

مدیریت زهاب شور شبکه آبیاری با استفاده از تکنیک تحلیل پویایی سیستم (مطالعه موردی مزارع کشت و صنعت نیشکر واحد امیرکبیر)

حامد نوذری^{۱*}، عبدالمجید لیاقت^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۶

چکیده

کمیت و کیفیت زهاب تولید شده در اراضی شور که نیاز به آبشویی اولیه دارند، از شروع بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی تا قبل از رسیدن به شرایط تعادل، پیوسته در حال تغییر می‌باشد. زمان رسیدن به حالت تعادل در مناطقی با آب زیرزمینی کم عمق و شور ممکن است چندین سال به طول بیانجامد. در چنین شرایطی، آگاهی از کمیت و کیفیت زهاب تولید شده به منظور مدیریت و کنترل آن امری ضروری می‌باشد. بنابراین در این تحقیق ابتدا عملکرد یک سیستم زهکشی در شرایط غیرماندگار به کمک روش تحلیل پویایی سیستم به طور کامل مدل‌سازی و پس از اعتباریابی نتایج مدل با داده‌های صحرائی، راهکارهای مدیریتی که می‌توان روی اینگونه زهاب‌ها اعمال نمود، مدل‌سازی شد. با اجرای مدل فوق برای مزارع کشت و صنعت نیشکر واحد امیرکبیر، به منظور مدیریت زهاب شور این اراضی، ترکیبی از راه‌حل‌های موجود به صورت همزمان به کار گرفته شد و سهم زهاب شور اختصاص داده شده به هر یک از روش‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد پس از ۸ سال از شروع بهره‌برداری، شوری زهاب شبکه به حالت تعادل می‌رسد و شوری زهاب خروجی از حدود ۳۵ دسی‌زیمنس بر متر در سال اول به ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسد. همچنین پس از گذشت ۶ سال از آبیاری کل اراضی نیشکر، می‌توان به کشت گیاه شور پسند با زهاب شور و بدون تلفیق با آب آبیاری پرداخت. میزان تخلیه زهاب شور به رودخانه نیز از ۸۲/۷ درصد در سال اول به ۲۷/۷ درصد در سال دهم کاهش یافت. در نهایت دستورالعملی برای مدیریت زهاب شور اراضی واحد فوق ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پویایی سیستم، زهاب، سیستم زهکشی، کمیت، کیفیت

(Rhoades and Halvorson, 1977).

مقدمه

در تحقیق دیگری ژوری و همکاران عملیات استفاده مجدد از زهاب جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی را شبیه‌سازی نمودند و نتیجه گرفتند که بخشی از آب زیرزمینی توسط جریان شعاعی از زهکش‌ها خارج می‌شود و آب آبیاری جایگزین آن‌ها می‌گردد. لذا غلظت نمک زهاب خروجی تحت تأثیر شوری آب زیرزمینی قرار می‌گیرد (Jury et al., 2003). شوری آب زیرزمینی نیز بر روی مدت زمان به تعادل رسیدن تأثیرگذار است و هر چه شوری آب زیرزمینی بیش‌تر باشد زمان رسیدن به حالت تعادل بیش‌تر خواهد شد. زمان رسیدن به حالت تعادل در مناطقی با آب زیرزمینی کم‌عمق و شور ممکن است چندین سال به طول بیانجامد. در چنین شرایطی، آگاهی از کمیت و کیفیت زهاب تولید شده به منظور مدیریت و کنترل آن امری ضروری می‌باشد (Nozari and Liaghat, 2014).

در تحقیقی که سیسل و همکاران با استفاده از روش پویای سیستم انجام دادند، الگوی کشت، میزان محصول و آلودگی کشاورزی را در منطقه‌ای در جنوب ترکیه شبیه‌سازی نمودند. این محققین پس از اجرای مدل ملاحظه نمودند، سیاست‌هایی که جهت مدیریت این

در کشت‌های آبی، زهکشی برای مهار و تنظیم شوری و جلوگیری از ماندابی شدن خاک از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. اما گاهی به دنبال این منافع، اثرات منفی زیست محیطی را به وجود می‌آورد. برای مثال، تخلیه زهاب خروجی با کیفیت پایین به آب‌های موجود در طبیعت، باعث تخریب برخی از زیست بوم‌های آبی می‌شود. از سوی دیگر با توجه به رشد فزاینده جمعیت و نیاز به افزایش تولید مواد غذایی، جستجو برای منابع جدید آب، نظیر بهره‌برداری از آب-هایی با کیفیت پایین مانند زهاب، راهکاری ضروری و منطقی به نظر می‌رسد (Nozari and Liaghat, 2014). در همین راستا رودز و هالورسون نتیجه گرفتند تا جایی که آب‌زهکشی از یک مزرعه یا یک طرح برای یک گیاه مقاوم به شوری قابل استفاده و مفید باشد، باید قبل از دفع نهایی مجدداً برای آبیاری مورد استفاده قرار گیرد

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
(*) نویسنده مسئول: (Email: hanozari@yahoo.com)

$$b = \frac{D_{ir} \times EC_d + D_{pe} \times EC_{pe} - D_{ir} \times EC_a}{D_{ir} \times (EC_d - EC_{ir})} \quad (2)$$

بنابراین می‌توان سهم آب آبیاری و زهاب شور را جهت اختلاط با یکدیگر به صورت روابط (۳) و (۴) تعیین نمود.

$$C.W. = b \times D_{ir} \quad (3)$$

$$S.W. = (1 - b) \times D_{ir} \quad (4)$$

$C.W.$ سهم آب آبیاری و $S.W.$ سهم زهاب شور می‌باشد.

۲- استفاده مجدد از زهاب برای آبیاری گیاهان مقاوم به شوری در این بخش دو گزینه وجود دارد: الف- محدودیت آب آبیاری (غیرشور) وجود دارد. ب- محدودیت آب آبیاری (غیر شور) وجود ندارد.

الف- محدودیت آب آبیاری وجود دارد

به همان اندازه که از زهاب شور برای آبیاری استفاده می‌شود می‌توان آب شیرین ذخیره نمود. به دلیل کمبود آب شیرین منطقه و محدودیت مقدار آب ذخیره شده از بخش اول و همچنین شوری مجاز آب آبیاری گیاه مقاوم به شوری فقط بخش محدودی از اراضی را می‌توان زیر کشت برد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$Q_{ir-free} \times EC_{ir} + Q_{dR} \times EC_d \leq (Q_{ir-free} + Q_{dR}) EC_a \quad (5)$$

در این رابطه $Q_{ir-free}$ مقدار آب شیرین صرفه‌جویی شده به دلیل استفاده مجدد از زهاب در آبیاری گیاه اصلی، Q_{dR} میزان برداشت از زهاب شور جهت آبیاری گیاه مقاوم به شوری، EC_{ir} هدایت الکتریکی آب آبیاری، EC_d هدایت الکتریکی زهاب خروجی اراضی تحت کشت گیاه حساس به شوری و EC_a حداکثر شوری مجاز آب آبیاری گیاه مقاوم به شوری با توجه به درصد پذیرش کاهش محصول می‌باشد.

رابطه (۵) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$Q_{dR} = Q_{ir-free} \frac{(EC_a - EC_{ir})}{(EC_d - EC_a)} \quad (6)$$

با توجه به مقدار آب آبیاری مورد نیاز برای گیاه مقاوم به شوری می‌توان نوشت:

$$Q_{irr-R} = Q_{ir-free} + Q_{dR} \quad (7)$$

معادله (۷) را می‌توان به صورت زیر نیز نوشت:

$$D_{irr-R} \times A_2 = D_{ir-free} \times A_1 + Q_{dR} \quad (8)$$

در این رابطه D_{irr-R} ارتفاع آب آبیاری مورد نیاز برای گیاه مقاوم به شوری، $D_{ir-free}$ ارتفاع آب غیر شور صرفه‌جویی شده و A_1 و A_2 به ترتیب مساحت زیر کشت گیاه حساس به شوری و مقاوم به شوری می‌باشد.

بنابراین می‌توان مساحت اراضی تحت کشت گیاه مقاوم به شوری را با توجه به میزان آب صرفه‌جویی شده سالانه به صورت رابطه (۹) محاسبه نمود:

پروژه در نظر گرفته شده بود در طولانی مدت (۳۰ سال) آسیب‌های زیست محیطی به همراه دارد و نیاز به اصلاح اساسی دارند. بنابراین ترکیب تغییر سطح زیرکشت و استفاده از کشت چرخشی را به عنوان راه‌حل پیشنهاد دادند و در نتیجه الگوی توزیع شوری در ناحیه ریشه را تغییر دادند (Saysel et al, 2002).

نوذری و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم و به کمک معادلات بیلان آبی، تراز سطح آب و شدت زهاب خروجی اراضی در حضور زهکش زیرزمینی در شرایط غیر ماندگار را به طور کامل مدل‌سازی کردند. این محققین روش پویایی سیستم را به عنوان ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی اکثر فرایندهای شناخته شده در سیستم‌های پیچیده‌ی آب و خاک اعلام نمودند.

نوذری و همکاران (۱۳۸۸)، مدلی را ارائه کردند که کمیت و کیفیت زهاب خروجی اراضی کشاورزی را با استفاده از تکنیک پویایی سیستم محاسبه می‌نماید. در این تحقیق فرض شد شوری زهاب خروجی زهکش‌های زیرزمینی ناشی از املاح موجود در آب آبیاری و خاک قسمت فوقانی زهکش و املاح موجود در آب‌های زیرزمینی زیر زهکش می‌باشد.

در تحقیق حاضر، به منظور مدیریت زهاب شور اراضی کشاورزی، مدلی ارائه شده است که بر مبنای روش تحلیل پویایی سیستم بوده و علاوه بر تعیین کمیت و کیفیت (شوری) زهاب خروجی، می‌تواند دستورالعملی پویا برای مهار زهاب‌های شور ارائه دهد. به کمک مدل مذکور ضمن جلوگیری از اثرات منفی زیست محیطی زهاب شور در طی دوره بهره‌برداری می‌توان به یک مدیریت صحیح و پایدار در امر آبیاری و اداره اراضی فاریاب دست یافت.

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم

۱- مخلوط کردن زهاب شور با آب با کیفیت خوب برای آبیاری گیاه اصلی

در این قسمت با توجه به میزان دبی، شوری زهاب خروجی و حد آستانه تحمل گیاه به شوری، می‌توان حداکثر شوری مجاز آب آبیاری را با پذیرش درصد قابل قبولی برای کاهش محصول، محاسبه و سهم زهاب خروجی جهت اختلاط با آب آبیاری و استفاده مجدد از زهاب برای آبیاری را به کمک رابطه (۱) تعیین نمود.

$$b \times D_{ir} \times EC_{ir} + (1 - b) \times D_{ir} \times EC_d + D_{pe} \times EC_{pe} \leq D_{ir} \times EC_a \quad (1)$$

در این رابطه D_{ir} ارتفاع آب مورد نیاز برای آبیاری گیاه، EC_{ir} هدایت الکتریکی آب آبیاری، EC_d هدایت الکتریکی زهاب خروجی موجود، D_{pe} میزان بارندگی، EC_{pe} هدایت الکتریکی باران و EC_a حداکثر شوری مجاز آب آبیاری می‌باشد.

رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر مرتب نمود:

مصرف در پایین دست حفظ شود.

با استفاده از رابطه (۱۲) می‌توان مقدار دبی مجاز تخلیه زهاب شور به درون رودخانه را محاسبه نمود.

$$Q_w = Q_{river} \frac{EC_{a-river} - EC_{river}}{EC_d - EC_{a-river}} \quad (12)$$

در این رابطه EC_{river} هدایت الکتریکی رودخانه، $EC_{a-river}$ هدایت الکتریکی مجاز رودخانه در نقطه تخلیه زهاب، EC_d هدایت الکتریکی زهاب خروجی، Q_{river} دبی رودخانه و Q_w دبی تخلیه زهاب به رودخانه می‌باشد.

۵- تخلیه به حوضچه‌های تبخیر

در این تحقیق کف حوضچه تبخیری کاملاً متراکم و از تلفات نشت در آن صرف‌نظر شد. ورودی‌های این حوضچه زهاب اراضی کشاورزی و بارندگی و خروجی آن تبخیر از سطح آب می‌باشد. لازم به ذکر است هنگامی که شوری آب در حوضچه‌های تبخیر افزایش می‌یابد، سرعت تبخیر از سطح آب در اثر کاهش فشار بخار کم می‌شود. جانستون و همکاران در سال ۱۹۹۷ رابطه (۱۳) را برای میزان تبخیر از حوضچه معرفی کردند.

$$E = Y \times ET_0 \quad (13)$$

در این رابطه Y ضریب تصحیح تجربی و ET_0 تبخیر-تقرق مرجع می‌باشد و هنگامی که هدایت الکتریکی آب بین ۱۴ تا ۶۰ دسی زیمنس بر متر باشد مقدار آن را می‌توان از رابطه (۱۴) محاسبه نمود:

$$Y = 1.3234 - 0.0066 EC \quad (14)$$

در این رابطه EC میزان شوری آب در حوضچه تبخیری می‌باشد.

مدل‌سازی پویایی سیستم

اساس روش تحلیل پویایی سیستم بر پایه فرضیه فرآیندهای بازخوردی می‌باشد که متأثر از رفتار گذشته خود می‌باشد و از نتایج آن در رفتار آینده استفاده می‌نماید. این فرآیند بازخوردی شامل حلقه‌های بازخوردی منفی و مثبت می‌باشد که روابط علت و معلولی یک سیستم را نشان می‌دهند و در واقع ساختار اصلی یک سیستم می‌باشند. حلقه منفی نشان می‌دهد که اگر علت افزایش یابد اثر آن کاهش می‌یابد و اگر علت کاهش یابد اثر آن نیز روند افزایشی دارد. حلقه مثبت نیز نشان می‌دهد که اگر علت افزایش یابد اثر آن نیز افزایش می‌یابد و اگر علت کاهش یابد اثر آن نیز روند کاهشی دارد.

در این تحقیق، ابزار تحلیل سیستم مورد استفاده جهت مدل‌سازی، Vensim بود. این ابزار مدل‌سازی که یک محیط شبیه سازی شیء‌گرا می‌باشد امکان ایجاد مدل‌های پیچیده را با سهولت بیشتری نسبت به زبان‌های برنامه نویسی مرسوم به وجود می‌آورد.

- حلقه های علت و معلولی

در مدل‌سازی به روش پویایی سیستم حلقه‌های علت و معلولی

$$A_2 = \frac{D_{ir-free} \times A_1 + Q_{dR}}{D_{irr-R}} \quad (9)$$

اما در مدیریت زهاب کشاورزی به‌روش استفاده مجدد از زهاب، تجمع نمک در منطقه ریشه از اهمیت بسزایی برخوردار است و نباید مانع رشد مطلوب گیاه شود. بنابراین می‌توان با دانستن مقاومت گیاه نسبت به شوری خاک و شوری آب آبیاری، نیاز آشویی اراضی تحت کشت مقاوم به شوری را نیز محاسبه نمود. پس از تعیین نیاز آشویی زمین زیر کشت گیاه مقاوم به شوری می‌توان این مقدار را به آب آبیاری این گیاه اضافه نمود بنابراین می‌توان معادله ۸ را به صورت رابطه (۱۰) بازنویسی کرد:

$$(1 + LR).D_{irr-R} \times A_2 = D_{ir-free} \times A_1 + Q_{dR} \quad (10)$$

بنابراین می‌توان نوشت:

$$A_2 = \frac{Q_{dR} + D_{ir-free} \times A_1}{(1 + LR).D_{irr-R}} \quad (11)$$

با توجه به رابطه ۱۱ ملاحظه می‌شود که به دلیل متغیر بودن مقدار آب آبیاری ذخیره شده از مرحله اول نسبت به زمان، $D_{ir-free}$ و همچنین متغیر بودن میزان برداشت از زهاب شور (به دلیل متغیر بودن شوری زهاب)، Q_{dR} ، مساحت‌های مختلفی برای زیر کشت بردن گیاه مقاوم به شوری نسبت به زمان به دست می‌آید که باید با توجه به شرایط منطقه یکی را با نظر کارشناسی انتخاب نمود، سپس با قرار دادن آن مساحت به عنوان سطح زیر کشت گیاه مقاوم به شوری، تغییرات شوری و دبی خروجی زهاب را محاسبه و بررسی نمود.

ب- محدودیت آب آبیاری وجود ندارد

در این حالت می‌توان مقداری از اراضی طرح را با توجه به شرایط منطقه به کشت مقاوم به شوری اختصاص داد و با استفاده از رابطه (۱) سهم زهاب شور برای آبیاری این اراضی را محاسبه نمود.

۳- استفاده مجدد از زهاب برای گیاهان شورپسند

در این قسمت با توجه به نیاز آبی این گیاهان اگر هدایت الکتریکی زهاب کم‌تر از هدایت الکتریکی مجاز آبیاری این گیاهان باشد از زهاب به‌طور مستقیم جهت آبیاری آن‌ها استفاده می‌شود در غیر این صورت زهاب‌ها باید به مکان‌های تخلیه از جمله حوضچه تبخیر هدایت شوند.

۴- تخلیه زهاب به رودخانه

تخلیه زهاب به داخل آبراهه‌های سطحی به صورت کنترل شده یکی دیگر از راه‌های مدیریت زهاب‌های شور می‌باشد که امکان اجرای این امر به کیفیت و کمیت زهاب در هنگام تخلیه، خطرات بهداشتی و زیست محیطی و شرایط پایین دست بر می‌گردد و با توجه به دبی و کیفیت رودخانه می‌توان مقدار مجاز تخلیه را برای زمان‌های مختلف تعیین نمود. بنابراین در تخلیه زهاب به رودخانه باید معیارهای

آبیاری این مزرعه در اوایل سال ۱۳۸۶ شروع شد و به مدت ۶ ماه به طول انجامید. با توجه به اینکه آب آبیاری این مزارع از رودخانه کارون تأمین می‌شود، میزان شوری آن در ماه‌های مختلف متفاوت است (جدول ۱).

همچنین میزان برآزش میان مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده روزانه سطح ایستابی، زهاب خروجی، شوری زهاب خروجی و شوری آب زیرزمینی توسط مدل از لحاظ آماری با شاخص‌های آماری $RMSE$ و SE محاسبه گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Y_m - Y_p)^2}{n}} \quad (15)$$

در این رابطه، n تعداد روزهای دوره مورد مطالعه، Y_m مقادیر اندازه‌گیری شده در هر روز، Y_p مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل می‌باشد.

$$S.E. = \sqrt{\frac{\sum (Y_m - Y_p)^2}{n}} / \bar{Y}_m \quad (16)$$

در این رابطه \bar{Y}_m میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است.

نتایج و بحث

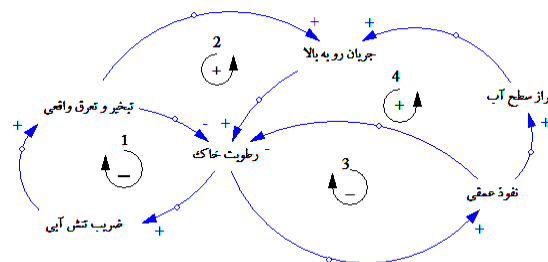
ارزیابی و صحت‌سنجی مدل در شبیه‌سازی سطح ایستابی، دبی خروجی زهکش و شوری زهاب خروجی، بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده صحرایی، توسط نودری و لیاقت انجام و نتایج آن مورد تایید قرار گرفت. نتایج این ارزیابی به شرح زیر می‌باشد:

- سطح ایستابی

شکل ۲ نوسانات سطح ایستابی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که تطابق بسیار خوبی بین نتایج مدل و داده‌های مشاهده‌ای وجود دارد (Nozari and Liaghat, 2014).

همچنین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده سطح ایستابی از لحاظ آماری محاسبه شدند و مقادیر $RMSE$ و SE به ترتیب ۱۴/۷ سانتی متر و ۰/۰۸ محاسبه شد. در محاسباتی که محققین مختلف در ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی تراز سطح آب انجام دادند، $RMSE$ تا ۴۰ سانتی متر را خوب ارزیابی کرده‌اند (Maurizio et al, 2000, Singh et al, 2006, Tekin, 2002). همچنین مقادیر SE بین صفر و یک متغیر می‌باشد و هر چه مقدار این پارامتر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده تطابق خوب بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌ای می‌باشد.

فرآیند بازخوردی اصلی را نشان می‌دهند. شکل ۱ نمونه‌ای از نمودارهای علت و معلولی در این تحقیق می‌باشد.



شکل ۱- حلقه های علت و معلولی ناحیه غیر اشباع

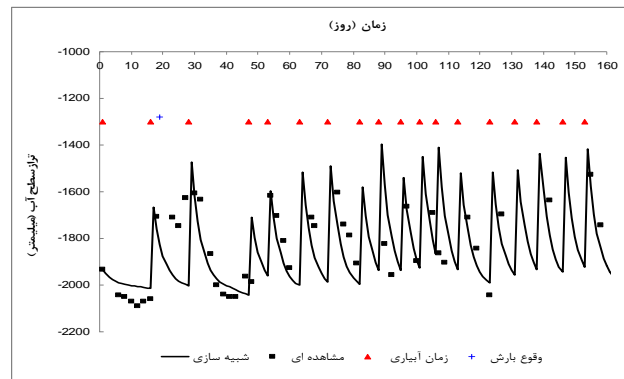
همان‌طور که ملاحظه می‌شود در حلقه شماره ۱ با افزایش رطوبت خاک، ضریب تنش آبی افزایش می‌یابد و با افزایش آن میزان تبخیر-ترقق واقعی افزایش می‌یابد که در نهایت موجب کاهش رطوبت خاک می‌شود و یک حلقه منفی را تشکیل می‌دهد. از طرفی با افزایش تبخیر-ترقق میزان جریان رو به بالا از سطح آب زیرزمینی افزایش می‌یابد که خود باعث افزایش رطوبت خاک می‌شود و یک حلقه مثبت را تشکیل می‌دهد. در حلقه سوم با افزایش رطوبت خاک، نفوذ عمقی از ناحیه ریشه افزایش یافته و با افزایش نفوذ عمقی رطوبت خاک در لایه‌های فوقانی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش نفوذ عمقی، تراز سطح آب افزایش یافته و با بالا آمدن تراز سطح آب میزان جریان رو به بالا افزایش می‌یابد و در نهایت باعث افزایش رطوبت خاک در ناحیه غیر اشباع می‌شود (حلقه چهارم).

آزمون صحت سنجی مدل

پس از ترسیم نمودارهای علت و معلولی و تهیه مدل، نوبت به صحت سنجی نتایج مدل می‌رسد. بدین منظور از داده‌های جمع‌آوری شده از مزرعه ۲۵ هکتاری ARC1-18 واقع در اراضی تحقیقاتی مرکز تحقیقات نیشکر واحد امیرکبیر که یکی از واحدهای هفت‌گانه طرح توسعه نیشکر می‌باشد، استفاده شد. جهت بررسی نوسانات سطح ایستابی در این مزرعه، سه ردیف پیژومتر که در هر ردیف هفت عدد پیژومتر وجود داشت در فواصل ۴۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ متری از جمع‌کننده‌ها نصب شد. در طی دوره آبیاری نیشکر، پارامترهای نوسانات سطح ایستابی به صورت روزانه، دبی خروجی زهکش‌ها، شوری آب آبیاری، شوری آب داخل پیژومترها و شوری زهاب ثبت گردید (نودری و همکاران، ۱۳۸۸).

جدول ۱- EC آب کانال امیرکبیر در سال ۱۳۸۶ (dS/m)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی
شوری	۱/۶۱	۰/۹۹	۱/۴۸	۱/۶۱	۱/۷۶	۲/۳۱	۲/۲۲	۱/۷۷	۱/۷۰	۱/۷۹



شکل ۲- مقایسه نوسانات تراز آب اندازه گیری و شبیه سازی شده نسبت به زمان

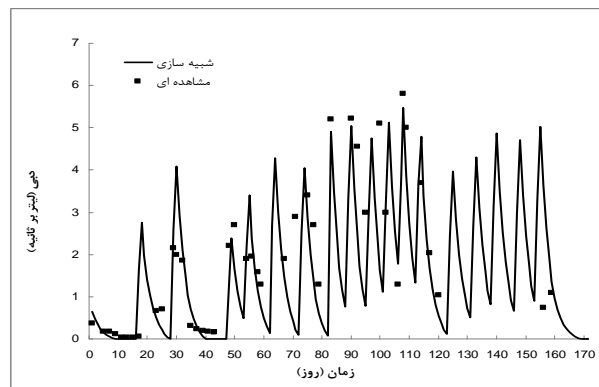
درد (Nozari and Liaghat, 2014).

مقادیر پارامترهای آماری RMSE و SE در تعیین دقت میزان زهاب شبیه سازی شده به ترتیب ۱/۱ لیتر بر ثانیه و ۰/۵۸ می باشد. لذا با توجه به نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط محققین مختلف، که RMSE برابر یک سانتی متر بر روز (حدود ۱/۱۵ لیتر بر ثانیه) برای شدت زهاب خروجی را خوب ارزیابی کرده اند، می توان نتایج حاصل از مدل حاضر را قابل قبول دانست (Singh et al, 2006 , Tekin, 2002).

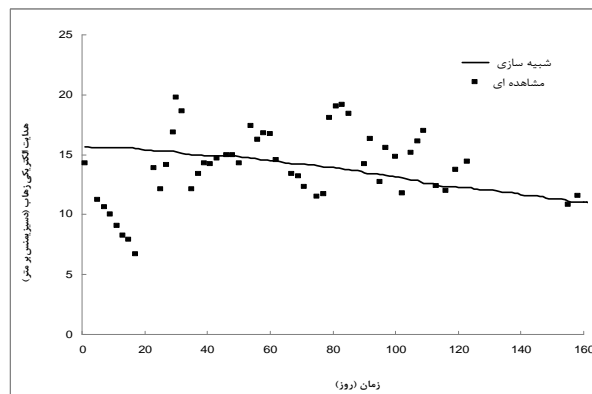
بنابراین می توان گفت مدل حاضر در محاسبه تراز سطح آب از دقت قابل قبولی برخوردار است.

- دبی خروجی زهکش

اندازه گیری دبی خروجی از زهکش ها همزمان با قرائت تراز سطح آب، بعد از یک تا دو روز از انجام آبیاری و از طریق چاهک کنترل لوله زهکشی (منهول) در محل ورود به کلکتور صورت گرفت. در شکل ۳ داده های صحرائی همراه با نتایج حاصل از مدل نشان داده شده است. با توجه به این شکل می توان گفت میزان زهاب شبیه سازی شده تطابق خوبی با داده های مشاهده ای



شکل ۳- مقایسه دبی خروجی زهکش مشاهده ای و شبیه سازی شده نسبت به زمان



شکل ۴- شوری زهاب مشاهده ای و شبیه سازی شده

-شوری زهاب

همان‌طور که گفته شد پس از قرائت دبی زهکش مقداری از آب آن جهت تعیین EC به آزمایشگاه منتقل شد. شکل ۴ شوری زهاب خروجی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص آماری RMSE و SE برای این پارامتر به ترتیب ۳/۳ دسی زیمنس بر متر و ۰/۲۳ محاسبه شد.

با توجه به شکل فوق مشاهده شد که تغییرات شوری زهاب خروجی و برآورد شده توسط مدل تقریباً دارای روند یکنواخت نزولی در طول دوره آبیاری بود ولی تغییرات شوری اندازه‌گیری شده دارای روند نوسانی بود. نوسانات شوری زهاب در شرایط واقعی به دلیل تأثیر نوسانات سطح ایستابی بر عمق اختلاط (عمقی که جریان‌ات شعاعی اتفاق می‌افتد) در لایه‌های زیرین عمق لوله زهکش می‌باشد. شکلیا و همکاران در سال ۱۳۸۹ نشان دادند پس از آبیاری که سطح ایستابی بالا می‌آید، عمق اختلاط افزایش و در بین دو آبیاری که سطح ایستابی پایین می‌رود، عمق اختلاط کاهش می‌یابد. با توجه به اختلاف غلظت نمک در لایه‌های زیرین عمق نصب زهکش، هرچه عمق اختلاط بیشتر باشد، شوری زهاب خروجی بیشتر و هرچه عمق اختلاط کمتر باشد شوری زهاب خروجی کمتر خواهد شد.

طراحی و ارزیابی سیاست‌ها جهت مدیریت زهاب شور

پس از تأیید و پذیرش عملکرد مدل توسط نودری و همکاران، در این قسمت ابتدا اراضی تحت کشت نیشکر واحد امیرکبیر به مساحت ۱۲۰۰۰ هکتار توسط مدل شبیه‌سازی و سپس به مدیریت زهاب شور ناشی از آبیاری این اراضی به‌منظور کنترل و کاهش اثرات منفی زهکشی این مزارع پرداخته شد.

پس از بررسی‌های اولیه معلوم شد هر سال حدود ۱۰۰۰۰ هکتار

از اراضی منطقه آبیاری و مابقی اراضی که حدود ۲۰۰۰ هکتار می‌باشد به‌عنوان آیش مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به اینکه در این تحقیق قرار بود دستورالعملی برای مدیریت زهاب شور تا زمان رسیدن آن به حالت تعادل و بعد از آن تهیه شود و همچنین با مشورت مشاوران و دست‌اندرکاران طرح، طول دوره تحقیق ۱۰ سال در نظر گرفته شد.

- میزان زهاب خروجی

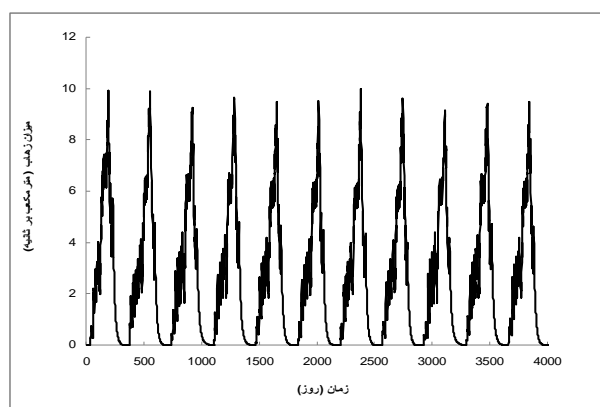
پس از شبیه‌سازی محدوده مورد مطالعه به کمک مدل، تغییرات دبی زهاب شبیه‌سازی شده به‌صورت روزانه محاسبه گردید. شکل ۵ تغییرات دبی زهاب شبیه‌سازی شده را نسبت به زمان برای طول دوره آماری مورد نظر نشان می‌دهد.

- شوری زهاب خروجی

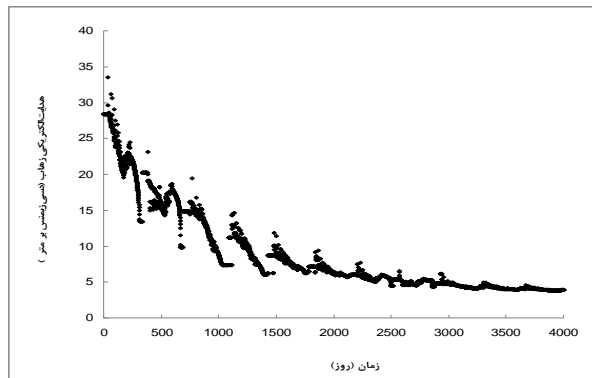
شکل ۶ هدایت الکتریکی زهاب شبیه‌سازی شده توسط مدل را نسبت به زمان نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان گفت، پس از ۱۰ سال هدایت الکتریکی زهاب خروجی کاهش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت و تقریباً به حالت تعادل می‌رسد. که این امر به دلیل آبیاری اراضی با آب با کیفیت خوب و تغییر کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر آب آبیاری می‌باشد.

مدیریت زهاب شور

در این قسمت مجموعه‌ای از راهکارهای قابل دسترس جهت مدیریت زهاب انتخاب شد و با در نظر گرفتن تعریف پویایی سیستم، بخشی از زهاب شور به هر کدام از این راه‌حل‌ها تخصیص یافت. ۱-اختلاط زهاب شور با آب شیرین برای آبیاری



شکل ۵- دبی زهاب شبیه‌سازی شده واحد امیرکبیر



شکل ۶- هدایت الکتریکی زهاب شبیه‌سازی شده واحد امیرکبیر در برابر زمان

با توجه به آستانه شوری نیشکر، ۶ دسی‌زیمنس بر متر با قبول ۲۵ درصد کاهش عملکرد، و شوری زهاب خروجی از واحد امیرکبیر، زهاب قابل استفاده برای مخلوط کردن با آب با کیفیت خوب و استفاده مجدد برای همین محدوده برای ۱۰ سال متوالی توسط مدل شبیه‌سازی شده است که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که تمامی حجم زهاب شور نمی‌تواند مفید واقع شود و هر چه شوری زهاب بیشتر باشد مصرف آن کمتر است. لذا در سال‌های ابتدای استفاده از زهاب، حجم کم‌تری از آن را می‌توان اختلاط و برای آبیاری نیشکر استفاده نمود و با گذشت زمان و بهبود کیفیت زهاب خروجی، حجم زهاب قابل استفاده نیز افزایش خواهد یافت.

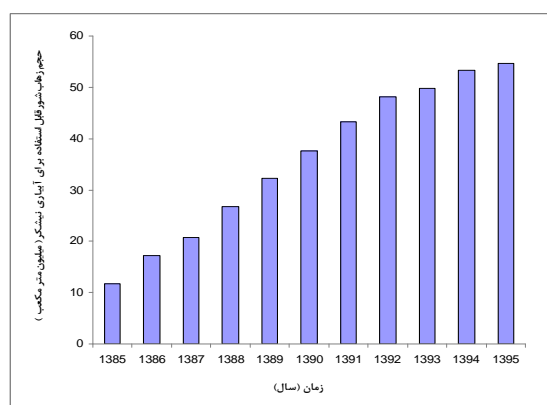
با توجه به آستانه شوری نیشکر، ۶ دسی‌زیمنس بر متر با قبول ۲۵ درصد کاهش عملکرد، و شوری زهاب خروجی از واحد امیرکبیر، زهاب قابل استفاده برای مخلوط کردن با آب با کیفیت خوب و استفاده مجدد برای همین محدوده برای ۱۰ سال متوالی توسط مدل شبیه‌سازی شده است که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که تمامی حجم زهاب شور نمی‌تواند مفید واقع شود و هر چه شوری زهاب بیشتر باشد مصرف آن کمتر است. لذا در سال‌های ابتدای استفاده از زهاب، حجم کم‌تری از آن را می‌توان اختلاط و برای آبیاری نیشکر استفاده نمود و با گذشت زمان و بهبود کیفیت زهاب خروجی، حجم زهاب قابل استفاده نیز افزایش خواهد یافت.

استفاده مجدد برای گیاهان شور پسند

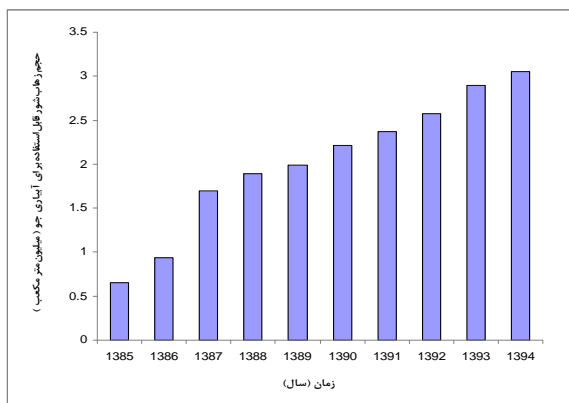
در این تحقیق از اکالیپتوس به‌عنوان گیاه شور پسند استفاده گردید و فرض شد اگر شوری زهاب از حد آستانه این گیاه، ۷ دسی‌زیمنس بر متر، بالاتر باشد از زهاب جهت آبیاری استفاده نشود. شکل ۹ حجم مصرفی جهت آبیاری اکالیپتوس را در ۱۰ سال متوالی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه در این بخش زهاب به‌صورت مستقیم و بدون اختلاط مورد استفاده قرار می‌گیرد در سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۰ که شوری زهاب بیش از ۷ دسی‌زیمنس بر متر است نمی‌توان از زهاب برای آبیاری این گیاه استفاده نمود.

استفاده از زهاب برای گیاهان مقاوم به شوری

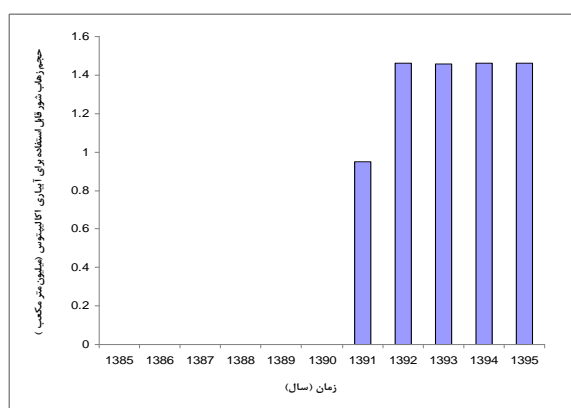
در این قسمت، جو دانه‌ای با آستانه کاهش عملکرد ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان گیاه مقاوم به شوری انتخاب گردید. لذا با توجه به نیاز آبی گیاه، شوری قابل تحمل آن و همچنین شوری زهاب خروجی، حجم زهاب شور قابل استفاده جهت آبیاری این گیاه به



شکل ۷- میزان زهاب شور سالانه مصرفی جهت اختلاط با آب با کیفیت خوب برای آبیاری نیشکر



شکل ۸- حجم زهاب شور مصرفی سالانه جهت استفاده مجدد برای آبیاری جو دانه ای



شکل ۹- حجم زهاب شور مصرفی جهت آبیاری اکالیپتوس

تخلیه به حوضچه‌های تبخیری

استفاده از حوضچه‌های تبخیری برای آب‌های شور زهکش‌های کشاورزی، کاربرد جهانی دارد.

در این تحقیق نیز از این روش به‌عنوان آخرین راهکار استفاده شد. شکل ۱۱ حجم زهاب تخلیه شده به حوضچه تبخیری را در طول دوره تحقیق نشان می‌دهند. لازم به ذکر است زهاب خروجی اراضی تحت کشت جو دانه‌ای نیز به‌دلیل شوری بالا مستقیماً وارد حوضچه‌های تبخیری خواهد شد. با توجه به شکل می‌توان گفت که تنها در سال اول بخشی از زهاب شور گیاه اصلی (نیشکر) به حوضچه تبخیری تخلیه می‌شود و پس از آن تنها زهاب شور اراضی تحت کشت جو دانه‌ای تخلیه می‌شود. در جدول ۲ میزان زهاب شور گیاه اصلی تخلیه شونده به حوضچه تبخیری برای ۱۰ سال ارائه شده است.

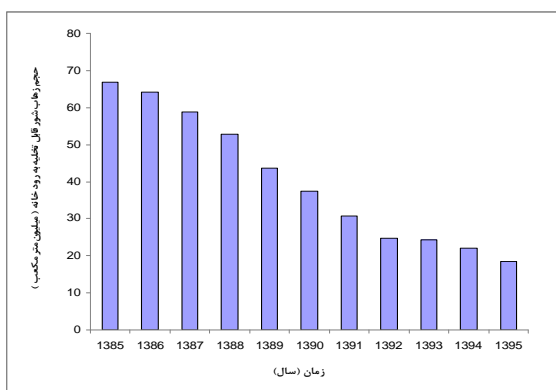
در این قسمت درصد زهاب شور نیشکر که به هر یک از روش‌های مدیریتی فوق اختصاص داده شده در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با گذشت زمان به‌دلیل عملیات آبیاری با آب شیرین، سهم بیش‌تری از زهاب را می‌توان برای آبیاری گیاه

هم‌چنین از اواسط سال ۱۳۹۱ شوری زهاب برای آبیاری این گیاه مناسب می‌شود و به همین جهت میزان حجم قابل استفاده از زهاب در این سال کم‌تر از سال ۱۳۹۲ می‌باشد. از سال ۱۳۹۲ به‌بعد نیز به‌دلیل کاهش شوری زهاب خروجی به زیر حد آستانه می‌توان کل مساحت زیر کشت این گیاه را با زهاب خروجی آبیاری نمود. لذا حجم زهاب شور قابل استفاده در این سال‌ها برابر می‌باشد.

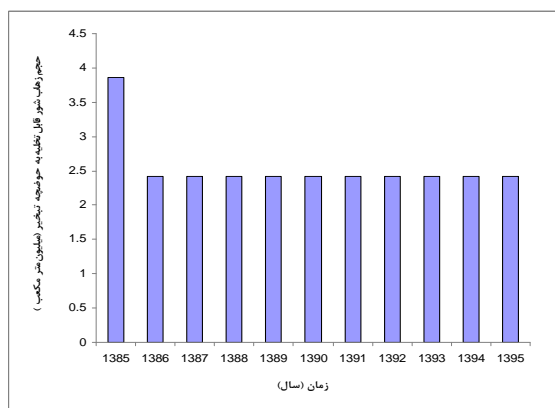
تخلیه زهاب به رودخانه

در استفاده از این روش توجه به ظرفیت خودپالایی منبع پذیرنده و هم‌چنین کیفیت زهاب ضروری می‌باشد. بنابراین در هنگام تخلیه باید میزان آبدهی و کیفیت زهاب و هم‌چنین دبی و میزان غلظت هر کدام از ترکیبات منبع پذیرنده زهاب تعیین گردد. شکل ۱۰ حجم زهاب شیب‌سازی شده جهت رهاسازی به داخل رودخانه کارون را نسبت به زمان نشان می‌دهد. با توجه به افزایش حجم قابل استفاده از زهاب شور در بخش‌های قبل، حجم زهاب شور باقی‌مانده برای تخلیه به رودخانه از سال ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۴ کاهش می‌یابد.

حساس به شوری که کشت اصلی می‌باشد، استفاده نمود. سهم کمی است که سطح زیر کشت گیاه مقاوم به شوری نسبت به گیاه حساس به شوری به گیاه مقاوم به شوری اختصاص داده شده است به این دلیل که به گیاه مقاوم به شوری بسیار کم می‌باشد (۱۰۰۰ هکتار).



شکل ۱۰- حجم زهاب شور قابل تخلیه به رودخانه



شکل ۱۱- حجم زهاب شور قابل تخلیه به حوضچه تبخیری

جدول ۲- سهم زهاب اختصاص داده شده به روشهای مدیریتی زهاب شور

زمان (سال)	گیاه حساس به شوری (درصد)	گیاه مقاوم به شوری (درصد)	گیاه شور پسند (درصد)	تخلیه به رودخانه (درصد)	تخلیه به حوضچه تبخیری (درصد)	مجموع (درصد)
۱	۱۴/۵	۰/۸	۰/۰	۸۲/۷	۲/۴	۱۰۰
۲	۲۰/۸	۱/۱	۰/۰	۷۸/۳	۰/۰	۱۰۰
۳	۲۵/۴	۱/۶	۰/۰	۷۳/۱	۰/۰	۱۰۰
۴	۳۲/۷	۲/۲	۰/۰	۶۵/۱	۰/۰	۱۰۰
۵	۴۱/۴	۲/۶	۰/۰	۵۶/۱	۰/۰	۱۰۰
۶	۴۸/۶	۲/۸	۰/۰	۴۸/۶	۰/۰	۱۰۰
۷	۵۶	۳/۱	۱/۲	۳۹/۸	۰/۰	۱۰۰
۸	۶۲/۶	۳/۳	۱/۹	۳۲/۳	۰/۰	۱۰۰
۹	۶۳/۵	۳/۴	۱/۹	۳۱	۰/۰	۱۰۰
۱۰	۶۶/۸	۳/۸	۱/۸	۲۷/۷	۰/۰	۱۰۰

نتیجه گیری

شبیه‌سازی شده روزانه تراز سطح ایستابی به ترتیب ۱۴/۷ سانتی‌متر و ۰/۰۸ و این مقادیر برای میزان زهاب خروجی برابر ۱/۱ لیتر بر ثانیه و

آزمون‌های آماری RMSE و SE میان مقادیر اندازه‌گیری و

کشاورزی، جلد ۱۰، شماره ۲، ص ۸۶-۷۱.

نوذری، ح.، لیاقت، ع و خیاط خلقی، م. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی حرکت آب و نمک‌ها در سامانه زهکشی زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم، مجله آبیاری و زهکشی، جلد ۳، شماره ۲، ص ۴۳-۲۸.

Johnston, W.R., Tanji, K. and Burns, R. 1997. Drainage water disposal. In FAO. Management of agricultural drainage water quality, by C.A madramootoo, W.R. Johnson and L.S. Willardson, eds. FAO water reports No.13. Rome.

Jury, W.A., Tuli, A. and Letey, J. 2003. Effect of travel time on management of a sequential Reuse Drainage Operation. Soil Science Society American Journal, 67:1122-1126.

Maurizio, B., Moraria, F., Bonaitia, G., Paaschb, M., and Skaggs, R. 2000. Analysis of DRAINMOD performances with different detail of soil input data in the Veneto region of Italy. Agricultural Water Management 42:259-272.

Nozari, H. and Liaghat, A.M. 2014. Simulation of Drainage Water Quantity and Quality Using System Dynamics. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Volume 140, Number 11, DOI: 10.1061/(ASCE)IR. 1943-4774.0000748.

Rhoades, J.D. and Halvorson, A.D. 1977. Electrical conductivity methods for detecting and delineating saline seeps and measuring salinity in Northern Great Plains soils. ARS W-42. USDA-ARS Western Region, Berkeley, CA.

Rhoades, J.D., Manteghi, N.A., Shouse, P.J. and Alves, W.J. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. Soil Science Society American Journal 53:433-43.

Saysel, A.K., Barlas, Y. and Yenigun, O. 2002. Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach. Journal of Environmental Management. 64: 1-14.

Singh, R., Helmers, M.J. and Zhiming, Qi. 2006. Calibration and validation of DRAINMOD to design subsurface drainage systems for Iowa's tile landscapes. Agricultural water management 85:221-232.

Tekin, Z. 2002. Hydraulic Conductivity Evaluation for a Drainage Simulation Model (DRAINMOD). Turkish Journal of Agriculture and Forestry 26:37-45.

۰/۵۸ می‌باشد. همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، در مطالعاتی که محققین مختلف در ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی تراز سطح آب و زهاب خروجی انجام داده‌اند، خطای استاندارد تا ۴۰ سانتی‌متر برای تراز سطح آب و ۱ سانتی‌متر بر روز (حدود ۱/۱۵ لیتر بر ثانیه) را برای شدت زهاب خروجی خوب ارزیابی کردند. بنابراین می‌توان گفت مدل حاضر دقت بسیار خوبی را در مقایسه با شرایط واقعی نشان می‌دهد. آزمون‌های آماری RMSE و SE مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده روزانه هدایت الکتریکی زهاب خروجی از منطقه طرح نیز به ترتیب ۳/۳ دسی زیمنس بر متر و ۰/۲۳ می‌باشد. می‌توان گفت انطباق بین مقادیر شبیه‌سازی شده و داده‌های اندازه‌گیری شده قابل قبول می‌باشد.

نتایج نشان داد پس از ۸ سال از شروع بهره‌برداری (از کل مساحت ۱۲۰۰۰ هکتار واحد امیرکبیر)، شوری زهاب به حالت تعادل می‌رسد و شوری زهاب خروجی از حدود ۳۵ دسی زیمنس بر متر در سال اول به ۴/۵ دسی زیمنس بر متر در سال دهم می‌رسد.

میزان تخصیص زهاب شور برای اختلاط با آب آبیاری برای گیاه اصلی از ۱۴/۵ درصد در سال اول تا ۶۶/۸ درصد در سال دهم تخمین زده شد.

میزان تخصیص زهاب شور برای اختلاط با آب آبیاری برای گیاه مقاوم به شوری از ۰/۸ درصد در سال اول به ۳/۸ درصد در سال دهم تخمین زده شد.

پس از گذشت ۶ سال از آبیاری کل اراضی نیشکر، می‌توان به کشت گیاه شور پسند با زهاب شور و بدون تلفیق با آب آبیاری پرداخت.

میزان تخلیه زهاب شور به رودخانه از ۸۲/۷ درصد در سال اول به ۲۷/۷ درصد در سال دهم کاهش یافت.

از قابلیت مدل فوق علاوه بر ارائه تغییرات تمامی پارامترهای مؤثر در سیستم نسبت به زمان، می‌توان به افزایش سرعت ایجاد یک مدل، سادگی اصلاح مدل در واکنش به تغییرات سیستم و امکان توسعه گروهی مدل‌ها اشاره کرد.

منابع

شکیبای، م.، لیاقت، ع و ف. میرزایی. ۱۳۸۹. بررسی اثر سطح ایستابی بر روی عمق اختلاط زیر زهکش، سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۱۰ الی ۱۲ اسفند.

نوذری، ح.، لیاقت، ع.، خیاط خلقی، م و صدیقی، ع. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی سیستم‌های زهکش زیرزمینی در شرایط غیرماندگار، با استفاده از تکنیک تحلیل پویایی سیستم، مجله تحقیقات مهندسی

Management of Agricultural Saline Drainage Using System Dynamics Approach (Case study: Agro-industrial farms of sugarcane Amirkabir unit)

H. Nozari^{1*}, A.M.Liaghat²

Received: Dec. 25, 2013

Accepted: Sep. 17, 2014

Abstract

The quantity and quality of produced drainage on saline land that needs initial leaching; from starting Irrigation and drainage network up to before reaching balance conditions is constantly changing. The time to reach balance conditions in areas with shallow saline groundwater may take several years. In such cases, knowledge of the quantity and quality of produced drainage in order to manage and control is necessary. Therefore, in this study the performance of a drainage system in non-steady conditions using system dynamics approach is completely modeling and after validity of the model results with field data and verification of the quantity and quality of drainage, management actions that can be applied on such drainage, were modeled. With run of the above model for agro-industrial farms of sugarcane Amirkabir unit, in order to management of Saline drainage these lands, combination of existing solutions such as mixed with irrigation water, using in downstream and cultivation of salt tolerant plants as used simultaneously and Saline drainage rate allocated to each of these methods was determined. The results showed that Salinity of drain water reaches balance condition for first eight years of operation. And the salinity is reduced from 35 to 4.5 dS/m. However, halophytes can be planted and irrigated directly by saline drainage water, after 6 years. Drainage discharge to the river is reduced from 82.7 to 27.7 percent, during the ten years simulated. Finally the recipe for managing saline drainage of above unit lands was presented.

Key words: System dynamics approach, Drainage, Quantity, Quality, Drainage system

1 - Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Bu-Alisina University, Hamedan

2 - Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran

(*-Corresponding Author Email: hanozari@yahoo.com)