

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

آرش محجوبی* و عدنان صادقی لاری**

* نگارنده مسئول: اهواز، بلوار گلستان، سازمان آب و برق خوزستان، معاونت طرح و توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ص. پ: ۱۳۷-۶۱۳۳۵، تلفن: ۰۶۱)۳۳۷۳۷۱۰۱، پیام‌نگار: arashmahjoobi@gmail.com
** به‌ترتیب: مدیر دفتر فنی و مهندسی شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان؛ و استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان
تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۰

چکیده

نیشکر از جمله گیاهانی است که در ناحیه گرم خوزستان، آب مصرفی بسیار بالایی دارد و استفاده بهینه از آب برای کشت پایدار نیشکر با اهمیت است. بررسی‌های متعدد درباره مصرف آب نیشکر نشان می‌دهد که در برخی از کشت و صنعت‌ها، مصرف آب بیش از نیاز واقعی نیشکر است. این تحقیق به منظور پیش‌بینی آثار بلند مدت (۱۰ ساله) مدیریت‌های مختلف آبیاری و زهکشی بر شوری خاک، عمق زهاب، عمق سطح ایستابی، کفایت و راندمان آبیاری توسط مدل SaltMod در کشت 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 شد. نتایج مدل با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در مزرعه واسنجی شد. براساس پیش‌بینی 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 ۲۵٪، بدون کاهش در مصرف آب آبیاری سبب بالا آمدن سطح ایستابی به محدوده ریشه خواهد شد. اما با کاهش ۲۰ درصد مصرف آب آبیاری، کاربرد عامل کنترل زهکشی تا 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. پیش‌بینی مدل SaltMod نشان می‌دهد که در زهکش‌های زیرزمینی با فاصله 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 منطقه ریشه از ۳ دسی زیمنس بر متر بیشتر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی

خوزستان، شوری منطقه ریشه، عامل کنترل زهکشی، عمق زهاب، نیشکر، SaltMod

مقدمه

شسته و به لوله‌های زهکش وارد می‌شوند. زمان آبیاری همچنین بر صعود مویینه‌ای در منطقه ریشه تاثیر می‌گذارد. در گذشته، طراحی عمق و فاصله زهکش‌ها با هدف به حداقل رساندن خیز مویینه‌ای از سفره آب زیرزمینی به منطقه ریشه تعیین می‌شد. اما امروزه، اثر متقابل مدیریت آبیاری و سهم آب زیرزمینی که می‌تواند

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 انحلال‌پذیر در آب است که به زیر منطقه ریشه

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 تأمین ۶۵ درصد از نیاز آبی نیشکر شده است (Hunsigi & Srivastava, 1977).

نتایج تحقیقی دیگر در خصوص امکان استفاده 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، برای 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 به‌کار گرفتن مدل DRAINMOD-S، زهکشی کنترل شده را در دلتای غربی مصر به اجرا درآوردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از روش زهکشی کنترل شده به‌جای روش رایج زهکشی زیرزمینی، راندمان آبیاری، در وضع موجود و بدون کاهش عملکرد گیاه، ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش می‌یابد.

مدل SaltMod برنامه‌ای رایانه‌ای برای پیش‌بینی شوری خاک، عمق و شوری زهاب خروجی و عمق سطح ایستابی در زمین‌های کشاورزی است که می‌تواند حالت‌های مختلف هیدرولوژیک و گزینه‌های 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

توسط گیاه مصرف شود، در طراحی آبیاری و مدیریت سیستم‌های زهکشی مورد توجه قرار می‌گیرد (Akram et al., 2007).

زهکشی زیرزمینی کنترل شده یکی از روش‌های کاهش حجم زهاب به‌شمار می‌رود. بالا آوردن خروجی زهکش باعث نگهداری سطح ایستابی در عمق توسعه ریشه می‌شود. خیز موئینه‌ای سبب می‌گردد تا گیاه قسمتی از نیاز تبخیر و تعرق خود را مستقیماً از رطوبت خاک دریافت کند. در واقع، آب زیرزمینی کم عمق به‌جای اینکه در سیستم زهکشی تخلیه شود، جایگزین آبیاری خواهد شد. در زمین‌هایی 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 موئینه‌ای به ناحیه ریشه، مخالف هدف زهکشی در مناطق خشک و نیمه خشک باشد ولی نتایج مطالعات در برخی از مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان می‌دهد که امکان استفاده از آب زیرزمینی کم عمق به منظور تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه وجود دارد و املاح انباشته شده در ناحیه ریشه نیز تا قبل از فصل کشت بعدی به راحتی با آبیاری اضافی یا بارندگی قابل شستشو خواهد بود (Akram et al., 2007).

براساس نظر کریستین و سکهان (Christen & Skehan, 2001) طراحی زهکش‌های زیرزمینی در مناطق تحت آبیاری باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر کنترل نمک، سبب بهبود راندمان آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب شود.

نتایج بررسی‌های هارست و همکاران (Hurst et al., 2004) نشان می‌دهد هنگامی که سطح ایستابی از ۱/۵ متری سطح خاک پایین‌تر نباشد، گیاه نیشکر قادر به

برآورد شوری خاک در محدوده ریشه نیشکر با مدیریت‌های...

شوری واسنجی و شوری خاک برای دو فصل سال پیش‌بینی کردند. براساس نتایج این تحقیق، شبکه‌های عصبی مصنوعی به خوبی توانایی مدل‌سازی و پیش‌بینی شوری خاک منطقه ریشه را دارند و می‌توانند جایگزین خوبی برای SaltMod باشند.

کازمی زریون و همکاران (Kazemi Zarivan *et al.*, 2012) شبیه‌سازی زمانی و مکانی شوری خاک در زمین‌های پایاب سد حاجیلرچای آذربایجان شرقی را با استفاده از تلفیق زمین‌آمار و مدل SaltMod انجام دادند. آنان میزان شوری خاک در دوره‌های زمانی ۵ و ۱۰ ساله را با استفاده از مدل SaltMod پیش‌بینی کردند. نتایج این شبیه‌سازی نشان می‌دهد در مناطقی که در ابتدا شوری خاک آنها کمتر از ۶/۳ دسی‌زیمنس بر متر است، پس از گذشت ۵ و ۱۰ سال از شروع بهره‌برداری طرح و آبیاری اراضی (اگر زهکشی مناسب پیش‌بینی نشده باشد)، شوری خاک این مناطق افزایش خواهد یافت؛ اما در مناطقی که شوری خاک آنها بیشتر از ۶/۳ دسی‌زیمنس 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 فاصله 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 صرفه‌جویی کرد و حجم زهاب را کاهش داد (Akram *et al.*, 2008).

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

ارزیابی عمق زهکش‌های زیرزمینی و پیش‌بینی 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 فاصله زهکش‌های زیرزمینی اجرا شده در مزرعه آزمایشی اراضی کونانکی هندوستان را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل SaltMod نرم‌افزاری مفید برای پیش‌بینی شوری خاک منطقه ریشه، کمیت و کیفیت آب زهکشی، و عمق سطح ایستابی در زمین‌های کشاورزی تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و زهکشی به حساب می‌آید.

باچه‌چی و ناکار (Bahçeci & Nacar, 2007) با تعیین ضریب آبشویی، زهکشی طبیعی منطقه و استفاده از مدل SaltMod و اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، تاثیرات دراز مدت زهکشی کنترل شده بر شوری خاک و راندمان آبیاری را بررسی کردند. نتایج بررسی این محققان نشان می‌دهد که در یک دوره ده ساله شبیه‌سازی شده، چنانچه عامل فرضی کنترل زهکشی کمتر از ۰/۷۵ باشد تغییرات معنی‌داری در شوری ناحیه ریشه ایجاد نخواهد شد، اما اگر ضریب کنترل زهکشی بزرگتر از ۰/۷۵ فرض شود، افزایش معنی‌داری در شوری محیط ریشه مشاهده خواهد شد. براساس شبیه‌سازی مدل، استفاده از زهکشی کنترل شده، کارایی و کفایت مصرف آب را به ترتیب ۱۱ و ۳۸/۵ درصد افزایش می‌دهد.

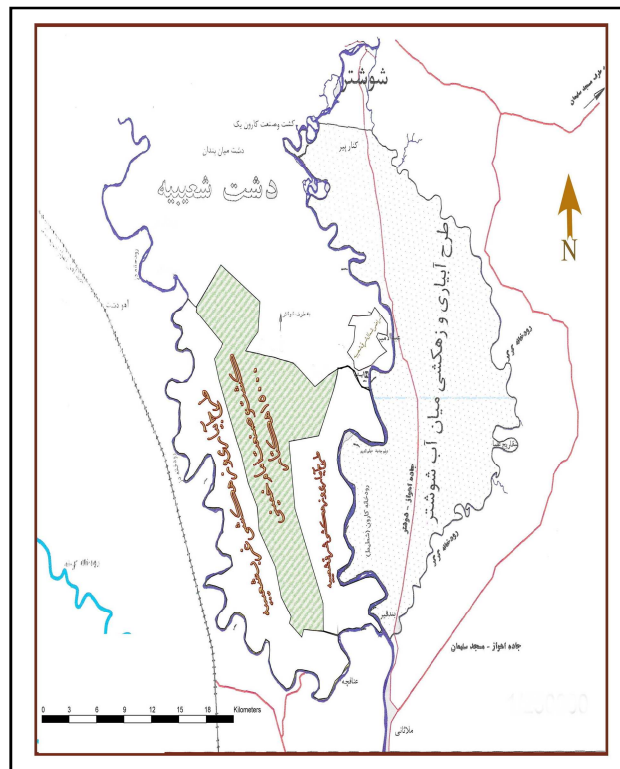
حق وردی و همکاران (Haghverdi *et al.*, 2011) شوری نیمرخ خاک در شبکه آبیاری و زهکشی دشت تبریز را با استفاده از مدل SaltMod و شبکه‌های عصبی شبیه‌سازی کردند. آنان با استفاده از داده‌های واقعی، مدل SaltMod را در چهار گروه مختلف زمین با توزیع متفاوت

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در واحد امام خمینی، یکی از واحدهای ده گانه کشت و صنعت نیشکر اجرا شد. منطقه 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 به طول جغرافیائی ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیائی ۳۱ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۲ درجه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). زمین‌های این واحد به قطعات منظم ۲۰ و ۲۵ هکتاری (۸۰۰×۲۵۰ متر) و (۱۰۰۰×۲۵۰ متر) تقسیم شده است و مجموعاً ۴۸۰ مزرعه دارد. این تحقیق در دو مزرعه به نام‌های 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. این منطقه بر اساس روش اقلیمی دمارتن، جزء اقلیم خشک و نیمه خشک طبقه بندی می‌شود. با توجه به آمار ثبت شده (۱۳۷۶ تا ۱۳۸۹) ایستگاه هواشناسی واقع در این واحد، متوسط دمای سالیانه ۲۴/۳ درجه سلسیوس، دمای حداقل و حداکثر مطلق رتیب ۷- و ۵۲/۵ درجه سلسیوس است. متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۶۶ و تبخیر سالیانه حدود ۲۷۸۸ میلی‌متر است. بافت خاک مزارع، سیلتی رسی لوم تا رس لوم، میانگین هدایت هیدرولیکی ۱/۵ متر در روز، متوسط شوری آب آبیاری ۱/۳ و شوری آب زیرزمینی ۵ دسی زیمنس بر متر است (Mahjoubi, 2012).



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

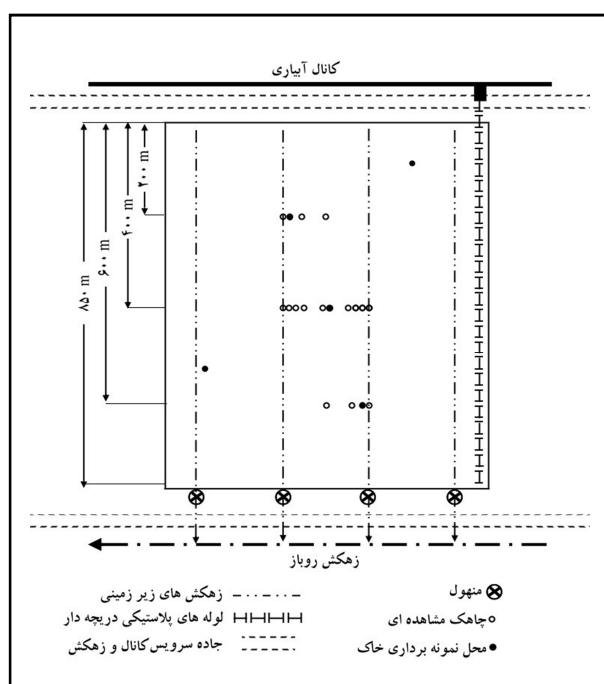
سیمای شبکه آبیاری و زهکشی

آب زمین‌های مورد نظر از طریق ایستگاه پمپاژ احداث شده روی رودخانه 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 می‌کند و از آنجا به لوله پلاستیکی دریچه دار انتقال می‌دهد. لوله 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 جمع‌کننده 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 رودخانه دز تخلیه می‌کنند.

فاصله زهکش‌های زیرزمینی در هر دو مزرعه ۷۰ متر، عمق نصب آنها به‌طور متوسط ۲ متر، قطر آنها از ۱۲۵ تا ۱۶۰ میلی‌متر، و شیب طولی آنها ۰/۰۰۷ است. جنس لوله‌ها PVC موجدار و پوشش دور آنها از نوع شن و ماسه است.

چاهک‌های مشاهده‌ای

برای اندازه‌گیری رقوم سطح ایستابی و بررسی نوسانات آن در دوره تحقیق و نمونه‌برداری 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 به‌صورت 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 کلیه چاهک‌های مشاهده‌ای در هر دو مزرعه با استفاده از دستگاه ثبات الکترونیکی و به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد. در شکل ۲، محل چاهک‌های مشاهده‌ای مشخص شده است.



شکل ۲- نقشه شماتیک از سیمای شبکه آبیاری و زهکشی

جمع آوری داده‌ها

فصول باید ۱۲ ماه یعنی معادل یک سال کامل باشد. مدل، سه ناحیه از خاک شامل منطقه ریشه^۱، منطقه انتقال^۲ و منطقه آبخوان^۳ را با ضخامت‌های مختلف در نظر می‌گیرد. خروجی‌های SaltMod برای هر فصل از سال و به تعداد سال‌هایی به دست می‌آید که عوامل ورودی آنها مشخص شده است (بسته به نظر کاربر برای دوره‌های یک تا ده ساله). داده‌های خروجی شامل عمق آب زیرزمینی، عمق زهاب و شوری است. بیلان آب و نمک بر پایه بیلان آب و با استفاده از غلظت نمک در آب ورودی و خروجی برای نواحی مختلف در نیمرخ خاک تعیین می‌شود (Oosterbaan, 2002).

برای پیش‌بینی بلند مدت ۱۰ ساله شوری خاک منطقه 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 پیش‌بینی 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 حالی که تعداد دیگری از داده‌ها را مدل خود محاسبه می‌کند (جدول ۱).

واسنجی مدل

پارامترهایی نظیر راندمان آبشویی منطقه ریشه (F_{ir}) و میزان زهکشی طبیعی از طریق آبخوان (G_n)، قابل اندازه‌گیری نیستند، از این رو مدل باید آنها را تعیین کند. به این منظور، مدل با استفاده از مقادیر مختلف (F_{ir}) و (G_n) چندین بار اجرا می‌شود تا حدی که شوری‌های به دست آمده برای منطقه ریشه و عمق آب زیرزمینی

سطح ایستابی در کلیه چاهک‌های مشاهده‌ای هر دو مزرعه، روزانه اندازه‌گیری شد. میزان آب ورودی به مزرعه با روش حجمی و با استفاده از ظرف مدرج و زمان‌سنج اندازه‌گیری شد. برای این کار، یک سوم از دریاچه‌های 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 دریاچه‌ها به داخل مزرعه به دست آمد. میزان خروجی زهکش‌های زیرزمینی از کلیه 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 نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک با فواصل ۳۰ سانتی‌متری و تا عمق ۹۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت و شوری عصا^۴ آنها به دست آمد (Mahjoubi, 2012).

خصوصیات مدل SaltMod

مدل SaltMod برنامه‌ای شبیه‌سازی 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 داده ورودی نیاز خواهد بود. مدت هر فصل براساس تعداد ماه‌های آن در مدل مشخص می‌شود. تعداد ماه‌ها در کل

1- Root Zone

3- Aquifer Zone

2-Transition Zone

برآورد شوری خاک در محدوده ریشه نیشکر با مدیریت‌های...

ریشه به متوسط غلظت نمک آب خاک در حالت اشباع (Oosterbaan, 2002). مقادیر دلخواه ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ برای راندمان آبخویی منطقه ریشه برای اجرای مدل انتخاب شدند. مدل با استفاده از راندمان‌های آبخویی مختلف اجرا شد و سطوح مختلف شوری در منطقه ریشه به دست آمد. نتایج پیش‌بینی مدل و نتایج حاصل از اندازه‌گیری مزرعه‌ای در شکل ۳ آورده شده است.

بیشترین شباهت را با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه داشته باشد.

نتایج و بحث

تعیین راندمان آبخویی منطقه ریشه

ضریب راندمان آبخویی منطقه ریشه (F_{lr}) این‌گونه تعریف می‌شود: نسبت غلظت نمک آب نفوذ یافته از منطقه

جدول ۱- تعدادی از عوامل ورودی مورد نیاز برای کاربرد مدل SaltMod

مقادیر مورد استفاده در تحقیق	عوامل ورودی مدل
	۱- تعداد فصل (ماه)
۸	فصل اول (فروردین تا آبان)
۴	فصل دوم (آذر تا اسفند)
	۲- مشخصات خاک
۰/۸	راندمان ذخیره آب آبیاری یا بارندگی در منطقه ریشه
۰/۵	تخلخل کل منطقه ریشه (محاسبه شده)
۰/۴	تخلخل کل منطقه انتقالی (محاسبه شده)
۰/۴	تخلخل کل آبخوان (فرض شده)
۰/۱۲	تخلخل قابل زهکشی منطقه ریشه (در منطقه تعیین شده)
۰/۱	تخلخل قابل زهکشی منطقه انتقالی (در منطقه تعیین شده)
۰/۰۷	تخلخل قابل زهکشی آبخوان (فرض شده)
۰/۶	راندمان آبخویی منطقه ریشه (واسنجی مدل)
۰/۷	راندمان آبخویی منطقه انتقالی (فرض)
۰/۸	راندمان آبخویی آبخوان (فرض شده)
	۳- اجزای بیلان آب
۴	میزان آبیاری در فصل اول (متر)
۰	میزان آبیاری در فصل دوم (متر)
۰/۲۵	میزان بارندگی در فصل اول (متر)
۲/۲	میزان بارندگی در فصل دوم (متر)
۰/۰۹	تبخیر و تعرق پتانسیل در فصل اول و دوم (متر)
	میزان زهکشی طبیعی به سمت آبخوان (واسنجی مدل) (متر)
	۴- معیارهای طراحی زهکشی زیرزمینی
۰/۸	عمق ریشه (متر)
۲	عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی (متر)
۷۰	فاصله زهکش‌های زیرزمینی (متر)
۶	ضخامت منطقه انتقالی بین منطقه ریشه و آبخوان (فرض شده) (متر)
۵۰	ضخامت آبخوان (فرض شده) (متر)
۰/۰۰۱	نسبت تخلیه زهکش‌ها به ارتفاع سطح ایستایی بالای زهکش‌ها QH1 (محاسبه شده) (متر بر روز بر متر)
۰/۰۰۸	نسبت تخلیه زهکش‌ها به مجذور ارتفاع سطح ایستایی بالای زهکش‌ها QH2 (محاسبه شده) (متر بر روز بر متر مربع)

ادامه جدول ۱- تعدادی از عوامل ورودی مورد نیاز برای کاربرد مدل SaltMod

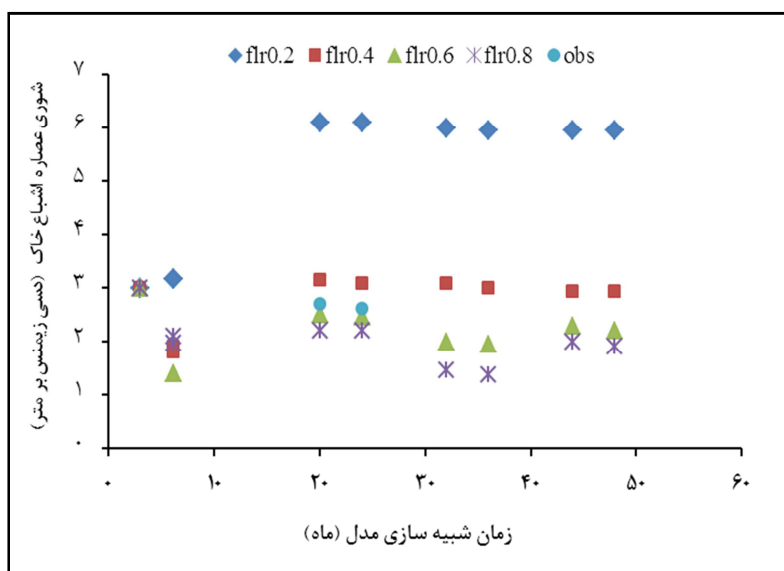
عوامل ورودی مدل	مقادیر مورد استفاده در تحقیق
۵- شرایط اولیه و مرزی مقادیر اندازه گیری شده	
عمق سطح ایستابی در شروع فصل اول (متر)	۲
*شوری اولیه خاک مرطوب در منطقه ریشه در حالت اشباع مزرعه (دسی زیمنس بر متر)	۶
*شوری اولیه خاک مرطوب در منطقه انتقالی در حالت اشباع مزرعه (دسی زیمنس بر متر)	۶
میانگین شوری آب آبیاری (دسی زیمنس بر متر)	۱/۳

* در مدل، شوری در حالت اشباع مزرعه تقریباً نصف شوری عصاره گل اشباع است ($EC_{field}=EC/2$)

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 آبخویی 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 *et al.*, 2012) zarivan با استفاده از مدل SaltMod این ضریب راندمان را در دشت آذربایجان شرقی ۰/۴ محاسبه کردند.

براساس نتایج به دست آمده، ضریب راندمان آبخویی ۰/۶ بیشترین مطابقت را با داده‌های مشاهده‌ای شوری خاک نشان داد. در حالی که اوستربان و ابوسنا (Oosterbaan & Abu Senna 1990) ضریب راندمان آبخویی 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 آبخویی در مزرعه‌ای در هند محاسبه کردند. باچه‌چی و ناکار (Bahçeci & Nacar, 2007) این ضریب را با استفاده از



شکل ۳- واسنجی راندمان آبخویی منطقه ریشه

آب زیرزمینی ورودی (G_i) در طول فصل. برای محاسبه مقدار این پارامتر، با قرار دادن G_i برابر با صفر و مقادیر مختلف زهکشی طبیعی خروجی (G_o)، عمق سطح

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

مقادیر پیش‌بینی شده مدل در جدول ۲ نشان می‌دهد که مقدار زهکشی طبیعی سالانه بین ۰/۰۹ تا ۰/۱۲ است. گرچه این نتیجه‌گیری 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.

عبدالدايم و ریتزما (Abdel-Dayem & Ritzema, 1990) میزان زهکشی طبیعی سالانه در دلتای نیل در مصر را حدود ۰/۱۴ متر به‌دست 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 به‌دست آوردند. باچه‌چی و ناکار (Bahçeci & Nacar, 2007)، میزان زهکشی طبیعی در مزرعه‌ای فاریاب در ترکیه را حدود ۰/۱۲ متر در سال برآورد کردند. کاظمی زریون و همکاران (Kazemi et al., 2012) با استفاده از مدل، میزان زهکشی طبیعی سالانه را در دشت آذربایجان شرقی ۰/۱۴ به‌دست آوردند.

ایستابی (Dw) و عمق زهاب خروجی (Gd) را خود مدل پیش‌بینی می‌کند. پس از آن، نتایج مدل با نتایج به‌دست آمده از مزرعه مقایسه و عددی به عنوان زهکشی طبیعی منطقه (Gn) انتخاب می‌شود که بیشترین شباهت را با سطح ایستابی واقعی و عمق زهاب داشته باشد. با توجه به طولانی‌تر بودن فصل اول (۸ ماه) در مقایسه با فصل دوم (۴ ماه)، مقادیر انتخابی (G01 و G02) به‌صورت 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 شد. نتایج پیش‌بینی مدل برای این مقادیر مختلف فرضی در جدول ۲ ارائه شده است. مقادیر پیش‌بینی شده مدل با نتایج اندازه‌گیری شده واقعی عمق سطح ایستابی و عمق زهاب خروجی در مزرعه مقایسه شد. براساس اندازه‌گیری‌ها، 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. مقایسه مقادیر مشاهده شده با

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

مقدار Gn سالانه	فصل اول		فصل دوم	
	میانگین عمق آب زیرزمینی	عمق زهاب خروجی	میانگین عمق آب زیرزمینی	عمق زهاب خروجی
۰ = (۰ + ۰)	۱/۱	۲/۱۴	۱/۸۴	۰/۱۸
۰/۰۹ = (۰/۰۶ + ۰/۰۳)	۱/۱۲	۲/۰۸	۱/۸۷	۰/۱۴
۰/۱۲ = (۰/۰۸ + ۰/۰۴)	۱/۱۴	۲/۰۶	۱/۸۸	۰/۱۳
۰/۱۵ = (۰/۱ + ۰/۰۵)	۱/۱۵	۲/۰۴	۱/۸۹	۰/۱۱
۰/۱۸ = (۰/۱۲ + ۰/۰۶)	۱/۱۴	۲/۰۲	۱/۹	۰/۱۰

اثر ضریب کنترل زهکشی بر شوری خاک و عمق سطح ایستابی

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

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، چنانچه مقادیر مختلف عامل کنترل زهکشی از صفر (زهکشی آزاد) به ۰/۲۵، ۰/۵ و 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. پیش‌بینی 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 می‌گردد با توجه به اینکه در فصل دوم، آبیاری انجام نمی‌شود و فقط مقدار کمی بارندگی وجود دارد لذا براساس نتایج مدل، محدودیتی در عمق سطح ایستابی به وجود نخواهد آمد.

جدول ۳- شوری خاک و میانگین عمق سطح ایستابی در فصل اول با مقادیر متفاوت ضریب کنترل زهکشی

ضریب کنترل زهکشی	عکس العمل زهکشی (متر)	شوری عصاره اشباع خاک منطقه ریشه (دسی زیمنس بر متر)	عمق سطح ایستابی (متر)	عمق زهاب (متر)
۰	۰/۰۱	۲/۱	۱/۱۲	۲/۰۷
۰/۲۵	۰/۰۰۷۵	۲/۲	۰/۸۸	۲/۰۳
۰/۵	۰/۰۰۵	۲/۳	۰/۶۰	۱/۸۱
۰/۷۵	۰/۰۰۲۵	۵/۲۵	۰	۰/۸۴

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 عصاره اشباع خاک منطقه ریشه (دسی زیمنس بر 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

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 محدوده عمق ریشه اتفاق نمی‌افتد و کاهش عملکردی در محصول نیشکر مشاهده نمی‌شود.

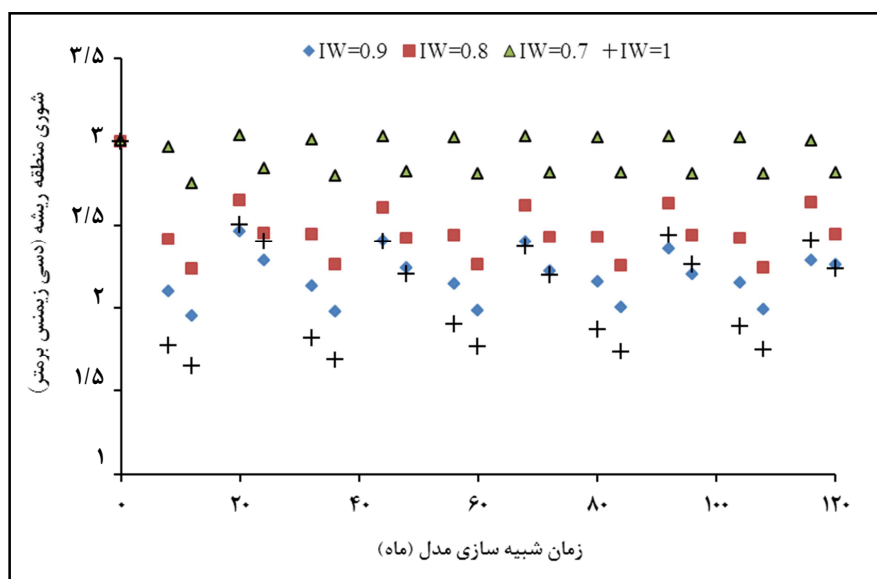
تحقیقات شینی دشتگل و الهامی فر (SheiniDashtegol & Elhamifard, 2006) در خصوص اثر شوری خاک بر عملکرد نیشکر در خوزستان نشان می‌دهد که تا شوری ۲ دسی زیمنس بر متر، کاهش در رشد نیشکر اتفاق نمی‌افتد. اما در محدوده ۲ تا ۴ دسی زیمنس بر متر، شوری خاک سبب کاهش عملکرد سبز گیاه (نی) می‌شود و در شوری بیش از ۴ دسی 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 عصاره اشباع خاک (بر حسب دسی زیمنس بر متر)، شکر استحصالی ۰/۹۱ - ۰/۲۹ درصد کاهش خواهد یافت. براساس نتایج گلابی (Golabi, 2009) آستانه تحمل نیشکر به شوری برابر ۲/۲ 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. براساس نتایج پیش‌بینی مدل، با کاهش ۲۰ درصد در مصرف آب مقدار کفایت آبیاری کاهش نمی‌یابد و میزان راندمان آبیاری از ۴۴ درصد به ۶۴ درصد افزایش خواهد یافت و عمق زهاب نیز حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد.

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

نتایج بررسی‌ها درباره 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 ۱ IW) اجرا شد. محجوبی (Mahjoubi, 2012) میزان کل آب مصرفی اندازه‌گیری شده (۸ ماه) در نیشکرکشت (پلاننت) را در مزرعه با زهکشی آزاد ۴۰۱۴ میلی‌متر و در مزرعه با زهکشی کنترل شده حدود ۳۱۰۰ میلی‌متر به دست آورد.

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که با کاهش مصرف آب تا ۲۰ درصد (عمق آب آبیاری ۳/۲ متر)، افزایش قابل توجهی در شوری خاک دیده نمی‌شود 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 منطقه ریشه در فصل اول افزایش بیشتری نشان می‌دهد و به حدود ۳ دسی زیمنس بر متر می‌رسد. با توجه به گذشت بیش از ۱۵ سال از بهره‌برداری شرکت کشت و صنعت امام خمینی، شوری خاک و آب زیرزمینی به تعادل نسبی رسیده است. به‌نحوی که شوری عصاره اشباع خاک در زمین‌ها 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



شکل ۴ - تغییرات شوری خاک منطقه ریشه با درصد های مختلف کاهش آب آبیاری نسبت به زمان

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 زمینس 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 می‌رسد به مقدار آب ورودی به مزرعه

استفاده از ضریب کنترل زهکشی تا ۰/۵، افزایشی در شوری خاک منطقه ریشه به وجود نخواهد آمد. ضمن آنکه سطح ایستابی در عمق مناسبی از سطح خاک قرار می‌گیرد 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.

براساس پیش‌بینی 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 تأثیر زهکشی کنترل شده بر شوری خاک، سطح ایستابی، و عمق زهاب، مقادیر مختلف ضریب کنترل زهکشی نیز به مدل داده شد. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، براساس نتایج پیش‌بینی مدل، با کاربرد حدود ۳/۲ متر آب و

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 عصاره اشباع خاک منطقه ریشه (دسی زیمنس بر 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

پایین به بالا باشد. در خوزستان، چنانچه در تابستان آبیاری انجام شود، چنین اتفاقی را نمی‌توان انتظار داشت. در زمین‌های 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 زهکش‌های زیرزمینی خارج می‌شود (Anon, 2010).

برای بررسی تأثیر عمق زهکش‌های زیرزمینی، مدل برای اعماق مختلف ۱/۳، ۱/۵، ۱/۷، ۱/۸ و ۲ متر اجرا شد. در جدول ۷ مشاهده می‌شود که به‌جز عمق نصب ۱/۳ متر که عمق سطح ایستابی می‌تواند به‌عنوان یک محدودیت برای عملکرد نیشکر فرض شود، در سایر عمق‌ها، شوری خاک منطقه 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.

جعفری و همکاران (Jafari et al., 2006) میزان کل آب ورودی را در یک مزرعه شامل پنج وارپته مختلف نیشکر، در کشت (پلنت) در آبیاری کنترل شده در حدود ۳۴۲۹۰ متر مکعب در هکتار گزارش کرده‌اند. این محققان به نقل از صادقی عطار و همکاران (Sadeghi-atar et al., 2000)، می‌گویند 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 اندازه‌گیری شده است. براساس نتایج بررسی‌های جعفری و همکاران (Jafari et al., 2006)، مناسب‌ترین حجم آب مصرفی نیشکر در هر نوبت آبیاری بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ مترمکعب در هکتار است. درحالی‌که اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد 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 نیمه‌خشک به‌علت 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

زهکش بررسی کردند. نتایج بررسی این محققان نشان می‌دهد که برای کاهش تاثیرات مخرب زیست محیطی و افزایش کارایی اقتصادی، باید عمق نصب زهکش‌ها از ۲ متر به ۱/۵ متر کاهش یابد.

نظری و همکاران (Nazari et al., 2008) نیز با استفاده از مدل Drainmod-S در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر، شبیه‌سازی عملکرد سامانه زهکشی، عملکرد محصول (نیشکر) و بار نمک زهاب را با عمق‌های مختلف

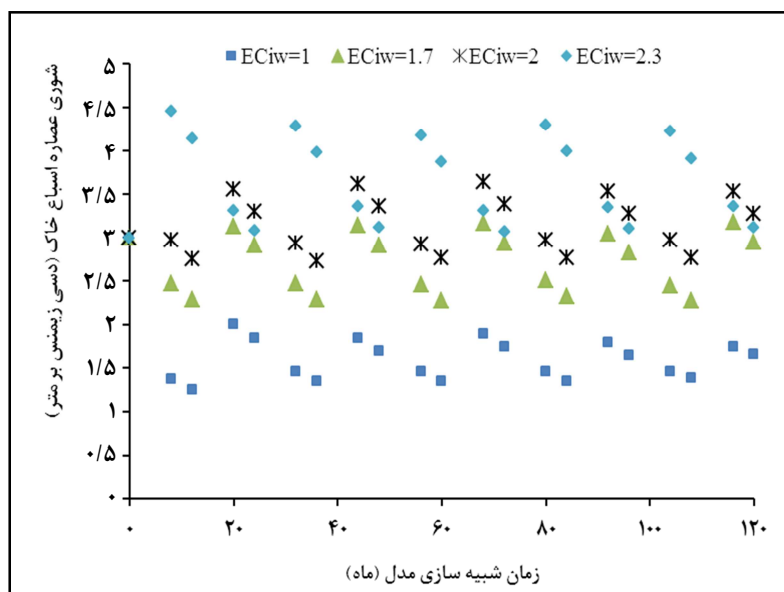
جدول ۷- برآورد شوری خاک و میانگین عمق سطح ایستابی در فصل آبیاری (اول) با مقادیر متفاوت عمق زهکش

عمق آب آبیاری (متر)	عمق زهکش (متر)	شوری عصاره اشباع خاک منطقه 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

۳/۲ متر در طول فصل آبیاری) اجرا شد. سطح شوری‌های مختلف آب آبیاری شامل ۱/۱، ۱/۶، ۲ و ۲/۳ دسی زیمنس بر متر بود. مطابق با شکل ۵، نتایج پیش‌بینی مدل نشان می‌دهد زمانی که شوری آب آبیاری بیش از ۱/۷ دسی زیمنس بر متر شود، میزان شوری خاک بیش از ۳ دسی زیمنس بر متر خواهد شد.

اثر شوری آب آبیاری بر شوری خاک

شوری آب آبیاری بیش از آستانه تحمل گیاه نیشکر، مانند اکثر محصولات کشاورزی، باعث کاهش عملکرد این محصول خواهد شد. به منظور پیش‌بینی اثر افزایش شوری آب آبیاری در سال‌های مختلف بر شوری خاک در منطقه ریشه، مدل برای مقادیر مختلف شوری آب آبیاری (با عمق



شکل ۵- تغییرات شوری خاک منطقه ریشه با مقادیر مختلف شوری آب آبیاری

نتیجه‌گیری

به‌وجود 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. پیش‌بینی مدل نشان می‌دهد که افزایش عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی، بیش از ۱/۵ متر، ضرورت ندارد و سبب افزایش شوری خاک منطقه ریشه نخواهد شد.

مدل SaltMod ابزاری مفید برای پیش‌بینی شوری خاک، عمق زهاب، و عمق سطح ایستابی در زمین‌های کشاورزی تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و زهکشی است. نتایج مدل نشان می‌دهد 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 می‌شود. براساس نتایج مدل، کاهش مصرف حدود ۲۰ درصد از مصرف آب آبیاری علاوه بر تأمین نیاز آبی گیاه و آبشویی خاک، هیچ‌گونه محدودیتی را در شوری خاک و عملکرد گیاه

مراجع

- Abdel-Dayem, M.S. and Ritzema, H.P. 1990. Using SALTMOD to predict of salinity in Nile Delta. In ILRI Annual Report. 1989. Wageningen. 63-73.
- Akram, M., Liaghat, A.M and Hasanoghli, A. 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)
- 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)
- Bahçeci, I. and Nacar, A. S. 2007. Estimation of root zone salinity, using SALTMOD, in the arid region of Turkey. Irrig. Drain. 56(5): 601-614.
- Christen, E. W. and Skehan, D. 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 Ahwaz. (in Farsi)

- 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. *J. Water Soil*. 25(1): 174-186. (in Farsi)
- Hunsigi, G. and Srivastava, S. C. 1977. Modulation of ET (evapotranspiration) values of sugar cane because of high water table. *Proceedings of the 16th ISSCT Congress*. Australia. 1557–1564.
- Hurst, C. A., Thorburn, P. J., Lockington, D. and Bristow, K. L. 2004. Sugarcane water use from shallow water tables: Implications for improving irrigation water use efficiency. *Agric. Water Manang.* 65(1): 1-19.
- 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. *2nd National Conference on Irrigation and Drainage Networks*. Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Farsi)
- Kazemi Zarivan, M., Nazemi, Sadrodini, A. and Ghorbani, M. A. 2013. Modeling temporal and spatial variations of soil salinity in downstream lands of Hajilarchay dam in East Azarbaijan province using SaltMod. *J. Res. Water*. 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 5th 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*. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). Wageningen. The Netherlands.
- Oosterbaan, R. J. and 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.
- Sadeghi-atar, M., Behnia, A. K. and Kaveh, F. 2000. Total Irrigation Efficiency of Dez Network in year 1993-94. *Proceedings of the 10th Conference of IRNCID*. Nov. 15-16. Iran. 36-50.
- SheiniDashtegol, A. and Elhamifard, M. 2006. Effects of salinity on quality and quantity of sugarcane. *2nd National Conference on Irrigation and Drainage Networks*. Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Farsi)

برآورد شوری خاک در محدوده ریشه نیشکر با مدیریت‌های...

Srinivasulu, A., Sujani, R. C., Lakshmi, G.V., Satyanarayana, T.V. and Boonstra, J. 2004. Model studies on salt and water balances at Konanki Pilot Area, Andhra Pradesh, India. *Irrig. Drain. Sys.* 18, 1-17.

Tempest, Q. B. and Pando, M. A. 2013. Characterization and demonstration of reuse applications of sewage sludge ash. *Int. J. Geomate.* 4, 552-559.

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.

Changes in Soil Salinity in Sugarcane Root Zones According to Irrigation Method and Drainage Using SaltMod in Imam Khomeini Agro-Industry

A. Mahjoubi* and A. Sadeghi-Lari

* Corresponding author: Manager of Irrigation and Drainage Networks of Khuzestan Water and Power Authority, P. O. Box: 61335-137, Ahwaz, Iran. Email: arashmahjoubi@gmail.com
Received: 3 May 2014, Accepted: 9 February 2015

Sugarcane, which has high water requirements, is grown in Khuzestan province (Iran). Climate and optimizing the use of water is very important to sustainable cultivation of sugarcane. Studies of water requirements for sugar cane in Khuzestan show that in parts of sugarcane agro-industry, the water applied is more than the actual water requirement of the plant. The present study was conducted to predict the long-term effects of irrigation system and drainage in the Imam Khomeini sugarcane agro-industry on soil salinity, drainage depth, water table and irrigation sufficiency and efficiency using the SaltMod model. The model varied the irrigation depth and drainage control factor (F_{rd}) to decrease subsurface drainage depth and salinity of irrigation water. Model output was calibrated using field data. The model predictions showed that a drainage control factor of more than 0.25 without a decrease in irrigation water caused the water table to rise. A 20% decrease in irrigation water and an assumed drainage control factor of up to 0.5, there was no change in soil salinity or water table depth. Drainage outflow depth of about 2.07 m decreased to 1.26 m during irrigation. The SaltMod model predicted that increasing the subsurface drainage depth to over 1.5 m would not improve yield or change soil salinity. If the irrigation water had salinity levels of >1.7 dS/m, soil salinity in the root zone will be >3 dS/m.

Keywords: Drainage Depth Control, Khuzestan, Saline Content of Root Zone, SaltMod, Sugar Cane, Water Table