چهارمین کارگاه فنی زهکشی
۱۸ آبان ماه ۱۳۸۵

مدیریت زه‌آب‌های حاصل از سامانه‌های زهکشی و کاربرد مجدد آن در کشاورزی

علیرضا حسن‌اقلی[۱]

چکیده

به طور معمول، زه‌آب‌ها در مقایسه با آب آبیاری از کیفیت پایین تری برخوردار می‌باشند. برای به حداقل رساندن اثرات مخرب کوتاه مدت و بلند مدت زه‌آب‌ها بر محیط زیست، تولیدات گیاهی، حاصلخیزی خاک و کیفیت آب، توجه به مسائل مدیریتی در پروژه‌ها و حوضه‌های آبریز حائز اهمیت است. در مناطقی که با کمبود آب آبیاری مواجه هستند، استفاده از زه‌آب برای تکمیل منابع آب از اهمیت خاصی برخوردار است. بعلاوه با استفاده از زه‌آب برای آبیاری، مشکلات ناشی از تخلیه زه‌آب‌ها به حداقل رسیده و احتمال آلودگی منابع آب نیز کاهش می‌یابد. موارد استفاده مجدد از زه‌آب عبارتند از: کشاورزی سنتی، پرورش گیاهان مقاوم به شوری، سیستم‌های استفاده مکرر از زه‌آب (IFDM)[2]، زیستگاه‌های حیات وحش و تالابها و آبشویی اولیه اراضی شور. در تولید محصولات کشاورزی، کیفیت زه‌آب تعیین کننده نوع گیاه مناسب کشت از نظر آبیاری است. همچنین آلاینده‌های موجود در رواناب سطحی مانند رسوبات، آفت‌کش‌ها و مواد مغذی نقش مهمی در استفاده مجدد از زه‌آب برای تولیدات گیاهی ایفا می‌کنند. معمولاً غلظت نمک‌ها و بعضاً عناصر کمیاب خاص و مواد مغذی محلول در زه‌آب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی بالا می‌باشد. اگر غلظت نمک بیش از حد آستانه باشد، برای رشد گیاهان مضر است. نوع نمک نیز می‌تواند مانع جذب مواد غذایی شده و برای گیاهان حالت سمی داشته باشد. عناصر سمی مانند بور موجب کاهش رشد گیاه شده و حضور سلنیم و آرسنیک در زه‌آب و ورود آنها به زنجیره غذایی، سلامت انسان و سایر موجودات زنده را در معرض خطر قرار می‌دهد. در این مقاله بصورت مختصر به بررسی موارد فوق وروش‌های مدیریتی مرتبط با کاربرد زه‌آب‌ها درکشاورزی پرداخته می‌شود.

۱- عضو هیأت علمی (استادیار) مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

کرج، بلوار شهید فهمیده، مقابل بانک کشاورزی، ص پ ۸۴۵-۳۱۵۸۵، تلفن: ۰۲۶۱-۲۷۰۵۳۲۰

2- Integrated Farm Drainage Management

۱- نیاز به زهکشی در اراضی فاریاب

توسعه آبیاری در مقیاسی گسترده در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک از اواخر قرن نوزدهم آغاز شده است. هرچند آبیاری به میزان قابل توجهی پتانسیل تولیدات کشاورزی را افزایش داده، لیکن تلفات نشت از شبکه‌های آبیاری و نفوذ عمقی ناشی از آبیاری مزارع، موجبات نفوذ و تجمع آب را در لایه‌های آبدار زیرزمینی فراهم نموده است. هنگامی که میزان تغذیه از طریق آبیاری بزرگتر از تخلیه طبیعی باشد، خیز سطح ایستابی اتفاق می‌افتد. در بسیاری از اراضی فاریاب در گوشه و کنار جهان، بالا آمدن سطح ایستابی منجر به ماندابی شدن اراضی گردیده و متعاقباً مشکلات ناشی از شوری را به وجود آورده است. این وضعیت در مناطقی که توسعه زهکشی همگام با توسعه آبیاری انجام نگرفته و یا در مناطقی که نگه‌داری از تأسیسات زهکشی مورد غفلت واقع شده اتفاق افتاده است. جهت حفظ شرایط رطوبتی مطلوب برای رشد بهینه محصولات کشت شده و کنترل شوری خاک، توسعه زهکشی به ویژه در مناطقی با آب زیرزمینی شور امری اجتناب‌ناپذیر است.

از طرف دیگر، در واکنش به جمعیت در حال تزاید جهان و رشد اقتصادی، برداشت‌های آب برای مصارف بشری افزایش یافته، بنابراین رقابت بر سر آب مابین مصارف شهری، صنعتی، کشاورزی، زیست محیطی و تفریحی نیز بالا گرفته است. اگر روندهای فعلی برداشت آب با شیوه‌ها و سیاست‌های حاضر ادامه یابد، برآورد می‌شود که در سال ۲۰۲۵ تنش آبی به بیش از ۶۰ درصد جهان گسترش یابد. در این صورت تدارک دیدن غذا برای جمعیت در حال رشد چالشی بزرگ و اساسی است، زیرا به جز در امریکای شمالی و اروپا، کشاورزی هنوز هم بزرگترین مصرف‌کننده آب در اغلب مناطق دنیاست. بر طبق آمارهای ارائه شده توسط FAO و در مبنای جهانی، کشاورزی ۶۹ درصد از کل برداشت‌های آبی را به خود اختصاص می‌دهد. اگرچه منابع آب کشاورزی اغلب به میزان بیش از حد و نادرست مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، لیکن باور عمومی بر آن است که جهت تولید غذای کافی برای جمعیت در حال رشد جهان، تا سال ۲۰۲۵ بایستی به میزان ۳۰ – ۲۰ درصد بر مساحت اراضی کشاورزی آبی افزوده شود. به منظور اجتناب از تشدید بحران آب و جلوگیری از کمبودهای قابل توجه مواد غذایی، بهره وری مصرف آب بایستی افزایش یابد. به بیان دیگر لازم است بر مقدار غذای تولید شده با یک میزان معین آب افزوده شود. این امر از طریق حفاظت و استفاده مجدد از منابع آبی موجود در بخش کشاورزی، از قبیل آبهای زهکشی شده و قابل بهره‌برداری ممکن می‌باشد.

استفاده مفرط و نامناسب از آب در کشاورزی فاریاب نه تنها منجر به ماندابی شدن و مشکلات شوری در مقیاس وسیع و برداشت بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی می‌شود، بلکه موجبات محروم شدن بهره‌وران پایین دست از آب کافی و آلوده شدن منابع آب مناسب با جریان آلوده بازگشتی از آبیاری و تلفات نفوذ عمقی را فراهم می‌سازد. چون در نتیجهٔ آلودگی آب، کیفیت آن برای دیگر مصارف بالقوه

سودمند در پایین دست تقلیل می‌یابد، بنابراین به رقابت بر سر منابع آب مناسب دامن زده می‌شود. همچنین این امر ممکن است آلودگی شدید محیط و تهدید بهداشت عمومی را به دنبال داشته باشد.

۲- به سوی مدیریت زه‌آب‌ها

تا چندی پیش مدیریت زه‌آب‌ها کمتر مورد توجه قرار می‌گرفت. تحقیقات زهکشی عموماً بر مسائل طراحی متمرکز بود، در صورتی که ارزیابی‌ها به طور عمده با عملکرد سیستم‌های نصب شده و موارد مرتبط با ضوابط طراحی آنها سر و کار داشت. پس از کنفرانس سران جهان در سال ۱۹۹۲، کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی توجه کامل خود را بر مدیریت زه‌آب‌ها متمرکز نمود. نتیجه اینکه نه تنها بر نیاز به زهکشی به عنوان مکملی اساسی جهت توسعه آبیاری در نواحی خشک و نیمه خشک تأکید شد، بلکه به طور همزمان بر حفاظت و استفاده مجدد از منابع آب شیرین در مفهوم مدیریت جامع منابع اصرار گردید. در بسیاری از کشورها این نگرانی‌ها و به ویژه نگرانی در خصوص تنزل کیفیت آب، به وضع قوانین دفع زه‌آب‌ها در جهت حفظ استانداردهای کیفی منابع آب شیرین برای مصارفی دیگر نظیر کشاورزی، مصارف خانگی، صنعتی، زیست محیطی و تفریحی منجر شده است.

این مقاله بر مدیریت زه‌آب‌های حاصل از سیستم‌های زهکشی موجود در اراضی فاریاب مناطق خشک و نیمه خشک و نحوه استفاده مجدد از آن تمرکز می‌نماید. برای سامانه‌های زهکشی موجود، شماری از گزینه‌های در دسترس مدیریتی زه‌آب‌ها جهت نیل به اهداف توسعه در اختیار است. این گزینه‌ها را می‌توان به چهار گروه عمده ***«حفاظت از آب، استفاده مجدد از زه‌آب‌ها، دفع زه‌آب‌ها و تصفیه زه‌آب‌ها»*** تقسیم نمود. هر یک از این گزینه‌ها دارای اثرات بالقوه معینی بر هیدرولوژی و کیفیت آب منطقه می‌باشند و در جایی که بیش از یک گزینه در یک منطقه بکار گرفته شود، اثرات متقابل و موافق اتفاق می‌افتد. بنابراین طراحان، تصمیم‌گیرندگان و مهندسان برای انتخاب از میان گزینه‌های مختلف و به جهت ارزیابی نمودن تأثیر و سهم هر یک در راستای اهداف توسعه، به چارچوبی مشخص نیاز دارند. بعلاوه جهت دست یافتن به یک ارزیابی برتر از میزان اثر گزینه‌های متمایز، به نقطه نظرات فنی کارشناسی و دستورالعمل‌هایی بر هر یک از گزینه‌ها نیاز است.

مدیریت و کنترل زه‌آب در سطوح مزرعه، شبکه آبیاری و حوضه رودخانه مستلزم اقدامات متعددی است که عبارتند از:

- تنظیم سطح ایستابی در سیستم زهکشی به منظور حفظ شرایط رطوبتی مطلوب، رشد بهینه محصول و کنترل شوری
- بکارگیری استراتژی‌های مدیریتی آبیاری و زه‌آب تا حدی که ضوابط تخلیه و استانداردهای کیفیت آب تأمین شود و در ضمن با مسائل و مشکلات قابل انتظار متناسب باشند.
- نوبت‌بندی و تقسیم آب و تدوین معیارهای مناسب برای استفاده مجدد در مناطق کم آب، و

- تدوین ضوابط پرداخت هزینه سهم آب برای استفاده از آب‌های کم کیفیت و انجام تصفیه مورد نیاز با رعایت استانداردهای کیفی آب جهت تخلیه زه‌آبی که به مشترکین تعلق می‌گیرد.

مهمترین دلایل برای توسعه و ارتقاء استراتژی‌های مدیریت زه‌آب عبارتند از:

- جلوگیری از زیان‌های اقتصادی و کشاورزی که نتیجه ماندابی و شوری اراضی و افت کیفیت آب می‌باشد.
- نگرانی از افت کیفیت منابع آب و لزوم حفاظت آب برای مصارف مختلف، بخصوص در مناطقی که با کمبود آب مواجه می‌باشند.
- بعلاوه، لزوم پیروی و تبعیت از سیاست‌ها و آئین‌نامه‌ها می‌تواند انگیزه‌ای قوی برای بهبود مدیریت زه‌آب‌ها ایجاد نماید.

بهینه‌سازی‌های لازم جهت به حداقل رسانیدن یا اصلاح مشکلات در مدیریت زه‌آبها را می‌توان در دو دسته کلی گزینه‌های فیزیکی و غیر فیزیکی تقسیم نمود که در ادامه، به بررسی اجمالی هریک پرداخته می‌شود.

۲-۱- گزینه‌های فیزیکی مدیریت زه‌آب

۲-۱-۱- اقدامات حفاظتی

یکی از اهداف اصلی اقدامات حفاظتی آب، کاهش حجم زه‌آب تولیدی و مقدار نمک خروجی و دیگر موارد نگران‌کننده مرتبط با آن است تا بتوان آب را برای استفاده‌های سودمند دیگر حفظ کرد. اقدامات حفاظتی مستقیماً بر لزوم استفاده مجدد از زه‌آب و نیز بر کمیت و کیفیت زه‌آب‌هایی که نیاز به تخلیه یا تصفیه دارند تأثیر می‌گذارد. در جایی که بین مصرف کنندگان آب از نظر کمی و کیفی رقابت وجود دارد و یا در مناطقی که برای تخلیه زه‌آب محدودیت دارند (مثلاً در یک حوضه زهکشی بسته)، همچنین در مناطق حساس و ریسک‌پذیر از نظر اکولوژیکی، اقدامات حفاظتی جزو اولین مسائلی است که باید صورت گیرد. اقدامات حفاظتی گوناگون عبارتند از: کاهش مصرف آب (و به تبع آن کاهش تولید زه‌آب)، مدیریت آب‌های زیرزمینی، مدیریت سفره‌های زیرزمینی کم عمق و آیش زمین. جدول (۱) توضیح مختصری از چهار اقدام حفاظتی فوق و بعضی از نکات قابل توجه را ارائه می‌دهد.

جدول (۱)- اقدامات حفاظتی و نکات قابل توجه در آن

گزینه	فعالیت‌ها	ملاحظات
کاهش منبع	کاهش نفوذ عمقی از طریق بهبود عملکرد آبیاری در آبیاری سطحی، تغییر آبیاری سطحی به روش‌های آبیاری دقیق، اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری، ارتقاء ساختار آبیاری و غیره.	هزینه‌های ناشی از ارتقاء سیستم در سطح مزرعه و در سطح سیستم باید در مقایسه با منافع منطقه‌ای سنجیده شوند. برای جلوگیری از شور شدن و تجمع عناصر سمی در منطقه ریشه، حداقل آبشویی نیاز است.
مدیریت سطح ایستابی کم عمق	تشویق زارعین به استفاده از سفره‌های کم عمق به منظور تأمین نیاز آبی گیاهان از طریق کنترل سطح ایستابی و انجام کم آبیاری	خطر شوری و تجمع عناصر سمی در لایه‌های بالایی خاک، ناشی از خیز موئینگی وجود دارد. مشکل تهویه در ناحیه ریشه هنگام بارندگی قابل توجه است.
مدیریت آب زیرزمینی	پمپاژ از چاه‌های عمودی می‌تواند سفره‌های آب را کنترل نماید. آب زیرزمینی با کیفیت مناسب می‌تواند جایگزین آب سطحی باشد.	از مصرف بیش از حد منابع آب زیرزمینی خودداری شود، زیرا خطر پیشروی و ورود آب‌های شور زیرزمینی به منطقه وجود دارد. به دلیل وجود املاح و عناصر کمیاب در آب زیرزمینی، از تجمع آنها تا حد سمی و حد تخریب خاک باید جلوگیری کرد.
آیش زمین	آیش اراضی فاریاب که شدیداً باتلاقی یا شور شده و یا زمین‌هایی که زه‌آب شور و آلوده تولید می‌کنند.	زمین‌های آیش و نکاشت ممکن است بسیار شور شوند. بعلاوه اینکه غلظت زیاد عناصر سمی و تجمع آنها در لایه سطحی خاک از رویش گیاهان بومی و خودرو در منطقه جلوگیری می نماید. فرسایش بادی در زمین‌های آلوده و بدون پوشش ممکن است بر تولیدات کشاورزی اثر گذاشته و سلامت انسان‌های مجاور به منطقه را به مخاطره اندازد.

اولین اقدام، حفظ منابع آب در سطح مزارع با کاهش مصرف آب و یا به عبارتی، کاهش نفوذ عمقی است. هنگامی که هدف مورد نظر با کاهش مصرف آب حاصل نمی‌شود، انجام سایر اقدامات حفاظتی همگام با استفاده مجدد ممکن است ضروری باشد. از آنجا که محصولات مختلف برای رشد مطلوب به مقادیر متفاوتی از آب نیازمندند و الگوهای ریشه در گیاهان گوناگون متفاوت است، کاهش مصرف آب و مدیریت

سطح ایستابی همراه با تغییر در الگوی کشت می‌تواند تأثیر مطلوبی بر اقدامات انجام شده داشته باشد. تغییر در الگوی کشت باید فقط در جایی که امکان توسعه وجود دارد اعمال گردد.

۲-۱-۲- راه‌کارهای استفاده مجدد از زه‌آب

هدف اساسی در استفاده مجدد از زه‌آب، کاهش مقادیر رها شده آن است، بطوری که همزمان بتوان از آن برای آبیاری و یا مصارف دیگر استفاده کرد. راه کارهای استفاده مجدد شامل: استفاده زه‌آب در کشاورزی سنتی و اراضی شور، استفاده مکرر از زه‌آب در اراضی کشاورزی (سیستم IFDM)، استفاده زه‌آب در زیستگاه‌های حیات وحش، تالابها و مراتع و اصلاح و آبشویی اولیه زمین‌های شور می‌باشد. جدول (۲) بطور مختصر راه حل‌های استفاده مجدد از زه‌آب را توضیح می‌دهد.

ترکیبی از اقدامات استفاده مجدد از زه‌آب و اقدامات حفاظتی با هم می‌تواند بکار گرفته شود. در جایی که زه‌آب از کیفیت نسبتاً خوبی برخوردار است، پتانسیل استفاده از زه‌آب در کشاورزی سنتی بالا است و در جایی که شوری زه‌آب متوسط تا زیاد باشد، امکان استفاده از آن به آبیاری گیاهان مقاوم به شوری محدود می‌شود. درحوزه‌های بسته که محلی برای تخلیه زه‌آب‌ها وجود ندارد، زه‌آب‌های تولید شده به طور مکرر در اراضی پایین دست با سطح ایستابی کم عمق مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این سیستم آب غیر شور برای رشد گیاهان حساس به شوری و زه‌آب حاصله برای رشد گیاهان مقاوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. زه‌آب حاصله از اراضی کشت شده با گیاهان مقاوم به شوری مجدداً برای آبیاری گیاهان شور پسند (هالوفیت) استفاده می‌شود. در نهایت زه‌آب با شوری زیاد و حجم کم برای استخراج نمک وارد حوضچه‌های تبخیری می‌شود. در این سیستم و سیستم‌های دیگر ضروری است که حجم زه‌آب تولیدی به کمترین مقدار خود کاهش یابد تا از تجمع املاح در منطقه ریشه‌ها جلوگیری شود.

جدول (۲)- گزینه‌های استفاده مجدد از زه‌آب، فعالیت‌ها و ملاحظات

گزینه‌ها	فعالیت‌ها	ملاحظات
استفاده از زه‌آب در کشاورزی سنتی	زه‌آب کشاورزی جمع‌آوری و بین کشاورزان توزیع می‌گردد. زه‌آب ممکن است مستقیماً یا با منابع دیگر تلفیق شده و استفاده گردد. استفاده تلفیقی ممکن است به صورت اختلاط یا استفاده چرخه‌ای باشد.	وسعت و میزان استفاده از زه‌آب به کیفیت آن، زمان دسترسی، مقاومت گیاهان و غیره بستگی دارد. برای جلوگیری از تخریب خاک و ضررهای حاصله، مصرف زه‌آب را باید کم کرد. زه‌آب باقیمانده که غالباً شور و کم حجم است باید مدیریت شود.
استفاده از زه‌آب در اراضی شور	زه‌آب با شوری متوسط تا زیاد جمع‌آوری و برای کشت علف‌ها، درختان و گیاهان شور پسند بکار می‌رود.	کشاورزی در شرایط شور و با زه‌آب‌های خیلی آلوده باید پایدار و تضمین شده باشد.
استفاده از زه‌آب در سیستم IFDM	استفاده متوالی از زه‌آب برای آبیاری محصولات، درختان و گیاهان نمک دوست که به ترتیب، تحمل آنها به شوری بیشتر است. در این سیستم در هر بار استفاده مجدد از زه‌آب، حجم آن کاهش ولی شوری آن افزایش می‌یابد. در نهایت زه‌آب بسیار شور وارد حوضچه‌های تبخیری می‌شود. بهره‌برداری نمک از حوضچه‌ها نیز ممکن است صورت گیرد.	کسر آبشویی برای کنترل شوری و سدیم خاک و جلوگیری از افزایش عناصر سمی باید کافی باشد. حوضچه‌های تبخیری باید بگونه‌ای طراحی شوند که آبزیان و پرندگان را جذب نکنند. نمک‌ها باید به طور دائم و مطمئن تخلیه شوند.
استفاده از زه‌آب در حیات وحش و تالاب‌ها	در مناطقی که کیفیت زه‌آب بالاست، ممکن است آن را برای رفع نیازهای حیات وحش شامل پرندگان آبی، ماهیان، پستانداران و گیاهان آبزی که بعنوان بخشی از زنجیره غذایی محسوب می‌شوند بکار برد.	نگرانی اساسی، وجود احتمالی عناصر کمیاب (مانند سلنیم، مولیبدن و مس) است که از طریق زنجیره غذایی ممکن است وارد بدن شده و مسمومیت ایجاد کند.
استفاده از زه‌آب برای اصلاح خاک‌های شور	استفاده از زه‌آب با شوری متوسط برای آبشویی اولیه خاک‌های شور، خاک‌های شور- سدیمی و خاک‌های سدیمی ممکن است بکار رود. استفاده از آب شور در خاک‌های سدیمی ممکن است از پراکندگی ذرات خاک و تخریب ساختمان خاک جلوگیری کند.	پس از احیای اولیه، آب کافی و با کیفیت برای کاربری مطلوب از زمین مورد نیاز است. زه‌آب اولیه بسیار شور و یا سدیمی خواهد بود که تخلیه آن بدون هیچ خطری به سیستم‌های دیگر باید صورت گیرد.

۲-۱-۳- روش‌های تصفیه

در یک برنامه مدیریت زه‌آب، تصفیه زه‌آب فقط در شرایط حاد و دشوار صورت می‌گیرد، مانند وقتی که تخلیه زه‌آب‌های بسیار شور به داخل رودخانه‌ها غیر مجاز باشد و یا در شرایطی که کمبود آب وجود دارد. گزینه‌های تصفیه زه‌آب مبتنی بر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است. بسیاری از این فرآیندها از فرآیندهای تصفیه آب آشامیدنی، فاضلاب شهری و صنعتی اقتباس شده است. تعداد کمی از تصفیه‌خانه‌ها دارای فرآیندهای نوین حذف سلنیم می‌باشند. کیفیت مورد نیاز زه‌آب تصفیه شده باید قبل از انتخاب اقدامات تصفیه، شناسایی گردد. جدول (۳) مجموعه روش‌های تصفیه زه‌آب را نشان می‌دهد.

جدول (۳) - مجموعه روش‌های تصفیه زه‌آب

روش	مراحل	مواد حذف شده یا تصفیه شده
فیزیکی/ شیمیایی	ته نشینی/ منعقدسازی جذب تبادل یونی اسمز معکوس منعقدسازی/ ترسیب	حذف رسوبات و مواد چسبیده به آنها (مواد مغذی، سموم و عناصر کمیاب) در حوضچه‌های رسوب‌گیر با افزودن یا بدون افزودن مواد منعقدکننده. حذف مواد محلول توسط سطوح جذب‌کننده‌ها تبادل مواد با عناصر دیگر توسط رزین‌های تبادلی یا ستونی از آنها جداسازی املاح و عناصر محلول با استفاده از فشار و غشاء نیمه تراوا استفاده از مواد شیمیایی نظیر آلوم برای لخته سازی یا ترسیب مواد نگران‌کننده
بیولوژیکی	احیا / اکسیداسیون تبخیر جذب گیاهی / جلبکی تالاب‌های مصنوعی	کاهش عناصر محرک و اکسیده (مانند سلینات) و تبدیل آنها به شکل احیاء و غیر محرک (مانند سلنیم عنصری) توسط فرآیندهای بیولوژیکی برخی گیاهان و میکرب‌ها قادر به جذب عناصر آلاینده نظیر سلنیم بوده و آن را به شکل متیل شده به اتمسفر بخار می‌کنند. برخی گیاهان و جلبک‌های خاکی مشخص قادر به جداسازی مقادیر زیادی از عناصر مانند سلنیم، نیترات و مولیبدن هستند. عناصری مانند سلنیم و فلزات سنگین از زه‌آب حذف می‌شوند. مکانیسم حذف برای سلنیم اصولاً احیای آن به شکل عنصری یا آلی در مواد تجزیه‌پذیر است. مکانیسم جذب برای فلزات سنگین اصولاً جذب یا تثبیت آن روی رسوبات است.

تصفیه زه‌آب‌ها برای استفاده مجدد در کشاورزی به لحاظ هزینه‌های سنگین فرآیندهای تصفیه، غیر اقتصادی و نامناسب است. روش‌های تصفیه مانند اسمز معکوس فقط برای اهداف عالی مثل تهیه آب آشامیدنی استفاده می‌شوند. یک گزینه این است که زه‌آب‌های شور به طور نسبی تصفیه شوند، یعنی تا حدی که بتوان آن را در کشاورزی بکار برد (برای مثال شوری زدایی تا حدود 1dS/m، بجای 0.1 dS/m

یا کمتر). بهرحال، هزینه مدیریت آبهای شور و تخلیه زه‌آب‌ها همچنان به عنوان یک مشکل اساسی پابرجاست. یک استثناء برای کاهش هزینه سنگین، تصفیه زه‌آب توسط تالاب‌های مصنوعی می‌باشد که با گیاهانی مثل نی و گیاهان نمک دوست کشت شده‌اند. زه‌آب تصفیه شده سپس وارد حوضچه‌های تبخیری می‌شود که خطری برای پرندگان نخواهد داشت. به نظر می‌رسد که تالابهای مصنوعی پتانسیل خوبی را برای حفاظت از اکوسیستم‌های آبی و ماهیان، هم در پایین دست و هم در حوزه‌های بسته دارا باشند.

۲-۱-۴- روش‌های تخلیه زه‌آب

حتی پس از اقدامات موفقیت‌آمیز حفاظتی و استفاده مجدد، همواره مقداری زه‌آب باقی می‌ماند که نیاز به تخلیه آن می‌باشد. گزینه‌های تخلیه عمدتاً به موقعیت خروجی زهکش یا مکان‌های تخلیه طبیعی مثل نهرها، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها وابسته می‌باشند. تخلیه به آبهای سطحی شامل تخلیه به نهرها، رودخانه‌ها، دهانه‌های رودخانه و زهکش‌های مصنوعی برای انتقال زه‌آب و تخلیه به داخل اقیانوس‌ها، دریاچه‌های نمک و حوضچه‌های تخلیه است. راه حل دیگر تخلیه، تزریق زه‌آب به چاه‌های عمیق است. علاوه بر شرایط زهکشی طبیعی، امکان اجرای هرکدام از این اقدامات به کیفیت و کمیت زه‌آب مورد نظر برای تخلیه، خطرات بهداشتی و زیست محیطی، تکنولوژی و منابع قابل دسترسی و مسائل اقتصادی بستگی دارد. جدول (۴) روش‌های تخلیه زه‌آب را بطور مختصر ارائه می‌دهد. تخلیه زه‌آب به سیستم‌های آب سطحی طبیعی بایستی کمترین ضرر را به دیگر مصرف‌کنندگان آب در پایین دست (کشاورزی، صنعتی، شهری) و حیات وحش وارد نماید. در حوزه‌های بسته، تخلیه زه‌آب بر روی زمین و حوضچه‌های تبخیری باید به گونه‌ای باشد که بر اکولوژی منطقه، بخصوص حیات جانوران آبزی (شامل ماهی‌ها و پرندگان دریایی) ضرری وارد نسازد.

جدول (۴) – اقدامات تخلیه زه‌آب، عملیات و نکات قابل توجه

گزینه‌ها	فعالیت‌ها	ملاحظات
تخلیه به رودخانه	زه‌آب به داخل رودخانه‌ها، نهرها و غیره رها می‌شود. از آنجا به بعد مسیر خود را برای جایی که مناسب نشست است مثل اقیانوس‌ها و دریاچه‌های نمک پیدا می‌کند. این گزینه مخصوصاً برای تخلیه طولانی مدت مناسب است.	تخلیه در رودخانه و دریاچه‌ها نباید بی جهت به دیگر استفاده‌های جریان‌های پایین دست حساس مثل آب مورد نیاز برای حفاظت از اکوسیستم‌های آبی، زیان برساند. تخلیه رودخانه‌ای گاهاً توسط قوانین تخلیه‌ای محدود می‌گردد.
حوضچه‌های نبخیر	تخلیه زه‌آب به داخل گودال‌های طبیعی یا حوضچه‌های طراحی شده بدون پوشش. آب جمع شده از طریق تبخیر و نفوذ به داخل زمین از بین می‌رود و نمک و عناصر کمیاب باقی می‌ماند.	مسئله عناصر کمیاب می‌توانند بر زندگی پرندگان و حیات وحش تأثیر گذاشته و درچرخه غذایی آبزیان به سطوح سمی برسند. تأثیر مواد سمی را می‌توان با انجام اقدام بخصوصی کاهش داد. نفوذ زیاد می‌تواند خطر جدی را برای آلودگی منابع آب زیرزمینی فراهم نماید.
دهانه خروجی در دریاچه‌های نمک و اقیانوس‌ها	محل‌های ساخته شده در دهانه‌های رودخانه برای تخلیه فاضلاب‌ها به داخل اقیانوس‌ها یا دریاچه‌های نمک	ساخت دهانه‌های خروجی زهکش‌ها در مسافت‌های طولانی معمولاً کار هزینه بری است و بایستی فقط در مواردی که دیگر محرک‌ها کارساز نیستند و یا آب جریان یافته از کیفیت نسبی برخوردار است، انجام شود. در تخلیه به داخل اقیانوس‌ها، خلیج‌ها و خورها اگر مواد تخلیه‌ای شامل عناصر کمیاب سمی باشند، عمل تخلیه با محدودیت صورت خواهد گرفت. تخلیه در رودخانه‌های جزر و مدی احتیاج به دریچه‌های جزر و مدی دارد که از دخول ناخواسته آب شور در هنگام جزر و مد های بلند مدت جلوگیری شود.
تزریق در اعماق خاک	زه‌آب تصفیه شده گاهی اوقات به داخل لایه‌های زیرزمینی نفوذپذیر مجاور حوزه‌های آب زیرزمینی تزریق می‌شود	ایجاد لجن‌های میکروبی و حضور اجزای کلوئیدی می‌تواند در نفوذپذیری تأثیر بگذارد که در این مورد، خطر تراوش آب بی کیفیت به داخل آب تازه در سازندهای آب زیرزمینی وجود دارد

۲-۲- روش‌های غیر فیزیکی مدیریت زه‌آب

به منظور نتیجه‌گیری بهتر، اقدامات مدیریتی غیر فیزیکی مانند سیاست گذاری‌ها و وضع قوانین باید با گزینه‌های فیزیکی مدیریت زه‌آب همراه باشند. کشورهای مختلف قوانین گوناگونی وضع کرده‌اند که معمولاً بخشی از سیاست‌های عمده مرتبط با آلودگی محیط زیست است. یکی از اصولی که با توجه به

مسئله آلودگی بسیار مطرح شده، دریافت جریمه از آلوده کننده می‌باشد. این بدان معنی است که سیاست جریمه باعث شود در رفتار کشاورز تغییر حاصل شود، به گونه‌ای که آلودگی حداقل شده و یا لااقل فرد آلوده کننده، هزینه حاصل از آلودگی را بپردازد. مشکل اساسی ابزارهای سیاسی در مدیریت زه‌آب این است که کاهش کیفیت آب کشاورزی بیشتر بخاطر آلودگی‌های غیر نقطه‌ای است. کمی کردن و تعیین ارتباط بین عملیات کشاورزی و کاهش کیفیت آب کشاورزی نیز معمولاً مشکل است.

۳- اهمیت کیفیت آب در مدیریت زه‌آب‌ها

به طور کلی چندین عامل به منظور بررسی و تعیین محدودیت‌ها و موقعیت‌ها برای کاربرد، تصفیه و تخلیه مطمئن زه‌آب وجود دارد. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در محل تولید زه‌آب، مواردی همچون میزان تولید زه‌آب در واحد سطح، غلظت مواد مهم شیمیایی و میزان پخش مواد را شامل می‌شود. با توجه به نگرانی‌هایی که در مورد حفظ محیط زیست وجود دارد، لذا باید با بهره گیری از داده‌ها و اطلاعات کافی در مورد کیفیت آب زهکشی و سایر نکات اشاره شده، مدیریت مناسبی را بر روی زه‌آب اعمال نمود. جدول (۵) خلاصه‌ای از تغییرات مورد انتظار کیفیت آب را در جریان آب برگشتی نسبت به آب آبیاری نشان می‌دهد. تفاوت‌های مورد انتظار در کیفیت آب برگشتی (نسبت به آب مصرفی) به جهت تغییرات غلظت در آب مصرفی قابل توجیه است. کیفیت آب‌های سرریز شده (آب‌های میان‌بر[1]) از شبکه توزیع انتظار نمی‌رود که تفاوت زیادی با آب منبع داشته باشد، مگر در مواردی که رسوبات وارد آب شوند. برعکس، رواناب سطحی یا آب اضافه آبیاری حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای رسوبات و مواد مغذی چسبیده به آنها (بخصوص فسفر)، به اضافه مواد شیمیایی مصرفی در کشاورزی مانند سموم دفع آفات و کودهای ازته (مخصوصاً آمونیاک غیر هیدراته) می‌باشد. آب مازاد حاصل از آبیاری و آب مصرفی از لحاظ شوری و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (که اصطلاحاً BOD نامیده می‌شود) شبیه به هم هستند. زه‌آب حاصل از زهکش زیرزمینی سرشار از ترکیبات

جدول (۵)- خصوصیات کیفی مورد انتظار آب‌های برگشتی حاصل از آبیاری

پارامترهای کیفی	آب سرریز شده	آب مازاد آبیاری	آب زه کشی
کیفیت عمومی	۰	+	++
شوری	۰	۰ ، +	++
نیتروژن	۰	۰ ، + ، ++	++،+
BOD	۰	۰ ، +	۰،−،−−
رسوبات	− ، +	+ ، +	−−
سموم	۰	+ ، +	۰،−،+
فسفر	۰ ، +	+ ، +	۰،−،+

۰ با آب مصرفی تفاوت چندانی ندارد

+ ، − کمی افزایش یا کمی کاهش مورد انتظار است

+ + افزایش قابل توجه بخاطر اثرات تغلیظ، کاربرد مواد شیمیایی در کشاورزی، فرسایش، وارد شدن مواد اولیه خاک و غیره

−− کاهش قابل توجه بخاطر فیلتراسیون، تثبیت، تجزیه بیولوژیکی و غیره

1- Bypass

محلـول ماننـد نمـک‌هـای معدنـی محلـول، نیترات‌ها و مقدار ناچیز رسوبات می‌باشد، در صورتی که سایر پارامـترهای کیفی آن شبیه آب آبیاری می‌باشد. تغییرات ایجاد شده در کیفیت آب برگشتی به عواملی چون روش‌هـای آبیاری، خصوصیات و شرایط خاک، مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی (کودها، سموم و مواد اصلاح‌کننده)، هیدرولوژی، سیستم زهکشی، اقلیم و مدیریت آب کشاورزان بستگی دارد.

در بسیاری از مناطق جهان شهرها و کارخانجات فاضلاب‌های خود را به زهکش‌های روباز که در ابتدا صرفاً برای انتقال زه‌آب‌های کشاورزی و سیلاب‌ها احداث شده‌اند، تخلیه می‌کنند. در کشورهای در حال توسعه، غالب فاضلاب‌های شهری و صنعتی قبل از اینکه به زهکش‌های روباز بریزند به طور مناسب تصفیه نمی‌شوند. پیامد آن خطر آلوده شدن آب زهکشی کشاورزی توسط میکروب‌ها، پاتوژن‌های بیماریزا، مواد آلی سمی، عناصر نادر و فلزات سنگین است. شناخت ترکیبات و قدرت پیش‌بینی تغییرات آنها در زه‌آب که منجر به ایجاد تغییر در گیاه، عملیات مدیریتی آبیاری و آب زهکشی می‌شود، در برنامه‌ریزی و مدیریت آب زهکشی شده اهمیت دارد.

۳-۱- عوامل تاثیرگذار بر کیفیت آب زهکشی

۳-۱-۱- زمین‌شناسی و هیدرولوژی

خصوصیات زمین‌شناسی منطقه نقش مهمی را در کیفیت آب زهکشی ایفا می‌کند. در طول فرآیند هوازدگی، انواع سنگ‌ها (مادری و رسوبی) در لایه‌های بالایی و پایینی نشان‌گر نوع و میزان عناصر یافت شده در مناطق آبیاری هستند. اقیانوس‌ها در طول دوره‌ای از تاریخچه زمین‌شناسی، قسمت‌های زیادی از قاره‌ها را به زیر آب برده‌اند. بالا آمدن مجدد این تشکیلات زمین شناسی از زیر آب و عقب‌نشینی دریاها منجر به تشکیل سنگ‌های رسوبی با نمک زیاد همچون سدیم، کلر، منیزیم، سولفات و بور شده است. تشکیلات زمین‌شناسی مذکور در ضخامت‌ها، اعماق و امتدادهای متفاوت در قاره‌ها وجود دارند. در طول فرآیندهای هیدرولوژی، املاح می‌توانند توسط آبیاری یا سیلاب، جریان رو به بالای آب زیرزمینی در مناطق نشت، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی یا صعود کاپیلاری به لایه‌های بالا منتقل شوند. چناچه این املاح در لایه‌های فوقانی جای گرفته باشند، از طریق مدیریت آبیاری و زه‌آب کشاورزان، بر کیفیت آب زهکشی تأثیر می‌گذارند.

۳-۱-۲- خاک‌ها

خاک تنها یک محیط رشد برای گیاهان نیست، بلکه آب و مواد غذایی را در خود ذخیره کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد. فرسایش‌پذیری و هوازدگی شیمیایی خاک منجر به تولید ذرات معلق و محلول در آب می‌شود که در برگیرنده عناصر غذایی تا همه انواع آلودگی می‌باشند. در اکثر مناطق خشک با دشت‌های مسطح، کیفیت آب زهکشی غالباً تحت تأثیر آب نفوذ یافته به نیمرخ خاک و جریان املاح متأثر از فرآیندهای جذب و حلالیت عناصر است تا رواناب سطحی. در برخی مناطق، هوازدگی ذرات خاک ممکن است نقش

مهمی را در کیفیت زه‌آب داشته باشد (مانند حل شدن گچ). لیکن، توانایی خاک در جذب و رهاسازی یون‌ها از طریق تبادل یونی و تبدیل عناصر شیمیایی از طریق واکنش‌های احیاء میکربی نقش مهمتری را در کیفیت آب زهکشی ایفا می‌کند. در این زمینه خصوصیات خاک از قبیل ظرفیت نگهداری خاک، هدایت هیدرولیکی، میزان رس و مواد آلی، عناصر معدنی و میکرب‌ها تأثیرگذار می‌باشند. تخریب خاک به شکل فرسایش، تراکم و کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی، ظرفیت نگهداری آب و املاح خاک را کاهش می‌دهد. این مسئله حرکت املاح در خاک را افزایش داده که در نتیجه، آلاینده‌هایی مانند نمک‌ها و آفت‌کش‌ها کیفیت آب زیرزمینی را به خطر می‌اندازد.

۳-۱-۳- اقلیم

با توجه به انتقال املاح در خاک در اثر حرکت آب، اقلیم یک عامل مهم تأثیرگذار در کیفیت زه‌آب می‌باشد. در مناطق گرمسیری مرطوب و معتدل، غالباً حرکت آب در خاک در جهت عمودی و به سمت پایین صورت می‌گیرد. مواد حل شونده که توسط کشاورز به سطح خاک افزوده می‌شوند یا به طور طبیعی در لایه‌های فوقانی خاک حضور دارند، در اثر آبشویی به لایه‌های عمیق‌تر خاک و آب زیرزمینی منتقل می‌شوند. برعکس در اقلیم‌های خشک که تبخیر بیش از بارش است، حرکت آب به صورت عمودی و رو به بالا می‌باشد (بجز در هنگام آبیاری و بارندگی). بنابراین ترکیبات شیمیایی لایه‌های عمیق‌تر خاک بر کیفیت آبهای زیرزمینی کم عمق و همچنین بر ترکیبات رطوبت خاک در منطقه ریشه اثر می‌گذارد. اقلیم و دمای هوا همچنین بر میزان هوازدگی و فرآیندهای شیمیایی خاک مؤثرند.

۳-۱-۴- استفاده از نهاده‌های کشاورزی

استفاده از کودها، سموم و مواد اصلاح‌کننده آب و خاک ممکن است تأثیر بسزایی بر کیفیت زه‌آب داشته باشند. مقادیر و زمان استفاده از نهاده‌ها در مرحله رشد گیاهان، زمان آبیاری، عملیات زهکشی و اقدامات حفاظتی خاک اساساً تعیین‌کننده تأثیر کودها، مواد اصلاح کننده و آفت‌کش‌ها بر کیفیت آب زهکشی می‌باشند. علاوه بر این، خصوصیات خود کودها هم در آلودگی زه‌آب‌ها نقش اساسی دارند.

۳-۱-۵- مدیریت آبیاری و زهکشی

در مناطق خشک، مدیریت آبیاری و زهکشی از عوامل اساسی تأثیرگذار بر جریانات سطحی و درونی خاک می‌باشند. جابجایی املاح عموماً از طریق جریانات آب خاک صورت می‌پذیرد، لذا مدیریت آبیاری و زهکشی تا حدود زیادی جریان املاح در خاک را مشخص می‌کند. در مدیریت آبیاری، زمان‌بندی بر اساس نیاز آبی گیاه و زمان مصرف کود و سم، راه حل اساسی جهت کنترل عناصر قابل حلی است که به زیر منطقه ریشه شسته شده و وارد لوله‌های زهکش می‌شوند. زمان آبیاری همچنین بر صعود شعریه در منطقه ریشه تأثیرگذار است. صعود شعریه سبب تجمع نمک در منطقه ریشه می‌شود، اما در عین حال نیاز

به آبیاری را کم می‌کند. میزان آبیاری نیز به اندازه زمان آبیاری اهمیت دارد. آب اضافی (شامل باران نفوذ یافته) به لایه‌های زیرین خاک نشت می‌کند.

۳-۱-۶- تکنیک‌های زهکشی و طراحی

انتخاب تکنولوژی و طراحی مطمئن زهکشی اثر قابل توجهی بر کیفیت آب زهکشی دارد. زهکشی زیرزمینی جریان آب در خاک را افزایش می‌دهد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که زهکشی زیرزمینی در مقایسه با زهکشی سطحی مقدار رواناب و متعاقباً آلودگی فسفره را کاهش و در عین حال آبشویی نیترات را افزایش می‌دهد. به محض ورود آب آبشویی به داخل زهکش، غلظت ازت در زه‌آب خروجی و نهایی افزایش می‌یابد. به همین طریق، زهکشی زیرزمینی دیگر عناصر موجود در خاک را گرفته و تخلیه می‌نماید. این مسئله امکان کنترل نمک‌های مضر و عناصر سمی را در منطقه ریشه برای تولید عملکرد مطلوب فراهم می‌نماید، ولی امکان تخلیه و استفاده مجدد از زه‌آب را کاهش می‌دهد.

۳-۲- خصوصیات کیفی زه‌آب‌ها

۳-۲-۱- نمک‌ها و یون‌های عمده

کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده و منشاء شوری عبارتند از سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، بیکربنات، سولفات، کلرید و نیترات. شوری زه‌آب معمولاً در شکل مقدار هدایت الکتریکی (EC) بر حسب دسی زیمنس بر متر (dS/m) یا کل نمک محلول (TDS) بر حسب میلی گرم بر لیتر بیان می‌شود. نفوذ عمقی باعث جابجا شدن نمک تجمع یافته در نیمرخ خاک می‌گردد که ممکن است در اثر هوازدگی شیمیایی، وزش گرد نمک و نمک حاصل از تبخیر آب آبیاری حاصل شده باشند. بنابراین میزان نمک جمع آوری شده توسط زهکش‌های زیرزمینی، بازتاب خصوصیات شوری محلول خاک است که به نوبه خود متأثر از مواد مادری خاک، شوری آب زیرزمینی کم عمق و نمک‌های حاصل از آب آبیاری است. در بسیاری از مناطق، ترکیب زه‌آب بیشتر متأثر از ترکیب معدنی آب زیرزمینی عمیق است که توسط زه کش‌ها تخلیه می‌شود.

غلظت نمک در زه‌آب‌ها یکی از نگرانی‌های اساسی در کشاورزی آبی است. شوری در محل ریشه فشار اسمزی محلول خاک را افزایش می‌دهد. معمولاً بخش عمده‌ای از کاتیون‌های جذب سطحی شده خاک را کلسیم و منیزیم دو ظرفیتی تشکیل می‌دهند. کاتیون‌های دو ظرفیتی که جذب کانی‌های رس می‌شوند ساختمان و استحکام خاک را تأمین می‌کنند. در جایی که کاتیون‌های تک ظرفیتی غالب باشند (مخصوصاً سدیم)، ساختمان خاک استحکام خود را از دست داده و براحتی تخریب می‌شود. چون کاتیون‌ها می‌توانند با یکدیگر تبادل داشته باشند، ترکیب کاتیون‌های قابل تبادل به بخشی از کاتیون‌ها که در محلول خاک حضور دارند وابسته است. بنابراین در جایی که استفاده مجدد از زه‌آب برای آبیاری مورد نظر است، نه تنها کل غلظت نمک باید در نظر گرفته شود بلکه نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم، که معمولاً به نسبت جذب سدیم (SAR) معروف است نیز باید در نظر گرفته شود. آب‌هایی با بیکربنات فراوان تمایل به تشکیل

رسوب کربنات کلسیم دارند. این مسئله ممکن است باعث افزایش SAR در محلول خاک و افزایش درصد سدیم قابل تبادل (ESP) شود.

ترکیب نمک‌ها نیز مسئله مهمی برای رشد محصولات است. غالب بودن یون‌های خاصی ممکن است باعث عدم تبادل در جذب یون‌ها شود. این مسئله باعث کمبود عناصر خاص و کاهش عملکرد گیاه می‌شود. تراکم بیش از حد سدیم مانع جذب کلسیم و در نتیجه باعث مشکلات تغذیه‌ای می‌شود. سایر یون‌ها می‌توانند سمی باشند و هنگامی که در گیاه تجمع یابند، باعث ظاهر شدن علائم بیماری گردند. عناصر سمی بسیار مهم عبارتند از کلر، سدیم و بور.

۳-۲-۲- عناصر کمیاب سمی

عناصر کمیاب معمولاً به میزان کم در طبیعت وجود دارند. بسیاری از این عناصر در مقدار خیلی کم جزو ریز مغذی‌های اساسی هستند مانند آهن، منگنز، مولیبدن و روی، اما مرز بین کمبود و سمی بودن آنها به یکدیگر نزدیک است. عناصر کمیاب نگران‌کننده در زه‌آب‌های حاصل از اراضی آبی شامل: آرسنیک، بور، کادمیم، کروم، مس، سرب، جیوه، مولیبدن، نیکل، سلنیم، استرانسیم، اورانیم، وانادیم و روی هستند. فلزات سنگین کمیاب توسط مینرال‌های خاک شدیداً تثبیت شده و فقط در بالاترین لایه‌های خاک تمایل به جابجایی دارند. لیکن بعضی از آنها در حضور مواد آلی به شکل ترکیبات آلی- فلزی و جابجا پذیر در می‌آیند. بعضی از عناصر کمیاب (آرسنیک، سلنیم، مولیبدن و اورانیم) به شکل احیاء شده (ترسیبی یا عنصری) نسبتاً بی‌حرکت هستند و گونه‌های اکسید شده و حرکت پذیر آنها جذب می‌شوند. برای مثال سلنیم در خاک‌های قلیایی و کاملاً اکسید شده قابل حل است.

همانند نمک‌های معدنی محلول، عناصر کمیاب نیز در منطقه ریشه تغلیظ می‌شوند، زیرا کم و بیش آب خالص وارد اتمسفر شده و عناصر کمیاب در محلول خاک باقی می‌مانند. یکی از راه‌های عمده ورود فلزات سنگین و عناصر کمیاب به زه‌آب‌ها، تخلیه فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی به سیستم‌های زهکشی است. همچنین کاربرد برخی از انواع کودهای شیمیایی (دارای مواد پایه‌ای فلزی) در اراضی کشاورزی، آلودگی خاک‌ها به برخی از انواع فلزات سنگین نظیر کادمیوم را موجب شده است. در آب‌های طبیعی میزان عناصر کمیاب بسیار پایین است. غلظت بالای آنها تأثیرات منفی و مضری بر حیات آبزیان دارد. بعضی از عناصر کمیاب مانند جیوه و سلنیم بخاطر طبیعت زیست انباشتشان حتی در غلظت‌های کم نگران‌کننده هستند.

۳-۲-۳- آلاینده‌های کشاورزی

مواد مغذی و آفت‌کش‌ها دو آلاینده اساسی در زه‌آب‌های کشاورزی محسوب می‌شوند. اکثر کودهای ازته به شدت حل شدنی و تحرک‌پذیر می‌باشند، بطوری که نیترات براحتی از طریق آبشویی وارد زه‌آب

می‌شود. بخشی از کودهای ازته که از آمونیوم یا آمونیاک خشک[1] ساخته شده ابتدا جذب کمپلکس خاک می‌شوند، اما یون‌های آمونیوم به راحتی اکسیده شده و به نیترات تبدیل می‌شوند. این مسئله در مورد اوره حاوی کودهای ازته نیز صادق است که سرانجام اکسیده شده و به نیترات تبدیل می‌شود.

در عوض، کودهای فسفره در خاک کمتر جابجا می‌شوند، زیرا حلالیت آنها بسیار کم است. فسفات‌ها روی سطوح مثبت مواد آلی موجود در خاک و کانی‌های خاک جذب می‌شوند. راه اساسی ورود فسفر به زه‌آب از طریق رواناب می‌باشد که حاوی رسوبات غنی شده از فسفات آلی و غیر آلی می‌باشد. رواناب ممکن است شامل باقیمانده‌های آمونیاک تزریق شده به آب آبیاری باشد. آمونیاک برای ماهی‌ها بسیار سمی است. رواناب ممکن است شامل ازت آلی چسبیده به رسوبات نیز باشد. وجود بیش از حد ازت و فسفات در پساب‌های کشاورزی ممکن است باعث اتروفیکاسیون[2] واحدهای آبی شود.

مواد اصلاح‌کننده آب و خاک (مانند گچ) ممکن است اثرات قابل توجهی در شور شدن داشته باشند. اگر چه حلالیت گچ کم است، کلسیم حاصل از گچ ممکن است با سدیم جذب شده مبادله شود و سولفات سدیم که یک ماده معدنی با حلالیت بسیار زیاد است حاصل شود. اصلاح کننده‌های اسیدی با کربنات کلسیم خاک واکنش کرده، اما باعث شوری خاک نمی‌شوند، زیرا حلالیت کربتات کلسیم بسیار پایین است. در صورتی که کودهای حیوانی معدنی شوند، نیترات‌ها و نمک‌ها تولید می‌شوند. بعضی از کودهای حیوانی (مانند کود پرندگان) شامل مقادیر قابل ملاحظه‌ای نمک می‌باشند.

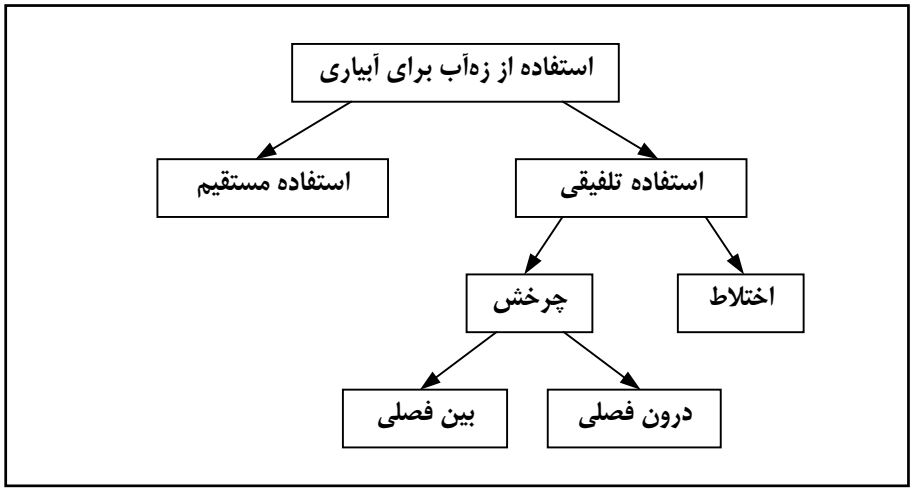
هنگامی که یک آفت کش وارد خاک می‌شود، سرنوشت آن بیشتر به جذب و پایداری آن بستگی دارد. جذب بیشتر به مقدار کربن آلی خاک بستگی دارد، در صورتی که پایداری برحسب نیمه عمر (زمان لازم برای اینکه ۵۰٪ ماده شیمیایی تجزیه و یا به ماده دیگر تبدیل شود) ارزیابی می‌شود. آفت‌کش‌ها با ضریب جذب پایین و حلالیت بالا در آب براحتی شسته می‌شوند در حالیکه آفت کش‌ها با نیمه عمر طولانی پایدار می‌باشند.

آفت‌کش‌ها از نظر رفتار بسیار متفاوت می‌باشند. آفت‌کش‌هایی که براحتی در آب حل می‌شوند میل زیادی به شسته شدن و ورود به آب‌های زیرزمینی یا خارج شدن همراه با رواناب (حاصله از آبیاری یا بارندگی) را دارند. آفت‌کش‌هایی که فشار بخار بالایی دارند در موقع مصرف براحتی وارد اتمسفر می‌شوند. آفت‌کش‌هایی که به شدت جذب ذرات خاک می‌شوند براحتی شسته نمی‌شوند، ولی ممکن است همراه با رسوبات از اراضی کشاورزی خارج شوند. آفت‌کش‌ها ممکن است به صورت شیمیایی توسط فرآیندهای هیدرولیز و فوتوشیمیایی و یا به صورت بیولوژیکی کاهش یافته یا بوسیله میکروب‌های خاک تغییر شکل پیدا کنند. بنابراین به خاطر نقش فیلتری خاک‌ها، بسیاری از آفت‌کش‌ها عمدتاً در زه‌آب سطحی یافت می‌شوند و نه در زه‌آب‌های زیر زمینی. در هر صورت، بعضی از آفت‌کش‌ها تمایل به شسته شدن از نیمرخ خاک و تجمع در آب زیرزمینی را دارند (مانند DBCP و آترازین).

1- Anhydrous
2- Eutrophication

۴- روش‌های استفاده مجدد از زه‌آب در تولید محصولات کشاورزی مرسوم

زه‌آب با کیفیت مناسب می‌تواند مستقیماً برای تولید محصول مورد استفاده واقع شود. از طرف دیگر، زه‌آب به صورت تلفیقی با آب شیرین نیز می‌تواند مورد استفاده مجدد قرار گیرد (شکل ۱). این تلفیق به دو صورت استفاده چرخشی و اختلاط امکان‌پذیر است. در استفاده چرخشی، دو منبع آب به طور متناوب در یک فصل کشت مورد استفاده قرار می‌گیرند (استفاده چرخشی درون فصلی)، یا اینکه هر دو منبع آب به طور جداگانه در طول فصول برای گیاهان مختلف استفاده می‌گردد (استفاده چرخشی بین فصلی). انتخاب گزینه‌ای مطمئن برای استفاده مجدد به چند عامل مهم بستگی دارد که عبارتند از: کیفیت زه‌آب، مقاومت گیاه به شوری و میزان دسترسی به منابع آب شیرین. مقدار و زمان دسترسی به زه‌آب نیز از مسائل مهم و اصلی می‌باشد. به طور مثال در جایی که قرار است در یک سیستم آبیاری از زه‌آب استفاده گردد، مسئله مهم این است که زه‌آب به طور مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد یا به صورت چرخشی.



شکل (۱) – استفاده از زه‌آب برای تولید محصول

۴-۱- استفاده مستقیم

استفاده مستقیم از زه‌آب معمولاً در سطح مزرعه و بدون اختلاط با آب شیرین انجام می‌گیرد. نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که آبیاری سطحی با استفاده مستقیم از زه‌آب و بدون کاهش محصول، در صورتی امکان‌پذیر است که شوری زه‌آب از حد آستانه برای گیاهان مورد نظر فراتر نرود و شرایط زهکشی از وضعیت خوبی برخوردار باشد. از آنجا که گیاهان در دوران اولیه رشد نسبت به شوری حساس‌ترند، پیش آبیاری توسط آبی با کیفیت مناسب دارای اهمیت خاصی می‌باشد. به منظور دستیابی به محصول بیشتر، لازم است تا پیش آبیاری با آب شیرین انجام شود و در آبیاری‌های بعد، از زه‌آب استفاده گردد. تحت چنین شرایطی، استفاده از زه‌آب با میزان شوری بیشتر از حد آستانه توأم با حفظ محصول

امکان پذیر می‌باشد. ادامه استفاده بلند مدت مستقیم از زه‌آب بستگی به حفظ بیلان نمک در شرایط مطلوب و جلوگیری از تخریب خاک در نتیجه مشکلات سدیمی شدن دارد.

۴-۲- استفاده تلفیقی - اختلاط

در جایی که شوری زه‌آب از مقدار آستانه برای تولید بهینه محصول بیشتر باشد، می‌توان زه‌آب را با سایر منابع آب مخلوط کرد تا از کیفیت قابل قبولی برای کشت گیاهان مورد نظر برخوردار شود. حساس‌ترین گیاهان به شوری تعیین کننده کیفیت آبی هستند که از اختلاط زه‌آب زهکش‌های اصلی با آب کانال‌های اصلی به دست می‌آیند. در جایی که عملیات اختلاط در سطح مزرعه انجام می‌شود، شوری آب می‌تواند به میزان تحمل شوری هر یک از گیاهان اصلاح گردد. علاوه بر این، محصول واقعی به عوامل متعددی از قبیل عوامل فیزیکی، اقلیمی و مدیریت زراعی وابسته است. در کل، هنگامی که تمام آبیاری‌ها با آب اختلاط یافته صورت گیرد، حداکثر شوری مجاز به حد آستانه گیاه بستگی دارد. جایی که برای پیش آبیاری از آب شیرین استفاده گردد، شوری آب اختلاط یافته می‌تواند بیش از شوری حد آستانه باشد بدون اینکه بر تولید محصول تأثیر بگذارد. به منظور حفظ بیلان شوری مطلوب در منطقه ریشه، آبشویی نمک‌ها ضروری است. دستورالعمل‌های فوق را می‌توان برای رسیدن به این مقصود نیز به کار برد. از طرف دیگر، اگر مقاومت گیاهان به شوری در انتهای دوره رشد کمتر شده یا اگر گیاهان حساس به شوری پس از گیاهان مقاوم به شوری کشت شود، لازم است سطح شوری به حدی کاسته شود تا برای رشد گیاه دوره بعد مسئله‌ساز نباشد.

۴-۳- استفاده تلفیقی - چرخشی

استفاده چرخشی که همچنین با عناوین کاربرد پی در پی[1] یا متناوب[2] نیز شناخته شده، تکنیکی است که امکان کاربرد تلفیقی آب شیرین و زه‌آب شور خروجی از زهکش‌ها را فراهم می‌سازد. در این روش، زه‌آب شور در چرخه‌ای از پیش تعیین شده جانشین آب کانال می‌شود. استفاده چرخشی در جایی کاربرد دارد که شوری زه‌آب از مقدار شوری آستانه برای گیاه بیشتر شده باشد. یک حالت از استفاده چرخشی بدین صورت است که دو نوع منبع آب متفاوت می‌تواند به طور جداگانه در مزرعه به کار برده شود. بنابراین، این روش در سطح شبکه آبیاری کاربرد نداشته، بلکه در کانال‌های درجه ۳ و یا در سطح مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش چرخشی استفاده از زه‌آب می‌تواند به صورت‌های درون فصلی و بین فصلی به‌کار گرفته شود. در روش بین فصلی همان اصولی رعایت می‌شود که در کاربرد مستقیم زه‌آب برای هر فصل کشت و کار

1- Sequential
2- Rotational

مرسوم است. در استفاده چرخشی درون فصلی، آب غیر شور در مراحل حساسیت گیاه به شوری و آب شور در زمانی که مقاومت به شوری گیاه افزایش یافته است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

استفاده گردشی درون فصلی، پتانسیل قابل توجه‌ای را ایجاد می‌نماید، زیرا تحمل به شوری همه گیاهان در تمامی مراحل رشد یکسان نیست. بسیاری از گیاهان در دوران اولیه رشد و در زمان جوانه‌زنی به شوری حساسیت دارند. علاوه بر این، دوران گلدهی گیاه نیز بسیار بحرانی می‌باشد. مقاومت به شوری معمولاً با سن گیاه افزایش می‌یابد.

گزینه مدیریت پایدار و طولانی مدت کاربرد زه‌آب به حفظ بیلان مطلوب نمک و اجتناب از تجمع عناصر کمیاب در ناحیه ریشه تا حد مسمومیت‌زا برای رشد گیاه اختصاص می‌یابد. در روش گردشی لازم است تا به تخریب خاک ناشی از مصرف آب‌های سدیمی توجه گردد. درصد بالای سدیم قابل تبادل در کمپلکس تبادلی خاک معمولاً در صورتی منجر به تخریب خاک نمی‌شود که کاربرد آب شور جهت جلوگیری از گسترش به اصطلاح لایه مضاعف پخشیده[1] جبران گردد. هرچند، در نتیجه آبیاری با آب حاوی شوری کم یا آب باران، لایه مضاعف پخشیده توسعه یافته و منجر به پراکندگی خاک می‌شود. اضافه نمودن مواد اصلاح کننده خاک یا ترجیحاً آب جهت جایگزینی سدیم بالا با کلسیم و منیزیم در آب آبیاری شور می‌تواند از بروز چنین مشکلاتی جلوگیری نماید.

۵- مراجع

۱- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (۱۳۸۱). زهکشی، کمیت و کیفیت جریان برگشتی. ترجمه و تدوین گروه کار زهکشی. شماره انتشار ۵۷، شابک: ۰-۳۸-۶۶۶۸-۹۶۴. ۱۷۲ صفحه.

۲- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (۱۳۸۰). مدیریت کیفیت زه‌آب‌های کشاورزی. ترجمه و تدوین گروه کار زهکشی. شماره انتشار ۴۳، شابک: ۴-۱۹-۶۶۶۸-۹۶۴. ۱۶۶ صفحه.

۳- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (۱۳۷۷). ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح‌های آبیاری و زهکشی. ترجمه و تدوین گروه کار اثرات زیست محیطی طرح‌های آبیاری – زهکشی و کنترل سیلاب. شماره انتشار ۱۹، شابک: X-۰۲-۶۶۶۸-۹۶۴. ۱۳۳ صفحه.

4- Bower, H. (2000). Integrated water management: emerging issues and challenges. Agricultural water management, vol. 45, pp 217-228.

5- California State University (2004). Managing agricultural irrigation drainage water, a landowners manual (a guide for developing integrated on-farm management systems). Developed for the state water resources control board, U.S.A.

6- Sharma, D. P. and K. V. G. K. Rao (1998). Strategy for long term use of saline drainage water for irrigation in semi-arid regions. Soil and tillage research, vol. 48, issue 4. pp 287-295.

1- Diffuse double layer

7- Tanji, K. K. and N. C. Kielen (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO No. 61, Rome. ISSN 0254-5284.
8- Westcot, D. W. (2003). Reuse and disposal of higher salinity subsurface drainage water (a review). Agricultural Water Management, vol. 14. pp 483-511