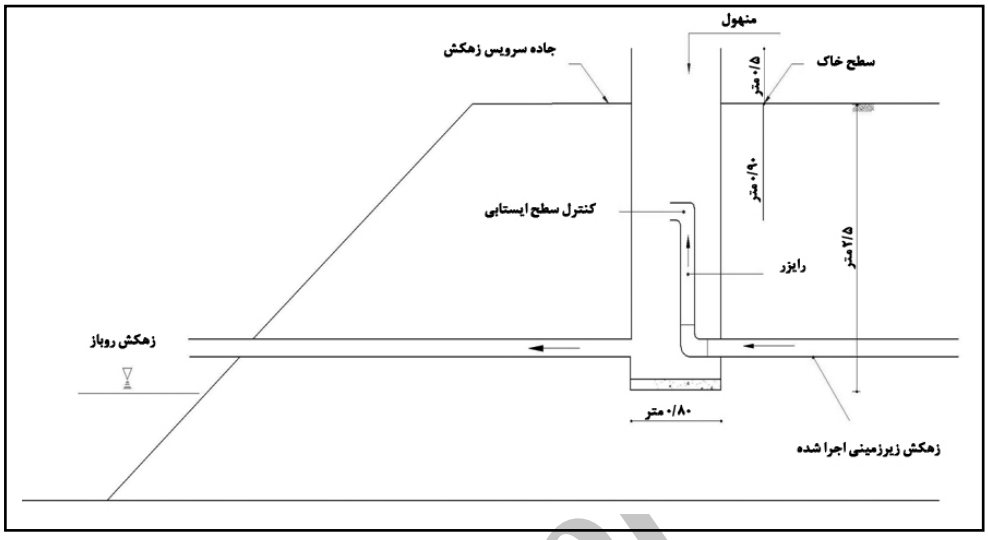
به دلیل تخلیهٔ مستقیم زهکش‌های زیرزمینی به زهکش‌های سطحی روباز، امکان کنترل مناسب سطح ایستابی بدون احداث سازه منهول وجود ندارد. بدین‌منظور ۴ عدد منهول از جنس پلی‌اتیلن با قطر ۸۰۰ میلی‌متر تهیه و در انتهای مزرعهٔ کنترل شده و قبل از جادهٔ دسترسی واقع در پایین مزرعه، نصب شد (شکل ۲). سطح آب زیرزمینی در عمق دلخواه با نصب یک عدد رایزر در داخل منهول تثبیت شد. لولهٔ رایزر از جنس PVC و قطر آن ۱۶۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۳).

چاهک‌های مشاهده‌ای

برای اندازه‌گیری رقوم سطح ایستابی و بررسی نوسانات آن در طول دورهٔ تحقیق و نمونه‌برداری از آب زیرزمینی برای تعیین میزان شوری آن، ۱۵ حلقه

www.SID.ir

چاهک مشاهده‌ای (سه ردیف) به فواصل ۲۰۰، ۴۰۰، و ۶۰۰ متر از کانال در طول مزرعه و نیز به صورت عرضی بین دو زهکش میانی، به ترتیب روی زهکش و در فواصل ۰/۸، ۲، ۵، و ۳۵ متری بین زهکش‌های زیرزمینی در هر مزرعه حفر شد. در شکل ۲، محل چاهک‌های مشاهده‌ای مشخص شده است.



شکل ۳- تجهیزات کنترل سطح ایستابی در داخل منهول.

عملیات کشاورزی

در اواخر مردادماه سال ۱۳۸۹ نیشکر به روش قلمه‌زنی کشت شد (کشت پلانت). واریته هر دو تیمار cp-48-103 بود. فاصلهٔ فاروها از یکدیگر ۱۸۵ سانتی‌متر، طول آن‌ها ۲۵۰ متر، و روش آبیاری به صورت سطحی و نشتی ته‌بسته بود. با توجه به مساحت مزارع، هر مزرعه به ۱۱ باند آبیاری تقسیم شد. مدت‌زمان یک دور کامل آبیاری هر مزرعه معمولاً ۴ تا ۵ روز طول می‌کشید.

پس از کشت نیشکر، آبیاری اراضی شروع و تا ابتدای فصل بارندگی و قطع آب، ۸ نوبت آبیاری اجرا شد. برای جلوگیری از تجمع نمک در سطح خاک و ایجاد شرایط مناسب جوانه‌زنی، زهکشی اراضی در این مدت در هر دو مزرعه به صورت آزاد بود. با اتمام فصل بارندگی، از اواسط فروردین سال ۱۳۹۰ آبیاری بار دیگر شروع شد و تا اواخر مهرماه همان سال (زمان قطع آبیاری و شروع برداشت نیشکر) ادامه داشت. از فروردین‌ماه که ارتفاع نیشکر به حدود ۰/۵ متر رسیده و آبیاری مجددا آغاز شده بود، برنامهٔ زهکشی کنترل شده اجرا شد. اندازه‌گیری میزان آب مصرفی، زهاب خروجی، و نمونه‌برداری از خاک و زهاب در مزارع نیز از این تاریخ شروع و تا زمان قطع آبیاری ادامه داشت. کلیهٔ عملیات خاک‌ورزی، آماده‌سازی زمین، و میزان کود مصرفی از زمان کاشت تا برداشت در هر دو تیمار مشابه بود.

جمع‌آوری داده‌ها

سطح ایستابی در کلیهٔ چاهک‌های مشاهده‌ای در هر دو مزرعه روزانه اندازه‌گیری شد. میزان آب ورودی به هر مزرعه به روش حجمی و با استفاده از زمان‌سنج و ظرف مدرج تعیین شد. میزان خروجی زهکش‌های زیرزمینی از کلیهٔ زهکش‌ها نیز با استفاده از روش حجمی و روزانه اندازه‌گیری گردید. از آب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی دو نوبت در هفته نمونه‌گیری و نمونه‌ها جهت تعیین شوری به آزمایشگاه ارسال شد. به منظور تعیین درصد رطوبت ظرفیت مزرعه و همچنین نقطهٔ پژمردگی، در دو محل از مزرعه از خاک نمونه‌برداری شد. برای

Archive of SID
www.SID.ir

تعیین رطوبت خاک و تشخیص زمان آبیاری در مزرعهٔ کنترل شده با استفاده از اوگر دستی از اعماق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک، قبل از شروع آبیاری نمونه‌برداری انجام شد. همچنین جهت تعیین شوری، در محل‌های تعیین شده به شکل (w) یک نوبت قبل از کاشت نیشکر (مرداد ۸۹) و با شروع تحقیق، ماهانه از فروردین ۹۰ تا پایان فصل آبیاری و شروع فصل برداشت، یعنی اواخر مهر ماه ۹۰، از خاک نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک با تناوب‌های ۳۰ سانتی‌متری و تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت و شوری آن‌ها به روش اندازه‌گیری عصارهٔ اشباع به دست آمد.

برای تعیین عملکرد نیشکر از روش ۵۰۰ ساقه استفاده شد. در این روش، پس از استقرار وسائل و نیروها در مزرعهٔ مورد نظر، از هر مزرعه ۵ ایستگاه به شکل (W) در عمق ۳۰ متری مزرعه به طول ۵ متر از فارو انتخاب و تعداد ساقه‌ها، وزن ساقه‌ها، میانگین ارتفاع و قطر ساقه‌ها، و طول میان‌گره وسط ساقه اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری‌های مورد نظر، ۲۰ نی به طور تصادفی جهت کنترل و اندازه‌گیری پارامترهای کیفی نیشکر انتخاب شد. در ابتدا، نی‌ها تمیز و وزن شدند و پس از آسیاب شدن، شهد آن‌ها استخراج و وزن شد. از شهد به دست آمده با دستگاه رفراکتومتر، درصد مادهٔ جامد انحلال‌پذیر(Brix) به دست آمد. میزان قند موجود در عصاره، معروف به پل (POL) با دستگاه ساکارومتر اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری میزان پل و بریکس شربت، درجهٔ خلوص شربت (pty) و درصد شکر قابل استخراج (RS) محاسبه شد.

نتایج و بحث

نوسانات سطح ایستابی

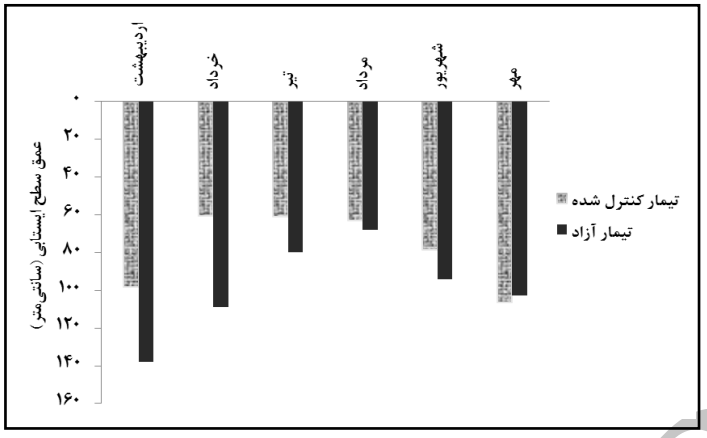
میانگین عمق سطح ایستابی در هر دو تیمار در ماه‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، سطح آب زیرزمینی در مزارع تحت زهکشی کنترل شده، در مقایسه با زهکشی آزاد، به طور معنی‌داری بالاتر قرار گرفته است. حداکثر و حداقل سطح ایستابی در تیمار زهکشی کنترل شده برابر با ۱۱۲/۵ و ۵۳/۷ سانتی‌متر به ترتیب در مهر و مرداد و میانگین سطح ایستابی در کل دوره برابر با ۷۶/۵ سانتی‌متر بود. در تیمار زهکشی آزاد این اعداد برابر با ۱۳۷/۹ و ۷۶/۶ سانتی‌متر به ترتیب در اردیبهشت و مردادماه اندازه‌گیری شد. میانگین رقوم سطح ایستابی نیز در طول دوره برابر با ۹۸/۸ سانتی‌متر به دست آمد.

مشاهده شد که سطح ایستابی در مردادماه در هر دو تیمار در فاصلهٔ کمی از سطح زمین قرار دارد. این موضوع به دلیل کوتاه شدن دور آبیاری در مزارع (۵ روز) در این ماه است که علاوه بر مزرعهٔ کنترل شده در مزرعهٔ آزاد نیز فرصت تخلیهٔ آب‌های نفوذ یافته از آبیاری در بازه بین دو آبیاری فراهم نشده و همین موضوع سبب بالا آمدن سطح ایستابی شده است. بر عکس، پایین‌تر رفتن سطح ایستابی از رقوم سطح کنترلی در ماه‌های مهر و اردیبهشت در تیمار کنترل شده، عمدتاً به دلیل زیاد شدن فاصلهٔ بین دو آبیاری در این ماه‌ها و فراهم شدن فرصت تخلیهٔ بخشی از زهاب به صورت طبیعی از اراضی است.

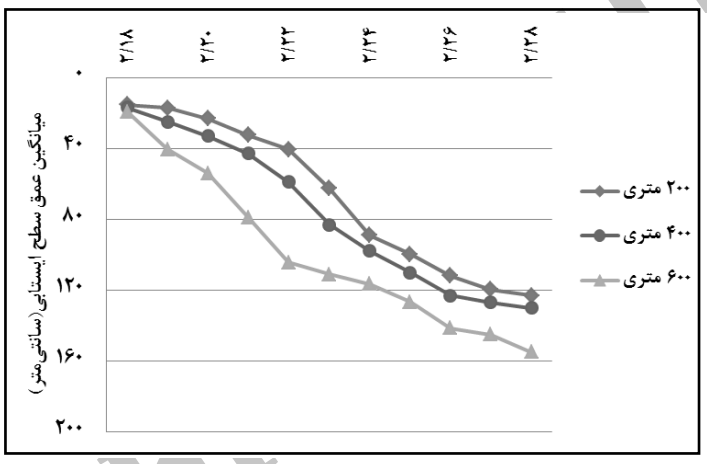
شکل‌های ۵ و ۶، متوسط تغییرات سطح ایستابی در اردیبهشت‌ماه را در فاصلهٔ بین دو آبیاری به ترتیب برای تیمار کنترل شده و آزاد در فواصل ۲۰۰، ۴۰۰، و ۶۰۰ متری کانال نشان می‌دهند. با مقایسهٔ این دو شکل دو نکته روشن می‌شود اول این‌که در تیمار آزاد هر چند فاصلهٔ بین دو آبیاری کوتاه‌تر از فاصلهٔ بین دو آبیاری در تیمار کنترل شده است، سطح ایستابی در مزرعهٔ آزاد نسبت به سطح ایستابی در مزرعهٔ با زهکشی کنترل شده پائین‌تر است. دوم این‌که با نزدیک‌تر شدن به زهکش روباز، سطح ایستابی پایین‌تر می رود. دلیل اصلی این موضوع ایجاد شیب هیدرولیکی سطح ایستابی جهت تخلیه به زهکش روباز است.

Archive of SID

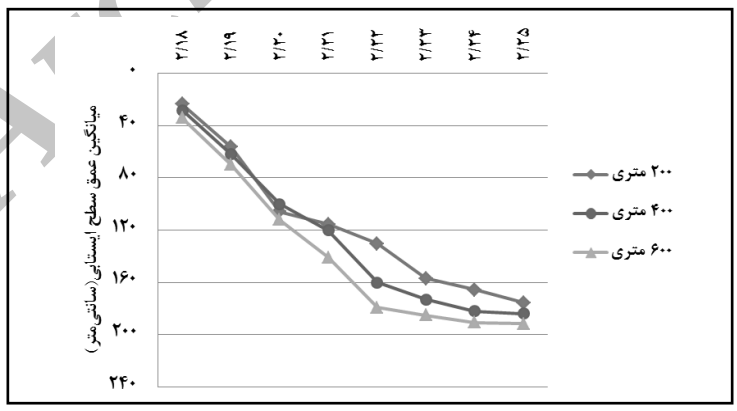
www.SID.ir



شکل ٤- میانگین سطح ایستابی در دو تیمار کنترل شده و آزاد.



شکل ۵- میانگین سطح ایستابی در فواصل مختلف در اردیبهشت (تیمار کنترل شده).



شکل ٦- میانگین سطح ایستابی در فواصل مختلف در اردیبهشت (تیمار آزاد).

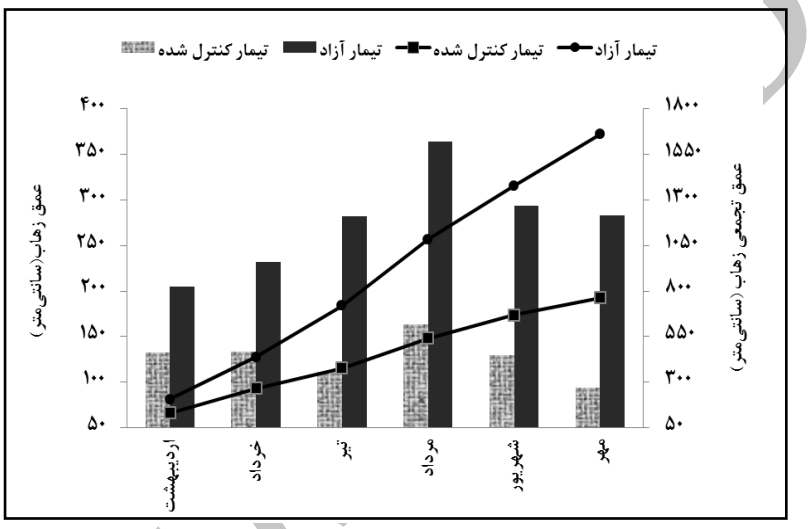
ضریب زهکشی و حجم آب خروجی زهکش‌ها

عمق زهاب خروجی در ماه‌های مختلف در تیمار زهکشی کنترل شده و زهکشی آزاد در شکل ۷ نشان داده شده است. تفاوت چشمگیر در خروجی زهکشی در هر دو سیستم مشاهده می‌شود. استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده سبب شده است تا حجم آب خروجی در این مدت در

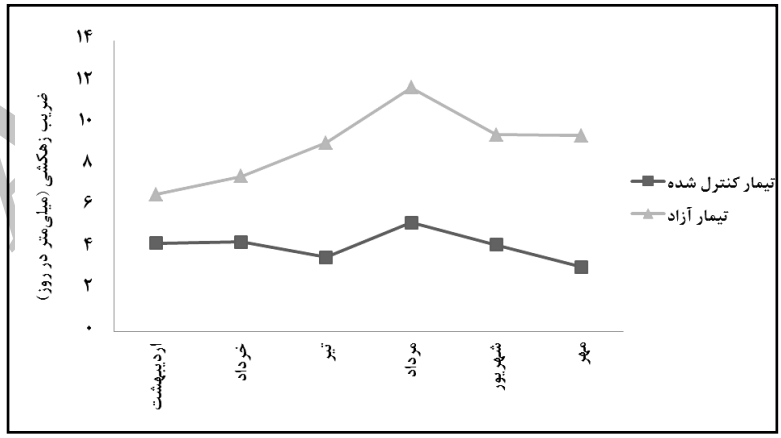
www.SID.ir

حدود ۵۵ درصد نسبت به حجم آب خروجی از سیستم آزاد کاهش یابد. میانگین ضریب زهکشی ماهانه هر دو تیمار در دورهٔ تحقیق در شکل ۸ نشان داده شده است.

کاهش ضریب زهکشی در زهکش کنترل شده در همهٔ ماه‌ها نسبت به تیمار آزاد قابل توجه است. میانگین ضریب زهکشی در تیمار کنترل شده ۴/۱۲ و در تیمار زهکشی آزاد ۸/۹۸ میلی‌متر در روز است. حداقل میانگین ضریب زهکشی ماهانه مربوط به تیمار زهکشی کنترل شده و برابر با ۳/۱۲ میلی‌متر در روز در مهرماه و حداکثر آن در تیمار زهکشی آزاد و برابر با ۱۱/۷۶ میلی‌متر در روز و در مردادماه دیده می‌شود. میزان ضریب زهکشی در تیمار کنترل شده در فصل بهار (اردیبهشت و خرداد)، ۳۹ درصد، در تابستان (تیر، مرداد و شهریور)، ۵۷ درصد و در مهرماه ۶۷ درصد نسبت به ضریب زهکشی در سیستم زهکشی آزاد کاهش نشان می‌دهد.



شکل ۷- میزان کل خروجی زهاب ماهانه از مزارع تیمار کنترل شده و آزاد.



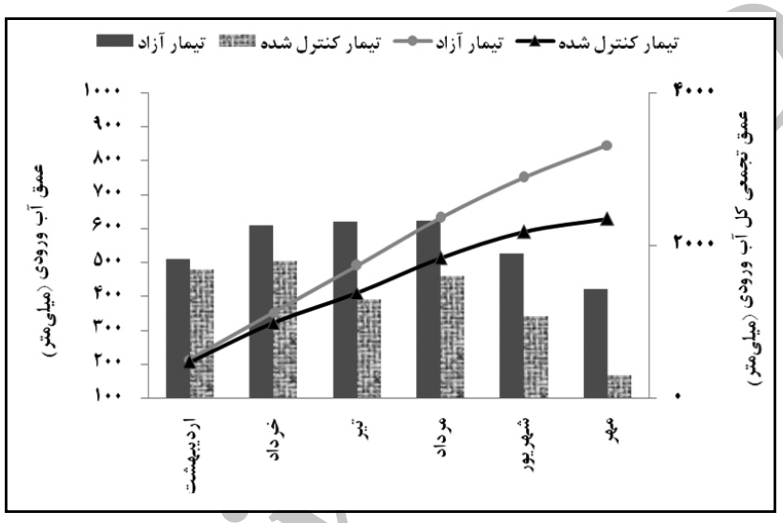
شکل ۸ - ضریب زهکشی در ماه‌های مختلف در مزارع تیمار کنترل شده و آزاد.

میزان آب مصرفی

زمان آبیاری در مزرعهٔ کنترل شده با اندازه‌گیری رطوبت خاک مشخص می‌شد. در تیمار شاهد زمان آبیاری را کارشناسان بخش تحقیقات آن مرکز و با روش اندازه‌گیری رطوبت غلاف برگ تعیین می‌کردند. شکل ۹ میزان آب مصرفی ماهانه در هر دو مزرعه را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

در کلیهٔ ماه‌ها، میزان مصرف آب آبیاری در تیمار کنترل شده کمتر از تیمار زهکشی آزاد است. میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهرماه به ترتیب برابر با ۶، ۱۷، ۳۷، ۲۶، ۱۷، و ۶۳ درصد و میزان متوسط صرفه‌جویی در کل دوره در مزرعه کنترل شده در حدود ۲۷ درصد است. با کنترل و نگهداشت سطح ایستابی در مزرعهٔ کنترل شده امکان استفاده از خیز مویینگی توسط گیاه فراهم می‌شود و گیاه بخشی از نیاز تبخیر و تعرق خود را مستقیماً از رطوبت خاک تأمین می‌کند. در واقع، آب زیرزمینی کم‌عمق به جای این‌که از سیستم زهکشی تخلیه شود جایگزین آبیاری شده است. یادآوری می‌شود که بخشی از صرفه‌جویی در مصرف آب، مربوط به اعمال مدیریت آبیاری در مزرعهٔ کنترل شده است.



شکل ۹- میزان آب ورودی ماهانه و تجمعی به مزرعه در دو تیمار کنترل شده و آزاد.

شوری زهاب خروجی

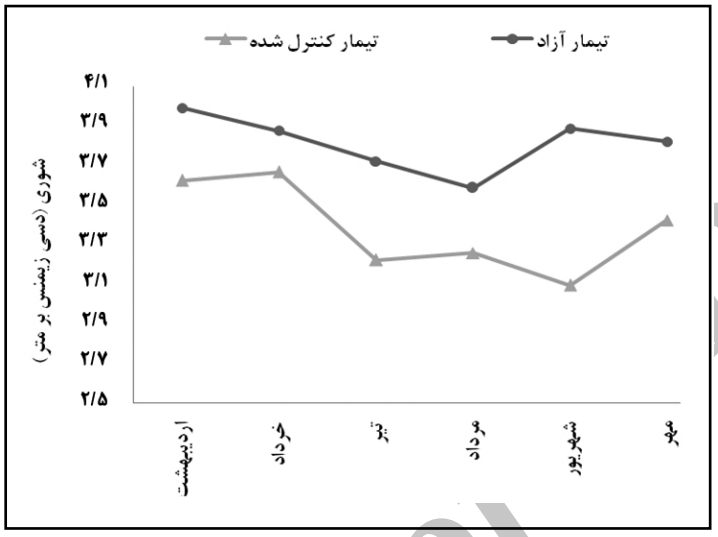
میزان شوری زهاب خروجی در مزرعهٔ کنترل شده در تمام دورهٔ آزمایش کمتر از شوری زهاب در زهکشی آزاد است (شکل ۱۰)، دلیل این موضوع، کاهش سهم جریان عمودی و شعاعی ورودی زهاب به زهکش‌های زیرزمینی در سیستم زهکشی کنترل شده است. به این ترتیب که چون بر اساس اندازه‌گیری‌ها، شوری آب زیرزمینی پیزومترهایی که در اعماق ۱ تا ۵ متری در دو مزرعه احداث شده بود، نشان داد که شوری آب زیرزمینی لایه‌های پایینی خاک (۴ و ۵ متر) نسبت به شوری لایه‌های کم‌عمق‌تر، بیشتر است، از این‌رو کاهش میزان ورودی زهاب از لایه‌های زیرین خاک به زهکش‌های زیرزمینی در سیستم زهکشی کنترل شده، به بهبود کیفیت زهاب خروجی از تیمار کنترل شده می‌انجامد.

حداقل میزان شوری زهاب خروجی در هر دو تیمار مربوط به ماه‌های تیر، مرداد و شهریور بود که مصادف با مصرف آب آبیاری بیشتر است. معمولا در ماه‌هایی که آب مصرفی نیشکر زیاد است و میزان آب آبیاری در مزارع افزایش می‌یابد، حجم زهاب خروجی افزایش و شوری آن کاهش می‌یابد. بررسی اطلاعات مربوط به شوری زهاب خروجی در سایر واحدهای نیشکر نیز موید این موضوع است و نشان می‌دهد که در ماه‌هایی که حجم آب آبیاری بیشتر بوده شوری زهاب خروجی مزارع کمتر از سایر ماه‌ها است.

اختلاف میزان شوری زهاب خروجی دو مزرعه کنترل شده و آزاد قابل توجه به نظر نمی‌رسد (گذشت بیش از ۱۵ سال از زمان بهره‌برداری طرح و وجود زهکش‌های زیرزمینی عمیق سبب ایجاد تعادل نسبی خوبی در شوری

www.SID.ir

خاک و بهبود کیفیت آب زیرزمینی گردیده)، اما به دلیل حجم زیاد زهاب تولید شده در تیمار آزاد، استفاده از زهکشی کنترل شده کاهش میزان نمک خروجی را از تیمار کنترل شده به شکلی چشمگیر کاهش داده است. جدول ۱، میانگین میزان نمک خروجی را در هر دو تیمار در طول دورهٔ تحقیق نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- میزان شوری زهاب خروجی تیمارهای کنترل شده و آزاد.

جدول ۱- عمق زهاب، متوسط شوری زهاب، و میزان نمک خروجی در تیمار کنترل شده و آزاد در دورهٔ تحقیق

تیمار	عمق زهاب (میلی‌متر)	متوسط شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	نمک خروجی (تن در هکتار)
کنترل شده	۷۶۳	۳/۴	۱۶/۵
آزاد	۱۶۶۱	۳/۸	۴۰/۵

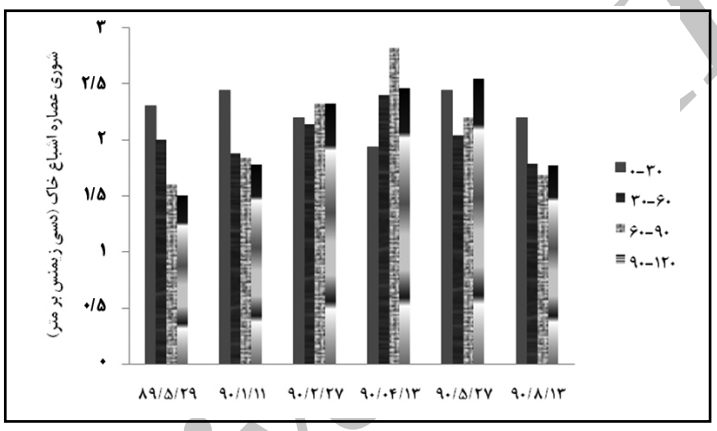
شوری خاک

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که در مزرعهٔ کنترل شده در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری، تغییر قابل توجهی در میزان شوری خاک ایجاد نشده است. در اعماق ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی‌متری به دلیل کنترل سطح ایستابی و محدود کردن ورود آب آبیاری نفوذ یافته به اعماق پایین‌تر، شستشوی املاح خاک در این اعماق محدود شده است و میزان شوری خاک در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد مقداری افزایش می‌یابد. با کاهش نیاز آبی گیاه در اواخر تابستان و افزایش فاصلهٔ آبیاری، سطح ایستابی پایین می‌رود و به دلیل فراهم شدن امکان شستشوی املاح، شوری خاک در انتهای دوره مقداری کاهش می‌یابد. طولانی بودن دورهٔ آبیاری گیاه نیشکر (۸ ماه در سال) و حجم آب مورد نیاز بالای این گیاه سبب جلوگیری از صعود کاپیلاری و تجمع نمک در لایه‌های سطحی خاک شده است. چنانچه در نمودار مشخص است، با افزایش این میزان شوری جزئی در عمق ۶۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری خاک، باز هم شوری در محدوده‌ای مناسب جهت رشد نیشکر قرار دارد. ضمن این‌که بر اساس تحقیقات انجام شده (Golabi, 2009)، تجمع ریشه تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک است و پس از آن فقط ریشه‌های طنابی وجود دارند. یادآوری می‌شود که حتی

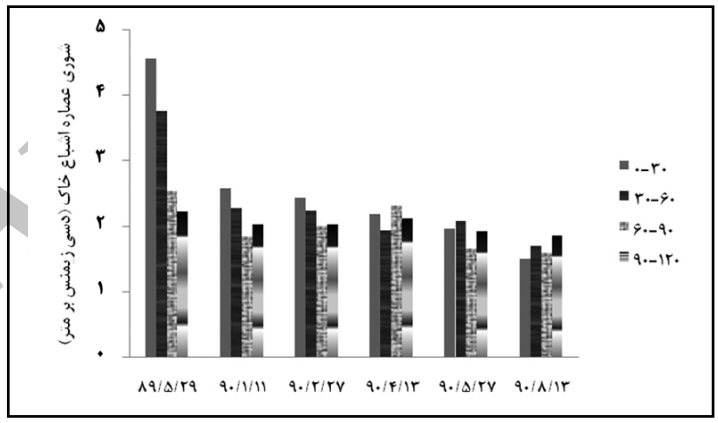
www.SID.ir

چنانچه شوری خاک در انتهای فصل بیش از حد تحمل گیاه باشد، می‌توان در فصل زمستان با یک یا دو آبیاری اضافی و تغییر سیستم زهکشی کنترل شده به سیستم آزاد، شوری خاک را کاهش داد.

بر اساس شکل ۱۲، در تیمار زهکشی آزاد در همهٔ عمق‌ها (صفر تا ۱۲۰ سانتی‌متری) میزان شوری خاک کاهش یافته است. نکتهٔ قابل ذکر در این نمودار این است که بخش قابل توجه کاهش شوری خاک در تیمار آزاد مربوط به تفاوت شوری خاک قبل از کاشت نیشکر (مرداد ۸۹) تا ابتدای دوره تحقیق در فروردین‌ماه ۹۰ است (میزان شوری زیاد خاک در اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ قبل از کشت نیشکر احتمالا به دلیل آیش ماندن زمین جهت کشت جدید بوده است). اما در طول دورهٔ تحقیق (فروردین تا آبان‌ماه ۹۰)، میزان کاهش شوری خاک قابل توجه نبود.



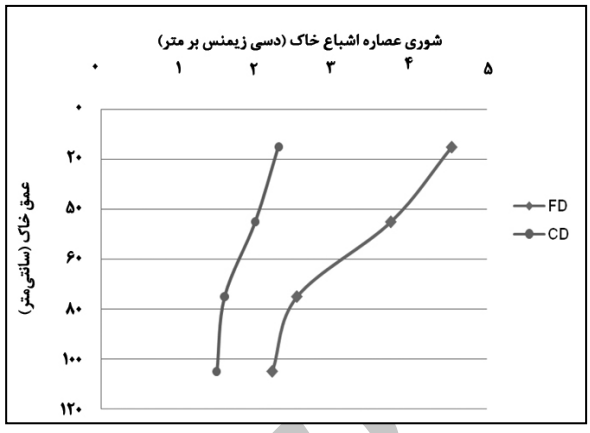
شکل ۱۱- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در مزرعه کنترل شده.



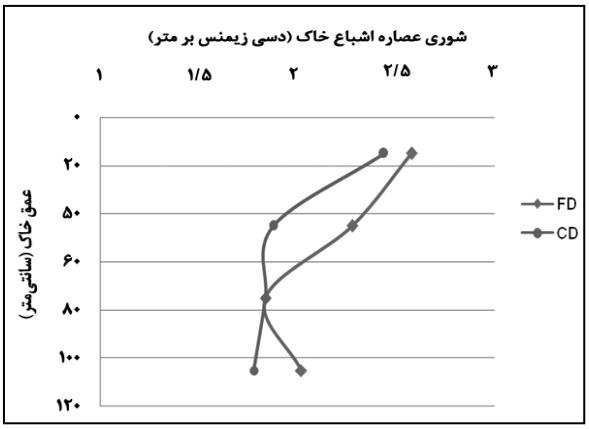
شکل ۱۲- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در مزرعه زهکشی آزاد.

برای مقایسهٔ بهتر تغییرات شوری عمق‌های مختلف خاک در دو تیمار، شکل‌های ۱۳ تا ۱۹ نیز ترسیم شده‌اند، مشاهده می‌شود که از ابتدای شروع تحقیق (فروردین ۹۰) تا قبل از برداشت نیشکر (آبان ۹۰)، میزان شوری خاک در اعماق مختلف در تیمار کنترل شده (CD) در مقایسه با تیمار آزاد (FD)، افزایش چندانی ندارد و میزان شوری در محدوده‌ای مناسب برای رشد نیشکر است.

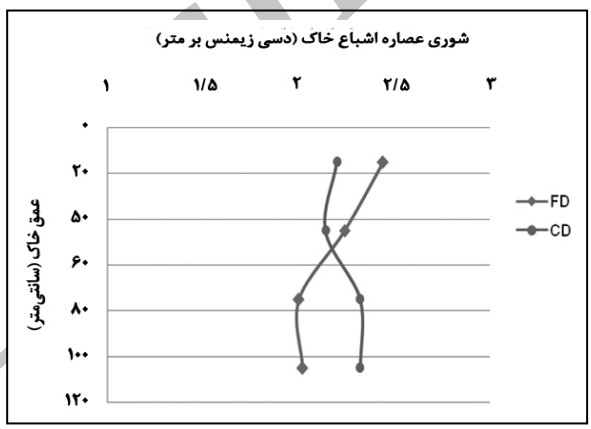
www.SID.ir



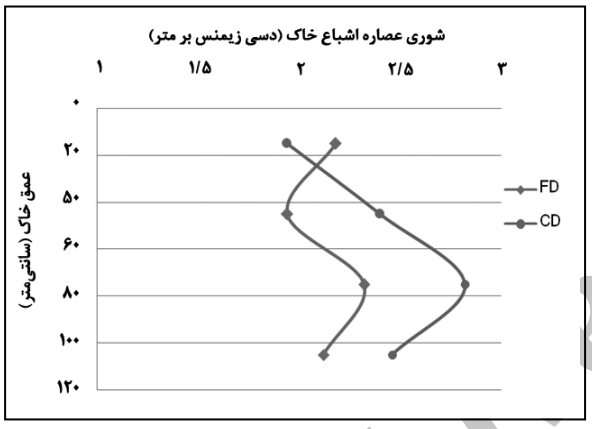
شکل ۱۳- تغییرات شوری خاک نسبت به عمق (مرداد ۸۹).



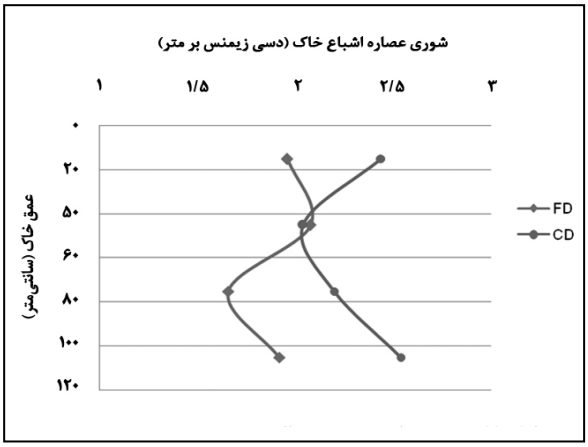
شکل ۱٤- تغییرات شوری خاک نسبت به عمق (فروردین ۹۰).



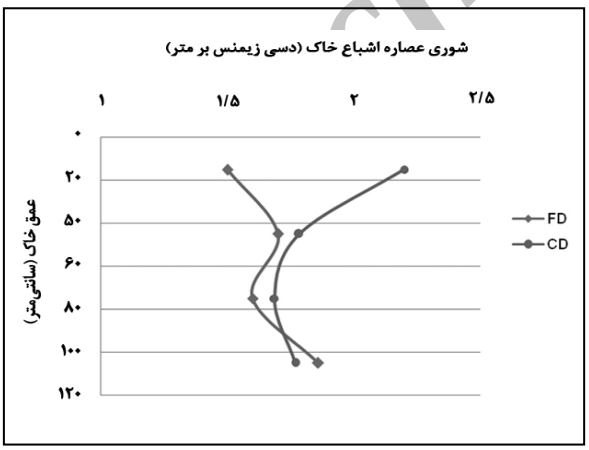
شکل ۱۵- تغییرات شوری خاک نسبت به عمق (اردیبهشت ۹۰).



شکل ۱٦- تغییرات شوری خاک نسبت به عمق (تیر ۹۰).



شکل ۱۷- تغییرات شوری خاک نسبت به عمق (شهریور ۹۰).



شکل ۱۸- تغییرات شوری خاک نسبت به عمق (آبان ۹۰).

میزان عملکرد محصول

در جدول ۲ نتایج مربوط به عملکرد گیاه شامل وزن ساقه و میانگین طول و قطر میان‌گره وسط و میانگین ارتفاع نی و در جدول ۳، درصد ماده جامد انحلال‌پذیر (بریکس)، درصد پل، درصد خلوص شربت و درصد شکر قابل استحصال در هر دو تیمار ارائه شده است. در مزرعهٔ

www.SID.ir

کنترل شده، وزن ساقه ۹۸/۲ تن در هکتار، میانگین طول میان‌گره وسط، میانگین قطر میان‌گره وسط و میانگین ارتفاع نی به ترتیب برابر با ۱۴/۹۷، ۲/۰۷، و ۲۳۱ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. در تیمار زهکشی آزاد، وزن ساقه ۸۹/۷ تن در هکتار و میانگین طول میان‌گره وسط، میانگین قطر میان‌گره وسط و میانگین ارتفاع نی به ترتیب برابر با ۱۴/۳، ۱/۹۷، و ۲۱۱/۲ سانتی‌متر است. به رغم ۲۷ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب در تیمار زهکشی کنترل شده، سه فاکتور مهم در عملکرد نیشکر، شامل وزن ساقه، درصد خلوص شربت و درصد شکر قابل استحصال در مزرعه با تیمارکنترل شده، در مقایسه با مزرعهٔ با تیمار زهکشی آزاد، بیشتر است.

جدول ۲- میزان عملکرد نیشکر در تیمار کنترل شده و آزاد

تیمار	وزن ساقه (تن در هکتار)	میانگین طول میان‌گره وسط (سانتی‌متر)	میانگین قطر میان‌گره وسط (سانتی‌متر)	میانگین ارتفاع نی (سانتی‌متر)
کنترل شده	۹۸/۲	۱۴/۹۷	۲/۰۷	۲۳۱/۰۴
آزاد	۸۹/۷	۱۴/۳	۱/۹۷	۲۱۱/۲

جدول ۳- فاکتورهای کیفی شربت نیشکر در تیمار کنترل شده و آزاد

تیمار	درصد بریکس (Brix)	درصد پل (POL)	درصد خلوص شربت (Pty)	درصد شکر قابل استحصال (RS)
کنترل شده	۱۸/۱	۱۵/۷	۸۷	۹/۲۳
آزاد	۱۷/۱	۱۵	۸۶/۶	۸/۴۳

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که امکان استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده در اراضی کشت و صنعت نیشکر امام‌خمینی وجود دارد. این سیستم علاوه بر کاستن از حجم آب آبیاری و حجم زهاب خروجی، هزینهٔ پمپاژ تأمین آب و تخلیهٔ زهاب اراضی را نیز کاهش می‌دهد. محل تخلیهٔ زهاب این طرح رودخانه دز است، بنابراین کاهش حجم زهاب تخلیه شده به رودخانه علاوه بر منافعی که به آن اشاره شد، کاهش آلودگی آب رودخانه و حفظ محیط‌زیست را در پایین‌دست در پی خواهد داشت. بر اساس نتایج این تحقیق، میزان آب مصرفی در تیمار کنترل شده ۲۷ درصد کمتر از میزان آب مصرفی در تیمار آزاد است. میزان زهاب خروجی در مزرعهٔ کنترل شده نیز در حدود ۵۵ درصد، نسبت به سیستم زهکشی آزاد، کاهش نشان می‌دهد. شوری آب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی در زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی آزاد حدود ۱۱ درصد کمتر است. کاهش این مقدار از حجم زهاب و پایین بودن شوری آن سبب کاهش ۲۴ تن نمک در هکتار در طول دورهٔ تحقیق شده است. افزایش شوری خاک در تیمار کنترل شده قابل توجه نیست. مقایسهٔ میزان عملکرد مزارع در دو تیمار نشان می‌دهد که استفاده از سیستم کنترل شده، علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب سبب افزایش عملکرد در این تیمار نیز می‌شود.

قدردانی

از قطب علمی مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز و دفتر تحقیقات و استانداردهای شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان، به خاطر همکاری و تأمین

Archive of SID
www.SID.ir

هزینه‌های طرح پژوهشی و نیـز از معاونـت محتـرم بخـش کشـاورزی، مـدیریت و پرسـنل بخـش تحقیقـات و ادارهٔ آبیاری کشت و صنعت امام‌خمینی نیز کـه در دوره اجـرای این طرح همکاری لازم را داشته‌اند سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

Akram, M. 2004. Drainage changing process. Proceedings of 3rd Drainage Workshop of IRNCID. May. 26. Tehran. Iran. 1-19. (in Farsi)

Akram, M., Tajik, F. and Akram, S. 2008. Control drainage, a suitable environmental method to become better irrigation efficiency. Proceedings of the 5th Drainage & Environment Workshop. Nov. 6. Tehran. Iran. 89-106. (in Farsi)

Anon. 2010. Disposal Problems of Drainage Water in Southern Iran. Drainage & Environment Working Group of IRNCID. Proceeding of the 6th Drainage & Environment Workshop. Jan. 6. Tehran. Iran. 1-22. (in Farsi)

Ayars, J. E. 1996. Managing irrigation and drainage systems in arid areas in the presence of shallow groundwater: Case studies. Irrig. Drain. Sys. 10, 227–224.

Esmaeelnia, S., Liaghat, A., Heydari, N. and Akram, M. 2005. A Lysimeter-scale study of water table management methods in tomato irrigation. J. Agric. Eng. Res. 6(4): 13-124. (in Farsi)

Golabi, M . 2009. Mathematical modeling of sugarcane response to use of saline irrigation water and application in SALTMED model in order to irrigation water management for sugarcane in semi-arid areas. Ph.D. Thesis. Faculty of Water Sciences Engineering Irrigation and Drainage Department. Shahid Chamran University. Ahvaz. Iran. (in Farsi)

Guptar, R. and Yadav, R. L. 1993. Groundwater contribution to evapotranspiration of sugarcane during summer. Cooperative Sugar. 25, 113–115.

Hunsigi, G. and Srivastava, S. C. 1977. Modulation of ET (evapotranspiration) values of sugar cane because of highwater table. Proceedings of the 16th ISSCT Congress. Jun. 10-13. Australia.

Hurst, C. A., Thorburn, P. J., Lockington, D. and Bristowc, K. L. 2004. Sugarcane water use from shallow water tables: implications for improving irrigation water use efficiency. Agric. Water Manang. 65(1): 1-19.

Noory, H., Liaghat, A.M. and Noory, H. 2008. Subirrigation system to improve drainage water quality in Karaj of IRAN. Proceecings of the 10th International Drainage Workshop of ICID. July. 6-11. Helsinki. Finland. Tallinn. Estonia.

Ramoska, E. D., Bastinene, N. I. and Saulys, V. A. 2011. Evaluation of controlled drainage efficiency in LITHUANIA. Irrig. Drain. 60(2): 196-206.

Verdinejad, V. R., Sohrab, I. T., Ebrahimian, H. Liaghat, A. M. and Parsinejad, M. 2008. Effects of controlled drainage environmental hazards (case study Ran drainage project). Proceecings of the 10th International Drainage Workshop of ICID. July. 6-11. Helsinki. Finland. Tallinn. Estonia.

Vlotman, W. F. and Jansen, H. C. 2003. Controlled drainage for integrated water management. Proceeding the 9th International Drainage Workshop. Sep. 10-13. Utrecht. Netherlands.

Wahba, M. A. S., Christen, E. W. and Amer, M. H. 2005. Irrigation water saving by management of existing subsurface drainage in Egypt. Irrig. Drain. 54(2): 205-215.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.13/No.4/2013/P:25-40

Effects of Controlled Drainage on Soil Salinity, Irrigation Management and Sugarcane Yield at Imam Khomeini Plantation

A. Mahjoubi*, A. Naseri, A. Hooshmand and S. Broomandnasab

* Corresponding Author: Manager of irrigation and drainage networks of Khouzestan Water and Power Authority - Golestan street- Khouzestan Water and Power Authority- Technical office, Ahvaz, Iran. E-Mail: arashmahjoobi@gmail.com
Received: 10 March 2012, Accepted: 8 September 2012

The Imam Khomeini sugarcane agro-industry plantation is one of ten sugarcane plantations in Khuzestan province. Today, salinity has been lowered to well below crop salt tolerance level, but deep subsurface drainage and over-irrigation has occurred and deposits a significant amount of drainage water back into Dez River each year. This study investigated the impact of controlled drainage on the reduction of irrigation water, soil salinity, drainage volume, salt load and sugarcane yield for two fields. One field had free drainage (FD) and the other had controlled drainage (CD). In the CD system, water depth control level was 90 cm below the soil surface. Results showed that the amount of irrigation water for CD decreased by 27% and reduced total drainage outflow by 55%. During this time, the CD the salt load decreased about 24 ton/ha and crop yield increased 8.7%. Controlled drainage significantly reduced the amount of irrigation, drainage volume and salt load over the free drainage system. This method is a feasible solution to decreasing river pollution and has a positive hydrological and environmental impact.

Keywords: Controlled drainage, Drainage water, Khuzestan, Salinity, Sugarcane

Archive of SID

www.SID.ir