بررسی اثرات زهکشی کنترل شده بر روی شوری خاک، مدیریت آبیاری و عملکرد نیشکر (مطالعه موردی کشت و صنعت امام خمینی)

آرش محجوبی-عبدعلی ناصری-عبدالرحیم هوشمند-سعید برومند نسب

چکیده

واحد کشت و صنعت امام خمینی یکی از واحد های ده گانه نیشکر در استان خوزستان است. امروزه اگرچه شوری خاک اراضی 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 (over drainage) انجام گردیده و سالانه حجم قابل توجهی زه آب تولید و به رودخانه دز تخلیه می گردد. این پژوهش به منظور بررسی امکان استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده و اثرات آن بر روی کاهش مصرف آب، شوری خاک، حجم زه آب خروجی، میزان شوری زه آب و عملکرد نیشکر در دو مزرعه از این واحد انجام گردید. مزرعه اول تیمار زهکشی آزاد (FD) و مزرعه دوم تیمار زهکشی کنترل شده (CD) بود. عمق کنترل سطح ایستابی در مزرعه کنترل شده، ۹۰ سانتی متری سطح خاک بود. نتایج این تحقیق نشان داد میانگین حجم آب مصرفی در تیمار کنترل شده حدود ۲۷ درصد کمتر و حجم زه آب خروجی ۵۵ درصد کمتر از تیمار زهکشی آزاد بود. در این مدت میزان نمک خروجی در حدود ۲۴ تن در هکتار در مزرعه با زهکشی کنترل شده کمتر بود. عملکرد محصول نیشکردر سیستم کنترل شده ۸/۷ درصد بیشتر بود. یافته های این تحقیق نشان داد استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده سبب صرفه جوئی در مصرف آب، کاهش حجم زه آب خروجی، کاهش میزان شوری زه آب و مقدار نمک خروجی خواهد شد. علاوه بر این، با کاربرد این روش، کاهش بار آلودگی رودخانه و حفظ محیط زیست نیز امکان پذیر خواهد بود.

واژه های کلیدی: خوزستان، نیشکر، زهکشی کنترل شده، ، شوری، زه آب

مقدمه

امروزه چنین پنداشته می شود که نگرش جامع به مدیریت آب و خاک و افزایش کارآیی مصرف آب، گامی مهم در تأمین امنیت غذایی بحساب می آید. طبق مطالعات ولوتمن و جانسن (Vlotman and Jansen, 2003) در حال حاضر بیش از ۷۰ در صد آب بازیافت شده جهان به مصرف کشاورزی می رسد. در آینده ای نزدیک، رقابتی سخت برای استفاده از آب بمنظور کشاورزی، شرب، صنعت و محیط زیست در خواهد گرفت. بر اساس شاخص های بین المللی، هر کشوری که بیش از ۴۰ درصد منابع آب تجدید شونده خود را مصرف کند، وارد مرحله 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)، سال هاست که رسیدن به تنش آبی را پشت سرگذاشته و به مرحله بحران آب نزدیک شده است. از

این رو، کاهش حجم زه آب و حفظ کیفیت و استفاده مجدد از آن به همراه افزایش راندمان آبیاری از ضروریات توسعه کشاورزی ایران بشمار می رود (Akram, 2006).

در حال حاضر مساحت کل سامانه های زهکشی زیرزمینی کشور به حدود ۲۰۰ هزار هکتار می رسد. برآورد شده است که دست کم طراحی و اجرای ۷۰۰ هزار هکتار دیگر نیز الزامی باشد. درصد عمده ای از زمین های زهکشی شده و اراضی ای که نیاز به زهکشی دارند در خوزستان قرار دارد.

به دلیل محدودیت های منابع آب و اثرات منفی زیست محیطی تخلیه زه آب اراضی کشاورزی به منابع پذیرنده، می بایست در اندیشه تغییر تدریجی دیدگاه ها و روش های معمول در زهکشی بود. مدیریت سطح ایستابی، افزایش کارایی مصرف آب، کاهش حجم زه آب و بهبود کیفیت آن، استفاده مجدد از زه آب ها و اجرای روش های نوین زهکشی (مانند زهکشی زیستی، زهکشی خشک و زهکشی کنترل شده) از اقدامات لازم در امر زهکشی است (Drainage & Environment working group of IRNCID, 2010).

زهکشی کنترل شده یکی از مهم ترین راهکارهای رسیدن به اهداف فوق است. زهکشی کنترل شده تلفیق آبیاری و زهکشی است. با باز وبسته کردن خروجی زهکش، می توان سطح آب را در داخل خاک در حدی مطلوب حفظ کرد به طوری که گیاه بتواند به کمک نیروی موئینه ای از آب استفاده کند و در عین حال، به گیاه آسیبی از نظر ماندابی شدن وارد نگردد. زهکشی کنترل شده می تواند نقش مهمی در حفظ آب، بالابردن راندمان آبیاری، حفظ مواد غذایی خاک و در نهایت، حفظ کیفیت آب پائین دست داشته باشد (Akram&Akram, 2009).

تا کنون مطالعات زیادی در خصوص بررسی امکان استفاده از زهکشی کنترل شده و وجود پتانسیل استفاده گیاه از آب زیرزمینی کم عمق در مناطق خشک و نیمه خشک انجام گرفته است. مروری بر مطالعات انجام شده قبلی که توسط آیارز و همکاران (Ayars *et al.*, 1999) انجام گرفته، نشان می دهد که در اکثر گیاهان، پتانسیل استفاده از آب زیرزمینی کم عمق وجود دارد. از نتایج مهم این تحقیق، لزوم استفاده ترکیبی از سیستم های آبیاری و زهکشهای زیرزمینی بعنوان راهکارهائی در مدیریت کنترل زهکشهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک با در نظر گرفتن مدیریت در شوری خاک می باشد.

در مصر تحقیقی در خصوص اثرات زهکشی کنترل شده بر روی 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.*, 2001).

در تحقیقی در لیتوانی در یک خاک سندی لوم، اثر زهکشی کنترل شده در مدت ۸ سال (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ میلادی) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در زهکشی کنترل شده، مدت زمان استمرار خروج سالیانه زه آب از زهکشها در حدود ۴۰ تا ۶۲ درصد کوتاه تر از سیستم زهکشی آزاد بود. علاوه بر این، مقدار خروجی زه آب در زهکشی کنترل شده حدود ۲۵ درصد کاهش نشان داد و میزان عملکرد محصولات (گندم و جو) نیز از ۵/۶ تا ۱۰ درصد در زهکشی کنترل شده، افزایش نشان داد (Ramosca *et al.*, 2009).

وردی نژاد و همکاران (Verdinejad *et al.*, 2008) مطالعه ای در خصوص تاثیر زهکشی کنترل شده بر روی کاهش اثرات زیست محیطی در اراضی کشاورزی شهرستان بهشهر انجام دادند. نتایج نشان داد که مناسب ترین عمق سطح ایستابی جهت برداشت حداکثر محصول (جو) و حداقل رساندن اثرات زیست محیطی، تثبیت سطح ایستابی در عمق ۰/۷۵ متری است.

اسمعیل نیا و همکاران (Esmaeelnia *et al.*, 2005) تحقیقی را در خصوص مدیریت سطح ایستابی در ۱۲ لایسیمتر در کرج بر روی گیاه گوجه فرنگی 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 بود. تجمع شوری و توزیع نمک در هر سه تیمار حدودا نزدیک به هم بود. مقدار محصول در تیمار کنترل شده ۷۳ درصد بیشتر از زهکشی آزاد و ۱۲ درصد بیشتر از آبیاری زیرزمینی بود.

نوری و همکاران (Noory *et al.*, 2008) تحقیقی را در خصوص تاثیر مدیریت سطح ایستابی و آبیاری زیرزمینی بر 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 سانتی متری سطح زمین و یک تیمار زهکشی آزاد در عمق ۱۰۰ سانتی متری بود. نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که غلظت نیترات در لایسیمترهای با آبیاری زیرزمینی نسبت به لایسیمترهای با زهکشی آزاد بطور معنی داری کاهش یافت. میانگین غلظت نیترات در خروجی زهکش در سیستم کنترل شده نسبت به سیستم آزاد در حدود ۸۵٪ کاهش داشت. ضمنا میانگین هدایت الکتریکی آب زهکش در زهکشی کنترل شده کمتر از سیستم آزاد بود. اختلاف معنی داری در غلظت فسفر در دو تیمار مشاهده نگردید. میزان متوسط ماده خشک بین ۷۰ تا ۸۹٪ در آبیاری زیرزمینی نسبت به زهکشی آزاد 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 لوم شنی، وجود سطح ایستابی در عمق یک متری سبب تامین ۶۵ درصد از تبخیر و تعرق نیشکر گردید (Hunsigi & Srivastava, 1977). در پژوهش دیگری در هند مشارکت آب زیرزمینی در تامین تبخیر و تعرق پتانسیل نیشکر (ETp) 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. عملکرد محصول نیشکر زمانیکه سطح ایستابی در عمق ۰/۲ متری بود بطور معنی داری کاهش یافت (Gupta & Yadav, 1993).

بر اساس نتایج هارست و همکاران (Hurst *et al.*, 2004)، هنگامی که عمق سطح ایستابی از ۱/۵ متری سطح خاک عمیق تر نباشد، گیاه نیشکر قادر به استفاده از منابع آب زیرزمینی کم عمق می‌باشد. بررسی میزان جریان رو به بالا از سطوح ایستابی عمیق‌تر از ۱/۵ متر و مقدار مشارکت در تأمین نیازهای آبی گیاه، نیازمند تحقیقات دقیق تر و کامل تری می باشد.

تحقیقی دیگری در خصوص امکان استفاده گیاه نیشکر از آب زیرزمینی کم عمق و با کیفیت مناسب در استرالیا انجام شد. بر اساس نتایج آن در مناطقی که سطح آب زیرزمینی حدود یک متری سطح زمین قرار داشت نیازی به آبیاری تکمیلی نیشکر نبود. نتایج نشان داد که پتانسیل مناسبی جهت کاهش میزان آبیاری و افزایش راندمان کاربرد آب در حضور آب زیرزمینی کم عمق با کیفیت مناسب وجود دارد (Hurst *et al.*, 2004) .

مرور نتایج حاصل از این تحقیقات نشان داد که استفاده از سیستم های زهکشی کنترل شده در مناطق خشک و نیمه خشک امکان پذیر بوده و اجرای آن فوائد زیادی در بر خواهد داشت. بسته به شرایط آب و هوا، خاک و نوع گیاه، اثرات زهکشی کنترل شده بر روی میزان کاهش مصرف آب، تغییرات شوری خاک و عملکرد محصول متفاوت بوده و اجرائی نمودن این سیستم، مستلزم انجام تحقیقات کامل خواهد بود.

به نظر می رسد در طرحهای نیشکر، کلیه شرایط لازم برای اجرای زهکشی کنترل شده مهیا باشد. زمین نسبتاً مسطح است، روش آبیاری سطحی مورد استفاده قرار می گیرد و در طول هر خط زهکش،تنها یک محصول

یعنی نیشکر کشت می شود. علاوه بر این، نیشکر ریشه ای سطحی دارد و چنانچه حالت ماندابی به مدتی طولانی ادامه نداشته باشد، به نظر نمی رسد که گیاه از آن آسیب ببیند (Akram&Akram, 2009).

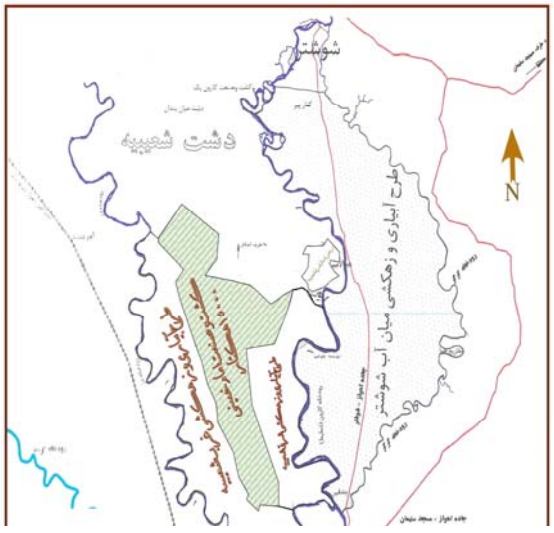
هدف از انجام این تحقیق، بررسی امکان استفاده از زهکشی کنترل شده در مزارع نیشکر کشت و صنعت امام خمینی و تاثیر آن بر روی میزان صرفه جوئی در مصرف آب، تغییرات شوری خاک، کاهش حجم آب زهکشی، کاهش میزان نمک خروجی و میزان عملکرد نیشکر بود.

مواد و روش ها

ویژگی های محدوده مورد مطالعه

این تحقیق در واحد امام خمینی یکی از واحد های ده گانه کشت وصنعت نیشکر انجام شد. منطقه مورد مطالعه بخشی از دشت شعیبیه خوزستان به مساحت ناخالص ۱۵۸۰۰ هکتار است که در ۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان شوشتر و ۵۰ کیلومتری شمال اهواز قرار گرفته است(شکل۱). اراضی این واحد به قطعات منظم ۲۰ و۲۵ هکتاری (۸۰۰ * ۲۵۰) و (۱۰۰۰*۲۵۰) تقسیم شده است و مجموعا دارای ۴۸۰ مزرعه می باشد. این تحقیق در دو مزرعه به نام های B1-115 و B1-129 هر کدام به مساحت حدود ۲۰ هکتار به اجراء در آمد.

این منطقه جزء اقلیم خشک و نیمه خشک طبقه بندی می گردد. متوسط درجه حرارت سالیانه ۲۴/۳ درجه سانتی گراد، درجه حرارت حداقل و حداکثر مطلق بترتیب ۷- و ۵۲/۵ درجه سانتی گراد می باشد. میزان بارندگی متوسط سالیانه حدود ۲۶۶ میلیمتر و مقدار تبخیر سالیانه حدود ۲۷۸۸ میلیمتراست. 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 دسی زیمنس بر متر بود.

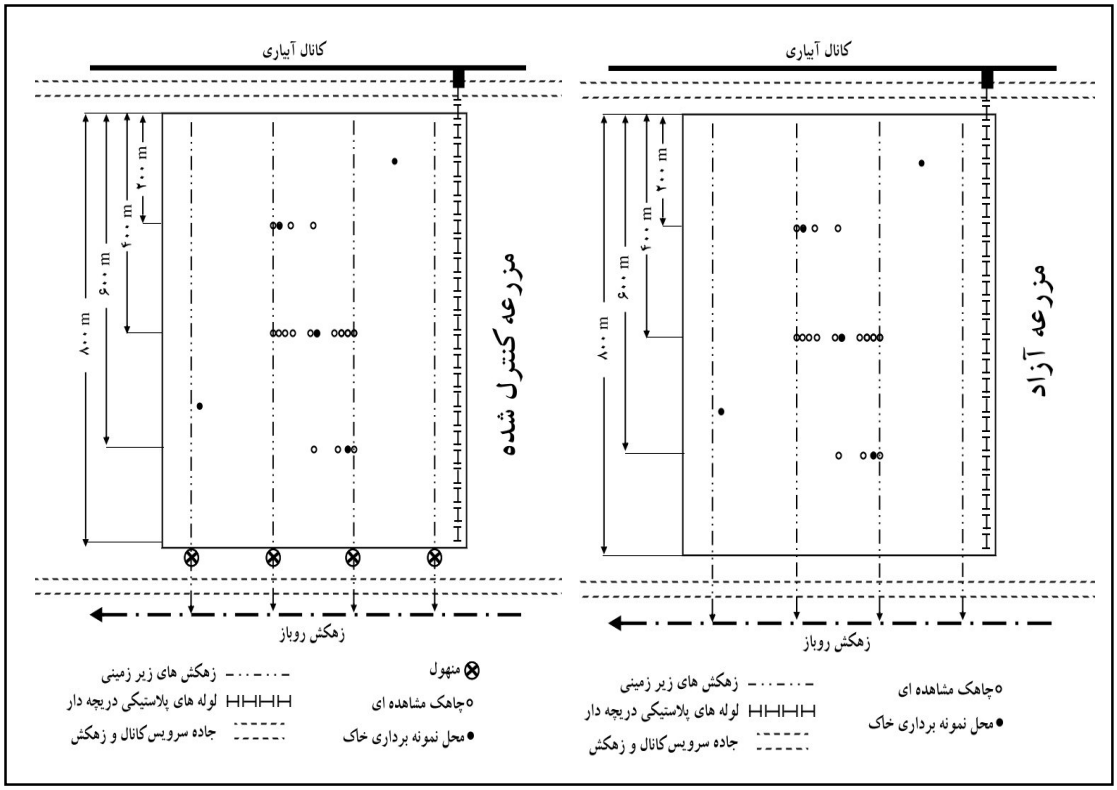


شکل ۱- موقعیت اراضی کشت و صنعت امام خمینی در شعیبیه خوزستان

سیمای شبکه آبیاری و زهکشی

آب اراضی مورد نظر توسط ایستگاه پمپاژ احداث شده بر روی رودخانه دز به کانال اصلی و از آنجا به کانال درجه ۲ و سپس به آبگیرهای مزارع انتقال داده می شود. هر مزرعه دارای یک آبگیر در ابتدای مزرعه است که آب از کانال درجه ۲ به آن منتقل و از آنجا به لوله پلاستیکی دریچه دار انتقال می یابد. لوله پلاستیکی هر مزرعه در طول مزرعه قرار گرفته و آب توسط دریچه های نصب شده بر روی لوله به داخل فاروها هدایت می گردند. زهکشهای زیرزمینی نیز در طول مزرعه و به موازات لوله های دریچه دار پلاستیکی نصب شده اند و مستقیما به زهکش روباز جمع کننده واقع در پائین مزرعه تخلیه می گردند(شکل ۲). زهاب تولیدی توسط زهکشهای جمع کننده مزارع، ابتدا به زهکش درجه یک، سپس به زهکش اصلی طرح و در نهایت توسط ایستگاه پمپاژ به رودخانه دز تخلیه می گردد.

فاصله زهکشهای زیرزمینی در هر دو مزرعه ۷۰ متر، عمق نصب آنها بطور متوسط ۲ متر، قطر آنها از ۱۲۵ تا ۱۶۰ میلی متر و شیب طولی آنها ۰/۰۰۰۷است. جنس لوله ها PVC موجدار و پوشش دور آنها از نوع شن و ماسه است.



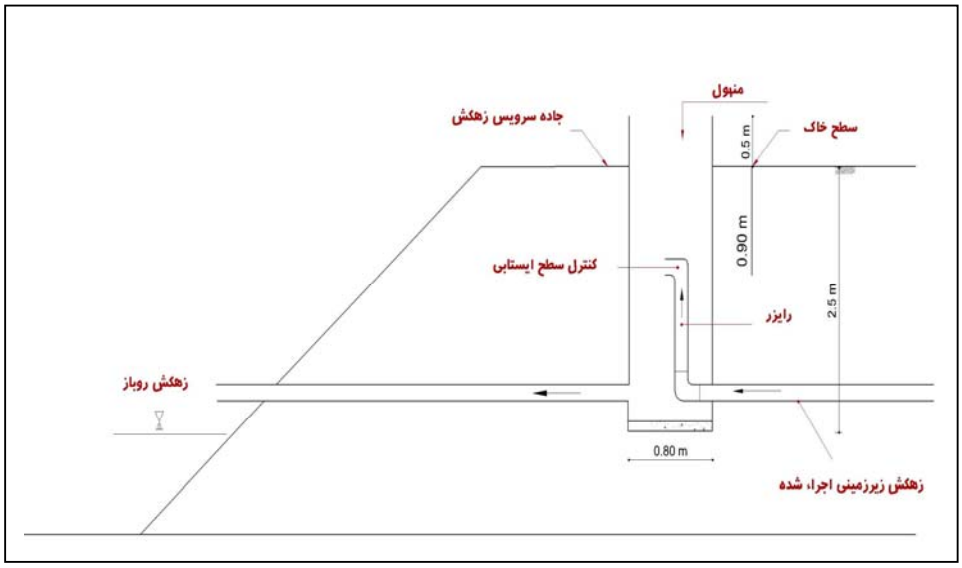
شکل ۲- نقشه شماتیک از سیمای شبکه آبیاری و زهکشی و تجهیز مزرعه آزاد و کنترل شده

کنترل سطح آب زیرزمینی

به دلیل تخلیه مستقیم زهکشهای زیرزمینی به زهکشهای سطحی روباز، امکان کنترل مناسب سطح ایستابی بدون احداث سازه منهول وجود نداشت. بدین منظور تعداد ۴ عدد منهول از جنس پلی اتیلن با قطر ۸۰۰ میلی متر تهیه و در انتهای مزرعه کنترل شده و قبل از جاده دسترسی واقع در پائین مزرعه، نصب گردید (شکل۲). تثبیت سطح آب زیرزمینی در عمق دلخواه توسط نصب یک عدد رایزر در داخل منهول انجام شد. لوله رایزر از جنس PVC و قطر آن ۱۶۰ میلی متر بود (شکل۳).

نصب چاهکهای مشاهده ای

جهت اندازه گیری رقوم سطح ایستابی و بررسی نوسانات آن در طول دوره تحقیق و همچنین نمونه برداری از آب زیرزمینی به منظور تعیین میزان شوری آنها، تعداد ۱۵ حلقه چاهک مشاهده ای (سه ردیف) به فواصل ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ متری از کانال در طول مزرعه و هم بصورت عرضی بین دو زهکش میانی، به ترتیب بر روی زهکش و در فواصل ۰/۸، ۲، ۵ و ۳۵ متری بین زهکش های زیرزمینی در هر مزرعه نصب گردید. در شکل ۲ جانمائی محل چاهکهای مشاهده ای مشخص شده است.



شکل ۳- تجهیزات کنترل سطح ایستابی در داخل منهول احداث شده

عملیات کشاورزی

در اواخر مرداد ماه سال ۱۳۸۹ نیشکر به روش قلمه کشت گردید (کشت پلانت). واریته هر دو تیمار cp-48-103 بود. فاصله فاروها از یکدیگر ۱۸۵ سانتی متر، طول آنها ۲۵۰ متر و روش آبیاری بصورت سطحی و نشتی ته بسته بود. با توجه به مساحت مزارع، هر مزرعه به ۱۱ باند آبیاری تقسیم گردیده و مدت زمان یک دور کامل آبیاری هر مزرعه معمولا ۴ تا ۵ روز طول می کشید. پس از کشت نیشکر، آبیاری اراضی شروع و تا ابتدای فصل بارندگی و قطع آب تعداد ۸ نوبت آبیاری صورت گرفت. جهت جلوگیری از تجمع نمک در سطح خاک و ایجاد شرایط مناسب جوانه زنی، زهکشی اراضی در این مدت در هردو مزرعه به صورت آزاد بود. با اتمام فصل بارندگی،

مجددا از اواسط فروردین سال ۱۳۹۰ آبیاری شروع و تا اواخر مهرماه همان سال (زمان قطع آبیاری و شروع برداشت نیشکر) ادامه داشت. از فروردین ماه که ارتفاع نیشکر به حدود ۰/۵ متر رسیده بود، آبیاری مجددا آغاز شده و زهکشی کنترل شده مورد استفاده قرار گرفت. اندازه گیری میزان آب مصرفی، زه آب خروجی و نمونه برداری ازخاک و زه آب در مزارع نیز از این تاریخ شروع و تا زمان قطع آبیاری ادامه داشت. کلیه عملیات خاکورزی، آماده سازی زمین و میزان کود مصرفی از زمان کاشت تا زمان برداشت در هر دو تیمار مشابه بود.

جمع آوری داده ها

عمق سطح ایستابی در کلیه چاهکهای مشاهد ه ای در هر دو مزرعه بصورت روزانه اندازه گیری شد. میزان آب ورودی به هر مزرعه به روش حجمی و با استفاده از زمان سنج و ظرف مدرج تعیین شد. میزان خروجی زهکشهای زیرزمینی از کلیه زهکشها نیز با استفاده از روش حجمی و بصورت روزانه اندازه گیری گردید. نمونه گیری از آب خروجی از زهکشهای زیرزمینی دو نوبت در هفته انجام و جهت تعیین شوری به آزمایشگاه ارسال شد. نمونه برداری از خاک به منظور تعیین درصد رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه و همچنین نقطه پژمردگی در دو محل از مزرعه انجام گردید. جهت تعیین رطوبت خاک و تشخیص زمان آبیاری در مزرعه کنترل شده با استفاده از اوگر دستی از اعماق ۰ تا ۶۰ سانتی متری خاک، قبل از شروع آبیاری نمونه برداری انجام گردید. همچنین جهت تعیین شوری، نمونه برداری از خاک در محل های 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 انجام شد. نمونه های خاک با تناوب های ۳۰ سانتی متری و تا عمق ۱۲۰ سانتی متری سطح خاک برداشت و شوری آنها به روش اندازه گیری عصاره اشباع به دست آمد. جهت تعیین عملکرد نیشکر از روش ۵۰۰ ساقه استفاده گردید. در این روش، پس از استقرار وسائل و نیروها در مزرعه مورد نظر، از هر مزرعه ۵ ایستگاه به شکل (W) در عمق ۳۰ متری مزرعه به طول ۵ متر از فارو انتخاب و تعداد ساقه ها، وزن ساقه ها، میانگین ارتفاع و قطر ساقه و طول میانگره وسط ساقه اندازه گیری شد. پس از اندازه گیری های مورد نظر، تعداد ۲۰ نی به طور تصادفی جهت کنترل و اندازه گیری پارامترهای کیفی نیشکر انتخاب گردید. در ابتدا نی ها تمیز شده و وزن گردید. سپس نی ها آسیاب شده و شهد آن استخراج و وزن شد. از شهد بدست آمده توسط دستگاه رفراکتومتر مقدار درصد ماده جامد محلول (Brix) بدست آمد. سپس میزان قند موجود در عصاره، معروف به پل(POL) با دستگاه ساکارومتر اندازه گیری شد. با اندازه گیری میزان پل و بریکس شربت، درجه خلوص شربت (pty) و درصد شکر قابل استخراج (RS) محاسبه گردید.

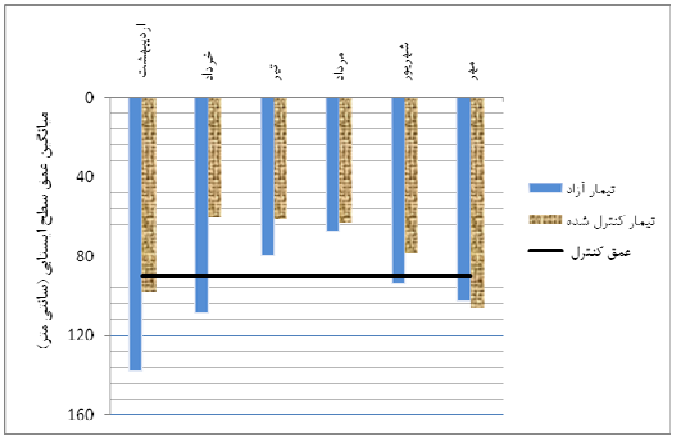
نتایج و بحث

نوسانات سطح ایستابی

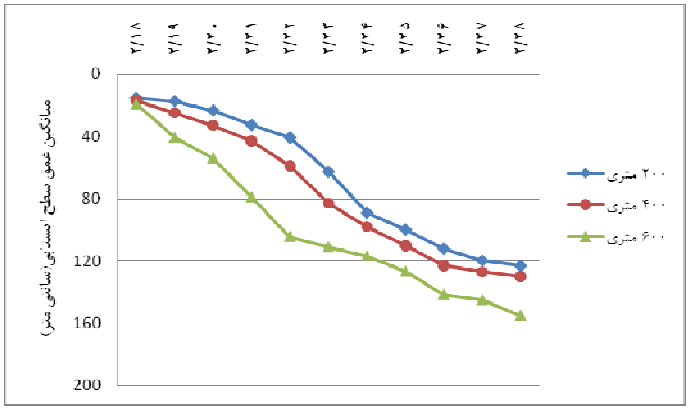
میانگین عمق سطح ایستابی در هر دو تیمار در ماههای مختلف در شکل۴ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، سطح آب زیرزمینی در مزارع تحت زهکشی کنترل شده ، بطور معنی داری در مقایسه با زهکشی آزاد بالاتر قرار گرفته است. ماکزیمم و می نیمم عمق سطح ایستابی در تیمار زهکشی کنترل شده برابر با ۱۱۲/۵ و ۵۳/۷ سانتی متر به ترتیب در مهر و مرداد بود. همچنین میانگین سطح ایستابی در کل دوره برابر با ۷۶/۵ سانتی متر بود. در تیمار زهکشی آزاد این اعداد برابر با ۱۳۷/۹ و ۷۶/۶ سانتی متر به ترتیب در اردیبهشت و مرداد ماه بود. میانگین عمق سطح ایستابی نیز در طول دوره برابر با ۹۸/۸ سانتی متری سطح خاک بود. چنانچه ملاحظه می گردد میانگین

سطح ایستابی در مردادماه در هر دو تیمار در فاصله کمی از سطح زمین قرار گرفته است. این موضوع به دلیل کوتاه شدن دور آبیاری در مزارع (۵ روز) در این ماه است که علاوه بر مزرعه کنترل شده در مزرعه آزاد نیز فرصت تخلیه آبهای نفوذ یافته از آبیاری در بازه بین دو آبیاری فراهم نگردیده و همین موضوع سبب بالا آمدن سطح ایستابی تا این عمق گردیده است. بر عکس، پائین تر آمدن عمق متوسط سطح ایستابی از رقوم سطح کنترلی در ماههای مهر و اردیبهشت در تیمار کنترل شده، عمدتا به دلیل زیاد شدن فاصله بین دو آبیاری در این ماهها و فراهم شدن فرصت تخلیه بخشی از زهاب به صورت طبیعی از اراضی بوده است.

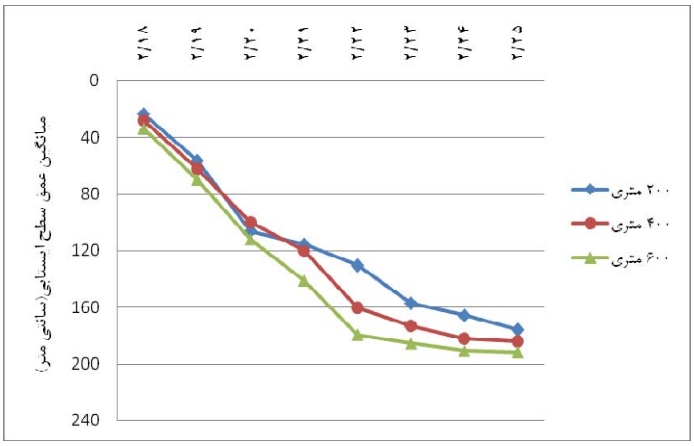
شکل های شماره ۵ و۶، متوسط تغییرات سطح ایستابی در اردیبهشت ماه را در فاصله بین دو آبیاری برای تیمار کنترل شده و آزاد در فواصل ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ متری کانال نشان می دهد. چنانچه ملاحظه می گردد علی رغم اینکه در تیمار آزاد فاصله بین دو آبیاری کوتاه تر از تیمار کنترل شده بود، سطح ایستابی در مزرعه آزاد در عمق بیشتری نسبت به زهکشی کنترل شده قرار گرفت. نکته دیگر اینکه هر چقدر فاصله اراضی از کانال دورتر (نزدیکتر به زهکش روباز) شده، عمق سطح ایستابی افزایش یافته است. دلیل اصلی این موضوع ایجاد شیب هیدرولیکی سطح ایستابی جهت تخلیه به زهکش روبازاست.



شکل ۴- میانگین عمق سطح ایستابی در دو تیمار کنترل شده و آزاد



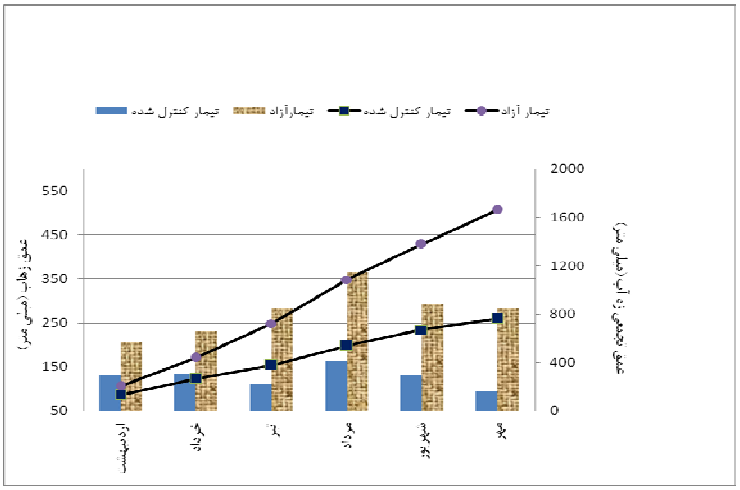
شکل ۵- میانگین عمق سطح ایستابی در فواصل مختلف از کانال در اردیبهشت (تیمار کنترل شده)



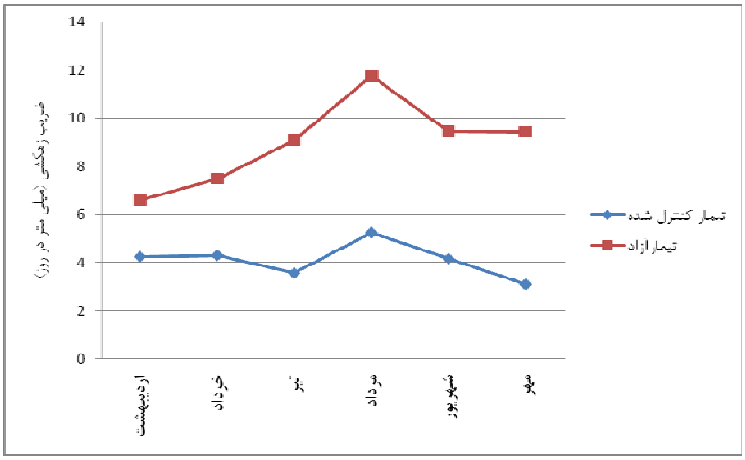
شکل۶- میانگین عمق سطح ایستابی در فواصل مختلف از کانال در اردیبهشت (تیمار ازاد)

ضریب زهکشی و حجم آب خروجی زهکش ها

عمق زه آب خروجی در ماههای مختلف در تیمار زهکشی کنترل شده و زهکشی آزاد در شکل۷ نشان داده شده است. تفاوت قابل ملاحظه ای در خروجی زهکشی در هر دو سیستم مشاهده گردید. استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده سبب شد تا حجم آب خروجی در این مدت در حدود ۵۵ درصد نسبت به سیستم آزاد کاهش یابد. میانگین ضریب زهکشی ماهانه هر دو تیمار در دوره تحقیق در شکل۸ نشان داده شده است. کاهش ضریب زهکشی در زهکش کنترل شده در همه ماه ها نسبت به تیمار آزاد قابل ملاحظه بود. میانگین ضریب زهکشی در تیمار کنترل شده ۴/۱۲ میلی متر در روز و در تیمار زهکشی آزاد برابر با ۸/۹۸ میلیمتر در روز بود. حداقل میانگین ضریب زهکشی ماهانه مربوط به تیمار زهکشی کنترل شده و برابر با ۳/۱۲ میلی متر در روز در مهرماه و حداکثر آن در تیمار زهکشی آزاد و برابر با ۱۱/۷۶ میلی متر در روز و در مرداد ماه اتفاق افتاد. در این ماه عمق متوسط آبیاری در تیمار آزاد در حدود ۱۴/۲ میلیمتر در روز بود. 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 سیستم زهکشی آزاد کاهش داشت.



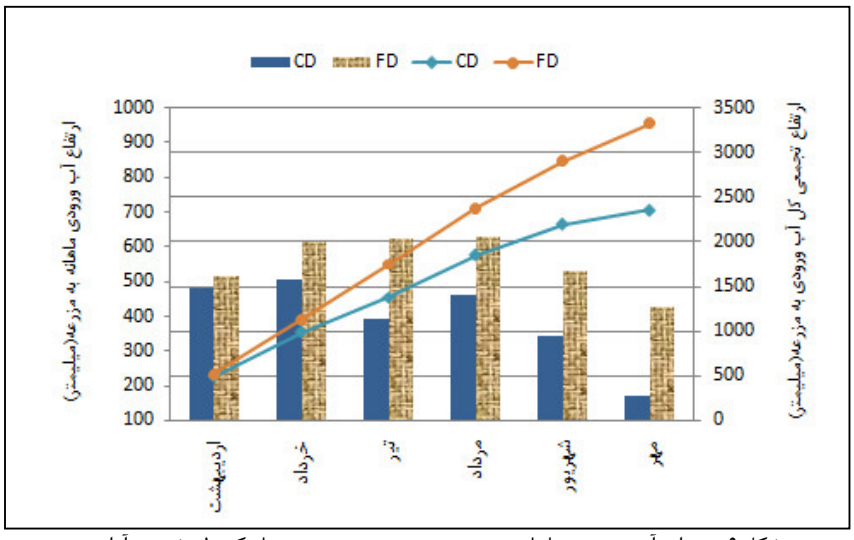
شکل۷- میزان کل خروجی زهاب ماهانه از مزارع کنترل شده و آزاد



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

میزان آب مصرفی

تشخیص زمان آبیاری در مزرعه کنترل شده توسط اندازه گیری رطوبت خاک انجام شد. در تیمار شاهد تعیین زمان آبیاری به عهده کارشناسان بخش تحقیقات آن مرکز بوده و به روش اندازه گیری رطوبت غلاف برگ انجام شد. شکل ۹ میزان آب مصرفی ماهانه در هر دو مزرعه را نشان می دهد. در کلیه ماهها میزان مصرف آب آبیاری در تیمار کنترل شده کمتر از تیمار زهکشی آزاد بود. میزان درصد صرفه جوئی مصرف آب در ماه های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهرماه به ترتیب برابر با ۶، ۱۷، ۳۷، ۲۶، ۱۷ و ۶۳ درصد و میزان متوسط صرفه جوئی در کل دوره در مزرعه کنترل شده در حدود ۲۷٪ بود. کنترل و نگهداشت سطح ایستابی در مزرعه کنترل شده امکان استفاده از خیز موئینگی توسط گیاه فراهم شده و گیاه بخشی از نیاز تبخیر و تعرق خود را مستقیما از رطوبت خاک تامین می کند. در واقع آب زیرزمینی کم عمق بجای اینکه توسط سیستم زهکشی تخلیه شود جایگزین آبیاری گردیده است. لازم به ذکر است بخشی از صرفه جوئی در مصرف آب، مربوط به اعمال مدیریت آبیاری در مزرعه کنترل شده بود.

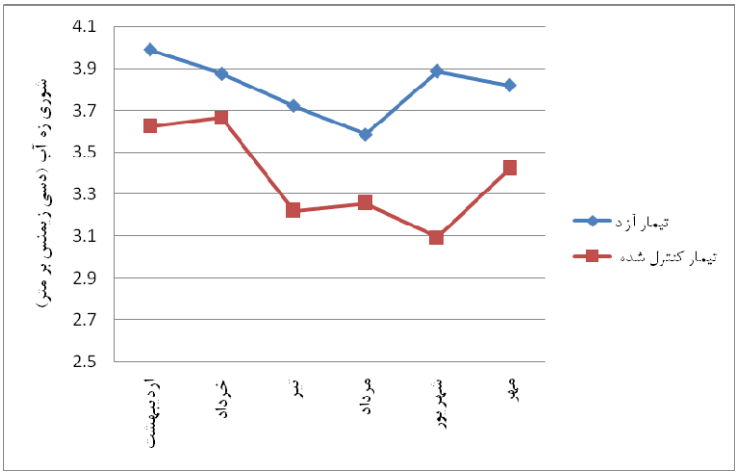


شکل۹- میزان آب ورودی ماهانه و تجمعی به مزرعه در دو تیمار کنترل شده و آزاد

شوری زه آب خروجی

میزان شوری زه آب خروجی در مزرعه کنترل شده در تمام مدت دوره آزمایش کمتر از زهکشی آزاد بود (شکل ۱۰). این کاهش شوری به دلیل کاهش سهم جریان عمودی و شعاعی ورودی زه آب به زهکش های زیرزمینی در سیستم زهکشی کنترل شده است. اندازه گیری های انجام شده شوری آب زیرزمینی پیزومترهائی که در اعماق ۱ تا ۵ متری در دو مزرعه احداث شده بود، نشان داد که شوری آب زیرزمینی لایه های اعماق پائینی خاک (۴و ۵ متر) نسبت به لایه های کم عمق تر، بیشتر بود. لذا کاهش میزان ورودی زه آب از لایه های زیرین خاک به زهکشهای زیرزمینی در سیستم زهکشی کنترل شده، سبب بهبود کیفیت زه آب خروجی از تیمار کنترل شده گردید. 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 ماههائی که آب مصرفی نیشکر زیاد است و میزان آب آبیاری در مزارع افزایش می یابد، حجم زهاب خروجی افزایش و شوری آن کاهش می یابد. بررسی اطلاعات مربوط به شوری زهاب خروجی در سایر واحدهای نیشکر نیز موید این موضوع است و نشان می دهد که در ماههائی که حجم آب آبیاری بیشتر بوده شوری زهاب خروجی مزارع کمتر از سایر ماهها است.

گرچه اختلاف میزان شوری زه آب خروجی در مزرعه کنترل شده و آزاد قابل توجه به نظر نمی رسد (گذشت بیش از ۱۵ سال از زمان بهره برداری طرح و وجود زهکشهای زیرزمینی عمیق سبب ایجاد تعادل نسبی خوبی درشوری خاک و بهبود کیفیت آب زیرزمینی گردیده)، اما به دلیل حجم زیاد زه آب تولید شده در تیمار آزاد، استفاده از زهکشی کنترل شده سبب کاهش قابل ملاحظه میزان نمک خروجی از تیمار کنترل شده گردید. جدول ۱ میانگین میزان نمک خروجی را در هر دو تیمار در طول دوره تحقیق نشان می دهد.



شکل ۱۰- میزان شوری زه آب خروجی تیمار کنترل شده و آزاد

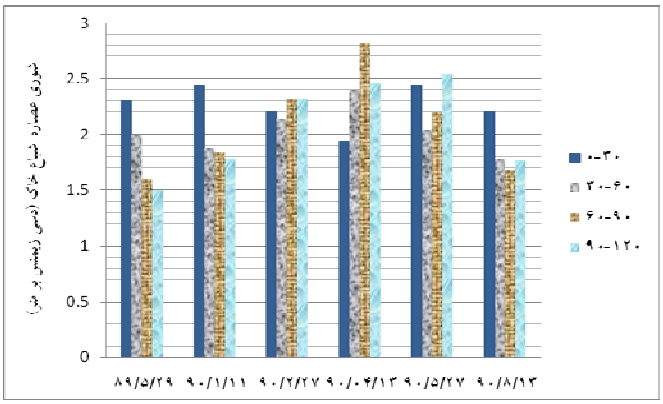
جدول ۱- عمق زه آب، متوسط شوری زه آب و میزان نمک خروجی در تیمار کنترل شده و آزاد در دوره تحقیق

تیمار	عمق زه آب (میلی متر)	متوسط شوری (دسی زیمنس بر متر)	نمک خروجی (تن در هکتار)
کنترل شده	۷۶۳	۳/۴	۱۶/۵
آزاد	۱۶۶۱	۳/۸	۴۰/۵

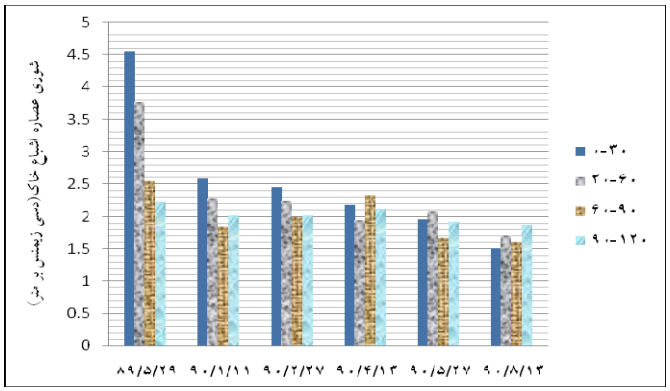
شوری خاک

چنانچه در شکل۱۱ مشاهده می گردد در مزرعه کنترل شده در عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰، تغییر قابل ملاحظه ای در میزان شوری خاک مشاهده نگردید. در اعماق ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ سانتی متری به دلیل کنترل سطح ایستابی و محدود نمودن ورود آب آبیاری نفوذ یافته به اعماق پائین تر، شستشوی املاح خاک در این اعماق محدود گردیده و میزان شوری خاک در ماه های خرداد، تیر و مرداد مقداری افزایش یافت. با کاهش نیاز آبی گیاه در اواخر تابستان و افزایش فاصله آبیاری، سطح ایستابی پائین رفته و به دلیل فراهم شدن امکان شستشوی املاح، شوری خاک در انتهای دوره مقداری کاهش یافت. طولانی بودن دوره آبیاری گیاه نیشکر(۸ ماه در سال) و حجم آب مورد نیاز بالای این گیاه سبب جلو گیری از صعود کاپیلاری و تجمع نمک در لایه های سطحی خاک گردیده است. چنانچه در نمودار مشخص است با افزایش این میزان شوری جزئی در عمق ۶۰ تا ۱۲۰ سانتی متری خاک، باز هم شوری در محدوده مناسبی جهت رشد نیشکر قرار دارد. ضمن اینکه بر اساس تحقیقات انجام شده (Golabi *et al.*, 2009)، تجمع ریشه تا عمق ۶۰ سانتی متری خاک بوده و پس از آن فقط ریشه های طنابی وجود دارد. لازم به ذکر است حتی چنانچه شوری خاک در انتهای فصل بیش از حد تحمل گیاه گردد، می توان در فصل زمستان با یک یا دو آبیاری اضافی و تغییر سیستم زهکشی کنترل شده به سیستم آزاد، شوری خاک را کاهش داد.

همچنین بر اساس شکل ۱۲، در تیمار زهکشی آزاد در همه عمق ها (صفر تا ۱۲۰ سانتی متری) میزان شوری خاک کاهش یافته است. نکته قابل ذکر در این نمودار این است که بخش قابل توجه کاهش شوری خاک که در تیمار آزاد رخ داده است مربوط به تفاوت شوری خاک قبل از کاشت نیشکر (مرداد ۸۹) تا ابتدای دوره تحقیق در فروردین ماه 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 دوره تحقیق (فروردین تا آبان ماه۹۰)، میزان کاهش شوری خاک قابل ملاحظه نبود.

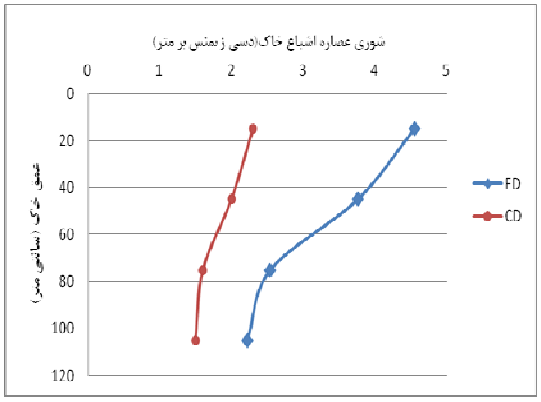


شکل۱۱- تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در مزرعه کنترل شده

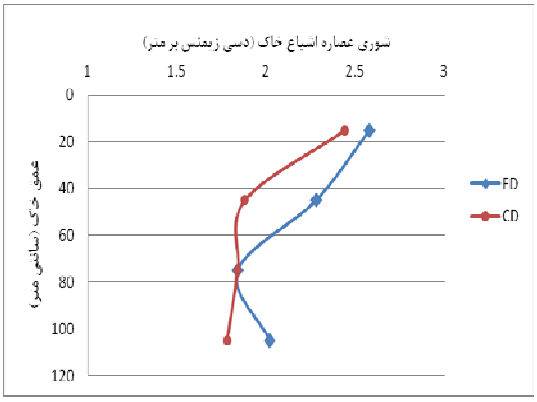


شکل ۱۲ - تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در مزرعه زهکشی آزاد

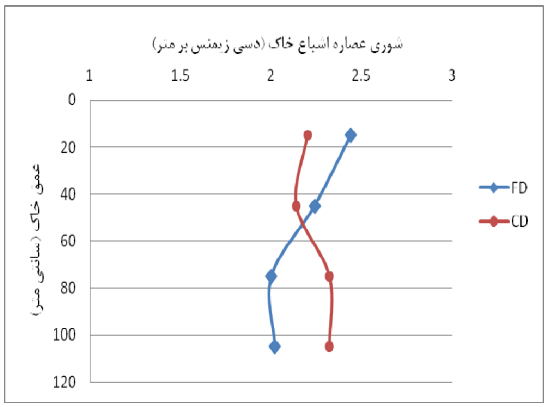
جهت امکان مقایسه بهتر تغییرات شوری عمق های مختلف خاک در دو تیمار، شکل های ۱۳ تا ۱۹ نیز ترسیم گردید. همانطور که ملاحظه می گردد از ابتدای شروع تحقیق (فروردین ۹۰) تا قبل از برداشت نیشکر (آبان ۹۰)، میزان شوری خاک در اعماق مختلف در تیمار کنترل شده در مقایسه با تیمار آزاد، افزایش قابل ملاحظه ای نداشت و میزان شوری آن در محدوده مناسبی جهت رشد نیشکر قرار دارد.



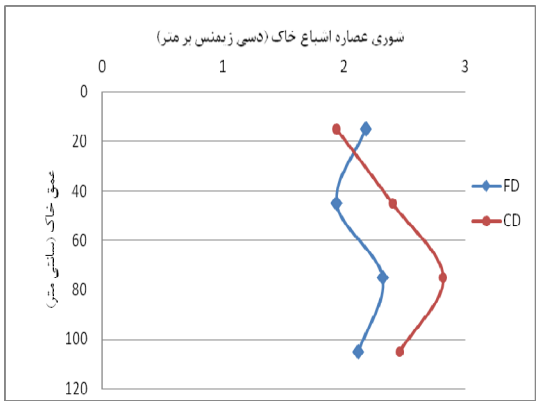
شکل۱۳- تغییرات شوری خاک نسبت به عمق (مرداد ۸۹)



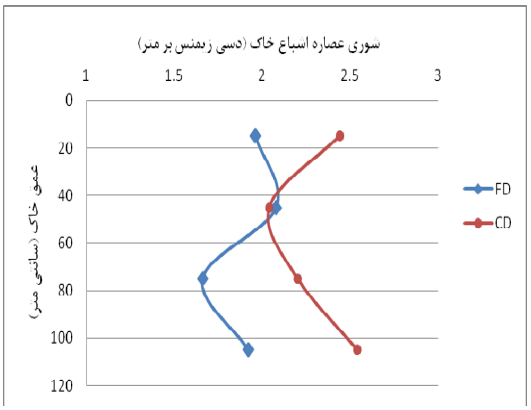
شکل ۱۴- تغییرات شوری خاک نسبت به عمق (فروردین ۹۰)



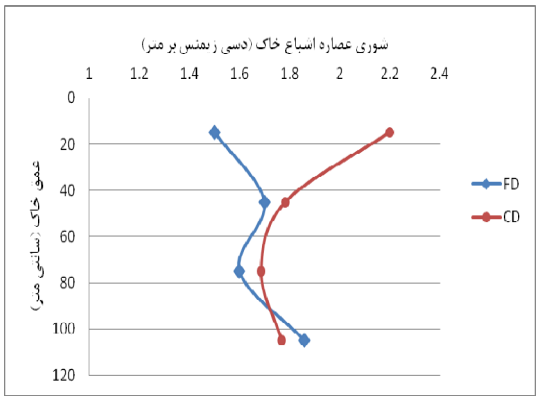
شکل ۱۵- تغییرات شوری خاک نسبت به عمق (اردیبهشت ۹۰)



شکل ۱۶- 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 ۲و۳ نتایج مربوط به عملکرد گیاه شامل وزن ساقه، میانگین قطر میانگره وسط، میانگین طول میانگره وسط، میانگین ارتفاع نی، درصد ماده جامد محلول (بریکس)، درصد پل، درصد خلوص شربت و درصد شکر قابل استحصال در هر دو تیمار ارائه شده است. در مزرعه 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 سانتی متر بود. 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 سانتی متر بود. علی رغم ۲۷ درصد صرفه جوئی 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 کنترل شده بیشتر از تیمار زهکشی آزاد بود.

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- فاکتور های 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

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که امکان استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده در اراضی کشت و صنعت نیشکر امام خمینی وجود دارد. کاربرد این سیستم علاوه بر کاهش حجم آب آبیاری و حجم زه آب خروجی، سبب کاهش هزینه پمپاژ تامین آب و تخلیه زه آب اراضی خواهد شد. نظر به اینکه محل تخلیه زه آب این طرح رودخانه دز است، بنابراین کاهش حجم زه آب تخلیه شده به رودخانه علاوه بر منافعی که به آن اشاره گردید، باعث کاهش آلودگی آب رودخانه و حفظ محیط زیست در پائین دست خواهد شد. بر اساس نتایج این تحقیق، میزان آب مصرفی در تیمار کنترل شده ۲۷ درصد کمتر از تیمار آزاد بود. میزان زه آب خروجی در مزرعه کنترل شده در حدود ۵۵ درصد نسبت به سیستم زهکشی آزاد کاهش نشان داد. شوری آب خروجی از زهکشهای زیرزمینی در زهکشی کنترل شده نسبت به زهکشی آزاد حدود ۱۱ درصد کمتر بود. کاهش این مقدار از حجم زهاب و شوری آن سبب کاهشی معادل ۲۴ تن نمک در هکتار در طول دوره تحقیق در تیمار کنترل شده گردید. افزایش شوری خاک در تیمار کنترل شده قابل ملاحظه نبود. مقایسه میزان عملکرد مزارع در دو تیمار نشان داد که استفاده از سیستم کنترل شده، علاوه بر صرفه جوئی در مصرف آب سبب افزایش عملکرد در این تیمار نیز گردید.

تقدیر و تشکر

در پایان بر خود لازم می دانم 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 هزینه های طرح پژوهشی تقدیر و تشکر نمایم. همچنین از معاونت محترم آب و خاک، مدیریت و پرسنل بخش تحقیقات و اداره آبیاری کشت و صنعت امام خمینی که در مدت انجام این طرح همکاری لازم را مبذول داشتند سپاسگزاری می گردد.

مراجع

Akram, M. 2006. Drainage changing process. Proceedings of the third drainage workshop of IRNCID. (in Farsi)

Akram, M., Tajik, F. and Akram, S. 2009. Control drainage, a suitable environmental method to become better irrigation efficiency. Proceedings of the fifth drainage & environment workshop. (in Farsi)

Ayars, J. E. 1996. Managing irrigation and drainage systems in arid areas in the presence of shallow groundwater: Case studies. Irrigation and Drainage Systems 10: 227–224, Kluwer Academic Publishers.

Drainage & environment working group of IRNCID. 2010. Disposal problems of drainage water in southern Iran. Sixth drainage & environment workshop. (in Farsi)

Esmaeelnia, S., Liaghat, A., Heydari, N. and Akram, M. 2005. A lysimetry study of water table management methods in tomato irrigation. Journal of agricultural engineering research/ Vol. 6 / No. 23 /summer 2005. (in Farsi)

Gupta, R. and Yadav, R.L. 1993. Ground water contribution to evapo-transpiration of sugarcane during summer. Cooperative Sugar 25, 113–115.

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 of Irrigation and Drainage. Faculty of Water Sciences Engineering Irrigation and Drainage Department. Shahid Chamran University of Ahvaz. (in farsi)

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, pp. 1557–1564.

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. Science direct. 1-19

Noory, H., Liaghat, A. and Noory, H. 2008. Subirrigation system to improve drainage water quality in Karaj of IRAN. Proceecings of the 10th international drainage workshop of ICID working group on drainage .Helsinki/Tallinn 6-11. July 2008. 117-124

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, 1–11

Ramoska, E. D., Bastinene, N. I. and Saulys, V. A. 2009. Evaluation of controlled drainage efficiency in LITHUANIA. Irrig. Drain. 10.1002/ird.548

Vlotman, W. F. and Jansen, H. C. 2003. Controlled drainage for integrated water management, Paper No 018. Presented at the 9th International Drainage Workshop, September 10 – 13, Utrecht, The Netherlands.

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 working group on drainage .Helsinki/Tallinn 6-11. July 2008. 375-376.