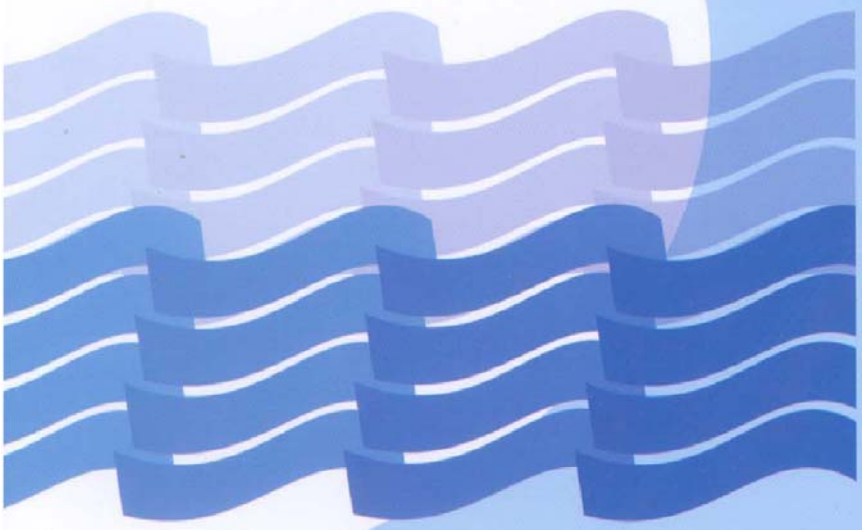
وزارت نیرو
معاونت امور آب و آبفا
دفتر استانداردهای فنی،مهندسی،
اجتماعی و زیست‌محیطی آب و آبفا

پیش‌نویس

راهنمای استفاده و مدیریت زهاب‌های کشاورزی



نشریه شماره ۴۳۲- الف

مرداد ماه ۱۳۹۴

پیش‌نویس

راهنمای استفاده و مدیریت زهاب‌های کشاورزی

نشریه شماره ۴۳۲- الف

مردادماه ۱۳۹۴

بسمه تعالی

پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به‌کارگیری مناسب و مستمر آن‌ها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب‌ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب و آبفا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه ضوابط ومعیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو با همکاری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به منظور تامین اهداف زیر اقدام به تهیه استانداردهای صنعت آب و آبفا نموده است:

- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور

تدوین استانداردهای صنعت آب و آبفا با در نظر داشتن موارد زیر صورت می‌گیرد:

- استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و ماخذ معتبر و استانداردهای بین المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- توجه به اصول و موازین مورد عمل سازمان ملی استاندارد ایران و سایر موسسات معتبر تهیه کننده استاندارد

استانداردها ابتدا به صورت پیش‌نویس برای نظرخواهی منتشر شده و نظرات دریافتی پس از بررسی تیم تهیه‌کننده و گروه نظارت در نسخه نهایی منظور خواهد شد.

امید است کارشناسان و صاحبنظرانی که فعالیت آن‌ها با این رشته از صنعت آب و آبفا مرتبط می‌باشد، با توجهی که مبذول می‌فرمایند این پیش‌نویس را مورد بررسی دقیق قرارداده و با ارائه نظرات و راهنمایی‌های ارزنده خود به دفتر طرح، این دفتر را در تنظیم و تدوین متن نهایی یاری و راهنمایی فرمایند.

تهیه و کنترل «راهنمای استفاده و مدیریت زهاب‌های کشاورزی» [نشریه شماره ۴۳۲- الف]

مجری: دانشگاه تهران – دانشکده کشاورزی

مولف اصلی: مهدی همایی	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای مهندسی منابع آب
اعضای گروه تهیه‌کننده:		
صفورا اسدی کپورچال	دانشگاه گیلان	دکترای مهندسی خاک‌شناسی
مهناز اسکندری	موسسه تحقیقات خاک و آب	دکترای مهندسی خاک‌شناسی
علیرضا حسن اقلی	موسسه تحقیقات مهندسی کشاورزی	دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی
عبدالمجید لیاقت	دانشگاه تهران	دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی
اعضای گروه نظارت:		
ابراهیم پذیرا	دانشگاه آزاد – واحد علوم تحقیقات	دکترای مهندسی منابع آب
انسیه محرابی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	کارشناس ارشد مهندسی سازه‌های آبی
مسعود محمدحسین تجریشی	دانشگاه صنعتی شریف	دکترای مهندسی محیط زیست
منوچهر وثوقی	دانشگاه صنعتی شریف	دکترای مهندسی شیمی
اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی آبیاری و زهکشی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):		
سید اسداله اسدالهی	وزارت نیرو	کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی
عبدالحسین بهنام‌زاده	وزارت جهاد کشاورزی	کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی
محمدصادق جعفری	شرکت مهندسی مشاور مهاب‌قدس	کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی
سیدمجتبی رضوی نبوی	وزارت نیرو	دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی
مهرداد زریاب	شرکت پانیر	کارشناس مهندسی عمران
محمدکاظم سیاهی	شرکت مهندسین مشاور پندام	کارشناس ارشد مهندسی عمران و مهندسی آبیاری و زهکشی
انسیه محرابی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	کارشناس ارشد مهندسی سازه‌های آبی
احمد محسنی	شرکت مهندسین مشاور آبیار نوآور صحرا	دکترای مهندسی کشاورزی گرایش ترویج
محمدجواد منعم	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای مهندسی منابع آب
مریم یوسفی	شرکت مادرتخصصی مدیریت منابع آب ایران	کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	**۱**
فصل اول- کلیات	**۳**
۱-۱- کلیات	۵
۱-۲- ترازنامه آب کشور	۵
۱-۳- زهاب‌های کشاورزی	۷
۱-۳-۱- منشا زهاب‌های کشاورزی	۷
۱-۳-۲- تخمین حجم زهاب‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی	۸
۱-۳-۳- کیفیت زهاب‌های کشاورزی	۹
۱-۴- عوامل موثر بر واکنش گیاه به شوری زهاب‌های کشاورزی	۱۴
۱-۴-۱- شرایط خاک	۱۴
۱-۴-۲- اقلیم و کیفیت هوا	۱۷
۱-۴-۳- عوامل گیاهی	۱۷
۱-۴-۴- عملیات کشاورزی	۱۹
۱-۵- ملاحظات کیفی زهاب‌ها برای مصرف مستقیم و غیرمستقیم	۲۰
۱-۵-۱- تولیدات گیاهی	۲۰
۱-۵-۲- آبزی پروری	۲۴
۱-۵-۳- تولیدات دامی	۲۵
۱-۵-۴- بهداشت جوانع انسانی و حفظ محیط زیست	۲۵
فصل دوم- ضوابط و معیارهای کیفی زهاب‌ها برای مصارف گوناگون	**۲۷**
۲-۱- کلیات	۲۹
۲-۲- مقدمه	۲۹
۲-۳- کاربرد برای آب آبیاری	۳۰
۲-۳-۱- شاخص‌های کیفی زهاب برای استفاده در آبیاری	۳۰
۲-۳-۲- شاخص‌های بهداشتی لازم به هنگام مصرف زهاب‌ها برای آبیاری	۳۱
۲-۳-۳- عناصر موجود در زهاب‌ها و تاثیر آن بر رشد رویشی و زایشی گیاه	۳۴
۲-۳-۴- اثر آبیاری با زهاب‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک	۳۶
۲-۳-۵- دستورالعمل‌های کاربرد زهاب برای آبیاری	۳۸

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲-۳-۶- راهکارهای مدیریتی استفاده از زهاب‌ها برای آبیاری	۴۲
۲-۴- کاربرد برای دام و طیور	۶۷
۲-۴-۱- شاخص‌های کیفی زهاب برای مصارف دامی	۶۷
۲-۴-۲- شاخص‌های بهداشتی دام	۶۹
۲-۴-۳- دستورالعمل‌های لازم برای کاربرد زهاب در واحدهای پرورش دام و طیور	۷۰
۲-۵- کاربرد زهاب‌ها برای آبزی پروری	۷۲
۲-۵-۱- شاخص‌های کیفی زهاب برای آبزی پروری (در شرایط گرم آبی و سرد آبی)	۷۲
۲-۵-۲- شاخص‌های بهداشتی برای پرورش آبزیان (گرم آبی و سردآبی)	۷۳
۲-۵-۳- دستورالعمل‌های کاربرد زهاب برای پرورش آبزیان	۷۳
۲-۶- اثر محصولات تولید شده با زهاب‌های کشاورزی بر سلامت انسان	۷۵
۲-۷- مصارف شهری	۷۵
۲-۷-۱- شاخص‌های کیفی زهاب برای مصارف شهری (غیرشرب)	۷۵
۲-۷-۲- دستورالعمل‌های کاربرد زهاب برای مصارف شهری	۷۶
۲-۸- کاربرد برای فضای سبز	۷۷
۲-۸-۱- شاخص‌های کیفی زهاب‌ها برای مصرف در تفریحگاه‌ها	۷۷
۲-۸-۲- دستورالعمل‌های لازم برای کاربرد زهاب در تفریحگاه‌ها	۷۷
فصل سوم- کنترل کمّی و کیفی زهاب‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی	**۸۱**
۳-۱- کلیات	۸۳
۳-۲- مقدمه	۸۳
۳-۳- اقدامات حفاظتی	۸۳
۳-۴- راهکارهای مدیریتی برای کاهش مصرف آب در مزرعه	۸۵
۳-۴-۱- بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه	۸۵
۳-۴-۲- بهبود یکنواختی و راندمان کاربرد آب	۸۵
۳-۵- مدیریت سطح ایستابی	۸۷
۳-۵-۱- برخی ملاحظات لازم برای مدیریت سطح ایستابی کم عمق	۸۸
۳-۶- مدیریت آب‌شویی املاح	۸۹
۳-۶-۱- آب‌شویی تدریجی همراه با کشت	۸۹

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۶-۲- مدیریت آب‌شویی پیوسته	۹۰
۳-۷- مدیریت زهکشی	۹۰
۳-۷-۱- زهکشی زیستی	۹۰
۳-۷-۲- زهکشی خشک (Dry drainage)	۹۴
۳-۸- آیش زمین	۹۶
۳-۹- راهکارهایی برای کاهش مصرف آب توسط بهره برداران	۹۷
فصل چهارم– ضوابط تخلیه زهاب به منابع پذیرنده	**۹۸**
۴-۱- کلیات	۹۹
۴-۲- مقدمه	۹۹
۴-۳- ضوابط لازم برای تخلیه زهاب‌ها با شرایط مطلوب	۱۰۰
۴-۴- شرایط عمومی تخلیه زهاب‌ها	۱۰۱
۴-۵- تخلیه زهاب به آب‌های سطحی	۱۰۱
۴-۵-۱- تخلیه‌ی زهاب‌ها به آب‌های شیرین	۱۰۱
۴-۵-۲- تخلیه‌ی زهاب‌ها به پهنه‌های آب شور	۱۰۴
۴-۶- تخلیه‌ی زهاب‌ها به حوضچه‌های تبخیری	۱۰۵
۴-۶-۱- طراحی حوضچه‌های تبخیری	۱۰۶
۴-۷- تخلیه‌ی زهاب‌ها به چاه‌های عمیق	۱۰۷
فصل پنجم – تصفیه زهاب‌های کشاورزی	**۱۰۹**
۵-۱- کلیات	۱۱۱
۵-۲- مقدمه	۱۱۱
۵-۳- روش‌های تصفیه مقدماتی زهاب‌ها	۱۱۱
۵-۳-۱- تصفیه‌های فیزیکی	۱۱۱
۵-۳-۲- تصفیه‌های شیمیایی	۱۱۲
۵-۳-۳- تصفیه‌های زیستی	۱۱۲
۵-۴- نمک‌زدایی	۱۱۳
۵-۵- تصفیه عناصر کمیاب و فلزات سنگین	۱۱۳
۵-۶- تصفیه توسط تالاب‌های مصنوعی	۱۱۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۷- استفاده از مواد جاذب آلاینده‌ها (سورفاکتانت‌ها)	۱۱۵
۵-۸- ارزیابی و انتخاب راه کار مناسب برای تصفیه زهاب‌های کشاورزی	۱۱۵
۵-۹- دستورالعمل‌های لازم برای مدیریت و کاربرد زهاب‌های تصفیه شده	۱۱۶
فصل ششم- راهکارهای مدیریتی برای اصلاح کیفیت زهاب‌ها	**۱۱۷**
۶-۱- کلیات	۱۱۹
۶-۲- مقدمه	۱۱۹
۶-۳- مدیریت آبیاری	۱۲۰
۶-۴- مدیریت زهکشی	۱۲۱
۶-۵- مدیریت مصرف کود	۱۲۱
۶-۶- مدیریت مصرف سمّوم شیمیایی	۱۲۲
۶-۷- مدیریت شخم	۱۲۲
۶-۸- فیلترهای چمنی و پوشش‌های طبیعی	۱۲۲
۶-۹- مدیریت خاک‌ورزی	۱۲۳
فصل هفتم- برخی مطالعات موردی در زمینه‌ی کاربرد زهاب‌های کشاورزی	**۱۲۵**
۷-۱- کلیات	۱۲۷
۷-۲- مقدمه	۱۲۷
۷-۳- حوضه کارون بزرگ	۱۲۸
۷-۳-۱- حجم آب برگشتی در حوضه‌ی کارون	۱۲۸
۷-۳-۲- تعیین سطح مورد نیاز حوضچه‌های تبخیری برای کنترل زهاب‌های شور در جنوب استان خوزستان	۱۲۹
۷-۴- مدیریت زهاب‌ها در حوضه دریاچه آرال	۱۲۹
۷-۵- مدیریت زهاب‌ها در دلتای نیل	۱۳۱
۷-۶- مدیریت زهاب‌ها در شمال غرب هند	۱۳۳
۷-۷- مدیریت زهاب‌ها در پاکستان	۱۳۵
منابع و مراجع	**۱۳۹**

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- برخی عناصر کمیاب مهم و ماهیت ژئوشیمیایی آن‌ها	۱۲
جدول ۲-۱- شاخص‌های موثر بر ماندگاری باکتری‌های مدفوعی در خاک (وسکات، ۱۹۹۷)	۳۴
جدول ۲-۲- مدت دوام پاتوژن‌های مدفوعی در خاک و پوشش گیاهی در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه (وسکات، ۱۹۹۷)	۳۴
جدول ۲-۳- تاثیر پاتوژن‌های مدفوعی در ایجاد عفونت از طریق تلفات آبیاری (وسکات، ۱۹۹۷)	۳۴
جدول ۲-۴- استاندارد خروجی زهاب‌ها در ایران	۳۹
جدول ۲-۵- حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌های مهم در خاک‌های آبیاری شده با زهاب (USEPA, 1992)	۴۱
جدول ۲-۶- راهنمای ارزیابی کیفیت آب برای آبیاری به روش فائو (آیرس و وسکات، ۱۹۸۵)	۴۲
جدول ۲-۷- توصیه‌هایی درباره‌ی حداکثر غلظت عناصر کمیاب در آب آبیاری ($mg.l^{-1}$)	۴۲
جدول ۲-۸- شاخص کیفیت زهاب برای آبیاری در دلتای نیل، مصر	۴۵
جدول ۲-۹- تاثیر زهاب رقیق شده بر عملکرد گندم	۴۶
جدول ۲-۱۰- تاثیر آبیاری چرخشی با آب کانال و زهاب بر روی عملکرد چند گیاه (تن در هکتار)	۴۸
جدول ۲-۱۱- تابع عملکرد نسبت به شوری برای سه گیاه در مراحل مختلف رشد	۴۸
جدول ۲-۱۲- مقاومت گیاهان علفی به شوری خاک	۵۰
جدول ۲-۱۳- مقاومت برخی گونه‌های درختی به شوری	۵۶
جدول ۲-۱۴- آسیب‌دیدگی برگی گیاهان بر اثر آبیاری با آب شور.	۵۸
جدول ۲-۱۵- مقاومت برخی گونه‌ها و پایه‌های درختی به یون کُلر (همایی، ۱۳۸۱)	۶۱
جدول ۲-۱۶- مقاومت برخی گیاهان به بُر (همایی، ۱۳۸۱)	۶۳
جدول ۲-۱۷- پایه‌های مرکبات و میوه‌های هسته دار به ترتیب تجمع بُر و انتقال آن به قلمه (همایی، ۱۳۸۱) .	۶۴
جدول ۲-۱۸- شاخص‌های لازم برای ارزیابی کیفیت آب‌های نامتعارف (رودس و همکاران، ۱۹۹۲)	۶۸
جدول ۲-۱۹- راهنمای گروه‌بندی کیفی آب‌های شور برای مصرف دام و طیور (تانجی، ۲۰۰۲)	۷۰
جدول ۲-۲۰- حداکثر غلظت مواد سمّی در آب شرب دام‌ها	۷۱
جدول ۲-۲۱- ویژگی‌های کیفی زهاب ($mg.l^{-1}$) (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران)	۷۱
جدول ۲-۲۲- تعداد مطلوب باکتری‌ها در آب‌های مصرفی برای کشاورزی	۷۱
جدول ۲-۲۳- غلظت استاندارد شاخص‌های کیفی آب مربوط به آبزیان(بوراس و همکاران، ۱۹۸۷ و ۱۹۸۵)	۷۴
جدول ۲-۲۴- غلظت استاندارد فلزات سنگین در آب برای پرورش آبزیان (بوراس و همکاران، ۱۹۸۷ و ۱۹۸۵)	۷۴
جدول ۲-۲۵- کیفیت باکتریولوژیک ماهی‌های پرورشی با زهاب بوراس و همکاران (۱۹۸۷).	۷۴

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۲-۲۶- میزان تغییر رنگ آب به ازای کلروفیل a موجود در جلبک‌ها	۷۸
جدول ۲-۲۷- اثرات شاخص کلیفرم مدفوعی در تفرج‌های مستقیم	۷۹
جدول ۲-۲۸- اثرات شاخص کلیفرم مدفوعی در تفرج‌های غیرمستقیم	۷۹
جدول ۳-۱- اقدامات حفاظتی برای کنترل کمّی و کیفی زهاب‌های حاصل از کشاورزی	۸۴
جدول ۳-۲- حدود راندمان مصرف آب برای روش‌های مختلف آبیاری	۸۶
جدول ۳-۳- نام علمی و مقاومت برخی گونه‌های گیاهی به شوری (موسسه هسته‌ای پاکستان)	۹۲
جدول ۳-۴- نام علمی و درجه‌ی مقاومت برخی گونه‌های درختی به شوری (موسسه تحقیقات شوری- کارنال هند)	۹۳
جدول ۳-۵- مقاومت نسبی برخی گونه‌های درختی به قلیائیت (موسسه تحقیقات شوری- کارنال هند)	۹۳
جدول ۳-۶- مقایسه‌ی زهکشی زیستی با دیگر روش‌های متدوال زهکشی	۹۴
جدول ۴-۱- استاندارد خروجی فاضلاب‌ها در ایران به عنوان تقریب اولیه برای تخلیه زهاب‌های کشاورزی	۱۰۳
جدول ۵-۱- روش‌های تصفیه فیزیکی و شیمیایی زهاب‌ها	۱۱۲
جدول ۵-۲– فرآیندهای تصفیه‌ی زیستی زهاب	۱۱۳
جدول ۶-۱- حفظ و بهبود کیفیت خاک	۱۲۴

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- اجزای مصرف آب بر پایه‌ی ترازنامه‌ی آب کشور	۶
شکل ۲-۱- رابطه‌ی نفوذپذیری خاک با اثر توامان شوری و SAR آب کاربردی	۳۷
شکل ۲-۲- روش‌های مختلف استفاده از زهاب برای آبیاری محصولات کشاورزی	۴۳
شکل ۲-۳- راهنمای درجه‌بندی کیفی مقاومت گیاهان به شوری	۵۵
شکل ۳-۱- سیستم زهکشی زیستی	۹۱
شکل ۳-۲- نوارهای نکاشت (اراضی قربانی) در مجاورت اراضی تحت کشت که به روش کشاورزی نواری قطعه‌بندی شده‌اند- جنوب دشت گرمسار	۹۵
شکل ۴-۱- حوضچه تبخیری مورد استفاده برای تخلیه زهاب‌های کشت و صنعت‌های نیشکر در استان خوزستان	۱۰۵

مقدمه

ایران کشوری پهناور با مساحتی نزدیک به ۱۶۵ میلیون هکتار است که شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک بر سطح گسترده‌ای از آن چیره می‌باشد. عرض جغرافیایی (۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی)، دوری بسیاری از مناطق از دریا و چگونگی پراکنش پستی و بلندی‌ها از جمله عواملی هستند که به تشدید خشکی دامن می‌زنند. میانگین بارندگی سالانه کشور ۲۴۰ میلی‌متر بوده که کم‌تر از یک سوم میانگین بارش سالانه‌ی کره زمین است. مقدار بارندگی در مناطق مختلف ایران از ۲۵ میلی‌متر تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در سال در نوسان بوده و تبخیر و تعرق پتانسیل نیز از ۱۰۰۰ تا بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر در سال گزارش شده است.

بر پایه‌ی آمار بارندگی کشور، نزدیک به ۹۰ درصد مساحت ایران از بارندگی کافی برخوردار نیست. افزون بر این، توزیع زمانی و مکانی بارندگی به گونه‌ای است که در برخی فصول تبخیر پتانسیل از کل بارندگی بسیار بیش‌تر است. به همین دلیل برای دستیابی به عملکردی مناسب، آبیاری محصولات کشاورزی اجتناب‌ناپذیر است (حسن اقلی، ۱۳۷۵؛ وزارت کشاورزی، ۱۳۸۰).

افزون بر محدود بودن منابع آب قابل استحصال و توزیع نامناسب مکانی آن در گستره‌ی جغرافیایی کشور، متاسفانه بازده و کارایی مصرف آب نیز بسیار کم است. تجزیه و تحلیل شاخص‌های مصرف آب در بخش کشاورزی نشان دهنده تلفات زیاد آب در این بخش است، به‌گونه‌ای که آبیاری در ایران بیش‌تر به تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی شباهت دارد. هر چند ممکن است که بخشی از این بیش آبیاری برای آب‌شویی خاک‌های لب‌شور لازم باشد، لیکن چنین روندی زهدار شدن اراضی و نهایتا ضرورت احداث شبکه‌های زهکشی را به دنبال خواهد داشت. از این‌رو، استفاده از زهاب‌ها می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب برای مدیریت بهینه‌ی منابع آبی جهت نیل به کشاورزی پایدار مدنظر قرار گیرد.

افزون بر آنچه گفته شد، این نگرش نیز باید بر بخش کشاورزی کشور حاکم شود که آب کالایی یک بار مصرف نیست و می‌توان با اعمال راه کارهایی مناسب از آب‌های کم کیفیت برای آبیاری به صورت بهینه استفاده کرد. با چنین نگرشی، زهاب‌ها منبعی ارزشمند در جمع منابع آبی کشور قلمداد خواهند شد.

- هدف

هدف از این راهنما، ارائه راهکارهای اجرایی برای بازیافت زهاب‌های کشاورزی، تعیین شاخص‌های استاندارد برای مصرف زهاب‌های کشاورزی، ارائه راهکارهای مدیریتی برای کاهش حجم زهاب‌ها و همچنین تعیین ضوابطی برای تخلیه‌ی زهاب‌ها به منظور حفاظت از سلامت جوامع انسانی، محیط زیست و پایداری منابع آب و خاک می‌باشد.

- دامنه کاربرد

این راهنما به ارائه رهنمودهای لازم برای به‌کارگیری و مدیریت زهاب فعالیت‌های کشاورزی می‌پردازد.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- کلیات

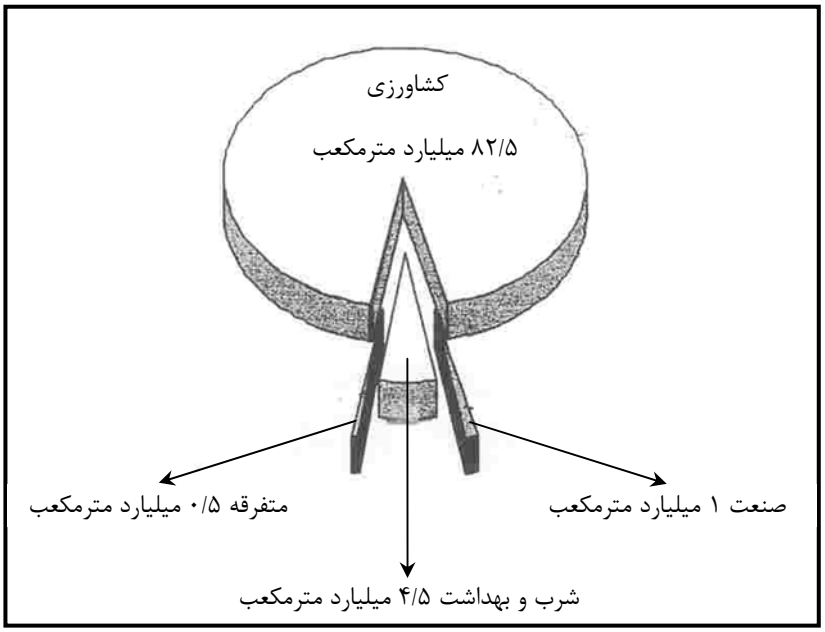
هرگونه مدیریت و بهره‌وری از زهاب‌های کشاورزی مستلزم داشتن اطلاعات کافی در باره‌ی مقدار و کیفیت آن‌هاست. از این‌رو در این فصل نخست کلیاتی درباره‌ی ترازنامه‌ی آب کشور ارائه گردیده و سهم زهاب‌های کشاورزی در آن مشخص شده است. هرچند آگاهی از کمیّت زهاب‌های کشاورزی به منظور استفاده‌ی بهینه از آن‌ها بسیار مهم است، لیکن مدیریت و استفاده‌ی علمی و عملی از زهاب‌ها منوط به ارزیابی دقیق کیفیت آن‌هاست. لذا در این فصل تاکید زیادی بر «کیفیت» زهاب‌ها شده است. بنابراین پس از بررسی منشاء زهاب‌های کشاورزی، کیفیت آن‌ها از نظر فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک و تاثیری که بر محیط زیست دارند، مورد بحث قرار گرفته است. در کشور ما، شوری زهاب به تنهایی تقریبا کلیه‌ی عوامل موثر بر واکنش گیاهان به زهاب‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل، عوامل موثر بر واکنش گیاهان به شوری زهاب‌ها نیز مورد بحث قرار گرفته است. لذا از آن‌جا که زهاب‌های کشاورزی یا به‌صورت مستقیم و یا به‌صورت غیرمستقیم مصرف می‌شوند، در پایان این فصل، ملاحظات کیفی در باره‌ی مصرف آن‌ها نیز بررسی شده است. در این فصل منشا، مقدار و کیفیت زهاب‌های کشاورزی چه برای مصارف مستقیم و چه غیرمستقیم مورد بحث قرار گرفته است. کیفیت زهاب‌ها از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک برای هر نوع کاربرد نیز بررسی شده است. هر چند که زهاب‌های کشاورزی ممکن است برای برخی مصارف صنعتی نیز به‌کار گرفته شوند، لیکن بیش‌ترین کاربرد آن‌ها برای تولید محصولات گیاهی، آبزی‌پروری و تولیدات دامی است. با این حال ممکن است این زهاب‌ها به‌صورت غیرمستقیم برای ایجاد تفرجگاه‌ها و یا تالاب‌های مصنوعی به‌کار روند، که در این صورت کاربرد آن‌ها هم از نظر بهداشت جوامع انسانی و هم از دیدگاه حفاظت از محیط زیست مرد بحث قرار گرفته است.

۱-۲- ترازنامه آب کشور

منشا اصلی منابع آب ایران را ریزش‌های جوی بر پهنه جغرافیایی کشور تشکیل می‌دهد که سالانه نزدیک به ۴۱۳ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. از این مقدار، نزدیک به ۹۲ میلیارد مترمکعب به صورت جریان‌های سطحی جاری شده، ۲۵ میلیارد مترمکعب به سفره‌های آب زیرزمینی و آبخوان‌های آبرفتی نفوذ یافته و بقیه‌ی آن به وسیله فرآیند تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود. افزون بر منابع آب ناشی از ریزش‌های آسمانی، سالانه حدود ۱۳ میلیارد مترمکعب آب از طریق رودخانه‌های مرزی وارد کشور می‌شود که با پیوستن آن‌ها به جریان‌های سطحی، کل منابع آب تجدیدپذیر کشور به ۱۳۰ میلیارد مترمکعب می‌رسد. از ۱۰۵ میلیارد مترمکعب جریان‌های سطحی در کل کشور (با احتساب ورودی از مرزها) مقدار ۱۳/۲ میلیارد مترمکعب آن وارد آبخوان‌های آبرفتی شده و ۴۱ میلیارد مترمکعب مورد مصرف قرار می‌گیرد که از این مقدار نیز حدود ۱۸/۳ میلیارد مترمکعب وارد سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. بدین ترتیب مشخص می‌شود که میزان تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی نزدیک به ۵۶/۵ میلیارد مترمکعب و مقدار برداشت از آن ۶۱/۳ میلیارد مترمکعب است. از مقدار اخیر، ۴۶ میلیارد مترمکعب مورد استفاده قرار گرفته، ۵/۵ میلیارد مترمکعب به

صورت تبخیر و تعرق و ۹/۷ میلیارد مترمکعب به صورت رواناب‌های سطحی و زهاب‌های خروجی از زهکش‌های سطحی و زیرزمینی وارد دریاها، تالاب‌ها و کفه‌های داخلی می‌شود (کشاورز، ۱۳۷۹).

از کل منابع آب تجدید شونده کشور، نزدیک به ۸۸/۵ میلیارد مترمکعب برای مصارف بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن و شرب برداشت می‌شود که حدود ۸۳ میلیارد مترمکعب آن (۹۳/۵ درصد) به بخش کشاورزی، ۴/۵ میلیارد مترمکعب (۵ درصد) به شرب و بهداشت و بقیه به صنایع و معادن و دیگر نیازهای متفرقه اختصاص دارد (کشاورز، ۱۳۷۹). شکل (۱-۱) اجزای مصرف آب کشور را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- اجزای مصرف آب بر پایه‌ی ترازنامه‌ی آب کشور

نگاهی به شاخص سرانه‌ی منابع آب تجدیدپذیر کشور در دهه‌های اخیر، بیانگر کاهش پیوسته‌ی آن است. به گونه‌ای که مقدار آن از ۵۵۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۴۰ به ۲۱۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۷۶ کاهش یافته و انتظار می‌رود در سال ۱۴۰۰ به ۱۳۰۰ مترمکعب کاهش یابد (غفاری شیروان، ۱۳۷۷). این در حالی است که حداقل سرانه منابع آب تجدیدپذیر قابل قبول برای دستیابی به استانداردهای مورد نیاز یک زندگی سالم، ۲۰۰۰ مترمکعب در سال برای هر نفر می‌باشد (Bouwer, 1994). بدین‌ترتیب می‌توان گفت که ایران در دهه ۸۰ وارد مرحله‌ی «تنش آبی» شده و در صورت ادامه‌ی روند فعلی افزایش جمعیت و مدیریت تقاضا و الگوی مصرف آب، با مرحله‌ی «بحران آب» مواجه خواهد شد.

به نسبت حجم آب مورد استفاده و نرخ بهره‌وری و رشد فعلی جمعیت، نیاز آبی کشور در سال ۱۳۹۰ به ۱۲۶ میلیارد مترمکعب و در سال ۱۴۰۰ به ۱۵۰ میلیارد مترمکعب خواهد رسید. رقم اخیر، حدودا ۱۵ درصد بیش‌تر از پتانسیل بالقّوه منابع آب تجدید شونده کشور است. مساله مهم دیگر، ویژگی غیر قابل جایگزینی آب در زندگی بشر است که ایجاب می‌کند هر فردی حق دسترسی به آب شرب و بهداشتی را داشته و مازاد آن در خدمت تولید غذا، پوشاک، مسکن و دیگر

نیازمندی‌های زندگی قرار گیرد. هیچ ثروتی بدون آب تولید نمی‌شود. بنابراین، نباید با آب به صورت کالایی تجاری رفتار شود. زیرا وابستگی اقتصاد کشور به آب، فراتر از دیگر کالاها است.

۱-۳- زهاب‌های کشاورزی

۱-۳-۱- منشا زهاب‌های کشاورزی

وجود آب اضافی در ناحیه‌ی رشد ریشه، رشد گیاه را مختل می‌کند. ایجاد حالت ماندابی درازمدت، باعث مرگ گیاه بر اثر کمبود اکسیژن می‌شود. دلایل پیدایش آب اضافی در نیمرخ خاک که موجب بالا آمدن سطح ایستابی می‌شود، به شرح زیر است:

- بیش آبیاری[1] اراضی کشاورزی،
- نشت آب از کانال‌های آبرسانی در اراضی فاریاب،
- بارندگی با شدت زیاد در مناطقی که از زهکشی طبیعی مناسبی برخوردار نیستند، و
- فشار آرتزین ناشی از ساختارهای زمین‌شناسی

به‌طور کلی، عملیات زهکشی خاک، چه سطحی چه زیرزمینی، به منظور بهبود وضعیت زهکشی طبیعی اراضی فاریاب انجام می‌شود. با ایجاد شبکه‌های زهکشی در این اراضی، وضعیت تهویه‌ای خاک بهبود و تعادل آب و نمک در ریشه‌گاه برقرار می‌شود. از دیگر سودمندهای زهکشی در سطح مزارع، کاهش رواناب سطحی و فرسایش خاک و بهبود شرایط لازم برای حرکت ماشین‌آلات کشاورزی است.

هرچند که عملیات زهکشی از اهمیتی ویژه برای مهار شوری و ماندابی شدن خاک برخوردار است، لیکن گاهی احداث شبکه‌های زهکشی اثرات زیست‌محیطی نامناسبی از خود برجای می‌گذارند. یکی از نامناسب‌ترین این اثرات، تخلیه زهاب خروجی با کیفیت پایین به آب‌های موجود در طبیعت است که برخی از زیست‌بوم‌های آبی را تخریب و کاربری‌های مفید آب‌های اولیه را متوقف می‌کند. بنابر چنین دلایلی، فشار افکار عمومی برای طراحی شبکه‌های زهکشی به گونه‌ای که بقای زیست بوم‌های مختلف را تضمین نماید و انجام فعالیت‌های کشاورزی، کیفیت آب را زایل نکنند رو به گسترش است.

1- Over-Irrigation

۱-۳-۲- تخمین حجم زهاب‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی

زهکشی اراضی معمولا توسط زهکش‌های سطحی یا زیرزمینی و یا ترکیبی از آن‌ها انجام می‌شود. در مقیاس مزرعه‌ای، لوله‌های زهکشی زیرزمینی یا زهکش‌های روباز، زهاب را به یک زهکش روباز اصلی یا زهکش جمع‌کننده هدایت می‌کند. سپس در سطح ناحیه ممکن است زهاب مستقیما به پهنه‌های آب سطحی مانند رودخانه، دریاچه، دریا و حتی یک زهکش انتهایی تخلیه گردد. در جاهایی که مجرای تخلیه مستقیما به پهنه‌های آب سطحی وجود ندارد، زهکش اصلی ممکن است زهاب را به یک حوضچه تبخیری، تالاب یا آبگیر سیستم کشاورزی یا کشاورزی جنگل‌داری (Agroforestry) با استفاده از آب شور، تخلیه نماید. از طرفی رواناب‌های سطحی خارج شده از مزارع بالادست نیز دارای کیفیت اولیه آب آبیاری نبوده و خود به نوعی می‌توانند جزء زهاب‌ها به شمار آیند. البته چنین آب‌هایی در مزارع پایین‌دست، دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرند. لیکن در هر مرحله استفاده، مقادیری از املاح و آلاینده‌ها به آن‌ها افزوده می‌شود که کیفیت آن‌ها را کاهش می‌دهد. افزون بر موارد فوق، زهکش عمودی (قائم) به وسیله‌ی چاه‌های لوله‌ای، برای کنترل شرایط ماندابی و کاهش شوری در برخی از مناطق جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نکته مهمی که قابل ذکر است این‌که در حال حاضر و با توجه به مشکلات به وجود آمده در کشور (تغییر اقلیم، اضافه برداشت از منابع آب در دسترس، افت سطح آب در سفره‌های زیرزمینی و ...)، برآوردهای جدیدی از میزان آب تجدیدپذیر توسط وزارت نیرو ارائه شده است. بر این اساس، برآورد میزان منابع آب تجدید پذیر کشور بر مبنای آمار ۵ ساله اخیر، از ۱۳۰ میلیارد مترمکعب به حدود ۱۰۶-۱۰۴ میلیارد مترمکعب کاهش یافته است (این مورد در قالب آمار رسمی ارائه نشده، ولی بارها توسط مسوولان وزارت نیرو و در مجامع علمی رسمی کشور بیان گردیده است). در خصوص سهم آب کشاورزی نیز بین وزارتین نیرو و جهاد کشاورزی اختلاف بوده و عدد و رقم دقیقی تاکنون ارائه نشده است، لیکن با درنظر گرفتن کاهش مقدار آب تجدید پذیر موجود و کاهش قابل توجه آبدهی سفره‌های آب زیرزمینی، چنین انتظار می‌رود که سهم آب کشاورزی نیز به میزان قابل توجهی تقلیل یافته باشد.

در خصوص سطح اراضی زهکشی شده در کشور، برآوردها نشان می‌دهد که تاکنون درحدود ۳۰۰ هزار هکتار از اراضی کشور به شبکه زهکشی زیرزمینی تجهیز شده و نزدیک به ۸۰ هزار هکتار در حال ساخت و حدود ۳۵۰ هزار هکتار طراحی شده است. نحوه گسترش پروژه‌های زهکشی زیرزمینی موجود در کشور نیز بدین صورت است که ۶۰ درصد آن در استان خوزستان و ۴۰ درصد دیگر در مابقی سطح کشور قرار دارد. حال در صورت لحاظ نمودن همان اعداد و ارقام مستند قبلی و مصرف سالانه آب در بخش کشاورزی که بین ۸۳ تا ۸۶ میلیارد مترمکعب بود و با توجه به میزان متوسط بازده مصرف آب برآورد شده در کشور که ۴۰ درصد درنظر گرفته می‌شود، می‌توان گفت که عملا ۶۰ درصد از کل آب مصرفی یعنی بین ۵۰ تا ۵۱/۶ میلیارد مترمکعب به مصرف گیاه نمی‌رسد و از دسترس خارج می‌شود. بخشی از این آب، صرف تبخیر از سطح خاک شده و بخشی به آب‌های زیرزمینی می‌پیوندد. بقیه‌ی آن نیز به صورت رواناب‌های سطحی و زهاب‌های زیرزمینی از مزارع و یا شبکه‌های زهکشی خارج می‌شود. چنان‌چه بین ۲۰ تا ۳۰ درصد از کل آب مصرفی در بخش کشاورزی به عنوان رواناب سطحی و زهاب خروجی از زهکش‌ها منظور شود، می توان تخمین زد که

به‌طور متوسط بین ۱۷ تا ۲۵ میلیارد مترمکعب زهاب در کشور تولید شود. سرنوشت قطعی این نوع زهاب‌ها به صورت کامل مشخص نبوده، ولی بخشی از آن به منابع پذیرنده تخلیه شده و در نتیجه تخلیه به رودخانه‌ها و آب‌های جاری، حتی ممکن است عملا به مصرف مجدد در بخش کشاورزی برسد. لیکن تخلیه زهاب‌ها به تالاب‌ها و ... نیز محتمل است. درخصوص استفاده مستقیم از زهاب‌ها در کشاورزی، در عمل به دلیل پایین بودن کیفیت زهاب‌ها، ممکن است بخشی از آن به آسانی قابل استفاده نباشد و تنها برای تولید گیاهانی خاص به‌کار رود و یا نیازمند اصلاح کیفی باشد.

۱-۳-۳- کیفیت زهاب‌های کشاورزی

معمولا در مناطق خشک، زهاب‌های کم‌تری نسبت به مناطق مرطوب از خاک خارج می‌شود. به همین دلیل، کیفیت زهاب‌های این مناطق نامطلوب‌تر است. از نظر کیفی، غلظت املاح، عناصر غذایی و دیگر مواد شیمیایی در زهاب با زمان و مقدار تخلیه تغییر می کند. به‌طور کلی، به علت مصرف انواع کودها و مواد شیمیایی در کشاورزی، زهاب تولیدی اراضی فاریاب دارای مقادیر زیادی املاح است. همچنین، برخی از خاک ها خود سرشار از عناصری همچون آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب، بُر، کروم و سلنیوم هستند که به دلیل دارا بودن خاصیت انباشت تجمعی در اندام های موجودات زنده، باید با دقت و احتیاط بسیار زیاد از آن‌ها استفاده کرد. به‌طور کلی، مدیریت زهاب‌های کشاورزی مستلزم دقت و احتیاط بسیار زیاد است. به‌طور خلاصه، چند روش مهم زیر برای مدیریت کیفی زهاب‌ها قابل پیشنهاد و بررسی است:

الف- مدیریت تخلیه زهاب: افزون بر تخلیه مستقیم زهاب‌ها به تالاب‌ها و حوضچه‌های تبخیری، می‌توان آن‌ها را به‌صورت ترزیق به آب های زیرزمینی عمیق نیز تخلیه کرد. چنان چه زهاب به یک سامانه آب سطحی بزرگ با ظرفیت ترقیق و جذب زیاد تخلیه شود، مشکلات مربوط به کیفیت نامطلوب آب به حداقل ممکن کاهش می یابد. لیکن استفاده مجدد و پیوسته، تخلیه به حوضچه های بسته و ترزیق به چاه‌های عمیق این نگرانی را در پی دارد که زهاب‌های حاوی املاح، عناصر غذایی، باکتری‌ها و عناصر کمیاب، موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی شوند. این مساله هنگامی که از سفره آب زیرزمینی واقع در پایین‌دست برای آب آشامیدنی استفاده شود، جدی‌تر می‌شود.

ب- **کنترل منبع آلاینده در سطح زمین های کشاورزی:** تحقق این امر از دو راه امکان پذیر است. نخست، تولید زهاب که از طریق مدیریت آب آبیاری و پوشش مجاری انتقال آب صورت می پذیرد. دوم، کاهش عوامل آلاینده موجود در زهاب با کاربرد به اندازه و به موقع کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و مصرف آن‌ها در مواقع ضروری.

ج- **استفاده مجدد از زهاب:** این موضوع به ویژه در مناطق کم آب برای تامین نیاز آبی محصولات کشاورزی بسیار با اهمّیت است. در صورت پایین بودن کیفیت زهاب و آلودگی آن با پساب های صنعتی و یا شهری، ممکن است مشکلات فراوانی همچون تخریب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مشکلات بهداشتی و احتمال آلودگی محصولات کشاورزی به عوامل بیماری‌زا و عناصر سمّی به وجود آید.

نکات مهم مربوط به کیفیت زهاب‌ها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- مکان‌های مختلف و فعالیت‌های گوناگون، زهاب‌هایی با کیفیت‌های متفاوت تولید می‌کنند.
- آب‌های با کیفیت مطلوب باید از آب‌ها و زهاب‌های کم کیفیت جدا شده و اختلاط آن‌ها توصیه نمی‌شود.
- زهاب‌های غیرقابل استفاده را می‌توان به حوضچه‌های مخصوص تخلیه کرد.
- زهاب‌های خیلی شور اثرات زیان‌باری بر رشد گیاهان (به‌ویژه گونه‌های حساس به شوری) دارند.
- در مدیریت زهاب‌ها کشاورزی، کمی و کیفیت زهاب، تغییرات بده جریان و غلظت مواد شیمیایی، تعیین کننده‌ی محدودیت‌ها بوده و باید اندازه‌گیری شوند.

برخی ویژگی‌های مهم کیفی زهاب‌ها شامل ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک در زیر بخش‌های زیر مورد بحث قرار می‌گیرند.

۱-۳-۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی زهاب‌ها

معمولا زهاب‌های سطحی و زیرزمینی حاصل از کشت‌های آبی، از کیفیت پایین‌تری نسبت به آب اولیه برخوردارند. زهابی که در درون یا بر روی خاک جریان می‌یابد، هم مواد محلول و هم مواد معلق گوناگونی همچون نمک‌ها، ترکیبات آلی، ذرات خاک و برخی رسوبات را با خود جابجا می‌کند.

همان‌گونه که فرسایش ناشی از باران منشا عمده‌ی رسوبات است، کشت آبی هم می‌تواند به صورت مستقیم بر اثر جریان آب و یا غیرمستقیم در نتیجه مدیریت‌های غیر بهینه‌ی زراعی، باعث فرسایش شود. رسوبات موجود در رواناب سطحی اراضی کشاورزی می‌تواند فسفر و برخی آفت‌کش‌ها را با خود به منابع آب سطحی حمل کنند. رسوب‌گذاری‌های پیاپی، حتی باعث تخریب محیط زیست رودخانه‌ای شده و هزینه‌های مدیریت سیلاب و تصفیه آب آشامیدنی را به‌طوری چشمگیر افزایش می‌دهد. از آن‌جا که زهاب‌های زیرزمینی خود نوعی آب زیرزمینی به شمار می‌آیند، رسوب چندانی حمل نمی‌کنند. لیکن ممکن است، یک سامانه‌ی زهکشی زیرزمینی به صورتی ناقص احداث شده باشد و یا پس از ساخت، دچار شکستگی شود که در این صورت رسوبات زیادی در زهکش‌ها جمع می‌شود. در چنین شرایطی، ممکن است زهکش‌ها مسدود و کارکرد آن‌ها مختل شود و یا رسوبات موجود به همراه جریان خروجی از زهکش‌ها تخلیه گردد. در هر حال، زهاب زهکش‌های زیرزمینی که به‌طور معمول فاقد رسوب است، ممکن است دیواره‌های بدون پوشش زهکش‌های سطحی را فرسایش داده و از این طریق بار رسوب موجود در زهاب را افزایش دهد.

دمای آب نیز از دیگر ویژگی‌های فیزیکی است که بسیار با اهمیت می‌باشد. هنگامی که مزارع آبیاری شده یا زمین‌های تالابی و نیزارها به وسیله تابش خورشید گرم شوند، دمای آب افزایش می‌یابد. در نتیجه، تخلیه آب اضافی این مزارع به آب‌های سطحی دمای آن‌ها را نیز افزایش می‌دهد. این افزایش دما، به ویژه بر روی حیات آبزیان در رودخانه‌های سردآبی و رودهایی که در آن‌ها ماهی پرورش می‌دهند، اثری مستقیم و نامطلوب دارد. برخلاف زهکشی سطحی، دمای زهاب زهکش‌های زیرزمینی تقریبا ثابت و در حدود دمای میانگین فصلی یا سالانه منطقه می‌باشد.

۱-۳-۳-۲- ویژگی‌های شیمیایی زهاب‌ها

هم در زهاب‌های زیرزمینی و هم زهاب‌های سطحی، ترکیبات شیمیایی متفاوتی وجود دارد. مهم‌ترین این ترکیبات شامل نمک‌ها و یون‌های شیمیایی، مواد کودی، آفت کش‌ها و عناصر سمی می‌باشند.

نمک‌های موجود در زهاب، از شاخص‌های مهم کیفیت آب به منظور انتخاب روش مناسب برای دفع زهاب‌های زیرزمینی در پروژه‌های آبیاری می‌باشند. شوری، از عوامل مهم محدود کننده‌ی استفاده‌ی مجدد زهاب برای کشاورزی است. آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث می‌شود نمک‌هایی که به طور طبیعی در خاک وجود دارند، جابه‌جا شده و آن‌ها را به همراه نمک‌هایی که در خود آب آبیاری وجود دارند، انباشته کند.

کاتیون‌های غالب در زهاب زهکش‌های زیرزمینی به ترتیب شامل Na^{+}، Ca^{+2}، Mg^{+2} و K^{+} می‌باشد. آنیون‌ها نیز به ترتیب شامل Cl^{-}، SO_4^{-2}، HCO_3^{-}، NO_3^{-} و CO_3^{-2} می‌باشند. در بیش‌تر زهاب‌های زیرزمینی، کلرید سدیم (NaCl) و سولفات سدیم (Na_2SO_4) نمک‌های غالب می‌باشند. در صورت تجمع بیش از حد این املاح در خاک، مشکل شوری خاک به وجود می‌آید. در زهاب‌های زیرزمینی مناطق نیمه خشک، مقدار شوری، غلظت یون‌های سدیم و کلر، سختی و نسبت جذب سدیم (SAR) همواره بیش از مقدار آن‌ها در آب آبیاری است. مواد کودی موجود در زهاب‌ها، معمولا شامل ازت و فسفر می‌باشند.

ازت ممکن است هم به صورت آلی (آمونیوم) و هم معدنی (نیترات) در زهاب یافت شود. البته در زهکشی سطحی، شکل آلی آن که از شسته شدن مواد آلی مزرعه ناشی می‌شود، فراوان‌تر است. هرچند که این مشکل در مناطق پر باران بیش‌تر رخ می‌دهد، لیکن در مناطق خشک، موضوع چندان مهمی به شمار نمی‌آید. در زهاب‌های زیرزمینی، ازت نیتراتی بر دیگر شکل‌های ازت غالب است. به همین دلیل، به عنوان شاخص سنجش کیفی زهاب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. غلظت زیاد نیترات در زهاب‌های زیرزمینی می‌تواند در نتیجه‌ی نفوذ عمقی نیترات از سطح خاک براثر مصرف کودهای شیمیایی، تجزیه مواد آلی طبیعی و نهشته‌های زمین ساختاری موجود در یک منطقه باشد.

زهاب‌های کشاورزی، همچنین، حاوی فسفات به هر دو صورت آلی و معدنی می‌باشند. بیش‌ترین نوع فسفات موجود در زهاب‌های سطحی از نوع آلی است و در زهاب‌های زیرزمینی، مقادیر اندکی از فسفات یافت می‌شود. زیرا خاک، قابلیت بالایی در جذب این ماده دارد.

انواع بسیاری از آفت‌کش‌ها ممکن است در زهاب‌ها یافت شوند که غلظت و نوع آن‌ها به شرایط هر منطقه و نوع سمّوم به‌کار رفته بستگی دارد. بیش‌تر آفت‌کش‌ها، از مواد آلی مصنوعی ساخته می‌شوند. شواهد نشان می‌دهد که مواد آفت‌کش موجود در رواناب اراضی فاریاب، مشکلاتی برای کیفیت آب پایین‌دست پدید می‌آورند. زهاب زهکش‌های سطحی شبکه آبیاری، ممکن است حاوی غلظت زیادی از آفت‌کش‌ها باشد. لیکن، دوره ظهور این پدیده نسبتا کوتاه است. غلظت زیاد آفت‌کش‌ها در زهاب‌های زیرزمینی کم‌تر دیده می‌شود. زیرا، خاک همچون یک صافی عمل می‌کند. با این حال، شواهدی مبنی بر وجود آفت‌کش‌ها در برخی زهاب‌های زیرزمینی در مناطقی از جهان گزارش شده است.

وجود آفت‌کش‌ها در زهاب‌های زیرزمینی، نشان دهنده‌ی وجود آن در آب‌های زیرزمینی کم عمق بوده و ادامه جریان آلودگی را به همراه زهکشی زیرزمینی برای دوره‌ای طولانی به دنبال خواهد داشت.

دو تفاوت عمده، بین عناصر کمیاب معدنی و ترکیبات آلی مصنوعی وجود دارد. نخست این که عناصر کمیاب معدنی همگی در طبیعت به مقدار ناچیز وجود دارند. دیگر آن‌که یک «حد طبیعی» برای تحمّل این مواد موجود است. همچنین یک حد واسط بین «حد تحمل طبیعی» و «آستانه سمیّت» وجود دارد. بدین ترتیب، داشتن اطلاعات کافی درباره غلظت عناصر کمیاب در زهاب، برای استفاده ی مجدد و دفع زهاب ضروری است. این عناصر می توانند در زهاب تجمع یافته و در غلظت‌های نسبتا بیش‌تری در محیط تخلیه شوند و یا این‌که در غلظت‌های کم وارد محیط زیست شده، در بافت‌های موجود زنده تجمع یافته و وارد زنجیره ی غذایی انسان و دام شوند. جدول (۱-۱) ماهیت ژئوشیمیایی برخی از عناصر کمیاب مهم را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- برخی عناصر کمیاب مهم و ماهیت ژئوشیمیایی آن‌ها

فلزات سنگین	غیرفلزات	فلزات واسطه	فلزات قلیایی و قلیایی خاکی
کادمیم	آرسنیک	کُرُم	باریوم
مس	بور	مولبیدن	لیتیوم
سرب	سلنیوم	وانادیوم	
جیوه			
نیکل			
روی			
مرجع: Deverel Fujii, 1990			

تاکنون هیچ‌گونه شاهدی وجود ندارد که نشان دهد غلظت عناصر کمیاب در زهاب های زهکشی سطحی، بیش از مقدار آن در آب آبیاری است. در شرایط عادی نیز انتظار نمی‌رود که در رواناب‌های سطحی، غلظت عناصر کمیاب افزایش یابد. توانایی تخمین غلظت‌های زیاد عناصر کمیاب در زهاب‌های زیرزمینی، بسیار مهم است. به همین دلیل، جداولی تهیه شده که براساس غلظت عناصر کمیاب موجود در خاک، تخمینی اولیه از عناصر کمیاب قابل تراوش ارائه می‌دهد. این برآورد می‌تواند همگام با نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی کم عمق نیز صورت پذیرد.

۱-۳-۳-۳- ویژگی‌های بیولوژیک زهاب‌ها

باکتری‌ها، از آلاینده‌های بیولوژیک مهم زهاب‌ها می‌باشند. باکتری‌ها معمولا در زهاب‌های سطحی خاکهایی یافت می‌شوند که در آن‌ها از فضولات انسانی یا حیوانی استفاده شده باشد. آلودگی باکتریایی همچنین ممکن است در جریان‌های خروجی تالاب‌ها یافت شود. به هنگام ارزیابی آلودگی باکتریایی، تکیه اصلی بر اندازه‌گیری مجموع کلینرم‌ها و کلیفرم‌های دفع شده در آب است. به ندرت ممکن است مقادیر غیرمتعارف باکتری‌ها بر اثر بهره‌برداری عادی از یک طرح کشت آبی در زهاب سطحی تولید شود. وجود کلینرم یا کلیفرم در زهاب، نشانگر تخلیه ی نوعی فاضلاب اعم از شهری، صنعتی یا دامی در شبکه زهکشی دارد. از آن‌جا که خاک نوعی صافی زیستی است، میکروارگانیزم‌ها به ندرت می‌توانند از

آب‌های سطحی به درون خاک و از آن‌جا به شبکه زهکشی زیرزمینی منتقل شوند و به نظر نمی‌رسد که مشکل عمده‌ای در این باره وجود داشته باشد.

۱-۳-۳-۴- اثر کیفیت زهاب‌ها بر محیط زیست

هم دفع زهاب‌های کشاورزی و هم استفاده‌ی مجدّد از آن‌ها، باید با سلامت محیط زیست سازگار باشد. آگاهی از کیفیت آب مورد نیاز برای مصارف گوناگون در پایین‌دست می‌تواند به پیشبرد روش‌های کاهش آلودگی کمک کند. این مصارف شامل آب آشامیدنی، آب مورد نیاز صنایع، آب مورد نیاز کشاورزی، آب مورد نیاز فضاهای سبز و مناطق تفریحی و حیات آبزیان می‌باشد.

تخلیه زهاب‌های سطحی و زیرزمینی به منابع آبی پذیرنده قابلیت آشامیدنی آب را کاهش داده و موجب افزایش هزینه‌های تصفیه، توزیع و آزمایش می‌شود. دیگر این‌که، تماس انسان با این قبیل آب‌ها به هنگام شستشو و دیگر مصارف، ممکن است سلامت فرد را متاثر سازد. بدیهی است که سالم بودن آب مورد نیاز برای مصارف خانگی و آشامیدنی در درجه اول اهمیت قرار دارد. به‌طور کلی منابع آبی ممکن است تحت تاثیر مقدار رسوبات، مواد غذایی، میکروارگانیزم‌ها، انواع نمک‌ها، سولفات، کلر و آفت‌کش‌ها قرار گیرند. برخی از مشکلات مربوط به وجود این مواد در منابع آبی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- وجود رسوبات، هزینه‌های پالایش را افزایش می‌دهد.
- غلظت زیاد نیترات در آب، مشکلات بالقوه‌ای را برای سلامتی انسان و دام ایجاد می‌کند.
- غلظت زیاد نیترات و فسفات، رشد جلبک‌ها را تشدید و مزه‌ی آب را نامطلوب می‌کند.
- فراوانی باکتری‌ها خطر بروز بیماری‌ها را به دنبال داشته و هزینه پالایش را افزایش می‌دهد.
- شوری زهاب‌های زیرزمینی (حداکثر قابل توصیه ۲ دسی زیمنس برمتر) می‌تواند موجب افزایش سختی آب و تغییر مزه آن شده و هزینه‌های پالایش را افزایش دهد.
- حضور افت‌کش‌ها و عناصر کمیاب چه برای مصرف کنندگان آب و چه برای حیات آبزیان خطری بالقوه است.
- در بخش صنعت، تاثیر شوری و سختی آب بسیار زیاد بوده و می‌تواند باعث گرفتگی و رسوب‌گذاری در دستگاه‌ها شود.
- در کشاورزی، تاثیر شوری زیاد بر کاهش مقدار محصول کاملا روشن است. ضمن این‌که برخی یون‌ها همچون سدیم بر گیاه اثرات سمّی و برخاک اثرات تخریبی دارند.
- با توجه به اهمیت زیبایی شناختی، تفریحی و اقتصادی منابع آبی، تخلیه زهاب‌ها می‌تواند آسیب‌هایی جدی به این جنبه‌ها وارد ساخته و این مولفه اقتصادی را مختل سازد. این امر بر اثر کاهش کیفیت آب، به خطر افتادن محیط زیست آبزیان و نظایر آن به وجود می‌آید.

۱-۴- عوامل موثر بر واکنش گیاه به شوری زهاب‌های کشاورزی

شوری آب آبیاری مهم‌ترین عامل ارزیابی کیفیت زهاب‌های کشاورزی است و غالبا به تنهایی دیگر عوامل را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. هرچند که مقدار محصول تابعی از غلظت املاح محلول در ناحیه‌ی رشد ریشه است، لیکن باید نوع خاک، آب و شرایط اقلیمی نیز مورد توجه قرار گیرند. زیرا عملکرد، به هر یک از این عوامل نیز بستگی دارد. در حالی که برخی تنش های محیطی منجر به کاهش عملکرد می‌شوند، لیکن ممکن است مقاومت گیاهان به شوری را افزایش، کاهش و یا بی‌اثر بگذارند. بنابراین، لازم است که اثر هر یک از عوامل یاد شده بر مقدار عملکرد به صورت مقایسه‌ای مد نظر قرار گیرد. برخی از عواملی که می‌توانند مقاومت به شوری را تحت تاثیر قرار دهند، در بخش های بعدی مورد بررسی بیش‌تر قرار می‌گیرند.

۱-۴-۱- شرایط خاک

۱-۴-۱-۱- نوع نمک‌های موجود در خاک

همه‌ی زهاب‌ها حاوی مقداری نمک هستند. کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده‌ای که در زهاب‌ها وجود دارند و باعث شور شدن خاک می‌شوند به ترتیب شامل Na^{+}، Ca^{+2}، Mg^{+2}، Cl^{-}، SO_4^{-2} و HCO_3^{-} می‌باشند. سایر یون‌ها و عناصری که می‌توانند سهمی در شور شدن خاک داشته باشند، دارای غلظتی بسیار اندک هستند. بنابراین نقش آن ها در شور کردن خاک ناچیز است، ولی عناصری مانند B برعملکرد، Se وMo بر کیفیت محصولات، و NO_3^{-}، B، Se، As، U و Mo بر کیفیت زیست محیطی زهاب‌ها تاثیر می‌گذارند.

۱-۴-۱-۲- توزیع نمک در نیمرخ خاک

به جز در شرایط کنترل شده ی آزمایشگاهی، شوری خاک به ندرت در کل نیمرخ خاک یکنواخت است. بسته به شدت آب‌شویی و سرعت زهکشی، توزیع نمک در نیمرخ خاک ممکن است یکنواخت و یا کاملا غیریکنواخت باشد. روش آبیاری یکی از عواملی است که توزیع نمک در خاک را کنترل می‌کند. چنان چه سطح ایستابی شور تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک باشد، املاح می‌توانند به وسیله جریان مویینگی به بالا حرکت کرده و در آن‌جا تجمع یابند. در چنین حالتی، توزیع نمک به گونه‌ای تغییر می‌کند که بیش‌ترین شوری در سطح خاک تمرکز یافته و با افزایش عمق تا سطح ایستابی از مقدار آن کاسته می‌شود.

شوری خاک در فاصله بین دو آبیاری نیز بر اثر تبخیر آب، تغییر می‌کند. در نتیجه، گیاه باید به غلظتی از املاح واکنش نشان دهد که در ناحیه‌ی ریشه به طور چشمگیری دستخوش تغییرات مداوم می‌گردد. رشد ریشه و پراکنش آن در نیمرخ خاک نه تنها از مقدار رطوبت خاک و روش آبیاری متاثر می‌گردد، بلکه تغییرات شوری نیز سهمی به سزا بر آن دارد. در مورد این که گیاه چگونه به شوری های متغیّر در نیمرخ خاک واکنش نشان می دهد نظر واحدی وجود ندارد (Rhoades و

همکاران، ۱۹۹۲). برای بیان رابطه ی عملکرد با مقادیر متغییر شوری، Rhoades (۱۹۹۹) پیشنهاد کرده که برای آبیاری مرسوم از میانگین خطی شوری در زمان و مکان و برای آبیاری‌های با دور زیاد از میانگین وزنی آب جذب شده توسط گیاه استفاده شود. برخی پژوهشگران (Dirksen و همکاران، ۱۹۹۹؛ Homaee و Feddes، ۱۹۹۹؛ ۲۰۰۲ ؛ ۲۰۰۱) نیز میانگین وزنی مبتنی بر جذب نسبی را پیشنهاد کرده اند. بدین معنی که گیاه به میانگین وزنی هدایت الکتریکی محلول خاک متناسب با کل مقدار جذب واکنش نشان می‌دهد.

۱-۴-۱-۳- رطوبت خاک

گیاهان مبتلا به شوری معمولا در شرایطی قرار دارند که یا کم‌آبی و یا فراوانی آب شور بر آن حاکم است. بنابراین، رفتار گیاه طی دوره‌ی رشد نه تنها به پاسخ گیاه به شوری بلکه به کم‌آبی هم بستگی دارد. از طرف دیگر در خاک‌های غرقابی و یا خاک هایی که زهکشی ضعیفی دارند، پخشیدگی گاز اکسیژن به ریشه ها کاهش یافته و بنابراین رشد گیاه با کاهش تنفس ریشه‌ها محدود می‌شود. هنگامی که نیمرخ خاک به وسیله آب شور اشباع شود، اثر مشترک شوری و کمبود O_2 می‌تواند به صورتی مضاعف جوانه زدن بذر، جذب انتخابی یون‌ها توسط گیاه، و رشد شاخه‌ها را مختل کند.

کمبود آب یکی از پدیده هایی است که در شرایط زراعی اجتناب‌ناپذیر است، زیرا رطوبت خاک طی فصل رشد در زمان و مکان تغییراتی فراوان دارد. این که چگونه گیاه به مجموع شوری و کم آبی پاسخ می دهد هنوز به خوبی روشن نشده است. بدیهی است که گیاه از هر دوی این تنش‌ها بیش‌تر آسیب می‌بیند تا یکی از آن‌ها به تنهایی. کم‌آبی ممکن است بر بخش‌های بالاتر ناحیه ریشه چیره باشد، حال آن‌که شوری خاک بیش‌تر بخش‌های زیرین را متاثر می‌سازد.

صرف‌نظر از این که گیاه چگونه به این تنش‌ها پاسخ می‌دهد، ثابت شده که عملکرد گیاه در شرایط شور بهتر از حالت کم آبی است. با این حال، کوتاه کردن فواصل آبیاری الزاما به بهبود عملکرد گیاهان مبتلا به شوری نمی‌انجامد. گیاهانی که از شوری رنج می‌برند، نسبت به گیاهانی که به شوری مبتلا نیستند هم کوچکتر هستند و هم رشد کندتری دارند و بنابراین نیاز آبی آن‌ها کم‌تر است. در نتیجه، مقدار آب کم‌تری را از نیمرخ خاک برداشت می‌کنند و بنابراین کم‌تر به دور آبیاری پاسخ می‌دهند. در نتیجه، افزایش دور آبیاری تنها هنگامی به سود گیاه است که بتواند اولا تنش آبی را (در صورت وجود) کاهش دهد، ثانیا غلظت املاح محلول را از حدی پایین‌تر نگه دارد، و ثالثا فراوانی آب، باعث کاهش پخشیدگی گاز O_2 نشود.

۱-۴-۱-۴- موجودات خاکزی

پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که باکتری‌های همزیست ریزوبیوم (Rhizobium Spp.) مقاوم‌تر از گیاه میزبان خود به شوری هستند. با این حال ممکن است در خاک های شور، غده‌زایی و تثبیت N_2 در برخی گیاهان دچار اختلال گردد. رشد بسیاری از بقولات هنگامی که به صورت همزیست کشت شوند بیش تر کاهش می‌یابد تا زمانی که از کود ازتی استفاده شود. همزیستی قارچ‌های Mycorrhiz نیز تحمّل گیاه به شوری را از طریق بهبود تغذیه‌ی فسفری افزایش می‌دهد.

شوری خود مستقیما باعث بروز بیماری های گیاهی نمی‌شود، لیکن گیاهان مبتلا به شوری ممکن است در معرض عوامل بیماری‌زا قرار گیرند. شوری باعث افزایش پوسیدگی ریشه بر اثر حمله قارچ فایتوفترا[1] در گل‌داودی، مرکبات و گوجه‌فرنگی می‌گردد. اثر مشترک شوری و قارچ فایتوفترا موجب کوچک شدن میوه و کاهش شدید عملکرد می‌شود. همچنین در خاک‌های شور، چنان‌چه خاک برای مدتی طولانی مرطوب باشد، احتمال بروز بیماری‌های قارچی افزایش می‌یابد. بدیهی است که زهکشی نامطلوب خطرات یاد شده را تشدید می‌کند.

۱-۴-۱-۵- شرایط فیزیکی خاک

شرایط فیزیکی خاک نیز می‌تواند اثرات ناشی از شوری را بر گیاه تحت تاثیر خود قرار دهد. مثلا ساختمان ضعیف خاک و یا وجود لایه‌های کم‌نفوذپذیر در نیمرخ خاک رشد ریشه‌ها را محدود کرده و حرکت و توزیع آب و املاح را متاثر می‌سازد. تشکیل لایه‌ی نمکی در سطح خاک نیز به صورت مانعی فیزیکی عمل کرده و جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاه نوپا را مختل می‌سازد.

۱-۴-۱-۶- حاصلخیزی خاک

در اراضی فاریاب، به منظور دستیابی به حداکثر عملکرد از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود. لیکن ممکن است به دلیل فراهم نشدن آن در زمان مورد نیاز گیاه، به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار نگیرد. چنان‌چه گیاه در شرایطی رشد کند که مقدار کافی عناصر غذایی در خاک موجود نیست، ممکن است حاصلخیزی خاک، و نه شوری آن، نخستین عامل محدود کننده‌ی رشد گیاه باشد. به طور کلّی، مصرف بهینه‌ی کود موجب افزایش عملکرد می‌گردد، قطع نظر از این‌که خاک شور بوده یا نه ولی مسلما این افزایش هنگامی که خاک شور نباشد بیش تر است. هنگامی که عملکرد بر اثر فقر غذایی و یا شوری به طور مشابهی کاهش یافته باشد، کاهش شوری و یا مصرف کود، افزایش عملکرد را در برخواهد داشت. اما چنان چه اثر یکی از این دو تنش در کاهش عملکرد بیش از دیگری باشد، جلوگیری از تنشی که شدیدتر است عملکرد را بیش‌تر افزایش می‌دهد تا تنشی که سهم کم‌تری در کاهش عملکرد دارد. مصرف N، P و K به میزانی اندک مقاومت گیاهان را به شوری افزایش می‌دهد (Grattan & Grieve, ۱۹۹۹). بنابراین، به هنگام وجود هر دو تنش شوری و فقر غذایی باید دقت نمود که آیا مصرف کود تحمّل گیاه به شوری را کاهش و یا افزایش می‌دهد.

1- Phytophthora

۱-۴-۲- اقلیم و کیفیت هوا

بدون شک شرایط اقلیمی، اگر نگوییم بیش‌تر ولی به اندازه‌ی سایر عوامل، واکنش گیاه به شوری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. چنان‌چه هوا سرد باشد، بیش‌تر گیاهان می‌توانند شوری‌های بیش‌تری را تحمل کنند. اثر تلفیقی شوری در شرایطی که نیاز تبخیری بالا، دما زیاد، رطوبت نسبی کم و خشکی و باد زیاد باشد، به مراتب تنش بیش تری بر گیاه وارد می‌کند تا خود شوری به تنهایی. چون اقلیم اثر مهمی بر واکنش گیاه به شوری دارد، نتایج حاصل از آزمایشات متاثر از فصلی است که پژوهش در آن صورت گرفته است. مثلا چنان‌چه مقاومت سبزیجات زمستانی به شوری در فصل گرم و خشک ملاک قرار گیرد، تحمل واقعی آن ها دست‌کم گرفته خواهد شد. زیرا سبزیجات زمستانی قادرند در شرایط طبیعی رشد خود، یعنی در هوای سرد که نیاز تبخیری هوا کم‌تر است، مقاومت بیش‌تری داشته باشند.

عملکرد بسیاری از محصولات بر اثر آلودگی هوا نیز کاهش می‌یابد. وجود O_3 که یکی از عوامل مهم آلودگی هوا به شمار می‌آید، عملکرد گیاهان کشت شده در خاک‌های غیرشور را بیش‌تر از خاک‌های شور کاهش می‌دهد. افزایش غلظت O_2 هوا نیز بر واکنش گیاه به شوری موثر است. برخی مطالعات نشان می‌دهد که با زیاد شدن غلظت CO_2 مقاومت لوبیا، ذرت، آتریپلکس، رز و یونجه به شوری افزایش می‌یابد. نکته‌ی قابل تذکر در این پژوهش‌ها این است که از غلظت‌های بسیار زیاد گازکربنیک (حدودا ۲۵۰۰ µL/L) که چندین برابر غلظت متعارف آن در طبیعت است استفاده شده است.

۱-۴-۳- عوامل گیاهی

۱-۴-۳-۱- سن گیاه

حساسیّت گیاه به شوری طی فصل رشد دائما تغییر می‌کند. بیش‌تر گیاهان در مرحله‌ی جوانه زدن[1] مقاوم هستند ولی در مرحله گیاهچه[2] و مراحل اولیه‌ی پس از آن حساس بوده و در معرض آسیب می‌باشند. چنان‌چه گیاه در خاک استقرار یابد، با گذشت زمان و در مراحل بعدی رشد به شوری مقاوم‌تر می‌شود. بنابراین، اگر گیاه بتواند مرحله «گیاهچه» تا «رشد اوّلیه» را در یک خاک شور با موفقیت پشت سر گذاشته و در آن استقرار یابد، با افزایش سن، مقاومت آن به شوری افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر، هر چه گیاه در مراحل آغازین‌تر رشد خود به شوری مبتلا شود، با کاهش عملکرد بیش تری مواجه خواهد شد. اولین اثر شوری بر گیاه تاخیر در جوانه زدن و ایجاد گیاهچه است. چنان‌چه افزون بر شوری، تنش‌های دیگری مانند کم‌آبی، نوسان شدید گرما و لایه‌ی نمکی در سطح خاک وجود داشته

1- Germination
2- Seeding

باشد، این تاخیر تشدید خواهد شد. معمولا به دلیل وقوع فرآیند تبخیر از سطح خاک، مقدار شوری خاک در بستر بذر بیش‌تر از بخش‌های زیرین است. بنابراین ریشه‌های جوانِ برون آمده از بذر، در معرض شوری بیش‌تری از آنچه که از میانگین کلّ شوری در نیمرخ خاک محاسبه می‌شود، قرار دارند. زیان وارد شده در این مرحله‌ی حساس ممکن است تراکم گیاه را در واحد سطح کاهش داده و نهایتا مقدار عملکرد را به طوری معنی‌دار پایین بیاورد.

حساسیّت برخی گیاهان مانند گندم، جو، پنبه، برنج، گوجه‌فرنگی، ذرت و بادام‌زمینی به شوری در مرحله‌ی جوانه‌زنی بیش‌تر از مرحله‌ی استقرار جوانه است. متاسفانه اطلاعات کمّی درباره‌ی مقاومت گیاهان در مراحل جوانه‌زنی و استقرار جوانه بسیار محدود است، لیکن اغلب پژوهش ها نشان می‌دهند که هر چند که شوری خاک سبز شدن را به تاخیر می‌اندازد، ولی چنان چه مقدار آن از حدّ آستانه برای گیاه بالغ تجاوز ننماید، درصد بذرهای سبز شده ی اغلب گیاهان کاهش نخواهد یافت.

با افزایش سن، مقاومت گیاه به شوری زهاب‌ها نیز افزایش می‌یابد. بررسی‌ها برروی سورگوم، گندم و لوبیا چشم بلبلی نشان داده که حساسیّت این گیاهان به شوری طی دوره‌ی رویشی و مراحل اوّلیه‌ی تولید محصول، بیش‌تر از مرحله‌ی گلدهی و آنهم بیش‌تر از مرحله‌ی پر شدن دانه‌هاست. در مرحله‌ی تشکیل سنبله یا خوشه، تنش شوری موجب تسریع رشد خوشه و کاهش تعداد سنبلک در گندم می‌شود. در هر حال این کاهش تا اندازه‌ای با افزایش تعداد بذر در سنبلک جبران می‌شود (Grieve و همکاران، ۱۹۹۲).

مهم‌ترین اثر شوری زهاب بر غلات درمرحله ی رشد رویشی و آغاز مراحل زایشی بوده که نتیجه‌ی آن جلوگیری از تشکیل پنجه‌ها است. شوری تقریبا همه‌ی پنجه‌های ثانویه‌ی گندم را از بین برده و تعداد غلاف برگ و پنجه‌های اولیه را به شدت کاهش می‌دهد (Maas و همکاران، ۱۹۹۴). پنجه‌های اوّلیه‌ای که بر روی برگ‌های اول و دوم استقرار می‌یابند، کم‌ترین حساسیّت را به شوری دارند. کاهش محصول عمدتا بر اثر کاهش تعداد سنبلک و تا اندازه‌ی کم‌تری بر اثر کاهش تعداد دانه در سنبله است. نتایج آزمایش‌ها نشان داده که مقاومت غلات به شوری زهاب پس از گذر از مرحله‌ی ساقه رفتن افزایش یافته به نحوی که گیاه در مرحله‌ی گلدهی عملا حساس نمی‌باشد.

۱-۴-۳-۲- نوع و گونه گیاهی

آمار و ارقام موجود در مورد مقاومت بیش‌تر گونه‌های گیاهی مبتنی بر نتایج به دست آمده از یک یا دو رقم یا واریته است. با این حال اطلاعات موجود بیانگر آن است که اغلب واریته‌های مربوط به یک گونه‌ی گیاهی مقاومت نسبتا یکسانی به شوری دارند. این مطلب به صورت مطلق صادق نیست زیرا پژوهش ها نشان می‌دهند که مقاومت ارقام در برخی گونه ها بسیار متفاوت است (Shannon و Noble، ۱۹۹۰). به هرحال این مطلب هنوز روشن نیست که آیا این تفاوت ها مربوط به «مقاومت گیاهان» به شوری و یا مربوط به «سازگاری گیاهان» به شرایط محیطی یا تغذیه‌ای است که در آن رشد می‌یابند. در مورد درختان میوه و به ویژه انگور، این تفاوت‌ها بیش‌تر به چشم می‌خورند، به‌نحوی که مقاومت آن‌ها شدیدا به نوع رقم

و واریته بستگی دارد. مبنای مقاومت ارقام مختلف، توانایی آن‌ها در تنظیم جذب Na^+ و Cl^- می‌باشد. بدین ترتیب که هر چه توانایی گیاه در جلوگیری از جذب Na^+ و Cl^- بیش‌تر باشد، مقاومت بیش‌تری از خود به شوری نشان می‌دهد.

۱-۴-۴- عملیات کشاورزی

۱-۴-۴-۱- روش آبیاری

روش آبیاری می‌تواند واکنش گیاه را به شوری تحت تاثیر قرار دهد، زیرا اولا توزیع نمک در خاک را از خود متاثر ساخته، ثانیا مشخص می‌کند که آیا برگ ها مرطوب خواهند شد یا نه (در آبیاری بارانی) و ثالثا بیانگر آن است که دسترسی به پتانسیل آبی[1] زیاد در خاک تا چه حد امکان‌پذیر می‌باشد. بدیهی است آن دسته از روش‌های آبیاری که موجب نگهداری پتانسیل آبی بالاتری در خاک می‌شوند، رشد بهینه‌ی گیاه را تضمین خواهند کرد.

بر خلاف روش‌های آبیاری سطحی، روش‌های تحت فشار به ویژه روش بارانی با به‌کار گرفتن مقدار کم‌تری آب می‌توانند توزیعی یکنواخت‌تر در سطح مزارع داشته باشند. در روش های آبیاری سطحی، برای دستیابی به چنین توزیع یکنواختی، باید مقدار حداقلی آب به‌کار رود که این حداقل ممکن است بیش از برداشت آب توسط تبخیر و تعرق باشد و بدین ترتیب منجر به افزایش میزان جریان زهکشی به مقدار غیرضروری گردد. بنابراین، روش های آبیاری تحت فشار برای دسترسی به توزیع یکنواخت آب و کاهش تلفات زهکشی مناسب‌تر از روش‌های سطحی هستند. البته نباید فراموش کرد که در صورت استفاده از آبیاری بارانی گیاهان از راه برگ های خود می‌توانند به آسانی املاح موجود در آب را جذب کنند و بدین ترتیب شاخ و برگ آن‌ها مستقیما آسیب ببینند.

۱-۴-۴-۲- بستر بذر

نحوه‌ی آراستن بستر بذر و چگونگی قرار گرفتن بذر در خاک بر جوانه‌زنی و استقرار آن در خاک‌های شور که به صورت شیاری آبیاری می‌شوند موثر است. اگر بذر، سطحی تخت داشته باشد، تهیه‌ی بستر به صورت تک شیاری موجب آسیب رساندن شوری به آن می‌شود. زیرا نمک در مرکز بستر انباشته می‌شود. اما شیب‌دار کردن بستر بهترین شرایط ممکن را فراهم می‌آورد، زیرا بخش عمده‌ای از نمک به همراه جبهه‌ی رطوبتی به مرتفع‌ترین مکان بستر حرکت کرده و در آن‌جا تجمع می‌یابد. به طور کلّی، عملیاتی که می توانند اثر شوری را در بستر بذر در روش آبیاری شیاری به حداقل برسانند عبارتند از:

- نگهداری رطوبت زیاد در شیار،

1- Hydraulic Potential

- شیب دار کردن بستر بذر، و
- کاشت بذر در شیارهای دوگانه‌ی V شکل با سطح صاف.

اطلاعات بیش‌تر در این زمینه توسط Pasternak و De Malach (۱۹۹۴) ارائه شده است که خوانندگان برای پی‌گیری جزئیات می‌توانند به آن مراجعه کنند.

توزیع نمک در خاک، مانند آنچه که در بالا به آن پرداختیم، تا حدود زیادی به جهتِ جریان آب در خاک بستگی دارد. بدیهی است که انباشت نمک در نقطه‌ی تماس آب آبیاری با خاک کم‌ترین است، ولی در جهت جریان آب افزایش می یابد. پس از آبیاری، آب در جهتی حرکت می‌کند که تبخیر و یا تعرق صورت می‌گیرد؛ بنابراین، نمک در جایی تجمع می‌یابد که این پدیده‌ها رخ می‌دهند. Oster و همکاران (۱۹۸۴) چگونگی توزیع نمک در روش‌های آبیاری شیاری، بارانی، قطره‌ای و قطره‌ای زیرزمینی را مورد بررسی قرار داده که علاقه‌مندان می‌توانند به آن رجوع کنند.

۱-۵- ملاحظات کیفی زهاب‌ها برای مصرف مستقیم و غیرمستقیم

استفاده از زهاب‌ها روشی مهم و طبیعی در مدیریت زهاب است. به منظور بهره‌وری بهینه از یک منبع آبی و کمک به دفع صحیح زهاب‌ها، راه کارهایی چند ارائه شده است. استفاده از زهاب باید هم از دیدگاه اثرات محیطی و هم غیرمحیطی برای کوتاه مدت و درازمدت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

در مناطقی که آب آبیاری محدود است، از زهاب می‌توان به عنوان یک منبع آبی مکمّل استفاده کرد. در هر حال، کیفیت زهاب مشخص می‌کند که چه محصولاتی را می‌توان با آن آبیاری کرد.

بدیهی است که از زهاب‌های خیلی شور نمی‌توان برای آبیاری محصولات حساس به شوری استفاده کرد. لیکن برای آبیاری محصولات و درختان مقاوم به شوری، می‌توان از چنین زهاب‌هایی استفاده کرد. چنان‌چه یک شبکه آبیاری، نزدیک یک آبگیر طبیعی قرار داشته باشد، زهاب مربوطه را می توان مجددا در همان آبگیر به‌کار گرفت. در هر حال باید احتیاط کرد تا کیفیت زهاب به ماهی‌ها، مرغان آبی و دیگر جانوران موجود در آبگیر آسیبی نرساند. همچنین، مقدار آب عبوری از آبگیر باید برای اجتناب از گسترش مواد سمّی در آن کافی باشد.

۱-۵-۱- تولیدات گیاهی

به هنگام استفاده از زهاب برای آبیاری فرآورده‌های کشاورزی، غلظت زیاد یون‌ها عامل زیان‌بار اصلی به شمار می‌آیند. با افزایش شوری، ممکن است غلظت یون‌ها به مرز سمیّت رسیده و یا جذب مواد غذایی را مختل سازند. انباشت یون‌ها در خاک، باعث افزایش پتانسیل اسمزی شده و گیاهان ناگزیرند با صرف انرژی بیش‌تر، آب جذب کنند (همایی و اشمید هالتر، ۲۰۰۸). انباشت یون سدیم همچنین می تواند موجب تخریب ساختمان خاک شود. زهکشی و نمک‌زدایی ناحیه ریشه، از عوامل اصلی در مدیریت آب شور در کشاورزی به شمار می‌آید. استفاده از زهاب برای تولید فرآورده‌های

کشاورزی، توجیه اقتصادی قابل قبولی دارد و محصولات زیادی وجود دارند که در برابر نمک مقاوم می‌باشند. با این حال، با افزایش شوری آب آبیاری، نیاز به نظارت و مدیریت آبیاری و انجام آزمایش‌های مربوط به زهاب بیش‌تر می‌شود.

چنان چه ویژگی‌های آب، خاک و گیاهان مورد نظر شناسایی و ملاحظات اقتصادی نیز لحاظ شده باشد، با اطمینان کامل امکان استفاده از زهاب‌ها وجود دارد. در مورد زهاب‌های کم کیفیت، لازم است گیاهان مقاوم به نمک انتخاب شوند و اصلاحاتی نیز در سیستم مدیریت آب و حفظ ساختمان و نفوذپذیری خاک (شخم‌زدن) به وجود آید. به جز مراحل حساس رشد مانند جوانه‌زدن و رشد اولیه، شوری موقت ناحیه‌ی رشد ریشه، معیاری معتبر برای ارزیابی واکنش گیاهان به شوری است (همایی، ۱۳۸۱). گیاهان معمولا به مقدار نمک در محدوده زمانی ویژه‌ای از رشد واکنش نشان می دهند. با شناسایی اثرات شوری بر رشد گیاهان مختلف و میزان بهره‌دهی آن‌ها، اقداماتی عملی در مدیریت کشاورزی قابل اجرا می‌باشد که در فصول آینده مورد بحث قرار خواهند گرفت.

مهم‌ترین واکنش گیاه به شوری و یا زهاب، کاهش رشد است. با ورود آب شور به خاک، خاک نیز شور شده و رشد گیاه را به شدت متاثر می‌سازد. با افزایش غلظت املاح به بیش از «آستانه‌ی تحمّل»[1] گیاه، هم آهنگ رشد کاهش می‌یابد و هم اندازه‌ی گیاه کوچک می‌شود. آستانه‌ی تحمّل یا آستانه‌ی مقاومت گیاه، غلظتی از املاح محلول در خاک است که از آن پس کاهش عملکرد آغاز می‌شود. هم آستانه ی مقاومت و هم کاهش سرعت رشد به نوع و گونه ی گیاهی بستگی داشته و در گیاهان و گونه‌های مختلف متفاوت است. مثلا گیاهانی مانند باقلا و توت‌فرنگی آنقدر حساس هستند که اگر غلظت املاح محلول در خاک تنها به دو برابر غلظت متعارف یک خاک غیر شور برسد، دچار کاهش رشد می‌شوند. از سوی دیگر گیاهانی چون پنبه، جو و چغندرقند تقریبا به اندازه‌ی گیاهان نمک‌دوست[2] قادر به تحمّل شوری هستند و معمولا در شوری‌های اندک رشد بهتری نسبت به خاک غیرشور دارند.

شوری خاک از راه‌هایی چند بر فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه تاثیر می‌گذارد ولی نشانه‌های آسیب‌دیدگی ناشی از وجود شوری معمولا هنگامی در گیاه آشکار می‌شود که غلظت املاح محلول در خاک بسیار بالا باشد. گیاهان مبتلا به شوری اغلب ظاهری معمولی دارند ولی عموما کوتاه‌تر بوده، برگ آن‌ها ضخیم‌تر، پرآب‌تر و به رنگ سبز تیره هستند.

هر چند که مفهوم کمّی مقاومت گیاهان به شوری، بر پایه ی عملکرد (مقدار محصول) استوار است، لیکن شوری خاک می‌تواند منجر به کاهش کیفیت برخی محصولات نیز گردد. مثلا با افزایش شوری، اندازه و یا کیفیت میوه‌ها کاهش می‌یابد. ارزش بازاری (بازاریابی) بسیاری از سبزیجات مانند هویج، خیار، کرفس، فلفل، سیب‌زمینی، کلم، کاهو و سیب‌زمینی شیرین به طور قابل ملاحظه‌ای پایین می‌آید، و یا این‌که کیفیت میوه‌ی مرکبات اندکی نامرغوب می‌شود.

1- Threshold Value
2- Halophytes

به طور کلّی، شوری از سه راه رشد و عملکرد گیاه را محدود می‌کند. اثر نخست و غالب مربوط به کلّ املاح محلول در خاک است که کاهش پتانسیل اسمزی را به دنبال دارد. با کاهش پتانسیل اسمزی، انرژی آزاد آب کاهش یافته و گیاه برای به دست آوردن مقداری مشخص آب باید انرژی حیاتی بیش‌تری صرف کند. بنابراین بخشی از انرژی که خود گیاه برای رشد و نمو به آن نیاز دارد، صرف به دست آوردن آب شده و بدین ترتیب رشد عمومی آن کاهش می‌یابد. به این اثر، اصطلاحا «اثر اسمزی»[1] گویند. اثر دوم مربوط به وجود یون‌هایی خاص در محلول خاک می‌شود. یون‌هایی نظیر کُلر، سدیم و یا بُر به تنهایی می‌توانند مستقیما موجب بروز سمّیت در گیاه شده و در مکانیسم‌های جذب گیاه اختلال ایجاد کنند. ممکن است که حتی خاک شور نباشد ولی با افزایش غلظت نسبی هر یک از یون های یاد شده در محلول خاک، گیاه مسموم گردد. درصورتی‌که هم خاک شور باشد و هم فراوانی نسبی این یون‌ها زیاد باشد، گیاه افزون بر گزند ناشی از شوری، از سمّیت یونی نیز رنج خواهد برد. اصطلاحا به این اثر «اثر ویژه ی یونی»[2] یا «اثر اختصاصی یونی» گفته می‌شود. اثر نوع سوم در حقیقت زاییده ی اثر نوع دوم است که موجب بروز «عدم تعادل تغذیه‌ای»[3] می‌شود. بدین معنی که وجود یون‌های سدیم، کُلر و نظایر آن به مقدار زیاد منجر به بر هم خوردن تعادل عناصر غذایی موجود در محلول خاک شده و نهایتا جذب و انتقال سایر عناصر غذایی ضروری مانند K^+، Ca^{2+} و Mg^{2+} از خاک به گیاه مختل می‌گردد. گاه به اثرات دوم و سوم اثر اختصاصی (ویژه) و به اثر اول اثر غیراختصاصی نیز گویند.

- اثر اسمزی

کاهش رشد گیاه بیش‌تر ناشی از اثر غیراختصاصی شوری است. بدین معنی که می‌توان آن را مستقیما به کل غلظت املاح محلول و یا پتانسیل اسمزی آب خاک مرتبط دانست. معمولا در فشارهای اسمزی برابر، ترکیبات شیمیایی متفاوت موجب کاهش رشد همسانی در گیاه می‌شوند. از سوی دیگر، چنان‌چه غلظت یک نمک معیّن در محلول خاک از حدی فراتر رود و یا نسبت‌های یونی موجود به سود یکی از آن‌ها تغییر یابد، یا سمّیت یونی و یا عدم تعادل تغذیه‌ای رشد گیاه را به‌صورتی مضاعف محدود می‌کند، لیکن از آن‌جا که محلول خاک‌های شور دارای انواع مختلف نمک است، اثر اختصاصی یون‌ها نسبت به اثر اسمزی در کاهش رشد گیاه، به ویژه برای گیاهان یکساله و چندساله‌ی غیردرختی، کم‌تر می‌باشد. از سوی دیگر، درختان میوه و گیاهان آجیلی می‌توانند یون‌های Cl^- و Na^+ را تا حد سمّیت در خود جمع کنند که منجر به سوختگی برگی، نکروز و کاهش برگدهی می‌گردد. شدت و دامنه‌ی زیان ناشی از این امر به مقدار تجمع عناصر یادشده بستگی دارد. برخی از گیاهان یکساله مانند سویا نیز توانایی انباشت یون‌های سمّی را دارند، ولی حتی اگر غلظت Na^+ و Cl^- تجمع یافته در آن‌ها به اندازه‌ای باشد که در گیاهان چوبی ایجاد سمّیت می‌کند، مسموم نمی‌شود.

1- Osmotic Effect
2- Especific Ion Effect
3- Plant Nutritional Imbalance

- اثر ویژه‌ی یونی

هنگامی که اثر اختصاصی یونی و سمّیت ناشی از آن رخ می‌دهد، زیان آن به همراه اثر اسمزی به صورت توامان منجر به کاهش عملکرد می‌شود. چنان‌چه کاهش رشد گیاه نتیجه‌ی هر دو عامل یاد شده با هم باشد، جدا کردن سهم هر یک در این کاهش به طور کمّی عملا غیرممکن است. لیکن اگر بخواهیم اثر آن‌ها را به صورت کیفی تفکیک کنیم، می‌توانیم اثرکل کاهش را به زیان‌های وارده به برگ‌ها و خزان برگی که سرانجام کاهش سطوح فتوسنتزکننده‌ی تاج گیاه را به دنبال دارد نسبت دهیم. اثر ویژه ی یونی در برخی از گیاهان چوبی مانند انگور ممکن است بر اثر اسمزی غالب باشد و در برخی دیگر همچون میوه‌های هسته‌دار با زیان ناشی از شوری برابری کند.

کاهش محصول ناشی از تنش اسمزی در بیش‌تر محصولات از جمله گونه‌های درختی، ممکن است پیش از آن‌که نشانه‌های آسیب برگی ظاهر شوند، قابل توجه باشد. گزارش‌هایی نظیر این‌که در مرکبات کاهش محصول پیش از تجمع مقدار قابل ملاحظه‌ای Na^+ و Cl^- در برگ‌ها و بروز نشانه‌های ظاهری اتفاق می‌افتد، نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که اثر غالب مربوط به فشار اسمزی است. با این حال پدیده‌ی تجمع یون‌ها تا حد سمّیت در درختان، پدیده‌ای تدریجی است که طی چندین سال و پیش از آن‌که نشانه‌های برگی ظاهر گردند صورت می گیرد. بنابراین، خسارت برگی می‌تواند بلافاصله پس از رسیدن این یون‌ها به برگ‌ها پدید آید. در چنین حالتی با گذشت زمان، مقاومت گیاه به یون‌های یادشده کاهش یافته و زیان‌های برگی با سرعت بیش‌تری بروز می‌کنند. بدین ترتیب زمان شروع آسیب‌های برگی می‌تواند بیانگر شدت خسارت وارده به محصول باشد. چنان‌چه این آسیب‌ها در اواخر فصل زراعی (برای محصولات یکساله) بروز کنند، خسارت چندانی به عملکرد وارد نمی‌شود. اما در آندسته از درختان میوه که محصول آن‌ها طی یک دوره‌ی دوساله فراهم می‌آید، خسارت برگی در هر دو سال تعیین کننده‌تر از زمانی است که تنها در سال دوم اتفاق می‌افتد. بدیهی است که ادامه تنش در درازمدت، افزون بر محصول و برگ‌ها سرانجام به خود درخت نیز آسیب خواهد رساند.

- عدم تعادل تغذیه‌ای

افزون بر اثر اسمزی و سمّیت ویژه‌ی یونی، شوری خاک موجب بروز عدم تعادل تغذیه‌ای در گیاه می‌گردد، که شدت و ضعف آن بسته به نوع گیاه و حتی گونه‌های مختلف یک گیاه متفاوت است. دامنه‌ی بهینه‌ی هر عنصر غذایی در محلول خاک به عوامل مختلفی از جمله غلظت و ترکیب شیمیایی املاح بستگی دارد. زیرا شوری خاک، «فعالیت یونی»[1] عناصر غذایی موجود در محلول خاک را تحت تاثیر خود قرار داده و در نتیجه توازن موجود میان نسبت آن‌ها را برهم

1- Ionic Activity

می‌زند. مثلا چنان‌چه نسبت‌های Na^+ / K^+ و Cl^- / NO_3^- و Na^+ / Ca^{2+} افـزایش یابـد، گیـاه دچـار اخـتلال تغذیـه‌ای می‌گردد. به طور کلی شوری خاک، تعادل تغذیه‌ای گیاه را از راه‌های زیر برهم می‌زند:

- مختل کردن «قابلیت دسترسی»[1] عناصر غذایی از خاک؛
- مختل کردن جذب و یا توزیع عناصر غذایی در درون گیاه؛ و
- افزایش نیاز گیاه به یک یا چند عنصر غذایی بر اثر غیرفعال شدن برخی فرآیندهای فیزیولوژیک.

مجموعه‌ی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که با افزایش شوری خاک، جذب عناصـر غـذایی توسـط گیـاه کـاهش می‌یابد. البته این خود به نوع عنصر غذایی و ترکیب شیمیایی محلول خاک شور بستگی دارد. فعالیت یونی عناصر غذایی با افزایش شوری خاک کاهش می‌یابد مگر آن‌که عنصر مورد نظر خود از عناصری باشد که شـوری خـاک را فـراهم آورده باشد (مانند کلسیم، منیزیم و یا یون سولفات). یک مثال روشن در این مورد، کاهش قابلیت دسترسی فسفر در خاک‌های شور است. زیرا از یک طرف با افزایش شوری، اثر «قدرت یونی»[2] کاهش فعالیت یون فسفر را به همراه داشـته و از طـرف دیگر غلظت فسفر خود به وسیله فرآیندهای جذب سطحی در خاک مهار می‌گردد. شوری خاک به طور غیرمسـتقیم و از راه محدود کردن رشد ریشه‌ها نیز جذب عناصر غذایی را کاهش می‌دهد.

غالبا در خاک‌های شور، جذب و تجمع عناصر غذایی در گیاه بر اثر ایجـاد فرآینـدهای رقـابتی بـین عناصـر غـذایی و گونه‌های مختلف نمک کاهش می‌یابد. همچنین گیاهان به صورت انتخابی جذب K^+ به Na^+ را ترجیح می‌دهند؛ ولی در صورت چیرگی غلظت یون سدیم در محلول خاک، کمبود K^+ در گیـاه قطعـی اسـت. همچنـین، فراوانـی Cl^-، جـذب و تجمع NO_3^- را درگیاه شدیدا کاهش می‌دهد. کمبود کلسیم هنگامی که غلظت Na^+ بالا است (نسبت Na^+ / Ca^{2+} بـالا) از جمله پدیده‌هایی است که توسط پژوهندگان مختلف گزارش شده است. این موضوع به ویژه برای گیاهان علفـی نظیـر ذرت، سورگوم، برنج، گندم و جو صادق است.

۱-۵-۲- آبزی پروری

به هنگام پرورش آبزیان، به ویژه ماهی و میگو، به این نکته باید توجه داشت که اولا کیفیت زهاب و شـوری آن بـرای حیات این موجودات مناسب بوده و به گونه‌ای نباشد که رشد آن‌ها را متوقف کند. دوم این‌که باید بـه ترکیـب شـیمیایی موجود در زهاب توجه نمود. حضور آفت‌کش‌ها و عناصر کمیاب با خاصیت تجمع‌پذیری در بدن آبزیان، می‌تواند در نهایت به مسمومیت این موجودات و مصرف‌کنندگان آن‌ها بیانجامد. حوضچه‌های پرورش آبزیان باید جریـان خروجـی مناسـبی نیز داشته باشند تا از تجمع عناصر مورد نظر در نتیجه تبخیر از سطح آب حوضچه جلوگیری شود.

1- Availablility
2- Ionic Strength

چنان‌چه از آبگیرهای طبیعی برای پرورش آبزیان استفاده شود، ورود زهاب افزون بر موارد فوق ممکن است بر اثر وجود مواد مغذی در آن، به پدیده اوتریفیکاسیون و رشد بیش از حد جلبک ها منجر شود و تولید آبزیان را کاهش دهد. همچنین تخلیه فاضلاب‌های خانگی و شهری به شبکه زهکشی و استفاده از این نوع زهاب‌ها برای پرورش آبزیان، می‌تواند منجر به انتقال برخی از عوامل بیماری‌زا و انگل‌های مشترک بین انسان و حیوان شود. احتمال تکثیر پشه و برخی حشرات موذی در چنین حوضچه هایی را نیز نباید از نظر دور داشت. انتشار برخی بیماری ها همچون مالاریا نیز در چنین مناطقی محتمل است. زیرا حضور گیاهان شناور در آب حوضچه ها که در تولید پشه آنوفل از اهمیت زیادی برخوردارند، به وفور اتفاق می‌افتد.

۱-۵-۳- تولیدات دامی

در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند، ممکن است از زهاب برای آبشخورهای دامی استفاده شود، در نتیجه این عمل و در صورت حضور عناصر کمیاب و آفت‌کش‌ها، این عناصر در بدن دام‌ها تجمع می‌یابند. افزون بر آن، دام‌ها ممکن است از علوفه‌ای تغذیه کنند که با استفاده از زهاب تولید شده باشد. نتیجه‌ی این عمل نیز ورود عناصر مذکور به زنجیره‌ی غذایی دام و انسان است. لازم به تذکر است که چنان‌چه از زهاب برای فرآوری برخی از فرآورده‌های دامی مانند پوست، روده و چرم استفاده شود، مشکل خاصی به وجود نخواهد آمد.

۱-۵-۴- بهداشت جوانع انسانی و حفظ محیط زیست

زهکشی مناسب سطحی و زیرزمینی برای دفع آب های اضافی به صورتی ایمن و پیوسته، نقشی اساسی در مهار بیماری‌های برخاسته از آب ایفا می‌کند. مراقبت درست و استفاده‌ی مجدد از زهاب به روشی مناسب می‌تواند به حفاظت محیط زیست و بهره‌گیری بهینه از منابع آب کمک کند. به‌طور کلی، مسایل بهداشتی مرتبط با مدیریت زهاب را می‌توان به صورت زیر گروه‌بندی کرد:

- بیماری‌هایی که به وسیله آشامیدن و دفع منتقل می‌شوند.
- بیماری‌های مرتبط با آب که توسط ناقلین پدید می‌آیند.
- عوارض بهداشتی دراز مدت که در نتیجه تماس با بقایای مواد شیمیایی کشاورزی به‌وجود می‌آیند.

برخی از بیماری‌ها مانند مالاریا، شیستوزومیا (بیلازیا) و بیماری‌های لنفاوی ناشی از کرم‌های رشته‌ای، جزو امراضی هستند که توسط ناقلین مرتبط با آب شیوع می یابند. بیماری های ناشی از ناقلین مرتبط با آب (در نتیجه فقدان زهکشی درست و حضور آب پس‌مانده)، بوسیله باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها پدید می‌آیند. این عوامل به نوبه‌ی خود توسط عوامل انتقال بیماری‌های مرتبط با آب (ناقلان یا میزبان‌های واسطه) منتقل می‌شوند. ناقل، یک حیوان و اغلب یک حشره است که بیماری را از انسانی به دیگری یا از حیوانی به انسان منتقل می‌کند.

دو دلیل مهم مبنی بر این که سازه های زهکشی اغلب با مشکلات بهداشت محیط در ارتباط اند، «کاربرد نادرست» و «عدم نگهداری صحیح» می‌باشند. مجاری زهکشی کنار جاده‌ها، آب‌روهای زیرگذر زهکش‌های سدها و بندها یا مجاری زهکشی در شبکه های آبیاری و همچنین تاسیسات تصفیه و دفع زهاب، در شمار سازه های زهکشی قرار دارند. کشاورزان و تشکل‌های ملّی معمولا نگهداری مرسوم را درباره‌ی نهرهای آبیاری به اجرا می‌گذارند که در آن‌ها سرعت و کیفیت آب به نسبت بالاست. حال آن که در تاسیسات زهکشی، معمولا عکس این شرایط حکم فرماست.

ته‌نشینی گل و لای، رشد بی‌رویه‌ی نی‌های آبی، جریان کند آب یا برکه‌های راکد به همراه نیزارها و تالاب‌های ایجاد شده، مساعدترین شرایط را برای پرورش پشه و حلزون‌های آبی فراهم می‌آورند. افزون بر این، در بیش‌تر مواقع به دلیل کمبود منابع آب آشامیدنی سالم و امکانات بهداشتی، از زهاب موجود در آبراهه های زهکشی برای شستشو، آشامیدن (توسط انسان و دام) یا تخلیه بی‌قاعده‌ی فضولات انسانی، از سوی فقیرترین گروه‌های اجتماعی استفاده می‌شود. بدین ترتیب، زهاب‌ها به انتقال بیماری‌ها کمک نموده و بهداشت محیط را با چالش مواجه می‌سازند. ضمن آن‌که مشکلات بهداشتی مرتبط با کیفیت آب که پیش از هر چیز از مواد شیمیایی کشاورزی (آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌های و کودها) ناشی می‌شوند، مشکلی رو به رشد را در بر می‌گیرند. این امر اساسا از روند افزایش تولید محصول و گسترش کشت آبی سرچشمه می‌گیرد که اغلب با صنایع تبدیلی فرآورده‌های کشاورزی نیز ارتباط تنگاتنگ دارند. در کلیه‌ی موارد، مهار و پیشگیری را می‌توان به عنوان مهم‌ترین عامل مبارزه موفق به شمار آورد. فعالیت‌هایی همچون آموزش بهداشت و دگرگون کردن شیوه‌ی زندگی، کاهش تماس میزبان واسطه با انسان (از طریق تامین آب سالم و ارتقای بهداشت محیط)، مهار ناقلین و موجودات واسط نظیر پشه و حلزون از جمله این موارد است.

فصل ۲

ضوابط و معیارهای کیفی زهاب‌ها برای مصارف گوناگون

۲-۱- کلیات

هرچند استفاده از زهاب‌های کشاورزی نیازمند داشتن اطلاعات علمی درباره‌ی کمیّت و کیفیت آن‌هاست، لیکن کاربرد عملی آن‌ها مستلزم در اختیار داشتن ضوابط و دستورالعمل های مربوطه است. در این فصل ضوابط و معیارهای کیفی لازم برای استفاده از زهاب‌ها برای استفاده‌های گوناگون به‌طور مشروح ارائه گردیده است. مطالب مندرج در این فصل در حقیقت در برگیرنده‌ی موضوعات اصلی مربوط به‌کاربرد زهاب‌های کشاورزی است و دستورالعمل‌ها و جداول ارائه شده در آن مبنای کل این راهنما می‌باشد. در این فصل ضوابط و معیارهای کیفی لازم درباره‌ی استفاده‌ی زهاب‌ها برای آبیاری محصولات مختلف کشاورزی، دام و طیور، آبزی پروری، مصارف شهری و آبیاری فضاهای سبز، ارائه شده است. همچنین چگونگی اختلاط زهاب‌ها با آب‌های خوش کیفیت به همراه برخی دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط زیست امریکا و سازمان خوارو بار و کشاورزی ملل متحد (FAO) ارائه گردیده است. از آن‌جا که شوری زهاب‌ها در ایران عاملی بسیار مهم و چیره می باشد، این موضوع به صورت مبسوطی در این فصل مورد بحث قرار گرفته و راهنمای انتخاب گیاهان مقاوم به شوری برای طیف وسیعی از گیاهان ارائه شده است.

۲-۲- مقدمه

زهاب‌های حاصل از فعالیت‌های کشاورزی برای مصارف گوناگونی به‌کار می‌روند. این مصارف شامل آب آبیاری، آب مورد نیاز برای مصارف دامی، آبزی‌پروری، مصارف شهری و فضای سبز می‌باشند. با توجه به کیفیت زهاب‌ها، ضوابط و معیارهای خاصی برای هر یک از این مصارف وجود دارد که در این فصل به تفصیل مورد بحث قرار خواهند گرفت. همچنین ملاحظات بهداشتی لازم به هنگام استفاده از فرآورده‌های کشاورزی که به وسیله‌ی زهاب‌ها آبیاری شده‌اند، مورد بحث قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که مصارف شهری منحصر به مصارف خانگی، مصارف تجاری و عمومی و مصارف صنعتی بوده و آب آشامیدنی را شامل نمی‌شود. هرچند که در فصل اول کلیاتی در باره‌ی استفاده از زهاب‌های کشاورزی برای مصارف گوناگون مورد بحث قرار گرفت، لیکن در این فصل «ضوابط و معیارهای کیفی» لازم برای کاربرد آن‌ها ارائه شده است. در این فصل، دستورالعمل‌های لازم برای استفاده از زهاب‌ها به عنوان آب آبیاری ارائه گردیده است. همچنین، افزون بر استاندارد ایران، دستورالمعل‌های سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد (FAO) نیز برای تطبیق و یا مقایسه ارائه شده است. راهکارهای مدیریتی استفاده از زهاب‌ها برای آبیاری چه به‌صورت استفاده مستقیم و چه به‌صورت چرخشی و یا گزینش گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری نیز معرفی شده‌اند. همچنین، کاربردهای دیگر زهاب‌های کشاورزی از جمله استفاده در مصارف شهری و یا فضای سبز نیز ارائه شده است.

۲-۳- کاربرد برای آب آبیاری

در مناطق خشک و نیمه خشک که دچار کمبود آب آبیاری می‌باشند، استفاده از زهاب‌ها نه تنها به منظور آبیاری، بلکه برای حفاظت و نگهداری منابع آب موجود از اهمیتی ویژه برخوردار است. افزون بر این، کاربرد زهاب‌ها مشکلات ناشی از تخلیه‌ی زهاب‌ها را به دیگر منابع آبی و یا تخلیه‌گاه‌های مجاز به حداقل می‌رساند. به‌طور کلی، استفاده از زهاب‌ها برای آبیاری، آلوده شدن منابع آب موجود را نیز کاهش می‌دهد (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۲). از زهاب‌ها می‌توان برای کشاورزی سنتی، پرورش گیاهان مقاوم به شوری، سیستم‌های کشاورزی- جنگل، زیستگاه‌های حیات وحش و تالاب‌ها و آب‌شویی اولیه خاک‌های شور استفاده نمود.

زهاب‌ها در مقایسه با آب آبیاری از کیفیت پایین‌تری برخوردارند. به همین دلیل، برای کمینّه کردن اثرات مخرب کوتاه‌مدت و بلندمدت آن‌ها بر فرآورده‌های گیاهی، حاصل‌خیزی خاک و کیفیت آب‌های موجود، توجه به جنبه‌های مدیریتی زهاب‌ها در پروژه‌ها و حوضه‌های آبخیز اهمیتی فراوان دارد. کیفیت زهاب، تعیین کننده نوع گیاه از نظر آبیاری است. بدین مفهوم که زهاب‌های خیلی شور را نمی‌توان برای آبیاری گیاهان حساس به شوری به‌کار گرفت. لیکن برای آبیاری گیاهان مقاوم به شوری، برخی درختان و برخی گیاهان علوفه‌ای ممکن است مناسب باشند (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۲). مهم‌ترین نگرانی درباره استفاده‌ی مجدد از زهاب‌ها، غلظت بسیار زیاد زهابی است که پس از استفاده‌ی دوباره از زهاب‌ها به‌دست می‌آید.

۲-۳-۱- شاخص‌های کیفی زهاب برای استفاده در آبیاری

به هنگام استفاده از زهاب، مهم‌ترین نگرانی، «کیفیت» آن است. زیرا کیفیت زهاب، نوع گیاه قابل کشت و تاثیر آن بر کاهش حاصل‌خیزی خاک را مشخص می‌کند. به عبارت دیگر، نوع خاک، شرایط زهکشی خاک و مقاومت گیاه به شوری، مناسب بودن کیفی زهاب را برای آبیاری و یا امکان اختلاط آن را با دیگر منابع آب موجود تعیین می‌کند.

ترکیبات موجود در رواناب سطحی همچون رسوبات، آفت‌کش‌ها و مواد غذایی، نقش مهمی در استفاده از زهاب برای تولید فرآورده‌های کشاورزی دارند. بدیهی است برای جلوگیری از آسیب‌های زیست‌محیطی و دستیابی به یک کشاورزی پایدار، مواد غذایی موجود در زهاب باید از مقدار کود مصرفی کم شود تا تعادل تغذیه‌ای به هم نخورد.

معمولا غلظت نمک‌ها و گاه برخی عناصر کمیاب و عناصر غذایی محلول در زهاب‌های زهکش‌های زیرزمینی زیاد است. نمک‌ها و عناصر کمیاب، نقشی مهم در استفاده از زهاب دارند، به طوری که اگر غلظت نمک بیش از آستانه‌ی کاهش[1] گیاه باشد، برای رشد گیاهان زیان‌آور است. نوع نمک نیز می‌تواند مانع جذب دیگر عناصر غذایی توسط گیاه شده

1- Thereshold Value

آستانه‌ی کاهش، غلظتی از املاح موجود در محلول خاک است، که پس از آن گیاه دچار کاهش عملکرد می‌شود (همایی، ۱۳۸۱. Homaee et al. 2002 a, (Homaee and schmidhalter, 2008 ؛ b, c

و ایجاد سمیّت کند. نسبت زیاد سدیم به مجموع کلسیم و منیزیم باعث ناپایداری ساختمان خاک می‌شود. ساختمان ناپایدار خاک، همواره در معرض سله بستن و تراکم قرار دارد و برای رشد بهینه گیاه مناسب نیست. عناصر سمّی مانند بُر مانع رشد گیاه شده و عناصری همچون سلنیم و آرسنیک موجود در آب می‌توانند وارد زنجیره‌ی غذایی انسان و دام شده و سلامت آنان را به خطر اندازند (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱).

۲-۳-۲- شاخص‌های بهداشتی لازم به هنگام مصرف زهاب‌ها برای آبیاری

سلامت جوامع انسانی و مخصوصا پیشگیری از گسترش بیماری‌های ناشی از آلودگی‌های موجود، از مهم‌ترین شاخص‌های مدیریت موفق در استفاده از زهاب‌های کشاورزی در آبیاری فرآورده‌هایی است که به صورت خام مانند سبزیجات، صیفی‌جات و میوه مصرف می‌شوند. این مساله نه تنها موجب جلوگیری از زیان‌های جانی و مالی بیماران می‌شود، بلکه از آسیب دیدن سبزی‌کاران و کشاورزان نیز جلوگیری می‌کند (پذیرا، ۱۳۷۴). به همین دلیل، تدوین استانداردهای بهداشتی برای آب‌هایی که برای تولید محصولات کشاورزی مصرف می‌شوند، ضروری است.

زهاب‌های حاصله از اراضی محدود و مزارع نزدیک به شهرها و روستاها که حاوی درصدی از فاضلاب شهری است، بسیار خطرناک است. به هنگام استفاده از این گونه زهاب‌ها، چون اغلب کشاورزان از توان بیماری‌زایی آن‌ها آگاه نیستند، افراد زیادی که با این فرآورده‌ها سرو کار دارند، در معرض ابتلا به بیماری قرار می‌گیرند (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۰). این عوامل در دنباله‌ی این بحث معرفی می‌گردند.

۲-۳-۲-۱- پاتوژن‌های موجود در فاضلاب کدامند؟

میکروب‌های بیماری‌زای موجود در فاضلاب، غالبا همان میکروب‌هایی هستند که در مدفوع انسان یافت می‌شوند. این میکروب‌ها به‌طور کلی به ۴ گروه اصلی ویروس‌ها، باکتری‌ها، پروتوزوآها و کرم‌های انگلی تقسیم می‌شوند (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۰) که در زیر به آن‌ها پرداخته می‌شود.

- ویروس‌ها

هر چند که بیش از ده میلیون ویروس در یک گرم از مدفوع انسان وجود دارد، لیکن پنج گروه پاتوژنی زیر در آن‌ها مهم است:

۱- آدنوویروس‌ها[1]

۲- انترو ویروس‌ها[2] (که شامل ویروس فلج اطفال نیز می‌باشند)

1- Adenoviruses
2- Enter Viruses

۳- ویروس هپاتیت A [۱]

۴- ویو ویروس[۲]

۵- ویروس‌های عامل اسهال به ویژه روتا ویروس[۳]

- باکتری‌ها

مدفوع انسان سالم حاوی مقدار بسیار زیادی (بیش از $۱۰^{۱۰}$ در یک گرم) باکتری غیربیماری‌زا است. در صورت بروز عفونت روده‌ای نیز مقدار بسیار زیادی باکتری پاتوژن به وسیله مدفوع رها می‌گردد که معمولا با علائم اسهال همراه است. مهم‌ترین باکتری‌هایی که در آب پخش می‌شوند عبارتند از:

۱- وبا[۴]

۲- پاراتیفوئید[۵]

۳- سایر بیماری‌های مربوط به سالمونلا[۶]

- پروتوزوآها

انواع مختلف پروتوزوآها می‌توانند باعث عفونت‌های اسهالی در انسان شوند که اغلب به وسیله بلعیدن کیست (Cyst) جانوری از فردی به فردی دیگر سرایت می‌کنند. سه گونه مهم از این نوع پروتوزوآها که دوره‌ی نهفتگی بی‌علامت هستند و می‌توانند برای مدتی طولانی از فرد بیمار رها گردند عبارتند از:

۱- ژیاردیا لامبیا[۷]

۲- بالانتیدیوم کولی[۸]

۳- انتا موبا هیستولیتیکا[۹]

- کرم‌های انگلی

بسیاری از گونه‌های انگلی در چرخه زندگی خود از میزبانی انسان بهره می‌برند. هرچند برخی از این گونه‌ها عامل بیماری‌های خطرناکی می‌باشند، لیکن فاضلاب آن دسته از کرم‌های انگلی مهم است که تخم یا لارو خود را همراه با

1- Hepatitis A Viruses
2- Reverses
3- Rota Vireuses
4- Cholera
5- Paratyphiod
6- Other Salmonella Type Diseases
7- Gerardo Lambio
8- Balanlidium Coli
9- Entamoeba Histolytica

مدفوع رها می‌کنند. کرم‌های انگلی اغلب چرخه‌ی زندگی پیچیده‌ای دارند که شناخت این چرخه و این‌که در چه مرحله‌ای و به چه وسیله‌ای باعث عفونت می‌شوند، بسیار با اهمیت است (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۰). مهم‌ترین این کرم‌ها عبارتند از:

۱- کرم‌های حلقوی یا نماتودها[1]

۲- کرم‌های پهن[2]

کرم‌های پهن خود به دو زیر گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

۱- A Tape worms که بدن تکه تکه دارند.

۲- B Flukes که بدن یک تکه دارند.

۲-۳-۲-۲- چه مقدار و کدامیک از پاتوژن‌ها به مزرعه می‌رسند؟

از زمانی که پاتوژن در مدفوع رها می شود، به خاطر از بین رفتن مقداری از آن ها و کم شدن عفونت طی مرور زمان، از بیماری‌زایی آن‌ها کاسته می‌شود. به طور کلی، بقای پاتوژن‌ها در دماهای پایین‌تر بیش‌تر است.

- عوامل تعیین کننده‌ی خطر بیماری‌زایی پاتوژن‌ها از فاضلاب

به‌طور کلی، عوامل موثر بر خطر بیماری‌زایی ناشی از فاضلاب‌ها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- غلظت پاتوژنی که از فرد بیمار رها می‌شود،
- فاصله زمانی بین رها شدن پاتوژن تا رسیدن آن به میزبان جدید،
- مقاومت پاتوژن در محیط،
- توانایی تولید مثل پاتوژن در بیرون از بدن انسان،
- مقدار پاتوژن لازم برای بیمار کردن شخص،
- ایمنی و مقاومت شخص در برابر عوامل بیماری‌زا، و
- وجود واسطه‌ها در برخی از پاتوژن‌ها پیش از عفونت.

برخی جنبه‌های مهم مربوط به خطرات پاتوژن‌ها در جدول‌های (۲-۱)، (۲-۲) و (۲-۳) ارائه شده است. شاخص‌های مهم و موثر بر ماندگاری و دوام باکتری‌های موجود در مدفوع در خاک در جدول (۲-۱) ارائه شده است. نظر به این‌که مدت دوام عوامل پاتوژنیک در خاک و پوشش های گیاهی قویا به دمای محیط بستگی دارد، مدت دوام این عوامل بیماری‌زا در دماهای بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در جدول (۲-۲) ارائه شده است. همچنین، اثر پاتوژن‌های مدفوعی

1- Round Worms
2- Flat Worms

در ایجاد عفونت از طریق تلفات آبیاری در جدول (۲-۳) ارائه گردیده است. همان‌گونه که در این جدول‌ها نمایان است، عواملی متعدد شامل عوامل محیطی، خاکی و زمان بر دوام و فعالیت این عوامل بیماری‌زا به صورت توامان موثر می‌باشد.

جدول ۲-۱- شاخص‌های موثر بر ماندگاری باکتری‌های مدفوعی در خاک (وسکات، ۱۹۹۷)

شاخص خاک	اثر در دوام باکتری
تفاوت با شرایط خاک	افزایش مدت در خاک‌های استریل
رطوبت خاک	دوام بیش‌تر در خاک‌های مرطوب و در دوره‌های بارانی
ظرفیت نگهداری رطوبت	مدت دوام برای خاک‌های شنی کم‌تر از خاک‌های با ظرفیت نگهداری بالا
مواد آلی	افزایش مدت و احتمال رشد مجدد هنگامی که مواد آلی به اندازه‌ی کافی وجود داشته باشد
pH	مدت دوام کم‌تر در خاک‌های اسیدی نسبت به خاک‌های قلیا
روشنایی	دوام کم‌تر در سطح خاک
دما	دوام بیش‌تر در دمای کم، دوام بیش‌تر در زمستان در مقایسه با تابستان

جدول ۲-۲- مدت دوام پاتوژن‌های مدفوعی در خاک و پوشش گیاهی در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه (وسکات، ۱۹۹۷)

مدت دوام							
پاتوژن	در خاک				بر روی گیاه			
ویروس‌ها: انتروویروس	کم‌تر از ۱۰۰ روز ولی معمولا کم‌تر از ۲۰ روز				کم‌تر از ۶۰ روز ولی معمولا کم‌تر از ۱۵ روز			
باکتری:								
کولیفرم مدفوع	"	۷۰	"	۲۰	"	۳۰	"	۱۵
سالمونلا	"	۷۰	"	۲۰	"	۳۰	"	۱۵
ویبریوکلرا	"	۲۰	"	۱۰	"	۵۰	"	۲
پروتوزوآ								

جدول ۲-۳- تاثیر پاتوژن‌های مدفوعی در ایجاد عفونت از طریق تلفات آبیاری (وسکات، ۱۹۹۷)

پاتوژن	دوام در محیط زیست	حداقل مقدار عفونی	ایمنی	مجاری عفونی مشترک	دوره‌ی تشکیل خاک
ویروس	متوسط	کم	طولانی	عمدتا تماس خانگی و غذا یا آب	خیر
باکتری	کم تا متوسط	متوسط تا زیاد	کم تا متوسط	"	خیر
پروتون	کم	کم تا متوسط	ناچیز تا کم	"	خیر
هلمیس	زیاد	کم	ناچیز تا کم	"	بله

۲-۳-۳- عناصر موجود در زهاب‌ها و تاثیر آن بر رشد رویشی و زایشی گیاه

غلظت کل املاح موجود در زهاب از دغدغه‌های اصلی در کشاورزی آبی است. شوری خاک در ناحیه‌ی رشد ریشه، باعث افزایش فشار اسمزی محلول در خاک می‌شود (Homaee et al. 2002 a,b). این خود موجب می‌شود تا گیاهان انرژی بیش‌تری را برای جذب آب مصرف کنند (Homaee et al. 2002 c,d). بدیهی است در یک شوری معین ریشه‌های گیاه انرژی حیاتی کافی برای جذب آب از خاک نخواهد داشت (پذیرا و همایی، ۱۳۸۵؛ کیانی و همکاران، ۱۳۸۵؛ ۱۳۸۴؛ سعادت و همکاران، ۱۳۸۴). به همین دلیل گیاه دچار نوعی تنش می شود که نتیجه ی آن هم کاهش رشد و هم کاهش عملکرد آن است (جلالی و همایی، ۱۳۸۸). دامنه ی تحمل گیاهان به شوری خاک برای گیاهان مختلف، متفاوت است (همایی، ۱۳۸۵؛ ۱۳۸۱b، ۱۳۸۱c؛ Homaee and Schmidhalter, 2008).

افزون بر غلظت کل املاح محلول، ترکیب املاح موجود در محلول خاک نیز بر رشد ریشه گیاه بسیار مهم است (Hosaini et al., 2009). غالب شدن برخی یون‌های معین منجر به عدم تعادل در جذب عناصر غذایی می‌شود که خود باعث کمبود عناصر غذایی معینی شده و نهایتا کاهش رشد ریشه را به دنبال دارد (حسینی و همکاران ۱۳۸۷). برای مثال، غلظت زیاد یون سدیم باعث عدم تعادل تغذیه‌ای می‌شود. غلظت‌های زیاد دیگر عناصر نیز می‌تواند ایجاد سمیّت نموده و باعث آسیب به گیاه بر اثر تجمع عناصر در اندام‌های گیاهی شود. یون‌هایی که از نظر سمیّت اهمیت بیش‌تری دارند شامل کلر، سدیم و بُر می‌باشند (تانجی و کیلن، ۲۰۰۲؛ همایی، ۱۳۸۱؛ حسینی و همکاران، ۱۳۸۷).

شدت آسیب‌دیدگی ناشی از تنش شوری به عوامل مختلفی بستگی دارد. هر چند کاهش رشد به میانگین غلظت املاح در ریشه گاه مربوط است، لیکن واکنش های بین خاک، آب و شرایط اقلیمی نیز بر این روابط موثرند. افزایش بیش از حد دمای هوا باعث کاهش مقاومت گیاه به شوری می‌شود. برخی دیگر از ویژگی‌های گیاه مانند گونه و رقم و زمان‌بندی وقوع تنش شوری در مراحل مختلف رشد گیاه نیز بر تحمل و سازگاری گیاهان به شوری مهم است (USDA, 1992)؛ (سعادت ۱۳۸۴؛ جلالی و همایی، ۱۳۸۸).

مقاومت متفاوت گیاهان به شوری به این دلیل است که برخی گیاهان می‌توانند طی فرآیندی به نام «تطبیق اسمزی[1]» آب بیش‌تری نسبت به گیاهان غیرمقاوم، از خاک‌های شور جذب کنند. تطبیق اسمزی خود طی دو فرآیند جذب نمک محلول از محلول خاک و سنتز محلول آلی صورت می‌گیرد. گیاهان شورپسند[2] نمک‌ها را جذب کرده و آن‌ها را در واکوئل‌های خود انباشت می‌کنند، درصورتی‌که محلول‌های آلی، فرایند تنظیم اسمزی را در سیتوپلاسم انجام می‌دهند.

گیاهان غیرمقاوم به شوری تمایل به دفع سدیم و کلر دارند. به همین دلیل، نسبت به گیاهان شورپسند در برابر نمک حساس‌ترند (همایی، ۱۳۸۱؛ کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۲).

حساسیت گیاه به شوری طی دوره‌ی رشد، به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. بیش‌تر گیاهان در مراحل اولیه‌ی رشد و مرحله‌ی جوانی زنی به شوری حساس‌ترند (همایی، ۱۳۸۱). پس از استقرار، مقاومت گیاهان در دوره‌های بعدی رشد نسبت به شوری افزایش می‌یابد. معمولا اگر گیاه در مراحل اولیه‌ی رشد در معرض شوری قرار گیرد، بیش‌تر دچار کاهش رشد سبزینگی می‌شود.

همه‌ی عناصر کمیاب سمی نیستند و حتی مقدار اندک اغلب آن‌ها (آهن، منگنز، مولیبدیم و روی) برای رشد گیاه ضروری است. با این حال، مقادیر زیاد آن‌ها ممکن است در بافت‌های گیاه تجمع یافته و باعث کاهش رشد آن شود. تحمل گیاهان به غلظت عناصر کمیاب بسیار متفاوت است. چنان‌چه این عناصر در بافت‌های گیاهی تجمع یابند، برخی از آن ها مانند سیلینیم، آرسینک و کادمیوم ممکن است برای انسان و حیوان سمّی باشند. این در حالی است که بسیاری

1- Osmotic Adjustment
2- Halophytes

از عناصر کمیاب توسط گیاهان جذب نشده و در خاک باقی می‌مانند که این امر باعث تجمع این عناصر در خاک می‌شود. سازمان خواربار جهانی (فائو) در سال ۱۹۸۵، یک راهنمای عمومی برای ارزیابی کیفیت آب برای تولید گیاهان تحت آبیاری منتشر کرده است. معمولا این گونه راهنماها بسیار کلی بوده و براساس مجموعه ای از فرضیات بنا نهاده شده‌اند. بدیهی است چنان‌چه شرایط موجود با شرایط مفروض تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته باشد، راهنمای مذکور باید برای شرایط مورد نظر اصلاح شود (آسانو و لوین، ۱۹۹۶).

۲-۳-۴- اثر آبیاری با زهاب‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

آبیاری با آب شور بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌طور قابل ملاحظه‌ای اثر می‌گذارد. مناسب بودن خاک برای کشت به مقدار زیادی بستگی به قابلیت خاک در هدایت آب و هوا[1] و به خصوصیات خاکدانه دارد، که شخم‌پذیری[2] بستر کشت را فراهم می‌کند. قابلیت هدایت و شخم‌پذیری غالبا از معضلات اراضی فاریاب می‌باشند. برخلاف خاک‌های شور، خاک‌های سدیمی[3] از قابلیت هدایت و شخم‌پذیری کم‌تری برخوردارند (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۲).

پدیده‌ی آماس بر اثر جذب آب بین ذرات رس هنگامی به وجود می‌آید که مقدار سدیم تبادلی[4] از ده درصد بیش‌تر شود. تورم یا آماس خاک موجب کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش هدایت آبی خاک می‌شود.

شاخص‌های لازم برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری از نظر خطرات بالقوه بر عملکرد گیاه شامل موارد زیر است.

۱- شوری: اثر غالب نمک‌ها کاهش تعرق و رشد گیاه است که مربوط به خاصیت اسمزی آن‌هاست. این اثر به غلظت کل املاح بستگی دارد.

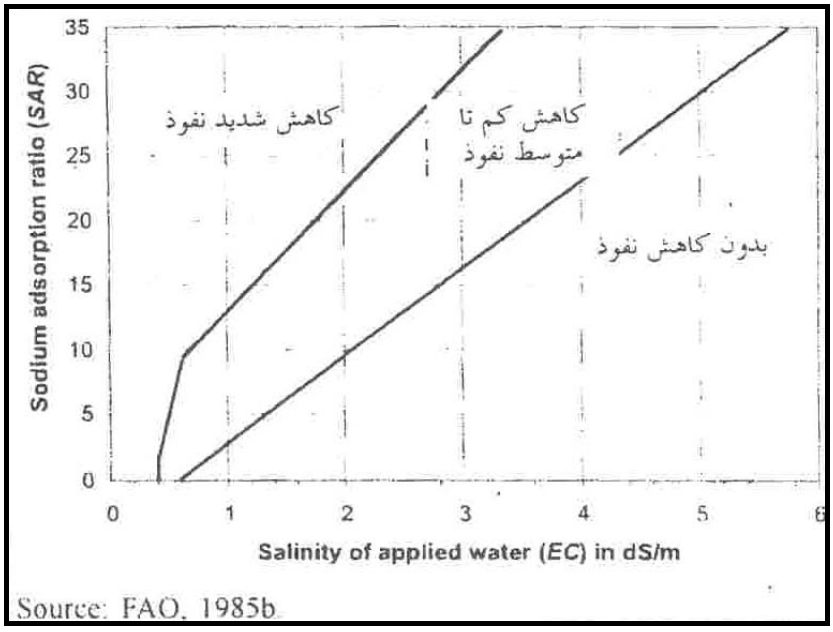
۲- سمیّت: برخی یون‌ها مانند کلر، سدیم و بُر به‌طور مستقیم باعث ایجاد سمیّت در گیاه شده و عملکرد را به شدت کاهش می‌دهند.

۳- عدم تعادل تغذیه‌ای: بیش‌بود برخی عناصر در آب باعث برهم خوردن نسبت‌های یونی در خاک شده و تعادل تغذیه‌ای موجود را برهم می‌زند. این امر موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود.

۴- توانایی ترابری مواد در خاک و شخم پذیری: اثر درصد سدیم قابل تبادل زیاد و pH بالا به همراه غلظت کم الکترولیت بر اثر آب نفوذی بر ساختمان، قابلیت هدایت و شخم‌پذیری خاک باعث متلاشی شدن خاکدانه، سله بستن، شخم‌پذیری ضعیف و کاهش سرعت نفوذ آب به خاک می‌شود.

1- Permeability
2- Tilth
3- Sodic Soils
4- ESP

مناسب بودن آب شور برای آبیاری از دیدگاه نفوذپذیری خاک بر مبنای شاخص‌های EC و SAR آب آبیاری و pH خاک سنجیده می‌شود. شکل (۲-۱) یک راهنمای کلی برای نشان دادن اثر متقابل EC و SAR آب آبیاری بر نفوذپذیری خاک است. برای پایداری ساختمان خاک، ترکیب محلول خاک یک شاخص مهم است. بخش جامد خاک دارای بار سطحی منفی است. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک به درصد و نوع رس و مواد آلی خاک بستگی دارد. کاتیون هایی همچون کلسیم، منیزیم و پتاسیم بر روی سطوح تبادلی ذرات خاک جذب می‌شوند و بخش بزرگی از کاتیون‌های جذب شده شامل کلسیم و منیزیم دو ظرفیتی است. کاتیون های دو ظرفیتی جذب شده توسط ذرات رس، تضمین کننده ی وجود ساختمان خاک و پایداری آن است. چنان‌چه کاتیون‌های یک ظرفیتی غالب باشند (به‌طور مشخص سدیم)، ساختمان خاک قوام خود را از دست داده و به راحتی متلاشی می شود. از آن‌جا که تبادل کاتیونی فرآیندی پایاپای است، ترکیب کاتیون‌های تبادلی به درصد کاتیون‌های موجود در محلول خاک بستگی دارد. بنابراین اگر زهاب برای مصارف آبیاری استفاده شود، نه تنها کل املاح موجود در زهاب بلکه نسبت سدیم به مجموع کلسیم و منیزم که معمولا به عنوان نسبت جذب سدیم (SAR) بیان می‌شود باید لحاظ شود. آب‌هایی که یون بی‌کربنات در آن‌ها زیاد است، باعث رسوب کربنات کلسیم می‌شوند. این امر می‌تواند افزایش SAR آب و ESP خاک را به‌دنبال داشته باشد (تانجی و کیلن، ۲۰۰۲).



شکل ۲-۱- رابطه‌ی نفوذپذیری خاک با اثر توامان شوری و SAR آب کاربردی

در شکل (۲-۱) خطی که مرز بین خاکدانه‌های پایدار و ناپایدار را نشان می‌دهد، برای هر خاک منحصر به همان خاک بوده و در شرایط مختلف متغیر است. بنابراین، راهنمای ارائه شده در این شکل برای نفوذپذیری خاک، تنها یک تقریب است. در مکان‌هایی که استفاده از زهاب‌ها در مقیاس بزرگ مدنظر باشد و احتمال خطر ناشی از حضور سدیم زیاد وجود دارد، تدوین خطوط پایدار برای شرایط محلی ضروری است (تانجی و کیلن، ۲۰۰۲).

کاهش هدایت هیدرولیکی نیمرخ خاک از اثرات بلندمدت استفاده از آب های سدیمی است. به‌ویژه، وجود کربنات ها و بی کربنات ها در آب باعث تخریب ساختمان خاک در دراز مدت می شوند. زیرا رسوب کربنات کلسیم، باعث افزایش SAR خاک می‌شود. در چنین شرایطی، ابتدا کلسیمی که به صورت کلسیت است رسوب می‌کند و پس از آن نمک‌های منیزیمی رسوب می‌یابند. (تانجی، کیلن، ۲۰۰۲).

۲-۳-۵- دستورالعمل‌های کاربرد زهاب برای آبیاری

از آن‌جا که زهاب‌ها هم دارای مواد سودمند و هم غیرسودمند برای آبیاری می‌باشند، باید با مدیریتی آگاهانه مورد استفاده قرار گیرند. در نتیجه، برای استفاده از آن‌ها باید استانداردهای مربوطه را به دقت به‌کار بست. استفاده از زهاب باید همواره به روش درست و توام با مدیریت و حساب شده باشد. برای استفاده از زهاب، استانداردهای متعددی تدوین شده است. نخستین و مهم‌ترین هدف استاندارد کردن پساب، جلوگیری از پخش و شیوع بیماری‌هایی است که از راه مصرف آب آلوده گسترش می‌یابند (تانجی و کیلن، ۲۰۰۲).

مدیریت کیفی زهاب‌ها برای آبیاری فرآورده‌های کشاورزی، تنها بر پایه‌ی استانداردهای موجود که مربوط به سایر نقاط جهان است، کاری درست نیست. زیرا آب و هوا، گیاه و خاک دارای ویژگی های گوناگونی است و این تنوع، کار رده‌بندی زهاب‌ها را در ارتباط با چگونگی مصرف آن‌ها دشوار می‌کند. بنابراین، مدیریت منطقه‌ای و اختصاصی در کاربرد زهاب نیز باید در نظر گرفته شود. چکیده‌ای از برخی استانداردها و دستورالعمل های موجود در این خصوص در دنباله‌ی این بحث ارائه می‌گردد.

۲-۳-۵-۱- استاندارد ایران

هر چند استاندارد ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست تنها استاندارد ملی موجود در کشور است، لیکن به نظر می‌رسد که تدوین آن بیش‌تر بر پایه‌ی اجماع کارشناسی بوده و مبنای مطالعاتی دارد. البته نمی‌توان و نباید این استاندارد را نادیده گرفت. زیرا این استاندارد می‌تواند به عنوان مبنایی اولیه برای آغاز پژوهش‌های منطقه‌ای و ملی، مورد استفاده قرار گیرد.

این استاندارد به استناد ماده‌ی ۵ آیین‌نامه‌ی جلوگیری از آلودگی آب و با توجه به ماده ۳ همین آیین‌نامه و همکاری وزارتخانه‌های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، کشور، نیرو، صنایع، صنایع سنگین، معادن و فلزات و جهاد کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و تدوین شده است. بر پایه ی این استاندارد، حد مجاز آلاینده ها برای مصارف گوناگون در جدول (۲-۴) ارائه شده است (دفتر آموزش سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۷۷: موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۷: موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۶۴).

جدول ۲-۴- استاندارد خروجی زهاب‌ها در ایران

ردیف	مواد آلود کننده		تخلیه به آب‌های سطحی ($mg.l^{-1}$)	تخلیه به چاه جاذب ($mg.l^{-1}$)	مصارف کشاورزی و آبیاری ($mg.l^{-1}$)
۱	نقره	Ag	۱	۰/۱	۰/۱
۲	آلومنیم	Al	۵	۵	۵
۳	آرسنیک	As	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۴	بُر	B	۲	۱	۱
۵	باریم	Ba	۵	۱	۱
۶	بریلیوم	Be	۰/۱	۱	۰/۵
۷	کلسیم	Ca	۷۵	–	–
۸	کادمیوم	Cd	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
۹	کلر آزاد	Cl^-	۱	۱	۰/۲
۱۰	کلراید	Cl	۶۰۰ (تبصره ۱)	۶۰۰ (تبصره ۱)	۶۰۰
۱۱	فرم آلدئید	CH_2O	۱	۱	۱
۱۲	فُنل	C_6H_5OH	۱	ناچیز	۱
۱۳	سیانور	CN	۰/۵	۰/۱	۰/۱
۱۴	کُبالت	Co	۱	۱	۰/۰۵
۱۵	کُرم	Cr^{6+}	۰/۵	۱	۱
۱۶	کُرم	Cr^{3+}	۲	۲	۲
۱۷	مس	Cu	۱	۱	۰/۲
۱۸	فلوراید	F	۲/۵	۲	۲
۱۹	آهن	Fe	۳	۳	۳
۲۰	جیوه	Hg	ناچیز	ناچیز	ناچیز
۲۱	لیتم	Li	۲/۵	۲/۵	۲/۵
۲۲	منیزیم	Mg	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۳	منگنز	Mn	۱	۱	۱
۲۴	مولیبدن	Mo	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲۵	نیکل	Ni	۲	۲	۲
۲۶	آمونیم	NH_4-N	۲/۵	۱	–
۲۷	نیتریبت	NO_2-N	۱۰	۱۰	–
۲۸	نیترات	NO_3-N	۵۰	۱۰	–
۲۹	فسفات	PO_4-P	۶	۶	–
۳۰	سرب	Pb	۱	۱	۱
۳۱	سلنیم	Se	۱	۰/۱	۰/۱
۳۲	سولفید	SH_2	۳	۳	۳
۳۳	سولفیت	SO_3	۱	۱	۱
۳۴	سولفات	SO_4	۴۰۰(تبصره ۱)	۲۰۰ (تبصره ۲)	۵۰۰
۳۵	وانادیم	V	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۳۶	روی	Zn	۲	۲	۲
۳۷	چربی و روغن	O & G	۱۰	۱۰	۱۰

ادامه جدول ۲-۴- استاندارد خروجی زهاب‌ها در ایران

ردیف	مواد آلود کننده		تخلیه به آب‌های سطحی ($mg.l^{-1}$)	تخلیه به چاه جاذب ($mg.l^{-1}$)	مصارف کشاورزی و آبیاری ($mg.l^{-1}$)
۳۸	دترجنت (شوینده‌ها)	ABS	۱/۵	۰/۵	۰/۵
۳۹	بی. او. دی (تبصره ۳)	BOD_5	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۱۰۰
۴۰	سی. او دی (تبصره ۳)	COD	۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰	۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰	۲۰۰
۴۱	اکسیژن محلول (حداقل)	DO	۲	-	۲
۴۲	مجموع مواد جامد محلول	TDS	(تبصره۱)	(تبصره ۲)	-
۴۶	مجموع مواد جامد معلق	TSS	۴۰ (لحظه‌ای ۶۰)	-	۱۰۰
۴۴	مواد قابل ته‌نشین	SS	-	-	-
۴۵	پ-هاش (حدود)	pH	۶/۵-۸/۵	۵-۹	۶-۸/۵
۴۶	مواد رادیو اکتیو		۰	۰	۰
۴۷	کدورت (واحد کدورت)		۵۰	-	۵۰
۴۸	رنگ (واحد رنگ)		۷۵	۷۵	۷۵
۴۹	درجه حرارت	T	تبصره ۴	-	-
۵۰	کلیفرم گوارشی (تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	MPN	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
۵۱	کل کلیفرم (تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	MPN	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰
۵۲	تخم انگل		-	-	(تبصره ۵)

تبصره ۱- تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که زهاب خروجی، غلظت کلر، سولفات و مواد محلول منبع پذیرنده را در شعاع ۲۰۰ متری بیش از ده درصد افزایش ندهد.

تبصره ۲- تخلیه با غلظتی بیش‌تر از مقدار مشخص شده در جدول، هنگامی مجاز است که افزایش یون‌های کلر و سولفات و مواد محلول موجود در زهاب خروجی نسبت به آب مصرفی بیش از ده درصد نباشد.

تبصره ۳- صنایع موجود مجاز خواهند بود BOD_5 و COD را حداقل ۹۰ درصد کاهش دهند.

تبصره ۴- دمای زهاب خروجی نباید بیش از ۳ درجه سانتی گراد در شعاع ۲۰۰ متری محل ورود، دمای منبع پذیرنده را افزایش یا کاهش دهد.

تبصره ۵- تعداد تخم انگل (نماتد) در زهاب دریافت کننده فاضلاب در صورت استفاده برای آبیاری محصولاتی که به صورت خام مصرف می‌شوند، نباید بیش از یک عدد در لیتر باشد.

۲-۳-۵-۲- دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)، دستورالعمل هایی را در سال ۱۹۹۲ برای کاربرد زهاب در آبیاری ارائه کرد که هم اکنون مرجع و راهنمای بسیاری از دیگر کشورها قرار گرفته است (آسانو و لوین، ۱۹۹۶). به منظور استفاده‌ی آسان از آن‌ها، چکیده‌ی این دستورالعمل‌ها در جدول (۲-۵) ارائه شده است.

جدول ۲-۵- حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌های مهم در خاک‌های آبیاری شده با زهاب (USEPA, 1992)

نوع ترکیب	حداکثر غلظت مجاز در خاک (mg/kg DW)	نوع ترکیب	حداکثر غلظت مجاز در خاک (mg/kg DW)
الف) عناصر معدنی			
۱) ارسنیک As	۹	۵) کلروفرم	۲
۲) باریوم Ba	۲۹۰۰	۶) دی کلروفنل	ND
۳) بریلیوم Be	۲۰	۷) 2,4-D	۱۰
۴) کادمیوم Cd	۷	۸) دی الدرین	۰/۰۳
۵) کُرم Cr	۳۲۰۰	۹) هپتا کلر	۱
۶) فلوئور F	۲۶۰۰	۱۰) هگزا کلرواتان	۲
۷) سرب Pb	۱۵۰	۱۱) پیرن	۴۸۰
۸) جیوه Hg	۵	۱۲) لیندان	۰/۶
۹) نیکل Ni	۸۵۰	۱۳) متوکسی کلر	۲۰
۱۰) سلنیوم Se	۱۴۰	۱۴) پنتا کلروفنل	۳۲۰
۱۱) نقره Ag	۳	PCB (۱۵	۴
ب) عناصر آلی		۱۶) تتراکلرواتان	۴
۱) آلدرین	۰/۲	۱۷) تتراکلرواتیلن	۲۵۰
۲) بنزن	۰/۰۳	۱۸) تولوئن	۵۰
۳) بنزو آلفا پیرن	۳	۱۹) توگزافن	۹
۴) کلروبنزن	ND	2, 4, 5-T (۲۰	ND
		2,3,8 TCDD (۲۱	ND

۲-۳-۵-۳- دستورالعمل‌های سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد (FAO)

سازمان فائو به عنوان سازمانی جهانی، دستورالعمل هایی را در سال ۱۹۷۶ برای ارزیابی کیفیت آب آبیاری ارائه کرده است. این دستورالعمل در سال ۱۹۸۵ تکمیل و هم‌اکنون به عنوان مرجع در بسیاری از کشورهای جهان مورد استفاده قرار گرفته است. در این دستورالعمل، چهار مشکل شوری، نفوذپذیری، سمیّت ویژه‌ی یونی و مسایل متفرقه برای ارزیابی کیفی آب در نظر گرفته شده‌اند. در این راهنما، روش ارزیابی هر مشکل و مدیریت لازم برای حل هر یک از آن ها نیز پیشنهاد شده است. هر یک از این چهار مشکل، در سه کلاس بدون محدودیت (۱)، محدودیت متوسط (۲) و محدودیت شدید (۳) تقسیم‌بندی شده‌اند. طبقه‌بندی آب بر پایه‌ی روش فائو در جدول‌های (۲-۶) و (۲-۷) ارائه شده است.

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، استفاده از معیارهایی ثابت برای طبقه بندی کیفیت آب مطلوب نیست. زیرا افزون بر فاکتورهای مورد نظر در یک طبقه‌بندی خاص، فاکتورهایی دیگر همچون نوع گیاه، نوع خاک، شرایط زهکشی مزرعه و شرایط اقلیمی محل نیز در ارزیابی دخالت دارند. براین اساس، ممکن است آبی با کیفیت مشخص برای یک محل نامناسب ولی برای محلی دیگر قابل استفاده باشد.

جدول ۲-۶- راهنمای ارزیابی کیفیت آب برای آبیاری به روش فائو (آیرس و وسکات، ۱۹۸۵)

مشکل احتمالی ناشی از آبیاری		واحد اندازه‌گیری	درجه محدودیت در مصرف		
			بدون محدودیت	کم تا متوسط	شدید
شوری آب (قابلیت جذب آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد)	ECw	dS/m	<۰/۷	۰/۷-۳	>۳
	TDS	$mg.l^{-1}$	<۴۵۰	۴۵۰-۲۰۰۰	>۲۰۰۰
سرعت نفوذ آب به خاک (هر دو عامل EC و SAR در این رابطه باید در نظر گرفته شوند)	SAR =۰-۳ و EC_w =		>۰/۷	۰/۲-۰/۷	>۰/۲
	SAR = ۳-۶ و EC_w =		>۱/۲	۱/۲-۰/۳	>۰/۳
	SAR = ۶-۱۲ و EC_w =		>۱/۹	۱/۹-۰/۵	>۰/۵
	SAR =۱۲-۲۰ و EC_w =		>۲/۹	۲/۹-۱/۳	>۱/۳
	SAR =۲۰-۴۰ و EC_w =		>۵	۵/۰-۲/۹	>۲/۹
سمّیت ویژه‌ی یونی (گیاهان حساس تحت تاثیر قرار می‌گیرند)	**Na**				
	آبیاری سطحی	SAR	<۳	۳-۹	>۹
	آبیاری بارانی	$me.l^{-1}$	<۳	<۳	
	Cl				
	آبیاری سطحی	SAR	<۴	۴-۱۰	>۱۰
	آبیاری بارانی	$me.l^{-1}$	<۳	<۳	
	عناصر کمیاب				
اثر پارامترهای دیگر	نیترات NO_3^-	$mg.l^{-1}$	<۵	۵-۳۰	>۳۰
	بی‌کربنات HCO_{3-} (فقط آبیاری بارانی)	$mg.l^{-1}$	<۱/۵	۱/۵-۸/۵	>۳۰
	pH		محدوده نرمال ۶/۵-۸/۴		

جدول ۲-۷- توصیه‌هایی درباره‌ی حداکثر غلظت عناصر کمیاب در آب آبیاری ($mg.l^{-1}$)

عنصر	حداکثر غلظت	عنصر	حداکثر غلظت
آلومینیوم	۵	آهن	۵
آرسنیک	۰/۱	لیتیوم	۲/۵
بریلیوم	۰/۱	منگنز	۰/۲
کادمیوم	۰/۰۱	مولیبدن	۰/۰۱
کبالت	۰/۰۵	نیکل	۰/۲
کرم	۰/۱	سرب	۵
مس	۰/۲	سلنیوم	/۰۲
فلوراید	۱/۰	روی	۲

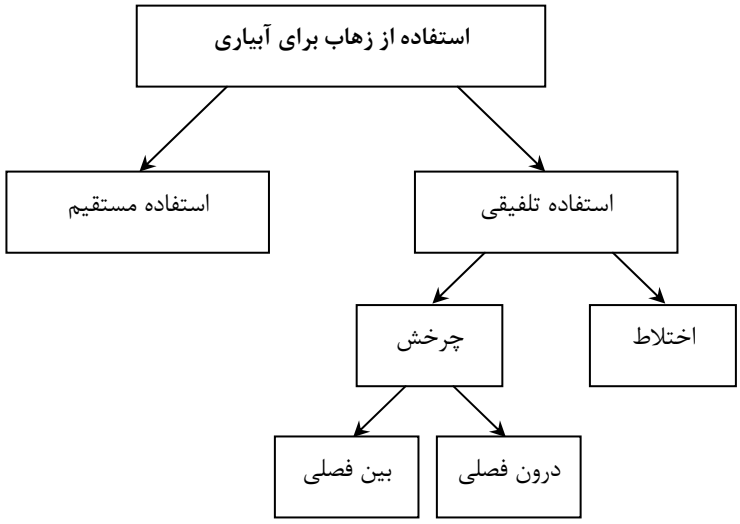
۲-۳-۶- راهکارهای مدیریتی استفاده از زهاب‌ها برای آبیاری

استفاده از زهاب‌های کشاورزی برای آبیاری، راهکاری مناسب برای مدیریت جامع به منظور افزایش تولید غذا و حفظ منابع آب و خاک است (رودس و همکاران، ۱۹۹۲). در بیش‌تر موارد، تنها یک راه برای استفاده‌ی مجدد از زهاب‌ها وجود ندارد. بلکه راهکارهای بسیار متنوع و عملیات اجرایی مختلفی موجود است. تلفیق مناسب این روش ها به شرایط خاص اقتصادی، اقلیمی، اجتماعی و همچنین خاک و ژئوهیدرولوژی منطقه بستگی دارد.

هر چند مشکل بیش‌تر زهاب‌ها شوری است، لیکن به نظر می‌رسد که در زهاب‌های سطحی وجود آفت‌کش‌های پایدار و در زهاب‌های زیر سطحی وجود عناصر کمیاب و سمّی مانند نیترات، آرسنیک، بُر، سرب، کرم، کادمیم، جیوه، مولیبدن،

نیکل، سلنیم، نقره، اورانیم و وانادیم باید به طور دوره‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند تا بی‌ضرر بودن استفاده از آن‌ها برای درازمدت احراز شود.

در شکل (۲-۲) روش‌های کلی استفاده از زهاب‌ها برای آبیاری به صورت نمادین ارائه شده است. چنان‌چه زهاب از کیفیتی مناسب برخوردار باشد، می‌تواند مستقیما برای آبیاری به‌کار رود. لیکن چنان‌چه زهاب از کیفیتی مناسب برخوردار نباشد، می‌توان از آن به‌صورت تلفیقی با آب شیرین استفاده کرد. چنین تلفیقی را می‌توان به دو صورت استفاده چرخشی و اختلاط انجام داد. در روش چرخشی، دو منبع آب به طور متناوب در فصل کشت مورد استفاده قرار می گیرند (استفاده چرخشی درون فصلی)، یا این‌که هر دو منبع آب به طور جداگانه در طول فصول برای گیاهان مختلف به‌کار می‌روند (استفاده چرخشی بین فصلی). انتخاب گزینه‌ای مطمئن برای استفاده از زهاب به چند عامل مهم بستگی دارد. این عوامل شامل کیفیت زهاب، مقاومت گیاه به شوری و میزان دسترسی به منابع آب شیرین می باشند. مقدار و زمان دسترسی به زهاب نیز از مسایل مهم و اصلی می باشد. به طور مثال، در جایی که قرار است از زهاب برای آبیاری استفاده شود، مهم آن است که بدانیم که آیا زهاب‌ها باید به طور مستقیم به‌کار روند یا به صورت چرخشی. راهکارهای مدیریتی استفاده از زهاب‌ها برای آبیاری در زیربخش بعدی مورد بحث قرار گرفته است.



شکل ۲-۲- روش‌های مختلف استفاده از زهاب برای آبیاری محصولات کشاورزی

۲-۳-۶-۱- استفاده مستقیم از زهاب

استفاده مستقیم از زهاب معمولا در سطح مزرعه و بدون اختلاط با آب شیرین انجام می‌گیرد. نتایج تحقیقات انجام شده در برخی کشورها مانند هند، پاکستان، آسیای مرکزی و مصر نشان داده که آبیاری سطحی با استفاده مستقیم از زهاب، بدون کاهش محصول در صورتی امکان‌پذیر است که شوری زهاب از حد آستانه برای گیاهان مورد نظر فراتر نرود و وضعیت زهکشی خاک مطلوب باشد (راهنمای کیفیت آب افریقای جنوبی، a ۱۹۹۶). از آن‌جا که گیاهان در دوران اولیه رشد نسبت به شوری حساس‌ترند، پیش- آبیاری با کیفیت مناسب دارای اهمیت خاصی است. به منظور دستیابی به

محصول بیش‌تر، لازم است تا پیش- آبیاری با آب شیرین انجام شود و در آبیاری‌های بعدی، از زهـاب اسـتفاده شـود. در چنین شرایطی، استفاده از زهاب‌های شورتر از حد آستانه توام با حفظ محصول امکان‌پذیر است.

در مطالعاتی که در پاکستان بر روی گیاهان گندم، پنبه، نیشکر، برنج و انواع گیاهان علوفـه ای انجـام شـده، حـداکثر شوری آب برای استفاده مستقیم در آبیاری ۲/۴ dS/m تعیین شد. با فرض این‌که فاکتور تصحیح غلظت بین آب آبیاری و عصاره اشباع برابر ۱/۵[۱] باشد، آنگاه این محدودیت برای گیاه نیشکر که دارای آستانه ی کاهش ۱/۷۵ دسی زیمنس بر متر است، بسیار بالا می باشد. براساس تحقیقات انجام شده در پاکستان، نیشکر آبیاری شده با آبی کـه شـوری آن ۲/۴ dS/m باشد، حدود ۸۹ درصد حداکثر عملکرد است. استفاده درازمدت مستقیم از زهاب بستگی به حفظ بیلان نمک در شـرایط مطلوب و جلوگیری از تخریب ساختمان خاک بر اثر سدیمی شدن دارد. مطالعـات مـوردی ارائـه شـده در زیـر، اسـتفاده درازمدت مستقیم از زهاب را در مصر و پاکستان توصیف می‌کند (تانجی و کلین، ۲۰۰۲).

- استفاده مستقیم از زهاب در مصر

در دلتای نیل مصر، استفاده از زهاب‌ها به صورت رسمی وجود دارد. بدین صورت که ایسـتگاه‌هـای پمپـاژ، زهـاب‌هـا را از زهکش‌های اصلی پمپ کرده و با آب شیرین کانال‌های اصلی مخلوط می‌کنند. به طور غیر رسمی نیز کشاورزان بـرای تـامین آب آبیاری مستقیما از زهاب استفاده می‌کنند. بدین صورت که زهاب را از زهکش‌های جمع‌کننده پمپ کرده و بدون داشـتن مجوز به مزارع منتقل می‌کنند. سالانه حدود ۳ میلیارد مترمکعب زهاب به صورت غیرقانونی مورد استفاده قرار می‌گیرد که این مقدار برابر با حجم استفاده از زهاب به طور رسمی در سال ۹۶- ۱۹۹۵ می‌باشد (تانجی و کیلن، ۲۰۰۲).

- استفاده مستقیم از زهاب در پاکستان

در پاکستان نیز استفاده مستقیم از زهاب به شکل دیگری صورت می‌گیرد. در سال ۱۹۶۰، به منظور مبارزه با ماندابی شدن و شوری اراضی در این کشور، زهکشی عمودی آغاز شد. از آن‌جا که سیستم آبیـاری سـطحی براسـاس کشـت کـم تراکم و مصرف پایین آب تبیین شده بود، کشاورزان برای جبران کمبود آب از زهاب چاه‌ها استفاده مـی‌کردنـد. در حـال حاضر، زهاب به صورت تلفیقی با منابع آب شیرین و یا به طور مستقیم برای تولید فرآورده‌های کشاورزی مـورد اسـتفاده قرار می‌گیرد. کشاورزانی که اراضی آن‌ها در انتهای سیستم توزیع آب قرار دارد، آب چاه تنها منبع تامین آب آن‌ها بوده و الزاما از زهاب به طور مستقیم برای آبیاری استفاده می‌کنند (تانجی و کیلن، ۲۰۰۲)

۱- در این دستورالعمل‌ها برای گیاهان مقاوم به شوری رابطه بین شوری خاک و شوری آب نفوذ یافته با جزء آب‌شویی ۱۵ تا ۲۰ درصد در نظر گرفته شده و الگوی جذب رطوبت خاک از ناحیه رشد ریشه‌ها توسط گیاهان به صورت ۴۰-۳۰ – ۲۰-۱۰ درصد از ربع بالا به پایین ناحیه ریشه‌ها فرض می‌شود.

۲-۳-۶-۲- استفاده از زهاب به صورت اختلاط

هنگامی‌که شوری زهاب بیش‌تر از مقدار شوری آستانه باشد، می‌توان آنرا با دیگر منابع آب موجود مخلوط کرد تا از کیفیت قابل قبولی برای کشت گیاهان مورد نظر برخوردار شود. حساس ترین گیاه به شوری تعیین کننده کیفیت آبی است که از اختلاط زهاب زهکش‌های اصلی با آب کانال‌های اصلی به دست می‌آید. مثلا طبق مقررات تنظیم شده در دلتای نیل، حداکثر شوری آب اختلاط یافته مقداری است که تولید بهینه «محصولات اصلی» را تضمین کند. محصولات اصلی در این دلتا شامل پنبه، ذرت، گندم، برنج و شبدر برسیم[1] می باشند. ذرت و برسیم از حساس‌ترین گیاهان به شوری بوده که شوری آستانه‌ی کاهش آن‌ها به ترتیب ۱/۷ و ۱/۵ دسی زیمنس بر متر می‌باشد (ماس و گراتان، ۱۹۹۹). برای اطمینان از حداکثر پتانسیل تولید محصول این دو گیاه و با فرض این‌که عامل تصحیح غلظت بین EC آب آبیاری و EC عصاره ی اشباع خاک برابر با ۲ باشد، حداکثر شوری مجاز آب آبیاری حدود ۰/۸ تا ۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (جدول ۲-۸).

جدول ۲-۸- شاخص کیفیت زهاب برای آبیاری در دلتای نیل، مصر

شوری زهاب (dS/m)	محدودیت استفاده برای آبیاری
کم‌تر از ۱/۰	استفاده مستقیم برای آبیاری
۱/۰ – ۲/۳	اختلاط با آب کانال به نسبت ۱:۱
۲/۳ – ۴/۶	اختلاط با آب کانال به نسبت ۱:۳
بیش‌تر از ۴/۶	غیرقابل استفاده برای آبیاری

اگر عملیات اختلاط زهاب و آب شیرین در سطح مزرعه انجام شود، شوری آب می‌تواند براساس میزان تحمل به شوری هریک از گیاهان اصلاح گردد. اعداد ارائه شده در جدول (۲-۹)، نتایج تحقیقی را در هندوستان نشان می‌دهد که در آن آب اختلاط یافته با سطوح شوری متفاوت برای کشت گندم مورد استفاده قرار گرفته است. این تجربه نشان داد هنگامی که همه ی آبیاری ها توسط آبی با حداکثر شوری dS/m ۳ انجام شود، حداکثر محصول تولید شده ۹۰٪ عملکرد بهینه می‌باشد. حال آن‌که بر پایه‌ی مطالعات انجام شده توسط ماس و گراتان (۲۰۰۲) و با فرض اعمال فاکتور تصحیح غلظت ۱/۵ بین شوری آب و شوری خاک، باید حداکثر محصول بالقوه قابل برداشت باشد. این اختلاف عملکرد بین شرایط نظری و حالت واقعی مزرعه ممکن است بر اثر تفاوت در فاکتور واقعی غلظت که عکس جزء آب‌شویی (LF) است ایجاد گردد.

1- Berseem

جدول ۲-۹- تاثیر زهاب رقیق شده بر عملکرد گندم

شوری زهاب (dS/m)	محصول نسبی (٪)	
	تمام آبیاری‌ها	آبیاری‌های پس از کاشت
۰/۵ (آب کانال)	۱۰۰	۱۰۰
۳/۰	۹۰/۲	-
۶/۰	۸۰/۴	۹۵/۸
۹/۰	۷۲/۵	۹۰/۳
۱۲/۰	۵۶/۴	۸۳/۷
۱۸/۰	-	۷۸/۰

افزون بر این، محصول واقعی به عوامل متعددی از جمله عوامل فیزیکی، اقلیمی و مدیریت زراعی وابسته است. به‌طور کلی، هنگامی که تمام آبیاری‌ها با آب اختلاط یافته صورت گیرد، حداکثر شوری مجاز به حد آستانه‌ی کاهش عملکرد بستگی دارد. جایی که برای پیش- آبیاری از آب شیرین استفاده شود، شوری آب اختلاط یافته می‌تواند بیش‌تر از شوری حد آستانه باشد، بدون آن‌که بر عملکرد گیاه اثر بگذارد. تجارب موجود در هندوستان نیز نشان می‌دهد اگر شوری آبی که پس از آبیاری اولیه به‌کار می‌رود، سه برابر حداکثر شوری مجاز ($EC_1 = 9\ dS/m$) نسبت به آب مخلوط شده ($EC_1 = 3\ dS/m$) باشد، تولید محصول ۹۰ درصد خواهد بود. به عبارت دیگر، عملکرد گیاه تنها ده درصد کاهش می‌یابد.

آب‌شویی املاح به منظور حفظ بیلان شوری در حد مطلوب در ناحیه‌ی رشد ریشه، الزامی است. بنابراین، دستورالعمل‌های فوق نیز می‌تواند برای رسیدن به این مقصود به‌کار روند. از دیگر سو، اگر مقاومت گیاهان به شوری در انتهای دوره رشد بیش‌تر شود و یا اگر گیاهان حساس به شوری پس از گیاهان مقاوم به شوری کشت شوند، لازم است شوری آنقدر کاهش یابد که برای رشد گیاه در دوره‌ی بعد مشکلی ایجاد نکند.

۲-۳-۶-۳- استفاده‌ی چرخشی یا تناوبی از زهاب

استفاده چرخشی که به آن روش پیاپی[1] یا متناوب[2] نیز گویند، روشی است که امکان مصرف متناوب آب شیرین و زهاب شور خروجی از زهکش‌ها را فراهم می‌سازد. در این روش، زهاب شور در چرخه‌ای از پیش تعیین شده جایگزین آب کانال می‌شود. استفاده چرخشی در جایی کاربرد دارد که شوری زهاب از شوری آستانه‌ی گیاه بیش‌تر شده باشد. یکی از حالت‌های استفاده از روش چرخشی بدین صورت است که دو نوع منبع آب متفاوت می‌تواند به طور جداگانه در مزرعه به‌کار 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. در هندوستان و پاکستان، آب کانال آبیاری به صورت تناوبی بین مجاری آبگیر (کانال‌های

1- Sequential
2- Rotational

درجه ۳) و مزارع شخصی توزیع می‌شود (تانجی و کیلن، ۲۰۰۲). روش چرخشی استفاده از زهاب می‌تواند به دو صورت درون فصلی و بین فصلی به‌کار گرفته شود. در روش بین فصلی همان اصولی رعایت می‌شوند که در کاربرد مستقیم زهاب‌ها برای هر فصل کشت مرسوم است.

در روش چرخشی درون فصلی، آب غیرشور در مراحل حساس رشد گیاه به شوری و آب شور هنگامی که مقاومت گیاه به شوری افزایش یافته، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در هندوستان زهاب شور (10.5-15 dS/m) با آب کانال برای کشت متناوب پیرل میلت[1] (گیاهی که برای تولید بذر و برگش پرورش می‌یابد) یا سورگوم – گندم ترکیب شد. در این آزمایش، آب کانال برای پیش- آبیاری مورد استفاده قرار گرفت و پس از آن ۴ آبیاری با عمق ۵۰ میلی‌متر برای انواع گندم آبی به‌کار رفت. در مورد گیاهان پیرل میلت وسورگوم، پیش- آبیاری انجام شد و پس از آن طی دوره رشد توسط بارندگی موسمی آبیاری گردید. نتایج مربوط به این آزمایش‌ها در جدول (۲-۱۰) ارائه شده است. استفاده از زهاب شور در تناوب‌های آبی مختلف (آب کانال- زهاب، یا زهاب- آب کانال) برای کشت گندم، بدین صورت که در دو آبیاری از آب کانال و در دو آبیاری بعد از زهاب استفاده شود و یا در دو آبیاری اول از زهاب و در آبیاری‌های بعد از آب کانال استفاده شود، کاهش معنی‌داری در مقدار گندم برداشت شده نشان نداد.

استفاده چرخشی درون فصلی، دورنمای قابل قبولی برای استفاده از زهاب‌ها را نشان می‌دهد. زیرا، تحمل همه گیاهان به شوری در همه ی مراحل رشد گیاه یکسان نیست. بسیاری از گیاهان در مراحل اولیه رشد خود و در مرحله ی جوانه‌زنی به شوری حساس می‌باشند. افزون براین، در دوره‌ی گلدهی نیز گیاه به شوری بسیار حساس است. مقاومت گیاه به شوری، معمولا با افزایش سن گیاه افزایش می یابد (جدول ۲-۱۱). تنها استثنا در این مورد مربوط به مقاومت گیاه خردل[2] به شوری طی مرحله‌ی گلدهی تا مرحله‌ی زایشی است.

مدیریت پایدار و طولانی مدت کاربرد زهاب برای حفظ بیلان بهینه ی نمک و اجتناب از تجمع عناصر کمیاب در ناحیه‌ی ریشه تا حد سمّیت برای رشد گیاه الزامی است. در روش گردشی، باید به تخریب خاکدانه بر اثر مصرف آب‌های سدیمی توجه شود. درصد بالای سدیم تبادلی در همتافت تبادلی خاک، تنها در صورتی منجر به تخریب خاک نمی شود که با رطوبت بسیار شور خاک برای جلوگیری از گسترش لایه‌ی مضاعف پخشیده[3] جبران گردد. با این حال، براثر آبیاری با آب کم شور یا آب باران، لایه‌ی مضاعف پخشیده بزرگ‌تر شده و خاک‌دانه‌ها دچار پراکنش می‌شوند. افزودن مواد اصلاح کننده به خاک یا ترجیحا آب برای جایگزینی سدیم با کلسیم و منیزیم در آب آبیاری شور می‌تواند از بروز چنین پدیده‌ای جلوگیری کند.

1- Pearl Millet
2- Mostard
3- Diffuse Double Layer

جدول ۲-۱۰- تاثیر آبیاری چرخشی با آب کانال و زهاب بر روی عملکرد چند گیاه (تن در هکتار)

نحوه کاربرد آب برای گندم	گندم	درصد	پیرل میلت(۱)	درصد	سورگوم	درصد
۴ بار کاربرد آب کانال	۶/۱	۱۰۰	۳/۳	۱۰۰	۴۳/۳	۱۰۰
آب کانال- زهاب (به تناوب)	۵/۸	۹۵	۳/۲	۹۷	۳۹/۸	۹۲
زهاب – آب کانال (به تناوب)	۵/۶	۹۲	۳/۲	۹۷	۳۹/۵	۹۱
۲ بار آب کانال – ۲ بار زهاب	۵/۷	۹۳	۳/۲	۹۷	۴۰/۲	۸۳
۲ بار زهاب – ۲ بار آب کانال	۵/۴	۸۹	–	–	۳۹/۵	۹۱
۱ بار آب کانال – ۳ بار زهاب	۵/۱	۸۴	۳/۱	۹۴	۳۷/۸	۸۷
۴ بار زهاب	۴/۵	۷۴	۲/۸	۸۵	۳۴/۱	۷۷
بارندگی (میلی متر)	۶۴		۴۶۰		۵۷۰	

مرجع: Sahrma et al., 1994

جدول ۲-۱۱- تابع عملکرد نسبت به شوری برای سه گیاه در مراحل مختلف رشد

گیاه کشت شده	مرحله رشد	تابع عملکرد	EC_0[1] (dS/m)	EC_{50}[2] (dS/m)
گندم	متوسط	y_r =100-4.1 (EC_e[3]-3.8)	۲۸/۴	۱۶/۰
	مرحله‌ی گرده افشانی	$y_r = 100.9 - 6.2\ EC_e$	۱۷/۳	۹/۷
	میان فصل	$y_r = 115.7-5.5\ EC_e$	۲۱/۰	۱۱/۹
	هنگام برداشت	$y_r = 106.7-3.4\ EC_e$	۳۱/۱	۱۶/۷
خردل	متوسط	y_r =100-5.5 (EC_e-3.8)	۱۵/۶	۹/۷
	مرحله‌ی گرده افشانی	$y_r = 115.6 - 8.2\ EC_e$	۱۴/۱	۸/۰
	میان فصل	$y_r = 168.12.6\ EC_e$	۱۳/۳	۹/۴
	هنگام برداشت	$y_r = 106.6-3.3\ EC_e$	۳۲/۳	۱۷/۱
علف سبز[5]	متوسط	y_r =100-20.7(EC_e-10.2)	۶/۶	۴/۲
	مرحله‌ی گرده افشانی	$y_r = 115.3 - 20.9\ EC_e$	۵/۵	۳/۱
	میان فصل	$y_r = 150.3-25.5\ EC_e$	۵/۳	۳/۶
	هنگام برداشت	$y_r = 157.2-24.8\ EC_e$	۶/۳	۴/۳

۱- EC_0: هدایت الکتریکی که در آن محصولی به دست نمی‌آید.

۲- EC_{50}: هدایت الکتریکی که در آن محصول ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.

۳- EC_e: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

۴- y_r: عملکرد نسبی

۵- Greengram

برخی پژوهش‌ها نشان داده که استفاده از تناوب دوره‌ای برای برخی گیاهان نه تنها باعث کاهش عملکرد نمی‌شود، بلکه کیفیت آن را نیز بهبود می‌بخشد. به عنوان مثال، آبیاری به موقع با آب شور هنگام رسیدن میوه به عنوان یک راهکار برای بهبود مقدار قند خربزه، مواد جامد محلول در گوجه فرنگی و قند پرتقال مورد استفاده قرار گرفته است (شانون و فرانکوسریا، ۱۹۷۸). همچنین براساس مطالعه نارش و همکاران (۱۹۹۳) اعمال مدیریت در استفاده متناوب یک در میان بر گندم و پنبه، بهتر از اختلاط آن‌ها در تمام مراحل رشد است. استفاده از تناوب نیم در میان در یک وقوع آبیاری با مصرف آب شور برای خیس کردن خاک و سپس آب شیرین بلافاصله بعد از نفوذ آب شور برای مصرف گیاه، راندمان مصرف آب توسط گیاه را افزایش می‌دهد. زیرا، عمده‌ی تلفات آب نفوذ یافته از سهم آب شور خواهد بود تا آب

شیرین. در این زمینه، در ایران نیز پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است. در پژوهشی، لیاقت و اسماعیلی (۱۳۸۲) از تیمار متناوب نیم در میان برای تلفیق آب شور و شیرین در مقایسه با دو تیمار مخلوط (شوری ۴ dS/m) و متناوب یک در میان (با شوری آب رودخانه ۰/۷ dS/m و آب شور ۱/۳ dS/m) استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که این روش، عملکرد بهتری از نظر وزن دانه و وزن کل ماده خشک ارائه می‌نماید. روش تناوب نیم در میان همچنین، کم‌ترین شوری را در محلول خاک ایجاد نمود.

کاربرد روش تناوبی به وجود دو کیفیت متفاوت آب (آب با کیفیت خوب و ضعیف) و سامانه‌های عرضه کننده بستگی دارد. در جایی که آب با کیفیت خوب در دوره‌ی اولیه رشد در دسترس بوده لیکن تامین آن برای رفع نیاز گیاه در کل دوره رشد یا خیلی گران تمام می شود و یا محدودیت زیادی دارد، می تواند کاربرد داشته باشد. این امر حتی اگر منجر به کاهش عملکرد نسبت به حداکثر عملکرد هنگام آبیاری با آب شیرین شود، توجیه اقتصادی دارد. مزایا و کاستی‌های روش متناوب را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- مزایا

۱- شوری خاک طی زمان و به ویژه در خاک سطحی در دوره‌ی جوانه زدن گیاه پایین نگه داشته می‌شود.
۲- گیاهان حساس به شوری را نیز می‌توان در این روش تولید کرد.
۳- نیازی به وجود سطح ایستابی کم عمق نیست.
۴- سیستم‌های آبیاری و زهکشی متداول قابل استفاده هستند.

- معایب

۱- زهاب باید جمع‌آوری شود و از منبع آب اولیه جدا باشد.
۲- سدیم و بُر موجود در زهاب به هنگام استفاده از زهاب در لایه ی سطحی خاک تجمع می‌یابند که باید در هنگام آبیاری با آب با کیفیت خوب آب‌شویی شوند.

۲-۳-۶-۴- استفاده از گیاهان مقاوم به شوری

مقاومت گیاهان مختلف به غلظت املاح محلول در ناحیه ی رشد ریشه، متفاوت است. اختلاف بین مقاوم‌ترین و حساس‌ترین گیاه به شوری حتی می‌تواند تا ده برابر باشد. مقاومت برخی گیاهان به شوری در جدول (۲-۱۲) گردآوری شده است (همایی، ۱۳۸۱). بدیهی است با استفاده از گیاهان مقاوم‌تر به شوری، می‌توان ضمن استفاده از زهاب‌ها برای آبیاری، آب‌شویی و زهکشی را هم کاهش داد.

استفاده از زهاب برای گیاهان مقاوم به شوری نیازمند داشتن اطلاعاتی پیرامون مقاومت آن‌ها در مراحل مختلف رشد است تا بتوان مدیریتی مناسب برای دستیابی به حداکثر عملکرد اعمال کرد (سعادت و همایی، ۱۳۸۴؛ جلالی و همایی، ۱۳۸۸).

گستره‌ی وسیعی از گیاهان نسبت به شوری واکنش نشان می‌دهند. در این میان چغندرقند، نیشکر، خرما، پنبه و جو مقاومت بیش‌تری به نمک دارند. حال آن‌که لوبیا، هویج، پیاز، توت فرنگی و بادام بسیار حساسند (ماس و گراتان، ۲۰۰۲). مقاومت گیاهان به شوری را می توان با استفاده از دو پارامتر «آستانه کاهش» و «شیب کاهش» به صورت کمّی بیان کرد. با استفاده از این دو پارامتر، عملکرد مورد انتظار در شوری‌های مختلف به‌دست می‌آید:

$$y_r - y_{max} = a\,(EC_e - EC_t) \qquad EC_e \geq EC_t \qquad (۱-۲)$$

که در آن y_r عملکرد نسبی، y_{max} حداکثر عملکرد گیاه در شرایط غیرشور، a شیب خط کاهش عملکرد، EC_e هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک (dS/m) و EC_t شوری خاک در حد آستانه‌ی کاهش می‌باشد.

بدیهی است با استفاده از معادله‌ی (۲-۱) و ارقام مندرج در جدول (۲-۱۲)، به آسانی می‌توان مقدار عملکرد مورد انتظار را به عنوان تابعی از مقدار شوری خاک محاسبه کرد. پژوهش‌هایی پرشمار برای مقادیر EC_t و a توسط پژوهشگران صورت گرفته که مجموعه‌ی نتایج به‌دست آمده در سطح جهان برای ۸۱ گونه‌ی گیاهی در جدول (۲-۱۲) گردآوری شده است (همایی، ۱۳۸۱). در این جدول همچنین، درجه‌بندی کیفی این گیاهان نسبت به شوری به صورت «حساس»، «نسبتا حساس»، «نسبتا مقاوم» و «مقاوم» ارائه گردیده است. همچنین، مقاومت برخی گونه‌های درختی نیز در جدول (۲-۱۳) گردآوری شده که از نظر مدیریت زهاب‌های شور بسیار حائز اهمیت است.

الف- داده‌های موجود برای مقاومت گیاهان به شوری

- مقاومت گیاهان علفی به شوری

در جدول (۲-۱۲)، «آستانه‌ی کاهش» و «شیب خط» برای ۸۱ گیاه جمع‌آوری شده است. بیش‌تر این ارقام در شرایط مشابه از نظر مدیریت مزرعه و کشت و کار به دست آمده‌اند. بنابراین، برای به‌دست آوردن ارقام یادشده هرچند که مدیریت نسبتا یکسانی اعمال شده ولی گیاهان در شرایط آب و هوایی متفاوتی رشد کرده و در نتیجه حالتی استاندارد را نمی‌توان بر همه‌ی آن‌ها اعمال نمود. به علاوه، این ارقام برآمده از آزمایش‌هایی هستند که در آن‌ها شوری خاک در ناحیه‌ی رشد ریشه از زمان جوانه‌زنی گیاه تا بلوغ، حتی‌المقدور یکنواخت نگاه داشته شده است. بنابراین، به هنگام استفاده از این جدول باید به نکات مهم زیر توجه کرد:

جدول ۲-۱۲- مقاومت گیاهان علفی به شوری خاک

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	شوری آستانه کاهش EC_e(dS/m)	شیب خط	درجه‌ی تحمّل
سیب‌زمینی ترشی	Helianthus tuberosus L.	مقدار غده	۰/۴	۹/۶	MS*
جو	Hordeum vulgare L	مقدار دانه	۸	۵/۰	T
کلم	Brassica campestris L.	مقدار بذر	۹/۷	۱۴	T
کلزا	B. napus L.	مقدار بذر	۱۱	۱۳	T
نخود سفید	Cicer arietinum L.	مقدار بذر	-	-	MS
ذرت	Zea mays L.	وزن ترخوشه	۱/۷	۱۲	MS

ادامه جدول ۲-۱۲- مقاومت گیاهان علفی به شوری خاک

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	شوری آستانه کاهش EC_e(dS/m)	شیب خط	درجه‌ی تحمّل
پنبه	Gossypium hirsutum L	مقدار بذر	۷/۷	۵/۲	T
سپیده	Crambe abyssinica Hoxhst. ExR. E. Fries	مقدار بذر	۲	۶/۵	MS
کتان	Linum usitatissimum L.	مقدار بذر	۱/۷	۱۲	MS
گوار	Cyamopsis tetragonolobao (L.) Taub	مقدار بذر	۸/۸	۱۷	T
کنف	Hibiscuscannabinus L.	وزن خشک ساقه	۸/۱	۱۱/۶	T
سوروف برنجی	Echinochloa turnerana (Domin) J. M. Black	مقداردانه	-	-	T
یولاف	Avena sativa L.	مقداردانه	-	-	T
بادام زمینی	Arachis hypogaea L.	مقدار بذر	۳/۲	۲۹	MS
برنج	Oryza sativa L.	مقدار دانه	۳	۱۲	S
ختمی	Hibiscus sabdariffa L.	وزن خشک ساقه	-	-	MT
چاودار	Secale cereale	مقداردانه	۱۱/۴	۱۰/۸	T
گلرنگ	Carthamus tinctorius L.	مقداربذر	-	-	MT
کنجد	Seasamum indicum L.	وزن‌خشک غلاف	-	-	S
سورگوم	Sorghum bicolor (L.)	مقدار بذر	۶/۸	۱۶	MT
سویا	Glycine max (L.) Merrill	مقدار بذر	۵/۰	۲۰	MT
چغندرقند	Beta vulgaris L.	ذخیره ریشه	۷	۵/۹	T
نیشکر	Saccharum officinarum L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۷	۵/۹	MS
آفتابگردان	Helianthus annuus L.	مقدار بذر	۴/۸	۵	MT
تریتیکاله	X Triticosecale Wittmack	مقدار دانه	۶/۱	۲/۵	T
گندم	Triticum aestivum L.	مقداردانه	۶	۷/۱	MT
یونجه	Medicago sativa L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۰	۷/۳	MS
سیاه ناو	Puccinellia airoides	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	T
بذر انداز	Sporobolus airoides Torr.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	T
جو علوفه‌ای	Hordeum vulgare L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۶	۷/۱	MT
علف بوریا	Agrostis stolonifera L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
مَرغ	Cynodon dactylobn L. Pers.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۶/۹	۶/۴	T
چمن گره یش	Dichanthium aristatum	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
باقلا	Vicia faba L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۶	۹/۶	MS
جاروعلفی	Bromus marginatus	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
جاروعلفی نازک	B. inermis Leyss	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
ریش پری	Pennisetum ciliare (L.)	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
پنجه برگ	Poterium sanguisorba L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
دانه قناری	Phalaris arundinacea L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
شبدر دو رگ	Trifolium hybridum L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۲	MS
شبدر برگ باریک	T. alexandrinum L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۵/۷	MS
یونجه زرد	Melilotus alba Dest.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
شبدرسفید	Trifolium repens L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۲	MS

ادامه جدول ۲-۱۲- مقاومت گیاهان علفی به شوری خاک

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	شوری آستانه کاهش EC_e(dS/m)	شیب خط	درجه‌ی تحمّل
شبدر ایرانی	T. resupinatum L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
شبدر قرمز	T. pratense L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۲	MS
شبدر توت فرنگی	T. fragiferum L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۲	MS
یونجه زرد	Melilotus sp.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
شبدر سفید	Trifolium repens L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
ذرت	Zea mays L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۸	۷/۴	MS
لوبیا چشم بلبلی	Vigna unguiculata (L.)	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۵	۱۱	MS
ارزن باتلاقی	Paspalum dilatatum Poir	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
لوبیای‌درختی‌خ اردار	Sesbania ispinosa (Linn).	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
علف بره کوهی	Festuca elatior L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۳/۹	۵/۳	MT
علف بره بلوط پسند	Festuca Pratensis Huds.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
دم روباهی	Alopecurus pratensis L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۹/۶	MS
گلیسین	Neonotonia wightii	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
ماش سیاه	Vigna mungo (L.)	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	S
ماش آبی	Bouteloua gracilis	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
ارزن	Panicum maximum Jacq.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
دانه قناری غیرعادی	Phalaris tuberosa L. var.stenoptera (Hack)	وزن خشک اندام‌های هوایی	۴/۶	۷/۶	MT
کلارگلاس	Leptochloa fusca (L.)	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	T
-	Lablab purpureus (L.)	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
علف عشق	Eragrostis sp.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲	۸/۴	MS
گون	Astragalus cicer L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
-	Setaria italica (L.)	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
یولافک	Arrhenatherum elatius (L.)	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
یولاف	Avena sativa L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	T
علف باغ	Dactylis glomerata L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۱/۵	۶/۲	MS
ارزن پادزهری	Panicum antidotale Retz.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
-	Cajanus cajan (L.)	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	S
کلزا	Brassica napus L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
جارو علفی	Bromus unioloides	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
علف پنجه سر	Chloris Gayana Kunth.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
چاودار	Secale cereale L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۷/۶	۴/۹	T
چچم پرگل	Lolium mulriforum Lam.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
چچم دائمی	Lolium perenne L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۵/۶	۷/۶	MT
چچم سخت	L. Rigidum Gaud.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
لوبیا درختی	Sesbania exaltata (Raf).	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۳	۷	MS

ادامه جدول ۲-۱۲- مقاومت گیاهان علفی به شوری خاک

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	شوری آستانه کاهش EC_e(dS/m)	شیب خط	درجه‌ی تحمّل
سیراتو	Macroptilium atropurpureum Urb.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
دغدغک بوته‌ای	Sphaerophysa salsula	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۲	۷	MS
چمن سودانی	Sorghum sudanense (Piper) Stapf	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۸	۴/۳	MT
دم‌گربه‌ای	Phleum pratense L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
یونجه پاکلاغی	Lotus pedunculatus Cav.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۳	۱۹	MS
آهو ماش زرد	L. corniculatus	وزن خشک اندام‌های هوایی	۵	۱۰	MT
آهوماش زرد واریته آرونیس	L. corniculatus L. var arvenis (Schkuhr) Ser.ex DC	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MS
ماشک برگ باریک	Vicia angustifolia L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۳	۱۱	MS
گندم	Triticum aestivum L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۴/۵	۲/۶	MT
گندم نوک اردکی	T. turgidum L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۱	۲/۵	MT
چمن گندمی	Agropyron sibiricum	وزن خشک اندام‌های هوایی	۳/۵	۴	MT
چمن‌گندمی‌تاج خروسی	) .A.cristatum (L	وزن خشک اندام‌های هوایی	۷/۵	۶/۹	T
چمن گندمی میانی	A. intermedium	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
چمن گندمی سلندر	A. trachycaulum	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
چمن گندمی بلند	A. elongatum	وزن خشک اندام‌های هوایی	۷/۵	۴/۲	T
چمن گندمی غرب	A. Smithii Rydb.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
چاودار وحشی	Elymus angustus Trin.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	T
چاودار	E. tritcoides Buckl.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۲/۷	۶	MT
چاودار کانادایی	E. canadensis L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
چاودار روسی	E. junceus Fisch.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	T
کنگر- آرتیشو	Cynara scolymus L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۶/۱	۱۱/۵	MT
مارچوبه	Asparagus officinalis L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	۴/۱	۲	T
لوبیا	Phaseolus vulgaris L.	مقدار جوانه	۱	۱۹	S
لوبیا لیما	P. lunatus L.	مقدار جوانه	-	-	MT
ماش	Vigna radiata (L.)	مقدار دانه	۱/۸	۲۰/۷	S
کاساوا	Manihot esculenta Crantz	مقدار دانه	-	-	MS
چغندر برگی	Beta vulgaris L.	مقدار غده	۴	۹	MT
بروکلی	Brassica oleracea L. (Botrytis Group)	ریشه ذخیره	۲/۸	۹/۲	MS
کلم بروکسل	B.Oleracea L. (Gemmifera Group)	وزن تر اندام‌های هوایی	-	-	MS
کلم معمولی	B.oleracea L. (Gapitata Group)	وزن تر اندام‌های هوایی	۱/۸	۹/۷	MS
هویج خودرو	Daucus carota L.	ریشه	۱	۱۴	S

ادامه جدول ۲-۱۲- مقاومت گیاهان علفی به شوری خاک

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	شوری آستانه کاهش EC_e(dS/m)	شیب خط	درجه‌ی تحمّل
گل کلم	Brassica oleracea L. (Botrytis Group)	-	-	-	MS
کرفس وحشی	Apium graveolens L.	وزن تردمبرگ	۱/۸	۶/۲	MS
ذرت شیرین	Zea mays L.	وزن تر بلال	۱/۷	۱۲	MS
لوبیای چشم بلبلی	Vigna unguiculata (L.)	مقدار دانه	۴/۹	۱۲	MT
خیار	Cucumis sativus L.	مقدار میوه	۲/۵	۱۳	MS
بادنجان	Solanum melongena L.	مقدار میوه	۱/۱	۶/۹	MS
سیر	Allium sativum L.	مقدار غده پیاز	۳/۹	۱۴/۳	MS
ماش سیاه	Vigna mungo (L.)	-	-	-	S
کلم پیچ	Brassica oleracea L. (Acephala Group)	-	-	-	MS
کلم قمری	Brassica oleracea L. (Gongylodes Group)	-	-	-	MS
کاهو	Lactuca sativa L.	وزن تر اندام‌های هوایی	۱/۳	۱۳	MS
خربزه‌ی وحشی	Cucumis melo L. (Reticulatus Group)	وزن تر اندام‌های هوایی	۱	۸/۴	MS
بامیه	Abelmoschus esculentus (L.)	-	-	-	MS
پیاز باغی (غده)	Allium cepa L.	مقدار پیاز	۱/۲	۱۶	S
پیاز معمولی (بذر)	Allium cepa L.	مقدار غده	۱	۸	MS
-	Pastinaca sativa L.	-	-	-	S
نخود	Pisum sativum L.	مقدار دانه	۳/۴	۱۰/۶	MS
فلفل قرمز	Capsicum annuum L.	مقدار دانه	۱/۵	۱۴	MS
نخود پیجون	Cajanus cajan (L.)	وزن تر دانه	-	-	S
سیب‌زمینی	Solanum tuberosum L.	مقدار غده	۱/۷	۱۲	MS
کدو مسمایی	Cucurbita pepo L.var Pepo	-	-	-	MS
خرفه	Portulaca oleracea L.	-	۶/۳	۹/۶	MT
تربچه	Raphanus sativus L.	مقدار غده	۱/۲	۱۳	MS
اسفناج	Spinacia oleracea L.	وزن تر اندام‌های هوایی	۲	۷/۶	MS
کدو تنبل	Cucurbita pepo L.	مقدار میوه	۳/۲	۱۶	MS
کدو مسمایی	D.pepo L.	مقدار میوه	۴/۹	۱۰/۵	MT
توت فرنگی	Fragaria x ananassa Duch.	مقدار میوه	۱	۳۳	S
سیب‌زمینی شیرین	Ipomoea batatas (L.) Lam.	ریشه‌های گوشتی	۱/۵	۱۱	MS
لوبیا	Phaseolus acutifolius Gray	مقدار میوه	-	-	MS
گوجه‌فرنگی	Lycopersicon lycopersicum	مقدار میوه	۲/۵	۹/۹	MS
گونه‌ای گوجه‌فرنگی	L. lycopersicum var. Cerasiforme	مقدار میوه	۱/۷	۹/۱	MS
شلغم	Brassica rapa L.	ریشه ذخیره	۰/۹	۹	MS
هندوانه	Citrullus lanatus (Thunb).	-	-	-	MS
گونه‌ای لوبیا	Psophocarpus Tetragonolobus L.	-	-	-	MT

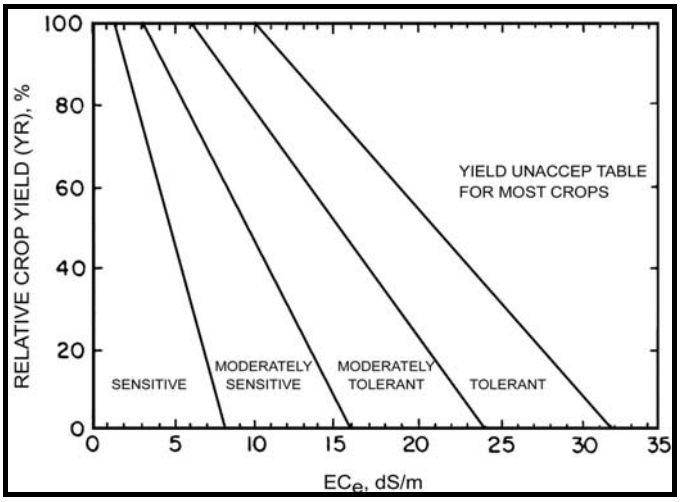
*S: حساس

MS: نسبتاً حساس

T: مقاوم

MT: نسبتاً مقاوم

- این اعداد تنها راهنمایی کلّی برای برآورد «مقاومت نسبی» گیاهان به شوری است. تحمل واقعی یک گونه‌ی گیاهی بسته به اقلیم، نوع خاک و عملیات زراعی تغییر می‌کند.
- درجه بندی کیفی مقاومت گیاهان بر پایه ی شکل (۲-۳) استوار است. در جاهایی که درجه‌بندی به صورت تخمینی بوده نشانه‌ی * به‌کار رفته است.
- در خاک‌های مورد آزمایش، یون Cl^- آنیون غالب بوده است.
- به هنگام تهیه‌ی عصاره‌ی اشباع خاک، مقداری از $CaSO_4$ در آب حل می‌شود و بنابراین EC_e خاک‌های گچی بین ۱ تا ۳ dS/m بیش از خاک های غیر گچی در شرایط مشابه خواهد بود. مقدار این حلالیت به ترکیب یون‌های تبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و ترکیب شیمیایی یون‌ها در محلول خاک بستگی دارد. بنابراین، گیاهانی که در خاک‌های گچی کشت می‌شوند می‌توانند تقریبا تا ۲ dS/m بیش از آنچه که در جدول آمده را تحمل کنند.
- ارقام ارائه شده در این جدول، مقاومت گیاهان به «میانگین شوری» خاک در ناحیه‌ی ریشه را در طی دوره‌ی رشد نشان می‌دهند، حال آن‌که مقاومت گیاه طی دوره‌های مختلف رشد متفاوت است. مثلا هرچند که ممکن است آستانه‌ی کاهش برای گیاهی زیاد باشد ولی گیاه در مرحله‌ی گیاهچه[1] حساس‌تر بوده و در شوری‌های پایین‌تری آسیب ببیند. به عنوان مثال، آستانه ی کاهش گیاه جو[2] ۶ dS/m است، حال آن‌که شرط جوانه‌زنی این گیاه تجاوز نکردن شوری خاک از مرز ۴ تا ۵ دسی زیمنس بر متر است.
- کلیه‌ی شوری‌های ارائه شده در این جدول بر حسب هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک می‌باشد.



شکل ۲-۳- راهنمای درجه‌بندی کیفی مقاومت گیاهان به شوری

1- Seedling
2- Hordeum Vulgara

ب - مقاومت درختان به شوری

فرآیند مقاومت درختان به شوری به جهت این‌که اثر اختصاصی یون‌ها نیز درآن تعیین کننده است، بسیار پیچیده می‌باشد. بسیاری از گونه های چوبی دائمی (چند ساله) بر اثر تجمع یون Cl^- و یا Na^+ در برگ‌های خود دچار آسیب‌دیدگی برگی می‌شوند. از آن‌جا که کولتیوارهای مختلف یک گونه‌ی درختی ممکن است مقادیر متفاوتی Cl^- و یا Na^+ جذب کنند، تغییرات زیادی در مقاومت آن گونه‌ی گیاهی می‌توان انتظار داشت.

در غیاب اثر ویژه‌ی یونی، مقاومت درختان به شوری همانند گیاهان علفی تابعی از غلظت املاح محلول در خاک و یا پتانسیل اسمزی است. ارقام ارائه شده در جدول (۲-۱۳) مقاومت گیاهان درختی را به شوری نشان می دهد. این ارقام تنها هنگامی صادقند که اثر ویژه ی یونی، عامل محدود کننده ی رشد نباشد. به دلیل هزینه‌بری و طولانی بودن زمان میوه‌دهی، مقاومت گیاهان بر مبنای رشد رویشی و نه عملکرد ارائه شده است. در مقایسه با سایر گیاهان، اغلب گیاهان درختی حتی در غیاب اثر ویژه ی یونی به شوری خاک حساس می‌باشند. از کل گیاهان ارائه شده در جدول (۲-۱۳) تنها خرما به شوری مقاوم است و مقاومت زیتون به شوری در حد متوسط است.

جدول ۲-۱۳- مقاومت برخی گونه‌های درختی به شوری

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	آستانه‌ی کاهش	شیب خط	درجه‌ی تحمّل
بادام	Prunus duclis	رشد اندام‌های هوایی	۱/۵	۱۹	S
سیب	Malus sylvestris Mill.	-	_	-	S
زردآلو	Prunus armeniaca L.	رشد اندام‌های هوایی	۱/۶	۲۴	S
آووکادو	Persea americana Mill.	رشد اندام‌های هوایی	-	-	S
موز	Musa acuminata Colla	مقدار میوه	-	-	S
شاه توت	Rubus macropetalus	مقدار میوه	۱/۵	۲۲	S
توت سیاه	Rubus ursinus	مقدار میوه	۱/۵	۲۲	S
کرچک	Ricinus communis L.	آسیب برگی	-	-	MS
-	Annona cherimola Mill.	آسیب برگی	-	-	S
گیلاس	Prunus avium L.	آسیب برگی	-	-	S
گونه‌ای گیلاس	Prunus besseyi L.	رشد ساقه	-	-	S
نارگیل	Cocos nucifera L.	-	-	-	MT
کشمش بی‌دانه	Ribes sp. L.	رشد ساقه، آسیب برگی	-	-	S
خرما	Phoenix dactylifera L.	مقدار میوه	۴	۳/۶	T
انجیر	Ficus carica L.	وزن خشک گیاه	-	_	MT
گونه‌ای انگور	Ribes sp. L.	-	-	_	S
انگور	Vitus vinifera L.	رشد اندام‌های هوایی	۱/۵	۹/۶	MS
گریپ فروت	Citrus x paradisi Macfady.	مقدار میوه	۱/۲	۱۳/۵	S
گوآوا	Psidium guajava L.	رشد اندام‌های هوایی و ریشه	۴/۷	۹/۸	MT
گویولی	Parthenium argentatum	وزن خشک اندام‌های هوایی	۸/۷	۱۱/۶	T
اوجن	Syzygium cumini L.	رشد اندام‌های هوایی	-	-	T
هوهوبا	Simmondsia chinensis	رشد اندام‌های هوایی	-	-	T
عناب هندی	Ziziphus mauritiana Lam.	مقدار میوه	-	-	MT
لیمو شیرین	Citrus limon (L.) Burm. F.	مقدار میوه	۱/۵	۱۲/۸	S

ادامه جدول ۲-۱۳- مقاومت برخی گونه‌های درختی به شوری

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	آستانه‌ی کاهش	شیب خط	درجه‌ی تحمّل
لیمو ترش	aurantiifolia.C	مقدار میوه	-	-	S
ازگیل ژاپنی	Eriobotrya japonica	آسیب برگی	-	-	S
-	Macadamia integrifolia	رشد گیاهچه	-	-	MS
نارنگی	Citrus reticulata Blanco	رشد اندام‌های هوایی	-	-	S
انبه	Mangifera indica L.	آسیب برگی	-	-	S
-	Carissa grandiflora	رشد اندام‌های هوایی	-	-	T
زیتون	Olea europaea L.	رشد گیاهچه، مقدار میوه	-	-	MT
پرتقال	Citrus sinensis (L.)	مقدار میوه	۱/۳	۱۳/۱	S
خربزه درختی	Carica papaya L.	رشد گیاهچه، آسیب برگی	-	-	MS
-	Passiflora edulis Sims.	-	-	-	S
هلو	Prunus persica (L.) Batsch	رشد اندام‌های هوایی، مقدار میوه	۱/۷	۲۱	S
گلابی	Pyrus communis L.	-	-	-	S
گردوی گرمسیری	Carya illinoinensis	مقدار میوه، رشد قطر درخت	-	-	MS
خرمالوی آمریکایی	Diospyros virginiana L.	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	S
آناناس	Ananas conosus (L.)	وزن خشک اندام‌های هوایی	-	-	MT
پسته	Pistacia vera L.	رشد اندام‌های هوایی	-	-	MS
آلو زرد	Prunus domestica L.	مقدار میوه	۲/۶	۳۱	MS
انار	Punica granatum L.	رشد اندام‌های هوایی	-	-	MS
سوبابل	Leucaena leucocephala	وزن خشک اندام هوایی	-	-	MS
دارابی (توسرخ)	.Citrus maxima (Burm)	-	-	-	S
تمشک	Rubus idaeus L.	آسیب برگی	-	-	S
جم (اوجن)	Syzygium jambos	مقدار میوه	-	-	S
-	Casimiroa edulis L lave	آسیب برگی	-	-	S
-	Sesbania grandiflora	آسیب برگی، وزن‌خشک اندام هوایی	-	-	MT
-	Prosopis tamarugo Phil	-	-	-	T
گردو	Juglans spp.	آسیب برگی	-	-	S

ج - مقاومت گیاهان در برابر آبیاری با آب شور به روش بارانی

افزون بر آسیبی که گیاه از ناحیه‌ی شوری خاک می‌بیند، در صورتی که محصولات زراعی با آب شور به روش بارانی آبیاری شوند، به صورت برگی نیز صدمه خواهند دید. بر اثر جذب مستقیم نمک توسط برگ‌ها، غلظت آن در برگ افزایش یافته و در برخی گونه‌ها یا برگ صدمه می‌بیند و یا کلا از بین می‌رود. هر نوع مکانیسم ژنتیکی که بتواند به محدود کردن حرکت Cl^- و Na^+ از شاخه ها به برگ منجر گردد، در صورت آبیاری بارانی با آب شور بی‌اثر خواهد شد. شدت آسیب‌دیدگی برگی به غلظت نمک در برگ بستگی دارد ولی شرایط آب و هوایی و نیز وجود تنش آبی هم هرکدام بر شدت آن می‌افزایند. مثلا ممکن است که غلظت نمک‌های تجمع یافته در برگ از چند هفته قبل به حد سمّیت رسیده باشد بدون آن‌که گیاه هیچ نوع نشانه‌ی سمّیت از خود بروز دهد. اما به محض گرم شدن هوا و یا خشک شدن آن، نشانه‌های نکروز شدید ظاهر می‌گردد. بنابراین، در حال حاضر هیچ‌گونه راهنمای عملی برای ارتباط دادن غلظت نمک در برگ با آسیب‌دیدگی برگی وجود ندارد. همچنین پژوهش‌های انجام شده برای برآورد کمّی کاهش محصول بر اثر

برگ‌پاشی با آب شور بسیار اندک است. به رغم این محدودیت، ارقام اندک موجود در جدول (۲-۱۴) جمع آوری گردیده که در حقیقت آستانه‌ی شوری آب آبیاری (EC_i) به روش بارانی و خسارت به گیاه را نشان می‌دهند. آن دسته از گیاهانی که آستانه‌ی خسارت برگی آن‌ها کم‌تر از آستانه‌ی کاهش محصول است، اگر با آب شوری آبیاری (بارانی) شوند که غلظت املاح آن برابر یا بیش‌تر از آستانه‌ی کاهش محصول باشد، با احتمال بیش‌تری دچار آسیب‌دیدگی برگی خواهند شد. چنان چه شوری آب مصرفی در آبیاری بارانی بیش از هر دو آستانه (آستانه‌ی خسارت برگی و آستانه‌ی کاهش محصول) باشد، هم خسارت برگی و هم کاهش عملکرد تواما قابل انتظار است. اگر این اثر تجمعی باشد، کاهش عملکرد بیش از آن چیزی است که در جدول (۲-۱۲) ارائه شده است.

از نقطه نظر عملی، چنان‌چه مجبور باشیم که از آب شور در سیستم آبیاری بارانی استفاده کنیم، با انجام عمل آبیاری در زیر تاج درختان می‌توان از بخش عمده ای از خسارت برگی جلوگیری کرد. البته، این کار ممکن است دشوار و یا حتی در شرایطی عملی نباشد. همچنین با توجه به این‌که آسیب برگی بیش‌تر به تعداد بارش‌ها مربوط می‌شود تا مدت بارش، افزایش فاصله‌ی دو آبیاری و انجام آبیاری سنگین بهتر از آبیاری با دور کم و مداوم است. به طور کلّی باید از آبیاری متناوب که طی آن سطح برگ‌ها متناوبا تر و خشک می‌شود اجتناب کرد. شاید بهترین روش برای جلوگیری از آسیب برگی، آبیاری در شب باشد زیرا در این هنگام هم تبخیر و هم جذب نمک توسط گیاه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. چنان چه ناگزیر از آبیاری در طول روز باشیم، باید از انجام آن در هوای گرم و خشک و به هنگام وزش باد خودداری کنیم.

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که چنان‌چه پیش یا پس از آبیاری با آب شور، به مدت ۳ تا ۵ دقیقه از آب کم‌شور استفاده شود مقدار تجمع املاح در برگ ها به طور چشمگیری کاهش می‌یابد (Aragues و همکاران،۱۹۹۴؛ Benes و همکاران، ۱۹۹۶). زیرا عمل جذب بیش‌تر توسط برگ‌های خیس شده در همان دقایق اولیه‌ی بارش آب شور صورت می‌گیرد. بنابراین با شستشوی برگ‌ها با آب لب‌شور پس از تجمع نمک بر روی آن‌ها در اثر تبخیر، مقدار جذب به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این پژوهش‌ها همچنین نشان داده که آبیاری بارانی با $EC_i = 9\ dS/m$ به میزان ۵۸ درصد محصول را نسبت به وقتی که از آبیاری بارانی استفاده نشود کاهش می‌دهد، لیکن هنگامی‌که برگ‌ها پیش و پس از آبیاری با آب غیرشور آب‌پاشی شوند تنها ۱۷ درصد کاهش عملکرد محقق می‌شود.

جدول ۲-۱۴- آسیب‌دیدگی برگی گیاهان بر اثر آبیاری با آب شور.

غلظت Na^+ یا Cl^- که موجب آسیب برگی می‌شود (mol/m^3)			
>20	10-20	5-10	<5
گل‌کلم	یونجه	انگور	بادام
پنبه	جو	فلفل	زردآلو
چغندرقند	ذرّت	سیب‌زمینی	مرکبات
آفتابگردان	خیار	گوجه‌فرنگی	گوجه‌سبز- آلو
	گلرنگ		
	کنجد		
	سورگوم		

د- واکنش گیاهان به یون‌های ویژه

غلظت نسبی یون‌های Na^+، Ca^{2+}، Mg^{2+}، Cl^-، SO_4^{2-} و HCO_3^- در خاک‌های شور بسیار متغیر است؛ لیکن تا زمانی‌که «نسبت» بین یون‌های یاد شده به صورت بحرانی درنیامده، اغلب گیاهان به مجموع املاح و به تبع آن به پتانسیل اسمزی محلول خاک واکنش نشان می‌دهند. بااین حال، برخی گیاهان علفی و بسیاری از گونه های درختی مستقیما از وجود برخی یون‌ها دچار سمّیت و آسیب‌دیدگی می‌شوند. به این اثر «اثر ویژه‌ی یونی» گویند که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

- سدیم

هر چند که سدیم جزو عناصر ضروری برای رشد گیاه به‌شمار نمی‌آید، لیکن وجود آن در شرایطی که شوری خاک کم‌تر از آستانه‌ی کاهش عملکرد باشد، برای رشد برخی گیاهان مفید است. چنان‌چه شوری خاک بیش از آستانه‌ی کاهش باشد، وجود سدیم می‌تواند هم مستقیما و هم به صورت غیرمستقیم بر گیاه اثر بگذارد. اثر مستقیم سدیم هنگامی بروز می‌کند که غلظت تجمع یافته‌ی آن درگیاه ایجاد سمّیت کند، که معمولا این پدیده منحصر به گونه‌های درختی است. این‌که این گیاهان تا چه حد می‌توانند نسبت به Na^+ مقاوم باشند، از گیاهی به گیاه دیگر و از گونه‌ای به گونه‌ی دیگر متفاوت است. مثلا در آووکادو، مرکبات و هلو غلظت‌های اندک سدیم در محلول خاک تا حدود ۵ میلی مول در لیتر موجب زیان می‌گردد. نشانه‌های ظاهری سمّیت سدیمی معمولا بلافاصله پس از تجمع آن در گیاه ظاهر نمی‌گردد. زیرا در آغاز، سدیم در ریشه‌ها و در بخش‌های زیرین درخت تجمع یافته و پس از ۳ تا۴ سال با حرکت شیره‌ی گیاهی به سمت بالا حرکت کرده و نهایتا به شاخه و برگ‌ها سرازیر گشته و منجر به سوختگی برگی می‌شود.

اثر غیر مستقیم یون سدیم شامل تخریب خواص فیزیکی خاک و ایجاد عدم تعادل تغذیه‌ای در گیاه می‌باشد. اثر سدیم بر تعادل تغذیه‌ای کم‌تر به درصد سدیم تبادلی خاک مربوط می‌شود و بیش‌تر به غلظت Na^+، Ca^{2+} و Mg^{2+} در محلول خاک ارتباط دارد. در خاک های سدیمی (غیرشور) معمولا غلظت کل املاح محلول در خاک پایین بوده و در نتیجه غلظت Mg^{2+}، Ca^{2+} از نظر تغذیه‌ای در حد کافی نیست. این نوع کمبود کلسیم و منیزیم (و نه سمّیت یون سدیم) در خاک های سدیمی معمولا نخستین عامل رشد ضعیف گیاه به‌شمار می‌آید. افزون براین، با توجه به این‌که شدت و مقدار جذب Na^+ شدیدا توسط یون Ca^{2+} در محلول خاک مهار می‌گردد، وجود مقدار کافی Ca^{2+} برای جلوگیری از انباشت Na^+ در گیاه ضروری است. این موضوع به ویژه برای گونه های درختی که به وجود Na^+ حساس هستند اهمیت فراوان دارد. چنان‌چه غلظت هر یک از یون‌های Mg^{2+} و Ca^{2+} بیش از یک مول در مترمکعب باشد و نیز چنان‌چه در همین شرایط غلظت Ca^{2+} برابر و یا بیش از غلظت Mg^{2+} باشد، گیاه از نظر تغذیه‌ای به قدر کافی از این عناصر در اختیار خواهد داشت و بنابراین در خاک‌های سدیمی (غیرشور) مشکلی از نظر تامین Mg^{2+} و Ca^{2+} به وجود نخواهد آمد. حال چنان چه افزون بر سدیمی بودن، غلظت املاح محلول به قدری افزایش یابد که خاک شور گردد، به

خودی خود مقداری کافی کلسیم در اختیار اغلب گیاهان قرار گرفته و در این صورت دیگر موردی از کمبود کلسیم مشاهده نشده بلکه اثر غالب در کاهش عملکرد مربوط به فشار اسمزی خواهد بود. به رغم این واقعیت، برخی از گونه‌های گیاهی در چنین شرایطی هم ممکن است دچار کمبود کلسیم گردند.

چنان چه خاک سدیمی باشد، همه گیاهان را از خود متاثر می‌سازد. زیرا با سدیمی شدن خاک خواص فیزیکی آن به شدت تخریب می‌گردد. با افزایش سدیم تبادلی خاک، پراکنش ذرات خاک افزایش یافته و بدین ترتیب نفوذپذیری خاک نسبت به آب و هوا به شدت کاهش می‌یابد و بدین ترتیب رشد هر نوع گیاه در آن محدود می‌شود. تخریب ساختمان خاک، محیطی نسبتا اشباع را موجب می‌گردد که در چنین وضعیتی، شرایط برای انواع بیماری های ریشه فراهم می‌شود. بنابراین، کاهش عملکرد در گیاهانی که به وجود یون سدیم چندان هم حساس نیستند مربوط به اثر مشترک «عدم تعادل تغذیه‌ای» و «نامساعد بودن شرایط فیزیکی خاک» است.

- کُلر

کُلر از عناصر کم‌نیاز[1] ضروری برای رشد گیاهان است، ولی برخلاف سایر عناصر کم‌نیاز اثر سمّیت آن نسبتا اندک است. در حقیقت، اغلب گونه های غیر درختی به یون Cl^- حساس نیستند. البته برخی گونه های سویا از این قاعده مستثنی بوده و تجمع کُلر زیادی در آن‌ها منجر به سمّیت می‌گردد. معمولا گونه‌های مقاوم سویا حمل ونقل کُلر به شاخه‌ها را محدود می‌کنند و بدین ترتیب مقدار کم‌تری کُلر به برگ‌ها خواهد رسید. بسیاری از گونه های درختی نسبت به Cl^- حساس بوده و تجمع آن در برگ‌هایشان ایجاد سمّیت می‌کند. مقاومت و یا حساسیت درختان به وجود کُلر از گونه‌ای به گونه‌ی دیگر تفاوت دارد. همانند سویا، اختلاف مقاومت گیاهان به کُلر به توانایی آن‌ها در جلوگیری از حرکت Cl^- به شاخه‌ها بستگی دارد. هر چه این توانایی بیش‌تر باشد، گیاه به Cl^- مقاوم‌تر است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که وجود کُلر بر مقاومت درختان به شوری نیز موثر است. مثلا مقاومت آووکادو، هلو، انگور، گریپ فروت و پرتقال به شوری قویا به تجمع کُلر در گیاه بستگی دارد. یکی از دلایل تفاوت گونه‌های انگور در مقاومت به شوری به همین امر مربوط می‌شود. چنان‌چه قلمه‌هایی انتخاب گردد که کُلر کم‌تری در خود ذخیره می‌کنند، مقاومت بیش‌تری به شوری خواهند داشت. در جدول (۲-۱۵) حداکثر غلظت مجاز کُلر که منجر به آسیب برگی نمی‌گردد برای برخی درختان ارائه شده است.

زیان عمده ی کُلر به گیاهان از اثری که بر افزایش فشار اسمزی دارد ناشی می‌شود. تا کنون هیچ پژوهش مستقلی برای ارزیابی شوری ناشی از یون کُلر به تنهایی صورت نگرفته ولی بیش‌تر ارقام ارائه شده در جدول (۲-۱۲) مربوط به شرایطی است که کُلر، آنیون غالب نمک های کلسیمی و منیزیمی بوده است. بنابراین، به خودی خود از این ارقام برای

1- Micro Elements / Micro Nutrients

منظور فوق استفاده شده است و می‌توان آن‌ها را جهت ارزیابی گزند ناشی از یون کُلر به‌کار گرفت. چنان‌چه کُلر آنیون غالب در محلول خاک باشد، می‌توان غلظت آن را با استفاده از رابطه‌ی زیر تخمین زد:

$$[Cl^-] \approx 10EC(dS/m)$$

که در آن $[Cl^-]$ غلظت کُلر موجود در خاک بر حسب مول بر مترمکعب است. چنان چه ارقام مربوط به آستانه ی کاهش در جدول‌های (۲-۱۲) و (۲-۱۳) را در عدد ۱۰ ضرب کنیم، حداکثر غلظت مجاز کُلر در عصاره‌ی اشباع خاک (بر حسب $mole/m^3$) برای گونه های مختلف به دست خواهد آمد. با تقسیم شیب خط در این جدول ها بر عدد ۱۰، مقدار کاهش عملکرد به ازای افزایش هر $mole/m^3$ کُلر پس از غلظت آستانه به دست می‌آید.

جدول ۲-۱۵- مقاومت برخی گونه‌ها و پایه‌های درختی به یون کُلر (همایی، ۱۳۸۱)

نام	نام انگلیسی	نام پایه یا واریته	حداکثر غلظت مجاز Cl^- در محلول خاک از نظر آسیب برگی (mol/m^3)
آووکادو	Avocado (Persea americana)		
		West Indian	۱۵
		Guatemalan	۱۲
		Mexican	۱۰
مرکبات	Citrus (Citrus sp.)		
		Sunki mandarin, grapefruit	۵۰
		Cleopatra mandarin, Rangpur lime	۵۰
		Sampson tangelo, rough lemon	۳۰
		Sour orange, Ponkan mandarin	۳۰
		Citrumeli 4475, trifoliare orange	۲۰
		Cuban shaddock	۲۰
		Calamondin, sweet orange	۲۰
		Savage citrange, Rusk citrange	۲۰
		Troyer citrange	۲۰
انگور	Grape (Vitis sp.)		
		Salt Creek, 1613-3	۸۰
		Dog ridge	۶۰
آلو	Stone fruit (Prunus sp.)		
		Marianna	۵۰
		Lovell, Shalil	۲۰
		Yunnan	۱۵
واریته‌ها تمشک	Berries (Rubus sp.)		

ادامه جدول ۲-۱۵- مقاومت برخی گونه‌ها و پایه‌های درختی به یون کُلر (همایی، ۱۳۸۱)

نام	نام انگلیسی	نام پایه یا واریته	حداکثر غلظت مجاز Cl^- در محلول خاک از نظر آسیب برگی (mol/m^3)
		Boysenberry	۲۰
		Olallie blackberry	۲۰
		Indian Summer raspberry	۱۰
انگور	Grape (Vitis sp.)		
		Thompson seedless, Perlette	۴۰
		Cardinal, Black rose	۲۰
توت فرنگی	Strawberry (Fragaria sp.)		
		Lassen	۱۵
		Shasta	۱۰

- بُر

بُر (B^+) یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاه است ولی بر خلاف کُلر چنان‌چه محلول خاک غلیظ شود به‌نحوی‌که غلظت آن کمی بیش از غلظت مورد نیاز گیاه باشد، بلافاصله ایجاد سمّیت می‌کند. معمولا غلظت‌های سمّی بُر در مناطق خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند. در اغلب آب‌های سطحی جهان، حد قابل قبولی از بُر وجود دارد ولی در پاره‌ای از نقاط، آب چاه‌ها حاوی غلظت‌های سمّی آن است. از آن‌جا که دامنه‌ی تحمّل گیاهان مختلف به بُر بسیار متفاوت است، آبی که برای یک گونه، سمّی به شمار می‌آید می‌تواند برای گونه‌های مقاوم‌تر به آسانی مصرف گردد.

ارقام جمع‌آوری شده برای مقاومت گیاهان به بُر در برگیرنده‌ی آستانه‌ی کاهش برای حدود ۴۰ نوع گیاه است که در جدول (۲-۱۶) گردآوری شده‌اند. پژوهش‌های Francois (۱۹۸۴، ۱۹۸۶، ۱۹۸۸، ۱۹۸۹، ۱۹۹۱ و۱۹۹۲) نشان می‌دهد که همانند شوری، می‌توان تابعی خطی و دوتکه بر کل دامنه‌ی واکنش گیاهان به بُر برازش داد. آستانه‌های کاهش و شیب خط‌های به‌دست آمده از این پژوهش‌ها در جدول (۲-۱۶) گردآوری شده‌اند. در اینجا تذکر این نکته لازم است که اغلب ارقام این جدول حاصل آزمایشات در محیط‌های شنی بوده و بنابراین در تعمیم آن‌ها به سایر خاک‌ها باید دقت کرد. همچنین آستانه‌ی کاهش در این جدول‌ها بیانگر حداکثر غلظت مجاز بُر بوده که تا آن غلظت کاهشی در عملکرد به وجود نمی‌آید. ولی در برخی گیاهان ممکن است بدون آن‌که کاهشی در عملکرد رخ دهد، غلظت موجود بُر موجب سوختگی برگ‌ها شود. دراین جدول، گیاهان به شش گروه از خیلی حساس تا خیلی مقاوم تقسیم شده‌اند. همانند تحمّل گیاهان به شوری، مقاومت آن‌ها به بُر بسته به شرایط اقلیمی، خاک و گونه‌ی گیاهی تغییر می‌کند و بنابراین، این ارقام برای کلیه‌ی شرایط و اقلیم‌ها صادق نیستند. برخی از گونه‌های مرکبات و هلو مقادیر متفاوتی بُر جذب می‌کنند و

بنابراین جهت نیل به عملکرد بهینه باید گونه‌هایی را برگزید که مقدار کم‌تری بُر جذب می‌کنند. مقاومت تعدادی از این گونه‌ها به بُر در جدول (۲-۱۷) گردآوری شده است.

جدول ۲-۱۶- مقاومت برخی گیاهان به بُر (همایی، ۱۳۸۱)

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	آستانه	شیب خط	درجه‌ی تحمّل
یونجه	Medicago sativa L.	وزن خشک اندام هوایی	۴-۶	-	T
آلو	Prunus armeniaca L.	آسیب برگی ساقه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
آرتیشو	Cynara scolymus L.	وزن خشک	۲-۴	-	MT
سیب زمینی ترشی	Helianthus tuberosus L.	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S
مارچوبه	Asparagus officinalis L.	وزن خشک اندام هوایی	۱۰-۱۵	-	VT
آووکادو	Persea americana Mill.	آسیب برگی	۰/۵-۰/۷۵	-	S
جو	Hordeum vulgare L.	مقدار دانه	۳/۴	۴/۴	MT
لوبیا	Phaseolus vulgaris L.	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S
لوبیا	Phaseolus lunatus L.	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S
ماش	Vigna radiata L.R.Wilcz	طول شاخه	۰/۷۵-۱	-	S
لوبیا	Phaseolus vulgaris L.	مقدار غلاف	۱	۱۲	S
چغندر	Beta vulgaris L.	وزن خشک ریشه	۴-۶	-	T
تمشک	Rubus sp. L.	وزن خشک کل گیاه	۰/۵<	-	VS
چمن مرتعی	Poa pratensis L.	وزن خشک برگ	۲-۴	-	MT
بروکلی	Brassica oleracea L.	وزن تر قسمت سر	۱	۱/۸	MS
کلم گل	Brassica oleracea L.	وزن خشک کل گیاه	۲-۴	-	MT
هویج فرنگی	Daucus carota L.	وزن خشک ریشه	۱-۲	-	MS
کلم رومی	Brassica oleracea L.	وزن تر کلم	۴	۱/۹	MT
کرفس وحشی	Apium graveolens L.	وزن تر دمبرگ	۹/۸	۳/۲	VT
گیلاس	Prunus avium L.	وزن خشک کل گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
-	Melilotus indica All.	وزن خشک کل گیاه	۲-۴	-	MT
ذرت	Zea mays L.	وزن خشک شاخه	۲-۴	-	MT
پنبه	Gossypium hirsutum L.	وزن خشک غنچه	۶-۱۰	-	VT
لوبیا چشم بلبلی	Vigna unguiculata	مقدار بذر	۲/۵	۱۲	MT
خیار	Cucumis carica L.	وزن خشک شاخه	۱-۲	-	MS
انجیر	Ficus carica L.	وزن خشک کل گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
سیر	Allium sativum L.	مقدار غده	۴/۳	۲/۷	T
انگور	Vitis vinifera L.	وزن خشک کل گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
گریپ فروت	Citrus x paradidi Macfady.	آسیب برگی	۰/۵-۰/۷۵	-	S
لیمو شیرین	Citrus limon (L.) Burm. F.	آسیب برگی	۰/۵<	-	VS
کاهو	Lactuca sativa L.	وزن تر سر	۱/۳	۱/۷	MS
لوپن	Lupinus hartwegii Lindl.	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S
گرمک	Cucumis meli L. (Reticulatus group)	وزن خشک شاخه	۲-۴	-	MT
خردل	Brassica juncea Coss.	وزن خشک کل گیاه	۲-۴	-	MT

ادامه جدول ۲-۱۶- مقاومت برخی گیاهان به بُر (همایی، ۱۳۸۱)

نام گیاه	نام علمی	مبنای مقاومت	آستانه	شیب خط	درجه‌ی تحمّل
یولاف	Avena sativa L.	وزن خشک بذر	۲-۴	-	MT
پیاز	Allium cepa L.	مقدار غده	۸/۹	۱/۹	VT
پرتقال	Citrus sinensis (L.)	ترتیب برگ‌ها	۰/۵-۰/۷۵	-	S
جعفری	Petroselinum crispum Nym.	وزن خشک گیاه	۴-۶	-	T
نخود فرنگی	Pisum sativa L.	وزن خشک گیاه	۱-۲	-	MS
هلو	Prunus persica (L.)	وزن خشک گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
بادام زمینی	Arachis hypogaea L.	مقدار بذر	۰/۷۵-۱	-	S
گردو گرمسیری	Carya illinoinensis	آسیب برگی	۰/۵-۰/۷۵	-	S
فلفل قرمز	Capsicum annuum L.	مقدار میوه	۱-۲	-	MS
خرمالو	Diospyros lali L.f.	وزن خشک کل گیاه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
آلو زرد	Prunus domestica L.	آسیب برگی و ساقه	۰/۵-۰/۷۵	-	S
سیب زمینی	Solanum tuverosum L.	وزن خشک غده	۱-۲	-	MS
تربچه نقلی	Raphanus sativus L.	وزن تر ریشه	۱	۱/۴	MS
کنجد	Seamum indicum L.	آسیب به برگی	۰/۷۵-۱	-	S
جارو رشتی	Sorghum bicolor	مقدار دانه	۷/۴	۴/۷	VT
کدو مسمائی	Cucurbita pepo L.	مقدار میوه	۴/۹	۹/۸	T
کدو حلوائی	Cucurbita moschata Poir	مقدار میوه	۱	۴/۳	MS
نوعی کدو	Cucurbita pepo L.	مقدار میوه	۲/۷	۵/۲	MT
توت فرنگی	Fragaria sp. L.	وزن خشک کل گیاه	۰/۷۵-۱	-	S
چغندر قند	Beta vulgaris L.	وزن تزریشه ذخیره	۴/۹	۴/۱	T
آفتابگردان	Helianthus annuus L.	مقدار بذر	۰/۷۵-۱	-	S
سیب‌زمینی شیرین	Ipomoea batatas	وزن خشک ریشه	۰/۷۵-۱	-	S
توتون	Nicotiana tobacum L.	وزن خشک	۲-۴	-	MT
گوجه فرنگی	Lycopersicon lucopersicum	مقدار میوه	۵/۷	۳/۴	T
شلغم	Brassica rapa L.	وزن خشک ریشه	۲-۴	-	MT
-	Vicia benghalensis L.	وزن خشک کل گیاه	۴-۶	-	T
گردو	Juglans regia L.	آسیب برگی	۰/۵-۰/۷۵	-	S
گندم	Triticum aestivum L.	مقدار دانه	۰/۷۵-۱	۳/۳	S

جدول ۲-۱۷- پایه‌های مرکبات و میوه‌های هسته دار به ترتیب تجمع بُر و انتقال آن به قلمه (همایی، ۱۳۸۱) .

نام گیاه	نام انگلیسی	نام علمی
مرکبات	Citrus	
-	Alemow	Citrus macrophylla
-	Gajanweet orange	C. Pennivesiculata or C. moi
-	Chinese box orange	Severina buxifolia
نارنج	Sour orange	C.aurantium
-	Calamondin	X Citrofortunella mitis
پرتقال	Sweet orange	C. Sinensis

ادامه جدول ۲-۱۷- پایه‌های مرکبات و میوه‌های هسته دار به ترتیب تجمع بُر و انتقال آن به قلمه (همایی، ۱۳۸۱) .

نام گیاه	نام انگلیسی	نام علمی
-	Yuzu	C. junos
لیموشیرین	Rough lemon	C. limon
گریپ فروت	Grapefruit	C.x paradisi
لیموشیرین	Rangpur lime	C.x limonia
-	Troyer citrange	x Citroncirus webberi
-	Savage citrange	x Citroncirus webberi
-	Cleopatra mandarin	C. Areticulata
-	Rusk citrange	x Citroncirus webberi
-	Sunki mandarin	C. reticulata
لیموشیرین	Sweet lemon	C. limon
پرتقال سه‌برگی	Trifoliate orange	Poncirus trifoliate
پرتقال سه‌برگی	Citrumelo 4475	Poncirus trifoliata x C.paradisi
-	Ponkan mandarin	C.reticulata
-	Sampson tangelo	C.x Tangelo
-	Cuban shaddock	C.maxima
لیمو شیرین	Sweet lime	C.aurantiifolia
میوه‌های هسته‌دار	Stone fruit	
بادام	Almond	Prunus duclis
بادام هندی	Myrobalan plum	P. cerasifera
زردآلو	Apricot	P. armeniaca
-	Marianna plum	P. domestica
شلیل	Shalil peach	P. persica

- بی‌کربنات

اطلاعات موجود درباره‌ی اثر سطوح مختلف بی‌کربنات بر گیاهان بسیار محدود است. اندک گزارش‌های موجود بیانگر آن است که حساسیت گیاهان مختلف به غلظت HCO_3^- متفاوت است. مثلا هنگامی که غلظت HCO_3^- برابر با $12\ mole/m^3$ باشد در گیاهِ Paspalum dilatatum ایجاد سمّیت می‌کند ولی هیچ گونه اثر منفی بر Chloris-gayana ندارد. به طور کلّی حساسیت نخود و لوبیا به HCO_3^- خیلی بیش‌تر از چغندر است. هنگامی که در یک محیط آزمایشگاهی غلظت CO_2 هوا در حد ۶/۵ درصد نگاه داشته شد، رشد ریشه‌های نخود و لوبیا به طور کامل متوقف شد و این در حالی بود که گیاه جو رشد طبیعی خود را طی می‌نمود.

- سیلینیم و سایر عناصر کم‌نیاز

بسیاری از خاک های تحت آبیاری مقدار قابل توجهی سیلینیم و سایر عناصر کم‌نیاز[1] را از مواد مادری خود به ارث برده‌اند. بسیاری از این مواد به آسانی در آب خاک حل می‌شوند و به سمت آب‌های زیرزمینی کم‌عمق حرکت کرده و سرانجام به آن‌ها می‌پیوندند. غلظت مجاز ۱۵ عنصر از این عناصر در آب آبیاری به منظور مدیریت و حفاظت بلند مدت گیاهان و جانوران توسط Pratt و Suarez (۱۹۹۰) گردآوری شده است که خوانندگان جهت اطلاع بیش‌تر می‌توانند به آن رجوع کنند. در حال حاضر غلظت این عناصر به حدی نیست که بتواند تولید فرآورده های زراعی را محدود کند، ولی توجه به مقدار تجمع یافته‌ی آن‌ها در زهاب‌ها ضروری است. هنگام کاربرد زهاب‌ها برای آبیاری و یا وقتی که زهاب‌ها با آب آبیاری مخلوط گردند، ممکن است حاوی غلظتی از این عناصر باشند که ایجاد سمّیت می‌نمایند. هم سیلینیم و هم مولیبدن به آسانی توسط گیاهان، دام‌ها و انسان جذب می‌گردند. خطر تخلیه زهاب‌ها به کانال‌ها، برکه‌ها و سایر منابع آبی در آن است که عناصر یاد شده سرانجام ممکن است به چرخه‌ی غذایی انسان و دام وارد شده و زیان‌هایی را به وجود آورند.

این‌که چه مقدار از این عناصر موجود در زهاب‌ها می‌تواند توسط گیاه جذب شود، به ترکیب شیمیایی زهاب‌ها بستگی دارد. چنان‌چه نمک‌های غالب در زهاب از نوع نمک‌های سولفاته باشند، تجمع سیلینیم در سبزیجات و مولیبدن در یونجه کاهش خواهد یافت. گزارش‌هایی در ارتباط با وجود غلظت‌های زیاد U و V در زهاب‌ها وجود دارد (Bradford، ۱۹۹۰) ولی هنوز معلوم نیست در صورت استفاده از این زهاب‌ها برای آبیاری چه مقدار از آن‌ها توسط گیاه جذب و در اندام‌های آن انباشته خواهد شد.

به هنگام کاشت گیاهان مقاوم به شوری، برای دستیابی به راندمان بالا باید نکات زیر مورد توجه قرار گیرند:

۱- دوره‌ی جوانه زنی و رشد اولیه در گیاهان مقاوم به شوری به دلیل حساسیت بیش‌تر به شوری، از اهمیت خاصی برخوردار است. در چنین شرایطی، افزایش تعداد بذر در واحد سطح حصول جوانه‌زنی و رشد اولیه مناسب لازم می‌باشد.

۲- افزایش تراکم کشت برای دستیابی به تولید بیش‌تر.

۳- تعیین عمق مناسب بذر و مدیریت آبیاری برای پیشگیری از تجمع نمک در ریشه ی گیاهان نوپا در سیستم آبیاری جویچه‌ای.

۴- جلوگیری از تماس نمک با برگ گیاهان به منظور جلوگیری از خسارت برگی در سیستم آبیاری بارانی.

۵- حذف نمک تجمع یافته در حاشیه‌ی منطقه خیس شده در آبیاری قطره‌ای و اعمال مدیریت مناسب برای جلوگیری از حرکت نمک تجمع یافته به سمت ریشه در هنگام بارندگی.

1- Micro Elements

نکته قابل توجه در استفاده از آب‌های شور در سیستم‌های تحت فشار، کنترل آن‌ها برای جلوگیری از گرفتگی آبپاش‌ها و قطره‌چکان‌ها می‌باشد. استفاده از زهاب شور برای آبیاری افزون بر خطر شوری و عناصر کمیاب و سمّی، مشکلاتی همچون تخریب ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، مشکلات بهداشتی و احتمال آلودگی محصولات غذایی را به‌وجود می‌آورد. معایب این روش را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- میانگین شوری خاک لایه‌ی سطحی طی زمان بیش‌تر است.
- جوانه زدن گیاه دشوارتر است.
- مقدار محصول کم‌تر است.
- امکان کشت گیاه‌هان حساس به شوری کم‌تر است.

۲-۴- کاربرد برای دام و طیور

واحدهای پرورشی دام و طیور معمولا در مناطق کشاورزی قرار دارند. لذا، از زهاب‌های تولید شده در بخش کشاورزی علاوه بر آبیاری محصولات کشاورزی، می توان برای شرب دام و طیور نیز استفاده کرد. البته این در صورتی است که شرایط دسترسی به آب با کیفیت بهتر برای مصارف دام و طیور وجود نداشته باشد. هرچند مقدار این مصرف در مقایسه با آبیاری کم است، لیکن به دلیل اهمیت اقتصادی دامداری باید کیفیت زهاب مصرفی مورد توجه قرار گیرد. هر چند که بیش از ۹۹ درصد محتویات زهاب‌های کشاورزی را آب تشکیل می‌دهد، لیکن مواد گوناگونی در همه آن‌ها یافت می‌شود که هریک در غلظتی معین مضر یا خطرناک به شمار می‌آیند. این‌که کدام ماده(ها) در این آب‌ها برای مصارفی چون شرب دام و طیور، پرورش آبزیان و استفاده انسان خطرناک است و حد غلظت مجاز هر کدام چقدر است به نوع کاربری یا مدیریتی که اعمال می‌گردد، بستگی دارد.

۲-۴-۱- شاخص‌های کیفی زهاب برای مصارف دامی

آب مورد استفاده برای دام باید از کیفیت مطلوبی برخوردار باشد تا بتوان از بیماری‌های دامی و مسموم شدن دام‌ها جلوگیری کرد. بسیاری از شاخص های کیفیت آب مورد مصرف دام مانند شاخص های کیفیت آب مصرفی توسط انسان است، هرچند که حد مجاز نمک و مواد معلق جامد در آب برای دام ممکن است بیش‌تر باشد (چاپمن، ۱۹۹۲). استانداردهای کیفی آب برای مصرف دام شامل دو بخش است. بخش اول شامل استانداردهای مصرف آب شور برای دام و پرندگان است. حد مجاز شوری و غلظت یونی به مقدار آب مصرفی روزانه، نوع، وزن، سن و وضعیت فیزیکی حیوان

بستگی دارد (سلطانپور و رالی[1]، ۲۰۰۱). بخش دوم شامل حداکثر حدود پیشنهادی برای شاخص های شیمیایی و میکروبیولوژیک است. این حدود مبتنی بر سلامت حیوان، کیفیت محصولات و مزه‌ی آن‌ها می‌باشد.

در کشورهای مختلف، استانداردها و معیارهای متفاوتی برحسب نوع مصرف آب ارائه شده است که راهنمای مناسبی برای سنجش کیفیت آب می باشند. متغیرهای ارزیابی کیفی آب برای مصرف در فعالیت های مختلف براساس توصیه سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2003) و آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) در جدول (۲-۱۸) گردآوری شده‌اند.

جدول ۲-۱۸- شاخص‌های لازم برای ارزیابی کیفیت آب‌های نامتعارف (رودس و همکاران، ۱۹۹۲)

شاخص	پایش زمینه	شیلات و آبزی‌پروری	منابع آب آشامیدنی	تفریحی بهداشتی	کشاورزی	
					آبیاری	شرب دام
متغیرهای کلی						
درجه حرارت	×××	×××		×		
رنگ	××		××	××		
بو			××	××		
مواد معلق	×××	×××		×××		
کدورت	×	××		××		
هدایت الکتریکی	××	×			×	
کل مواد جامد محلول		×	×		×××	×
پ.هاش	×××	××	×	×	××	
اکسیژن محلول	×××	×××	×		×	
سختی		×	××			
کلروفیل a	×	××	××	××		
مواد غذایی						
آمونیاک	×	×××	×			
نیترات /نیتریت	××	×	×××			××
فسفر یا فسفات	××					
مواد آلی						
کل کربن آلی	××		×	×		
نیاز شیمیایی اکسیژن	××	××				
نیاز بیولوژیک اکسیژن	×××	×××	××			
یون‌های عمده						
سدیم	×		×		××	
پتاسیم	×					
کلسیم	×				×	×
منگنز	××		×			
کلرید	××		×		×××	

1- Soltanpour & Raley

ادامه جدول ۲-۱۸- شاخص‌های لازم برای ارزیابی کیفیت آب‌های نامتعارف (رودس و همکاران، ۱۹۹۲)

شاخص	پایش زمینه	شیلات و آبزی‌پروری	منابع آب آشامیدنی	تفریحی بهداشتی	کشاورزی	
					آبیاری	شرب دام
سولفات	××		×			×
دیگر مواد معدنی						
فلورید			××		×	×
بُر					××	×
سیانید		×	×			
عناصر کمیاب						
فلزات سنگین		××	×××		×	×
آرسنیک و سلنیوم		××	××		×	×
آلاینده‌های آلی						
نفت و هیدروکربن‌ها		×	××	××	×	×
حلال‌های آلی	×	×	×××			×
فنل‌ها	×	×	××			×
سموم و آفت‌کش‌ها	××	××	××			×
مواد شوینده	×	×	×	×		×
شاخص‌های میکروبیولوژیک						
کلیفرم‌های مدفوعی			×××	×××	×××	
کل کلیفرم‌ها			×××	×××	×	
پاتوژن			×××	×××	×	××

علامت ×××-× برای نشان دادن احتمال کم تا زیاد تاثیرپذیری غلظت پارامتر مربوطه و اهمیت قرار دادن آن در فهرست اندازه‌گیری است.

۲-۴-۲- شاخص‌های بهداشتی دام

به هنگام بررسی ویژگی‌های بهداشتی زهاب‌ها برای استفاده‌ی دام و طیور، پرداختن به پارامترهای بهداشتی شامل پاتوژن‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. در بسیاری از کشتزارها برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و افزایش حاصل‌خیزی خاک، از کودهای آلی شامل کود گاوی، کود مرغی و لجن فاضلاب استفاده می شود. به‌طور متوسط در هر گرم کود حیوانی 10^{10} باکتری وجود دارد که بیش از ۵۰ درصد آن ها بیماری‌زا (پاتوژن) هستند. از میان گروه‌های باکتریایی بیماری‌زای موجود در کودهای حیوانی می‌توان به کلیفرم‌های روده‌ای[1] مانند اشرشیاکولای[2]، کلبسیلا[3]، شیگلا[4]، استرپتوکوکوس[5] و سالمونلا[6] اشاره کرد. این باکتری‌ها می‌توانند همراه رسوبات یا رواناب به زهکش‌های سطحی وارد شده

1- Faecal coliforms
2- Escherichia coli
3- Kalabsilla
4- Shigella
5- Streptococcous
6- Salmonella

و یا همراه آب باران یا آب آبیاری در خاک نفوذ کرده و خود را به زهاب‌های زیرزمینی یا آب‌های زیرزمینی منطقه رسانده و سبب آلوده شدن آن‌ها شوند. (تان و همکاران، ۱۹۹۲، یونک و گوس، ۲۰۰۴). همچنین در بسیاری از مناطق کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و روستایی به زهکش‌های روباز تخلیه می‌شوند که این امر باعث آلودگی میکربی زهاب‌ها می‌شود. به علاوه، در برخی مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل کمبود آب از فاضلاب‌ها برای آبیاری اراضی کشاورزی استفاده می‌شود که این امر نیز آلودگی باکتریایی زهاب‌های تولیدی را به‌دنبال دارد. بی‌گمان، استفاده از چنین آب‌هایی برای شرب دام خطرات بالقوه بهداشتی زیادی به همراه دارد.

۲-۴-۳- دستورالعمل‌های لازم برای کاربرد زهاب در واحدهای پرورش دام و طیور

شاخص های کیفی فیزیکی و شیمیایی آب برای مصارف شرب دام و طیور براساس جدول (۲-۱۸) شامل گستره ی وسیعی از شاخص‌ها مشتمل بر شوری، نیترات، نیتریت، کل مواد جامد محلول، کلسیم، سولفات، فلور، بُر، فلزات سنگین، آرسنیک، سلنیوم، سمّوم و آفت‌کش‌ها می‌باشد که مقادیر مجاز آن‌ها در استانداردهای جهانی در جدول‌های (۲-۱۹) و (۲-۲۰) ارائه شده است.

استانداردهای پیش‌بینی شده در ایران برای مصارف شرب دام که توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سازمان حفاظت محیط زیست ارائه شده نیز در جدول های (۲-۲۱) و (۲-۲۲) گردآوری شده است. تفاوت استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست نسبت به استاندارد موسسه تحقیقات صنعتی ایران را می‌توان در شرایط سخت‌گیرانه‌تر، حذف و افزودن برخی پارامترهای کیفی و حذف مصارف شرب دام در جدول و در نظر گرفتن آن در مصارف کشاورزی به یک شکل واحد عنوان نمود.

همان‌گونه که گفته شد، به هنگام بررسی شاخص‌های بهداشتی زهاب‌ها برای استفاده دام و طیور، تعیین شاخص‌های بهداشتی شامل پاتوژن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. مقادیر مجاز این شاخص‌ها در جدول (۲-۲۲) گردآوری شده است.

جدول ۲-۱۹- راهنمای گروه‌بندی کیفی آب‌های شور برای مصرف دام و طیور (تانجی، ۲۰۰۲)

شوری $dS.m^{-1}$	رده‌بندی کیفی	موارد مصرف
<۱/۵	عالی	برای همه‌ی گونه‌های دامی و طیور عالی است.
۱/۵-۵	بسیار مناسب	برای همه دام‌ها مناسب است لیکن دام‌هایی که به آن عادت ندارند، ممکن است به اسهال دچار شوند. غلظت‌های زیاد این محدوده، باعث آبکی شدن فضولات طیور می‌شود.
۵-۸	مناسب برای دام، نامناسب برای طیور	برای دام‌ها مناسب است ولی دام‌هایی که به آن عادت ندارند ممکن است از خوردن امتناع کنند. اگر نمک‌های سولفات در غالب باشند احتمال اسهال در دام می‌رود. این آب‌ها برای طیور نامناسب است و باعث اسهال و افزایش تلفات و کم شدن رشد به ویژه در بوقلمون می‌شوند.
۸-۱۱	مصرف محدود برای دام، نامناسب برای طیور	این آب را می‌توان برای دام‌هایی به‌کار برد که حامله یا شیرده نباشند. دام‌هایی که به آن عادت ندارند ممکن است از خوردن امتناع کنند. این آب‌ها برای طیور نامناسب است.
۱۱-۱۶	مصارف بسیار محدود	مصرف آن‌ها برای گاوهای شیرده و حامله، اسب و گوسفند و کلیه حیوانات کم سن مخاطره‌انگیز است. ممکن است برای نشخوارکنندگان و اسب‌های پیر مصرف شود. برای طیور و احتمالا خوک نامناسب است.
>۱۶	برای مصرف توصیه نمی‌شود	برای هیچ یک از دام‌ها و طیور توصیه نمی‌شود.

جدول ۲-۲۰- حداکثر غلظت مواد سمّی در آب شرب دام‌ها

ماده	حداکثر غلظت $mg.l^{-1}$	ماده	حداکثر غلظت $mg.l^{-1}$
آرسنیک	۰/۰۲۵	نیکل	۱
بُر	۵	نیترات + نیتریت	۱۰۰
کادمیوم	۰/۰۵	نیتریت	۱۰
کرم	۰/۰۵	سلنیوم	۰/۰۵
مس	۰/۵-۵	اورانیوم	۰/۲
سرب	۰/۱	وانادیوم	۰/۱
جیوه	۰/۰۱	روی	۲۴
مولیبدن	۰/۵		

جدول ۲-۲۱- ویژگی‌های کیفی زهاب ($mg.l^{-1}$) (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران)

ردیف	مواد آلوده کننده	جهت شرب دام	مصار ف کشاورزی		تخلیه به آب‌های سطحی	تخلیه به آب‌های زیرزمینی
			برای تمام خاک‌ها	مصرف تا ۲۰ سال بر روی خاک‌های سبک		
۱	آرسنیک	۰/۲	۰/۱	۲	۰/۱	۰/۱
۲	آلومینیم	۵	۵	۲۰	۱۰	۵
۳	بریلیوم	-	۰/۱	۵	-	-
۴	بور	۵	۱	۲	۲	۱
۵	کادمیم	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۱
۶	لیتیوم	-	۲/۵	۲/۵	-	-
۷	منگنز	-	۰/۲	۱۰	-	-
۸	مولبیدون	-	۰/۰۱	۰/۰۵	-	-
۹	نیکل	-	۲	۲	۳	۰/۲
۱۰	سلنیوم	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	-	-
۱۱	مجموع فسفر	-	-	-	۱	۱
۱۲	سولفیت	-	-	-	۱	۱
۱۳	نیترات و نیتریت	۱۰۰	-	-	-	-
۱۴	نیتریت	۱۰	-	-	-	-
۱۵	مجموع مواد محلول	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰	-	-	-
۱۶	سولفات و سدیم منیزیم	۵۰۰۰		-	۳۰۰	۳۰۰
۱۷	پ-هاش	۶/۸-۷/۵	۶ -۸/۵	-	۶/۵ -۸/۵	-

جدول ۲-۲۲- تعداد مطلوب باکتری‌ها در آب‌های مصرفی برای کشاورزی

ردیف	باکتری	جهت شرب دام و طیور	مصرف کشاورزی برای تمام خاک‌ها	مصرف کشاورزی تا ۲۰ سال بر روی خاک‌های سبک	تخلیه به آب‌های سطحی	تخلیه به آب‌های زیرزمینی
۱	کلیفرم مدفوعی (تعداد در ۱۰۰ ml)	<۱	۲۰۰		۲۰۰	۲۰۰
۲	استرپتوکوکوس مدفوعی (تعداد در ۱۰۰ ml)	<۱	۲۰۰		۲۰۰	۲۰۰
۳	کل باکتری (تعداد در ۱۰۰ ml)	<۲۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

مرجع: U.S. Department of Agriculture, 1992

۲-۵- کاربرد زهاب‌ها برای آبزی پروری

وجود آب سالم برای آبزیان، به ویژه ماهی‌ها که حساس‌ترین موجودات نسبت به آلاینده‌ها هستند، اساسی است. طیف گسترده‌ای از ماهی‌ها وجود دارد که به وسیله فضولات انسانی تغذیه می‌شوند. به همین دلیل، در برخی کشورها از زهاب‌ها و فاضلاب‌های تصفیه شده برای پرورش آبزیان استفاده می‌شود (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۰). لیکن، معیار کیفی آبی که برای پرورش ماهیان به‌کار می‌رود، باید تحت کنترل و نظارت باشد. کمبود اکسیژن محلول در آب‌های آلوده و زهاب‌ها و همچنین وجود برخی از عناصر سمّی می‌تواند در شرایط بیولوژیک استخرهای طبیعی و مصنوعی اثرات نامطلوبی داشته و تجمع عناصر سمّی در بافت‌های آبزیانی که توسط انسان مصرف می‌شوند، بیماری‌های خطرناکی به وجود آورد. در مقابل، وجود عناصر غذایی در زهاب‌ها حاصل‌خیزی سیستم‌های آبکشت را افزایش می‌دهد.

۲-۵-۱- شاخص‌های کیفی زهاب برای آبزی پروری (در شرایط گرم آبی و سرد آبی)

موجودات آبزی از نظر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی آب، نیازهای متفاوتی دارند. اکسیژن محلول، مواد غذایی کافی و عدم وجود عناصر سمّی خطرناک، از عوامل بنیادین برای حیات آبزیان است. تخلیه زهاب می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب را به عنوان زیستگاه آبزیان خدشه‌دار کند.

در آب‌های طبیعی، مقدار عناصر سمّی بسیار کم است. غلظت زیاد این عناصر، اثرات مضری بر حیات آبزیان دارد. برخی عناصر مانند جیوه و سلنیم به خاطر خاصیت زیست انباشت‌شان حتی در غلظت‌های کم هم نگران کننده می‌باشند (وسکات، ۱۹۹۷). به عنوان مثال، در ایالات متحده آمریکا حد بالای مجاز سلینیم برای آبزی پروری در آب‌های شیرین ppb ۲ است، در حالی که برای آب شرب انسانی ppb ۵۰ می‌باشد. حد مجاز اول به خاطر خاصیت تجمع‌پذیری سلینیم در زنجیره‌ی غذایی آبزیان کم‌تر است.

آفت‌کش‌ها هم می‌توانند باعث مسمومیت موجودات آبزی در آب‌های سطحی شوند. بسیاری از ترکیبات آلی مصنوعی، پایدار و زیست انباشت بوده و در بسیاری از چرخه های غذایی وجود دارند. این ترکیبات، معمولا جذب چربی بدن می‌شوند. یعنی، جایی که می‌توانند برای مدت زیادی باقی بمانند. برخی از این ترکیبات نیز ممکن است از طریق بافت‌ها و فرآورده‌های ماهی‌ها به مصرف‌کنندگان برسد. از آن‌جا که ماهی یکی از منابع مهم پروتئینی است بایستی از تجمع آلاینده‌ها در ماهی و پولک آن‌ها جلوگیری نمود (چاپمن[1]، ۱۹۹۲).

همه‌ی آبزیان چه ماهی‌ها و چه دیگر موجودات آبزی که در آبگیرهای آلوده زندگی می‌کنند، همواره در معرض بسیاری از ترکیبات شیمیایی قرار دارند. این ترکیبات، از طریق رقابت و ایجاد اختلال در فعالیت‌های هورمونی و

1- Chapman

دخالت های ناشناخته دیگر، فرآیندهای تولید مثل، سیستم ایمنی، عصبی و دستگاه غدد درون ریز را مختل می کنند (روترفورد[1]، ۱۹۹۷).

۲-۵-۲- شاخص‌های بهداشتی برای پرورش آبزیان (گرم آبی و سردآبی)

برخی از پاتوژن‌های بیماری‌زای موجود در کودهای آلی، هنگامی که به استخرهای پرورش ماهی وارد می‌شوند، می‌توانند از گیاهان و موجودات آبزی به عنوان میزبان‌های حد واسط استفاده کنند. ماهی‌های پرورش یافته در این استخرها یا استخرهای حاوی زهاب نیز ممکن است به انواع باکتری‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا آلوده بوده و حتی ممکن است به صورت یک منبع انتقال دهنده این پاتوژن‌ها به ویژه در جاهایی که این ماهی‌ها خام مصرف می‌شوند عمل کنند. سازمان بهداشت جهانی (۱۹۸۹) تعداد «کلیفرم های مدفوعی» در آب استخرها را به عنوان شاخص بهداشتی و بوراس[2] و همکاران (۱۹۸۷ و ۱۹۸۵) تعداد «کل باکتری های هوازی» را به جای تعداد کلیفرم‌های مدفوعی به عنوان شاخص باکتریایی در عضلات ماهی‌ها ملاک قرار داده‌اند.

۲-۵-۳- دستورالعمل‌های کاربرد زهاب برای پرورش آبزیان

استانداردهایی چند برای حفاظت از محیط زیست آبزیان تدوین شده است. استانداردهایی که برای مناطق معتدل تدوین شده، نباید بدون ملاحظه برای اقلیم‌های دیگر به‌کار رود. زیرا مسمومیّت، دوام و نرخ تجمع آلاینده‌ها ممکن است در اقلیم های مختلف به طور چشمگیری متفاوت باشد. استانداردهای مربوط به شاخص های فیزیکی- شیمیایی و فلزات سنگین آب برای آبزیان به ترتیب در جدول‌های (۲-۲۳) و (۲-۲۴) ارائه شده است.

همان‌گونه که پیش‌تر نیز گفته شد، تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در آب و یا تعداد کل باکتری‌های هوازی در بافت‌های ماهیچه‌ای، به عنوان معیارهای کیفی بهداشتی برای پرورش آبزیان ملاک عمل قرار می‌گیرد. بر پایه‌ی توصیه‌ی سازمان بهداشت جهانی، میانگین تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در زهاب‌های مورد استفاده برای پرورش آبزیان باید کم‌تر یا برابر با ۱۰۰۰ در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر باشد (WHO, 1989). در این غلظت، فرض بر این است که عضلات ماهی مورد هجوم باکتری‌ها قرار نمی‌گیرد، لیکن ممکن است پاتوژن‌ها در دستگاه هاضمه یا مایع میان بافتی ماهی تجمع یافته باشند. استاندارد باکتریولوژیک تعیین شده به وسیله ی بوراس و همکاران (۱۹۸۷) که تعداد باکتری های هوازی مجاز در بافت‌های عضلانی ماهی را نشان می‌دهد، در جدول (۲-۲۵) ارائه شده است. چنان‌چه به هنگام پرورش ماهی‌ها،

1- Rutherford
2- Buras

معیارهای کیفی و استانداردهای یاد شده رعایت نشوند، احتمال آلودگی گوشت و سایر قسمت های خوراکی ماهی ها و خطر سرایت آن به انسان وجود خواهد داشت.

جدول ۲-۲۳- غلظت استاندارد شاخص‌های کیفی آب مربوط به آبزیان(بوراس و همکاران، ۱۹۸۷ و ۱۹۸۵)

نوع آلودگی	غلظت ($mg.l^{-1}$)	
	در آب‌های شیرین	در دریاها
آلودگی غیر آلی		
آمونیاک (نیتروژن آمونیاکی)	۰/۵	۰/۲
BOD (آزمایش ۵ روزه)	۰/۰۱	۰/۰۵
کلر (کل)	۱۰	۱۰
نیتریت (نیتروژن اکسید شده)	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷۵
فسفر (کل)	۰/۵	۰/۲
فسفر (فسفر محلول)	۰/۵	۰/۵
شوری (٪)	۰/۱	۰/۱
سولفید	۱۰٪	-
ذرات معلق	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
نیتروژن (کل)	۲۰	۱۰
کل کربن آلی	۵	۵
کدورت (NTUS)	۱۵	۱۰
رنگ (واحد Haten)	۱۵	۱۰
اکسیژن (محلول)	۷۶	۷۶
pH	۶/۵-۹	۷-۸/۷

جدول ۲-۲۴- غلظت استاندارد فلزات سنگین در آب برای پرورش آبزیان (بوراس و همکاران، ۱۹۸۷ و ۱۹۸۵)

نوع آلودگی	غلظت ($mg.l^{-1}$)		
	زیست بوم دریایی	زیست بوم آب شیرین	آبزی پروری
آلودگی‌های معدنی			
آرسنیک	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲
بریلیوم	۰/۰۰۴		۰/۰۰۰۱
کروم			۰/۰۰۲
منگنز			۰/۱
جیوه	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵
قلع	۰/۵	۰/۰۱۵	۰/۱
روی	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۰۵
آلودگی‌های آلی			
بنزین	۰/۳	۰/۳	۰/۴
PCB	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵

جدول ۲-۲۵- کیفیت باکتریولوژیک ماهی‌های پرورشی با زهاب بوراس و همکاران (۱۹۸۷).

کیفیت ماهی	تراکم کل باکتری‌های هوازی در بافت ماهیچه‌ای ماهی (تعداد باکتری بر گرم)
خیلی خوب	۰-۱۰
متوسط	۱۰-۳۰
نامناسب	>۵۰

۲-۶- اثر محصولات تولید شده با زهاب‌های کشاورزی بر سلامت انسان

خطرات بهداشتی مصرف زهاب‌ها برای آبیاری گیاهان، در شکل‌های تجمع یافته و یا جذب سطحی اندام‌های گیاهی مربوط به حضور آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی مانند فلزات سنگین، نیترات، آفت‌کش‌ها، سمّوم کشاورزی پایدار و باکتری‌های پاتوژن می‌باشند. حضور غیرمجاز چنین آلاینده‌هایی در گیاهان زمینه‌ساز بسیاری از بیماری‌های سخت درمان از جمله سرطان‌ها می‌باشد. استفاده مستقیم از گیاهان آبیاری شده با زهاب‌های غیرمجاز چه به صورت خوراکی (به‌خصوص در مصرف خام آن توسط انسان) و چه به صورت غیرمستقیم توسط دام ها در دراز مدت پیامدهای ناگواری به دنبال دارد. توجه به این مهم، برای حفظ سلامت انسان از اهمیت زیادی برخوردار است.

مصرف محصولات دامی و طیوری که از آب‌های آلوده غیرمجاز می‌نوشند و نیز مصرف ماهیانی که در آب‌های با آلودگی بیش از حد استاندارد پرورش می‌یابند، خطرات بالقوه‌ای برای سلامتی انسان دارند. انواع سرطان‌ها، اختلالات عصبی و عفونت‌های معده و روده از عوارض مصرف محصولات تولید شده با آب‌های آلوده می‌باشند.

۲-۷- مصارف شهری

مصارف آب شهری شامل مصارف خانگی، مصارف تجاری و عمومی و مصارف صنعتی می‌باشد. زهاب‌های کشاورزی را متناسب با کیفیتی که دارند می‌توان برای مصارف غیرشرب مختلف در سطح شهر استفاده کرد. مصارف غیرشرب خانگی شامل شستشوی لباس، شستشوی توالت، شستشوی منازل، شستشوی ماشین و آبیاری فضاهای سبز خانه ها می باشد. مصارف تجاری و عمومی شامل آب مصرفی برای هتل ها، فروشگاه ها، مدارس، سینما ها، ادارات، دانشگاه‌ها، شرکت‌ها و واحدهای آتش‌نشانی در سطح شهر می‌باشد که مصارف عمده غیرشرب آن‌ها شامل شستشوی خیابان‌ها و آب مورد نیاز برای کارواش‌ها و آتش‌نشانی‌ها است. لازم به ذکر است که برای استفاده از آب‌های نامتعارف در سطح شهر نیاز به سیستم‌های آبرسانی دوگانه یکی برای انتقال آب شرب و دیگری برای انتقال آب غیرشرب می‌باشد.

صنایع نیز بسته به نوع فعالیت‌شان ممکن است از آب‌های نامتعارف مثل زهاب‌ها استفاده کنند. عمده مصرف آب در صنایع و کارخانجات، سیستم‌های خنک کننده آن‌ها است. نیروگاه‌های حرارتی، صنایع فولاد، شرکت‌های نفتی و شرکت‌های شیمیایی نیز از جمله صنایعی هستند که حجم آب قابل توجهی نیاز دارند که می‌توان آنرا از زهاب‌ها تامین نمود.

۲-۷-۱- شاخص‌های کیفی زهاب برای مصارف شهری (غیرشرب)

با توجه به ویژگی‌های کیفی زهاب‌ها که در بخش‌های قبلی مورد بررسی قرار گرفت، ممکن است اثرات متفاوتی در مصارف مختلف شهری داشته باشند. این اثرات می‌توانند شدید و ناگهانی و یا درازمدت، برگشت‌پذیر یا برگشت‌ناپذیر باشند.

مهم‌ترین شاخص‌های کیفی که برای مصارف شهری باید مورد توجه قرار گیرند شامل کدورت، کل مواد محلول (TDS)، کل ذرات معلق (TSS)، سختی، عناصر غذایی P و N، فلزات سنگین، سموم، آفت‌کش‌ها و عوامل بیماری‌زا

(خواص میکروبیولوژیکی) می‌باشند. TDS یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی زهاب‌ها است که مناسب بودن زهاب را برای برخی مصارف شهری تعیین می‌کند. اگر TDS زهاب از حدی بیش‌تر باشد، امکان استفاده از آن برای آبیاری باغچه، گلخانه و فضای سبز شهری وجود نخواهد داشت.

کدورت و رنگ زهاب نیز با اثر گذاری بر وضعیت ظاهری، باعث نامطلوب شدن آن برای برخی از مصارف مانند شستشوی لباس می‌شود. عوامل بیماری‌زا که عمدتا از راه مصرف کودهای دامی و یا دفع فاضلاب‌ها و زائدات انسانی به زهکش‌های سطحی راه پیدا می‌کنند، باعث ایجاد محدودیت در مصارفی می‌گردند که به نحوی با بدن انسان در ارتباط باشند (مانند شستشو). سختی، خوردگی، رشد بیولوژیک و تشکیل لایه‌ای از رسوب در سیستم‌های خنک کننده، موجب ایجاد محدودیت در مصرف زهاب‌ها می‌شوند.

۲-۷-۲- دستورالعمل‌های کاربرد زهاب برای مصارف شهری

استفاده از زهاب‌های کشاورزی باید در راستای سازگاری با زیست بوم و توسعه‌ی پایدار باشد. بدین معنی که به هنگام کاربرد زهاب‌ها باید مصرف به گونه‌ای باشد که اثر منفی ناشی از کیفیت زهاب حداقل شده و کم‌ترین اثر سوء را بر محیط زیست داشته باشد. به هنگام استفاده از زهاب‌ها، موارد زیر باید به دقت مورد توجه قرار گیرند:

- باید خطرات بروز بیماری‌هایی که از طریق آب‌های آلوده انتقال می‌یابند، مورد توجه قرار گیرد. این عوارض به ویژه در مصارفی که در آن زهاب‌های مصرفی در تماس مستقیم با بدن است، از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد.
- به هنگام استفاده از زهاب‌ها، امکان آلوده شدن منابع آب شرب (سطحی و زیرزمینی) از مهم‌ترین مسایلی است که باید مورد توجه قرار گیرد.
- در مصارف خانگی، شوری و سختی زهاب‌ها باعث تشکیل رسوب به‌ویژه در تاسیسات انتقال و توزیع آب و تاسیسات آب گرم‌کن می‌شود. در این گونه مصارف، باید کیفیت زهاب‌ها از دیدگاه شوری و سختی مورد توجه قرار گیرد.
- به هنگام استفاده از زهاب‌ها برای پرورش گل و فضای سبز، شوری زهاب‌ها مهم‌ترین عامل به شمار می‌آید. این عامل، باعث کاهش رشد و حاصل‌خیزی خاک شده و باید مورد توجه ویژه قرار گیرد.
- به هنگام استفاده از زهاب‌ها، غلظت عناصر کمیاب از اهمیت قابل توجهی برخوردارند. این عناصر به ویژه در مصارف آبیاری موجب آلوده کردن خاک و آب و در مصارف شرب حیوانات اهلی، باعث انتقال به آن‌ها و تجمع بیولوژیک در بدن این موجودات می‌شوند.
- به هنگام استفاده از زهاب‌ها برای مصارف شهری، برنامه پایش کیفی محیط زیست، سلامتی مصرف کنندگان و افرادی که به نحوی با زهاب‌ها در تماس هستند، اهمیت فراوان دارد.

۲-۸- کاربرد برای فضای سبز

۲-۸-۱- شاخص‌های کیفی زهاب‌ها برای مصرف در تفریحگاه‌ها

خطرات ناشی از مصرف زهاب‌های کشاورزی برای اهداف تفریحی، تنها مربوط به یک شاخص نبوده بلکه به اثرات متقابل موجود بین چند شاخص مربوط می‌شود. مشکلات ناشی از کیفیت نامناسب زهاب‌ها برای مصارف تفریحی شامل اثرات بهداشتی، ایمنی انسان، اثرات بر جنبه‌های زیباشناسی و اثرات اقتصادی می‌شود. بدیهی است هریک از این مشکلات باید با توجه به نوع تفریح (تماس کامل، تماس متوسط و بدون تماس) و فعالیت‌های هریک بررسی و اجزای تاثیرگذار بر آن‌ها تعیین شوند. به عنوان مثال، ماهیگیری یک نوع با درجه‌ی تماس متوسط است. در این تفریح، انسان به صورت مستقیم از طریق چوب ماهیگیری و ماهی های صید شده در معرض بیماری قرار می‌گیرد. از آن‌جا که اغلب ماهیگیری‌ها در خطوط ساحلی انجام می‌شود، خطرات ناشی از تماس با پاپیلارزیا (نوعی کرم انگلی خطرناک) بسیار با اهمیت است. لذا این عامل به عنوان یکی از شاخص‌های این نوع تفریح مطرح است.

به‌طور کلی شاخص‌های مهم مصارف تفریحی شامل جلبک‌ها، عناصر غذایی، ارگانیسم‌های شاخص، گیاهان مزاحم، بو، اکسیژن محلول و pH می‌باشند. وضعیت ظاهری آب نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. وضعیت نامطلوب ظاهری آب، وجود ذرات معلق، زباله‌های شناور و اجسام و ذرات غوطه‌ور باعث صدمه یا اخلال در مصارف مورد نظر، به‌ویژه شنا و قایقرانی می‌شود. همچنین، آب مورد نظر برای این مصارف نباید بوی نامطلوب داشته باشد. به هنگام استفاده از زهاب‌ها برای مصارف تفریحی، سلامتی انسان بر اثر تماس یا احتمالا خوردن زهاب نباید تهدید شود (کامی جولیس، ۲۰۰۴).

۲-۸-۲- دستورالعمل‌های لازم برای کاربرد زهاب در تفریحگاه‌ها

برای تعیین شاخص‌های کیفی آب جهت مصارف تفریحی، استانداردهای تعیین شده در نقاط مختلف دنیا مورد نظر قرار گرفت. در بررسی شاخص‌های آب تفرج‌گاه‌ها، معیارهای کیفی آب برای اصلی‌ترین شاخص‌های مطرح در تفریح‌گاه‌ها به صورت جملات توصیفی و یا عدد ارائه می‌شوند و اثرات افزایش هر شاخص بررسی می‌گردد. به عنوان مثال در جدول (۲-۱۸) شاخص‌های آب تفرجی به صورت کیفی «عالی» و یا «خوب» ارائه شده‌اند. کیفیت آب خارج از این محدوده شاید تحت شرایط خاص هنوز قابل استفاده باشد. باید توجه داشت که فاکتورهای محلی و موردی زیادی وجود دارند که بر اثر کیفی آب برای مصارف مختلف تاثیر می‌گذارند، لذا همواره باید در صورت نیاز اصلاحاتی برروی آن‌ها اعمال شود.

در مورد مواد شیمیایی حساسیت‌زا، هیچ شاخص عددی برای به‌کارگیری در مصارف تفرجی زهاب‌ها وجود ندارد. سازمان بهداشت جهانی پیشنهاد می کند که از استانداردهای آب آشامیدنی به عنوان یک پایه برای این منظور استفاده شود و از آن‌جا که این استانداردها برای زمان‌های کوتاه مدت در نظر گرفته شده‌اند، باید ضرایبی برای این اعداد در نظر گرفت. به‌طوری که برای مصرف روزانه هر انسان حدود ۲ لیتر آب در نظر گرفته شده است و امکان خوردن آب در هنگام شنا برای انسان حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر است. لذا می‌توان ضریب ۱/۱۰ را برای این منظور به استاندارد تدوین شده برای

شرب اعمال نمود. همچنین قابل ذکر است که در طبقه‌بندی آب‌ها، چون معمولا مکان زندگی موجودات آبزی و استفاده‌های تفرجی در یک طبقه قرار می‌گیرند، اگر آب‌ها برای استفاده موجودات آبزی که دائما در آب هستند ایمن باشند، برای استفاده کوتاه مدت نیز توسط انسان بی‌خطر خواهند بود (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۳).

در زیر، استانداردهای موجود برای برخی از شاخص‌ها به هنگام مصرف زهاب‌ها در تفریحگاه‌ها ارائه می‌شود.

جلبک‌ها: حضور عناصر غذایی به ویژه فسفر باعث رشد فزاینده‌ی جلبک‌ها شده و رشد بیش از حد آن‌ها باعث ایجاد مزاحمت یا تداخل در استفاده مطلوب از آن منبع آبی می شود. مقدار جلبک موجود در آب معمولی با غلظت کلروفیل a سنجیده می‌شود. به‌طور میانگین حدود ۱/۵ درصد مواد آلی جلبک را کلروفیل a تشکیل می‌دهد. مقدار کلروفیل a از کم‌تر از یک میکروگرم در لیتر در آب‌های شفاف تا بیش از ۵۰ میکروگرم در لیتر در شرایط نامناسب تغییر می‌یابد. غلظت زیاد کلروفیل a برمبنای جدول (۲-۲۶) باعث تغییر رنگ آب می‌شود (دانشگاه کارولینای شمالی).

جدول ۲-۲۶- میزان تغییر رنگ آب به ازای کلروفیل a موجود در جلبک‌ها

میزان کلروفیل a $mg.l^{-1}$	درجه‌ی کیفی تغییر رنگ آب
۱۰-۱۵	تغییر رنگ اندک و افزایش جلبک‌های شناور
۲۰-۳۰	تغییر رنگ شدید و افزایش زیاد جلبک‌های شناور
>۳۰	تغییر رنگ بسیار شدید و ایجاد پوشش عمیق از جلبک در سطح آب

رشد جلبکلی به صورت رشته‌های چسبیده یا به‌صورت تجمعی در روی اجسامی نظیر تخته سنگ‌ها نیز می‌تواند سبب رها شدن این گیاهان و ایجاد توده های شناور شده که ممکن است باعث اختلال در دید و حرکت شناگران و قایق‌ها شود. همچنین رشد بیش از حد جلبک‌ها و یا خشک شدن و فساد آن‌ها باعث ایجاد مناظر بد و بوهای نامطبوع و گاه باعث حساسیت‌های پوستی می‌گردد (راهنمای کیفیت آب آفریقای جنوبی، a ۱۹۹۶).

از انواع جلبک‌ها می‌توان سیانوفیت‌ها، کلروفیت‌ها، یوگلنوفیت، کریپتوفیت و باسیلوفیت را نام برد که از میان آن‌ها گونه‌های کریپتوفیت باعث تولید امواج سرخ سمّی می‌شوند. در آب‌های شیرین، جلبک‌های آبی- سبز یا سیانوفیت‌ها باعث ایجاد گل‌های جلبکی سمّی می‌شوند. این سمّوم گاه باعث مرگ دام‌ها و افراد و نیز انواع حساسیت‌های پوستی در شناگران می‌شوند. آشامیدن اتفاقی مقادیر زیادی از جلبک‌های سبز- آبی توسط افرادی که در آب‌های آلوده افتاده یا شنا کرده‌اند، باعث تورم روده و معده (گاسترو- آنتویت) شدید و دیگر مشکلات بهداشتی در این افراد می‌شود.

ارگانیسم‌های شاخص: زهاب‌های کشاورزی به دلیل آغشته شدن با کودهای آلی و اختلاط با فاضلاب‌های شهری، دارای انواع میکرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا و غیر بیماری‌زا می‌باشند. مجموعه وسیعی از ویروس‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها که توسط آب منتقل می‌شوند، باعث بیماری‌هایی همچون تورم معده و روده، هپاتیت، تب تیفوئید، وبا، سالمونی، اسهال و نیز آسیب به چشم، گوش و بینی می شوند. این آسیب ها معمولا در اثر خوردن آب آلوده، تماس با آب آلوده و یا تنفس بخار آب آلوده ایجاد می‌شوند.

ارزیابی تمامی پاتوژن‌های موجود در زهاب‌ها، کاری بسیار دشوار و غیراقتصادی است. بنابراین از شاخص ارگانیسم‌های شاخص، مانند کلیفرم‌های مدفوعی برای پایش مداوم آب استفاده می‌شود. این کلیفرم به‌طور پیوسته توسط انسان و حیوانات خونگرم وارد محیط می‌شوند. بنابراین، شاخص مدفوعی همواره در آب‌های آلوده به فاضلاب حضور داشته و تعداد آن‌ها ارتباط نزدیکی با آلودگی مدفوعی و زمان ایجاد آلودگی دارد. اثرات شاخص کلیفرم مدفوعی در غلظت‌های مختلف برای تفرج‌های مستقیم و غیرمستقیم در جدول‌های (۲-۲۷) و (۲-۲۸) ارائه شده است (راهنمای کیفیت آب افریقای جنوبی، b ۱۹۹۶).

جدول ۲-۲۷- اثرات شاخص کلیفرم مدفوعی در تفرج‌های مستقیم

غلظت کلیفرم مدفوعی (تعداد/ ۱۰۰ mL)	اثرات
۰-۱۳۰	خطر بیماری‌های روده‌ای وجود دارد. حضور کلیفرم‌های مدفوعی، خطر بهداشتی احتمالی را نشان می‌دهد، ولی عدم حضور آن‌ها نشان دهنده بی‌خطر بودن آب نیست.
۱۳۰-۶۰۰	خطر بیماریهای روده‌ای مرتبط با تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در این محدوده قرار می‌گیرد. اگر مقادیر میانگین یا میانه به‌طور مداوم در این محدوده باشند. خطر افزایش می‌یابد.
۶۰۰-۲۰۰۰	اثرات بیماری‌های داخلی در شناگران قابل توجه است. کلیفرم مدفوعی باید در چهار پنجم نمونه‌ها از ۶۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر یا در ۹۵ درصد آنالیزها کم‌تر از ۲۰۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب باشد.
>۲۰۰۰	هر چه تعدا کلیفرم‌های مدفوعی از این حد بیش‌تر شود، خطر بیماری‌های معده‌ای و روده‌ای افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار این کلیفرم‌ها در آب، حجم کم‌تری از آب خورده شده باعث ایجاد اثرات نامطلوب می‌شود.

جدول ۲-۲۸- اثرات شاخص کلیفرم مدفوعی در تفرج‌های غیرمستقیم

غلظت کلیفرم مدفوعی (تعداد/ ۱۰۰ mL)	اثرات
۰-۱۰۰۰	اگر تماس با آب زیاد باشد، مثلا چنان‌چه در مورد افراد مبتدی در فعالیت‌های اسکی روی آب یا قایق بادی اتفاق می‌افتد و یا این‌که احتمال فرو رفتن کامل بدن در آب وجود داشته باشد، باید از قوانین مربوط به تفرج با تماس کامل استفاده شود.
۱۰۰۰-۴۰۰۰	می‌توان انتظار داشت که تماس محدوده با آب دارای این کیفیت، همواره با خطر بیماری‌های روده‌ای باشد.
>۴۰۰۰	در این نوع تفرج، هر چند تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در آب بیش‌تر باشد، خطر بیماری‌های روده‌ای بیش‌تر می‌شود.

بو: اگر زهاب مورد استفاده برای مقاصد تفریحی دارای بو باشد، از مقبولیت آن توسط گردشگران کاسته می‌شود. بوها عمدتا از وجود عناصر غذایی، رشد بیش از حد جلبک‌ها و بی‌هوازی شدن سیستم‌های منابع آبی حاصل می‌شوند. وجود اکسیژن محلول به مقدار کافی، اهمیت بسیار زیادی در پیشگیری از ایجاد بوهای نامطلوب دارد.

اکسیژن محلول: اکسیژن محلول زهاب‌ها اثرات مستقیمی بر استفاده کنندگان از زهاب‌ها ندارد، لیکن بر فعالیت‌های میکروبی و اکسیده شدن برخی از فلزات تاثیر گذاشته و اهمیت زیادی در جلوگیری از ایجاد ترکیبات نامطلوب مانند هیدروژن سولفوره دارد. این فاکتور برانسان اثری ندارد ولی شاید باعث کم شدن جلوه های محیط زیست گردد. میزان اکسیژن محلول در آب بهتر است کم‌تر از ۵ میلی‌گرم در لیتر نباشد (WHO, 2003).

فصل ۳

کنترل کمّی و کیفی زهاب‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی

۳-۱- کلیات

یکی از مهم‌ترین راه‌های حفظ کیفیت منابع‌آبی موجود در یک منطقه، کاهش حجم زهاب‌های ورودی به آب‌های خوش‌کیفیت است. لذا موضوع کاهش حجم زهاب‌های خروجی از مزارع که در حقیقت برآیند مدیریت‌های زراعی و آبیاری مزرعه است، اهمیت فراوانی دارد. در این فصل، اقدامات حفاظتی لازم به منظور کاهش حجم زهاب‌های خروجی، مدیریت سطح ایستابی، مدیریت آب‌شویی املاح، مدیریت زهکشی و مدیریت آیش زمین مورد بحث قرار گرفته است. همچنین، راهکارهای عملی برای کاهش مصرف آب توسط بهره‌برداران نیز ارائه گردیده است. بدیهی است برآیند همه‌ی این اقدامات، در عمل منجر به کنترل کمّی و کیفی زهاب‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی می‌گردد.

۳-۲- مقدمه

هرگونه کاهش حجم زهاب‌های خروجی از اراضی کشاورزی، موجب حفظ کیفیت منابع آبی موجود در یک پهنه‌ی مشخص می‌گردد. بنابراین، هر نوع مدیریتی که طی آن زهاب‌های خروجی از مزارع کاهش یابد و با آب‌های با کیفیت خوب منطقه اختلاط حاصل نکند، در این فصل مورد بحث قرار خواهد گرفت. هر چند راه‌های مختلفی برای این منظور در این فصل مورد بحث قرار گرفته، لیکن ممکن است هر یک از این روش‌ها به تنهایی و یا مجموعه‌ای از آن‌ها برای پهنه‌ی مشخصی از سرزمین پهناور کشورمان مناسب باشد که مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳-۳- اقدامات حفاظتی

منظور از اقدامات حفاظتی آب، کم کردن مقدار زهاب‌های خروجی می‌باشد. بنابراین از اهداف اصلی اقدامات حفاظتی آب، کاهش حجم زهاب‌های تولیدی و مقدار نمک خروجی آن‌ها است تا بتوان آب را برای استفاده‌های سودمند دیگر ذخیره کرد. اقدامات حفاظتی مستقیما بر لزوم استفاده مجدد از زهاب‌ها و نیز بر کمّیت و کیفیت زهاب‌هایی که نیاز به تخلیه یا تصفیه دارند تاثیر می‌گذارد. در جایی که بین مصرف کنندگان آب از نظر کمّی و کیفی رقابت وجود دارد و یا در مناطقی که برای تخلیه زهاب‌ها محدودیت دارند (مثلا در یک حوضه زهکشی بسته)، و همچنین در مناطق حساس و ریسک‌پذیر از نظر اکولوژیک، اقدامات مربوط به حفاظت آب جزء نخستین موضوعاتی است که باید انجام شود. همان‌گونه که گفته شد، منظور از اقدامات حفاظتی، کاهش مقدار زهاب‌ها می‌باشد. این اقدامات شامل «کاهش مصرف آب از طریق مدیریت صحیح آب آبیاری»، «مدیریت سطح ایستابی کم عمق»، «مدیریت آب‌شویی»، «مدیریت زهکشی» و «آیش زمین» می‌باشد. این اقدامات حفاظتی و برخی نکات مهم قابل توجه در جدول (۳-۱) خلاصه شده‌اند.

ممکن است به کارگیری یکی از اقدامات حفاظتی فوق هدف مورد نظر را تامین کند، لیکن در برخی موارد، ممکن است بیش از یک اقدام مورد نیاز باشد. برای مثال، نخستین گام برای حفظ منابع آب در سطح مزارع، کاهش مصرف آب و به تبع آن کاهش نفوذ عمقی است. هنگامی که رسیدن به هدف مورد نظر با کاهش مصرف محقق نمی‌شود، انجام دیگر اقدامات حفاظتی

توام با استفاده مجدد ممکن است ضرورت یابد. از آن‌جا که گیاهان مختلف برای رشد بهینه به مقادیر مختلفی آب نیازمندند و الگوهای رشد ریشه در گیاهان گوناگون متفاوت است، کاهش مصرف آب و مدیریت سطح ایستابی همراه با تغییر الگوی کشت می‌تواند گزینه‌ای مناسب باشد. بدیهی است که تغییر در الگوی کشت، باید در محل‌هایی که امکان تحقق دارد اعمال شود.

کلیه ی مطالعات موردی در استرالیا، ایالات متحده امریکا، هند، پاکستان و حوضه دریای آرال، بر کاهش مصرف آب تاکید دارند. در قسمت شمالی دره سن خواکین، آیین نامه هایی برای محدود کردن تخلیه زهاب به رودخانه تدوین شده است تا کیفیت آب در پایین‌دست برای مصرف‌کنندگان حفظ شود. لیکن، در دو سوم جنوبی این درّه، هیچ راهی برای تخلیه زهاب به رودخانه وجود نداشته و نفوذ عمقی باعث اشباع شدن ناحیه غیراشباع شده است. در این مناطق، زهاب های زیرزمینی به حوضچه‌های تبخیری تخلیه می‌شوند. در قسمت جنوبی این دره، راه‌حل‌هایی مانند تزریق به چاه‌های عمیق، شوری‌زدایی و تصفیه زهاب برای حذف سلنیوم امکان‌پذیر می‌باشد. لیکن این راه‌حل‌ها عموما برای کشاورزان پرهزینه بوده و یا از نظر فنی امکان تحقق ندارند. بنابراین، مصرف کم‌تر آب در رابطه با مشکلات ناشی از آب زیرزمینی شور و کم عمق در دره سن خواکین نقش مهمی را بازی می‌کند. در چهارمین پروژه اصلاح خاک و کنترل شوری پاکستان، برای حل مشکل تخلیه‌ی زهاب‌ها حوضچه‌هایی تبخیری ساخته شد، لیکن با این حال اراضی اطراف این حوضچه‌ها با مشکل شوری روبرو شده‌اند.

هنگامی که آب به شیوه‌ی صحیحی استفاده شود، غلظت نمک و عناصر کمیاب در زهاب‌ها افزایش می‌یابد ولی بار نمک خارج شده از زهکش کاهش می‌یابد، زیرا حجم زهاب تخلیه شده کم‌تر می‌شود. اگر آب درست استفاده شود و جزء آب‌شویی کاهش یابد، نمک‌ها در ناحیه‌ی ریشه تجمع خواهند یافت. در چنین شرایطی، پس از رسیدن شوری به حد آستانه گیاه، باید آب‌شویی انجام شود.

جدول ۳-۱- اقدامات حفاظتی برای کنترل کمّی و کیفی زهاب‌های حاصل از کشاورزی

گزینه	اقدامات	ملاحظات
کاهش در منشا	کاهش نفوذ عمقی از طریق بهبود عملکرد در آبیاری سطحی، تغییر آبیاری سطحی به روش های آبیاری کاراتر، اصلاح برنامه‌ریزی آبیاری، ارتقای ساختار آبیاری.	هزینه‌های ناشی از ارتقای سیستم در سطح مزرعه و حوضه باید در مقایسه با منافع منطقه ای سنجیده شوند. برای جلوگیری از شور شدن و تجمع عناصر سمّی در منطقه ریشه، حداقل آب‌شویی نیاز است.
مدیریت سطح ایستابی کم‌عمق	تشویق کشاورزان به استفاده از سفره‌های کم عمق به منظور تامین نیاز آبی گیاهان از طریق کنترل سطح ایستابی و انجام کم آبیاری.	خطر شوری و تجمع عناصر سمّی در لایه های رویین خاک ناشی از خیز مویینگی، وجود دارد. مشکل تهویه در ناحیه رشد ریشه وجود دارد.
مدیریت آب‌شویی	آب‌شویی تدریجی همراه با کشت گیاه برای اصلاح اراضی شور، آب‌شویی موردی هنگامی که شوری به حد آستانه‌ی کاهش گیاه برسد) برای تعادل مجدد نمک در منطقه ریشه.	عملکرد محصول در آب‌شویی تدریجی ممکن است همراه با کاهش باشد. از مصرف بیش از حد منابع آب زیرزمینی خودداری شود. زیرا خطر پیشروی و ورود آب‌های شور زیرزمینی به منطقه وجود دارد.
مدیریت زهکشی	تشویق کشاورزان به درختکاری در مرز اراضی، کنار جاده ها و نزدیک کانال‌ها.	تجمع نمک در ناحیه ریشه درختان محدودیت استفاده از زهکشی زیستی را در مناطق خشک و شور سبب می‌شود.
آیش زمین	آیش اراضی فاریاب که شدیدا باتلاقی یا شور شده و یا زمین‌هایی که زهاب شور و آلوده تولید می‌کنند.	زمین‌های آیش و نکاشت ممکن است بسیار شور شوند. به علاوه این‌که غلظت زیاد عناصر سمّی و تجمع آن‌ها در لایه سطحی خاک از رویش گیاهان بومی و خودرو در منطقه جلوگیری می‌نماید. فرسایش بادی در زمین‌های آلوده و بدون پوشش ممکن است بر تولیدات کشاورزی اثر گذاشته و سلامت ساکنین مجاور را به مخاطره بیاندازد.

منبع: SJVDIP, 1999a, 1999b, 1999c, 1999e, 1999f

۳-۴- راهکارهای مدیریتی برای کاهش مصرف آب در مزرعه

۳-۴-۱- بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه

کارآترین روش کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از زهاب‌ها، مهار کردن تولید زهاب در سطح مزرعه است. این امر در اراضی فاریاب می‌تواند از طریق مدیریت آبیاری تحقق یابد. مدیریت بهینه در یک سیستم آبیاری، شامل دستیابی به دو گزینه‌ی «آبیاری به اندازه‌ی کافی» و «آبیاری در زمان مناسب» می‌باشد.

رایج ترین و عملی ترین روش برای تعیین زمان مناسب آبیاری، تعیین رطوبت خاک و گاه بیلان آب در خاک است. هرچند اخیرا نمایه‌هایی همچون دمای برگ، پتانسیل آب برگ و مقاومت روزنه‌ای (علیزاده، ۱۳۷۸) نیز برای تعیین زمان آبیاری پیشنهاد شده، لیکن هنوز این روش‌ها در مراحل اولیه‌ی پژوهش بوده و تنها در مقیاس‌های بسیار کوچک گلخانه‌ای و یا تحقیقاتی به‌کار گرفته می‌شوند. یکی دیگر از راهکارها آن است که با توجه به مراحل رشد گیاه و شرایط اقلیمی منطقه، دوره‌های تناوب آبیاری را متغیر در نظر گرفت.

۳-۴-۲- بهبود یکنواختی و راندمان کاربرد آب

بهینه‌سازی سیستم آبیاری و یا افزایش بازده و یکنواختی آن می‌تواند تلفات آب را به اندازه‌ی قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد (SJVDIP، ۱۹۹۹c). آبیاری سطحی با جریان ثقلی، رایج‌ترین روش آبیاری است که دربرگیرنده‌ی هزینه‌های «بهره‌برداری» و «نگهداری» سیستم‌های تحت فشار نیست. به همین دلیل، این روش در دهه‌های آینده نیز به عنوان روش غالب به‌کار گرفته خواهد شد (فائو، ۱۹۹۷؛ ۲۰۰۰)، هر چند که روش‌های بارانی و قطره‌ای از یکنواختی و بازده‌ی بهتری برخوردارند.

برای بهبود عملکرد آبیاری فارو چند روش وجود دارد:

۱- کاهش طول فارو. این اقدام در کاهش نفوذ عمقی در زیر ناحیه‌ی ریشه برای طول‌های بیش‌تر از ۳۰۰ متر بسیار موثر است.

۲- کاهش مدت زمان آبیاری به اندازه اختلاف زمان پیشروی اولیه و پیشروی جدید. در صورت عدم انجام این امر، رواناب سطحی و زهکشی زیرزمینی به مقدار زیادی افزایش می‌یابد.

۳- آبیاری با کاهش بده. بدین صورت که مقدار جریان ورودی به جویچه پس از تکمیل فاز پیشروی کاهش داده شود.

۴- استفاده از روش آبیاری موجی. در این روش، آب به صورتی متناوب (ناپیوسته) وارد جویچه می شود. در یک جویچه‌ی خشک، مقدار نفوذ زیاد است. با پیشروی آب به سمت جلو، مقدار نفوذ کاهش و سپس به یک مقدار ثابت می‌رسد. اگر آب قطع شود و اجازه‌ی نفوذ یابد، ذرات خاک در سطح جویچه متراکم شده و سله می‌بندند. این امر در نهایت باعث کاهش نفوذ می شود. وقتی جریان آب مجددا به جویچه وارد شود، نفوذ آب به خاک در بخش خیس شده‌ی پیشین کم‌تر شده و آب بیش‌تری به پایین‌دست جویچه راه می‌یابد. این فرآیند چندین بار تکرار می‌شود. هر چه نفوذ آب به خاک در ناحیه‌ی خیس شده کم‌تر و پیشروی آب بیش‌تر باشد، الگوی نفوذ یکنواخت‌تر می‌شود.

به طور کلی، تسطیح بهتر و تراکم جویچه‌ها، هم یکنواختی و هم بازده‌ی آبیاری جویچه‌ای را بهبود می‌بخشد (SJVDIP، ۱۹۹۹c).

در آبیاری کرتی، تعیین اندازه‌ی مناسب کرت‌ها متناسب با شیب زمین و نوع خاک، موجب بهبود کارآیی آبیاری می‌شود. اندازه‌ی مناسب کرت‌ها به صورت راهنما توسط فائو (۱۹۹۷) ارائه شده است. برای آن‌که ناحیه‌ی رشد ریشه به طوری یکنواخت خیس شود، سطح کرت باید مسطح باشد و آبیاری سریع انجام شود.

بازده‌ی آبیاری در روش‌های قطره‌ای و بارانی نسبت به دیگر روش‌ها بیش‌تر است. لیکن، اگر این سیستم‌ها درست طراحی، بهره‌برداری و نگهداری نشوند، کارایی آن‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. طول و قطر مناسب لوله‌ها و فشار مناسب در سراسر سیستم، مقدار تلفات را به حداقل می رساند. پس از آن‌که سیستم آبیاری به درستی طراحی و اجرا شد، باید به خوبی بهره‌برداری و نگهداری شود. برخی جنبه‌های مهم مدیریتی آب در مزرعه توسط اسکگز و همکاران (۱۹۹۴) ارائه شده است.

حدود راندمان مصرف آب برای روش‌های مختلف آبیاری در جدول (۳-۲) ارائه شده است. مقادیر این جدول تنها به عنوان راهنمایی کلی بوده و باید نسبت به شرایط محلی و بر اساس تجربه‌کارشناسی تصحیح شوند. بر پایه‌ی پژوهش‌ها، در ایران راندمان مصرف آب در سیستم‌های مختلف آبیاری کم‌تر از مقادیر ارائه شده در جدول (۳-۲) می‌باشد (بایزیدی، ۱۳۸۰؛ صداقتی، ۱۳۸۰).

کم- آبیاری نیز به عنوان یک روش مدیریتی در افزایش بازده ی آبیاری (به ویژه در روش های سطحی) و در نتیجه کاهش تولید زهاب موثر است. کم- آبیاری برمبنای کاهش راندمان ذخیره، طولانی کردن فواصل آبیاری و ترکیبی از این دو راهکار انجام می‌گیرد. منظور از راندمان ذخیره، نسبت آب ذخیره شده در عمق توسعه‌ی‌ریشه به مقدار آبی است که لازم بوده ذخیره شود، می‌باشد. در مواردی، کم- آبیاری را می‌توان به گونه‌ای تنظیم کرد که ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب عملکرد محصول بهینه شود. بدین ترتیب می‌توان با حجم معینی از آب، سطح بیش‌تری از اراضی را آبیاری کرد.

جدول ۳-۲- حدود راندمان مصرف آب برای روش‌های مختلف آبیاری

روش آبیاری	راندمان مصرف آب (٪)	روش آبیاری	راندمان مصرف آب (٪)
آبیاری نشتی بدون استفاده مجدد از رواناب (با لوله‌های دریچه‌دار)	۴۰ تا ۷۵	بارانی (سیستم قرقره‌ای یا گان)	۵۵ تا ۷۵
آبیاری نشتی با استفاده مجدد از رواناب (با لوله‌های دریچه‌دار)	۶۰ تا ۸۵	بارانی (سیستم شیلنگی با شیلنگ‌کش)	۵۵ تا ۷۵
آبیاری نواری	۵۰ تا ۸۵	بارانی (سیستم دوار مرکزی همراه با سیستم آبیاری گوشه‌ها)	۷۰ تا ۹۰
آبیاری حوضچه‌ای (کرتهای بزرگ)	۶۰ تا ۸۵	بارانی (سیستم دوار مرکزی)	۷۵ تا ۹۰
بارانی (سیستم متحرک و ثابت)	۶۰ تا ۸۵	قطره‌ای	۶۵ تا ۹۰
بارانی (سیستم چرخان یا ویل مو)	۶۰ تا ۸۰	قطره‌ای با لوله‌های مضاعف	۶۰ تا ۸۵
بارانی (سیستم خطی)	۷۰ تا ۹۰	میکرو جت‌ها	۶۰ تا ۸۵

۳-۵- مدیریت سطح ایستابی

سیستم‌های زهکشی سنتی چه سطحی و چه زیرسطحی، به منظور خارج کردن آب اضافی از خاک در مدت معینی اجرا می‌شوند تا از ماندابی شدن و سیلابی شدن اراضی جلوگیری شود. لیکن با توجه به کمبود آب و ملاحظات زیست محیطی، ممکن است شرایطی به وجود آید که بخواهیم خارج شدن آب از زمین فقط در مواقع لزوم انجام شود. در این صورت، سیستم زهکشی باید کاملا تحت کنترل باشد که به این نوع سیستم، زهکشی کنترل شده گویند. مدیریت سطح ایستابی، مناسب‌ترین روش برای تحقیق این هدف در اراضی مسطح است. زیرا با ایجاد یک تغییر ساده در خروجی‌های سامانه‌های زهکشی، قابل اجرا می‌باشد. به‌طور کلی، مدیریت سطح آب زیرزمینی به دو صورت زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی صورت می‌گیرد.

در آبیاری زیرزمینی، آب به آهستگی و تقریبا به طور پیوسته به درون نهرهای روباز یا شبکه زهکشی زیرزمینی پمپ می‌شود تا یک سطح تقریبا ثابت آب زیرزمینی به وجود آید. در صورت بارندگی شدید، تزریق آب متوقف می‌شود. آنگاه آب اضافی از طریق سازه کنترل در نهر یا سازه خروجی زهکش، تخلیه می شود. در چنین شرایطی، آب مورد نیاز گیاه به وسیله‌ی خیزموئینگی یا جریان رو به بالای آب تامین می‌شود.

کنترل سطح ایستابی تاثیر به‌سزایی بر کمّیت و کیفیت زهاب‌ها و همچنین عملکرد گیاه دارد. کنترل سطح ایستابی از یک سو سبب کاهش حجم زهاب و کاهش آلاینده‌های موجود در آن و از سوی دیگر باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود. مثلا با بالا نگه داشتن سطح آب در فصل رشد برنج در مصر توانسته‌اند در شالیکاری‌ها تا ۴۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کنند (علیزاده، ۱۳۸۴). ایوانز و همکاران (۱۹۹۲) نیز گزارش کرده‌اند مدیریت سطح ایستابی تا ۳۰ درصد می‌تواند حجم زهاب را کاهش دهد. پژوهش‌های مادراموتو و همکاران (۱۹۹۳ و ۱۹۹۵) نشان داده که سطح ایستابی ۰/۵ تا ۰/۷۵ متر از سطح خاک، برای بیش‌تر گیاهان مناسب است.

کشور هلند در دهه ۱۹۹۰ به این نتیجه رسید که به جای دفع سریع آب از اراضی، تا حد ممکن آب موقتا در آبراهه‌ها، تالاب‌ها و زهکش‌ها نگهداری و ذخیره شود. این امر باعث می‌شود تا از آب ذخیره شده برای مصارف صنعتی استفاده شود. این شیوه و مقرراتی که پس از آن وضع شد، به تدریج پایه و الگوی مقررات آب در کل کشورهای اتحادیه اروپا شد (Van Bakel, 2003).

آبیاری زیرسطحی و زهکشی کنترل شده به عنوان مناسب‌ترین گزینه‌ها در مدیریت پایدار کشاورزی کشورهای آمریکا و کانادا پذیرفته شده است. زهکشی کنترل شده از طریق کنترل بده خروجی در لوله‌های زهکش موجب می‌شود تا ذخیره‌ی رطوبت در خاک حفظ شود. همچنین باعث می‌شود تا تلفات ازت و کودهای شیمیایی از طریق زهکش‌ها به کم‌ترین مقدار ممکن برسد. بدین ترتیب، گیاهان می‌توانند در فصل کم آبی از آب و کود ذخیره شده در خاک استفاده کنند (FAO, 1997 ; Evans et al., 1996).

در مناطق خشک و نیمه خشک هدف اصلی زهکشی، مهار شوری و پیشگیری از ماندابی شدن خاک است. نگهداری سطح ایستابی در عمق کم و در نتیجه خیز مویینگی به ناحیه ریشه به نظر می رسد با این هدف در تضاد باشد. لیکن پروژه های اجرا شده در هند و پاکستان که از آب زیرزمینی کم عمق برای تامین نیاز آبی گیاه بهره برده اند، نشان داده است که املاح انباشته شده در ناحیه ریشه به راحتی پیش از فصل کشت بعدی از خاک شسته می‌شوند (FAO, 1997 ; Evans et al., 1996). این مطالعات نشان می‌دهد که مدیریت سطح ایستابی کم عمق روشی مهم برای کاهش زهاب‌ها می‌باشد.

مدیریت سطح ایستابی به پایش دوره‌ای سطح ایستابی در نقاط بین زهکش‌های زیرزمینی و یا نهرهای روباز زهکشی نیاز دارد. برای هر مزرعه، دست کم یک چاه مشاهده‌ای توصیه می‌شود. تناوب بازدید و تنظیم سازه کنترل برای هر نوع خاک معین و فاصله مشخص بین زهکش ها، به شرایط آب و هوایی و مرحله رشد گیاه بستگی دارد. به عنوان مثال مدیریت سطح ایستابی کم عمق در اوایل رشد گیاه می‌تواند باعث عدم رشد بهینه‌ی ریشه گیاه شود و گیاه را در برابر خشکی‌های آینده آسیب‌پذیرتر سازد (Wesstorm, 2001). با وجود این، جریان خروجی بسته به جنس خاک، مقدار بارندگی و نوع شبکه زهکشی، تغییرات وسیعی دارد. در سال‌های بسیار خشک، مدیریت سطح آب زیرزمینی، ممکن است به حذف کامل جریان خروجی منجر شود. لیکن در سال‌های مرطوب ممکن است بر کل جریان خروجی بی‌اثر یا کم اثر باشد.

۳-۵-۱- برخی ملاحظات لازم برای مدیریت سطح ایستابی کم عمق

زهکشی کنترل شده دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد که از آن جمله می‌توان به انسداد بیولوژیک لوله‌های زهکشی بر اثر غرقاب طولانی، کاهش هدایت هیدرولیکی خاک اطراف لوله‌های زهکشی بر اثر آماس خاک و یا تخریب دیواره‌ی کانال‌ها بر اثر نوسان سطح آب اشاره کرد. لیکن این محدودیت‌ها در مقایسه با فواید زهکشی کنترل شده ناچیز است (علیزاده، ۱۳۸۴، ۱۳۷۸).

در زهکشی کنترل شده نیاز به سازه‌های بیش‌تر و تراکم زیادتر زهکش‌های جمع کننده می‌باشد. بنابراین، حجم سرمایه‌گذاری نسبت به زهکشی معمولی بیش‌تر است. هزینه‌های نگهداری سیستم‌های زهکشی کنترل شده نیز بیش‌تر از سیستم‌های معمولی است. (۱۳۸۴).

مدیریت سطح ایستابی کم عمق برای کاهش حجم زهاب‌ها بستگی به موارد زیر دارد:

- خیزموییینگی به منطقه ریشه، که بستگی به عمق سطح ایستابی، نوع خاک و تغذیه سطح ایستابی دارد؛
- تجمع املاح در رابطه با مقاومت گیاهان به شوری
- برقراری بیلان نمک در یک حد مطلوب

۳-۶- مدیریت آب‌شویی املاح

به منظور جلوگیری از کاهش عملکرد گیاه، باید شوری خاک همواره در حد آستانه تحمل گیاه[1] و یا کم تر از آن تثبیت شود. مدیریت آب‌شویی به معنای تعیین حداقل کسر آب مورد نیاز آب‌شویی و ایجاد شرایط لازم برای افزایش راندمان نمک‌زدایی می‌باشد. برای مثال، تعیین مقدار آب آب‌شویی براساس شوری خاک، حد بحرانی گیاه، میزان بارندگی، شوری آب آبیاری و مرحله رشد گیاه صورت می‌گیرد و با استفاده از سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای، می‌توان به راندمان آب‌شویی بیش‌تری دست یافت (علیزاده، ۱۳۷۸). آب‌شویی می‌تواند به صورت اولیه[2] و یا دائمی[3] تحقق یابد.

۳-۶-۱- آب‌شویی تدریجی همراه با کشت

آب‌شویی اولیه، نوعی آب‌شویی اصلاحی پیش از کشت است. آب‌شویی نیمرخ خاک پیش از کشت (آب‌شویی اولیه) سبب می‌شود زهاب زیادی تولید و همراه آن مقدار زیادی نمک یک‌باره به منابع آب سطحی تخلیه شود. آب‌شویی اولیه اراضی طرح توسعه نیشکر در خوزستان و تخلیه زهاب‌های حاصله به رودخانه کارون مثال بارزی از این نمونه می‌باشد.

آب‌شویی تدریجی خاک در شرایط مدیریتی خاص در کاهش کمّیت و کیفیت زهاب‌ها موثر است. منظور از آب‌شویی تدریجی این است که به جای آب‌شویی کل عمق توسعه ریشه قبل از کشت، بخشی از آن (مثلا ۲۵ سانتیمتر اول خاک) انجام و بقیه ی آن به صورت پیوسته و طی فصل رشد صورت گیرد. بدین ترتیب در هر مرحله از رشد ریشه، بخشی از عمق خاک که در آن ریشه‌ها رشد کرده‌اند، آب‌شویی می‌شود. وجود گیاه به هنگام آب‌شویی، از دو جنبه اهمیت دارد. نخست آن‌که رشد ریشه باعث افزایش تخلخل و نفوذ آب به خاک می شود. دوم این که اسیدهای ترشح شده توسط ریشه بر آزادسازی کاتیون‌های خاک و در نتیجه افزایش راندمان آب‌شویی موثر می‌باشد.

نوع سیستم آبیاری نیز بر راندمان آب‌شویی موثر است. راندمان آب‌شویی معمولا در سیستم‌های آبیاری تحت فشار (بارانی) بیش‌تر از سیستم‌های آبیاری سطحی می‌باشد. در روش‌های آبیاری سطحی، کل منافذ خاک (ریز و درشت) از جمله درز و ترک‌ها در انتقال آب به لایه‌های پایین نقش دارند. لذا، بخشی از آب بی‌آن‌که نقشی در آب‌شویی املاح داشته باشد به لایه‌های پایین حرکت می‌کند. درصورتی‌که در آبیاری بارانی، اگر شدت پاشش کم‌تر از شدت نفوذ خاک باشد، منافذ ریزتر خاک نقش بیش‌تری در انتقال آب دارند. لذا چون تجمع املاح خاک در محیط‌های غیراشباع عموما در منافذ ریز صورت می‌گیرد، راندمان آب‌شویی در سیستم آبیاری بارانی بیش‌تر است. از این‌رو، استفاده از سیستم آبیاری بارانی برای آب‌شویی تدریجی طی فصل کشت توصیه می‌شود.

1- Threshold Value
2- Primary/Capital
3- Continus

۳-۶-۲- مدیریت آب‌شویی پیوسته

آب‌شویی دائمی به منظور ایجاد تعادل نمک در محیط ریشه طی فصل کشت تحت دو شرایط یعنی همراه آب آبیاری و یا آخر فصل رشد اعمال می‌شود. انتخاب نوع مدیریت در این شیوه آب‌شویی به مقاومت گیاه در برابر شوری بستگی دارد. گیاهان مقاوم را می توان در انتهای فصل رشد آب‌شویی کرد و گیاهان حساس باید طی فصل کشت و به همراه آبیاری آب‌شویی شوند. آب‌شویی در انتهای فصل کشت، به دلیل سود بردن از بارندگی برای آب‌شویی و نیز بالا بودن راندمان آب‌شویی و کاهش حجم زهاب بسیار سودمند است.

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم کنترل خروجی زهکش و در نتیجه کنترل سطح ایستابی به منظور استفاده مجدد گیاه از آب ذخیره شده و افزایش کارایی مصرف آب، و آب شویی محیط ریشه در هنگام رسیدن شوری خاک به حد آستانه شوری در هر مرحله از رشد گیاه، منجر به کاهش حجم زهاب و افزایش راندمان آب شویی شده است. شایان ذکر است که مدیریت خروجی زهکش نیازمند مطالعات دقیق در زمینه توپوگرافی زمین، شرایط هیدورلوژیکی، شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی می‌باشد تا سطح ایستابی بهینه و زمان آب‌شویی مناسب انتخاب شود (Sharma and Tyagi, 2004).

۳-۷- مدیریت زهکشی

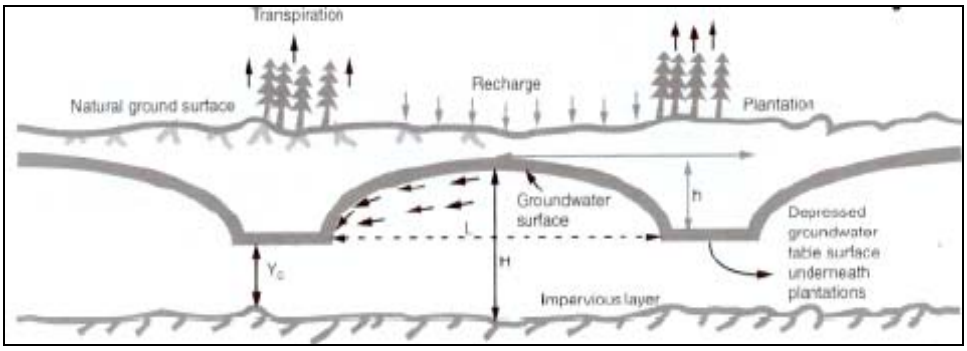
کشاورزی پایدار در اراضی فاریاب به وجود سیستم زهکشی طبیعی یا مصنوعی که نمک و آب اضافی را از خاک خارج می‌سازد، وابسته است. به دلیل نامناسب بودن شرایط زهکشی طبیعی در بسیاری از مناطق، باید زهکشی مصنوعی به روش‌های سطحی و یا زیرزمینی انجام شود که هزینه‌ی زیاد و مشکلات زیست محیطی این سیستم‌ها، راه را برای دستیابی به روش های جدید زهکشی هموار ساخته است. در این میان روش های زهکشی زیستی[1]، زهکشی خشک[2] و یا ترکیبی از روش‌های متداول و زیستی[3] به عنوان روش‌های نوین بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. هدف اصلی این روش‌ها، استفاده پایدار و بهینه از اراضی فاریاب و جلوگیری از زهدار شدن و شوری اراضی حاصلخیز می‌باشد.

۳-۷-۱- زهکشی زیستی

گیاهان نقش مهمی در چرخه‌ی آبی طبیعت ایفا نموده و از مولفه‌های اصلی بیلان آب به شمار می‌آیند (همایی و همکاران، ۲۰۰۲a). هنگامی که گیاهان زراعی یا درختان جایگزین پوشش‌های طبیعی در یک منطقه شوند، بیلان آبی منطقه به‌هم خورده و مقدار نشت به سفره آب زیرزمینی ممکن است بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار اولیه شود. این ویژگی

1- Biodrainage
2- Drydranage
3- Agroforesty

اساس ارائه روش زهکشی زیستی را تشکیل می‌دهد. به طوری که کشت درختان سریع الرشد و درختانی که تبخیر و تعرق زیادی دارند (مانند اکالیپتوس) در هنگام آبیاری مقدار نفوذ آب به سفره زیرزمینی را کاهش و به هنگام قطع آبیاری یا بارندگی، تخلیه و پایین رفتن سطح ایستابی را سبب می‌شوند. نیمرخ سطح ایستابی بین دو ردیف درخت در سیستم زهکشی زیستی در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- سیستم زهکشی زیستی

زهکشی زیستی در اراضی دیم و فاریاب اهداف متفاوتی را دنبال می‌کند. اهداف زهکشی زیستی در اراضی دیم شامل کنترل تغذیه در مناطق بالادست اراضی شیب‌دار، جلوگیری از جریان آب زیرزمینی به اراضی پایین دست (که به وضع و ساختمان لایه‌ها، شیب بالادست، میزان تغذیه، کیفیت آب زیرزمینی و عمق سطح ایستابی بستگی دارد) و افزایش تخلیه در اراضی پست و ماندابی برای تخلیه بیش‌تر آب زیرزمینی می‌باشند. اهداف زهکشی زیستی در اراضی فاریاب شامل کنترل سطح ایستابی و جلوگیری از نشت کانال می‌باشد. به منظور طراحی و توسعه سیستم‌های زهکشی زیستی باید به نکات زیر توجه کرد:

الف- بیلان آب: درختان مورد استفاده در این سیستم باید قادر به جذب آب زیرزمینی به اندازه تغذیه باشند تا سطح ایستابی در زیر منطقه ریشه نگه داشته شود.

ب- سطح کشت: مساحت تحت پوشش درختان باید حتی الامکان کوچک باشد. زیرا هدف اولیه کشاورزی (به ویژه در اراضی فاریاب) تولید محصولات با ارزش است. لذا جایگزین کردن درختان کم ارزش به جای محصولات با ارزش مورد پذیرش کشاورزان نخواهد بود. غالبا در مناطقی که تامین آب با کیفیت خوب دشوار است، زمین به اندازه کافی وجود دارد. برای مثال در مناطق خشک و نیمه‌خشک، زمین‌های خشک فراوانی اطراف اراضی آبی وجود دارند که می‌توانند برای درختکاری در نظر گرفته شوند بی آن‌که اراضی مرغوب از حیز انتفاع خارج گردند.

ج- تحمل به شوری: درختان مورد استفاده باید از گیاهان مقاوم به شوری باشند. زیرا، آب زیرزمینی معمولا از آب آبیاری شورتر است و مصرف آب توسط درختان و گیاهان با افزایش شوری کاهش می یابد. مقدار مصرف آب به وسیله‌ی گونه‌های اکالیپتوس در اراضی (۸dS/m) به نصف کاهش می‌یابد. اطلاعات موجود در مورد مقاومت درختان به شوری بسیار اندک است. با این حال، اندک اطلاعات موجود در این زمینه در جدول‌های (۳-۳)، (۳-۴) و (۳-۵) گردآوری شده است.

د- **افت سطح ایستابی:** درختان مانند پمپ‌های بیولوژیک عمل کرده و سطح ایستابی محل خود را پایین می‌برند که در نتیجه سطح ایستابی اراضی اطراف نیز پایین می رود. میزان پایین رفتن سطح ایستابی در محل استقرار گیاهان زیستی بستگی به مصرف آب گیاهان، میزان تغذیه آب در زمین های اطراف، هدایت هیدرولیکی خاک و عمق لایه غیرقابل نفوذ دارد.

هـ- **آرایش کاشت:** کاشت درختان باید در بلوک‌ها یا نوارهایی با فواصل معین صورت گیرد تا سطح ایستابی در بین آن‌ها و در اراضی آبی، پایین‌تر از ریشه گیاهان زراعی قرار گیرد. از آن‌جا که در کنار جاده‌ها و مرز اراضی امکان دسترسی و رسیدگی به درختان بیش‌تر است، این مکان‌ها برای کشت درختان زهکشی زیستی توصیه می‌گردد. اگر امکان کشت نواری در منطقه‌ای فراهم نباشد، از روش کرتی استفاده می‌شود.

و- **بیلان نمک:** توسعه پروژه‌های آبیاری بدون در نظر گرفتن زهکشی باعث شور شدن اراضی می‌شود. برای برقراری تعادل نمک، درختان کشت شده باید قادر به جمع آوری نمک بوده و از گیاهانی باشند که شاخ و برگ آن‌ها قابل برداشت باشد تا نمک‌های تجمع یافته در آن‌ها از منطقه خارج شوند. این امر در شرایطی قابل تحقق است که شوری آب آبیاری بسیار کم باشد.

ز- **جنبه های اقتصادی:** مدیریت بهره برداری از درختان و گیاهان زهکشی زیستی با گیاهان با ارزش کشاورزی متفاوت است. در آمد حاصل از درختان، چندین سال دیرتر از سرمایه گذاری اولیه (هزینه کاشت و نگهداری) به‌دست می‌آید. در نتیجه قراردادهای مربوطه باید بر پایه‌ی پرداخت‌های سالانه به گونه‌ای تنظیم شود که مورد قبول مالک قرار گیرد.

ح- **پذیرش اجتماعی:** کاشت درختان جدید، ممکن است وضع اجتماعی روستاها را تغییر دهد. همچنین، پایش درختان نسبت به گیاهان معمولی متفاوت است. مثلا هرس غیرقانونی یا قطع درختان برای هیزم و یا آتش‌سوزی می‌تواند ثمره‌ی چندین ساله را در یک روز از بین ببرد. به همین دلیل، برای توجیه منافع سیستم زهکشی زیستی، شرکت فعال نهادهای محلی بسیار مهم است.

مشکل عمده زهکشی زیستی، نیاز آبی متغیر گیاهان طی فصل‌های زمستان و تابستان است. بدین مفهوم که در زمستان یا فصل بارندگی، زهکشی با تاخیر همراه است و در نتیجه خاک اشباع می‌باشد. در حالی که در تابستان، خاک از آب تخلیه می‌شود. مزایا و معایب زهکشی زیستی در مقایسه با دیگر روش‌های زهکشی در جدول (۳-۶) ارائه شده‌اند.

جدول ۳-۳- نام علمی و مقاومت برخی گونه‌های گیاهی به شوری (موسسه هسته‌ای پاکستان)

نام علمی گیاه	شوری ناحیه‌ی رشد ریشه که در آن عملکرد به اندازه ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (dS/m)
Atriplex ammenicola	33.0
Acacia cambagei	27.7
Atriplex lentiformis	23.0
Atriplex undulata	22.5
Leptochioa fusca (Kallar grass)	22.0
Brassica napus (Gobhi sarson)	19.5

ادامه جدول ۳-۳- نام علمی و مقاومت برخی گونه‌های گیاهی به شوری (موسسه هسته‌ای پاکستان)

نام علمی گیاه	شوری ناحیه‌ی رشد ریشه که در آن عملکرد به اندازه ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (dS/m)
Bets vulgaris (fodder beet)	19.0
Hordeum vulgare (barley)	
PK- 30064	19.0
PK- 30130	18.4
PK- 30136	17.9
Sorghum vulgare (JS-263)	16.7
Sorghum vulgare (JS-1)	16.5
Acacia calcicola	16.5
Sorghum vulgare (Japani millet)	15.0
Sesbania aculeata (dhancha)	13.0
Hasawi rushed	12.5
Leucaena leucocephala (lpil-lpll)	12.4
Medicago sativa (Lucerne hijazi)	12.2
Macroptilium atropurpureum (siratro)	12.0
Lolium multiflorum (italian rye grass)	11.0
Echinochioa colona (Swank)	11.2
Acacia kempeana	11.0
Acacia aneura	9.5
Acacia cunninghamii	9.4
Acacia holoserices	9.0
Panicum maximum (N-S-1)	9.0
Panicum maximum (exotic)	8.5

جدول ۳-۴- نام علمی و درجه‌ی مقاومت برخی گونه‌های درختی به شوری (موسسه تحقیقات شوری- کارنال هند)

درجه‌ی مقاومت	نام علمی
مقاوم (ECe: 25-35 dS/m)	Tamariso troupii, T. artiaulata, Prosopls Juliflora, Pithe celloblum dulce, Parkinsonia aculeata, Acacia famesisns
نسبتا مقاوم (ECe: 15-25 dS/m)	Csinstemon lanceolatus, Acacia nilotica, A. pennatula, A. tortitis, Casuarina glauca 13144, C. glauca 13987. C. obessa 27, C. glauca (FRI), C. equisetifolia (FRI), Eucalyptus camaldulensis, Leucaena leucocephala, Erescentia alata
نسبتا حساس (ECe: 10-15 dS/m)	Casuarina cunninghamiana (FRI), C. cunninghamiana (Aust). Eucalyptus tereticornis, Acacia aurtculiformis, Guazuma ulmifotia, Leucanes shannonil, Samanes saman, Albizzis caribes, Senna stomeria, Ferminalia arjuna, Pongamia pinnata.
حساس (ECe: 7-10 dS/m)	Syzglum cumiml, S. fruticosum, Tamarindus indica, Salix app., Acacia deanei, Albizia quachepela, Alelia herbertsmithi, Ceaselpimia oriostachya, C. velutine, Halmatoxyion brasiletto

EC_e: میانگین شوری عصاره‌ی اشباع خاک در ناحیه رشد ریشه

جدول ۳-۵- مقاومت نسبی برخی گونه‌های درختی به قلیائیت (موسسه تحقیقات شوری- کارنال هند)

میانگین pH خاک (محلول ۲:۱ خاک به آب)	درختان میوه‌ای	درختان غیرمثمر
> 10	Acchras japota	Prosopis juliflora
		Acacia nilotica
		Casuarina equisetifolia
9.0-10	Zizyphus maunitiana	Tamarix articulate
	Sapindua laurifolius	Terminalia arjuna
	Emblica officinalis	Albizzia lebbeck
	Carissa carandas	Pongamia pinnata
	Psidium guajava	Sesbania sesban
8.2-9	Punica granatum	Dalbergia sissoo

ادامه جدول ۳-۵- مقاومت نسبی برخی گونه‌های درختی به قلیائیت (موسسه تحقیقات شوری- کارنال هند)

میانگین pH خاک (محلول ۲:۱ خاک به آب)	درختان میوه‌ای	درختان غیرمثمر
	Pyrus persica	Morus alba
	Pyrus commuis	Grevillea robusta
	Vitis vinifera	Azadirachta indica
	Mangifera indica	Tectona grandis
	Syzygium cumini	Populus deltoides

جدول ۳-۶- مقایسه‌ی زهکشی زیستی با دیگر روش‌های متداول زهکشی

پارامتر	زهکشی افقی	زهکشی عمودی	زهکشی زیستی
عملکرد و متعلقات	- روش با کارآیی خوب - نیاز به خروجی - حوضچه‌های تبخیری نتایج متفاوت نشان داده است - تبخیرکننده‌های خورشیدی ممکن است قسمتی از سیستم زهکشی باشند.	- روش با کارآیی خوب - استفاده مجدد از زهاب‌ها - حوضچه های تبخیری نتایج متفاوت نشان داده است - تبخیرکننده‌های خورشیدی ممکن است قسمتی از سیستم زهکشی باشند.	- موفقیت آمیز در بسیاری از مناطق - در حال حاضر در پروژه های بزرگ زهکشی استفاده نمی‌شود - به خروجی نیاز ندارد
هزینه	متوسط	متوسط	کم
مزایا/معایب	- اصلاح اراضی ماندابی - کنترل سطح ایستابی - کنترل شوری در صورت وجود خروجی	- اصلاح اراضی ماندابی - کنترل سطح ایستابی - کنترل شوری در صورت تخلیه زهاب‌ها	- اصلاح اراضی ماندابی - کنترل سطح ایستابی - بادشکن - تولید چوب و محصولات جنگلی - تنوع گیاهی - استفاده زمین - محدودیت در کنترل شوری
بهره برداری و نگهداری	- سرویس لوله‌ها یا زهکش‌های رو باز به طور مقطعی - حذف نمک از حوضچه‌های تبخیری	- سرویس مقطعی از خطوط لوله، پمپ و صافی - نیاز به برق یا سوخت	- هرس و برداشت محصول - کنترل بیماری
زمین مورد نیاز	- زهکشی زیر زمینی نیاز به زمین ندارد - زهکش‌های روباز و حوضچه‌های تبخیری زمین نیاز دارند	- مقدار کمی نیاز دارد	- سطح نسبتا بزرگی نیاز است (حدود ۱۰٪ اراضی آبی)
آب مورد نیاز با کیفیت خوب	- نیاز ندارد	- نیاز ندارد	- در زمان استقرار گیاهان نیاز دارد
انرژی مورد نیاز	- در شرایطی که نیاز به پمپاژ زهاب‌ها می‌باشد	- برای پمپاژ آب زیر زمینی	_
اثرات زیست محیطی	- زهاب‌ها معمولا حاوی نمک، مواد شیمیایی و عناصر غذایی هستند	- کیفیت آب پمپاژ شده ممکن است باعث آلودگی آب نهر یا کانال بشود	- اثرات منفی زیست محیطی ندارد - برای کنترل نمک سیستم تخلیه مورد نیاز است

۳-۷-۲- زهکشی خشک (Dry drainage)

در نواحی خشک و نیمه‌خشک، شوری زهاب‌های کشاورزی و ورود آن‌ها به آب‌های سطحی از مشکلات مهم محیط زیست است. زهکشی خشک، همانند زهکشی زیستی به عنوان گزینه‌ای مناسب برای کاهش زهاب‌های کشاورزی در مناطق آبی مطرح می باشد با این تفاوت که محدودیت شوری، که برای درختان زهکشی زیستی وجود داشت، در این

سیستم وجود ندارد. مبنای اصلی زهکشی خشک، کنترل سطح ایستابی در اراضی کشت شده آبی به کمک پدیده خیزمؤیینه‌ای و تبخیر از سطح ایستابی در اراضی کشت نشده (آیش) مجاور است. بنابراین زهکشی خشک، نوعی قطعه‌بندی زمین است که در نواحی خشک و کم آب (دشت‌هایی که وسعت اراضی در آن‌ها بیش از مقدار منابع آب برای توسعه آبیاری است)، با هدف خارج کردن آب و املاح اضافی از اراضی تحت کشت به سمت اراضی آیش مجاور انجام می‌شود. در این صورت، اراضی مجاور زهدار شده و به تدریج شور خواهند شد.

استفاده از زهکشی خشک در کشورهای استرالیا، پاکستان و پرو گزارش شده است. در کشور ما نیز با وجود دشت‌های وسیع و فراوان همچون ورامین، گرمسار، ده نمک، سمنان، شاهرود و دامغان که در شرایط کم آبی قرار دارند، امکان اجرای این نوع زهکشی وجود دارد. شکل (۳-۲) استفاده از زهکشی خشک را در جنوب دشت گرمسار نشان می‌دهد.

شکل ۳-۲- نوارهای نکاشت (اراضی قربانی) در مجاورت اراضی تحت کشت که به روش کشاورزی نواری قطعه‌بندی شده‌اند- جنوب دشت گرمسار

روش زهکشی خشک، تجمع املاح در اراضی مجاور (کشت نشده) موجب کاهش تبخیر از سطح خاک لخت می‌شود. بدیهی است با تراشیدن و برداشت آن‌ها از سطح خاک، می‌توان شدّت تبخیر را افزایش داد. همچنین با برداشت مقداری از خاک بخش کشت نشده و کم کردن فاصله سطح ایستابی تا سطح خاک، شدت تبخیر را می توان افزایش داد. افزون بر این، در نوارهای آیش می‌توان اقدام به کشت درختان مقاوم به شوری همچون اکالیپتوس و آتریپلکس کرد تا هم با جذب و تبخیر بخش دیگری از زهاب، زهکشی منطقه تقویت شود و هم علاوه بر امکان بهره‌برداری از آن‌ها، چشم انداز خوبی از نوارهای اراضی به موازات نوارهای درختان ایجاد شود. در صورت نیاز برای کنترل بیش‌تر سطح آب در فصول حداکثر خیز سطح آب می‌توان زهکش‌های روبازی با عمق کم در نوارهای آیش حفر کرد. زهکشی خشک همانند سایر روش‌ها، مزایا و محدودیت‌هایی دارد. هزینه‌ی بسیار کم زهکشی، تطابق با عدم تمرکز سطوح کشت در شرایط کم‌آبی و استفاده از

زهاب در صورت کشت درختان مقاوم در نوارهای آیش از مزیّت‌های این روش است. تجمع نمک و انتقال آن توسط باد و بارندگی در سطح کشت نیز از محدودیت های این روش به شمار می‌آیند. جمع‌آوری مکانیزه املاح از سطوح آیش می‌تواند روشی برای کنترل املاح باشد که مستلزم صرف هزینه و انجام کار اضافی است.

۳-۸- آیش زمین

آیش زمین به عنوان راهکاری مناسب در مسایل زهکشی مطرح می‌باشد. لیکن، تحلیل‌های هیدرولوژیک، بیولوژیک و نتایج تجزیه‌ی خاک نشان می‌دهد که آیش زمین پیچیده است. برای مثال، در ضلع غربی دره سن جواکین، اراضی ماندابی با آب زیرزمینی کم عمق و آلوده به سلنیوم زیاد در پایین دست منطقه قرار دارند (SJVDIP,1999c). سطح ایستابی در اراضی بالادست منطقه عمیق است و جریانات زیرزمینی حاصل از نفوذ عمقی در اراضی بالادست سبب بروز مشکلات زهکشی در پایین‌دست می‌شود. نتایج حاصل مطالعات انجام شده در این خصوص موارد زیر را مشخص کرده است (SJVDIP,1999c):

- آیش گذاشتن قطعات بزرگ اراضی در بالادست و پایین دست، باعث کاهش حجم زهاب و پایین رفتن سطح ایستابی می‌شود.
- در یک دوره کوتاه، آیش گذاشتن قطعات اراضی پایین‌دست با سطح ایستابی بالا به مراتب بیش‌تر از قطعات (با همان سطح) نکاشت بالادست، حجم زهاب را کاهش می‌دهد.
- آیش گذاشتن اراضی بالادست و بدون زهکش، به شدت حجم زهاب را در اراضی پایین دست مجاور کاهش می‌دهد و کارآترین راه‌حل در درازمدت می‌باشد.
- آیش اراضی پایین‌دست مانع توسعه اراضی ماندابی در بالا دست نمی‌شود و قطعات نکاشت در پایین‌دست تحت تاثیر شوری و حالت ماندابی کاهش می‌یابند.

برنامه ی آیش، مزایای زیادی برای حیات وحش دارد. زیرا بار آلودگی فلزات سمّی و املاح به محیط زیست کاهش می یابد، به ویژه اگر ارتباطی بین اراضی نکاشت و استقرار حیوانات و گیاهان بومی وجود داشته باشد. آیش زمین ممکن است اثراتی منفی نیز داشته باشد. مانند حرکت آب های زیرزمینی شور و کم عمق رو به بالا که باعث تجمع عناصر سمّی و املاح در سطح زمین می‌شود، و یا رویش علف‌های هرز نامطلوب. تجمع زیاد املاح در سطح خاک ممکن است پوشش گیاهی را کم یا کلا از بین ببرد و باعث حرکت املاح و سلنیوم توسط باد به اراضی اطراف شود. بنابراین، مدیریت آب، زمین و پوشش گیاهی در اراضی آیش شده به منظور تضمین حیات وحش ضروری است.

۳-۹- راهکارهایی برای کاهش مصرف آب توسط بهره برداران

راه‌هایی چند برای کاهش تلفات انتقال، توزیع و بهره برداری وجود دارد. بهسازی و بهبود وضعیت کانال‌ها برای کاهش نشت و نفوذ ضروری است. برای کاهش تلفات در زمان بهره برداری، نیاز به بهسازی سازه‌های آبیاری و سیستم ارتباطی است. برای افزایش راندمان توزیع، ممکن است کانال های درجه ۳ و ۴ نیاز به اصلاح و بهسازی داشته باشند. افزون بر این، افزایش دوره تحویل آب ممکن است به افزایش راندمان توزیع کمک کند.

در مصر، تلفات آب از انتهای کانال‌ها حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد کل تلفات برآورد شده است (گروه سیاست‌گذاری آب EPIQ، ۱۹۹۸). اقداماتی نظیر استفاده از کنترل کننده‌های خودکار و ذخیره‌سازی در شب نیز تلفات ناشی از بهره‌برداری را به میزان زیادی کاهش می‌دهد. در بسیاری از کشورها بدلیل محدودیت‌های مالی، سیستم‌های آبیاری توسط آب‌بران اداره می‌شود. با واگذاری سیستم‌های آبیاری به آب بران می‌توان به افزایش راندمان و بهره‌وری کمک نمود.

فصل ۴

ضوابط تخلیه زهاب به منابع پذیرنده

۴-۱- کلیات

تخلیه‌ی زهاب‌های کشاورزی به منابع دیگر آبی موجود از چالش‌های مهم مدیریت منابع آب بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. از آن‌جا که اغلب زهاب‌های کشاورزی نسبت به آب‌های سطحی از کیفیت پایین‌تری برخوردارند، تخلیه ی آن ها به منابع پذیرنده مستلزم اعمال مدیریتی تخصصی و آگاهانه است. در این فصل، ضمن بیان کلیاتی در این خصوص، ضوابط تخلیه‌ی زهاب‌های کشاورزی به دیگر منابع آبی شامل آب‌های سطحی شیرین، پهنه‌های آب شور، حوضچه‌های تبخیری و چاه‌های عمیق ارائه شده است. موضوع زهاب‌های خروجی از زهکشی‌های کشاورزی و پیوستن آن‌ها به آب‌های موجود در یک منطقه خاص نه تنها از دیدگاه کیفیت آب‌های در دسترس حائز اهمیت است، بلکه از نظر زیست محیطی نیز بسیار چالش‌برانگیز است. بنابراین چون دفع زهاب‌ها از اراضی کشاورزی و اختلاط آن‌ها با آب‌های با کیفیت خوب منجر به کاهش کیفیت این آب‌ها می‌شود، مستلزم رعایت ملاحظاتی است که بر مبنای آن‌ها کم‌ترین زیان ممکن به چنین آب‌های تحمیل گردد. در این فصل، ضوابط لازم برای تخلیه‌ی زهاب‌های کشاورزی به منابع آبی پذیرنده معرفی شده است. ابتدا ضوابط عمومی لازم برای تخلیه‌ی زهاب‌ها با شرایط مطلوب مورد بحث قرار گرفته، سپس شرایط لازم برای تخلیه‌ی زهاب‌ها به پهنه‌های آب شور، شیرین و چاه‌های عمیق بررسی شده است. همچنین، امکان تخلیه‌ی زهاب‌ها به حوضچه‌های تبخیری و چگونگی طراحی حوضچه‌ها نیز مورد بحث قرار گرفته است.

۴-۲- مقدمه

مصرف آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، بهداشت و صنعتی همواره با ایجاد پساب‌های کم کیفیت‌تر توام است. تاکنون بخش عمده‌ی این آب‌های کم کیفیت به منابع آب سطحی شامل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها تخلیه می‌شده است. در بخش کشاورزی به عنوان بزرگ ترین مصرف کننده آب آبیاری، بیش آبیاری با راندمان کم، نه تنها موجب ماندابی و شور شدن منابع در مقیاس وسیع می‌شود، بلکه منجر به محروم شدن بهره‌وران پایین‌دست از آب کافی نیز می گردد. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب با کیفیت خوب در بالادست، نهایتا منجر به آلوده شدن منابع آبی خوب براثر جریان آلوده زهاب‌های بالادست می‌شود. بدین ترتیب، کیفیت آب در پایین‌دست کاهش می‌یابد و رقابت بر سر منابع آب مناسب تشدید می‌شود. از این رو در بسیاری از کشورها، نگرانی‌ها در باره‌ی کاهش کیفیت آب، منجر به وضع قوانین تخلیه مطمئن زهاب‌ها شده است. بدیهی است در چنین شرایطی، نقش مدیریت جامع زهاب و اثرات آن بر هر یک از اجزای زیست‌بوم بسیار با اهمیت است. در این راستا، اقداماتی همچون کاهش تولید زهاب‌ها، استفاده مجدد از زهاب‌ها و حتی تصفیه زهاب‌ها همگی فعالیت‌هایی درخور توجه می‌باشند. لیکن حتی در صورت به‌کار بستن صحیح آن‌ها، باز هم مقداری زهاب تولید می‌شود که نیازمند دفع و تخلیه است.

گزینه‌های تخلیه عمدتا به موقعیت خروجی زهکش یا تخلیه‌گاه‌های طبیعی وابسته‌اند. به طور کلی، منابع پذیرنده‌ی زهاب‌ها به چند بخش تقسیم می‌شوند:

- **تخلیه به آب‌های شیرین**: شامل تخلیه زهاب‌ها به رودخانه‌ها، تالاب‌ها، مسیل‌ها، دهانه‌های رودخانه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین.
- **تخلیه به آب‌های شور**: از طریق محل‌های ساخته شده در دهانه‌های رودخانه‌ها برای تخلیه و انتقال زهاب‌ها به داخل دریاها و یا از راه کانال‌های زهکشی مصنوعی که برای تخلیه مستقیم زهاب‌ها به داخل دریاهای آزاد و یا بسته ساخته شده‌اند.
- **تخلیه به حوضچه‌های تبخیری**: تخلیه زهاب‌ها به داخل گودال‌های طبیعی یا حوضچه‌های مصنوعی برای تبخیر و نفوذ دادن آب و ته‌نشینی املاح.

افزون بر شرایط زهکشی طبیعی، امکان اجرای هر یک از اقدامات فوق، به کیفیت و کمّیت زهاب‌های مورد نظر به هنگام تخلیه، خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی، سطح فناوری و منابع قابل دسترسی و مسایل اقتصادی بستگی دارد. در کشورهای در حال توسعه غالبا زهکش‌های کشاورزی برای تخلیه فاضلاب‌های خانگی و یا سایر آب‌های آلوده ناشی از فعالیت‌های غیرکشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این موضوع می‌تواند اثرات مخربی بر کیفیت زهاب‌های کشاورزی برجای گذارد. بدیهی است به منظور نتیجه‌گیری بهتر، اقدامات فوق باید با مجموعه‌ای از اقدامات مدیریتی و نرم‌افزاری همچون تدوین استانداردهای منطقه‌ای و قوانین حفاظتی همراه گردد.

۴-۳- ضوابط لازم برای تخلیه زهاب‌ها با شرایط مطلوب

مدیریت تخلیه زهاب‌ها به شیوه‌ای مناسب و نیل به اهداف آن کاری نسبتا پیچیده و چند جانبه است. چنان‌چه زهاب‌های تولید شده کیفیت مناسبی داشته باشند، باید برای استفاده مجدد در اراضی به‌کار روند و سرانجام تخلیه شوند. در کشاورزی آبی، نگهداشت شوری مناسب زهاب‌ها از مهم‌ترین مسایل در ارزیابی تخلیه آن‌ها به شمار می‌رود. حداقل معیار تخلیه زهاب، به مصرف آب در پایین‌دست بستگی دارد.

تخلیه زهاب به آبراهه ها اثراتی پردامنه دارد که ممکن است سودمند و یا تخریب کننده باشند. در بسیاری موارد، تخلیه زهاب به منابع بزرگ آب شیرین می تواند قابل قبول باشد. لیکن در این حالت، باید ظرفیت خودپالایی منبع پذیرنده و همچنین کیفیت زهاب برای تعیین الزامات تخلیه‌ی بی‌خطر آن شناسایی و تعیین شود. تخلیه‌ی زهاب به تالاب‌ها، برکه‌ها، رودخانه‌ها و آب‌های ساحلی مستلزم رعایت ملاحظات کیفی و کمّی است که برای حفظ شرایط اکولوژیک مناسب مورد نیاز است.

تالاب‌ها از با ارزش‌ترین اجزای اکولوژیک می‌باشند و زیستگاهی مناسب برای بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهی به شمار می‌آیند. همچنین تالاب‌ها جایگاهی بسیار مناسب برای ذخیره آب، کاهش سیلاب و تصفیه آن می‌باشند. کاربری‌های دیگری همچون ماهی‌گیری، تفریح و توریسم نیز از دیگر سودمندی‌های اقتصادی تالاب‌ها به شمار می‌آیند. چنین سودمندی‌هایی تنها تا زمانی برقرار است که فرآیندهای اکولوژیک تالاب‌ها به صورتی بهینه حفظ شود. از آن‌جا که

فرآیندهای اکولوژیک تالاب‌ها به مقدار زهاب ورودی بستگی دارد و تالاب‌ها باید در شرایط پایدار باقی بمانند، حداقل مقدار زهاب تخلیه شده به آن‌ها به کمّیت و کیفیت زهاب برای تداوم فرآیندهای اکولوژیک وابسته است. بدیهی است آنچه که گفته شد، کلیّات موضوع بوده و برای هریک از منابع پذیرنده می‌توان ملاحظات مشروح را در نظر گرفت.

۴-۴- شرایط عمومی تخلیه زهاب‌ها

تخلیه زهاب‌ها برمبنای موقعیت، هیدرولوژی و توپوگرافی پهنه‌ی مورد زهکشی، اکولوژی و شرایط زیست محیطی تخلیه‌گاه‌ها و کمّیت و کیفیت زهاب تعیین می‌شود. دریاهای آزاد مطمئن‌ترین و آخرین محل تخلیه‌ی زهاب‌های کشاورزی می‌باشند، مگر این‌که زهاب توسط رسوبات، عناصر کودی و سمّوم دفع کشاورزی آلوده شده و محل تخلیه نیز در مجاورت زیست بوم‌های حاشیه سواحل قرار نداشته باشد.

به‌طور کلی، پهنه‌های آبی وسیع ظرفیت ترقیق و خودپالایی بسیار بالایی دارند. این ظرفیت در دریاچه‌های بسته و دریاهای نیمه بسته محدودتر است. در چنین شرایطی، ممکن است آلودگی در محل تخلیه نگران کننده باشد. به‌طور کلی، تخلیه زهاب در برکه‌ها، تالاب‌های طبیعی، تالاب‌های مصنوعی و رودخانه‌های آب شیرین مستلزم توجه بیش‌تری نسبت به منابع آبی باز است. آب رودخانه‌ها برحسب کیفیت، برای اهداف متفاوتی شامل شرب و بهداشت، کشاورزی و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدیهی است ورود و انباشت نمک و دیگر آلاینده‌ها در آب شیرین برکه‌ها، و افزون بر کاهش کیفیت آب، حیات آبزیان و پرندگان آبی را نیز مخدوش می‌کند.

تخلیه زهاب‌ها در حوزه‌های هیدرولوژیکی بسته، به گزینه‌هایی چون استفاده از حوضچه‌های تبخیری ختم می‌شود. امروزه مدیریت زهاب‌ها در حوزه‌های بسته، چالش‌هایی را از نظر مسایل زیست‌محیطی و کیفیت آب مطرح ساخته است.

۴-۵- تخلیه زهاب به آب‌های سطحی

تخلیه زهاب‌ها به آب‌های سطحی، باید کم‌ترین زیان را به مصرف کنندگان آب در پایین‌دست و حیات وحش داشته باشد. گزینه‌های موجود برای تصمیم‌گیری پیرامون چگونگی و محل تخلیه زهاب‌ها به پهنه‌های آبی طبیعی، به چند مورد مشخص محدود است. به جز برگرداندن زهاب‌ها به سطح مزرعه و استفاده دوباره از آن‌ها برای آبیاری، دیگر گزینه‌ها شامل تخلیه‌ی آن‌ها به رودخانه‌ها، دریاچه‌های آب شیرین، تالاب‌ها و دریاهای آزاد می‌باشند.

۴-۵-۱- تخلیه‌ی زهاب‌ها به آب‌های شیرین

مهم‌ترین چالش برای تخلیه مطمئن زهاب‌ها به منابع آب شیرین، حفظ معیارهای کیفی مصرف آب در پایین‌دست محل تخلیه است. این منابع آبی به صورت چند منظوره و برای برداشت آب شرب، آب مورد نیاز بخش صنعت، پرورش آبزیان کشاورزی و دامپروری مورد استفاده قرار می‌گیرند و از ارزش اکولوژیکی ذاتی برخوردارند. افزون بر این، رودخانه‌ها

وظیفه‌ی تغذیه‌ی دریاچه‌ها، دشت‌های سیلابی، تالاب‌ها، مصب‌ها و خلیج‌ها را نیز بر عهده دارند. بنابراین لازم است موارد زیر به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرند:

- ظرفیت خودپالایی رودخانه و زیست‌بوم‌های وابسته به آن مشخص شود.
- ترکیبات موجود در زهاب‌ها باید به دقّت تعیین شوند و حداکثر غلظت هر یک از ترکیبات و حجم مجاز زهاب‌ها به منظور تعیین شرایط تخلیه زهاب مشخص شود.
- آلاینده‌های موجود در زهاب‌ها ممکن است بر مواد موجود در بستر کانال انباشته شوند. این موضوع می‌تواند به هنگام لایروبی، مشکلاتی را در ارتباط با کیفیت آب ایجاد کند.
- باید به خطرات ناشی از نفوذ و نشت جریانات ناحیه‌ای توجه جدی شود. این جریانات ممکن است آب های سطحی پذیرنده را با مواد آلاینده برگرفته از تشکیلات مختلف زمین ساختاری و خاک آلوده کند، زهاب های کم عمق ممکن است مقادیر قابل توجهی مواد غذایی داشته باشند. حال آن‌که، زهاب‌های عمیق‌تر ممکن است مواد سمّی و عناصر سنگین ترکیبات شیمیایی زمین را منتقل کنند.
- فعالیت‌های مربوط به کاهش اثرات تخلیه زهاب به منابع سطحی، ترجیحا باید از سطح مزرعه آغاز شود. روش‌هایی همچون احداث حوضچه‌های نگه‌داشت و نوارهای ساحلی کنار رودخانه می‌تواند برای کاهش جریان مستقیم زهاب‌های آلوده به سامانه‌های پذیرنده مورد استفاده قرار گیرد.
- دریاچه‌های بسته به دلیل نبود جریان خروجی و حجم محصور خود، از ظرفیت خود پالایی کم‌تری برخوردارند. از آن‌جا که تخلیه زهاب‌ها در درازمدت می‌تواند مشکلاتی جدّی به وجود آورد، ملاحظات ویژه‌ای هم نیاز دارد.

غلظت، مهم‌ترین پارامتر کیفی آب است که در همه‌ی استانداردها شامل استانداردهای آب شرب، استانداردهای سلامت آبزیان و استانداردهای مربوط به رشد گیاهان مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال، استفاده از این شاخص کیفی به تنهایی، ممکن است به تشویق رقیق‌سازی و تخلیه نامناسب آب منجر شود. در چنین شرایطی، استفاده از شاخص غلظت و حجم تخلیه زهاب به صورت توام توصیه می‌شود. هنوز برای معیارهای تخلیه زهاب به منابع آب پذیرنده، استانداردهای ملی تدوین نشده است. لیکن سازمان حفاظت محیط زیست ایران استانداردی را برای استفاده مجدد از پساب تصفیه شده فاضلاب های شهری ارائه کرده است که در آن، معیارهای کیفی تخلیه پساب به منابع آب سطحی، چاه‌های جاذب (به نوعی تغذیه مصنوعی به منابع آب زیرزمینی) و استفاده مجدد در کشاورزی ارائه شده است. چکیده این استاندارد در جدول (۴-۱) ارائه شده است. با عنایت به اشترکات کیفی و وجود بسیاری از آلاینده ها هم در پساب‌ها و هم در زهاب‌ها، مقادیر این استاندارد می‌تواند به عنوان تخمین اولیه، مورد استفاده‌ی بهره‌برداران قرار گیرد. بدیهی است با انجام پژوهش‌های منظم منطقه‌ای، می‌توان به تدوین استانداردهای ملی کاربرد و تخلیه زهاب‌های کشاورزی سطحی و زیرزمینی امیدوار بود. لیکن تا زمان تدوین چنین استانداردهایی می‌توان از ضوابطی همچون جدول (۴-۱) استفاده کرد.

جدول ۴-۱- استاندارد خروجی فاضلاب‌ها در ایران به عنوان تقریب اولیه برای تخلیه زهاب‌های کشاورزی

شماره	نام آلاینده		تخلیه به آب‌های سطحی ($mg.l^{-1}$)	تخلیه به چاه جاذب ($mg.l^{-1}$)	مصارف کشاورزی و آبیاری ($mg.l^{-1}$)
۱	نقره	Ag	۱	۰/۱	۰/۱
۲	آلومینیم	Al	۵	۵	۵
۳	آرسنیک	As	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۴	بُر	B	۲	۱	۱
۵	باریم	Ba	۵	۱	۱
۶	بریلیوم	Be	۰/۱	۱	۰/۵
۷	کلسیم	Ca	۷۵	-	-
۸	کادمیوم	Cd	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
۹	کلرآزاد	Cl	۱	۱	۰/۲
۱۰	کلراید	Cl-	۶۰۰ (تبصره ۱)	۶۰۰ (تبصره ۲)	۶۰۰
۱۱	فرم‌آلدئید	CH2O	۱	۱	۱
۱۲	فنُل	C6H5OH	۱	ناچیز	۱
۱۳	سیانور	CN	۰/۵	۰/۱	۰/۱
۱۴	کُبالت	Co	۱	۱	۰/۰۵
۱۵	کُرم	Cr6+	۰/۵	۱	۱
۱۶	کُرم	Cr3+	۲	۲	۲
۱۷	مس	Cu	۱	۱	۰/۲
۱۸	فلوراید	F	۲/۵	۲	۲
۱۹	آهن	Fe	۳	۳	۳
۲۰	جیوه	Hg	ناچیز	ناچیز	ناچیز
۲۱	لیتیم	Li	۲/۵	۲/۵	۲/۵
۲۲	منیزیم	Mg	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۳	منگنز	Mn	۱	۱	۱
۲۴	مولیبدن	Mo	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲۵	نیکل	Ni	۲	۲	۲
۲۶	آمونیم	NH4 - N	۲/۵	۱	-
۲۷	نیتریت	NO2 - N	۱۰	۱۰	-
۲۸	نیترات	NO3 - N	۵۰	۱۰	-
۲۹	فسفات	P – PO4	۶	۶	-
۳۰	سرب	Pb	۱	۱	۱
۳۱	سلنیم	Se	۱	۰/۱	۰/۱
۳۲	سولفید	SH2	۳	۳	۳
۳۳	سولفیت	SO3	۱	۱	۱
۳۴	سولفات	SO4	۴۰۰ (تبصره ۱)	۲۰۰ (تبصره ۲)	۵۰۰
۳۵	وانادیم	V	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۳۶	روی	Zn	۲	۲	۲
۳۷	چربی و روغن	O & G	۱۰	۱۰	۱۰
۳۸	دترجنت (شوینده‌ها)	ABS	۱/۵	۰/۵	۰/۵
۳۹	بی. او. دی (تبصره ۳)	BOD5	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۱۰۰
۴۰	سی. او. دی (تبصره ۳)	COD	۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰)	۶۰ (لحظه‌ای ۱۰۰)	۲۰۰
۴۱	اکسیژن محلول (حداقل)	DO	۲	-	۲
۴۲	مجموع مواد جامد محلول	TDS	(تبصره ۱)	(تبصره ۲)	-

ادامه جدول ۴-۱- استاندارد خروجی فاضلاب‌ها در ایران به عنوان تقریب اولیه برای تخلیه زهاب‌های کشاورزی

شماره	نام آلاینده	تخلیه به آب‌های سطحی ($mg.l^{-1}$)	تخلیه به چاه جاذب ($mg.l^{-1}$)	مصارف کشاورزی و آبیاری ($mg.l^{-1}$)
۴۳	مجموع مواد جامد معلق TSS	۴۰ (لحظه‌ای ۶۰)	-	۱۰۰
۴۴	مواد قابل ته نشینی SS	-	-	-
۴۵	پ -هاش (حدود) pH	۶/۵ - ۸/۵	۵ - ۹	۶ - ۸/۵
۴۶	مواد رادیواکتیو	۰	۰	۰
۴۷	کدورت (واحد کدورت)	۵۰	-	۵۰
۴۸	رنگ (واحد رنگ)	۷۵	۷۵	۷۵
۴۹	درجه حرارت T	تبصره ۴	-	-
۵۰	کلیفرم گوارشی (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر) MPN	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
۵۱	کل کلیفرم (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر) MPN	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۵۲	تخم انگل	-	-	(تبصره ۵)

تبصره ۱: تخلیه با غلظت بیش از مقدار مشخص شده در جدول در صورتی مجاز است که پساب خروجی، غلظت کلر، سولفات و مواد محلول منبع پذیرنده را تا شعاع ۲۰۰ متری بیش از ده درصد افزایش ندهد.

تبصره ۲: تخلیه با غلظت بیش از مقدار مشخص شده در جدول در صورتی مجاز است که افزایش کلر، سولفات و مواد محلول پساب خروجی نسبت به آب مصرفی بیش از ده درصد نباشد.

تبصره ۳: صنایع موجود مجاز خواهند بود BOD_5 و COD را حداقل ۹۰ درصد کاهش دهند.

تبصره ۴: دما باید آنقدر باشد که بیش از ۳ درجه سانتیگراد در شعاع ۲۰۰ متری محل ورود آن، دمای منبع پذیرنده را افزایش یا کاهش ندهد.

تبصره ۵: تعداد تخم انگل (نماتد) در فاضلاب تصفیه شده شهری در صورت استفاده از آن برای آبیاری محصولاتی که به صورت خام مورد مصرف قرار می‌گیرند، نباید بیش از یک عدد در لیتر باشد.

۴-۵-۲- تخلیه‌ی زهاب‌ها به پهنه‌های آب شور

خلیج‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها، از نیازمندهای متفاوتی به لحاظ کیفیت آب برخوردار هستند. در اثر جریانات جزر و مدی، ممکن است تغییرات آبی قابل توجهی در مصب‌ها، خلیج‌ها و اقیانوس‌ها رخ دهد. در حالت کلی می‌توان گفت تخلیه زهاب‌های شور به پهنه‌های آب شور، معمولا اثرات تخلیه زهاب به منابع پذیرنده را کاهش می‌دهد. با این وجود ضروری است در راستای حفظ سایر استفاده های مفید، کیفیت منبع آبی پذیرنده به طور مرتب پایش و در مقایسه با کیفیت زهاب ورودی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. مواد غذایی موجود در زهاب ممکن است مشکلاتی در مصب ها ایجاد کند. در صورت امکان، دریاها باید به عنوان آخرین محل طبیعی تخلیه زهاب‌های شور در نظر گرفته شوند.

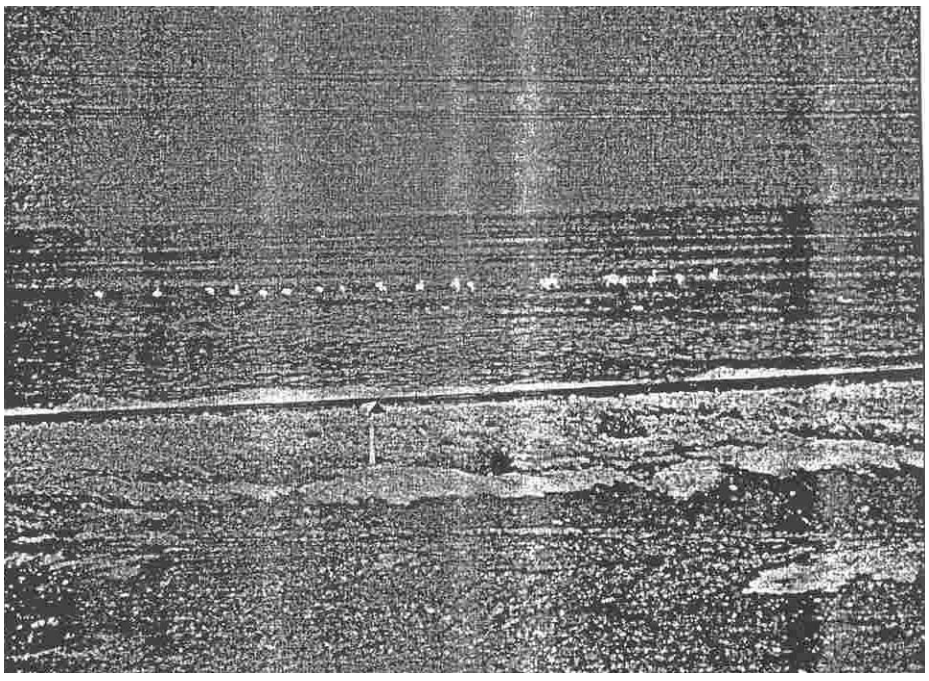
۴-۶- تخلیه‌ی زهاب‌ها به حوضچه‌های تبخیری

استفاده از زهاب‌های کشاورزی و ایجاد حوضچه‌های تبخیری برای تخلیه آب‌های شور، کاربرد جهانی دارد. در حوزه‌های زهکشی محصور و فاقد خروجی مناسب به رودخانه، دریاچه و دریا و یا جایی که ضوابط و محدودیت‌های تخلیه مانع از دفع زهاب به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌شود، زهاب‌های خروجی به حوضچه‌های تبخیری یا گودال‌های طبیعی، تخلیه می‌شوند. در چنین شرایطی، آب جمع‌آوری شده، از راه تبخیر، تعرق و یا نشت به کف حوضچه و به درون خاک، به محیط باز می‌گردد.

در برنامه‌ریزی و طراحی حوضچه‌های تبخیری، برخی ملاحظات زیست‌محیطی باید مورد توجه قرار گیرد. این موارد عبارتند از:

- ملاحظات مرتبط با غرقابی و شورشدن اراضی مجاور به دلیل نشست جانبی.
- انتقال ذرات ریز و خاک حاوی نمک و عناصر شیمیایی موجود در زهاب‌ها به نواحی اطراف حوضچه به هنگام خشکی و وزش باد. در نتیجه وقوع این پدیده ممکن است صدماتی به گیاهان و خاک‌های زراعی مجاور وارد آورده و سلامتی انسان و حیوانات مناطق مجاور را به مخاطره اندازد.
- تغلیظ عناصر کمیاب و فلزات سنگین که ممکن است به صورت تجمعی در اندام های آبزیان تجمع یافته و باعث مسمومیت ماهی‌ها، پرندگان آبی و حتی انسان (در صورت شکار و مصرف این موجودات) شود.

شکل (۴-۱) نمونه‌ای از حوضچه‌های تبخیری در استان خوزستان را که برای تخلیه زهاب‌های واحدهای کشت و صنعت نیشکر جنوب مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- حوضچه تبخیری مورد استفاده برای تخلیه زهاب‌های کشت و صنعت‌های نیشکر در استان خوزستان

۴-۶-۱- طراحی حوضچه‌های تبخیری

به منظور طراحی حوضچه‌های تبخیری باید چند مورد مهم را در نظر گرفت. اهمّ این نکات به شرح زیر است:

- تعیین حجم زهاب‌های تولیدی، نخستین گام در طراحی حوضچه‌های تبخیری است. حجم زهاب‌ها به نوع کاربری اراضی، اقلیم، روش آبیاری و نوع سیستم زهکشی بستگی دارد.
- ارزیابی شوری زهاب و تغییرات آن طی کل سال ضروری است. شوری در حوضچه‌ها ممکن است تا ده برابر غلظت آب شور دریاها افزایش یابد.
- تعیین غلظت عناصر آلاینده زهاب‌ها و تجزیه کامل آن‌ها از نظر مقدار عناصر کمیاب، مواد غذایی و آفت‌کش‌ها ضروری است تا از تجمع مواد سمّی در محل مورد نظر جلوگیری شود. مهم ترین عناصر کمیاب شامل آرسنیک، بُر، مولیبیدن و سلنیوم می‌باشند.
- تعیین بیلان آبی حوضچه‌های تبخیری بسیار با اهمّیت است. ورودی حوضچه شامل زهاب اراضی کشاورزی، بارندگی و پمپاژ احتمالی آب به حوضچه از درون زهکش‌های حائل اطراف می‌باشد. خروجی‌ها نیز شامل تبخیر، تلفات غیرقابل بازیافت نشت و تعرق از گیاهان آبی (در صورت رشد) است. در ارتباط با بیلان آبی حوضچه‌های تبخیری، نکات زیر بسیار مهم می‌باشند:
  - محاسبه مقدار نشت آب به وسیله اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای، تعادل حجم جریان ورودی، تغییرات در ارتفاع سطح آب و مقدار تبخیر صورت می‌پذیرد.
  - معمولا مقدار نشت اولیه قابل ملاحظه است. لیکن پس از چند ماه و در نتیجه گرفتگی منافذ خاک بستر حوضچه، کاهش می‌یابد.
  - تلفات نشت معمولا به نوع خاک، شرایط ژئوهیدرولوژیک و پستی و بلندی منطقه بستگی دارد. بدیهی است افزایش نشت، مشکلاتی زیست محیطی به وجود خواهد آورد.
  - تبخیر از سطح آزاد آب متاثر از دمای هوا، سرعت باد، رطوبت هوا، شدت تابش خورشیدی و شوری آب است.
  - مقدار تبخیر از حوضچه ها به وسیله نشت‌های تبخیری شناور و پایش روزانه ی آب حوضچه و داده‌های اقلیمی تعیین می‌شود.
  - با افزایش شوری آب حوضچه‌های تبخیری، شدت تبخیر از سطح آب به دلیل کاهش فشار بخار آب کم می‌شود که باید در محاسبات مورد توجه قرار گیرد. در این شرایط، از ضرایب تصحیح شدت تبخیر استفاده می‌شود.
  - در حوضچه‌هایی که برای زندگی پرندگان آبی خطرناک می‌باشند، ایجاد زیستگاه‌های جایگزین ضروری است. یعنی باید زیستگاهی با کیفیت آب مناسب در نزدیکی حوضچه‌ی تبخیری ایجاد شود.

۴-۷- تخلیه‌ی زهاب‌ها به چاه‌های عمیق

تخلیه زهاب‌ها به سفره‌های عمیق فرآیندی است که در آن زهاب‌ها به چاه‌هایی تزریق می‌شوند تا در محیط متخلخل زیرین سطح خاک جای گیرند. این روش می‌تواند برای تخلیه زهاب‌های کشاورزی، در شرایطی که ویژگی‌های زمین ساختاری مناسب باشد، بدون خطر زیست‌محیطی و با هزینه‌ی مناسب به‌کار رود. مساله اصلی زیست محیطی، تلفات آب از طریق لوله‌ها و تخریب سفره‌های آب با کیفیت مناسب است. کیفیت آب سفره زیرزمینی و زهاب باید به گونه‌ای باشد که مخلوط آن‌ها باعث رسوب‌گذاری نشود و شیارها و روزنه‌های جدار لوله دچار گرفتگی نشوند. افزون بر آنچه گفته شد، دیگر نکات مهم در این ارتباط عبارتند از:

- حفر چاه‌های عمیق مستلزم اخذ مجوز می‌باشد. برای اخذ مجوز نیاز به اطلاعاتی جامع از وضعیت زمین‌شناسی، بافت خاک لایه‌های زیرین، انجام آزمایش پمپاژ و پایش چاه‌های منطقه می‌باشد.
- وجود خلل و فرج کافی و ضخامت لازم در تشکیلات زمین‌شناسی برای تزریق آب ضروری است. عمق چاه تزریقی در بخش زیرین تشکیلات زمین‌شناسی که چاه در حال بهره‌برداری آب آشامیدنی در آن قرار دارد باید بسیار پایین‌تر باشد.
- سازندهای زمین‌شناسی بالای سازندهای مورد استفاده برای تزریق، باید به شدت غیرقابل نفوذ باشند تا همانند یک مانع هیدرولیکی، محدود کننده حرکت زهاب تزریقی به بالا شود.
- بهتر است فاصله‌ی چاه تزریقی از منبع زهاب تا حد ممکن کم باشد. زیرا با افزایش فاصله، قیمت تمام شده برای ایجاد چاه تزریقی، پمپاژ و هزینه‌های پایش به شدت افزایش می‌یابد.
- اگر زهاب کشاورزی دارای نیترات باشد و به درون تشکیلات دارای ماده آلی و آهن تزریق شود، رشد باکتری‌های مصرف کننده نیترات به شدت افزایش می‌یابد. در این صورت تجمع آن‌ها، ممکن است باعث گرفتگی خلل و فرج شود.

فصل ۵

تصفیه زهاب‌های کشاورزی

۵-۱- کلیات

در برخی شرایط ممکن است استفاده‌ی مستقیم از زهاب‌های کشاورزی بسیار زیان‌بار باشد. در چنین شرایطی لازم است تا بیش از استفاده‌ی مجدد، این زهاب‌ها مورد تصفیه‌ی مقدماتی قرار گیرند تا امکان استفاده از آن‌ها با کم‌ترین مضرات ممکن فراهم شود. از این رو در این فصل روش‌های تصفیه‌ی زهاب‌های کشاورزی مورد بحث قرار گرفته است. این روش‌ها شامل تصفیه‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک، نمک‌زدایی املاح از زهاب‌ها و تصفیه فلزات سنگین و عناصر کمیاب می‌باشند. همچنین، تصفیه توسط تالاب‌های مصنوعی نیز در پایان فصل مورد بحث قرار گرفته است.

۵-۲- مقدمه

به هنگام برنامه‌ریزی جامع برای مدیریت زهاب، تصفیه زهاب‌ها تنها در شرایطی ویژه و حاد قابل توصیه است. هنگامی که تخلیه زهاب بسیار شور به درون رودخانه مجاز نباشد و یا وقتی که کمبود آب به وضعیت بحرانی رسیده باشد، این گزینه مدنظر قرار می‌گیرد. در حقیقت هنگامی که مدیریت دفع زهاب برای تخلیه مطمئن با شکست مواجه شده یا در مواردی که تصفیه زهاب از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر باشد، این عملیات مورد توجه قرار می‌گیرد.

تصفیه زهاب‌ها برای استفاده مجدد در کشاورزی به لحاظ هزینه‌های سنگین و فرآیندهای پیچیده تصفیه، عموما غیراقتصادی است. در چنین وضعیتی، گزینه مناسب عبارت است از تصفیه نسبی زهاب شور تا حدی که بتوان آنرا در کشاورزی به‌کار برد. ایجاد تالاب‌های مصنوعی از روش‌هایی است که در عین کارایی، می‌تواند هزینه سنگین تصفیه زهاب‌ها را تا حد قابل قبولی کاهش دهد.

۵-۳- روش‌های تصفیه مقدماتی زهاب‌ها

گزینه‌های تصفیه مقدماتی زهاب‌ها مبتنی برفرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک است. این فرآیندها از روش های تصفیه آب آشامیدنی، فاضلاب های شهری و صنعتی اقتباس شده است. به طور کلی، فرآیندهای تصفیه زهاب را می‌توان به فرآیندهای کاهش شوری زهاب‌ها و حذف یون‌های خاص تقسیم‌بندی کرد. در صورت نیاز به حذف برخی عناصر خاص مانند فلزات سنگین و یا سلنیوم، ممکن است لازم باشد از روش‌های تصفیه پیشرفته‌تری استفاده شود. البته تعداد بسیار کمی از تصفیه‌خانه‌ها ممکن است از امکانات لازم برای چنین فرآیندهای تصفیه‌ای برخوردار باشند. همچنین این گونه تصفیه‌ها حتی اگر علمی هم باشد، توجیه اقتصادی ندارند.

۵-۳-۱- تصفیه‌های فیزیکی

تصفیه فیزیکی از رشته فرآیندهایی تشکیل شده که در آن تنها از ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی برای جداسازی مواد خارجی معلق موجود در آب آلوده استفاده می‌شود. مهم‌ترین روش‌های فیزیکی متداول در تصفیه‌خانه‌ها عبارتند از:

- رد کردن آب آلوده از فیلترها و حذف مواد معلق موجود در آن.
- ته‌نشین کردن مواد معلق و جداسازی آن‌ها.
- شناور کردن مواد معلق و جمع‌آوری آن‌ها از سطح آب.

کاشت فیلترهای چمنی یکی از روش‌های رایج تصفیه‌ی فیزیکی در سطح مزرعه است که در فصل چهارم مورد بحث قرار گرفت. در خصوص زهاب‌ها، فرآیندهای فیزیکی مشتمل برجذب یون‌ها بر روی سطح طبیعی و مصنوعی مواد فعال، از جمله رزین‌های تبادل یون می‌باشد. گاهی ممکن است به منظور تسریع و تکمیل فرآیندهای ته‌نشین سازی، از برخی مواد منعقد کننده شیمیایی نیز استفاده شود. از این رو، در جدول (۵-۱) مجموعه فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی رایج در تصفیه زهاب‌ها به صورت توامان ارائه شده است.

۵-۳-۲- تصفیه‌های شیمیایی

اساس این روش تصفیه، کاربرد مواد شیمیایی در مراحل اجرای آن است. در تصفیه‌خانه‌ها، برخی مواد شیمیایی را می‌توان برای اثر گذاشتن بر مواد خارجی نامحلول، کلوئیدی و یا مواد محلول در آب آلوده به‌کار برد. مواد شیمیایی معمولا به تناوب برای تصفیه فاضلاب صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، لیکن برای زهاب‌های کشاورزی با توجه به ویژگی‌های شیمیایی پیچیده آن‌ها ممکن است موثر واقع نشوند. افزون بر این، می‌توان در صورت تخلیه فاضلاب شهری به شبکه زهکشی (در محل عبور شبکه زهکشی از مناطق جمعیتی نظیر شهرها و روستاها) و یا کاربرد وسیع کودهای دامی و انسانی در سطح مزارع کشاورزی، از مواد شیمیایی برای گندزدایی و از بین بردن میکروب های موجود در زهاب استفاده نمود. جدول (۵-۱) برخی فرآیندهای شیمیایی که در تصفیه زهاب‌ها متداول است را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱- روش‌های تصفیه فیزیکی و شیمیایی زهاب‌ها

مراحل	مواد حذف یا تصفیه شده
ته نشینی یا انعقاد	حذف رسوبات و مواد چسبیده به آن‌ها (مواد مغذی، سمّوم و عناصر کمیاب) در حوضچه‌های رسوب‌گیر با افزودن یا بدون افزودن مواد منعقد کننده
جذب	حذف مواد محلول توسط سطوح جذب کننده‌ها
تبادل یونی	تبادل مواد با عناصر دیگر توسط رزین‌های تبادلی یا ستونی از آن‌ها
اسمز معکوس	جدا سازی املاح و عناصر محلول با استفاده از فشار و غشاء نیمه تراوا
منعقدسازی یا ترسیب	استفاده از مواد شیمیایی نظیرآلوم برای لخته‌سازی یا ترسیب مواد نگران کننده

۵-۳-۳- تصفیه‌های زیستی

حذف و تجزیه برخی آلاینده‌های موجود در زهاب‌ها توسط موجودات زنده شامل باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی، گیاهان و جلبک‌ها را تصفیه زیستی گویند. در تصفیه‌ی زیستی، مواد آلاینده ممکن است به مصرف موجود زنده و فعالیت‌های حیاتی آنان برسد. همچنین ممکن است آلاینده‌ها توسط این موجودات هضم شده و به عوامل بی‌ضرر تبدیل شوند. در نهایت، عوامل کم ضرر به محیط زیست بازگردانده می‌شوند. همچنین ممکن است در نتیجه‌ی جذب آلاینده‌ها،

این مواد در بدن موجود زنده ذخیره شده و بدین صورت از زهاب‌ها حذف گردند. نیترات (طی فرآیند نیترات‌زدایی باکتریایی)، ترکیبات فسفری و برخی سمّوم و فلزات سنگین ممکن است از این راه از زهاب‌ها حذف شوند. برخی از فرآیندهای پالایش زیستی زهاب‌ها در جدول (۵-۲) ارائه شده است.

جدول ۵-۲- فرآیندهای تصفیه‌ی زیستی زهاب

فرآیند	مواد حذف یا تصفیه شده
اکسایش یا کاهش	کاهش عناصر محرک و اکسیده (مانند سلینات) و تبدیل آن‌ها به شکل احیا و غیرمحرک (مانند سلنیوم عنصری) توسط فرآیندهای بیولوژیک
تبخیر	برخی گیاهان و میکروب‌ها می‌توانند آلاینده‌هایی همچون سلنیوم را جذب و به صورت متیل شده به نیوار متعاعد کنند.
جذب گیاهی یا جلبکی	برخی گیاهان و جلبک‌های خاکی قادر به جداسازی مقادیر زیادی از عناصری مانند سلنیوم، نیترات و مولیبدن هستند.
تالاب‌های مصنوعی	عناصری مانند کودها، سلنیوم و سایر فلزات سنگین را از زهاب حذف می‌کنند. مکانیسم حذف برای سلنیوم اصولا احیای آن به شکل عنصری یا آلی در مواد تجزیه‌پذیر است. مکانیسم جذب برای فلزات سنگین اصولا جذب یا تثبیت آن روی رسوبات است.

۵-۴- نمک‌زدایی

شوری و غلظت کلریدها از عوامل مهم موثر بر کیفیت زهاب‌ها می‌باشند. هم زهاب‌های کشاورزی و هم فاضلاب‌های صنعتی و شهری دارای انواع کلریدها می‌باشند. چون روش‌های متداول تصفیه نمی‌توانند کلریدها را به صورت قابل ملاحظه‌ای جدا کنند، لازم است که روش نمک‌زدایی آب به‌کار گرفته شود. از جمله روش‌های نمک‌زدایی می‌توان به فرآیندهای جانشینی و تبادل یونی و الکترودیالیز، اشاره نمود. هرچند روش‌های اسمز معکوس و تقطیر نیز در برخی منابع به عنوان روش‌های نمک‌زدایی معرفی شده‌اند، لیکن کاربرد آن‌ها محدود به مقادیر بسیار اندک زهاب بوده و در سطح مزرعه‌ای کاربرد ندارند.

۵-۵- تصفیه عناصر کمیاب و فلزات سنگین

اندازه‌گیری و کنترل غلظت عناصر کمیاب و فلزات سنگین در زهاب‌های آلوده، برای استفاده مجدد آن‌ها در آبیاری بسیار ضروری است، زیرا، این عناصر بر کیفیت فرآورده‌های کشاورزی، حاصلخیزی خاک و کیفیت آب‌های زیرزمینی از راه‌های گوناگون اثر می‌گذارند.

این عناصر به دلایل مختلف در زهاب های کشاورزی وجود دارند. مصرف کودها و سمّوم حاوی این عناصر (مانند کادمیوم در کودهای فسفره)، نزدیکی اراضی کشاورزی به مراکز شهری و صنعتی، تخلیه پساب‌های شهری و صنعتی آلوده به شبکه‌های زهکشی از مهم‌ترین دلایل وجود این عناصر در زهاب‌ها می‌باشند. مهم‌ترین این عناصر و فلزات شامل نیکل (Ni)، منگنز (Mn)، سرب (Pb)، کرم (Cr)، کادمیوم (Cd)، روی (Zn)، مس (Cu)، آهن (Fe)، نقره (Hg)، سلنیوم (Se) و برخی عناصر سمّی مانند آرسنیک (As)، بُر (B) و سدیم (Na) می‌باشند.

به منظور تصفیه زهاب‌های آلوده به فلزات سنگین و عناصر کمیاب، هرچند که روش‌هایی همچون اسمز معکوس پیشنهاد شده است، لیکن چنین روشی اولا در مراحل آغازین و آزمایشی خود قرار دارد، ثانیا بسیار پرهزینه بوده و ثالثا در سطوح بسیار محدود گلخانه‌ای کاربرد دارد. به همین دلیل باید روش‌های ارزان و قابل اجرا را به‌کار گرفت. یکی از این روش‌ها، استفاده از راکتور ستونی بیولوژیک است که آن هم به رغم ارزان‌تر بودن نسبت به روش معکوس، فقط در سطوح بسیار محدود و حجم‌های اندک زهاب کاربرد دارد.

دیگر روش‌های موجود جهت حذف این آلاینده‌ها عبارتند از: جداسازی و ته‌نشست شیمیایی، فرآیند جانشینی یونی، الکترولیز، فرآیند تبخیر، جذب سطحی، بستر ماسه‌ای سیال، نیزارهای طبیعی و مصنوعی و جذب بیولوژیک.

۵-۶- تصفیه توسط تالاب‌های مصنوعی

یکی از روش‌های کاهش هزینه‌های گزاف، تصفیه زهاب، استفاده از تالاب‌های مصنوعی است. در این تالاب‌ها، امکان کاشت گیاهانی مانند نی و علف‌های نمک‌دوست (هالوفیت[1]) وجود دارد. زهاب پس از عبور از این تالاب‌ها و در نتیجه‌ی زمان ماند هیدرولیکی نسبتا طولانی، مقدار قابل توجهی از آلاینده‌های خود را از دست می‌دهد. سپس، زهاب تصفیه شده وارد حوضچه‌های تبخیری می‌شود. به نظر می‌رسد تالاب‌های مصنوعی، ظرفیت مناسبی برای حفاظت از زیست‌بوم‌های آبی و ماهیان، هم در پایین‌دست و هم در حوضچه‌های بسته دارند.

رویش گیاهان آبزی همچون نی، نیلوفر آبی و علف‌های شوردوست در زهکش‌های روباز اصلی که برای انتقال و دفع زهاب ایجاد می‌شوند، شرایطی مانند تالاب را به وجود می‌آورند که در کاهش آلودگی‌های کشاورزی از جمله عناصر کودی، سمّوم کشاورزی و فلزات سنگین موثر می‌باشند. بسیاری از کشورها از جمله ایران از بیل‌های مکانیکی برای لایروبی کانال‌های خاکی به ویژه زهکش‌های روباز استفاده می‌کنند. هرچند این نوع لایروبی باعث کاهش بستر کانال و افزایش سرعت آب و در نتیجه کاهش تلفات نفوذ و نشت می شود، لیکن استفاده از ابزارهایی مانند بیل مکانیکی نه تنها شکل هندسی کانال را تغییر می‌دهد بلکه باعث بزرگ‌تر شدن مقطع کانال و ریشه‌کنی گیاهان می‌شود. امروزه، استفاده از دستگاه‌های جدید موور برای قطع گیاهان آبزی در حال گسترش است. ریشه گیاهان قطع نشده برای رشد و تولید مجدد زیست توده، عناصر غذایی بیش تری را جذب می کند که باعث افزایش کارآیی سیستم و تاثیر مستقیم بر کاهش آلودگی خواهد شد.

1-Halophyte

۵-۷- استفاده از مواد جاذب آلاینده‌ها (سورفاکتانت‌ها)

سورفاکتانت‌ها (مواد فعال سطحی یا مواد موثر) به عنوان عامل خیس کننده عمل کرده و کشش سطحی آب را کم می کنند. این مواد همچنین ذرات آلاینده و آب را به یکدیگر اتصال داده و شرایط مناسب‌تری را جهت حذف و جداکردن مواد آلوده و چربی‌ها از آب فراهم می‌آورند.

مواد پاک کننده یا شوینده امروزی (یا اصطلاحا دترجنت‌ها) به صورت سنتتیک و مصنوعی تولید شده و ممکن است از طریق صنایع و فعالیت های کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی وارد آب‌ها شوند. در نتیجه تخلیه فاضلاب‌های شهری به سیستم جمع‌آوری زهاب‌های کشاورزی نیز ممکن است مقادیری از شوینده‌های مصنوعی وارد زهاب‌ها شوند. حضور دترجنت‌ها و بخش‌های موثره آن‌ها در آب و فاضلاب (شامل سورفاکتانت‌ها، سازنده‌ها و ...) در فرآیند تصفیه آب و فاضلاب‌های شهری ایجاد اختلال می‌کند. در این شرایط عامل ایجاد کف در آب، سورفاکتانت پاک‌کننده‌ها می باشد. وجود کف در حوض‌های هوادهی در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب، میزان انتقال اکسیژن به آب و فاضلاب را به‌شدت تقلیل می‌دهد، به طوری که گاهی تقلیل راندمان تصفیه در اثر کف دترجنت‌ها به ۸۰ درصد می‌رسد. دترجنت‌ها قادرند عمل خودپالایی آب‌ها را به تاخیر انداخته و ضمن کاهش قدرت تصفیه طبیعی آب‌ها، موجب محدودیت‌هایی در کاهش و حذف مواد آلی شوند.

آلکیل سولفات‌ها نوعی از دترجنت‌ها (شوینده‌ها) هستند که سریعا توسط عوامل بیولوژیکی تجزیه می شوند، بنابراین در آب رودخانه حل شده و مصرف اکسیژن محلول را افزایش می‌دهند. غلظت‌های زیاد دترجنت‌ها در حدود۳۰ppm اثرات سویی بر سیستم تصفیه بیولوژیکی آب و فاضلاب دارد. همچنین دترجنت‌ها روی میزان هوادهی مجدد آب اثر می‌گذارند. وجود دترجنت‌ها میزان ته‌نشینی ذراتی که اندازه آن‌ها بیش از ۲۵ میکرون باشد را افزایش داده، ولی میزان ته‌نشینی ذرات کوچک‌تر را کاهش می دهد. وجود دترجنت‌ها در لجن هضم شده فاضلاب از ارزش کودی آن می‌کاهد، زیرا دترجنت‌های موجود در آن در تماس مستقیم با بذر و ریشه گیاهان قرار می‌گیرد.

۵-۸- ارزیابی و انتخاب راه کار مناسب برای تصفیه زهاب‌های کشاورزی

ارزیابی راه کارهای موجود جهت تصفیه زهاب‌های کشاورزی به منظور انتخاب روش مناسب آن، به عوامل متعددی بستگی دارد. از جمله این عوامل می‌توان به نوع آلاینده های موجود در زهاب، سطح قابل قبول آلاینده های موجود در زهاب تصفیه شده، نوع مصرف مورد انتظار از زهاب تصفیه شده و یا محل تخلیه آن، امکانات موجود جهت تصفیه زهاب در منطقه و ... اشاره نمود. همچنین شرایط منطقه از نظر نوع مصارف آب، منابع پذیرنده زهاب و آب تصفیه شده، شرایط آب زیرزمینی، و در صورت برنامه ریزی جهت استفاده های زراعی، کیفیت خاک منطقه، نوع گیاهان کشت شده و قابل کشت، میزان دسترسی به نهاده‌هایی نظیر انرژی، ارزش ذاتی آب در منطقه و ... نیز بر این امر موثرند. به هر حال و همان گونه که قبل تر نیز بیان شد، تصفیه زهاب فرآیندی هزینه‌بر و غیراقتصادی است و بیش تر جهت حذف آلاینده های ویژه نظیر فلزات سنگین از زهاب (در

واقع در موارد خاص) ضرورت یافته و برای تصفیه زهاب‌های کشاورزی در کشور که حجم قابل توجهی داشته و آلاینده‌های اصلی آن‌ها که شامل نمک، عوامل کودی و سموم کشاورزی است قابل توصیه نمی‌باشد.

به عنوان یک توصیه عمومی در شرایط ایران می‌توان به کنترل مصرف نهاده‌های کشاورزی و استفاده به‌جا و به میزان مناسب از آن‌ها به منظور کاهش آلاینده‌های موجود در زهاب از مبدا تولید اشاره نمود که به میزان قابل توجهی، مقادیر آلودگی موجود در زهاب را کاهش داده و نیاز به تصفیه زهاب را تا حد ممکن تقلیل می‌دهد. همچنین توصیه می گردد که از روش‌های دوست‌دار محیط زیست جهت تقلیل حجم زهاب تولیدی و کاهش آلودگی آن‌ها (نظیر زهکشی کنترل شده) و نیز از روش‌های طبیعی تصفیه زهاب (نظیر تالاب‌های مصنوعی) استفاده نمود.

۵-۹- دستورالعمل‌های لازم برای مدیریت و کاربرد زهاب‌های تصفیه شده

مدیریت کاربرد زهاب‌های تصفیه شده دقیقا به میزان تصفیه اعمال شده بر روی زهاب و کیفیت آب تصفیه شده تولیدی بستگی دارد. در صورت تصفیه زهاب و ارتقای شاخص های کیفی آن در حد آب‌های با کیفیت مناسب، مدیریت خاصی در استفاده از آن‌ها مطرح نخواهد بود. در غیر این صورت و در صورت اعمال سطوحی از تصفیه بر زهاب و جدا نمودن بخشی از آلاینده‌ها، این دستورالعمل‌ها در هر منطقه و بر اساس شرایط عمومی همان منطقه قابل استخراج و ارائه بوده، لیکن معمولا برخی توصیه‌های عمومی قابل ارائه و کاربرد می باشد. البته همان‌گونه که گفته شد، سطح ارتقای کیفی زهاب پس از تصفیه نیز بر تصمیم‌گیری در خصوص نحوه کاربرد زهاب تصفیه شده اثرگذار است.

در کل، با حذف آلاینده های خطرساز ویژه از زهاب در طی فرآیند تصفیه و با توجه به هزینه بالای صرف شده در تصفیه زهاب، قیمت آب تصفیه شده بالا رفته و بهتر است این آب به مصارفی رسانیده شود که توجیه اقتصادی بالاتری داشته باشد. در صورت استفاده از روش‌های نوین تصفیه نظیر اسمز معکوس (RO) که موجب حذف قابل توجه انواع عوامل آلاینده موجود در زهای می‌شود، کاربرد آب تصفیه شده در مواردی همچون تولید محصولات با ارزش اقتصادی بالا در خارج از فصل کشت و در محیط‌های کنترل شده‌ای نظیر گلخانه، شاید یکی از موارد قابل توجه در این خصوص باشد. در صورت عدم امکان ایجاد زمینه‌های لازم برای تولید در چنین شرایطی، ناگزیر زهاب تصفیه شده را می‌توان به مصارف کشاورزی رایج رسانیده و یا در تقویت منابع آب موجود از طریق تخلیه مستقیم و نیز تغذیه مصنوعی (جهت تقویت سفره‌های آب زیرزمینی) و یا در فعالیت هایی همچون پرورش آبزیان به مصرف رساند. حتی تخلیه این نوع آب‌ها به دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی با مصارف تفریحی و گردش‌گری نیز امکان‌پذیر است.

در صورت اعمال تصفیه انتخابی بر روی زهاب و باقی ماندن برخی از آلاینده های معمول در آن (نظیر عناصر کودی و برخی سموم)، استفاده از زهاب در کشاورزی به منظور بهره‌گیری از قدرت تصفیه طبیعی و فرآیند خودپالایی خاک می‌تواند به عنوان گزینه‌ای دیگر مدنظر قرار گیرد. از طرفی در زمان تخلیه هر نوع آب دارای آلاینده به منابع آب پذیرنده، لازم است به میزان اثرگذاری آن بر کیفیت منبع آب و قدرت ترقیق آن نیز توجه نمود، زیرا بهترین شرایط آن است که حداقل تاثیرپذیری منبع آبی پذیرنده از حداکثر مقدار آب تخلیه شده حادث شود.

فصل ۶

راهکارهای مدیریتی برای اصلاح کیفیت زهاب‌ها

۶-۱- کلیات

کیفیت زهاب‌های خروجی را می‌توان با اعمال برخی مدیریت‌ها در سطح مزرعه به اندازه‌ی قابل قبولی بهبود بخشید. در این فصل اعمال مدیریتی که در نهایت منجر به کاهش بار آلودگی موجود در زهاب‌های کشاورزی می‌شوند، مورد بحث قرار گرفته‌اند. این مدیریت‌ها شامل مدیریت آب آبیاری در مزرعه، مدیریت زهکشی، مدیریت مصرف کود و سمّوم شیمیایی و برخی عملیات خاک‌ورزی می‌باشند. مناسب‌ترین، ارزان‌ترین و عملی‌ترین راه برای کاهش بار آلودگی خروجی از زهکش‌های کشاورزی، مدیریت آب و مواد شیمیایی در مزارع است. در این فصل چگونگی مدیریت آبیاری و زهکشی به منظور اصلاح کیفیت زهاب‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد. همچنین چگونگی مصرف کود و سمّوم شیمیایی و برخی اقدامات همچون مدیریت شخم و خاک‌ورزی بررسی می‌گردد. چگونگی استفاده از فیلترهای چمنی و پوشش‌های طبیعی به عنوان یکی دیگر از راهکارهای مدیریتی جهت اصلاح کیفی زهاب‌های کشاورزی نیز مورد بحث قرار می‌گیرد.

۶-۲- مقدمه

کیفیت زهاب‌های تولید شده از اراضی فاریاب اعم از زهاب‌های سطحی و زیرزمینی به‌طور معمول در مقایسه با منبع آب اصلی از کیفیت پایین‌تری برخوردارند. زهابی که از سطح و یا داخل خاک رد می‌شود، در مسیر خود انواع مواد محلول یا معلق از قبیل املاح و مواد آلی و ذرات خاک را برداشت و با خود حمل می‌کند. مواد موجود در زهاب‌های سطحی و زیرزمینی به طور بالقوه به عنوان آلاینده مطرح می‌باشند. این مواد آلاینده ممکن است عمدا به آب آبیاری اضافه شده یا در اثر عملیات آبیاری یا زهکشی جابه‌جا شده و یا بر اثر تبخیر و تعرق در آب تجمع یافته باشند.

به دلیل گسترده بودن آلاینده‌های کشاورزی، مهار آن‌ها چندان آسان نیست و تنها از راه مدیریت و آموزش می‌توان آن را کنترل کرد. آموزش همگانی، تدوین قوانین و استانداردهای زیست محیطی و پرداخت جریمه توسط عامل آلوده کننده از راهکارهای کاهش آلودگی بخش کشاورزی می‌باشند. مدیریت کیفی زهاب مستلزم آگاهی از ویژگی‌های زهاب و تطبیق آن با منابع تخلیه کننده می‌باشد. مدیریت تخلیه زهاب در سیستم‌های باز مانند رودخانه‌ها که برنامه‌ریزی کیفی آن بر پایه‌ی تخلیه پساب‌های مختلف و بهره‌گیری از اثرات هوادهی و تلاطم جریان در طول مسیر می‌باشد، باید بر اساس غلظت تخلیه زهاب باشد. بنابراین، راهکارهایی مدیریتی مبتنی بر «کاهش غلظت زهاب» باید مدنظر باشد. بر عکس، در سیستم‌های بسته مانند دریاچه و آبگیرها که برای افزایش دوره‌ی حیات آن‌ها باید بار آلودگی کم‌تری وارد آن‌ها شود، راهکارهای مدیریتی باید مبتنی بر «کاهش بار آلودگی» باشد.

مدیریت نهاده‌های کشاورزی شامل مدیریت آبیاری، مصرف کود، مصرف سم، شخم، خاک‌ورزی، کشت پیاپی و مدیریت فاصله‌ی زمانی بین دو کشت، استفاده از فیلترهای چمنی و حوضچه‌های تله‌اندازی رسوبات از جمله راهکارهای مدیریتی بهبود کیفیت زهاب‌های کشاورزی می‌باشند. دستیابی به مدیریت بهینه مستلزم رفتارسنجی سیستم می‌باشد به گونه‌ای که با استفاده از ابزارهای سریع سنجش کمّی و کیفی زهاب و براساس داده‌های روز به برنامه‌ریزی و مدیریت

واقعی پرداخت. همچنین می‌توان با استفاده از داده‌های پایش و با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز به برنامه‌ریزی بلندمدت پرداخت. مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی در این خصوص به اختصار در دنباله‌ی این مبحث ارائه شده است.

۶-۳- مدیریت آبیاری

به دلیل ماهیت متفاوت انتقال مواد شیمیایی در سطح و عمق خاک، غلظت آلاینده‌ها در رواناب همواره بیش‌تر از مقداری است که به اعماق خاک نفوذ می‌کند. بنابراین، هدف از اعمال این مدیریت کاهش آلودگی‌های نامتمرکز از طریق رواناب سطحی حاصل از آبیاری است. در این رابطه غلظت مساله‌ساز، غلظتی از آلاینده است که موجب ایجاد خطرات قابل توجه به حیات گیاهان و موجودات آبزی، سلامت زیست‌بوم، سلامت انسان و یا موجب به خطر افتادن امکان استفاده از آب در بخش‌های کشاورزی و صنعتی شود. حد مجاز غلظت هر یک از آلاینده‌ها برای مصارف مختلف قبلا در فصل ۲ ارائه شده است.

به‌طور کلی، جریانات پایاب، رواناب‌ها و یا زهاب‌های کشاورزی ممکن است آلودگی‌های متفاوت زیر را در بر داشته باشند:

- رسوبات معدنی و یا مواد آلی جامد
- مواد شیمیایی یا فلزات سنگین مانند آفت‌کش‌ها و عناصر سنگین
- عناصر غذایی همچون نیتروژن، فسفر و پتاسیم
- باکتری‌ها، ویروس‌ها و دیگر میکروارگانیسم‌ها

طراحی درست سیستم‌های آبیاری براساس ویژگی خاک، گیاه، آب آبیاری، اقلیم و دیگر اجزای سیستم همچون رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاه، نفوذپذیری خاک و شاخص‌های فیزیکی سیستم آبیاری، باعث افزایش راندمان آب آبیاری و کاهش تلفات آب به صورت رواناب و نفوذعمقی می‌شود. استفاده از داده‌های زمانی واقعی[1] مزرعه باعث افزایش دقت تعیین مقدار آب و زمان آبیاری و موجب بهبود شرایط آبیاری می‌شود. کاهش تلفات رواناب به ویژه به هنگام تزریق کود نیز می‌تواند بر کمّیت و کیفیت آلاینده خروجی موثر باشد. استفاده از روش‌های مدیریتی کاهش حجم رواناب مانند آبیاری موجی، آبیاری تحت رژیم کاهش جریان و آبیاری یک در میان جویچه‌ها از جمله سازو کارهای مدیریتی کارآمد در این زمینه می باشند. همچنین تعیین و تنظیم شدت، مقدار و زمان آبیاری باعث کاهش فرسایش خاک به‌وسیله ی رواناب و در نتیجه کاهش جابجایی کود و مواد شیمیایی از طریق رواناب سطحی می‌شود. کشت گیاهان متناسب با کیفیت پایاب در پایین‌دست نیز افزون بر افزایش کارایی مصرف آب، باعث کاهش آلودگی و بهبود کیفیت رواناب می‌شود.

1- Real Time Data

۶-۴- مدیریت زهکشی

عمل زهکشی از طریق بهبود ساختمان خاک، باعث افزایش نفوذعمقی و کاهش رواناب می شود. کاهش رواناب باعث کاهش رسوبات به میزان ۳۰ تا ۶۰ درصد در آب‌های سطحی می شود. بدین ترتیب، آلاینده هایی که به همراه رسوبات منتقل می‌شوند، کاهش می‌یابند. مثلا انتقال فسفر در حضور زهکش به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. مدیریت زهکش به روش زهکش کنترل شده با کاهش حجم زهاب و ایجاد شرایط نیترات‌زدایی باعث کاهش آب‌شویی نیترات و در نتیجه کاهش غلظت آن در زهاب زهکش می‌شود. عمق، فاصله و نوع زهکشی از جمله عوامل موثر بر کمّیت و کیفیت زهاب می‌باشند.

۶-۵- مدیریت مصرف کود

کود مصرفی توسط کشاورزان، معمولا بیش تر از نیاز گیاه است. این امر موجب اتلاف کود و عوارض منفی زیست محیطی می‌شود. تعیین نیاز واقعی کود باید بر پایه‌ی نیاز گیاه، عملکرد مورد انتظار محصول، تجزیه‌ی خاک و آب آبیاری صورت گیرد. استفاده از روش کلریمتری برای اندازه گیری مقدار عناصر موجود در گیاه و تعیین نیاز واقعی گیاه به عناصر غذایی می‌تواند به تعیین کود مورد نیاز کمک کند. هم‌چنین واسنجی ابزارهای تزریق کود در هنگام استفاده، می‌تواند به پخش دقیق تر کود و در نتیجه کاهش خروج عناصر غذایی مازاد منجر گردد. مقدار کود مورد استفاده، مرحله ی رشد گیاه، زمان و مقدار آبیاری، عملیات زهکشی و نوع کود مورد استفاده از عوامل موثر بر غلظت عناصر غذایی در رواناب و نفوذعمقی می‌باشند.

کاربرد کود به دو روش پخش جامد و کود- آبیاری، بسته به عنصر مورد استفاده، اثرات متفاوتی بر غلظت مواد غذایی موجود در رواناب و نفوذعمقی دارد. مثلا با مصرف کودهای نیتراتی، میزان نفوذعمقی نیترات در روش کودآبیاری بیش‌تر از روش پخش جامد است. لیکن کود آبیاری نسبت به پخش جامد دارای برتری‌هایی همچون مکانیزاسیون، سهولت کاربرد و توزیع یکنواخت‌تر و کاراتر می باشد که در صورت طراحی و مدیریت صحیح می‌تواند تاثیر به‌سزایی بر کاهش غلظت و بار آلودگی خروجی از مزرعه داشته باشد. مدیریت کود- آبیاری بسته به شرایط متفاوت اقلیمی، خاک، گیاه و عنصر غذایی، متفاوت است. زمان و مدت تزریق کود از جمله عوامل موثر بر کیفیت رواناب و نفوذعمقی می‌باشند که به پارامترهای طراحی آبیاری، شدت نفوذ، نوع خاک، شخم و سله خاک بستگی دارند. زمان تزریق می‌تواند طی چهار مدیریت متفاوت نیمه اول، نیمه دوم، کل مدت و یک سوم میانی انجام شود. همچنین، کود را می توان به صورت پالسی یا پیوسته تزریق نمود. مطالعات نشان داده است که هر چه زمان تزریق کود دیرتر از زمان آبیاری صورت گیرد نتایج بهتری برای کاهش خروج آلاینده حاصل می‌شود. این مدت زمان به شیب اراضی بستگی دارد (Playan and Faci, 1997). همچنین، مطالعات نشان داده است که در جویچه‌های ته‌باز، کودآبیاری در ۵۰ درصد میانی دارای نتایج مناسب‌تری برای کاهش غلظت نیترات در رواناب و نفوذعمقی

می‌باشد (Santos et al., 1997). عباسی و همکاران (2003) بیان کردند که کودآبیاری در نیمه دوم، باعث افـزایش یکنـواختی توزیع کود می‌گردد.

عدم کاربرد نیتروژن زیاد در فصل پاییز و در دوره‌ی جوانه‌زنی، کاربرد کود آمونیومی در زیر خاک بـه منظـور کـاهش تصعید، عدم کاربرد کود حیوانی در اراضی شیب‌دار برای جلوگیری از تلفات کود به همراه روانـاب، عـدم اسـتفاده از فـرم نیتراتی در مقادیر بالای آب‌شویی و جایگزینی فرم آمونیومی در این شرایط از جمله راهکارهای مـوثر بـر کـاهش تلفـات عناصر غذایی و بهبود کیفیت رواناب و زهاب‌ها می‌باشند (Bauder et al., 2006).

۶-۶- مدیریت مصرف سمّوم شیمیایی

فرآیندهای حاکم بر انتقال آفت‌کش‌ها بسیار پیچیده است، به همین دلیل، مدیریت آن دشوار می‌باشـد. روانـاب‌هـای سطحی معمولا دارای مقادیر زیادتری سمّوم نسـبت بـه زهـاب خروجـی از زهکـش‌هـای زیرزمینـی هسـتند. کاسـتن از رواناب‌های سطحی از طریق بهبود زهکشی باعث کم شدن مقدار دفع این آلاینده‌ها می‌شود. وجود آفت‌کش‌ها در زهاب و رواناب غالبا تحت تاثیر روش‌های زراعی می‌باشد. بنابراین هر گونه اصلاح در عملیات زراعی مـی‌توانـد تـاثیر بسـزایی بـر کاهش خروج سمّوم داشته باشد. برای مثال، مدیریت در میزان مصرف سـم، نحـوه کـاربرد و زمـان مصـرف آن از جملـه عملیاتی است که باعث کاهش خروج سمّوم از مزرعه می‌شوند. وجود بقایای گیاهی در سـطح خـاک، ارتبـاط بـین مـواد شیمیایی پاشیده شده و خاک را قطع می‌کند و از انجام واکنش‌های آن با خاک می‌کاهد. این امر باعـث تلفـات سـمّوم و افزایش غلظت آن در رواناب‌های سطحی می‌شود.

۶-۷- مدیریت شخم

هر چند شخم زدن با افزایش نفوذپذیری خاک باعث کاهش رواناب و جابجایی آلاینده‌ها به همراه روانـاب مـی‌گـردد، لیکن موجب افزایش رسوبات و انتقال آلاینده‌های جذب شده توسط ذرات خاک فرسایش یافته می‌شود. کنترل فرسایش و انتقال رسوبات به ویژه در خاک‌های ریز دانه و شیب دار از اهمیت ویژه‌ای برخـوردار اسـت. انتخـاب ابزارهـای متفـاوت خاک‌ورز مانند بیلچه، چیزل و غیره، بسته به شرایط خاک و عملیات خاک‌ورزی، می‌تواند در کاهش رسوبات بسیار مـوثر باشد. حوضچه‌های تله‌انداز رسوبات در انتهای اراضی زراعی برای کاهش حجم رواناب و خروج رسوبات از دیگر راهکارهای مدیریتی کاهش انتقال رسوبات است.

۶-۸- فیلترهای چمنی و پوشش‌های طبیعی

ایجاد نواری از پوشش گیاهی که اصطلاحا به آن فیلتر چمنی گویند، در پایین‌دست اراضی تحت کشت بـرای کنتـرل فرسایش، کاهش و یا حذف ورود آلودگی به منابع آب موثر است. این روش بهترین اقدام بـرای کـاهش حجـم رسـوب از

جریانات سطحی است. فیلترهای چمنی با کاهش سرعت رواناب و افزایش تله انـدازی رسـوبات، کـاهش کمّیـت و بهبـود کیفیت جریانات زیرسطحی و بهبود ساختمان خاک، افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب بر کاهش غلظـت آلاینـده هـای خروجی از مزرعه تاثیر دارند. عرض فیلترهای چمنی از نکات مهم در طراحی این نوارهای گیـاهی اسـت بـه طـوری کـه کمّیت و کیفیت رواناب و زهاب خروجی به طراحی مناسب آن بستگی دارد.

همچنین پوشش طبیعی گیاهان در زهکش‌های اصلی روباز و کناره‌های رودخانه‌ها نقش مهمی در کاهش آلاینده‌ها از جمله، نیترات، فسفر و عناصر سنگین خروجی از مزارع دارند. در سال‌های اخیـر، هـرس گیاهـان آبـزی بـا ماشـین‌هـای مخصوص موور، به منظور رشد مجدد آن‌ها، به جای لایروبی سنتی که منجر به ریشه‌کنی گیاهان می‌شود، متداول است.

۶-۹- مدیریت خاک‌ورزی

طبق تعریف، کیفیت خاک[1] عبارت از سلامت خاک و مقاومت خاک در برابر فرسایش و فشـردگی بـا حفـظ حاصـلخیزی اقتصادی آن می‌باشد. شاخص‌های متعددی در سلامت خاک موثر می‌باشند و یک خاک سالم باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- ساختمان مناسب، مقاوم در برابر سله‌بندی و دارای حداقل تراکم‌پذیری
- مواد آلی زیاد
- بوی خوب
- قابلیت تجزیه‌ی بقایای گیاهی
- قابلیت زهکشی و ظرفیت نگهداری آب مناسب
- قابلیت جوانه‌زنی و رشد مناسب ریشه گیاه
- قابلیت رشد گیاه یکنواخت
- غلظت مطلوب مواد غذایی، pH و مواد آلی
- حداقل پتانسیل آسیب‌پذیری ناشی از فرسایش آب، باد یا شخم و قابلیت مقاومت در مقابل آن

راهکارهای مدیریتی لازم برای حفظ و بهبود شاخص‌های مختلف کیفیت خاک در جدول (۶-۱) ارائه شده است:

1- Soil Quality

جدول ۶-۱- حفظ و بهبود کیفیت خاک

شاخص	ملاحظات ساده/ کم‌هزینه
پوشش گیاهی[1]	پوشش گیاهی با سیستم ریشه دوانی پر (Fibrous) باعث بهبود ساختمان خاک می‌شود. پوشش گیاهی با ریشه‌های سطحی (Tap roots) قابلیت نفوذ به لایه‌های متراکم را دارد. پوشش گیاهی می‌تواند زمینه حفاظت در مقابل فرسایش خاک را فراهم کند.
آزمایش خاک و مصرف کود	حاصلخیزی و pH مناسب باعث رشد بهتر گیاه خواهد شد.
کاهش شخم و استفاده از مدیریت بقایای گیاهی	تعداد شخم کم‌تر برای آماده‌سازی بستر کشت باعث: حفظ بیش‌تر بقایای گیاهی در سطح خاک جهت حفاظت در مقابل فرسایش است. کاهش تلفات مواد آلی خاک است. حفظ خاکدانه و کاهش سله‌بندی بالقوه خاک است.
مهار فرسایش	اقدامات ساده‌ای از قبیل حفظ نوار کشت حائل Bufferstrip، سازه‌های شیب شکن حفاظت از محل خروجی زهاب و کشت نواری در جهت کاهش فرسایش خاک بسیار موثر است.
	تغییرات مدیریت و سرمایه‌گذاری لازم
حداقل شخم	تغییرات نحوه شخم که موجب باقی ماندن بقایای گیاهی در سطح زمین شود متضمن حفاظت خاک و بهبود ساختمان خاک خواهد بود ولی مستلزم تغییرات سرمایه‌گذاری و مدیریتی است.
بدون شخم	اعمال سیستم بدون شخم حداکثر حفاظت در مقابل فرسایش بادی و آبی را دربرخواهد داشت. سرمایه گذاری در تجهیزات جدید و یا اصلاح شده مستلزم تغییرات مدیریتی قابل توجهی است.
تناوب کشت	اعمال درازمدت یک تناوب کشت شامل کشت غلات بقولات و مرتع باعث بهبود ساختمان خاک و بهبود ظرفیت نگهداری آب شده و فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد.
کشت درختان بادشکن[2]	عوارض مثبت ناشی از ایجاد درختان در مقابل بادشکن حفاظت خاک را در طی چندسال اول شروع و منافع آن تا یک عمر دوام دارد.
بهبود زهکشی	زهکشی آب مازاد را تخلیه کرده و طول دوره عملیات کشاورزی را افزایش داده، زمینه تراکم خاک را کاهش داده و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد.
افزودن مواد آلی	افزودن مواد آلی به صورت کودهای حیوانی و مواد جامد زیستی[3] به خاک موجب افزایش درصد مواد آلی خاک شده، ساختمان خاک را بهبود بخشیده، ظرفیت نگهداری آب را افزایش داده و فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد.
سازه‌های کنترل فرسایش	ساخت سازه‌های کنترل فرسایش مانند حوضچه‌های کنترل آب و رسوب، مقاومت اراضی را در برابر تلفات خاک افزایش می‌دهد.

1- Wind Breaks
2- Wind Breaks
3- Biosolids

فصل ۷

برخی مطالعات موردی در زمینه‌ی کاربرد زهاب‌های کشاورزی

۷-۱- کلیات

در این فصل برخی مطالعات موردی در زمینه‌ی کاربرد زهاب‌های کشاورزی معرفی و بحث شده است. هر چند که در کشور ما مطالعات مدوّنی در این زمینه وجود ندارد، لیکن اطلاعات موجود در حوضه ی کارون بزرگ جمع آوری و گزارش شده است. در ارتباط با تجربیات موجود در زمینه استفاده از زهاب‌های کشاورزی در کشورهای دیگر نیز تجارب کشورهایی ارائه می‌شود که شباهت بیش‌تری به شرایط ایران دارند. این تجارب مربوط به حوضه‌ی دریاچه‌ی آرال، دلتای نیل در مصر، شمال غرب هند و کشور پاکستان می‌باشند.

۷-۲- مقدمه

تجارت کشورهای مختلف نشان می‌دهد که حجم بزرگی از کل زهاب‌های تولید شده در اراضی کشاورزی را می‌توان یا به صورت مستقیم و یا پس از اختلاط با آب‌های خوش کیفیت برای آبیاری اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار داد. بخش دیگری از این آب‌ها را نیز می‌توان بسته به کیفیتی که دارند، برای اهداف غیرکشاورزی مانند تفریحگاه‌ها، استخرهای پرورش ماهی و یا تفرجگاه‌ها به‌کار گرفت. بررسی‌های انجام شده بر روی پروژه‌هایی که در عمل تحقق یافته‌اند حاکی از آن است که در کشورهایی نظیر مصر که به لحاظ اقلیمی و نوع کشاورزی شباهت بیش‌تری به شرایط حاکم بر کشاورزی ایران دارند، استفاده‌ی مجدد از زهاب‌ها برای آبیاری راهکاری مناسب برای کاهش حجم زهاب‌ها و مشکلات ناشی از آن می‌باشد. وجه اشتراک همه‌ی این مطالعات آن است که استفاده از زهاب‌ها برای آبیاری فرآورده‌های کشاورزی امری کاملا تخصصی بوده و باید به صورتی علمی هم طراحی و هم اجرا شود. در این فصل ضمن مرور تجارب برخی کشورها در زمینه‌ی استفاده از زهاب‌ها، اندک اطلاعات موجود مربوط به کشورمان نیز مورد بررسی قرار گرفته و چگونگی کاربرد چنین آب‌هایی مورد بحث قرار گرفته است.

متاسفانه تاکنون هیچ گونه مطالعه‌ی جامعی در زمینه استفاده از زهاب‌های کشاورزی در ایران انجام نشده است. تنها گزارش موجود، گزارش برآورد حجم آب‌های برگشتی در کشور است که توسط شرکت مهندسین مشاور یکم تهیه شده است. اخیرا نیز سازمان آب منطقه‌ای خوزستان طی قراردادی با یکی از شرکت‌های مهندسی مشاور اقدام به تهیه مدل کمّی و کیفی زهاب در طرح‌های آبیاری و زهکشی غرب کارون و کرخه کرده تا تخمینی از حجم و کیفیت زهاب‌های تولیدی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مناطق مورد نظر ارائه دهند. لازم به ذکر است که در برخی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی، کشاورزان خود اقدام به استفاده از آب‌های برگشتی برای آبیاری اراضی پایین‌دست شبکه کرده‌اند، لیکن هیچ گونه گزارش مستندی از این نوع کاربری‌ها در دست نیست. از این‌رو در این بخش به طور مختصر، تجربیات و مطالعات انجام شده در حوضه دریاچه آرال و سه کشور هند، پاکستان و مصر که از نظر شرایط اقلیمی، آب و خاک دارای شرایطی نسبتا مشابه با ایران هستند، ارائه می‌شود. همچنین، چکیده‌ای از تجربیات و مطالعات انجام شده برای دفع و استفاده از زهاب‌ها در استان خوزستان ارائه شده است.

۷-۳- حوضه کارون بزرگ

۷-۳-۱- حجم آب برگشتی در حوضه‌ی کارون

وسعت کل اراضی کشاورزی در حوضه کارون بزرگ بالغ بر ۱۰۲۶۳۹۰ هکتار بوده که حدود ۶۵ درصد آن مربوط به اراضی آبی می باشد. کل آب آبیاری مصرفی در بخش کشاورزی در این حوضه سالانه معادل ۹۲۵۷ میلیون مترمکعب بوده که ۱۳ درصد از کل آبیاری کشاورزی در سطح کشور را تشکیل می‌دهد. بیش‌ترین آب مصرفی در بخش کشاورزی با توجه به وسعت اراضی آبی، تنوع کشت و نوع اقلیم حاکم در مناطق ابتدا به دشت‌های دزفول، اندیمشک، شوشتر و جنوب اهواز و در مرحله بعد به دشت‌های شمال اهواز، شعیبیه، بروجرد و الیگودرز اختصاص دارد.

حجم آب برگشتی بخش کشاورزی در سطح حوزه کارون بزرگ معادل ۳۳۳۸ میلیون مترمکعب در سال بوده که به ترتیب به اندازه‌ی ۲۷۲۱ و ۶۱۷ میلیون مترمکعب به منابع سطحی و زیرزمینی تخلیه می‌گردد. بیش‌ترین مقدار تخلیه آب برگشتی کشاورزی به منابع سطحی مربوط به دشت های دزفول- اندیمشک، جنوب اهواز، شوشتر و شمال اهواز و شعیبیه بوده و بیش‌ترین مقدار تخلیه به منابع زیرزمینی نیز مربوط به دشت‌های دزفول- اندیمشک، شوشتر و جنوب اهواز می‌باشد.

کیفیت آب‌های برگشتی از نظر شوری در دشت‌های بروجرد و الیگودرز، دزفول- اندیمشک، شوشتر و شمال اهواز نسبتا خوب و غلظت املاح در آن‌ها کم‌تر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بنابراین برگشت چنین زهابی به رودخانه‌ها و استفاده از اختلاط تولیدی برای آبیاری اراضی پایین‌دست مشکلی به‌وجود نخواهد آورد. غلظت املاح در آب‌های برگشتی شبکه‌های آبیاری طرح توسعه نیشکر در جنوب اهواز (واحدهای میرزا کوچک‌خان و امیرکبیر) از dS/m ۵۰ (در زمان شروع بهره‌برداری و آب‌شویی اولیه) تا dS/m ۱۰ (پس از گذشت ۱۰ سال) متغیر بوده است و تا رسیدن به حالت تعادل، این تغییرات ادامه خواهد داشت. مسلما استفاده از آب‌های برگشتی با شوری بالا باید با احتیاط و مدیریت همراه باشد.

در ادامه، شبکه آبیاری و زهکشی شاوور به عنوان یک طرح موفق در استفاده از آب‌های برگشتی و طرح ۲۰ هکتاری اکالیپتوس در جنوب اهواز به عنوان یک طرح ناموفق معرفی خواهند شد.

شبکه آبیاری و زهکشی شاوور در شمال استان خوزستان از سال ۱۳۴۷ شروع به بهره‌برداری کرد. وسعت ناخالص شبکه ۵۰۰۰ هکتار و سطح خالص آن ۴۴۱۰ هکتار می باشد. آب این شبکه به وسیله دو سد انحرافی از رود شاوور تامین می‌شود. رود شاوور از مناطق کوهپایه بین رودخانه‌های دز و کرخه سرچشمه گرفته و به سمت جنوب جریان دارد و عموما حالت زهکشی آب زیرزمینی را دارد که از مخروط‌افکنه رودخانه دز تغذیه می‌شود. همچنین مازاد انهار آبیاری منشعب از دز نیز به آن می‌پیوندد. طول این رود حدود ۹۰ کیلومتر و شیب بستر آن کم و کناره‌های آن حالت باتلاقی دارد. متوسط بده این رودخانه ۱۷/۲ مترمکعب برثانیه است. همان‌گونه که گفته شد از آب رودخانه شاوور برای آبیاری اراضی استفاده شده و مازاد آن در اراضی کم شیب پایاب از طریق تبخیر تلف می گردد. ضمنا بخشی از آب آن در مواقع پرآبی به رودخانه دز سرریز می‌کند. کیفیت آب این رودخانه با وجودی که به عنوان زهکش منطقه عمل می‌کند مناسب بوده و غلظت املاح آن کم‌تر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

طرح کاشت نهال اکالپیتوس در ۲۰ هکتار اراضی جنوب اهواز به منظور استفاده از آب‌های برگشتی واحد امیرکبیر (یکی از واحدهای هفتگانه طرح توسعه نیشکر) در سال ۱۳۷۷، تقریبا همزمان با شروع بهره‌برداری از واحد میرزاکوچک خان، شروع شد ولی زمان کوتاهی پس از بهره‌برداری، این طرح بنا به دلایل زیر با شکست روبرو شد:

۱- حد تحمل گیاه اکالیپتوس به شوری در مرحله رشد کامل حدود ۱۸ تا ۲۰ dS/m می باشد. این حد برای نهال اکالیپتوس کم‌تر نیز می‌باشد. همان‌گونه که در بالا اشاره شد، شوری زهاب‌های تولیدی در واحدهای جنوبی در شروع بهره‌برداری بالا و بسیار بیش‌تر از حد تحمل نهال اکالیپتوس بود.

۲- طرح ۲۰ هکتاری اکالیپتوس فاقد زهکش بود. در چنین شرایطی حتی اگر از آب‌های برگشتی با غلظت کم‌تر از واحد آستانه گیاه استفاده شود، به دلیل نبود زهکشی، تجمع املاح در محیط ریشه امری بدیهی خواهد بود.

بنابراین درصورتی‌که محدودیت‌های فوق برطرف شود، کاشت اکالیپتوس و استفاده از زهاب‌های نه چندان شور می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی استفاده مجدد از زهاب‌های کشاورزی مطرح باشد.

۷-۳-۲- تعیین سطح مورد نیاز حوضچه‌های تبخیری برای کنترل زهاب‌های شور در جنوب استان خوزستان

زهاب‌های تولید شده در پروژه های آبیاری و زهکشی جنوب استان خوزستان با مشکل شوری همراه بوده و تخلیه آن ها به منابع آب پذیرنده همچون رودخانه کارون با محدودیت هایی روبرو است. یکی از راهکارهای دفع زهاب، استفاده از حوضچه‌های تبخیری است. مهم‌ترین مولفه جریان خروجی این حوضچه‌ها، تبخیر است. تبخیر از این حوضچه‌ها با توجه به شوری بالای زهاب، کم‌تر از آب خالص است. با تبخیر از آب درون حوضچه‌ها، شوری آب درون حوضچه‌ها افزایش می‌یابد. افزایش شوری تا حد اشباع نمک در آب ادامه می‌یابد و پس از آن نمک‌ها رسوب می‌کنند. نمک غالب زهاب‌ها در خوزستان NaCl است و مقدار اشباع این نمک در آب در حدود ۳۰۰ گرم در لیتر می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده که میانگین تبخیر سالانه از آب با شوری ۳۰۰ گرم بر لیتر برابر با ۱۹۰۳ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین با توجه به حجم زهاب‌های تولیدی در واحد میرزا کوچک‌خان که دارای سطحی برابر با ۱۲۰۰۰ هکتار است به حوضچه‌هایی به وسعت ۷۷۴۰ هکتار نیاز می‌باشد. دفع زهاب‌های تولیدی در واحدهای تولید نیشکر خوزستان تنها به صورت حوضچه‌های تبخیری امکان‌پذیر نبوده و باید اقداماتی در جهت کاهش حجم زهاب‌های تولیدی و تقلیل شوری صورت گیرد.

۷-۴- مدیریت زهاب‌ها در حوضه دریاچه آرال

حوضه آبریز آرال به وسعت ۱۵۴/۹ میلیون هکتار در آسیای مرکزی قرار دارد. مساحت اراضی فاریاب حوضه در سال ۱۹۹۹ بالغ بر ۷/۹ میلیون هکتار بوده است. محصولات اصلی که با استفاده از آب آبیاری تولید می‌شوند شامل پنبه، برنج، گندم، ذرت و گیاهان علوفه‌ای است.

منابع آبی موجود در این منطقه، شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی تجدیدشونده و آب برگشتی حاصل از زهاب‌های کشاورزی است. مقدار آب مصرفی در حوضه دریاچه آرال براساس مقدار آب موجود بین ۱۱۰۰۰۰ تا ۱۷۰۰۰۰ میلیون

مترمکعب در سال در نوسان است. به‌طورکلی، نزدیک به ۹۵ درصد آب برگشتی مجددا برای آبیاری مصرف می‌شود. توسعه سریع طرح های بزرگ کشاورزی در این منطقه باعث شده تا دریاچه آرال به آرامی خشک شود و اثرات منفی شدیدی بر محیط زیست، سلامت و اقتصاد منطقه بگذارد.

از دیگر سو، کارآیی پایین آبیاری موجب بالا آمدن سطح ایستابی و شوری ثانویه خاک شده به‌گونه‌ای که نزدیک به نصف اراضی فاریاب شور شده‌اند. حدود ۳۰ درصد اراضی فاریاب، افزون بر شوری، با بالا آمدن سطح ایستابی که مشکل اساسی برای تولید محصولات کشاورزی به شمار می رود، روبرو شده‌اند. به منظور برون رفت از این مشکلات، هم اکنون شبکه‌ای از زهکش‌های جمع‌کننده در سطح ۴/۴۵ میلیون هکتار احداث شده است. مساحتی بالغ بر ۱/۸ میلیون هکتار از این اراضی به زهکش‌های موازی و قائم تجهیز شده است. دفع زهاب‌های این اراضی مشکلات فراوانی را از نظر کیفیت آب برای مناطق پایین‌دست به وجود آورده است. نزدیک به ۹۲ درصد جریان برگشتی مربوط به زهاب‌های کشاورزی است. بیش‌تر این آب که حجم آن به ۲۰۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد، به رودخانه برمی‌گردد و حدود ۱۵۰۰۰ میلیون مترمکعب دیگر به کویر منحرف می‌شود. روی هم رفته، سالانه حدود ۱۳۷ میلیون تن نمک به همراه زهاب تخلیه می‌شود.

برای کاهش مصرف آب آبیاری، چندین راهکار در این حوضه به‌کار گرفته شده است که از میان آن‌ها به کشت گندم به جای پنبه می‌توان اشاره کرد. زیرا گندم در مقایسه با پنبه به آب کم‌تری نیاز دارد. پژوهش‌های انجام شده در این منطقه نشان داده است که با تسطیح نشتی‌ها و تغییر زمان و عمق مناسب آب آبیاری می توان راندمان کاربرد آب را افزایش داد. افزایش تعداد دفعات آبیاری، همراه با کاهش عمق آبیاری، موجب افزایش کارآیی آبیاری شده است. به هر حال، نباید فراموش کرد که این پژوهش‌ها تغییرات چندانی در عملیات آبیاری ایجاد نکرده است. زیرا کاربرد چنین پژوهش‌هایی، نیازمند اقدامات ترویجی کارا و موثر است.

افزون بر تلفاتی که در مزرعه رخ می‌دهد، تلفات مربوط به توزیع آب نیز از اهمیتی ویژه برخوردار است. تشکیل اتحادیه‌های آب‌بران می‌تواند تلفات توزیع آب را در درون مزارع کاهش دهد. به هر حال، کاهش تلفات توزیع آب را هنگامی می‌توان انتظار داشت که عرضه آب آبیاری در سطوح بالاتر نیز بهبود یابد.

استفاده از زهاب‌ها برای آبیاری، یکی از راهکارهایی است که می‌تواند منجر به کاهش مشکلات تخلیه به حوضه دریاچه آرال شود. برای شرایطی که بر آسیای مرکزی حاکم است، طبقه‌بندی خاصی برای کیفیت آب آبیاری از نظر شوری آب و ترکیبات شیمیایی آن تدوین شده است. افزون بر این، طبقه‌بندی ویژه‌ای نیز برای خاک‌هایی که از آب شور استفاده می‌کنند پیشنهاد شده است. بر پایه‌ی این طبقه‌بندی‌ها، برآورد شده که می‌توان استفاده از حجم زهاب در این حوضه را از ۱۱ درصد کنونی به ۲۵ درصد افزایش داد. همچنین، از زهاب تولیدی می‌توان در تالاب‌ها نیز استفاده کرد و آن را به منظور ایجاد تنوع زیستی مورد استفاده قرار داد.

در طول رودخانه آمودریا، گودی‌هایی کویری وجود دارد که زهاب‌ها را می‌توان در آن‌ها تخلیه کرد تا تبخیر شوند. بزرگی و وسعت این گودی‌ها متفاوت است. این راهکار نیز می‌تواند به عنوان گزینه‌ای دیگر برای کاهش تخلیه زهاب‌ها به

رودخانه مورد توجه قرار گیرد. این روش، در عین حال، می‌تواند از افزایش معدنی شدن[1] رودخانه ها جلوگیری کند. گیاهان و جانوران خاصی را می توان در اطراف این دریاچه‌ها پرورش داد. پرورش ماهی نیز به شرط رعایت کلیه‌ی استانداردهای زیست‌محیطی می تواند مورد توجه قرار گیرد. مشکل اصلی این است که بیش‌تر گودی‌های حاشیه‌ی این رودخانه هم اکنون به حداکثر ظرفیت خود رسیده‌اند. چنان‌چه ورودی جریان به این گودی‌ها کنترل نشود، خطر سرریز شدن آب از آن‌ها و جریان سیل وجود دارد.

از سال‌های دهه ۱۹۸۰، برنامه‌هایی برای ساخت زهکشی به طول ۹۰۰ کیلومتر به موازات رودخانه آمودریا تا دریاچه آرال در دست است. با ساخت این زهکش، مقدار معدنی شدن رودخانه را می‌توان تا حد یک گرم در لیتر نگه داشت. این زهکش، زهاب حدود بیش از یک میلیون هکتار را تخلیه می‌کند.

۷-۵- مدیریت زهاب‌ها در دلتای نیل

دلتای نیل واقع در شمال مصر از شمال قاهره آغاز و در همانجا به دو شاخه به نام‌های دومیتا[2] و روزتا[3] تقسیم می‌شود. سطح اراضی زیرکشت مصر در سال ۱۹۹۴ نزدیک به ۳/۳ میلیون هکتار بوده که تقریبا همه‌ی آن فاریاب است. منابع آبی کشور مصر شامل آب‌های سطحی رودخانه نیل، آب‌های زیرزمینی سطحی و عمیق و زهاب‌ها است. منبع اصلی آب در مصر، رودخانه نیل است. براساس قرارداد سال ۱۹۵۹ بین سودان و مصر، سالانه ۵۵۵۰۰ میلیون مترمکعب از آب رودخانه نیل به مصر اختصاص دارد.

ناخالص آب مصرفی در اواسط دهه ۱۹۹۰ به حدود ۶۰۳۰۰ میلیون مترمکعب در سال می‌رسید که ۸۵ درصد آن به مقدار ۵۱۵۰۰ میلیون مترمکعب صرف آبیاری می‌شده است. وزارت منابع آب و آبیاری مصر پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۲۵، نیاز به آبیاری به ۶۱۵۰۰ میلیون مترمکعب در سال افزایش یابد. این مقدار نیاز آبی را نمی‌توان از منبع دیگری تامین کرد. افزون بر افزایش راندمان آبیاری، امیدبخش‌ترین گزینه، بهره‌گیری از آب برگشتی است که می تواند به فوریّت و همراه با جاذبه‌های اقتصادی، منبع جدیدی را برای آبیاری فراهم آورد. در مصر، استفاده از زهاب‌ها در دهه ۱۹۸۰ به عنوان سیاستی به منظور افزایش آب شیرین و ایجاد توازن بین عرضه و تقاضا اتخاذ گردید.

برای استفاده از زهاب، روش پمپاژ آب از زهکش اصلی به کانال اصلی انتخاب شد. در سال آبی ۹۷-۱۹۹۶، مقدار آب پمپاژ شده در ایستگاه‌های اختلاط آب و زهاب به ۴۴۰۰ میلیون مترمکعب با میانگین شوری dS/m ۱/۸ رسید. حجم کل زهابی که به دریای مدیترانه و دریاچه های ساحلی آن تخلیه شد، ۱۲۴۰۰ میلیون مترمکعب با شوری dS/m ۴/۲ بود.

1- Mineralization
2- Domitta
3- Rozetta

وزارت منابع آب و آبیاری متعهد شده است که ۳۰۰۰ میلیون مترمکعب دیگر از زهاب را برای طرح های کانال «السلام» و زهکش «عموم» اختصاص دهد. هزار میلیون مترمکعب زهاب دیگر نیز در آینده‌ای نزدیک برای آبیاری اراضی تازه اصلاح شده منطقه «کالاپشو» در میانه دلتا مصرف خواهد شد. بنابراین در آینده‌ای نزدیک، حجم زهابی که به طور رسمی برای آبیاری مصرف می‌شود به ۸۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال خواهد رسید.

افزون بر آنچه گفته شد، کشاورزان به طور مستقیم نیز از زهاب‌ها استفاده می‌کنند. به این نوع استفاده مجدد از زهاب در مصر، استفاده «غیررسمی» گفته می شود. برآورد شده که بین ۲۸۰۰ تا ۴۰۰۰ میلیون مترمکعب زهاب در سال به طور غیررسمی برای آبیاری استفاده می‌شود.

استفاده از زهاب‌ها در دریاچه‌های شمالی نزدیک دریای مدیترانه (دریاچه‌های ماروایت[1]، ادکو[2]، بورولوس[3] و مانزالا[4]) برای پرورش ماهی نیز هم اکنون در جریان است. برای تداوم تولید ماهی، شوری آب این دریاچه ها باید بین ۵/۵ تا ۶/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر باقی بماند. به منظور نگه داشتن شوری آب در این حد، حجم زهاب‌های ورودی به دریاچه‌های مانزالا و ادکو می‌تواند حداکثر به اندازه ۵۰ درصد مقدار سال آبی ۹۴-۱۹۹۳ کاهش یابد. زهاب‌های ورودی به دریاچه بورولوس، هم اکنون نیز کافی نیست و نمی‌توان بیش‌تر از این از مقدار آن کاست. پتانسیل اضافی استفاده مجدد از زهاب به منظور پایداری زندگی ماهیان ۴۰۰۰ میلیون مترمکعب در سال است.

راهبرد «رسمی» استفاده از زهاب‌ها در سطح وسیع، موجب افزایش چشم‌گیر شوری خاک نشده است. بیلان نمک در دلتای نیل به خوبی حفظ شده و به همین دلیل می‌توان استفاده از زهاب‌ها در مصر را موفقیت‌آمیز دانست. از عواملی که به پایداری تعادل نمک به هنگام استفاده از زهاب کمک کرده‌اند، می‌توان به این موضوع اشاره کرد که ۹۰ درصد این اراضی زهکشی شده هستند و اختلاط زهاب های حاصله با آب شیرین، موجب افزایش شدید شوری نشده است. شوری زهاب‌ها در زهکش اصلی با نزدیکتر شدن به تخلیه‌گاه نهایی، افزایش می‌یابد. از این رو، زهاب‌هایی که از شوری مطلوبی برخوردارند مورد استفاده قرار گرفته و زهاب‌های خیلی شور به دریای مدیترانه یا دریاچه‌های ساحلی تخلیه می‌شوند. به هر حال، شوری خاک ممکن است در برخی نقاط به صورت نقطه‌ای زیاد باشد. این وضعیت در انتهای منطقه که آب شیرین کم و شوری آب زیرزمینی زیاد است، بیش‌تر به چشم می‌خورد.

موضوع آلودگی زهاب‌ها، از دهه ۱۹۹۰ بر اثر اجرای برنامه‌های توسعه شهری و صنعتی، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. به علت کاهش شدید کیفیت آب در زهکش‌های اصلی و لزوم توجه بیش‌تر به چگونگی مدیریت استفاده‌ی «غیررسمی» از زهاب‌ها، وزارت منابع آب و آبیاری مصر، راه‌های دیگری را برای استفاده از زهاب‌ها پیشنهاد

1- Maruit
2- Edko
3- Burrulus
4- Manzala

کرده است. بین دو راهکار «استفاده‌ی رسمی و متمرکز» و «استفاده‌ی غیررسمی و غیرمتمرکز»، گزینه‌ی دیگری هم وجود دارد. بدین ترتیب که در محل تلاقی کانال و زهکش درجه دو، می‌توان زهاب را از زهکش‌ها برداشت و آن را به کانال پمپاژ کرد. به این نوع استفاده‌ی مجدد، استفاده‌ی بینابین یا میانه گویند که دو مزیّت اصلی دارد. یکی این‌که زهاب با کیفیت بهتر، پیش از این‌که به زهکش اصلی بریزد و آلودگی‌های دیگری به آن افزوده شود مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرد. دیگر این‌که در صورت وجود سیستم ضعیف انتقال آب، اغلب، در انتهای منطقه آب به اندازه کافی وجود ندارد و چنان‌چه زهاب به بخش انتهای کانال درجه دو پمپ شود، این کمبود، محسوس نخواهد بود.

به منظور ارزیابی روش‌های مختلف استفاده از زهاب‌ها پژوهش‌های صحرایی چندانی صورت نگرفته است. زیرا چنین پژوهش‌هایی بسیار زمان‌بر و پر هزینه می‌باشند. با این حال در یکی از پژوهش‌ها، دو روش متفاوت استفاده‌ی مجدد از زهاب در برخی مزارع آزمایشی مورد آزمایش قرار گرفته است. در گزینه‌ی اول، یکبار آب شیرین بدون استفاده از زهاب و بار دیگر زهاب به صورت تناوبی مورد استفاده قرار گرفته است. در گزینه‌ی دوم، «کم- آبیاری» اعمال گردید که در آن، عملیات آبیاری در مدت زمان معینی متوقف می‌شود. در این مدت، گیاه از آب زیرسطحی برای رفع نیاز آبی خود استفاده می‌کند. به نظر می‌رسد که این راهکار، چشم‌انداز نویدبخشی برای مناطقی که با کم آبی مواجهند، داشته باشد. از دیگر مزایای گزینه‌ی دوم می‌توان به کاهش هزینه‌های مهندسی و پمپاژ آب، جلوگیری از تماس کشاورزان با آب آلوده، جلوگیری از ورود آب شور به قسمت بالایی ریشه و کاهش آلودگی زهاب به نیترات اشاره کرد. در این گزینه، باید گاه به گاه عملیات آب‌شویی انجام شود تا حفظ شوری خاک در حد مورد نظر تضمین شود.

۷-۶- مدیریت زهاب‌ها در شمال غرب هند

شمال غربی هند را حوضه آبریز دو رودخانه ایندوس[1] و گنگ[2] در بر می‌گیرد و در جنوب آن ایالت پنجاب، در شمال شرقی و شمال غربی آن ایالت های هاریانا و راجستان قرار دارند. این منطقه گرچه با کم آبی روبروست، لیکن احداث یک کانال موجب شده تا فاصله ی بین عرضه و تقاضای بالقوه آب کاهش یابد. در این منطقه، آبیاری محور اصلی کشاورزی است. از آن‌جا که احداث شبکه زهکشی همزمان و همپای شبکه آبیاری پیش نرفته، در بسیاری از نقاط زیر شبکه، بالا آمدن سطح ایستابی و تجمع نمک به وقوع پیوسته است. شوری خاک تاکنون در سطح یک میلیون هکتار گسترش یافته است. چنان چه شرایط به همین ترتیب پیش رود، طی ۲۰ تا ۳۰ سال آینده، وسعت خاک های شور به ۳ میلیون هکتار گسترش خواهند یافت.

1- Indus
2- Ganges

در ایالت‌های هاریانا و پنجاب، زهکش‌هایی سطحی احداث شده تا سیل را کنترل کنند. همچنین استفاده از آب‌های زیرزمینی آغاز شده تا سطح آب پایین برود و با مشکل شوری مقابله شود. در مناطقی که زهکش‌های سطحی، تخلیه‌گاه مناسب طبیعی ندارند، آب آن‌ها با استفاده از پمپ‌های با آبدهی بالا و ارتفاع پمپاژ کم، به داخل کانال‌های بزرگ ریخته می‌شود. زهکش‌های زیرزمینی موازی نیز در سطوح کوچکی از منطقه احداث شده است. زهکشی قائم نیز توسط تعداد زیادی چاه کم عمق انجام می‌شود. تراکم این چاه‌ها بستگی به کیفیت آب و مقدار تغذیه دارد. در مناطقی که با آب زیرزمینی شور مواجهند، تغذیه سالانه ناشی از شبکه گسترده آبیاری بیش از مقداری است که توسط چاه‌ها تخلیه می شود. از این رو، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و شوری ناشی از آن در این مناطق ادامه دارد. بدیهی است برای تضمین امنیت غذایی، باید به این موضوع توجه گردد. تلاش‌های انجام شده تاکنون شامل ایجاد پوشش برای کانال‌ها و حفر چاه‌های عمومی به منظور آبیاری بوده است. در عین حال، امکانات لازم برای انجام آزمایش‌های مربوط به تجزیه آب بهبود یافته و فناوری استفاده از چاه نیز در منطقه ترویج شده است.

استفاده از زهاب‌های شور، گزینه‌ی مهمی برای شمال غربی هند به شمار می‌رود. زیرا می‌تواند تکمیل کننده آب آبیاری کمیاب باشد و در عین حال مشکل تخلیه زهاب را حل کند. استفاده مجدد از زهاب می‌تواند با کاربرد مستقیم آن، اختلاط آن با آب کانال و کاربرد متناوب آبیاری گیاه با آب و زهاب انجام گیرد. این گزینه، یعنی کاربرد متناوت آب و زهاب، در مورد صاحبان چاه‌های خصوصی بیش‌تر از سایر روش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا این‌گونه کشاورزان، تنها چند ساعت در هفته حق استفاده از آب کانال را دارند.

افزون بر استفاده مجدد زهاب‌ها، مدیریت سفره سطحی آب زیرزمینی نیز ابزاری مهم برای استفاده از آب خاک در مناطقی است که به زهکش‌های زیرزمینی مجهز شده‌اند. تجربه نشان داده است که یک خاک لوم شنی که آب زیرزمینی آن در عمق ۱/۷ متری قرار داشته و شوری آن ۸/۷ dS/m بوده است، پس از قطع آبیاری توانسته است ۵۰ درصد آب مورد نیاز گیاهان را تامین کند. در منطقه‌ای دیگر، که سفره آب زیرزمینی در عمق یک‌متری قرار داشته و هدایت الکتریکی آن به ۳ تا ۵ دسی زیمنس بر متر می رسیده، گیاه توانسته است به تولید بالقوه خود دست یابد. این در حالی بوده که استفاده از آب سطحی به مقدار ۵۰ درصد کاهش یافته است. در این منطقه، تجمع شوری کمی رخ داده بود که با آغاز بارش‌های موسمی از بین رفت.

به منظور نگهداری شوری خاک و آب زیرزمینی در حد مطلوب، نمک خارج شده از سیستم باید دست کم برابر نمک وارد شده به اضافه نمک‌هایی باشد که در داخل سیستم به وجود آمده‌اند. در شمال غرب هند، روش‌های ممکن دفع زهاب عبارتند از: ۱) تخلیه به سیستم زهکش سطحی منطقه‌ای که رودخانه‌های منطقه را نیز شامل می‌شود؛ ۲) پمپاژ به کانال‌های درجه ۱ و ۲ که مقدار آب آن‌ها برای اکثر مواقع سال بالاست؛ و ۳) تخلیه به حوضچه‌های تبخیری.

رودخانه یامونا[1] در فصل ریزش باران‌های موسمی، آبدهی بسیار زیادی دارد. شوری آب این رودخانه در این فصل کم‌تر از ۰/۲ dS/m است. بده زیاد و شوری ناچیز آب در فصل ریزش باران‌های موسمی، نشان‌دهنده‌ی این است که می‌توان زهاب را مستقیما به رودخانه تخلیه کرد. در هاریانا، زهاب‌های مربوط به ۱۶۳۳۰۰۰ هکتار از اراضی به رود یامونا تخلیه می‌شوند. در این منطقه، سامانه گسترده‌ای برای زهکشی سطحی تخلیه کننده سیلاب ساخته شده است. برآوردهایی برای مشخص کردن مقدار زهاب‌های زیرزمینی که می‌توانند به رودخانه یامونا تخلیه شوند نیز طی مطالعاتی پنج ساله انجام شده است. در این حوضه، ۱۸۳۰۰۰ هکتار از اراضی با هر دو مشکل بالا بودن سطح آب زیرزمینی و شوری مواجه هستند. مطالعات نشان می‌دهد که در فصل بارش‌های موسمی می‌توان همه‌ی زهاب‌های زیرزمینی را به درون این رودخانه تخلیه کرد به گونه‌ای که شوری آب رودخانه از dS/m ۰/۷۵ بیش‌تر نشود. در فصل زمستان، با کاهش جریان رودخانه، ظرفیت تخلیه زهاب به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در این مدت می‌توان نیاز به تخلیه را از طریق مدیریت سفره سطحی آب زیرزمینی و یا استفاده مجدد از زهاب کاهش داد.

با افزایش نیاز به تخلیه آب شور، ممکن است احداث حوضچه‌های تبخیری در این منطقه اجتناب‌ناپذیر باشد. با این حال، عملکرد حوضچه‌های تبخیری احداث شده در نواحی شنی هیسار[2] چندان رضایت‌بخش نبوده است. شاید علت این امر آن باشد که این حوضچه‌ها در اراضی نسبتا بلند ساخته شده‌اند. بدین ترتیب لازم است یک سری حوضچه تبخیری در نواحی پست منطقه نیز احداث نمود.

برای حفظ تعادل نمک در منطقه، ضروری است که تعادل مناسبی بین استفاده مجدد از زهاب‌ها و زهاب‌هایی که باید از منطقه دفع شوند وجود داشته باشد. تجربیاتی که هم اکنون از مزارع کوچک آزمایشی به‌دست آمده نشان‌دهنده امکان‌پذیر بودن استفاده مجدد از زهاب‌ها، مدیریت سفره سطحی آب زیرزمینی و دفع زهاب‌ها است. بدین ترتیب لازم است که به برنامه‌های مربوط به دفع زهاب و یا استفاده مجدد از آن در منطقه شمال غربی هند، بهای زیادی داده شود تا تعادل مناسبی از نظر شوری در سطح حوضه برقرار گردد.

۷-۷- مدیریت زهاب‌ها در پاکستان

رودخانه هندو و انشعاب های آن منبع اصلی آب در کشور پاکستان هستند. براساس معاهده سال ۱۹۶۰ در مورد تقسیم آب این رودخانه بین دو کشور هند و پاکستان، این کشور حقابه تنه اصلی این رودخانه و دو شاخه از پنج شاخه فرعی شرقی آن را که جِهلُم[3] و چناب[4] نامیده می‌شوند، دارا می‌باشد. میانگین سالانه آب، از آن پس ۱۷۱۴۶۰ میلیون

1- Yamuna
2- Hisar
3- Jehlum
4- Chenab

مترمکعب بوده است. کیفیت آب رودخانه ایندوس و انشعاب‌های آن در نقطه ورودی به کشور پاکستان نشان دهنده شوری بین ۰/۱۶ تا ۰/۴۷ دسی زیمنس بر متر است. در پاکستان، علاوه بر منابع آب سطحی یاد شده، آب زیرزمینی نیز به عنوان منبع تکمیلی آب در سامانه‌های آبیاری شناخته می‌شود. برآوردهای انجام شده در سال ۱۹۹۰ نشان می‌دهد که نزدیک به ۴۴۵۲۰ میلیون مترمکعب آب زیرزمینی نیز در اراضی پایاب شبکه‌های آبیاری توسط بخش خصوصی و دولت مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار شوری آب زیرزمینی در پاکستان بسیار متغیر است. به‌گونه‌ای که نزدیک به یک سوم اراضی فاریاب دارای آب زیرزمینی با شوری زیاد می‌باشند.

آبیاری در پاکستان بر پایه عرضه آب رودخانه هندو و انشعاب های آن است که تنها به دشت هندو منحصر می شود. مساحت اراضی فاریاب در این دشت ۱۵/۸ میلیون هکتار است. به علت نبود هیچ گونه آبراه های در این دشت هموار، آبیاری اراضی رفته رفته موجب بالا آمدن سطح ایستابی شده است. این امر موجب شور و ماندابی شدن اراضی وسیعی گردیده که اثرات منفی زیادی بر تولیدات کشاورزی گذاشته است. در «برنامه کنترل شوری و اصلاح اراضی»[1] (SCARP) که در اوایل دهه ۱۹۶۰ آغاز شد، زهکش‌های زیرزمینی قائم (چاه‌های عمیق) در سطح وسیعی از زمین‌های مبتلا به این دو مشکل احداث گردید. در عین حال، برای اراضی کوچک‌تر نیز اقدام به احداث زهکش‌های موازی زیرزمینی شد.

در نتیجه توزیع نامناسب آب بین کشاورزان و همچنین به دلیل طراحی نامناسب تراکم کشت، تقاضا برای آب بیش‌تر به منظور متراکم‌تر کردن کشت افزایش می‌یافت. افزایش جمعیت نیز به افزایش تقاضای بیش‌تر برای آب دامن می‌زد. در راستای نیاز به حفاظت بیش‌تر از آب به منظور رسیدن آب بیش‌تر به دریچه‌های مزرعه، موضوع استفاده از زهاب‌ها، به عنوان منبع جدید آب آبیاری، مورد توجه جدی قرار گرفت.

سیاست‌های دولت پاکستان، استفاده هر چه بیش تر از آب زیرزمینی به منظور زهکشی و برای مصرف به عنوان آب آبیاری و همراه با آب کانال‌های آبیاری بود. در مناطقی که شوری آب زیرزمینی زیاد بود، اجازه داده می‌شد تا زهاب‌ها به درون کانال‌های آبیاری ریخته شوند تا پس از رقیق شدن، مورد استفاده‌ی مجدد قرار گیرند و یا این‌که به هنگام وجود جریان زیاد در رودخانه، از طریق شبکه زهکشی سطحی به رودخانه ریخته شوند. از دیگر روش‌های تخلیه تنها هنگامی استفاده می‌شد که آب زیرزمینی بسیار شور بود.

استفاده مجدد از آب زیرزمینی در طرح‌های SCARP اثر زیادی بر افزایش تولید داشته است. بر اثر عرصه بیش‌تر آب، تراکم کشت این مناطق از ۸۰ درصد در سال های دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ به ۱۱۶ درصد در سال های میانی دهه ۱۹۸۰ رسید. پایین رفتن سطح ایستابی، همراه با افزایش عرضه آب آبیاری، اثرات مثبتی از نظر کاستن شوری

[1]- Salinity Control and Reclamation Program

داشته است. به منظور اطمینان از زهکشی پایدار، چاه‌هایی که آب شیرین داشته‌اند، به بخش خصوصی واگذار گردید تا از زهاب آن‌ها برای آبیاری اراضی استفاده شود.

برخی از موسسات پژوهشی محلی در پاکستان اثر آب های با کیفیت پایین و آب هایی را که در مزر[1] قرار دارند برروی خاک و تولید محصولات کشاورزی بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعات نشان داده که برخی از گیاهان مقاوم بـه شـوری و برخی از گیاهان چمنی می توانند تا هدایت الکتریکی ۲۷ dS/m را با کاهش متوسـط محصـول تحمـل کننـد. همچنـین درختان مقاومی شناسایی شده که می توانند تا هدایت الکتریکی ۱۹ dS/m را تحمل کنند و می توان از آن‌هـا بـه عنـوان هیزم و یا از شاخ و برگ آن‌ها به عنوان علوفه استفاده کرد. بوته‌هایی نیز شناسایی شده که می‌توانند شوری زیاد را تحمّل کنند و از آن‌ها می‌توان به عنوان غذای تکمیلی حیوانات استفاده کرد.

به منظور دفع زهاب‌های فوق‌العاده شور، حوضچه‌های زیادی تبخیری در حاشیه کویر ایجاد شده است. این حوضچه‌ها ۵۰۰ تا ۸۰۰ کیلومتر از دریا فاصله دارند و مشتمل بر فرورفتگی‌هایی هستند که در بین تپه‌های شـنی قـرار گرفتـه‌انـد. خاک این حوضچه‌ها فوق‌العاده سبک است. حوضچه‌ها بین تپه‌هایی به ارتفاع ۴ تا ۹ متر قرار دارند و توسط آبراهـه‌هـایی به هم مرتبط شده‌اند. البته پس از بهره‌برداری از این حوضچه‌ها، برخی از اراضی فاریاب نزدیک ایـن حوضـچه‌هـا شـدیدا دچار بالا آمدن سطح ایستابی شده‌اند. این امر ناشی از تلفات نشت از حوضچه ها بوده که طی چهار سال مساحتی بالغ بر ۴۲۰۰ هکتار را تحت تاثیر قرار داده است.

یک زهکش به طول ۲۵۰ کیلومتر گرداگرد نواحی حاشیه دریا ساخته شده است تـا زهـاب‌هـای حاصـل از ۵۷۷۰۰۰ هکتار از اراضی و بارندگی مازاد اطراف دریا را جمع‌آوری و دفع کند. بده کل در انتها به ۱۱۳ مترمکعب در ثانیه می‌رسد. از آن‌جا که در این مناطق، بیش‌تر از زهکشی قائم استفاده می‌شود، چنین برنامه‌ریزی شده است که بـه هنگـام بارنـدگی سنگین، چاه‌ها خاموش بمانند تا انشعابات زهکش بتوانند بارندگی مازاد را تخلیه کنند. تجربیاتی که تا به امروز بـه‌دسـت آمده نشان می دهد که با وجود شیب هیدرولیکی بسیار اندک که از ۱:۱۴۰۰۰ تجاوز نمـی کنـد، اراضـی فاریـاب حاشـیه پایین‌دست هنوز در معرض خطر قرار نگرفته‌اند.

1- Marginal

منابع و مراجع

۱- اسماعیلی، ا.، همایی، م. و ملکوتی، م.ج.، ۱۳۸۴. اثرات متقابل شوری و کودهای ازتی بر رشد و ترکیب شیمیایی سورگوم. مجله علوم خاک و آب. شماره (۱) ۱۹. ص ۱۳۱-۱۴۴. تهران، ایران.

۲- اسماعیلی، ا.، همایی، م. و ملکوتی، م.ج.، ۱۳۸۲. بررسی پاسخ گیاه سورگوم به کودهای ازتی در سطوح مختلف شوری. مجموعه مقالات هشتمین کنگره‌ی علوم خاک ایران. رشت. ایران. ص ۲۳۵-۲۳۶.

۳- اکرم، م.، لیاقت، ع.م. و اقلی، ع.ر.، ۱۳۸۶. مدیریت زهاب کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی شماره ۱۱۸، صفحات ۳۱۳.

۴- بایزیدی، م.، ۱۳۸۰. ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی (کلاسیک ثابت) در سه روستای شهرستان قروه. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران. ۱۵۱ صفحه.

۵- پذیرا، ا.، (۱۳۷۴). اثرات کیفیت آب بر محیط زیست و امکانات کاربرد پساب فاضلابها در امر آبیاری. مجله آب- خاک- ماشین، سال دوم، شماره۶، خرداد ۱۳۷۴، صفحات ۵ الی ۱۱.

۶- پذیرا، ا. و همایی، م.، ۱۳۸۵. گزینه های نو و برنامه های جایگزین برای توسعه پایدار کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک. مجله علوم کشاورزی. شماره (۱). تهران. ایران.

۷- پذیرا، ا. و همایی، م.، ۱۳۸۳. تعیین فاصله زهکشی های زیرزمینی بر مبنای ترکیب چند کشتی. مجموعه مقالات سومین کارگاه فنی زهکشی. ص ۹۵-۱۰۸. تهران. ایران.

۸- پذیرا، ا. و همایی، م.، ۱۳۸۰. نمون‌های زهکشی. دومین‌کارگاه فنی‌زهکشی. اردیبهشت۱۳۸۰،تهران، ص۱۳-۲۷.

۹- پناهبور، م.، افیونی و همایی، م.، ۱۳۸۷. حرکت کادمیوم کروم و کبالت. مجله آب و فاضلاب. جلد۶۷ شماره ۱. ص ۹-۱۷. تهران، ایران.

۱۰- جاماب، شرکت مهندسین مشاور. ۱۳۸۴. وضعیت موجود و آینده منابع آب حوزه آبریز کارون بزرگ بخشی از مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم (تعادل‌بخشی بین منابع و مصارف آب در حوزه‌های آبریز). صفحات ۱۷۹.

۱۱- جلالی، و. ر. و همایی، م.، ۱۳۸۸، بررسی امکان بهره‌وری بهینه از خاک و آب شور برای تولید کلزا، به منظور استفادهء پایدار از منابع غیر متعارف. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۲۱ تا ۲۴ تیر ۸۸، گرگان، ایران. ص ۲۱۲۹-۲۱۳۰.

۱۲- جلالی، و. ر، همایی، م. و خ. میرنیا، س.،۱۳۸۷. مدلسازی واکنش کلزا به شوری طی دوره رشد زایشی. مجله علوم و فنون کشاورزی. جلد ۱۲ شماره ۴۴. ص ۱۱۱-۱۲۲. اصفهان، ایران.

۱۳- جلالی، و. ر، همایی، م. و خ. میرنیا، س.، ۱۳۸۶. (الف) تاثیر سطوح مختلف شوری محیط رشد بر جوانه زنی و رشد گیاهچه کلزا. مجله علوم خاک و آب. جلد ۲۱ شماره ۲. ص۲۰۹-۲۱۷. تهران. ایران.

۱۴- جلالی، و. ر، همایی، م. و خ. میرنیا، س.، ۱۳۸۶. (ب) مدلسازی واکنش کلزا به شوری طی دوره رشد رویشی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۸ شماره ۴. ص ۹۵-۱۱۲. کرج، ایران.

۱۵- حسن اقلی، ع.، ۱۳۷۵. « بررسی رفتار فنی لوله های زهکش ژئوتکستایل در عمق خاک در مدل های آزمایشگاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۱۶- حسنی رضایی، ل.، همایی، م. و پذیرا، ا.، ۱۳۸۸. (الف) مدلسازی اثرات متقابل شوری و کود ازته اوره بر اساس قوانین لیبیگ-اسپرنکل و میچرلیخ – بال. مجله گیاه و زیست بوم. جلد۵ شماره ۱۷. ص۹۸-۱۱۴. تهران، ایران.

۱۷- حسینی، ی.، همایی، م. و سعادت، س.، ۱۳۸۸. برهمکنش شوری و بور بر عملکرد دانه و ترکیب شیمیایی دانه کلزا. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۲۱ تا ۲۴ تیر ۸۸، گرگان، ایران. ص ۸۵۵-۸۵۷.

۱۸- حسینی، ی.، همایی، م.، کریمیان، ن. ع. و سعادت، س.، ۱۳۸۷. مدل‌سازی واکنش کلزا به تنش‌های توامان شوری و کمبود نیتروزن. مجله علوم و فنون کشاورزی. جلد ۱۲ شماره ۴۶. ص ۷۲۱-۷۳۵. اصفهان، ایران.

۱۹- دفتر آموزش سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۷۷. نشریه استاندارد خروجی فاضلاب‌ها.

۲۰- رمضانی اعتدالی، ه. و لیاقت، ع. م.، ۱۳۸۷. تخمین سطح مورد نیاز برای کنترل زهاب‌های شور با استفاده از حوضچه‌های تبخیری (مطالعه‌ی موردی: واحد میرزاکوچک خان در خوزستان). ۱۳۸۷ مجله آب و خاک.

۲۱- سعادت، س.، همایی، م. و لیاقت، ع.م.، ۱۳۸۴. اثر شوری محلول خاک بر جوانه زنی و رشد گیاهچه سورگوم علوفه‌ای. مجله علوم خاک و آب. شماره (۲)۱۹. ص ۲۴۳-۲۵۴. تهران، ایران.

۲۲- صداقتی، ن.، ۱۳۸۰. ارزیابی عملکرد سیستم های خرد آبیاری موجود (قطره ای و بابلر) در باغهای پسته (مطالعه موردی: رفسنجان). پایان نامه کارشناسی ارشد گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران. ۱۳۱ صفحه.

۲۳- علیزاده، ا.، ۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ اول. ۳۵۳ صفحه.

۲۴- علیزاده، ا.، ۱۳۸۴. زهکشی جدید (برنامه ریزی، طراحی و مدیریت سیستم های زهکشی). انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ اول. ۴۹۶ صفحه.

۲۵- غفاری شیروان، ج.، ۱۳۷۷. مروری بر وضعیت بهره‌برداری منابع آب ایران. نهمین کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: مدیریت تخصیص و بهره‌برداری بهینه از آب در کشاورزی. وزارت نیرو، ۶-۵ اسفند. تهران

۲۶- غلامعلی‌زاده آهنگر، ا.، ۱۳۸۱. کیفیت آب و ارزیابی کیفی آب آبیاری. نشر علوم کشاورزی.

۲۷- قیصری، م.، میرلطیفی، م.، همایی، م. و اسدی، م. ا.، ۱۳۸۵. آب‌شویی نیترات در سیستم آبیاری بارانی تحت مدیریت کود- آبیاری ذرت علوفه‌ای. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۷ شماره ۲۹. ص ۱۰۱-۱۱۸. کرج. ایران.

۲۸- کریمی، ا.، معز اردلان، م.، همایی، م. و لیاقت، ع.م.، ۱۳۸۶. کارآیی مصرف کود در آفتابگردان با سیستم کود آبیاری. مجله علوم و فنون کشاورزی. جلد ۱۱ شماره ۴۰. ص ۶۵-۷۷. اصفهان، ایران.

۲۹- کریمی، ا.، معز اردلان، م.، لیاقت، ع. م. و همایی، م.، ۱۳۸۶. اثر کود-آبیاری بر اجزای عملکرد کارآیی مصرف آب. مجله علوم و صنایع کشاورزی. جلد ۱۱ شماره ۲۱. ص ۱۱-۲۲. مشهد، ایران.

۳۰- کریمی، ا.، همایی، م.، لیاقت، ع. م. و معز اردلان، م.، ۱۳۸۴. یکنواختی توزیع آب و کود در سیستم آبیاری قطره‌ای- نواری. مجله پژوهش کشاورزی. جلد ۵ شماره ۲. ص ۵۳-۶۷. همدان. ایران.

۳۱- کشاورز، ع.، ۱۳۷۹. مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، برآورد تقاضا برای آینده، بحران‌های خشکسالی، وضعیت موجود، چشم اندازهای آینده و راهکارهایی جهت بهینه سازی مصرف آب. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. شماره ثبت ۷۴۸/۸۹، مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.

۳۲- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۰. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی.

۳۳- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱. زهکشی: کمیت و کیفیت آب‌های برگشتی.

۳۴- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱. مهار آلودگی آب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی.

۳۵- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۲. استفاده از آب شور در کشاورزی پایدار.

۳۶- کیانی، ع. ر. و همایی، م.، ۱۳۸۶. ارزیابی مدل SWAP در شبیه سازی انتقال آب و املاح در خاک. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۸ شماره ۱. ص ۱۳-۳۰. کرج، ایران.

۳۷- کیانی، ع.ر.، همایی، م. و میرلطیفی، م.، ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توام شوری و کم آبی. مجله علوم خاک و آب، جلد ۲۰. شماره ۱ص ۷۳-۸۳. تهران. ایران.

۳۸- کیانی، ع. ر.، میرلطیفی، م.، همایی، م. و چراغی، م. ع.، ۱۳۸۴. تعیین بهترین تابع تولید آب- شوری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. شماره ۲۵. ص. کرج، ایران.

۳۹- کیانی، ع. ر.، میرلطیفی، م.، همایی، م. و چراغی، ع.م.، ۱۳۸۴. کارآیی مصرف آب گندم تحت شرایط شوری و کم آبی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۶، شماره ۲۴. ص ۴۷-۶۴. کرج، ایران.

۴۰- کیانی، ع. ر.، میرلطیفی، م.، همایی، م.، ۱۳۸۴. اشتقاق توابع تولید آب- شوری گندم در منطقه شمال گرگان. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. کرج، ایران. ص ۱۶۸-۱۷۰.

۴۱- کیانی، ع.ر. و همایی، م.، ۱۳۸۴. کاربرد آب شور برای تولید گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران. کرج، ایران. ص ۱۷۱-۱۷۳.

۴۲- کیانی، ع. ر.، میرلطیفی، م.، همایی، م. و چراغی، ع.م.، ۱۳۸۳. تاثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و شوری بر عملکرد گندم در منطقه گرگان. مجله علوم کشاورزی. شماره (۱)۱۱. ص ۷۹-۸۹. گرگان، ایران.

۴۳- کیانی، ع. ر.، میرلطیفی، م.، همایی، م.، ۱۳۸۲. بررسی تولید گندم در شرایط شوری و کم آبی. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه. ص ۱۶۳-۱۷۸. تهران، ایران.

۴۴- گروه کار اثرات زیست محیطی طرح‌های آبیاری و زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی. ۱۳۸۱. مدیریت کیفیت زهاب‌های کشاورزی. ۱۶۸ صفحه.

۴۵- گروه کار استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۲. مدیریت آب آبیاری در مزرعه. ۱۷۸

۴۶- گروه کار سیستم‌های آبیاری در مزرعه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۱. مهار آلودگی آب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی. ۱۶۷ صفحه.

۴۷- لیاقت، ع. و اسماعیلی، ش.، ۱۳۸۲. تاثیر تلفیق آب شور و شیرین روی عملکرد و غلظت نمک در منطقه توسعه ریشه ذرت. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰ (۲): ۱۵۹-۱۷۰.

۴۸- محمدی، پ.، سیاهی، م. ک.، مهردادی، ن.، لیاقت، ع.م.، عدل، م.، احتشامی، م.، اشرفی، ع.، قدوسی، ع. و زرنکابی، م.ر.، ۱۳۸۴. استانداردها و تجارب استفاده از پساب ها برای آبیاری، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی، صفحات ۳۴.

۴۹- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۶۴. ویژگیهای پسابهای صنعتی، استاندارد شماره ۲۴۳۹.

۵۰- واعظی، ع.، همایی، م. و ملکوتی، م.ج.، ۱۳۸۱. اثر کود- آبیاری بر کارآیی مصرف کود و آب در ذرت علوفه‌ای. مجله‌ی علوم خاک و آب. شماره ۱۶. ص ۱۵۲-۱۶۰. تهران، ایران.

۵۱- وزارت کشاورزی، ۱۳۷۳. مجموعه مقالات اولین کنگره برنامه ریزی و سیاست گذاری امور زیربنایی (آب و خاک) در بخش کشاورزی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی. ۲۸-۲۶ شهریور ماه، تهران.

۵۲- وزارت کشاورزی، ۱۳۸۰. امکانات توسعه کشاورزی با نگاهی به افق ۱۴۰۰. گزارش داخلی، ۹۸ صفحه.

۵۳- همایی، م.، ۱۳۸۵. مدل‌سازی پاسخ گیاهان به شوری. مجموعه مقالات کارگاه فنی و آموزشی "آلودگی منابع آب و خاک (چالش‌ها و راهبردها)". پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. ص ۸۱-۹۰.

۵۴- همایی، م.، ۱۳۸۱. مدل های کمّی واکنش گیاهان به شوری. نخستین کارگاه تخصصی بهره برداری از منابع آب و خاک کشور. شهریور ۱۳۸۱، یزد. ایران.

۵۵- همایی، م.، ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. کمیته‌ی ملی آبیاری و زهکشی. ۹۸ ص.

۵۶- همایی، م.، ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری، انتشارات کمیته، ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۹۸ ص.

57- Abbasi, F., F. Adamsen, D. Hunsaker, J. Feyen, P. Shouse, and M. T. van Genuchten. 2003. Effects of flow depth on water flow and solute transport in furrow irrigation: field data analysis. J. Irrig. Drain Eng., 129 (4): 237-246.

58- Adams, P. and L.C. Ho. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield quality and calcium status of tomatoes. J. Hort. Sci. 64:725-732.

59- Asano, Takashi and Anderey D. Levine (1996). "Wastewater reclamation, recyling and reuse: past, present, and future". Wat. Tech Vol. 33. No. 10-11, pp: 1-140. Pub. By Elsevier Sci. Ltd.

60- Ayer, S. and D.W. Westcot. 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29. Rev.

61- Bauder, T. A., I. Broner and R.M. Waskom. 2006. Nitrogen and Irrigation Management no. 0.514. Colorado State University.

62- Bouwer, H. 1994. "Irrigation and global outlook". Agricultural water management, No, 25, Elsevier science, pp. 221-231.

63- Bressler E. and G. J. Hoffman. 1986. Irrigation management for soil salinity control: Theories and tests. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:1552-1560.

64- Buras, N., L. Duek, S. Niv, 1985. Reactions of fish to microorganisms in wastewater. Applied Environmental Microbiology, 50: 989-995.
65- Buras, N., L. Duek, S. Niv, B. Hepher & E. Sandbank, 1987. Microbiological aspects of fish grown in treated wastewater Water Research 21:1-10.
66- Chapman, D., ed 1992. Water quality assessments. A guide to the use of biota sediments and water in environmental monitoring UNESCO/WHO/UNEP. Cambridge, United Kingdom. University Press.
67- Dirksen, C., M. J. Huber, P. A. C. Raats, S. L. Rawlins, J. Van Schilfgaarde, J. Shalhevet and M. Th. Van Genuchten. 1994. Interaction of alfalfa with transient water and salt transport in the root zone. Research report. No. 135, US Salinity Lab., Riverside, CA., 127 pgs.
68- Esmaili, E., S. Asadi Kapourchal, M. J. Malakouti and M. Homaee. 2008. Interactive Effect of Salinity and Two Nitrogen Fertilizers on Growth and Composition of Sorghum. Plant Soil and Environment. 56(12): 537-546.
69- Evans, R.O., J.W. Gilliam and R.W. Skaggs 1996. Controlled drainage management guidelines for improving drainage water quality. North CarolinaCoop.Ext. Service Pub. Ag-433.
70- Evans, R.O., Parsons, J.E., Stone, K. and wells, W.B. 1992. Water table management on a watershed scale. J. Soil Water Conserv. 47: 58-64.
71- FAO. 1997. Management of agricultural drainage water quality. By C.A. Madramootoo, W.R. Johnston and L.S. Willardson. FAO Water Report No. 13, ICID and FAO, Rome, Italy, 107 pp.
72- FAO. 61.
73- Francois, L. E. 1991. Yield and quality responses of garlic and onion to excess boron. HortScience26:547-549.
74- Francois, L. E. 1994a. Groeth, seed yield , and oil content of canola grown under saline conditions. Agron. J. 86:233-237.
75- Francois, L.E. 1992. Effect of excess boron on summer and winter squash. Plant Soil 147:163-170.
76- Francois, L.E. 1994b. Yield and quality responde of salt-stressed garlic. Hort Science 29:1314-1317.
77- Francois, L.E. 1995. Salinity effects on bud yields and vegetative growth of artichoke (Cynara scoly – mus L.). HortScience 30:69-71.
78- Francois, L.E. 1996. Salinity effects on four sunflower hybrids. Agron. J. 88:215-219.
79- Francois, L.E., T.J. Donovan and E.V. Maas. 1992. Yield , vegetative growth, and fiber length of kenaf grown on saline soil. Agron. J. 84:592-598.
80- Francois. L. E. 1985. Salinity effects on germination. growth, and yield of two squash cultivars. HortScience 20:1102-1104.
81- Gheysari, M., S.M. Mirlatifi, M. Bannayan, M. Homaee and G. Hoogenboom. 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agricultural Water Management, 96:809-821.
82- Gheysari, M., S.M. Mirlatifi, M. Homaee M.E. Asadi and G. Hoogenboom. 2009. Nitrate Leaching in a Silage Maize Field under Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Rates. Agricultural Water Management, 96:946-954.
83- Grattan, S,R. and J.D. Rhoades. 1990. Irrigation with saline ground water and drainage water. P. 432-449. In: K.K. Tanji (ed.) Agricultural salinity assessment and management. Manuals Rep. on Eng. Practice no. 71. ASCE,New York.

84- Grattan, S.R., and C,M. Grieve. 1999. Mineral nutrient acquisition and respondse by plants grown in saline environments. p. 203-226. In M. Pessarakli (ed.) Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc., New York.

85- Grieve C.M., and E,V. Maas, 1988. Differential effects of sodium/calcium ratio on dorghum geno – types. Crop. Sci.29:659-665.

86- Grieve, A.M. and R.R. Walker. 1983. Uptake and distribution of chloide, sodium, and potassium ions in salt – treated citrus plants. Plants. Aust. J. Agric. Res. 34:133-143.

87- Grieve, C.M., S.M. Lesch, L.E. Francois and E.V Maas. 1992. Analysis of main stem yield components in salt-stressed wheat. Crop Sci. 32:697-703.

88- Homaee, M. 2004. Water compensation under heterogeneously distributed soil water osmotic head. In: R.A. Feddes, G.H. de Rooij and J.C. van Dam (Eds.) Proceedings of international symposium on unsaturated zone modelling, progress, challenges and applications. Pp. 53.

89- Homaee, M. 2002. Modelling root water extraction under variable water stress using macroscopic reduction functions. Proceedings International Conference on Hydrology and Watershed Management. Hayderabad, India. 516-521.

90- Homaee, M and U. Schmidhalter. 2008. Water integration by plants root under non-uniform soil salinity. Irrigation Science, 27:83-95.

91- Homaee, M and U. Schmidhalter. 2002. Root water uptake under heterogeneously distributed soil salinity. In: S. Kramer (Ed.), Rhizosphere, preferential flow and bioavailabilty: A holistic view of soil to plant transfer. 44-49.

92- Homaee, M., C. Dirksen and R.A. Feddes 2002. Simulation of root water uptake. I. Nonuniform transient salinity stress using different macroscopic reduction functions. Agricultural Water Management. 57(2): 89-109.

93- Homaee, M. and R.A. Feddes 2002. Modeling the sink term under variable soil water osmotic heads. In: Hassanizadeh et al. (Eds.), developments in water resources 47 (1); Computational methods in water resources. 17-24. Elsevier Science B.V., The Netherlands.

94- Homaee, M., R.A. Feddes and C. Dirksen. 2002. A macroscopic water extraction mode for nonuniform transient salinity and water stress. Soil Sci. Soc. Am. J. 66 (6): 1764- 1772.

95- Homaee, M., R.A. Feddes and C. Dirksen. 2002. Simulation of root water uptake. II. Nonuniform transient water stress using different reduction functions. Agricultural Water Management. 57(2): 111-126.

96- Homaee, M., R.A. Feddes and C. Dirksen. 2002. Simulation of root water uptake. III. Nonuniform transient combined salinity and water stress. Agricultural Water Management. 57(2): 127-144.

97- Homaee, M. and R.A. Feddes. 2001. Quantification of water extraction under salinity and drought. In: W.J. Horst et al. (Eds), Plant nutrition-Food security sustainability of agro-ecosystems. 376-377. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.

98- Homaee, M. and R.A. Feddes. 1999. Water uptake under non-uniform transient salinity and water stress. In: J. Feyen and K. Wiyo (Eds.), Modeling of transport processes in soils at various scales in time and space. pp. 416-427.

99- Hosaini, Y. M. Homaee, N.A. Karimian and S. Saadat. 2009. Modeling vegetative stage response of canola to combined salinity and Boron stress. International Journal of Plant Production, 3(1):91-104.

100- Hosaini, Y. M. Homaee, N.A. Karimian and S. Saadat. 2009. Modeling vegetative stage response of canola to combined salinity and Boron stress. International Journal of Plant Production, 3(1):91-104.

101- Jafarnejadi, A. R., M. Homaee, GH. Sayyad and M. Bybordi. 2010. Correlating accumulated cadmium and soil characteristics in wheat farm grain. Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for Changing World, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia, Symposium 3.5.1, pp 50-52.

102- Jafarnejadi, A.R., M. Homaee and G. Sayyad. 2010. Large scale spatial variability of accumulated cadmium in the wheat farm grains. Soil and Sediment Contamination Journal 19(6).

103- Jalali, V. R. and M. Homaee. 2010. Assessing macroscopic salinity models for predicting canola response to salinity under bud stage. Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for Changing World, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia, Symposium 4.2.2, pp 50-52.

104- Jalali, V. R. and M. Homaee. 2010. Assessing macroscopic salinity models for predicting canola response to salinity under bud stage. Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for Changing World, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia, Symposium 4.2.2, pp 50-52.

105- Jalali, V.R. and M. Homaee. 2009. Assessing salinity models for predicting canola response to salinity under rosette stage. Proceedings of XXXIII CIOSTA Conference 2009, Technology and Management to Insure Sustainable Agriculture, Agro Systems, Forestry and Safety; 17- 19 June 2009, Reggio, Italy, pp1283-1282.

106- Jalali, V.R. and M. Homaee. 2009. Assessing salinity models for predicting canola response to salinity under rosette stage. Proceedings of XXXIII CIOSTA Conference 2009, Technology and Management to Insure Sustainable Agriculture, Agro Systems, Forestry and Safety; 17- 19 June 2009, Reggio, Italy, pp1283-1282.

107- Jalali, V.R., M. Homaee and S. Taherizadeh. 2009. Investigations on optimal use of saline soil and waters for sustainable canola production. Proceedings of XXXIII CIOSTA Conference 2009, Technology and Management to Insure Sustainable Agriculture, Agro Systems, Forestry and Safety; 17- 19 June 2009, Reggio, Italy, pp1289-1292.

108- Jalali, V.R., M. Homaee and S. Taherizadeh. 2009. Investigations on optimal use of saline soil and waters for sustainable canola production. Proceedings of XXXIII CIOSTA Conference 2009, Technology and Management to Insure Sustainable Agriculture, Agro Systems, Forestry and Safety; 17- 19 June 2009, Reggio, Italy, pp1289-1292.

109- Kamizoulis, George 2004. "Development of Coastal Reveational Water Quality Standards in the Mediterranean", Environment International 30.

110- Karami, A., M. Homaee and S. Basirat. 2010. Quantitative and qualitative response of rice genotypes (Oryza Sativa) to salinity levels of drained water. Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for Changing World, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia, Working Group 3.5, pp 58-61.

111- Kiani A.R., Gh.A. Roshani and M. Homaeee. 2008. Evaluating water uptake models under salinity and water stress conditions. Proceedings of Second International Salinity Forum. 30 March-3 April 2008, Adelaide Convection Centre, Adelaide, Australia.

112- Kiani, A.R., A. Asadi, M. Homaee and M. Mirlatifi. 2004. Wheat production Function under water and salinity stress. Proceedings of MTERM International Conference, AIT, Thailand.

113- Kiani, A.R., M. Mirlatifi and M. Homaee. 2004. Effect of different irrigation regimes and salinity on wheat yield in Gorgan region. Agricultural Engineering Conference, Leuven, Belgium.

114- Kiani, A.R., M. Mirlatifi and M. Homaee. 2004. Wheat production function under salinity and water stress. Agricultural Engineering Conference, Leuven, Belgium.
115- Liaghat A.M. and M. Homaee. 2004. Conjuctive water application and salt concentration in the root zone. In: EuroSoil 2004 Abstracts, pp 131. International Conference, September 4-12, Freiburg, Germany.
116- Liaghat, A. M. and M. Homaee. 2003. Crop and soil effects of conductive use of fresh and saline water with corn. J. Exp. Botany. 54:i49-i50.
117- Maas E.V. and C.M. Grieve. 1994. Salt tolerance of plants at different stages of growth. P. 181-197.In proc. Int. Conf. Current Development in Salinity and Drought Tolerance of plants. 7-11 Jan. 1990. Tando Jam , pakistan.
118- Maas, E.V.,J.A. Poss, and G.J. Hoffman. 1986. Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. Irrig, Sci. 7:1-11.
119- Maas, E.V.1993. Salinity and citriculture. Tree Physiol. 12:195-216.
120- Madramootoo, C.A., Kaluli, W.J., Zhou, X., Mackenzie, A.F. and Smith, D.L. 1995. Water table management and cropping systems for environmental sustainability. ASAE paper No. 95-2360, St. Joseph, MI: ASAE.
121- Madramootoo, C.A., Papadopoulos, A. and Dodds, G.T. 1993. Agronomic and environmental benefits of water table management. J. Irr. and Drain. Engineering, ASCE, 119(6):1052-1065.
122- Madramootoo, C.A., Wiyo, K.A. and Enright, P. 1992. Nutrient loses through the tile drains from two potato fields. Applied engineering in agriculture 8(5):639-646.
123- Mass, E.V. & S. R. Grattan, 1999. Crop yields as affected by salinity. In R.W. Skaggs & J. Van Schilfgaarde, eds. Agricultural drainage. No 30 in the series Agronomy. Madinson, Wisconsin, USA.
124- Minhas, P.S. 1998. Crop Priduction in Saline soils. In N.K. Tyagi & P.S. Minhas, eds. Agricultural saminity management in India Karnal, India, Central Samlinity Research Institute.
125- Naresh, R. K., P.S. Minhans, A. K. Goyal, C.P.S. Chauhan & R. K. Gupta, 1993. Conjunctive use of saline and non- saline waters (II). Field Comparisons of cyclic uses and mixing for wheat. Agric. Water Manag, 23:139-148.
126- North Carolina State University, 2003. "Water Quality and land Treatment Educatinal Component"
127- Oster, J.D., G.J. Hoffman and F.E. Robindon. 1984. Management alternatives: crop, water, and soil. Calif. Agric. 38:29-32.
128- Oster, J.D., S.R. Kaffka, M.C. Shannon & S.R. Grattan. 1999. Saline-sodic drainage water: a resource for forage production. Transaction Seventeenth International Congress on Irrigation and Drainage. 11-19 Sept. 1999. Granda, Spain.
129- Parker, M.B., G.J. Gascho, and T.P. Gaines. 1983. Chloride toxicity of soybeans grown on Atlantic coast flawoods soils. Agron. J.75:439-442.
130- Pasternak, D. and Y. De Malach. 1994. Crop irrigation with saline water.p.599-622. In: M. Pessarakli(ed.) Handbook of plant and crop stress. Marcek Dekker Inc., New York.
131- Pazira, E. and M. Homaee. 2003. Salt affected resources in Iran extension and reclamation. J. Exp. Botany. 54:59.
132- Pazira, E. and M. Homaee. 2010. Salt leaching efficiency of subsurface drainage systems at presence of diffusing saline water table boundary: a case study in Khuzestan plains, Iran. Proceedings of the XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), June 13-17, 2010, Quebec City, Canada, pp 1-15.

133- Pearson, G.A., and L. Bernstein. 1959. Salinity effects at several growth stages of rice. Agron. J. 51:654-657.
134- Playan, E., and J. M. Faci. 1997. Border fertigation: field experiments and a simple model. Irrig. Sci. (17): 163-171.
135- Poss. J.A.,E. Pond, J.A. Menge, and W.M Jarrell, 1985. Effest of salinity on mycorrhizal onion and tomato in soil with and without additional phosphate. Plant Soil 88:307-319.
136- Pratt. P.F., and D.L. Suarez. 1990. Irrigation water quality assessments. P.220-236. In K.K. Tanji (ed,) Agricultural salinity assessment and managements. Manuals Rep. Eng. Practice no. 71. Am. Soc. Civil Eng., New York.
137- Rader, L. F., White, L. M., and Whittaker, C. W. 1943. The salt index-A measure of the effect of fertilization on the concentration of the soil solution. Soil Sci. 55: 201-218.
138- Rhoades, J.D., A., Kandiah, and A.M. Mashali. 1992. The use of saline waters for crop Production. FAO. Irrigation and Drainage Paper No.48.
139- Rhoades, J.D.1999. Use of saline drainage water for irrigation.p.615-657 In R.W. Skaggs snd J. van Shilfgaarde(ed). Agricultural drainage. Agron. Monogr.38. ASA.CSSA. Madison ,WI.
140- Rutherford, B. 1997. Toxic chemicals and the Ramsar Convention. The ramsar Convention on wetlands. http://www.ramsar.org/about_toxic_chemicals.htm.
141- Santos J., Sousa P. L., Smith M. 1997. Model simulation of water and nitrate movement in level-basin under fertigation. Agriculture Water Management. 32: 293-306.
142- Shannon , M.C. 1980. Differences in salt tolerance within “Empire” lettuce. J. Am. Soc. Hort. Sci. 105:944-947.
143- Shannon, M.C., and C.L. Noble. 1990 Genetic approaches for developing economic salt- tolerant crops. P. 161-185. In K.K. Tanji (ed.) Agricultural salinity assessment and management. Manuals Rep. Eng. Practice no.71 Am. Soc. Civil Eng., New York.
144- Sharma D. P. and N. K. Tyagi. 2004. On farm management of salin drainage water in arid and semi- arid regions. J. Irrigation & drinage, 53: 87-103.
145- Sharma, D.P., Rao, K.V. G.K., Singh, K.N., Kumbhare, P.S. & Oosterbann, R. J. 1994. Conjunctive use of saline non-saline irrigation waters in semi- arid regions. Irrig. Sci., (15): 25-33.
146- Sharpley, A,N., J.J. Meisinger, J.F. Power and D.L. Suarez. 1992. Root extraction of nutrients associated with long –term soil management. In J.L. Hatfield and B.A. Steward(eds.) Advances in soil sciende. Vol. 19. Springer-Verlag, New York.
147- SJVDIP (San Joaquin Valley Drainage Implementation Program). 1999c. Land retirement technical committee report. Sacramento, United States of America, Department of Water Resources. 100 pp.
148- SJVDIP (San Joaquin Valley Drainage Implementation Program). 1999e. Source reduction technical committee report. Sacramento, United States of America, Department of Water Resources. 33 pp.
149- SJVDIP (San Joaquin Valley Drainage Implementation Program). 1999f. Groundwater management technical committee report. Sacramento, United States of America, Department of Water Resources. 52 pp.
150- SJVDIP (San Joaquin Valley Drainage Implementation Program). 1999a. Drainage reuse technical committee report. Sacramento, United States of America, Department of Water Resources. 81 pp.
151- SJVDIP (San Joaquin Valley Drainage Implementation Program). 1999b. Drainage water treatment technical committee report. Sacramento, United States of America, Department of Water Resources. 41 pp.

152- Skaggs, R.W., Breve, M.A. and Gilliam, J.W. 1994. Hydrologic and water quality impacts of agricultural drainage. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 24: 1-32.
153- Soltanpour, P.N. & Raley, W. L. 2001. Livestock drinking water quality Colorado State University Cooperative Extension, No. 4. 908. http://www.ext.colostate.edu/PIBS/LIVESTK/04908.html
154- South African Water quality Guidelines. Industrial Water Use " 1996a. Volume 3.
155- South African Water quality Guidelines. Industrial Water Use" 1996b. Volume2.
156- Sprent, J. E. 1972. The effects of water stress on nitrogen fixing root nodules. III. Effects of osmotically applied stress. New Phytologist 71: 451-460.
157- Straub. Conradp., 1989. " Practical Handbook of Environmental Control".
158- Tan, Y., W. J. Bond, and D. M. Griffin, 1992. Transport of bacteria during unsteady unsaturated soil water flow. Soil Science Society of American Journal 56: 1331-1340.
159- Tanji, K.K. 1990. The nature and extent of agricultural salinity, P. 1-17. In K.K. Tanji (ed.) Agricul tural salinity assessment and management. Manuals Rep. Eng. Practice No. 71, Am. Soc. Civil Eng. New York.
160- Tanji, K.K. and N. Kielen, 2002. Agricultural drainage water management in arid and semiarid areas. FAO Irrigation and Drainage paper, Rome, Italy.
161- U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954, Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agric. Handb. 60. U.S. Gov. Print. Office. Washington, DC.
162- U.S. Department of Agriculture, 1992. Agricultural waste management field handbook, Part 651, National Engineering Handbook. Washington, D.C.
163- Unc, A. and M.J. Goss, 2004. Transport of bacteria from manure and protection of water resources. Appl. Soil Ecol. 25:1-18.
164- Van Bakel, P.J.Th. 2003. Controlled drainage in The Netherlands. Paper No.12. Presented at the 9th International Drainage Workshop, September 10-13, 2003, Utrecht, The Netherlands: 6pp.
165- Van Genuchten, M. Th. 1983. Analyzing crop salt tolerance data: Model description and manual. USDA-ARS-USSL Res. Rep. No. 120.U.S. Gov. print. Office, Washington, DC.
166- Van Genuchten, M. Th. and S. K. Gupta. 1993. A reassessment of the crop response function. J. Indian Soc. Soil Sci. 41(4):730-737.
167- Van Genuchten, M.Th., and G.J. Hoffman. 1984. Analysis of crop salt tolerance data. P. 258-271. In I. Shainberg and J. shalhevet (ed.) Soil salinity under irrigation process and management. Ecol. Stud. 51.Springer-Verlag, New York.
168- Vincent, J. M. 1974. Root nodule symbiosis with Rhizobia. In A. Quispel (ed.), The Biology of Nitrogen Fixation, American Elsevier, New York, PP. 265-341.
169- Wadleigh, C.H., and A.D. Ayers. 1954. Growth and viochemical composition of bean plants as conditioned by soil moisture tension and salt concentration. Plant Physiol.20:106-132.
170- Water Quality "Principles and Practices of water supply operation series", 2003.
171- Wesstorm I. 2001. Controlled drinage effects on darin outflow and water quality. J. Agriculture water management. 47. (85-100).
172- Westcot, D.W., 1997. Quality Control of wastewater for irrigation crop production. FAO water report- 10. Rome, Italy.
173- Westerman, R. L., and Tucker, T. C. 1974. Effect of salts and salts plus nitrogen-15 labeled ammonium chloride on mineralization of soil nitrogen, nitrification and immobilization. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38: 602-605.

174- WHO, 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture. Technical Report No. 778. WHO. Geneva 74p.
175- WHO, 2003. " Guideline for safe Recreational Water Environments" Volume 1: Coastal and Fresh Waters, World Heal th organization.