نیوار، دوره ۴۵، شماره ۱۱۳-۱۱۲، بهار و تابستان ۱۴۰۰ (دو فصلنامه) DOI: 10.30467/NIVAR.2021.275688.1182

کاربرد مدل SALTMED در پیش‌بینی شوری آب رودخانه کرخه پس از اجرای فاز اول پروژه ۵۵۰ هزار هکتاری احیاء اراضی استان‌های خوزستان و ایلام

الهام مرادی[۱]، مسعود پورغلام آمیجی[۲]، عبدالمجید لیاقت[۳]، آرزو نازی قمشلو*[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳، انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳)

چکیده

در شرایط کمبود منابع آب، حساسیت نسبت به کیفیت آب رودخانه‌ها و عوامل مؤثر بر آن‌ها ضروری است. اگرچه زهکشی امکان تولید محصول در اراضی شور را فراهم می‌نماید، اما زهاب آن می‌تواند مواد آلوده را به آب‌های سطحی و زیرزمینی منتقل سازد. در این مطالعه به پیش‌بینی شوری آب رودخانه کرخه پس از بهره‌برداری از پروژه‌های آبیاری و زهکشی جهاد نصر با استفاده از مدل شبیه‌ساز شوری SALTMED پرداخته شد. با توجه به شرایط اقلیمی، الگوی کشت، برنامه آبیاری، خصوصیات خاک و آب و زهکش دشت‌های اوان، دوسالق، ارایض و باغه که جز دشت‌های علیا محسوب می‌شوند، حجم زهاب خروجی و میزان نمک تولیدی از هر دشت با مساحت کلی ۵۵ هزار هکتار شبیه‌سازی شد. همچنین از داده‌های مربوط به سال‌های (۹۶-۱۳۹۲) به دلیل کامل بودن اطلاعات استفاده شد. نتایج نشان داد که در سال پایه آماری ۱۳۹۳ و بر اساس پیش‌بینی مدل SALTMED؛ مقدار ۱۵۰، ۸۷، ۱۴۰ و ۱۹۷ هزار تن نمک به ترتیب از دشت اوان، دوسالق، ارایض و باغه به طور سالانه وارد رودخانه کرخه می‌شود. اگر طی ۱۰ سال همین روند ادامه داشته باشد، حجمی بالغبر ۵/۷۴ میلیون تن نمک از زهاب دشت‌های فوق وارد کرخه و نهایتا وارد تخلیه گاه آن یعنی تالاب هورالعظیم خواهد شد که تبعات زیست‌محیطی فراوانی را به دنبال خواهد داشت. از آنجایی که فروردین یا اردیبهشت بیشترین میزان آبیاری انجام می‌شود، نتایج مدل SALTMED نیز نشان داد که حجم زهاب در این ماه‌ها بیشینه بود و فقط در دشت باغه بیشترین حجم زهاب در خردادماه رخ داد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت شوری در ماه مرداد با ۱۱ و اردیبهشت با ۵/۴ دسی زیمنس بر متر برای دشت اوان، ماه تیر با ۲۳ و اردیبهشت با ۴ دسی زیمنس بر متر برای دشت دوسالق، ماه مرداد با ۹/۵ و اردیبهشت با ۵ دسی زیمنس بر متر برای دشت ارایض و ماه فروردین با ۱۰ و تیر با ۴ دسی زیمنس بر متر برای دشت باغه اتفاق افتاد. نتیجه کلی نشان داد که با بهره‌برداری از ۳۷ هزار هکتار از ۵۵ هزار هکتار مساحت چهار دشت مذکور، شاخص شوری (EC) آب کرخه به طور قابل توجهی افزایش یافته و به‌طور متوسط از ۱/۱۵ به بیش از ۲ دسی زیمنس بر متر می‌رسد. حال اگر کل این ۵۵ هزار هکتار و یا اراضی بیشتری از طرح ۵۵۰ هزار هکتاری مورد بهره‌برداری قرار گیرد، چه حجم از زهاب و نمک وارد رودخانه‌ها خواهد شد؟

کلمات کلیدی: آبیاری و زهکشی، اصلاح اراضی، توسعه کشاورزی، سامانه نوین آبیاری، محیط‌زیست، هدایت الکتریکی.

مقدمه

رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق دارند. بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها بر اساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی است و شناخت شرایط هر رودخانه در تأمین مصارف بخش‌های مختلف اهمیت زیادی دارد (Jahin et al., 2020). رودخانه‌ها به علت تخلیه انواع مختلف آلاینده‌های موجود در پساب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری به عنوان یکی از کانون‌های بحرانی از نظر آلودگی مطرح می‌باشند و آلودگی آب از نمونه‌های بارز تخریب منابع زیستی به شمار می‌رود (Golshan et al., 2020). به این دلیل، آگاهی از روند تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها همراه با شناسایی عوامل اصلی آلودگی آن اهمیت بسیاری دارد (نادری و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین رودخانه‌ها به عنوان یکی از ظرفیت‌های زیستی نقشی کلیدی در برقراری تعادل زیست‌بوم دارند. از مهم‌ترین

* نگارنده رابط: a.ghameshlou@ut.ac.ir

اصول در یکپارچه‌سازی موضوعات مربوط به مدیریت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، حفظ کامل و یا بخشی از رژیم طبیعی جریان رودخانه و کمیت و کیفیت آن می‌باشد (Jahangir et al., 2020). سازمان جهانی بهداشت تخمین زده که بیش از ۱/۸ میلیارد نفر تا پایان سال ۲۰۲۵، در اثر رقابت استفاده از آب در مناطق شهری و غیرشهری رنج خواهند برد (WHO- World Health Organization, 2019; Pourgholam-Amiji et al., 2021). بنابراین کنترل آب‌های سطحی نظیر رودخانه‌ها به عنوان مهمترین منابع آب جاری، اهمیت بسیار بالایی خواهد داشت به شرط آنکه عاری از آلودگی باشد تا انعطاف‌پذیری برای مصارف مختلف را داشته باشد (پورغلام آمیجی و همکاران، ۱۳۹۷).

در همین رابطه، شطی و آخوندعلی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای که بر روی شوری رودخانه کارون داشتند، نتیجه گرفتند که اگر آبی با شور ۱۱۵۲ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر از محل سد تنظیمی گتوند خارج شود، شوری آب در اهواز به ۲۱۰۵ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر افزایش می‌یابد. بدین ترتیب عمده آلودگی رودخانه در پایین‌دست رخ می‌دهد و تأثیر یک عامل در بالادست، به صورت مستقیم در پایین‌دست اثر خود را نشان خواهد داد. همچنین افت کیفیت آب در پایین‌دست، بر اثر ورود عواملی چون آب برگشتی از زمین‌های کشاورزی و زهکش‌ها و عواملی از این دسته است (مریدنژاد و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی کاهش میزان آبدهی رودخانه‌ها می‌تواند تبعات نامطلوبی از جمله افزایش آلودگی، شوری آب رودخانه در پایین‌دست، کاهش تراز سفره آب زیرزمینی و غیره داشته باشد. در مطالعه‌ای که روی شوری زهاب اراضی کشت و صنعت امیرکبیر از طرح‌های هفت‌گانه توسعه نیشکر انجام شد، زمان رسیدن به تعادل حدود ۱۵ سال برآورد شد. در این فاصله زمانی، زهاب تولیدی با شوری نسبتاً بالا باعث مشکلات عدیده‌ای در اراضی و منابع آب پایین‌دست گردیده به‌طوری‌که رفع آن‌ها همواره به‌عنوان یکی از چالش های اساسی در طرح‌های زهکشی مطرح است (نوذری، ۱۳۸۸).حسینی و همکاران (۱۳۹۲) پس از بهره‌برداری از طرح نیشکر امیرکبیر، کیفیت آب رودخانه‌ی کارون را با شاخص کیفیت آب (NSFWQI) بررسی کردند. نتایج نشان داد کیفیت آب رودخانه‌ی کارون، در طی پنج سال از رده خوب و متوسط در سال ۱۳۸۶ به رده بد در اسفند ۱۳۹۰ تنزل یافته است. سلاجقه و همکاران (۱۳۹۰) نیز با بررسی تأثیر تغییر سطح کاربری‌های اراضی و فرسایش در حوضه‌ی آبخیز کرخه بر کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب اعم از کاتیون‌ها، آنیون‌ها، درجه گل آلودگی، اسیدیته و شوری یافتند که در دو دوره‌ی زمانی ۱۹۸۸ و ۲۰۰۲، طی دو زمان‌بندی ۱۴ساله توسعه اراضی شهری؛ زراعت آبی زیر حوضه‌ای کرخه و کاهش دبی رودخانه از مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت آب رودخانه کرخه بوده است. در سال‌های اخیر مدل‌های مختلفی برای مدیریت آبیاری و شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در خاک به ویژه شوری توسعه یافته است (Chauhdary et al., 2020). یکی از مهم‌ترین این مدل‌ها، SALTMED می‌باشد که با در نظر گرفتن سیستم‌های مختلف آبیاری، انواع خاک و لایه‌بندی آن، محصولات مختلف، تدابیر مختلف مدیریت آب آبیاری (مثل اختلاط یا تناوب آب شور و شیرین)، نیاز آبشویی و کیفیت آب، رویکرد جامعی نسبت به آب، محصول، خاک و مدیریت مزرعه دارد (Ragab, 2002). مدل SALTMED ابزاری قوی در مدیریت آب کشاورزی بوده و از آن می‌توان در پیش‌بینی برنامه‌ریزی‌های آینده تحت تأثیر شرایط مختلف اقلیمی و تحت استراتژی‌های گوناگون آبیاری و زهکشی بهره برد (Ragab et al., 2016).

حسن‌لی و همکاران (۱۳۹۳) گزینه‌های مدیریتی آبیاری در استفاده از آب شور در تناوب با آب غیر شور در محصول ذرت علوفه‌ای را با مدل SALTMED بررسی کردند. نتایج نشان داد که پیش‌بینی مدل در عملکرد محصول رضایت‌بخش بوده و مقدار خطای نسبـــی بین صفر تا ۲۴/۷ درصد بود. هم‌چنین همبستگی خوبی بین مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی عملکرد محصول با مقدار ۰/۷۹ به دست آمد. بنابراین این مدل می‌تواند به‌عنوان ابزاری سودمند برای مدیریت آب در مزرعه و پیش‌بینی شوری خاک مورد استفاده قرار گیرد. قره‌داغی و همکاران (۱۳۹۵) نیز مقدار R^2 مدل SALTMED در پیش‌بینی شوری خاک را ۰/۷۵۸ و RE را از ۲/۲- تا ۳۸/۲

درصد گزارش کردند. نتایج مشابهی نیز توسط حسن‌لی و همکاران (۱۳۹۴) به دست آمد. خالوندی و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش کردند که با افزایش شوری آب آبیاری، دقت مدل SALTMED در شبیه‌سازی رطوبت خاک افزایش می‌یابد.ریحانی فارسانی و قبادی‌نیا (۱۳۹۵) برای برآورد عملکرد محصول سیب‌زمینی در آبیاری سطحی دشت بروجن از مدل SALTMED استفاده کردند. نتایج حاصل از آنالیز داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین این دو مقدار وجود ندارد. همچنین بعد از شبیه‌سازی، مقدار پارامتر RMSE برابر ۳/۷۲، پارامتر CRM برابر ۰/۰۸۰۸- و مقدار EF برابر ۰/۵ به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل SALTMED می‌تواند ابزاری مناسب برای مدیریت آبیاری و پیش‌بینی عملکرد محصول باشد. بصیری و همکاران (۱۳۹۸) کارایی مدل SALTMED در تخمین عملکرد گیاه نعناع فلفلی تحت تنش‌های شوری و کم آبیاری را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که دقت مدل در پیش‌بینی عملکرد نعناع فلفلی نسبتاً خوب بوده است. مقادیر ضریب تبیین مدل در مراحل واسنجی و صحت سنجی به ترتیب برابر ۰/۸۷ و ۰/۸۶ به دست آمد. در مطالعه‌ای Golabi et al. (2009) کارایی مدل SALTMED را در شبیه‌سازی سامانه‌های آبیاری و زهکشی مزارع نیشکر در استان خوزستان بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده شوری خاک وجود نداشت و مدل SALTMED می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای آبیاری و زهکشی مزارع نیشکر در ایران مورد استفاده قرار گیرد.

در پژوهشی Soothar et al. (2019) عملکرد مدل SALTMEDتحت آبیاری متناوب با استفاده از استراتژی آب شور و شیرین گندم زمستانه در شمال چین را ارزیابی کردند و مقدار شاخص‌های R^2، RE، RMSE و NRMSE بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده عملکرد دانه را به ترتیب ۰/۹، ۶/۸ درصد، ۰/۸ و ۱۰/۷ را گزارش کردند. در مطالعه‌ای گلخانه‌ای در عربستان، Aly et al. (2015) از مدل SALTMED تحت رژیم‌های کم آبیاری استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل مذکور می‌تواند به طور مناسبی شوری و رطوبت خاک و نیز عملکرد محصول خیار را شبیه‌سازی کند. نتایج مشابهی توسط Alkhasha & Al-Omran (2019) با هدف شبیه‌سازی شوری، رطوبت خاک و عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط آب شور و غیر شور با استفاده از مدل SALTMED در عربستان انجام شد که مقدار R^2 برای شوری را بین ۰/۹۹-۰/۷۸ برآورد کردند. در مطالعه دیگر Abdelraouf & Ragab (2018) نیز به چنین نتیجه‌ای دست یافتند.

شوری منابع آب و خاک در استان خوزستان و همچنین تخلیه بدون ملاحظه زهاب اراضی کشاورزی به رودخانه‌های این استان، ضمن تهدید منابع آب، مشکلات زیادی را در پایین‌دست رودخانه‌ها به وجود آورده و خواهد آورد. مدیریت زهاب شبکه‌های آبیاری و زهکشی به کمیت و کیفیت آن که مرتباً در حال تغییر بوده، وابسته است. بنابراین لازم است که کمیت و کیفیت زهاب شبکه‌های آبیاری و زهکشی در طول دوره بهره‌برداری پیش‌بینی شود. شوری زهاب شبکه‌های آبیاری و زهکشی پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل‌ها، مبنای تصمیم‌گیری برای روش استفاده مجدد یا تخلیه به سایر منابع آبی قرار خواهد گرفت. بر اساس طرح‌های اجرا شده و در حال اجرای طرح جامع ۵۵۰ هزار هکتاری، در این مطالعه کیفیت زهاب حاصله از طرح‌های حوضه رودخانه کرخه و پیش‌بینی شوری آن در آینده توسط مدل SALTMED مورد بررسی قرار گرفت که تا کنون چنین مطالعه‌ای در کشور انجام نشده است.

اهداف پژوهش

هدف از پژوهش حاضر، پیش‌بینی شاخص شوری آب رودخانه‌ی کرخه پس از بهره‌برداری از پروژه‌های جهاد نصر با مدل شبیه‌ساز شوری است. در حال حاضر، آب رودخانه کرخه از کیفیت تقریباً مطلوبی برخوردار است اما پروژه کشاورزی جهاد نصر (احیای دشت‌های استان‌های خوزستان و ایلام در سطح حوضه‌های آبی طرح ۵۵۰ هزار هکتار با هدف توسعه سامانه‌های نوین آبیاری و اجرای طرح‌های آبیاری و زهکشی) که در نتیجه‌ی آن پساب تولیدی که شامل

زهاب زیرزمینی و رواناب سطحی است، وارد رودخانه کرخه می‌شوند. ورود این پساب به رودخانه، احتمال کاهش کیفیت آب رودخانه را به دنبال دارد. چرا که هیچ‌گونه تمهیداتی برای استفاده مجدد از زهاب‌های تولیدی در گزارش طرح‌ها پیش‌بینی نشده است. با توجه به شواهد موجود درباره تغییرات کیفیت رودخانه‌ی کارون پس از بهره‌برداری از واحدهای هفت‌گانه طرح توسعه نیشکر، انتظار وضعیت مشابهی برای رودخانه کرخه نیز وجود دارد. به همین دلیل پیش‌بینی حجم و کیفیت زهاب تولیدی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال ساخت و واقع در حوضه بالادست کرخه و اثربخشی آن‌ها بر کیفیت پایین‌دست رودخانه از اولویت‌های تحقیقاتی کاربردی در زمینه مسائل آب و محیط‌زیست می‌باشد که مطالعه حاضر بر همین راستا تدوین شده است. یکی از مدل‌های شبیه‌ساز کامپیوتری که توانایی تحلیل پارامترهای کیفیت آب را در زمین‌های دارای زهکشی زیرزمینی دارد، مدل شبیه‌ساز شوری SALTMED است که در این پژوهش از آن استفاده شد. اهداف اصلی از انجام این پژوهش؛ برآورد حجم و شوری زهاب حاصل از هر یک از پروژه‌های در دست اجرای بالادست حوضه‌ی کرخه با مدل SALTMED و پیش‌بینی تأثیر زهاب تولیدی پروژه‌های آبیاری و زهکشی در بالادست بر روی شوری آب رودخانه کرخه در پایین‌دست است.

مواد و روش‌ها

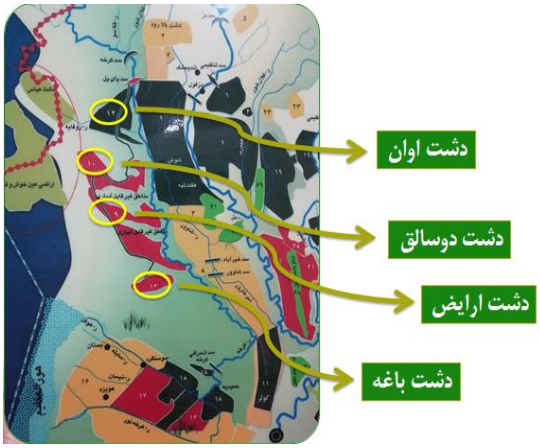
معرفی طرح احیاء و توسعه کشاورزی ۵۵۰ هزار هکتاری

استان خوزستان با وسعت ۶/۵ میلیون هکتار، دشت‌های وسیع و حاصلخیز (حدود دو میلیون هکتار)، موقعیت جغرافیایی مناسب و دسترسی به آب‌های آزاد و وجود بنادر مختلف خطوط هوایی، زمینی و ریلی و شرایط سه فصل کشت برای امور کشاورزی و با توجه به استعدادها و ظرفیت‌های موجود از جمله خاک مناسب (۲/۲ میلیون هکتار اراضی قابل کشت)، آب کافی (وجود ۳۳ درصد از آب‌های جاری کشور) و شرایط مناسب آب و هوایی و تابش کافی آفتاب، جایگاه مناسبی را علاوه بر تأمین محصولات کشاورزی مورد نیاز کشور، در امر صادرات غیرنفتی نیز سرآمد می‌باشد. در استان خوزستان از مجموع حدود ۱/۲ میلیون هکتار اراضی آبخور سدها و رژیم طبیعی رودخانه‌ها، دارای حدود ۵۴۰ هزار هکتار شبکه اصلی و حدود ۲۴۰ هزار هکتار نیز شبکه فرعی می‌باشد که این فاصله بین احداث شبکه‌های اصلی و فرعی باعث گردیده سرمایه‌گذاری‌های کلان بالادستی در سدها و کانال‌های انتقال و شبکه‌های اصلی ۱ و ۲ بدون استفاده باقی بماند که همین وضعیت نیز در استان ایلام متصور است .مؤسسه جهاد نصر به عنوان مجری طرح احیای دشت‌های استان‌های خوزستان و ایلام در سطح حوضه‌های آبی طرح ۵۵۰ هزار هکتاری (حدود ۵۰۰ هزار هکتار در استان خوزستان و ۵۰ هزار هکتار در استان ایلام) انتخاب شد که این طرح در اراضی پایاب سدهای موجود در پنج حوضه کرخه، دز، کارون، مارون و زهره و خیرآباد در ذیل شبکه‌های اصلی به مرحله اجرا در خواهند آمد (موسسه جهاد نصر، ۱۳۹۸). در فاز نخست این طرح، ۲۹۵ هزار هکتار به آبیاری نوین مجهز شده و توانسته تولید را از ۱/۷۵ میلیون تن در سال ۱۳۸۷ به ۴/۵۵ میلیون تن در سال ۱۳۹۶ برساند و پیش‌بینی شده که تولید فاز یک طرح ۵۵۰ هزار هکتاری به ۶.۵ میلیون تن برسد. در فاز اول، پیشرفت فیزیکی تا پایان تیرماه ۱۳۹۷، حدود ۲۹۵ هزار هکتار شبکه‌های فرعی آبیاری، ۱۸۳ هزار هکتار زهکشی زیرزمینی، ۱۹۸ هزار هکتار تجهیز و نوسازی اراضی، افزایش سطح سامانه‌های نوین آبیاری از ۴ هزار هکتار به ۹۷ هزار هکتار، افزایش سطح زیرکشت در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به میزان ۲۵۰ هزار هکتار و سپس افزایش تولیدات گیاهی و زراعی بود. در فاز دوم، مساحت ۲۵۵ هزار هکتار باقیمانده تحت اجرای پروژه فوق قرار خواهند گرفت (پایگاه اطلاع رسانی دولت، ۱۳۹۸).

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش، بخشی از حوضه آبریز رودخانه کرخه است که سومین رودخانه‌ی بزرگ ایران می‌باشد. طول رودخانه ۹۰۰ کیلومتر است و از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و به تالاب هورالعظیم می‌ریزد. این منطقه تحت انجام پروژه ۵۵۰ هزار هکتاری جهاد نصر موسوم به

طرح احیا و توسعه کشاورزی دشت‌های استان‌های خوزستان و ایلام قرار دارد. این طرح به‌عنوان وسیع‌ترین طرح تاریخ کشاورزی کشور نیز شناخته‌شده است. محدوده مورد مطالعه این پژوهش، بازه‌ای از حوضه آبریز رودخانه کرخه و شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال ساخت دشت‌های بالایی که به دشت‌های پای پل معروف‌اند، است. این دشت‌ها از کانال جداگانه‌ای در پایین‌دست سد کرخه به نام کانال پای پل، آب موردنیاز خود را دریافت کرده و زهاب خود را مستقیماً وارد کرخه می‌کنند. اراضی پایاب سد مخزنی کرخه شامل سه ناحیه دشت‌های علیا (بالایی)، پایاب تونل انتقال و کرخه سفلا (پایینی) هستند. دشت‌های منطقه علیا مشتمل بر دشت‌های اوان، دوسالق، ارایض و باغه هستند که مورد ارزیابی قرار گرفتند. از اطلاعات موقعیت و مساحت اراضی تحت پوشش طرح احیاء دشت دوسالق واحد عمرانی ۱، ۲ و ۵ و از دشت ارایض واحد عمرانی ۲، ۳ و ۴ و همچنین دشت اوان و باغه برای بررسی تأثیر زهاب تولیدی پروژه‌های آبیاری و زهکشی در بالادست بر روی شوری آب رودخانه کرخه استفاده شد. در شکل (۱) نقشه دشت‌های مورد مطالعه آورده شده است.



شکل ۱- نقشه دشت‌های مورد مطالعه

مساحت و موقعیت اراضی

وسعت کل اراضی کشاورزی پایاب سد کرخه در حدود ۲۶۵ هزار هکتار است که مساحت اراضی بالادستی (پای پل) نزدیک به ۵۵ هزار هکتار آن را شامل می‌شود. دشت‌های بالادستی یا پای پل بدین شرح است: دشت اوان در شمالی‌ترین بخش منطقه پای پل واقع شده است و از شرق به رودخانه کرخه، از جنوب به رودخانه فصلی روفائیه و از شمال و غرب به اراضی مرتفع حاشیه دشت محدود می‌گردد. دشت دوسالق در جنوب دشت اوان قرارگرفته است و اراضی مرتفع واقع در حدفاصل اوان و دوسالق، این دو دشت را از هم جدا ساخته است. این دشت از سمت غرب به ارتفاعات میش‌داغ و از سمت شرق به رودخانه کرخه محدود می‌شود. دشت ارایض از شمال به دشت دوسالق، از جنوب به دشت باغه، از شرق به رودخانه کرخه و از غرب به کانال اصلی دشت‌های پای پل محدود است.

جدول ۱- موقعیت و مساحت اراضی آبخور رودخانه کرخه (مهاب قدس، ۱۳۹۲)

ردیف	نام دشت	مساحت (هکتار)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	اوان	۱۱۰۰۰	۰۷°۴۷'- ۲۵°۴۸'	۴۷°۳۱'- ۵۲°۳۱'
۲	دوسالق	۱۴۰۰۰	۵۷°۴۷'- ۲۵°۴۸'	۴۷°۳۱'- ۰۷°۳۲'
۳	ارایض	۲۴۰۰۰	۰۰°۴۸'- ۱۰°۴۸'	۱۵°۳۲'- ۲۵°۳۲'
۴	باغه	۶۰۰۰	۵۵°۴۷'- ۱۶°۴۸'	۵۵°۳۱'- ۱۴°۳۲'

تپه‌های لخیضر این دشت را از دشت دوسالق جدا می‌سازد. دشت باغه در منتهی‌الیه اراضی پای پل قرار دارد و از شمال به دشت ارایض، از جنوب به تپه‌های ماسه‌ای منطقه خسرج، از شرق به تپه‌های ساحل راست رودخانه کرخه و از غرب به دامنه ارتفاعات میش‌داغ محدود می شود. به طور کلی، منطقه دارای اقلیم گرم و خشک بوده و به ندرت دمای آن به زیر صفر می‌رسد ولی در بعضی مواقع و به‌ویژه زمستان، جریانات بسیار سرد شمالی که عمدتاً ناشی از وجود سامانه‌های پرفشار بر روی سیبری هستند، به سمت جنوب غربی ایران نفوذ کرده و پس از طی مسیر طولانی منطقه خوزستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در زمان کوتاهی موجب کاهش دما تا حد یخبندان می‌گردد. در مواقعی از سال نیز، وزش طوفان با ماسه بادی در این منطقه رخ می‌دهد (Ansari & Akhoondzadeh, 2020).

منابع تأمین آب و روش آبیاری

منبع اصلی تأمین آب دشت‌های پای پل، کانال اصلی پای پل است که از سد مخزنی کرخه آبگیری نموده و تا دشت باغه را آب‌رسانی می‌نماید. با توجه به موقعیت و شرایط دشت‌های پای پل، امکان آبیاری با آب زیرزمینی برای سه دشت اوان، ارایض و دوسالق فراهم است. در حالت کلی آبیاری گیاهان زراعی، با یکی از پنج روش غرقابی، نشتی، قطره‌ای، زیرزمینی و یا بارانی صورت می‌پذیرد. نوع آبیاری اراضی پای پل با توجه به ناهمواری، نفوذپذیری سطحی، نوع محصولات پیشنهادی، شرایط اقلیمی و حجم آب قابل استحصال، به شیوه آبیاری سطحی انجام می‌گیرد. بازده آبیاری سطحی از سه جز بازده انتقال، توزیع و کاربرد تشکیل می‌شود که مقادیر آن برای دشت‌های مختلف، متفاوت است ولی بازده کلی آبیاری حدوداً برابر با ۶۰ درصد بود (مهاب قدس، ۱۳۹۲). همچنین از بازده کل برای تعیین نیاز آبیاری منطقه استفاده شد.

مشخصات خاک دشت‌ها

بر اساس اطلاعات موجود در دشت اوان، ۳۱/۳ درصد اراضی در پروفیل خاک (عمق ۱/۵ تا ۳ متری) دارای بافت درشت و ۴۸/۹ درصد اراضی دارای بافت متوسط و ۱۹/۸ درصد دارای بافت متوسط تا سنگین هستند. در قسمت‌های مرکزی دشت حدود ۲۶۰۰ هکتار از اراضی با بافت متوسط تا سنگین و دارای پتانسیل زهکشی طبیعی ضعیف می‌باشد. بنابراین برای مساحت ۲۶۰۰ هکتار از این دشت، از مدل SALTMED برای شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زهاب حاصله استفاده شد.

دشت دوسالق از پنج واحد عمرانی تشکیل شده است. در این پژوهش از گزارش‌های سه واحد عمرانی یک، دو و پنج استفاده شد. مساحت واحد عمرانی شماره ۱ برابر ۲۱۳۰ هکتار است ولی مطالعات پایه زهکشی، عمق لایه محدودکننده خاک، سطح آب زیرزمینی، شوری آب زیرزمینی، بافت، شوری، قلیائیت خاک و شیب اراضی بیانگر این است که حدود ۸۸۵ هکتار (حدود ۳۲ درصد اراضی) در شرایط فعلی محدودیت زهکشی زیرزمینی دارند. بنابراین برای ۸۸۵ هکتار از مدل SALTMED استفاده شد. مساحت واحد عمرانی شماره ۲ برابر ۳۳۲۴ هکتار بوده که دارای عمدتاً بافت خاک متوسط و سبک است و حدود ۷۰ درصد اراضی با روش آبیاری سطحی با سیستم کم‌فشار و ۳۰ درصد آن با روش آبیاری تحت‌فشار آبیاری می‌شود. بنابراین، برای ۷۰ درصد اراضی (۲۳۲۶ هکتار)، از مدل SALTMED برای شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زهاب استفاده شد زیرا زهاب تولیدی آبیاری تحت‌فشار قابل چشم‌پوشی است. مساحت واحد عمرانی شماره ۵ برابر ۳۶۴۰ هکتار بوده که حدود ۹۲ درصد بافت سطحی خاک آن متوسط تا سنگین است. با توجه به سطح ایستابی کم‌عمق (حدود ۱/۳ متری)، استعداد اراضی به زهدار شدن، شرایط زهکشی طبیعی، محدودیت‌های شوری و قلیائیت، نیاز اراضی به آبشویی، ضرورت طرح زهکشی زیرزمینی در سطح ۱۳۷ هکتار معادل شش درصد از اراضی اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین برای ۱۳۷ هکتار از مدل SALTMED برای شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زهاب استفاده شد. دشت ارایض از هفت واحد عمرانی تشکیل شده است. در این پژوهش از گزارش‌های سه واحد عمرانی دو، سه و چهار استفاده شد. مساحت این واحد عمرانی شماره ۲ و ۳ برابر ۶۲۹۵ هکتار است و بافت خاک لایه سطحی آن عمدتاً متوسط است و کل اراضی زهکشی نیازمند زهکش است. بنابراین برای کل منطقه، از مدل SALTMED برای شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زهاب حاصله استفاده شد. مساحت واحد عمرانی شماره ۴ برابر ۴۷۰۵ هکتار است. لایه‌بندی انجام‌شده بافت خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متری عمدتاً بافت سنگین را

گزارش کرد و با افزایش عمق خاک سنگین‌تر شد. علاوه بر این، بررسی بافت خاک چاهک‌ها نشان می‌دهد که تا عمق ۲۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک، حداقل یک‌لایه سنگین تا خیلی سنگین وجود دارد که در برخی موارد در عمق ۱۸۰ سانتی‌متری یا کمتر است. همچنین در بیش از نیمی از چاهک‌ها در عمق بیش از چهار متر تقریباً بافت خاک به متوسط تا سبک تغییر حالت می‌دهد. بنابراین برای ۷۰ درصد اراضی با آبیاری سطحی، از مدل SALTMED برای شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زهاب حاصله استفاده شد. مساحت دشت باغه حدودا ۶۰۰۰ هکتار است. بررسی اطلاعات نشان می‌دهد که بافت خاک در اکثر نقاط مورد مطالعه به‌ویژه در اعماق استقرار زهکش‌ها از نسبتاً سبک تا خیلی سنگین متغیر بوده و غالباً دارای بافت متوسط سنگین است.از اراضی محدوده طرح، ۳۲۵ هکتار (پنج درصد) دارای بافت سطحی درشت و نفوذپذیری سریع و ۲۵۶۰ هکتار (۳۶ درصد) دارای بافت سطحی خیلی سنگین و نفوذپذیری آهسته و بسیار آهسته بود. بدین ترتیب حدود ۴۰ درصد اراضی دشت باغه دارای محدودیت بافت خاک می‌باشند.

به استناد نیازهای زهکشی اراضی در شرایط حاضر و استعداد اراضی به ماندابی شدن در شرایط آینده با انجام آبیاری، طرح سیستم زهکش مصنوعی در ۴۱۰۰ هکتار ناخالص از اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری دشت باغه پیشنهاد شده است.

وضعیت شوری خاک، آب زیرزمینی و رودخانه

اراضی منطقه مورد مطالعه قبل از بهره‌برداری با مسئله شوری خاک روبرو بود. در جدول (۲) شوری عصاره اشباع خاک غالب در دشت‌های مورد مطالعه آورده شده است. دشت‌هایی که با شوری عصاره اشباع خاک بالای ۱۰ dS/m مواجه هستند، آبشویی خاک در سال اول برای احیای اراضی پیش‌بینی شده است. آبشویی در سه دوره با دور آبیاری سه روز به مقدار ۲۵۰ میلی‌متر در هر بار لحاظ شده است.

به‌طورکلی منابع آلاینده کرخه به دو دسته نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای تقسیم می‌شوند. منابع آلاینده نقطه‌ای، حاصل عملکرد انسان در محیط به دو گروه فاضلاب‌های شهری و صنعتی تقسیم می‌شوند ولی منابع آلاینده غیرنقطه‌ای شامل آن دسته از فعالیت‌های انسان بوده که آلاینده‌های ناشی از آن خروجی مشخصی به منابع آبی نداشته باشد. در اراضی مورد مطالعه که در شمال غربی (اراضی بالادست) رودخانه کرخه قرا دارد، آلاینده‌ها ناشی از فعالیت-های کشاورزی و به صورت غیرنقطه‌ای بوده و در این پژوهش فقط به مسئله شوری پرداخته شد زیرا که بررسی سایر آلاینده‌ها وابسته به مدیریت مصرف کودهای کشاورزی و سموم دفع آفات در زمان بهره‌برداری از طرح‌ها است که می‌تواند موضوع تحقیقات در آینده باشد. در اکثر کشورهای جهان کلیه فعالیت‌های کشاورزی و کاربری اراضی و دامپروری به‌عنوان منابع غیر نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. دبی‌های متوسط ماهانه و هدایت الکتریکی آب رودخانه کرخه در شرایط طبیعی و در حالت احداث سد مخزنی ایستگاه پای پل در جدول (۳) آورده شده است (مهاب قدس، ۱۳۹۲).

جدول ۲- شوری خاک و آب زیرزمینی غالب در دشت‌های مورد مطالعه (در دوره ۹۶-۱۳۹۲)

پارامتر	دشت اوان	دشت دوسالق	دشت ارایض	دشت باغه
شوری عصاره اشباع اولیه خاک (dS/m)	۳/۵	۸/۵	۱۲	۱۲
شوری آب زیرزمینی (dS/m)	۵/۸	۱۷/۲۵	۴	۲۰

جدول ۳- دبی متوسط ماهانه و هدایت الکتریکی آب رودخانه کرخه در ایستگاه پای پل (در دوره ۹۶-۱۳۹۲)

ماه	دبی (مترمکعب بر ثانیه)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
مهر	۵۶/۲۲	۲/۱۶
آبان	۹۰/۸۹	۱/۵۹
آذر	۱۵۲/۲۹	۱/۲۳
دی	۱۶۳/۹۲	۱/۱۹
بهمن	۲۴۰/۵۷	۱/۰۳
اسفند	۳۰۹/۴۳	۰/۹۵
فروردین	۴۶۰/۶۲	۰/۸۶
اردیبهشت	۳۳۵/۸	۰/۹۳
خرداد	۱۳۵/۶	۱/۲۹
تیر	۷۰/۰۳	۱/۸۶
مرداد	۵۴/۹۶	۲/۱۹
شهریور	۴۹/۷۱	۲/۳۴
سالانه	۱۷۶/۷	۱/۱۵

نرم‌افزار CROPWAT 8.0

از این نرم‌افزار برای تعیین نیاز آبی و برنامه آبیاری گیاهان در فصل رشد استفاده شد. داده‌های موردنیاز این مدل شامل مکان، ارتفاع از سطح دریا، طول و عرض جغرافیایی و آمار هواشناسی ماهانه و همچنین متوسط حداقل دما، متوسط حداکثر دما، متوسط رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد و متوسط ساعات آفتابی در روز بود. سپس متوسط انرژی بازتاب شده از سطح زمین و تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه می‌شود. داده‌های بارش نیز به‌صورت ماهانه حسب میلی‌متر وارد شد و با انتخاب روش محاسبه باران مؤثر، مقدار باران مؤثر به دست می‌آید. روش‌های محاسبه باران مؤثر شامل درصد ثابتی از کل بارش، روش تجربی، روش FAO، روش USDA و صفر در نظر گرفتن باران مؤثر است. در این پژوهش از روش ۸۰ درصد از کل بارش استفاده شد. بخش گیاه (نام گیاه، تاریخ کاشت و برداشت، ضرایب گیاهی و طول دوره رشد اولیه، توسعه، متوسط فصل و تأخیر) و نوع خاک (بافت خاک، کل آب قابل‌دسترس، حداکثر سرعت نفوذ باران در خاک و غیره) نیز از ورودی‌های مدل بود. سپس با اجرای مدل، برنامه آبیاری گیاه محاسبه شد. در جدول برنامه آبیاری، روز آبیاری، عمق خالص و ناخالص آبیاری، نفوذ عمقی، کمبود آبیاری، تلفات و هیدرومدول آبیاری نمایش داده شد. برنامه آبیاری تمام گیاهان الگوی کشت دشت‌ها با این روش محاسبه شد.

مدل SALTMED

ورودی و خروجی‌های مدل

ورودی‌های مدل SALTMED به چند دسته اصلی و فرعی تقسیم‌بندی می‌شوند. اطلاعات خاک شامل لایه‌بندی، عمق، شوری اولیه، رطوبت اولیه، هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت ظرفیت زراعی و باقیمانده، اطلاعات گیاه شامل حداکثر و حداقل عمق ریشه، ضرایب گیاهی، حداکثر ارتفاع گیاه، تاریخ روزهای کاشت، جوانه‌زنی و برداشت، مدت مراحل رشد گیاهی، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت، اطلاعات اقلیمی شامل داده‌های حداکثر و حداقل دمای روزانه، سرعت باد، ساعات آفتابی، بارش و رطوبت نسبی می‌باشند. در صورت نبود اطلاعات دقیق، پایگاه داده‌های مدل با بیش از ۲۰۰ نوع گیاه و ۴۰ نوع خاک مختلف، موارد پیش‌فرض را ارائه می‌دهد. در پنجره پارامترهای مزرعه‌ای، بخش‌هایی مربوط به اطلاعات اقلیمی، تبخیر و تعرق، آبیاری، رشد محصول، تناوب کشت، نیتروژن، نیمرخ و اطلاعات خاک و زهکشی آمده است. در اطلاعات اقلیمی داده‌های حداکثر و حداقل دمای روزانه، سرعت باد، ساعات آفتابی، بارش و رطوبت نسبی به مدل داده شد. تبخیر و تعرق

از روش‌های پنمن مانتیث و پنمن مانتیث اصلاح‌شده به دست می‌آید. در صورت نداشتن داده‌های هواشناسی (مانند دما، تابش و سرعت باد) و در صورت داشتن داده‌های تبخیر از تشت نوع A، مدل SALTMED می‌تواند از این داده‌ها برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق مرجع با توجه به روش فائو ۵۶ استفاده کند. همچنین در اطلاعات ورودی برای آبیاری باید دبی، زمان و شوری آب (در صورت شور بودن) آبیاری به دقت وارد شود (ریاحی فارسانی و قبادی نیا، ۱۳۹۵). خروجی‌های مدل SALTMED عبارت‌اند از: مقادیر توزیع شوری و رطوبت در نیمرخ خاک، غلظت نسبی، کسر آبشویی، عملکرد نسبی محصول، نیاز آبی روزانه، تبخیر و تعرق، پتانسیل مکش، نیمرخ مکش، پارامترهای رشد گیاه، بیلان آب، ماده خشک تولیدی، مقادیر نیتروژن، آمونیوم و اوره، نیمرخ نیتروژن، آمونیوم و اوره، جذب آب توسط گیاه، بیلان نیتروژن و سطح آب زیرزمینی. در این پژوهش، از بخش پیش‌بینی شوری مدل استفاده شد.

تبخیر و تعرق

تبخیر و تعرق با استفاده از معادله‌ی پنمن مانتیث اصلاح‌شده‌ی فائو ۵۶ به شرح زیر محاسبه می‌شود (Allen et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۱)$$

که در آن، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن (mm day^{-1})، R_n تشعشع خالص (MJ m^2 day^{-1})، G شدت جریان گرمایی خاک (MJ m^2 day^{-1})، T میانگین درجه حرارت هوا (°C)، U_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری (m s^{-1})، e_s-e_a کمبود فشار بخار اشباع (Kpa)، Δ شیب تغییرات فشار بخار با درجه حرارت (Kpa °C^{-1})، γ عدد ثابت سایکرومتری (C^{-1} Kpa°^{1})؛ و ۹۰۰، ۰/۳۴ ضرایب ثابتی هستند که با ثابت فرض کردن ارتفاع گیاه، مقاومت آسمانه و شاخص سطح برگ تعیین‌شده‌اند. ارتفاع گیاه فرضی مرجع ۰/۱۲ متر، مقاومت سطحی ثابت برابر ۷۰s m^{-1} و آلبدو، ضریب بازتاب ذرات برابر ۰/۲۳ در نظر گرفته‌شده است. عوامل به‌کار رفته در رابطه (۱) شامل داده‌های هواشناسی معمول یعنی درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا برای ماه‌های مختلف سال هستند که به‌عنوان اطلاعات ورودی برای نرم‌افزار SALTMED می‌باشد.

در صورت نداشتن داده‌های هواشناسی (دما، تابش، سرعت باد و غیره) و در دسترس بودن داده‌های تشت تبخیر کلاس A، این مدل قادر به محاسبه مطابق با روش فائو ۵۶ است. در این شرایط، تبخیر و تعرق گیاه به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ET_c = ET_0(K_{cb} + K_e) \quad (۲)$$

که در آن، K_{cb} ضریب تعرق گیاهی (ضریب گیاهی پایه) و K_e ضریب تبخیر خاک است. مقادیر K_{cb} و K_c برای هر مرحله‌ی رشد محصولات مختلف در پایگاه داده‌های مدل موجود است. K_e با توجه به نشریه‌ی فائو ۵۶ محاسبه می‌شود (Allen et al., 1998). هم‌چنین K_c نیز با توجه به نشریه‌ی فائو ۵۶ برای سرعت باد متفاوت (بر مبنای دو متر بر ثانیه) و رطوبت نسبی متفاوت (بر مبنای ۴۵ درصد) تعدیل می‌شود. مدل SALTMED به صورت روزانه کار می‌کند و از K_e و K_{cb} برای ضریب گیاهی استفاده می‌کند. این داده‌ها با توجه به شرایط آب و هوایی و سایر پارامترها متفاوت هستند.

جذب آب توسط گیاه در حضور آب شور

مدل SALTMED نرخ واقعی جذب آب را بر اساس رابطه‌ای که توسط Cardon & Letey (1992) مطابق زیر پیشنهاد شده است، محاسبه می‌کند:

$$S(z,t) = \left[\frac{S_{max\,(t)}}{1 + \left(\frac{a(t)h + \pi}{\pi_{50}(t)}\right)^3}\right] \lambda(z,t) \quad (۳)$$

$$\lambda(z) = \begin{cases} \frac{5}{3}L & z \le 0.2\,L \\ \frac{25}{12}L * \left(1 - \frac{z}{L}\right) & 0.2L < z \le L \\ 0 & Z > L \end{cases} \quad (۴)$$

که در آن، S، جذب آب (mm day^{-1})، S_{max} (t) حداکثر پتانسیل جذب آب توسط ریشه در زمان t، z عمق که رو به پایین مثبت در نظر گرفته می‌شود، $\lambda(z)$ کسر وابسته به زمان

و عمق جرم کل ریشه، **L** حداکثر عمق ریشه، h ارتفاع فشار ماتریک، π ارتفاع فشار اسمزی، $\pi_{50}(t)$ فشار اسمزی وابسته به زمان که در آن $S_{max}(t)$ به اندازه ۵۰٪ کاهش‌یافته است، $a(t)$ ضریب وزنی که برای پاسخ دیفرانسیلی یک محصول به فشار محلول و ماتریک محاسبه می‌شود. ضریب $a(t)$، برابر $\pi_{50}(t)/h_{50}(t)$ است که $h_{50}(t)$ مکشی از خاک است که در آن مقدار جذب به اندازه ۵۰٪ حداکثر جذب کاهش می‌یابد که به نوع خاک، گیاه، شرایط آب و هوایی و مدیریت آبیاری بستگی دارد. مقدار h_{50} و π_{50} از آزمایش‌ها یا نشریه FAO 48 به دست می‌آید. حداکثر جذب آب ($S_{max}(t)$) نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{max}(t) = ET_0(t) \times K_{cb}(t) \qquad (۵)$$

بررسی شوری کرخه پس از تخلیه زهاب دشت‌ها

از خروجی بخش بیلان آب مدل، حجم و شوری زهاب دشت‌ها به صورت روزانه استخراج شده و سپس به پیش‌بینی کیفیت آب کرخه پس از تخلیه زهاب دشت‌های اوان، دوسالق، ارایض و باغه پرداخته شد. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، ابتدا زهاب دشت اوان وارد رودخانه کرخه می‌شود، پس از آن زهاب دشت دوسالق واحد عمرانی یک، دو، پنج و دشت ارایض واحد عمرانی دو، سه، چهار و دشت باغه به ترتیب وارد رودخانه کرخه می‌شوند. حجم و غلظت زهاب تولیدی از هر پروژه توسط مدل SALTMED برآورد شد که در نهایت با دبی و شوری رودخانه کرخه اختلاط می‌شود. از رابطه زیر برای پیش‌بینی غلظت نهایی رودخانه (C_{mix}) پس از اختلاط با زهاب دشت‌ها استفاده شده است:

$$\sum_{i=1}^{n}(Q_i \times C_i \times A_i) + (Q_{river} \times C_{river}) = \sum_{i=1}^{n}(Q_i \times A_i + Q_{river}) \times C_{mix} \qquad (۶)$$

که در آن Q_i دبی زهاب خروجی هر دشت ($m^3/month$)، C_i شوری زهاب هر دشت (dS/m)، A_i مساحت هر دشت (m^2)، C_{river} و Q_{river} شوری و دبی رودخانه کرخه است. در این رابطه فرض شده است که اختلاط به صورت کامل و آنی در رودخانه صورت می‌گیرد. (کارآموز و کراچیان، ۱۳۹۷). همچنین مدل SALTMED دارای سه گزینه زهکشی آزاد، سیستم زهکشی زیرزمینی یا سیستم تنبوشه و بدون سیستم زهکشی با آب زیرزمینی کم‌عمق است.

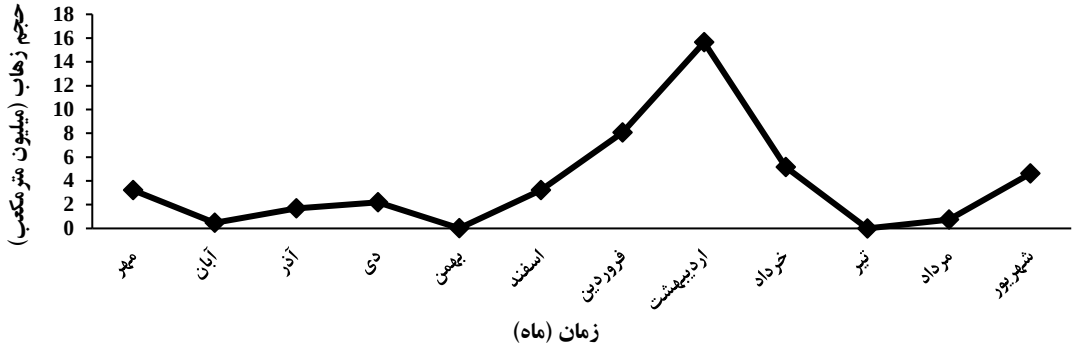
گردآوری اطلاعات، شامل داده‌ها و اطلاعات موردنیاز مدل بود که از شرکت‌های مهندسی مشاور مهاب قدس، آب و خاک تهران و سازمان هواشناسی کل کشور جمع‌آوری شد. داده‌های هواشناسی خود شامل مقادیر باران روزانه، عرض جغرافیایی، نمایه‌ی حرارتی، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل بود. همچنین از داده‌های هواشناسی مربوط به دوره آماری موردنظر سال‌های (۹۶-۱۳۹۲) در مدل استفاده شده است. با توجه به الگوی زراعی مناطق، درصد کشت، شرایط آب و هوایی و خصوصیات خاک با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 نیاز آبیاری هر کشت تعیین و با مدل SALTMED 2013 میزان زهاب و شوری آن در دشت‌های مذکور پیش‌بینی شد.

نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی شوری و حجم زهاب دشت اوان

یکی از نتایج خروجی مدل SALTMED، مقادیر مؤلفه‌های بیلان آب است. این مدل با توجه به مقادیر روزانه بارندگی، آبیاری، تبخیر، تعرق، زهاب، رواناب، رطوبت اولیه و نهایی، مقادیر بیلان را به صورت روزانه محاسبه می‌کند. داده‌های خروجی روزانه مدل تبدیل به داده‌های ماهانه شده‌اند. نتایج بیلان آب شبکه آبیاری و زهکشی دشت اوان به صورت سهم مؤلفه‌های بیلان آب حسب درصد برای سال ۱۳۹۳ محاسبه شد. در بیلان آب دشت اوان، ۳۵/۵۴ درصد سهم تعرق، ۲۹/۴۳ درصد سهم تبخیر، ۲۷/۶۶ درصد سهم زهاب، ۶/۸ درصد سهم رواناب و ۰/۵۷ درصد سهم ذخیره رطوبت در خاک بود. ۶۴/۹۷ درصد مجموع سهم تبخیر و تعرق که در واقع بازده است و ۳۵/۰۳ درصد سهم تلفات این دشت است که شامل رواناب و نفوذ عمقی می‌باشد. سهم مؤلفه‌های بیلان از حجم سالانه هر مؤلفه به حجم آبیاری و بارندگی آن سال (۱۳۹۳) حاصل شده است. در این سال حدود ۴۵ میلیون مترمکعب زهاب از ۱۱ هزار هکتار دشت اوان وارد رودخانه

کرخه می‌شود. در شکل (۲) حجم زهاب تولیدی دشت اوان حسب میلیون مترمکعب در ماه‌های مختلف سال آبی ۱۳۹۳ از بیلان آب آورده شده است. با توجه به تراکم الگوی کشت و بیلان آب در این منطقه، معمولاً ماه فروردین یا اردیبهشت بیشترین میزان آبیاری صورت می‌گیرد. به همین دلیل حجم زهاب نیز در این ماه‌ها ماکزیمم است. در ماه‌های مرداد تا بهمن به دلیل کاهش تراکم کشت در تابستان و کاهش مصرف آب در زمستان، میزان آبیاری کمتر است؛ در نتیجه میزان زهاب تولیدی نیز کمتر است.



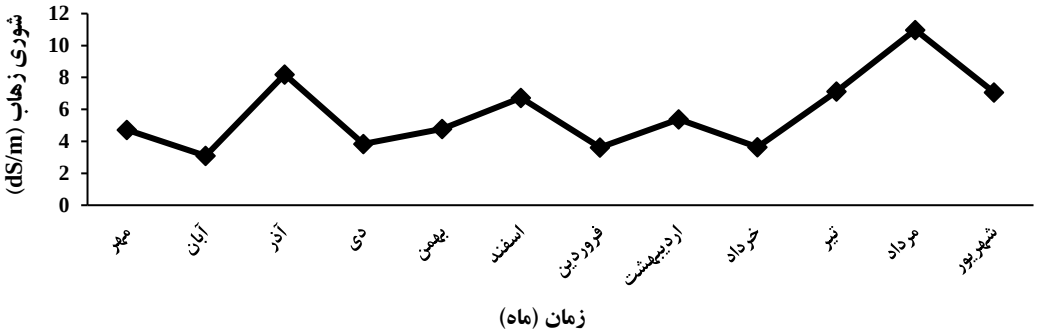
شکل ۲- حجم زهاب تولیدی دشت اوان در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳

بیلان نمک خاک در ماه‌های مختلف سال شامل نمک اولیه، نمک نهایی، نمک ورودی و نمک زهاب است. در جدول (۴) بیلان نمک شبکه آبیاری و زهکشی دشت اوان حسب تن ارائه شده است. با توجه به جدول (۴)، ملاحظه می‌شود که سالانه حدود ۱۵۰ هزار تن نمک از طریق زهاب تولیدشده دشت اوان، وارد رودخانه کرخه می‌شود. اگر این روند ده سال ادامه داشته باشد، طی این مدت حدود ۱/۵ میلیون تن نمک وارد رودخانه خواهد شد. از آنجایی که تخلیه گاه رودخانه کرخه تالاب هورالعظیم است، این حجم وسیع از نمک وارد تالاب هورالعظیم خواهد شد و به مرور زمان با تبخیر آب، این تالاب تبدیل به حوضچه تبخیر شده و این حجم از نمک باقی خواهد ماند و باعث افزایش شوری بیشتر تالاب خواهد شد.

جدول ۴- بیلان نمک شبیه‌سازی‌شده با مدل SALTMED در دشت اوان در سال ۱۳۹۳

زمان (ماه)	نمک اولیه (ton)	نمک نهایی (ton)	نمک ورودی (ton)	نمک زهاب (ton)
مهر	۷۷۴۸۱/۶۸	۷۵۷۹۴/۷۲	۷۴۱۸/۹۵	۹۶۹۵/۸۵
آبان	۷۵۷۹۴/۷۲	۷۴۰۵۴/۴۷	۱۷۶۹/۳۴	۹۰۹/۴۵
آذر	۷۴۰۵۴/۴۷	۷۳۶۶۴/۱۹	۳۴۵۸/۲۷	۸۸۶۳/۸۲
دی	۷۳۶۶۴/۱۹	۷۸۸۴۲/۳۳	۳۶۹۹/۵۴	۵۴۱۶/۷۳
بهمن	۷۸۸۴۲/۳۳	۷۸۲۲۷/۵۰	۵۲۴۶/۲۰	۶۸/۰۶
اسفند	۷۸۲۲۷/۵۰	۹۳۱۱۷/۶۹	۱۳۱۹۵/۲۴	۱۳۸۱۱/۴۲
فروردین	۹۳۱۱۷/۶۹	۷۳۰۸۱/۲۳	۳۳۵۲۳/۶۲	۱۸۶۳۶/۱۵
اردیبهشت	۷۳۰۸۱/۲۳	۷۳۰۷۶/۹۷	۳۳۷۰۹/۸۷	۵۳۹۸۱/۸۷
خرداد	۷۳۰۷۶/۹۷	۷۶۹۹۰/۸۱	۱۲۲۴۴/۱۹	۱۲۰۲۰/۶۲
تیر	۷۶۹۹۰/۸۱	۸۳۹۳۷/۷۹	۳۹۱۳/۸۳	۰
مرداد	۸۳۹۳۷/۷۹	۷۸۶۷۵/۱۹	۱۱۸۲۸/۳۹	۵۱۱۸/۸
شهریور	۷۸۶۷۵/۱۹	۷۴۲۹۶/۹۵	۱۶۷۶۳/۷۲	۲۰۸۶۳/۱۹
سالانه	۹۳۶۹۴۴/۶۲	۹۳۳۷۵۹/۸۹	۱۴۶۷۷۱/۲	۱۴۹۳۸۵/۹

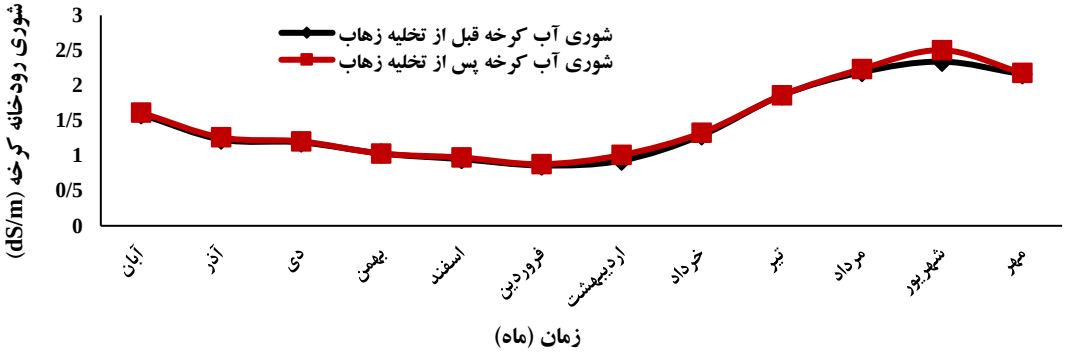
حداکثر زهاب تولیدی این دشت مربوط به ماه اردیبهشت است که حدود ۵۴ هزار تن نمک با آن حمل می‌شود. این حجم از زهاب در واقع بیش از ۳۰ درصد نمک ورودی را تشکیل می‌دهد. در شکل (۳) شوری زهاب در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳ پس از یک سال بهره‌برداری با شرایط فعلی با احتساب الگوی کشت مشخص، نشان داده شده است.



شکل ۳- شوری زهاب دشت اوان در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳

با توجه به شکل (۳) و جدول (۴) پیش‌بینی می‌شود در مرداد ماه بیشترین شوری زهاب (حدود ۱۱ دسی زیمنس بر متر) و کمترین حجم زهاب تولیدی حاصل گردد. بر عکس در ماه اردیبهشت که بیشترین آبیاری انجام می‌شود، تولید زهاب بیشتر ولی با شوری کمتر (حدود ۵/۴ دسی زیمنس بر متر) خواهد بود. با توجه به این‌که شاخص شوری از نسبت میزان نمک به حجم زهاب به دست می‌آید. رابطه عکس بین حجم زهاب و شوری منطقی به نظر می‌رسد.

میزان شوری زهاب که مرز بین دفع و استفاده مجدد را مشخص می‌کند، به حداقل شوری قابل‌استفاده در مصارف بازگردانی تعریف‌شده، بستگی دارد. چنانچه بازگردانی زهاب با هدف کشت گیاهان زراعی مقاوم به شوری باشد، شوری قابل‌پذیرش در حدود ۸ دسی زیمنس بر متر خواهد بود که برای کشت گیاهانی چون جو، چغندرقند، کلزا و پنبه مناسب است (Soothar et al., 2019). بنابراین پیشنهاد می‌شود در تمام ماه‌ها (به‌استثنای مردادماه) که شوری زیر ۸ دسی‌زیمنس بر متر است، زهاب مستقیماً وارد رودخانه نشود بلکه مورد استفاده مجدد برای گیاهان مقاوم به شوری قرار گیرد. مدیریت استفاده مجدد از زهاب در محل سبب می‌شود تا مسائل زیست‌محیطی و تغییر کیفیت آب رودخانه برای مصارف پایین‌دست به وجود نیاید. در این تحقیق به دلیل اینکه راهکارهای مدیریت استفاده مجدد از زهاب در ایران هنوز نظام‌مند و عملیاتی نشده است، تخلیه زهاب‌ها به رودخانه کرخه مورد مطالعه و بررسی شده است. شوری متوسط سالانه زهاب حاصل از دشت اوان ۵/۷ دسی زیمنس بر متر است که در صورت تخلیه به رودخانه کرخه، تغییرات کیفیت آب رودخانه در پایین‌دست را سبب خواهد شد. در شکل (۴) تأثیر ورود زهاب تولیدشده دشت اوان به رودخانه کرخه بر کیفیت آب در پایین‌دست ارائه شده است.



شکل ۴- تغییر شوری رودخانه کرخه با ورود زهاب تولیدشده دشت اوان

دبی متوسط سالانه عبوری از رودخانه کرخه ۱۷۶/۷ مترمکعب بر ثانیه است. در مقابل دبی ورودی زهاب به رودخانه به طور متوسط ۱/۴۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. بیشترین میزان افزایش در شوری (EC) رودخانه در ماه شهریور بوده که دبی رودخانه کرخه به کمترین مقدار خود، ۴۹/۷ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد. تأثیر افزایش شوری رودخانه در این ماه کمتر از ۱۰ درصد کیفیت اولیه رودخانه است. بنابراین تخلیه زهاب تولیدشده دشت اوان به رودخانه کرخه، طبق استانداردهای کیفیت پساب برای تخلیه به رودخانه‌ها، مجاز است (نوذری، ۱۳۸۸).

نتایج شبیه‌سازی شوری و حجم زهاب دشت دوسالق

نتایج بیلان آب خروجی شبکه آبیاری و زهکشی دشت دوسالق به صورت سهم مؤلفه‌های بیلان آب حسب درصد در سال ۱۳۹۳ محاسبه شد. در بیلان آب دشت دوسالق اجزای خروجی بیلان آب شامل ۴۰/۴۵ درصد سهم تعرق، ۳۴/۸۱ درصد سهم زهاب، ۲۱/۷۴ درصد سهم تبخیر، ۲/۴ درصد سهم رواناب و ۰/۶ درصد سهم ذخیره رطوبت در خاک بود. ۶۲/۱۹ درصد مجموع سهم تبخیر و تعرق که در واقع بازده بوده و ۳۷/۸۱ درصد سهم تلفات این دشت است. سهم مؤلفه‌های بیلان از حجم سالانه هر مؤلفه به حجم آبیاری و بارندگی آن سال (۱۳۹۳) حاصل شده است. در این سال حدود ۴۲ میلیون مترمکعب زهاب از ۸ هزار هکتار واحدهای عمرانی مختلف دشت دوسالق وارد رودخانه کرخه می‌شود. در شکل (۵) حجم زهاب تولیدی دشت حسب میلیون مترمکعب در ماه‌های مختلف یک سال از بیلان آب آورده شده است. با توجه به تراکم الگوی کشت ۱۳۰ درصد و بیلان آب در این منطقه، ماه اردیبهشت بیشترین میزان آبیاری صورت می‌گیرد و لذا حجم زهاب تولیدی نیز در این ماه ماکزیمم است. در ماه‌های تیر تا بهمن به دلیل کاهش تراکم کشت در تابستان و کاهش آب در زمستان، میزان آبیاری کمتر بوده و در نتیجه میزان زهاب تولیدی نیز حداقل و حتی نزدیک به صفر است.

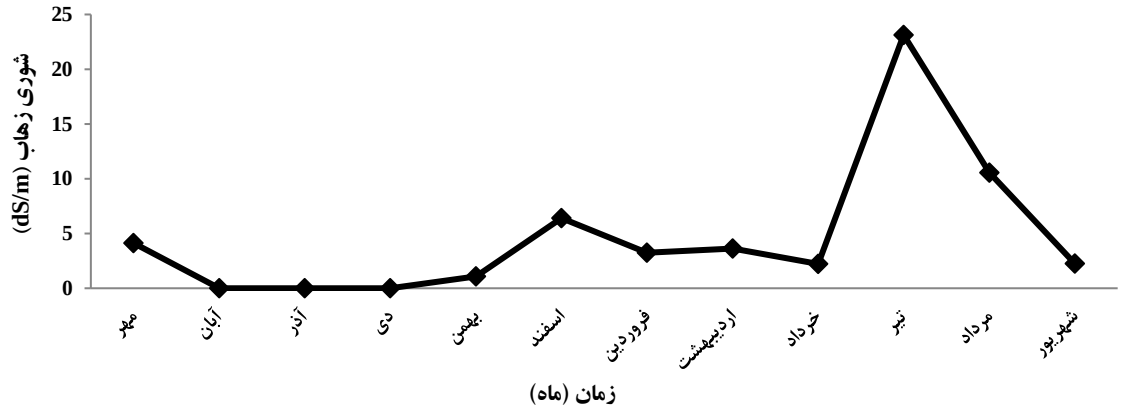
شکل ۵- حجم زهاب تولیدی دشت دوسالق در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳

بیلان نمک خاک دشت دوسالق در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳ شامل نمک اولیه، نمک نهایی، نمک ورودی از طریق آب آبیاری با شوری ۱/۶ دسی زیمنس بر متر و نمک زهاب است. در جدول (۵) بیلان نمک شبکه آبیاری و زهکشی دشت دوسالق بر حسب تن ارائه شده است. منفی بودن بیلان نشان‌دهنده خروج بیشتر نمک نسبت به ورودی آن است، در واقع نمک بیشتری شسته شده است و از طریق زهکش‌ها خارج شده است.

جدول ۵- بیلان نمک شبیه‌سازی‌شده با مدل SALTMED در دشت دوسالق در سال ۱۳۹۳

زمان (ماه)	نمک اولیه (ton)	نمک نهایی (ton)	نمک ورودی (ton)	نمک زهاب (ton)
مهر	۱۱۴۸۴۰/۶۵	۱۱۴۸۳۳/۸۲	۱۶۹۷	۲۹۲۵
آبان	۱۱۴۸۳۳/۸۲	۱۱۴۸۳۳/۸۲	۰	۰
آذر	۱۱۴۸۳۳/۸۲	۱۱۴۸۳۳/۸۲	۰	۰
دی	۱۱۴۸۳۳/۸۲	۱۱۸۴۸۴/۷۶	۰	۰
بهمن	۱۱۸۴۸۴/۷۶	۱۰۸۹۴۱/۴۶	۳۶۸۰	۲۹
اسفند	۱۰۸۹۴۱/۴۶	۸۴۷۴۶/۰۲	۱۰۶۶۰	۱۳۷۷۵
فروردین	۸۴۷۴۶/۰۲	۸۲۷۵۵/۳۲	۲۲۴۸۹	۱۹۹۷۱
اردیبهشت	۸۲۷۵۵/۳۲	۹۳۱۰۹/۹۲	۲۰۹۴۱	۳۴۶۲۸
خرداد	۹۳۱۰۹/۹۲	۹۳۹۷۳/۵۹	۹۸۵۱	۷۳۰۴
تیر	۹۳۹۷۳/۵۹	۱۰۱۹۲۳/۱۷	۲۶۱۰	۵۹
مرداد	۱۰۱۹۲۳/۱۷	۹۸۷۵۰/۹۰	۳۸۵۰	۵۵۹۳
شهریور	۹۸۷۵۰/۹۰	۹۷۷۹۸/۶۵	۱۱۶۶	۲۷۲۵
سالانه	۱۲۴۲۰۲۷/۲۹	۱۲۲۴۹۸۵/۲۹	۷۶۹۴۹	۸۷۰۱۳

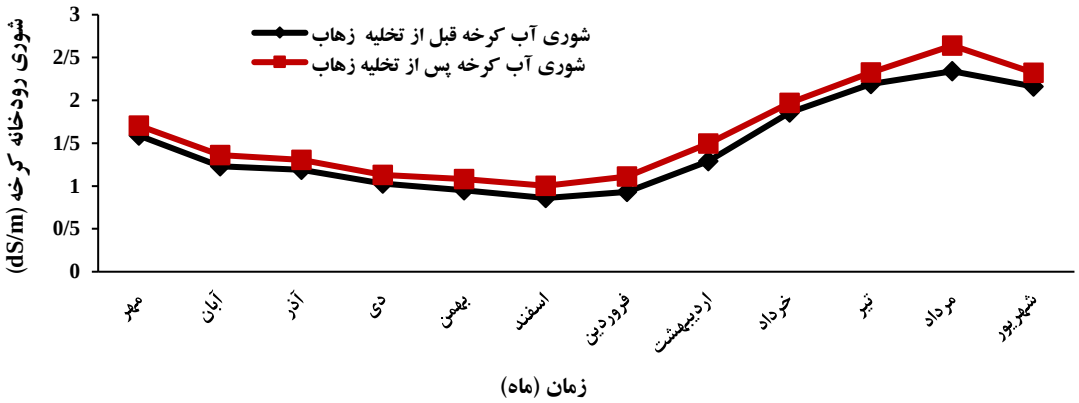
با توجه به جدول فوق ملاحظه می‌شود که سالانه حدود ۸۷ هزار تن نمک از طریق زهاب تولیدشده دشت دوسالق، وارد رودخانه کرخه می‌شود. اگر این روند ده سال ادامه داشته باشد، مقادیر قابل‌توجهی از نمک وارد کرخه شده و کیفیت آب آن را تغییر خواهد داد. با توجه به نتایج، سالانه حدود ۲۳۷ هزار تن نمک از زهاب دشت اوان و دوسالق وارد رودخانه خواهد شد. باقی‌ماندن این حجم نمک در رودخانه و تخلیه‌گاه آن یعنی تالاب هورالعظیم، خطرات زیست‌محیطی بسیاری برای موجودات، آبزیان، انسان‌ها و زیست‌بوم منطقه خواهد داشت. حداکثر زهاب تولیدی دشت دوسالق که در ماه اردیبهشت است، حدود ۳۵ هزار تن نمک با آن حمل می‌شود. این حجم از زهاب در واقع بیش از ۳۹ درصد نمک ورودی را تشکیل می‌دهد. با این حال بایستی با در نظر گرفتن ملاک شوری زهاب ماهیانه در مورد مدیریت زهاب تصمیم‌گیری نمود. در شکل (۶) شوری زهاب در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳ پس از یک سال بهره‌برداری از تمام الگوی کشت، آورده شده است.



شکل ۶- شوری زهاب دشت دوسالق در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳

با توجه به شکل (۶) و جدول (۵) پیش‌بینی می‌شود در ماه تیر بیشترین شوری زهاب (حدود ۲۳ دسی زیمنس بر متر) و کمترین زهاب تولیدی حاصل گردد. برعکس در ماه اردیبهشت با آبیاری بیشتر، تولید زهاب بیشتر ولی با شوری کمتر (حدود ۴ دسی زیمنس بر متر) خواهد بود. با توجه به این‌که شاخص شوری از نسبت میزان نمک به حجم زهاب به دست می‌آید، رابطه عکس بین حجم زهاب و شوری منطقی وجود دارد. از آنجایی که در ماه‌های آبان، آذر و دی، دشت دوسالق بدون آبیاری است، بنابراین شوری آن‌ها صفر نشان داده شده است. با توجه به شوری قابل‌پذیرش برای بازگردانی (با هدف کشت گیاهان زراعی مقاوم به شوری) در حدود ۸ دسی زیمنس بر متر است، پیشنهاد می‌شود در تمام ماه‌ها (به‌جز تیرماه) که شوری زیر ۸ دسی زیمنس بر متر است، زهاب مستقیماً وارد رودخـــــانه نشود بلکه مورد استفاده مجدد برای گیاهان مقاوم به شوری گردد.

مدیریـت استفاده مجدد از زهاب سبب می‌شود تا مسائل زیست‌محیطی و تغییر کیفیت آب رودخانه برای مصارف پایین‌دست به وجود نیاید. شوری متوسط سالانه زهاب حاصل از دشت دوسالق ۴/۷۲ دسی زیمنس بر متر است که در صورت تخلیه به رودخانه کرخه، تغییرات کیفیت آب رودخانه در پایین‌دست را سبب خواهد شد. در شکل (۷) تأثیر ورود زهاب تولیدشده دشت دوسالق به رودخانه کرخه بر کیفیت آب در پایین‌دست ارائه شده است.



شکل ۷- تغییر شوری رودخانه کرخه با ورود زهاب تولیدشده دشت دوسالق

دبی متوسط سالانه عبوری از رودخانه کرخه ۱۷۶/۷ مترمکعب بر ثانیه بوده و دبی ورودی زهاب به رودخانه ۱/۳۵ مترمکعب بر ثانیه است. بیشترین میزان افزایش در شوری (EC) رودخانه در ماه شهریور است که دبی رودخانه به کمترین مقدار خود، ۴۹/۷ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد. تأثیر افزایش شوری رودخانه حدود ۱۰ درصد کیفیت اولیه رودخانه است که طبق استاندارد بهداشت ایران، تخلیه همزمان زهاب دشت‌های اوان و دوسالق رودخانه کرخه مجاز نیست.

نتایج شبیه‌سازی شوری و حجم زهاب دشت ارایض

نتایج بیلان آب خروجی شبکه آبیاری و زهکشی دشت ارایض به صورت سهـــم مؤلفه‌های بیلان آب در سال آماری ۱۳۹۳ محاسبه شد. در بیلان آب دشت ارایض، ۳۷/۴۶ درصد سهم تعرق، ۳۷/۵۵ درصد سهم زهاب، ۲۲/۶۸ درصد سهم تبخیر، ۱/۶۷ درصد سهم رواناب و ۰/۶۴ درصد سهم ذخیره رطوبت در خاک بود. از مجموع ۶۰/۱۴ درصد سهم مجموع

تبخیر و تعرق که در واقع بازده است، ۳۹/۸۶ درصد سهم تلفات این دشت بود. با این احتساب، در سال ۱۳۹۳ حدود ۴۷ میلیون مترمکعب زهاب از ۱۱ هزار هکتار واحدهای عمرانی دشت ارایض، وارد رودخانه کرخه می‌شود. در شکل (۸) حجم زهاب تولیدی دشت حسب میلیون مترمکعب در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳ از بیلان آب آورده شده است.

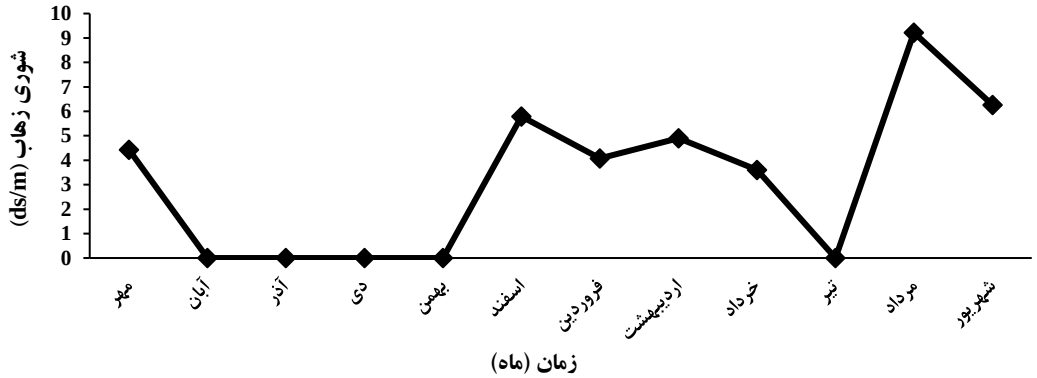
شکل ۸- حجم زهاب تولیدی دشت ارایض در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳

با توجه به تراکم الگوی کشت ۱۲۵ درصدی و بیلان آب در این دشت، اردیبهشت‌ماه بیشترین میزان آبیاری صورت می‌گیرد و حجم زهاب در این ماه حداکثر است. ضمن اینکه حجم زهاب در این ماه حدود ۱۸ میلیون مترمکعب می‌باشد. در ماه‌های تیر تا بهمن به دلیل کاهش تراکم کشت در تابستان و کاهش مصرف آب در زمستان، میزان آبیاری کمتر بود و در نتیجه میزان زهاب تولیدی نیز کمتر است. در جدول (۶) بیلان نمک شبکه آبیاری و زهکشی دشت ارایض حسب تن ارائه شده است. بیلان سالانه، منفی است نشان‌دهنده خروج بیشتر بار نمک است، در واقع نمک بیشتری شسته شده است و از طریق زهکش‌ها خارج گردیده است.

جدول ۶- بیلان نمک شبیه‌سازی‌شده با مدل SALTMED در دشت ارایض در سال ۱۳۹۳

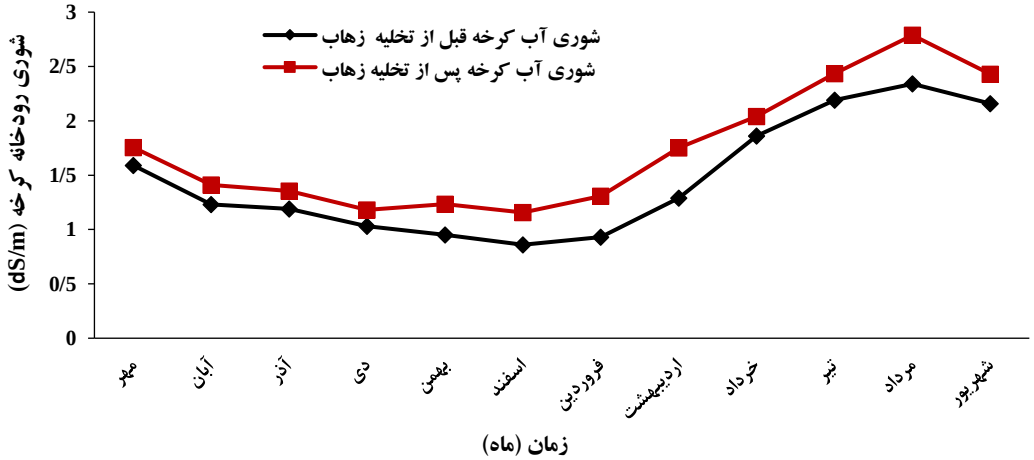
زمان (ماه)	نمک اولیه (ton)	نمک نهایی (ton)	نمک ورودی (ton)	نمک زهاب (ton)
مهر	۴۷۶۰۴۰/۳۹	۴۷۶۰۰۸/۸۱	۱۷۱۱/۲۲۶۸۸	۳۶۰۶/۳۱
آبان	۴۷۶۰۰۸/۸۱	۴۷۶۰۰۸/۸۱	۰	۰
آذر	۴۷۶۰۰۸/۸۱	۴۷۶۰۰۸/۸۱	۰	۰
دی	۴۷۶۰۰۸/۸۱	۴۸۳۳۰۷/۸۸	۰	۰
بهمن	۴۸۳۳۰۷/۸۸	۴۹۴۰۹۷/۲۹	۷۳۰۰	۰
اسفند	۴۹۴۰۹۷/۲۹	۴۹۷۳۱۸/۳۸	۲۰۲۰۶/۱۷	۲۲۵۲۰/۳۳
فروردین	۴۹۷۳۱۸/۳۸	۴۸۱۳۱۵/۱۵	۴۲۳۶۲/۱۰	۳۵۱۱۸/۱۰
اردیبهشت	۴۸۱۳۱۵/۱۵	۴۷۶۰۶۲/۲۳	۳۷۵۷۹/۰۴	۵۶۱۸۷/۰۷
خرداد	۴۷۶۰۶۲/۲۳	۴۷۸۶۸۰/۵۳	۱۵۸۶۱/۹۶	۱۴۵۹۸/۵۱
تیر	۴۷۸۶۸۰/۵۳	۴۸۲۵۰۸/۴۸	۱۲۶۶/۶۱	۰
مرداد	۴۸۲۵۰۸/۴۸	۴۸۰۱۴۸/۲۴	۵۱۷۹/۶۳	۱۲۷۹/۶۸
شهریور	۴۸۰۱۴۸/۲۴	۴۷۷۸۱۴/۱۶	۴۴۱۰/۰۸	۷۱۰۵/۶۳
سالانه	۵۷۷۷۵۰۵/۰۵	۵۷۷۹۲۷۸/۸۲	۱۳۵۸۷۵/۹۲	۱۴۰۴۱۵/۶۷

با توجه به جدول (۶) مشاهده می‌شود که سالانه حدود ۱۴۰ هزار تن نمک از طریق زهاب تولیدشده دشت ارایض وارد رودخانه کرخه می‌شود. اگر این روند ده سال ادامه داشته باشد، حدود ۱/۴ میلیون تن نمک از زهاب دشت اوان و دوسالق وارد رودخانه خواهد شد که تبعات زیست‌محیطی فراوانی برای راضی پایین‌دست رودخانه و تخلیه گاه رودخانه یعنی تالاب‌ها خواهد داشت. حداکثر زهاب تولیدی این دشت مربوط به ماه اردیبهشت است، حدود ۵۶ هزار تن نمک با آن حمل می‌شود. این حجم از زهاب در واقع بیش از ۴۰ درصد نمک ورودی را تشکیل می‌دهد. با این حال بایستی با در نظر گرفتن ملاک شوری زهاب ماهیانه در مورد مدیریت زهاب تصمیم‌گیری نمود. در شکل (۹) شوری زهاب در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳ پس از یک سال بهره‌برداری همه الگوی کشت، آورده شده است. پیش‌بینی می‌شود در ماه مرداد بیشترین شوری زهاب حدود ۹/۵ دسی زیمنس بر متر و کمترین زهاب تولیدی حاصل شود. برعکس در ماه اردیبهشت با آبیاری بیشتر، تولید زهاب بیشتر با شوری کمتر حدود ۵ دسی زیمنس بر متر دفع گردد. در ماه‌های آبان تا بهمن و تیر بدون آبیاری هستند بنابراین شوری آن‌ها صفر نشان داده شده است.



شکل ۹- شوری زهاب دشت ارایض در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳

با توجه به شوری قابل‌پذیرش برای بازگردانی (با هدف کشت گیاهان زراعی مقاوم به شوری) در حدود ۸ دسی زیمنس بر متر است، پیشنهاد می‌شود در دشت ارایض به‌جز ماه مرداد، دفع زهاب به صورت بازگردانی صورت گیرد که با استفاده مجدد، استفاده بهینه از آب آبیاری شود و بازده آبیاری نیز افزایش یابد که اثر زیست‌محیطی مخرب کمتری به رودخانه وارد شود. شوری متوسط سالانه دشت ارایض ۳/۱۸ دسی زیمنس بر متر است ولی نمی‌تواند ملاک تصمیم‌گیری باشد زیرا در پایین‌دست این دشت‌ها از آب رودخانه کرخه برای مصارف مختلف استفاده می‌شود. در شکل (۱۰) تأثیر ورود زهاب تولیدشده دشت ارایض به رودخانه کرخه ارائه شده است.

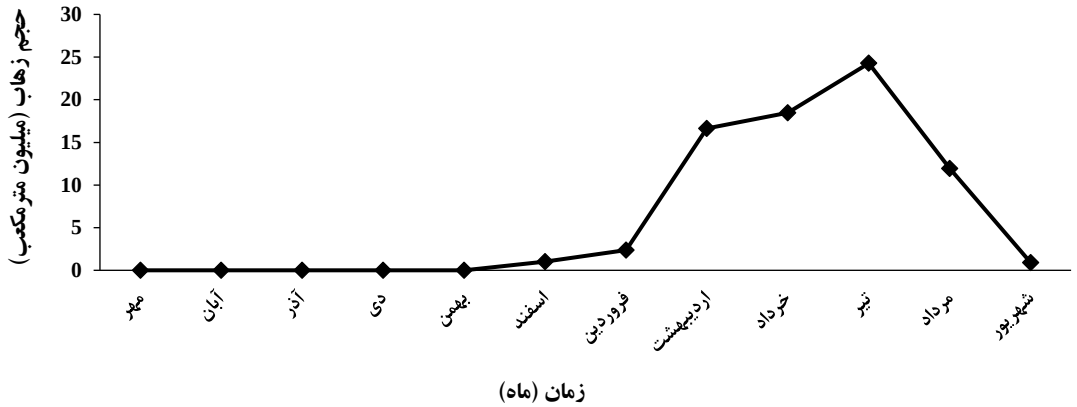


شکل ۱۰- تغییر شوری رودخانه کرخه با ورود زهاب تولیدشده دشت ارایض

دبی متوسط سالانه عبوری از رودخانه کرخه ۱۷۶/۷ مترمکعب بر ثانیه است و دبی ورودی زهاب ارایض به کرخه حدود ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه است. بیشترین میزان افزایش شوری رودخانه در ماه شهریور است که دبی رودخانه به کمترین مقدار خود، ۴۹/۷ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد. بنابراین تأثیر افزایش شوری رودخانه حدود ۱۶ درصد کیفیت اولیه رودخانه است که طبق استاندارد نشان می‌دهد که مجموع زهاب دشت‌ها (اوان، دوسالق و ارایض) نباید به رودخانه تخلیه شود. در صورت تخلیه زهاب اثرات مخرب زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت.

نتایج شبیه‌سازی شوری و حجم زهاب دشت باغه

نتایج بیلان آب شبکه آبیاری و زهکشی دشت باغه با مدل SALTMED محاسبه شد و به صورت سهم مؤلفه‌هـــــــای خروجی بیلان آب حسب درصد به دست آمد. به طور کلی، ۶۰ درصد سهم مجموع تبخیر و تعرق که بازده است و ۴۰ درصد باقی‌مانده سهم تلفات این دشت محسوب می‌شود. سهم مؤلفه‌های بیلان از حجم سالانه هر مؤلفه به حجم آبیاری و بارندگی سال ۱۳۹۳ حاصل شده است. در این سال حدود ۷۵ میلیون مترمکعب زهاب از ۷ هزار هکتار دشت باغه وارد رودخانه کرخه می‌شود. در شکل (۱۱) حجم زهاب تولیدی دشت باغه در ماه‌های مختلف یک سال از بیلان آب آورده شده است.



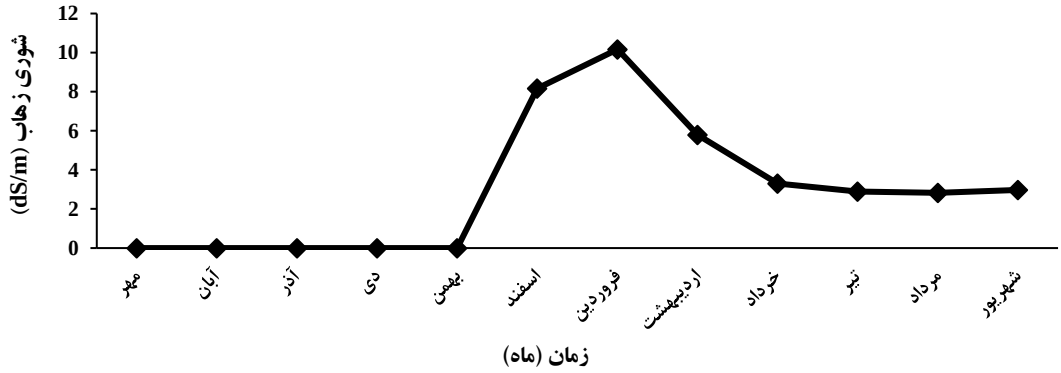
شکل ۱۱- حجم زهاب تولیدی دشت باغه در ماه‌های مختلف سال۱۳۹۳

با توجه به تراکم الگوی کشت ۱۵۰ درصدی و بیلان آب در این منطقه، تیرماه بیشترین میزان آبیاری‌ها صورت می‌گیرد، به همین دلیل حجم زهاب آن نیز در این ماه بیشینه است. در ماه‌های شهریور تا بهمن به دلیل کاهش تراکم کشت در تابستان و کاهش آب در زمستان، میزان آبیاری کمتر بوده و در نتیجه میزان زهاب تولیدی نیز کمتر و حتی نزدیک صفر است.در جدول (۷) بیلان نمک شبکه آبیاری و زهکشی دشت باغه حسب تن ارائه شده است. با توجه به جدول (۷) ملاحظه می‌شود که سالانه حدود ۱۹۷ هزار تن نمک از طریق زهاب تولیدشده دشت باغه وارد رودخانه کرخه می‌شود. اگر این روند ده سال ادامه داشته باشد، حدود ۵/۷۴ میلیون تن نمک از زهاب دشت اوان، دوسالق، ارایض و باغه وارد رودخانه خواهد شد. از آنجایی که تخلیه‌گاه رودخانه کرخه تالاب هورالعظیم است، این حجم وسیع از نمک وارد هورالعظیم خواهد شد. مساحت این تالاب ۴۸ هزار هکتار است. به عبارتی در هر مترمربع تالاب با فرض شوری نبودن آن، حدود ۱۰ کیلوگرم نمک باقی خواهد ماند، در صورتی که میانگین شوری تالاب هورالعظیم در سال ۱۳۹۲ برابر ۲/۰۷ قسمت در هزار بوده که معادل ۳/۲۳ دسی زیمنس بر متر می‌شود.

جدول ۷- بیلان نمک شبیه‌سازی‌شده با مدل SALTMED در دشت باغه در سال ۱۳۹۳

زمان (ماه)	نمک اولیه (ton)	نمک نهایی (ton)	نمک ورودی (ton)	نمک زهاب (ton)
مهر	۳۸۱۹۰۲/۷۳	۳۸۱۹۰۲/۷۳	۰	۰
آبان	۳۸۱۹۰۲/۷۳	۳۸۱۹۰۲/۷۳	۰	۰
آذر	۳۸۱۹۰۲/۷۳	۳۸۱۹۰۲/۷۳	۰	۰
دی	۳۸۱۹۰۲/۷۳	۳۸۱۹۰۲/۷۳	۰	۰
بهمن	۳۸۱۹۰۲/۷۳	۳۸۸۹۷۷/۱۷	۷۰۷۴/۴۴	۰
اسفند	۳۸۸۹۷۷/۱۷	۳۸۵۸۴۸/۳۷	۱۰۷۵۲	۱۳۸۸۰/۱۴
فروردین	۳۸۵۸۴۸/۳۷	۳۶۳۹۲۸/۰۱	۱۳۹۷۷/۶	۳۵۸۹۷/۹۶
اردیبهشت	۳۶۳۹۲۸/۰۱	۳۷۰۱۵۲/۵۳	۳۹۷۸۲/۴	۳۳۵۵۷/۸۸
خرداد	۳۷۰۱۵۲/۵۳	۳۶۹۰۲۷/۸۰	۵۳۷۶۰	۵۴۸۸۴/۷۳
تیر	۳۶۹۰۲۷/۸۰	۳۸۸۳۶۳/۱۱	۳۴۴۰۶/۴	۱۵۰۷۱/۰۹
مرداد	۳۸۸۳۶۳/۱۱	۳۸۴۶۰۶/۳۷	۳۹۷۸۲/۴	۴۳۵۳۹/۱۴
شهریور	۳۸۴۶۰۶/۳۷	۳۸۴۶۰۶/۳۷	۰	۰
سالانه	۴۵۶۰۴۱۷/۰۷	۴۵۶۳۱۲۰/۷۱	۱۹۹۵۳۵/۲۴	۱۹۶۸۳۰/۹۴

بایستی با آینده‌نگری به فکر دفع مناسب این زهاب‌ها و یا تغییر الگوی کشت بود. حداکثر زهاب تولیدی این دشت در خرداد بوده که حدود ۵۵ هزار تن نمک از آن تولید می‌شود. با این حال بایستی با شاخص شوری زهاب ماهیانه در مورد مدیریت زهاب تصمیم‌گیری نمود. در شکل (۱۲) شوری زهاب در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳ پس از یک سال بهره‌برداری همه الگوی کشت، آورده شده است.

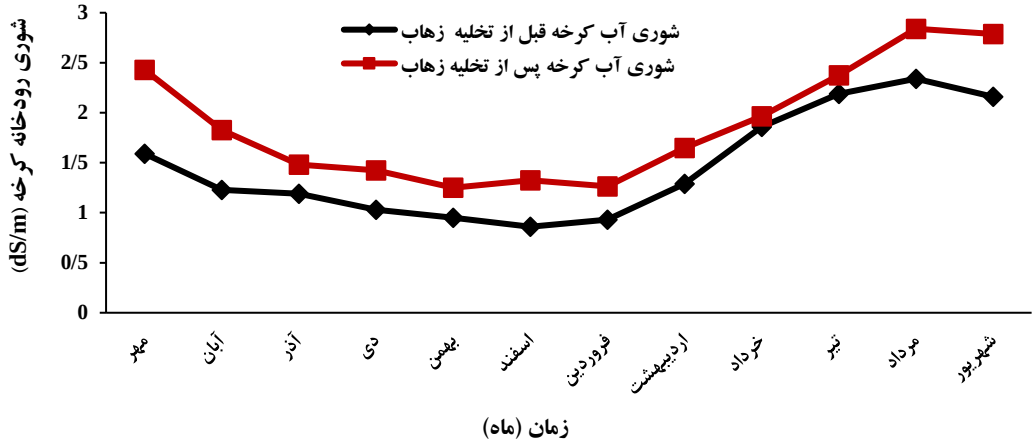


شکل ۱۲- شوری زهاب دشت باغه در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۳

با توجه به شکل (۱۲) و جدول (۷) پیش‌بینی می‌شود در ماه فروردین بیشترین شوری زهاب (حدود ۱۰ دسی زیمنس بر متر) و کمترین زهاب تولیدی حاصل گردد. برعکس در ماه تیر با آبیاری بیشتر، تولید زهاب بیشتر ولی با شوری کمتر (حدود ۴دسی زیمنس بر متر) خواهد بود. در ماه‌های مهر تا بهمن بدون آبیاری است بنابراین شوری زهاب آن‌ها نیز صفر است.با توجه به شوری قابل‌پذیرش برای بازگردانی (با هدف کشت گیاهان زراعی مقاوم به شوری) در حدود ۸ دسی زیمنس بر متر است، پیشنهاد می‌شود در تمام ماه‌ها (به جز ماه اسفند و فروردین) که شوری زهاب کمتر از ۸ دسی زیمنس بر متر است، این زهاب مستقیماً وارد رودخانه نشود بلکه مورد استفاده مجدد برای گیاهان مقاوم به شوری گردد. مدیریت

استفاده مجدد از زهاب سبب می‌شود تا مسائل زیست‌محیطی تغییر کیفیت آب رودخانه برای مصارف پایین‌دست به وجود نیاید.

در شکل (۱۳) تأثیر ورود زهاب تولیدشده دشت اوان، دوسالق، ارایض و باغه به رودخانه کرخه ارائه شده است.



شکل ۱۳- تغییر شوری رودخانه کرخه با ورود زهاب تولیدشده دشت باغه

دبی متوسط سالانه عبوری از رودخانه کرج ۱۷۶/۷ مترمکعب بر ثانیه است. دبی ورودی زهاب باغه به رودخانه ۲/۴ مترمکعب بر ثانیه است. بیشترین میزان افزایش در شوری (EC) رودخانه در ماه شهریور است که دبی رودخانه به کمترین مقدار خود، ۴۹/۷ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد که طبق استاندارد وزارت بهداشت نشان می‌دهد که زهاب آن‌ها (دشت‌های اوان، دوسالق، ارایض و باغه) نباید مستقیماً به رودخانه تخلیه شوند. در صورت تخلیه زهاب، اثرات مخرب زیست‌محیطی و نامناسب بودن کیفیت آب برای مصارف پایین‌دست را به دنبال دارد.

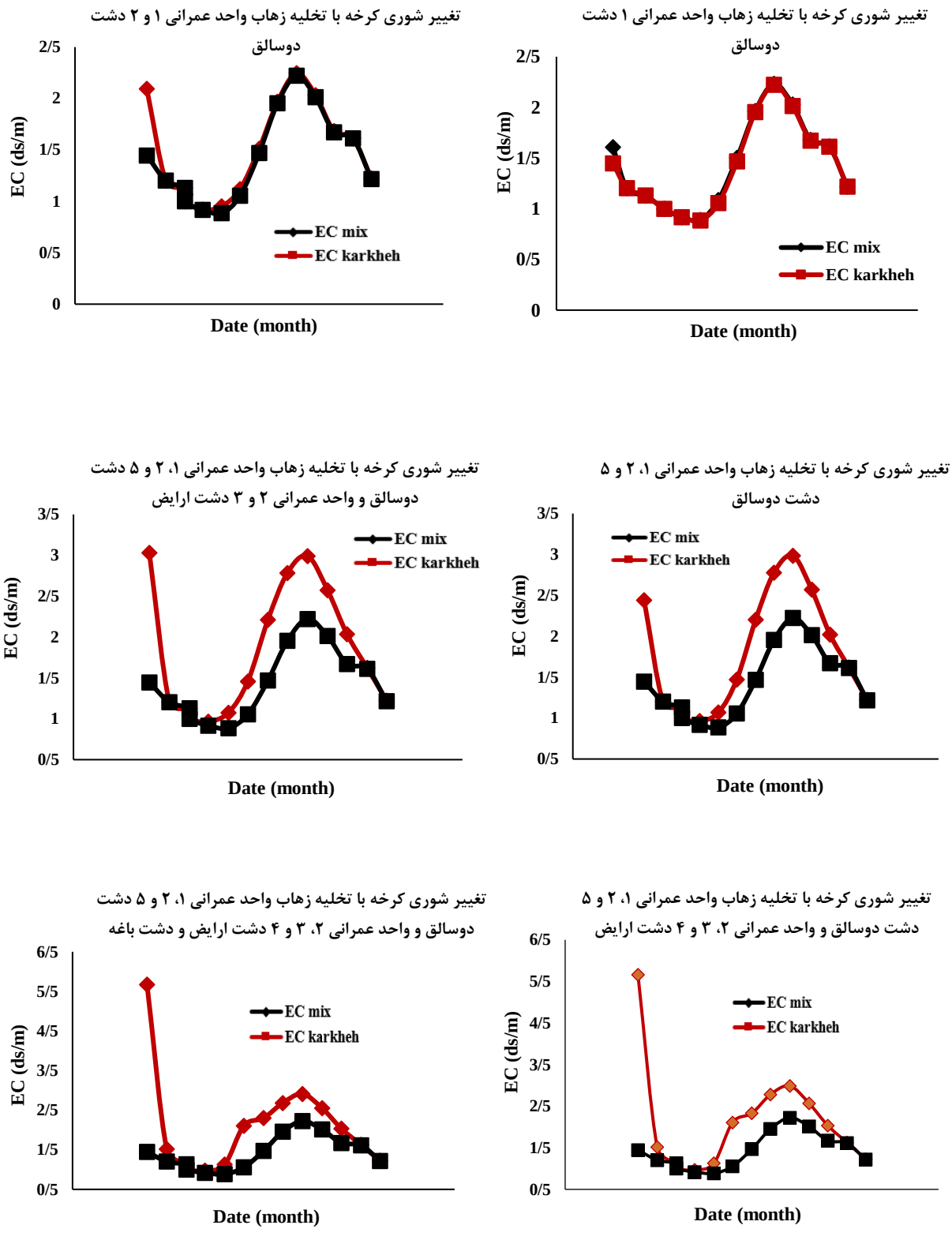
تأثیر تخلیه همزمان زهاب دشت‌ها بر شوری کرخه

در نتایج خروجی مدل در رابطه با حجم زهاب خروجی و میزان نمک دشت‌های اوان، دوسالق، ارایض و باغه که با توجه به الگوی کشت تعیین شده‌اند، در نهایت وارد رودخانه کرخـــــه می‌شوند که در نتیجه سبب تغییر در میزان شاخص شوری رودخانه کرخه (هدایت الکتریکی) خواهند شد. مقدار شوری آب رودخانه ترکیب‌شده با زهاب (EC mix) و میزان اولیه شوری رودخانه کرخه (EC Karkheh) به صورت ماهانه در یک سال با ورود زهاب واحدهای عمرانی دشت‌های مختلف در شکل (۱۴) آورده شده است. ضمن اینکه تخلیه زهاب دشت اوان لحاظ نشده زیرا تغییر چندانی در کیفیت آب رودخانه کرخه ایجاد نخواهد کرد.با توجه به شکل (۱۴) و با اجرای طرح‌های واحد عمرانی ۱، ۲ و ۵ دشت دوسالق و واحد عمرانی ۲، ۳ و ۴ و دشت باغه که در مجموع مساحت آن‌ها حدودا ۳۷۰۰۰ هکتار از که کل ۵۵۰۰۰۰ هکتار است، شوری رودخانه کرخه به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

این رودخانه در پایین‌دست نیازهای آبی کشاورزی، شهری و صنعتی را تأمین می‌کند. بنابراین، کیفیت آب رودخانه اهمیت زیادی دارد. آلودگی آب رودخانه‌ی کرخه و افزایش شوری آن در نتیجه تخلیه زهاب، کاهش شدید کیفیت آب را به صورت افزایش در شاخص‌های زیر به همراه دارد.:

- هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (EC)
- کل مواد جامد محلول Total Dissolved Solids (TDS)
- نسبت جذب سدیم Sodium Absorption Ratio (SAR)

بنابراین، نتایج به‌دست‌آمده حاکی از کاهش کیفیت آب رودخانه‌ی کرخه در نتیجه تغییرات کاربری اراضی است. در خصوص ارائه نتایج مراحل اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل SALTMED این نکته قابل ذکر است که طبیعتاً در تمام کارهای شبیه‌سازی و مدل‌سازی این عمل انجام می‌شود. لذا با توجه به اینکه تعداد صفحه مقاله بیش‌ازحد مجاز شده است، نمی‌توان مطلب بیشتری را اضافه کرد.



شکل ۱۴- تأثیر تخلیه زهاب دشت‌های مورد مطالعه بر کیفیت آب رودخانه کرخه

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش به پیش‌بینی شوری و حجم زهاب تولیدی شبکه آبیاری و زهکشی دشت‌های اوان، دوسالق، ارایض و باغه پس از بهره‌برداری از پروژه‌های جهاد نصر (پس از اجرای فاز اول پروژه ۵۵۰ هزار هکتاری احیاء اراضی استان‌های خوزستان و ایلام) با مدل SALTMED پرداخته شد. نتایج نشان داد که با تخلیه این حجم از زهاب و نمک به رودخانه در سال‌های متوالی، امکـــان افزایش شوری آب رودخانه تا حد نامناسب بودن برای مصارف شهری، صنعت و کشاورزی و همچنین عوارض زیست‌محیطی را به همراه خواهد داشت. با بهره‌برداری از ۳۷ هزار هکتار اراضی بالادست کرخه و تخلیه زهاب آن به رودخانه، شوری کرخه به طور متوسط سالانه یک دسی زیمنس بر متر افزایش خواهد یافت. اگر بهره‌برداری از ۵۵ هزار هکتار که مساحت کل چهار دشت مورد مطالعه است، صورت گیرد، این وضعیت حادتر خواهد شد. رودخانه کرخه منبع اصلی آب دشت‌های پایین‌دست را تشکیل می‌دهد، بنابراین پس از بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی این دشت‌ها، نیاز به تصفیه آب رودخانه برای مصارف اراضی پایین‌دست بوده که تصفیه آب، هزینه‌بر و زمان‌بر است. بنابراین مسئولین بایستی قبل از تخلیه این زهاب‌ها به رودخانه به فکر راهی منطقی، اقتصادی و زیست‌محیطی باشند. علاوه بر مصارف دشت‌های پایین‌دست، آب رودخانه کرخه در نهایت وارد تالاب طبیعی هورالعظیم می‌شود. با توجه به سرعت بالای تبخیر آب از منطقه، تالاب تبدیل به حوضچه تبخیر شده و این حجم وسیع از نمک در تالاب باقی می‌ماند و اثرات بسیار بدی خواهد داشت. استفاده مجدد از زهاب‌های کشاورزی، اختلاط زهاب با آب آبیاری، کشت گیاهان مقاوم به شوری و تقویت عرصه منابع طبیعی با کاشت گونه‌های شورزی که بومی و یا غیربومی هستند، از راهکارهای بهره‌گیری از زهاب می‌باشند. همچنین در ماه‌های نیمه اول سال که معمولاً میزان شوری از حد قابل بازگردانی بیشتر است، پیشنهاد می‌شود با تخلیه زهاب‌ها به حوضچه‌های تبخیر از ورود بار نمک به رودخانه و اراضی جلوگیری به عمل آید.

قدردانی

بدین‌وسیله از گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهاد کشاورزی، سازمان هواشناسی کشور، موسسه جهاد نصر و سازمان آب و برق خوزستان به دلیل در اختیار قراردادن داده‌ها و تأمین امکانات لازم برای انجام این پژوهش و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. بصیری، م.، قمرنیا، ه.، قبادی، م. رجب، ر. ۱۳۹۸. بررسی کارایی مدل SALTMED در تخمین عملکرد گیاه نعناع فلفلی (Mentha piperita L.) تحت تنش‌های شوری و کم‌آبیاری. مدیریت آب و آبیاری، ۹ (۱): ۷۹-۶۹.

۲. پورغلام آمیجی، م.، لیاقت، ع.، نازی قمشلو، آ. و خوش‌روش، م. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل Drainmod-S برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی و غلظت نمک در نیمرخ خاک، در اراضی شالیزاری دارای سطح ایستابی کم‌عمق و شور. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲ (۶): ۱۴۳۴-۱۴۱۸.

۳. حسن‌لی، م.، ابراهیمیان، ح. و پارسی نژاد، م. ۱۳۹۳. ارزیابی میدانی و عملکرد مدل SALTMED در مدیریت آبیاری تناوبی آب شور و غیر شور. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸ (۲): ۴۵۱-۴۴۳.

٤. حسن‌لی، م.، افراسیاب، پ. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل‌های AquaCrop و SALTMED در تخمین عملکرد محصول ذرت و شوری خاک. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۶ (۳): ۴۹۸-۴۸۷.

۵. حسینی، پ.، ایلدرومی، ع. ر. و حسینی، ع. ر. ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب رودخانه‌ی کارون با استفاده از شاخص NSFWQI در بازه زرگان تا کوت امیر (طی ۵ سال). فصلنامه انسان و محیط‌زیست، ۱۱ (۲): ۱۱-۱.

٦. خالوندی، ن.، سلطانی محمدی، ا. و برومند نسب، س. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی رطوبت خاک و عملکرد ذرت در شرایط آبیاری با آب شور با مدل SALTMED. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰ (۱): ۲۴۶-۲۳۱.

۷. ریاحی فارسانی، ح. و قبادی نیا، م. ۱۳۹۵. ارزیابی کارایی مدل SALTMED برای برآورد عملکرد محصول سیب‌زمینی در آبیاری سطحی (مطالعه موردی دشت بروجن). دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۷-۶ شهریور.

۸. سلاجقه، ع.، رضوی‌زاده، س.، خراسانی، ن.، حمیدی‌فر، م. و سلاجقه، س. ۱۳۹۰. تغییرات کاربری اراضی و آثار آن بر کیفیت آب‌های سطحی (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز کرخه). محیط‌شناسی، ۳۷ (۵۸): ۸۶-۸۱.

۹. شطی، ص. و آخوندعلی، ع. م. ۱۳۹۷. بررسی اثرات دوره خشک‌سالی هیدرولوژیک اخیر بر میزان شوری رودخانه کارون. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲ (۵): ۱۲۰۲-۱۱۸۹.

۱۰. قره‌داغی، م. م.، طباطبایی، س. م. و حسن‌لی، م. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی شوری خاک و عملکرد ذرت در شرایط کاربرد آب شور با استفاده از مدل‌های SWAP و SALTMED. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰ (۱): ۶۴-۵۱.

۱۱. کارآموز، م. کراچیان، ر. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سیستم های منابع آب. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۴۰۴ ص.

۱۲. مریدنژاد، ع. ر.، لیاقت، ع. و نظری، ب. ۱۳۹۴. تحلیل نتایج مطالعات ارزیابی تغییر سیستم آبیاری سطحی به آبیاری تحت‌فشار در شبکه‌های فرعی آبیاری اراضی ۵۵۰۰۰۰ هکتاری مؤسسه جهاد نصر در استان خوزستان. اولین همایش ملی بررسی ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی طرح احیاء ۵۵۰ هزار هکتاری اراضی خوزستان و ایلام، اهواز، ۲۶ و۲۷ آبان.

۱۳. مهاب قدس (شرکت مهندسی مشاور). ۱۳۹۲. گزارش نهایی مطالعات زهکشی و پایه دشت‌های اوان، دوسالق و باغه.

۱٤. نادری، م. چپورغلام آمیجی، م.، خوش روش، م.،قجقی، آ. و عرب، ن. ۱۳۹۹. ارزیابی مقایسه‌ای مکانی-زمانی پارامترهای کیفی آب و سلامت رودخانه زیارت با استفاده از تحلیل آماری و شاخص کیفی NSFWQI. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۶): ۱۳۷۲-۱۳۵۳.

۱۵. نوذری، ح. ۱۳۸۸. مدیریت شوری و بهره‌برداری از زهاب کشاورزی با استفاده از تحلیل پویایی سیستم. پایان‌نامه دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج. ایران

16. Abdelraouf, R. E., & Ragab, R. 2018. Applying partial root drying drip irrigation in the presence of organic mulching. Is that the best irrigation practice for arid regions? Field and modelling study using the SALTMED model. Irrigation and drainage, 67(4), 491-507.

17. Alkhasha, A., & Al-Omran, A. 2019. Simulated tomato yield, soil moisture, and salinity using fresh and saline water: experimental and modeling study using the SALTMED model. Irrigation Science, 37(5), 637-655.

18. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.

19. Aly, A. A., Al-Omran, A. M., & Khasha, A. A. 2015. Water management for cucumber: Greenhouse experiment in Saudi Arabia and modeling study using SALTMED model. Journal of soil and water conservation, 70(1), 1-11.

20. Ansari, M., & Akhoondzadeh, M. 2020. Mapping water salinity using Landsat-8 OLI satellite images (Case study: Karun basin located in Iran). Advances in Space Research, 65(5): 1490-1502.

21. Cardon, G. E., & Letey, J. 1992. Plant water uptake terms evaluated for soil water and solute movement models. Soil Science Society of America Journal, 56(6), 1876-1880.

22. Chauhdary, J. N., Bakhsh, A., Ragab, R., Khaliq, A., Engel, B. A., Rizwan, M. ... & Nawaz, Q. 2020. Modeling corn growth and root zone salinity dynamics to improve irrigation and fertigation management under semi-arid conditions. Agricultural Water Management, 230, 105952.

23. Golabi, M., Naseri, A. A., & Kashkuli, H. A. 2009. Evaluation of SALTMED model performance in irrigation and drainage of sugarcane farms in Khuzestan province of Iran. Journal of food, agriculture & environment, 7(2), 874-880.

24. Golshan, M., Dastoorpour, M., & Birgani, Y. T. 2020. Fuzzy environmental monitoring for the quality assessment: Detailed feasibility study for the Karun River basin, Iran. Groundwater for Sustainable Development, 10: 100324.

25. http://dolat.ir. 1398/11/13

26. http://jahadnasr.com. 1398/10/22

27. Jahangir, M. H., & Yarahmadi, Y. 2020. Hydrological drought analyzing and monitoring by using Streamflow Drought Index (SDI) (case study: Lorestan, Iran). Arabian Journal of Geosciences, 13(3): 110.

28. Jahin, H. S., Abuzaid, A. S., & Abdellatif, A. D. 2020. Using multivariate analysis to develop irrigation water quality index for surface water in Kafr El-Sheikh Governorate, Egypt. Environmental Technology & Innovation, 17: 100532.

29. Pourgholam-Amiji, M., Liaghat, A., Ghameshlou, A. N., & Khoshravesh, M. 2021. The evaluation of DRAINMOD-S and AquaCrop models for simulating the salt concentration in soil profiles in areas with a saline and shallow water table. Journal of Hydrology, 598, 126259.

30. Ragab, R. 2002. A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: the SALTMED model. Environmental Modelling & Software, 17(4), 345-361.

31. Ragab, R., Choukr-Allah, R., Nghira, A., & Hirich, A. 2016. SALTMED model and its application on field crops, different water and field management and under current and future climate change. In The Souss-Massa River Basin, Morocco (pp. 227-274). Springer, Cham.

32. Soothar, R. K., Zhang, W., Zhang, Y., Tankari, M., Mirjat, U., & Wang, Y. 2019. Evaluating the

performance of SALTMED model under alternate irrigation using saline and fresh water strategies to winter wheat in the North China Plain. Environmental Science and Pollution Research, 26(33), 34499-34509.

33. WHO (World Health Organization). (2019). Chemical Safety. Activity Report 2018.

Application of SALTMED Model to Prediction of the Salinity of Karkheh River After Implementation of First Phase of the 550,000 hectare Land Reclamation Project in Khuzestan and Ilam Provinces

E.Moradi[1], M.Pourgholam-Amiji[2], A.Liaghat[3], A.Nazi Ghameshlou[4*]

[1] MS.c. Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

[2] Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

[3] Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

[4] Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: 01 Mar 2021, Revised: 15 Jun 2021, Accepted: 14 Aug 2021, Published online: 14 Aug 2021)

Abstract

Due to the scarcity of fresh water resources, sensitivity to the water quality of the rivers and factors affecting them is essential. Although drainage enables crop production in saline soils, but drainage drains can transport contaminated material to surface and groundwater. In this study, salinity prediction of Karkheh River after exploitation of irrigation and drainage projects of Jahad Nasr Institute was investigated using SALTMED salinity simulator model. Due to climatic conditions, cultivation pattern, irrigation schedule, soil and water characteristics and drainage of the Evan, Dowsalagh, Arayez and Bagheh plains that are excluding the Upper Plains, the volume of drainage output and the amount of salt produced from each plain with a total area of 55,000 hectares were simulated. Also from the data the years (2013-2017) were used due to completeness of information. The results showed that based on the prediction of SALTMED model in the statistical year 2013; the amount of 150, 87, 140 and 197 thousand tons of salts enter the Karkheh River annually from the Evan Plain, Dowsalagh, Arayez and Bagheh, respectively. If the same trend continues for ten years, an amount of 5.74 million tons of salt will enter Karkheh and then eventually discharge into the Hawizeh Marshes, which will have many environmental impacts. Since the highest amount of irrigation occurred in April or May, the SALTMED model showed that the volume of drainage was highest in these months and only in the plain of Bagheh the highest volume of drainage occurred in June. The results also showed that the highest and the lowest salinity concentration in August and May with 11 and 5.4 dS/m for Evan plain, in July and May with 23 and 4 dS/m for Dowsalagh plain, in August and May with 9.5 and 5 dS/m for Erayad plain, and in April and July with 10 and 4 dS/m occurred for the plain of the Bagheh. The overall result showed that by exploiting 37,000 hectares of 55,000 hectares in the four plains, the Karkheh water salinity index (EC) increased significantly and on average, it will reach from 1.15 dS/m to more than 2 dS/m. Now, if all 55,000 hectares or more of the 550,000 hectares of land were exploited, how much salt and drainage water would flow into the rivers?

Keywords: Irrigation and Drainage, Land Reclamation, Electricity Conductivity, Agricultural Development, Modern Irrigation System, Environment.

* Corresponding author:
Email Address: a.ghameshlou@ut.ac.ir