برآورد شوری خاک در محدوده ریشه نیشکر با مدیریت های مختلف آبیاری و زهکشی در کشت و صنعت امام خمینی با استفاده از مدل SaltMod

آرش محجوبی
مدیر دفتر شبکه های آبیاری و زهکشی دفتر فنی مهندسی آب و برق خوزستان

چکیده:

نیشکر از جمله گیاهانی است که در ناحیهٔ گرم خوزستان، آب مصرفی بسیار بالایی دارد و استفادهٔ بهینه از آب برای کشت پایدار نیشکر با اهمیت است. بررسی‌های متعدد دربارهٔ مصرف آب نیشکر نشان می‌دهد که در برخی از کشت و صنعت ها، مصرف آب بیش از نیاز واقعی نیشکر است. این تحقیق به منظور پیش بینی آثار بلند مدت (۱۰ ساله) مدیریت های مختلف آبیاری و زهکشی بر شوری خاک، عمق زهاب، عمق سطح ایستابی، کفایت و راندمان آبیاری توسط مدل SaltMod درکشت و صنعت امام خمینی اجرا شد. بدین منظور، چندین حالت مختلف از جمله کاهش عمق آب آبیاری، کاربرد عامل کنترل زهکشی، کاهش عمق نصب زهکش زیرزمینی و شوری آب آبیاری فرض و توسط مدل اجرا گردید. نتایج مدل با استفاده از داده های جمع آوری شده در مزرعه واسنجی شد. بر اساس پیش بینی مدل، استفاده از عامل کنترل زهکشی (در مدل ضریبی برای کاربرد زهکشی کنترل شده در نظر گرفته شده که بین صفر تا یک متغیر است) بیشتر از ۰/۲۵، بدون کاهش در مصرف آب آبیاری سبب بالا آمدن سطح ایستابی به محدودهٔ ریشه خواهد شد. اما با کاهش ۲۰ درصد مصرف آب آبیاری، کاربرد عامل کنترل زهکشی تا ۰/۵، هیچگونه محدودیتی در شوری خاک و عمق سطح ایستابی پیش نخواهد آمد. علاوه بر این، عمق زهاب از حدود ۲/۰۷ متر در فصل آبیاری به ۱/۲۶ متر کاهش خواهد یافت. پیش بینی مدل SaltMod نشان می دهد که در زهکش های زیرزمینی با فاصلهٔ ۷۰ متر، افزایش عمق نصب بیش از ۱/۵ متر فایده‌ای ندارد و تغییری در کاهش شوری خاک به وجود نخواهد آورد. در صورت استفاده از آب آبیاری با شوری بیشتر از ۱/۷ دسی زیمنس بر متر، شوری خاک منطقهٔ ریشه از ۳ دسی زیمنس بر متر بیشتر خواهد شد.

واژه های کلیدی
خوزستان، شوری منطقهٔ ریشه، عامل کنترل زهکشی، عمق زهاب، نیشکر، SaltMod

مقدمه:

در مناطق خشک و نیمه خشک، مدیریت آبیاری و زهکشی از عوامل اساسی مؤثر بر جریان آب در سطح و درون خاک است. در مدیریت آبیاری، زمان آبیاری و زمان مصرف کود و سم، از جمله عوامل مهم برای کنترل عناصر غذایی انحلال پذیر در آب است که به زیر منطقهٔ ریشه شسته و به لوله های زهکش وارد می‌شوند. زمان آبیاری همچنین بر صعود مویینه‌ای در منطقهٔ ریشه تاثیر می گذارد. در گذشته، طراحی عمق و فاصله زهکش ها با هدف به

حداقل رساندن خیز مویینه‌ای از سفرهٔ آب زیرزمینی به منطقهٔ ریشه تعیین می شد. اما امروزه، اثر متقابل مدیریت آبیاری و سهم آب زیرزمینی که می تواند توسط گیاه مصرف شود، در طراحی آبیاری و مدیریت سیستم های زهکشی مورد توجه قرار می گیرد (Akram *et al*., 2007).

زهکشی زیرزمینی کنترل شده یکی از روش‌های کاهش حجم زهاب به شمار می‌رود. بالا آوردن خروجی زهکش باعث نگه داری سطح ایستابی در عمق توسعهٔ ریشه می‌شود. خیز مویینه‌ای سبب می‌گردد تا گیاه قسمتی از نیاز تبخیر و تعرق خود را مستقیماً از رطوبت خاک دریافت کند. در واقع، آب زیرزمینی کم عمق به جای اینکه در سیستم زهکشی تخلیه شود، جایگزین آبیاری خواهد شد. در زمین هایی که سطح ایستابی کم عمق با زهکش کنترل می‌شود، میزان زهاب و نمک خارج شده کاهش می‌یابد. زهکشی کنترل شده همچنین از خارج شدن عناصر غذایی و دیگر آلاینده‌های موجود در زهاب جلوگیری می‌کند (Akram *et al*., 2007).

ممکن است به نظر آید که نگهداری سطح ایستابی در عمق کم و در نتیجه خیز مویینه ای به ناحیهٔ ریشه، مخالف هدف زهکشی در مناطق خشک و نیمه خشک باشد ولی نتایج مطالعات در برخی از مناطق خشک و نیمه خشک نشان می‌دهد که امکان استفاده از آب زیرزمینی کم عمق به منظور تامین بخشی از نیاز آبی گیاه وجود دارد و املاح انباشته شده در ناحیهٔ ریشه نیز تا قبل از فصل کشت بعدی به راحتی با آبیاری اضافی یا بارندگی قابل شستشو خواهد بود (Akram *et al*., 2007).

بر اساس نظر کریستین و سکهان (Christen & Skehan. 2001) طراحی زهکش های زیرزمینی در مناطق تحت آبیاری باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر کنترل نمک، سبب بهبود راندمان آبیاری و صرفه جویی در مصرف آب شود.

نتایج بررسی های هارست و همکاران (Hurst *et al*., 2004) نشان می دهد 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 آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی گیاه، نیازمند تحقیقات دقیق‌تر و کامل‌تری است.

در موضوع مشارکت سطح ایستابی در تأمین نیاز آبی نیشکر نیز مطالعات محدودی شده است. در هند، در یک خاک لوم شنی، نگهداری سطح ایستابی در عمق یک متری، سبب تامین ۶۵ درصد از نیاز آبی نیشکر شده است (Hunsigi & Srivastava, 1977).

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

وهبا و همکاران (Wahba *et al*., 2005) با به کارگرفتن مدل DRAINMOD-S، زهکشی کنترل شده را در دلتای غربی مصر به اجرا درآوردند. نتایج این تحقیق نشان می دهد که با استفاده از روش زهکشی کنترل شده به جای روش رایج زهکشی زیرزمینی، راندمان آبیاری، در وضع موجود و بدون کاهش عملکرد گیاه، ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش می‌یابد.

مدل SaltMod برنامه ای رایانه‌ای برای پیش بینی شوری خاک، عمق و شوری زهاب خروجی و عمق سطح ایستابی در زمین های کشاورزی است که می تواند حالت‌های مختلف هیدرولوژیک وگزینه‌های مختلف مدیریت آبیاری و زهکشی را در مزرعه بررسی کند. کاربردهای متعددی از مدل SaltMod در سطح جهان گزارش

شده است. اوستربان (Oosterbaan, 2002) ضمن ارزیابی عمق زهکش‌های زیرزمینی و پیش بینی شوری بلند مدت با استفاده از مدل SaltMod در مصر، نتیجه گرفت که مدل‌های آب- زراعت- شوری(Hydro-agro-salinity) نظیر مدل SaltMod ابزارهایی مفید برای شناخت روابط پیچیده آب، خاک و گیاه هستند.

سرینیواسولو و همکاران (Srinivasulu *et al*., 2004) با استفاده از این مدل، عمق و فاصلهٔ زهکش های زیرزمینی اجرا شده در مزرعهٔ آزمایشی اراضی کونانکی هندوستان را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل SaltMod نرم افزاری مفید برای پیش بینی شوری خاک منطقهٔ ریشه، کمیت و کیفیت آب زهکشی، و عمق سطح ایستابی در زمین های کشاورزی تحت مدیریت های مختلف آبیاری و زهکشی به حساب می‌آید.

باچه چی و همکاران(Bahceci *et al*., 2007) با تعیین ضریب آبشویی، زهکشی طبیعی منطقه و استفاده از مدل SaltMod و اندازه‌گیری های مزرعه‌ای، تاثیرات دراز مدت زهکشی کنترل شده بر شوری خاک و راندمان آبیاری را بررسی کردند. نتایج بررسی این محققان نشان می دهد که در یک دوره ده ساله شبیه‌سازی شده، چنانچه عامل فرضی کنترل زهکشی‌کمتر از ۰/۷۵ باشد تغییرات معنی‌داری در شوری ناحیهٔ ریشه ایجاد نخواهد شد، اما اگر ضریب کنترل زهکشی بزرگتر از ۰/۷۵ فرض شود، افزایش معنی‌داری در شوری محیط ریشه مشاهده خواهد شد. بر اساس شبیه سازی مدل، استفاده از زهکشی کنترل شده، کارایی و کفایت مصرف آب را به ترتیب ۱۱و ۳۸/۵ درصد افزایش می دهد.

حق وردی و همکاران (Haghverdi *et al*., 2011) شوری نیمرخ خاک در شبکه آبیاری و زهکشی دشت تبریز را با استفاده از مدل SaltMod و شبکه‌های عصبی شبیه سازی کردند. آنان با استفاده از داده های واقعی، مدل SaltMod را در چهار گروه مختلف زمین با توزیع متفاوت شوری واسنجی و شوری خاک برای دو فصل سال پیش‌بینی کردند. براساس نتایج این تحقیق، شبکه‌های عصبی مصنوعی به خوبی توانایی مدل سازی و پیش بینی شوری خاک منطقه ریشه را دارند و می توانند جایگزین خوبی برای SaltMod باشند.

کاظمی زریون و همکاران (Kazemi Zarivan *et al*., 2012) شبیه سازی زمانی و مکانی شوری خاک در زمین های پایاب سد حاجیلرچای آذربایجان شرقی را با استفاده از تلفیق زمین آمار و مدل SaltMod انجام دادند. آنان میزان شوری خاک در دوره های زمانی ۵ و ۱۰ ساله را با استفاده از مدل SaltMod پیش بینی کردند. نتایج این شبیه‌سازی نشان می دهد در مناطقی که در ابتدا شوری خاک آنها کمتر از ۶/۳ دسی زیمنس بر متر است، پس از گذشت ۵ و ۱۰ سال از شروع بهره برداری طرح و آبیاری اراضی (اگر زهکشی مناسب پیش بینی نشده باشد)، شوری خاک این مناطق افزایش خواهد یافت؛ اما در مناطقی که شوری خاک آنها بیشتر از ۶/۳ دسی زیمنس بر متر است شوری خاک کمتر خواهد شد.

نیشکر از گیاهانی است که آب مصرفی بسیار بالایی دارد. دور آبیاری نیشکر در خوزستان در ماه‌هایی که مصرف آب حداکثر است (تیر و مرداد)، به فاصلهٔ ۵ روز از هم می‌رسد و زهکش‌های زیرزمینی نیز آب را پیوسته تخلیه می‌کنند. تحقیقات نشان می‌دهد با اصلاح مدیریت آبیاری و زهکشی، می‌توان به میزان قابل توجه در مصرف آب صرفه جویی کرد و حجم زهاب را کاهش داد (Akram *et al*., 2008).

هدف از اجرای این تحقیق، پیش بینی بلندمدت (۱۰ساله) اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری و زهکشی بر شوری خاک منطقهٔ ریشه، میزان زهاب خروجی، و عمق سطح ایستابی در مزارع نیشکر کشت و صنعت امام خمینی است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقهٔ مورد مطالعه

این تحقیق در واحد امام خمینی، یکی از واحد های ده گانهٔ کشت وصنعت نیشکر اجرا شد. منطقهٔ مورد مطالعه بخشی از دشت شعیبیه در خوزستان به مساحت ناخالص حدود ۱۵۰۰۰ هکتار است که در ۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان شوشتر و ۵۰ کیلومتری شمال اهواز بین طول جغرافیائی ′۳۷ °۴۸ تا ′۵۰ °۴۸ و عرض جغرافیائی ′۳۷ °۳۱ تا °۳۲ قرار گرفته است (شکل۱). زمین های این واحد به قطعات منظم ۲۰ و ۲۵ هکتاری (۸۰۰ ✻۲۵۰ متر) و (۱۰۰۰✻۲۵۰متر) تقسیم شده است و مجموعا ۴۸۰ مزرعه دارد. این تحقیق در دو مزرعه به نام های B1-115 (زهکشی کنترل شده) و B1-129 (زهکشی آزاد) هر یک به مساحت حدود ۲۰ هکتار(کشت جدید) اجرا شد که از نتایج آن در واسنجی مدل استفاده شد.

سیمای شبکهٔ آبیاری و زهکشی

آب زمین های 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 می کند و از آنجا به لولهٔ پلاستیکی دریچه دار انتقال می‌دهد. لولهٔ پلاستیکی هر مزرعه در طول مزرعه قرار دارد و آب از دریچه‌های نصب شده روی لوله به داخل جویچه‌ها هدایت می‌شود. زهکش‌های زیرزمینی نیز در طول مزرعه و به موازات لوله‌های دریچه‌دار پلاستیکی نصب شده‌اند و زهاب را مستقیماً به زهکش روباز جمع کنندهٔ واقع در پایین مزرعه تخلیه می‌کنند (شکل ۲). زهکش‌های جمع‌کننده مزارع، زهاب تولیدی را 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 ۰/۰۰۰۷است. جنس لوله‌ها PVC موجدار و پوشش دور آنها از نوع شن و ماسه است.

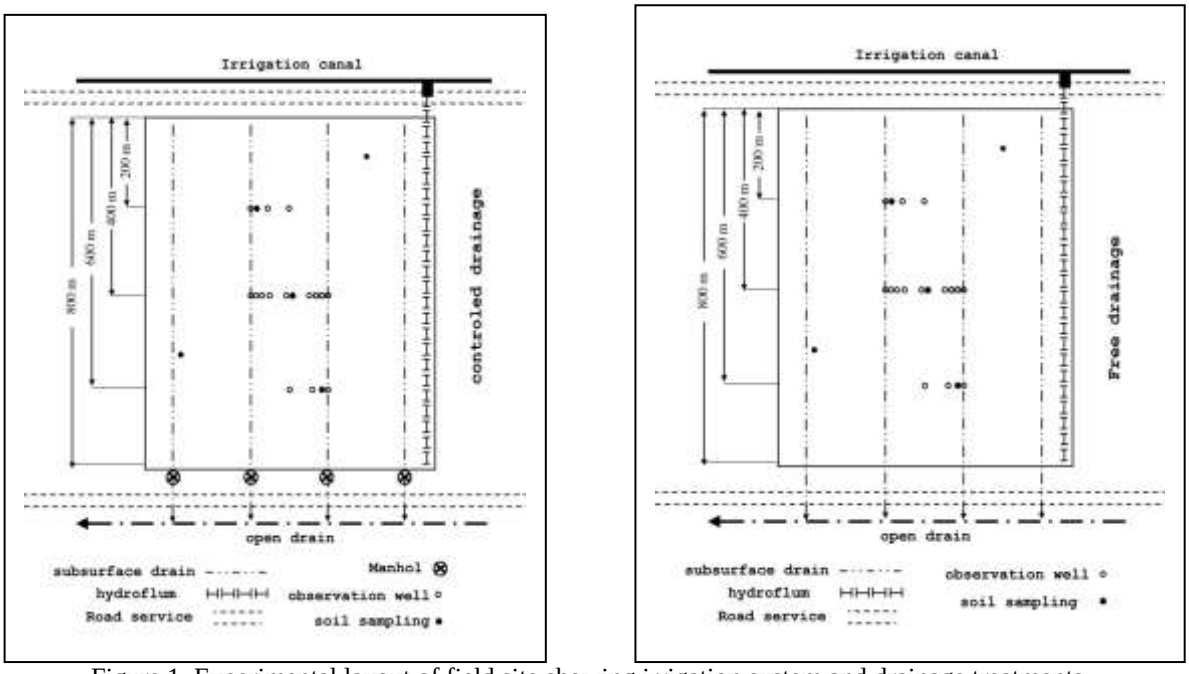


Figure 1. Experimental layout of field site showing irrigation system and drainage treatments

چاهک های مشاهده‌ای

برای اندازه‌گیری رقوم سطح ایستابی و بررسی نوسانات آن در دورهٔ تحقیق و نمونه برداری از آب زیرزمینی برای تعیین شوری آن، ۱۵ حلقه چاهک مشاهده‌ای به عمق ۲ متر (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. سطح ایستابی در کلیهٔ چاهک‌های مشاهده‌ای در هر دو مزرعه با استفاده از دستگاه ثبات الکترونیکی و به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. در شکل ۲، محل چاهک‌های مشاهده‌ای مشخص شده است.

جمع آوری داده‌ها

سطح ایستابی در کلیهٔ چاهک‌های مشاهده‌ای هر دو مزرعه، روزانه اندازه گیری شد. میزان آب ورودی به مزرعه با روش حجمی و با استفاده از ظرف مدرج و زمان سنج اندازه گیری شد. برای این کار، یک سوم از دریچه های لوله‌های پلاستیکی که جهت ورود آب به جویچه‌ها باز بودند انتخاب شدند، حجم آب خروجی از هر یک از آنها اندازه‌گیری شد و در نهایت میزان خروجی کل دریچه‌ها به داخل مزرعه به دست آمد. 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 برای تعیین شوری به آزمایشگاه ارسال شد. همچنین، برای تعیین شوری خاک، در محل‌های تعیین شده به شکل (w) یک نوبت قبل از کاشت نیشکر و با شروع تحقیق، هر ماه از آغاز تا پایان فصل آبیاری و شروع فصل برداشت، از خاک نمونه برداری شد. نمونه‌های خاک با فواصل ۳۰ سانتی متری و تا عمق ۹۰ سانتی متری سطح خاک برداشت و شوری عصارهٔ اشباع آنها به دست آمد (Mahjoubi, 2012).

خصوصیات مدل SaltMod

مدل SaltMod برنامهٔ رایانه‌ای شبیه سازی است برای شوری خاک و زهاب، عمق سطح ایستابی، و عمق زهاب خروجی در اراضی کشاورزی تحت آبیاری با شرایط مختلف بیلان فصلی آبی و شرایط مختلف مدیریت آب و الگوهای کشت گوناگون. حداکثر چهار فصل (دوره زمانی) می‌تواند در یک سال زراعی تعیین شود، تعداد ماه‌های هر فصل با توجه به نظر کاربر و شرایط منطقه‌ای معین می‌شود. هر چه تعداد فصل‌ها بیشتر باشد به تعداد بیشتری دادهٔ ورودی نیاز خواهد بود. مدت هر فصل بر اساس تعداد ماه‌های آن در مدل مشخص می‌شود. تعداد ماه‌ها در کل فصول باید ۱۲ ماه یعنی معادل یک سال کامل باشد. مدل، سه ناحیه از خاک شامل منطقهٔ ریشه (root zone)، منطقهٔ انتقال(transition zone)، و آبخوان (aquifer zone) را با ضخامت های مختلف در نظر می گیرد. خروجی‌های SaltMod برای هر فصل از سال و به تعداد سال‌هایی به دست می آید که عوامل ورودی آنها مشخص شده است (بسته به نظر کاربر برای دوره های یک تا ده ساله). داده‌های خروجی شامل عمق آب زیرزمینی، عمق زهاب و شوری است. بیلان آب و نمک بر پایهٔ بیلان آب و با استفاده از غلظت نمک در آب ورودی و خروجی برای نواحی مختلف در نیمرخ خاک تعیین می‌شود (Oosterbaan, 2002).

برای پیش بینی بلندمدت ۱۰ ساله شوری خاک منطقهٔ ریشه، عمق سطح ایستابی، و میزان عمق زهاب خروجی، مدل با استفاده از مقادیر مختلف عامل فرضی کنترل زهکشی (F_{rd}) به دفعات مختلف اجرا شد. در مدل SaltMod ضریبی برای مدیریت و کاهش عمق زهاب خروجی در نظر گرفته شده که بین صفر تا یک متغیر است و

در صورت کاربرد سامانه‌های زهکشی کنترل شده می‌توان عمق سطح ایستابی، شوری خاک، و عمق زهاب را برای مقادیر مختلف این ضرایب پیش بینی کرد.

به منظور استفاده از مدل SaltMod، تعدادی از پارامترهای مورد نیاز ابتدا باید تعیین شوند. برخی از داده‌های ورودی، در محل، در آزمایشگاه، یا از روش‌های همبستگی تعیین می‌شوند در حالی‌که تعداد دیگری از داده‌ها را مدل خود محاسبه می کند (جدول۱).

واسنجی مدل

پارامترهایی نظیر راندمان آبشویی منطقهٔ ریشه (F_{lr}) و میزان زهکشی طبیعی از طریق آبخوان (G_n)، قابل اندازه گیری نیستند، از این رو مدل باید آنها را تعیین کند. به این منظور، مدل با استفاده از مقادیر مختلف (F_{lr}) و (G_n) چندین بار اجرا می‌شود تا حدی که شوری‌های به دست آمده برای منطقهٔ ریشه و عمق آب زیرزمینی بیشترین شباهت را با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه داشته باشد.

نتایج و بحث:

تعیین راندمان آبشویی منطقهٔ ریشه

ضریب راندمان آبشویی منطقهٔ ریشه (F_{lr}) این گونه تعریف می شود: نسبت غلظت نمک آب نفوذ یافته از منطقهٔ ریشه به متوسط غلظت نمک آب خاک در حالت اشباع (Oosterbaan, 2002). مقادیر دلخواه ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶و ۰/۸ برای راندمان آبشویی منطقهٔ ریشه برای اجرای مدل انتخاب شدند. مدل با استفاده از راندمان‌های آبشویی مختلف اجرا شد و سطوح مختلف شوری در منطقهٔ ریشه به دست آمد. نتایج پیش بینی مدل و نتایج حاصل از اندازه گیری مزرعه‌ای در شکل ۳ آورده شده است.

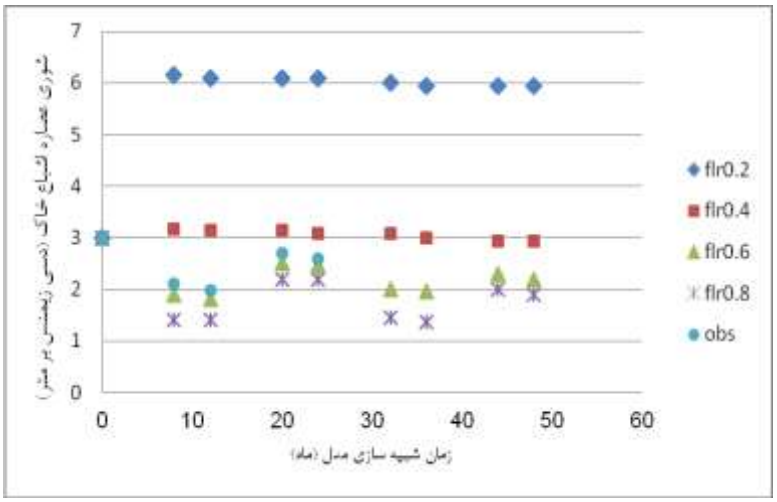
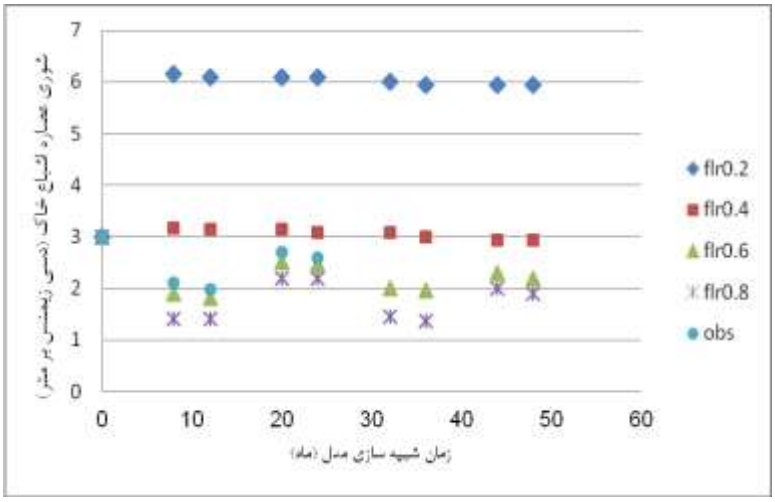


Table III. Summary of input parameters needed by SALTMOD

1. Duration of season (month)	
Season 1 (March to September)	
Season 2 (October to February)	
2.Soil properties	
Fraction of irrigation or rain water stored in root zone	
Total porosity of root zone	0.60
Total porosity of transition zone	0.45
Total porosity of aquifer (assumed)	0.40
Drainable porosity of root zone (determined in area)	0.06
Drainable porosity of transition zone (determined in area)	0.04
Drainable porosity of aquifer (assumed)	0.20
Leaching efficiency of root zone (calibrated)	0.70
Leaching efficiency of transition zone (calibrated)	0.80
Leaching efficiency of aquifer (assumed)	
3. Water balance components	
Irrigation in season 1 (m)	0.660
Irrigation in season 2 (m)	0.00
Rainfall in season 1 (m)	0.110
Rainfall in season 2 (m)	0.255
Potential evapotranspiration A crop in season 1 (m)	0.950
Outgoing groundwater flow through aquifer in both season (calibrated) (m)	
4. Drainage criteria and system parameters	
Root zone thickness (m)	0.90
Depth of subsurface drains (m)	1.50
Drain spacing (m)	60
Thickness of transition zone between root zone and aquifer (m)	10
Thickness of aquifer assumed (m)	30
Ratio of drain discharge and height of the groundwater table above drain (m $d_{-1}m_{-1}$)	0.008
Rate of drain discharge and squared height of the groundwater table above drain (m $d_{-1}m_{-2}$)	0.000
5. Initial and boundary conditions values measured as average)	
Depth of groundwater table in the beginning of season 1 (m)	1.65
Initial salt concentration of soil moisture in root zone at field sat.(dSm_{-1})	9.03
Initial salt concentration of the soil moisture in transition zone (dSm_{-1})	8.40
Average salt concentration of incoming irrigation water (dSm_{-1})	

بر اساس نتایج به دست آمده، ضریب راندمان آبشویی ۰/۶ بیشترین مطابقت را با داده‌های مشاهده‌ای شوری خاک نشان داد. در حالی که اوستربان و ابوسنا (Oosterbaan & Abu Senna 1990) ضریب راندمان آبشویی را با استفاده از مدل SaltMod در دلتای نیل ۰/۸ به دست آوردند. سرینیواسولو و همکاران (Srinivasulu *et al*., 2004) عدد ۰/۶۵ را به عنوان ضریب آبشویی در مزرعه‌ای در هند محاسبه کردند. باچه چی و همکاران این ضریب را با استفاده از مدل SaltMod در یک خاک رسی در مزرعه‌ای در ترکیه حدود ۰/۷ به دست آوردند.

حق وردی و همکاران (Haghverdi *et al*., 2011) ضریب راندمان آبشویی را با استفاده از همین مدل برای دو سری خاک در دشت تبریز، حدود ۰/۷ و ۰/۸ تعیین کردند. کاظمی زریون و همکاران (Kazemi zarivan *et al*., 2012) با استفاده از مدل SaltMod این ضریب راندمان را در دشت آذربایجان شرقی ۰/۴ محاسبه کردند.



شکل ۳- واسنجی راندمان آبشویی منطقهٔ ریشه.

تعیین میزان زهکشی زیرزمینی طبیعی

در مدل، زهکشی زیرزمینی طبیعی ($G_n=G_o-G_i$) عبارت است از تفاضل بین آب زیرزمینی خروجی (G_o) و آب زیرزمینی ورودی (G_i) در طول فصل. برای محاسبهٔ مقدار این پارامتر، با قرار دادن G_i برابر با صفر و مقادیر مختلف زهکشی طبیعی خروجی (G_o)، عمق سطح ایستابی(Dw) و عمق زهاب خروجی (Gd) را خود مدل پیش بینی می‌کند. پس از آن، نتایج مدل با نتایج به دست آمده از مزرعه مقایسه و عددی به عنوان زهکشی طبیعی منطقه (G_n) انتخاب می‌شود که بیشترین شباهت را با سطح ایستابی واقعی و عمق زهاب داشته باشد. با توجه به طولانی تر بودن فصل اول (۸ ماه) در مقایسه با فصل دوم (۴ماه)، مقادیر انتخابی (G_{O1} و G_{O2}) به صورت جفت‌های (۰ و ۰)، (۰/۰۶ و ۰/۰۳)، (۰/۰۸ و ۰/۰۴)، (۰/۱ و ۰/۰۵) و (۰/۱۲ و ۰/۰۶) متر انتخاب شدند. مدل، برای مقادیر مختلف زهکشی طبیعی مربوط به هر فصل اجرا گردید. نتایج پیش بینی مدل برای این مقادیر مختلف فرضی در جدول ۲ درج شده است. مقادیر پیش بینی شده مدل با نتایج اندازه‌گیری شدهٔ واقعی عمق سطح ایستابی و عمق زهاب خروجی در مزرعه مقایسه شد. بر اساس اندازه‌گیری ها، میانگین عمق سطح ایستابی در فصل اول (اسفند تا مهرماه) بین ۱/۱ تا ۱/۱۳ و در فصل دوم (آبان تا بهمن)، حدود ۱/۸۸ متر از سطح زمین بود. در این مدت، میزان عمق زهاب خروجی در فصل اول (۸ ماه) حدود ۲/۰۷ متر بود. مقایسهٔ مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش بینی شده مدل در جدول ۲ نشان می‌دهد که مقدار زهکشی طبیعی سالانه بین ۰/۰۹ تا ۰/۱۲ است. گرچه این نتیجه گیری چندان دقیق نیست اما بیانگر وجود زهکشی طبیعی کم در منطقه است. بنابراین میزان زهکشی طبیعی سالانه حدود ۰/۰۹ (فصل اول و دوم به ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۰۳) در منطقه، به عنوان ورودی مدل فرض شد.

عبدالدایم و ریتزما (Abdel-Dayem & Ritzema,1990) میزان زهکشی طبیعی سالانه در دلتای نیل در مصر را حدود ۰/۱۴ متر به دست آوردند. سرینیواسولو و همکاران (Srinivasulu *et al.*, 2004) ضمن تعیین بیلان آب و نمک توسط مدل، میزان زهکشی طبیعی در مزرعه آزمایشی در هند را حدود ۰/۰۵ به دست آوردند. باچه چی و همکاران (Bahceci *et al.*, 2006)، میزان زهکشی طبیعی در مزرعه ای فاریاب در ترکیه را حدود ۰/۱۲ متر در سال برآورد کردند. کاظمی زریون و همکاران (Kazemi zarivan *et al.*, 2012) با استفاده از مدل، میزان زهکشی طبیعی سالانه را در دشت آذربایجان شرقی ۰/۱۴ به دست آوردند.

جدول ۲- مقادیر فرض شدهٔ خروجی زهکشی طبیعی سالانه به آب زیرزمینی (Gn متر در سال) و مقادیر پیش بینی مدل شامل میانگین عمق آب زیرزمینی (Dw متر) و عمق زهاب خروجی (Gd متر در فصل) برای سال اول

Table IV. Simulated values of annual natural drainage to the underground (G_n m yr_{-1}), seasonal average groundwater table depth (D_w, m) and quantity of drainage water (G_d, m/season) for the second year

G_n Annual	First season (summer)		Second season (winter)	
	D_W	G_d	D_W	G_d
0.00= (0+0)	۱/۱	۲/۱۴	۱/۸۴	۰/۱۸
0.09=(0.06+0.03)	۱/۱۲	۲/۰۸	۱/۸۷	۰/۱۴
0.12=(0.08+0.04)	۱/۱۴	۲/۰۶	۱/۸۸	۰/۱۳
0.15=(0.1+0.05)	۱/۱۵	۲/۰۴	۱/۸۹	۰/۱۱
0.18=(0.12+0.06)	۱/۱۴	۲/۰۲	۱/۹	۰/۱۰

اثرضریب کنترل زهکشی بر شوری خاک و عمق سطح ایستابی

مدل برای مقادیر مختلف عامل کنترل زهکشی صفر، ۰/۲۵، ۰/۵و ۰/۷۵ اجرا شد. عامل واکنش زهکشی (QH) با این ضرایب مختلف به ترتیب برابر با ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۴و ۰/۰۰۲ محاسبه گردید. خروجی شبیه سازی شدهٔ مدل برای هر دو فصل در جدول های ۳ و ۴ نمایش داده شده است.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می شود، چنانچه مقادیر مختلف عامل کنترل زهکشی از صفر (زهکشی آزاد) به ۰/۲۵، ۰/۵و ۰/۷۵ (زهکشی کنترل شده) افزایش یابد، میانگین عمق سطح ایستابی از ۱/۱۲ متر به ۰/۸۸، ۰/۶ و صفر کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، استفاده از ضریب کنترل زهکشی بیشتر از ۰/۲۵ باعث بالا آمدن سطح ایستابی به محدوده ریشه خواهد شد. پیش بینی مدل نشان داد کاربرد حدود ۴ متر آب در طول فصل آبیاری (مطابق با آنچه در واحدهای کشت و صنعت نیشکر متداول است)، استفاده از زهکشی کنترل شده را با محدودیت مواجه خواهد ساخت. بنابراین، همزمان با کاربرد زهکشی کنترل شده، عمق آب آبیاری نیز باید تا حدود ۳/۲ متر کاهش یابد (نتایج آن در بخش بعدی ارائه شده است). چنانچه در جدول ۴ مشاهده می گردد با توجه به اینکه در فصل دوم، آبیاری انجام نمی شود و فقط مقدار کمی بارندگی وجود دارد لذا بر اساس نتایج مدل، محدودیتی در عمق سطح ایستابی به وجود نخواهد آمد.

جدول۳- شوری خاک و میانگین عمق سطح ایستابی در فصل اول با مقادیر متفاوت ضریب کنترل زهکشی

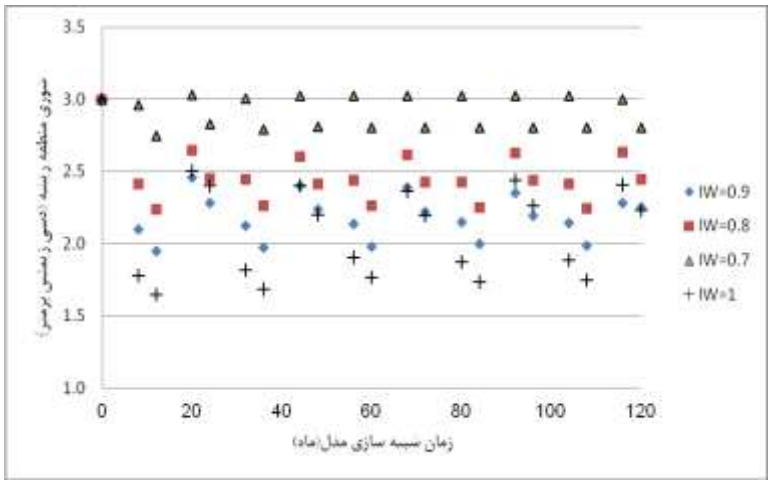
Drainage control factors	Drainage reaction factors	Gd	Dw	Cr4
۰	۰/۰۱	۲/۰۷	۱/۱۲	۲/۱
۰/۲۵	۰/۰۰۷۵	۲/۰۳	۰/۸۸	۲/۲
۰/۵	۰/۰۰۵	۱/۸۱	/۶۰	۲/۳
۰/۷۵	۰/۰۰۲۵	۰/۸۴	۰	۵/۲۵

جدول ۴- تخمین شوری خاک و میانگین عمق سطح ایستابی در فصل دوم با مقادیر متفاوت ضریب کنترل زهکشی

ضریب کنترل زهکشی	عکس العمل زهکشی(متر)	شوری عصارهٔ اشباع خاک منطقهٔ ریشه (دسی زیمنس متر)	عمق سطح ایستابی(متر)	عمق زهاب (متر)
۰	۰/۰۱	۱/۸	۱/۸۷	۰/۱۵
۰/۲۵	۰/۰۰۷۵	۲	۱/۸۴	۰/۱۸
۰/۵	۰/۰۰۵	۲/۲	۱/۸۱	۰/۲۱
۰/۷۵	۰/۰۰۲۵	۴/۸۹	۱/۶۳	۰/۲۴

اثر کاهش آبیاری بر شوری خاک، عمق سطح ایستابی و عمق زهاب

نتایج بررسی‌ها دربارهٔ مصرف آب در واحدهای کشت و صنعت نیشکر خوزستان، نشان می‌دهد که در تعدادی از واحدها، مصرف آب به مراتب بیش از نیاز واقعی است (Akram *et al*., 2008). به منظور بررسی اثر کاهش میزان آب آبیاری بر شوری خاک، مدل برای مقادیر مختلف عمق آب آبیاری شامل ۲/۸، ۳/۲، ۳/۶ و ۴ متر به ترتیب ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد عمق آب آبیاری (۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ و IW=۱) اجرا گردید. محجوبی (Mahjoubi, 2012) میزان کل آب مصرفی اندازه‌گیری شده (۸ ماه) در نیشکرکشت (پلانت) را در مزرعه با زهکشی آزاد ۴۰۱۴ میلی‌متر و در مزرعه با زهکشی کنترل شده حدود ۳۱۰۰ میلی‌متر به دست آورد.



شکل۴ - تغییرات شوری خاک منطقهٔ ریشه با درصد های مختلف کاهش آب آبیاری نسبت به زمان.

در شکل ۴ مشاهده می شود که با کاهش مصرف آب تا ۲۰ درصد (عمق آب آبیاری ۳/۲ متر)، افزایش قابل توجهی در شوری خاک دیده نمی شود و شوری خاک در محدوده ۲ تا ۲/۵ دسی زیمنس بر متر است. با کاهش مصرف آب به میزان ۳۰ درصد (عمق آب آبیاری ۲/۸ متر) میانگین شوری خاک منطقهٔ ریشه در فصل اول افزایش بیشتری نشان می دهد و به حدود ۳ دسی زیمنس بر متر می رسد. با توجه به گذشت بیش از ۱۵ سال از بهره برداری شرکت کشت و صنعت امام خمینی، شوری خاک و آب زیرزمینی به تعادل نسبی رسیده است. به نحوی که شوری عصارهٔ اشباع خاک در زمین ها بین ۲ تا ۴ دسی زیمنس بر متر و شوری آب زیرزمینی (تا عمق ۶ متر)، بین ۴ تا ۶ دسی زیمنس بر متر است. این موضوع سبب شده است تا تغییرات شوری در مدل دارای شیب کمی باشد. تحقیقات محجوبی (Mahjoubi, 2012) نشان می‌دهد با کاربرد زهکشی کنترل شده و کاهش مصرف آب از ۴ متر در زهکشی آزاد به ۳/۱ متر در زهکشی کنترل شده، افزایش شوری خاک در محدودهٔ عمق ریشه اتفاق نمی افتد و کاهش عملکردی در محصول نیشکر مشاهده نمی شود.

تحقیقات شینی دشتگل و الهامی فر (SheiniDashtegol & Elhamifard, 2006) در خصوص اثر شوری خاک بر عملکرد نیشکر در خوزستان نشان می دهد که تا شوری ۲ دسی زیمنس بر متر، کاهشی در رشد نیشکر اتفاق نمی‌افتد. اما در محدوده ۲ تا ۴ دسی زیمنس بر متر، شوری خاک سبب کاهش عملکرد سبز گیاه (نی) می شود و در شوری بیش از ۴ کاهش عملکرد نی شدید است. در شوری بیش از ۲ دسی زیمنس بر متر، میزان کاهش عملکرد حدود ۱۷ درصد و در شوری ۴ دسی زیمنس بر متر، کاهش عملکرد حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد است. همچنین، به ازای هر واحد افزایش شوری عصارهٔ اشباع خاک (بر حسب دسی زیمنس بر متر)، شکر استحصالی ۰/۹۱- ۰/۲۹ درصد کاهش خواهد یافت.

بر اساس نتایج گلابی (Golabi, 2009)، آستانهٔ تحمل نیشکر به شوری برابر۲/۲ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است.

جدول ۵ نیز تأثیر کاهش مصرف آب بر عمق سطح ایستابی، عمق زهاب، راندمان و کفایت آبیاری را برای سال پنجم سناریوهای مختلف مصرف آب در فصل آبیاری نشان می‌دهد. بر اساس نتایج پیش بینی مدل، با کاهش ۲۰ درصد در مصرف آب مقدار کفایت آبیاری کاهش نمی یابد و میزان راندمان آبیاری از ۴۴ درصد به ۶۴ درصد افزایش خواهد یافت و عمق زهاب نیز حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد.

جدول ۵- برآورد شوری خاک و عمق سطح ایستابی با اعماق مختلف آب آبیاری توسط مدل برای سال پنجم

عمق آب آبیاری (متر)	شوری عصاره اشباع خاک منطقه ریشه(دسی زیمنس بر متر)	عمق سطح ایستابی(متر)	عمق زهاب (متر)	کفایت آبیاری*	راندمان آبیاری**
۴	۲/۱	۱/۱۲	۲/۰۷	۱	۰/۴۴
۳/۶	۲/۲	۱/۲۷	۱/۶	۱	۰/۵۶
۳/۲	۲/۴	۱/۴۲	۱/۳۲	۱	۰/۶۴
۲/۸	۳	۱/۵۸	۰/۹۵	۱	۰/۷۴

*: نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق پتانسیل.

**: نسبت مقدار آب آبیاری که به مصرف تبخیر و تعرق می رسد به مقدار آب ورودی به مزرعه.

بر اساس پیش بینی مدل و نتایج مندرج در جدول ۵، امکان کاهش مصرف آب آبیاری بدون افزایش در شوری خاک و کاهش عملکرد محصول وجود دارد. در این شرایط، برای بررسی تاثیر زهکشی کنترل شده بر شوری خاک، سطح ایستابی، و عمق زهاب، مقادیر مختلف ضریب کنترل زهکشی نیز به مدل داده شد. همان طور که در جدول ۶ مشاهده می شود، بر اساس نتایج پیش بینی مدل، با کاربرد حدود ۳/۲ متر آب و استفاده از ضریب کنترل زهکشی تا ۰/۵، افزایشی در شوری خاک منطقهٔ ریشه به وجود نخواهد آمد. ضمن آنکه سطح ایستابی در عمق مناسبی از سطح خاک قرار می گیرد و علاوه بر اینکه محدودیتی برای رشد ریشه فراهم نخواهد کرد امکان استفاده از آب زیرزمینی را نیز برای گیاه فراهم خواهد کرد و عمق زهاب خروجی از مزرعه را از ۱/۳۲ متر به ۱/۲۶ متر کاهش خواهد داد.

جدول ۶- برآورد شوری خاک و میانگین عمق سطح ایستابی در فصل آبیاری (اول) با مقادیر متفاوت ضریب کنترل زهکشی

عمق آب آبیاری (متر)	عامل کنترل زهکشی	عکس العمل زهکشی (متر)	شوری عصارهٔ اشباع خاک منطقهٔ ریشه(دسی زیمنس بز متر)	عمق سطح ایستابی(متر)	عمق زهاب (متر)
۳/۲	۰/۰	۰/۰۱	۲/۴	۱/۴۲	۱/۳۲
۳/۲	۰/۲۵	۰/۰۰۷۵	۲/۴	۱/۲۶	۱/۳
۳/۲	۰/۵	۰/۰۰۵	۲/۵	۰/۹۵	۱/۲۶
۳/۲	۰/۷۵	۰/۰۰۲۵	۳	۰/۷۷	۰/۷۵

جعفری و همکاران (Jafari *et al*., 2006) میزان کل آب ورودی را در یک مزرعه شامل پنج واریته مختلف نیشکر، در کشت (پلنت) در آبیاری کنترل شده در حدود ۳۴۲۹۰ متر مکعب در هکتار گزارش کرده اند. این محققان به نقل از صادقی عطار (۱۳۷۹)، می گویند میزان آب مصرفی در کشت و صنعت کارون در سطح ۹۰۰۰ هکتار، حدود ۵۹۰۰۰ متر مکعب در هکتار (معادل ۵۹۰۰ میلی‌متر) و در بلوک F این واحد در سطح ۳۰۰۰ هکتار، حدود ۴۸۰۰۰ متر مکعب در هکتار اندازه گیری شده است.

بر اساس نتایج بررسی های جعفری و همکاران (Jafari *et al*., 2006)، مناسب‌ترین حجم آب مصرفی نیشکر در هر نوبت آبیاری بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ مترمکعب در هکتار است. در حالی‌که اندازه‌گیری‌ها نشان می دهد که حجم آب مصرفی در بیش از ۹۵ درصد مزارع در هر نوبت آبیاری بیش از ۱۵۰۰ مترمکعب در هکتار است. افزایش این حجم آب نسبت به مقدار توصیه شده، از یک سو سبب ایجاد مشکل تهویه در خاک و از سوی دیگر باعث افزایش حجم زهاب خروجی از مزارع خواهد شد.

اثر عمق زهکش زیرزمینی بر شوری خاک

در گذشته، عقیده بر این بود که در مناطق خشک و نیمه خشک به علت خطر بازگشت شوری، عمق زهکش‌ها نباید از حدود دو متر کمتر باشد. اما خطر شوری هنگامی وجود دارد که جریان آب بر عکس شود و جریان غالب از پایین به بالا باشد. در خوزستان، چنانچه در تابستان آبیاری انجام شود، چنین اتفاقی را نمی‌توان انتظار داشت. در زمین های زیر کشت نیشکر در خوزستان نیز که حدود هشت ماه از سال آبیاری می‌شوند، بازگشت شوری مشاهده نشده است (Mahjoubi *et al*., 2012).

کاهش عمق زهکش‌ها موجب می‌شود که نمک کمتری از خاک خارج و به محیط زیست وارد شود. این موضوع بسیار پر اهمیت است و نقش بسیار مهمی در خروج نمک‌هایی دارد که در نیمرخ خاک مدفون هستند و زیانی به محیط زیست وارد نمی‌کنند. به نظر می‌رسد دلیل بیشتر بودن شوری زهاب خروجی از واحدهای نیشکر نسبت به شوری آب آبیاری، آن است که در حقیقت علاوه بر آبشویی لایه بالای زهکش، شوری زیر این لایه نیز از زهکش های زیرزمینی خارج می‌شود (Anon, 2010).

برای بررسی تاثیر عمق زهکش‌های زیرزمینی، مدل برای اعماق مختلف ۱/۳، ۱/۵، ۱/۷، ۱/۸ و ۲ متر اجرا شد. در جدول ۷ مشاهده می شود که به جز عمق نصب ۱/۳ متر که عمق سطح ایستابی می‌تواند به عنوان یک محدودیت برای عملکرد نیشکر فرض شود، در سایر عمق‌ها، شوری خاک منطقهٔ ریشه و عمق سطح ایستابی محدودیتی برای گیاه نیشکر ایجاد نخواهد کرد. بدیهی است با توجه به فواید کاهش عمق نصب زهکش در کاهش عمق زهاب خروجی و بهبود شرایط زیست محیطی، عمق نصب ۱/۵ متر در این شرایط، مناسب‌تر خواهد بود.

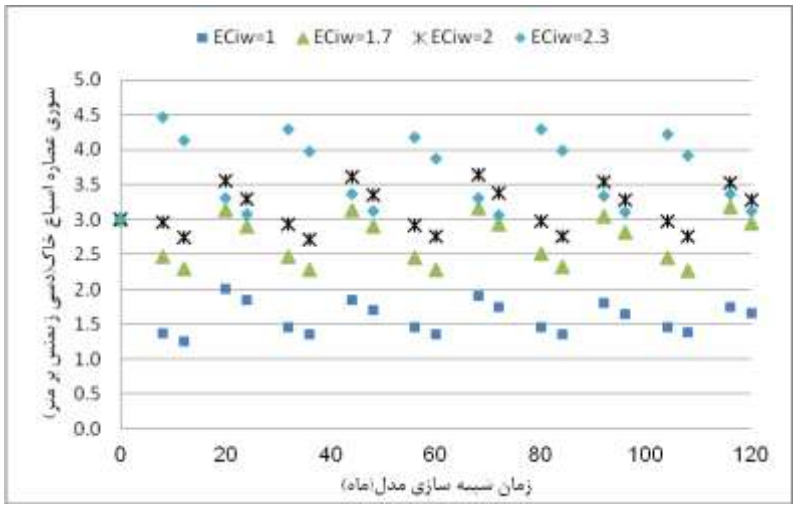
نظری و همکاران (Nazari et al., 2008) نیز با استفاده از مدل Drainmod-S در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر، شبیه سازی عملکرد سامانه زهکشی، عملکرد محصول (نیشکر) و بار نمک زهاب را با عمق‌های مختلف زهکش بررسی کردند. نتایج بررسی این محققان نشان می دهد که برای کاهش تاثیرات مخرب زیست محیطی و افزایش کارایی اقتصادی، باید عمق نصب زهکش‌ها از ۲ متر به ۱/۵ متر کاهش یابد.

جدول ۷- برآورد شوری خاک و میانگین عمق سطح ایستابی در فصل آبیاری (اول) با مقادیر متفاوت عمق زهکش

عمق آب آبیاری (متر)	عمق زهکش (متر)	شوری عصارهٔ اشباع خاک منطقهٔ ریشه(دسی زیمنس بر متر)	عمق سطح ایستابی(متر)	عمق زهاب (متر)
۳/۲	۱/۳	۲/۴	۰/۷۳	۱/۲۱
۳/۲	۱/۵	۲/۴	۰/۹۳	۱/۲۵
۳/۲	۱/۷	۲/۴	۱/۱۵	۱/۲۷
۳/۲	۱/۸	۲/۴	۱/۲۲	۱/۲۸
۳/۲	۲	۲/۴	۱/۴۲	۱/۳۲

اثر شوری آب آبیاری بر شوری خاک

شوری آب آبیاری بیش از آستانهٔ تحمل گیاه نیشکر، مانند اکثر محصولات کشاورزی، باعث کاهش عملکرد این محصول خواهد شد. به منظور پیش بینی اثر افزایش شوری آب آبیاری در سال های مختلف بر شوری خاک در منطقهٔ ریشه، مدل برای مقادیر مختلف شوری آب آبیاری (با عمق ۳/۲ متر در طول فصل آبیاری) اجرا گردید. سطح شوری‌های مختلف آب آبیاری شامل ۱/۱، ۱/۶، ۲ و ۲/۳ دسی زیمنس بر متر بود. مطابق با شکل ۵، نتایج پیش بینی مدل نشان می‌دهد زمانی که شوری آب آبیاری بیش از ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر شود، میزان شوری خاک بیش از ۳ دسی زیمنس برمتر خواهد شد.



شکل۵ - تغییرات شوری خاک منطقه ریشه با مقادیر مختلف شوری آب آبیاری

نتیجه گیری

مدل SaltMod ابزاری مفید برای پیش بینی شوری خاک، عمق زهاب، و عمق سطح ایستابی در زمین های کشاورزی تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و زهکشی است. نتایج مدل نشان می دهد که آب مصرفی در کشت و صنعت نیشکر امام خمینی بیش از حد نیاز گیاه است و سبب بیش‌زهکشی(Over drainage) و افزایش عمق زهاب و نمک خروجی از مزارع می شود. بر اساس نتایج مدل، کاهش مصرف حدود ۲۰ درصد از مصرف آب آبیاری علاوه بر تامین نیاز آبی گیاه و آبشویی خاک، هیچگونه محدودیتی را در شوری خاک و عملکرد گیاه به وجود نخواهد آورد. علاوه بر این، کاهش مصرف آب سبب افزایش راندمان آبیاری و کاهش عمق زهاب خروجی خواهد شد. در این حالت امکان استفاده از زهکشی کنترل شده نیز فراهم خواهد بود و تا ضریب کنترل زهکشی برابر با ۰/۵(معادل ۰/۹۵ متر ارتفاع سطح ایستابی) هیچگونه محدودیتی در عمق سطح ایستابی و افزایش شوری خاک به وجود نخواهد آمد. پیش بینی مدل نشان می دهد که افزایش عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی، بیش از ۱/۵ متر، ضرورت ندارد و سبب افزایش شوری خاک منطقهٔ ریشه نخواهد شد.

مراجع:

- Akram, M., Liaghat, A.M and A. Hasanoghli. 2007. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. Drainage & environment working group of IRNCID.(in Farsi)
- Akram, M., Tajik, F. and Akram, S. 2008. Controled 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)
- Abdel-Dayem MS and Ritzema HP. 1990. Using SALTMOD to predict of salinity in Nile Delta. In ILRI Annual Report 1989,Wageningen; 63–73.
- 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. Ahvaz. Iran. 1-22. (in Farsi)
- Bahc¸eci I˙, Nacar AS. 2007. Estimation of root zone salinity, using SALTMOD, in the arid region of Turkey. Irrig. and Drain. 56: 601–614
- Christen, E. W., and D. Skehan. 2001. Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads. J. Irrig. Drain. Eng. 127(3): 148-155.
- 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 of Ahvaz. (in Farsi)
— Hurst, C. A., Thorburn, P. J., Lockington, D. and K. L. Bristowc. 2004. Sugarcane water use from shallow water tables: Implications for improving irrigation water use efficiency. Agric. Water Manang. 65(1) 1-19.
— Hunsigi, G., and S. C. Srivastava. 1977. Modulation of ET (evapotranspiration) values of sugar cane because of high water table. In: Proceedings of the 16th ISSCT Congress, pp. 1557–1564.
— Haghverdi, A., Mohamadi, k., Movahed, A., Ghahreman, B. and Afshar, M. 2011. Estimation of soil salinity profile in Tabriz irrigation and drainage network using SaltMod and ANN models. Journal of Water and Soil. Vol. 25, No. 1, 174-186 (in Farsi)
— Jafari, S., SheiniDashtegol, A., Naseri, A., and Baniabbas, N. 2006. Investigation the water applied and presentation of new methods to approach the efficient use of irrigation water by hydroflum in Amirkabir sugarcane agro-industry. 2th National Conference on Irrigation and Drainage Networks. Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Farsi)
— Kazemi Zarivan, M., Nazemi, Sadrodini, A. and Ghorbani, MA. 2013. Modeling temporal and spatial variations of soil salinity in downstream lands of Hajilarchay dam in East Azarbaijan province using SaltMod. Journal of Research in Water. No. 12, 21-31(in Farsi)
— Mahjoubi, A. 2012. Investigation the effects controlled drainage on soil salinity, irrigation management and sugarcane yield (case study: Imam Khomeini project). Ph.D Thesis. Faculty of Water Sciences Engineering Irrigation and Drainage Department. Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Farsi)
— Nazari, B., Liaghat, A., Parsinejad., M and Naseri, AB. 2008. Optimization of the subsurface drainage depth with considerations of economic and environmental. Proceedings of the 5 th drainage & environment workshop. Nov. 6. Tehran. Iran. 106-122 (in Farsi)
— Oosterbaan R. J. 2002. SaltMod: Description of principles, user manual, and examples of application, Wageningen, the Netherlands.
— Oosterbaan RJ, Abu Senna M. 1990. Using SALTMOD to predict drainage for salinity control. Towards integration of irrigation and drainage management. Proceedings of the Jubilee Symposium at the Occasion of the 40th Anniversary of ILRI. Wageningen the Netherlands; 43–49.
— Srinivasulu A, Sujani RC, Lakshmi GV, Satyanarayana TV and Boonstra J. 2004. Model studies on salt and water balances at Konanki Pilot Area, Andhra Pradesh, India. Irrigation and Drainage Systems February, 18: 1–17
— SheiniDashtegol, A and M. Elhamifard. 2006. Effects of salinity on quality and quantity of sugarcane. 2 th National Conference on Irrigation and Drainage Networks. Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Farsi)
— 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

Estimation the soil Salinity of Sugarcane Root Zone in Different Management of Irrigation and Drainage Using SaltMod in the Imam Khomeini Agro- Industry

Sugarcane is one of the plants that has high water requirement in Khouzestan province (Iran) climate and optimizing the use of water is very important to sustainable cultivation of sugarcane. Several studies in Khouzestan have been done on sugarcane water requirement which showed that in some of the sugarcane agro-industry, water applied is more than the actual water requirement of the plant. This study was conducted to predict the long-term effects of different management of irrigation and drainage on soil salinity, drainage depth, water table depth, irrigation sufficiency and efficiency by SaltMod model in Imam Khomeini sugarcane agro- industry. For this purpose, model was run for several different modes, including reducing of irrigation depth, different drainage control factor (F_{rd}), for decreasing of subsurface drainage depth and irrigation water salinity. Model output was calibrated using field data. Based on model predictions using drainage control factor more than 0.25 without decrease of irrigation water caused water table rising; but with 20% reduction in irrigation water and assuming drainage control factor until 0.5, no limitation on soil salinity and water table depth would not appeared. In addition, drainage outflow depth from about 2.07 m during irrigation would decreases to 1.26 m. Prediction of SaltMod model showed that increasing of the subsurface drainage depth over 1.5 m would not have any advantages and any changes in soil salinity. If irrigation water was applied with salinity more than 1.7 dS/m, soil salinity in the root zone would be more than 3 dS/m .