زهکشی و محیط زیست
جلد نخست- آلاینده ها و منابع پذیرنده زهاب

مجتبی اکرم

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

شماره انتشار: ۱۹۰
۱۴۰۳

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران

زهکشی و محیط زیست

جلد نخست: آلاینده‌ها و منابع پذیرنده زهاب

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مجتبی اکرم

شماره انتشار: ۱۹۰

۱۴۰۳

بسم الله الرحمن الرحيم

سرشناسه : اکرم، مجتبی، ۱۳۲۷ –
عنوان و نام پدیدآور: زهکشی و محیط زیست/ مجتبی اکرم؛ [برای] وزارت نیرو شرکت مدیریت منابع آب ایران.
مشخصات نشر : تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴-
مشخصات ظاهری: ج.
فروست : کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران؛ شماره انتشار ۱۹۰.
شابک : ج.۱
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : فهرست‌نویسی بر اساس جلد دوم، ۱۴۰۲.
مندرجات : ج.۱. آلاینده‌هاو منابع پذیرنده زهاب
موضوع : زهکشی -- جنبه‌های زیست‌محیطی
Drainage -- Environmental aspects
شناسه افزوده : سازمان مدیریت منابع آب ایران
رده بندی کنگره : TC۹۷۰
رده بندی دیویی : ۶۲۷/۵۴
شماره کتابشناسی ملی :۹۴۳۱۶۰۶
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا

نام کتاب: زهکشی و محیط زیست، جلد نخست: آلاینده ها و منابع پذیرنده زهاب
مؤلف: مجتبی اکرم
ناشر: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
حروف چینی و صفحه آرایی: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
چاپ اول: ۱۴۰۳
شمارگان: ۵۰۰ نسخه
شابک: ۶-۹-۹۶۸۷۵-۶۰۰-۹۷۸
نشانی: تهران، خیابان دکتر فاطمی، روبه روی خیابان حجاب، پلاک ۲۵۵،
تلفن: ۸۸۹۶۷۰۵۱
http://www.irncid.org Email: irncid@gmail.com

حق چاپ برای کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران محفوظ است

پیش گفتار رییس شورایعالی کمیته ملی آبیاری و زهکشی

شرایط اقلیمی کشور ایران به گونه‌ای است که بخش کشاورزی آن برای تولید مواد غذایی به شدت به آبیاری وابسته است. این وابستگی به حدی است که با وجود سطح نسبتا یکسان اراضی سالانه زیر کشت دیم و فاریاب کشور، حدود ۹۰ درصد فرآورده‌های کشاورزی از زراعت آبی حاصل می‌شود. در چنین شرایطی تاثیرات اقلیمی ناشی از پدیده خشکسالی و یا ترسالی می‌تواند اثرات منفی یا مثبت زیادی بر تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی کشورمان داشته باشد. شرایط متفاوت اقلیمی و منابع آب ایران نیازمند رویکرد متفاوت کارشناسان، محققان، مدیران و مراکز علمی و پژوهشی کشورمان در بخش آبیاری و زهکشی به این مهم می‌باشد.

پژوهشگران و مراکز تحقیقاتی ایران می‌بایست از پویایی، ابتکار، نوآوری و پژوهش محوری ویژه‌ای برخوردار باشند تا بتوانند کشور را در شرایط پایدار تولید حفظ نمایند. کلیه کارشناسان و مراکز علمی، پژوهشی و آموزشی که در خانواده بزرگ آب و خاک کشورمان فعال هستند مسئولیت بزرگی در تأمین امنیت آبی و غذایی برعهده دارند. یکی از مراکز علمی فعال در صنعت آب کشورمان، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران است که در سال ۱۳۷۰ پس از یک وقفه طولانی به طور رسمی آغاز به کار کرده است. این کمیته ملی طی دو دهه اخیر نقش مؤثری در اشاعه علوم و فنون آبیاری و زهکشی در ایران داشته است. اثربخشی علمی و فرهنگی بیش از ۲۰۰ جلد کتاب و گزارش فنی این کمیته ملی به همراه برگزاری دهها سمینار و کارگاه‌های فنی ـ آموزشی در ادبیات کارشناسان و مدیران صنعت آب کشور به خوبی آشکار است. خودباوری کارشناسان ایرانی نه تنها تاثیر عمیقی بر توسعه و پیشرفت آبیاری و زهکشی کشورمان داشته، بلکه در سطح بین‌المللی نیز موجب توفیقات زیادی برای ایران شده است.

در اینجا جا دارد از کلیه همکارانم در شورایعالی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران که نقش سیاست‌گذاری کلان این کمیته ملی را عهده‌دار هستند و هیئت اجرایی که وظیفه نظارت و هدایت بدنه علمی این کمیته ملی را به دوش دارند و نیز کادر علمی و فنی متخصص که در تهیه این کتاب

ارزشمند کوشا بوده است، قدردانی و سپاسگزاری نمایم. از خداوند منان پیشرفت و توسعه کشور عزیزمان ایران را در کلیه امور، به ویژه اعتلای صنعت آب و کشاورزی را مسئلت دارم.

محمد جوان بخت
معاون وزیر نیرو در امور آب و آبفا،
مدیرعامل شرکت مدیریت منابع آب ایران
و رییس شورایعالی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

پیش‌گفتار نویسنده

محیط‌زیست جهان به طور فزاینده‌ای در حال تخریب و محیط‌زیست ایران در آستانه نابودی است. سیاست‌های نادرست مدیریتی، همراه با پدیده‌های طبیعی مانند خشکسالی و تغییراقلیم در این تخریب نقش اصلی دارند. وضعیت جنگل‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، حیات وحش، پوشش گیاهی و دیگر اجزای محیط‌زیست طبیعی چندان خوب نیست. خشک شدن دریاچه ارومیه، نابودی تالاب گاوخونی و دریاچه پریشان، نابودی آرام آرام تالاب‌های بزرگ و بین‌المللی هامون در سیستان، میانکاله در مازندران و انزلی در گیلان و... همراه با خشک شدن یا کم آب شدن بسیاری از رودخانه‌های مهم و پرآب مانند زاینده‌رود، همگی نشانه‌هایی از نابودی محیط‌زیست آبی ایران هستند.

در منابع خاک نیز، گر چه با نمودی کمتر، تخریب گسترده‌ای در حال روی‌دادن است. جنگل‌زدایی، بیابانزایی، سیل، آلودگی‌های کشاورزی، صنعتی و شهری، چرای بیش ازاندازه، آیش درازمدت، بالا آمدن یا پایین افتادن بیش ازاندازه سطح آب زیرزمینی، توسعه شهرها و مناطق مسکونی، شور و سدیمی شدن خاک، کاهش باروری، آلودگی‌های شیمیایی، تراکم خاک، فرسایش، ماندابی و غرقاب شدن، تخریب ساختمان خاک، نشست خاک‌های آلی و کاهش خردجانداران خاک از جمله موارد یا عواملی هستند که محیط‌زیست را تغییر داده و در بیشتر موارد تخریب کرده‌اند.

در بخش کشاورزی، زهکشی، هرچند خود تولیدکننده آلایندگی نیست، لیکن عامل اصلی انتقال آلودگی به منابع پذیرنده زهاب است. در این کتاب تلاش شده است که به عنوان مطالعه‌ای موردی، وضعیت رودخانه کارون، به عنوان بزرگترین منبع پذیرنده زهاب، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. همزمان، وضعیت دو تالاب، یکی طبیعی و دیگری انسان ساخت، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تالاب بین‌المللی شادگان در خوزستان به عنوان بزرگ‌ترین تالاب طبیعی ایران وتالاب جنوب غربی خوزستان، به عنوان تالابی انسان ساخت که زهاب دو واحد کشت وصنعت جنوب اهواز را دریافت می‌کند.

در بخشی دیگر، آلاینده‌های زهاب مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این میان، شوری خاک وآب در اقلیم خشک و نیمه خشک ایران جایگاه ویژه‌ای دارد. بقایای کودهای شیمیایی و دامی و بویژه نیتروژن و فسفر، که در ایران بطور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، از آلاینده‌های اصلی محیط‌زیست هستند. فلزات سنگین نیز از آلاینده‌های مهم به شمار می روند که اطلاعات زیادی در باره آن وجود ندارد. با کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های آب شهری، آلاینده‌ها به خاک و گیاه می رسند و به سلامت محیط‌زیست انسانی زیان وارد می کنند. از این روست که به موضوع پساب نیز پرداخته شده است.

در بخش پایانی به راهکارهای کاهش آلودگی زهاب پرداخته می‌شود و برای هر یک از آلاینده‌های مهم، یک یا چند راهکار بهبود ارائه می‌شود. برای نمونه می‌توان از راهکارهایی مانند کاهش عمق زهکش‌ها برای کاستن از بار آلودگی نمک و بقایای کودها، احداث تالاب برای کاهش نیترات و تا اندازه‌ای فسفر، پالایش گیاهی در پهنه‌های آلوده به فلزات سنگین، روش‌های معروف به راهکارهای کنار مزرعه مانند بیوراکتورها و بافرها و فناوری‌های دیگر پالایش زهاب نام برد. این روش‌ها هنوز تا اندازه زیادی در کشور شناخته شده نیستند. هرچند امروزه چشم انداز گسترده‌ای برای کاربرد برخی از آنها وجود ندارد، لیکن باید امیدوار بود که در آینده، برخی از تولیدکنندگان بزرگ زهاب، که بطور معمول از کارشناسان آبیاری نیز بهره می‌جویند، با کسب آگاهی بیشتر، با هدف کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، به سوی استفاده از این روش‌ها حرکت کنند.

امید است این مجموعه که در دو جلد ارائه می شود، بتواند برای پژوهشگران و دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته‌های آبیاری، عمران و محیط‌زیست مفید باشد. هرچند این مجموعه به عنوان درسنامه تهیه نشده است، لیکن بخش‌هایی از آن می تواند به عنوان مطالب درسی نیز در نظر گرفته شود.

مجموعه‌ای با این عنوان و محتوی برای نخستین بار نوشته شده است. از این رو، بی‌تردید، بی‌اشکال نیست. امید است که در آینده، همکاران دیگری بتوانند آن را بهبود بخشند و منتشر کنند.

محیط‌زیست بشری، نیازمند توجه بیشتری است.

مجتبی اکرم

۱۴۰۳

سپاسگزاری نویسنده

در ابتدا از کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران که زمینه انتشار کتاب را فراهم آورد سپاسگزاری می کنم. در تدوین کتاب از اظهار نظرهای داوران، جناب آقایان عبدالمجید لیاقت، مهدی همائی، عباس ستوده نیا و علی مختاران بهره بسیاری برده‌ام. بدین وسیله مراتب قدردانی خود را اعلام می کنم. همکاران دیگری نیز مرا در تهیه آمار و اطلاعات یاری رسانده و منابع علمی ارزنده ای را در اختیار گذاردند. از جناب آقایان مهرزاد احسانی، ابراهیم پذیرا، فواد تاجیک، احمد لطفی و شرکت مهندسین مشاور پندام، اردوان آذری و مهندسین مشاور یکم سپاسگزاری می کنم. از جناب آقایان محمد بای بوردی و ابراهیم پذیرا، پیشکسوتان زهکشی در ایران، که با دلواپسی از پیشرفت کار تدوین کتاب پرس و جو می کردند و مایه دلگرمی بودند بسیار سپاسگزارم. استادان بزرگوار جناب آقایان حیدرعلی کشکولی، مسعود پارسی نژاد و مجید خلقی و نیز اعضای گروه کار زهکشی و محیط زیست کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران همواره مرا برای انجام این کار تشویق کردند. از آنها صمیمانه سپاسگزارم. قدردان زحمات سرکار خانم پریسا کهنسال که کار صفحه آرائی را انجام دادند نیز هستم.

به یاد

دکتر حسن رحیمی

استاد پیشین گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

فهرست مطالب

فصل نخست -توسعه پایدار و محیط زیست کشور	۱
۱-۱-پیش گفتار	۱
۱-۲-نگاه قانون اساسی به محیط زیست	۲
۱-۳-سیاست های کلی محیط زیست مصوب رهبری در کشور	۲
۱-۴-بخش های گوناگون محیط زیست	۵
۱-۴-۱-محیط زیست طبیعی	۵
۱-۴-۲-محیط مصنوعی یا انسان ساخت	۶
۱-۴-۳-محیط اجتماعی	۶
۱-۵-سند توسعه پایدار سازمان ملل متحد	۷
۱-۶-جایگاه جهانی ایران از دیدگاه محیط زیست	۱۳
۱-۷-جایگاه ایران در چند موضوع مرتبط با کشاورزی وآب	۱۵
۱-۸-تقسیم وظایف در ایران برای رسیدن به هدف های توسعه پایدار	۱۷
فصل دوم-کشاورزی و محیط زیست آبی	۱۹
۲-۱-پیش گفتار	۱۹
۲-۲-کشاورزی و آلودگی آب	۲۰
۲-۳-گسترش کشاورزی و تاثیر بر محیط زیست	۲۱
۲-۴-افزایش جمعیت و محیط زیست آبی	۲۲
۲-۵-گسترش سطح زیرکشت و افزایش مصرف نهاده های کشاورزی	۲۴
۲-۵-۱-زراعت و باغبانی	۲۴
۲-۵-۲-دامپروری	۲۵
۲-۵-۳-آبزی پروری	۲۶
۲-۶-آلاینده های کشاورزی، منابع و اثرات	۲۷
۲-۶-۱-سموم شیمیایی	۲۹
۲-۶-۲-نمک ها	۳۰
۲-۶-۳-رسوبات	۳۱

۲-۶-۴-مواد آلی ۳۲
۲-۶-۵-عوامل بیماری زا ۳۲
۲-۶-۶-آلاینده های نوظهور ۳۳
۲-۷-راهکارها ۳۳
۲-۷-۱-کار بر روی محرک ها ۳۴
۲-۷-۲-ابزارهای سیاست ۳۵
۲-۸-پژوهش و اطلاعات ۳۷
۲-۸-۱-اقدامات درون مزرعه ۳۸
۲-۸-۲-اقدامات خارج از مزرعه ۴۰

فصل سوم -کلیات زهکشی و محیط زیست ۴۳
۳-۱-پیش گفتار ۴۳
۳-۲-هدف های زهکشی ۴۳
۳-۳-اثرات زیست محیطی زهکشی ۴۵
۳-۳-۱-برهم زدن ویا آلوده سازی محیط زیست ۴۶
۳-۳-۲-استفاده بیش از اندازه از منابع طبیعی ۴۶
۳-۳-۳-تخریب یا آسیب رسانی به زیست بوم طبیعی ۴۷
۳-۴-اثرات جانبی بر محل اجرای طرح زهکشی ۴۹
۳-۴-۱-از بین رفتن تالاب ها ۴۹
۳-۴-۲-تغییر زیستگاه ۵۱
۳-۴-۳-پایین رفتن سطح ایستابی ۵۲
۳-۴-۴-نشست زمین ۵۳
۳-۴-۵-شوری خاک ۵۳
۳-۴-۶-اسیدی شدن ۵۴
۳-۴-۷-نشت ۵۵
۳-۴-۸-فرسایش ۵۶
۳-۴-۹-تغییر در حجم رواناب و زهاب ۵۶
۳-۴-۱۰-آبشویی مواد غذایی، علف کش ها و عناصر دیگر ۵۶
۳-۴-۱۱-بهداشت ۵۷

۳ -۵ - اثر زهکشی بر پایین دست ۶۰
۳- ۵- ۱- دفع زهاب ۶۰
۳- ۶- راه‌های تخلیه زهاب ۶۵
۳- ۶- ۱- افزایش راندمان آبیاری ۶۶
۳- ۶- ۲- افزایش راندمان زهکشی ۶۶
۳-۶-۳- استفاده دوباره از زهاب ۶۷
۳- ۶- ۴- دفع زهاب به آب‌های سطحی ۷۱
۳- ۶- ۵- حوضچه‌های تبخیر ۷۳
۳- ۶- ۶- اثر بر مقدار رواناب سطحی ۷۵
۳- ۶- ۷- نشت از زهکش‌های روباز ۷۵
۳- ۶- ۸- اثر بر بالادست ۷۶
۳- ۷- ارزیابی محیط‌زیستی طرح‌های زهکشی ۷۶
۳- ۷- ۱ - هدف‌ها و انتخاب ضوابط ارزیابی ۷۸
۳- ۷- ۲- گزینه‌های طرح توسعه ۷۸
۳-۷-۳- اثرات زیست‌محیطی گزینه‌ها ۷۹
۳- ۷- ۴- روش‌های ارزیابی ۷۹
۳-۸- نتیجه ارزیابی ۸۲

بخش دوم- منابع پذیرنده زهاب ۸۳
فصل چهارم- منابع پذیرنده زهاب، نمونه‌هایی از خوزستان ۸۵
۴- ۱- پیش‌گفتار ۸۵
۴- ۲- پایانه زهکشی، مهم ترین بخش شبکه ۸۷
۴- ۳- مشکلات زیست محیطی زهکشی در خوزستان ۸۷
۴- ۳- ۱- فرهنگ مصرف آب ۸۸
۴- ۳- ۲- طراحی زهکش‌ها ۸۹
۴- ۳- ۳- نگاهی دیگر به زهکشی ۸۹
۴- ۳- ۴- کاستن از مشکلات در مبدا ۹۰
۴-۴- رود کارون، نمونه‌ای از منابع پذیرنده زهاب ۹۲
۴- ۵- تاثیر زهکشی بر منابع پذیرنده زهاب ۹۳

۴- ۶- شرایط عمومی آب و کشاورزی استان خوزستان ۹۴
۴- ۶- ۱- خاک ۹۶
۴- ۶- ۲- منابع آب ۹۶
۴- ۶- ۳- ویژگی‌های مهم کشاورزی و زهکشی خوزستان ۹۸
۴- ۶- ۴- چالش‌های آبیاری و زهکشی خوزستان ۱۰۰

فصل پنجم - حجم زهاب حوضه دز و کارون ۱۰۳
۵-۱- پیش‌گفتار ۱۰۳
۵- ۲ - وضع کنونی آب خوزستان ۱۰۵
۵- ۳- حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ ۱۰۵
۵- ۴- چالش‌های زهکشی در خوزستان ۱۰۷
۵- ۴-۱- حجم زهاب کشاورزی ۱۰۸
۵- ۴-۲- حجم پساب مزارع پرورش ماهی ۱۰۹
۵-۵- عامل اصلی تولید زهاب ۱۱۱

فصل ششم -کیفیت زهاب حوضه دز و کارون ۱۱۵
۶-۱- پیش‌گفتار ۱۱۵
۶-۲- آلاینده‌های رودخانه کارون ۱۱۶
۶-۳- نمونه‌هایی از آلودگی‌ها در دز و کارون ۱۱۷
۶-۴- توزیع مکانی نمک در طول دز و کارون ۱۱۸
۶-۵- توزیع زمانی نمک در طول دز و کارون ۱۲۰
۶-۶- نیشکر و آلایندگی شوری کارون ۱۲۲

فصل هفتم - تالاب مصنوعی جنوب غربی اهواز ۱۲۵
۷-۱- پیش‌گفتار ۱۲۵
۷-۲- ویژگی‌های کلی امروز تالاب ۱۲۶
۷-۳- منابع آب تالاب ۱۲۷
۷-۴- مساحت تالاب ۱۲۹
۷-۵- سطح دلخواه تالاب ۱۳۱

۷-۶- راه حل‌های احتمالی ۱۳۲
۷-۶- ۱- اقدامات درون مزرعه ۱۳۳
۷-۷- راهبردهایی برای آینده تالاب ۱۴۰

فصل هشتم - تالاب شادگان ۱۴۳
۸- ۱- پیش‌گفتار ۱۴۳
۸- ۲- شهرستان شادگان ۱۴۵
۸- ۳- اهمیت تالاب شادگان ۱۴۶
۸- ۴- حوضه آبریز رود جَرّاحی ۱۴۷
۸- ۵- سدهای مخزنی حوضه ۱۵۰
۸- ۵-۱- سد مارون ۱۵۰
۸- ۵- ۲- سد شهدا ۱۵۰
۸-۵- ۳- سد جایزان ۱۵۱
۸- ۵- ۴- سد مخزنی جره ۱۵۱
۸- ۶- شوری آب در حوضه آبریز ۱۵۱
۸- ۷- تالاب شادگان و شوری آب ۱۵۲
۸-۸- طرح‌های بالادست ۱۵۳
۸- ۹- ویژگی‌های غیر حیاتی تالاب ۱۵۴
۸- ۹ -۱- آب و هوا ۱۵۴
۸- ۹ —۲- خاک ۱۵۵
۸- ۱۰- منابع آب تالاب ۱۵۷
۸- ۱۰ - ۱- کیفیت آب ورودی ۱۶۰
۸- ۱۰ -۲- گستره تالاب ۱۶۲
۸- ۱۱- ویژگی‌های حیاتی تالاب ۱۶۲
۸- ۱۱- ۱- پوشش گیاهی ۱۶۲
۸- ۱۲- اثر توسعه کشاورزی در بالادست ۱۶۳
۸- ۱۳- زهاب و تالاب ۱۶۷

بخش سوم- آلاینده های زهاب ۱۶۹

فصل نهم -شوری ۱۶۹
۹- ۱- پیش گفتار ۱۶۹
۹- ۲- رده بندی خاک‌های شوری زده ۱۷۰
۹- ۳- تاریخچه شوری خاک ۱۷۱
۹- ۴- شوری خاک در جهان ۱۷۱
۹- ۵- رده‌های اصلی خاک‌های ایران ۱۷۲
۹- ۶- گستردگی خاک‌های شوری‌زده ایران ۱۷۳
۹- ۷- مطالعات کلی خاکشناسی ۱۷۴
۹- ۸- مطالعات خاکشناسی از دیدگاه آبیاری و زهکشی ۱۷۶
۹- ۸- ۱- طبقه‌بندی خاک برای آبیاری ۱۷۶
۹- ۸- ۲- خاک‌های شوری‌زده کشور ۱۷۶
۹- ۸- ۳- ویژگی‌های خاک‌های شوری‌زده ۱۷۷
۹-۹- شوری خاک در مقیاس سرزمین ۱۷۸
۹- ۱۰- شوری در مقیاس زمین‌های کشاورزی ۱۷۹
۹- ۱۱- پراکندگی دشت‌های کشاورزی دارای خاک شوری زده ۱۸۰
۹-۱۱-۱- شوری اولیه ۱۸۱
۹-۱۱-۲- شوری ثانویه ۱۸۲
۹- ۱۲- شوری خاک و آب زیرزمینی کم عمق ۱۸۵
۹- ۱۳- تغییرات زمانی - مکانی شوری خاک ۱۸۵
۹- ۱۴- شوری آب ۱۸۶
۹- ۱۵- دشت‌های دارای منابع آب زیرزمینی لب شور ۱۸۷
۹- ۱۶- محیط‌زیست و شوری خاک ۱۸۷
۹- ۱۶- ۱- شوری خاک و کاهش تولیدات کشاورزی ۱۸۹
۹- ۱۶-۲- تنوع زیستی ۱۹۳
۹- ۱۶- ۳- فرسایش خاک ۱۹۴
۹- ۱۶- ۴ - بیابانی شدن ۱۹۴
۹-۱۶- ۵- تخریب منابع آب سطحی ۱۹۵

۹- ۱۶-۶- تخریب منابع آب‌های زیرزمینی ۱۹۶
۹- ۱۶-۷-کاهش فعالیت‌های بیولوژیک خاک ۱۹۶
۹- ۱۶- ۸- خطر سیل و اثر بر زیرساخت‌ها و تجهیزات ۱۹۷
۹- ۱۶-۹- خطرات و مشکلات دیگر ۱۹۷
۹- ۱۶-۱۰- شوری و مشکلات اجتماعی ۱۹۸
۹- ۱۷- راه‌های کاهش اثرات نامناسب شوری ۱۹۸

فصل دهم - نیتروژن ۱۹۹
۱۰- ۱- پیش گفتار ۱۹۹
۱۰- ۲- چرخه نیتروژن در طبیعت ۲۰۰
۱۰- ۳- نقش کلیدی باکتری‌ها در چرخه نیتروژن ۲۰۲
۱۰- ۴ - چرخه نیتروژن در زیست‌بوم‌های دریایی ۲۰۴
۱۰- ۵ - نیتروژن و گیاه ۲۰۶
۱۰- ۶ - مدیریت نیتروژن در گیاه ۲۰۶
۱۰- ۷- آبشویی نیتروژن ۲۰۹
۱۰- ۸- فرایند جذب نیتروژن ۲۱۰
۱۰- ۹- منابع نیتروژن ۲۱۱
۱۰- ۹- ۱- تثبیت نیتروژن اتمسفری ۲۱۱
۱۰- ۹- ۲- تثبیت زیستی نیتروژن ۲۱۲
۱۰- ۹ -۳- تثبیت آلی نیتروژن ۲۱۲
۱۰-۱۰- مدیریت نیتروژن ۲۱۲
۱۰- ۱۱- چند روش کاربرد مواد مغذی در کشاورزی ۲۱۳
۱۰- ۱۱-۱- روش پاشیدن کود ۲۱۳
۱۰- ۱۱- ۲- روش جا گذاری ۲۱۳
۱۰- ۱۱- ۳- روش برگی ۲۱۴
۱۰- ۱۱- ۴- روش کود آبیاری ۲۱۴
۱۰- ۱۲- نگاهی به الگوی جذب فصلی نیتروژن ۲۱۴
۱۰- ۱۳- نیتروژن در بخش‌های برداشت شده گیاه ۲۱۷
۱۰- ۱۴- عوامل مهم موثر بر آبشویی نیتروژن در خاک ۲۱۷

۱۰- ۱۴- ۱ - اثر عمق ریشه بر آبشویی نیتروژن از خاک ۲۱۸
۱۰- ۱۴- ۲- ثر سن گیاه بر آبشویی نیتروژن از خاک ۲۱۹
۱۰- ۱۴- ۳- ثر بافت خاک بر آبشویی نیتروژن از خاک ۲۲۰
۱۰- ۱۵- تعادل نیتروژن در خاک ۲۲۱
۱۰- ۱۵- ۱- منابع نیتروژن دار غیر از کود شیمیایی ۲۲۲
۱۰- ۱۵- ۲- نیترات باقی‌مانده خاک از کشت قبلی ۲۲۳
۱۰- ۱۵- ۳- نیترات موجود در آب آبیاری ۲۲۳
۱۰- ۱۵- ۴ - نیترات گیاهان خانواده بقولات ۲۲۴
۱۰- ۱۵- ۵- نیتروژن بقایای گیاهی ۲۲۵
۱۰- ۱۵- ۶- نیتروژن معدنی شده از مواد آلی خاک ۲۲۵
۱۰- ۱۵- ۷- نیتروژن از کود دامی ۲۲۶
۱۰- ۱۵- ۸- رسوب نیتروژن از اتمسفر ۲۲۷

فصل یازدهم- فسفر ۲۳۱
۱۱- ۱- پیش‌گفتار ۲۳۱
۱۱- ۲- منابع اصلی فسفر ۲۳۳
۱۱-۳- فسفر در محیط‌زیست ۲۳۵
۱۱-۴- کاهش مشکلات فسفر در محیط‌زیست ۲۴۰
۱۱- ۵- کنترل پدیده مغذی شدن ۲۴۲
۱۱- ۶- چرخه فسفر ۲۴۴
۱۱- ۷- دسترسی گیاهان به فسفر ۲۴۶
۱۱- ۸- آبشویی فسفر در خاک‌های کشاورزی ۲۴۷
۱۱- ۹- اثرات منفی فسفر بر زیست‌بوم‌های آبی ۲۴۸
۱۱- ۱۰- منابع فسفر ۲۵۲
۱۱-۱۱- راه‌های پیش‌گیری یا کاهش مغذی شدن آب ۲۵۳
۱۱- ۱۲- غلظت قابل قبول فسفر در آب‌ها ۲۵۴

فصل دوازدهم- فلزات سنگین ۲۵۷
۱۲- ۱- پیش‌گفتار ۲۵۷

۱۲- ۲- تعریف و ویژگی‌های اصلی فلزات سنگین ۲۵۸
۱۲- ۳- ویژگی‌های کلی فلزات سنگین ۲۵۹
۱۲- ۴- نقش زیستی فلزات سنگین ۲۶۰
۱۲- ۵- خطرات فلزات سنگین ۲۶۱
۱۲- ۶- علل آلودگی خاک ۲۶۱
۱۲- ۷- آلاینده‌های طبیعی ۲۶۲
۱۲- ۸- آلاینده‌های انسان ساخت ۲۶۳
۱۲- ۹- آلاینده‌های رادیواکتیو ۲۶۴
۱۲- ۱۰- زباله‌های شهری ۲۶۵
۱۲- ۱۱- زباله‌های صنعتی ۲۶۵
۱۲-۱۲- ویژگی‌های فلزات سنگین ۲۶۵
۱۲- ۱۳- منابع فلزات سنگین در خاک‌های آلوده ۲۶۹
۱۲-۱۳-۱- منابع طبیعی ۲۶۹
۱۲- ۱۳- ۲- منابع انسان ساخت ۲۷۰
۱۲- ۱۴- سمیت بالقوه فلزات سنگین ۲۷۰
۱۲- ۱۵- آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین و اثرات آن‌ها بر امنیت غذایی ۲۷۲
۱۲- ۱۵- ۱- خاک‌های کشاورزی و فلزات سنگین ۲۷۲
۱۲-۱۵-۲- تاثیر فلزات سنگین بر امنیت غذایی ۲۷۴
۱۲- ۱۶- فلزات سنگین در آبزیان ۲۷۵
۱۲- ۱۷- چارچوبی برای بهره برداری کشاورزی از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین ۲۷۵
۱۲- ۱۷- ۱- شناخت محل مشکل زایی، تجربه‌ای از لبنان ۲۷۵

فصل سیزدهم- استفاده از فاضلاب و پساب در کشاورزی ۲۷۹
۱۳- ۱- پیش‌گفتار ۲۷۹
۱۳- ۲- استفاده از پساب در کشاورزی، چشم‌انداز کشاورزی شهری ۲۸۱
۱۳- ۳- روندهای جهانی برای بازیافت آب در کشاورزی ۲۸۳
۱۳- ۴- استفاده از فاضلاب انسانی در کشاورزی ۲۸۵
۱۳- ۵- مزایای زراعی و اقتصادی استفاده از فاضلاب در آبیاری ۲۸۹
۱۳- ۶- - عوامل بیماری زا ۲۹۰

۱۳- ۷- اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده، نیمه تصفیه شده و پساب ۲۹۲
۱۳- ۷- ۱- کلیات ۲۹۲
۱۳- ۷- ۲- مخاطرات بهداشتی استفاده از پساب ۲۹۳
۱۳- ۸- دستورالعمل آبیاری با پساب ۲۹۷
۱۳- ۹- تزریق به آبخوان، راهی برای ایمن کردن پساب برای مصرف ۳۰۱
۱۳- ۱۰- طراحی سامانه تصفیه خاک-آبخوان ۳۰۲
۱۳- ۱۱- از پساب تا مواد غذایی ۳۰۵
۱۳- ۱۲- مروری بر منابع ۳۰۹
۱۳- ۱۲- ۱- تأثیر پساب بر ویژگی‌های خاک ۳۰۹
۱۳-۱۳- تغییرات فیزیکی خاک در اثر آبیاری با پساب ۳۱۵
۱۳- ۱۴- تأثیر پساب بر محصولات کشاورزی ۳۱۵
۱۳- ۱۴- ۱- اثر پساب بر عملکرد گیاهان ۳۱۶
۱۳- ۱۴- ۲- اثر پساب بر کیفیت محصول ۳۱۶
۱۳- ۱۴- ۳- آبیاری با پساب و افزایش فلزات و فلزات سنگین در گیاه ۳۱۸
۱۳- ۱۵- تأثیر پساب بر آلودگی آب زیرزمینی ۳۲۲
۱۳- ۱۶- پارامترهای پر اهمیت کیفیت آب آبیاری درکشاورزی ۳۲۴
۱۳- ۱۷- استفاده از فاضلاب در کشاورزی ۳۲۶
۱۳- ۱۷-۱- کنترل رویارویی انسان با فاضلاب ۳۲۷
۱۳- ۱۸- آبیاری با پساب ۳۲۸
۱۳- ۱۸- ۱- مقدار آب مصرفی ۳۲۸
۱۳- ۱۸- ۲- کیفیت آب مصرفی ۳۲۹
۱۳- ۱۸- ۳- برنامه ریزی آبیاری ۳۲۹
۱۳- ۱۸- ۴- روش‌های آبیاری ۳۳۰
۱۳- ۱۸- ۵- روش مناسب آبیاری برای استفاده از پساب ۳۳۲
۱۳-۱۸-۶- جمع بندی ۳۳۵
۱۳- ۱۹- آبیاری با پساب و آبشویی ۳۲۶
۱۳- ۲۰- آبیاری با پساب و زهکشی ۳۳۶
۱۳- ۲۱- رویکردهای مدیریت پساب در مزرعه ۳۳۷
۱۳- ۲۲- انتخاب محصول ۳۳۹

۱۳- ۲۲- ۱- برای چیرگی بر خطرات شوری ۳۳۹
۱۳- ۲۲-۲- برای چیرگی بر خطرات مسمومیت ۳۴۱
۱۳-۲۲-۳- برای پیش‌گیری از خطرات سلامتی ۳۴۴
۱۳- ۲۳- انتخاب روش مناسب آبیاری ۳۴۷
۱۳- ۲۴- شیوه‌های مدیریت مزرعه در آبیاری با پساب ۳۵۱
۱۳- ۲۴- ۱- مدیریت آب ۳۵۱
۱۳- ۲۴- ۲- مدیریت آبشویی ۳۵۲
۱۳- ۲۴- ۳- مدیریت زهکشی ۳۵۵
۱۳- ۲۴- ۴- مدیریت زمان بندی آبیاری ۳۵۵
۱۳- ۲۵- مخلوط کردن پساب با سایر منابع آب ۳۵۶
۱۳- ۲۶- جایگزینی پساب با سایر منابع آب ۳۵۷
۱۳- ۲۷- مدیریت خاک و زمین ۳۵۷
۱۳- ۲۷- ۱- توسعه زمین ۳۵۷
۱۳- ۲۷- ۲- تسطیح زمین ۳۵۷
۱۳- ۲۷- ۳- مدیریت عمق کشت عمیق ۳۵۸
۱۳- ۲۷- ۴- مدیریت زراعی ۳۵۸
۱۳- ۲۸- برنامه ریزی متمرکز برای آبیاری با پساب ۳۶۰
۱۳- ۲۹- ویژگی‌های منطقه دلخواه برای کاربرد پساب ۳۶۲
منابع ۳۶۵

فهرست پیوست ها

پیوست ۱ ۳۸۱
پیوست ۲ ۳۹۷
پیوست ۳ ۴۰۱

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱ هدف های توسعه پایدار ۱۳

شکل ۱-۲- تقسیم وظایف ومسئولیت‌های دست یابی به هدف‌های ۱۷ گانه توسعه پایدار در ایران ۱۷

شکل۲-۱- روند تغییرات جمعیت جهان در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه ۲۳

شکل ۲-۲- روند تغییرات بازار جهانی آفت‌کش‌ها ۲۵

شکل ۳- ۱- مقایسه زمین‌های کشور هلند در قرن ۱۴ میلادی و امروزه ۵۰

شکل ۳- ۲- توپوگرافی هلند وزمین‌هایی که رقوم آنها از میانگین سطح آزاد دریا کمتر است ۵۱

شکل ۳-۳- اثربخشی راهکارها در پیش‌گیری از گسترش بیلارزیا در شبکه آبیاری دز ۵۹

شکل ۳- ۴- غنی شدن آب با بقایای کود ۶۱

شکل ۳- ۵- دره سن یوآکین و شبکه اصلی آبیاری و زهکشی آن ۶۳

شکل ۳- ۶- استفاده دوباره از زهاب در پایین دست ۶۸

شکل ۳- ۷- استفاده دوباره از زهاب به روش مستقیم در سطح مزرعه ۶۸

شکل ۳- ۸- استفاده دوباره از زهاب به روش اختلاط در سطح بخشی از شبکه ۶۹

شکل ۳-۹- دلتای نیل که در آن تنها در ناحیه ۲ استفاده دوباره از زهاب انجام می‌شود ۷۰

شکل ۳- ۱۰- زهکش سراسری عراق برای انتقال زهاب دشت‌های بین دجله و فرات ۷۲

شکل ۳- ۱۱- حوضچه تبخیری ۷۴

شکل ۳- ۱۲- گام‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ۷۷

شکل ۴-۱- سطح اراضی زیر کشت گیاهان زراعی در استان‌های کشور ۹۵

شکل ۴-۲- شبکه رودخانه‌های استان ۹۷

شکل ۵-۱- حجم زهاب و فاضلاب ۱۰۴

شکل ۵-۲- موقعیت حوضه آبریز کارون بزرگ ۱۰۶

شکل ۵-۳- پیکره آبی حوضه آبریز دز و کارون ۱۰۷

شکل ۵-۴- نمودی از مقدار آب پمپاژ شده از زهکشی مزارع در یکی از محل‌های تخلیه ی نهایی ۱۱۳

شکل ۵-۵- راندمان کاربرد اندازه گیری شده در چهار کشت و صنعت نیشکر ۱۱۳

شکل ۶-۱- تغییرات مکانی شوری آب کارون (۱۳۹۳) ۱۱۸

شکل ۶-۲ - متوسط هدایت الکتریکی آب رودخانه کارون بزرگ ۱۲۱

شکل ۶-۳- روند تغییرات دبی و شوری در ایستگاه اهواز در سال‌های اخیر در ایستگاه اهواز ۱۲۲

شکل ۶-۴- نمک خارج شده از خاک ۱۲۳

شکل ۷-۱- موقعیت واحدهای کشت و صنعت و تالاب جنوب غربی خوزستان ۱۲۶
شکل ۷-۲- ایستگاه پمپاژ زهاب دو واحد نیشکر امیرکبیر و میرزا کوچک خان ۱۲۷
شکل ۷-۳- روند افزایش سطح تالاب در سال‌های گذشته ۱۳۰
شکل ۷-۴- تغییرات مکانی افزایش سطح تالاب در سه سال پیاپی ۱۳۰
شکل ۷-۵- زهکشی کنترل شده ۱۳۸
شکل ۸-۱ - موقعیت تالاب شادگان نسبت به محیط پیرامونی ۱۴۴
شکل ۸-۲- موقعیت شادگان در استان خوزستان ۱۴۶
شکل ۸-۳- پیکره آبی حوضه جراحی ۱۴۹
شکل ۸-۴- پیکره آبی حوضه جراحی (تلخیص شده) ۱۵۰
شکل ۸- ۵- تفکیک مناطق دارای آب شور و شیرین در تالاب شادگان ۱۵۲
شکل ۸- ۶- درصد زمین‌های با کلاس شوری گوناگون در طرح‌های اصلی حوضه آبریز ۱۵۶
شکل ۸-۷- تغییرات آبدهی ماهانه در دو بازه زمانی منتخب در ایستگاه شادگان ۱۵۸
شکل ۸- ۸- مقایسه میانگین جریان‌های ورودی به تالاب در شرایط "با" و "بدون" توسعه آبیاری ۱۵۹
شکل ۸- ۹-کیفیت آب رودخانه جراحی در ایستگاه شادگان در دیاگرام ویلکوکس ۱۶۰
شکل ۸- ۱۰-کیفیت آب رودخانه جراحی در ایستگاه گرگر در دیاگرام ویلکوکس ۱۶۱
شکل ۸-۱۱- مقایسه میانگین شوری آب ورودی به تالاب در شرایط "با" و "بدون" توسعه آبیاری ۱۶۲
شکل ۸-۱۲- نمایی از نخیلات منطقه ۱۶۶
شکل ۹-۱- رده‌های اصلی خاک‌های ایران ۱۷۳
شکل ۹-۲- نقشه شوری خاک در ایران ۱۷۹
شکل ۹-۳- دشت‌های کشاورزی دارای خاک شور در ایران ۱۸۱
شکل ۹-۴- رابطه بین عمق آب زیرزمینی و سرعت تبخیر از سطح خاک ۱۸۳
شکل ۹- ۵- اثر شوری بر محیط‌زیست ۱۸۹
شکل ۹- ۶- مدل مفهومی کاهش عملکرد گیاه در اثر شوری خاک ۱۹۱
شکل ۹- ۷رابطه بین عملکرد نسبی محصول و شوری عصاره اشباع خاک با توجه به چهار کلاس شوری خاک ۱۹۴
شکل ۱۰- ۱- چرخه نیتروژن در طبیعت به زبان ساده ۲۰۱
شکل ۱۰-۲ - همزیستی باکتری‌ها و ریشه گیاهان خانواده بقولات ۲۰۲
شکل ۱۰- ۳- نقش پروکاریوت‌ها در چرخه نیتروژن ۲۰۳
شکل ۱۰- ۴- چرخه کلی نیتروژن در طبیعت ۲۰۵
شکل ۱۰- ۵- مدل مفهومی‌کارایی کود نیتروژنی با رشد گیاه ۲۰۷

شکل ۱۰ – ۶- اثر ماده آلی خاک بر آبشویی نیترات ۲۰۸
شکل ۱۰- ۷- مدل مفهومی‌آبشویی نیتروژن ۲۰۹
شکل ۱۰- ۸- روش‌های گوناگون کوددهی ۲۱۱
شکل ۱۰- ۹- مدل مفهومی‌جذب نیتروژن در گیاهان یک ساله نسبت به زمان ۲۱۴
شکل ۱۰- ۱۰- مدل جذب نیتروژن در گندم ۲۱۶
شکل ۱۰-۱۱- عوامل مهم موثر بر آبشویی نیتروژن از محیط ریشه ۲۱۸
شکل ۱۰-۱۲- اثر عمق ریشه بر تلفات نیتروژن ۲۱۹
شکل ۱۰-۱۳- اثر سن گیاه بر تلفات نیتروژن ۲۱۹
شکل ۱۰-۱۴- اثر بافت خاک بر تلفات نیتروژن در گیاهان ریشه بلند ۲۲۰
شکل ۱۰-۱۵- اثر بافت خاک بر تلفات نیتروژن در گیاهان ریشه کوتاه ۲۲۱
شکل ۱۰- ۱۶- عوامل موثر بر تعادل نیتروژن در خاک ۲۲۲
شکل ۱۰- ۱۷- غلظت نیترات رسوب کرده از هوا در امریکا در فواصل ده ساله (کیلوگرم بر هکتار) ۲۲۸
شکل ۱۰- ۱۸- غلظت نیترات رسوب کرده از هوا در امریکا در فواصل ده ساله (میلی‌گرم بر لیتر) ۲۲۹
شکل ۱۱- ۱- استفاده از کود فسفره و افزایش عملکرد ذرت و سویا در برزیل ۲۳۶
شکل ۱۱- ۲ – تشخیص نوع مغذی شدن پهنه آبی با غلظت نیتروژن و فسفر و گذشت زمان معین ۲۳۸
شکل ۱۱- ۳- عوامل اثرگذار بر جذب فسفر توسط گیاه ۲۴۱
شکل ۱۱-۴- چرخه فسفر در طبیعت ۲۴۵
شکل ۱۱- ۵- تعداد و محل پهنه‌های مرده دریایی از ابتدای قرن بیستم ۲۵۰
شکل ۱۱-۶ – شکوفایی جلبکی در دریاچه ارومیه ۲۵۱
شکل ۱۲ – ۱- منابع فلزات سنگین و چرخش آن در زیست‌بوم ۲۶۹
شکل ۱۲- ۲- مدل مفهومی‌رابطه خطر مسمومیت فلزات سنگین در خاک و گروه محصولات قابل کشت ۲۷۶
شکل ۱۳- ۱- فلوچارت جریان فاضلاب انسانی از تولید تا پایان ۲۸۸
شکل ۱۳- ۲- روش‌های گوناگون تزریق فاضلاب پیش تصفیه شده به خاک برای تصفیه کامل ۳۰۳
شکل ۱۳- ۳- یک نوع سامانه تصفیه خاک-آبخوان ۳۰۳
شکل ۱۳- ۴- چرخه آلودگی مواد غذایی برای انسان ها ۳۰۶
شکل ۱۳- ۵- روش‌های اصلی متداول آبیاری ۳۳۱
شکل ۱۳- ۶رابطه بین عملکرد نسبی محصول و شوری عصاره اشباع خاک با توجه به چهار کلاس شوری خاک ۳۴۰
شکل ۱۳- ۷ – رابطه بین شوری آب آبیاری و شوری خاک در کسرهای گوناگون آبشویی ۳۵۳
شکل ۱۳- ۸- انباشت شوری در نشتی‌های با شکل های گوناگون ۳۶۰

فهرست جدول ها

جدول ۱-۲- تقسیم وظایف دست‌یابی به هدف‌های توسعه پایدار در ایران ۱۸

جدول ۲-۱- دسته‌بندی آلاینده‌های اصلی آب در کشاورزی و سهم نسبی گیاهان، دام و آبزیان ۲۹

جدول ۳- ۱- عوامل اصلی اثرگذار بر محیط‌زیست، نوع ومحل تاثیر آنها ۴۸

جدول ۳- ۲ - تعداد گونه‌های مشاهده شده ماهی پس از زهکشی در زمین اسیدی ۵۲

جدول ۳-۳ - حجم آب، هدایت الکتریکی آب و کل بار نمک در مقاطع گوناگون رود نیل، پس از سد آسوان ۷۱

جدول ۵-۱- حجم منابع آب سطحی قابل برنامه ریزی در خوزستان (فعلی + توسعه آتی) ۱۰۵

جدول ۵-۲- حجم آب مصرفی و زهاب تولیدی وارد شده به منابع پذیرنده زهاب از مزارع نیشکر ۱۰۹

جدول ۵-۳- حجم زهاب وارد شده سالانه به منابع پذیرنده زهاب از طرح‌های نیشکر ۱۱۰

جدول۵-۴- درصد نسبت زهاب به آب آبیاری در دو واحد امیر کبیر و میرزا کوچک خان (۱۳۹۰) ۱۱۴

جدول ۶-۱- بار نمک وارد شده به دز و کارون تا اهواز از منابع گوناگون ۱۱۹

جدول ۶-۲- بار نمک رسیده به منابع پذیرنده در حوضه رودخانه دز و کارون ۱۲۰

جدول ۶- ۳- حجم آب مصرفی، زهاب تولیدی و وزن نمک وارد شده به منابع پذیرنده زهاب از مزارع نیشکر ۱۲۳

جدول ۷-۱- سهم منابع تغذیه‌کننده تالاب ۱۲۸

جدول ۷-۲- تغییرات مساحت تالاب با مقادیر گوناگون تخلیه ۱۳۲

جدول ۷-۳-گیاهان پیشنهادی جهت کشت با زهاب ۱۳۶

جدول ۸-۱ - تاثیر سدهای بالادست بر تالاب ۱۶۴

جدول ۹- ۱- رده بندی خاک‌های شوری زده ۱۷۰

جدول ۹-۲- سطح زمین‌های شوری‌زده ایران به روایت مولفین گوناگون در زمان‌های گوناگون ۱۷۴

جدول ۹-۳- مساحت زمین‌های فاریاب و شوری‌زده فاریاب کشور ۱۷۵

جدول ۹-۴- رده‌بندی کلی خاک‌های کشاورزی ایران ۱۷۶

جدول ۹-۵- مساحت و شوری اراضی کشاورزی و غیرکشاورزی کشور ۱۸۰

جدول ۹-۶- حجم آب‌های لب شور در حوضه‌های رودخانه‌های کشور ۱۸۷

جدول ۹-۷ - تاثیر مقادیر گوناگون شوری خاک بر عملکرد محصول ۱۹۰

جدول ۹- ۸- مقاومت و کاهش عملکرد درختان به شوری عصاره اشباع خاک ۱۹۲

جدول ۹- ۹- مقاومت و کاهش عملکرد گیاهان زراعی به شوری عصاره اشباع خاک ۱۹۲

جدول ۱۰-۱ - مقدار جذب کودهای اصلی و عناصر مهم دیگر به روش‌های گوناگون توسط ریشه برای گندم ۲۱۱

جدول ۱۱- ۱- میانگین ویژگی‌های نیتروژن و فسفر دریاچه‌ها، نهرها و آب‌های ساحلی در حالت‌های گوناگون تغذیه ای ۲۳۷
جدول ۱۱-۲ - منابع فسفر و عوامل انتقال ۲۵۳
جدول ۱۲ - ۱- عدد اتمی و چگالی چند عنصری که به عنوان فلز سنگین شناخته می‌شوند ۲۶۶
جدول ۱۲- ۲- بیشینه‌اندازه مجاز برخی از فلزات سنگین در فاضلاب، خاک، گیاهان و آب آشامیدنی در چند سازمان معتبر ۲۷۲
جدول ۱۲-۳ — طبقه بندی خطرات فلزات سنگین و طرز رفتار با زمین ۲۷۶
جدول ۱۲- ۴- طبقه بندی خطر چند فلز سنگین در خاک ۲۷۷
جدول ۱۳-۱ - ترکیبات اصلی فاضلاب شهری (میلی‌گرم بر لیتر) ۲۸۷
جدول ۱۳- ۲- مقادیر ممکن وجود عوامل بیماری زا در فاضلاب شهری ۲۹۰
جدول ۱۳- ۳ - زمان زنده مانی عوامل بیماری زای فضولات انسانی (روز) ۲۹۱
جدول ۱۳- ۴ - خلاصه خطرات بهداشتی مرتبط با استفاده از فاضلاب برای آبیاری ۲۹۶
جدول ۱۳- ۵ — نمونه‌هایی از خطرات و مسیرهای رویارویی با پساب، فاضلاب و آب خاکستری در کشاورزی و آبزی پروری ۲۹۹
جدول ۱۳- ۶ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر شوری خاک ۳۱۰
جدول ۱۳-۷ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر ماده آلی خاک ۳۱۱
جدول ۱۳- ۸ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر باروری خاک ۳۱۲
جدول ۱۳- ۹- نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر فلزات سنگین خاک ۳۱۳
جدول ۱۳- ۱۰ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر عملکرد محصول ۳۱۷
جدول ۱۳- ۱۱- نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر کیفیت محصول ۳۱۸
جدول ۱۳- ۱۲ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر فلزات سنگین درون گیاه ۳۱۹
جدول ۱۳- ۱۳- نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر کیفیت آب زیرزمینی ۳۲۳
جدول ۱۳- ۱۴ - طبقه بندی کیفیت آب برای آبیاری ۳۲۵
جدول ۱۳- ۱۵- ویژگی‌های روش‌های آبیاری در کاربرد پساب ۳۳۴
جدول ۱۳- ۱۶ - اطلاعات مورد نیاز در باره مقدار و کیفیت پساب ۳۳۸
جدول ۱۳- ۱۷ - آستانه غلظت فلزات کمیاب برای تولید گیاهی ۳۴۲
جدول ۱۳-۱۸ - نمونه‌ای از خطرهای استفاده از پساب در آبیاری ۳۴۵
جدول ۱۳- ۱۹- تناسب روش‌های اصلی آبیاری در استفاده از پساب ۳۴۸

بخش نخست

کلیات

فصل نخست
توسعه پایدار و محیط‌زیست کشور

۱-۱-پیش‌گفتار

کنشگران محیط‌زیست هشدار می‌دهند که محیط‌زیست ایران در آستانه "نابودی" قرار دارد. آنها می‌گویند سیاست‌های نادرست مدیریتی و بی توجهی مسئولان دولتی، عامل اصلی این نابودی است. پدیده‌های طبیعی مانند خشکسالی و تغییر اقلیم نیز به این مشکل افزوده است. بی‌تردید نگرانی‌های جامعه که می‌توانست محرک اصلاح باشد نیز به‌اندازه کافی و لازم وجود ندارد.

در سال‌های اخیر، شبکه‌های اجتماعی که گاه توسط کنشگران محیط‌زیست اداره می‌شوند، پر از اخبار و گزارش‌هایی هستند که از وضعیت اسفبار جنگل‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، حیات وحش، پوشش گیاهی و دیگر اجزای محیط‌زیست طبیعی خبر می‌دهند.

آتش‌سوزی‌های گسترده در جنگل‌های گلستان، مازندران و کردستان، خشک شدن دریاچه آب شور ارومیه، نابودی تالاب گاوخونی و دریاچه پریشان، نابودی آرام آرام تالاب‌های بزرگ و بین‌المللی هامون در سیستان، میانکاله در مازندران و انزلی در گیلان و... همراه با خشک شدن یا کم آب شدن بسیاری از رودخانه‌های مهم و پرآب مانند زاینده‌رود، قطع گسترده درختان جنگلی، نابودی پوشش گیاهی، انقراض یا در معرض انقراض قرار گرفتن بسیاری از گونه‌های گیاهی و حیات وحش جانوری و موارد پرشمار دیگری از اینگونه، همگی نشانه‌هایی از نابودی محیط‌زیست متنوع ایران هستند.

در خاک نیز، گر چه با نمودی کمتر، تخریب گسترده‌ای در حال روی‌دادن است. جنگل‌زدایی، بیابانزایی، سیل، آلودگی‌های کشاورزی، صنعتی و شهری، چرای بیش ازاندازه، احداث سازه‌هایی که جریان طبیعی زیرزمینی را تغییر می‌دهند، آیش درازمدت، بالا آمدن یا پایین افتادن بیش ازاندازه سطح آب زیرزمینی، تغییر اقلیم، توسعه شهرها و مناطق مسکونی، شور و سدیمی شدن خاک،

اسیدی‌شدن، کاهش عناصر غذایی، کاهش باروری خاک، آلودگی‌های شیمیایی، سله بستن، تراکم خاک، فرسایش آبی، فرسایش بادی، ماندابی و غرقاب شدن، تخریب ساختمان خاک، نشست خاک‌های آلی، کاهش جانوران و خرد زیستمندان خاک، از جمله موارد یا عواملی هستند که محیط‌زیست را تغییر می‌دهند و در بیشتر موارد تخریب می‌کنند.

۱-۲- نگاه قانون اساسی به محیط‌زیست

بر پایه اصل ۵۰ قانون اساسی "در جمهوری اسلامی، حفاظت محیط‌زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن حیات اجتماعی رو به رشدی داشته باشند، وظیفه عمومی تلقی می‌گردد. از این رو فعالیت‌های اقتصادی و غیر آن که با آلودگی محیط‌زیست یا تخریب غیر قابل جبران آن ملازمه پیدا کند، ممنوع است ".

۱-۳- سیاست‌های کلی محیط‌زیست مصوب رهبری در کشور

۱) مدیریت جامع، هماهنگ و نظام‌مند منابع حیاتی (از قبیل هوا، آب، خاک و تنوع زیستی) مبتنی بر توان و پایداری زیست‌بوم بویژه با افزایش ظرفیت‌ها و توانمندی‌های حقوقی و ساختاری مناسب همراه با رویکرد مشارکت مردمی.

۲) ایجاد نظام یکپارچه ملی محیط‌زیست.

۳) اصلاح شرایط‌زیستی به منظور برخوردار ساختن جامعه از محیط‌زیست سالم و رعایت عدالت وحقوق بین نسلی.

۴) پیشگیری و ممانعت از انتشار انواع آلودگی‌های غیرمجاز و جرم‌انگاری تخریب محیط‌زیست و مجازات مؤثر و بازدارنده آلوده‌کنندگان و تخریب‌کنندگان محیط‌زیست و الزام آنان به جبران خسارت

۵) پایش مستمر و کنترل منابع و عوامل آلاینده هوا، آب، خاک، آلودگی‌های صوتی، امواج و اشعه‌های مخرب و تغییرات نامساعد اقلیم و الزام به رعایت استانداردها و شاخص‌های زیست‌محیطی در قوانین و مقررات، برنامه‌های توسعه و آمایش سرزمین.

۶) تهیه اطلس زیست‌بوم کشور و حفاظت، احیاء، بهسازی و توسعه منابع طبیعی تجدید پذیر(مانند دریا، دریاچه، رودخانه، مخزن سدها، تالاب، آبخوان زیرزمینی، جنگل، خاک، مرتع و تنوع زیستی بویژه حیات وحش) و اعمال محدودیت قانونمند در بهره برداری از این منابع متناسب با توان اکولوژیک (ظرفیت قابل تحمل و توان بازسازی) آنها بر پایه معیارها و شاخص‌های پایداری، مدیریت اکوسیستم های حساس و ارزشمند (از قبیل پارک های ملی و آثار طبیعی ملی) و حفاظت از منابع ژنتیک و ارتقاء آنها تا سطح استانداردهای بین‌المللی.

۷) مدیریت تغییرات اقلیم و مقابله با تهدیدات زیست‌محیطی نظیر بیابان‌زایی، گرد و غبار بویژه ریزگردها، خشکسالی و عوامل سرایت دهنده میکروبی و رادیواکتیو و توسعه آینده نگری و شناخت پدیده‌های نوظهور زیست‌محیطی و مدیریت آن.

۸) گسترش اقتصاد سبز با تأکید بر:

۸-۱- صنعت کم کربن، استفاده از انرژی‌های پاک، محصولات کشاورزی سالم و ارگانیک و مدیریت پسماندها و پساب‌ها با بهره‌گیری از ظرفیت‌ها و توانمندی‌های اقتصادی، اجتماعی، طبیعی و زیست‌محیطی.

۸-۲- اصلاح الگوی تولید در بخش‌های گوناگون اقتصادی و اجتماعی و بهینه سازی الگوی مصرف آب، منابع، غذا، مواد و انرژی بویژه ترویج مواد سوختی سازگار با محیط‌زیست.

۸-۳-توسعه حمل و نقل عمومی سبز و غیرفسیلی از جمله برقی و افزایش حمل و نقل همگانی به ویژه در کلان شهرها.

۹) تعادل بخشی و حفاظت کیفی آب‌های زیرزمینی از طریق اجرای عملیات آبخیزداری، آبخوانداری، مدیریت عوامل کاهش بهره برداری از آب‌های زیرزمینی و تبخیر و کنترل ورود آلاینده‌ها.

۱۰) استقرار نظام حسابرسی زیست‌محیطی در کشور با لحاظ ارزش‌ها و هزینه‌های زیست‌محیطی (تخریب، آلودگی و احیاء) در حساب‌های ملی.

۱۱) حمایت و تشویق سرمایه‌گذاری‌ها و فناوری‌های سازگار با محیط‌زیست با استفاده از ابزارهای مناسب از جمله عوارض و مالیات سبز.

۱۲) تدوین منشور اخلاق محیط‌زیست و ترویج و نهادینه‌سازی فرهنگ و اخلاق زیست‌محیطی مبتنی بر ارزش‌ها و الگوهای سازنده ایرانی ـ اسلامی.

۱۳) ارتقاء مطالعات و پژوهش‌ها علمی و بهره مندی از فناوری‌های نوآورانه زیست‌محیطی و تجارب سازنده بومی در زمینه حفظ تعادل زیست‌بوم‌ها و پیشگیری از آلودگی و تخریب محیط‌زیست.

۱۴) گسترش سطح آگاهی، دانش و بینش زیست‌محیطی جامعه و تقویت فرهنگ و معارف دینیِ مشارکت و مسئولیت‌پذیری اجتماعی به ویژه امر به معروف و نهی از منکر برای حفظ محیط‌زیست در تمام سطوح و اقشار جامعه.

۱۵) تقویت دیپلماسی محیط‌زیست با:

۱۵-۱- تلاش برای ایجاد و تقویت نهادهای منطقه‌ای برای مقابله با گرد و غبار و آلودگی‌های آبی.

۱۵-۲- توسعه مناسبات و جلب مشارکت و همکاری‌های هدفمند و تأثیرگذار دوجانبه، چندجانبه، منطقه‌ای و بین‌المللی در زمینه محیط‌زیست.

۱۵-۳- بهره‌گیری مؤثر از فرصت‌ها و مشوق‌های بین‌المللی در حرکت به سوی اقتصاد کم کربن و تسهیل انتقال و توسعه فناوری‌ها و نوآوری‌های مرتبط.

۱-٤- بخش‌های گوناگون محیط‌زیست

به طور کلی محیط‌زیست از سه بخش تشکیل می‌شود: محیط طبیعی، محیط مصنوعی یا انسان ساخت و محیط اجتماعی.

محیط طبیعی به آن بخش گفته می‌شود که به دست انسان ساخته نشده باشد مانند دریاها، کوه‌ها، دشت‌ها، جنگل‌ها، حیات وحش و غیره...

محیط مصنوعی یا انسان ساخت به محیطی گفته می‌شود که توسط انسان ساخته شده باشد. به عقیده پاره‌ای از متخصصان، محیط مصنوعی زائیده تفکر و محیط فرهنگی است. به عنوان نمونه شهرها با تمام اجزاء آن، محیط‌زیست انسان ساخت را تشکیل می‌دهند. خیابان‌ها و کوچه‌ها، خانه‌ها، مدرسه‌ها، کارخانه‌ها، فرودگاه‌ها، راه‌ها و غیره اجزای این بُعد از محیط‌زیست هستند.

محیط‌زیست اجتماعی به روابط انسان‌ها با یکدیگر و با محیط‌زیست طبیعی و انسان ساخت می‌پردازد. به عنوان نمونه، بی توجه به موضوع بی کاری و فقر، نمی‌توان انتظار داشت که پستانداران و پرندگان وحشی بتوانند به طور طبیعی به جمعیت خود بیفزایند.

۱-٤-۱- محیط‌زیست طبیعی

محیط طبیعی به آن قسمت از محیط‌زیست کره زمین گفته می‌شود که به دست انسان ساخته نشده باشد؛ مانند کوه‌ها، دشت‌ها، جنگل‌ها، حیات وحش، اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و غیره...

محیط‌زیست طبیعی از هوا کُره [۱]، خاک کُره [۲]، زیست کُره [۳] و آب کُره [۴] تشکیل شده است. هوا کُره به هوا، آب موجود در هوا و ذرات معلق آن گفته می‌شود. زیست کُره به آن بخش از کره زمین گفته می‌شود که در آن زندگی وجود دارد. این لایه زیستگاه انسان و دیگر موجودات زنده همچون پرندگان، آبزیان و موجودات خاک‌زی است و تا لایه‌های زیرین زمین که ریشه درختان و

1 Atmosphere
2 Pedosphere
3 Biosphere
4 Hydrosphere

دیگر جانداران نفوذ می‌کنند، ادامه دارد. در زمین‌های سخت، چنانچه از باکتری‌ها چشم پوشی شود، عمق زیست‌کره تنها تا چند متری است. باکتری‌ها در لایه‌های ژرف‌تر نیز حضور دارند. در هوا، زیست‌کره تا نزدیک ۸ کیلومتر، یعنی تا جایی که اکسیژن یافت می‌شود، وجود دارد. در دریاها زندگی تا ژرفاهای بسیار و حتی تا ۱۱ کیلومتر در زیر اقیانوس نیز ادامه دارد. آب کره بیانگر مجموعه آب موجود در زیر، رو و فضای کره زمین است. آب کره مرکب از اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، دریاها، و مانند آن است.

نکته مهم این که محیط‌زیست طبیعی مجموعه ای یکپارچه است و مرز مشخص هندسی بین هوا کُره، خاک کُره، زیست کُره و آب کُره وجود ندارد. به عنوان نمونه موجود زنده ای که در خاک زندگی می‌کند، بخشی از زیست کُره است ولی در خاک کُره جای دارد.

۱-٤-۲- محیط مصنوعی یا انسان ساخت

محیط‌زیست مصنوعی به محیطی گفته می‌شود که توسط انسان ساخته شده است. به عقیده پاره ای از متخصصان، محیط‌زیست مصنوعی، محیط زائیده تفکر و محیط فرهنگ ساخت انسانی است. شهرها با تمام اجزاء آن، محیط‌زیست مصنوعی را تشکیل می دهند؛ خانه‌ها، مدرسه‌ها، کارخانه‌ها، فرودگاه‌ها، راه‌ها و غیره، همگی از اجزای این بُعد از محیط‌زیست محسوب می شوند. سدها، شبکه‌های آبیاری و آبرسانی، زهکش‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ و... نیز بخش‌هایی از محیط‌زیست انسان ساخت به شمار می‌روند.

۱-٤-۳- محیط اجتماعی

مقصود از محیط اجتماعی، جامعه‌ای است که بشر در آن زندگی می‌کند. این بخش از محیط‌زیست، از انسان‌هایی که در کنار ما هستند و با ما سروکار دارند تشکیل می‌شود. این محیط‌اجتماعی از خانواده آغاز می‌شود و همسایگان، همکاران، رهگذران، فروشندگان و مانند آنها

را در جامعه شهری و روستایی در بر می‌گیرد و گستره آن تا ملت و دولت، منطقه و جهان ادامه می‌یابد.

در کشورهای در حال توسعه، بیشتر مشکلات محیط‌زیست ناشی از محیط اجتماعی است. در بسیاری از این مناطق، تاثیر پذیری محیط‌زیست از محیط اجتماعی، به مراتب بیشتر از تاثیرگذاری عوامل فنی - مهندسی است. بیشتر مشکلات فنی مانند آلودگی آب و هوا، فرسایش خاک و تخریب پوشش گیاهی ناشی از پاره ای از ناهنجاری‌های اجتماعی است. به عنوان نمونه، روستا نشینان به دلیل نیاز به سوخت، اقدام به قطع درختان و بوته‌ها می‌کنند. این کار، روستا را در برابر فرسایش خاک و جابه جایی تپه‌های ماسه ای، بی پناه می‌کند. آیا می‌توان تنها به محیط‌زیست طبیعی توجه کرد و محیط اجتماعی روستا را نادیده گرفت؟

بر همین اساس باید میان مشکلات زیست‌محیطی کشورهای صنعتی و غیر صنعتی نیز تفاوت چشم‌گیری قایل شد. در کشورهای صنعتی، بیشتر مشکلات از پیشرفت چشم‌گیر فن‌آوری و صنعت سرچشمه می گیرد. لیکن در کشورهای در حال رشد، بیشتر آلودگی‌ها و تخریب محیط‌زیست، محصول عواملی مانند فقر، گرسنگی، بیکاری، بی سوادی، کمبود مسکن و بهداشت است.

۱-۵- سند توسعه پایدار سازمان ملل متحد

کشورهای عضو سازمان ملل در سال ۲۰۱۵ سندی را به امضا رساندند و متعهد شدند که تا سال ۲۰۳۰ اقداماتی را انجام دهند که به بهبود محیط‌زیست در جهان بینجامد.

بر پایه هدف‌های اعلام شده توسط سازمان ملل، از سال ۲۰۱۵تا ۲۰۳۰، همه کشورهای عضو سازمان ملل باید تلاش کنند که به اهداف وشاخص های توسعه ی پایدار با همکاری یکدیگر درسه سطح ملی، منطقه‌ای وبین‌المللی دست یابند. توسعه‌ی پایدار یعنی توسعه ای که نیاز فعلی جوامع را بدون خدشه وارد کردن به توانایی‌های نسل های آتی درتامین نیاز های خود، تامین کند. برای دستیابی به اهداف توسعه ی پایدار،۱۷ هدف کلان تعیین وتصویب شده است. تمامی سازمان‌های تخصصی

بین‌المللی همچون یونسکو موظف ومتعهد شده‌اند که راهبرد میان مدت و بلند مدت خود را بر این اساس تنظیم کنند (شیرعلی، ۲۰۲۰). توسعه پایدار به معنای حفاظت محیط‌زیست نیست؛ هر چند که محیط‌زیست نیز بخش مهمی از آن به شمار می‌رود. در ایران، پیگیری اهداف توسعه پایدار به سازمان حفاظت محیط‌زیست واگذار شده است. شاید همین موضوع هم باعث شده باشد که گروهی توسعه پایدار را هم ارز محیط‌زیست بدانند.

هدف‌های توسعه پایدار ملل متحد عبارتند از:

۱- **پایان دادن به فقر در تمامی اشکال آن و در همه نقاط**

۸/۲ درصد از جمعیت جهان در سال ۲۰۱۹ در فقر مطلق[1] به سر می‌برده‌اند. فقر مطلق وضعیتی است که در آن افراد از منابع ضروری برای ادامه زندگی به‌کلی محروم هستند و در تداوم زندگی دچار مشکل می‌شوند. آنان از تأمین نیازهای اساسی مانند خوراک، پوشاک و سرپناه ناتوانند. بنا بر تعریف بانک جهانی، کمتر از ۱/۹۰ دلار درآمد در روز بعنوان خط جهانی فقر مطلق شناخته می‌شود.

امروزه نزدیک ۷۶۷ میلیون نفر در جهان در فقر مطلق زندگی می‌کنند. نزدیک دو سوم فقرا در مناطق روستایی هستند. این موضوع لزوم توجه بیشتر به مناطق روستایی را روشن می‌سازد. در ایران آمار گوناگونی در باره فقر مطلق ارائه شده است ورقم قابل اعتمادی در دسترس همگان نیست.

۲- **پایان دادن به گرسنگی، دستیابی به امنیت غذایی وترویج کشاورزی پایدار**

نزدیک یک سوم از جمعیت جهان (۲/۳۷ میلیارد نفر) به غذای کافی دسترسی ندارند (سایت سازمان ملل متحد، ۲۰۲۲). این رقم نشان می‌دهد که تنها در یک سال ۳۲۰ میلیون نفر به گرسنگان جهان افزوده شده است. همه‌گیری بیماری کووید ۱۹ نیز نقش اساسی در بدتر شدن وضع داشته است.

1 Extreme poverty

۳- زندگی سالم وبهبود زندگی در تمامی گروه‌های سنی

کمتر از نصف جمعیت جهان مطابق با آمارهای سال ۲۰۱۷، به خدمات سلامت وبهداشتی ضروری دسترسی دارند. همه‌گیری کووید ۱۹، برنامه ایمن سازی دوران کودکی در ۷۰ کشور جهان را متوقف کرده است.

۴- فراهم‌سازی آموزش فراگیر وبا کیفیت و ترویج فرصت‌های یادگیری برای همگان

دستیابی به آموزش برابر و فراگیر به کندی پیش می‌رود وپیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۳۰ بیش از ۲۰۰ میلیون کودک بازمانده از تحصیل وجود داشته باشد. همه‌گیری کووید ۱۹ موجب شده است ۹۰ درصد دانش آموزان برای مدتی به مدرسه نروند. تنها ۶۵ درصد از مدارس ابتدایی به امکانات وتسهیلات بهداشتی برای شستن دست‌ها دسترسی دارند.

۵- دستیابی به برابری جنسیتی وتوانمندسازی زنان ودختران

پس از همه‌گیری کووید ۱۹ در جهان، خشونت‌های خانگی(آسیب فیزیکی، خشونت جنسی، آسیب روانی) ۳۰ درصد افزایش پیدا کرده است. ۲۵ درصد از اعضا ونمایندگان پارلمان‌های ملی و۳۶ درصد از مدیران در حکومت‌های محلی (شهرداری وشوراهای محلی) و ۷۰ درصد از پرستاران وپرسنل مراکز بهداشتی را زنان تشکیل می‌دهند. بنابراین زنان در خط مقدم مبارزه با شیوع ویروس کووید ۱۹ قرار دارند. زنان درحال حاضر سه برابر مردان برای کارِ در خانه بدون دریافت مزد وقت می‌گذارند.

۶- ایجاد دسترسی ومدیریت پایدار آب وبهداشت برای همگان

آمارهای ۲۰۱۶ نشان می‌دهد، از هر ۵ بیمارستان ومرکز درمانی ومراقبتی، ۲ مرکز با کمبود تسهیلات بهداشتی وآب آشامیدنی روبرو هستند. ۳ میلیارد نفر در جهان به امکانات وسرویس بهداشتی (شستشو با آب و صابون) در خانه دسترسی ندارند. تا سال ۲۰۳۰ میلادی، ۷۰۰ میلیون نفر در جهان به دلیل کمبود آب مجبور به جابه جایی ومهاجرت می‌شوند.

۷- دسترسی به انرژی پاک، مطمئن، پایدار ونو برای همگان

آمارهای ۲۰۱۸ نشان می‌دهد، ۷۸۹ میلیون نفر در جهان به انرژی برق دسترسی ندارند. از هر ۴ بیمارستان و مرکز بهداشتی در کشورهای درحال توسعه، یک بیمارستان به امکانات و انرژی برق دسترسی ندارد.

۸- رشد اقتصادی پایدار، اشتغال کامل وکار شایسته برای همگان

رشد اقتصادی در جهان بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ برابر با ۲ درصد محاسبه شده است. این رقم در سال ۲۰۱۹ به ۱/۵ درصد کاهش یافته است. در سال ۲۰۲۰ سرانه تولید ناخالص داخلی ۳/۱ درصد کاهش یافت. ویروس کووید ۱۹ موجب از دست دادن ۴۰۰ میلیون شغل در سه ماه دوم ۲۰۲۰ شد. ۱/۶ میلیارد شاغل در بخش غیررسمی به دلیل شیوع ویروس کووید ۱۹ خطر از دست دادن شغل ومعیشت را احساس می‌کنند.

۹- ایجاد زیرساخت‌های مقاوم، ارتقای فرایند صنعتی‌سازی پایدار و توجه به نوآوری

در کشورهای توسعه نیافته، از هر ۵ نفر تنها یک نفر از اینترنت استفاده می‌کند. سرمایه‌گذاری در بخش پژوهش وتوسعه از ۱/۴ تریلیون دلار در سال ۲۰۱۰ به ۲/۲ تریلیون دلار در سال ۲۰۱۷ رسیده است. به دلیل شیوع ویروس کووید ۱۹، صنعت هواپیمایی شدیدترین افت را تجربه کرده است. از ژانویه تا مه ۲۰۲۰، ۵۱ درصد از تعداد مسافران هوایی در جهان کاسته شده است.

۱۰- کاهش نابرابری در داخل و میان کشورها

آمارها نشان می‌دهد، ضریب جینی[1] (عددی بین صفر تا یک که میزان نابرابری درآمد را نشان می‌دهد) در ۳۸ کشور بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ سقوط کرده است. ۵۴ درصد از کشورهایی که اطلاعات در مورد آنها موجود است، دارای سیاست‌های جامع ومشخصی در خصوص

1 Gini index

مدیریت مهاجرت هستند. منابع مالی برای کمک به توسعه کشورهای درحال توسعه از ۴۲۰ میلیارددلار در سال ۲۰۱۷ به ۲۷۱ میلیارد دلار در ۲۰۱۸ کاهش پیدا کرده است.

۱۱- ایجاد شهرها واجتماعات محلی پایدار وتاب آور

آمارهای ۲۰۱۸ نشان می دهد ۲۴ درصد از جمعیت شهری در شرایط زاغه‌نشینی زندگی می‌کنند. بیش از ۹۰ درصد از افراد مبتلا به کووید-۱۹ در شهرها زیست می‌کنند. مطابق آمارهای سال ۲۰۱۹ تنها نیمی از ساکنان شهرها به حمل ونقل عمومی دسترسی مناسب دارند. در سال ۲۰۱۶ میلادی، ۴/۲ میلیون نفر در اثرآلودگی هوا در شهرها جان خود را از دست داده‌اند.

۱۲- الگوی تولید ومصرف مسئولانه

مصرف در جهان با سرعت قابل توجهی درحال رشد است وحتی از ازدیاد جمعیت ورشد اقتصادی پیشی گرفته است واز ۷۳/۲ میلیارد تن در سال ۲۰۱۰ به ۸۵/۹ میلیارد تن در سال ۲۰۱۷ رسیده است. یارانه‌های پرداختی به سوخت‌های فسیلی از ۳۱۸ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۵ به ۴۲۷ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۸ افزایش پیدا کرده است. آمارهای ۲۰۱۶ نشانگر این است که نزدیک ۱۴ درصد از غذا در فرایند تولید، حمل وذخیره‌سازی و... به ضایعات تبدیل می‌شود.

۱۳- اتخاذ اقدامات برای مبارزه با تغییرات اقلیمی واثرات آن

انتظار می‌رود میانگین دمای زمین تا سال ۲۱۰۰ نزدیک ۳/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کند. در سال ۲۰۱۶، سرمایه‌گذاری در بخش سوخت‌های فسیلی برابر با ۷۸۱ میلیارد دلار بوده است که از سرمایه‌گذاری در بخش آب وهوا (۶۸۱ میلیارد دلار) پیشی گرفته است. در سال ۲۰۱۸ نزدیک ۳۹ میلیون نفر از تغییرات آب وهوایی (آتش سوزی جنگل ها، سیل، گرم شدن زمین، گردباد و...) دچار رنج بوده‌اند.

۱۴- حفاظت از اقیانوس و دریاها و استفاده پایدار از منابع دریایی

پیش‌بینی می‌شود اسید موجود در اقیانوس‌ها تا سال ۲۱۰۰، بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ درصد افزایش یابد. مناطق حفاظت شده آبی که دارای تنوع زیستی هستند از ۳۰ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۴۶ درصد در سال ۲۰۱۹ رسیده است. سهم شیلات در تولید ناخالص داخلی جهانی نزدیک ۱۰ درصد ودر کشورهای کمتر توسعه‌یافته تنها ۱/۱ درصد است.

۱۵- حفاظت، بازسازی و بهبود زیست‌بوم ها و جلوگیری از بیابان زایی و از بین رفتن تنوع زیستی

بیش از ۳۱۰۰۰ گونه در جهان با تهدید روبرو هستند. ۲۷ درصد گونه‌ها در حالت هشدار ودر لیست قرمز قرار گرفته‌اند. بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ هر سال ۱۰ میلیون هکتار از جنگل‌ها و دو میلیارد هکتار از زمین توسط انسان تخریب ونابود شده است.

۱۶- ترویج صلح، عدالت وتشکیل نهادهای توانمند وپاسخگو در تمامی سطوح

به طور میانگین هر روز ۱۰۰ غیرنظامی در درگیری‌های مسلحانه در جهان کشته می شوند. آمار نشان می‌دهد در سال ۲۰۱۹ نزدیک ۸۰ میلیون نفر به خاطر جنگ در حال فرار بوده‌اند. قتل در جهان از ۵/۹ نفر در ۱۰۰ هزار نفر در سال ۲۰۱۵ به ۵/۸ در سال ۲۰۱۸ رسیده است که روند کاهشی کندی را نشان می‌دهد.

۱۷- احیای مشارکت جهانی با هدف توسعه پایدار

مقدار کمک‌های رسمی برای توسعه در سال ۲۰۱۹ برابر با ۱۴۷/۴ میلیارد دلار برآورد شده است. کمک ها در آفریقا وکشورهای توسعه نیافته نسبت به سال پیش از آن، به ترتیب ۱/۳ و۲/۶ درصد افزایش داشته است. بودجه واعتبار اختصاص یافته برای آمار واطلاعات در سال ۲۰۱۷ برابر ۶۹۰ میلیون دلار بوده است. اشتراک پهنای باند در کشورهای توسعه‌یافته برابر ۳۳/۶ درصد و در کشورهای درحال توسعه برابر با ۱۱/۲ درصد است.

شکل ۱ -۱ اهداف کلان توسعه پایدار را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۱ هدف های توسعه پایدار

۱-۶- جایگاه جهانی ایران از دیدگاه محیط‌زیست

ایران دارای یکی از گوناگون ترین اقلیم‌های طبیعی در تمام جهان است. از ۱۳ اقلیم شناخته شده در جهان، ۱۱ گونه آن در کشور وجود دارد. از این دیدگاه، رتبه اول جهانی در اختیار ایران است. شاخص عملکرد زیست‌محیطی[1] (EPI)، شاخصی است ترکیبی که وضعیت کلی پایداری زیست‌محیطی را نشان می‌دهد. دانشگاه ییل با همکاری دانشگاه کلمبیا، مرکزی به همین نام (EPI) دایر کرده است که درباره پایداری زیست‌محیطی در سراسر جهان پژوهش می کند و نتایج آن را سالانه منتشر می سازد. این مرکز با استفاده از ۴۰ شاخص عملکرد در ۱۱ دسته موضوعی، ۱۸۰ کشور را در زمینه عملکرد تغییرات آب وهوا، سلامت محیط‌زیست و سرزندگی زیست‌بوم رتبه بندی می کند. این شاخص‌ها، افزون بر این که کشورها را از دیدگاه پایداری محیط‌زیست مورد مقایسه قرار می‌دهند، در مقیاس ملی نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و نزدیکی یا دوری آنها نسبت به اهداف تعیین شده سیاست زیست‌محیطی کشور را نشان دهند. EPI رتبه کشورهای پیشرو و در

1 Environmental Performance Index (EPI)

حال رشد را در عملکرد زیست‌محیطی آنها برجسته می‌کند و راهنمایی‌های عملی را برای کشورهایی ارائه می‌دهد که آرزوی حرکت به سمت آینده‌ای پایدار را دارند.

شاخص‌های EPI راهی را برای شناسایی مشکلات، تعیین اهداف، پایش روندها، درک نتایج و شناسایی بهترین شیوه‌های برنامه‌ریزی نشان می‌دهد. داده‌های درست و تجزیه و تحلیل مبتنی بر واقعیت می‌تواند به مقامات دولتی کمک کند تا سیاست‌های خود را اصلاح کنند، ارتباط با ذی‌نفعان[1] کلیدی را آسان کنند و بازده سرمایه‌گذاری‌های زیست‌محیطی را بیشینه کنند. EPI یک ابزار سیاسی قدرتمند برای پشتیبانی از تلاش‌ها برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل و حرکت جامعه به سوی آینده‌ای پایدار ارائه می‌کند.

رتبه‌بندی کلی EPI نشان می‌دهد که کدام کشورها به بهترین وجه به چالش‌های زیست‌محیطی، که هر کشوری با آن روبروست، پاسخ می‌دهند. فراتر رفتن از رتبه‌بندی کلی وکاوش در داده‌ها برای تجزیه وتحلیل عملکرد بر پایه دسته‌بندی موضوعی، هدف‌های سیاست‌گزاری، وضعیت گروه کشورهای همتا، وکشور مورد نظر، ارزش بیشتری را برای سیاست گزاران به ارمغان می‌آورد.

بر پایه پژوهش گسترده دانشگاه‌های معتبر ییل وکلمبیا در آمریکا، در سال ۲۰۲۲ دانمارک، بریتانیا، فنلاند، مالت وسوئد در میان ۱۸۰ کشور جهان، به ترتیب در جایگاه اول تا پنجم قرار دارند. ایران با کسب ۳۴/۵ امتیاز در مقام ۱۳۳ جهان قرار گرفته است. در پایان این فهرست هند، میانمار، ویتنام، بنگلادش وپاکستان جای دارند. در منطقه خاور میانه، جایگاه امارات متحده عربی ۳۹، اسراییل ۵۷، اردن ۸۱، کویت ۸۷، بحرین ۹۰، عربستان سعودی ۱۰۹ ومصر ۱۲۷ است که همگی رتبه‌ای بهتر از ایران دارند.

1 Stakeholders

۱-۷- جایگاه ایران در چند موضوع مرتبط با کشاورزی وآب

- ایران در از دست دادن جنگل‌ها[1] رتبه ۱۶ جهانی را دارد. به عبارت دیگر ۱۶۴ کشور عملکردی بهتر از ایران دارند. در چند دهه گذشته، سطح جنگل‌های کشور از ۱۸ میلیون هکتار به نزدیک ۱۲/۴ میلیون هکتار (اکرم، ۱۴۰۱ به نقل از بنایی وهمکاران، ۲۰۰۰) یا ۱۴/۳ میلیون هکتار(سازمان جنگل‌ها ومراتع وآبخیزداری کشور، ۱۳۹۹)کاهش یافته است. جنگل‌های هیرکانی یکی از یگانه ترین نوع جنگل‌ها در دنیا هستند که همچون نوار سبزی شیب‌های شمالی البرز را می‌پوشانند. سطح این جنگل‌ها ۳/۷ میلیون هکتار بوده وگفته می‌شود که امروزه به ۱/۷ میلیون هکتار کاهش یافته است.
- ایران در موضوع استفاده از حشره‌کش‌ها رتبه ۳۱ را دارد. رتبه خوبی که خوب است در آینده نیز باقی بماند.
- وضعیت کشور از دیدگاه مراتع، با رتبه ۴۹ نیاز به توجه بیشتر دارد.
- رتبه ایران در مدیریت پایدار نیتروژن ۶۱ است. زمین‌های زهکشی شده مقدار زیادی از کود نیتروژنی داده شده به زمین را خارج می‌کنند وآن را به منابع پذیرنده زهاب انتقال می‌دهند.
- رتبه ایران در تامین آب آشامیدنی سالم ۷۰ است. رتبه ای نه چندان خوب.
- ایران در موضوع تصفیه فاضلاب رتبه ۱۰۳ را دارد. رتبه‌ای که نشان می‌دهد ۵۷ درصد کشورهای جهان وضعی مناسب تر از ایران دارند.
- منابع تنوع زیستی در ایران زیاد است ولی رتبه ایران در این موضوع ۱۵۰ است که نشان از بی توجهی دارد.

1 Tree cover loss

- ایران در موضوع آلودگی‌های فلزات سنگین رتبه ۱۶۴ را دارد. رتبه‌ای که نشان می‌دهد بیش از ۹۰ درصد کشورهای جهان وضعی مناسب تر از ایران دارند. با توجه به زیانبار بودن انباشت فلزات سنگین در بدن، بی‌تردید نیاز به اصلاح خاک وآب وجود خواهد داشت؛ اقداماتی دشوار و پرهزینه.
- ایران رکورددار از دست دادن تالاب‌هاست. مقام نخست در جهان. وضعیت دریاچه ارومیه، تالاب‌های هامون، انزلی، گاوخونی، پریشان و... نشان از این وضعیت دارند.
- فرسایش خاک در EPI جایگاه مشخصی ندارد. فرسایش آبی موضوعی جدی در کوهپایه‌های ایران است. نتیجه آن، از دست رفتن خاک سطحی وحرکت انبوه خاک است که می‌تواند خطرناک باشد. بر پایه یک گزارش منتشر نشده سازمان خواربار وکشاورزی جهانی، فرسایش آبی در ایران به ۳ تا ۴ میلیارد تن خاک در سال می رسد. این مقدار دو برابر میانگین جهانی است (مومنی، ۲۰۰۳). موسوی و همکاران (۲۰۲۰) شدت فرسایش آبی را ۲۵ تن در هکتار در سال برآورد کرده‌اند ومقدار آن را چهار برابر میانگین جهانی می‌دانند.

در ایران، فرسایش بادی نیز مشکل اصلی ۲۱ میلیون هکتار زمین است. فرسایش بادی در فلات مرکزی ایران شامل استان های یزد، کرمان، سمنان، اصفهان، سیستان و بلوچستان وخراسان که خشک ترین مناطق کشور هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ هر چند که در مناطق ساحلی جنوب، در هرمزگان، بوشهر وبرخی از مناطق استان خوزستان نیز رخ می دهد. میانگین تلفات خاک به دلیل فرسایش بادی سالانه نزدیک۱۹ تن در هکتار است (عظیم زاده وهمکاران، ۲۰۰۸ به نقل از سازمان جنگلها، مراتع وآبخیزداری کشور، ۲۰۰۰). فرسایش بادی در زمین‌های برهنه نزدیک ۲ میلی‌متر در سال اندازه گیری شده است.

- شوری خاک نیز که در خاک‌های ایران مشکلی اساسی به شمار می‌رود، به طور صریح در EPI در نظر گرفته نشده است. خاک های شور به طور گسترده ای در سراسر کشور

دیده می شوند. بیشترین آنها درحوضه فلات مرکزی است. بر پایه مطالعات مومنی (۱۳۸۹)، ۶/۸ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی کشور دارای خاک‌های شور است. مطالعاتی که در سال‌های بعد انجام شده، ارقام بیشتری راگزارش کرده‌اند. بر پایه گزارش سیاری و محمودی (۲۰۰۲) سطح اراضی شوری زده کشور، شامل خاک‌های شور ویا سدیمی ۲۱ میلیون هکتار است.

۱-۸- تقسیم وظایف در ایران برای رسیدن به هدف‌های توسعه پایدار

در ایران برای دست یابی به هدف‌های توسعه پایدار در سال ۲۰۳۰، تقسیم کاری بین نهادهای مختلف، مطابق شکل ۱- ۲ انجام شده است.

شکل ۱-۲- تقسیم وظایف ومسئولیت‌های دست یابی به هدف‌های ۱۷ گانه توسعه پایدار در ایران

جدول ۱-۲- تقسیم وظایف دست‌یابی به هدف‌های توسعه پایدار در ایران

مسئول اجرا	شماره هدف	عنوان هدف
وزارت تعاون، کار وامور اجتماعی	۱	پایان دادن به فقر در تمامی اشکال آن ودر همه نقاط
سازمان حفاظت محیط‌زیست	۱۳	اتخاذ اقدامات جهت مبارزه با تغییرات اقلیمی واثرات آن
	۱۴	حفاظت واستفاده پایدار از اقیانوس ودریاها ومنابع دریایی
	۱۵	حفاظت، بازسازی وبهبود زیست‌بوم ها وجلوگیری از بیایان زایی واز بین رفتن تنوع زیستی
وزارت جهاد کشاورزی	۲	پایان دادن به گرسنگی، دستیابی به امنیت غذایی وترویج کشاورزی پایدار
وزارت نیرو	۶	ایجاد دسترسی ومدیریت پایدار آب وبهداشت برای همگان
	۷	دسترسی به انرژی پاک، مطمئن، پایدار ونو برای همگان
سازمان برنامه وبودجه	۱۲	الگوی تولید ومصرف مسئولانه
	۱۷	احیای مشارکت جهانی با هدف توسعه پایدار
وزارت امور اقتصادی ودارایی	۸	رشد اقتصادی پایدار، اشتغال کامل وکار شایسته برای همگان
	۱۰	کاهش نابرابری در داخل ومیان کشورها
وزارت بهداشت ودرمان	۳	زندگی سالم وبهبود زندگی در تمامی گروه‌های سنی
وزارت صنعت، معدن وتجارت	۹	ایجاد زیرساخت‌های مقاوم، ارتقای فرایند صنعتی سازی پایدار وتوجه به نوآوری
وزارت آموزش و پرورش	۴	فراهم سازی آموزش فراگیر وبا کیفیت وترویج فرصت‌های یادگیری برای همگان
وزارت کشور	۱۶	ترویج صلح، عدالت وتشکیل نهادهای توانمند وپاسخگو در تمامی سطوح
وزارت راه وشهرسازی	۱۱	ایجاد شهرها واجتماعات محلی پایدار وتاب آور
معاونت امور خانواده ریاست جمهوری	۵	دستیابی به برابری جنسیتی وتوانمندسازی زنان ودختران

سازمان حفاظت محیط‌زیست، (شیرعلی،۲۰۲۰).

فصل دوم
کشاورزی و محیط‌زیست آبی

۲-۱-پیش‌گفتار

آلودگی آب چالشی جهانی است. نگرانی‌ها، چه در کشورهای توسعه‌یافته و چه در کشورهای در حال توسعه، افزایش یافته و رشد اقتصادی و همچنین سلامت بدنی و زیست‌محیطی میلیاردها نفر را تضعیف کرده است. امروزه توجه جهانی بیشتر بر روی مقدار آب، کارایی مصرف آب و مسائل مربوط به تخصیص تمرکز یافته است. از کمّیت که بگذریم، مدیریت ضعیف پساب و فاضلاب، مشکلات جدی کیفیت آب را در بسیاری از نقاط جهان ایجاد کرده و بحران آب را شدیدتر کرده است. کمبود آب در جهان، تنها به دلیل کمبود فیزیکی منابع آب نیست، بلکه این علت را نیز دارد که کیفیت آب در بسیاری از کشورها، رو به تخریب است و آرام آرام مقدار آبی که برای استفاده ایمن مورد نیاز است کاهش می‌یابد.

دستور کار ۲۰۳۰ برای توسعه پایدار، به کیفیت آب اهمیت می‌دهد و آن را یکی از هدف‌های توسعه قرار داده است. اینک توجه به موضوع آلودگی در اولویت‌های ملی و بین‌المللی است. سکونت‌گاه‌های انسانی، صنایع و کشاورزی منابع اصلی آلودگی آب هستند. در سطح جهان، ۸۰ درصد از فاضلاب شهری، بدون تصفیه به پهنه‌های آبی تخلیه می‌شود. صنایع نیز مسئول تخلیه میلیون‌ها تن فلز سنگین، حلال‌ها، لجن سمّی و سایر زباله‌ها در این پهنه‌ها هستند.

۲-۲-کشاورزی و آلودگی آب

کشاورزی که ۷۰ درصد از برداشت‌های آب در جهان را به خود اختصاص می‌دهد، نقش زیادی در آلودگی آب دارد. مزارع مقادیر زیادی از مواد شیمیایی کشاورزی، مواد آلی، بقایای داروهای دامی، رسوب و زهاب شور را به پهنه‌های آبی تخلیه می‌کنند. این آلاینده‌ها زیست‌بوم‌های آبی، سلامت انسان و فعالیت‌های تولیدی را در خطر قرار می‌دهند. آلودگی کشاورزی در بیشتر کشورهای با درآمد بالا و بسیاری از اقتصادهای نوظهور، به عنوان عامل اصلی تخریب کیفیت آب شمرده می‌شود. امروزه این آلودگی از آلودگی خانگی و صنایع پیشی گرفته است.

نیترات حاصل از کشاورزی رایج‌ترین آلاینده شیمیایی در سفره‌های آب زیرزمینی جهان است (برنامه ارزیابی جهانی آب[1]، ۲۰۱۳). در اتحادیه اروپا، ۳۸ درصد از پهنه‌های آبی به طور قابل توجهی تحت فشار آلودگی کشاورزی هستند (برنامه ارزیابی جهانی آب، ۲۰۱۵). در ایالات متحده آمریکا، کشاورزی منبع اصلی آلودگی در رودخانه‌ها و جویبارها، دومین منبع اصلی آلودگی در تالاب‌ها و سومین منبع اصلی آلودگی در دریاچه‌ها است (سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا، ۲۰۱۶).

در چین، کشاورزی مسئول سهم بزرگی از آلودگی آب‌های سطحی و تنها منبع آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط نیتروژن است (فائو، ۲۰۱۳). در کشورهای کم درآمد و اقتصادهای نوظهور، بار زیاد آلودگی‌ها در فاضلاب تصفیه نشده شهری و صنعتی، نگرانی‌های عمده‌ای هستند. با این وجود، آلودگی کشاورزی، که با افزایش رسوب در آب‌های سطحی و شور شدن آب‌های زیرزمینی همراه است، نیز در حال تبدیل شدن به یک مشکل جدّی است. فشار کشاورزی بر کیفیت آب، ناشی از بخش‌های زراعت، دامداری و آبزی پروری است؛ فعالیت‌هایی که برای پاسخ گویی به رشد جمعیت و تقاضای فزاینده غذایی و نیز تغییر در الگوی غذایی در حال گسترش است.

1 World Water Assessment Programme (WWAP)

۲-۳- گسترش کشاورزی و تاثیر بر محیط‌زیست

سطح زمین‌های فاریاب در دهه‌های اخیر از ۱۳۹ میلیون هکتار در سال ۱۹۶۱ به ۳۲۰ میلیون هکتار در سال ۲۰۱۲ رسیده و بیش از دو برابر شده است (فائو، ۲۰۱۴). تعداد کل دام از ۷/۳ میلیارد واحد در سال ۱۹۷۰ به ۲۴/۲ میلیارد واحد در سال ۲۰۱۱، بیش از سه برابر شده است (فائو، ۲۰۱۶). آبزی‌پروری، به ویژه آبزی‌پروری درون سرزمینی و به ویژه در آسیا از دهه ۱۹۸۰ بیش از ۲۰ برابر شده است (فائو، ۲۰۱۶).

رشد جهانی تولید محصول بیشتر از طریق استفاده زیاد از نهاده‌هایی مانند آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی به دست آمده و با گسترش زمین‌های کشاورزی تشدید شده است. آبیاری نقشی راهبردی در بهبود بهره‌وری و سطح زندگی روستایی بازی می‌کند و در عین حال، آلودگی کشاورزی را به پهنه‌های آبی منتقل می‌سازد.

بخش دامداری، کم و بیش در همه کشورها، سریع‌تر از بخش زراعت و باغبانی در حال رشد است. پسماندهای مرتبط، از جمله کود، پیامدهای جدی برای کیفیت آب دارد(فائو، ۲۰۰۶). در بیست و یا سی سال گذشته، دسته جدیدی از آلاینده‌های کشاورزی به شکل داروهای دامپزشکی (آنتی بیوتیک‌ها، واکسن‌ها و هورمون‌ها) ظهور کرده‌اند که با آب از مزارع به زیست‌بوم‌ها و منابع آب آشامیدنی منتقل می‌شوند. عوامل بیماری‌زا یا پاتوژن‌های موجود در آب نیز یکی دیگر از نگرانی‌های اصلی به شمار می‌روند (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۱۲).

افزایش چشمگیر و سریع آبزی پروری در سراسر جهان در محیط‌های دریایی، و نیز در آب‌های شور و شیرین درون سرزمینی وجود داشته است. فضولات ماهی و باقی‌مانده خوراک دستی آبزیان، کیفیت آب را کاهش می‌دهد. افزایش تولید با استفاده بیشتر از آنتی بیوتیک‌ها وقارچ کش‌ها همراه شده که به نوبه خود ممکن است به آلوده شدن زیست‌بوم‌های پایین دست کمک کند. آلودگی آب ناشی از کشاورزی، اثرات منفی مستقیم بر سلامت انسان دارد. به عنوان نمونه، می‌توان به سندرم

معروف به کودکِ آبی[1] اشاره کرد که در آن سطوح بالای نیترات در آب می‌تواند باعث متموگلوبینمی[2] – یک بیماری بالقوه کشنده – در نوزادان شود. انباشت آفت‌کش‌ها در آب و زنجیره غذایی، با اثرات نامطلوب بر انسان، منجر به ممنوعیت گسترده برخی از آفت‌کش‌های با طیف وسیع و پایدار (مانند د.د.ت و بسیاری از ارگانوفسفره‌ها) شده، لیکن برخی از این آفت‌کش‌ها هنوز در کشورهای فقیرتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. زیست‌بوم‌های آبی نیز تحت تأثیر آلودگی کشاورزی قرار دارند. به عنوان نمونه، انباشت مواد مغذی[3] در دریاچه‌ها و آب‌های ساحلی بر آبزیان و تنوع زیستی تأثیر می‌گذارد. تخریب کیفیت آب ممکن است اثرات مستقیم شدیدی نیز بر فعالیت‌های تولیدی از جمله کشاورزی داشته باشد. به عنوان نمونه، آبیاری با استفاده از آب شور یا لب شور، تولید کشاورزی را در صدها هزار هکتار از زمین‌های کشاورزی در سراسر جهان محدود کرده است. تنها در کشورهای سازمان همکاری و توسعه اقتصادی(OECD) هزینه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی آلودگی آب ناشی از کشاورزی بیش از میلیاردها دلار در سال است (سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، ۲۰۱۲). مدیریت زیست‌بوم‌های آبی و کاهش اثرات زیانبار بر آنها نیازمند تشخیص، پیش‌بینی و پایش آنها است. اگر بخواهند اقدامات مقرون به صرفه‌ای برای جلوگیری از آلودگی و کاهش خطرات طراحی کنند، مدیران، برنامه ریزان و قانونگذاران باید از وضعیت زیست‌بوم‌های آبی، ماهیت و پویایی عوامل و فشارهایی که منجر به تخریب کیفیت آب می‌شود و اثرات آن آگاهی داشته باشند.

۲-٤- افزایش جمعیت و محیط‌زیست آبی

پیش‌بینی می‌شود که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۸ میلیارد نفر برسد (امور اجتماعی و اقتصادی ملل متحد[4]، ۲۰۱۷). روند رشد جمعیت جهان درشکل ۲- ۱ نشان داده شده است. موضوع مهم این

1 Blue-baby syndrome
2 Methaemoglobinemia
3 Eutrophication
4 Department of Economic and Social Affairs

است که جمعیت کشورهای توسعه‌یافته کم و بیش ثابت مانده و تنها کشورهایی در حال افزایش جمعیت خود هستند که به کشورهای در حال توسعه تعلق دارند. الگوی مصرف نیز در حال تغییر است. این تغییر به تولید بیشتر و گوناگون تر مواد غذایی نیاز دارد. این، به نوبه خود باعث گسترش کشاورزی می‌شود و اثرات زیست‌محیطی جدیدی از جمله تأثیر بر کیفیت آب را به همراه دارد.

با ثروتمندتر شدن جمعیت، حتی با وجود جمعیت زیادی که در فقر مطلق زندگی می کنند، میانگین کالری دریافتی افزایش یافته است. الگوی غذایی مردم از غلات و کربوهیدرات‌ها به سمت رژیم‌هایی با سهم بیشتری از گوشت، تخم‌مرغ، لبنیات، روغن‌ها و سایر محصولاتی که با نهاده‌های زیاد تولید می‌شوند، گرایش پیدا کرده است. مصرف بیش ازاندازه، حتی در کشورهای با درآمد متوسط و کم، به پرخوری و چاقی انجامیده و تلفات و ضایعات پس از برداشت افزایش یافته و آثار زیست‌محیطی، از جمله تخریب کیفیت آب را در پی داشته است.

نیاز به تولید مواد غذایی بیشتر، به معنای افزایش زمین‌های نوکاشت است. این افزایش نمی‌تواند ادامه یابد، زیرا که به زیان محیط‌زیست است. کاری که در دهه‌های گذشته روی داده ولی دیگر نمی‌تواند چندان ادامه داشته باشد.

فائو و ایمی، ۲۰۱۷

شکل۲-۱- روند تغییرات جمعیت جهان در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه

۲-۵- گسترش سطح و افزایش مصرف نهاده‌های کشاورزی

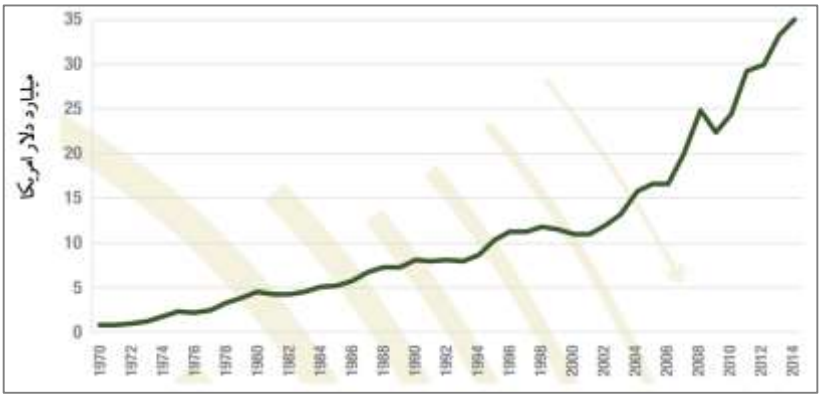
امروزه، سطح زمین‌های زیر کشت، در پاسخ به تقاضای روزافزون غذا، در حال گسترش است و از نهاده‌های بیشتری در آن استفاده می‌شود. درست است که گسترش سطح زیر کشت به افزایش بار آلایندگی آب کمک می‌کند، لیکن بیشترین تأثیرات، ناشی از استفاده بیشتر از نهاده‌های کشاورزی است. استفاده بیش ازاندازه و نابجا از مواد شیمیایی کشاورزی، آب، خوراک دام و داروهایی که برای افزایش بهره وری ساخته شده‌اند، همگی منجر به افزایش بارآلودگی در محیط‌زیست، از جمله رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سفره‌های زیرزمینی و آب‌های ساحلی شده است. بخش‌های زیر، مسیر ناپایداری را در کشاورزی مرور می‌کنند و عوامل کلیدی در کاهش کیفیت آب را نشان می‌دهند.

۲-۵-۱- زراعت و باغبانی

جمعیت جهان بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ دو برابر شد، لیکن تولید غلات نزدیک سه برابر، تولید سبزیجات چهار برابر، تولید گوجه‌فرنگی پنج برابر و تولید سویا هشت برابر شد (فائو، ۲۰۱۶). این افزایش عظیم در تولید باگسترش زمین‌های کشاورزی، معرفی گونه‌های جدید زراعی و استفاده بیشتر از مواد شیمیایی کشاورزی و فناوری‌های کشاورزی به دست آمد. آبیاری عامل اصلی این بهبود بود. پروژه‌های بزرگ آبیاری ابزار مهمی برای افزایش امنیت غذایی در سطح جهان و به ویژه در کشورهای در حال توسعه بودند. با این وجود، آبیاری و زهکشی در بسیاری موارد با کاهش کیفیت آب ناشی از دفع نمک، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، و کود همراه بوده است. استفاده از کود در دهه‌های اخیر به طور چشم‌گیری افزایش یافته است (شکل ۲-۲). امروزه جهان ده برابر بیشتر از دهه ۱۹۶۰ کود معدنی مصرف می‌کند (فائو، ۲۰۱۶). راکستروم و همکاران (۲۰۰۹) عقیده دارند که مصرف کود در جهان ممکن است از آستانه‌ای فراتر رفته باشد که باعث ایجاد تغییرات محیطی ناگهانی در مقیاس قاره‌ای یا حتی سیاره زمین شود. استفاده از کود در سراسر جهان به طور یکنواخت رشد نکرده است. تفاوت‌های زیادی بین بخش‌هایی از جهان که کود بسیار زیاد مصرف می‌کنند و

آن‌هایی که زمین‌هایی با مواد مغذی کافی ندارند، وجود دارد. مصرف بیش ازاندازه کود باعث می‌شود که مقدار اضافی آن به پهنه‌های آبی منتقل شود و آنها را آلوده سازد. در آمریکای شمالی، اروپا و بخش‌هایی از جنوب و شرق آسیا چنین وضعیتی دیده می‌شود.

در استفاده از نهاده‌ها، کشورها به طور فزاینده‌ای رویکرد مدیریت آفات را بر استفاده از آفت‌کش‌های مصنوعی بنا کرده‌اند. امروزه، تولید آفت‌کش‌ها یک صنعت چند میلیارد دلاری است و ارزش بازار جهانی آن بیش از ۳۵ میلیارد دلار در سال است (شکل ۲-۲؛ فائو، ۲۰۱۶). چندین کشور با درآمد متوسطِ بالا مانند آرژانتین و برزیل و کشورهای با درآمد متوسطِ پایین مانند پاکستان و اوکراین، رشد دو رقمی‌در استفاده از آفت‌کش‌ها را تجربه کرده‌اند. به طور کلی، نسبت مصرف جهانی علف‌کش‌ها به آفت‌کش‌ها به سرعت در حال افزایش است، در حالی که نسبت مصرف قارچ کش‌ها و حشره کش‌ها به آفت‌کش‌ها کاهش می‌یابد (ژانگ، جیانگ و او، ۲۰۱۱).



فائو و ایمی، ۲۰۱۷

شکل ۲-۲- روند تغییرات بازار جهانی آفت‌کش‌ها

۲-۵-۲- دامپروری

دامپروری در هفتاد درصد از زمین‌های کشاورزی و ۳۰ درصد از تمامی‌سطح زمین به شکل‌های گوناگون انجام می‌شود. دامپروری در هر مقیاس، از محلی تا جهانی، یکی از سه عامل اصلی

جدی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی، از جمله تخریب کیفیت آب است (فائو، ۲۰۰۶). تقاضا برای محصولات دامی در سطح جهانی به سرعت در حال افزایش است. مناطق زیر در مرکز توجه قرار دارند: مرکز و شرق ایالات متحده آمریکا، جنوب برزیل، اروگوئه و شمال آرژانتین، اروپا، هند و چین.

تغییرات ساختاری عمده در بخش دام، با توسعه سیستم‌های تولید صنعتی و تراکم دام همراه است. دامپروری‌های متراکم به مواد کنسانتره خوراکی وابسته هستند. این تغییرات، فشار فزاینده‌ای بر محیط‌زیست و به ویژه بر کیفیت آب وارد می‌کنند. بیشتر آبی که برای آشامیدن و سرویس دهی دام استفاده می‌شود، به صورت کود مایع، نیمه مایع و فاضلاب به محیط‌زیست باز می‌گردد. فضولات دام، مقادیر قابل توجهی مواد مغذی، مواد کم‌کننده اکسیژن و پاتوژن‌ها را در خود دارند. در سیستم‌های متراکم، فلزات سنگین، بقایای دارو، هورمون‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها نیز یافت می‌شوند. هنگامی‌که از شیوه دامپروری متراکم استفاده شود، تولید ضایعات از ظرفیت خودپالایی خاک و آب فراتر می‌رود و در نتیجه آب‌های سطحی و زیرزمینی را آلوده می‌کند.

۲- ۵- ۳ - آبزی پروری

در چند دهه اخیر، تقاضا برای آبزیان سریع تر از هر کالای کشاورزی دیگری رشد کرده است. صید ماهی‌های وحشی از دهه ۱۹۹۰ کم و بیش تثبیت شد. اینک تمام افزایش تولید ماهی از آبزی پروری ناشی می‌شود که به طور چشم‌گیری گسترش یافته است. اکنون مزارع پرورش ماهی نزدیک نیمی از کل ماهی مصرفی را تولید می‌کنند. مجموع تولید جهانی آبزیان در سال ۲۰۱۴ به ۱۶۷ میلیون تن رسید (فائو، ۲۰۱۶). تخمین زده می‌شود که ۱۴۶ میلیون تن آن بطور مستقیم توسط انسان مصرف شده باشد. رشد آبزی پروری، بیشتر در کشورهای در حال توسعه رخ داده است که ۹۱ درصد تولید جهانی را به خود اختصاص داده است. بیشترین تمرکز آبزی پروری در کشورهای در حال توسعه کم درآمد است. آسیا با نزدیک ۹۰ درصد تولید جهانی، با ۱۴۵/۵ میلیون تن در سال، بزرگترین

تولیدکننده محصولات آبزی پروری است (فائو، ۲۰۱۶). از سوی دیگر، گونه‌هایی که بطور دستی تغذیه می‌شوند افزایش یافته است. نزدیک ۷۰ درصد از کل تولید را این گونه مزارع، با تغذیه دستی تشکیل می‌دهند. آبزی پروری متراکم و با تغذیه دستی، منجر به ورود فضولات ماهیان، داروها و باقی‌مانده‌های خوراک دستی به پهنه‌های آبی می‌شود. گونه‌های گوشتخوار در آبزی پروری از ارزش بالایی برخوردارند. این گونه‌ها به مقادیر زیادی از پودر ماهی و سایر خوراک‌های پلت شده[1] (قالبی، فشنگی) نیاز دارند.

بسیاری از انواع آبزی پروری غیر تغذیه شونده (مانند پرورش صدف) می‌توانند آب را تصفیه و تمیز کنند. لیکن انواع دیگر (مانند کشت متراکم خرچنگ در قفس) ممکن است چرخه مواد مغذی طبیعی را مختل کرده و منجر به کاهش کیفیت آب شوند. فشارهای بازار موجب شده است که بسیاری از پرورش دهندگان به سوی تولید تک محصولی روی آورند. این روند منجر به افزایش استفاده از داروها (مانند آنتی بیوتیک‌ها، قارچ کش‌ها و...) شده است که به نوبه خود به آلودگی پایین دست کمک می کنند.

۲-٦- آلاینده‌های کشاورزی، منابع و اثرات

عوامل اصلی کشاورزی موثر در آلودگی آب عبارتند از: مواد مغذی (کودها)، آفت‌کش‌ها، نمک‌ها، رسوبات، کربن آلی، عوامل بیماری‌زا، فلزات و بقایای دارو. جدول ۲- ۱ سهم نسبی این عوامل را در تخریب کیفیت آب نشان می‌دهد. اهمیت هر یک از این عوامل در آلودگی، با اثر جمعی دو یا چند آلوده کننده متفاوت است. به عنوان نمونه، در پدیده انباشت مواد مغذی، رسوبات، کودها و مواد آلی از عوامل اصلی هستند و نمی‌توان این پدیده را تنها به فسفر ربط داد.

در کشاورزی، آلودگی آب ناشی از مواد مغذی یا کودها، هنگامی‌روی می‌دهد که کود داده شده از مقدار جذب گیاهی و مقدار تثبیت شده توسط ذرات خاک بیشتر باشد. در این صورت، مقدار

1Pellet

باقی‌مانده نیتروژن و فسفات با رواناب سطحی و یا بوسیله زهکش‌های زیرزمینی از خاک خارج می‌شوند و به منابع پذیرنده زهاب می‌رسند و یا به آب زیرزمینی می‌پیوندند. فسفات به‌اندازه نیترات و آمونیاک محلول نیست و تمایل دارد به ذرات خاک بچسبد. در این صورت، تنها می‌تواند با فرسایش خاک وارد آب شود. در دامپروری متکی به چرای دام، بطور معمول، محل اسکان دام در کناره‌های آبراهه‌ها قرار داده می‌شود تا بخشی از فضولات حیوانی، مانند ادرار،که سرشار از مواد مغذی است، بطور مستقیم در جریان‌آب رها شود. مدفوع حیوانی، بطور معمول برای استفاده به عنوان کود آلی جمع آوری می‌شود. استفاده بیش ازاندازه از کود دامی، منجر به آلودگی بی کانون در آب می‌شود. در بسیاری از موارد نیز کود در جایی ذخیره می‌شود که در بارندگی‌ها شسته می‌شود و به آبراهه‌ها می‌رسد. در آبزی پروری با تغذیه دستی، بارآلودگی ناشی از تغذیه، در درجه اول تابعی از ترکیب خوراک است. خوراک نخورده در آبزی پروری می‌تواند نقش مهمی در بار آلودگی مواد مغذی در آب داشته باشد. خوراک خورده نشده، همراه با سایر عوامل، می‌تواند باعث انباشت مواد مغذی در دریاچه‌ها، مخازن، تالاب‌ها و مرداب‌ها و نیز آب‌های ساحلی شود. در این حالت ممکن است شکوفایی جلبک[1] روی دهد که دیگر گیاهان و حیوانات آبزی را سرکوب می‌کند. با وجود کمبود اطلاعات، ۴۱۵ منطقه ساحلی در سرتاسر جهان شناسایی شده‌اند که نوعی از انباشت مواد مغذی را تجربه می‌کنند، که ۱۶۹ تا از آنها دچار کمبود اکسیژن (هیپوکسیک) شده‌اند (موسسه پژوهش‌های آب، ۲۰۰۸). انباشت بیش ازاندازه مواد مغذی ممکن است به دلیل سطوح بالای نیترات در آب آشامیدنی، اثرات نامطلوب بر سلامتی، مانند سندرم کودک آبی، داشته باشد.

1 Algae blooms

جدول ۲-۱- دسته‌بندی آلاینده‌های اصلی آب در کشاورزی و سهم نسبی گیاهان، دام و آبزیان

نوع آلاینده	شاخص‌ها یا مثال‌ها	سهم نسبی		
		گیاهان	دام	آبزیان
مواد غذایی (کودها)	نیتروژن و فسفر در کودهای شیمیایی و آلی و فضولات حیوانی وجود دارد و بطور معمول در آب به صورت نیترات، آمونیاک یا فسفات یافت می‌شود.	***	***	*
سموم کشاورزی	علف‌کش‌ها، حشره کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و باکتری کش‌ها از جمله ارگانوفسفات‌ها، کاربامات‌ها، پیرتروئیدها، آفت‌کش‌های ارگانوکلرین و غیره (بسیاری از آنها مانند د.د.ت در بیشتر کشورها ممنوع هستند لیکن همچنان به طور غیرقانونی استفاده می‌شوند)	***	-	-
نمک‌ها	یون‌های سدیم، کلرید، پتاسیم، منیزیم، سولفات، کلسیم و بی کربنات. در آب به طور مستقیم به صورت کل جامدات محلول یا به طور غیر مستقیم با هدایت الکتریکی‌اندازه گیری می‌شود.	***	*	*
رسوب	اندازه‌گیری شده در آب به‌صورت کل جامدات معلق یا واحدهای کدورت نفلومتریک به‌ویژه از زهکش تالاب‌ها در هنگام برداشت	***	***	*
مواد آلی	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی(COD) یا بیوشیمیایی(BOD)، به عنوان نمونه مواد آلی مانند مواد گیاهی و فضولات دام، که هنگام تجزیه اکسیژن مصرف می‌کنند.	*	***	**
عوامل بیماری‌زا	شاخص‌های باکتری و پاتوژن به عنوان نمونه اشریشیا کلی، کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی و انتروکوکسی	*	***	*
فلزات	به عنوان نمونه سلنیوم، سرب، مس، جیوه، آرسنیک و منگنز	*	*	*
آلاینده‌های نوظهور	به عنوان نمونه باقی‌مانده‌های دارو، هورمون‌ها و افزودنی‌های خوراکی	-	***	**

فائو و ایمی، ۲۰۱۷

۲-۶-۱- سموم شیمیایی

حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و قارچ کش‌ها، در بسیاری از کشورها، به شدت در کشاورزی استفاده می‌شوند. در صورت انتخاب و مدیریت نادرست، می‌توانند منابع آب را با مواد سرطان‌زا و مواد

سمی‌دیگری که می‌توانند بر انسان‌ها تأثیر بگذارند، آلوده کنند. علف‌کش‌ها می‌توانند با از میان برداشتن علف‌های هرز و حشرات، بر تنوع زیستی تأثیر بگذارند و تأثیرات منفی بر زنجیره غذایی داشته باشند. در کشورهای توسعه‌یافته، اگرچه استفاده قابل توجه از آفت‌کش‌های قدیمی‌تر با طیف وسیع‌تر همچنان ادامه دارد، لیکن گرایش به سمت استفاده از آفت‌کش‌های جدیدتری است که انتخابی‌تر و سمی‌تر برای انسان و محیط‌زیست هستند ولی در عوض برای اثربخشی به مقادیر کمتری در واحد سطح نیاز دارند. با این وجود، سالانه میلیون‌ها تن مواد آفت‌کش، علف‌کش و قارچ کش و... هنوز در کشاورزی استفاده می‌شود. مسمومیت حاد با این سموم باعث بروز عوارض و مرگ و میر انسانی قابل توجهی در سراسر جهان می‌شود؛ به ویژه در کشورهای در حال توسعه، جایی که کشاورزان فقیر بیشتر از فرمولاسیون سموم بسیار خطرناک استفاده می‌کنند.

۲-٦-۲- نمک‌ها

با افزایش آبیاری در دهه‌های اخیر، تولید زهاب لب شور و شور در کشاورزی رشد داشته است. آبیاری می‌تواند نمک‌های انباشته شده در خاک را آزاد کند که سپس توسط زهاب به پهنه‌های آبی پذیرنده منتقل گردد و باعث شور شدن آنها شود. آبیاری بیش ازاندازه همچنین می‌تواند موجب بالا آمدن سطح ایستابی سفره‌های شور شود. با بالا آمدن سطح آب، نشت آب‌های زیرزمینی شور به جریان‌های آب سطحی افزایش می‌یابد. نفوذ آب شور دریا به سفره‌های زیرزمینی، که در بیشتر موارد نتیجه استخراج بیش ازاندازه آب‌های زیرزمینی برای مصرف درکشاورزی است، یکی دیگر از دلایل مهم شور شدن آب و خاک در مناطق ساحلی است. مشکلات عمده شوری آب در بسیاری از کشورها وجود دارد. در سال ۲۰۰۹، نزدیک ۱/۱ میلیارد نفر در مناطقی زندگی می‌کردند که در اعماق کم یا متوسط آب‌های زیرزمینی شور داشتند (فائو و ایمی، ۲۰۱۷). آب‌های بسیار شور چرخه‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی مانند کربن، آهن، نیتروژن، فسفر، سیلیس و گوگرد را با تأثیرات کلی بر زیست‌بوم تغییر می‌دهند (فائو و ایمی، ۲۰۱۷ به نقل از هربرت و همکاران، ۲۰۱۵).

شوری می‌تواند بر ترکیب جامعه زیستمندان آب شیرین تأثیر بگذارد و سرانجام به از دست رفتن تنوع زیستی و یا مهاجرت بینجامد. به طور کلی، هنگامی‌که شوری افزایش می‌یابد، تنوع‌زیستی میکروارگانیسم‌ها، جلبک‌ها، گیاهان و حیوانات کاهش می‌یابد (فائو و ایمی۲۰۱۷ به نقل از لورنز، ۲۰۱۴).

۲-٦-۳- رسوبات

استفاده ناپایدار از زمین و خاکورزی و مدیریت نامناسب خاک در کشاورزی باعث افزایش فرسایش می‌شود. خاک فرسوده به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن وارد می‌شود و رسوب می‌کند. به این ترتیب، هر ساله مقادیر زیادی خاک از بین می‌رود و به پهنه‌های آبی منتقل می‌شود. نرخ متوسط جهانی فرسایش در زمین‌های زراعی ۱۰/۵ تن در هکتار در سال تخمین زده می‌شودکه بطور میانگین برابر ۱۹۳ کیلوگرم کربن آلی خاک در هر هکتار در سال است. برآوردها برای مراتع کمتر است، ۱/۷ تن در هکتار در سال. تخمین زده می‌شود که ۴۳ درصد از رسوب کشاورزی در آسیا روی می‌دهد. (فائو و ایمی، ۲۰۱۷ به نقل از دوترل، ون اوست و سیکس، ۲۰۱۲).

فرسایش زیاد در مناطقی رخ می‌دهد که بارندگی زیاد، شیب‌ها تند و پوشش گیاهی ضعیف است. فرسایش با چرای بی رویه در مراتع، با شخم زدن نامناسب در شیب‌های تند و به طور گسترده تر، با جنگل‌زدایی و تخریب پوشش گیاهی در خشکی و در رودخانه‌ها تشدید می‌شود. رسوب در رودخانه‌ها مخلوطی از مواد معدنی و مواد آلی است. رسوب شامل آلاینده‌های فیزیکی و شیمیایی است. رسوبات می‌توانند بسترهای تخم ریزی ماهی‌ها را بپوشانند و از بین ببرند، آبشش ماهی را مسدود کرده و حجم ذخیره سازی مفید در مخازن را کاهش دهند. رسوب می‌تواند به جریان‌های آب آسیب برساند، به مواد معلق آب بیفزاید و فیلتراسیون را برای منابع آبی شهری و آبیاری ضروری کند. همچنین می‌تواند قابلیت کشتیرانی پهنه‌های آبی را محدود کند. ذرات خاک رس و سیلت در رسوبات می‌توانند انواع گوناگونی از مواد شیمیایی از جمله مواد مغذی، فلزات سنگین و آلاینده‌های

آلی پایدار را روی سطوح خود بچسبانند. بنابراین رسوب وسیله‌ای کلیدی برای انتقال این آلاینده‌ها به پهنه‌های آبی است.

۲-٦-٤- مواد آلی

مواد آلی حاصل از فضولات حیوانات، خوراک دام خورده نشده، صنایع فرآوری دام و بقایای محصولات زراعی، همگی از آلاینده‌های مهم آب هستند. ضایعات مربوط به دام دارای بیشترین اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD) هستند. برای نمونه، BOD مدفوع خوک در محدوده ۳۰۰۰۰-۸۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. این در حالی است که بطور معمول BOD فاضلاب خانگی ۲۰۰-۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است (فائو، ۲۰۰۶). در مقیاس محلی، آبزی پروری می‌تواند سهم عمده‌ای در بار آلودگی مواد آلی در آب داشته باشد. به عنوان نمونه، در اسکاتلند، بار آلودگی زباله‌های آلی تصفیه نشده از تولید ماهی آزاد نزدیک ۷۵ درصد بار آلودگی انسانی است. پرورش میگو در بنگلادش روزانه ۶۰۰ تن زباله تولید می‌کند. مواد آلی هنگام تجزیه، اکسیژن محلول در آب را مصرف می‌کنند و به شدت به کمبود اکسیژن (هیپوکسی) در پهنه‌های آبی کمک می‌کنند. تخلیه مواد آلی همچنین خطر انباشت مواد مغذی و شکوفایی جلبکی را در دریاچه‌ها، مخازن و مناطق ساحلی افزایش می‌دهد.

۲-٦-٥- عوامل بیماری‌زا

مدفوع دام دارای بسیاری از ریزجاندارهای مشترک بین انسان و دام و انگل‌های پر سلولی است که می‌تواند برای سلامت انسان زیانبار باشد. ریزجاندارهای بیماری‌زا می‌توانند از طریق آب یا مواد غذایی به انسان منتقل شوند. این خطر هنگامی‌بیشتر است که محصول با آب آلوده آبیاری شده باشد. برخی از پاتوژن‌ها می‌توانند روزها یا هفته‌ها در مدفوع در محیط خشک زنده بمانند. سپس می‌توانند منابع

آب را از طریق رواناب آلوده کنند (فائو، ۲۰۰۶؛ سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۱۲). این پاتوژن‌ها که برای سلامت عمومی زیانبار هستند شامل باکتری‌ها، تک یاخته‌های انگلی و انگل‌های پر سلولی هستند.

۲-۶-۶- آلاینده‌های نوظهور

آلاینده‌های جدیدی مانند آنتی بیوتیک‌ها، واکسن‌ها، محرک‌های رشد و هورمون‌ها در چند دهه اخیر در دامپزشکی و دامپروری ظهور پیدا کرده‌اند. این آلاینده‌ها می‌توانند با کمک رواناب و یا با آبشویی از مزارع پرورش دام و آبزی پروری و همچنین از طریق کود دامی، که بقایای این مواد را در خود دارند، به آب سطحی یا زیرزمینی برسند (سازمان همکاری‌های اروپا، ۲۰۱۲). بقایای فلزات سنگین در نهاده‌های کشاورزی مانند آفت‌کش‌ها و خوراک دام نیز تهدیدهای نوظهور هستند. امروزه، بیش از ۷۰۰ آلاینده نوظهور و متابولیت‌ها و محصولات جانبی آن‌ها در محیط‌های آبی اروپا فهرست شده‌اند (نورمن، ۲۰۱۶). کشاورزی نه تنها منبع آلاینده‌های نوظهور است، بلکه از طریق استفاده مجدد از فاضلاب برای آبیاری و استفاده از جامدات زیستی شهری در زمین به عنوان کود، به انتشار و ورود مجدد این آلاینده‌ها به محیط‌های آبی نیز کمک می‌کند. تخمین زده می‌شود که نزدیک ۳۶ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی در حال استفاده غیرمستقیم از پساب هستند (فائو و ایمی، ۲۰۱۷ به نقل از دِبو و همکاران، ۲۰۱۷). آلاینده‌های نوظهور خطرات بالقوه‌ای برای سلامت انسان دارند.

۲-۷- راهکارها

موضوع آلودگی آب در کشاورزی پیچیده و چند بعدی است. مدیریت موثر آن نیازمند داشتن بسته جامعی از راهکارهاست. چنین راهکارهایی باید بر روی محرک‌های کلیدی گسترش سطح زیر کشت واستفاده بیشتر از نهاده‌های کشاورزی استوار باشد. این راهکارها می‌توانند تغییرات ناپایدار الگوی غذایی و هدر رفتن مواد غذایی را نیز در بر بگیرند. محدود کردن خروج آلاینده‌ها

از مزارع؛ حفاظت از آب در برابر آلودگی و بازیابی آب‌های آسیب دیده نیز از جمله این راهکارها هستند. راهکارهای تأثیرگذاری بر دو منطقه متمرکز می‌شوند؛ درون مزرعه و خارج ازمزرعه. برای این کار نیاز به داشتن مقررات و سیاست‌های مناسب نیز هست. استفاده از ابزارهای اقتصادی، آموزش و افزایش آگاهی رسانی، قراردادهای همکاری و پژوهش و نوآوری از مواردی هستند که باید در این مقررات گنجانده شده باشند.

۲-۷-۱- کار بر روی محرک‌ها

۲-۷-۱-۱- رژیم‌های غذایی پایدار و کاهش ضایعات مواد غذایی

رژیم‌های غذایی گوناگون ردپای محیطی متفاوتی دارند. افزایش تقاضا برای مواد غذایی با ردپای زیست‌محیطی بالا، مانند تولید گوشت از مزارع صنعتی، به استفاده بیشتر از نهاده‌ها و کاهش کیفیت آب کمک می‌کند. با این حال، سیاست‌ها و مشوق‌های درست می‌توانند رژیم‌های غذایی پایدارتر و سالم‌تر را تشویق کنند. به عنوان نمونه، نشان داده شده است که مشوق‌های مالی مانند مالیات و یارانه‌های غذایی برای مصرف‌کنندگان، بر رفتار رژیم غذایی تأثیر مثبت می‌گذارد (فائو و ایمی، ۲۰۱۷ به نقل از پورنل و همکان، ۲۰۱۴). با این وجود، شواهد کمی وجود دارد که نشان دهد برچسب‌هایی که بر روی محصولات زده می‌شود و ردپای محیط‌زیستی را نشان می‌دهد، نقش عمده‌ای در انتخاب غذای مصرف‌کنندگان بازی کند. این رویکرد باید با کارزارهای گسترده برای آگاهی رسانی زیست‌محیطی ترکیب شود تا نگرانی عمومی‌در میان مصرف‌کنندگان در مورد پایداری، به تغییر رفتار آنها تبدیل شود (فائو و ایمی، ۲۰۱۷ به نقل از گرونرت هایکه و ویلز، ۲۰۱۴). موضوع کلیدی دیگر مربوط به تامین مواد غذایی و نحوه پاسخگویی به رشد پیش‌بینی شده در تقاضای غذا است. تلفات و ضایعات مواد غذایی باید تا حد امکان کاهش یابد تا نیازهای تولید مواد غذایی به تقاضای واقعی غذا نزدیکتر شود و اتلاف منابع و اثرات زیست‌محیطی مرتبط با آن به کمترین مقدار ممکن برسد. نزدیک یک چهارم غذای تولید شده در زنجیره تامین مواد غذایی از

بین می‌رود. بازتولید این مواد ۲۴ درصد از منابع آب شیرین مورد استفاده در تولید محصولات غذایی، ۲۳ درصد از کل سطح زیر کشت جهانی و ۲۳ درصد از کل مصرف جهانی کود را تشکیل می‌دهد (فائو و ایمی، ۲۰۱۷ به نقل از کوما و همکاران، ۲۰۱۲).

آلودگی نیتروژن به ویژه برای کیفیت آب مهم است. نیتروژن وارد شده به محیط‌زیست ناشی از ضایعات غذایی در جهان ۶/۳ میلیون تن در سال برآورد شده است. تخمین زده می‌شود که در اتحادیه اروپا، ۱۲ درصد از آلودگی پخش شده یا بی کانون نیتروژن در آب، با ضایعات مواد غذایی مرتبط است.

۲-۷-۲- ابزارهای سیاست

اصول شناخته شده برای کاهش آلودگی، مانند "پرداخت در برابر بار آلودگی" برای آلودگی کشاورزی بی کانون (غیر نقطه‌ای) را به سختی می‌توان اعمال کرد. شناسایی آلوده کننده‌های واقعی نه آسان است و نه ارزان. برای این کار، بطور معمول، از ابزارهای نظارتی مانند ممنوعیت تخلیه مستقیم آلاینده‌ها به پهنه‌های آبی، محدودیت در بازاریابی و فروش محصولات خطرناک، و محدودیت در عملیات کشاورزی یا مکان مزرعه استفاده می‌شود. رویکردهای نظارتی مستلزم بازرسی یا خود گزارش دهی برای اطمینان از درستی کارها یا انطباق با تخلفات مشمول مجازات‌هایی مانند جریمه و پرداخت غرامت است. با این حال، اجرا همچنان یک چالش است.

با کسب تجربه، طیف گسترده تری از اقدامات تکامل یافته است. تحلیل‌های اخیر نشان می‌دهد که ترکیبی از رویکردها (مقررات، مشوق‌های اقتصادی و اطلاعات) بهتر از مقررات به تنهایی کار می‌کند (سازمان همکاری‌های بین‌المللی، ۲۰۰۸). سیاست‌های رسیدگی به آلودگی آب در کشاورزی باید بخشی از چارچوب سیاست آب در مقیاس ملی یا حوضه رودخانه‌ای باشد و همه آلاینده‌ها و افراد آلوده کننده با هم در نظر گرفته شوند. ابزارهای اقتصادی به طور فزاینده‌ای برای بهبود یا جایگزینی قوانین با مقررات ساده به کار می‌روند. این ابزار شامل مالیات (مانند آفت‌کش‌ها

بر پایه سطح خطر)، تبدیل زمین کشاورزی به کاربری‌های طبیعی، و پرداخت‌هایی برای محدود کردن تولید هستند. برای نمونه، نروژ و سوئیس پرداخت‌های قابل توجهی به کشاورزان برای نکاشت می‌پردازند. در ایالات متحده آمریکا برای حفاظت از ذخیره‌گاه‌های طبیعی به کشاورزان پرداخت می‌شود تا زمین برای دوره‌های مشخصی از تولید خارج شود.

سیاست‌های تغییر رفتار کشاورزان و ایجاد انگیزه برای کاربرد شیوه‌های مناسب کار، راهکاری برای جلوگیری از آلودگی در مبدا است. چنین سیاست‌هایی باید شامل خدمات مشاوره‌ای رایگان و آموزش کشاورزان باشد. نشان دادن منافع اقتصادی برای پیروی کشاورزان از شیوه‌های مناسب شناخته شده نیز موثر بوده است. نشان دادن عملکرد کشاورزان در مقایسه با همگنان خود (بدون شناسایی بهترین و بدترین افراد) تغییرات رفتاری را در میان کشاورزان ترویج می‌کند. این کار را می‌توان برای کاربرد کودهای شیمیایی و دامی‌و آفت‌کش‌ها نیز اعمال کرد. شکل ظریف تر تشویق، گنجاندن مطالب مربوط به محیط‌زیست در برنامه‌های درسی مدرسه و مشارکت دادن دانش آموزان در طرح مسائل زیست‌محیطی در جوامع خود است.

امروزه علاقه فزاینده‌ای به همکاری بین کشاورزان، تامین کنندگان آب و مقامات، به عنوان ابزاری برای اجرای شیوه‌های بهتر زیست‌محیطی در کشاورزی وجود دارد. در برخی موارد، تامین‌کنندگان خصوصی آب با کشاورزان توافق‌نامه‌هایی را امضا کرده‌اند تا شیوه‌هایی را که ممکن است کیفیت آب (و در نتیجه محصولات آنها) را به خطر بیندازند، محدود کنند. نمونه این کار، در فرسایش و رسوب است. مناطق خاصی در حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها به عنوان عوامل اصلی رسوب (و آلاینده‌های رسوبی) به زیست‌بوم‌های مهم شناسایی می‌شوند. می‌توان توافق‌نامه‌های همکاری بین مالکان زمین و مقامات مربوطه برای کاهش فرسایش ایجاد کرد و در صورت تحقق، کمک‌ها را دریافت کرد.

مقررات حفاظت از کیفیت آب باید قابل اجرا باشد. اهداف کیفیت آب نیز باید واقع بینانه و محدود به زمان باشد. هزینه‌های استفاده از یک راهکار، از یک سو، و مزایای حاصل از کیفیت بالاتر آب،

از سوی دیگر، باید متعادل باشد. بهبودکیفیت آب به زمان نیاز دارد. باید فاصله زمانی منطقی بین معرفی یک روش معین و نتایج قابل‌اندازه‌گیری آن در نظر گرفته شود. این امر به ویژه در بازیابی کیفیت آب سفره‌های زیرزمینی، که به زمان زیادتری نیاز دارد، اهمیت بیشتری می‌یابد. با تعیین هدف، برنامه ریزان باید مقرون به صرفه ترین ترکیبی از ابزارهای سیاست را پیدا کنند. به طور معمول، پیش‌گیری از آلودگی، ارزان تر از بهسازی و درمان زیست‌بوم‌های آبی خواهد بود.

هنگام تدوین و اجرای سیاست‌ها، اولویت باید به آلاینده‌های اصلی و پهنه‌های آبی‌ای که آلودگی در آنها بیشتر است داده شود. شناسایی هوشمند کانون‌های آلودگی، به عنوان نمونه مناطقی با بیشترین تراکم دام، می‌تواند در اولویت بندی اجرای برنامه‌های اصلاحی کمک کند.

در نهایت، سیاست‌ها باید منسجم باشند. برنامه‌ها باید با هدف افزایش تولید مواد غذایی و درآمد مزرعه، از یک سو، و کاهش آلودگی از سوی دیگر، مکمل یکدیگر باشند؛ یا دست کم متضاد نباشند، هر چند که ممکن است این همبستگی در عمل به سختی به دست آید. به عنوان نمونه، یارانه‌هایی که اغلب برای مواد شیمیایی کشاورزی پرداخت می‌شود، به عنوان انگیزه‌ای برای استفاده بیشتر آنها نباشد و موجب افزایش سطح زیر کشت در زمین‌های کشاورزی نشود.

۲-۸- پژوهش و اطلاعات

هنوز نادانسته‌های زیادی در مورد آلودگی آب در کشاورزی وجود دارد و پژوهش‌های بیشتری مورد نیاز است. سهم محصولات زراعی، دام و آبزی پروری در آلودگی آب، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به خوبی شناخته شده نیست. اگر دولت‌های ملی بخواهند درک کاملی از مشکل داشته باشند و پاسخ‌های معنادار و مقرون به صرفه‌ای به مشکل بدهند، کمّی‌کردن سهم هر بخش (زراعت و باغبانی، دام و آبزیان) ضروری است. اگر منبع آلودگی نامشخص باشد، اصل "پرداخت در برابر بار آلودگی" نمی‌تواند اعمال شود. برای درک بهتر مسیرهای آلایندگی و یافتن رابطه علت و معلولی، پژوهشی مبتنی بر پایش کیفیت آب و مدل سازی مورد نیاز است.

مسیرها و خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی ناشی از آلاینده‌های نوظهور کشاورزی مانند هورمون‌های حیوانی، آنتی‌بیوتیک‌ها و سایر داروها، حوزه‌های پژوهشی رو به رشدی هستند که نیاز به توجه بیشتری دارند. برای نمونه، درک بیشتری از سهم داروهای حیوانی در افزایش مشکل مقاومت ضد میکروبی در میان پاتوژن‌ها مورد نیاز است.

فرصت‌هایی برای نوآوری بیشتر در شیوه‌های کار و فناوری‌ها برای کاهش استفاده از مواد مغذی (کودها) و سموم کشاورزی در مزارع و نیز انتقال آلاینده‌ها از مزارع به زیست‌بوم‌های آبی حساس وجود دارد. پژوهش‌هایی نیز برای ارزیابی سیاست‌ها و ابزارهای کاهش بار آلودگی از مبدا و کمینه کردن نشت آلاینده‌ها در مسیر جریان، لازم است.

بدون داده نمی‌توان پژوهش کرد. داده‌های بهتری برای درک فرآیند کلی آلودگی (و جزئیات در موارد خاص) مورد نیاز است. از آنجایی که بسیاری از شاخص‌ها با زمان و مکان تغییر می‌کنند، برنامه‌های پایش با دفعات نمونه‌برداری و تراکم مناسب، از نیازهای کلیدی (لیکن پرهزینه) برای بهبود هستند.

نتایج پژوهش‌ها تنها هنگامی‌می‌توانند در کاهش آلودگی کشاورزی موثر باشند که به کار گرفته شوند. ایجاد سامانه‌های اطلاعاتی برای انتقال دانش و فناوری‌های جدید لازم است. این سامانه‌ها برای کمک به کشاورزان، مدیران آب و سیاست گزاران بسیار مهم است. پروژه‌های پژوهشی باید از مرحله مدل مفهومی، نیازهای خاص کاربران را در نظر بگیرند و آنها را در فرآیند، از تولید دانش تا نتایج زیست‌محیطی و بهداشتی، درگیر کنند.

۲-۸-۱- اقدامات درون مزرعه

اقدامات درون مزرعه[1] در تولیدهای زراعی و باغبانی، دام و آبزی‌پروری برای جلوگیری از آلودگی در مبدا حیاتی است. در تولید محصولات زراعی و باغی، اقدامات مدیریتی برای کاهش خطر

1 On-farm responses

آلودگی آب ناشی از کودهای آلی و معدنی و سموم کشاورزی شامل محدود کردن و بهینه‌سازی نوع مواد، مقدار و زمان کاربرد آنهاست. ایجاد مناطق حفاظتی در امتداد جریان‌های آب سطحی و درون و کناره‌های مزارع در کاهش انتقال آلودگی به پهنه‌های آبی مؤثر است. نگهداری و دفع سموم و ظروف خالی آنها باید از دستورالعمل‌های ایمنی پیروی کند. کارآمد کردن طرح‌های آبیاری، جریان برگشتی آب را کاهش می‌دهد و بنابراین می‌تواند انتقال کودها و سموم دفع آفات به پهنه‌های آبی را تااندازه زیادی کاهش دهد. شخم بر روی خطوط تراز و محدود کردن کشت در خاک‌های با شیب تند، اقداماتی برای کاهش فرسایش خاک به شمار می‌روند (سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا، ۲۰۰۳). کشاورزی حفاظتی نیز در کنترل فرسایش بسیار مؤثر است.

مدیریت کود دامی، یکی از دغدغه‌های اصلی در تولیدات دامی‌است. کود باید به صورت ایمن ذخیره، نگهداری و دفع شود. بهبود کیفیت کود دامی‌شامل کمپوست سازی و تخمیر بی هوازی است. این کارها می‌تواند کودهای آلی ارزشمند تولید کند. دامپروری‌هایی که دام را بطور متراکم پرورش می‌دهند، نه تنها باید به عنوان کانون‌های نقطه‌ای آلودگی نگریسته شوند؛ بلکه مدیریت آنها باید از مقررات ملی خاص پیروی کند. استفاده از افزودنی‌های غذایی، هورمون‌ها و داروها نیز باید مطابق با استانداردهای ملی و دستورالعمل‌های بین‌المللی باشد. در سیستم‌های دامپروری غیرمتراکم، برای کاهش تخریب و فرسایش زمین باید از چرای بی رویه خودداری شود.

مزارع آبزی پروری باید شیوه‌های مدیریتی مناسبی را پیش بگیرند تا از محیط آبی اطراف محافظت شود. پرهیز از دادن خوراک اضافی، استفاده درست از داروهای ماهی، پرهیز از مصرف داروهای ممنوعه، حذف و دفع خوراک مصرف نشده در استخرهای پرورش ماهی و انتخاب گونه‌های مناسب ماهی به طوری که ضایعات یک گونه، به عنوان منبع غذایی برای گونه دیگر عمل کند، همگی از شیوه‌های مناسب مدیریتی هستند.

۲-۸-۲- اقدامات خارج از مزرعه

اقدامات درون مزرعه و جلوگیری از آلودگی در مبدا از بهترین راهکارها به شمار می‌روند. اقدامات خارج از مزرعه[1] می‌تواند گام بعدی باشد. روشن است که موثرترین راه برای کاهش فشار بر زیست‌بوم‌های آبی و به طور کلی بر زیست‌بوم‌های روستایی، جلوگیری یا محدود کردن خروج آلاینده‌ها از جایی است که تولید می‌شوند. هزینه‌های کاهش آلاینده‌ها به محض اینکه به یک زیست‌بوم برسند و در آن قرار گیرند، به شدت افزایش می‌یابد. روش‌های ساده خارج از مزرعه، مانند ساخت نوارهای بافر ساحلی[2] یا تالاب‌های انسان ساخت[3]، می‌توانند به طور مقرون‌به‌صرفه بار آلودگی وارد شده به آب‌های سطحی را کاهش دهند. اصلاح آب‌های آلوده در دریاچه‌ها و سفره‌های زیرزمینی کاری درازمدت و پرهزینه است و در برخی موارد حتی ممکن است امکان‌پذیر نباشد. نوارهای بافر[4] یک فناوری جا افتاده و شناخته شده هستند. نوارهای فیلترگیاهی یا بافر در حاشیه مزارع و در کنار رودخانه‌ها در کاهش غلظت آلاینده‌های ورودی به آبراهه‌ها موثرند. در کشاورزی و جنگلداری، مناطق حائل معمولاً شامل نوارهایی از پوشش گیاهی هستند که به عنوان فیلتری برای رسوبات و آلاینده‌های چسبیده به آنها عمل می‌کنند. نوارهای بافر همچنین می‌توانند عملکردهای دیگری مانند سایه‌اندازی روی انهار، ترسیب کربن، تولید زیست توده، تثبیت دیواره‌های کانال، تصفیه آب و تامین زیستگاه‌های زمینی و رودخانه‌ای نیز داشته باشند و خدمات فرهنگی و تفریحی ارائه کنند.

تالاب‌های انسان ساخت بیشتر برای تصفیه فاضلاب کانون دار، از جمله رواناب‌های حاصل از رگبارهای شهری و کشاورزی استفاده می‌شوند. از چنین تالاب‌هایی می‌توان برای تصفیه زهاب کشاورزی و حذف رسوبات، بقایای کود و سایر آلاینده‌ها نیز استفاده کرد.

---

1 Off-farm responses
2 Riparian buffer strips
3 Constructed wetlands
4 Buffer strips

خطرات مرتبط با زهاب شور و لب شور (جریان‌های برگشتی) باید مدیریت شوند. گزینه‌های مدیریت آب شامل کمینه کردن زهاب با صرفه جویی در آب، تصفیه زهاب (به عنوان نمونه از طریق حوضچه‌های تبخیر) و استفاده مجدد (زهاب شور و لب شور می‌تواند بار دیگر در پایین دست استفاده شود یا با آب شیرین مخلوط شود) است. چنین رویکردهایی مستلزم برنامه ریزی در مقیاس حوضه است؛ به شکلی که از زهاب تولیدی در هر مرحله، برای آبیاری گیاهی مقاوم تر به شوری در مرحله بعد استفاده شود. ممکن است که مرحله پایانی شامل تولید میگو و ماهی با استفاده از آب‌های لب شور یا شور باشد.

سیستم‌های یکپارچه آبزی پروری-کشاورزی-جنگلداری که در آن محصولات زراعی، سبزیجات، دام، درختان و ماهی‌ها به طور جمعی مدیریت می‌شوند، می‌توانند ثبات تولید، کارایی استفاده از منابع و پایداری محیطی را افزایش دهند. کشاورزی ترکیبی یا یکپارچه تضمین می‌کند که ضایعات یک فعالیت به عنوان نهاده‌ای برای فعالیتی دیگر استفاده شود و در نتیجه به استفاده بهینه از منابع و کاهش آلودگی کمک می‌کند.

فصل سوم
کلیات زهکشی ومحیط‌زیست

۳-۱- پیش‌گفتار

کاربرد زهکشی در جهان موجب حفاظت وبهبود میلیون‌ها هکتار زمین کشاورزی شده است. کاربرد زهکشی، با اشکالاتی نیز همراه بوده است. گاه، دستیابی به این مزایا، در همان‌جا، موجب ایجاد مشکل می‌شود مانند ایجاد زمین قابل کشت در برابر تخریب زیست‌بوم منطقه؛ لیکن در بیشتر موارد، مشکلات در جای دیگر پدیدار می‌شود. از نمونه این مشکلات می‌توان از دفع زهاب آلوده به نمک، نیترات، باقی‌مانده آفت‌کش‌ها وعلف‌کش‌ها ویا عناصر کمیابی مانند سلنیوم به محیط‌زیست نام برد که مشکلات را به منابع پذیرنده زهاب منتقل می‌کند.

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح های زهکشی، که در این فصل به آنها پرداخته می‌شود، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این ارزیابی، نه تنها باید به هدف های زهکشی توجه کرد، بلکه باید اشکالات، عوارض جانبی ومسایلی که در منطقه، بالادست و پایین دست آن نیز پیش می‌آید، نگریسته شود. عقیده بر این است که توجه به نیازهای زهکشی، امکانات وهزینه‌ها، بدون در نظر گرفتن اثرات منفی آن دیگر کافی نیست.

این فصل، همان گونه که از عنوان آن بر می‌آید، تنها به کلیات می‌پردازد. موارد جزئی در فصل‌های دیگر بیان شده‌اند.

۳-۲- هدف های زهکشی

هدف‌های اصلی زهکشی عبارتند از:

- پیش‌گیری یا کاهش آب‌ماندگی؛
- کنترل شوری؛ و

- به دست آوردن زمین نو برای کشت وزرع.

دو هدف نخست، موجب توسعه عمودی، یعنی بهبود وضع موجود کشاورزی، وهدف سوم باعث توسعه افقی کشاورزی، یعنی افزایش سطح زیر کشت می‌شود.

اجرای سامانه زهکشی موجب کاهش آب باقی‌مانده در روی زمین ویا درون خاک می‌شود؛ وآب را به سامانه انتقال زهاب می‌رساند. باید به یاد داشت که اینها دلایل واقعی برای انجام زهکشی نیستند؛ هر چند که اثر آن را تشدید می‌کنند. هدف های راستین زهکشی، خارج کردن آب اضافی از رو ویا زیر سطح زمین نیست؛ بلکه عبارتند از:

- تهویه بهتر خاک برای تولید بیشتر از راه:
  - ✓ افزایش عمق گسترش ریشه؛
  - ✓ فراهم آوردن امکان کشت گیاهان دیگر؛
  - ✓ کاهش علف های هرز؛
  - ✓ استفاده بهتر از کود؛ و
  - ✓ نیترات زدایی (دنیتریفیکاسیون) کمتر.
- خشک تر نگاه داشتن سطح خاک به منظور:
  - ✓ فراهم کردن امکان آمد وشد؛
  - ✓ افزایش توان باربری خاک؛
  - ✓ فراهم کردن امکان کار بهتر با خاک وداشتن زمان بیشتر برای عملیات داشت؛
  - ✓ فراهم کردن امکان زیست بهتر وفعالیت بیشترجانوران خاکزی؛
  - ✓ بهبود ساختمان خاک؛
  - ✓ افزایش دمای خاک که موجب جوانه زنی زودتر گیاهان می‌شود؛
  - ✓ فراهم کردن امکان آبشویی خاک که به پایداری کمک می‌کند وکشت گیاهان حساس‌تر به شوری را ممکن می‌سازد؛ و

✓ اصلاح خاک های شور، سدیمی وشور سدیمی.

آنچه گفته شد، بطور مستقیم به کشت وزرع مربوط می‌شود؛ لیکن نباید زهکشی به منظور بهبود بهداشت عمومی، ایجاد فضای بهتر برای جانداران منطقه وتااندازه‌ای امکانات تفریحی را نیز از خاطر برد. در این فصل، بیشتر به اثرات منفی وعوارض جانبی زهکشی پرداخته می‌شود.

۳-۳- اثرات زیست‌محیطی زهکشی

با اجرای شبکه زهکشی، دست‌کاری دیگری در محیط‌زیست آغاز می‌شود. هنگامی که از "محیط‌زیست" سخن گفته می‌شود، منظور تمامی "زیست‌بوم" یا اکوسیستم در همه مقیاس‌هاست؛ از مقیاس محلی تا منطقه‌ای وتا جهانی. زیست‌بوم، طبیعتی پویا دارد که در آن گیاهان وجانوران با محیط بی‌جان پیرامون خود یعنی آب، هوا، خاک، مواد غذایی درون خاک والبته انرژی‌اندرکنش دارند. از این دیدگاه، زهکشی یک مزرعه نه تنها با آب وخاک، بلکه با محیط پیرامون خود مانند جنگل ومرتع، مزارع پرورش ماهی، دریاچه‌ها وتالاب‌های طبیعی وانسان ساخت ومانند آن نیز ارتباط دارد.

توسعه هنگامی موفقیت آمیز خواهد بود که اثرات منفی وجانبی زهکشی بر محیط‌زیست از میان برود ویا کاهش یابد. این کار باید در همه مراحل، از برنامه‌ریزی تا طراحی و سپس تا اجرا مورد نظر باشد. در همه حال، موضوع پایداری باید مورد توجه باشد؛ به عبارت دیگر، دستکاری طبیعت بیش از آن نباشد که با گذشت زمان از بهره وری وحاصل‌خیزی زمین کاسته شود.

کمیسیون اکولوژی وهمکاری‌های توسعه[1] (۱۹۸۶)، اثرات زیست‌محیطی این سامانه‌ها را در سه گروه دسته‌بندی می کند:

- برهم زدن ویا آلوده سازی محیط‌زیست؛

1 The Commission on Ecology and Development Cooperation

- استفاده بیش ازاندازه از منابع طبیعی؛ و
- تخریب یا آسیب رسانی به زیست‌بوم طبیعی.

۳- ۳- ۱- برهم زدن ویا آلوده سازی محیط‌زیست

برهم زدن و یا آلوده‌سازی محیط‌زیست، کمترین نوع خسارتی است که از مداخله انسان در طبیعت ناشی می‌شود. طراحی مناسب می‌تواند اثرات ناخوشایند زهکشی را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. زهکشی، در اصل، سامانه‌ای مدیریتی برای تنظیم روابط آب و خاک است. با زهکش‌های روباز، جریان در آبراهه‌های طبیعی به هم می‌خورد وزهاب شور به رودخانه و یا منابع دیگر پذیرنده ریخته می‌شود. تردیدی نیست که این پدیده بر محیط‌زیست اثربخش است. هرچند ارزیابی دقیق پی آمد این کار دشوار است، لیکن می‌توان درک مناسبی از نتیجه کار داشت. با طراحی دقیق سامانه زهکشی، می‌توان اثر بخشی ناخوشایند زهکشی را دراندازه معقولی نگاه داشت. برای داشتن نمونه‌هایی از این موارد، می‌توان به تغییر سکونت‌گاه‌های پرندگان یا نشت آب شور از زهکش روباز به زمین‌های اطراف اشاره کرد.

۳-۳-۲- استفاده بیش ازاندازه از منابع طبیعی

این فرآیند کم و بیش آهسته است و در ابتدا به نظر نمی‌رسد که تاثیر شدیدی بر محیط‌زیست داشته باشد، لیکن در پایان مشخص می‌شود که تاثیر زیادی داشته است. باید در نظر داشت که فرایندی که در مقیاس کوچک امکان رخ دادن دارد، می‌تواند در مقیاس بزرگ منطقه‌ای نیز روی دهد. به عنوان نمونه می‌توان از فرسایش خاک بارور ویا شستشوی مواد غذایی ومواد آلی خاک نام برد.

۳-۳-۳- تخریب یا آسیب رسانی به زیست‌بوم طبیعی

این فرآیند، در یک زیست‌بوم طبیعی شدیدترین اثرات را دارد. از آنجا که تغییرات زیست‌بوم به آسانی قابل برگشت نیست، باید پیش از شروع هر اقدامی، توجه بسیار زیادی به نتایج آن داشت. به عنوان نمونه می‌توان به اصلاح تالاب‌ها و مرداب‌ها اشاره کرد که می‌تواند به انقباض شدید خاک اصلاح شده بینجامد، ویا به اکسایش پیت‌ها اشاره کرد که در اثر پایین افتادن سطح ایستابی روی می‌دهد.

اثرات زیست‌محیطی طرح‌های زهکشی را می‌توان به دوعلت اصلی نسبت داد: پایین افتادن سطح ایستابی و خروج زهابِ بیشتر از درون خاک. برخی از این تغییرات را می‌توان وبرخی دیگر را نمی‌توان پیش‌بینی کرد. این عوامل، خود می‌توانند بطور مستقیم اثرگذار باشند (اولیه) ویا عوامل دیگری را تحریک کنند که آن عوامل بر محیط‌زیست اثر داشته باشند (ثانویه). اثر عوامل می‌تواند در خود محل اجرای طرح ویا در بالادست وپایین دست آن باشد. به این ترتیب، چنانچه این دو عامل اصلی در نظر گرفته شوند، بررسی‌ها همان گونه که درجدول ۳- ۱ نشان داده شده است، باید بر ۲۴ موضوع متمرکز باشد.

چنانچه پیش از اجرای طرح، بررسی‌های مناسبی انجام شده باشد، قابلیت پیش‌بینی تاثیرات دلخواه ونادلخواه بیشتر می‌شود. شگفت این که همه این اثرها را نمی‌توان پیش‌گیری کرد. این موضوع در زهکشی زمین‌های فاریاب مناطق خشک بیشتر جلوه‌گر می‌شود. زهکشی مناطق خشک موجب تغییرات زیادی در ترکیب کشت وتوزیع وبهره گیری از آب به وجود می آورد، که گاه با نتایج غیردلخواه و غیر قابل پیش‌بینی همراه است. این تغییرات، به طور معمول، خود را به آرامی نشان می‌دهند ولی اثرات زیادی بر جای می‌گذارند.

جدول ۳- ۱- عوامل اصلی اثرگذار بر محیطزیست، نوع ومحل تاثیر آنها

عامل اصلی	قابلیت پیش‌بینی	نوع تاثیر	محل تاثیر
پایین افتادن سطح ایستابی	قابل پیش‌بینی	اولیه	بالادست پایین دست در محل
		ثانویه	بالادست پایین دست در محل
	غیر قابل پیش‌بینی	اولیه	بالادست پایین دست در محل
		ثانویه	بالادست پایین دست در محل
خروج زهاب بیشتر	قابل پیش‌بینی	اولیه	بالادست پایین دست در محل
		ثانویه	بالادست پایین دست در محل
	غیر قابل پیش‌بینی	اولیه	بالادست پایین دست در محل
		ثانویه	بالادست پایین دست در محل

ریتزما،۱۹۸۹

۳-٤- اثرات جانبی بر محل اجرای طرح زهکشی

۳- ٤- ۱- از بین رفتن تالاب‌ها

اشباع بودن خاک، مهم ترین ویژگی تالاب است که بر نحوه تکامل خاک وجوامع گیاهی وجانوری سطح زمین ودرون خاک تاثیر می‌گذارد. با اصلاح تالاب با کمک زهکشی، کارکرد اصلی آن که فراهم آوردن امکان زیست گیاهان و جانوران است، از میان می‌رود. در گذشته تالاب‌ها بیشتر تنها مورد توجه گردشگران بودند؛ لیکن امروز به اهمیت آنها پی برده شده ومورد توجه همگان قرار گرفته‌اند. از دیدگاه فردکشاورزی که می‌خواهد بر روی زمینِ تالاب کشت وکار کند، زهکشی تالاب‌ها اقدام ارزنده ای دانسته می‌شود زیرا زمین تولید بیشتری می‌کند و قیمت زمین بالا می‌رود. لیکن دیدگاه عموم مردم این طور نیست. تالاب سکونت‌گاه حیات‌وحش، ذخیره‌گاه سیل، تغذیه‌کننده آب زیرزمینی، کاهش دهنده حرکت رسوب ودارای ارزش اکولوژیک وگردشگری است. ارزش گذاری این مزایا اگر ناممکن نباشد، بسیار دشوار است.

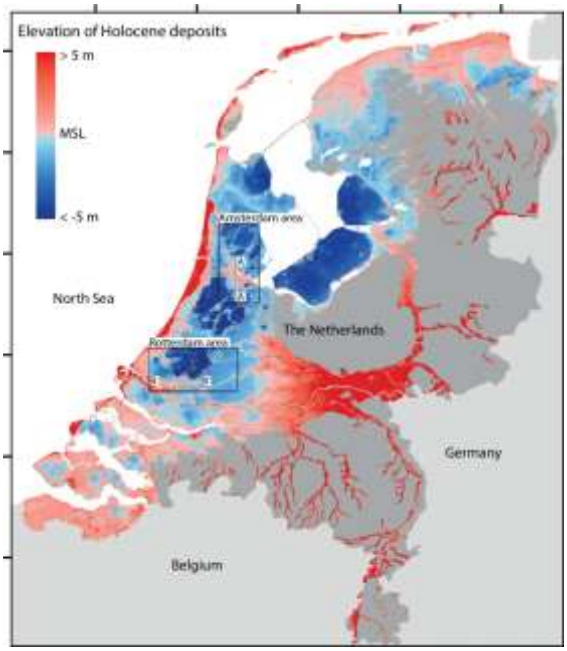
خشک کردن تالاب تنها در صورتی قابل پذیرش است که دستاوردهای کشاورزی آن از مزایای آن به عنوان طبیعت وگردشگری بیشتر باشد. همان گونه که گفته شد، از آنجا که ارزش‌گذاری مالی برای طبیعت وگردشگری ناممکن ویا دست کم دشوار است، نمی‌توان چنین مقایسه‌ای را انجام داد. در بیشتر کشورهای در حال توسعه، که خواهان افزایش تولید هستند، نتیجه به نفع خشکاندن تالاب است؛ در حالی که در کشورهای توسعه‌یافته که به تولید کافی دست یافته‌اند، و در فکر زندگی بهتر هستند، به باقی ماندن تالاب بهای بیشتری می‌دهند. چنانچه به این موضوع عملگرایانه نگاه شود، خشکاندن تالاب‌ها را به شرطی وتااندازه‌ای می‌توان پذیرفت که تولید محصول وایجاد اشتغال از راه و روشی ارزان تر امکان پذیر نباشد.

در هلند گستره بزرگی از زمین از دریا گرفته شده وبه زیر کشت رفته است. این کار از سال‌های دهه ۱۹۶۰ به علت ملاحظات محیط‌زیستی، بی نیازی به غذای بیشتر و هزینه‌های زیاد توسعه اراضی دیگر دنبال نمی‌شود و بیشتر به گسترش عمودی تولید، یعنی افزایش تولید در واحد سطح توجه می‌شود.

شکل ۳- ۱ مقایسه زمین‌های کشور هلند در قرن ۱۴ میلادی و امروزه را نشان می‌دهد. به طوری که دیده می‌شود در این مدت مقدار زیادی به سطح خشکی‌های هلند افزوده شده است.

شکل ۳- ۱- مقایسه زمین‌های کشور هلند در قرن ١٤ میلادی و امروزه

هلند ۳/۴ میلیون هکتار وسعت دارد. پیشینه حفاظت کشور در برابر آب به نزدیک هزار سال پیش باز می‌گردد. این کار با احداث خاکریز و پمپاژ آب پشت آن به دریا و سپس اصلاح خاک آن انجام شده است. نزدیک یک سوم کشور ارتفاعی زیر سطح آزاد آب دریا دارد (شکل ۳-۲). از آن هنگام نزدیک ۴۰۰ هزار هکتار از زیر دریا گرفته شده وپس از به کارگیری آسیاب‌های بادی در قرن شانزدهم، ۴۰۰ هزار هکتار دیگر نیز با زهکشی تالاب‌های درون سرزمینی دارای خاک‌های توربی و درختچه‌های مردابی بازیابی شده است. در شکل ۳- ۲ تمامی مناطقی که با رنگی از طیف آبی پوشیده شده‌اند، رقومی پایین تر از رقوم متوسط سطح دریای آزاد دارند.



شکل ۳- ۲- توپوگرافی هلند وزمین‌هایی که رقوم آنها از میانگین سطح آزاد دریا کمتر است

پس از استخراج تورب، نزدیک ۱۰۰ هزار هکتار از گودال‌های به وجود آمده به تالاب تبدیل شدند. نزدیک ۳۱۵ هزار هکتار از دریاچه‌ها نیز با کمک زهکشی به زمین‌های کشاورزی افزودند. از سوی دیگر، طغیان های آب و شکست خاکریزها نزدیک ۵۷۰ هزار هکتار از این اراضی را کم و بیش به حالت نخستین خود بازگرداند.

۳- ٤- ۲- تغییر زیستگاه

شاید به نظر بیاید که بهبود وضع زهکشی که موجب افزایش زمین‌های زیرکشت ویا مراتع می‌شود، تخریب چندانی در محیط‌زیست ایجاد نمی‌کند. لیکن حقیقت این است که چه در مناطق خشک و چه در مناطق مرطوب، تغییر زیادی در زیستگاه پدید می‌آورد و درنتیجه، زندگی گیاهان و جانوران به مقدار زیادی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در منطقه‌ای ازاندونزی، گستره بزرگی از

زمین‌های ساحلی زهکشی شد وبه زیر کشت رفت. با اسیدی شدن خاک، زهاب اسیدی از خاک خارج می شد که تاثیر زیادی بر منطقه زهکشی شده وپایین دست آن داشت. جدول ۳- ۲ به خوبی این اثر را نشان می‌دهد. پس از انجام زهکشی، تعداد گونه‌های ماهی از ۸۶ به ۲۹ کاهش یافت. هر چند نمی‌توان همه تغییرات را به زهکشی نسبت داد، لیکن به نظر می‌رسد که زهکشی بیشترین اثر را در این امر داشته است.

جدول ۳- ۲ - تعداد گونه‌های مشاهده شده ماهی پس از زهکشی در زمین اسیدی

منطقه	شرایط	تعداد گونه‌های ماهی
۱	زهکشی نشده، غیر اسیدی	۹۶
۲	زهکشی شده، اسیدی	۲۹
۳	زهکشی شده، غیر اسیدی	۴۳

کی پیر وهمکاران (۱۹۹۲)

۳-٤-۳- پایین رفتن سطح ایستابی

با زهکشی، سطح آب پایین می‌افتد. هر چند این اثر موجب افزایش عملکرد گیاهی می‌شود، لیکن بر حفاظت منابع طبیعی، جنگل ومرتع تاثیرگذار است و می تواند در محل اجرای طرح موجب نشست زمین نیز بشود. یکی از راه‌های پیش‌گیری از این عوارض جانبی این است که سطح آب در خاک را، هر وقت که زیانی وارد نکند، بیش ازاندازه پایین نینداخت. به عنوان نمونه، در هلند، سطح آب در زهکش‌های روباز را در تابستان، که با بارش کمتری روبروست، بالاتر ودر زمستان پایین تر نگاه می‌دارند تا فضای خالی برای ذخیره رواناب وجود داشته باشد. در مناطق کشاورزی این کشور، در مدت ۳۰ سال، سطح آب بطور میانگین ۰/۳۵ متر پایین تر افتاده است.

۳- ٤- ٤- نشست زمین

یکی از اثرات شناخته شده زهکشی، نشست زمین است. این اثر در خاک‌های توربی بیشتر ودر بسیاری موارد، غیر قابل بازگشت است. هر چه آب زیرزمینی پایین‌تر ودمای خاک بیشتر باشد، سرعت اکسایش تورب بیشتر است ونشست بیشتری روی می‌دهد. از این رو می‌توان گفت که استفاده از این نوع خاک برای کشاورزی بجز در حالت‌های استثنایی، مناسب نیست. این گونه زمین‌ها در گذشته به مقدار زیادی در هلند اصلاح شده‌اند، لیکن امروز این سیاست کنار گذاشته شده است. از این زمین‌ها به عنوان مرتع و یا برای کشت سبزیجات و گل با ریشه کوتاه استفاده می‌شود. مقدار این نشست در فلوریدا بیش از ۵ سانتی متر در سال است. در مناطق خشک، خطر فرسایش خاک سطحی تورب‌ها در اثر باد زیاد است. در هر حال، هنگامی که تورب‌ها در تماس با هوا قرار می گیرند، اکسیده می شوند. از این رو، این خاک ها با گذشت زمان از بین می‌روند.

انقباض و انبساط رس و لای زیاد است. از این رو، در مناطقی با این گونه خاک ها، نشست خاک قابل چشم پوشی نیست. عمق زیاد زهکش‌ها در خاک های مناطق خشک، افت سطح ایستابی را بیشتر می کند و ممکن است خطر بیشتری پیش بیاید. در زهکشی مناطق شهری، مانند شهر شیراز، که عمق زهکش‌ها نزدیک ۶ تا ۸ متر است و ممکن است در بالای آنها ساختمان‌های سنگینی وجود داشته باشد، نشست خاک موضوعی جدی است.

۳- ٤- ٥- شوری خاک

در کشاورزی فاریاب، آبیاری منبع اصلی شوری خاک است. حتی با وجود شور نبودن آب آبیاری، مقدار زیادی نمک وارد خاک می‌شود. نزدیک یک سوم اراضی فاریاب دنیا شورند. خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک رویاروی شوری ثانویه هستند زیرا نیروی کاپیلاری موجب می‌شود که پس از آبیاری، نمک ها به سمت بالا حرکت کنند و در لایه سطحی باقی بمانند. برای پیش گیری از

شور شدن خاک، همه نمک های وارد شده توسط آب آبیاری باید با زهکشی تخلیه شوند. از این روست که زهکشی به عنوان بهایی برای کشاورزی پایدار در زمین‌های فاریاب باید پرداخت شود. گاهی زهکشی خود عامل دیگری برای شورتر شدن خاک می‌شود. پایین‌انداختن بیش ازاندازه سطح آب، گاهی موجب هجوم آب زیرسطحی از منطقه پیرامونی به محل اجرای طرح می‌شود. چنانچه آن ناحیه دارای آب زیرسطحی شور باشد، می‌تواند موجب شورتر شدن منطقه شود. گاهی نیز مانند جنوب خوزستان، لایه‌های پایین خاک بسیار شور هستند. با احداث زهکش‌های زیرزمینی، آبی که در اعماق محبوس است، با نفوذ عمقی آب آبیاری مخلوط می‌شود و از زهکش‌ها خارج می‌شود. این زهاب شور، سلامت رودخانه و زمین پایین دست را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد.

در مصر، کشاورزی به آب رود نیل وابسته است. دو یا سه محصول در سال از زمین گرفته می‌شود. میانگین عمق آبیاری در این منطقه ۱۲۴۰ میلی‌متر در سال است. کیفیت آب نیل خوبست و هدایت الکتریکی آن در ابتدا تنها ۰/۳ دسی زیمنس بر متر است. حتی با چنین آب مناسبی سالانه ۸ تن در هکتار نمک در خاک انباشته می‌شود. این نمک ها باید از خاک با آبشویی خارج شوند.

۳- ٤- ٦- اسیدی شدن

بسیاری از تالاب‌های ساحلی در اثر اصلاح نامناسب خاک‌هایی که سولفید آهن یا پیریت (FeS_2 با ۴۷ درصد آهن و ۵۳ درصد گوگرد) دارند، از بین رفته‌اند. علت آن اکسایش خاک کف آنها در اثر مجاورت با هوا و تشکیل اسید سولفوریک است. زهکشی به تهویه خاک زیرین کمک کرده واسیدی شدن خاک تشدید می‌شود، به نحوی که pH خاک به ۳ می‌رسد و زندگی گیاهان و جانوران به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

مدیریت مناسب آب، همراه با کاربرد روش‌های مناسب زراعی می‌تواند بهسازی این گونه خاک‌ها را امکان پذیر کند. برای پیش‌گیری از اثر پیریت، باید از پایین افتادن سطح آب زیرزمینی پرهیز کرد. به این ترتیب، اکسایش پیریت عملی نمی‌شود. راه دیگر اصلاح این گونه خاک ها استفاده از

آهک و تخلیه زهاب اسیدی آن به کمک زهکشی است. در هر حال، بهسازی خاک‌های اسید سولفاتی آسان نیست و می‌تواند خسارات سنگینی را بر محیط‌زیست وارد کند. از جمله:

- خاک‌های اسید سولفاتی بیشتر در زمین‌های پست ساحلی دیده می‌شوند. بطور معمول این زمین‌ها نقش زیادی در تامین غذا دارند و اثرات آنها تنها در محل اجرای طرح زهکشی نمود پیدا نمی‌کند؛
- تغییر در چشم‌اندازها و مناظر؛
- تغییر در روند رسوب و فرسایش و ذخیره‌گاه‌های موقتی سیلاب و رسوب؛
- تغییر در ویژگی‌های شیمیایی زهاب. زهکشی زمین‌های اسید سولفاتی، بی‌تردید به اسیدی‌تر شدن زهاب می‌انجامد. این تغییر، بر زندگی آبزیان و نیز بر کیفیت آب آبیاری پایین دست تاثیر می‌گذارد؛ و
- تغییر ویژگی‌های آب از شور به لب شور و سپس به آب مناسب، محیط بهتری را برای رشد و تکثیر حشرات بیماری‌زا فراهم می‌کند.

۳- ٤- ۷- نشت

با پایین رفتن سطح آب در منطقه طرح، نشت آب به محدوده، به علت افزایش بار آبی، می‌تواند افزایش یابد. چنانچه آبی که نشت می‌کند، کیفیت مناسبی داشته باشد، تنها اثری که در محل طرح بر جای می‌گذارد، افزایش دبی زه‌کش‌ها خواهد بود. همچنین ممکن است سطح آب در بالادست نیز کمی پایین بیفتد. چنانچه این آب لب شور و یا شور باشد، خطر افزایش شوری در خاک محل طرح پیش می‌آید. در این صورت، با زهاب شورتر، خطر شوری، پایین دست را تهدید خواهد کرد.

۳- ٤- ۸- فرسایش

زهکشی گاهی موجب افزایش و گاهی موجب کاهش فرسایش می‌شود. پایین افتادن سطح آب در خاک موجب خشک شدن سطح خاک می‌شود و در نتیجه فرسایش بادی می‌تواند بیشتر شود. از سوی دیگر، زهکشی زیرزمینی گاه می‌تواند بخشی از رواناب را نفوذ دهد و خطر فرسایش آبی را کم کند. در زمین‌های شیب دار(شیب بیشتر از ۲ درصد)، زهکش سطحی رابطه زیادی با کنترل فرسایش دارد.

۳- ٤- ۹- تغییر در حجم رواناب و زهاب

در دره می سی سی پی، مقدار بارش سالانه ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر بیش از تبخیر و تعرق است. از این رو، هم سطح ایستابی بالاست و هم رواناب سطحی زیاد است. در یک مطالعه میدانی، زهکشی زیرزمینی مقدار رواناب را ۳۴ درصد کاهش داد، در حالی که حجم زهاب ۳۵ درصد افزایش یافت. تغییر جریان از رواناب سطحی به زهاب زیرزمینی باعث کاهش فرسایش ۳۰ درصدی، کاهش تلفات ۲۰ درصدی نیتروژن و کاهش تلفات ۳۶ درصدی فسفر شد؛ همه اینها از دیدگاه محیط‌زیست اثرات مثبت هستند. از سوی دیگر افزایش ۳۵ درصدی حجم زهاب را باید اثری منفی به حساب آورد.

۳- ٤- ۱۰- آبشویی مواد غذایی، علف‌کش‌ها و عناصر دیگر

در زمین‌های زهکشی شده، آب می‌تواند حاملی برای جابجایی همه ترکیب‌های محلول خاک باشد. این مواد شامل کودها، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، مواد آلی، نمک ها و عناصر کمیاب سمی هستند. دفع برخی از اینها دلخواه است، مانند نمک ها، ولی در بیشتر موارد غیردلخواه و در حقیقت عارضه جانبی زهکشی هستند. اثر این ترکیب‌ها بر محیط‌زیست می‌تواند به عوامل آب و هوایی، روش‌های کار کشاورزی مانند کاربرد کودها، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها و نیز به نوع خاک بستگی داشته باشد. برخی از کارها می‌توانند بر محیط‌زیست اثر مثبتی داشته باشند مانند کاستن از تلفات کود.

گاهی نیز اثرات منفی دارند مانند کوددهی مازاد بر نیاز. برای رفع این مشکل، تنها راهی که به نظر می رسد، کاهش حجم زهاب است. ثابت شده است که مقدار بقایای مواد غذایی، علف‌کش‌ها و عناصر کمیاب در زهاب همبستگی بالایی با حجم زهاب دارند.

۳- ٤- ۱۱- بهداشت

زهکشی زمین‌های کشاورزی بر بهداشت و تندرستی مردم منطقه تاثیر دارد. رومی‌ها و یونانی‌ها بخوبی می دانستند که برای چیره شدن بر گسترش بیماری مالاریا[1]، باید مرداب‌ها را زهکشی کنند تا آب‌های راکد از بین برود و پشه‌های مالاریا که در آن محیط تکثیر می شوند، از میان برداشته شوند. پیش از آن یونانی‌ها و رومی‌ها گمان می کردند که مالاریا در هوای بد بوجود می آید و انتقال می‌یابد.

بیماری‌هایی که از راه آب انتقال می یابند را می‌توان در چهار گروه دسته‌بندی کرد:

- بیماری‌هایی که با شستشو می‌توان از همه‌گیری آنها پیش‌گیری کرد، مانند بیماری‌های پوستی و چشم؛
- بیماری‌هایی که با استفاده از آب سالم و رعایت بهداشت عمومی می‌توان از همه‌گیری آنها پیش‌گیری کرد، مانند حصبه و وبا؛
- بیماری‌هایی که از نیش حشراتی که در آب زندگی و تخم ریزی می کنند ناشی می‌شود، مانند مالاریا؛ و
- بیماری‌هایی که از تماس مستقیم با آب ناشی می شوند، مانند شیستوزومیا[2].

1 Malaria, Mal aria (bad air)

2 Schistosomiasis

بیلارزیا یا تب حلزون و یا schistosomiasis (شیستومیازیس)، بیماری ای است که توسط کرم انگلی ایجاد می شود. این بیماری روی روده و دستگاه ادراری تأثیر می گذارد، لیکن از آنجا که در رگ های خونی زندگی می‌کند، می تواند به قسمت‌های دیگر بدن نیز آسیب برساند.

گروه‌های سوم و چهارم ارتباط بیشتری با مهندسی زهکشی دارند.

چنانچه طرح های آبیاری موجب افزایش زیستگاه‌های حشرات شوند، خطر بیماری‌های مرتبط نیز افزایش می یابد و تندرستی زارعین و ساکنین را با خطر روبرو می‌کند. زهکشی می‌تواند مرداب‌ها و آب‌ماندگی‌ها را خشک کند و موجب کاهش سطح پهنه‌های آبی شود؛ پهنه‌هایی که زیستگاه و محل تخم ریزی حشرات هستند. این کار در نیمه نخست قرن بیستم در مناطق گرمسیری کشورهای مستعمره رواج داشت. با پیدایش سموم دفع آفات، این روش کنار گذاشته شد. مقاوم شدن حشرات به سموم کاربردی، نیاز به داشتن راهبرد تازه ای که تنها بر مبنای استفاده از سموم بنا نشده باشد را نمایان می‌کند. راهبرد موفق ایجاب می‌کند که سه عنصر اساسی زیر برای کنترل بیماری‌های ناشی از حشرات مورد توجه قرار گیرد:

- معالجه پزشکی؛
- کاهش تماس بین انسان و حشرات موذی؛ و
- کاستن از جمعیت حشرات موذی.

زهکشی نقش مهمی در کاهش جمعیت حشرات موذی و امکان تماس بین انسان و حشرات بازی می‌کند. اینها مواردی هستند که باید در برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری از طرح های زهکشی مورد توجه باشند. برای دستیابی به این هدف ها باید:

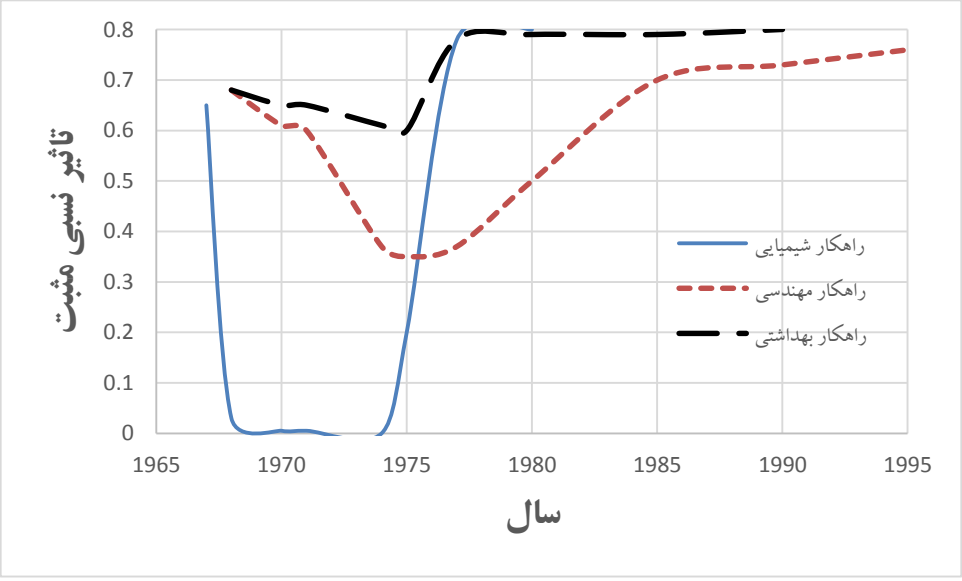
- با کمک زهکشی، آبهای راکد کمتری را در منطقه طرح باقی گذاشت؛
- سرعت آب در کانال ها، زهکش‌ها و مخازن آب را افزایش داد؛ و
- علف های هرز را در کانال ها، کف و دیواره زهکش‌ها از میان برداشت.

سازمان بهداشت جهانی راهنمایی را برای مدیریت محیط‌زیست ارائه کرده است که کارا بودن آن در پیش‌گیری از عوامل بیماری‌زای مالاریا و شیستوزومیا به اثبات رسیده است.

طرح آزمایشی دز در خوزستان در گستره ای ۲۰ هزار هکتاری در ۱۹۶۵ شروع شد. با آگاهی از این موضوع که طرح های آبیاری ممکن است به گسترش بیماری بیلارزیا یا شیستوزومیا بینجامد،

برنامه ای برای پایش و کنترل آن در نظر گرفته شد. این برنامه سه گروه راهکار را در نظر گرفت که عبارت بودند از: شیمیایی، مهندسی و بهداشتی. راهکارهای شیمیایی بر کشتن حلزون‌ها تمرکز داشت. راهکارهای مهندسی شامل پرکردن محل برداشت قرضه، پر کردن محل آب گرفتگی‌های کوچک، از بین بردن مناطق باتلاقی اطراف روستاها، تعمیر و اصلاح دیواره کانال ها، لای‌روبی و تسطیح زمین‌ها بود. هنگامی که گسترش بیماری به کمتر از ده درصد می رسید، تنها درمان های دارویی اعمال می شد. پس از هشت سال، شیوع بیماری مجاری ادرار به کمتر از دو درصد رسید. تجزیه و تحلیل داده‌ها و شبیه سازی کامپیوتری نشان داد که اثربخشی راهکارهای مهندسی، بویژه در دهه نخست، بیشتر از راهکارهای شیمیایی و دارویی بود.

شکل ۳- ۳ تاثیر نسبی راهکارهای شیمیایی، مهندسی و بهداشتی را در ابتلا به بیماری بیلارزیا در شبکه آبیاری دز (اُومِن، ۱۹۸۸) نشان می دهد.



(اُومِن، ۱۹۸۸)

شکل ۳-۳- اثربخشی راهکارها در پیش‌گیری از گسترش بیلارزیا در شبکه آبیاری دز

زهکشی که مزایای زیادی در بهداشت عمومی دارد، می‌تواند اثرات منفی ای را هم با خود به همراه داشته باشد. از این جمله می‌توان به دفع ناخواسته عناصر کمیاب سمی از درون خاک اشاره کرد. دفع این مواد به محیط‌زیست، می‌تواند منابع پذیرنده زهاب را به شدت آلوده کند. غلظت مجاز برای دفع این آلاینده‌ها بوسیله سازمان های محیط‌زیستی و از جمله سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران ارائه شده است.

۳-۵- اثر زهکشی بر پایین دست

۳-۵-۱- دفع زهاب

زهاب با کمک نیروی ثقلی یا پمپاژ، در بیشتر موارد، بطور مستقیم یا از طریق کانال، به رودخانه‌ها می ریزد. گاهی نیز زهاب به دریاچه‌های داخلی و یا به تالاب‌ها وارد می‌شود. زهاب همچنین می‌تواند به حوضچه‌های تبخیری بریزد و یا به آبخوان های زیرزمینی تزریق شود. زهاب در راه خود تا مقصد، بر محیط پیرامون خود تاثیر می‌گذارد. مشکلاتی که در این راستا پیش می آید، در همه جا یکسان نیست. در اینجا در باره سه اقلیم متفاوت بحث می‌شود.

- **مناطق معتدل مرطوب**

از دیدگاه فنی، در بیشتر مناطق معتدل مرطوب، زهکشی دیگر مشکل چندانی به حساب نمی آید. مشکلی که هنوز حل نشده، آلایندگی‌هایی است که در اثر فعالیت‌های کشاورزی در آب سطحی و آب زیرزمینی پیش آمده است. این آلاینده‌ها عبارتند از: باقی‌مانده‌های کودهای شیمیایی، کودهای مایع آلی، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها. اگر به موضوع نگاهی عمیق تر داشته باشیم، در حقیقت، زهکشی مسئول اصلی این آلایندگی‌ها نیست، بلکه کشاورزی پرنهاده یا متراکم[1] عامل

1 Intensive agriculture

اصلی آن است. این آلاینده‌ها با آبشویی به منابع زیرزمینی می پیوندند و یا به زهاب افزوده می شوند. به هر طریق، در این راستا مشکلات زیادی بروز پیدا می کند.

غنی بودن آب شمال دریای خزر و همجوار گلستان

غنی بودن آب یک جویبار

جلبک‌های درون آب

شکل ۳- ٤- مغذی شدن آب با بقایای کود

نیتروژن و فسفر از جمله موادی هستند که در زمین‌هایی که کود زیادی به آنها داده می‌شود، آبشویی شده و در مقصد موجب مغذی شدن[1] آب‌های سطحی می شوند.مغذی شدن آب را می‌توان گاهی به عنوان رویدادی مثبت به حساب آورد؛ لیکن در بیشتر مواقع موجب رشد جلبک‌ها می‌شود. جلبک‌ها اکسیژن آب را مصرف می کنند. به این ترتیب، آبزیان دچار کمبود اکسیژن می شوند و

1 Eutrophication

از بین می روند. افزون بر این، رشد جلبک‌ها باعث می‌شود که نور به پایین نرسد و موجودات از بین بروند. بقایای آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها سمی هستند و موجودات آبزی را می کشند.

حوضه آبریز سن یوآکین[1] در کالیفرنیا نزدیک دو میلیون هکتار زمین فاریاب دارد. شوری خاک در بخش‌هایی از این حوضه وجود دارد. از این رو در این اراضی زهکش زیرزمینی کار گذاشته شده است. کیفیت زهاب به گونه ای است که دفع آن به رودخانه سن یوآکین، مشکلاتی را برای زمین‌های فاریاب پایین دست ایجاد کرده است. برای رفع این مشکل، احداث زهکش سن لوییس (شکل ۳- ۵) برنامه ریزی شده تا زهاب را به خلیج سان فرنسیسکو (شکل ۳- ۵) برساند. به علت مخالفت‌های محیط‌زیستی و کمبود منابع مالی، تنها بخش‌هایی از این زهکش ساخته شده است. به عنوان راه حلی موقتی، چند حوضچه تبخیر ساخته شد که به مجموعه آنها مخزن کسترسون[2] گفته می‌شود. این حوضچه‌ها به علت کوچک بودن نسبی در شکل دیده نمی شوند. احداث این حوضچه‌ها، مرغابی‌ها وپرندگان کنارآبزی را به منطقه بازگرداند. این استقبال آنچنان زیاد بود که منطقه به پناهگاه حیات وحش تبدیل شد. لیکن این وضع چندان نپایید. پس از گذشت چند سال، در ماهیان و پرندگان، تغییر شکل‌هایی دیده شد. چند سال بعد، مرگ زیاد ماهیان و پرندگان روی‌داد. علت این وضع، غلظت بالای عناصر کمیاب در بدن حیوانات بود. سلنیوم که در خاک های رسوبی بخش‌هایی از این منطقه وجود دارد، در این حوضچه‌ها انباشته شده بود. پژوهش‌های زیادی انجام شد و نشریات چندی منتشر گردید. همین کار موجب توجه بیشتر امریکا به "آلودگی‌های زیست‌محیطی زهکشی" شد.

1 San Joaquin river basin
2 Kesterson Reservoir

شکل ۳- ۵- دره سن یوآکین و شبکه اصلی آبیاری و زهکشی آن

- **مناطق گرم مرطوب**

در مناطق گرم مرطوب بسیاری از کشورها، زمین‌های پیت[1] و اسید سولفاتی وجود دارد. با زهکشی زمین‌های پیت، زمین نشست می‌کند؛ نشستی که غیر قابل بازگشت است. با زهکشی زمین‌های اسیدسولفاتی، زهابی اسیدی خارج می‌شود و خاک پایین دست را تخریب می‌کند.

- **مناطق خشک و نیمه خشک**

هدف اصلی از زهکشی زمین‌های مناطق خشک و نیمه خشک، کنترل شوری خاک است. در این مناطق، مهم ترین مشکل، پیدا کردن خروجی نهایی[2] مناسب است و بطور معمول هزینه زیادی دارد. از این روست که در این کشورها یا زهکشی انجام نمی‌شود و یا این که زهاب شور به دست آمده به رودخانه‌ها تخلیه می‌شود؛ زهابی که در پایین دست به مصرف آبیاری یا مصارف دیگر می‌رسد. از آنجا که زهکشی اراضی فاریاب، بجز در موارد استثنایی، برای تولید پایدار زمین ضروری است، دو مشکل هزینه بالا و ملاحظات محیط‌زیستی را برای دفع سالم زهاب باید به نحوی حل کرد. حل این چالش، حتی برای کشورهای ثروتمند نیز دشوار است. از سوی دیگر، اگر کاری انجام نگیرد، زمین‌ها به خاطر شوری و سدیمی شدن، از بین خواهند رفت.

از آنجا که بارش در این مناطق کم است، نمک های قابل حل در درون خاک بسیار قابل ملاحظه است. نمک ها پس از آبیاری، به حالت محلول در می‌آیند. این نمک ها در ناحیه ریشه انباشته می‌شوند زیرا ریشه آب خالص را می مکد و نمک ها را به جای می‌گذارد. آب شور قسمت پایین تر به سبب مکشی که در ناحیه ریشه بوجود آمده، در اثر کاپیلاری به ناحیه ریشه می‌رسد و شوری را تشدید می‌کند. در این مناطق، به ناچار آبشویی انجام می‌شود. لزوم آبشویی، آبیاری بیشتری را ایجاب می‌کند. نتیجه این کار، بالا رفتن غلظت نمک ها در زهاب است؛ چیزی که خطرات زیاد

1 Peat
2 Outlet

زیست‌محیطی دارد. برای کاهش این مشکل دو راه حل به نظر می رسد. یا باید آب بیشتری به خاک داد تا غلظت نمک خروجی کاهش یابد و یا این که زهاب را با آب آبیاری مخلوط کرد تا غلظت نمک ها کمتر شود و سپس این آب را به مصرف آبیاری رساند؛ چیزی که به آن استفاده دوباره از زهاب[1] یا استفاده مجدد گفته می‌شود. هر دو این راهکارها نیاز به آب بیشتر دارند؛ چیزی که به طور معمول نایاب است.

۳-٦- راه‌های تخلیه زهاب

برای کمینه کردن مشکلات تخلیه، دو راه حل وجود دارد. یا باید حجم زهاب را کاهش داد و یا این که اثرات مخرب آن را در مقصد کاهش داد. برای کاهش حجم زهاب، کارایی آبیاری و نیز کارایی زهکشی[2] را باید افزایش داد. برای کاهش خطرات زهاب در پایین دست، راهکارهای زیر را می‌توان مورد توجه قرار داد:

- استفاده دوباره از زهاب؛
- تخلیه به منابع آبی روباز؛
- تبخیر در حوضچه‌های تبخیر؛
- نمک زدایی؛ و
- تزریق به منابع زیرزمینی نفت و گاز.

1 Reuse

۲ کارایی زهکشی عبارتست از نسبت مقدارنمک در زهاب جمع آوری شده به مقدار نمک وارد شده (گریسمر، ۱۹۹۰). کارایی زهکشی کمتر از ۱۰۰ درصد به انباشت نمک در ناحیه ریشه می انجامد. کارایی زهکشی را یا نسبت حجم زهاب تخلیه شده به حجم زهاب تخلیه شده از ناحیه توسعه ریشه نیز تعریف می کنند.

۳- ٦- ۱- افزایش راندمان آبیاری

ولترز (۱۹۹۲) نزدیک ۵ درصد از زمین‌های فاریاب جهان را مورد بررسی قرار داد. او گزارش کرد که کارایی آبیاری بین ۱۰ تا ۸۰ درصد است. گاهی داشتن کارایی پایین اجتناب ناپذیر و زمانی نیز دلخواه است. از سوی دیگر، گاهی باید راندمان های بالا را نیز بیش از پیش افزایش داد. با افزایش کارایی آبیاری، مقدار آبی که نفوذ عمقی پیدا می‌کند، کاهش می یابد و به این ترتیب، راندمان زهکشی افزایش پیدا می‌کند. در راستای انتخاب کارآیی مناسب آبیاری، نباید سفره‌های آزاد آبخوان را نیز فراموش کرد. در برخی از نقاط کشور که کسری مخازن زیرزمینی به حد بحرانی رسیده، شاید استفاده از روش‌های آبیاری با کارایی بالا چندان روا نباشد.

مشکل تخلیه زهاب زمین‌های فاریاب، تنها یک موضوع فنی و مهندسی نیست. به چارچوب‌های قانونی و بررسی‌های اجتماعی و اقتصادی نیز نیازمند است. انگیزه‌ها نیز برای انجام دادن برخی کارها، مانند آبیاری کمتر، و یا انجام ندادن برخی دیگر، مانند تولید زهاب بیشتر، موثرند. در بسیاری کشورها، و از جمله در ایران، آب بها بسیار کمتر از قیمت تمام شده آن است. از این رو نباید انتظار داشت که کشاورزان با آب به عنوان یک کالای اقتصادی برخورد کنند. هر چند منطقی کردن آب‌بها می‌تواند انگیزه خوبی برای صرفه جویی آب باشد، ممکن است پیامدهای اجتماعی بزرگی داشته باشد.

پساب‌های شهری و صنعتی‌ای که به منابع پذیرنده زهاب می ریزند نیز باید مشمول پرداخت هزینه شوند. حجم و کیفیت پساب‌ها می‌تواند مبنایی برای محاسبه هزینه‌ها باشد.

۳- ٦- ۲- افزایش راندمان زهکشی

برای بهبود کارآیی زهکشی نیز می‌توان کارهایی انجام داد. کم کردن عمق زهکش‌ها یکی از این کارهاست که موجب می‌شود زهابی با شوری کمتر از زهکش‌ها خارج شود؛ کاری که در برنامه کاری زهکشی در خوزستان نیز در حال انجام است. بالاتر نگه داشتن سطح ایستابی نیز اثری همانند

دارد. افزون بر این، موجب ذخیره بیشتر آب در نیمرخ خاک می‌شود و نیاز به آب را کمتر می‌کند. انجام این کارها موجب می‌شود که لایه‌های پایین تر خاک، که بطور معمول شوری بیشتری دارند، در شور شدن زهاب سهم کمتری داشته باشند (گریسمر، ۱۹۸۹). بدیهی است که در این دو راهکار نباید آن قدر پیش رفت که اثرات نادلخواهی را از خود به جای بگذارد و موجب آسیب گیاه شود.

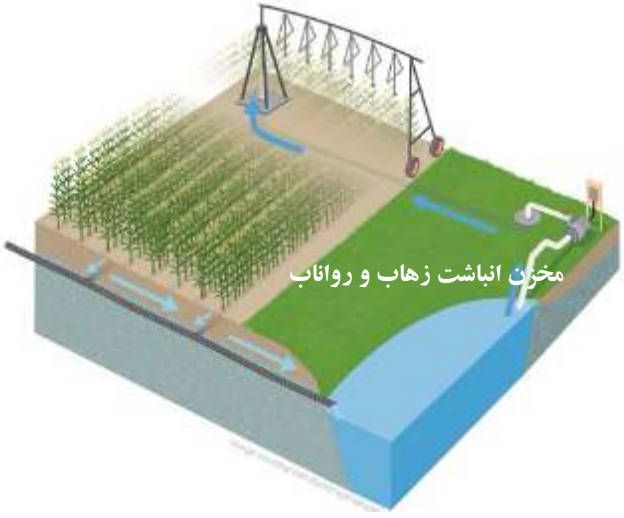
۳-۶-۳- استفاده دوباره از زهاب

شاید بتوان گفت که استفاده دوباره، کم و بیش در همه جای دنیا، و بویژه در مناطق خشک و نیمه خشکی که دچار کمبود آب هستند وجود دارد. در برخی از مناطق معتدل نیز در فصل تابستان که با کمبود آب روبرو هستند، از این شیوه استفاده می‌شود. در جایی که از منابع سطحی استفاده می‌شود، چرخش آب بین مزرعه و رودخانه به نحوی است که دست‌اندرکاران آن را به استفاده دوباره و چندباره نسبت نمی دهند. در این مناطق، زهاب به رودخانه باز می گردد و در پایین دست بار دیگر مورد استفاده قرار می گیرد؛ بی‌آن که به آن نام استفاده دوباره داده شود. در ایران نیز سهم بالایی از زهاب تولیدی بخش کشاورزی، دوباره به مصرف می رسد.

استفاده دوباره می‌تواند در سطح مزرعه، شبکه، یا منطقه انجام شود. نباید فراموش کرد که استفاده کامل از زهاب امکان پذیر نیست. نمک هایی که با آب آبیاری وارد خاک می شوند، باید به نحوی از آن خارج شوند. این کار با کمک آب انجام می‌شود، از این رو، همیشه باید مقداری از زهاب دفع گردد. بنابراین، همواره باید تعادل آب و نمک در منطقه مورد نظر برقرار باشد. در غیر این صورت، باید در درازمدت در انتظار انباشت نمک در خاک بود.

در سطح مزرعه، استفاده دوباره به شرطی امکان پذیر است که شوری زهاب از تحمل گیاه با درصد کاهش محصول مورد پذیرش طراح کمتر باشد. اگر منظور این باشد که گیاه هیچ کاهش محصولی نداشته باشد، شوری زهاب باید از آستانه تحمل گیاه کمتر باشد. در این صورت، زارع می‌تواند آب را از زهکش روباز یا مخزن انتهای مزرعه خود به ابتدای مزرعه پمپ کند (شکل ۳-۷).

شکل ۳- ٦- استفاده دوباره از زهاب در پایین دست



جمع آوری زهاب زیرزمینی و پمپاژ آن به لوله ابتدای مزرعه

(استفاده مستقیم از زهاب)

شکل ۳- ۷- استفاده دوباره از زهاب به روش مستقیم در سطح مزرعه

استفاده دوباره از زهاب می‌تواند به طریق مستقیم نباشد؛ بلکه با مخلوط کردن آب آبیاری با زهاب انجام شود. در شکل ۳- ۸ استفاده دوباره از زهاب در سطحی متشکل از چند مزرعه نشان داده شده است که در آن زهاب به کانال آبیاری پمپ می‌شود و با آب آبیاری مخلوط می‌شود تا به عنوان آب آبیاری در این سطح مورد استفاده قرار گیرد. در این حالت درصدی از زهاب با آب آبیاری مخلوط می‌شود که شوری مخلوط از حد مورد نظر طراح بیشتر نباشد. بدیهی است قسمت استفاده نشده زهاب باید به شیوه متداول پیشین دفع شود.

اختلاط زهاب و آب آبیاری در کشت و صنعت امیرکبیر، خوزستان

با پمپاژ زهاب از زهکش روباز به کانال درجه دو

شکل ۳- ۸- استفاده دوباره از زهاب به روش اختلاط در سطح بخشی از شبکه

در دلتای نیل در مصر، کشاورزان از زهاب استفاده دوباره می کنند. این کار از ۱۹۳۰ آغاز شده و تاکنون ۲۱ ایستگاه پمپاژ ساخته شده است. سالانه نزدیک ۴ میلیارد متر مکعب زهاب، مورد استفاده دوباره قرار می گیرد. در قسمت‌هایی که از آب سطحی سد آسوان استفاده می‌شود، منطقه به سه بخش تقسیم شده است. در بخش ابتدایی که آب از کیفیت مناسبی برخوردار است، زهاب بطور مستقیم مورد استفاده قرار می گیرد. زارعین حق دارند که زهاب را از زهکش پمپ کنند و به مزرعه

برسانند (ناحیه ۱ در شکل ۳- ۹). در قسمت میانی که آب، شوری بیشتری دارد، زهاب و آب آبیاری به نسبت معینی مخلوط می شوند و مورد استفاده قرار می گیرد(ناحیه ۲ در شکل ۳- ۹). در بخش سوم که در انتهای دلتا و نزدیک دریا قرار دارد، استفاده از زهاب ممنوع است زیرا با برداشت از زهکش‌ها، سطح ایستابی پایین می‌افتد و آب دریا به سمت دشت هجوم می‌آورد و این کار به علت خطر افزایش شوری خاک به مصلحت نیست (ناحیه ۳ در شکل ۳- ۹).

در بخش‌هایی که از آب زیرزمینی استفاده می‌شود، ۱۵ درصد از آب مصرفی از زهاب تامین می‌شود. این ۱۵ درصد، در حقیقت ۴۶ درصد غلظت کلر موجود در مخلوط آب را به همراه دارد. از این روست که استفاده بیشتر از زهاب مجاز دانسته نشده است.

شکل ۳-۹- دلتای نیل که در آن تنها در ناحیه ۲ استفاده دوباره از زهاب انجام می‌شود

۳-٦-٤- دفع زهاب به آب‌های سطحی

رایج ترین راه دفع زهاب، تخلیه نهایی آن به رودخانه‌ها و دریاچه‌هاست. چنانچه زهاب بار دیگر به مصرف برسد، در حقیقت از زهاب استفاده دوباره شده است. جریان طبیعی هر رودخانه، نمی‌تواند هر مقدار زهاب را بپذیرد؛ بلکه از دیدگاه کمی و کیفی، می‌تواند تااندازه ای پذیرای زهاب شود. مدل هایی وجود دارند که با کمک آنها می‌توان نسبت اختلاط را پیدا کرد (اسمیدما، ۱۹۹۲).

جدول ۳-۳ - حجم آب، هدایت الکتریکی آب و کل بار نمک در مقاطع گوناگون رود نیل، پس از سد آسوان

محل	حجم آب (میلیارد متر مکعب)	هدایت الکتریکی آب (dS/m)	کل نمک ها (میلیون تن)
سد آسوان	۵۵	۰/۳۱	۱۱/۰
سد ابتدای دلتا (قاهره)	۳۵	۰/۴۷	۱۰/۵
دریای مدیترانه	۱۴	۳/۵۹	۳۲/۰

ریتزما، به نقل از القوسی،۱۹۸۹

رود نیل منبع اصلی آب آبیاری در مصر است. میانگین آب خارج شده از سد آسوان ۵۵ میلیارد متر مکعب در سال است. دره نیل از سد آسوان تا قاهره گسترش دارد و پس از آن دلتای نیل شروع می‌شود که تا دریای مدیترانه ادامه می یابد. همه زهاب به رود نیل بازگردانده می‌شود. از این رو، آب نیل بتدریج شورتر می‌شود. افزایش شوری در دلتای نیل به علت آبشویی و نیز به دلیل نشت آب از لایه‌های شور زیری است.

با افزایش زهاب، شوری نیل زیادتر می‌شود. از آنجا که ممکن است شوری از حد مجاز بیشتر شود، باید زهاب برهایی که بطور مستقیم زهاب را به دریا منتقل کنند، ساخته شود.

در عراق نیز زهکش بزرگی به موازات دجله و فرات ساخته شده است تا زهاب دیگر به دجله نریزد و به این زهکش انسان ساخت، که به آن رود سوم نیز گفته می‌شود، وارد گردد تا از آن برای تزریق

به چاه‌های نفت استفاده شود (شکل ۳-۱۰) و مازاد آن به شط العرب بریزد. ساخت رود سوم در ۱۹۹۳ پایان یافته است.

در پاکستان نیز رودخانه ایندوس نمی‌تواند به آسانی پذیرای زهاب دشت‌های پیرامون خود گردد. در بخش‌های زیادی از پاکستان زهکشی با کمک چاه (زهکشی قائم) انجام می‌شود. هدایت الکتریکی زهاب در مناطقی که از آب سطحی استفاده می کنند، بین ۱/۵ تا ۴/۷ دسی زیمنس بر متر متغیر است. این مقدار در چاه‌ها نزدیک دو برابر است. برآورد شده است که سالانه نزدیک ۹ میلیون تن نمک از این راه وارد رود ایندوس می‌شود. رودخانه در برابر این حجم زیاد نمک تاب آوری لازم را ندارد. از این رو دو کانال بزرگ که وظیفه انتقال زهاب را دارند ساخته شده است.

شکل ۳- ۱۰- زهکش سراسری عراق برای انتقال زهاب دشت‌های بین دجله و فرات

در حوضه کرخه، درایران نیز زهکش‌هایی ساخته شده‌اند که زهاب تولیدی حوضه را به هورالعظیم می ریزند. در حال حاضر، هدایت الکتریکی زهاب موجود در این زهاب برها بسیار بالا و نزدیک ۲۵ تا ۳۰ دسی زیمنس بر متر است. در آینده نزدیک نیز امیدی به بهبود کیفیت زهاب نیست زیرا که زمین‌های جدیدی توسعه می یابند و آبشویی آنها آغاز می‌شود. لیکن در آینده دور (شاید ۲۰ سال پس از تکمیل طرح) بتوان زهابی با کیفیت بهتر(شاید نزدیک ۶ تا ۸ دسی زیمنس بر متر، همانند زهاب شرکت‌های نیشکر در حوضه کارون) را انتظار داشت. ریختن چنین زهاب‌هایی به دریا نیز بر محیط‌زیست دریایی اثر می گذارد.

۳- ٦- ٥- حوضچه‌های تبخیر

چنانچه برای دفع زهاب، تخلیه گاه مناسبی وجود نداشته باشد، می توان از حوضچه‌هایی استفاده کرد که زهاب در آن ریخته می‌شود تا تبخیر گردد و نمک ها و بقایای عناصر کمیاب را در آن به جای بگذارد (شکل ۳-۱۱).

اندازه حوضچه تبخیری به مقدار زهاب و سرعت تبخیر بستگی دارد. فرورفتگی‌های طبیعی زمین می‌توانند جایگاه مناسبی برای حوضچه‌های تبخیری باشند. چنانچه چنین عوارضی یافت نشود، باید آنها را ساخت. فرورفتگی‌های طبیعی، بطور معمول، این برتری را دارند که می‌توانند بطور ثقلی تغذیه شوند. این حوضچه‌ها می‌توانند تنها با دیواره سازی خاکی و چند سازه کوچک تکمیل شوند. از عیب‌های حوضچه‌های تبخیری می‌توان به از دست رفتن زمین، نیاز به پمپاژ، نشت شورابه و تخلیه نمک ها و دفع سالم آنها اشاره کرد. نفوذ شورابه‌ها به سفره آب زیرزمینی نیز از مشکلات مهمی است که باید در نظر گرفته شود. پوشاندن کف حوضچه با مواد ناتراوا یا ورقه ای از ژئوممبران می‌تواند از راه حل های ممکن باشد. شاید در مواردی بتوان زهاب را در فصل کم آبی رودخانه درحوضچه‌ها ذخیره کرد و در فصل پرآبی، که به طور معمول غلظت نمک در آن کمتر است، آن

را به رودخانه وارد کرد. چنانچه این امکان وجود نداشته باشد، تخلیه و دفع شورابه‌ها کاری است دشوار که باید در مورد آن طرحی ارائه شود؛ بویژه زهاب‌هایی که دارای عناصر کمیاب هستند.

شکل ۳- ۱۱- حوضچه تبخیری

همان طور که گفته شد، حوضه آبریز سن یوآکین در کالیفرنیا نزدیک دو میلیون هکتار زمین فاریاب دارد. شوری در بخش‌هایی از این حوضه زیاد است و در آنها زهکش زیرزمینی کار گذاشته شده است. کیفیت زهاب به گونه ای است که دفع آن به رودخانه سن یوآکین، مشکلاتی را برای زمین‌های فاریاب پایین دست ایجاد کرده و از این رو حوضچه‌های تبخیری احداث شده‌اند. به علت بالا بودن غلظت سلنیوم در زهاب، مشکلاتی برای زیست پرندگان و آبزیان در این حوضچه‌ها پدیدار شده است. تانجی (۱۹۹۰) سطح لازم برای حوضچه‌های تبخیری را نزدیک ۱۰ تا ۱۴ درصد سطح زیر شبکه می‌داند.

۳- ٦- ٦- اثر بر مقدار رواناب سطحی

نصب سیستم زهکشی زیرزمینی می‌تواند رواناب سطحی در داخل پروژه را کاهش دهد؛ لیکن در مواردی نیز می‌تواند منجر به رواناب بیش ازاندازه در پایین دست شود. در مقیاس کوچک، رواناب بیش ازاندازه می‌تواند زمانی رخ دهد که یک کشاورز زمین خود را زهکشی کرده و زهاب خود را به زمین همسایه پایین دست تخلیه کند. در مقیاس بزرگ، مناطق پایین دست می‌توانند از آب بیشتری که در نتیجه زهکشی بالادست ایجاد می‌شود رنج ببرند. بیشتر مشکلات زمانی روی می‌دهد که نفوذ در بالادست به علت قطع درختان جنگلی کاهش یافته باشد. این امر می‌تواند باعث افزایش رواناب در بالادست و افزایش دبی اوج رودخانه و جاری شدن آب در قسمتهای پایین دست حوضه‌های آبریز رودخانه شود.

۳- ٦- ۷- نشت از زهکش‌های روباز

سطح آب در قسمت‌های پایانی بسیاری از زهکش‌های روباز بالاست. در این حالت زهاب می‌تواند از درون زهکش به زمین‌های مجاور نشت کند و نه تنها موجب بالا آمدن سطح آب (یا پیش‌گیری از پایین افتادن سطح آب) شود، بلکه شوری را نیز به زمین مجاور انتقال دهد. مقدار نشت به اختلاف بار هیدرولیکی و هدایت هیدرولیک خاک بستگی دارد. در این حالت، لازم است این قسمت از زهکش، ناتراوا و یا کم تراوا شود.

در پروژه چهارم زهکشی پاکستان[1] سامانه زهکشی زیرزمینی، زهاب خود را با پمپاژ به زهکش روباز تخلیه می‌کند. در بیشتر مواقع، سطح آب درون زهکش بالاتر از سطح ایستابی درون خاک است. برای تثبیت دیواره بیرونی زهکش روباز، لوله‌های زهکشی مشبک در بدنه دیواره‌ها نصب شده است تا به منزله زهکش حایل عمل کند. بررسی‌ها نشان می دهد که ۴۰ درصد زهاب پمپاژ شده توسط یکی از پمپ ها را زهاب درون زهکش روباز تشکیل می دهد. با پیوستن قطعات باقی‌مانده به شبکه

1 Fourth Drainage Project of Pakistan

زهکشی، انتظار می رود کیفیت زهاب بدتر شود. برای حفظ زمین‌های مجاور، همچنان عقیده بر این است که از زهکش حایل استفاده شود.

۳- ٦- ۸- اثر بر بالادست

چنانچه سطح ایستابی در منطقه ای پایین‌انداخته شود، نشت آب از مناطق بالادستی افزایش می یابد. چنانچه در بالادست، کشاورزی به صورت دیم باشد، ذخیره آب در خاک کم می‌شود و آب کمتری در دسترس گیاه گذاشته می‌شود و در نتیجه عملکرد تحت تاثیر قرار می گیرد. هرگاه در منطقه ای این تاثیر قابل ملاحظه تشخیص داده شود، باید به دنبال راه حلی برای آن بود. به عنوان نمونه، در یکی از پولدرهای هلند، دریاچه بین دو قسمت را باقی گذاشته‌اند تا نوسان سطح آب در بالادست را کاهش دهند.

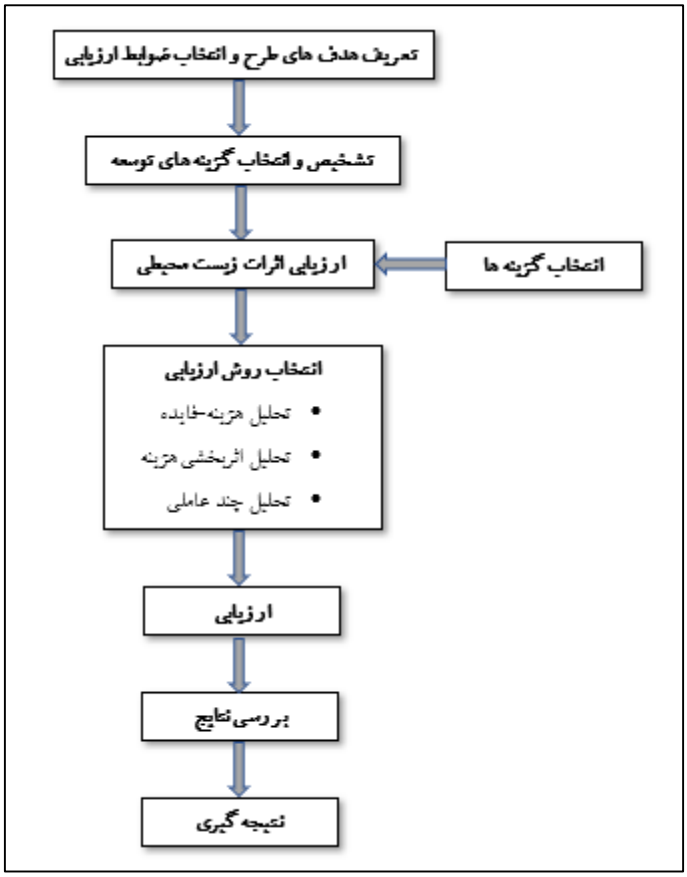
۳-۷- ارزیابی محیط‌زیستی طرح‌های زهکشی

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی[1] ابزاری شناخته شده برای مقایسه گزینه‌ها در مرحله شناسایی[2] و توجیهی[3] است و اثربخشی و اثرپذیری هر یک از گزینه‌ها را ارزیابی می‌کند. بدیهی است که این گزینه‌ها تنها به عنوان سناریوهایی معرفی می‌شوند و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و در عالَم عمل کاری انجام نمی‌شود.

هدف از ارزیابی زیست‌محیطی این است که اطمینان حاصل گردد گزینه‌های انتخابی از دیدگاه محیط‌زیست دارای توجیه هستند. افزون بر این مشخص می‌شود چه تمهیداتی باید برای هر یک از گزینه‌ها در مرحله طراحی اندیشیده شود. ارزیابی زیست‌محیطی از گام‌های زیر تشکیل می‌شود:

1 Environmental Impact Assessment (EIA)
2 Reconnaissance study
3 Feasibility study

- تعریف هدف‌های طرح و انتخاب ضوابط ارزیابی؛
- تشخیص و انتخاب گزینه‌های توسعه؛
- ارزیابی اثرات زیست‌محیطی؛
- انتخاب روش ارزیابی؛
- ارزیابی؛ و
- بحث و نتیجه گیری.



شکل ۳- ۱۲- گام‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

۳- ۷- ۱ - هدف‌ها و انتخاب ضوابط ارزیابی

توجه به هدف ارزیابی و انتخاب ضوابط و معیارهای ارزیابی بسیار مهم هستند. در بسیاری از کشورها، ضوابط قانونی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌های بزرگ وجود دارد که پیش از اجرای طرح‌ها باید به آنها توجه شود. در این مرحله باید مشخص شود که چه کسی مسئول ارزیابی است؟ دامنه کاربرد ارزیابی تا کجاست؟ نتایج ارزیابی چگونه باید ارائه شود؟ و چه کسی باید مسئول اجرای نتایج آن باشد؟ نگاه بیش ازاندازه عمیق به موضوع، کار مقایسه گزینه‌ها را دشوار می‌کند. اینها از جمله موارد مهمی‌هستند تا مطالعات ارزیابی زیست‌محیطی ارزش عملی پیدا کند.

۳- ۷- ۲ - گزینه‌های طرح توسعه

به طور معمول، گزینه‌ها می‌تواند شامل تغییر محل، تغییر فناوری پیشنهادی و تغییر مراحل کار باشد. همان گونه که گفته شد، نگاه بیش ازاندازه عمیق به موضوع و گزینه‌هایی که با یکدیگر اختلاف ناچیزی دارند، به مشکل مقایسه و انتخاب می‌افزاید. تعداد گزینه‌های مورد بررسی نیز از اهمیت برخوردارند. از سویی زیادی تعداد آنها کار مقایسه را دشوار می‌کند، و از سوی دیگر نادیده گرفتن گزینه‌ای که در نگاه اول گزینه بازنده به نظر می‌رسد، ممکن است کار درستی نباشد. انتخاب گزینه‌ها باید جانبدارانه نباشد. بطور معمول، مهندسان به جنبه‌های فنی بیشتر می‌اندیشند و جنبه‌های دیگر را نادیده می‌گیرند. در انتخاب گزینه‌ها "گزینه بدون طرح" نباید فراموش شود. در انتخاب گزینه‌ها نباید موضوع "توسعه در برابر محیط‌زیست" مطرح شود؛ بلکه راه حل‌های محیط‌زیستی برای توسعه مورد توجه قرار گیرند. موضوع "توسعه در برابر محیط‌زیست" در مقایسه با "گزینه بدون طرح" اثر خود را نمایان خواهد کرد.

۳-۷-۳- اثرات زیست‌محیطی گزینه‌ها

در این مرحله، اثرات زیست‌محیطی طرح مشخص شده و کمّی‌می‌شوند. برای کمی‌کردن اثرات، موضوع‌های فنی، مانند شوری آب زیرزمینی و نشست زمین، و نیز موضوع‌های اجتماعی و اقتصادی، مانند درآمد و بهداشت، در نظر گرفته می‌شوند. جنبه‌هایی که قابل کمی‌کردن نیستند به همان صورت کیفی نگه داشته شده و در فرایند ارزیابی مورد توجه قرار می‌گیرند. برای ارزیابی اثرات می‌توان از چک لیست‌هایی که توسط دیگران تهیه شده نیز استفاده کرد. کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی[1] (ماک و بولتون، ۱۹۹۳) یکی از این موسسات است.

ابتدا داده‌ها و اطلاعات وضع موجود گردآوری می‌شود و سپس تغییراتی که در اثر اجرای هر یک از گزینه‌ها در آن ایجاد می‌شود، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اگر فرایند ارزیابی به درستی پیش برود، اطلاعات وضع موجود همانی است که در "گزینه بدون طرح" مورد توجه هستند.

۳- ۷- ٤- روش‌های ارزیابی

بهترین گزینه را می‌توان با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از عوامل تشخیص داد. از دیدگاه مالی، هنگامی‌می‌توان به چنین مقایسه‌ای دست زد که این اثرات به مبلغ ریالی تبدیل شده باشند. چنانچه برخی از این اثرات قابل کمی‌شدن نباشند، در مقایسه گزینه‌ها به همان صورت کیفی باقی می‌مانند.

در اینجا به سه روش ارزیابی اشاره می‌شود:

تحلیل هزینه – فایده[2] که نوعی ارزیابی اقتصادی است که در آن فواید مالی و هزینه‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. این روش، سه گام زیر را در بر می‌گیرد:

- ✓ تمامی‌منافع و هزینه‌ها، مثبت و منفی، کمّی‌می‌شوند؛

1 ICID
2 Cost-Benefit analysis

- ✓ برای هر یک از این اثرها، ارزش حال محاسبه می‌شود؛ و
- ✓ گزینه برتر، با محاسبه ارزش حال خالص[1]، نسبت فایده به هزینه[2]، و یا نرخ بازده سرمایه گذاری داخلی[3] تعیین می‌شود.

ارزش حال خالص و نسبت فایده به هزینه، بدون در نظر گرفتن نرخ بهره محاسبه می‌شوند. به این دو عامل، هزینه فرصت سرمایه[4] گفته می‌شود. بطور معمول، بانک جهانی، نرخ بازده سرمایه گذاری داخلی ۱۰ تا ۱۲ درصد را می‌پذیرد. بدیهی است که این ارقام هنگامی‌مورد توجه قرار می‌گیرند که نرخ تورم سالانه چندان زیاد نباشد. این رقم‌ها برای کشورهایی که با تورم بالا دست به گریبانند، باید دست کم ده درصد بالاتر از نرخ تورم باشد. در غیر این صورت، ارزش سرمایه گذاری کاهش می‌یابد.

از مزایای تحلیل فایده به هزینه، ساده بودن آن است. محدودیت‌های آن عبارتند از:

- ✓ اثرات باید به صورت مالی درآیند؛ از این رو اثراتی که قابل ارزش گذاری مالی نیستند، از چرخه کنار گذاشته می‌شوند؛
- ✓ توزیع فایده‌ها و هزینه‌ها برای ذی نفعان متفاوت یکی است؛ مگر این که "ارزش اجتماعی" آنها در نظر گرفته شود؛ و
- ✓ اثرات درازمدتی که بر پایه روش تنزیل به زمان حال انجام می‌شود، فایده‌های خالص آینده را کمتر نشان می‌دهد.

هنوز درباره استفاده از مفاهیم تنزیلی اقتصادی در دو مورد زیر بین دانشمندان اختلاف نظر وجود دارد:

- ✓ هرگاه اثرات درازمدت زهکشی بر محیط‌زیست را نتوان با قطعیت مشخص کرد؛ و
- ✓ هرگاه اثرات احتمالی بر محیط، برگشت ناپذیر باشد.

---

1 Net Present Value (NPV)
2 Benefit Cost Ratio (BCR)
3 Internal Rate of Return (IRR)
4 Opportunity Cost of Capital (OCC)

در عمل، مشکلات اندازه گیری و ارزیابی، مانع برخورد جامع اثرات زیست‌محیطی در تحلیل فایده – هزینه می‌شود. چنانچه جدول تابع یا ارزش به همراه باشد، می‌توان هزینه و فایده زیست‌محیطی را در تحلیل فایده – هزینه در نظر گرفت.

- **تحلیل اثربخشی هزینه**[1] در جستجوی بهترین و ارزان ترین راه دست یابی به هدف‌های مشخص از راه تعیین کمترین هزینه برای مداخلات جوراجور است. در این روش، فواید بطور ریالی در محاسبات وارد نمی‌شوند و تنها یک معیار کلی که همه معیارها را نمایندگی کند، در نظر گرفته می‌شود. از مزایای این روش این است که اثرات غیر ریالی را نیز می‌توان در محاسبه گنجاند. در عوض انتخاب معیاری جامع که بتواند همه اثرات را نشان دهد، دشوار است. افزون بر اینها، بطور معمول اثرات جانبی را نمی‌توان در این روش پیش‌بینی کرد. از معایب دیگر این روش این است که در آن زمان مورد توجه نیست و از این رو، نمی‌توان دوره‌های خوب و بد را از یکدیگر تشخیص داد.
- **تحلیل چند عاملی**[2] نمونه‌ای از روش‌های غیر مالی ارزیابی است که در آن گزینه‌های گوناگون، با در نظر گرفتن معیارهایی با ابعاد گوناگون، با یکدیگر مقایسه می‌شوند. برای در نظر گرفتن اهمیت هر یک از معیارها، می‌توان به هر کدام از آنها وزن معینی داد. روش‌های ارزیابی اقتصادی که تنها بر پایه معیارهای مالی استوارند، دارای مشکلاتی هستند. توسعه روش تحلیل چند عاملی به این منظور بوده است که بتوان بر این مشکلات چیره شد. از آنجا که داوری در مورد وزن هر یک از معیارها دشوار است، نتیجه به دست آمده از این روش نیز همواره با چالش همراه است.

1 Cost effectiveness analysis
2 Multi-criteria analysis

۳-۸- نتیجه ارزیابی

نتیجه ارزیابی باید اولویت بندی گزینه‌ها و سپس انتخاب گزینه برتر باشد. همچنین در این مرحله باید به درصد اعتماد به نتایج ارزیابی نیز اشاره شود.

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، امکان مقایسه نظام مند گزینه‌های گوناگون را فراهم می‌آورد. افزون بر این، ارزیابی به تعریف دقیق تر هدف‌ها و معیارهای مقایسه و انتخاب گزینه برتر می‌انجامد و نتایج را به شکلی طبقه بندی شده ارائه می‌کند. یکی از اشکالات این است که پیشنهادهای این روش عینی هستند، در حالی که در هر مرحله نیاز به انتخاب‌های ذهنی دارند.

بخش دوم

منابع پذیرنده زهاب

فصل چهارم
منابع پذیرنده زهاب، نمونه‌هایی از خوزستان

٤-١- پیش‌گفتار

هیچ پروژه آبیاری، بدون زهکشی طبیعی و یا مصنوعی، پایدار نیست. هدف اصلی زهکشی در مناطق مرطوب، فراهم آوردن امکان تهویه ریشه و خاکورزی است؛ لیکن در مناطق خشک و نیمه خشک که شوری خاک مشکل اصلی است، گیاهان آبِ آبیاری را از خاک جذب می‌کنند و نمک‌ها را بر جای می‌گذارند. برای جلوگیری از شورتر شدن خاک، باید این نمک‌ها با جریان آب از محیط ریشه خارج شوند. افزون بر این، در این گونه مناطق، آبیاری ممکن است موجب بالا آمدن سطح ایستابی و آب‌ماندگی شود. در این صورت نیز، چاره کار، نصب زهکش‌های زیرزمینی است.

برای مهار شوری و ماندابی شدن خاک، زهکشی از اهمیتی ویژه برخوردار است. احداث شبکه‌های زهکشی، گاهی اثرات زیست محیطی نامناسبی از خود برجای می گذارد. یکی از نامناسب‌ترین این اثرات، تخلیه زهاب خروجی با کیفیت پایین به آب‌های موجود در طبیعت است که برخی از زیست بوم‌های آبی را تخریب و کاربری‌های مفید آنها را از بین می‌برد. بر پایه چنین دیدگاهی، فشار افکار عمومی برای طراحی شبکه‌های زهکشی مثبت نیست؛ مگر این که بتواند آنها را متقاعد کند که بقای زیست بوم‌ها تضمین می‌شود.

در مقیاس مزرعه‌ای، زهکشی سطحی یا زیرزمینی، زهاب را به یک زهکش روباز اصلی یا زهکش جمع کننده هدایت می‌کند. سپس ممکن است زهاب به طور مستقیم به پهنه‌های آب سطحی بریزد و یا این که به زهکش‌های دیگری تخلیه شود و پس از گذر از مجاری دیگر خود را به تخلیه‌گاه نهایی[1] برساند.

---

1 Outlet

تخلیه‌گاه نهایی می‌تواند رودخانه، تالاب، دریاچه و دریا، حوضچه تبخیری یا آبگیر سیستم‌های کشاورزی‌ای باشد که از زهاب به عنوان آب برگشتی یا استفاده مجدد بهره می‌گیرند. تزریق زهاب به سفره آب زیرزمینی، نیز می‌تواند شکل دیگری از تخلیه زهاب باشد.

در منطقه نیمه خشک و خشک ایران، آبی که به تخلیه گاه نهایی می‌رسد، به طور معمول شور و یا فراشور است. افزون بر این، باقی‌مانده‌های انواع کودها و مواد شیمیایی موجود در علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها نیز در زهاب وجود دارد. برخی از خاک‌ها سرشار از عناصری همچون آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب، بور، کروم، نیکل و سلنیوم هستند که به دلیل دارا بودن خاصیت انباشتگی دراندام‌های موجودات زنده، بسیار پرخطر هستند.

تخلیه‌کننده‌های نهایی باید بتوانند پاسخ گوی حجم بسیار بالای زهاب کشاورزی که گاه همراه با پساب مزارع پرورش ماهی، پساب‌های شهری و صنعتی به تخلیه گاه می‌ریزند باشند.

از میان تخلیه‌گاه‌هایی که گفته شد، رودخانه‌ها و تالاب‌ها نقش بیشتری دارند. دریاها و تااندازه‌ای دریاچه‌ها به سبب این که حجم آب آنها به مراتب بیشتر از حجم زهابی است که به آنها ریخته می‌شود، در خطر کمتری از دیدگاه سلامت محیط‌زیست هستند.

حفاظت از محیط‌زیست بزرگترین چالش زهکشی جهان کنونی است. زهکشی گاه می‌تواند بر محیط‌زیست تاثیر منفی داشته باشد. بخشی از این مشکلات مربوط به مرحله طراحی است و می‌توان با تغییراتی مانندکاستن از ضریب زهکشی، کاستن از عمق زهکش‌ها و... از تاثیر غیردلخواه آنها کاست. بخش دیگر به بهره برداری مربوط می‌شود و بطور معمول، بی توجهی به محیط‌زیست از موارد مهم آن به شمار می‌رود. چند اقدام مدیریتی نیز وجود دارد که می‌تواند اثرات ناگوار زهکشی را کاهش دهد. در جلد دوم درباره این اقدامات سخن گفته خواهد شد.

در این بخش رودخانه کارون، به عنوان بزرگترین پذیرنده زهاب مورد بررسی قرار می‌گیرد. از میان تالاب‌ها، وضعیت تالاب شادگان بیان می‌شود. تالاب جنوب غربی خوزستان، تالابی انسان ساخت

است که زهاب دو واحد کشت و صنعت جنوب اهواز را دریافت می‌کند. برای نشان دادن وضعیت و سرنوشت زهاب در این گونه تالاب‌ها، این تالاب نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

٤- ۲ پایانه زهکشی، مهم ترین بخش شبکه

بسیاری از کارشناسان خبره زهکشی جهان اعتقاد دارند که پایانه‌های زهکشی مهم ترین و همزمان، حساس ترین بخش شبکه هستند. همه این اهمیت، به خاطرممکن یا ناممکن بودن تخلیه ثقلی زهکش نیست. این مشکل هر چند مهم، را می‌توان با کمک پمپ برطرف کرد. لیکن بیشترین اهمیت از آنجاست که زهابی که به مراتب از آب آبیاری آلوده تر است، به پایانه زهکشی می‌رسد و مشکلات آلودگی را به آنجا منتقل می‌کند. در مناطق خشک و نیمه خشک، که شوری بزرگترین مشکل اراضی فاریاب است، نمک‌ها به منابع پذیرنده زهاب منتقل می‌شوند و در آنجا جایگزین می‌گردند. از این روست که در این مناطق، پایانه‌ها که در پست ترین نقاط قرار دارند، شور هستند. دریاچه ارومیه، دریای مازندران و مرداب گاوخونی نمونه‌هایی از این وضعیت هستند.

٤-۳- مشکلات زیست محیطی زهکشی در خوزستان

خوزستان دارای بیشترین سطح اراضی زهکشی شده در ایران است. از این رو، بجاست که به عنوان مطالعه‌ای موردی مورد توجه خاص قرار گیرد. بیشترین مشکلات زیست محیطی زهکشی در خوزستان مربوط به موارد زیر است:

- حجم بسیار بالای زهاب کشاورزی و پساب مزارع پرورش ماهی؛
- کیفیت بسیار نامناسب زهاب؛ و
- نبود تخلیه گاه نهایی مناسب.

در حوضه کارون، واحدهای ده گانه تولید نیشکر سالانه نزدیک ۳/۸ میلیارد متر مکعب آب مصرف می‌کنند و زهابی برابر ۱/۷ میلیارد متر مکعب (۴۵ درصد) را به منابع پذیرنده زهاب تخلیه می‌کنند.

به این ترتیب، از هر هکتار نیشکر نزدیک ۱۳۲۰۰ متر مکعب زهاب خارج می‌شود. چنانچه کیفیت آب مناسب باشد، این مقدار، می‌تواند آب مورد نیاز ۱/۵ تا ۲ هکتار از زراعت‌های متداول را تامین کند.

مزارع پرورش ماهی در حوضه کارون، در خوزستان، به نزدیک سی هزار هکتار رسیده است. مزارع پرورش ماهی نیز مصرفی بیش ازاندازه دارند. صرف نظر از این که آیا پرورش ماهی درون سرزمینی در استان‌های ساحلی کاری درست و منطقی است یا خیر، گرمای بالای هوا و آب، عامل مهم بالا بودن آب مصرفی پرورش ماهی در خوزستان است. در این دما، تبخیر بالاست. با بالا رفتن دمای هوا، دمای آب نیز بالا می‌رود و اکسیژن محلول آن کاهش می‌یابد. صاحبان واحدها بجای استفاده از هواده‌های مکانیکی، از روش تعویض آب برای اکسیژن رسانی استفاده می‌کنند. آب مصرفی هر هکتار مزرعه پرورش ماهی بین ۵۰ تا ۷۵ هزار متر مکعب در طول دوره برآورد می‌شود که نزدیک دو برابر مصرف نیشکر و پنج تا شش برابر زراعت‌های متداول است. هر چند بخش بزرگی از این آب به منبع اصلی باز می‌گردد، لیکن کیفیت آن به شدت تخریب می‌شود و بر منبع پذیرنده زهاب اثر می‌گذارد.

٤- ۳ - ۱- فرهنگ مصرف آب

مصرف کنندگان آب، تلاشی برای کاهش مصرف آب خود نمی‌کنند. حتی شرکت‌های کشت و صنعت که از دانش فنی کافی برخوردار هستند و یا می‌توانند آن را به خدمت بگیرند، تلاش چندانی برای این کار نمی‌کنند. از مدیریت آبیاری و زهکشی غافل شده‌اند. در آنها حتی وسایل اندازه گیری رطوبت خاک نیز مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. بی توجهی به کاهش مصرف آب، پی‌آمدهای بسیار ناخوشایندی را برای خوزستان رقم خواهد زد.

٤- ۳- ۲- طراحی زهکش‌ها

زهکش‌های متداول به گونه‌ای طراحی می‌شوند که آب درونِ خاک را به سرعت تخلیه و سطح ایستابی را به تراز زهکش نزدیک کنند. در عمل، بیشتر این زهکش‌ها "بیش طراحی[1]" می‌شوند زیرا از سویی برای گیاهان حساس به آب‌ماندگی و شوری طراحی شده اند و از سوی دیگر در آنها از ضریب‌های اطمینان بالا استفاده می‌گردد. در زهکش‌های متداول نمی‌توان کنترلی بر مقدار زهاب خروجی داشت و به این ترتیب، آبی که ممکن است بتواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد، از دست می‌رود.

"بیش آبیاری[2]" از عوامل مهم "بیش زهکشی[3]" است که در آن، بخش بزرگی از آب آبیاری به زهاب تبدیل می‌شود. چنانچه مدیریت آب در مزرعه بخوبی انجام نشده و همچنان مقدار زیادی آب صرف آبیاری گردد، بخش زیادی از آب مصرفی به صورت زهاب آلوده به محیط‌زیست باز خواهد گشت. به نظر می‌رسد که در خوزستان کاهش مصرف آب و به تبع آن کاهش حجم زهاب با حفظ میزان تولید فعلی محصولات کشاورزی (یا در واقع افزایش بهره وری آب) امکان پذیر بوده و باید به دنبال راهکارهایی بود که بتواند به دستیابی به آن کمک کند.

٤- ۳- ۳- نگاهی دیگر به زهکشی

امروزه وظیفه اصلی زهکشی تنها خروج آب اضافی نیست؛ بلکه رسالت اصلی آن به مدیریت سطح ایستابی تغییر یافته است. به عبارت دیگر، طرح مطلوب زهکشی آن است که بتواند بموقع آب و نمک اضافی را از نیمرخ خاک خارج کند و در مواقعی آب را در خاک نگاه دارد تا گیاه بتواند از بخشی از آن استفاده کند. به این ترتیب مدیریت سطح آب باعث می‌شود تا زهاب کمتر همراه با آلاینده‌های کمتری از خاک خارج شود و محیط‌زیست پهنه آبیِ پذیرنده زهاب را کمتر آلوده کند. با کاهش

1 Over design
2 Over irrigation
3 Over drainage

حجم زهاب خروجی، می‌توان به کارایی بیشتر آبیاری و بهره‌وری بیشتر نیز دست یافت.

در چند سال گذشته راهبردهای طراحی زهکشی در خوزستان در جهت بهبود تغییر کرده است. این تغییرات عبارت بوده‌اند از:

- کاهش عمق زه کش‌ها؛ و
- کاهش ضریب زهکشی در طراحی.

هر دو این تغییرات موجب می‌شوند که زهاب کمتر و با کیفیت بهتر تولید شود؛ هر دو اقدامی دوست دار محیط‌زیست و به نفع منابع پذیرنده زهاب.

انتظار می‌رود با ارائه راهکارهای علمی‌و عملی نوین بتوان از مشکلات بالا بودن حجم زهاب و نامناسب بودن کیفیت آن کاست. در این میان می‌توان به کاربرد روش‌های جایگزین زهکشی متداول (مانند زهکشی کنترل شده)، مصرف کم‌تر نهاده‌های کود و سم در کشاورزی، تغییر الگوی کشت، مدیریت مزرعه و روش‌های صحیح خاکورزی برای آماده کردن زمین و نیز مدیریت آبیاری اشاره کرد. انتظار می‌رود با کاهش نفوذ عمقی و رواناب سطحی خروجی از اراضی، استفاده مجدد از زهاب و شورورزی، بتوان گام‌های موثرتری در راستای کاهش زهاب، بهبود کیفیت زهاب وارد شده به منابع پذیرنده آبی مانند تالاب‌ها و رودخانه‌ها و نیز اصلاح شرایط زیست‌محیطی در آینده برداشت.

٤- ٣- ٤ - کاستن از مشکلات در مبدا

بهترین چاره بیماری، پیش‌گیری است و نه درمان. برای کاستن از فشار بر منابع آب و منابع پذیرنده زهاب نیز باید تا جای ممکن از این راهبرد پیروی کرد و مشکلات را در مبدا کاهش داد. شاید پیشنهادهای زیر بتوانند مورد توجه قرار گیرند: حرکت به سوی گیاهان با مصرف کمتر آب، گرایش به سوی گیاهان با بهره وری بالاتر و حرکت به سوی گیاهان سازگارتر با شوری و خشکی. موضوع بسیار مهمی‌که نباید از آن غافل بود، لزوم تغییر الگوی کشت است.

نگرش کلی بیش از آن که در جهت مدیریت زهاب تولیدی باشد، باید در راستای کاهش حجم زهاب با مدیریت از مبدا باشد. کارهایی که می‌توان در سطح مزرعه انجام داد، بیشتر شناخته شده هستند. به عنوان نمونه در خوزستان:

- کاهش آب مصرفی در همه فعالیت‌ها، مانندکشت و صنعت‌های نیشکری، مزارع سنتی و مزارع پرورش ماهی؛
- پرهیز از دادن پروانه بهره برداری از آب رودخانه‌های کم آب برای مزارع پرورش ماهی جدید و گیاهان پرمصرف؛
- اصلاح الگوی کشت؛
- استفاده از اهرم‌های مالی تشویقی (و تنبیهی) برای منطقی کردن مصرف آب؛
- داشتن برنامه زمانی مدیریت شده برای آبشویی زمین‌هایی که برای کشت آماده می‌شوند؛
- استفاده از روش زهکشی کنترل شده به منظور کاهش حجم و بهبود کیفیت زهاب؛
- اصلاح عمق نصب زهکش‌ها؛
- استفاده مجدد از زهاب؛
- مصرف کم‌تر نهاده‌های کود و سم در کشاورزی؛ و
- مدیریت مزرعه و روش‌های صحیح آماده کردن زمین (خاکورزی) و مهم تر از همه، مدیریت آبیاری.

با اقدامات بالا، شاید بتوان گام‌های موثری در راستای کاهش حجم و بهبود کیفیت زهاب وارد شده به منابع پذیرنده آبی مانند تالاب‌ها و رودخانه‌ها و نیز اصلاح شرایط زیست‌محیطی در آینده برداشت.

بی‌تردید در مورد حوضه‌های آبریز دیگر نیز می‌توان راهکارهایی یافت.

٤-٤- رود کارون، نمونه‌ای از منابع پذیرنده زهاب

مطالعات نشان می‌دهد که کاهش آورد رودخانه یکی از عوامل اصلی شور شدن آب کارون است. بار نمک سالانه حوضه کارون نزدیک به ۷/۹ میلیون تن است که ۳۹ درصد آن به تالاب شادگان می‌ریزد. رودخانه‌های شطیط و دز نیز آلوده ترین رودها از نظر نمک هستند (گزارش دانشگاه هامبولدت برلین،۲۰۱۷). میانگین کاهش سالانه دبی در ایستگاه اهواز ۳۲/۴ مترمکعب در ثانیه و میانگین افزایش سالانه شوری در ایستگاه اهواز ۰/۰۷ دسی زیمنس بر متر است.

در ۲۰ سال اخیر، شوری کارون در اهواز ۶۵ درصد افزایش یافته است. پیش‌بینی شده است که شوری آب کارون در اهواز در سال ۲۰۳۰ در اثر تغییر اقلیم، توسعه شهری و کشاورزی به ۴ دسی زیمنس بر متر برسد (گزارش دانشگاه‌هامبولدت برلین،۲۰۱۷). بی‌تردید، این اثرات در پایین دست اهواز شدیدتر خواهد بود.

کاهش آب رودخانه و شورتر شدن آن، فشار بیشتری را بر منابع پذیرنده زهاب تحمیل خواهد کرد. برای کاستن از این مشکل، باید هم از کم شدن آب و هم از شورتر شدن آن جلوگیری کرد. اگر لزوم توسعه اقتصادی به عنوان اصل پذیرفته شده باشد، با دانش و شیوه کار امروزی، هیچ یک از این دو مشکل را نمی‌توان از میان برداشت. به نظر می‌رسد که چاره این باشد که یا سطح توسعه پایین آورده شود و یا الگوی توسعه به نحوی تغییر یابد که آب کمتری مصرف شود و نمک کمتری از خاک خارج شود. به عنوان نمونه، در خوزستان چغندرقند که گیاهی زمستانه است، نزدیک ۱۲ هزار متر مکعب در هکتارآب مصرف می کند که نزدیک یک سوم آب مصرفی سالانه یک هکتار نیشکر و نزدیک یک پنجم آب مصرفی سالانه یک هکتار پرورش ماهی است. شاید تغییر دیدگاه توسعه بتواند از افزایش مشکلات بکاهد. شاید در نگاه اول به نظر برسد که به علت مصرف زیاد آب، فعالیت‌های کشت نیشکر و پرورش ماهی باید کنار گذاشته شوند؛ لیکن این تغییر ممکن است موجب بی کار شدن تعداد زیادی کارگر و بی مصرف ماندن سرمایه گذاری‌های انجام شده شود و برای

تغییر، نیاز به سرمایه گذاری تازه‌ای وجود داشته باشد. از این رو، لازم است مطالعه‌ای همه جانبه در این مورد انجام شود.

٤- ٥- تاثیر زهکشی بر منابع پذیرنده زهاب

برای درک چگونگی تاثیر زهکشی بر منابع پذیرنده زهاب، در این بخش، وضعیت رود کارون به عنوان نمونه، مورد بررسی قرار گرفته است. تالاب‌های طبیعی و انسان ساخت نیز از دیگر منابع پذیرنده به شمار می‌روند. اهمیت رودخانه‌ها بر کسی پوشیده نیست؛ لیکن در باره تالاب‌ها باید به نکاتی اشاره شود.

تالاب‌ها بسیاری از نیازهای اولیه جوامع انسانی پیرامونی خود، از جمله تامین آب و خوراک، پالایش محیط، محافظت در برابر سیلاب و طوفان را پاسخ می دهند. افزون بر این‌ها، بخشی از نیازهای دیگر انسان مانند دیدن منظره زیبا، آرامش روح و پرورش جسم را نیز برآورده می‌سازند. امروزه تالاب‌ها مقصد بسیاری از عکاسان، نقاشان، نیازمندان به محیط‌های آرام و فرح بخش، محققان تاریخ طبیعی، دوستداران پرندگان، اکولوژیست‌ها و... هستند.

تالاب‌ها در پست ترین نقاط حوضه‌های آبریز قرار دارند. از این رو بسیاری از کارکردهای بالادست بر آنها تاثیر می‌گذارند. گفته می‌شود که "تالاب‌ها آیینه کردار ما در حوضه‌های آبریز هستند". کارکرد اصلی تالاب، پشتیبانی از تنوع زیستی است. مشکلاتی که ممکن است تالاب‌ها به آن دچار شوند، عبارتند از:

- کاهش آب ورودی به آنها در اثر اجرای پروژه‌های سد سازی، گسترش سطح زیر کشت و بهره برداری از محصولات کشاورزی پرمصرف در بالادست و انتقال بین حوضه ای آب؛
- اجرای طرح‌های توسعه‌ای و زیر بنایی بزرگ راهسازی، پتروشیمی، پالایشگاه، فرودگاه، خطوط انتقال نیرو و... در محدوده‌های اثر گذار تالاب‌ها؛

- ورود آلاینده‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی رها شده از مزارع کشاورزی، شهرها و آبادی‌ها و صنایع و نیز رسوبات ناشی از فرسایش خاک بالادست آنها؛
- شکار غیر مجاز و بی رویه جانداران و برداشت علوفه و سایر محصولات تالابی، بیش از توان تجدید پذیری تالاب؛
- تغییر کاربری اراضی تالابی برای امور کشاورزی و غیره؛
- راهیابی گونه‌های غیر بومی و مهاجم به تالابها؛ و
- تغییر اقلیم.

همان طور که گفته شد، در این بخش، تالاب جنوب غرب خوزستان، به عنوان یک تالاب انسان ساخت و تالاب شادگان، به عنوان یک تالاب طبیعی بررسی شده‌اند. این بررسی‌ها می‌تواند نمونه‌ای از اثرات فعالیت‌های انسانی در تخریب محیط‌زیست باشد.

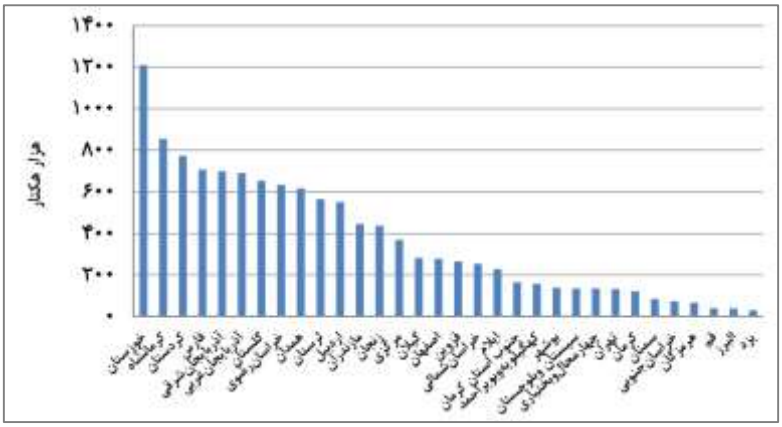
از آنجا که این منابع پذیرنده، کارون و تالاب‌ها، همگی در خوزستان قرار دارند، ابتدا باید در باره اوضاع کشاورزی و آبیاری و زهکشی منطقه آگاهی بیشتری کسب کرد.

٤-٦- شرایط عمومی آب و کشاورزی استان خوزستان

ایران از نظر سطح زیر کشت آبی درجهان در مقام پنجم بعد از چین، هند، آمریکا و پاکستان قراردارد. نزدیک ۹۰ درصد محصولات کشاورزی در ایران در اراضی آبی تولید می‌شوند. خوزستان در جنوب غربی ایران واقع است. مساحت کل استان۶/۴ میلیون هکتار است که ۲/۷ میلیون هکتار آن را ارتفاعات و ۳/۷ میلیون هکتار دیگر آن را دشت تشکیل می‌دهد. کشاورزی متمرکز در کوهستان‌ها چندان وجود ندارد. جلگه خوزستان دارای اقلیم گرم و خشک، فصل رشد طولانی و آب فراوان است. دمای متوسط سالانه ۲۴ درجه سانتیگراد است و با دوره طولانی فصل رشد، امکان کاشت دو بار در سال در آن وجود دارد. این امر از ویژ گی‌های مهم و طبیعی کشاورزی استان محسوب می‌گردد. بارندگی متوسط سالیانه آن ۳۵۸ میلی‌متر است. بارش متوسط سالانه در کوهستان ۵۵۹

میلی‌متر و در دشت ۲۴۰ میلی‌متر است. این در حالی است که میانگین تبخیر سالانه آن به۲۰۴۴ میلی‌متر می‌رسد. تبخیر متوسط سالیانه در کوهستان ۱۹۳۰ میلی‌متر و در دشت ۲۱۷۶ میلی‌متر است. آخرین برآورد وزارت جهادکشاورزی بیانگر آنست که کل اراضی قابل کشت و زرع (آبی و دیم) استان خوزستان نزدیک ۱/۵ میلیون هکتار است. با وجود تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های معتدل، این استان برای تولید میوه، سبزیجات و گیاهان دانه‌ای زودرس بسیار مناسب است.

مساحت اراضی زراعی آبی و دیم استان نزدیک ۱/۲میلیون هکتار است. مساحت اراضی فاریاب استان در سال ۱۳۹۸، برابر ۹۶۷ هزار هکتار (نتایج تفصیلی سرشماری عمومی کشاورزی۹۸-۱۳۹۷ استان خوزستان، مرکز آمار ایران) بوده است (شکل ۴- ۱). سطح زیر کشت آبی استان نزدیک ۱۳ در صد کشور است؛ در حالی که تولید آن نزدیک ۱۶ درصد کشور است. سطح زیر شبکه‌های مدرن استان نزدیک ۴۳۰ هزارهکتار است. در این میان نیشکر با سطح زیر کشت ۱۲۸۰۰۰هکتار و مزارع پرورش ماهی با مساحتی نزدیک ۳۰۰۰۰ هکتار نقش زیادی در تولید زهاب و پساب دارند.



(آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۸- ۱۳۹۷، جلد اول)

شکل ٤-١- سطح اراضی زیر کشت گیاهان زراعی در استان‌های کشور

٤- ٦- ١- خاک

خاک‌های جلگه خوزستان سنگین و دارای مقادیر بالای سیلت و رس هستند. بافت خاک در بیشتر مناطق دشت از رس و رس لای دار تا لوم رسی متغیر است. خاک‌های استان دارای مقادیر قابل توجهی از املاح محلول، مقادیر گچ و مقادیر قابل توجه آهک (کربنات کلسیم) هستند. افق‌های زیرین خاک به دلیل انباشتگی نمک و سدیم، بدون ساختمان است. بیشتر خاک‌های جنوب خوزستان شور سدیمی هستند. خوشبختانه ترکیب نمک‌های خاک به گونه‌ای است که اصلاح سریع خاک در ناحیه ریشه امکان پذیر است ولی سال‌ها اثر شوری در زهاب خروجی مشاهده می‌شود.

٤- ٦- ٢- منابع آب

خوزستان پرآب‌ترین استان ایران است. پنج رود بزرگ که از زاگرس سرچشمه می‌گیرند، زمین‌های جلگه خوزستان را سیراب کرده و به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم به خلیج فارس می‌ریزند.

کارون بزرگترین این رودهاست. این رود که از کوه‌های زاگرس مرکزی سرچشمه می‌گیرد، در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شوشتر، در بند قیر، به رود **دز** می‌پیوندد و پس از گذر از اهواز به اروندرود و سپس به خلیج فارس می‌ریزد. کارون با حجم بالای آب در طول تاریخ، شریان حیاتی کشاورزی منطقه بوده‌است.

کرخه سومین رود بلند ایران پس از کارون و سفیدرود است. این رود که از کوه‌های زاگرس سرچشمه می‌گیرد، پس از طی مسیری نزدیک به ۷۵۵ کیلومتر در جهت جنوب غربی، به تالاب هورالعظیم در مرز ایران و عراق می‌ریزد.

مارون از کوه‌هایی در شمال غربی یاسوج سرچشمه می‌گیرد و پس از تلاقی با رود اعلا با نام جراحی به راه خود ادامه می‌دهد و پس از مشروب کردن دشت‌های رامهرمز و رامشیر پس از پیمودن مسافتی نزدیک به ۴۳۸ کیلومتر به خلیج فارس می‌ریزد.

رود **هندیجان یا زهره** از کهکیلویه سرچشمه می‌گیرد و دو سرشاخه اصلی آن دو رود آب شیرین یا خیرآباد و آب شور یا شولستان است، این رود پس از گذر از هندیجان به خلیج فارس می‌ریزد.

تمامی‌رودخانه‌های خوزستان در حوضه آبریز اصلی خلیج فارس و دریای عمان قرار دارند.

شکل ٤-۲- شبکه رودخانه‌های استان

در این منطقه سه حوضه آبریز درجه دو کارون، کرخه و زهره- جراحی وجود دارند. ۴۱ درصد از مساحت حوضه کارون بزرگ، ۱۷ درصد از مساحت حوضه کرخه و ۶۳ درصد از مساحت حوضه زهره-جراحی در استان خوزستان هستند. این رودها آب مورد نیاز ۵۵ دشت را تامین می کنند.

آورد متوسط بلند مدت سالانه کارون ۱۱۵۵۷، دز ۷۷۵۶، کرخه ۴۹۳۸، مارون ۱۴۸۴، جره ۲۷۰ میلیون مترمکعب و در مجموع ۲۶ میلیارد متر مکعب در سال است.

شش سد شهید عباسپور، دز، گتوند، کارون ۳، نیروگاه جریانی گدارلندر و کارون۴ بر روی دز و کارون، سدکرخه روی رود کرخه، سد مارون روی مارون و سد جره روی رود زرد قرار دارند. به این نه سد باید تعدادی سد تنظیم کننده را نیز افزود. مخازن این سدها ۲۳ میلیارد متر مکعب گنجایش دارند.

٤- ٦- ٣- ویژگی‌های مهم کشاورزی و زهکشی خوزستان

برخی از ویژگی‌های کلی کشاورزی و زهکشی خوزستان عبارتند از:

- نزدیک یک سوم آبهای سطحی مهار شده کشور به جلگه خوزستان وارد می شود؛
- دراستان خوزستان "صفر فیزیولوژیکی" وجود ندارد و از این رو، امکان کشت، جوانه زدن و رشد بسیاری از گیاهان زراعی و باغی در تمامی سال فراهم است؛
- مقدار و توزیع زمانی بارندگی در بیشتر مناطق استان خوزستان به گونه‌ای است که زراعت بدون آبیاری امکان پذیر و یا مقرون به صرفه نیست؛
- آب مصرفی گیاهان در بیشتر مناطق این استان در مقایسه با سایر نقاط، به دلیل بالا بودن دما و تبخیر، زیاد است؛
- آب زیر سطحی در دشت‌های جنوبی به شدت شور است؛
- بیش آبیاری و مصرف بیش ازاندازه آب، موجب خیزش سطح آب زیرزمینی شور و در نتیجه بروز حالت "شوری ثانویه" در اراضی تحت بهره‌برداری و آبیاری می‌شود؛
- تجربیات پیشین نشان می‌دهد که نمک زدایی از نیمرخ خاک به کمک آبشویی، بدون نیاز به مواد اصلاح کننده، موفقیت آمیز بوده است. اراضی با شوری خیلی زیاد، پیش ازآغاز بهره برداری، با نزدیک ۱۵۰۰ میلی متر با موفقیت آبشویی شده‌اند؛
- پیش نیاز آبشویی، وجود شرایط مناسب زهکشی خاک ویا ایجاد سامانه زهکشی زیرزمینی است؛
- عمق زهکش‌های زیر زمینی در شروع احداث شبکه‌های زهکشی، نزدیک دو متر بوده که در طرح‌های نو، از چند سال پیش، به نزدیک ۱/۵ متر (و گاهی کمتر) کاهش یافته است؛
- عمق زهکش‌های جمع کننده و انتقال، که گاه آب زیر سطحی نیز در آنها نفوذ دارد، بین ۲/۵ تا ۵/۵ متر است؛

- به علت کارایی پایین آبیاری، نفوذ عمقی سالانه بسیار بالاست. به عنوان نمونه، در طرح‌های نیشکری که از نشتی‌های ته بسته استفاده می‌شود، که رواناب سطحی از انتهای نشتی‌ها وجود ندارد، با توجه به کارایی پایین آبیاری، کم و بیش همه تلفات به صورت نفوذ عمقی است.
- نسبت شوری زهاب به شوری آب آبیاری در مناطق شمالی نزدیک ۳ است. این نسبت برای طرح‌های نیشکر جنوب اهواز در ده سال پیش نزدیک ۱۰ بوده است. شواهد نشان می‌دهد که با گذشت زمان، شوری آب و خاک در حال نزدیک شدن به تعادل هستند؛
- سفره‌های آب زیرزمینی آزاد هستند و لایه محدود کننده ضخیم و گسترده، بجز در موارد استثنایی، در منطقه وجود ندارد؛
- در مزارع نیشکر، از آنجا که نزدیک ۸ ماه از سال آبیاری می شوند، و جریان قائم ازبالا به پایین به مراتب بیش از جریان پایین به بالاست، خطر شوری ثانویه وجود نداشته است؛
- مشاهدات گواه بر این است که در بیشتر مناطق، در دوره غیر آبیاری نیشکر، نیز جریان آب از زهکش‌ها وجود دارد. این موضوع خود گواه "بیش آبیاری" تااندازه‌ای است که نیمرخ خاک همچنان تا مدتی پس از پایان دوره آبیاری اشباع باقی می‌ماند؛
- شوری زهاب با شوری آب آبیاری در هنگام آبشویی و پس از آن تا مدتی همبستگی بالایی ندارد. این موضوع نیز خود موید این واقعیت است که آنچه که سهم زیادی در شوری زهاب دارد، شورابه‌های محبوس شده در زیر عمق زهکش‌هاست و شوری آب آبیاری در ابتدا سهم چندانی در شوری زهاب نداشته است؛
- مزارع نیشکر بیشترین سهم را در شوری آب کارون دارند. این مزارع نزدیک ۷/۸ میلیون تن نمک در سال به کارون تخلیه می کنند. سهم هر هکتار از مزارع نیشکر ۶۱/۵ تن نمک در سال است.

٤- ٦- ٤- چالش‌های آبیاری و زهکشی خوزستان

خوزستان، همانند بسیاری از نقاط دیگر کشور با چالش‌های زیادی در زمینه آب و محیط‌زیست روبروست. موارد زیر را می‌توان از جمله چالش‌های مهم آب استان دانست:

- تغییر اقلیم؛
- نبود رویکرد مدیریت به هم پیوسته منابع آب در حوضه‌های آبریز؛
- پایین بودن راندمان و بهره وری آب؛
- نبود تشکل‌های آب بران؛
- عدم تحویل حجمی‌آب وکمبود سامانه‌های پایش؛
- سازگار نبودن دانش و شیوه‌های بومی‌آبیاری با نیازهای واقعی؛
- واقعی نبودن قیمت آب؛
- نبود پژوهش‌ها کافی در زمینه نیازها و مصارف آب آبیاری؛
- نا مناسب بودن الگوی کشت؛
- نبود مطالعات آمایش سرزمین آب محور و نگاه مبتنی بر نیازهای درون بخشی؛ و
- حجم زیاد وکیفیت نامناسب زهاب تولیدی.

در زمینه زهکشی، مطالعات زیر مورد توجه سازمان آب و برق خوزستان بوده است:

- مطالعه مدیریت و استفاده مجدد از زهاب با همکاری دانشگاه هامبولدت برلین آلمان و موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛
- دفع زهاب کشاورزی غیر قابل استفاده، به منابع پذیرنده کم خطر همچون دریا؛
- اصلاح روش‌های زهکشی برای کاهش حجم و بهبود کیفیت زهاب؛
- استفاده از زهاب برای کشت گیاهان مقاوم به شوری در حد پژوهش؛
- بررسی امکان پرورش آبزیان، متناسب با شوری‌های گوناگون زهاب؛

- تصفیه زهاب و تخصیص پساب آن به صنعت؛ و
- پژوهش‌ها مشترک با کشت و صنعت نیشکر برای بازچرخانی زهاب برای کشت گیاهان متحمل شوری؛

وزارت جهاد کشاورزی نیز از طریق موسسه جهاد نصر در راه گسترش زهکشی زیرزمینی گام‌های بلندی برداشته است. هنوز اطلاعات چندانی در باره کیفیت کارهای موسسه برای عموم منتشر نشده است. از همه مهم تر این که اثر چنین اقداماتی بر محیط‌زیست و بویژه بر منابع پذیرنده زهاب برای کارشناسان و متخصصین مشخص نیست. نگرانی از این است که اثر زهکشی این سطح بزرگ، محیط‌زیست منطقه را بدتر از آن کند که هم اکنون کشور و خوزستان با آن روبروهستند.

فصل پنجم
حجم زهاب حوضه دز و کارون

۵-۱- پیش‌گفتار

بخش کشاورزی در ایران، همانند بسیاری از دیگر کشورها، بزرگترین مصرف کننده آب و بیشترین آلوده کننده محیط‌زیست است. بیشترین ناپایداری در حوزه آب و خاک است. رتبه ایران از نظر پایداری محیط‌زیست۱۳۳ از میان ۱۸۰ کشور است (دانشگاه ییل، ۲۰۲۲).

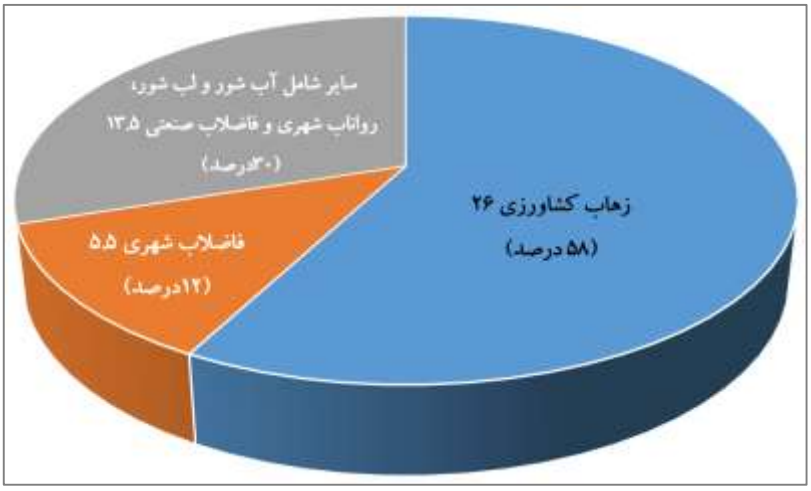
افزایش جمعیت و کم شدن سرانه آب، گسترش شوری خاک، بیابان‌زایی، فرسایش خاک، سیلاب‌ها، تلاش برای خودکفایی و توجه کمتر به موضوع امنیت غذایی، دست درازی به منابع طبیعی و عطش بی پایان برای اقدامات سازه‌ای از علت‌های اصلی حرکت به سوی ناپایداری محیط‌زیست هستند.

گفته می‌شود که حجم زهاب سالانه کشور نزدیک ۲۶ میلیارد متر مکعب است که ۸۲ درصد مجموع پساب‌ها را تشکیل می‌دهد (شکل ۵- ۱) و نزدیک یک چهارم آب تجدیدپذیر سالانه کشور است. این مقدار زهاب برابر آبی است که از پنج رودخانه بزرگ کشور به خوزستان می‌رسد.

۵-۲- وضع کنونی آب خوزستان

مقادیر متوسط درازمدت آوردهای رودخانه‌های خوزستان با اعداد و ارقام کنونی آن متفاوت است. آماری که در پی می‌آید، شاید بتواند وضعیت کنونی را بهتر بازتاب دهد. در سال آبی۹۶- ۱۳۹۵کل برداشت آب (سطحی و زیرزمینی)در استان خوزستان نزدیک ۱۶ میلیارد مترمکعب بوده است که بخش کشاورزی ۱۲ میلیارد متر مکعب آن را دریافت کرده است (۷۵ درصد). در شبکه‌های مدرن، مصرف آب ۶/۲ میلیارد مترمکعب بوده است. به این ترتیب، در هر هکتار ناخالص زمین، مصرف آب آبیاری نزدیک ۱۴۵۰۰ متر مکعب و در هر هکتار خالص زمین ۱۷۷۰۰ متر مکعب آب بوده

است. قیمت آب تحویلی در بخش کشاورزی، دام و صنعت به ترتیب ۱۱۲، ۳۲۹۰ و ۴۰۰۰ ریال به ازای هر متر مکعب بوده است.



(یارقلی، تحلیل‌های فنی در مدیریت و مهندسی کشاورزی ایران (جلد اول). ۱۳۹۶)

شکل ۵-۱- حجم زهاب و فاضلاب (میلیارد متر مکعب در سال)

وضع کشاورزی، رودخانه‌ها و تالاب‌ها حکایت از کم آبی دارد. به موجب اعلام وزارت نیرو، آب سطحی قابل برنامه ریزی در بخش کشاورزی خوزستان تنها ۸/۲ میلیارد متر مکعب در سال است که به بخش کشاورزی حوضه دز و کارون تنها ۴/۸ میلیارد متر مکعب اختصاص یافته است (جدول ۱-۵). هر چند این رقم بیش ازاندازه کوچک می‌نماید، لیکن حقیقتی است که در اثر تغییر اقلیم در بیشتر نقاط کشور و انتقال بین حوضه‌ای از حوضه کارون پیش آمده و پیروی از آن اجتناب ناپذیر است. این در حالی است که شرکت‌های ده گانه نیشکر نزدیک ۳/۸ میلیارد متر مکعب آن را مصرف می‌کنند (۷۹ درصد از سهم کشاورزی کارون بزرگ). ۷۷/۲ درصد حجم آب قابل برنامه ریزی کارون بزرگ به کشاورزی اختصاص یافته است.

۵-۳- حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ

حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ[1] یکی از زیر حوضه های آبریز خلیج فارس و دریای عمان است. مساحت این حوضه، ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع و رودخانه اصلی آن، کارون است.

حوضه آبریز کارون بزرگ شامل بیشتر مساحت استان چهارمحال و بختیاری، بخش‌های بزرگی از استان‌های لرستان وخوزستان و بخش‌هایی از استان‌های مرکزی، اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد و فارس است. شاخه اصلی رود کارون از کوهرنگ زردکوه سرچشمه می‌گیرد. در شمال شوشتر به دو شاخه گرگر و شطیط تقسیم و به سوی جنوب سرازیر می‌شود. در بند قیر، دوباره دو شاخه به یکدیگر می‌پیوندند. در همین نقطه، رود دز نیز به آن متصل می‌شود و کارون در نهایت، در آبادان وارد اروندرود می‌شود.

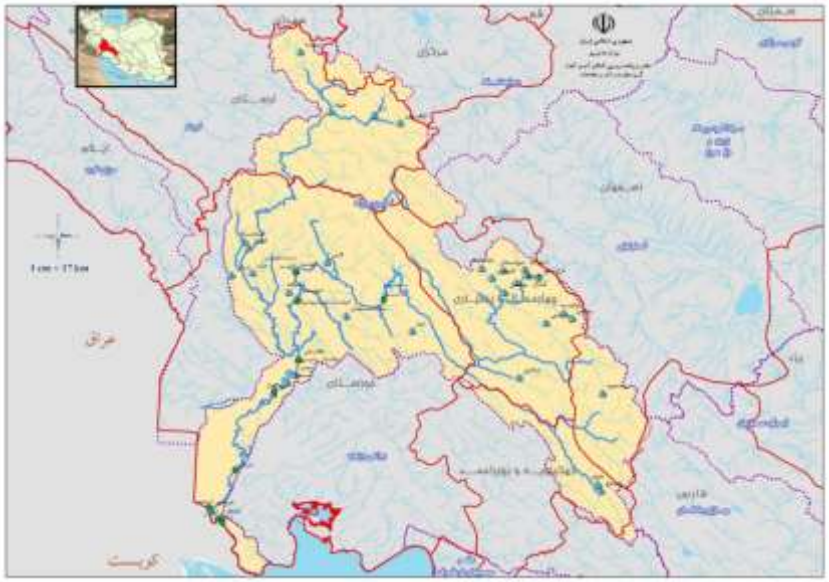
جدول ۵-۱- حجم منابع آب سطحی قابل برنامه ریزی در خوزستان (فعلی + توسعه آتی)

ابلاغ شده توسط وزارت نیرو در تیر۹۴ - میلیون متر مکعب در سال

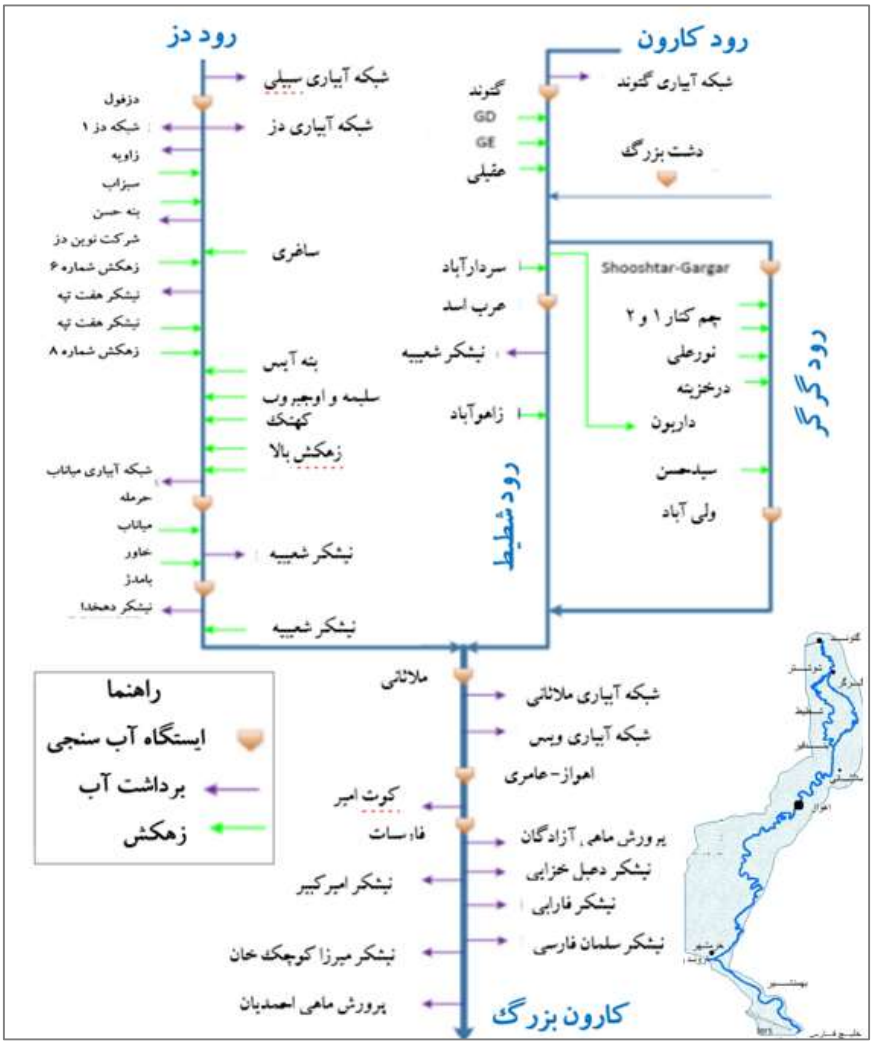
حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد از استان	شرب	فضای سبز	صنعت	کشاورزی	جمع
کرخه	۸۹۳۴	۱۴/۱	۲۱/۸	۱/۰	۳/۶	۱۲۶۲/۹	۱۲۸۹/۳
کارون بزرگ	۲۸۷۸۶	۴۵/۵	۷۹۸/۲	۱۰۳/۹	۵۲۱	۴۸۰۸	۶۲۳۰/۷
زهره- جراحی	۲۴۵۲۶	۳۸/۸	۱۲۱/۳	۰/۷	۷/۶	۲۱۴۴/۳	۲۳۳۷/۹
مرزی غرب و..	۹۷۱	۱/۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
جمع	۶۳۲۱۷	۱۰۰/۰	۹۴۱/٤	۱۰۵/٦	۵۹۵/۸	۸۲۱۵/۱	۹۵۸۷/۹
کل کشور	۱۶۲٤۸۷٦		٦۷۷۱	۱۲۱	۲۵۵۳	۳۰۳۳۱	۳۹۷۷٦
درصد خوزستان نسبت به کشور	۳/۹		۱۳/۹	۸۷/۳	۲۳/۳	۲۷/۱	۲٤/۸

[1] به رود کارون، پس از پیوستن به رود دز، کارون بزرگ می‌گویند.

شکل ۵- ۲ موقعیت این حوضه آبریز را نشان می‌دهد. شبکه‌های آبیاری و زهکشی حوضه آبریز دز و کارون از شمال دزفول آغاز می‌شوند و تا آبادان ادامه می‌یابند. از این رو، کیفیت آب رود کارون به تدریج تخریب می‌شود. شکل ۵-۳ پیکره آبی حوضه آبریز دز و کارون را نشان می‌دهد. به طوری که دیده می‌شود، در بیش از ۲۰ نقطه برای طرح‌های بزرگ آبیاری و زهکشی آب برداشت می‌شود و به طور متمرکز در ۲۳ نقطه زهاب مزارع کشاورزی بزرگ به همین رودخانه باز می‌گردد. از رود کارون، پس از اهواز، زهاب کشاورزی زیادی به کارون تخلیه نمی‌شود؛ لیکن پساب خانگی و صنعتی همچنان آن را آلوده می‌کند.



شکل ۵-۲- موقعیت حوضه آبریز کارون بزرگ



شکل ۵-۳- پیکره آبی حوضه آبریز دز و کارون

۵-٤- چالش‌های زهکشی در خوزستان

حفاظت محیط زیست، بزرگ ترین چالش زهکشی در خوزستان

امروزه حفاظت محیط زیست، بزرگ ترین چالش زهکشی در خوزستان است. بیشترین مشکلات زیست محیطی زهکشی خوزستان مربوط به موارد زیر است:

- حجم بسیار بالای زهاب کشاورزی و پساب مزارع پرورش ماهی؛
- کیفیت بسیار نامناسب زهاب؛
- نبود تخلیه گاه نهایی مناسب؛ و
- استفاده بیش از حد از آلاینده‌های کود و سم کشاورزی.

۵- ٤- ۱ - حجم زهاب کشاورزی

زهاب کشاورزی دست کم در ۲۳ نقطه به کارون می‌ریزد. افزون بر این فاضلاب شهری و پساب صنعتی نیز به ترتیب در ۳۱ و ۹ نقطه به کارون تخلیه می‌شوند (گزارش دانشگاه‌هامبولدت برلین، ۲۰۱۷ بر پایه آمار سازمان آب و برق خوزستان). زهاب کشاورزی با حجم ۲/۹ میلیارد متر مکعب در سال (۶۰ درصد حقابه برنامه ریزی شده کارون در خوزستان)، بیشترین سهم را در تخلیه به کارون دارد. مقداری از این زهاب، هر چند که موجب آلوده شدن کارون و بالا رفتن غلظت نمک آن می‌گردد، بازچرخانی می‌شود و به عنوان منبعی برای آبیاری پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشترین سهم تولید زهاب را شرکت‌های ده گانه تولید نیشکر دارند. مقدار زهاب تولیدی این شرکت‌ها به ۱/۷ میلیارد مترمکعب در سال می‌رسد که نزدیک ۴۵ درصد آب آبیاری این واحدهاست. بطور میانگین هر هکتار نیشکر (ناخالص) ۱۳۲۲۷ متر مکعب (۱۳۲۳ میلی‌متر) زهاب تولید می‌کند. مقداری از این زهاب در پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد. باقی‌مانده آن نیز به تالاب‌ها می‌ریزد.

زهاب به منابع گوناگون پذیرنده می‌ریزد. جدول ۵- ۳ سهم هر یک از این منابع را از دریافت زهاب مزارع نیشکر نشان می‌دهد. بطوری که دیده می‌شود، رودخانه‌های دز و شطیط که در بالا دست جلگه خوزستان قرار دارند، بیشترین مقدار زهاب را دریافت می‌کنند و کمترین مقدار آب به هورالعظیم می‌رسد.

۵- ٤- ۲ - حجم پساب مزارع پرورش ماهی

سطح زیر مزارع پرورش ماهی در حاشیه کارون به نزدیک ۳۰ هزار هکتار رسیده است. مزارع پرورش ماهی در استان پراکنده هستند؛ لیکن در سه منطقه به طور مجتمع دیده می‌شوند. مجتمع پرورش ماهی آزادگان بزرگترین مجتمع پرورش ماهی غرب کارون است که نزدیک ۱۰۴۰۰ هکتار است. مجتمع دیگر در اطراف رود گرگر قرار دارد که نزدیک ۱۲۰۰۰ هکتار وسعت دارد؛ مزارع غیر یکپارچه و کم و بیش منظمی‌که نزدیک همدیگر هستند. مجتمع سوم، در دو نقطه در حاشیه تالاب جنوب غربی اهواز قرار دارد. این مزارع همچنان در حال گسترش هستند.

جدول ۵-۲- حجم آب مصرفی و زهاب تولیدی وارد شده به منابع پذیرنده زهاب از مزارع نیشکر

نام شرکت	ناخالص زمین (هکتار)	آب مصرفی سالانه (میلیون متر مکعب)	زهاب سالانه (میلیون متر مکعب)	تخلیه گاه نهایی
کارون	۲۶۰۰۰	۷۰۰	۳۱۵	دز و شطیط
میاناب	۳۳۰۰	۹۵	۴۳	دز
هفت تپه	۱۲۰۰۰	۳۸۰	۱۷۱	دز
امام خمینی	۱۵۰۰۰	۳۶۴	۱۶۴	دز
دهخدا	۱۲۰۰۰	۳۶۴	۱۶۴	تالاب هورالعظیم
دعبل خزاعی	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	تالاب شادگان
سلمان فارسی	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	تالاب شادگان
فارابی	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	تالاب شادگان
میرزاکوچک خان	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	تالاب‌های دست ساخت
امیرکبیر	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	تالاب‌های دست ساخت
جمع	**۱۲۸۳۰۰**	**۳۷۷۳**	**۱۶۹۷**	

دانشگاه‌هامبولدت برلین، ۲۰۱۷

جدول ۵-۳- حجم زهاب وارد شده سالانه به منابع پذیرنده زهاب از طرح‌های نیشکر

منبع پذیرنده زهاب	زهاب دریافتی سالانه	
	میلیون متر مکعب	درصد
رودخانه‌های دز و شطیط	۶۹۳	۴۰/۸
هورالعظیم	۱۶۴	۹/۷
تالاب شادگان	۵۰۴	۲۰/۷
تالاب‌های دست ساخت	۳۳۶	۱۹/۹
جمع	**۱۶۹۷**	**۱۰۰/۰**

دانشگاه‌هامبولدت برلین، ۲۰۱۷

اطلاع دقیقی از مقدار آب مصرفی واحدهای پرورش ماهی در دست نیست؛ لیکن می‌توان آب مصرفی آنها را بین ۵۰ تا ۷۵ هزار متر مکعب در هکتار برآورد کرد. علت بالا بودن مصرف، افزون بر تبخیر بالا، این است که دمای آب در تابستان بالا می‌رود و اکسیژن محلول آب کاهش می‌یابد و صاحبان واحدها بجای استفاده از هواده‌های مکانیکی، از روش تعویض آب استفاده می‌کنند.

در سال‌های اخیر نزدیک ۷۰۰۰ هکتار دیگر به این سطح افزوده شده و امروزه نزدیک به ۳۰۰۰۰ هکتار رسیده است. بیشتر مزارع جدید در جنوب هستند. به این ترتیب، آب مصرفی آنها به ۲/۲ میلیارد متر مکعب در سال می‌رسد. بخش بزرگی از این مقدار به منابع پذیرنده زهاب بر می‌گردد. در دوره رشد هفت ماهه(فروردین تا آبان) به علت بالا بودن دما و پایین بودن نم نسبی، تبخیر بالاست. تبخیر موجب افزایش شوری پساب و شوری آب منابع پذیرنده آن می‌شود. اگر تبخیر از سطح آزاد آب در این مدت ۷ ماهه ۱۵۰۰ میلی‌متر فرض شود، حجم آب تبخیر شده به ۴۵۰ میلیون متر مکعب در سال خواهد رسید. بر پایه آمار سازمان آب و برق خوزستان، به نقل از دانشگاه هامبولدت برلین، میانگین سالانه آب مصرفی مزارع پرورش ماهی دارای پروانه برداشت آب در دز وکارون به ۴۳/۳ متر مکعب در ثانیه می‌رسد. آبادان و بهمنشیر با ۱۴/۶ متر مکعب در ثانیه بیشترین مصرف را به خود اختصاص داده‌اند. پیش‌بینی می‌شود در آبادان با افزایش سطح، مصرف به ۲۹/۳ متر مکعب در ثانیه برسد.

بطوری که دیده می‌شود، اختلاف قابل توجهی بین برآورد آب مصرفی مزارع پرورش ماهی (۲/۲ میلیارد متر مکعب در سال) و حجم آبی که مزارع دارای پروانه (۷۸۶ میلیون متر مکعب در سال) استفاده می‌کنند وجود دارد. این موضوع مساحت زیاد مزارع بدون پروانه را نشان می‌دهد.

از آنچه گفته شد چنین برداشت می‌شود که مزارع پرورش ماهی را نیز باید در کنار واحدهای تولید نیشکر، به عنوان یکی از منابع مهم تولید پساب دانست. اهمیت نقش مزارع پرورش ماهی در تخریب کیفیت آب بیش از حجم آب مصرفی آنهاست زیرا که مقدار زیادی از این آب به چرخه برمی‌گردد.

۵-۵- عامل اصلی تولید زهاب

"بیش آبیاری" به عنوان بزرگترین عامل تولید زهاب دانسته می‌شود. تجربه نشان می‌دهد که در بسیاری از خشکسالی‌ها، که به ناچار آب کمتری توزیع می‌شود، عملکرد مزارع کاهش نمی‌یابد. این موضوع نشانگر و تایید کننده این است که در واقع، بیش آبیاری صورت می‌گیرد.

امروز سند ملی آب به عنوان مرجع اصلی آب مورد نیاز گیاهان مورد استناد دست‌اندرکاران قرار می‌گیرد. حقیقت این است که سند ملی برای شرایط آرمانی تولید گونه‌های گیاهی در شرایط آب و هوایی هر منطقه ارائه شده است. سند ملی آب در اراضی مشکل دار و در مدیریت‌های ناکارآمد و در هر شرایطی که عملکرد واقعی کمتر از پتانسیل عملکرد باشد، مقادیری بیش از نیاز برآورد می‌کند.

نمونه:

- پتانسیل عملکرد گونه خاصی از گندم در منطقه مشخص ۱۰ تن در هکتار در نظر گرفته شود؛
- فرض شود که عملکرد مورد انتظار در زمین شور و زهدار و با مدیریت کشاورز محلی ۵ تن در هکتار باشد؛ و
- فرض شود نیاز آبی در سند ملی آب ۶۰۰۰ متر مکعب در هکتار برآورد شده باشد.

در این صورت و در شرایط حاکم، نیاز آبی ۳۱۵۰ متر مکعب در هکتار خواهد بود زیرا:

$(1 - Y_a / Y_x) = K_y . (1 - ET_a / ET_x)$; $K_y = 1.05$

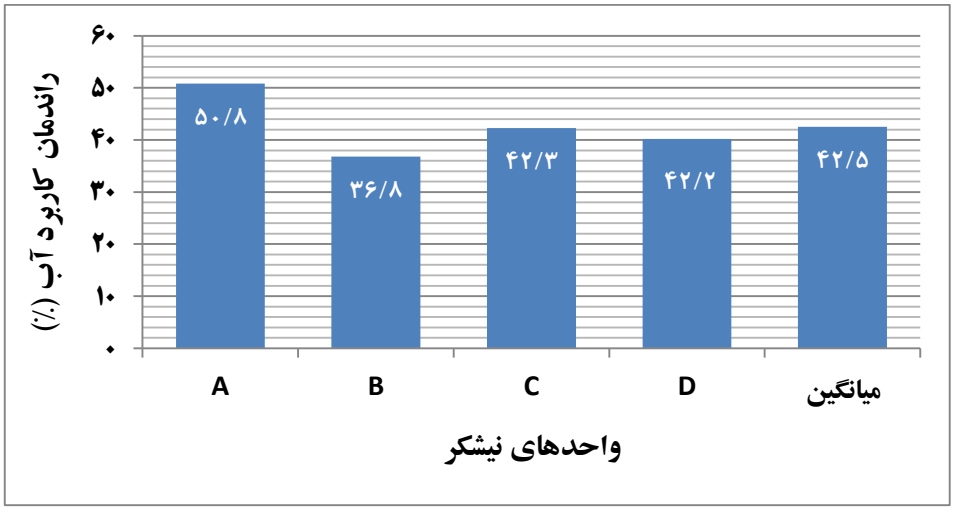
که در آن Y_a عملکرد واقعی، Y_x عملکرد بیشینه، K_y ضزیب کاهش عملکرد در اثر عوامل نامساعد، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و ET_x تبخیر و تعرق بیشینه در شرایط بی تنش در محل است.

بیش آبیاری در کشور نهادینه شده است. بسیاری از کشاورزان به "آب بیشتر، محصول بیشتر" اعتقاد دارند. نبود اطمینان از وجود آب در هنگام نیاز و مشارکت نداشتن آب بران در تصمیم گیری‌های مربوط به توزیع آب نیز آنها را به داشتن چنین اعتقادی سوق داده است.

"بیش آبیاری" موجب "بیش زهکشی" می‌شود. بدون منطقی کردن تخصیص آب، نمی‌توان امیدی به کم کردن حجم زهاب و منطقی شدن آن داشت.

راندمان پایین آبیاری از بزرگ ترین عوامل بالا بودن بیش ازاندازه حجم زهاب است. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی میانگین راندمان کاربرد آبیاری را در خوزستان ۴۷ درصد برآورد و اندازه گیری کرده است. عباسی و شینی (۱۳۹۵) راندمان کاربرد آب در ۴ واحد کشت و صنعت خوزستان رااندازه گیری کرده‌اند. مقدارآن بطور میانگین۴۲/۵ درصد بوده است. از آنجا که در این واحدها از نشتی‌های ته بسته استفاده می‌شود و روانابی از انتهای نشتی‌ها خارج نمی‌گردد، می‌توان فرض کرد که ۵۷/۵ درصد آب آبیاری از نیمرخ خاک گذر کرده و به زهکش‌ها می‌رسد. جدول ۵-۴ نسبت حجم زهاب به حجم آب آبیاری را در دو واحد تولید نیشکر نشان می‌دهد. این ارقام نیز کم و بیش تایید کننده درصد تلفات ناشی از پایین بودن راندمان آبیاری هستند.

شکل ٥-٤- نمودی از مقدار آب پمپاژ شده از زهکشی مزارع در یکی از محل‌های تخلیه ی نهایی (پل پنجاه دهنه)



(عباسی و شینی، ۱۳۹۵)

شکل ٥-٥- راندمان کاربرد اندازه گیری شده در چهار کشت و صنعت نیشکر

عمق بهینه سطح ایستابی برای اکثر گیاهان عمقی است که چنانچه سطح آب از آن بالاتر قرار گیرد، گیاه دچار حالت آب‌ماندگی شود و در صورتی که سطح آب از آن پایین تر برود، گیاه نتواند از آب موجود استفاده کند.

جدول۵-٤- درصد نسبت زهاب به آب آبیاری در دو واحد امیر کبیر و میرزا کوچک خان (۱۳۹۰)

واحد تولید نیشکر	اکتبر مهر	نوامبر آبان	دسامبر آذر	ژانویه دی	فوریه بهمن	مارس اسفند	آوریل فروردین	مه اردیبهشت	ژوئن خرداد	ژوییه تیر	اوت مرداد	سپتامبر شهریور	سالانه
امیر کبیر	۵۵	۴۸	۴۰	۴۲	۳۴	۳۱	۵۵	۶۲	۵۵	۵۳	۶۱	۷۱	۵۰/۶
میرزا کوچک خان	۶۸	۷۲	۵۰	۵۸	۷۳	۴۳	۶۱	۵۶	۵۰	۵۱	۵۰	۵۶	۵۷/۳

در بیشترموارد، مشکلات زهکشی، برآمده از آبیاری بیش ازاندازه است که به تشکیل سطح سفره کم عمق و در نتیجه به آب‌ماندگی و شوری ثانویه می‌انجامد. زهکشی زیرزمینی می‌تواند چاره این درد باشد به شرط این که از بیش زهکشی پرهیز شود. منطقی است چنین پنداشته شود که بهبود راندمان آبیاری از عوامل اصلی کاهش مشکلات زهکشی است.

همان طور که در جدول ۵- ۳ گفته شد در واحدهای ده گانه تولید نیشکر سالانه نزدیک ۳/۸ میلیارد متر مکعب آب مصرف می‌شود که زهابی برابر ۱/۷ میلیارد متر مکعب تولید می کند (۴۵ درصد). به این ترتیب، از هر هکتار نیشکر ۱۳۲۰۰ متر مکعب زهاب خارج می‌شود. چنانچه کیفیت آب مناسب باشد، این مقدار، می‌تواندآب مورد نیاز ۱/۵ تا ۲ هکتار از زراعت‌های متداول را تامین کند.

مزارع پرورش ماهی نیز مصرفی بیش ازاندازه دارند. گرمای بالای هوا و آب، عامل مهم بالا بودن آب مصرفی پرورش ماهی در خوزستان است. در این شرایط، ماهیان به اکسیژن بیشتری نیازمندند زیرا در دمای بالا اکسیژن محلول آب کاهش می‌یابد. صاحبان واحدها بجای استفاده از هواده‌های مکانیکی، از روش تعویض آب استفاده می کنند.

فصل ششم
کیفیت زهاب حوضه دز و کارون

٦-١-پیش‌گفتار

شاخص‌های کلان اقلیمی‌و هیدرولوژیک گویای تغییر اقلیم است. بطوری که در ادامه خواهد آمد، آورد رودخانه‌ها کاهش یافته است. شوری کارون به دلایل متفاوتی در حال افزایش است. توسعه سطح زیر کشت و ایجاد مزارع پرورش آبزیان در بالادست، کاهش آب رودخانه و تغییر رژیم آن و نیز در مدار قرارگرفتن سد گتوند را می‌توان از جمله این علت‌ها به حساب آورد. بر پایه مطالعات موسسه آب دانشگاه تهران، سد گتوند، به تنهایی، ۰/۳۳ دسی زیمنس بر متر به میانگین هدایت الکتریکی آب کارون افزوده است. به نظر می‌رسد که طرح هایی مانند احداث واحدهای تولید نیشکر که بیش از ۲۰ سال از عمر آنها می گذرد، اینک در حال نزدیک شدن به شوری تعادلی هستند. این واحدها دیگر همانند دوران آبشویی که زهابی با هدایت الکتریکی ۲۰ تا ۴۰ دسی زیمنس بر متر را به رودخانه برمی گرداندند، شورابه‌ای تخلیه نمی کنند و در عوض زهابی با شوری ۶ تا ۸ دسی زیمنس بر متر را به منابع پذیرنده می‌ریزند. از سوی دیگر طرح‌های جدیدی با سرعت وارد مدار می‌شوند که اثر آنها بر شوری پایین دست مورد مطالعه قرار نگرفته است.

به این ترتیب در سال‌های پیش رو، انتظارِ داشتن آبی با کیفیت مشابه میانگین درازمدت رودخانه غیر منطقی است. مطالعات موسسه آب دانشگاه تهران نشان می‌دهد که از سال آبی ۸۷ – ۱۳۸۶ تا کنون، در یک شکست هیدرولوژیکی مشخص، آورد رودهای دز وکارون به شدت کاهش یافته و متناسب با آن، کیفیت آب نیز به سوی تخریب بیشتر پیش رفته است. کارون بزرگ از سال ۱۳۸۶ شاهد یک خشکسالی بی سابقه بوده است.

مطالعات نشان می‌دهد که کاهش آورد رودخانه یکی از عوامل اصلی شور شدن آب کارون است. کاهش دبی متاثر از عوامل زیر است. سهم هر یک در آن ناشناخته است و نیاز به مطالعه دارد:

- افزایش مصرف آب سطحی؛
- انتقال بین حوضه‌ای آب؛
- کاهش سالانه بارندگی؛
- تغییر الگوی زمانی بارش؛
- افزایش دما و در نتیجه افزایش تبخیر؛
- برداشت زیاد از آب زیرزمینی در بالادست و جایگزینی بخشی از آن با آب رودخانه‌ها (جریان القایی)؛ و
- ذخیره سازی آب در مخزن سدها و تبخیر از سطح دریاچه‌ها.

به نظر می‌رسد که سهم کاهش بارش و رواناب و افزایش مصرف در بالادست از مهم ترین عوامل هستند. موضوع بسیار مهمی که نباید از آن غافل بود، لزوم تغییر الگوی کشت است. در این راستا پیشنهادهای زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

- حرکت به سوی گیاهان با مصرف کمتر آب؛
- حرکت به سوی گیاهان با بهره‌وری بالاتر آب؛ و
- حرکت به سوی گیاهان سازگارتر با شوری و خشکی.

٦-۲- آلاینده‌های رودخانه کارون

آلاینده‌های ناشی از فعالیت انسانی را در کارون می‌توان به عوامل زیر نسبت داد:

- آلاینده‌های کشاورزی در همه نقاط زراعی و بویژه درواحدهای کشت و صنعت نیشکر و مزارع آبزی پروری؛
- پساب‌های صنعتی؛
- فاضلاب‌های شهری و روستایی؛
- سد گتوند؛ و

- آلاینده‌های نفتی.

زهاب کشاورزی: ورود نمک بیشترین مشکل ناشی از زهاب کشاورزی است که افزایش شدید شوری آب را در پی دارد. بطور کلی می‌توان گفت که کشاورزی، آب با هدایت الکتریکی نزدیک ۲ دسی زیمنس بر متر را دریافت می‌کند و زهابی با هدایت الکتریکی نزدیک ۷ دسی زیمنس بر متر را به منبع پذیرنده پس می‌دهد. ورود نهاده‌های کشاورزی مانند سموم و کودها نیز از موارد مهم دیگری هستند که به آلودگی آب کارون می‌افزایند.

پساب مزارع پرورش ماهی: گفته می‌شود که پرورش ماهی در خوزستان نزدیک ۷۵ هزار متر مکعب در هکتار آب مصرف می‌کند (۱۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار تبخیر، ۲۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار تخلیه استخرها در پایان کار و بقیه برای گردش آب به منظور کنترل دما و اکسیژن رسانی). مساحت پرورش ماهی در خوزستان نزدیک ۳۰۰۰۰ هکتار است.

آبشویی: برای آبشویی اراضی هر هکتار از زمین‌های جنوب خوزستان، نزدیک ۱۵۰۰۰ متر مکعب آب استفاده می‌شود. زهاب خروجی دارای شوری ۲۰ تا ۴۰ دسی زیمنس بر متر است. نزدیک ۲۰ تا ۳۰ تن نمک از هر هکتار در هنگام آبشویی به محیط‌زیست وارد می‌شود.

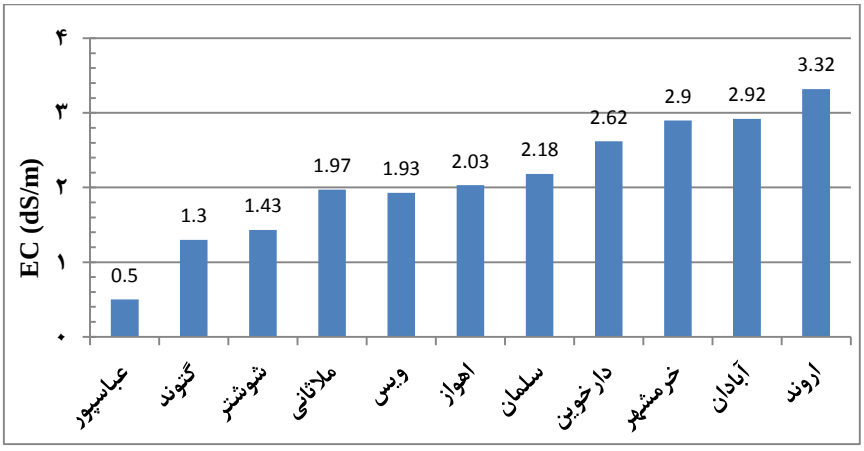
۶-۳- نمونه‌هایی از آلودگی‌ها در دز و کارون

- رودخانه دز در محدوده جنوب غربی دزفول و در یک مسافت ۵۵ کیلومتری با پذیرش آب انتقال یافته از ۷ زهکش بزرگ موجود، بیشترین بار آلودگی کشاورزی در حوضه آبریز دز-کارون را دریافت می کند و بر آب کارون و پایین دست دز اثر زیانباری دارد.
- پساب شهری با دبی ۱۰/۵ مترمکعب بر ثانیه و با EC متوسط ۳/۷ دسی زیمنس بر متر وارد رودخانه کارون می شوند. پساب شهری با BOD بالا، موجودات آبزی را از بین برده و موجب بد بو شدن کارون شده است.

- پساب صنعتی با دبی ۹/۴ مترمکعب بر ثانیه و با EC متوسط ۱۰/۸ دسی زیمنس بر متر وارد رودخانه کارون می‌شود. این پساب افزون بر اثر ناخوشایند بر موجودات آبزی، عاملی برای شورتر شدن آب و ورود احتمالی مواد سمی‌و فلزات سنگین به رودخانه‌هاست و با دمای بیشتر، موجب کاهش حلالیت اکسیژن در آب رودخانه می‌شود.

٦-٤- توزیع مکانی نمک در طول دز و کارون

آب کارون در ابتدا کیفیت مناسبی دارد. با حرکت به پایین دست کم کم کیفیت آب بد و بدتر می‌شود؛ بطوری که در اهواز بیش از ۲ و در آبادان نزدیک به ۳ دسی زیمنس بر متر می‌رسد. این ارقام مربوط به سال ۱۳۹۳ است و پس از آن نیز روند افزایش شوری ادامه داشته است (شکل ۶-۱). رقم‌های مربوط به سد گتوند و پایین دست آن مربوط به پیش از آبگیری سد است.



دانشگاه هامبولدت برلین، ۲۰۱۷

شکل ٦-١- تغییرات مکانی شوری آب کارون (۱۳۹۳)

جدول ۶-۱ ورود نمک به کارون را به نقل از گزارش‌های دانشگاه هامبولدت برلین در بازه‌های گوناگون نشان می‌دهد. این ارقام بار نمک وارد شده را تا اهواز نشان می‌دهند؛ بنابراین، در تفسیر درصدها باید به این موضوع توجه شود.

جدول ٦-١- بار نمک وارد شده به دز و کارون تا اهواز از منابع گوناگون

رودخانه و بازه	منبع آلودگی	بار نمک (تن در روز)	بار نمک (درصداز کل)	بار نمک (تن در روز)	بار نمک (درصداز کل)
دز	زهکش‌های کشاورزی	۱۳۵۳۲	۳۷/۳	۱۳۹۸۳	۳۸/۵۴
	سایر	۴۵۱	۱/۲۴		
کارون از گتوند تا شوشتر	زهکش‌های کشاورزی	۴۰۵	۱/۱۲	۷۵۹۷	۲۰/۹۴
	سایر	۷۱۹۲	۱۹/۸۲		
گرگر	زهکش‌های کشاورزی	۹۶۳	۲/۶۶	۲۲۸۶	۶/۳۰
	زهکش‌های پرورش ماهی	۱۳۱۴	۳/۶۲		
	سایر	۹	۰/۴		
شطیط	زهکش‌های کشاورزی	۱۸۸۳	۵/۲۰	۳۴۱۳	۹/۴۱
	سایر	۱۵۳۰	۴/۲۱		
کارون بند قیر تا اهواز	زهکش‌های کشاورزی	۳۸	۰/۱	۹۰۰۴	۲۴/۸۱
	سایر*	۸۹۶۶	۲۴/۷۱		
جمع		**۳٦۲۸۲**	۱۰۰/۰۰	**۳٦۲۸۲**	۱۰۰/۰۰
جمع بار نمک ناشی از زهکشی کشاورزی و پرورش ماهی		**۱۸۰۳٤**	**٤۹/۷**	**۱۸۰۳٤**	**٤۹/۷**

* دانشگاه هامبولدت برلین زهاب بسیار شور زیرزمینی که از زهکش‌ها خارج می‌شود و در اینجا به عنوان سایر بازتاب یافته است را "آب زیرزمینی" می‌نامد. در هر حال، این آبی است که از زهکش‌ها خارج می‌شود.

بطوری که دیده می‌شود ۳۸/۵ درصد نمک به رودخانه دز وارد می‌شود. منشاء ۹۷ درصد نمک در این بازه، زهکش‌های کشاورزی هستند. رودخانه کارون از گتوند تا شوشتر ۲۱ درصد نمک کل حوضه را دریافت می‌کند. در این بازه، زهکش‌های کشاورزی و پساب مزارع پرورش ماهی مسئول ۹۵ درصد نمک وارد شده به رودخانه هستند. رودخانه‌های گرگر و شطیط در مجموع مسئول نزدیک ۱۶ درصد آلودگی نمک هستند. کارون پس از بند قیر تا اهواز مسئول بقیه آلایندگی‌هاست. سد گتوند، به تنهایی مسئولیت ۱۷/۵درصد نمک افزوده شده به کارون را دارد. از کارون، پس از اهواز اطلاعاتی در دست نیست.

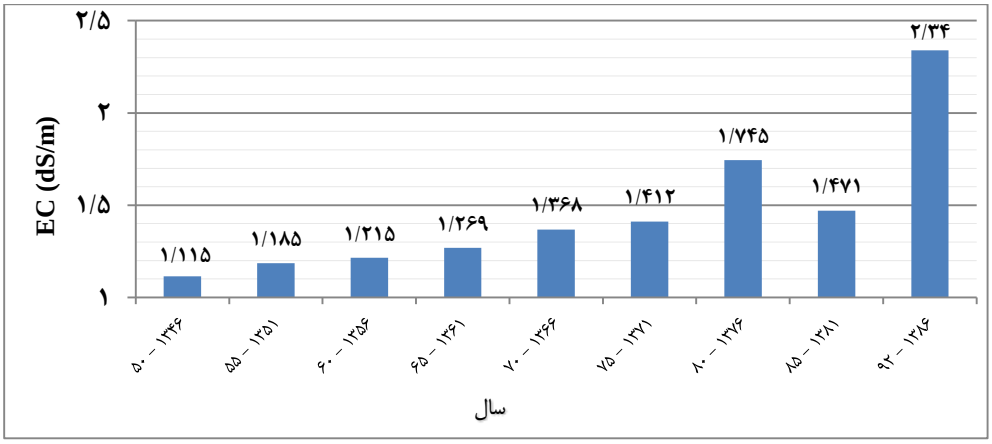
جدول ٦-۲- بار نمک رسیده به منابع پذیرنده در حوضه رودخانه دز و کارون

منبع پذیرنده زهاب	زهاب دریافتی سالانه		بار نمک سالانه	
	میلیون متر مکعب	درصد	میلیون تن	درصد
رودخانه‌های دز و شطیط	۶۹۳	۴۰/۸	۱/۸۶	۲۳/۵
هورالعظیم	۱۶۴	۹/۷	۱/۳۳	۱۶/۹
تالاب شادگان	۵۰۴	۲۹/۷	۳/۰۹	۳۹/۱
تالاب جنوب غربی اهواز	۳۳۶	۱۹/۸	۱/۶۱	۲۰/۴
جمع	**۱٦۹۷**	**۱۰۰/۰**	**۷/۹۰**	**۱۰۰/۰۰**

دانشگاه هامبولدت برلین، ۲۰۱۷

٦-۵- توزیع زمانی نمک در طول دز و کارون

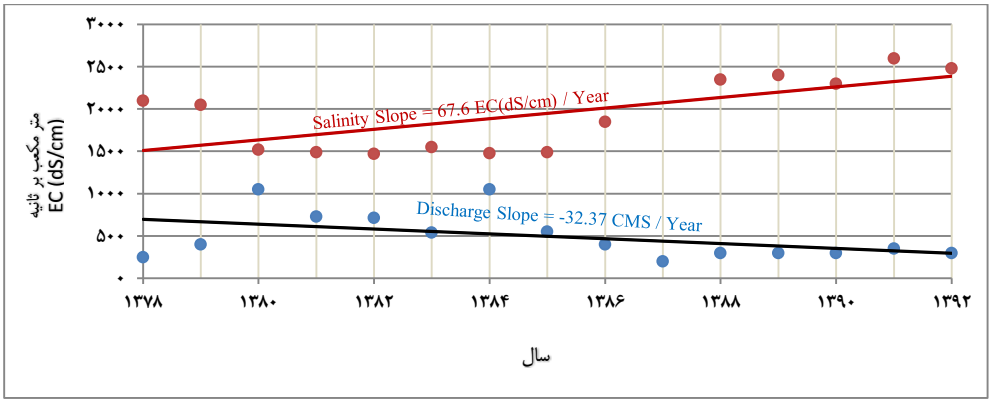
همان طور که پیش از این گفته شد، جریان آب کارون در اهواز در سال‌های اخیر کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است. این کاهش در مقادیر متوسط دیده می‌شود؛ در حالی که در مقادیر کمینه تغییری به وجود نیامده است. کاهش آورد رودخانه یکی از عوامل اصلی شور شدن آب کارون است. کاهش دبی متاثر از افزایش مصرف آب در بازه‌های بالادست، انتقال بین حوضه‌ای آب، کاهش سالانه بارندگی، تغییر الگوی زمانی بارش، افزایش دما و در نتیجه افزایش تبخیر، برداشت زیاد از آب زیرزمینی در بالادست و جایگزینی بخشی از آن با آب رودخانه و ذخیره سازی آب در مخزن سدها و تبخیر از سطح دریاچه‌هاست. به نظر می‌رسد که سهم کاهش بارش و رواناب و افزایش مصرف در بالادست از مهم ترین این عوامل هستند. از سال ۱۳۸۶ شکستی ناگهانی در آبدهی کارون پدید آمده که هنوز نیز ادامه دارد. شکل ۶-۲ متوسط هدایت الکتریکی آب رودخانه کارون بزرگ در ایستگاه اهواز در بازه‌های زمانی گوناگون را بر حسب دسی زیمنس بر متر نشان می‌دهد.



شکل ٦-۲ - متوسط هدایت الکتریکی آب رودخانه کارون بزرگ در ایستگاه اهواز

شاید بتوان گفت که تغییرات ناگهانی شوری آب از سال ۱۳۸۶ روی داده است. برای درک بهتر این تغییرات، دبی و شوری متوسط سالانه کارون در چند سال اخیر در شکل ۶-۳ نشان داده شده است. میانگین کاهش سالانه دبی در ایستگاه اهواز ۳۲/۴ مترمکعب در ثانیه و میانگین افزایش سالانه شوری در ایستگاه اهواز ۰/۰۷ دسی زیمنس بر متر است.

پیش‌بینی شده است که شوری آب کارون در اهواز در سال ۲۰۳۰ در اثر تغییر اقلیم، توسعه شهری و کشاورزی به ۴ دسی زیمنس بر متر خواهد رسید. در ۲۰ سال اخیر شوری کارون در اهواز ۶۵ درصد افزایش یافته است. به این ترتیب، به نظر می‌رسد که تغییر الگوی کشت اقدامی گریزناپذیر خواهد بود.



شکل ٦-۳- روند تغییرات دبی و شوری در ایستگاه اهواز در سال‌های اخیر

٦- ٦- نیشکر و آلایندگی شوری کارون

همان گونه که در فصل پیش گفته شد، واحدهای کشت نیشکرخوزستان، سالانه ۳/۸ میلیارد متر مکعب آب مصرف می‌کنند. زهاب تولیدی آنها ۱/۷ میلیارد متر مکعب است که در آن نزدیک ۸ میلیون تن نمک وجود دارد (گزارش دانشگاه هامبولدت برلین، ۲۰۱۷). جدول ۶-۳ این ارقام را نشان می‌دهد. به این ترتیب، از هر هکتار کشت نیشکر بطور میانگین سالانه ۶۱/۵ تن نمک دفع می‌شود و به منابع پذیرنده زهاب منتقل می گردد.

اگر هدایت الکتریکی آب کارون بطور متوسط ۲ دسی زیمنس بر متر و آب آبیاری هر هکتار نیشکر ۳۵۰۰۰ متر مکعب در سال فرض شود، مقدار نمک وارد شده توسط آب آبیاری ۴۵ تن به ازای هر هکتار خواهد بود. به عبارت دیگر، نقش شوری لایه‌های زیرین خاک در شوری زهاب به ۱۶/۵تن در هکتار برابر ۲۷ درصد محدود می‌شود.

شوری زهاب طرح‌های توسعه نیشکر جنوب اهواز در ابتدای بهره برداری (نزدیک ۲۰ سال پیش) نزدیک ۳۰ تا ۴۰ دسی زیمنس بر متر بوده است که اینک به نزدیک ۷ دسی زیمنس بر متر رسیده است.

جدول ٦- ۳- حجم آب مصرفی، زهاب تولیدی و وزن نمک وارد شده به منابع پذیرنده زهاب از مزارع نیشکر

نام شرکت	ناخالص زمین (هکتار)	آب مصرفی سالانه (میلیون متر مکعب)	زهاب سالانه (میلیون متر مکعب)	بار نمک سالانه (میلیون تن)	تخلیه‌گاه نهایی
کارون	۲۶۰۰۰	۷۰۰	۳۱۵	۰/۹۸۵	رود دز و شطیط
میاناب	۳۳۰۰	۹۵	۴۳	۰/۱۶۶	رود دز
هفت تپه	۱۲۰۰۰	۳۸۰	۱۷۱	۰/۱۷۵	رود دز
امام خمینی	۱۵۰۰۰	۳۶۴	۱۶۴	۰/۵۳۵	رود دز
دهخدا	۱۲۰۰۰	۳۶۴	۱۶۴	۱/۳۳	تالاب هورالعظیم
دعبل خزاعی	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	۰/۹۶۹	تالاب شادگان
سلمان فارسی	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	۰/۹۶۹	تالاب شادگان
فارابی	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	۱/۱۵	تالاب شادگان
میرزا کوچک خان	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	۰/۸۰۸	تالاب انسان ساخت
امیرکبیر	۱۲۰۰۰	۳۷۴	۱۶۸	۰/۸۰۸	تالاب انسان ساخت
جمع	۱۲۸۳۰۰	۳۷۷۳	۱۶۹۷	۷/۸۹۵	

دانشگاه هامبولدت برلین، ۲۰۱۷

شکل ٦-٤- نمک خارج شده از خاک

فصل هفتم
تالاب مصنوعی جنوب غربی اهواز

۷-۱- پیش‌گفتار

دو واحد کشت و صنعت نیشکر میرزاکوچک خان و امیرکبیر در جنوب اهواز و در غرب کارون قرار دارند. ناخالص زمین‌های هر یک از این دو واحد نزدیک ۱۲۰۰۰ هکتار است. عملیات اجرایی طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی در سال‌های دهه ۱۳۷۰ آغاز شد و اراضی به تدریج به زیر کشت در آمدند. کارخانه قند امیر کبیر در سال ۱۳۷۹ و میرزا کوچک خان در سال ۱۳۸۴ راه‌اندازی شد. تالاب غربی از سال ۱۳۷۰ با تخلیه مقداری از زهاب این دو واحد شکل گرفت. در دی ماه سال بعد به وسعت تالاب افزوده شد. در زمستان ۱۳۷۲ این تالاب ناپدید شد و در عوض قسمت دیگری که امروز تالاب شرقی نامیده می‌شود، نمایان گردید. در این هنگام واحدهای کشت و صنعت نیشکر هنوز اقدام به کشت وسیع نکرده بودند. این وضعیت تا نزدیک ۶ سال کم و بیش پایدار باقی ماند. در این مدت زهاب ابتدا به رود کارون و سپس به تالاب شادگان تخلیه می‌شد.

پس از آن با عنایت به مشکلاتی که در راه تخلیه، به کارون و تالاب شادگان بوجود آمد، زهاب به پستی و بلندی‌های غرب واحدهای نیشکر تخلیه شد و کم کم دو تالاب شرقی و غربی شکل واقعی به خودگرفت. در ۱۳۸۳ با توسعه واحدهای پرورش ماهی، پساب آنها نیز به تالاب ریخته شد. پس از آن نیز به شرحی که خواهد آمد، سطح تالاب بطور پیوسته افزایش یافته است. شکل ۷-۱ موقعیت دو واحد کشت و صنعت و تالاب یاد شده را نشان می‌دهد.

شکل ۷-۱- موقعیت واحدهای کشت و صنعت و تالاب جنوب غربی خوزستان

۷-۲- ویژگی‌های کلی امروز تالاب

مساحت تالاب نزدیک ۴۰ هزار هکتار است. حجم آب درون آنها نزدیک ۳۵۰ میلیون متر مکعب برآورد شده است. آب تالاب لب شور (۷ تا ۶ = EC) تا فراشور(۱۲۰ dS/m تا ۱۰۰ =EC) است. سازمان آب و برق خوزستان اعتقاد دارد که تالاب از مواد سمی‌و فلزات سنگین تهی است و از این نظر مشکلی وجود ندارد.

به این ترتیب در جنوب اهواز زیست‌بومی‌تازه شکل گرفته است که از سویی می‌توان به آن به عنوان فرصتی برای انواع توسعه نگریست و کشت گیاهان قابل تحمل شوری و انواع آبزیان را از نظر گذراند. از سوی دیگر، با انباشت این حجم بزرگ آب، خطری شهر خرمشهر و روستاهای آن را تهدید می کند. حذف تالاب هم مشکلات خود را دارد. تبدیل سطح تالاب به کانون مهمی‌از ریزگرد

شور و تخلیه مناسب آن از مشکلات عمده این کار هستند. با خشک شدن و یا کم آب شدن تالاب‌های جنوب کشور، نگه داری معقول این تالاب اقدامی‌مفید به نظر می رسد.

۷-۳- منابع آب تالاب

امروز دیگر واحدهای نیشکری تنها مسئول گسترش تالاب‌های جنوب غربی اهواز نیستند، بلکه تالاب‌ها پذیرنده زهاب و پساب منابع زیرند:

- دو واحد نیشکر به مساحت نزدیک ۲۴۰۰۰ هکتار (نا خالص) به همراه مزارع سنتی مجاور؛
- مزارع پرورش ماهی به مساحت نزدیک ۳۰۰۰ هکتار؛
- کشت و صنعت ۲۵۰۰ هکتاری خرمشهر، و
- منطقه آزاد تجاری اروند.

علاوه بر اینها، بارش نیز یکی دیگر از عوامل تغذیه‌کننده تالاب به شمار می‌رود. بارش سالانه ایستگاه آبادان نزدیک ۱۵۰ میلی‌متر است. همان طور که در جدول ۵-۲ گفته شد، زهاب سالانه دو واحد میرزاکوچک خان و امیرکبیر ۳۳۶ میلیون متر مکعب است.

شکل ۷-۲- ایستگاه پمپاژ زهاب دو واحد نیشکر امیرکبیر و میرزا کوچک خان
(ظرفیت نزدیک ۲۰ متر مکعب در ثانیه)

مزارع پرورش ماهی، آب خود را از کارون می‌گیرند و پساب خود را در تالاب تخلیه می‌کنند. آب مصرفی هر هکتار پرورش ماهی به ۷۵۰۰۰ متر مکعب در فصل رشد می‌رسد. به این ترتیب، هرگاه مساحت مزارع پرورش ماهی‌ای که پساب خود را به این تالاب تخلیه می‌کنند ۳۰۰۰ هکتار فرض شود (این رقم رو به افزایش است)، آب لازم برای مزارع پرورش ماهی نزدیک ۲۲۵ میلیون متر مکعب برای هر دوره رشد است. اگر تبخیر از سطح آزاد آب در این مدت ۲۰۰۰ میلی‌متر فرض شود، مقدار تبخیر ۶۰ میلیون متر مکعب خواهد بود و باقی‌مانده آب یعنی ۱۶۵ میلیون متر مکعب بطور مستقیم، یا مقدار کمی‌از آن از طریق زیرزمینی، به تالاب ریخته می‌شود.

کشت و صنعت خرمشهر ۲۵۰۰ هکتار وسعت دارد و هنوز به بهره برداری نرسیده و مرحله آبشویی خود را می‌گذراند. از این رو، کیفیت زهاب وارد شده از آن به تالاب بسیار نامطلوب است. بطور معمول برای آبشویی در اراضی خوزستان ۱۵۰۰ میلی‌متر آب کفایت می‌کند. اگر آبشویی در یک سال انجام شود، آب مصرفی ۳۷/۵ میلیون متر مکعب خواهد بود. به این ترتیب، بدون در نظر گرفتن منطقه آزاد تجاری اروند، زهاب وارد شده به تالاب از زهکش‌ها، مزارع پرورش ماهی و کشت و صنعت ۲۵۰۰ هکتاری به ۵۳۸/۵ میلیون متر مکعب می‌رسد. جدول ۷-۱ نشان می‌دهد که ۶۲ درصد زهاب از دو واحد کشت و صنعت نیشکر سرچشمه می‌گیرد. مزارع پرورش ماهی نیز با ۳۱ درصد، سهم بالایی در انباشتگی آب در تالاب دارند.

جدول ۷-۱- سهم منابع تغذیه‌کننده تالاب

منبع	زهاب (میلیون متر مکعب)	زهاب (درصد)
زهاب واحدهای میرزاکوچک خان و امیرکبیر	۳۳۶	۶۲/۴
مزارع پرورش ماهی	۱۶۵	۳۰/۶
کشت و صنعت ۲۵۰۰ هکتاری خرمشهر	۳۷/۵	۷/۰
جمع (بدون در نظر گرفتن سهم باران)	**۵۳۸/۵**	**۱۰۰/۰**

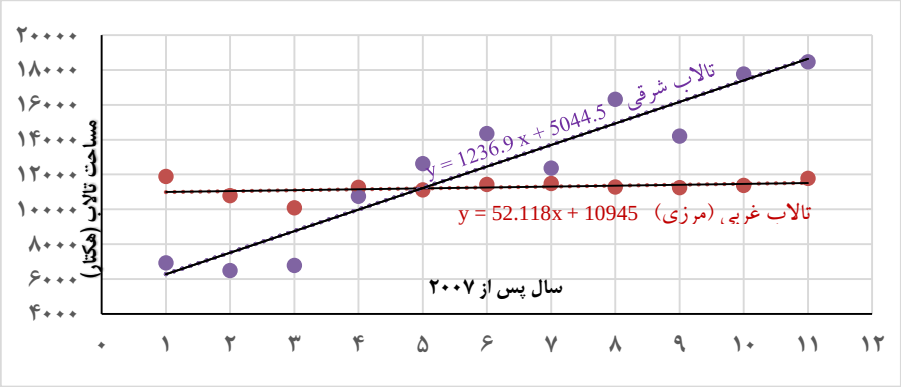
پس از اتمام آبشویی زمین‌های کشت و صنعت ۲۵۰۰ هکتاری خرمشهر، با فرض دبی ویژه آبیاری برابر ۱/۱ لیتر در ثانیه در هکتار و فرض این که زهاب، ۵۰ درصد حجم آب آبیاری باشد و تراکم کشت ۱۳۰ درصد و دوره رشد ۶ ماه فرض شود، زهاب وارد شده از این منبع ۵۵/۶ میلیون متر مکعب خواهد بود. بنابراین مقدار زهاب سالانه نسبت به مرحله آبشویی ۱۸/۱ میلیون متر مکعب افزایش خواهد یافت ولی با گذشت زمان کیفیت آن بهتر خواهد شد.

در حال حاضر، تبخیر تنها منبع خروج آب است. تبخیر سالانه از تشت در ایستگاه بوزی شادگان، نزدیک ترین ایستگاه به تالاب، ۳۱۵۲ میلی‌متر است. چنانچه ضرایب مربوط به شوری آب و مساحت تالاب منظور شود، تبخیر از سطح آزاد آب تالاب به ۱۹۵۴ میلی‌متر برابر ۱۹۵۴۰ متر مکعب در هکتار خواهد رسید.

۷-٤- مساحت تالاب

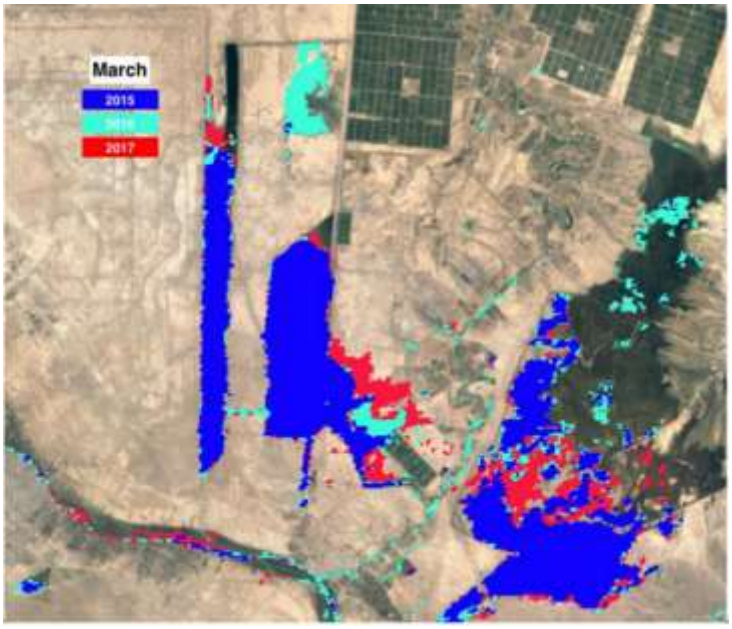
با عنایت به آنچه گفته شد، می‌توان تشکیل تالاب را به اواخر دهه ۷۰ خورشیدی نسبت داد. از آن پس، سطح تالاب در حال افزایش بوده و هم اکنون نیز در حال گسترش است. چنانچه نفوذ از کف و نشت پایین به بالای آب از کف نادیده یا برابر گرفته شوند، سطح تالاب تا جایی گسترش خواهد یافت که تبخیر خالص (تبخیر منهای بارش) از آن برابر مجموع ورودی‌های آن (۵۳۸/۵ میلیون متر مکعب در سال) گردد؛ مگر این که خروجی دیگری برای تالاب ساخته شود. ساخت یک خروجی برای تالاب اجتناب ناپذیر است تا بتوان شوری آن را دراندازه دلخواه نگه داشت.

بطوری که دیده می‌شود، سطح تالاب غربی، به علت محصور بودن تقریبی، در حدود ۱۱۰۰۰ هکتار کم و بیش ثابت مانده است. لیکن تالاب شرقی همواره در حال گسترش بوده است (بطور متوسط، سالانه ۱۰۵۰ هکتار) و این وضعیت همچنان ادامه دارد.



شکل ۷-۳- روند افزایش سطح تالاب در سال‌های گذشته

برای این که تغییرات سطح تالاب در سه سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ به خوبی نمایان شود، دانشگاه هامبولدت برلین سه تصویر از ماه مارس سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ تالاب را مطابق شکل ۷-۴ بر روی هم قرار داده تا محل افزایش گستره تالاب را نشان دهد.



دانشگاه هامبولدت برلین، ۲۰۱۷

شکل ۷-٤- تغییرات مکانی افزایش سطح تالاب در سه سال پیاپی

بطوری که دیده می‌شود، تغییرات سطح در تالاب غربی ناچیز بوده است. لیکن در تالاب شرقی، در سال ۲۰۱۶ رخنه آب در اراضی غرب واحدهای نیشکر، حاشیه مزارع پرورش ماهی و به صورت پراکنده در قسمت‌هایی از تالاب شادگان دیده می‌شود. در ۲۰۱۷ پساب مزارع پرورش ماهی زمین‌های پیرامون خود را به تالاب تبدیل کرده و به سطح تالاب شادگان نیز افزوده شده است.

۷-۵- سطح دلخواه تالاب

سطح متعادل تالاب که در آن ورودی‌ها برابر خروجی‌ها باشند را نمی‌توان به درستی محاسبه کرد مگر این که محاسبات بطور ماهانه انجام شود و داده‌های آن قابل دسترسی باشد. اگر تالاب به همین ترتیب حفظ شود، با گسترش آن، بالاخره روزی خواهد رسید که از آن پس تبخیر از سطح تالاب می‌تواند با ورودی‌ها برابر شود و سطح تالاب تنها نوسان ماهانه‌ای داشته باشد و بتوان آن را متعادل دانست. لیکن تالاب بدون داشتن خروجی بی‌تردید شورتر خواهد شد. مقدار آب خروجی و کیفیت آب باقی‌مانده در تالاب و سطح تالاب عواملی هستند بهم پیوسته و در نهایت بایدگزینه‌های گوناگونی را بررسی و با صاحب نظران، انتخاب دلخواه را انجام داد.

منحنی توپوگرافی کف تالاب وجود ندارد. بنابراین نمی‌توان به درستی سطح دلخواه تالاب را مشخص کرد. در این راستا با فرض شیب ۰/۰۰۰۳ برای پیرامون تالاب محاسباتی انجام شده است که هر چند نمی‌تواند دقیق باشد، لیکن می‌تواند نشان دهد که با انتقال حجم معینی از آب در واحد زمان، سطح تالاب در چه حدودی نوسان خواهد داشت. جدول ۷-۲ نتیجه محاسبات را با فرض‌هایی که گفته شد و نیز با فرض این که تغذیه تالاب بیش از این افزایش نیابد نشان می‌دهد.

جدول ۷-۲- تغییرات مساحت تالاب با مقادیر گوناگون تخلیه

دبی تخلیه (متر مکعب بر ثانیه)	۰	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰
کمینه (هکتار)	۲۹۴۵۶	۲۸۳۴۱	۲۲۷۶۳	۱۵۶۷۳	۷۹۳۶	۱۱۱۹
میانگین (هکتار)	۳۷۲۶۸	۳۵۸۰۲	۲۹۲۱۳	۲۱۴۵۷	۱۳۶۷۱	۷۳۳۴
بیشینه (هکتار)	۴۵۶۶۷	۴۳۹۸۰	۳۶۴۲۶	۳۱۵۶۲	۳۱۴۸۴	۳۱۴۸۴

چنانچه هیچ تخلیه‌ای انجام نشود، با افزایش سطح تالاب و رسیدن آن به میانگین سالانه **۳۷۲۶۸**هکتار (با بیشینه **۴۵۶۶۷** و کمینه **۲۹۴۵۶** هکتار) خروجی یعنی تبخیر برابر ورودی‌ها خواهد بود. در این حالت کیفیت آب تالاب رو به تخریب خواهد رفت.

چنانچه تخلیه‌ای دائمی‌برابر ۲۰ متر مکعب در ثانیه انجام شود، سطح تالاب به میانگین سالانه **۷۳۳۴**هکتار (با بیشینه **۳۱۴۸۴** و کمینه ۱۱۱۹ هکتار) خواهد رسید. در این شرایط نیز، خروجی‌ها یعنی مجموع تبخیر و تخلیه برابر ورودی‌ها خواهند بود.

این که سطح تالاب در چه‌اندازه‌ای تثبیت شود، بستگی به نظر اجماع ذینفعان و از جمله سازمان حفاظت محیط‌زیست دارد.

از آنجا که کیفیت آب اجازه تخلیه آن را به کارون نمی‌دهد، مقدار آب مورد نظر باید پس از گذر از سیفونی که کارون را قطع کند، به یکی از خورهای منطقه تخلیه شود تا از آن طریق خود را به دریا برساند. شوری آب تالاب در انتها به‌اندازه‌ای زیاد است که تخلیه مستقیم آن به دریا نیز با محدودیت روبروست.

۷- ٦- راه حل‌های احتمالی

به نظر می‌رسد برای بهبود وضع در منطقه باید اقداماتی در دو سطح انجام گیرد. در سطح مزرعه و در سطح تالاب. نگرش کلی بیش از آن که در جهت مدیریت زهاب تولیدی باشد، باید در راستای کاهش حجم زهاب با مدیریت از مبدا باشد. کارهایی که باید در سطح مزرعه انجام گیرد، بیشتر

شناخته شده هستند. کاهش آب مصرفی در کشت و صنعت‌های نیشکری، مزارع سنتی و مزارع پرورش ماهی، اصلاح الگوی کشت، استفاده از اهرم‌های مالی تشویقی (و تنبیهی) برای منطقی کردن مصرف آب، داشتن برنامه زمانی مدیریت شده برای آبشویی زمین‌هایی که برای کشت آماده می‌شوند، استفاده از روش زهکشی کنترل شده به منظور کاهش حجم و بهبود کیفیت زهاب پس از اجرا و پایش عملکرد آن از جمله اقداماتی هستند که باید در سطح مزرعه تحقق یابند.

برای آینده تالاب نیز باید برنامه‌ای داشت. امروز بیشتر صاحب نظران معتقدندکه تالاب باید حفظ شود. همان گونه که گفته شد، اینک آب تخلیه شده به تالاب هدایت الکتریکی ۶ تا ۸ دسی زیمنس بر متر دارد. به منظور مدیریت و کاهش حجم زهاب، با چنین آبی می‌توان برخی محصولات زراعی مقاوم به شوری را پرورش داد. پژوهش‌هایی در این زمینه آغاز شده است. افزون بر گیاهان، شاید بتوان آبزیانی مانند ماهی، میگو، جلبک و آرتمیا را نیز پرورش داد.

۷- ٦-۱- اقدامات درون مزرعه

همان گونه که گفته شد، نگرش دست‌اندرکاران به مدیریت زهاب باید در آینده تغییر کند؛ بطوری که زهاب از ابتدا و در مبدا کاهش یابد. در درازمدت، باید آبیاری دقیق با راندمان بالا و تنها به مقداری انجام شود که افزون بر تامین نیاز آبی گیاه، به کنترل نمک‌ها محدود شود. مدیریت تحویل آب (تحویل بر پایه نیاز آبی) نیز در جهت ساماندهی به شرائط موجود اهمیت دارد.

حجم بالای زهاب تولیدی که در فرآیند استفاده بی رویه از آب تولید می‌شود، در واقع آبِ با کیفیتی بوده است که در فرآیند عبور از درون خاک شور شده و از قابلیت استفاده مجدد آن کاسته شده است. از این رو، گزینه‌های مدیریتی مانند زهکشی کنترل شده در برابر گزینه دفع زهاب به تالاب باید در اولویت قرار گیرد.

۷- ٦- ۱- ۱- کاهش آب مصرفی در کشت و صنعت‌های نیشکری، مزارع سنتی و مزارع پرورش ماهی

"بیش آبیاری" در همه فعالیت‌های کشاورزی رایج است. کم و بیش همه کارشناسان دست‌اندرکار اعتقاد دارند که صرفه جویی در مصرف آب وجود ندارد. راندمان پایین آبیاری گواه بسیارخوبی بر این مدعاست. آب مصرفی سالانه یک هکتار نیشکر بین ۳۵ تا ۴۰ هزار متر مکعب است. راندمان آبیاری پایین است. زارعین سنتی نیز عملکرد بهتری ندارند. به این ترتیب باید انتظار داشت که مقدار زیادی آب از زهکش‌ها خارج شود. مشاهدات نیز این سخن را بخوبی تایید می‌کند.

آب مصرفی سالانه یک هکتار پرورش ماهی در چنین شرایطی نزدیک ۷۵ هزار مترمکعب در هکتار است. بالا بودن مقدار آب مصرفی در مزارع پرورش ماهی به این علت است که در هوای گرم خوزستان، دمای آب استخرها بالا می‌رود و اکسیژن محلول آن کاهش می‌یابد. ساده ترین راه برای بهره برداران، وارد کردن آب تازه رودخانه به استخرهاست. این کار، مقدار زیادی پساب آلوده را به منبع پذیرنده زهاب وارد می‌کند. افزون بر این، نیتروژن و فسفر موجود در استخرها نیز به هدر می‌رود. استخرهای پرورش ماهی، همه آب برداشتی خود، بجز مقدار تبخیر شده را دفع می‌کنند. به این ترتیب، پساب این مزارع از زهاب مزارع نیشکر نیز بیشتر است. کاهش تخصیص آب به بخش کشاورزی می‌تواند کمک بسزایی در کاهش حجم زهاب و بهبود کیفیت آن باشد.

پرورش آبزیان باید با استفاده از زهاب تولیدی واحدهای نیشکر به جای آب کارون و یا مخلوطی از آب کارون و تالاب انجام شود. هم اکنون نزدیک ۱۲۰۰۰ هکتار مزرعه پرورش ماهی اطراف رودخانه گرگر پساب خود را به آن باز می‌گردانند. نزدیک ۳۰۰۰ هکتار دیگر از این مزارع در جنوب غربی اهواز نیز پساب خود را به تالاب می‌ریزند. این مساحت در حال افزایش است. پایین بودن قیمت آب، و نبودکنترل کافی، بهره برداران مزارع پرورش ماهی را به جای استفاده از هوا دهنده‌ها به منظور سرد کردن آب و اکسیژن رسانی، به سمت استفاده بیشتر از آب سوق می‌دهد. این مقدار بسیار بالاست و با شرایط امروزی آب، قابل تحمل نیست. کنترل بر مقدار آب مصرفی باید تشدید شود و همان گونه

که گفته شد، به جای آب کارون، از زهاب تولیدی واحدهای نیشکر و یا مخلوطی از آب کارون و تالاب برای پرورش ماهی استفاده شود. افزون بر این، استفاده از هوارسان نیز باید ترویج شود. پرورش ماهی با استفاده از آب درون سرزمینی در منطقه‌ای که فاصله‌ای کمتر از ۵۰ کیلومتر تا دریا دارد، قابل بررسی و بازنگری است. همچنین به نظر می‌رسد که بجاست از دادن پروانه بهره برداری از آب کارون برای پرورش ماهی جدید و گیاهان پرمصرف پرهیز شود.

۷- ٦- ۱- ۲ - اصلاح الگوی کشت

الگوی کشت به معنای ترکیب و تراکم کشت در سطحی به نسبت گسترده است. بی‌تردید الگوی کشت یکی از مهم ترین عوامل موثر بر مقدار آب مصرفی گیاهان است. در خوزستان یک هکتار چغندرقند نزدیک ۱۲ هزار متر مکعب در هکتار آب مصرف می کند که نزدیک به یک سوم آب مصرفی سالانه یک هکتار نیشکر و نزدیک یک پنجم آب مصرفی سالانه یک هکتار پرورش ماهی است.

برای بهبود این وضع، ممکن است گفته شود که چغندرقند باید جایگزین نیشکر شود؛ لیکن تعدادی کارخانه‌های کاغذسازی، تولید الکل، خمیرمایه، نئوپان و... بر پایه مواد اولیه ناشی از وجود نیشکر کار می کنند. تغییر کشت از نیشکر به چغندر قند، می تواند برخی از این کارخانه‌ها را از انتفاع بیندازد و صدها کارگر را بی کار کند؛ هر چند که نباید از نظر دور داشت که بخش‌هایی از کارخانه‌های قند نیشکر می توانند با تغییراتی به فرآوری چغندرقند نیز تبدیل شوند. از سوی دیگر، فرآوری چغندرقند نیز به کارخانه‌ها و سرمایه‌گذاری‌های دیگری نیاز دارد. از این رو چنانچه در نظر باشد که چنین تغییری انجام شود، باید پی‌آمدهای همه جانبه آن نیز مورد توجه قرار گیرد.

در هر حال، نیاز به تغییر الگوی کشت که اساس کاهش مصرف آب است، اینک بیش از هر زمان دیگری احساس می‌شود. در این راستا، گیاهانی هستند که احتمالا می توانند بطور مستقیم از زهاب

با هدایت الکتریکی ۶ تا ۸ دسی زیمنس بر متر استفاده کنند. تعدادی از گیاهانی که ممکن است بتوانند در چنین شرایطی کشت شوند در جدول ۷-۳ نشان داده شده‌اند.

جدول ۷-۳-گیاهان پیشنهادی جهت کشت با زهاب

نام گیاه		نوع	کاربرد
برنج متحمل شوری پنبه متحمل شوری کنف کینوا کنجد ...		گیاهان زراعی	خوراک و الیاف
اکالیپتوس کوناکارپوس سیدلیتزیا سالیکورنیا	(Conocarpus) (Seidlitzia) (Salicornia)	درخت و درختچه	صنعتی، دارویی و روغنی
نی لکتولوآ جانکوس	(Phragmatis) (Leptochloa) (Jancus)	علفی	منابع طبیعی
ماهی میگو جلبک آرتمیا		**آبزیان**	خوراکی، دارویی و خوراک دام

۷- ٦- ۱- ۳- منطقی کردن مصرف آب

موضوعی که در بیشتر مواقع نادیده گرفته می‌شود این است که سند ملی آب بر پایه شرایط بهینه، که گیاه عملکردی نزدیک به پتانسیل عملکرد دارد تدوین شده است؛ در حالی که عملکردها در

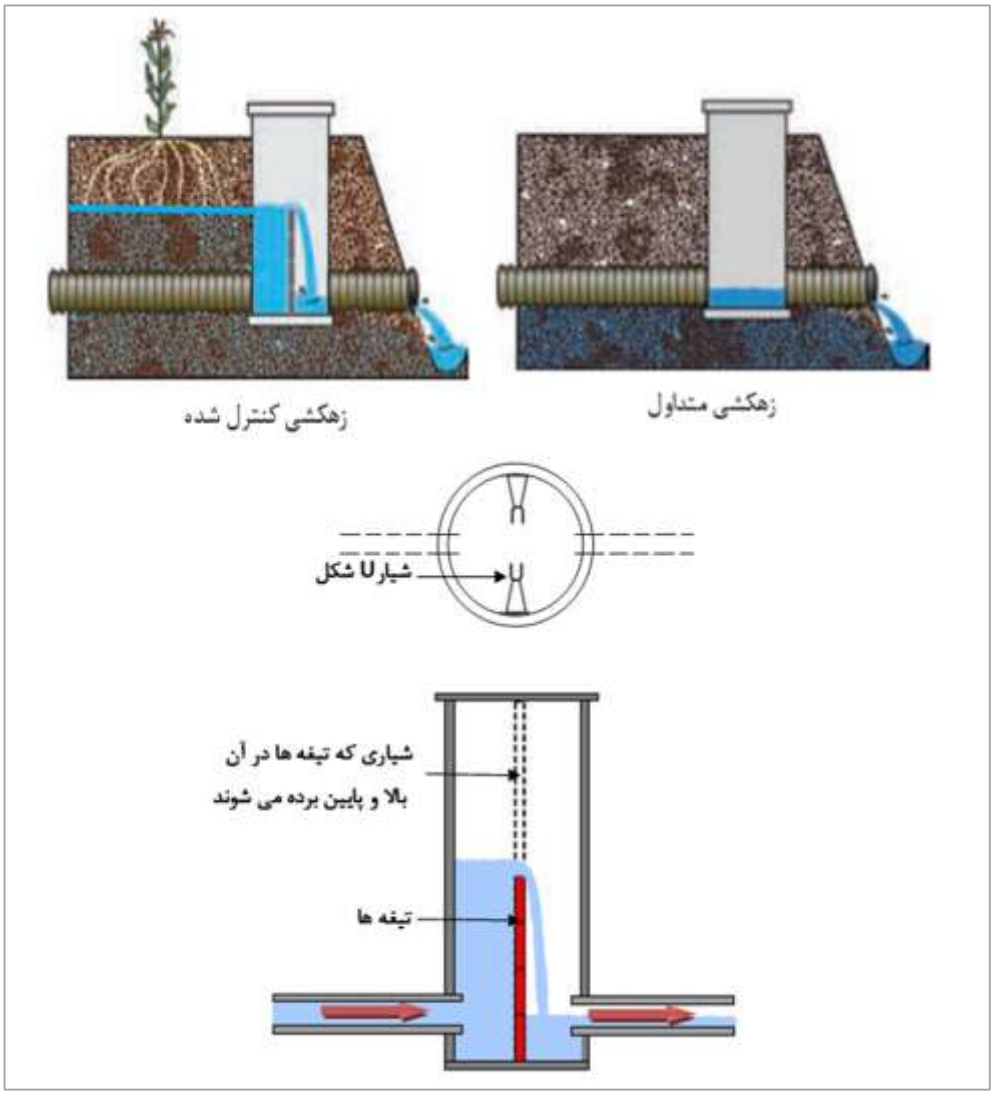
کشور با عملکرد پتانسیل فاصله زیادی دارند. به این ترتیب باید گفت در حالی که عملکردهای ما از توان تولید گیاه در شرایط بهینه کمتر است، سند ملی برآوردی بیش ازاندازه لازم ارائه می کند. مصرف کنندگان، بی توجه به این واقعیت، در بیشتر مواقع، آب بیشتری را درخواست می کنند و به باور نادرست خود دامن می زنند که "آب بیشتر، محصول بیشتر".

در خوزستان هنوز توسعه اراضی نو کاشت یا نو بنیاد در حال انجام است. هم اینک ۲۵۰۰ هکتار از زمین‌های کشت و صنعت شمال خرمشهر در حال آبشویی است. زمین‌های دیگری با سطح گسترده توسط موسسه جهاد نصر به مرحله آبشویی خواهند رسید. پی‌آمد دفع هم زمان نمک از سطح گسترده‌ای از این اراضی، می‌تواند برای محیط‌زیست منابع پذیرنده زهاب خطرناک باشد. از این رو لازم است که برای آبشویی برنامه معینی داشت تا بتوان خطرات محیط‌زیستی را کمینه کرد.

۷- ٦- ۱- ٤ - استفاده از روش زهکشی کنترل شده به منظور کاهش حجم و بهبود کیفیت زهاب

زهکشی کنترل شده در حقیقت به معنی مدیریت سطح ایستابی است. در شکل ۷-۴ زهکشی متداول و کنترل شده مقایسه شده‌اند.

در زهکشی کنترل شده، سطح آب درون خاک به وسیله تیغه‌ای کنترل می‌شود. به وسیله زهکشی کنترل شده بخشی از آبی که در زهکشی متداول از زهکش خارج می‌شود، در خاک می‌ماند و گیاه از آن استفاده می کند (تانجی و کیلن، ۲۰۰۲). به عبارت دیگر، تهدید حجم زیاد زهاب تبدیل به فرصت استفاده بهتر و کاراتر از آب می‌شود. افزون بر این، با زهکشی کنترل شده نزدیک ۵۰ درصد نیتروژن و ۶۰ درصد فسفر کمتری به محیط‌زیست وارد می‌شود. همچنین مقدار تولید محصولات نزدیک ۱۰ درصد افزایش یافته و نزدیک ۲۰ درصد از آب مصرفی صرفه جویی می‌شود. نتایج یک پژوهش در اراضی نیشکر خوزستان نشان داد که استفاده از زهکشی کنترل شده با کاهشی حدود ۵۰ درصد در حجم زهاب همراه بوده است.



شکل ۷-۵- زهکشی کنترل شده

فواید زهکشی کنترل شده را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- افزایش کارآیی مصرف آب و کاسته شدن از حجم زهاب تولیدی؛
- افزایش بهره وری آب؛

- هدر رفت کمتر فسفر و نیتروژن؛
- کاهش آسیب به محیط‌زیست؛
- افزایش حاصلخیزی خاک؛
- کاهش هزینه‌ها؛
- حفظ تالاب‌ها و مناطق آبی حساس؛
- توسعه پایدار سامانه‌های آبیاری و زهکشی؛ و
- افزایش تعادل آبی در مناطق دچار کمبود آب.

چنانچه زهکشی کنترل شده در این مزارع موفقیت آمیز باشد، مقدار زیادی آب صرفه جویی می‌شود و کیفیت زهاب بهبود می‌یابد و می‌تواند از دیدگاه کمی‌و کیفی بر پهنه پذیرنده زهاب تاثیر بگذارد.

۷- ٦- ۱- ٥- پایش عملکرد و بهبود مستمر

اصلاح روش‌ها نیازمند پایش منظم و دائمی‌عملکردهاست. بیشتر صاحب نظران معتقدند که در خوزستان، همانند بسیاری از نقاط دیگر پرآب کشور، "بیش آبیاری" رواج دارد. افزون بر این، همان طور که گفته شد، سند ملی آب، که به عنوان مبنایی برای برآورد آب مصرفی و پایه‌ای برای حل اختلافات به شمار می‌آید، نیاز آبی گیاه را برای شرایط دستیابی به عملکرد بیشینه برآورد می‌کند. در حالی که کشاورزان ما در عمل با عملکرد بیشینه فاصله زیادی دارند، نباید به‌اندازه‌ای که سند ملی آب می‌گوید، از آب استفاده کنند. از این رو، باید تحویل آب بر پایه آب مورد نیاز کشت مدیریت شود. بدیهی است موضوع کاهش نیاز آبی بر پایه کاهش عملکرد باید ابتدا در بین متخصصین و سپس در میان کشاورزان مورد بحث و پذیرش قرار گیرد.

در شرایط کنونی، کاستن از مقدار آب تحویلی به مزارع کشاورزی و پرورش ماهی، همراه با پایش آن باید در دستور کار جدی باشد. افزون بر این، پایش کیفیت آب در تالاب، در مزارع نیشکر و

واحدهای پرورش ماهی جهت بررسی شوری آب، بقایای سموم و عناصر غذایی موجود در زهاب‌ها و مزارع پرورش ماهی نیازی مبرم به شمار می‌رود.

۷-۷- راهبردهایی برای آینده تالاب

موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی راهبردهایی را برای بهبود تالاب پیشنهاد کرده است که نکات مهم آن در زیر می‌آید. برای هر یک از راهبردها، چند راهکار نیز ارائه شده است که در اینجا برای خلاصه ماندن مطالب، از بیان آنها خودداری می‌شود.

- تالاب‌ها را امروز باید به چشم فرصت نگریست. در عین حال، می‌توانند تهدیدهایی را برای شهر خرمشهر و روستاهای آن نیز در پی داشته باشند. از این رو، از سویی باید برای حفظ آنها کوشید و از سوی دیگر، تهدیدهای آن را با اقدامات مهندسی تا رسیدن به حد قابل قبول کاهش داد.
- در باره وسعت مناسب تالاب باید مطالعاتی انجام شود. مطالعه بسیار مقدماتی نشان می‌دهد چنانچه هیچ تخلیه‌ای انجام نشود و تغییراتی نیز در تغذیه صورت نگیرد، با افزایش سطح تالاب و رسیدن آن به نزدیک ۴۶۰۰۰ هکتار، تعادل نسبی بین تغذیه و تخلیه (تبخیر) برقرار می‌شود. در این حالت کیفیت آب تالاب رو به تخریب خواهد رفت. از سوی دیگر، چنانچه تخلیه‌ای دائمی‌برابر ۲۰ متر مکعب در ثانیه انجام شود، میانگین سطح تالاب به نزدیک ۷۵۰۰ هکتار می‌رسد ولی با چنین تخلیه‌ای سطح تالاب در ماه‌های گوناگون بین ۳۱۵۰۰ و ۱۲۰۰هکتار در نوسان خواهد بود. این که سطح تالاب در چه‌اندازه‌ای تثبیت شود، بستگی به نظر اجماع ذینفعان و از جمله سازمان حفاظت محیط‌زیست دارد.
- در مناطق گرم و خشک، هر پهنه آبی‌ای که خروجی آبی نداشته باشد، محکوم به شوری است. هم اکنون تالاب نیز چنین وضعی دارد. بنابراین، ایجاد یک خروجی برای تالاب اجتناب ناپذیر است. در مطالعات گذشته محل تخلیه پیشنهادی، خلیج فارس و یا یکی از

خورهای منتهی به آن بوده است. تخلیه به این نقاط نیز باید با اختلاط آب به نحوی مدیریت شود که مشکلات محیط‌زیستی به کمترین مقدار برسد.

- زهابی با شوری ۶ تا ۸ دسی زیمنس بر متر که در بسیاری از نقاط ایران به عنوان آب ارزشمندِ آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید به عنوان منبعی ارزشمند نگریسته شود.
- آب بطور کلی هنگامی‌که به پایین دست می‌رود، شورتر می‌شود؛ هر چند که این تغییرات از روند مشخصی پیروی نمی‌کند. در جنوبی ترین بخش تالاب شوری ۱۲۲ دسی زیمنس بر متر نیز ثبت شده است. هر جا که شوری آب از ۹ دسی زیمنس بر متر بیشتر نیست، نی که افراد محلی به آن لویی می‌گویند (Phragmatis australis) دیده می‌شود. این گیاه به پالایش تالاب کمک می‌کند. به نظر می‌رسد که باید در فکر بهره برداری اقتصادی از آن بود.

فصل هشتم
تالاب شادگان

۸-۱- پیش‌گفتار

تالاب بین‌المللی شادگان بزرگ‌ترین تالاب ایران به گستره نزدیک ۵۰۰ هزار هکتار و پایانه رودخانه جراحی به شمار می‌رود که از سوی دیگر به خلیج فارس پیوسته است. مساحت حوضه آبریز جراحی ۲/۴ میلیون هکتار است. این تالاب در گذشته گسترش بیشتری داشته و تا هورالعظیم، در این و آن سوی مرز ایران و عراق، ادامه داشته است.

تالاب شادگان، یکی از مهم ترین تالاب‌های معاهده رامسر، از یک تالاب آب شیرین (۲۲/۴ درصد)، یک پهنه هموار جزر و مدی (۴۱/۳ درصد)، خلیج خورموسی و جزایر کنار ساحلی آن (۲۱/۶ درصد) و اراضی کم و بیش ناهموار و تپه ماهوری بدون پوشش گیاهی (۱۴/۷ درصد) تشکیل شده است (مهندسین مشاور پندام، ۱۳۸۱). شکل ۸-۱ موقعیت تالاب را نشان می‌دهد. در پیرامون تالاب ۷ منطقه حفاظت شده میانگران، کورابی، دیمه، دز، کرخه، میش داغ و هورالعظیم و یک پناهگاه حیات وحش، که خود جزئی از تالاب نیز به حساب می‌آید، وجود دارد. این موضوع اهمیت منطقه را از دیدگاه محیط‌زیست نشان می‌دهد.

در سالهای اخیر، رژیم آبی تالاب دستخوش تغییرات مهمی‌شده است. ذخیره سازی و برداشت آب بیشتر، با بهره برداری از سدهای مخزنی مارون در بهبهان وجره در رامهرمز، اجرای طرح‌های توسعه کشاورزی بر بالادست و نیز ورود زهاب واحدهای نیشکر، عامل اصلی این تغییرات بوده است. به این موارد باید تخلیه پساب مزارع پرورش ماهی و فولاد خوزستان و نیز عبور لوله‌های نفتی، ورود خواسته یا ناخواسته بخشی از فاضلاب اهواز و شادگان و پساب واحدهای پتروشیمی‌و تخلیه زباله‌های شهری را نیز افزود. این تالاب منحصر به‌فرد در سال ۱۳۵۳ به عنوان تالاب بین‌المللی عضو معاهده

رامسر شناخته شد و متاسفانه در سال ۱۳۷۲ وارد فهرست قرمز تالاب‌های بین‌المللی (لیست مونترو[1]) شده و همچنان در این فهرست قرار دارد.

مهندسین مشاور یکم (۱۳۹۷)

شکل ۸-۱ - موقعیت تالاب شادگان نسبت به محیط پیرامونی

1 The Montreux Record

با وجود این که برنامه مدیریت جامع تالاب شادگان در سال ۱۳۸۹، توسط طرح حفاظت از تالاب‌های ایران و با همکاری برنامه توسعه سازمان ملل متحد[1]، صندوق جهانی محیط‌زیست[2] و اداره کل محیط‌زیست استان خوزستان با چشم‌انداز ۲۵ ساله برای این تالاب تهیه شده است، ولی هنوز این تالاب با مشکلات زیادی، از آلودگی گرفته تا خشکی، همراه است. یکی از اهداف اصلی این برنامه، تامین آب کافی برای تالاب بوده است. تالاب بین‌المللی شادگان تا کنون موفق به دریافت آب کافی برای حفظ زیستگاه خود نشده است.

۸-۲- شهرستان شادگان

شادگان درجنوب غرب ایران و در جنوب استان خوزستان و در همسایگی شهرهای اهواز، کارون، خرمشهر، آبادان و بندر ماهشهر قرار دارد (شکل ۸- ۲). برپایه سرشماری عمومی‌نفوس ومسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت شهرستان شادگان ۱۳۸،۴۸۰ نفر بوده‌است.

آب و هوای گرم و مرطوب شهرستان شادگان سبب رواج محصولات گرمسیری در این ناحیه شده است. گندم، خرما و برنج از عمده‌ترین محصولات کشاورزی منطقه به‌شمار می‌روند. پرورش گاومیش نیز در این شهرستان رواج دارد.

اقتصاد مردم شادگان بر کشاورزی استوار است. وجود دو رودخانه کارون و جراحی و بیش از ۵۷۰۰۰ هکتار اراضی قابل کشت، شادگان را به منطقه مهم کشاورزی استان تبدیل کرده است. بیش از ۱۲ هزار هکتار نخلستان، با ۳ میلیون و ۵۰۰ هزار نفر نخل در این شهرستان وجود دارد که بیش از یک میلیون اصله از آن در حال نابودی و خشک شدن هستند. در محدوده این شهر سالانه نزدیک به ۵۰ هزار تن خرما برداشت می‌شود، که بیش از ۳۵ هزار تن آن به خارج کشور صادر می‌گردد.

1 United Nations Development Program (UNDP)
2 Global Environment Facility (GEF)

مردم منطقه از تالاب سود مالی نیز می‌برند. ماهی گیری، شکار پرندگان، چرای دام و برداشت نی و علوفه از قسمت به اصطلاح شیرین تالاب، از این جمله هستند. در خور موسی صید ماهی و میگو نیز بطور سنتی وجود دارد.

شکل ۸-۲- موقعیت شادگان در استان خوزستان

۸-۳- اهمیت تالاب شادگان

تالاب شادگان، بزرگ‌ترین تالاب ایران، بزرگترین تالاب ساحلی خلیج فارس و سی و چهارمین تالاب از میان ۱۲۰۱ تالابی است که در فهرست معاهده رامسر به ثبت رسیده است. گستره آن به تنهایی نزدیک ۲۸ درصد مساحت همه تالاب‌های ایران است. با کم آب و یا خشک شدن تالاب‌های میان رودان، و در میان آنها هورالعظیم، اهمیت بیشتری می‌یابد، زیرا باید شمار بیشتری از پرندگان مهاجر را میزبانی کند. این اهمیت با ساختن سدهای مخزنی مارون و جره و توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی بالادست و در نتیجه، با کاهش آب ورودی به تالاب، بیشتر شده است. تالاب شادگان کم مانند است زیرا که آب به اصطلاح شیرین، لب شور و شور، هر یک مناسب برای گونه‌هایی از گیاهان و جانوران، در آن وجود دارد. در تالاب شادگان تنوع زیاد جانوری وجود دارد. پرندگان

مهاجر آبزی، لاک پشت‌های دریایی، آبزیان گوناگون و بی مهرگان در کنار یکدیگر در این تالاب زندگی می کنند. وجود چندین گونه پرنده در خطر انقراض در این زیستگاه به اهمیت آن می‌افزاید. تالاب محل زمستان گذرانی و زادآوری بسیاری از پرندگان مهاجر است. تالاب شادگان از تنوع زیستی بسیار غنی‌ای برخوردار است. از جمله:

- ۱۷۴ گونه پرنده، شامل ۱۳ گونه در خطر انقراض؛
- ۴۰ گونه پستان دار؛
- ۸۱ گونه ماهی؛
- ۴ گونه میگو؛ و
- ۱۱۰ گونه گیاهی.

در آن شناخته شده‌اند (مهندسین مشاور پندام، ۱۳۸۱). این تالاب دارای عملکردهای مطلوب هیدرولوژیکی هم هست. در آن میان باید به نقش آن در کنترل سیلاب و جذب بقایای کودها و سموم گیاهی اشاره کرد.

۸-٤- حوضه آبریز رود جَرّاحی

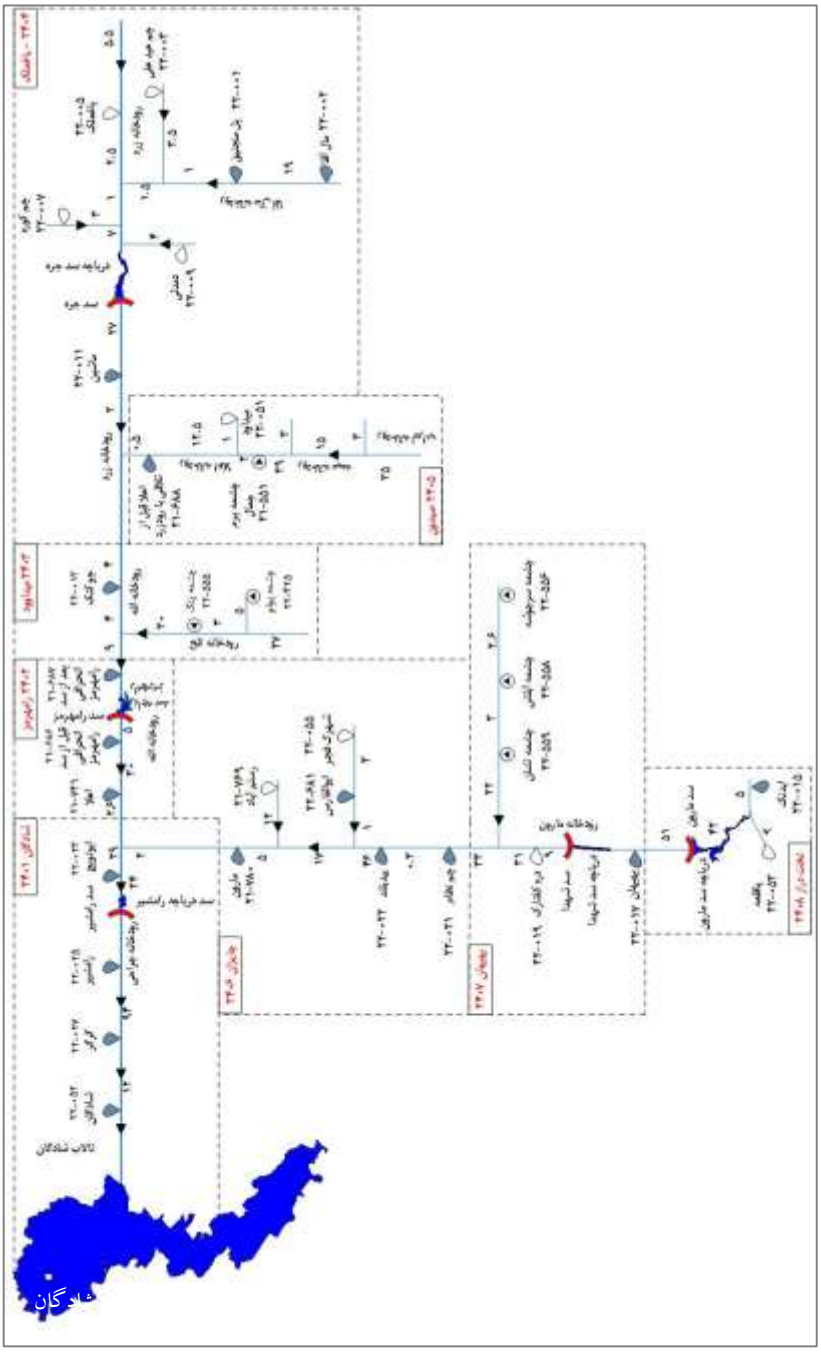
جَرّاحی یکی از رودهای مهم دائمی‌جنوب غربی ایران در حوضهٔ آبریز خلیج فارس و دریای عمان است که در استان‌های خوزستان و کهگیلویه و بویراحمد جریان دارد. این رود با ۴۳۸ کیلومتر طول، به‌عنوان یازدهمین رود طویل ایران شناخته می‌شود.

این رود از کوه‌های راه باریک، سفید و گِل گیلَک در ۵۳ کیلومتری شمال یاسوج سرچشمه می گیرد و در شهرهای کهگیلویه، بهبهان، رامهرمز، رامشیر، بندر ماهشهر، شادگان و خرمشهر جریان می‌یابد. رود جراحی که بیشتر آن در استان خوزستان جریان دارد، از تلاقی دو رود عمده به نام‌های مارون و اعلا (الله یا رامهرمز) تشکیل می‌شود. رودهای مارون و اعلا، به ترتیب پس از طی ۳۱۰ و ۱۴۵ کیلومتر از سرچشمه خود، پس از تلاقی در مکانی به نام چَم هاشم (در بیست کیلومتری جنوب رامهرمز)،

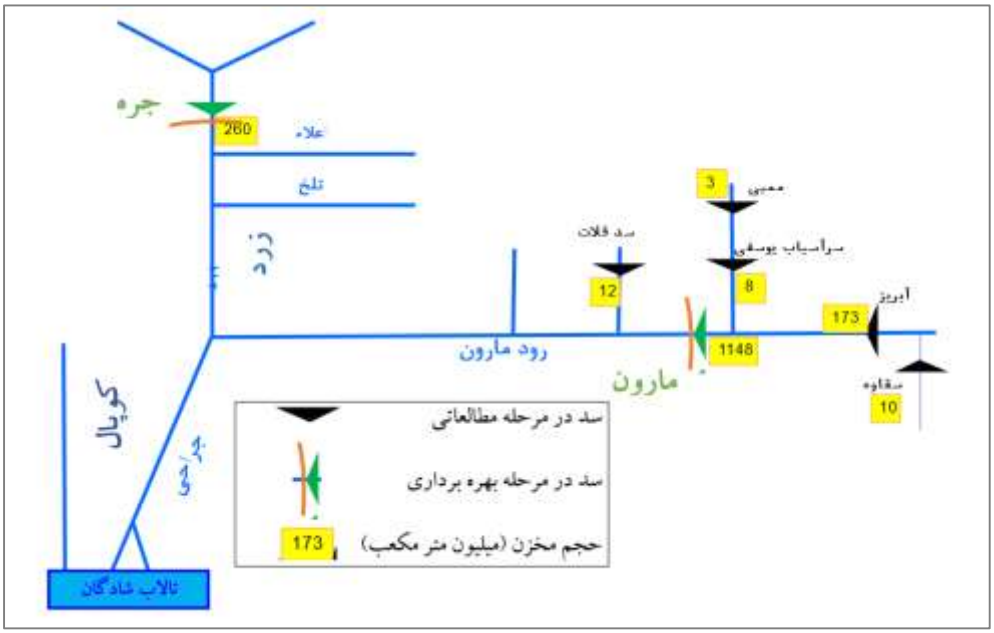
جراحی خوانده می‌شود. پهنای رود بین صد تا دویست متر و ژرفای آن در دشت شادگان به طور متوسط دو تا سه متر است. رود جّراحی پس از چم هاشم، در دشت‌های جنوبی رامهرمز جریان می‌یابد و وارد دشت رامشیر می‌گردد. این رود در مناطق پایین‌تر دشت‌ها، به سبب کاهش شیب، در بستر عریض و پرپیچ و خم جریان می‌یابد. رود جراحی، پیش از رسیدن به تالاب، وارد دشت شادگان می‌شود. سپس در غرب ماهشهر وارد خورموسی و خلیج فارس می‌شود.

مساحت حوضه بیش از ۲۴ هزار کیلومتر مربع است که نزدیک ۴۰ درصد آن کوهستانی است و ۶۰ درصد باقی‌مانده را دشت‌ها و زمین‌های دامنه‌ای تشکیل داده‌اند. دشت‌های اصلی این حوضه عبارتند از: بهبهان، جایزان، رامهرمز، باغ ملک، هفتگل، شادگان و ماهشهر. ۲۴/۴ درصد سطح حوضه در استان کهگیلویه و بویراحمد و باقی‌مانده آن در استان خوزستان قرار دارد. بهبهان، رامهرمز، رامشیر، هفتگل و باغ‌ملک از شهرهای مهم این حوضه به شمار می‌روند. شکل ۸-۳ پیکره آبی حوضه جراحی و شکل ۸-۴ تلخیص شده همان پیکره را نشان می‌دهد.

طغیان رود جّراحی تالاب‌های بزرگی، که در محل هور نامیده می‌شود، در دشت شادگان ایجاد کرده است. آب طرح‌های آبیاری بهبهان، جایزان، رامهرمز، خلف آباد و شادگان از رود جراحی تامین می‌شود. برخی از این طرح‌های آبیاری و زهکشی مانند بهبهان در حال بهره برداری و برخی دیگر مانند رامهرمز نیمه کاره و در حال ساخت هستند. به غیر از این پنج شبکه بزرگ و مهم آبیاری، اراضی کشاورزی قابل توجهی نیزکه به صورت فصلی کاشته می‌شوند، از این رودخانه آب می‌گیرند. در طول برخی قسمت‌های رودخانه، گاه رویش‌های انبوهی از گز دیده می‌شود که در برخی نقاط با بیدزارها همراه هستند. گیاهان دیگری مانند نی، لوئی، سوادا و آتریپلکس نیز در دیواره رودخانه دیده می‌شوند. در نقاط گوناگونی از حوضه آبریز، مانند بهبهان، رامهرمز، خلف آباد و غیزانیه، پروژه‌های جنگل کاری با گونه‌های اکالیپتوس و آکاسیا با هدف تثبیت ماسه‌های روان و جلوگیری از فرسایش اجرا شده است.



شکل ۸-۳- پیکره آبی حوضه جراحی



شکل ۸-٤- پیکره آبی حوضه جراحی (تلخیص شده)

۸-۵- سدهای مخزنی حوضه

۸- ۵- ۱- سد مارون

سد مخزنی مارون سدی است خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی به بلندی ۱۷۱ متر و حجم مخزن یک میلیارد و دویست میلیون متر مکعب که برای تامین آب مورد نیاز دشت‌های بهبهان، جایزان، رامشیر و شادگان به مساحت ۵۵ هزار هکتار ساخته شده است. این سد جریان‌های شدید رودخانه مارون را نیز برای جلوگیری از بروز سیل کنترل می‌کند و وظیفه تولید برق را هم به عهده دارد.

۸- ۵- ۲- سد شهدا

سد مارون آب ذخیره شده را به رود مارون می‌ریزد. سد انحرافی شهدای بهبهان در ابتدای اراضی کشاورزی دشت بهبهان، آب رودخانه را به ۱۳۵۰۰ هکتار از شبکه آبیاری مدرن بهبهان می‌رساند.

۸- ۵- ۳- سد جایزان

سد انحرافی جایزان بر روی رودخانه مارون و ابتدای اراضی کشاورزی دشت جایزان احداث شده است. هدف آن انحراف آب رودخانه و تامین آب اراضی کشاورزی دشت جایزان به وسعت ۶۵۰۰ هکتار توسط کانال‌های شبکه آبیاری مدرن است.

۸- ۵- ٤- سد مخزنی جره

سد مخزنی جره در استان خوزستان و در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی رامهرمز و ۱۹ کیلومتری باغ‌ملک احداث شده‌است.

گنجایش سد خاکی مخزنی جره ۲۶۰ میلیون متر مکعب است. این سد به عنوان پنجمین سد خاکی استان خوزستان از لحاظ جنس و ابعاد (بعد از سدهای کرخه، مارون، مسجد سلیمان و گتوند علیا) به شمار می‌آید. هدف از احداث این سد، تأمین آب مورد نیاز زمین‌های کشاورزی دشت رامهرمز به وسعت نزدیک ۲۵ هزار هکتار، کنترل سیلاب رودخانه زرد و امکان تولید انرژی برق آبی به مقدار ۴۸ گیگاوات ساعت در سال است. در پایین دست این سد مخزنی، دو سد انحرافی رامهرمز و رامشیر، آب را به این دو منطقه منحرف می‌کنند تا برای آبیاری مصرف شود.

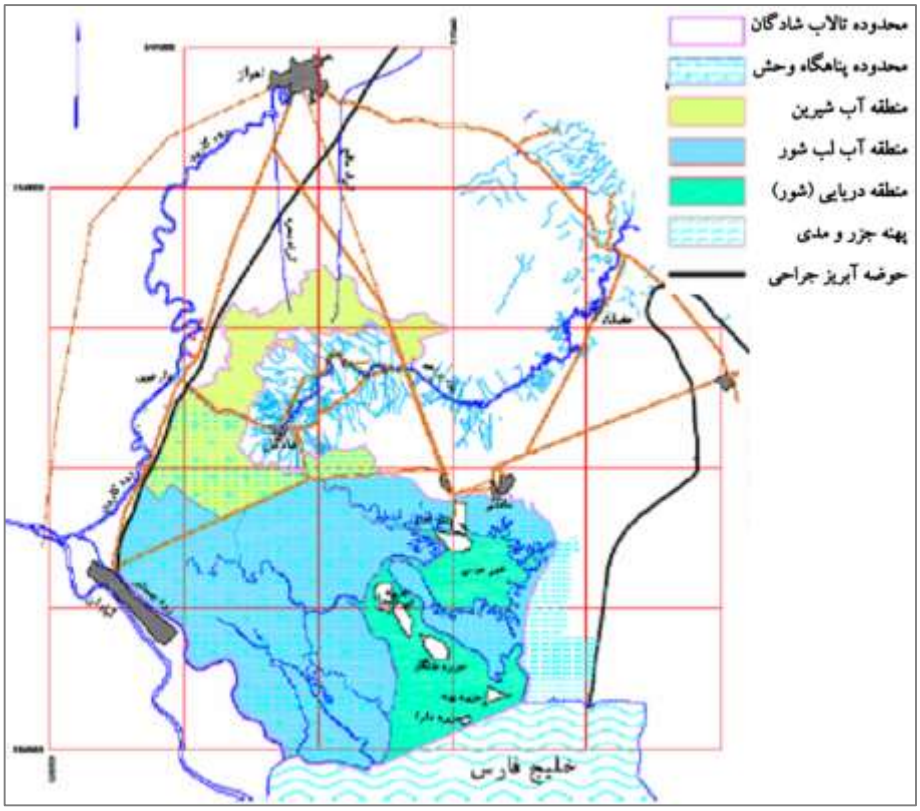
۸- ٦- شوری آب در حوضه آبریز

حوضه آبریز جراحی از سازندهای آغاجاری، میشان و گچساران تشکیل شده است. سازند گچساران، فرسایش پذیر است و نمک‌های موجود در آن بر کیفیت آب اثر مخربی دارند. هر چند دو سازند دیگر نیز فرسایش پذیر هستند، لیکن نقش آنها در تخریب کیفیت آب کمتر است. چشمه‌های موجود در سازند گچساران بسیار شور هستند. مجموعه این عوامل بر شوری آب رودخانه‌ها تاثیر زیادی دارند. سد مخزنی مارون نیز بر روی سازند گچساران ساخته شده است. چنانچه عمق آب در مخزن سد زیاد باشد، چشمه‌های شور کف مخزن جوشش خود را از دست

می‌دهند، لیکن در هنگامی‌که سد کم آب باشد، شروع به جوشیدن می‌کنند و کیفیت آب تخریب می‌شود.

۸-۷- تالاب شادگان و شوری آب

تقسیم بندی شوری آب در تالاب شادگان در شکل ۸- ۵ نشان داده شده است. این تقسم بندی با رده بندی‌های متعارف آب متفاوت است. مرز بین آب شیرین، لب شور و شور با توجه به مقدار آب ورودی به تالاب، از سالی به سال دیگر، جابجا می‌شود و ثابت نیست.



مهندسین مشاور یکم (۱۳۹۷)

شکل ۸- ۵- تفکیک مناطق دارای آب شور و شیرین در تالاب شادگان

تالاب را با توجه به شوری آب می‌توان به سه بخش تقسیم کرد:

بخش شمالی تالاب: یک فرو افتادگی گسترده کم عمق، دارای آب شیرین و پوشش گیاهی متراکم با مساحت نزدیک ۱۲۰ هزار هکتار است (۲۲/۴ درصد از مساحت کل).

بخش میانی تالاب: در پایین دست بزرگراه آبادان– ماهشهر قرار دارد و پهنه ی اصلی بسیار هموار جزر و مدی است. مساحت این بخش نزدیک ۲۲۲ هزار هکتار است (۴۱/۳ درصد ازمساحت کل). این بخش به علت همسایگی با خورهای ساحلی خلیج فارس همچون خور دورق، خور قناقه، خور ملح، خور کویرین و خور سلچ و نیز به سبب تاثیر پذیری از جزر و مد خلیج فارس، دارای آب لب شور تا شور با پوشش گیاهی‌اندک است.

بخش جنوبی یا ساحلی تالاب: از خط ساحلی خلیج فارس تا نقاطی از تالاب است که در پایین ترین جزر، عمقی برابر با ۶ متر دارند. شیب زمین نزدیک صفر، دارای آب شور همراه با پوشش گیاهی بسیاراندک است. مساحت این بخش نزدیک ۱۹۵ هزار هکتار (۳۶/۳ درصد از مساحت کل) است (مهندسین مشاور پندام، ۱۳۸۱).

۸-۸- طرح‌های بالادست

طرح‌های توسعه کشاورزی در بخش‌های بالادست حوضه شامل موارد زیر است:

- سد مخزنی مارون در بهبهان با حجم۱/۲ میلیارد متر مکعب بر روی رودخانه مارون، در حال بهره برداری برای آبیاری نزدیک ۵۵ هزار هکتار؛
- سد مخزنی جره در رامهرمز با حجم ۲۶۰ میلیون متر مکعب بر روی رودخانه زرد، در حال بهره برداری برای آبیاری نزدیک ۲۵ هزار هکتار؛
- سد سقاوه در استان کهگیلویه و بویر احمد با حجم نزدیک ۱۰ میلیون متر مکعب که اجرای آن آغاز شده ولی به سبب کوچکی، نقش چندانی بر شادگان ندارد؛

- مطالعه سدهای قلات، آبریز، صیدون و .... نیز در حال انجام است. سد آبریز ظرفیتی نزدیک ۱۷۳ میلیون متر مکعب دارد و اثر آن بر پایین دست قابل چشم پوشی نیست. چنانچه این طرح نیز به اجرا در آید، خواه نا خواه، موجب کاهش بیشتر آب ورودی به تالاب شده و زهاب شور این طرح‌ها به شورتر شدن منابع آبی تالاب می‌انجامد. سدهای دیگر کوچک و بی‌اثر یا کم اثر هستند.

مجموعه این سدها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی پایین دست آنها موجب خواهد شد که:

- جریان‌های ورودی و بویژه حجم سیل ورودی به تالاب کاهش یابد؛
- مواد شیمیایی شامل بقایای کود و سم بیشتری به تالاب وارد شود؛
- جریان‌های تابستانه ورودی به تالاب بیشتر و منظم تر شود، هر چند که بطور معمول بیشتر آن را زهاب شور تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر، سطح خشک شده تابستانی کاهش می‌یابد ولی کیفیت آب بدتر می‌شود؛
- مقداری برق تولید شود؛ و
- اشتغال کشاورزی و غیر کشاورزی افزایش یابد.

۸-۹- ویژگی‌های غیر حیاتی[1] تالاب

۸- ۹ -۱- آب و هوا

آب و هوای منطقه قاره‌ای نیمه خشک زیر استوایی[2] با تابستان‌های بسیار گرم و خشک و زمستان‌های تااندازه‌ای خشک و ملایم است. دوره‌های خشک اثر بسیار زیادی بر تالاب دارد.

---

1 Abiotic

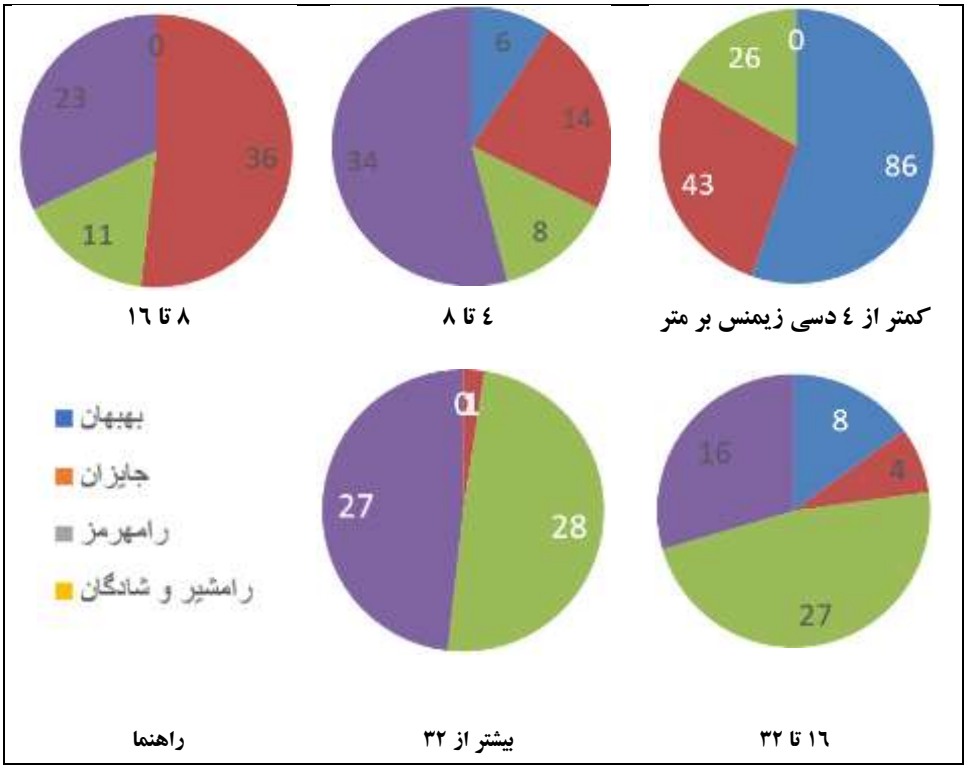
[2] آب و هوای نیمه گرمسیری قاره ای نیمه خشک (Subtropical semi-arid continental climate) اقلیمی است با تابستان های گرم و زمستان های معتدل، در مناطق استوایی یا نیمه گرمسیری. اغلب در کناره بیابان ها یافت می شود. بطور معمول با تابستان‌های گرم و گاهی بسیار گرم و زمستان‌های گرم تا خنک و با مقدار بارش ناچیز تا کم.

۸- ۹ -۲- خاک

در حوضه رودخانه، فرسایش بالاست و رودخانه بار زیادی از رسوب را به پایین دست منتقل می کند. خاک‌های منطقه شور هستند. ریشه شوری در خاک‌های حوضه عبارتند از: وجود سازندهای آلاینده، بویژه سازند گچساران، کاربرد آب آبیاری با کیفیت پایین، تبخیر از آب‌های شور لایه‌های سطحی خاک و کمبود بارش نسبت به تبخیر. کیفیت خاک از دیدگاه شوری در بالادست خوبست (طرح بهبهان با ۸۶ درصد خاک غیر شور) و با حرکت به سمت جنوب (پایین دست)، به شوری افزوده می‌شود؛ بطوری که خاک‌های غیر شور در طرح جایزان به ۴۳ درصد و در رامهرمز به ۲۶ درصد و در رامشیر و شادگان به صفر می‌رسد (شکل ۸- ۶). این پدیده با روند افزایش شوری آب‌های زیرزمینی و کاهش توان زهکشی طبیعی هماهنگ است.

نمک‌های اصلی در تمامی‌این دشت‌ها کلرید سدیم و سولفات سدیم هستند. این نمک‌ها در اثر آبیاری و آبشویی به سادگی شسته می‌شوند و در صورت وجود زهکش، از طریق شبکه زهکشی از زمین خارج می‌شوند. آبشویی این خاک‌های شور یکی از منابع اصلی آلودگی آب رودخانه و تالاب شادگان است.

تالاب خاکی مطبّق دارد که در آن لایه‌های متناوب سیلت و ماسه بسیار نرم و متراکم وجود داردکه در آنها تمرکز آهک و گچ به صورت موضعی دیده می‌شود. لایه‌های سطحی خاک دارای بافت سنگین هستند. در پایین دست تالاب، شوری به دلیل زهکشی ضعیف خاک تشدید می‌شود. در اراضی تالاب دو گروه خاک شناسایی شده‌اند. خاک‌های هیدرومورفیک که زه دار هستند و خاک‌های هالومورفیک که شور هستند. در هر دو گروه، خاک سطحی بسیار شور است. در خاک هالومورفیک هدایت الکتریکی لایه سطحی به ۱۷۵ دسی زیمنس بر متر هم می‌رسد.



شکل ۸- ٦- درصد زمین‌های با کلاس شوری گوناگون در طرح‌های اصلی حوضه آبریز

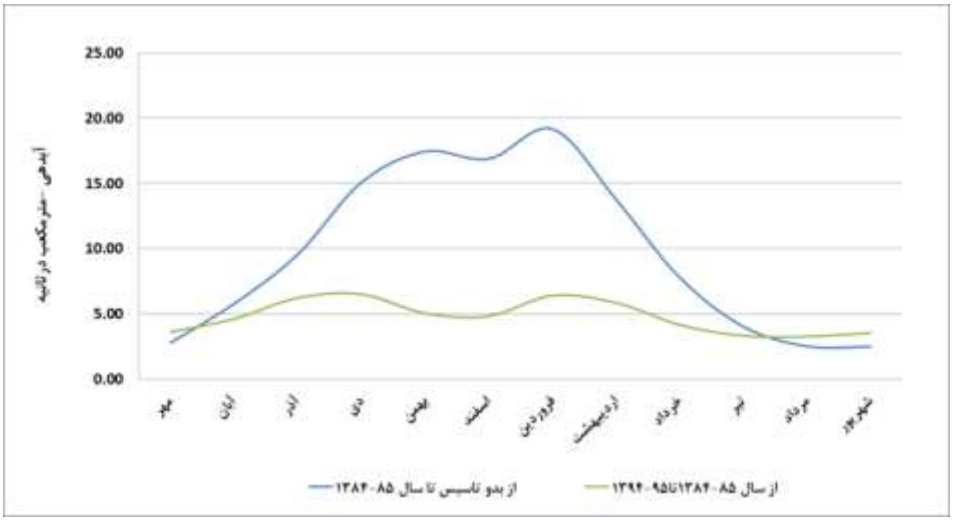
چنانچه توسعه اراضی در برنامه کار قرار گیرد، آبشویی نمک‌های خاک اجتناب ناپذیر است. آبشویی موجب شورتر شدن آب رودخانه و تالاب می‌شود. باید تمهیداتی صورت گیرد که غلظت نمک در رودخانه ازاندازه دلخواه بیشتر نشود. مرحله بندی آبشویی طرح‌های بالادست می‌تواند به کاهش این مشکل بینجامد. نباید فراموش کرد که شوری زهاب طرح‌های توسعه نیشکر که بیش از ۲۰ سال از شروع بهره برداری آنها می‌گذرد، هنوز به حد قابل قبول نرسیده است. بنابراین نباید در انتظار این بود که بتوان در کوتاه مدت به این مشکل چیره شد. رها کردن زهاب به منبع پذیرنده هنگامی‌که رودخانه پرآب است می‌تواند به کاهش این مشکل کمک کند.

۸-۱۰- منابع آب تالاب

تالاب شادگان از سه طرف با منابع اصلی آب ارتباط دارد: رود کارون، رود جراحی و خلیج فارس. افزون بر این، زهکش‌های منطقه و رواناب سطحی پیرامون تالاب نیز به آن تخلیه می‌شوند. سهم رود جراحی از منابع سطحی رودخانه‌ای نزدیک ۹۰ و سهم رود کارون نزدیک ۱۰ درصد است (مهندسین مشاور پندام، ۱۳۸۱). کارون در مواقع پرآبی به تالاب سرریز می‌کند. کانال‌های بحره و یا مالح این انتقال را تسهیل می‌کنند. آماری از انتقال آب از کارون به تالاب در دست نیست. آنچه گفته شد، تنها یک تخمین است. رودخانه کوپال نیز گاه رواناب خود را به تالاب تخلیه می‌کند.

آورد متوسط سالانه رود جراحی نزدیک ۲/۳ میلیارد متر مکعب است. دامنه این تغییرات زیاد است و ممکن است از ۳۰۰ میلیون متر مکعب تا نزدیک ۶ میلیارد متر مکعب در سال نوسان داشته باشد. دامنه گسترده تغییرات آورد سالانه جراحی، کیفیت آب تالاب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. سد مارون در بهبهان، بالاترین نقطه ورود رود مارون به دشت، با حجم ۱/۲ میلیارد متر مکعب، بی‌تردید یکی از عوامل اصلی تغییر در رژیم آبی رودخانه جراحی و نیز کاهش آورد آب به تالاب شادگان بوده است.

بررسی آبدهی ایستگاه شادگان در دو بازه زمانی از بدو تاسیس تا ۸۵-۱۳۸۴ و از سال ۸۵-۱۳۸۴ تا سال ۹۵-۱۳۹۴ نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۹۵-۱۳۹۴، میانگین آبدهی در ایستگاه‌های مورد نظر به کمتر از ۵ مترمکعب در ثانیه رسیده است که در مقایسه با بازه زمانی بدو تاسیس تا ۸۵-۱۳۸۴ اختلاف معنی داری را نشان می‌دهد. شکل ۸- ۷ آبدهی ماهانه جراحی را در محل ایستگاه شادگان ارائه می‌کند. آبدهی سالانه رودخانه جراحی در محل این ایستگاه کاهش ۵۰ درصدی داشته و روند آبدهی ماهانه نیزاندکی متفاوت بوده بطوری که آبدهی در ماه‌های مرداد، شهریور و مهر نسبت به دوره قبل افزایش یافته و آبدهی در ماه‌های دیگر نسبت به دوره قبل کاهش پیدا کرده است (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۷). این پیامد از دیدگاه محیط‌زیستی مثبت است زیرا سطح کمتری از تالاب در اواخر تابستان خشک می‌شود.



مهندسین مشاور یکم (۱۳۹۷)

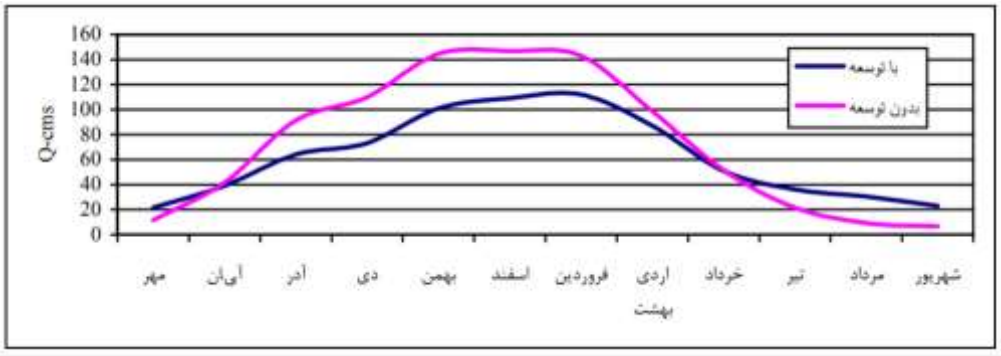
شکل ۸-۷- تغییرات آبدهی ماهانه در دو بازه زمانی منتخب در ایستگاه شادگان

چنانچه سال خشک به سالی گفته شود که آورد سالانه آن کمتر از میانگین آورد سالانه در طول دوره آماری باشد، مطالعات مهندسین مشاور پندام (۱۳۸۱) که با استفاده از ۴۸ سال آمار انجام گرفته، نشان می‌دهد که احتمال خشکی در ۲، ۳ و ۴ سال پیاپی به ترتیب ۲۹، ۱۹ و ۱۵ درصد است. با توجه به کاسته شدن میانگین آورد در سال‌های اخیر نمی‌توان ارقام دقیق تری را ارائه کرد. در هر حال، همین ارقام نیز نشان دهنده حساسیت و شکننده بودن وضعیت تالاب از دیدگاه پایداری است.

چنانچه پذیرفته شود که بر پایه آورد ۴۸ ساله رودخانه جراحی، میانگین آورد سالانه تالاب ۲/۳ میلیارد متر مکعب بوده و ۱/۷ میلیارد متر مکعب آن صرف تبخیر از سطح آب و تعرق از سطح گیاهان آبزی می‌شده است، می‌توان نتیجه گرفت که هنوز تالاب آب مازاد خود را به دریا تخلیه می‌کرده است. چنانچه امروزه آورد سالانه به نصف کاهش پیدا کرده باشد، به فرض ثابت بودن سطح تالاب، باید پذیرفت که تالاب پایداری خود را از دست داده و رو به کوچکتر شدن و شورتر

شدن پیش می‌رود؛ مگر این که سرریز رود کارون و تااندازه‌ای سیلاب‌های غیر قابل کنترل رودخانه کوپال بتواند این کمبود را جبران کند. حتی با چنین شرایطی نیز باید تالاب را در آستانه ناپایداری دانست. آورد سیلابی کوپال ۵۰ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. رود کارون نیز هنگامی‌سرریز می‌کند که آبدهی آن از ۳۰۰۰ متر مکعب در ثانیه بیشتر شده باشد؛ روندی که با توسعه طرح‌های بالادست رو به کاهش است.

مهندسین مشاور پندام (۱۳۸۱) بر پایه یک مدل ریاضی پیش‌بینی کرده است که در صورت اجرا و تکمیل طرح‌های آبیاری، حجم آب ورودی سالانه به تالاب به ۱/۷ میلیارد متر مکعب خواهد رسید؛ مقداری برابر تبخیر از سطح آب و تعرق گیاهان آبزی درون تالاب. بر پایه این مطالعه، حتی اگر عوامل کیفی مانند شوری و ورود مواد مغذی و بقایای سموم نیز نادیده گرفته شوند، تالاب در آستانه از دست دادن پایداری است. در عوض، سد مخزنی مارون، می‌تواند تواتر دوره‌های خشکی را کاهش دهد و جریان آب در رودخانه را متعادل تر کند. شکل ۸- ۸ مقدار آب ورودی ماهانه به تالاب را در شرایط بدون طرح و با طرح نشان می‌دهد.



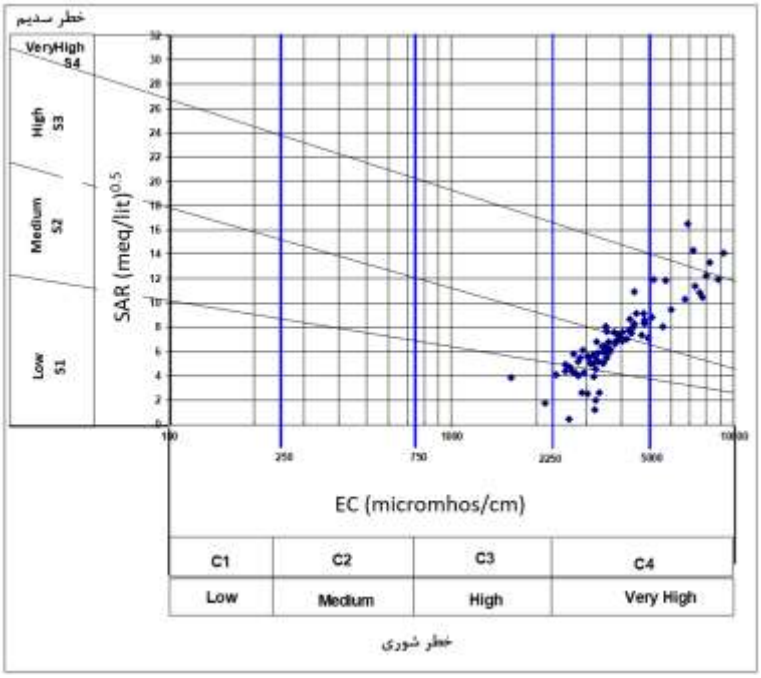
مهندسین مشاور پندام (۱۳۸۱)

شکل ۸- ۸- مقایسه میانگین جریان‌های ورودی به تالاب در شرایط "با" و "بدون" توسعه آبیاری

۸- ۱۰- ۱-کیفیت آب ورودی

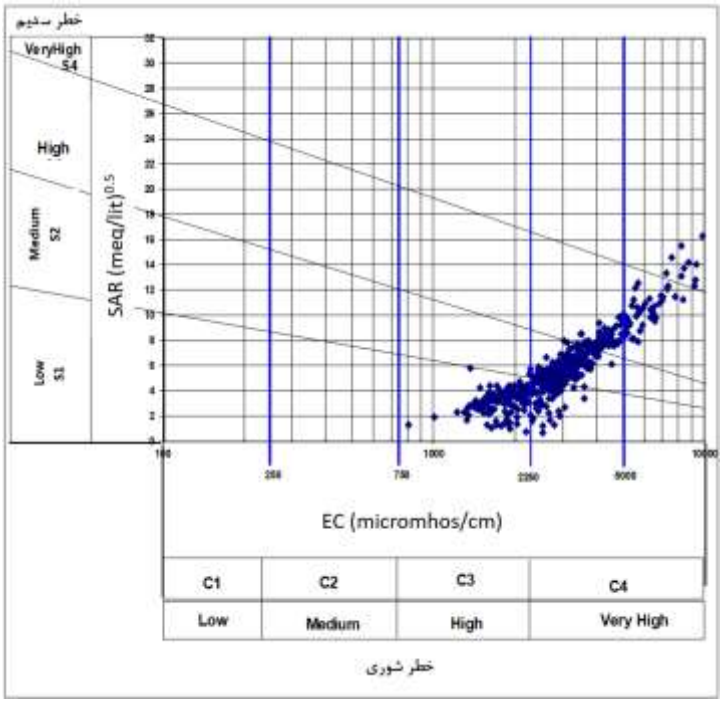
مهندسین مشاور پندام در سال ۱۳۸۱ گزارش کرده است که " کیفیت آب ورودی به تالاب در مواقع سیلابی مناسب (هدایت الکتریکی آن بین ۱/۰ تا ۲/۰ دسی زیمنس بر متر) است. در فصل تابستان و بهار، شوری جریان‌های معمولی (غیر سیلابی) کمی‌افزایش پیدا کرده و به ۱/۵ تا ۳/۰ دسی زیمنس بر متر می‌رسد. در ماه‌های تابستان و پاییز، کیفیت آب بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و هدایت الکتریکی آب بین ۳ تا ۶ دسی زیمنس بر متر بالا می‌رود."

مهندسین مشاور یکم در سال ۱۳۹۷ بر پایه اندازه گیری‌های انجام شده در دو ایستگاه، نتایجی مطابق شکل ۸- ۹ و شکل ۸-۱۰ ارائه کرده است. گرچه این اطلاعات بر پایه فصل‌های گوناگون دسته‌بندی نشده‌اند، می‌توان بدتر شدن کیفیت آب را در فاصله زمانی دو مطالعه دید.



مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۷

شکل ۸- ۹-کیفیت آب رودخانه جراحی در ایستگاه شادگان در دیاگرام ویلکوکس



مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۷

شکل ۸- ۱۰-کیفیت آب رودخانه جراحی در ایستگاه گرگر در دیاگرام ویلکوکس

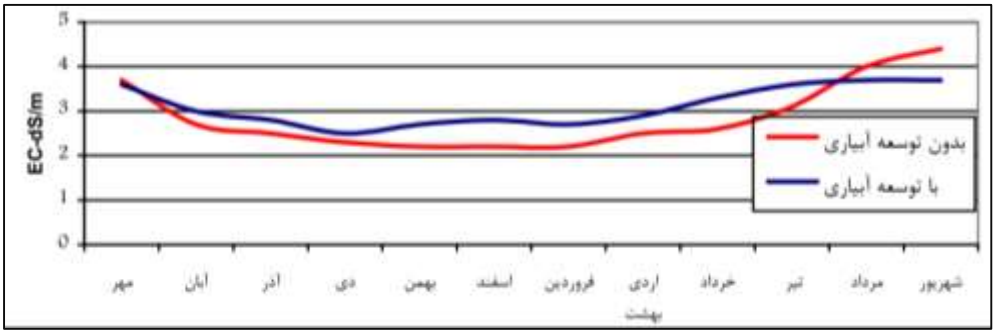
نتایج بررسی پارامترهای کیفیت شیمیایی آب رودخانه جراحی در محل ایستگاه شادگان نشان می‌دهد که بیشینه هدایت الکتریکی آب در این ایستگاه بیش از ۱۶ و میانگین آن بیش از ۴ دسی زیمنس بر متر است (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۷).

هر دو سری از این اطلاعات، وضعیت آب وارده به تالاب را نامطلوب ارزیابی می‌کنند.

مقدار نمک وارده به تالاب سالانه ۳/۷ میلیون تن برآورد شده است (مهندسین مشاور پندام، ۱۳۸۱). این مقدار نزدیک ده هزار تن در روز است.

مهندسین مشاور پندام (۱۳۸۱) بر پایه یک مدل ریاضی پیش‌بینی کرده است که در صورت اجرا و تکمیل طرح‌های آبیاری، بدون در نظر گرفتن نمک‌های شسته شده در برنامه‌های آبشویی، نمک

وارده به تالاب تغییر چندانی نمی‌کند و به ۳/۶ میلیون تن خواهد رسید. به این ترتیب هنوز هم بار نمک وارده به تالاب نزدیک ده هزار تن در روز باقی خواهد ماند. شکل ۸-۱۱ میانگین شوری آب ورودی به تالاب در شرایط "با" و "بدون" توسعه آبیاری را مقایسه می‌کند.



مهندسین مشاور پندام (۱۳۸۱)

شکل ۸-۱۱- مقایسه میانگین شوری آب ورودی به تالاب در شرایط "با" و "بدون" توسعه آبیاری

۸- ۱۰-۲- گستره تالاب

گستره تالاب شادگان بستگی به مقدار آب ورودی آن دارد. تالاب در وضعیت غرقاب کامل تا خشک و بیابانی دیده شده است. هنگامی‌که تالاب پر از آب باشد، قسمت غرقاب شده بخش شمالی آن که آب شیرین دارد، نزدیک یکصد هزار هکتار می‌شود. در این حالت، عمق آب در این بخش بین ده سانتی متر تا سه متر با میانگین نزدیک ۰/۶ متر خواهد بود.

۸-۱۱- ویژگی‌های حیاتی تالاب

۸-۱۱-۱- پوشش گیاهی

۸-۱۱- ۱-۱ پوشش گیاهی بالا دست

در بالادست بقایای جنگل به صورت تک درخت‌های پراکنده قابل دیدن است. سرزمین‌های مرتفع حوضه از بلوط ایرانی، پسته وحشی و بادام وحشی پوشیده شده‌اند.

۸-۱۱- ۱-۲- پوشش گیاهی دشت‌ها و جلگه

زمین‌های جلگه‌ای در اثر چرای دام و شوری خاک، تنوع پوشش گیاهی خود را از دست داده‌اند. تنها چند گونه علفی سبز در چند ماه از سال در نقاط مرطوب به چشم می‌خورند. در کرانه و بسترهای شنی رودخانه‌ها درختان گز به صورت پراکنده و یا انبوه دیده می‌شوند.

۸-۱۱- ۱-۳- پوشش گیاهی تالاب

تالاب شادگان از گوناگونی پوشش گیاهی مناسبی برخوردار است. در مطالعات میدانی سال ۱۳۷۹، ۱۱۰ گونه گیاهی در آن شناسایی شده است. با وجود این که چندین سال از زمان مطالعاتی که در زمینه پوشش گیاهی حوضه آبریز صورت گرفته می‌گذرد، لیکن این منابع اطلاعات کافی برای بررسی اجمالی پوشش و تنوع گیاهی حوضه آبریز و بخش‌هایی از تالاب شادگان را فراهم می‌آورند.

براساس نتایج مشاهدات و منابع مطالعاتی موجود در مجموع ۴۰ گونه گیاهی، متعلق به ۲۷ سرده و ۲۰ تیره شناسایی شده‌اند. غالب ترین گونه‌های آبزی غوطه ور در آب‌های شیرین این منطقه *(Ceratophyllum demersum)*، تیزک *(Najas marina)* و بارهنگ آبزی فردار *(Potamogeton crispus)* هستند.گونه‌های لوئی *(Typha australis)*، چولان یا جگن *(Bolboschoenus maritimus)* ، نی *(Phragmites australis)* در حاشیه آب‌های لب شور و گاهی شور اجتماعات وسیعی را تشکیل می‌دهند.

۸- ۱۲- اثر توسعه کشاورزی در بالادست

در سال‌های اخیر، کشاورزی در بالادست توسعه زیادی یافته است. این توسعه باعث شده است که آورد سالانه آب توسط رودخانه‌ها کاهش یابد. مهندسین مشاور پندام (۱۳۸۱) این کاهش را در آن هنگام ۱۵ درصد برآورد کرده است. سدهای بالادست، رژیم هیدرولوژیکی رودخانه را تغییر داده،

سیلاب‌های زمستانی کاهش یافته و جریان رودخانه در تابستان منظم تر شده است. هنوز سطح حوضه آبریز پایین دست سدهای مخزنی به‌اندازه‌ای گسترده است که بتواند گهگاه سیلاب‌های کم و بیش بزرگی را هم ایجاد کند.

در جدول ۸-۱ تاثیر سدهای بالادست بر تالاب نشان داده شده است. جالب این است که سدها اثرات مثبت و منفی بر تالاب داشته‌اند. بیشتر اثرهای مثبت مربوط به این هستند که سطح خشک تالاب در اواخر تابستان کاهش می‌یابد.

جدول ۸-۱ - تاثیر سدهای بالادست بر تالاب

تغییرات	تاثیرات احتمالی مثبت بر تالاب	تاثیرات احتمالی منفی بر تالاب
- تغییر رژیم جریان ورودی	- افزایش نظم جریانهای ورودی - رشد مستمر پوشش گیاهی؛ - شرایط بهتربرای ماهیان و آبزیان؛ - امکانات بهتر برای پرورش آبزیان؛ - محیط بهتر برای گاومیش ها؛ - امکانات بهتر برای چرای حیوانات؛ - اثرات مؤثرتر اقلیمی ؛ - ظهور احتمالی گونه های جدید پرندگان و آبزیان.	- امکان گسترش بیماریهای ناشی از آب؛ - کاهش جریانهای سیلابی و تنقیه تالاب ؛ - صدمه احتمالی بربخشی از تنوع زیستی؛ - کاهش مزایای احتمالی ناشی از خشک شدن فصلی تالاب.
- کاهش سیلابهای ورودی	- کاهش صدمات وارده به اراضی کشاورزی و سایر تاسیسات و تجهیزات	- ششوی کمتر املاح و سایر مواد انباشته شدنی از تالاب.

مهندسین مشاور پندام (۱۳۸۱)

۸- ۱۳- زهاب و تالاب

در دهه ۱۳۷۰ سه واحد توسعه نیشکر در شمال و شمال غربی تالاب شادگان شروع به فعالیت کردند. مساحت این سه واحد ۳۶ هزار هکتار است. آب این واحدها از رودخانه کارون تامین می‌شود. بر پایه طرح‌های تصویب شده، این سه واحد زهاب خود را به رود کارون تخلیه می‌کردند. خاک‌های منطقه شوری بالایی دارند. برای رساندن شوری خاک به‌اندازه‌ای که بتوان در آن نیشکر حساس به شوری را کشت کرد، زمین‌ها باید آبشویی می‌شدند. زهاب این فرایند، بسیار شور بود و هدایت

الکتریکی آن تا نزدیک ۴۰ دسی زیمنس بر متر می‌رسید. این کار باعث شد که شوری آب رود کارون به شدت افزایش پیدا کند و موجب نارضایتی کشاورزان پایین دست و شهروندانی شود که از آب کارون برای مصارف خود استفاده می کردند. از این رو تصمیم گرفته شد که زهاب این سه واحد به جای کارون، به تالاب شادگان هدایت شود.

ابتدا اهالی پیرامون تالاب خوشحال بودندکه با ورود آب، تالاب جان تازه‌ای می‌گیرد. لیکن به زودی سیمای دیگری از این اقدام آشکار شد. ورود زهاب نیشکر به تالاب شادگان، عامل اصلی بالا رفتن شوری آب تالاب در زمانی است که زهاب طرح‌های توسعه نیشکر به تالاب تخلیه می‌شوند. به علت افزایش شوری و تغذیه تالاب از زهابی که بقایای کود پرمصرف نیشکر را در خود دارد، برخی از گونه‌های گیاهی مانند لوئی، تی و جگن بر گونه‌های دیگر چیره شدند. این گیاهان از مقاومت در برابر شوری آب برخوردار هستند. با این کار، زیست‌بوم بخش شیرین تالاب تغییر کرد. برخی گیاهان و جانوران آن از دست رفتند و جای خود را به موجوداتی دادند که با شرایط تازه بیشتر سازگار بودند.

مهندسین مشاور یکم (۱۳۹۷) گزارش می‌دهد که "وضعیت فعلی تالاب شادگان حکایت از خشک شدن بیش از ۷۰ درصد تالاب دارد، بطوری که قسمت اعظم تالاب را خشکی و نمکزار فرا گرفته و تنها ۳۰ درصد از آن حالت تالابی دارد". این موضوع، نشان از وضعیت نامناسب این تالاب از دیدگاه اکولوژیک دارد. انتظار می‌رود که با پایان یافتن عملیات آبشویی در واحدهای بالادست، کیفیت زهاب از نظر شوری بهبود یابد ولی هنوز خطر مواد مغذی باقی‌مانده کودها و نیز بقایای سموم کشاورزی و پساب کارخانه‌های صنعتی باقی است.

این سه واحد کشت و صنعت نیشکر، افزون بر کشت ۳۶۰۰۰ هکتار نیشکر، سه کارخانه تولید شکر، سه کارخانه تولید غذای دام، یک کارخانه کاغذسازی، یک واحد تولید الکل و یک واحد تولید نئوپان نیز دارند. پساب صنعتی این مجموعه، بویژه پساب کارخانه کاغذسازی بسیار آلوده کننده است و باید پیش از رهاسازی به شبکه زهکشی، تصفیه شود.

تنها زهاب اراضی کشاورزی بالادست در شهرستان‌های بهبهان، رامشیر، رامهرمز و نیز واحدهای نیشکر(واحدهای فارابی، سلمان فارسی و دعبل خزایی) کیفیت آب تالاب را تخریب نمی‌کند؛ بلکه پساب مزارع پرورش ماهی، فاضلاب‌های شهری و پساب و فاضلاب صنایعی مانند فولاد نیز به تالاب شادگان تخلیه می‌شوند. گهگاه نیز اشتباهاتی روی می‌دهد که مشکل را افزایش می‌دهد. به عنوان نمونه، بسته شدن مسیر زهکش اصلی از جاده آبادان به ماهشهر، از گردش و خروج زهاب جلوگیری می کند و موجب انباشته شدن نمک در قسمت جدا افتاده می‌شود. کم شدن آب در انهار سنتی نیز موجب می‌شود که آب تالاب شادگان وارد انهار و سپس وارد زمین‌های کشاورزی شود. این موضوع یکی از عوامل خشک شدن و کوچک شدن تاج نخیلات منطقه است (شکل ۸- ۱۲).

شکل ۸-۱۲- نمایی از نخیلات منطقه

بخش سوم

آلاینده های زهاب

فصل نهم

شوری

۹-۱- پیش‌گفتار

شور شدن خاک، به علت انباشت نمک‌های محلول در آن پیش می‌آید؛ تا اندازه‌ای که بر تولید محصولات کشاورزی، بهداشت محیط و رفاه اقتصادی تأثیر بگذارد (فائو، ۲۰۱۱). شوری آب و خاک یکی از مهم ترین دلایل تخریب زمین از دوران باستان تاکنون بوده است. شوری به دلیل تأثیر بر کیفیت زندگی، به ویژه بر امنیت غذایی، نگرانی جهانی قرن بیست و یکم است که توسعه پایدار زمین را تهدید می‌کند. هم اینک نزدیک به ۱/۱۲۵ میلیارد هکتار از سطح زمین در بیش از ۱۰۰ کشور شوری زده[۱] یا تحت تأثیر شوری است. این مقدار پیوسته در حال افزایش است (ایوشکین و همکاران، ۲۰۱۹). فائو و هیئت فنی بین دولتی خاک [۲] تخمین می‌زنند که مشکل شوری خاک سالانه ۱/۵ میلیون هکتار زمین کشاورزی را از چرخه تولید خارج می‌کند و توان تولید ۲۰ تا ۴۶ میلیون هکتار دیگر را نیز کاهش می‌دهد.

در ایران، شوری خاک مشکلی فراگیر و محدودکننده تولید پایدار کشاورزی است. بخش‌های زیادی از مناطق خشک و نیمه خشک کشور به این مشکل دچارند. گفته می‌شودکه ۵۵/۶ میلیون هکتار یا ۳۴ درصد از سطح کل کشور شور است. چنانچه تنها به زمین های کشاورزی توجه شود، باید گفت که ۴/۳ میلیون هکتار از زمین های فاریاب کشاورزی کشور شورند (فرشاد، ۲۰۱۸ به نقل از مومنی، ۲۰۰۹). چنانچه سطح زیر کشت آبی سالانه ۵/۶ میلیون هکتار و سطح باغات آبی کشور ۲/۵ میلیون هکتار باشد (آمارنامه کشاورزی، جلدهای اول و سوم، ۱۴۰۰)، می‌توان گفت که نزدیک ۵۳ درصد اراضی فاریاب کشور شور هستند.

---

۱ خاک‌های شوری زده ترجمه عبارت Salt affected soils است و افزون بر خاک شور، خاک‌های سدیمی و شور سدیمی را نیز در بر می‌گیرد.

2 Intergovernmental Technical Panel on Soils, ITPS

آنچه که در زهکشی از اهمیت بیشتری برخوردار است، شوری خاک و وضعیت سطح ایستابی است. کمتر جایی را در کشور می‌توان یافت که دارای مشکل زهکشی باشد ولی خاک شوری‌زده نداشته باشد. در حقیقت، شوری بزرگ‌ترین مشکل خاک‌های ایران است. اگر مشکل شوری خاک با سطح ایستابی بالا همراه باشد، با دانش امروزی بشر، زهکشی تنها راه چاره شناخته شده آن است. زهکشی، به خودی خود تولید کننده آلودگی برای محیط‌زیست نیست؛ لیکن جابجا کننده مهمی برای آلاینده‌هاست. در نواحی خشک و نیمه خشک جهان، و از جمله ایران، شوری خاک یکی از گسترده‌ترین و مهم ترین آلاینده‌ها به شمار می رود.

در این فصل به موضوع شوری خاک و آلایندگی آن پرداخته می شود. در جلد دوم راهکارهایی برای کاهش مشکلات ناشی از شوری ارائه می شود.

۹-۲- رده بندی خاک‌های شوری زده

خاک‌های شوری‌زده با معیارهای هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC) و درصد سدیم قابل تبادل (ESP) آن‌ها مطابق جدول ۹-۱ طبقه بندی می شوند.

جدول ۹-۱- رده بندی خاک‌های شوری زده

رده بندی خاک	هدایت الکتریکی دسی زیمنس بر متر	درصد سدیم قابل تبادل	pH
خاک غیر شوری زده	کمتر از ۴	کمتر از ۱۵	کمتر از ۸/۵
خاک شور	بیشتر از ۴	کمتر از ۱۵	کمتر از ۸/۵
خاک سدیمی	کمتر از ۴	بیشتر از ۱۵	بیشتر از ۸/۵
خاک شور و سدیمی	بیشتر از ۴	بیشتر از ۱۵	نزدیک ۸/۵

۹-۳- تاریخچه شوری خاک

شوری خاک برای صدها سال بر روی نوع بشر تأثیر گذاشته است. گفته می‌شود که سقوط میان‌رودان (بین النهرین) در نتیجه شور شدن خاک بوده است. شواهد باستانی تایید می‌کند که وقوع شوری خاک در عراق در ۲۴۰۰ سال پیش از میلاد، در نتیجه مدیریت ضعیف آبیاری، نشت از کانال‌ها و آب‌ماندگی بوده است. گفته می‌شود که شوری به کاهش شدید تولید محصولات گندم و جو در این منطقه انجامیده است. همچنین گزارش شده است که تمدن سومری به دلیل شوری ناشی از فعالیت‌های انسانی، پس از نزدیک ۵۰۰۰ سال تولید موفق، شکست خورده است (سینگ، ۲۰۲۱ به نقل از هیلل، ۲۰۰۰ و تانجی، ۱۹۹۰). شواهدی وجود دارد که اهمیت زهکشی و شوری خاک در مناطق فاریاب بسیار زود درک شده و اعمال شده است. به عنوان نمونه، خاک‌های شور در دشت‌های شمال چین در سال ۱۱۰۰ پیش از میلاد با استفاده از روش‌های آبیاری و زهکشی بهتر اصلاح شد (سینگ، ۲۰۲۱ به نقل از ون و لین، ۱۹۶۴). استفاده از مجرا های بسته برای خروج زهاب برای کنترل شوری در قرن هفدهم شروع شد، در حالی که استفاده از زهکش‌های زیرزمینی سفالی در قرن نوزدهم آغاز شد.

۹-٤- شوری خاک در جهان

به تازگی هاپمنز و همکاران (۲۰۲۱) و تیان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کرده اند که بیش از یک میلیارد هکتار زمین شوری‌زده در جهان وجود دارد و همچنان در حال گسترش است. این برآورد با تخمین ایوشکین و همکاران، ۲۰۱۹ که این رقم را ۱/۱۲۵ میلیارد هکتار می داند، اختلاف دارد. سینگ عقیده دارد که این مشکل با رشد سالانه دو میلیون هکتاری پیش می رود. شوری خاک در سطح جهانی به بیش از ۱۰۰ کشور گسترش یافته است (سینگ، ۲۰۲۱ به نقل از حمّام و محمد، ۲۰۲۰). در سطح جهانی، بیش از یک پنجم کل زمین های آبی شوری‌زده هستند و در صورت عدم مراقبت، انتظار می رود که این مقدار تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۵۰ درصد افزایش یابد (وانگ و

همکاران، ۲۰۲۰). شوری خاک بر جوانه زنی بذر، بهره وری کشاورزی و کیفیت آب و خاک، به ویژه در مناطق نیمه خشک و خشک تأثیر نامطلوب می گذارد و باعث از بین رفتن مناطق زراعی و تخریب زمین می‌شود. شوری خاک دلیل اصلی تخریب زمین و کاهش عملکرد محصول است. در مناطق خشک، ترکیبی از تبخیر و تعرق بالا، بارش کم و عوامل مربوط به خاک، باعث ایجاد نمک در لایه‌های سطحی خاک می شود، خواص خاک را تغییر می دهد و عملکرد خاک را محدود می‌کند. بنابراین، شور شدن خاک در مناطق خشک بسیار ناخوشایند است. بیش از ۳۰ درصد از زمین های آبی جهان به دلیل بارش محدود و تبخیر و تعرق بالا شور است. غلظت بالای نمک به دلیل تأثیر تنش اسمزی بر رشد گیاه تأثیر می گذارد (سینگ، ۲۰۲۱ به نقل از گرجی و همکاران، ۲۰۱۷).

۹-۵- رده‌های اصلی خاک‌های ایران

رده‌های اصلی خاک ایران اریدی سول‌ها[1] و انتی‌سول‌ها[2] هستند که به طور کلی نزدیک به ۴۰ درصد خاک‌های کشور را تشکیل می‌دهند. اریدی سول‌ها رده اصلی خاک بیابان‌هایی هستند که رژیم رطوبتی خشک دارند. گستره آن‌ها نزدیک به ۳۰ میلیون هکتار، معادل ۱۹ درصد مساحت کشور است. اریدی سول‌ها در ایران یا جیپسید[3] (گچی) و یا سالید[4] (نمکی) هستند. خاک‌های جیپسید دارای افق گچی هستند ولی ویژگی‌های دیگر آن‌ها مشابه خاک‌های اریدیک است. مساحت آن‌ها به ۱۲/۳ میلیون هکتار می‌رسد. سالیدها نیز دارای افق نمکی با ویژگی‌های دیگر مشابه رده اصلی خود هستند. مساحت آن‌ها ۶/۲۵ میلیون هکتار است. آنتی سول ها خاک‌های جوانی

3 Aridisols
4 Entisols
3 Gypsids
4 Salids

هستند که توسعه و تکامل کم و ناچیزی پیدا کرده‌اند و ویژگی‌های آن‌ها نمایانگر ماده مادری آن‌ها ست. شکل ۹- ۱ رده‌های اصلی خاک‌های ایران را به نقل از انجمن خاک ایران نشان می‌دهد.

شکل ۹-۱- رده‌های اصلی خاک‌های ایران

۹- ٦- گستردگی خاک‌های شوری‌زده ایران

مقدار دقیق خاک‌های شوری‌زده ایران مشخص نیست. پژوهشگران و مولفین گوناگون ارقامی مطابق جدول ۹- ۲ را در سطح کل کشور (نه زمین های کشاورزی) برآورد کرده‌اند.

مِترنیخت و زینک (۲۰۰۹) گزارش کردند که بیش از ۳۰ درصد از خاک ایران شوری‌زده است و روند افزایشی همچنان ادامه دارد و باعث ایجاد مسائل اکولوژیکی گوناگون مانند شور شدن منطقه ریشه، فرسایش خاک و کاهش بهره وری می‌شود (سینگ، ۲۰۲۱ به نقل از میرزایی و همکاران، ۲۰۲۰). این رقم با برآورد دیگران (جدول ۹-۲) اختلاف زیادی دارد.

جدول ۹-۲- سطح زمین‌های شوری‌زده ایران به روایت مولفین گوناگون در زمان‌های گوناگون

مولف	تاریخ گزارش	مساحت زمین‌های شور میلیون هکتار	درصد از سطح کشور
دوان و فاموری	۱۹۶۴	۱۵/۵	۹/۴
موسسه تحقیقات آب و خاک	۱۹۸۷	۱۸/۰	۱۰/۹
دنت و همکاران	۱۹۹۲	۲۱/۱	۱۲/۸
سیادت و همکاران	۱۹۹۷	۱۶ تا ۲۳ الف	۹/۷ تا ۱۳/۹
پذیرا و صادق زاده	۱۹۹۸	۲۴/۰	۱۴/۶
فائو	۲۰۰۰	۳۴/۰ ب	۲۰/۶
سیاری و محمودی	۲۰۰۲	۲۵/۰	۱۵/۲

الف- بر پایه برآورد

ب- بر پایه نقشه رقومی خاک‌های ایران؛ ۸/۵ میلیون هکتار با شوری زیاد و ۲۵/۵ میلیون هکتار با شوری کم تا متوسط (قدیر و همکاران، ۲۰۰۷)

لیکن در زمین‌های فاریاب درصد زمین‌های شوری‌زده بیشتر است. جدول ۹-۳ وضعیت شوری خاک را در زمین‌های فاریاب کشور نشان می‌دهد. در برآورد کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی، نیمی از زمین‌های فاریاب کشور به عنوان زمین‌های شور در نظر گرفته شده است. از این رو، باید به این ارقام با در نظر گرفتن این موضوع نگاه کرد.

۹-۷- مطالعات کلی خاکشناسی

مطالعات خاکشناسی در کشور، بیشتر به صورت موردی انجام شده است. از این رو، می‌توان گفت که بجز یک مورد که در مقیاس یک میلیونیم انجام شده، مطالعه یکپارچه خاکشناسی در کشور انجام نشده است (مؤمنی و همکاران، ۱۹۹۹).

بیشتر این مطالعات، اجمالی هستند (۵۶ درصد). مطالعات نیمه تفصیلی ۴۱ درصد سطح اراضی مطالعه

شده را تشکیل می‌دهند و تنها در ۳ درصد زمین‌ها مطالعات تفصیلی انجام شده است.

جدول ۹-۳- مساحت زمین‌های فاریاب و شوری‌زده فاریاب کشور

مولف	تاریخ گزارش	زمین‌های فاریاب میلیون هکتار	زمین‌های شور فاریاب میلیون هکتار	درصد زمین‌های شور فاریاب
کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID)	۱۹۷۷	۴/۰۰	۱/۵۰	۳۸
فائو	۱۹۸۹	۵/۷۴ الف	۱/۷۲	۳۰
قاسمی و همکاران	۱۹۹۵	۵/۷۴ ب	۲/۲۰	۳۸
کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID)	۲۰۰۲	۸/۱۰ پ	۴/۰۵ ت	۵۰ ث

الف- برآورد فائو (۱۹۸۹) بر پایه مجموعه داده‌های سال ۱۹۸۷.

ب- مساحت زمین‌های فاریاب برابر مقدار گزارش شده توسط فائو (۱۹۸۹).

پ- بر پایه مجموعه داده‌های سال ۲۰۰۲.

ت- مساحت زمین‌های فاریاب از گزارش ICID و درصد سطح اراضی فاریاب شوری‌زده از گزارش چراغی (۲۰۰۴).

ث- بر پایه برآورد چراغی (۲۰۰۴) با در نظر گرفتن ۵۰ درصد از منطقه آبیاری تحت تأثیر سطوح گوناگون شوری و سدیم (قدیر و همکاران، ۲۰۰۷).

نخستین نقشه دیجیتال خاک کشور در مقیاس یک میلیونیم (۱:۱۰۰۰۰۰۰) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ و با در نظر گرفتن دمای خاک و ۱۳ رژیم رطوبتی تهیه و ارائه شد (بنائی، ۱۳۸۰). خاک‌های موجود در این نقشه با توجه به نظام رده‌بندی داده شده، تا سطح زیر گروه[1] رده‌بندی شده‌اند.

1 Subgroup

۹- ۸- مطالعات خاکشناسی از دیدگاه آبیاری و زهکشی

۹- ۸-۱- طبقه‌بندی خاک برای آبیاری

توانمندی و محدودیت اراضی کشاورزی برای تولید محصولات با آبیاری سطحی در شش کلاس رده‌بندی می‌شود. این رده‌بندی بر پایه وضع موجود و بدون در نظر گرفتن عملیات اصلاحی است. جدول ۹-۴ رده بندی ۲۰ میلیون هکتار از خاک‌های کشاورزی ایران را نشان می دهد. تنها ۶/۵ درصد خاک‌های کشاورزی کشور بدون هیچ گونه محدودیتی هستند. مساحت اراضی با محدودیت کم و متوسط نیز به ۴۸ درصد می رسد.

جدول ۹-٤- رده‌بندی کلی خاک‌های کشاورزی ایران

	کلاس	مساحت میلیون هکتار	درصد
بدون محدودیت	I	۱/۳	۶/۵
با محدودیت کم و متوسط	II و III	۹/۶	۴۸/۰
با محدودیت زیاد و بسیار زیاد	IV، V و VI	۸/۱	۴۰/۰
متفرقه		۱/۰	۵/۵
جمع		۲۰/۰	۱۰۰/۰

۹- ۸-۲- خاک‌های شوری‌زده کشور

همان گونه که گفته شد، خاک‌های شوری‌زده به خاک‌هایی گفته می‌شود که شور، سدیمی و یا شور سدیمی باشند. نزدیک به ۴/۳ میلیون هکتار از ۶/۸ میلیون هکتار کل زمین‌های زراعی کشور[1] تنها مشکل شوری دارند و ۲/۵ میلیون هکتار باقی‌مانده، علاوه بر شوری، دارای محدودیت‌های

۱- این مطالعات در سال ۲۰۰۹ انجام شده است. به این سبب ارقام مربوط به سطوح با اعداد کنونی متفاوت است. پس از این، مطالعات جامع دیگری انجام نشده است.

دیگری در بافت خاک، توپوگرافی، فرسایش و سطح بالای آب زیرزمینی نیز هستند (فرشاد، ۲۰۱۸ به نقل از مومنی، ۲۰۰۹).

روایت‌هایی که از شوری اراضی کشور می‌شود متفاوت است. قسمت بزرگی از زمین‌های کشور (۵۵/۶ میلیون هکتار یا ۳۴ درصد از سطح کل کشور) شور هستند. بیشتر اراضی شور در فلات مرکزی و دشت‌های ساحلی خلیج فارس (از جمله دشت‌های خوزستان) قرار دارند؛ در حالی که ۸۸ میلیون هکتار دیگر آن (۵۳ درصد از کل سطح کشور) که محدودیت شوری ندارند، در کف دره‌های البرز و زاگرس واقع هستند (مومنی، ۲۰۰۹).

۹- ۸-۳- ویژگی‌های خاک‌های شوری‌زده

مطالعات انجام شده برای شناخت خاک‌های شوری‌زده ایران، درجات گوناگونی از شوری، قلیاییت و آب‌ماندگی را در زمین‌های آبی، مناطق دیم و مراتع نشان می‌دهد. این خاک‌ها عبارتند از: خاک‌های آبرفتی شور، خاک‌های سولونچاک (خاک‌های شور مناطق خشک)، خاک‌های شور باتلاقی، خاک‌های بیابانی و ترکیبات گوناگون آن‌ها (دوان و فاموری، ۱۹۶۴؛ محمدی، ۱۹۹۵؛ بنایی ۲۰۰۴).

خاک‌های آبرفتی شور در مناطق آبرفتی با زهکشی ضعیف خاک و با شوری متوسط تا شدید تشکیل شده‌اند. خاک رویی آن‌ها به طورمعمول دارای بافت متوسط و خاک زیرین این مناطق به طورمعمول دارای لایه‌ای از خاک رس است. زهکشی داخلی این خاک‌ها ضعیف و نفوذپذیری خاک کم تا خیلی کم است. در برخی از قسمت‌های خاک‌های آبرفتی، شوری وجود دارد.

خاک‌های آبرفتی شور در سراسر ایران و به ویژه در فلات و دشت‌ها و دره‌هایی مانند خوزستان، سیستان، فارس و غیره پراکنده‌اند. در سطح دشت‌های آبرفتی مناطق خشک و نیمه خشک ایران، تبخیر بسیار بیشتر از بارش است و اگر شوری آب زیرزمینی بالا باشد، باعث بالا آمدن نمک از لایه‌های پایین و انباشت آن در خاک سطحی می‌شود.

خاک‌های سولونچاک[1]، به خاک شور مناطق خشک و نیمه خشک گفته می شود. این خاک‌ها یا زهکشی ضعیفی دارند، و یا در آن شرایط تشکیل شده‌اند. خاک‌های سولونچاک دارای مقدار زیادی نمک محلولند، به طور معمول رنگ روشن دارند، از نظر مواد آلی ضعیفند و دارای ساختمان شکننده هستند. در خاک‌های سولونچاک به طور معمول یک پوسته نمکی در سطح زمین دیده می‌شود و درست در زیر آن لایه‌ای با ساختمان دانه ای قرار دارد. یک یا چند لایه زیرآن به طور معمول گچ فراوان دارد. کل نمک‌های محلول این خاک‌ها در بیشتر موارد بیش از ۳ درصد است. تمام افق‌ها آهک دارند و pH آن‌ها از ۸ تا ۸/۵ متغیر است. سطح آب در آن‌ها در بیشتر موارد به سطح زمین نزدیک است یا در گذشته چنین وضعی حاکم بوده است. خاک‌های سولونچاک به طور کلی برای تولید محصولات کشاورزی نامناسبند. نمونه‌های بارزخاک‌های سولونچاک در چندین قسمت، از جمله جنوب و جنوب غربی خوزستان، ساحل دریاچه ارومیه، حوضه فلات مرکزی و شمال شرق کشور یافت می‌شوند. از زهکشی این خاک‌ها باید زهاب بسیار شوری را انتظار داشت.

۹-۹- شوری خاک در مقیاس سرزمین

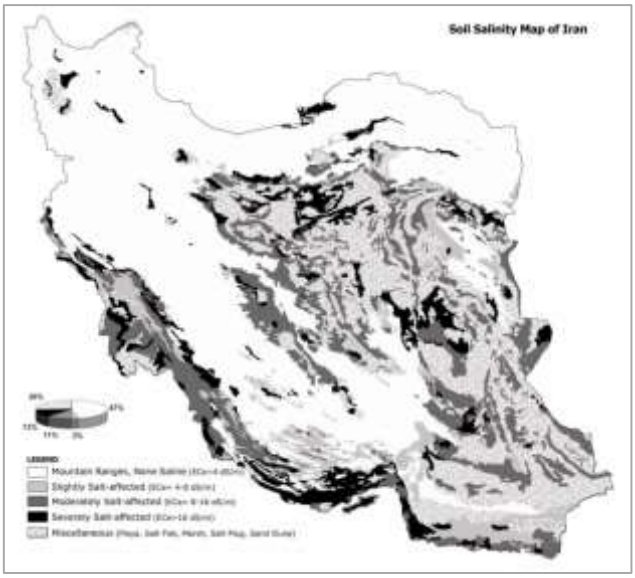
همان گونه که گفته شد در مورد شوری خاک‌های کشور در مقیاس سرزمین، اطلاعات اندکی ارایه شده است. اطلاعات موجود تنها به نقشه یک میلیونیم منابع واستعداد خاک‌های ایران محدود می‌شود که در آن شوری خاک‌های کشاورزی و غیرکشاورزی و پراکنش جغرافیایی آن‌ها ارایه شده است (بنائی، ۱۳۸۰).

شکل ۹-۲ پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری اراضی را در مقیاس سرزمین نشان می دهد. همان گونه که گفته شد، زمین‌های شور کشور(کشاورزی و غیر کشاورزی) مساحتی نزدیک به ۵۵/۶ میلیون هکتار (۳۴درصد مساحت کل کشور) دارند.

[1] Solonchak

۹-۱۰- شوری در مقیاس زمین‌های کشاورزی

همان گونه که گفته شد مطالعات خاکشناسی در کشور، به صورت سراسری انجام نشده است. این مطالعات در تاریخ‌های متفاوت انجام شده و از دقت‌های مطالعاتی متفاوتی (اجمالی، نیمه تفصیلی، تفصیلی و تفصیلی دقیق و گاه با استانداردهای دیگر) برخوردارند. در مجموع تنها نزدیک به ۳ درصد از اراضی مطالعه شده با سطح دقت تفصیلی بوده است (مومنی ۱۳۸۹).



(چراغی، ۲۰۱۲)

شکل ۹-۲- نقشه شوری خاک در ایران

بر پایه مطالعات مومنی (۱۳۸۹)، ۶/۸ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی کشور دارای خاک‌های شور است. در نزدیک به ۴/۳ میلیون هکتار از این مقدار، شوری محدودیت اصلی است. نزدیک به ۲/۵ میلیون هکتار دیگر، افزون برمشکل شوری، دارای محدودیت‌های دیگری نیز هستند. تنها ۸/۴ درصد از کل ۶/۸ میلیون هکتار زمین کشاورزی شورکشور، یعنی نزدیک به ۵۷۰ هزار هکتار، هم

مشکل آب‌ماندگی و هم مشکل شوری دارند.

اطلاعات موجود در منابع علمی گویای این است که بر خلاف گسترش زیاد خاک‌های شور در کشور، خاک‌های شور سدیمی و خاک‌های سدیمی گسترش چندانی ندارند. مومنی (۱۳۸۹) به نقل از فائو (۱۹۸۸) زمین‌های سدیمی (نه شور سدیمی) را فقط ۲/۶ درصد کل اراضی شور ایران ذکر می‌کند. در خوزستان، خاک‌های شور سدیمی، ۱۷ درصد از کل خاک‌های شور استان را در بر می‌گیرند. سهم خاک‌های شور سدیمی در فلات مرکزی ۱۶/۵ درصد است (قرشی و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین، به نظر می‌رسد در موضوع خاک‌های شوری زده، باید تأکید بر شور بودن اراضی باشد تا سدیمی بودن آن‌ها. جدول ۹-۵ وضعیت شوری خاک‌های ایران را نشان می‌دهد.

جدول ۹-۵- مساحت و شوری اراضی کشاورزی و غیرکشاورزی کشور

نوع اراضی	هدایت الکتریکی (dS/m)	میلیون هکتار	درصد
زمین‌های با شوری کم تا نسبتا زیاد	کمتر از ۸	۴۳/۰	۲۶
زمین‌های با شوری نسبتا زیاد تا زیاد	۸ تا ۱۶	۴/۸	۳
زمین‌های با شوری خیلی زیاد تا بسیارزیاد	بیش از ۱۶	۷/۸	۵
کویرهای مرکزی		۲۰/۰	۱۲
کوه‌ها و سایر اراضی		۸۹/۲	۵۴
جمع		**۱٦٤/۸**	**۱۰۰**

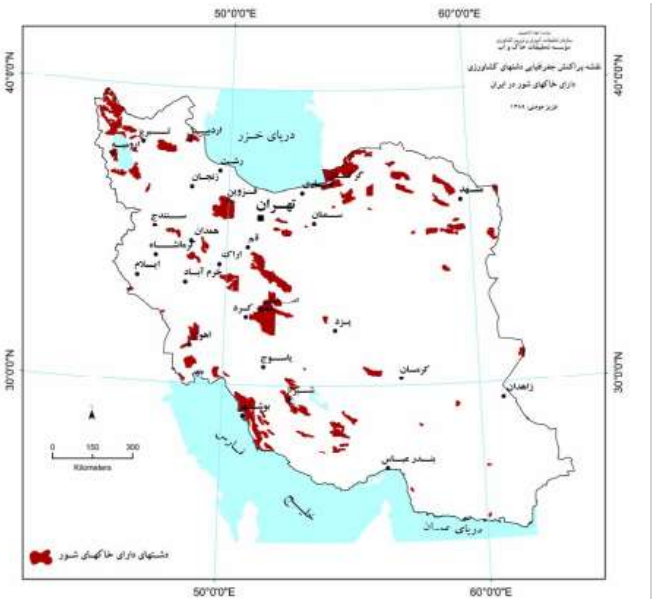
مومنی ۱۳۸۹، با تغییراتی اندک

۹-۱۱- پراکندگی دشت‌های کشاورزی دارای خاک شوری زده

پراکنش جغرافیایی دشت‌های کشاورزی دارای خاک‌های شور در کشور در شکل ۹-۳ ارایه شده است.

شور، سدیمی و شور سدیمی بودن خاک‌های ایران بیشتر ناشی از عوامل طبیعی مانند مواد مادری،

پستی و بلندی، سطح آب زیرزمینی و مانند آنهاست. به این نوع شوری، عنوان شوری اولیه[1] داده شده است. در بسیاری از جاها، عوامل انسانی و ناکارآمدی‌های مدیریتی موجب می شود خاکی که در ابتدا شور نبوده، در اثر آبیاری و یا بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و یا عوامل دیگر شور شود. به این نوع شوری، عنوان شوری ثانویه[2] داده می شود.



(فرشاد و همکاران، ۲۰۱۸ و مومنی ۱۳۸۹)

شکل ۹-۳- دشت‌های کشاورزی دارای خاک شور در ایران

۹-۱۱-۱- شوری اولیه

عامل اصلی شوری اولیه در کشور مربوط به ترکیب زمین شناسی مواد مادری خاک است. عوامل دیگری نیز هستند که در درازمدت شوری اولیه خاک را به وجود آورده‌اند. برخی از آنها عبارتند از: باد شدید، تداخل آب دریا و نسبت تبخیر به بارش. باد شدید موجب انتقال نمک از نقطه‌ای به

[1] Primary salinity
[2] Secondary salinity

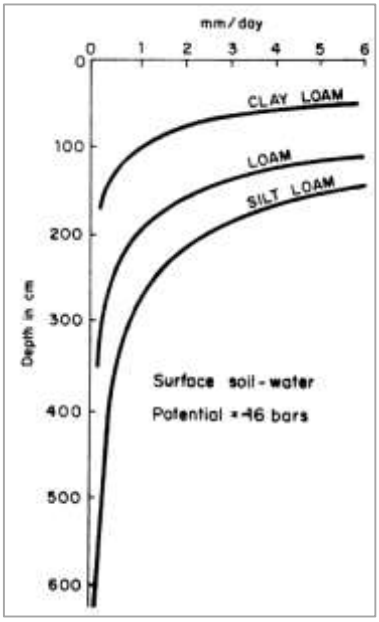
نقطه دیگر می شود. اگر سطح خاک مبدا شور باشد، باید انتظار داشت که شوری خاک در مقصد نیز دیده شود. تداخل آب دریا در سواحل موجب ورود آب شور دریا به خاک زیری مناطق ساحلی می شود. بطور معمول، هنگامی این پدیده روی می دهد که برداشت آب زیرزمینی در ساحل زیاد باشد. بارندگی کم و تبخیر بالقوه بالا در نتیجه دمای شدید، از دیگر عوامل شور شدن خاک هستند. در برخی مناطق، مانند پروژه آبیاری زابل در استان سیستان و بلوچستان، میانگین بارندگی سالانه ۵۵ میلی‌متر و تبخیر سالانه نزدیک به ۴۸۰۰ میلی‌متر و۸۷ برابر بارندگی است (قدیر و همکاران، ۲۰۰۷ و چراغی، ۲۰۱۲). در این حالت تبخیر از سطح خاک به اندازه‌ای است که بارندگی نمی‌تواند اثر مخرب آن را حذف کند.

۹-۱۱-۲- شوری ثانویه

تبخیر وتعرق باعث خروج آب از خاک و افزایش غلظت نمک‌های محلول در آن می‌شود. تبخیر از سطح خاک باعث حرکت رو به بالای آب و نمک می‌شود. هر چه سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیکتر باشد، سرعت تبخیر از سطح خاک بیشتر است. این فرایند دربسیاری از مناطق باعث شور شدن خاک‌ها می‌شود. بدیهی است هر چه آب زیرزمینی شورتر باشد، شور شدن خاک زودتر و با شدت بیشتر روی می‌دهد. شکل ۹-۴ رابطه بین عمق آب زیرزمینی و سرعت تبخیر از سطح خاک را نشان می دهد. رابطه بین عمق آب زیرزمینی و سرعت تبخیر از سطح خاک در زهکشی بسیار مهم است.

افزون بر تبخیر، روش آبیاری، شخم عمیق، پوشش گیاهی، تراکم خاک و سیل گیری و خشکی هم می‌توانند عامل شوری ثانویه شوری خاک باشند. آبیاری غرقابی سهم بزرگی در شوری ثانویه خاک در میان روش‌های آبیاری دارد. گفته می شود که در سال های اخیر، با گسترش آبیاری قطره‌ای در ایران و رعایت نکردن اصول فنی، خاک ها در حال شورتر شدن هستند. شوری آب آبیاری نیز از دیگر عوامل مهم شوری خاک‌هاست.

شخم عمیق در خاک‌های شوری زده، به ویژه آنها که در زیر خاک رویی، افق سالیک دارند، منطقی نیست زیرا موجب می‌شود تا خاک شورآن به سطح خاک بیاید. هرچند امروزه روش‌های خاکورزی حفاظتی در حال پژوهش و تا اندازه‌ای ترویج هستند، لیکن هنوز به اندازه قابل توجهی رواج پیدا نکرده‌اند.



ون هورن (۱۹۷۹)

شکل ۹-٤- رابطه بین عمق آب زیرزمینی و سرعت تبخیر از سطح خاک

بسیاری از گیاهان بومی و جنگلی که ریشه عمیق دارند، کم و بیش همه رطوبت مورد نیاز خود را از خاک‌زیرین می‌گیرند. کندن گیاهان بومی و نکاشت گذاشتن زمین، موجب شورتر شدن خاک و نیز فرسایش بادی می‌شود.

تراکم[1] موجب کاهش نفوذپذیری و هدایت هیدرولیک خاک می‌شود و بر حرکت آب در خاک

1 Compaction

اثر می‌گذارد. در خاک‌های متراکم، خلل و فرج ریز بسیار زیاد است. از این رو نیروی مویینه‌ای خاک بالاست که موجب می‌شود آب بیشتر بالا بیاید و با خود نمک بیشتری را همراه بیاورد.

جنگل‌زدایی، چرای بی رویه، تغییر کاربری زمین و آیش‌گذاری موجب افزایش رویدادهای سیل می‌شود. سیل‌گیری[1] منطقه می تواند شوری را با خود بیاورد یا از داخل مزرعه ببرد. ماندابی شدن[2] نتیجه بالا آمدن سطح ایستابی است. خشک بودن اقلیم مناطقی که با مشکل ماندابی بودن روبرو هستند، به خطر شور شدن خاک می‌افزاید. خاک‌هایی که رویاروی آب‌ماندگی سطحی[3] هستند نیز می‌توانند به مشکل شوری خاک دچار شوند (مومنی، ۲۰۰۹).

خشکیدگی[4] نتیجه تغییر رژیم رطوبتی خاک به سمت رژیم اریدیک است. این خاک‌ها استعداد بیشتری برای شور شدن دارند. در بسیاری از نقاط ایران، سطح آب زیرزمینی پایین افتاده و رژیم رطوبتی خاک تغییر یافته است.

شور شدن ناشی از فعالیت‌های انسانی بیشتر درحوضه‌های بین کوهی نیمه بسته یا بسته‌ای رخ داده است که در آنها برای قرن‌ها کشاورزی فاریاب انجام شده است. قدیر و همکاران (۲۰۰۷) و چراغی (۲۰۱۲) عوامل موثر در شور شدن ثانویه منابع خاک در ایران را چنین یادآور شده‌اند:

- آبیاری با آب‌های شور و یا سدیمی، با مدیریت ناکافی در مناطقی که با کمبود شدید آب روبرو هستند؛
- کمبود امکانات زهکشی، که کلید مناسب دفع زهاب شور و استفاده مجدد از آن در کشاورزی آبی است؛
- تخلیه بیش از اندازه از آبخوان‌های شور؛
- مدیریت نامناسب آبیاری با آب شیرین مانند بیش آبیاری، به ویژه در مناطق بدون زهکشی و یا با زهکشی کم، که منجر به بالا آمدن سطح آب و مشکلات آب‌ماندگی می‌شود؛ و

1 Flooding
2 Ponding
3 Waterlogging
4 Aridification

- چرای بیش از اندازه مراتع و سایر پوشش‌های گیاهی که به قرار گرفتن خاک در رویارویی با خطرهای بیشتر شور شدن می‌شود.

اثر ترکیبی عوامل فوق باعث ایجاد سرزمین‌های گسترده‌ای از خاک‌های شوری زده شده است (سیادت و همکاران، ۱۹۹۷؛ فائو، ۲۰۰۰، قدیر، ۲۰۰۷). توسعه شوری ثانویه در مناطق آبیاری خوزستان، سیستان، مغان، زرینه رود، درودزن، ساوه و زاینده رود از نمونه‌های مهم قابل ذکر هستند (قاسمی و همکاران، ۱۹۹۵، قدیر و همکاران، ۲۰۰۷).

۹- ۱۲- شوری خاک و آب زیرزمینی کم عمق

عمق کمِ آب زیرزمینی و ماندابی شدن اراضی از عوامل مهم تأثیرگذار بر پایداری تولید کشاورزی در پهنه‌های شور هستند. همان گونه که گفته شد، از کل اراضی کشاورزی شور کشور، تنها نزدیک به ۵۷۰ هزار هکتار همزمان دارای شوری زیاد خاک و آب زیرزمینی در محدودهٔ رشد ریشه هستند.

۹-۱۳- تغییرات زمانی - مکانی شوری خاک

شوری پدیده‌ای است پویا که شدت آن در زمان و مکان متغیر است. مؤمنی و همکاران (۱۳۸۹) نقشه‌های شوری ۱۸۰ هزار هکتار از زمین‌های کشاورزی فارس، ۲۴۰ هزار هکتار از زمین‌های کشاورزی خوزستان و ۲۷۰ هزار هکتار از زمین‌های کشاورزی گلستان را با مقیاس ۵۰۰۰۰: ۱ تهیه کردند. در استان خوزستان، مقایسه این نقشه با نقشه‌های شوری تهیه شده در سال ۱۳۳۵ (به نقل از دوان، ۱۹۶۵) نشان دهنده این است که با گذشت بیش از نیم قرن، اگرچه در سطوح شوری اراضی تغییراتی رخ داده است ولی پراکنش جغرافیایی و گستره پهنه‌هایی که دچار شوری بوده‌اند تغییرات زیادی نکرده است. مقایسه نتایج حاصل از مطالعات پراکنده نیز گویای وضعیتی مشابه در استان‌های فارس و گلستان است.

۹-۱٤- شوری آب

استفاده از آب شور برای تولید محصولات زراعی در ایران سابقه طولانی دارد. شیوه‌های مدیریت آبیاری که توسط کشاورزان در استفاده از این آب‌ها به کار گرفته می‌شود، در بیشتر مواقع همان روش‌هایی است که در استفاده از آب‌های غیرشور انجام می‌شود. به طور کلی، تولید محصولات بر پایه استفاده بیش از اندازه از نهاده‌های بذر، کود و آب است. روش‌های زراعی مانند آماده سازی زمین، روش‌های آبیاری و تناوب زراعی نیز بهینه نیست.

مطالعات زیادی در گذشته در مناطق گوناگون ایران در مورد جنبه‌های اصلی مدیریت شوری و سدیمی بودن خاک انجام شده است. این مطالعات شامل: آبشویی نمک‌ها به عمق‌های پایین خاک یا به سامانه زهکشی، در صورت وجود؛ احداث سامانه‌های زهکشی و دفع زهاب و نیز مدیریت مبتنی بر محصول از جمله بهبود ژرم پلاسم گیاه و استفاده از گونه‌های مقاوم به شوری به منظور بالا بردن توان تولید بوده است.

با شورتر شدن آبهای کشور، استفاده از آب‌های شور و بویژه آب‌های لب شور در کشور رایج شده است. از این رو توجه به این منابع اهمیت ویژه‌ای دارد. حجم منابع آب سطحی لب شور و شور که کل نمک‌های محلول[1] آن‌ها در بیشتر مواقع سال بیش از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، ۱۲/۸۸ میلیارد متر مکعب برآورد شده است که نزدیک به ۱۲ درصد از پتانسیل منابع تجدید پذیر آب‌های سطحی کشور را تشکیل می‌دهد.

تخمین منابع آب سطحی شور کشور در چند مطالعه ارائه شده است. یک مطالعه جامع توسط مهندسین مشاور یکم (۲۰۰۸) برای تعیین منابع شور و لب شور سطحی و زیرزمینی کشور انجام شده است. جدول ۹-۶ حجم آب لب شور را در حوضه‌های شش گانه کشور نشان می دهد. در درجه نخست، حوضه خلیج فارس و دریای عمان و سپس حوضه فلات مرکزی بیشترین آب‌های لب شور کشور را دارند.

1Total Dissolved Solids (TDS)

بیشتر رودخانه‌های شور و لب شور در مناطق خشک و نیمه خشک کشور واقع شده‌اند. در این مناطق، تبخیر بسیار بیشتر از مقدار بارندگی است که یکی از دلایل اصلی شوری خاک و منابع آب است.

جدول ۹-٦- حجم آب‌های لب شور در حوضه‌های رودخانه‌های کشور

حوضه آبریز	حجم آب لب شور (میلیارد متر مکعب)	درصد
خلیج فارس و دریای عمان	۸/۶۱۳	۶۷/۳
فلات مرکزی	۲/۸۴۲	۲۲/۲
دریای خزر	۰/۷۲۷	۵/۷
دریاچه ارومیه	۰/۵۱۴	۴/۰
دریاچه هامون	۰/۰۰۳۵	۰/۰
قره قوم	۰/۰۹۴۸	۰/۷
جمع	**۱۲/۸۸**	**۱۰۰**

۹-۱۵- دشت‌های دارای منابع آب زیرزمینی لب شور

نتایج بررسی‌ها و منطقه بندی آب لب شور و شور در کشور گویای این است که ۳۱۱ دشت از ۶۰۹ دشت کشوردارای مناطقی با آب لب شور و شور هستند.

با توجه به برداشت سالانه ۵۳/۸ میلیارد متر مکعب از سفره‌های زیرزمینی آبرفتی (قنات و چشمه و چاه)، ۲۶ درصد از کل برداشت، آب لب شور و شور است.

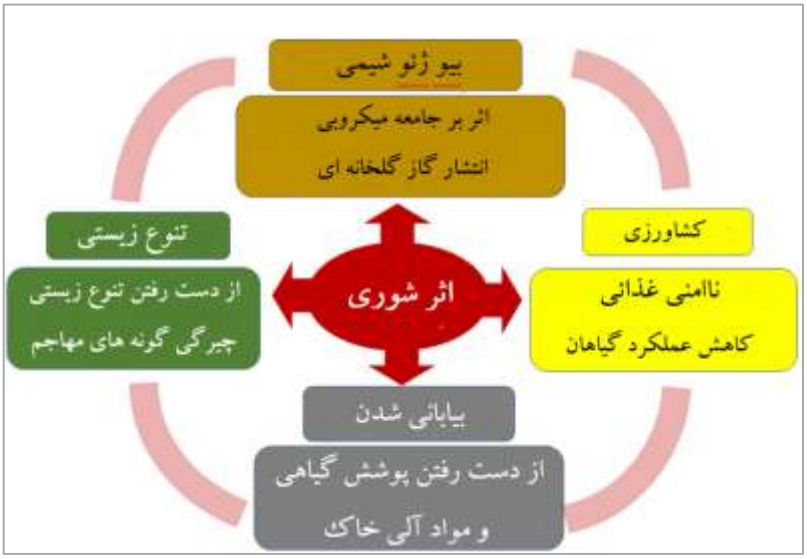
۹- ١٦- محیط‌زیست و شوری خاک

شوری خاک یک محدودیت غیرزیستی تأثیرگذار بر تولید کشاورزی، بویژه در مناطق خشک است. در این مناطق، به دلیل شرایط تبخیری بالا، غلظت نمک در خاک زیاد می‌شود و در نتیجه فشار

اسمزی افزایش می یابد و مقدارآبی که در دسترس گیاه قرار می گیرد کاهش پیدا می‌کند. با گذشت زمان، نمک ها در نیمرخ خاک انباشته می شوند. زمانی که شوری خاک به آستانه مشخصی برسد، رشد گیاه، تعرق و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. افزون بر این، سدیم زیاد در خاک نیز باعث پراکندگی کلوئیدهای خاک می شود و از این راه، بر روابط آب و خاک تأثیر می گذارد و در نتیجه، جریان آب و هوا را در درون خاک تغییر می‌دهد، سرعت نفوذ را کم می‌کند، آب‌ماندگی را بیشتر می‌کند و ممکن است باعث ایجاد شرایط بدون اکسیژن در ناحیه ریشه شود (راموس و همکاران، ۲۰۲۰). نمک های محلولی مانند سدیم و کلرید که در خاک انباشته می شوند، خطر قابل توجهی برای کشاورزی در سطح جهان به شمار می روند (سینگ، ۲۰۲۱). نمک ها پتانسیل اسمزی آب را افزایش می‌دهند و حرکت آب را از طریق ریشه محدود می‌کنند (هیلل، ۲۰۰۰). نمک های محلول عملکرد را کاهش می‌دهند.

شوری خاک به طور مستقیم یا نا مستقیم بر محیط‌زیست طبیعی و انسانی اثر می‌گذارد. در اثر بالا آمدن سطح ایستابی در مناطق فاریاب و غیر فاریاب و یا استفاده از منابع آب شور، شوری می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر جنبه‌های زیر داشته باشد:

- کاهش تولیدات کشاورزی؛
- ازدست دادن تنوع زیستی؛
- کم شدن پوشش گیاهی و افزایش فرسایش خاک؛
- بیابانی و رها شدن زمین های کشاورزی؛
- کمک به تشکیل کانون های گرد و غبار نمکی؛
- تخریب منابع پذیرنده زهاب؛
- تخریب منابع آب‌های زیرزمینی؛
- کاهش فعالیت‌های زیستی خاک؛ و
- تاثیر بر پایداری زیرساخت‌هایی مانند جاده‌ها و پی ساختمان ها.



شکل ۹- ۵- اثر شوری بر محیط‌زیست

۹- ۱۶-۱- شوری خاک و کاهش تولیدات کشاورزی

آب با فرایندی به نام اسمز به ریشه‌های گیاه منتقل می‌شود. نیروی اسمزی توسط غلظت نمک‌های موجود در آبِ خاک و آب موجود در گیاه کنترل می‌شود. ریشه گیاه غشایی نیمه تراوا دارد، لیکن اگر غلظت نمک‌های موجود در آبِ خاک خیلی زیاد باشد، ممکن است آب از ریشه گیاه به خاک برگردد. این امر باعث از دست دادن آب گیاه و کاهش عملکرد و یا حتی مرگ می‌شود.

حتی اگر اثرات شوری آشکار نباشد، ممکن است کاهش عملکرد محصول رخ دهد. تحمل نمک هر گیاه به توانایی آن گیاه در دریافت آب از خاک‌های شور بستگی دارد. شوری با تداخل در جذب نیتروژن، کاهش رشد و توقف تولید مثل گیاه، بر تولید گیاهی، مراتع و درختان تأثیر می‌گذارد. برخی از یون‌ها (به ویژه کلرید) برای گیاهان سمی هستند و با افزایش غلظت این یون، گیاه مسموم شده و می‌میرد.

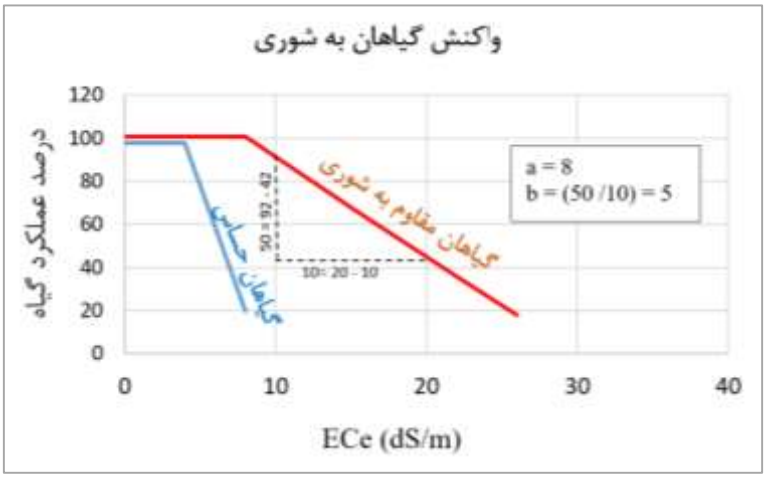
پژوهشگران گوناگون ارتباط بین شوری خاک و عملکرد محصول را بررسی کرده اند. اثر سطوح گوناگون شوری بر عملکرد گروه محصولات کشاورزی در جدول ۹-۷ خلاصه شده است (سینگ، ۲۰۲۱ به نقل از مایکل، ۲۰۰۹؛ ریچاردز، ۱۹۵۴). بیشتر گیاهان کاهش عملکرد قابل توجهی را تا سطح شوری دو دسی زیمنس بر متر ندارند. گیاهان حساس، کاهش عملکردی را بین سطح شوری ۲ تا ۴ دسی زیمنس بر متر نشان می‌دهند. شوری بیش از چهار دسی زیمنس بر متر می‌تواند باعث کاهش عملکرد برای بیشتر گیاهان به جز گیاهان متحمل به شوری شود. اگر شوری خاک از ۱۶ دسی زیمنس بر متر بیشتر شود، بیشتر محصولات نمی‌توانند رشد کنند.

به طور معمول، عملکرد محصول نسبت به شوری تا آستانه مشخصی کاهش نمی یابد و پس از این آستانه است که با هر واحد افزایش شوری، درصدی از عملکرد گیاه کم می‌شود(ون گنوختن و هافمن، ۱۹۸۴؛ سینگ،۲۰۲۱؛ همایی۱۳۸۱). به عبارت دیگر، مدل مفهومی کاهش عملکرد نسبت به افزایش شوری عصاره اشباع خاک مطابق شکل ۹-۶ است.

جدول ۹-۷ - تاثیر مقادیر گوناگون شوری خاک بر عملکرد محصول

	هدایت الکتریکی دسی زیمنس بر متر	تاثیر بر عملکرد
خاک غیر شوری زده	کمتر از ۲	ناچیز
خاک با شوری کم	۲ تا ۴	تنها موثر بر گیاهان حساس
خاک با شوری متوسط	۴ تا ۸	موثر بر بسیاری از گیاهان
خاک شور	۸ تا ۱۶	موثر بر همه گیاهان بجز گیاهان مقاوم
خاک خیلی شور	بیشتر از ۱۶	موثر بر همه گیاهان بجز گیاهان بسیار مقاوم

سینگ، ۲۰۲۱



شکل ۹- ٦- مدل مفهومی کاهش عملکرد گیاه در اثر شوری خاک

عملکرد قابل مقایسه محصول در یک شوری خاص را می‌توان با استفاده از رابطه زیر ارزیابی کرد:

$$Y = 100 - b\,(EC_e - a)$$

که در آن

Y - عملکرد نسبی محصول در شوری معین؛

a - هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در آستانه کاهش محصول بر حسب دسی زیمنس بر متر؛

EC_e - هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک بر حسب دسی زیمنس بر متر؛ و

b - شیب خط، برابر با درصد کاهش عملکرد به ازای افزایش یک دسی زیمنس بر متر بر شوری عصاره اشباع خاک.

جدول ۹-۸ و جدول ۹- ۹ به ترتیب مقاومت و کاهش عملکرد درختان و گیاهان زراعی به شوری عصاره اشباع خاک را برای برخی از گیاهان مهم نشان می‌دهند.

جدول ۹- ۸- مقاومت و کاهش عملکرد درختان به شوری عصاره اشباع خاک

نام گیاه	مبنای عملکرد	آستانه کاهش	شیب خط	درجه تحمل
بادام		۱/۵	۱۹	حساس
زردآلو		۱/۶	۲۴	حساس
خرما	میوه	۴	۳/۶	مقاوم
انگور		۱/۵	۹/۶	تا اندازه ای حساس
گریپ فروت	میوه	۱/۲	۱۳/۵	حساس
لیمو شیرین	میوه	۱/۵	۱۲/۸	حساس
پرتقال	میوه	۱/۳	۱۳/۱	حساس
هلو	میوه	۱/۷	۲۱	حساس

همائی، ۱۳۸۱

جدول ۹- ۹- مقاومت و کاهش عملکرد گیاهان زراعی به شوری عصاره اشباع خاک

نام گیاه	مبنای عملکرد	آستانه کاهش	شیب خط	درجه تحمل
جو	دانه	۸/۰	۵/۰	مقاوم
کلزا	دانه	۱۱/۰	۱۳/۰	مقاوم
ذرت	وزن تر خوشه	۱/۷	۱۲/۰	تا اندازه ای حساس
برنج	دانه	۳/۰	۱۲/۰	حساس
سورگوم	دانه	۶/۸	۱۶/۰	تا اندازه ای مقاوم
سویا	دانه	۵/۰	۲۰/۰	تا اندازه ای مقاوم
چغندر قند	ریشه	۷/۰	۵/۹	مقاوم
نیشکر	وزن ساقه	۱/۷	۵/۹	تا اندازه ای حساس
آفتابگردان	دانه	۴/۸	۵/۰	تا اندازه ای مقاوم
گندم	دانه	۶/۰	۷/۱	تا اندازه ای مقاوم
یونجه	وزن اندام هوایی	۲/۰	۷/۳	تا اندازه ای حساس
لوبیا	وزن غلاف	۱/۰	۱۹/۰	حساس

همائی، ۱۳۸۱

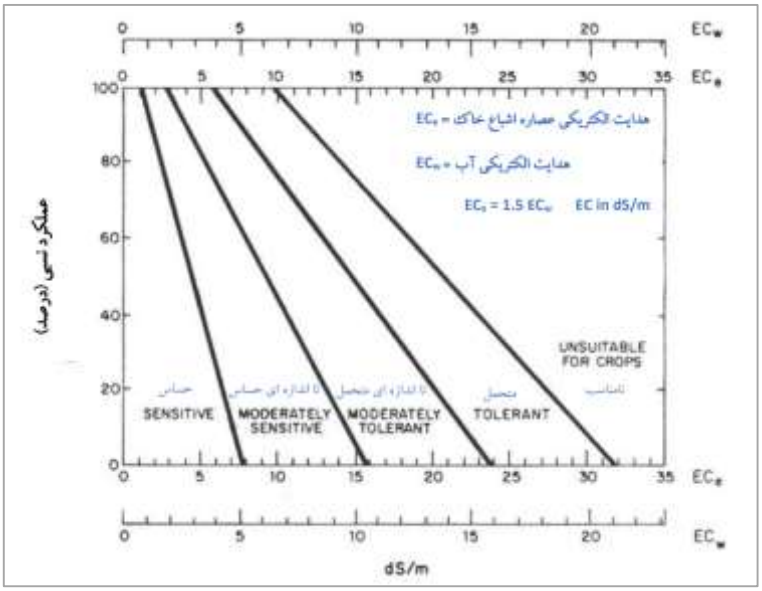
آنچه که یادآوری آن اهمیت دارد توجه به این نکته است که مطالعات ماس و هافمن (۱۹۷۷) که این جدول ها از نتایج کار آن‌هاست، بر پایه پژوهش‌هایی بوده است که در سال های دهه ۱۹۵۰(بادام، زردآلو، گیلاس، چغندرقند و...)، ۱۹۶۰ (خرما و ذرت و....) و تا اندازه ای ۱۹۷۰ (سیب، انگور، کنجد و...) انجام شده است. گیاهان امروزی در اثر کارهای به‌نژادی دچار تغییرات زیادی شده‌اند و اینک بسیاری از آن‌ها به شوری مقاوم‌تر هستند. این می‌تواند تا اندازه ای در جهت امنیت غذایی باشد چون گیاهان امروزی در اثر شوری خاک، کاهش عملکرد کمتری دارند. این بهبود می‌تواند بخشی از زیان وارده در اثر شور شدن خاک‌ها را نیز جبران کند.

شکل ۹- ۷ رابطه بین عملکرد نسبی محصول و شوری عصاره اشباع خاک را با توجه به چهار کلاس شوری خاک نشان می دهد. گیاهان حساسی مانند بادام، پرتقال، گیلاس، گلابی، زردآلو، آلو، نیشکر و لوبیا می‌توانند تا ۲ دسی زیمنس بر متر شوری را بدون کاهش محصول تحمل کنند. گیاهان کم و بیش متحملی مانند آفتابگردان، آناناس، خیار، برنج، انگور و یونجه تا شوری شش دسی زیمنس بر متر را تحمل می‌کنند. گیاهان مقاومی مانند جو، مارچوبه، برمودا، چاودار، چغندر، پنبه و کلزا می‌توانند تا شوری تا ده دسی زیمنس بر متر را بدون کاهش محصول تحمل کنند (محل تلاقی خط های مورب با محور EC_e در عملکرد صد در صد).

۹- ۱۶-۲- تنوع زیستی

با شور شدن خاک و آب، برخی از گیاهان دیگر نمی‌توانند به زندگی خود ادامه دهند. این گیاهان، به ناچار، جای خود را به گیاهانی می‌دهند که توان بیشتری در رویارویی با شوری داشته باشند. بسیاری از پوشش گیاهی طبیعی مناطق شوری‌زده تخریب شده یا آسیب می بینند. این امر باعث تغییرات عمده در تنوع زیستی می‌شود. این شرایط می‌تواند به چیره شدن گونه‌های مهاجم نیز بینجامد. با شور شدن خاک، زیستگاه‌های طبیعی در بسیاری از مناطق کشاورزی تخریب می‌شوند و

بسیاری از گذرگاه‌های حیات وحش از بین می روند. همه اینها موجب تغییر قابل توجه در تنوع زیستی می‌شود.



شکل ۹- ۷ رابطه بین عملکرد نسبی محصول و شوری عصاره اشباع خاک با توجه به چهار کلاس شوری خاک

۹- ۱٦-۳- فرسایش خاک

شوری در مناطق دیم با سایر مسائل تخریب خاک، از جمله فرسایش خاک، ارتباط نزدیکی دارد. در برخی موارد، شوری با رطوبت ناچیز درازمدت خاک و کمبود پوشش گیاهی همراه است و بنابراین آسیب پذیری خاک را در برابر فرسایش افزایش می‌دهد.

۹- ۱٦-٤- بیابانی شدن

شوری خاک، تهویه، چرخه نیتروژن، و عملکرد تجزیه مواد توسط ریزجانداران خاک را مختل می‌کند. تنش شوری با کاهش جذب آب توسط گیاه (تنش اسمزی) و/یا از طریق نابودی برگ‌های

سبز (اثرات یونی خاص) بر رشد پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد و به نوبه خود باعث کاهش ورود موادآلی به خاک و در نهایت منجر به بیابان‌زایی زمین‌ها می‌شود. در شرایط شدید، و بویژه در خاک‌های سدیمی، پراکندگی گرد و غبار شور نیز روی می دهد.

به طور معمول، بیابانی شدن در مناطق پایانی حوضه‌های آبریز، جایی که زمین از شیب کمتری برخوردار است و سطح آب زیرزمینی شور در آن بالاتر است روی می دهد.

۹- ۱۶- ۵- تخریب منابع آب سطحی

مهم‌ترین تاثیری که شوری خاک در بیرون مزرعه می‌گذارد، شور شدن پهنه‌های آبی پذیرنده زهاب و بویژه، رودخانه‌هایی است که پیش از این شور نبوده‌اند. این امر، بر کیفیت آب آشامیدنی و آبیاری تأثیر می‌گذارد. تأثیری که پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جدی برای جوامع روستایی و شهری دارد.

نمک بر موجودات زنده درون رودخانه (حیوانات و گیاهان) و نیز بر سلامت اکولوژیکی رودخانه‌ها و مصب‌ها نیز تاثیرگذار است. از دست دادن زیستگاه، چه در خشکی و چه در آب، بزرگترین تهدید برای تنوع زیستی است. مناطق ساحلی، به ویژه، با خطر روبرو هستند زیرا پایین‌ترین قسمت حوضه هستند که در آن آب‌های زیرزمینی شور به سطح می رسند. نمک‌ها به هماوری مواد ریز (مانند ذرات رس معلق) کمک می‌کنند. در نتیجه نور خورشید بیشتری به رودخانه می‌رسد و در صورت وجود شرایط محیطی مناسب، و وجود نیتروژن و فسفر کافی، ممکن است منجر به شکوفایی جلبک‌های مضر شود.

غلظت بالای نمک بر طعم آب آشامیدنی نیز تأثیر می‌گذارد. طعم آب با افزایش مقدار کمی کلرید تغییر می‌کند. افزایش غلظت سولفات سدیم و منیزیم در آب آشامیدنی ممکن است اثر ملیّن داشته باشد و برای حیواناتی که چرا می‌کنند مناسب نباشد.

۹- ۱۶-۶- تخریب منابع آب‌های زیرزمینی

در اراضی فاریاب، که در آن جریان قائم آب به صورت نفوذ عمقی وجود دارد، نمک‌های محلول، که با آبیاری غلظت بیشتر نیز پیدا کرده‌اند، به سفره آب زیرزمینی می‌رسند و آرام آرام به شوری آن می‌افزایند. شور شدن آب‌های زیرزمینی در ایران، تا اندازه زیادی، به این عامل بستگی دارد.

۹- ۱۶- ۷-کاهش فعالیت‌های بیولوژیک خاک

واکنش ریزجانداران به عوامل محیطی برای درک سازگاری و تکامل آن‌ها در محیط‌های طبیعی از اهمیت بالایی برخوردار است. در میان عوامل غیرزیستی، شوری بیشترین تأثیر را بر زیست‌بوم درون خاک و آبزیان دارد. گفته می‌شودکه تاثیر شوری بر جوامع میکروبی حتی بیشتر از تأثیر دما و pH است. شوری بر خواص فیزیولوژیکی سلول‌ها نیز تأثیر می‌گذارد، پتانسیل اسمزی آن‌ها را تقویت می‌کند، فعالیت ریزجانداران را کاهش می‌دهد و حتی بزرگی زیست توده آن‌ها را به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار می‌دهد.

شوری بیش از اندازه خاک رشد را کاهش می دهد، از تنوع گونه‌ها می‌کاهد و موجب تغییراتی در ترکیب جامعه گیاهان منطقه می‌شود. با این حال، اثر شوری بر جوامع میکروبی خاک هنوز به خوبی شناخته نشده است. مطالعات نشان می‌دهد که تنوع میکروبی به طور خطی با افزایش شوری کاهش می‌یابد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹). با افزایش شوری، جامعه میکروبی در شرایط محیطی گوناگون نیز رفتاری مشابه ندارند. در زیست‌بوم‌های بیابانی، ریزجانداران درون خاک اجزای ضروری برای چرخه مواد مغذی هستند. از این رو، درک چگونگی واکنش آن‌ها به افزایش شوری برای مدیریت و بهبود شوری ضروری است.

۹- ۱۶- ۸- خطر سیل و اثر بر زیرساخت‌ها و تجهیزات

سطح ایستابی بالا در خاک می‌تواند خطرسیل را افزایش دهد. خاک‌ها در این شرایط ظرفیت محدودی برای جذب بارندگی دارند. در نتیجه، مقدار رواناب زیاد می شود. این امر می‌تواند منجر به آسیب به جاده‌ها، حصارها، سدها، زمین های کشاورزی و تالاب‌ها شود.

هرگاه سطح ایستابی در جاده‌ها کمتر از دو متر باشد، کاهش شدیدی در طول عمر روسازی جاده‌ها پیش می‌آید. در عین حال، نیروی موئینه‌ای نمک‌ها را به بالا و به زیر جاده می‌رساند. نمک‌ها همچنین باعث خوردگی و از بین رفتن خواص سازه‌ای قیر، بتن و آجر می‌شوند. آسیب به زیرساخت‌ها شامل خانه‌ها، جاده‌ها و زمین‌های بازی، به ویژه در برخی مناطق، زیاد بوده است. خسارت شوری به جاده‌های روستایی و مسیرهای کشاورزی و ساختمان ها نیز وارد شده است.

۹- ۱۶-۹- خطرات و مشکلات دیگر

مشکلات ناشی از شوری در محیط‌های خشک‌تر، جایی که در آن تبخیر بسیار زیاد است، بیشتر است. در مناطق کم بارش نمک های کمتری از خاک شسته می شوند.

آب آبیاری دارای مقداری نمک است که ممکن است پس از تبخیر روی سطح خاک یا روی برگ گیاهان باقی بماند. هر چه آب آبیاری نمک بیشتری در خود داشته باشد، خاک را بیشتر تخریب می‌کند. نباید از یاد برد که همه روش‌های آبیاری مقداری نمک وارد خاک می‌کنند .

مصرف بیش از اندازه آب در آبیاری ممکن است از ناحیه ریشه عبور کند و به بالا آمدن سطح آب بینجامد. نشت از کانال های آبیاری نیز ممکن است به خیز سطح آب کمک کند.

آب آبیاری سدیک حاوی سدیم بالایی در مقایسه با نمک های کلسیم و منیزیم است. استفاده از این آب ممکن است منجر به پراکندگی خاک و ناتراوا کردن سطح خاک، سله بستن، فرسایش و ورود آب با کیفیت نامناسب به بسترهای بذر شود.

۹-۱۶-۱۰- شوری و مشکلات اجتماعی

شوری همچنین می‌تواند افراد را بطور مستقیم از راه‌های گوناگونی تحت تأثیر قرار دهد، از جمله:

- کاهش جمعیت جوامع روستایی با افزایش مهاجرت؛
- از دست دادن کسب و کار به علت عملکرد پایین مزارع؛
- اشکال در بازسازی روستایی، هنگامی که مزارع سودی را عاید نمی‌کنند؛
- افزایش مشکلات بهداشتی به دلیل ناداری و تغذیه نامناسب و نیز در اثر وارد آمدن استرس بر خانواده‌ها؛ و
- پسرفت کیفیت محیط طبیعی مانند کم شدن تنوع زیستی، از دست رفتن تالاب‌ها و یا شور شدن آن‌ها.

۹-۱۷- راه‌های کاهش اثرات نامناسب شوری

راه‌های کاهش اثرات نامناسب شوری در جلد دوم گفته شده است. استفاده از سیستم‌های پایش و ارزیابی و نیز کاربرد آب آبیاری با راندمان بالاتر می‌تواند بسیاری از مشکلات مرتبط با آبیاری را به کمترین مقدار برساند. این کارها ممکن است شامل تسطیح، پوشش کانال‌های زهکشی با گیاه، اجرای طرح‌های زهکشی زیرزمینی و مخلوط کردن آب شور با آب با کیفیت بهتر باشد.

فصل دهم

نیتروژن

۱۰-۱- پیش‌گفتار

نیتروژن یکی از عنصرهای شیمیایی است که به فراوانی یافت می‌شود. به طور معمول، نیتروژن به صورت یک نافلزگازی، بی‌رنگ، بی‌مزه و بی‌بو است که ۷۸ درصد جوّ زمین را دربر گرفته و عنصر اصلی در بافت‌های زنده است. نیتروژن ترکیبات مهمی‌مانند آمونیاک، اسید نیتریک و سیانیدها را شکل می‌دهد. از گاز نیتروژن می‌توان به منظور کاهش یا از بین بردن اکسیداسیون مواد غذایی استفاده کرد.

نیتروژن خالص در ۱۹۶- درجه سانتی گراد به حالت مایع در می‌آید و در ۲۱۰- درجه سانتی گراد منجمد می‌شود.

گیاهان با انجام عمل فتوسنتز باعث تولید اکسیژن، انرژی و گلوکز (قند ساده) می‌شوند. برای آن که گیاه بتواند با کمک قند ساخته شده، پروتئین سازی کند، نیاز به نیتروژن دارد. بیشتر گیاهان نمی‌توانند نیتروژن را به‌طور مستقیم از هوا دریافت کنند، بلکه می‌توانند آن را بصورت یک ماده محلول درآب به نام نیترات توسط ریشه‌های خود جذب کنند.

نیتروژن بخشی اساسی در ساختمان همه موجودات زنده است. نیتروژن در پروتئین‌ها، واحدهای ساختاری و شیمیایی همه موجودات زنده، و در مولکول‌های DNA یافت می‌شود.

نیتروژن ماده‌ای مغذی برای گیاهان و زیست‌بوم هاست. مقدار بیش ازاندازه آن در زهاب‌ها و پساب‌ها منجر به برخی مشکلات زیست‌محیطی مانند رشد گسترده جلبک‌ها در پهنه‌های آبی می‌شود؛ پدیده‌ای که به آن مغذی شدن[1] می‌گویند.

هر چند نیتروژن نزدیک ۷۸ درصد اتمسفر را تشکیل می‌دهد، لیکن جانوران و بیشتر گیاهان نمی‌توانند به‌طور مستقیم از آن به عنوان غذا استفاده کنند. باکتری‌های موجود در خاک در رابطه با چرخه مجدد نیتروژن از طریق تبدیل آن به شکلی که برای موجودات زنده دیگر قابل استفاده باشد، نقش حیاتی بازی می‌کنند.

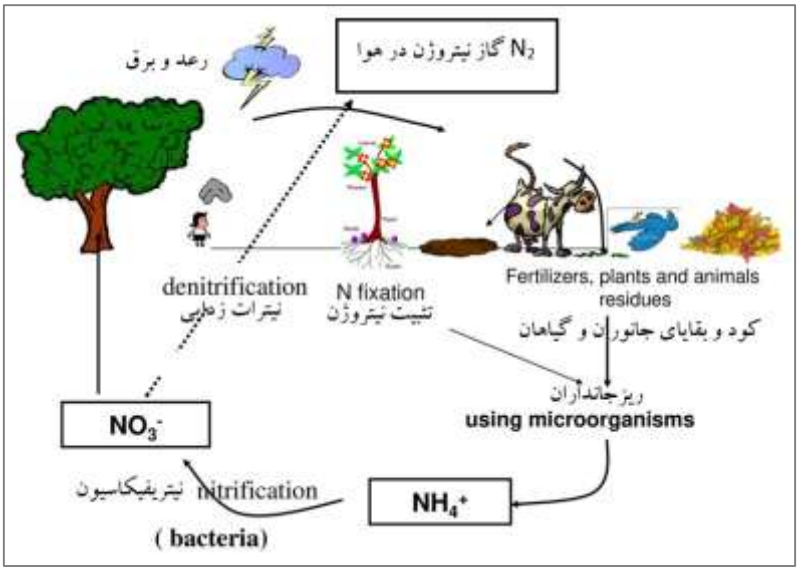
مهم‌ترین کاربرد اقتصادی نیتروژن برای ساخت آمونیاک است. آمونیاک برای تولید کود شیمیایی و اسید نیتریک استفاده می‌شود. نیتروژن همچنین به صورت ماده خنک‌کننده، برای منجمد کردن غذا و ترابری آن، نگه داری اجساد و یاخته‌های تناسلی و نیز برای نگهداری پایدار نمونه‌های زیستی (بانک ژن) کاربرد دارد. نیترات آمونیوم که یک نمک به حساب می‌آید، به صورت کود به کار برده می‌شود.

۱۰-۲- چرخه نیتروژن در طبیعت

نیتروژن همه جا هست! در واقع، گاز N_2 نزدیک ۷۸ درصد از اتمسفر زمین را از نظر حجمی تشکیل می‌دهد که بسیار فراتر از O_2 است که بسیاری از مردم، آن را به عنوان "هوا" می‌شناسند. لیکن وجود نیتروژن در اطراف و توانایی استفاده از آن دو چیز متفاوت است. بدن گیاهان، انسان و جانوران راه خوبی برای تبدیل N_2 به شکل قابل استفاده ندارند. برای جذب یا تثبیت نیتروژن اتمسفر، آنزیم‌هایی لازم است که در دسترس این موجودات نیست. با این حال، DNA و پروتئین‌ها مقدار زیادی نیتروژن دارند. این نیتروژن از کجا می‌آید؟ در دنیای طبیعی از باکتری‌ها! که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

1 Eutrophycation

چرخه نیتروژن به زبان ساده عبارت است از: نیتروژنِ هوا به هنگام رعد و برق به اکسید نیتروژن تبدیل شده، در باران حل شده و جذب خاک می‌شود. در درون خاک، باکتری‌های نیترات‌کننده، این ترکیبات نیتروژنی را به نیترات تبدیل می‌کنند، که توسط گیاهان از طریق ریشه جذب می‌شوند. گیاهان نیترات را به صورت پروتئین ذخیره می‌کنند. حیوانات با خوردن گیاهان، نیتروژن به دست می‌آورند. هنگامی‌که گیاهان و حیوانات می‌میرند، باقی‌مانده اجساد آن‌ها به وسیله موجودات ذره‌بینی موجود در خاک تجزیه می‌شود و ترکیبات نیتروژن درست می‌شود. باکتری‌های تجزیه‌کننده نیترات این مراحل را بر عکس انجام می‌دهند (نیترات زدایی[1] یا دنیتریفیکاسیون). آن‌ها برای تأمین انرژی برای خود از نیترات استفاده می‌کنند و نیتروژن را بار دیگر به هوا باز می‌گردانند.



شکل ۱۰- ۱- چرخه نیتروژن در طبیعت به زبان ساده

1 Denitrification

۱۰-۳- نقش کلیدی باکتری‌ها در چرخه نیتروژن

نیتروژن از طریق باکتری‌ها و سایر پروکاریوت‌ها[1]ی تک سلولی وارد دنیای گیاهان و جانوران می‌شود. فرایندی به نام تثبیت نیتروژن، N_2 اتمسفر را به شکل‌های قابل استفاده زیستی تبدیل می‌کند. برخی از گونه‌های باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، آزادانه در خاک یا آب زندگی می‌کنند. برخی دیگر هم با همزیستی در داخل گیاهان زندگی می‌کنند. شکل ۱۰- ۲ گره‌هایی در ریشه یکی از گیاهان خانواده بقولات (باقلاییان) را نشان می‌دهد که می‌تواند نیتروژن هوا را بگیرد و آن را به نیترات تبدیل کند و در اختیار گیاه قرار دهد. گیاه نیز مواد آلی مورد نیاز باکتری‌ها را به آن‌ها می‌دهد.

شکل ۱۰-۲ - همزیستی باکتری‌ها و ریشه گیاهان خانواده بقولات

ریزجانداران تثبیت‌کننده نیتروژن، نیتروژن اتمسفر را به آمونیاک تبدیل می‌کنند که می‌تواند توسط گیاهان گرفته و برای ساخت مولکول‌های آلی استفاده شود. زمانی که گیاهان خورده می‌شوند،

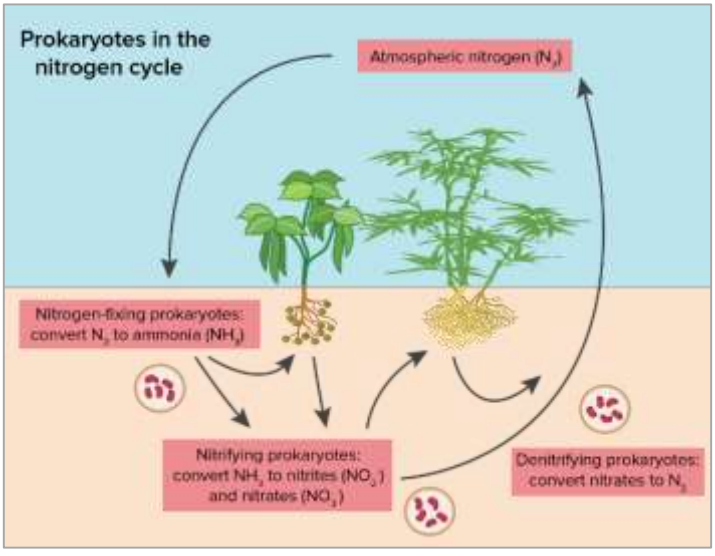
---

۱ یوکاریوت و پروکاریوت دو نوع اصلی از سلول‌های موجود در کره زمین هستند. بزرگترین تمایز بین آن‌ها این است که یاخته‌های یوکاریوتی، هسته مشخصی دارند که حاوی ماده ژنتیکی سلول است؛ در حالی که سلول‌های پروکاریوتی هسته ندارند و ماده ژنتیکی آن‌ها در سیتوپلاسم شناور و آزاد است.

مولکول‌های نیتروژن دار به حیوانات منتقل می‌شوند. آن‌ها یا در بافت‌های بدن حیوان باقی می‌مانند و یا به عنوان مواد زائد، مانند اوره، با ادرار دفع می‌شوند.

پروکاریوت‌ها نقش‌های گوناگونی در چرخه نیتروژن دارند. باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن در خاک و درون گره‌های ریشه برخی از گیاهان خانواده بقولات، گاز نیتروژن موجود در جوّ را به آمونیاک تبدیل می‌کنند. سپس باکتری‌هایی آمونیاک را به نیتریت یا نیترات تبدیل می‌کنند. آمونیاک، نیتریت‌ها و نیترات‌ها همگی نیتروژن تثبیت شده هستند و می‌توانند توسط گیاهان جذب شوند.

باکتری‌های نیترات‌زدایی، نیترات‌ها را دوباره به گاز نیتروژن تبدیل می‌کنند. نیتروژن برای همیشه در بدن موجود زنده باقی نمی‌ماند. در عوض، نیتروژن آلی دوباره توسط باکتری‌ها به گاز N_2 تبدیل می‌شود. این فرایندشامل چندین مرحله در زیست‌بوم‌های زمینی (خشکی) است. باکتری‌ها ترکیبات نیتروژن دار موجودات مرده یا ضایعات آنها را به آمونیاک و سپس به نیتریت‌ها و نیترات‌ها تبدیل می‌کنند. در نهایت، نیترات‌ها با نیترات زدایی پروکاریوت‌ها به گاز نیتروژن تبدیل می‌شوند.



شکل ۱۰- ۳- نقش پروکاریوت‌ها در چرخه نیتروژن

۱۰-٤- چرخه نیتروژن در زیست‌بوم‌های دریایی

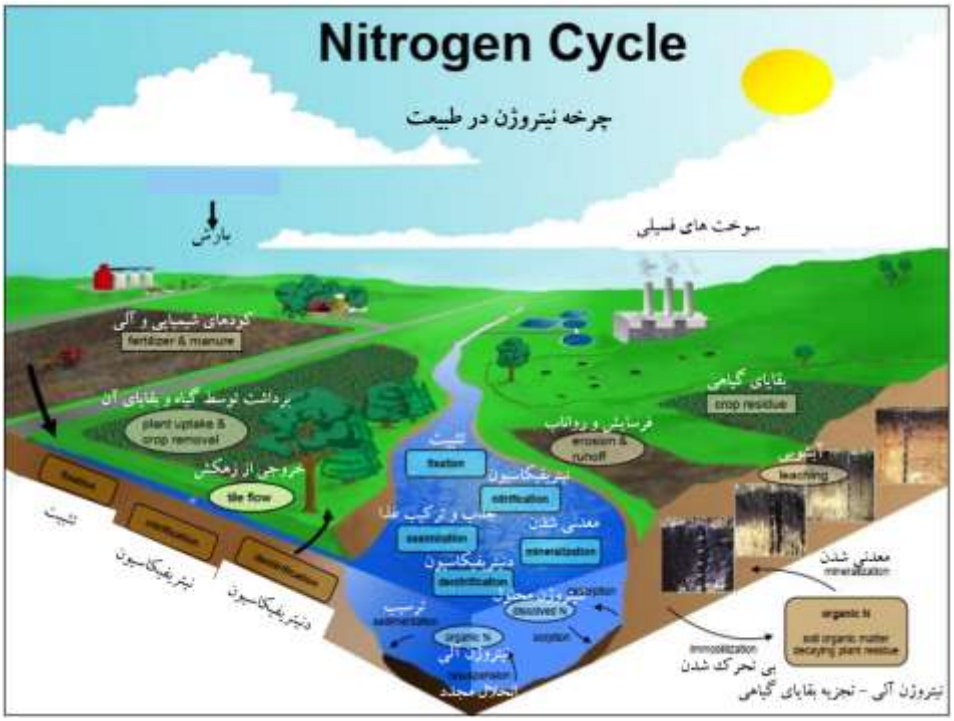
آنچه گفته شد، مربوط به چرخه طبیعی نیتروژن در زیست‌بوم‌های زمینی (خشکی) بود. به طور کلی در زیست‌بوم‌های آبی نیز مراحل مشابهی در چرخه نیتروژن روی می‌دهد؛ با این تفاوت که در اینجا فرآیندهای آمونیفیکاسیون، نیتریفیکاسیون و نیترات زدایی توسط باکتری‌های موجود در آب انجام می‌شود.

شکل ۱۰- ۴ چرخه کامل تری از نیتروژن را در زیست‌بوم‌ها نشان می‌دهد. گاز نیتروژن از جو توسط باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، به نیتروژن آلی تثبیت می‌شود. نیتروژن آلی وارد شبکه‌های غذایی زمینی می‌شود و به صورت ضایعات نیتروژنی در خاک رها می‌گردد. آمونیاکی شدن این زباله‌های نیتروژن دار توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها در خاک، نیتروژن آلی را به یون آمونیوم تبدیل می‌کند. آمونیوم توسط باکتری‌ها به نیتریت و سپس به نیترات تبدیل می‌شود. باکتری‌های نیترات‌زدایی، نیترات را دوباره به گاز نیتروژن تبدیل می‌کنند که وارد جو می‌شود. نیتروژن حاصل از کودها توسط رواناب وارد اقیانوس می‌شود و از آنجا به شبکه‌های غذایی دریایی وارد می‌گردد. مقداری نیتروژن آلی به صورت رسوب به کف اقیانوس می‌رسد. سایر نیتروژن‌های آلی موجود در اقیانوس‌ها به یون‌های نیتریت و نیترات تبدیل می‌شوند که سپس در فرایندی مشابه با آنچه در خشکی اتفاق می‌افتد، به گاز نیتروژن تبدیل می‌شوند.

آنچه که به اقیانوس می‌رسد در طی دوره‌های زمانی طولانی، رسوبات فشرده شده و سنگ‌های رسوبی را تشکیل می‌دهند. در نهایت، پدیده بالا آمدن[1] زمین شناسی ممکن است سنگ رسوبی را به سمت خشکی براند. در گذشته، دانشمندان فکر نمی‌کردند که این سنگ رسوبیِ غنی از نیتروژن، منبع مهم نیتروژن برای زیست‌بوم‌های زمینی باشد. با فرسوده شدن و هوازدگی سنگ ها، نیتروژن به تدریج برای گیاهان آزاد می‌شود.

1 Uplifting

اصلی‌ترین هیدرید نیتروژن، آمونیاک است. ترکیب آمونیاک در محلول، یون‌های آمونیوم (NH_4^+) را تشکیل می‌دهد. آمونیاک مایع یون‌های آمینه (NH_2^-) را به‌وجود می‌آورد که در آب تجزیه می‌شوند. ترکیبات جانشین آمونیاک به تنهایی یا باهم، آمین ها نامیده می‌شوند. زنجیره‌ها، حلقه‌ها و ساختارهای بزرگ‌تر هیدریدهای نیتروژنی نیز شناخته شده‌اند، ولی در واقع ناپایدار هستند.



شکل ۱۰- ٤- چرخه کلی نیتروژن در طبیعت

نیتروژن عنصر اصلی اسیدهای آمینه است. اینجاست که نیتروژن در گیاه به ماده‌ای حیاتی برای ادامه زندگی تبدیل می‌شود. لوبیا مانند بیشتر گیاهان هم خانواده خود می‌تواند عمل بازیافت نیتروژن از هوا را به‌طور مستقیم انجام دهد. همان طور که گفته شد، ریشه‌های آن‌ها دارای گره‌هایی برای

نگه‌داری باکتری‌هایی است که فرایند تثبیت نیتروژن را انجام می‌دهند. این گیاهان آمونیاک را به اکسیدهای نیتروژن و آمینو اسیدها تبدیل کرده و پروتئین می‌سازند.

۱۰-۵- نیتروژن و گیاه

نیتروژن غذای اصلی گیاهان است. اسیدهای آمینه، یکی از اجزای اساسی پروتئین به شمار می‌روند. پروتئین ماده‌ای مهم برای ساخت سبزینه (کلروفیل) است که وظیفه بسیار مهم فتوسنتز را به عهده دارد. نیتروژن نقش مهمی‌در فرآیندهای فیزیولوژیکی گوناگون دارد. رنگ سبز تیره را در گیاه به وجود می‌آورد که باعث افزایش رشد برگ، ساقه و سایر بخش‌های گیاه می‌شود. افزون بر این ها، باعث تحریک رشد ریشه، بهبود کیفیت میوه، افزایش درصد پروتئین و همچنین باعث جذب و استفاده مواد مغذی دیگر مانند پتاسیم و فسفر می‌شود.

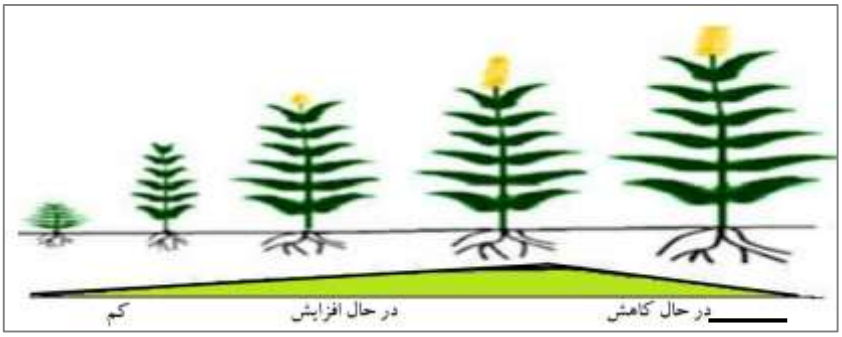
کمبود نیتروژن باعث کاهش رشد، تغییر رنگ سبز برگ‌ها به زرد یا پیدایش نقطه‌های قرمز و صورتی رنگ بر روی برگ‌ها می‌شود. کاربرد بیش ازاندازه آن نیز باعث تیره تر شدن رنگ سبز برگ ها، اثر منفی روی رشد گیاه و تولید میوه با کیفیت نامناسب می‌شود.

۱۰-٦- مدیریت نیتروژن در گیاه

عوامل پرشماری مانند عوامل گیاهی (مانند نوع، مرحله رشد و سن گیاه)، عوامل مربوط به خاک (مانند بافت و مواد آلی) و عوامل اقلیمی، بهره‌وری نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

گیاه در مراحل اولیه رشد (جوانه زنی و رشد گیاهچه) که سیستم ریشه‌ای کاملی ندارد و تعداد برگ‌های آن اندک است، توان کمی برای جذب نیتروژن از خاک دارد. کاربرد مقدار زیادی نیتروژن از کارآیی لازم برخوردار نیست و به هدر رفت آن و آلودگی محیطزیست می‌انجامد. با بزرگ شدن ریشه و با افزایش تعداد واندازه برگ ها، نیاز به نیتروژن افزایش پیدا می‌کند. استفاده برگی نیتروژن در این مرحله می‌تواند مفید تر باشد و آبشویی چندانی از نیتروژن که موجب آلودگی

محیط‌زیست می‌شود، صورت نمی‌گیرد (شکل های ۱۰- ۵ و ۱۰-۶). بیشترین بازده استفاده از نیتروژن در مرحله بلوغ گیاه است. با پیر شدن گیاه، نیاز کمتر می‌شود و بهتر است کاربرد آن کاهش داده شود. شکل ۱۰- ۵ رابطه بین مصرف کود نیتروژنی با مرحله رشد گیاه را نشان می‌دهد (لقاری و همکاران، ۲۰۱۶).



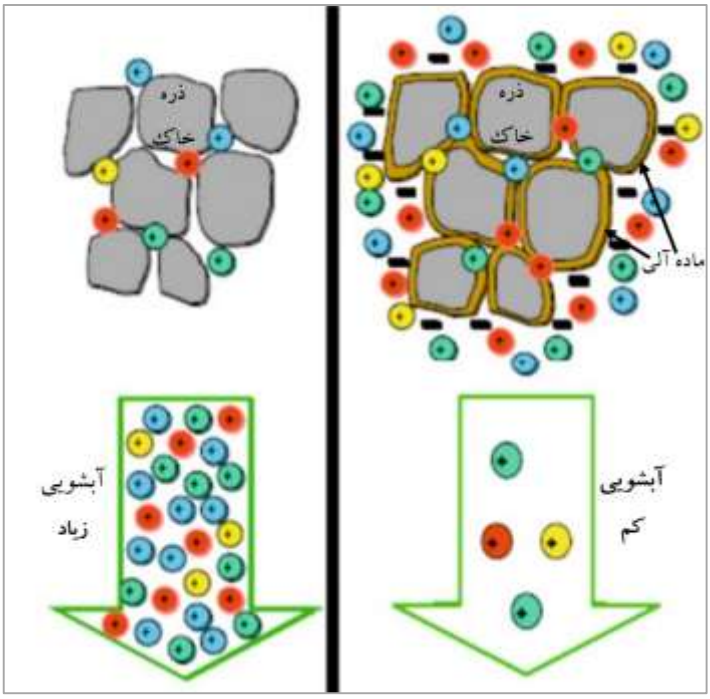
شکل ۱۰- ۵- مدل مفهومی کارایی کود نیتروژنی با رشد گیاه

کارایی مصرف به شدت وابسته به شرایط خاک نیز هست. به طور معمول، خاک‌های با pH بین ۶ تا ۷/۵ برای بیشتر گیاهان مناسب هستند. بافت خاک نیز بر مقدار جذب نیتروژن موثر است. در خاک‌های شنی، جریان قائم آب در خاک زیاد است. نیترات‌های محلول به آسانی آبشویی می‌شوند و از دسترس خارج می‌گردند. از این نظر خاک‌های سنگین کارآیی بیشتری دارند.

ساختمان خاک از راه‌های گوناگون بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. ریشه‌ها بیشترین رشد را در خاک‌های بسیار سبک دارند. لیکن در این گونه خاک‌ها، به علت تماس ناکافی ریشه با فازهای جامد و مایع خاک، جذب آب و مواد مغذی می‌تواند محدود شود. در خاک‌های سنگین، تماس آب و مواد مغذی بسیار بیشتر است، لیکن رشد ریشه‌ها به شدت مهار می‌شود. به این دلیل، ممکن است گیاه، در نهایت، دچار کمبود آب یا مواد مغذی شود. با این حال، بسیاری از خاک‌ها، حتی اگر ریزدانه هم باشند، منافذ درشت پیوسته‌ای دارند که می‌توانند برای نفوذ ریشه، آب، مواد مغذی

و هوا کافی باشند. هر چند این خلل و فرج درشت، باعث رشد بیشتر ریشه می‌شوند، لیکن همچنان تماس ریشه با آب و مواد مغذی، محدود باقی می‌ماند. تماس ریشه با منافذ بزرگ، همچنین فضایی را برای ارتباط با ریزجانداران همزیست فراهم می‌کند. ساختمان خاک نه تنها بر توانایی ریشه‌ها برای رشد و تامین آب و مواد مغذی تاثیر می‌گذارد، بلکه در صورت نامطلوب بودن، آن‌ها را وادار به ارسال سیگنال‌های هورمونی می‌کند که رشد ساقه را کند کنند، حتی اگر در حال حاضر قادر به جذب آب و مواد مغذی کافی باشند (پاسیورا، ۱۹۹۱).

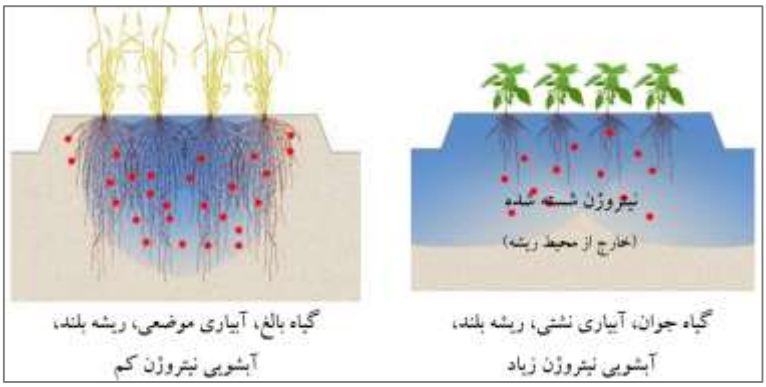
مواد آلی خاک نیز تاثیر زیادی بر آبشویی نیتروژن از خاک دارند. از آنجا که خاکِ با ماده آلی (هوموس) و نیترات، هر دو، بار منفی الکتریکی دارند، نیترات به خاک یا به ماده آلی نمی چسبد و مستعد آبشویی می شود (شکل ۱۰-۶).



شکل ۱۰ - ٦- اثر ماده آلی خاک بر آبشویی نیترات

۱۰-۷- آبشویی نیتروژن

هنگامی‌که خاک در اثر بارندگی یا آبیاری بیش ازاندازه مرطوب شود، به نقطه‌ای می‌رسد که نمی‌تواند آب بیشتری در خود نگه دارد زیرا که فضاهای خالی بین ذرات خاک با آب پر شده است. گرانش باعث می‌شود آب از نیمرخ خاک به سمت پایین حرکت کند. در این صورت نیتروژن محلول نیز با آب به پایین منتقل می‌شود. به این کار آبشویی[1] نیتروژن گفته می‌شود (شکل ۱۰-۷).



شکل ۱۰- ۷- مدل مفهومی‌آبشویی نیتروژن

از میان ترکیبات نیتروژنی، نیترات (NO_3) بیش از همه شسته می‌شود. نیترات‌ها ممکن است از کودهای شیمیایی، دامی، گیاهان پوسیده و سایر مواد آلی منشاء گرفته باشند. نیترات بسیار متحرک است و به راحتی توسط آب جابجا می‌شود. به طور معمول، شکل‌های دیگر نیتروژن، مانند آمونیوم (NH_4)، شسته نمی‌شوند زیرا به خاک چسبیده‌اند و در برابر حرکت با آب مقاومت می‌کنند.

یکی از عوامل مهمی‌که می‌تواند بر آبشویی تأثیر بگذارد، این است که یک خاک چقدر آب می‌تواند در خود نگه دارد؟ طبیعی است که خاک‌های شنی نمی‌توانند به‌اندازه خاک‌های رسی آب در خود نگه دارند. این بدان معنی است که شسته شدن نیترات‌ها در خاک شنی در مقایسه با خاک رسی بسیار راحت تر انجام می‌شود. آبشویی در خاک‌های رسی سنگین عامل خیلی مهمی‌نیست زیرا

1 Leaching

مقدار آن نمی‌تواند زیاد باشد. سایر عواملی که می‌توانند بر شسته شدن نیترات تأثیر بگذارند عبارتند از: مقدار بارندگی، مقدار مصرف آب توسط گیاهان و مقدار نیترات موجود در همتافت خاک.

آبشویی نیترات یکی از مشکلات بسیار مهم محیط‌زیست است.

وجود هوا در خاک برای فرایند شکستن نیتروژن و انتشار آن در ناحیه ریشه مورد نیاز است. تراکم خاک باعث کاهش اکسیژن و بروز مشکل تهویه می‌شود.

۱۰- ۸- فرایند جذب نیتروژن

سه روش گوناگون برای جذب نیتروژن توسط گیاه وجود دارد. این روش‌ها عبارتند از: جریان توده‌ای[1]، انتشار[2]، و ربایش[3] ریشه ای. نیتروژن بیشتر توسط جریان توده‌ای جذب گیاه می‌شود. پیش از آن باید در آب حل شود تا توانایی عبور از غشاء سلولی را داشته باشد. در روش انتشار، جذب مواد غذایی از طریق تبادل بین آنیون‌ها و کاتیون‌ها صورت می‌پذیرد. در این روش، یون نیتروژن جایگزین یون هیدروژنی می‌شود که از درون ریشه به داخل خاک رانده می‌شود. در فرایند ربایش، ریشه خود را به سمت عنصر غذایی می‌کشد و آن را می رباید. جدول ۱۰- ۱مقداری از مواد مغذی گوناگون که با این روش‌ها به داخل گیاه راه می‌یابند را نشان می‌دهد.

بیشترین مقدار نیتروژن از راه جریان توده‌ای به گیاه منتقل می‌شود، لیکن نقش انتشار در کودهای فسفری و پتاسی بیشتر است.

گیاهان دارای دو مسیر برای انتقال مواد غذایی و انرژی هستند؛ آوندهای آبکش و چوبی. در کاربرد متداول کود نیتروژنی، این عنصر از طریق آوند آبکش به برگ‌ها منتقل می‌شود و پس از تبدیل شدن به آمینواسیدها توسط آوند چوبی در قسمت‌های گوناگون گیاه توزیع می‌شود.

1 Mass-flow
2 Diffusion
3Root interception

جدول ۱۰-۱ - مقدار جذب کودهای اصلی و عناصر مهم دیگر به روش‌های گوناگون توسط ریشه برای گندم

ماده غذایی	مقدار برای تولید ۹/۵ تن در هکتار	مقدار تقریبی جذب(کیلوگرم) جریان توده ای	انتشار	ربایش ریشه ای
نیتروژن	۱۹۰	۱۵۰	۳۸	۲
فسفر	۴۰	۲	۳۷	۱
پتاسیم	۱۹۵	۳۵	۱۵۶	۴
کلسیم	۴۰	۱۵۰	۰	۶۰
منیزیم	۴۵	۱۰۰	۰	۱۵
گوگرد	۲۲	۶۵	۰	۱

لینچ، ۲۰۰۶

۱۰-۹- منابع نیتروژن

منبع اصلی نیتروژن هواست. منبع چندانِ دیگری در طبیعت وجود ندارد. مقدار آن در آب دریا (۰/۰۰۰۰۵ درصد)، سنگ‌ها (۰/۰۰۲ درصد) و آبراه‌ها (۰/۰۰۰۰۲۴ درصد) به طور طبیعی بسیار ناچیز است. تنها می‌توان آن را در بقایای گیاهان و جانوران دید. کود سبز، کمپوست، کود مرغی، بقایای ماهیان، ضایعات کشتارگاهی مانند سُم و شاخ و خون و ....، ضایعات کارخانه‌های مواد غذایی و روغن کشی و..... از منابع دیگر نیتروژن به شمار می‌روند.

نیتروژن از منابع گوناگون دیگری نیز تثبیت می‌شود. نیتروژن قابل دسترس صنعتی مهم‌ترین منبع نیتروژن در جهان است.

۱۰- ۹-۱- تثبیت نیتروژن اتمسفری

تثبیت نیتروژن اتمسفری زمانی روی می‌دهد که گاز نیتروژن (N_2) توسط انرژیِ نورانی شکسته می‌شود و به نیتریک اکسید (NO_2) تبدیل می‌شود و سپس با اکسیژن ترکیب می‌شود و نیترات را

تولید می‌کند؛ که توسط باران به زمین منتقل می‌شود. مقدار نیتروژنی که توسط این روش تثبیت می‌شود زیاد نیست.

۱۰- ۹-۲ - تثبیت زیستی نیتروژن

این روش تثبیت نیتروژن توسط ریزجانداران صورت می‌پذیرد. این موجودات باکتریایی، نیتروژن اتمسفری را توسط فرایند آمونیفیکاسیون به آمونیوم تبدیل می‌کنند. پس از آن، آمونیوم توسط باکتری‌هایی مانند نیتروسپیرا[1]، نیتروسموناس[2] ونیتریزوکوکوس[3] به نیتریک اکسید و سپس توسط باکتری‌هایی مانند نیتروباکتر، نیتروسپیرا، نیتروسپینا و نیتریزویکوکوس به نیترات تبدیل می‌شود که بهترین فرم قابل جذب برای رشد و نمو گیاه شناخته می‌شود.

۱۰- ۹ -۳- تثبیت آلی نیتروژن

انواع گوناگونی از کودهای آلی وجود دارند که حاوی نیتروژن هستند. کودهای متراکمی مانند کودهای گاوی و گوسفندی مورد استفاده در حیاط خانه، کود مرغی، کمپوست مزرعه و کود سبز، بقایای ماهیان، ضایعات کشتارگاهی مانند سم و شاخ و خون و ....، ضایعات کارخانه‌های مواد غذایی و روغن کشی و..... از این جمله هستند.

۱۰-۱۰- مدیریت نیتروژن

روش و زمان کاربرد نیتروژن اثر مستقیمی روی تولید محصولات دارد. روش‌های جدید کود دهی مانند کود آبیاری[4] جایگزین روش‌های قدیمی‌تر مانند کاربرد برگی کود شده‌اند. قبل از استفاده از نیتروژن باید موارد زیر را در نظر گرفت:

1 Nitrosospira
2 Nitrosomonas
3 Nitrosococcus
4 Fertigation

- نوع گیاه یا محصول و خصوصیات ریشه آن؛
- برآورد نیاز مراحل گوناگون رشد گیاه نسبت به نیتروژن؛
- ویژگی‌های خاک؛
- رطوبت خاک؛ و
- منبع آب مورد استفاده در کشاورزی

۱۰-۱۱- چند روش کاربرد مواد مغذی در کشاورزی

۱۰- ۱۱-۱- روش پاشیدن کود[1]

این روش کاربرد به صورت پخش و پاشیدن کود در روی سطح زمین و گیاه است. در این روش، کود به طور کم و بیش یکنواخت توزیع می‌شود. در این روش تلفات کود بالاست و بیشترین مقدار کود را نیاز دارد و برای محصولات متراکم مناسب است. تلفات بالای کود در این روش، آسیب بیشتری به محیط‌زیست وارد می‌کند.

۱۰- ۱۱- ۲- روش جا گذاری۲

در این روش، کود نیتروژن در نقطه مورد نظر در داخل خاک قرار می‌گیرد. این روش هنگامی بیشتر مناسب است که مقدار کود در دسترس کم باشد یا این که به خاطر ویژگی‌های نامناسب خاک، ریشه گیاه توانایی رشد مناسبی نداشته باشد. در این روش تلفات کود زیاد نیست و کود در نقطه‌ای گذاشته می‌شود که گیاه بتواند از آن استفاده کند. از این رو، خطرات محیط‌زیستی آن بالا نیست.

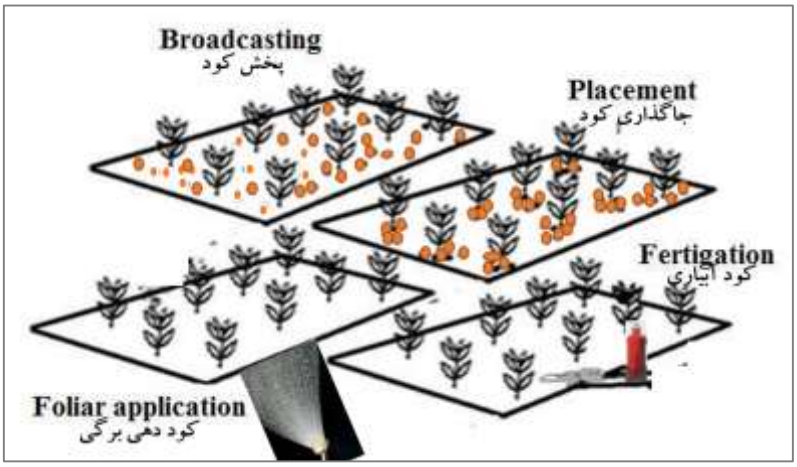
1 Broadcasting
2 Placement

۱۰- ۱۱- ۳- روش برگی[1]

در این روش کود را در آب حل کرده و توسط پاشنده‌ها روی برگ‌ها و قسمت‌های رویشی گیاه می‌پاشند.

۱۰- ۱۱- ٤- روش کود آبیاری[2]

در این روش محلول نیتروژن توسط جریان آب آبیاری به پای گیاهان می‌رسد. مشاهده شده‌است که این روش برای کاربرد کودهای نیتروژنه بسیار مناسب و اقتصادی است. تلفات کود کمترین مقدار را دارد و مقدار جذب توسط گیاه نیز بالاست.



شکل ۱۰- ۸- روش‌های گوناگون کوددهی

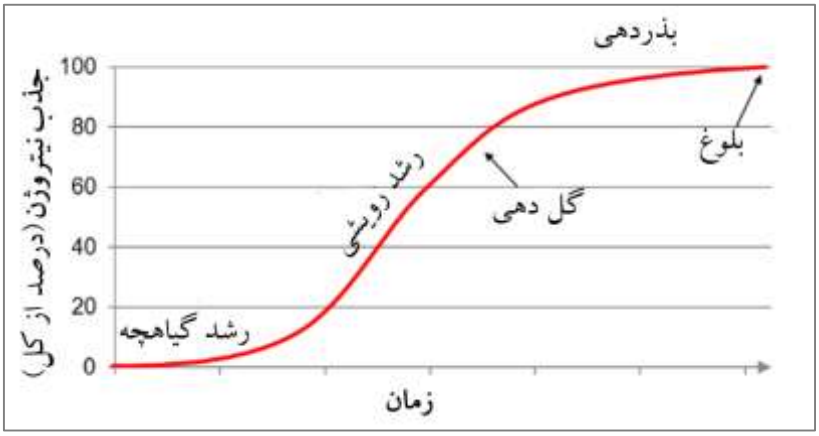
۱۰-۱۲- نگاهی به الگوی جذب فصلی نیتروژن

منحنی تجمعی جذب نیتروژن در گیاهان یکساله، از هنگام کاشت تا بلوغ، به طور کلی از منحنی S شکل (سیگموئید) پیروی می‌کند (شکل ۱۰-۹). در مرحله جوانه زنی و رشد گیاهچه، نیتروژن

1 Foliar method
2 Fertigation method

اندکی جذب می‌شود. سپس سرعت جذب نیتروژن با گسترش ریشه، برگ و ساقه‌ها زیاد می‌شود و در طول رشد رویشی به بیشینه مقدار خود می‌رسد. در مرحله رشد زایشی، نیتروژن از اجزای رویشی به بخش‌های زایشی مانند دانه‌ها، میوه‌ها یا غده‌ها منتقل می‌شود.

چنانچه نیتروژن کافی در دسترس باشد و شرایط محیطی مانند آب، دما و تابش خورشیدی مساعد باشد، دوره جذب سریع نیتروژن همزمان با رشد سریع زیست توده است. غلظت نیتروژن در بافت گیاهی، مانند برگ و دمبرگ، به شدت به مقدار نیتروژن در دسترس بستگی دارد. از غلظت نیتروژن در بافت‌ها می‌توان برای تعیین غلظت بهینه نیتروژن در دوره‌های مشخص رشد استفاده کرد.



گیسلر و هوروات، دانشگاه کالیفرنیا، دیویس http://geisseler.ucdavis.edu/Guidelines/N_Uptake.html

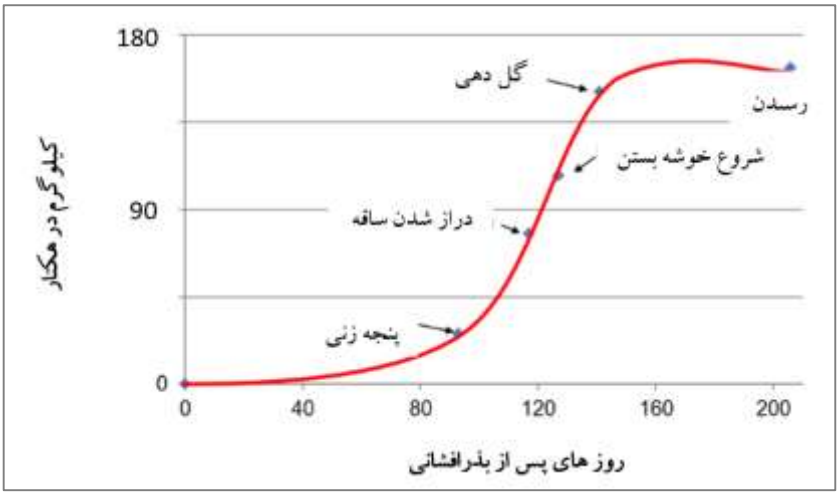
شکل ۱۰- ۹- مدل مفهومی جذب نیتروژن در گیاهان یک ساله نسبت به زمان

سرعت جذب نیتروژن همیشه قبل از برداشت کاهش نمی‌یابد. در محصولاتی که قبل از رشد گل‌ها و دانه‌ها برداشت می‌شوند، مانند کاهو و کلم بروکلی، جذب نیتروژن در طول فصل رشد همواره بالا باقی می‌ماند.

جذب نیتروژن در درختان برگریز (خزان دار) و انگور نیز از یک الگوی S شکل بین زمان پیدایش برگ و برداشت پیروی می‌کند. جذب نیتروژن به طور کلی قبل از پیدا شدن برگ ناچیز است. بیشترین مقدار نیتروژن مورد نیاز در اوایل بهار ازاندام هایی مانند شاخه‌ها، تنه و ریشه‌ها منتقل می‌شود. جذب نیتروژن به طور کلی در طول رشد برگ و رشد اولیه میوه بالاترین مقدار را دارد و در اواخر رشد کند می‌شود. در این زمان، نیتروژن بیشتری از برگ‌ها به میوه‌ها منتقل می‌شود. برخی از گونه‌ها، پس از برداشت محصول نیز نیتروژن جذب می‌کنند تا دراندام‌های دائمی‌خود ذخیره کنند. هنگامی‌که برگ ها پیر شده ولی هنوز نریخته‌اند، جذب نیتروژن از خاک متوقف می‌شود و بخشی از نیتروژن موجود در برگ‌ها دوباره جابجا شده و دراندام‌های دائمی‌ذخیره می‌شود؛ جایی که در بهار سال بعد برای کمک به رشد اولیه برگ‌ها استفاده می‌شود.

آنچه که گفته شد تنها یک مدل مفهومی‌جذب نیتروژن در گیاهان یک ساله نسبت به زمان بود. این منحنی برای هر گیاه می‌تواند اندکی متفاوت باشد. در شکل ۱۰- ۱۰ به عنوان نمونه، منحنی جذب نیتروژن برای گندم ارائه شده است. در مورد بسیاری از گیاهان دیگر می‌توان به گیسلر و هوروات در سایت دانشگاه کالیفرنیا، دیویس مراجعه کرد.

(http://geisseler.ucdavis.edu/Guidelines/N_Uptake.html).



شکل ۱۰- ۱۰- مدل جذب نیتروژن در گندم

۱۰-۱۳- نیتروژن در بخش‌های برداشت شده گیاه

در بسیاری از محصولات زراعی، بخشی از نیتروژن جذب شده توسط گیاهان، در قسمت‌های برداشت شده گیاه می‌ماند. نسبت نیتروژن برداشت شده از مزرعه به محصول برداشت شده، به ویژگی‌های محصول بستگی دارد. به عنوان نمونه نزدیک یک چهارم نیتروژن برداشت شده توسط گندم در کاه انباشته می‌شود و سه چهارم بقیه در دانه می‌ماند. در کلم بروکلی تنها یک سوم نیترات در محصول برداشت شده باقی می‌ماند؛ در حالی که ممکن است این نسبت در ذرت سیلو یا ذرت علوفه‌ای نزدیک ۱۰۰ درصد باشد. زیست توده باقی‌مانده در مزرعه سرانجام تجزیه می‌شود و بخشی از نیتروژن آن باقی می‌ماند تا در دسترس محصول بعدی قرار گیرد. این که چه نسبتی از نیتروژن برای محصول بعدی باقی می‌ماند، به ویژگی‌های مواد باقی‌مانده، مانند محتوای لیگنین و نسبت کربن به نیتروژن و نیز به عوامل مرتبط با خاک، آب و هوا و مدیریت محصول بستگی دارد. همه این عوامل بر تجزیه میکروبی تأثیر می‌گذارند. مقدار نیتروژنی که می‌تواند از طریق نیترات زدایی و آبشویی در فاصله زمانی بین برداشت و استقرار محصول بعدی از دست برود، به بارش و آبیاری بستگی دارد.

۱۰-۱٤- عوامل مهم موثر بر آبشویی نیتروژن در خاک

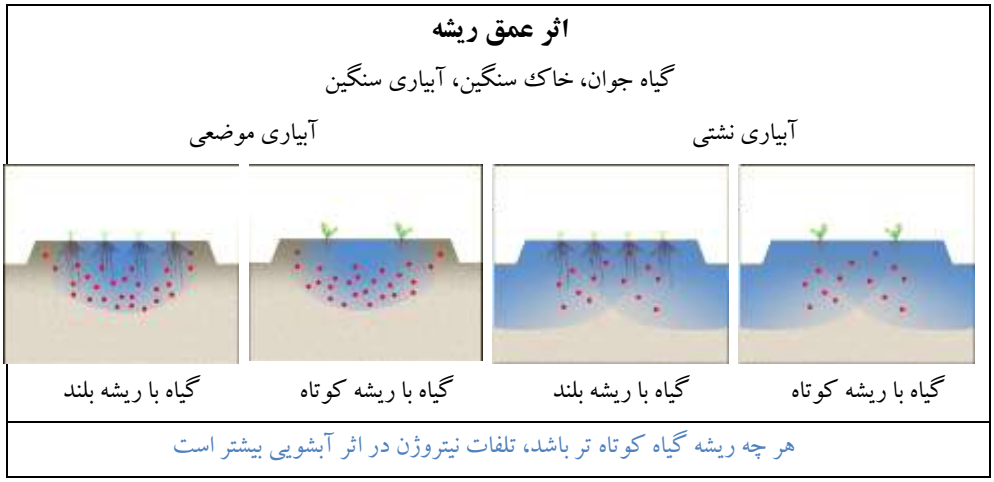
همان گونه که گفته شد عوامل موثر بر آبشویی نیتروژن پرشمارند. از میان آن‌ها نقش عمق ریشه، سن گیاه، بافت خاک، روش آبیاری و مقدار آبیاری از اهمیت بیشتری برخوردارند. دانشگاه کالیفرنیا در دیویس ابزاری را معرفی کرده است که با کمک آن می‌توان مدل‌های مفهومی‌اثر این عوامل بر آبشویی نیتروژن از محیط ریشه را دید. شکل ۱۰-۱۱ این عوامل را نشان می‌دهد.

http://geisseler.ucdavis.edu/Guidelines/Home.html

شکل ۱۰-۱۱- عوامل مهم موثر بر آبشویی نیتروژن از محیط ریشه

۱۰- ۱٤-۱- اثر عمق ریشه بر آبشویی نیتروژن از خاک

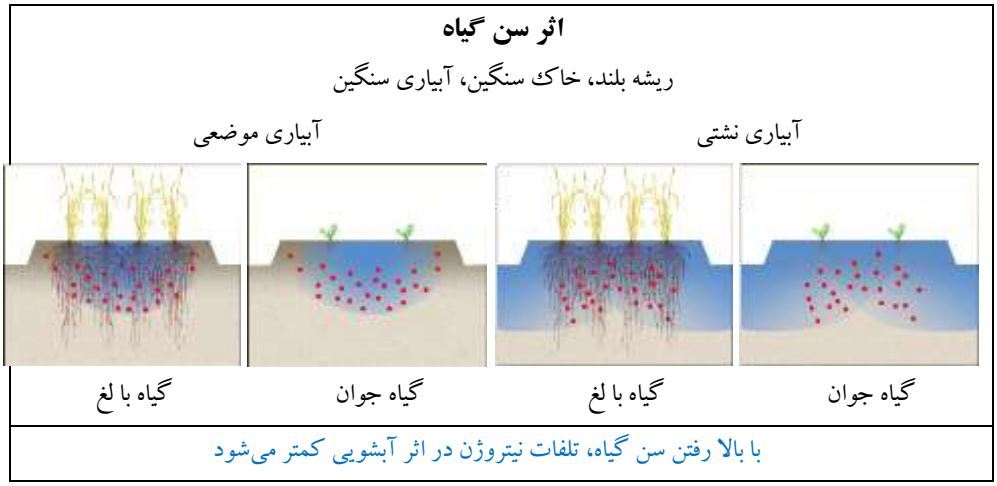
گیاهانی که ریشه کوتاه دارند، مقدار بیشتری از نیتروژن نیتراتی را در اثر آبشویی از دست می‌دهند. این وضعیت هم در آبیاری سطحی و هم در آبیاری موضعی صدق می‌کند؛ با این تفاوت که در آبیاری موضعی می‌توان به آسانی با کم کردن ساعات آبیاری، تلفات نیتروژن را به کمترین مقدار خود رساند؛ در حالی که در آبیاری سطحی، این کار دشوار و تا اندازه‌ای غیر ممکن است. در این روش آبیاری، بطور معمول نمی‌توان با کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر (۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار) آبیاری کرد. با استفاده از شکل ۱۰-۱۲می‌توان به چگونگی موضوع پی برد.



شکل ۱۰-۱۲- اثر عمق ریشه بر تلفات نیتروژن

۱۰- ۱٤-۲- اثر سن گیاه بر آبشویی نیتروژن از خاک

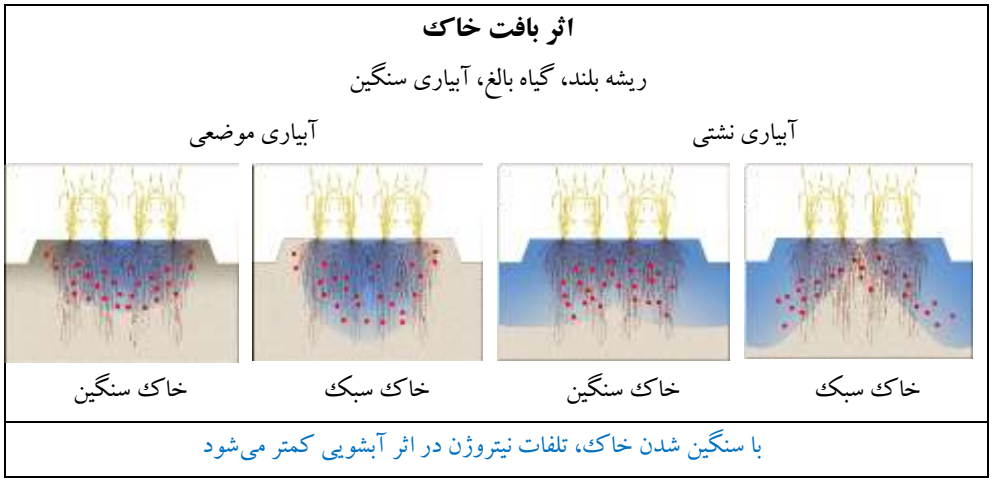
گیاهان جوان نیتروژن بیشتری را در خاک تلف می‌کنند زیرا هم ریشه کوتاه تری دارند و هم نیاز آن‌ها به جذب نیتروژن کمتر است. این موضوع در روش‌های آبیاری سطحی و موضعی صادق است. راه چاره شاید این باشد که به گیاهان جوان کود کمتری داده شود (شکل ۱۰-۱۳).



شکل ۱۰-۱۳- اثر سن گیاه بر تلفات نیتروژن

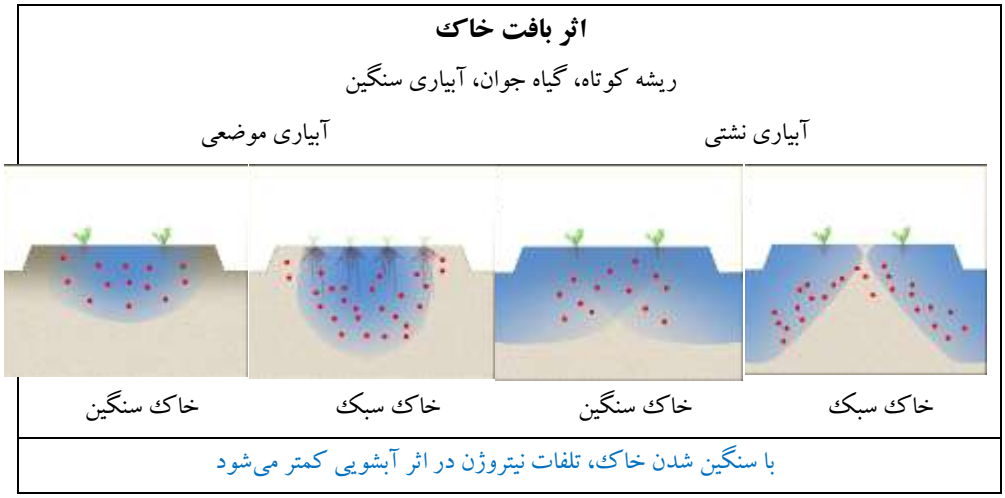
۱۰- ۱٤-۳- اثر بافت خاک بر آبشویی نیتروژن از خاک

هر چند خاک‌های سبک تخلخل کل کمتری از خاک‌های سنگین دارند، لیکن تخلخل درشت[1] آن‌ها بیشتر است. افزون بر این، خاک‌های سبک مواد کلوییدی ناچیزی دارند و توان جذب یون‌های نیتروژن در آن‌ها زیاد نیست. ظرفیت نگهداری آب[2] در این گونه خاک‌ها نیز از خاک‌های سنگین کمتر است. مجموعه این عوامل باعث می‌شود که در خاک‌های سبک آبشویی نیترات بیشتر باشد. شکل‌های ۱۰- ۱۴ و۱۰-۱۵ این وضعیت را به ترتیب برای گیاهان ریشه بلند و ریشه کوتاه نشان می‌دهند. روش‌های آبیاری گوناگون، تفاوت چندانی در این وضعیت به وجود نمی‌آورند.



شکل ۱۰-۱٤- اثر بافت خاک بر تلفات نیتروژن در گیاهان ریشه بلند

1 Macroporosity
2 Water holding capacity



شکل ۱۰-۱۵- اثر بافت خاک بر تلفات نیتروژن در گیاهان ریشه کوتاه

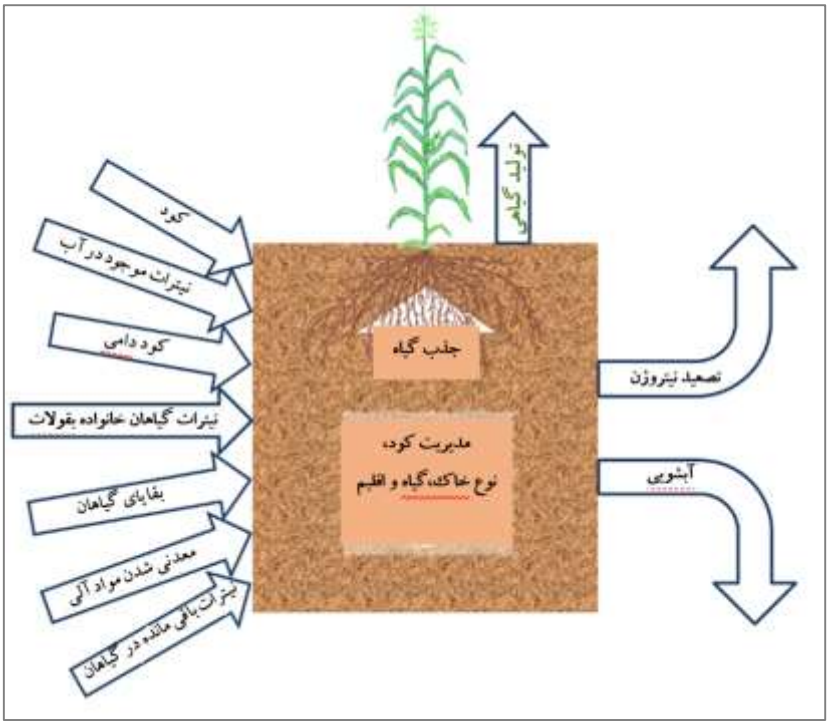
۱۰-۱۵- تعادل نیتروژن در خاک

برای مدیریت مناسب کود و این که چه موقع و چه مقدار باید از کود نیتروژنی استفاده کرد، باید از مفهوم تعادل (بیلان) نیتروژن در خاک استفاده کرد. عوامل این بیلان پرشمارند. شکل ۱۰- ۱۶ این عوامل را نشان می‌دهد.

ورودی‌های بیلان ازکود دامی، نیترات موجود در آب، کود شیمیایی، نیتروژن گرفته شده از هوا توسط گیاهان خانواده بقولات، نیترات باقی‌مانده در بقایای گیاهان و معدنی شدن مواد آلی خاک هستند. به طوری که دیده می‌شود، ورودی‌های نیتروژن به خاک تنها محدود به کودهای دامی‌و شیمیایی نمی‌شود.

خروجی‌های بیلان عبارتند از: تولید گیاهی، تبخیر یا تصعید نیتروژن و نیتروژن تلف شده در اثر آبشویی.

در شکل ۱۰-۱۶(مولفه‌های بیلان نیتروژن) ممکن است در برخی موارد، عامل یا عوامل دیگری نیز به سیاهه ورودی‌ها یا خروجی‌ها افزوده شود.



شکل ۱۰- ۱٦- عوامل موثر بر تعادل نیتروژن در خاک

بطوری که پس از این دیده خواهد شد، برای به دست آوردن هر یک از این پارامترها نیاز به چند تخمین است. از این رو، همواره باید به پاسخ‌های به دست آمده به نادقیق بودن نتیجه توجه کرد.

۱۰- ۱۵-۱- منابع نیتروژن دار غیر از کود شیمیایی

منابع غیر کودی نیتروژن که در معادله بیلان منظور می‌شوند، عبارتند از:

- نیترات باقیمانده خاک از کشت قبلی؛

- نیتروژنی که بوسیله آب آبیاری به خاک می‌رسد؛
- نیتروژنی که از هر منبع آلی مانند کود دامی، کمپوست و بقایای گیاهی به خاک داده می‌شود؛ و
- مقدار کمی‌نیتروژن که از طریق جوّ فرو می‌نشیند.

تخمین هر یک از این عوامل نیز در هر زمان مشخص دشوار است.

۱۰- ۱۵- ۲- نیترات باقی‌مانده خاک از کشت قبلی

نیترات باقی‌مانده خاک می‌تواند منبع مهمی‌از نیتراتی باشد که در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. یک مولکول نیترات (NO_3) از سه اتم اکسیژن و یک اتم نیتروژن تشکیل شده است. بنابراین، نیتروژن در واقع تنها ۲۲/۶ درصد از نیترات است. به عبارت دیگر ۱۰۰ کیلوگرم نیترات تنها دارای ۲۲/۶ کیلوگرم نیتروژن دارد. در تجزیه خاک و آب، غلظت نیترات یا نیتروژن نیتراتی با میلی‌گرم درکیلوگرم یا ppm (قسمت در میلیون) گزارش می‌شود.

در بهار ممکن است همه نیترات موجود در خاک سطحی برای جذب گیاه در دسترس باشد. نیترات در خاک بسیار متحرک است و می‌تواند چنانچه عمق آب آبیاری بیش از تبخیر و تعرق باشد، به زیر منطقه ریشه برود و از دسترس گیاه خارج شود.

۱۰- ۱۵- ۳- نیترات موجود در آب آبیاری

نیترات موجود در آب سطحی زیاد نیست ولی چنانچه از آب زیرزمینی استفاده شود، می‌تواند منبعی برای نیترات مورد نیاز گیاه باشد. چنانچه آب آبیاری دارای ۵ قسمت در میلیون نیترات باشد، با هر بار آبیاری ۱۰۰ میلی‌متری (۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار) ۵ کیلوگرم نیترات در هر هکتار به خاک وارد می‌شود. این موضوع، در همه روش‌های آبیاری صادق است. چنانچه محصولی ۶ نوبت آبیاری شود، در حقیقت ۳۰ کیلوگرم در هکتار نیترات از این راه به خاک افزوده می‌شود.

نکته مهم در آبشویی نیتروژن این است که نیتروژن داده شده به زمین به‌اندازه‌ای اهمیت ندارد که نیتروژن جذب شده توسط گیاه دارای اهمیت است. نیتروژن جذب شده توسط گیاه، به مصرف مفید می‌رسد؛ در حالی که قسمت جذب نشده آن ممکن است به تلفات آبشویی منجر شود و آلودگی محیط‌زیست را در پی داشته باشد. چنانچه نیتروژن کافی در خاک وجود داشته باشد، هر چه تبخیر و تعرق گیاه بیشتر شود، نیتروژنی که به گیاه وارد می‌شود نیز بیشتر خواهد بود.

آب آبیاری، بویژه چنانچه از آب برگشتی و زهاب بالادست سرچشمه گرفته باشد، می تواند مقداری نیتروژن در خود داشته باشد. برخی از آب‌های زیرزمینی نیز دارای نیتروژن محلول هستند.

۱۰- ۱۵- ٤ - نیترات گیاهان خانواده بقولات

ریزجاندارانی که در روی ریشه‌های گیاهان خانواده بقولات زندگی می‌کنند و با گیاه همزیستی دارند، می‌توانند نیتروژن هوا را بگیرند، آن را به نیترات تبدیل کنند و در اختیار گیاه قرار دهند. چند روش برای تخمین مقدار نیتراتی که از این راه در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، وجود دارد. در یکی از این روش‌ها (شبکه کشاورزی پایدار، ۲۰۰۷)، ابتدا باید عملکرد خشک گیاه را تخمین زد. برای این کار چند متر مربع از مزرعه را انتخاب می‌کنند و محصول آن را برداشت کرده و به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در فر (آون) ۱۰۵ درجه خشک و وزن می‌کنند. به این ترتیب می‌توان وزن خشک در هر هکتار را محاسبه کرد. چنانچه بلندی گیاه بیش از ۱۵ سانتی متر باشد، به ازای هر ۵ سانتی متر ۳۴۰ کیلوگرم در هکتار به وزن خشک آن افزوده می‌شود.

چنانچه نمونه برداری پیش از گل دهی باشد، نیتروژن ۳/۵ تا ۴/۰ درصد آن و در هنگام گل دهی ۳/۰ تا ۳/۵ درصد آن خواهد بود.

یونجه که یکی از گیاهان این خانواده است، می‌تواند مقادیر زیادی نیتروژن را تثبیت کند. نباید فراموش کرد که بیشتر این نیتروژن به صورت علوفه برداشت می‌شود و در حقیقت در خاک باقی نمی‌ماند.

۱۰- ۱۵- ۵- نیتروژن بقایای گیاهی

مقدار نیتروژن بقایای گیاهی به شدت بر مقدار و زمان انتشار نیتروژن در فصل رشد بعدی تأثیر می‌گذارد. مقدار نیتروژن، بیشتر به صورت نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در باقیمانده گیاهی بیان می‌شود. به طور کلی، بقایایی با نسبتC/N برابر ۲۰ یا کمتر نشان دهنده این است که به صورت خالص، نیتروژن معدنی و تثبیت می‌شود. از آنجایی که مقدار کربن در بیشتر بقایای گیاهی بین ۴۰ تا ۴۵ درصد جرم خشک آن است، نسبت C/N برابر ۲۰ نشان دهنده این است که درصد نیتروژن نزدیک ۲ درصد است. به عنوان نمونه، بقایای حبوبات و سبزیجاتی مانند کاهو و کلم بروکلی را در نظر بگیرید. این باقیمانده‌ها به سرعت تجزیه می‌شوند و نیتروژن آن توسط تجزیه کننده در دسترس قرار می‌گیرد.

در مقابل، کاه غلات (مانند گندم، جو یا برنج) و ذرت نسبت C/N گسترده‌ای دارند و در آن‌ها نیتروژن به آرامی‌آزاد می‌شود. هنگامی‌که این نسبت گسترده تر از نزدیک ۳۰ باشد، ممکن است نیتروژن معدنی خاک توسط ریزجانداران خاک بی حرکت شود و به طور موقت مقدار نیتروژن در دسترس محصولات کاهش یابد.

تجزیه بقایای گیاهی به شدت تحت تأثیر رطوبت خاک است. بیشترین فعالیت در خاک‌های مرطوب در دو تا سه ماه اول پس از به هم خوردن خاک رخ می‌دهد. بقایای گیاهی که روی سطح خاک باقی می‌مانند، کندتر تجزیه می‌شوند.

۱۰- ۱۵- ٦- نیتروژن معدنی شده از مواد آلی خاک

تجزیه مواد آلی خاک و معدنی شدن آن می‌تواند مقادیر قابل توجهی از نیتروژن قابل دسترس گیاه را به شکل آمونیوم فراهم کند. آمونیوم می‌تواند به نیترات تبدیل شود. آمونیوم و نیترات، هر دو، شکل هایی از نیتروژن هستند که گیاه می‌تواند از آن‌ها استفاده کند. با این حال، ممکن است زمان و مقدار معدنی شدن نیتروژن با تقاضای گیاه به نیتروژن همزمان نباشد.

بیشترین مقدار مواد آلی و نیز مقدار نیتروژن آلی خاک، در قسمت بالایی نیمرخ خاک وجود دارد. چنانچه چگالی ظاهری خاکی ۱/۵ تن بر متر مکعب فرض شود، وزن خاک ۳۰ سانتی متر رویی ۴۵۰۰ تن در هر هکتار خواهد بود. چنانچه ماده آلی خاک ۲ درصد فرض شود، وزن ماده آلی در این حجم خاک، به ۹۰ تن می رسد. هرگاه ماده آلی نزدیک ۵ درصد نیتروژن در خود داشته باشد، وزن نیتروژن موجود در خاک به ۴/۵ تن می رسد. بطور معمول، ۱تا ۳ درصد از نیتروژن آلی خاک در طول فصل رشد معدنی می‌شود. بنابراین، به عنوان یک برآورد اولیه، بین ۴۵ تا ۱۳۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در طول فصل رشد در خاکی با ۲ درصد ماده آلی، در دسترس خواهد بود.

به این ترتیب، اهمیت باقی گذاردن بقایای گیاهی در خاک روشن می‌شود. بسیاری از عوامل دیگر نیز بر معدنی شدن نیتروژن تأثیر می‌گذارند که مهم‌ترین آن دمای خاک است که در طول سال به طور قابل‌توجهی تغییر می‌کند. رطوبت خاک نیز عامل مهم دیگری است. معدنی شدن در خاک‌های خشک بسیار کندتر است.

۱۰- ۱۵- ۷- نیتروژن از کود دامی

در کود دامی‌نیتروژن بیشتر به شکل آلی و به صورت آمونیوم وجود دارد. گیاهان از آمونیوم نیز استفاده می‌کنند. باید به خاطر داشت که آمونیوم در هوا به شکل آمونیاک از بین می‌رود. درصدآمونیوم کود دامی به طور گسترده‌ای، بسته به منبع کود و نحوه کار با آن، متفاوت است. کود گاوی بین صفر تا ۶ درصد نیتروژن دارد. در کود مرغی، نیتروژن آمونیاکی ممکن است ۱۴تا ۱۷درصد از کل نیتروژن را تشکیل دهد. در تالاب‌ها نیتروژن بیشتر به شکل آمونیوم دیده می‌شود. آب کف تالاب که در آن مواد جامد بیشتری وجود دارد، می‌تواند درصد نیتروژن بالاتری نیز داشته باشد لیکن تنها نزدیک یک سوم آن به شکل آمونیوم است.

شکل آلی نیتروژن به طور مستقیم در دسترس گیاهان نیست، بلکه باید ابتدا توسط ریزجانداران خاک معدنی شود. سرعت معدنی شدن نیتروژن آلی به عوامل بسیاری مانند ویژگی‌های کود، دما،

رطوبت، محل قرارگیری کود و عوامل مرتبط با خاک بستگی دارد. به این دلایل، پیش‌بینی مقدار و زمان در دسترس قرار گرفتن نیتروژن برای محصولات دشوار است.

بین ۴۰ تا ۷۰ درصد معدنی شدن در دو ماه اول پس از کاربرد کود صورت می‌گیرد. کاربرد کود ممکن است برای سال‌های پیاپی به معدنی شدن بیشتر نیتروژن کمک کند.

۱۰- ۱۵- ۸- رسوب نیتروژن از اتمسفر

نیتروژن هوا نیز تا اندازه‌ای در مزارع فرو می‌نشیند. در دره مرکزی کالیفرنیا، کل رسوب سالانه نیتروژن ممکن است به ۳۰ کیلوگرم در هکتار یا بیشتر برسد. با این حال، در بیشتر موارد، این منبع نیتروژن در محاسبات بیلان در نظر گرفته نمی‌شود.

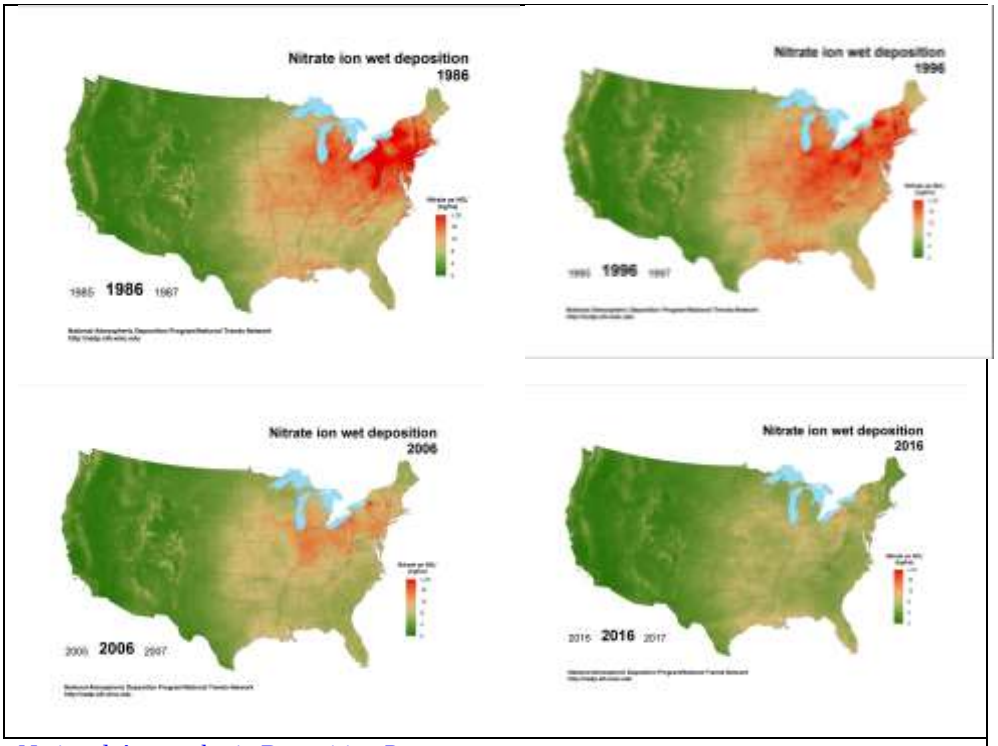
شکل‌های ۱۰- ۱۷ و ۱۰- ۱۸ به ترتیب مقدار (کیلوگرم بر هکتار) و غلظت (میلی‌گرم بر لیتر) رسوب کل نیتروژن از اتمسفر را با فواصل زمانی ده ساله در امریکا نشان می‌دهند. بطوری که دیده می‌شود، در فاصله سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ رسوب نیتروژن اتمسفری مقداری افزایش یافته ولی پس از آن در حال کاهش بوده است. شاید کمتر شدن آلودگی هوا علت این امر بوده باشد.

نکته مهم

برخی گمان می برند که کود شیمیایی و تا اندازه ای کود دامی تنها تامین کننده نیتروژن گیاه هستند. در این راستا، در بیشتر موارد، منابع مهم دیگر تامین کننده نیتروژن فراموش می شوند. آنها در یک طرف معادله بیلان، مقدار محصول برداشت شده در هکتار را در غلظت نیتروژن موجود در گیاه ضرب می کنند تا مقدار نیتروژن خروجی از زمین به دست آید. آنها تصعید نیتروژن از سطح خاک و آبشویی نیتروژن را نیز نادیده می گیرند. در طرف دیگر بیلان نیز به غیر از کود، عوامل دیگری هستند که نیتروژن را به خاک وارد می کنند. فرونشینی نیتروژن موجود در هوا، نیترات باقیمانده خاک از کشت قبلی، نیتروژنی که بوسیله آب آبیاری به خاک

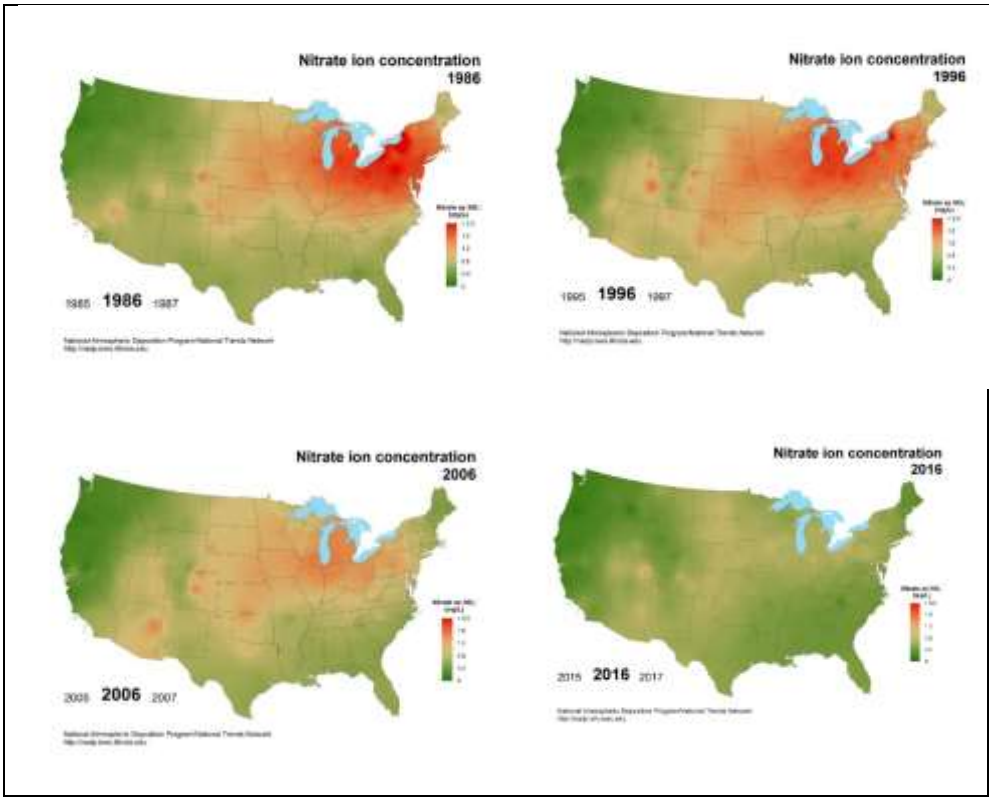
می‌رسد و نیتروژنی که از هر منبع آلی مانند کمپوست و بقایای گیاهی به خاک داده می‌شود نیز از منابع دیگر نیتروژن هستند.

به این ترتیب، تعیین مقدار کود شیمیایی لازم مستلزم در نظر گرفتن همه منابع و مصارف معادله بیلان است.



National Atmospheric Deposition Program.
https://nadp.slh.wisc.edu/filelib/maps/animated/NO3_dep_ani.pdf

شکل ۱۰- ۱۷- غلظت نیترات رسوب کرده از هوا در امریکا در فواصل ده ساله (کیلوگرم بر هکتار)



National Atmospheric Deposition Program.
https://nadp.slh.wisc.edu/filelib/maps/animated/NO3_conc_ani.pptx

شکل ۱۰- ۱۸- غلظت نیترات رسوب کرده از هوا در امریکا در فواصل ده ساله (میلی‌گرم بر لیتر)

فصل یازدهم
فسفر

۱۱-۱- پیش‌گفتار

فسفر (P) ماده مغذی کمیاب و ضروری تجدید ناپذیر در میان عناصر شیمیایی، برای امنیت غذایی جهان اهمیت بسیاری دارد. ۸۲ درصد از مقدار استخراج شده جهانی آن در کشاورزی مصرف می‌شود. بخش دیگر آن نیز به نحوی با کشاورزی ارتباط دارد؛ ۷ درصد آن در خوراک دام و ۱۱ درصد آن در داروسازی و مواد شوینده، روغن‌ها یا منسوجات استفاده می‌شود. مصرف جهانی فسفر به دلیل رشد جمعیت و نیاز آن در کشاورزی، در حال افزایش است.

فسفر برای زندگی انسان ضروری است. بخشی کلیدی اسیدهای نوکلئیک است، مانند فسفولیپیدهایی که غشای سلولی ما را تشکیل می‌دهند. فسفر به صورت فسفات کلسیم، اجزای حمایت کننده استخوان‌های ما را نیز تشکیل می‌دهد.

فسفر یک ماده مغذی ضروری برای حیوانات و گیاهان است. فسفر نقش مهمی‌در رشد سلول دارد و جزء کلیدی مولکول‌هایی است که انرژی را ذخیره می‌کنند، مانند ATP (آدنوزین تری فسفات)، دی‌ان‌ای ، آران‌ای و لیپیدها (چربی‌ها و روغن‌ها). کمبود فسفر در خاک می‌تواند باعث کاهش عملکرد محصول شود.

فسفر ماده مغذی حیاتی برای زیست‌بوم‌ها نیز هست. مقدار بیش ازاندازه آن در زهاب‌ها و پساب‌ها منجر به برخی مشکلات زیست‌محیطی مانند رشد گسترده جلبک‌ها در پهنه‌های آبی می‌شود؛ پدیده‌ای که به آن مغذی شدن یا اوتروفیکاسیون[1] می‌گویند. فسفر که بسیار واکنش پذیر است، به

1 Eutrophication

عنوان یک عنصر آزاد در زمین یافت نمی‌شود. در مواد معدنی، فسفر به طورکلی، به صورت فسفات نمایان می‌شود.

انباشت فسفر در خاک ممکن است از دیدگاه زراعی مطلوب باشد، لیکن تهدیدی برای کیفیت آب شیرین است. در واقع، فسفر موجود در رواناب از زمین‌های کشاورزی جزء مهمی‌از آلودگی غیر نقطه‌ای است و می‌تواند باعث تسریع تخریب آب دریاچه‌ها و نهرها شود. حتی مقادیر بسیار کمی از فسفر می‌تواند غلظت را به بالاتر از مقدار بحرانی برای مغذی کردن آب افزایش دهد. نگرانی‌های کنونی که مدیریت صحیح زیست‌محیطی فسفر در کشاورزی با آن دست به گریبان است، در سراسر جهان مشابه است و حول موارد کشاورزی، اقتصاد و محیط‌زیست می‌چرخد. هدف اصلی، متعادل کردن بهره‌وری کشاورزی و ارزش‌های زیست‌محیطی است. راهبردهای مدیریت فسفر کشاورزی باید در جهت حصول اطمینان از این باشد که فسفر، در مزرعه هدر نرود و خاک‌ها چنان با فسفر غنی نشوند که خطر انتقال غیرضروری و بیش از حد فسفر به آب وجود داشته باشد.

اهمیت زیست‌محیطی فسفر در نقش زیاد آن در تسریع مغذی شدن آب زیست‌بوم‌های آبی نهفته است. فسفر اغلب محدودکننده ترین ماده مغذی است که بر مغذی شدن آب‌های سطحی تأثیر می‌گذارد. بسیار مهم است دانسته شود که به طور کلی فسفر حتی در غلظتی ده برابر کمتر از مقدار مورد نیاز برای رشد گیاه، می‌تواند موجب مغذی شدن آب شود (گیدری و همکاران، ۲۰۰۶). با این حال، استفاده غیرمعقول از کود فسفر در خاک برای تولید کشاورزی هنگامی می‌تواند باعث افزایش مغذی شدن آب شیرین شود که فسفر خاک به حرکت در آید و خود را به مقصد برساند (مِنز-بلاک برن و همکاران، ۲۰۱۸). بارزترین تأثیر این عمل، تکثیر فیتوپلانکتون‌های مضر و بدبو است که شفافیت آب را کاهش می‌دهند و به کیفیت آب آسیب می‌رسانند. به طور کلی، برای حفظ کیفیت آب بر پایه نظر سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده، فسفر کل نباید از ۵۰ میکروگرم در لیتر در جریان‌های ورودی به دریاچه‌ها/مخزن‌ها یا ۲۵ میکروگرم در لیتر در داخل دریاچه‌ها/مخزن‌ها تجاوز کند. با توجه به نقش کلیدی که فسفر در تعیین کیفیت منابع آب شیرین

ایفا می‌کند، اهمیت فسفر در محیط به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است (ماردا‌موتو و همکاران، ۲۰۲۱). از دیدگاه محیط‌زیست، مهم ترین موضوع در باره فسفر، مربوط به آلودگی آب و مغذی شدن آن است.

به منظور مدیریت فسفر خاک برای جلوگیری از مغذی شدن آب، مهم است که بدانیم فسفر چگونه و در کدام یک از اشکال آن به پهنه‌های آبی منتقل می‌شود تا بهترین اقدامات برای کاهش تلفات فسفر کشاورزی شناسایی شود. پژوهش‌ها نشان داده است که انتقال فسفر از مزارع کشاورزی بیشتر از طریق جریان سطحی صورت می‌گیرد. آبی که در سطح خاک جریان دارد، فسفر محلول را منتقل می‌کند یا فسفر ذره‌ای را فرسایش و انتقال می‌دهد. دیگر گونه‌های فسفر یعنی فسفر رسوب یافته یا آلی نیز مستعد انتقال از خاک به آب هستند. در این فصل، یافته‌های پژوهش‌ها در مورد منابع فسفر، راه‌های انتقال فسفر کشاورزی به آب، و گونه‌زایی فسفر در رواناب با هدف ارزیابی اثرات فسفر کشاورزی بر آلودگی محیط‌زیست و شناسایی اقدامات مناسب برای کاهش آن بررسی می‌شود.

بنابراین هدف این فصل در وهله نخست تمرکز بر روی پیدایش، حرکت و مشکلات مرتبط با فسفر محیطی است. جنبه‌های پوشش داده شده در بخش اول شامل مغذی شدن منابع آب توسط فسفر و غلظت قابل قبول فسفر در آب است.

در جلد دوم کتاب، به بهترین شیوه‌های مدیریتی فسفر کشاورزی پرداخته می‌شود. هدف ازآن این است که از تولید بهینه محصول با کمترین مقدار آلودگی زیست‌محیطی اطمینان حاصل شود. آنچه که در جلد دوم می‌آید شامل آزمایش فسفر خاک برای تولید محصول، مدیریت کود فسفر، و تخمین انتقال فسفر از زمین کشاورزی توسط مدل‌ها و یا شاخص‌های فسفر است.

۱۱-۲- منابع اصلی فسفر

منبع اصلی فسفر، فسفات است که از معادن استخراج می‌شود. بیشتر معادن فسفات در چین (۸۵ میلیون تن)، مراکش (۳۸ میلیون تن)، امریکا (۲۲ میلیون تن)، روسیه (۱۴ میلیون تن)، اردن (۹/۲

میلیون تن)، عربستان سعودی (۸/۵ میلیون تن)، برزیل (۵/۵ میلیون تن)، مصر (۵ میلیون تن)، ویتنام (۴/۷ میلیون تن) و تونس (۳/۲ میلیون تن) قرار دارند.

بیشتر ترکیبات فسفر استخراج شده، به عنوان کود مصرف می‌شوند. کود فسفات برای جایگزینی فسفر جذب شده توسط گیاهان از خاک لازم است. رشد تقاضای سالانه فسفر، کم و بیش نزدیک دو برابر سریعتر از رشد جمعیت انسانی است. ترکیباتی از فسفر مانند ارگانوفسفر در مواد شوینده، سموم دفع آفات و داروها مصرف دارند. فسفر سفید یکی از شکل‌های فسفر است که به‌طور صنعتی تولید می‌شود. در تاریکی می‌تابد؛ و بی‌اختیار هنگامی که در معرض هوا قرار گیرد، شعله‌ور می‌شود. فسفر سفید در مهمات سازی مصرف می‌شود و سم مهلکی هم هست.

فسفر، بعد از نیتروژن، یک ماده مغذی اصلی برای گیاه است. بیشتر فسفر تولیدی در کودهای کشاورزی به کار برده می‌شود. از آنجا که فسفر برای همه موجودات زنده ضروری است، ناچار باید از کود فسفات در کشاورزی استفاده کرد. این ماده در انتقال انرژی، مقاومت ریشه و ساقه، فتوسنتز، گسترش ریشه گیاهان، تشکیل دانه و گل و سایر عوامل مهم مؤثر بر سلامت کلی گیاه و حتی بر ژنتیک آن نقش دارد.

کانی‌های فسفات دار زیادی وجود دارند. بیشترین آن‌ها به شکل آپاتیت و فلوئورآپاتیت هستند. مناطق مهم استخراج معدنی این ماده در روسیه، مراکش و تانزانیا قرار دارند. تولید جهانی آن ۱۵۳ میلیون تن در سال است. نگرانی‌هایی در مورد این که منابع فسفر تا چند سال دیگر باقی خواهند ماند، وجود دارد. کمبود این ماده می‌تواند مشکلات جدی در تولید غذای جهانی به وجود آورد. مقادیر زیادی از فسفات‌ها می‌توانند در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها وجود داشته باشند و رشد بیش ازاندازه جلبک‌ها را موجب شوند. فسفر در خاک برای چند روز قبل از این که به ماده کم خطر تبدیل شود، باقی می‌ماند. لیکن در اعماق خاک و در کف رودخانه‌ها و دریاچه‌ها ممکن است برای هزاران سال باقی بماند. افزایش انباشتگی فسفر در آب‌های سطحی، رشد جانداران وابسته به فسفر مانند خزه

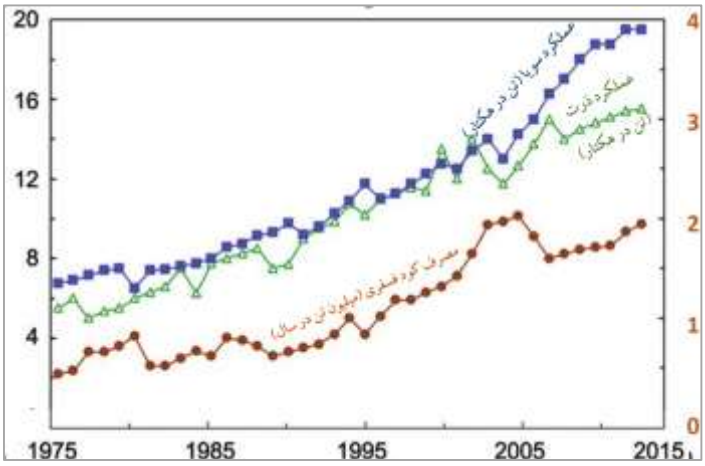
دریایی و عدس آبی[1] را بالا می‌برد. این موجودات مقدار زیادی از اکسیژن آب را مصرف می‌کنند و از وارد شدن نور خورشید به داخل آب جلوگیری می‌کنند. این موجب می‌شود که آب برای دیگر موجودات، کم اکسیژن و غیرقابل زندگی شود. نتیجه این خواهد شد که گیاهان از بین می‌روند و جانورانی که می‌توانند، به نقاط دیگر مهاجرت می‌کنند.

۱۱-۳- فسفر در محیط‌زیست

ورود فسفر به آب‌های شیرین، و تا اندازه‌ای کمتر، به برخی از آب‌های ساحلی موجب مغذی شدن پهنه‌های آبی می‌شود. در حالی که تلاش‌ها برای شناسایی و محدود کردن ورودی‌های منابع نقطه‌ای فسفر (مانند فاضلاب شهری) به آب‌های سطحی تا اندازه‌ای موفقیت‌آمیز بوده است، منابع غیرنقطه‌ای (مانند رواناب سطحی شهری و مزارع و نیز زهاب زیرزمینی) هنوز نتوانسته‌اند مهار شوند. بنابراین، امروزه، توجه بیشتر به کاهش منابع غیر نقطه‌ای آلودگی، به ویژه در کشاورزی متمرکز شده است. افزایش استفاده از کودشیمیایی و دامی‌در برزیل، به افزایش مداوم عملکرد ذرت (Zea mays) و سویا (Glycine max) انجامیده است. استفاده از کود فسفر در زمین‌های کشاورزی برزیل از سال ۱۹۷۵ نزدیک ۴/۵ برابر شده است.

برزیل آب زیادی دارد؛ دو برابر روسیه که در مقام دوم قرار دارد و ۲/۵ برابر امریکا. شاید چنین افزایشی در مصرف کود فسفری، پی آمد زیادی برای برزیل نداشته باشد، و نتواند رودخانه بسیار پرآب آمازون را دچار مغذی شدن کند، ولی چند برابر شدن مصرف کود فسفره در این بازه زمانی برای بسیاری از کشورها تحمل پذیر نیست و ممکن است خسارت‌های زیست‌محیطی زیادی داشته باشد.

1 Duckweed



شارپلی، ۲۰۱۶

شکل ۱۱- ۱- استفاده از کود فسفره و افزایش عملکرد ذرت و سویا در برزیل

اهمیت زیست‌محیطی فسفر در نقش پر اهمیتی است که در تسریع مغذی شدن آب (اوتروفیکاسیون) زیست‌بوم‌های آبی (به ویژه دریاچه‌ها) ایفا می‌کند. اوتروفیکاسیون، پیری طبیعی دریاچه‌ها یا نهرها است که با سرشار شدن محیط از مواد مغذی ایجاد می‌شود و بهره وری زیستی پهنه آبی را افزایش می‌دهد. با افزایش تدریجی ورود مواد مغذی به آب‌های سطحی، وضعیت تغذیه‌ای آب در چهار مرحله اوتروفیکاسیون، یعنی اولیگوتروفیک، مزوتروفیک، اوتروفیک و هیپریوتروفیک تغییر می‌کند (جدول ۱۱-۱). اکولوژی آب نیز با تغییراتی در هر مرحله همراه است.

با گذشت هزاران سال، وضعیت دریاچه که در ابتدا صاف و شفاف (الیگوتروف) بود، به تدریج بدتر می‌شود (مزوتروفیک). با پر شدن رسوبات و دریافت مواد غذایی، از اکسیژن آن کاسته می‌گردد (اوتروفیک) تا پس از آن تبدیل به مرداب (هیپریوتروفیک) شود و در نهایت به خشکی بدل گردد. در حالت اولیگوتروفیک، هنگامی‌که غلظت مواد مغذی پایین است، بهره وری زیستی کم است و هنگامی‌که شرایط اوتروفیک به دست آمد (غلظت مواد مغذی بالا)، تغییراتی در زیست‌بوم آبی رخ می‌دهد که در بیشتر مواقع نامطلوب است.

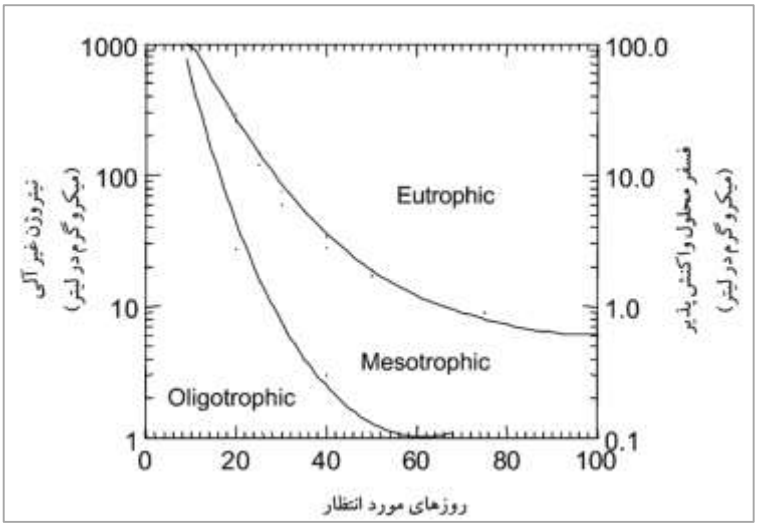
جدول ۱۱- ۱- میانگین ویژگی‌های نیتروژن و فسفر دریاچه‌ها، نهرها و آب‌های ساحلی در حالت‌های گوناگون تغذیه ای

منبع آب	وضعیت تغذیه		فسفر کل (میلی‌گرم بر متر مکعب)	نیتروژن کل (میلی‌گرم بر متر مکعب)
دریاچه‌ها	مواد غذایی کم و اکسیژن فراوان	Oligotrophic	کمتر از ۱۰	کمتر از ۳۵۰
	مواد غذایی متوسط و اکسیژن متوسط	Mesotrophic	۱۰ تا ۳۰	۳۵۰ تا ۶۵۰
	مواد غذایی زیاد و اکسیژن کم	Eutrophic	۳۰ تا ۱۰۰	۶۵۰ تا ۱۲۰۰
	مواد غذایی بسیار زیاد و اکسیژن بسیار کم	Hypereutrophic	بیشتر از ۱۰۰	بیشتر از ۱۲۰۰
آب‌های جاری	مواد غذایی کم و اکسیژن فراوان	Oligotrophic	کمتر از ۲۵	کمتر از ۷۰۰
	مواد غذایی متوسط و اکسیژن متوسط	Mesotrophic	۲۵ تا ۷۵	۷۰۰ تا ۱۵۰۰
	مواد غذایی زیاد و اکسیژن کم	Eutrophic	بیشتر از ۷۵	بیشتر از ۱۵۰۰
محیط دریایی	مواد غذایی کم و اکسیژن فراوان	Oligotrophic	کمتر از ۱۰	کمتر از ۲۶۰
	مواد غذایی متوسط و اکسیژن متوسط	Mesotrophic	۱۰ تا ۳۰	۲۶۰ تا ۳۵۰
	مواد غذایی زیاد و اکسیژن کم	Eutrophic	۳۰ تا ۴۰	۳۵۰ تا ۴۰۰
	مواد غذایی بسیار زیاد و اکسیژن بسیار کم	Hypereutrophic	بیشتر از ۴۰	بیشتر از ۴۰۰

ماردا موتو، ۲۰۲۱

اگرچه اوتروفیکاسیون یک فرایند طبیعی است، لیکن با تغییراتی که در کاربری زمین در حوضه آبریز رخ می‌دهد، تسریع می‌شود؛ به ویژه تغییراتی که باعث می‌شود مقدار مواد مغذی افزوده شده به سامانه آبی به طور ناگهانی افزایش یابد (شارپلی و بیگل، ۲۰۰۱). ورودی‌های با منشاء انسانی فسفر ممکن است از فاضلاب، رواناب کشاورزی (به ویژه در جاهایی که از کودشیمیایی و دامی‌استفاده می‌شود) و از پساب‌ها (وجود پلی فسفات‌ها در مواد شوینده) به محیط وارد شود. مواد مغذی اصلی مورد نیاز برای رشد جلبک، کربن (C)، نیتروژن (N) و فسفر در نسبت‌های اتمی ۱۰۶:۱۶:۱ هستند تا ترکیب متوسط مولکول‌ها را در بافت‌های زیستی نمایان کنند. ورودی‌های جوّی نیازهای C و N را برای رشد جلبک برآورده می‌کنند. نیتروژن با کمک سیانوباکترهای خاص، تثبیت می‌شود.

از سوی دیگر، برای فسفر، منبعی در جوّ وجود ندارد. در نتیجه، نیتروژن، بر خلاف فسفر، در بیشتر موارد، عاملی محدود کننده برای اوتروفیکاسیون به حساب نمی‌آید. با این حال، در حرکت از آب‌های شیرین به اقیانوس‌های شور، در مناطق انتقالی و مصب‌ها، محدودیت فسفر به محدودیت نیتروژن تبدیل می‌شود و از آن پس نیتروژن به ماده غذایی کنترل‌کننده تبدیل می‌شود. اهمیت نسبی نیتروژن و فسفر را می‌توان با مقایسه نسبت عدد اتمی‌دو عنصر در آب‌های سطحی با استفاده از نسبت اتمی‌نیتروژن به فسفر ۱۶:۱ (به عنوان نسبت ردفیلد) ارزیابی کرد. هرگاه این نسبت بیش از ۱۶ باشد، کمبود فسفر وجود دارد؛ در حالی که نسبت‌های پایین تر نشان می‌دهند که نیتروژن می‌تواند عامل محدود کننده باشد. مسئولیت مغذی شدن پهنه‌های آبی تنها به گردن فسفر نیست؛ بلکه دو عنصر نیتروژن و فسفر عهده دار این کار هستند. شکل ۱۱- ۲ مشخص می‌کند که با غلظت هر یک از این دو پس از مدتی معین، چه حالتی از مغذی شدن پهنه آبی را می‌توان انتظار داشت.



مک داول و همکاران، ۲۰۰۴، دادز و همکاران، ۱۹۹۸

شکل ۱۱- ۲ - تشخیص نوع مغذی شدن پهنه آبی با غلظت نیتروژن و فسفر و گذشت زمان معین

این نوموگراف رابطه میانگین ماهانه غلظت مواد مغذی محلول در آب‌های رودخانه و میانگین تعداد روزهایی که پیش‌بینی می‌شود منجر به شرایط تشکیل زیست توده برای حالت‌های گوناگون مغذی شدن آب (الیگوتروفیک، مزوتروفیک و اوتروفیک) شود را نشان می‌دهد. در این شکل، جریان آب در بستری از گراول یا سنگفرش عبور می کند.

در موارد خاص، در برخی از زیست‌بوم ها، غنی سازی متوسط مواد مغذی ممکن است مفید باشد زیرا می‌تواند منجر به افزایش جمعیت و برداشت ماهی شود (شورای پژوهش‌های ملی، ۲۰۰۰). با این حال، زمانی که غنی سازی مواد مغذی تااندازه‌ای زیاد باشد، اثرات آن از دیدگاه زیست‌محیطی، اقتصادی و سلامت حیوان/انسان همواره زیانبار است. تأثیرات اصلی مغذی شدن آب (اوتروفیکاسیون) به افزایش رشد گیاهان آبزی، کاهش اکسیژن، تغییر pH،کیفیت گونه‌های گیاهی و اثر بر زنجیره غذایی مربوط می‌شود. مغذی شدن آب می‌تواند اثرات اجتماعی نیز داشته باشد؛ از جمله موجب از دست دادن ارزش‌های زیبایی‌شناختی سواحل، بستر علف‌های دریایی و صخره‌های مرجانی می‌شود (شورای پژوهش‌های ملی، ۲۰۰۰). سیانوباکترها یا جلبک‌های سبز آبی که به طور معمول با آب‌های اوتروفیک مرتبط هستند، ممکن است سمومی‌تولید کنند که اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان (و همچنین برحیوانات) داشته باشد و منجر به مرگ و میر دام‌ها و بیماری انسان‌ها شود.

هنگامی‌که فسفر وارد پهنه آبی می‌شود، با مواد مغذی دیگر موجود در زیست‌بوم آبی ترکیب می‌شود که حذف آن دشوار و پرهزینه است. پیچیدگی راه حل مشکل، ناشی از این واقعیت است که مغذی شدن آب (اوتروفیکاسیون) گاهی اوقات در فاصله طولانی از جایی که فسفر به آب وارد شده است روی می‌دهد و زمانی که اثرات آن بر کیفیت آب پدیدار می‌گردد، دیگر اجرای راهکارهای اصلاحی دشوار است (شارپلی و بیگل، ۲۰۰۱). به طور معمول، پیش‌گیری از پدیدار شدن اوتروفیکاسیون نسبت به درمان اثرات آن، هزینه کمتری دارد. اقدامات پیشنهادی برای اصلاح مشکلات مربوط به فسفر اضافی در آب شامل حذف رسوب از پهنه‌های آبی، تحریک شرایط

هوازی، افزایش رشد رویشی در مناطق ساحلی، استخراج فسفر رسوب یافته و برداشت پوشش گیاهی آبزی است. با این حال، اقتصاد اصلاح همچنان یک محدودیت کلیدی برای تغییرات اساسی در مدیریت کشاورزی برای حفاظت از محیط‌زیست است (شارپلی و وانگ، ۲۰۱۴).

بهترین شیوه‌های مدیریتی، محدود کردن تولید آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و انتقال آن‌ها به منابع آبی است. افزون بر این، برای کاهش خطرات و اثرات اوتروفیکاسیون، طیف وسیعی از راهکارها و اقدامات قانونی بین‌المللی و ملی برای کنترل نقاط و انتشار ورودی‌های مواد مغذی به محیط آبی معرفی شده است.

۱۱-٤- کاهش مشکلات فسفر در محیط‌زیست

در سه دهه گذشته، گونه‌های گیاهی شناور، غوطه‌ور و سربرآورده[1] و نیز ریزجلبک‌ها برای حذف فسفر در تالاب‌های انسان ساخت استفاده شده‌اند. عوامل زیادی مانند گونه‌های گیاهی، زمان ماند هیدرولیکی[2]، دما، نوع تالاب، غلظت پساب و تغییرات فصلی بر حذف فسفر تأثیر دارند (شکل ۱۱-۳). پالایش گیاه فناوری سبزی است که بر پایه اقدامات جمعی گیاهان و گروه‌های میکروبی برای حذف و انتقال ترکیبات سمی‌در آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و خاک استوار است. گیاهان آبزی به طور گسترده برای اصلاح رودخانه‌های آلوده، دریاچه‌های مغذی شده (اوتروفیک) و دیگر آب‌ها استفاده می‌شوند.

1 Emergent crops

گیاهانی که ریشه در بستر پهنه آبی دارند و برگ ها و بخشی از ساقه آنها در هوا و بالای سطح آب است.

2 Hydraulic Retention Time (HRT)

زمان ماند هیدرولیکی یا بارگذاری حجمی، زمان متوسطی است که فاضلاب در تانک بیولوژیک سپری می‌کند. این پارامتر حاصل تقسیم حجم مخزن بر دبی جریان است.

شکل ۱۱- ۳- عوامل اثرگذار بر جذب فسفر توسط گیاه

غنی‌سازی بیش از حد زیست‌بوم‌های آبی یکی از مشکلات گسترده زیست‌محیطی است. مغذی شدن پهنه آبی، منجر به شکوفایی جلبکی[1] (کَشَند سرخ) می‌شود. بازیابی این پهنه‌های آبی، تنها در حالتی امکان پذیر است که منابع مواد مغذی اضافی، یعنی علت بوجود آمدن آن، حذف شوند. این پدیده هنگامی روی می‌دهد که غلظت فسفر بالاتر از ۶ میلی‌گرم در لیتر باشد. مغذی شدن پهنه‌های آبی، اثرات زیست‌محیطی منفی مانند کاهش تنوع زیستی زیست‌بوم‌های آبی و کاهش کیفیت آب سطحی را دارد. یافتن راه درمان مناسب برای حذف فسفر، برای دستیابی به سطح قابل قبول در پهنه‌های طبیعی ضروری است (ایاز و همکاران، ۲۰۱۲؛ ماینیکمن و همکاران، ۲۰۱۵). با رشد شکوفه‌های جلبکی، مواد سمی به محیط آبی ریخته می‌شود. وجود مواد سمی‌جلبکی در محیط مغذی شده می‌تواند باعث بیماری‌های کشنده ماهی، انسان و حیوان شود.

فسفر به دلیل استفاده گسترده در کودها و سایر مواد شیمیایی، در پهنه‌های آبی و زمین‌های کشاورزی انباشته می‌شود. آب‌های تمیز دارای غلظت بسیار پایین فسفر هستند. فسفر در آب به

1 Algal bloom

اشکال گوناگون وجود دارد ولی تمامی‌آن‌ها به راحتی و به آسانی در دسترس گیاهان نیست. فسفر معدنی محلول، در تعیین مغذی بودن آب‌ها اهمیت زیادی دارد. بارگذاری اضافی اشکال گوناگون فسفر مانند ارتو، پیرو و متا فسفات، مونو و دی هیدروژن فسفات و غیره منجر به رشد بسیار نامطلوب گیاهان آبزی و جلبک‌ها در پهنه‌های آبی می‌شود. فسفر آلی با تجزیه باکتریایی در بستر پهنه‌های آبی مغذی به شکل غیرآلی تبدیل می‌شود که به آسانی به بالا می‌آید و پخش می‌شود. با این حال، گیاهان آبزی، فسفر غیر آلی را از طریق فرایندهایی مانند فسفریلاسیون[1]، جذب، رشد، مرگ و پوسیدگی بازیافت می‌کنند. تغییرات در اجزای شیمیایی نیتروژن و فسفر در زیست‌بوم‌های آبی منجر به عدم تعادل عملکرد آن‌ها می‌شود. برخی از پارامترها مانند دمای بالا، ماندگاری طولانی مدت، یا نور کافی می‌توانند باعث تحریک مغذی شدن شوند. ماهیت و شدت پاسخ به این محرک‌ها ممکن است در زیست‌بوم‌های گوناگون متفاوت باشد.

۱۱-۵- کنترل پدیده مغذی شدن

کنترل موثرپدیده مغذی شدن آب هنگامی‌می‌تواند موفق باشدکه بتوان افزودن فسفر به آب را کنترل کرد. از این روست که هدف اصلی پژوهشگران، دستیابی به تعادل فسفر در محیط است. در آینده، افزایش جمعیت جهان منجر به افزایش تقاضا برای غذا می‌شود. از این روست که تولید کود فسفربیشتر ضرورت می‌یابد. نتیجه این که کاهش ذخایر سنگ فسفات تسریع می‌شود (چادری و همکاران، ۲۰۱۷). تخلیه فسفر به پهنه‌های آبی، منجر به از دست رفتن قابل توجه ذخایر سنگ فسفات و کاهش مقدار فسفر از چرخه بازار جهانی آن می‌شود. افزون بر این، همان طور که گفته شد، فسفر

---

۱ فسفریلاسیون یک فرایند انتقال انرژی است. انرژی مورد نیاز از مولکولی به نام (ATP) آدنوزین تری فسفات به دست می‌آید. فسفریلاسیون یک فرایند بیوشیمیایی تنظیم‌کننده فعالیت پروتئین‌هااست. اختلال در فسفریلاسیون پروتئین در انسان در بروز برخی بیماری‌ها مانند دیابت، بدخیمی‌ها و بیماری آلزایمر دخالت دارد.

کنترل نشده در آب‌های سطحی یکی از مسائل زیست‌محیطی است که دولت‌ها بودجه زیادی را برای کاهش آن اختصاص می‌دهند.

رواناب و فرسایش دو عامل موثر برای تخلیه زیاد فسفر به پهنه‌های آبی هستند. شکل اصلی فسفر در طبیعت، ارتوفسفات (PO_3^{-4}) است که به وفور در سنگ‌ها و ذخایر معدنی یافت می‌شود. در آب، فسفر بیشتر به دو صورت محلول و ذره ای[1] (جزئی از ذرات معلق) وجود دارد. سایر اشکال فسفر محلول شامل فسفات‌های متراکم یا پلی فسفات و فسفات‌های آلی هستند.

فسفر معدنی محلول (قابل فیلتر) شکلی است که به راحتی توسط سلول‌های گیاهی جذب می‌شود. فسفر ذره‌ای در خاک‌های رسی و سیلتی، رسوبات و مواد زیستی یافت می‌شود. به طور معمول، فسفر موجود در محلول‌های آبی، به شکل‌های ارتوفسفات و پلی فسفات هستند. عوامل زیستی، شیمیایی و فیزیکی، فسفر ذره‌ای آلی را، چه در درون آب، و چه در رسوباتی که در پایین جمع می‌شوند، به فسفر محلول تبدیل می‌کنند. در چرخه طبیعی فسفر، سنگ‌ها به دلیل هوازدگی، یون‌های فسفات و سایر مواد معدنی را آزاد می‌کنند. سپس گیاهان فسفر محلول را جذب کرده و آن را به ترکیبات آلی تبدیل می‌کنند. چنانچه گیاهانی که در آن‌ها فسفر وجود دارد، توسط گیاهخواران مصرف شوند، فسفر موجود در بدن حیوانات، یا دفع می‌شود و یا در بافت آن‌ها ذخیره می‌گردد. از این رو، پس از مرگ حیوان یا پوسیدگی گیاه، فسفر به خاک باز می‌گردد. مقدار زیادی از آن به صورت نامحلول است. ممکن است بخش کمی‌از آن، از طریق رواناب به اقیانوس‌ها بازگردد. این چرخه پیاپی فسفر ممکن است پس از مدتی به کمبود فسفر در خاک بینجامد که بی‌تردید پسرفت زیست‌بوم را در پی خواهد داشت (رضانیا و همکاران، ۲۰۲۱).

کنترل فرسایش و رسوب می‌تواند به کنترل موثرپدیده مغذی شدن آب کمک کند. مقدار زیادی از فسفری که با رسوب به پهنه‌های آبی می‌رسد، در اثر چسبیدن فسفر به ذرات خاک، بویژه رس و لای است. راه‌های کاهش یا حذف فسفر در بخش چهارم کتاب مورد بحث قرار می گیرد.

1 Particulate

۱۱-٦- چرخه فسفر

فسفر در یک چرخه در میان سنگ ها، آب، خاک، رسوبات و موجودات زنده حرکت می کند. چرخه فسفر در مقایسه با سایر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی مانند چرخه‌های آب، کربن و نیتروژن کند است.

در طبیعت، فسفر بیشتر به شکل یون‌های فسفات وجود دارد. ترکیبات فسفاته در سنگ‌های رسوبی یافت می‌شوند و با هوازدگی سنگ‌ها، در درازمدت فسفر موجود در آن‌ها، به آرامی‌به آب‌های سطحی و خاک می‌رسد. خاکستر آتشفشانی، ذرات معلق در هوا و گرد و غبار معدنی نیز می‌توانند از منابع مهم فسفات باشند. فسفر برخلاف عناصر دیگر مانند کربن، نیتروژن و گوگرد، فاز گاز واقعی ندارد. این یکی از علت‌های کند بودن چرخه فسفر در طبیعت است.

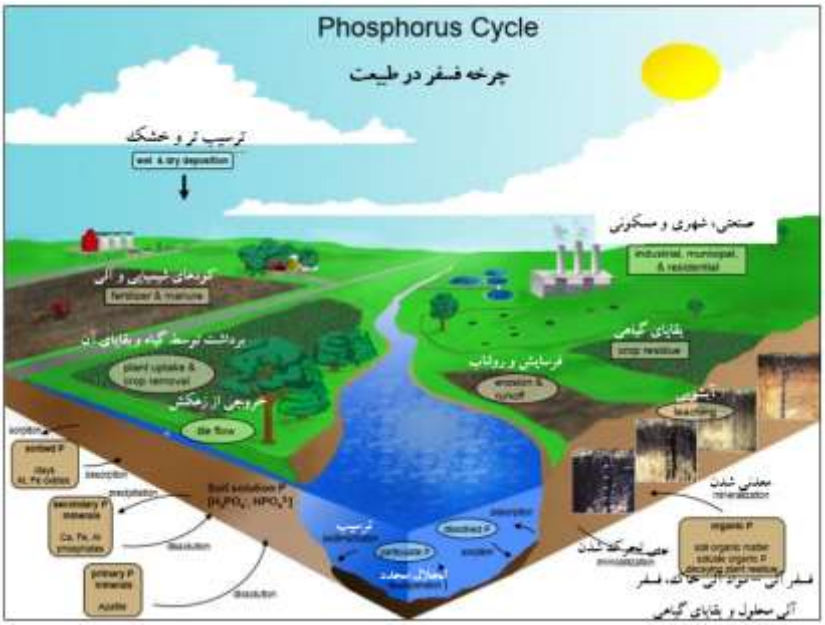
همان گونه که گفته شد ترکیبات فسفات موجود در خاک می‌تواند توسط گیاهان جذب شده و از آنجا به حیواناتی که گیاهان را می‌خورند منتقل شود. هنگامی که گیاهان و حیوانات مواد زائد را دفع می کنند یا می‌میرند، فسفات‌ها توسط موجودات دیگر جذب شده یا به خاک بازگردانده می‌شوند. ترکیبات حاوی فسفر همچنین ممکن است در رواناب سطحی به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها منتقل شوند و در آنجا توسط موجودات آبزی جذب شوند.

هنگامی که ترکیبات فسفر دار از بدن یا ضایعات موجودات دریایی به کف اقیانوس می‌رسند، لایه‌های رسوبی جدیدی را تشکیل می‌دهند. در درازمدت، سنگ‌های رسوبی فسفردار ممکن است توسط یک فرایند زمین شناسی به نام بالا آمدن[1] از اقیانوس به خشکی منتقل شوند. این فرایند بسیار کند است و میانگین مدتی که یون فسفات در اقیانوس می‌ماند، بین ۲۰ تا ۱۰۰ هزار سال است.

چرخه فسفر در طبیعت در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است.

1 Uplifting

در اینجا مراحل کلیدی چرخه فسفر بیان می گردد:



شکل ۱۱-٤- چرخه فسفر در طبیعت

- با گذشت زمان، باران و هوازدگی باعث می‌شود سنگ ها، یون‌های فسفات و سایر مواد معدنی را آزاد کنند. این فسفات معدنی سپس در خاک و آب پخش می‌شود.
- گیاهان، فسفات معدنی را از خاک می‌گیرند. حیوانات این گیاهان را می خورند. فسفات در بدن آن ها، با مولکول‌های آلی مانند دی‌ان‌ای ترکیب می‌شود. هنگامی‌که گیاه یا حیوان می‌میرد، پوسیده می‌شود و فسفات آلی به خاک باز می‌گردد.
- در داخل خاک، اشکال آلی فسفات توسط باکتری‌هایی به شکل‌های غیر آلی فسفر تجزیه می‌شوند. این مواد در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. این فرایند به عنوان کانی سازی[1] شناخته می‌شود.

1 Mineralization

- چنانچه فسفر خاک شسته شود، می‌تواند به آبراه‌ها و در نهایت به اقیانوس‌ها برسد. پس از آن، می‌توان آن را در طول زمان در رسوبات دید.

۱۱-۷- دسترسی گیاهان به فسفر

همان گونه که گفته شد، فسفر در یک چرخه در میان سنگ ها، آب، خاک، رسوبات و موجودات زنده حرکت می کند. مقدار زیادی از فسفر در دسترس گیاهان نیست زیرا که بیشتر آن‌ها در رسوبات و سنگ‌ها محبوس شده‌اند. حتی مقدار زیادی از فسفر موجود در خاک نیز نمی‌تواند در دسترس گیاهان قرار گیرد. دسترسی گیاهان به فسفرموجود در خاک به چندین مسیر برگشت پذیر بستگی دارد:

- باکتری‌ها: باکتری‌ها فسفات موجود در گیاه را به شکل‌های آلی تبدیل می کنند که گیاهان نمی‌توانند از آن‌ها استفاده کنند. هر چند باکتری‌هایی هم هستند که فسفات را از طریق کانی‌سازی در دسترس می گذارند، لیکن سهم آن‌ها ناچیز است.
- رونشینی[1]: فسفر غیر آلی (و در دسترس) می‌تواند از نظر شیمیایی روی ذرات خاک بنشیند (به ذرات خاک بچسبد) و آن را در دسترس گیاهان قرار ندهد. دفع[2] عبارت است از آزادسازی فسفر رونشینی شده به محلول خاک.

ترکیبات غیر آلی فسفر باید محلول باشند تا توسط گیاهان جذب شوند. به عبارت دیگر، دریافت فسفر توسط گیاه بستگی به اسیدیته (pH) خاک دارد. اگر pH خاک کمتر از ۴ یا بیشتر از ۸ باشد، فسفر به ترکیبات دیگر می‌چسبد و کمتر در دسترس گیاه قرار می گیرد. بیشتر خاک‌های ایرانpH بالایی دارند. از این رو، مقداری از کود فسفره داده شده به خاک در دسترس گیاه قرار نمی گیرد. تنظیم pH خاک برای جذب موثر فسفات توسط گیاه باید پیش از کوددهی انجام شود. به عنوان

1 Adsorbtion
2 Desorption

نمونه، افزودن آهک به خاک، اسیدیته آن را کاهش می‌دهد و محیطی را فراهم می‌کند که فسفات بیشتری در دسترس گیاه قرار گیرد.

بسیاری از محصولات گیاهی برای رشد بهینه به فسفر بیشتری نسبت به آنچه که در خاک به حالت محلول وجود دارد، نیاز دارند. محصولات زراعی پس از برداشت، چیز زیادی از خود در زمین باقی نمی‌گذارند. به عبارت دیگر، بقایای گیاهی پوسیده‌ای برای جایگزینی فسفر دریافت شده توسط گیاه باقی نمی‌ماند. بنابراین، کشاورزان برای جایگزینی فسفر جذب شده توسط گیاه، از افزودن کود یا پساب استفاده می‌کنند.

در حالی که مقدار بسیاری از فسفر موجود در خاک به راحتی در دسترس نیست، چند مسیر برگشت پذیر وجود دارد که مقادیر کمی‌فسفر را برای مصرف گیاهان آزاد می‌کند. بسیاری از کشاورزان فسفر را از طریق استفاده از کودهای فسفاته تامین می‌کنند. فسفر از معادن ذخایر سنگ فسفات بدست می‌آید. از اسید سولفوریک برای تبدیل سنگ فسفات نامحلول به شکل محلول تر و قابل استفاده تر استفاده می‌شود. محصول این ترکیب، کودی به نام سوپر فسفات است.

۱۱-۸- آبشویی فسفر در خاک‌های کشاورزی

حرکت فسفر، با آبشویی آهسته و آرام از نیمرخ خاک شروع می‌شود و یا با جریان ترجیحی از منافذ درشت، درز و ترک‌های خاک، کانال‌های ریشه، سوراخ‌های کرم خاکی و مانند آن به پایین حرکت می‌کند. آبشویی فسفر در بیشتر خاک‌ها بی‌اهمیت در نظر گرفته می‌شود، لیکن بررسی‌ها نشان می‌دهد که ممکن است ترکیبی از شیوه‌های مدیریت کشاورزی، ویژگی‌های خاک، و شرایط آب و هوایی وجود داشته باشد که بتواند منجر به انباشت قابل توجه فسفر در خاک زیرین شود. این که آیا فسفر آبشویی شده به افق‌های زیرین، می‌تواند به آب‌های سطحی منتقل شود یا نه، بستگی به هیدرولوژی حوضه و عمقی که تا آن فسفر پیش رفته دارد.

تلفات فسفر به خاک زیرسطحی و نیز به آب زیرزمینی، هر چند از دیدگاه کشاورزی اهمیت خیلی زیادی ندارد، لیکن پیوستن آن به آب سطحی و زیرزمینی، در سطح حوضه آبریز مشکلات فراوانی از دیدگاه محیط‌زیست ایجاد می‌کند. برخی اعتقاد دارند که حتی خطر پیوستن آن به آب زیرزمینی می‌تواند بیشتر از خطر افزوده شدن آن به آب سطحی باشد. مطالعات نشان می‌دهد که غلظت فسفر آلی محلول در زهاب برخی از مزارعی که به زهکشی زیرزمینی مجهزند، بیشتر ازاندازه‌ای است که برای مغذی شدن پهنه‌های آبی شناخته شده است (شارپلی و همکاران، ۱۹۹۶). آن‌ها همچنین به مطالعاتی اشاره کردند که در آن خروج فسفر (کیلوگرم در هکتار در سال) در جریان زیرسطحی برابر یا بیشتر از مقادیری است که به طور معمول در رواناب سطحی یافت می‌شود (سیمس و همکاران، ۱۹۹۶ به نقل از بولتون و همکاران، ۱۹۷۰).

تحقیقات در باره آبشویی فسفر در زمین هایی که در آن‌ها از کودهای تجاری و/یا ضایعات آلی استفاده شده، نشان داده است که در بیشتر خاک‌های معدنی، اگر کودهای فسفری با نرخ‌های قابل قبول از نظر زراعی و بر پایه توصیه‌های آزمایش خاک اعمال شود، آبشویی قابل توجهی رخ نخواهد داد. با این حال، شسته شدن فسفر می‌تواند در خاک‌های شنی عمیق، در صورتی که از کود یا مواد آلی بیش ازاندازه استفاده شده باشد، روی دهد. در چنین مواردی و بویژه در زمین هایی که به زهکشی زیرزمینی مجهز شده‌اند، مقادیر قابل توجهی فسفر به محیط‌زیست وارد می‌شود.

۱۱-۹- اثرات منفی فسفر بر زیست‌بوم‌های آبی

بی‌تردید پدیده مغذی شدن پهنه‌های آبی یکی از مهم ترین نگرانی‌های محیط‌زیستی است. هر چند فسفر تنها عامل به وجود آمدن این پدیده نیست ولی نقش آن بسیار زیاد است. هنگامی‌که نیتروژن و فسفر موجود درکودها با کمک رواناب به رودخانه‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها منتقل

می‌شوند، می‌توانند باعث مغذی شدن پهنه‌های آبی و رشد بیش ازاندازه جلبک‌ها شوند. جلبک می‌تواند اکسیژن آب را مصرف کند و یک پهنه مرده[1] ایجاد کند.

بیشتر کودهای مورد استفاده در کشاورزی، دارای نیتروژن و فسفر هستند که ممکن است با رواناب‌های سطحی و یا زهاب زیرزمینی به زیست‌بوم‌های آبی منتقل شوند. کود منتقل شده می‌تواند باعث رشد بیش ازاندازه جلبک‌ها یا میکروب‌هایی شود که رشد آن‌ها پیش از آن در اثر کمبود نیتروژن یا فسفر محدود شده بود. دست کم در برخی موارد، فسفر، نه نیتروژن، محرک اصلی مغذی شدن به نظر می‌رسد.

چرا پدیده مغذی شدن مضر است؟ برخی از جلبک‌ها به آب طعم یا بوی بد می‌دهند یا ترکیبات سمی‌تولید می‌کنند. با مرگ جلبک‌ها و تجزیه آن ها توسط میکروب‌ها، مقادیر زیادی اکسیژن مصرف می‌شود. این افزایش مصرف اکسیژن، می‌تواند به شدت سطح اکسیژن محلول در آب را کاهش دهد و ممکن است منجر به مرگ سایر موجودات آبزی، مانند صدف‌ها و ماهی‌ها شود.

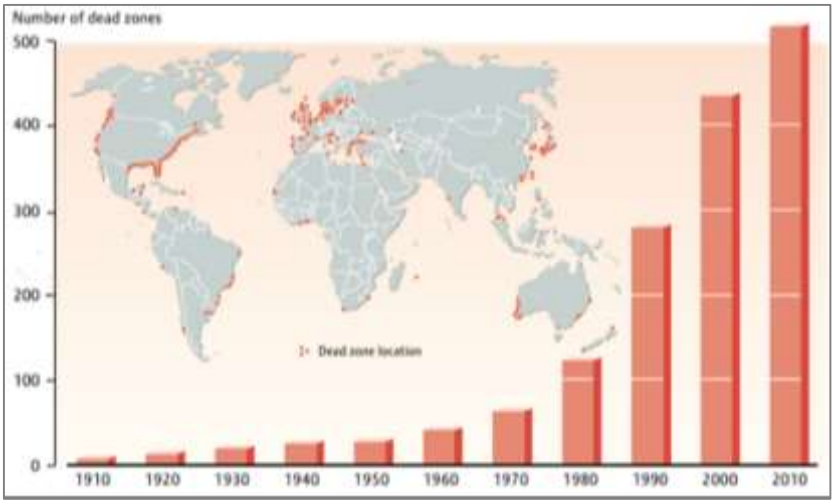
مناطقی از دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها که به دلیل هجوم مواد مغذی از اکسیژن تهی می‌شوند، پهنه مرده نامیده می‌شوند. برخی نیز به آن "کویر اقیانوس" می‌گویند. تعداد مناطق مرده در جهان، در چندین سال گذشته افزایش یافته است. گفته می‌شود که از سال ۱۹۶۰ تعداد آن‌ها در هر دهه دو برابر شده است. در سال ۲۰۰۸، بیش از ۴۰۰ مورد از این مناطق وجود داشت. بزرگترین پهنه مرده جهان در خلیج عمان، بین ایران، عمان و هند است (دانشگاه ییل، ۲۰۱۸)که گستره آن به بیش از ۱۶۰ هزار کیلومتر مربع می‌رسد[2]. پس از آن، پهنه مرده سواحل جنوبی ایالات متحده در خلیج مکزیک است.

---

1 Dead zone or Hypoxia

۲ باستین کوئست (Bastien Queste)، سرپرست مطالعه در بیانیه‌ای گفت: «تحقیق ما نشان می‌دهد که وضعیت در واقع بدتر از آن است که بترسیم». «گستره پهنه مرده وسیع و در حال رشد است. اقیانوس در حال خفه شدن است. همه ماهی‌ها، گیاهان دریایی و سایر موجوداتی که به اکسیژن نیاز دارند، دیگر نمی‌توانند زنده بمانند. این یک مشکل واقعی زیست‌محیطی است و پی آمدهای ناخوشایند برای انسان‌هایی دارد که برای غذا و اشتغال به اقیانوس‌ها وابسته هستند.»

رواناب حاصل از کوددهی در حوضه رودخانه می‌سی سی پی منطقه مرده‌ای به مساحت بیش از ۲۳ هزار کیلومتر مربع ایجاد کرده است. پهنه‌های مرده در مناطق صنعتی و با تراکم جمعیت بالا در سراسر جهان یافت می‌شوند. به طوری که شکل ۱۱- ۵ نشان می‌دهد، پهنه‌های مرده زیادی در امتداد سواحل شرقی و غربی ایالات متحده، در شمال اروپا و دریای مدیترانه و نیز در سواحل شرقی آسیا و بویژه در ژاپن وجود دارد.



شکل ۱۱- ۵- تعداد و محل پهنه‌های مرده دریایی از ابتدای قرن بیستم

هنگامی‌که بیش ازاندازه لازم کودهای شیمیایی یا دامی‌مصرف شود، فسفاتی که توسط گیاهان استفاده نشده، می‌تواند از طریق آبشویی و رواناب از مزرعه خارج شود. این فسفات به آبراه‌ها، دریاچه‌ها و مصب‌ها می‌رسد. فسفات اضافی باعث رشد بیش ازاندازه گیاهان در آبراه‌ها، دریاچه‌ها و مصب‌ها می‌شود که منجر به پدیده مغذی شدن پهنه‌های آبی می‌شود.

اقداماتی در کشاورزی برای کاهش تلفات فسفات به منظور بالا بردن راندمان کاربرد کود و پساب در حال انجام است. مهم ترین آن‌ها کنترل کوددهی است. در جلد دوم کتاب در این باره توضیح بیشتری داده خواهد شد.

افزایش مواد مغذی در پهنه‌های آبی منجر به شکوفایی جلبکی می‌شود (شکل ۱۱- ۶). در پدیده مغذی شدن پهنه‌های آبی، باید کودهای دیگری مانند نیتروژن نیز کنترل شوند. چنانچه بتوان منابع مواد مغذی اضافی را حذف کرد، دریاچه‌های آلوده را می‌توان بازیابی کرد. غلظت فسفر در آبهای تمیز بسیار پایین است. همان طور که گفته شد، مغذی شدن یا اوتروفیکاسیون زمانی رخ می‌دهد که غلظت فسفر در آب بالاتر از ۶ میلی‌گرم در لیتر[1] باشد(رضانیا و همکاران، ۲۰۲۱). اثرغلظت فسفر بر روی تولید و تکثیر پلانکتون‌ها در فصل‌های گوناگون متفاوت است. در بهار و زمستان تاثیر بسیار بیشتری دارند. در پاییز و تابستان، تاثیر فسفر وقتی بیشتر می‌شود که نیتروژن نیز در محل حضور داشته باشد. فسفر می‌تواند به آتمسفر نیز وارد شود. چنانچه در باران حل شود، ممکن است به زمین و دریاها برسد و تثبیت گردد.

جلبک قرمز جلبک سبز

شکل ۱۱-٦ - شکوفایی جلبکی در دریاچه ارومیه

[1] منابع گوناگون ارقام متفاوتی را ارائه می کنند. در بخش غلظت قابل قبول فسفر در آب‌ها توضیح بیشتر داده شده است.

پدیده مغذی شدن اثرات زیست‌محیطی منفی مانند کاهش تنوع زیستی زیست‌بوم‌های آبی و نیز کاهش کیفیت آب سطحی دارد. جلبک‌ها اکسیژن آب را مصرف می‌کنند و چیزی برای پلانکتون‌ها و آبزیان دیگر باقی نمی‌گذارند. افزون بر این با سایه‌اندازی، فتوسنتزگیاهان درون آب را محدود می‌کنند. تولید مواد سمی‌جلبکی با رشد شکوفه‌های جلبکی مضر در یک محیط اوتروفیکاسیون می‌تواند باعث بیماری‌های کشنده ماهی، انسان و حیوان شود.

۱۱-۱۰- منابع فسفر

فسفر از آئروسل[1]های آتشفشانی وارد جوّ می‌شود. با رسوب آن به زمین، وارد زنجیره غذایی زمینی می‌شود. مقداری از آن در آب نهرها و دریاچه‌ها حل می‌گردد و باقی‌مانده وارد خاک می‌شود. یکی دیگر از منابع فسفر کودها هستند. فسفر از طریق آبشویی و رواناب وارد اقیانوس می‌شود و در آب حل می‌شود یا وارد شبکه‌های غذایی دریایی می‌شود. مقداری فسفر به کف اقیانوس می‌رود و به رسوب تبدیل می‌شود. اگر بالا آمدن رخ دهد، این رسوب می‌تواند به خشکی بازگردد.

برای ساخت کود فسفره، از معادن فسفات استفاده می‌شود. افزون بر کودهای فسفره، فاضلاب و مواد شوینده نیز که در خود فسفر دارند، می‌توانند عامل آلودگی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها باشند. جریان زهاب مزارع به پهنه‌های آبی، مواد مغذی کودها را از زمین‌های کشاورزی به آب‌های سطحی وارد می‌کند. فسفر زمانی در دریاچه‌ها فعال می‌شود که حالت ذره‌ای نداشته باشد و در آب حل شود و به مواد مغذی زیستی تبدیل گردد و بتواند باعث تحریک رشد جلبک‌ها شود. یافتن روشی مناسب برای حذف فسفر حائز اهمیت است. طراحی سیاست‌های بازیابی پهنه آبی از مشکل شکوفایی جلبکی آسان نیست. شناخت پیچیدگی‌هایی که در فرایند تبدیل و انتقال فسفر وجود دارد، می‌تواند به برنامه ریزی و طراحی روش بازیابی کمک کند. در جدول ۱۱-۱ منابع فسفر و عوامل انتقال آن نشان داده شده است.

---

[1] آئروسل به مجموعه ذرات جامد یا مایع درون یک فضای گازی گفته می شود.

جدول ۱۱-۲ - منابع فسفر و عوامل انتقال

نوع فسفر	منبع فسفر	راه انتقال فسفر
فسفر ذره ای	فسفر خاک	رواناب سطحی
فسفر محلول	کود فسفری	جریان ترجیحی به زهکش‌های زیرزمینی
	کود دامی	جریان از درون خاک به زهکش‌های زیرزمینی
	سایر فسفرهای آلی	جریان به زهکش‌های سطحی
		نفوذ عمقی به آب زیرزمینی
		فرسایش بادی

ماردا‌موتو و همکاران، ۲۰۲۱

۱۱-۱۱- راه‌های پیش‌گیری یا کاهش مغذی شدن آب

کودها، شوینده‌های حاوی فسفر و دفع نادرست فاضلاب، همگی می‌توانند منابع نیتروژن و فسفر باشند که منجر به اوتروفیکاسیون می‌شوند. استفاده از کود کمتر، حذف مواد شوینده حاوی فسفر، و اطمینان از عدم ورود فاضلاب به آبراه‌ها – به عنوان نمونه، از نشت سپتیک تانک – همه راه‌هایی هستند که افراد، شرکت‌ها و دولت‌ها می‌توانند به کاهش مغذی شدن آب‌ها کمک کنند. در باره این روش‌ها در جلد دوم بحث خواهد شد.

روش‌هایی مانند آزمایش فسفر خاک و مدل‌ها یا شاخص‌های فسفر برای کاهش تلفات فسفر کشاورزی مورد مطالعه و اجرا قرار گرفته‌اند. برخی برای این منظور شاخص‌های فسفر را نسبت به مدل‌های آن ترجیح می‌دهند. برخی نیز یک راهبرد مدیریتی جامع نگر با استفاده از آزمایش فسفر خاک در ارتباط با شاخص فسفر یا مدل فسفر پیشنهاد کرده‌اند (ماردا‌موتو و همکاران، ۲۰۲۱). در این موارد نیز که جزو روش‌های بهبود هستند، در جلد دوم سخن گفته خواهد شد.

۱۱- ۱۲- غلظت قابل قبول فسفر در آب‌ها

هنگام تعیین معیارهای کیفیت آب باید چندین شرط در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، در تناسب ماده غذایی فسفر، استفاده مورد نظر از آب، بارهای آلودگی مورد نظر یا قابل تحمل باید مشخص باشد. باید بارگذاری فسفر در دریاچه‌هایی که بیشتر برای آب منزل، شنا و تفریحات چند منظوره استفاده می‌شوند، کم باشد؛ در حالی که دریاچه‌هایی که برای پرورش ماهی استفاده می‌شوند، ورودی‌های فسفر بالاتری را تحمل می‌کنند. علاوه بر این، از آنجایی که عوامل دیگری مانند سرعت جریان آب، نور، کدورت، دما و سطوح نیتروژن نیز رشد گیاهان و جلبک‌ها را محدود می‌کنند، توصیه غلظت مطلق فسفر کل برای جلوگیری از شکوفایی گیاهان و جلبک‌ها در محیط‌های آبی دشوار است (دپارتمان پایداری استرالیا، محیطزیست، آب، جمعیت و جوامع، ۲۰۱۲).

غلظت کل فسفر در آب‌های طبیعی غیرآلوده طیف بسیار گسترده‌ای را پوشش می‌دهد، از کمتر از ۱ میکروگرم در لیتر تا بیش از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در برخی دریاچه‌های شور. لیکن مقدار ایمن آن در بیشتر آب‌های سطحی غیرآلوده از ۱۰ تا ۵۰ میکروگرم در لیتر است. غلظت طبیعی ارتوفسفات‌ها از یک حوضه به حوضه دیگر متفاوت است. آژانس محیطزیست اروپا، بسته به عواملی مانند زمین شناسی و خاک، غلظت معمول آن را فقط بین ۰ تا ۱۰ میکروگرم فسفر در لیترمی‌داند. با این حال، گاهی اوقات، غلظت فسفر در رواناب نواحی دست‌نخورده نیز ممکن است از آستانه‌های کیفی فراتر رود. در موارد دیگر، در آب‌هایی که غلظت فسفر در آن‌هاکمتر از ۱۰۰ میکروگرم فسفر در لیتر است، مشاهده شده است که اوتروفیکاسیون سریع رخ می‌دهد. بیشتر دریاچه‌های کم و بیش بکر در ایالات متحده آمریکا دارای آب‌هایی هستند که بین ۲۰ تا ۳۰ میکروگرم در لیتر فسفر کل دارند. به طور کلی، آب‌های سطحی که فسفر کل در آن‌ها بین ۱۰ تا ۳۰ میکروگرم در لیتر است، جلبک زیادی در آن‌ها دیده نمی‌شود و الیگوتروفیک نامیده می‌شوند. سازمان حفاظت محیطزیست امریکا حد مجازی را برای استفاده مشخص، ارائه نکرده است. این سازمان به طور معمول تنها یک حد بحرانی را برای هر آلاینده خاص پیشنهاد می‌کند. از همین

روست که معیاری ملی برای فسفر در آب‌ها برای کنترل اوتروفیکاسیون تعیین نشده است. این سازمان، در عوض، ایالات متحده آمریکا را به مناطق زیست‌محیطی تقسیم کرده و معیارهایی را برای دریاچه‌ها/مخزن‌ها (بین ۱۰ تا ۱۳۰ میکروگرم در لیتر فسفرکل) و برای رودخانه‌ها/جویبارها (بین ۸ تا ۴۰ میکروگرم در لیتر فسفرکل) تعیین کرده است. با این حال، این سازمان، به طور کلی بیان می‌کند که فسفر کل نباید از ۵۰ میکروگرم در لیتر در جریان‌هایی که وارد دریاچه‌ها/مخزن‌ها می‌شوند، و از ۲۵ میکروگرم در لیتر در داخل دریاچه‌ها/مخزن‌ها تجاوز کند. افزون بر این، برای جلوگیری از مزاحمت گیاهی در نهرها یا دیگر آب‌های جاری، که به طور مستقیم به دریاچه‌ها/مخزن‌ها تخلیه نمی‌شوند، غلظت فسفر کل نباید از ۱۰ میکروگرم در لیتربیشتر شود (ماردامو‌تو و همکاران، ۲۰۲۱ به نقل از دانیل و همکاران، ۱۹۹۸).

دستورالعمل‌های کیفیت آب استرالیا، غلظت فسفر کل ۱۰ تا ۱۰۰ میکروگرم در لیتر برای رودخانه‌ها و نهرها، ۵ تا ۵۰ میکروگرم در لیتر را برای دریاچه‌ها و مخازن و ۱ تا ۱۰ میکروگرم در لیتر فسفر به صورت ارتوفسفات را برای آب‌های ساحلی توصیه می‌کند.

فصل دوازدهم
فلزات سنگین

۱۲-۱- پیش‌گفتار

بی‌تردید، زندگی روی کره زمین بستگی به سلامت خاک دارد. خاک، بستر زندگی، مجموعه پیچیده، شکننده، کمیاب وتجدیدناپذیری است که با تهدیدات فراوانی روبرو است. خاک تأثیر فراوانی بر سلامت انسان ومحیط‌زیست پیرامون آن و حفظ حیات دارد. خاک از دیدگاه زیستی، مجموعه‌ای پویا به شمار می‌رود که همواره تغییر می‌کند. گاه تعداد موجودات زنده‌ای که در هر سانتی متر مکعب خاک زندگی می‌کنند، به میلیاردها می‌رسد.

آلودگی خاک ناشی از فلزات سنگین در نتیجه فعالیت‌های انسانی، در چند دهه اخیر به شدت افزایش یافته و به یک موضوع زیست‌محیطی جهانی تبدیل شده و توجه عمومی‌را به خود جلب کرده است. تخمین زده می‌شود که بین ۶۰ تا ۷۰ درصد از خاک‌های اتحادیه اروپا به دلیل فرسایش، آلودگی، تراکم، کاهش کربن و از دست دادن تنوع زیستی ناسالم هستند (گاسپاراتوس، ۲۰۲۲).

امروزه فعالیت‌های انسانی به گونه‌ای چشم‌گیر کیفیت خاک‌ها را تغییر می‌دهد؛ گاه بهبود و گاه تخریب. بهبود مانند تسطیح و زهکشی؛ و تخریب مانند استفاده نامناسب از آب‌های نامتعارف و خاکورزی نامناسب. مصرف بیش ازاندازه کودهای شیمیایی و استفاده از علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها موجب شده است که برخی از مردم به سوی مصرف محصولات ارگانیک رهسپار شوند؛ هر چند که ناچار باشند بهای بیشتری را برای آن بپردازند.

فلزات سنگین به دلیل خاصیت سمی آنها برای محیط‌زیست مضر هستند. فلزات سنگین می‌توانند در غلظت‌های بالاتر منجر به مسمومیت شوند. مسمومیت با فلزات سنگین می‌تواند ناشی از آلودگی آب آشامیدنی، غلظت بالای آن ها در هوای محیط (مانند سرب)، یا مصرف غذایی باشد. فلزات

سنگین با جایگزین شدن با مواد معدنی مغذی، عملکرد زیستی را مختل کرده و باعث اختلال در عملکرد ارگان‌های حیاتی مانند قلب، مغز، کبد و کلیه می شوند.

۱۲-۲- تعریف و ویژگی‌های اصلی فلزات سنگین

فلز سنگین اصطلاحی در شیمی است که به فلزها یا شبه‌فلزهای دارای اثرات نامناسب زیست‌محیطی اشاره دارد. خاستگاه این واژه، ازخطرناکی و زیانباری فلزهای سنگین در محیط‌زیست برآمده است. منظور از آن در ابتدا، بیشتر سرب، جیوه و کادمیوم بوده‌است؛ لیکن، امروزه همه فلزها و شبه‌فلزهای زیانبار و سمی، فارغ از مقدار چگالی آن‌ها را در بر می‌گیرد.

هر چند از معیارهایی مانند چگالی، وزن اتمی، عدد اتمی و جایگاه عنصر در جدول تناوبی برای تعریف فلزات سنگین استفاده می‌شود، در حال حاضر برای تعریف فلزات سنگین هیچ معیاری که مورد پذیرش عموم باشد وجود ندارد.

فلزات سنگین در خاک‌ها، برای انسان و جانوران زیان آورند زیرا وجود آن‌ها در خاک، به انتقال به چرخهٔ غذایی می انجامد. فلزهای سنگین در برخی کودهای معدنی، فاضلاب و لجنی که به عنوان آب آبیاری استفاده می شود، کاربرد آهک به عنوان ماده اصلاح کننده خاک و نیز در آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها وجود دارند. شاید کشاورزی نقش زیادی در انتقال فلزات سنگین به خاک نداشته باشد، لیکن خاک میزبان موادی می‌شود که در پایان به گیاه می‌رسد و به تندرستی انسان زیان وارد می‌کند. استخراج معادن، مقادیر بسیار زیادی از فلزات سنگین را به خاک می‌افزاید. فلزات سنگینی که از سوخت‌های فسیلی در هوا منتشر می‌شوند، گاز هایی که از خروجی خودروها بیرون می‌آیند، گازهایی که از ذوب فلزات در کارخانه‌ها خارج می‌شوند، صنایع شیمیایی‌ای که در فرایند تولید خود، فلزات سنگین مصرف می‌کنند، سوزاندن زباله‌ها در شهرها و روستاها و آتش‌سوزی‌های بزرگ، از دیگر شیوه‌های آلودگی خاک به فلزات سنگین هستند. گیاهان و ریزجانداران خاکزی یا باید با افزایش ناخواستهٔ فلزات سنگین در خاک رویارویی کنند و یا با آن‌ها سازگار شوند؛

راهکارهایی دشوار که به طور معمول کارآیی لازم را ندارند. مقادیر بیشتر از حد مجاز برخی از فلزات سنگین در خاک و آب باعث مسمومیت گیاهان و ریزجانداران خاک می‌گردد و در بسیاری از موارد باعث کاهش عملکرد و حتی مرگ آن‌ها می‌شود؛ مگر در گیاهانی که توانایی بیش‌اندوزی فلزات سنگین را داشته باشند. از سویی، مقادیر کم فلزات سنگین در خاک می توانند در گذر زمان در بافت گیاهان و جانوران تغذیه کننده از گیاهان انباشته شوند.

فلزات سنگین، افزون بر خاک و گیاه، در بدن حیوانات و انسان‌ها نیز انباشته می‌شوند. تجزیه‌پذیری آن‌ها بسیار کند است. حذف آن‌ها از خاک‌های آلوده چالشی مهم به حساب می‌آید.

۱۲-۳- ویژگی‌های کلی فلزات سنگین

از جمله ویژگی‌های فلزات سنگین، سمی‌بودن آن‌ها است. بیشتر (و نه همه) فلزات سنگین دارای چگالی، وزن اتمی‌و عدد اتمی‌بالایی هستند. برخی از شبه‌فلزات نیز در دسته فلزات سنگین جای می‌گیرند. بسیاری از منابع، فلزاتی همچون جیوه، سرب، بیسموت و کادمیوم را از جمله عناصر سمی‌فلزات سنگین بیان کرده‌اند. بُر، آنتی موان و آرسنیک نیز از شبه فلزهایی هستند که به علت سمی‌بودن، در دسته فلزات سنگین جای می‌گیرند. از جمله نمونه‌های فلزات سنگین می‌توان به عناصر زیر اشاره کرد:

- سرب؛
- جیوه؛
- کادمیوم؛
- کروم؛
- آهن؛
- مس؛
- روی؛

- آلومینیوم؛
- برلیم (شبه فلز)؛
- کبالت؛
- منگنز؛ و
- آرسنیک (شبه فلز).

گمان بر این است که فلزات سنگین بسیار سمی‌و برای محیط‌زیست زیانبار هستند. باید گفت برخی از این فلزات، به طور مطلق سمی‌هستند و برخی دیگر تنها در صورتی که غلظت آن‌ها از مقادیر معینی بیشتر شود، و یا برای مدتی بیشتر در کنار انسان قرار گیرند، خاصیت سمی پیدا می‌کنند. به عنوان نمونه، عناصری مانندکروم، آرسنیک، جیوه، کادمیوم و سرب از جمله عناصری هستند که مقدار زیاد آن‌ها مسمومیت ایجاد می‌کند.

۱۲-٤- نقش زیستی فلزات سنگین

مقادیر کمی‌از فلزات سنگین، بویژه آن‌ها که در دوره چهارم جدول تناوبی قرار دارند، برای انجام برخی از فرآیندهای زیستی بدن ضروری هستند. این عناصر در فهرست زیر آورده شده‌اند:

- مس: حمل الکترون و اکسیژن؛
- کبالت: سوخت و ساز سلولی؛
- روی: هیدروکسیلاسیون[۱] (هیدروکسیل‌دار کردن)؛
- کروم: بهره‌گیری از گلوکوز؛
- نیکل: رشد سلولی؛ و
- سلنیوم: آنتی‌اکسیدان و تولید هورمون.

---

۱ هیدروکسیلاسیون فرایندی شیمیایی است که یک گروه هیدروکسیل (OH^-) را به یک ترکیب آلی وارد و آن را تخریب می‌کند. به آن آبکافت نیز می گویند.

در دوره پنجم جدول تناوبی، مولیبدن به عنوان کاتالیزور واکنش‌های ردوکس مورد استفاده قرار می‌گیرد. در دوره ششم، کادمیوم در فرآیندهای سوخت و ساز باکتری‌ها نقش دارد. بنابر این، فلزات سنگین تنها زیانبار نیستند، بلکه فوایدی نیز برای جانداران دارند.

۱۲-۵- خطرات فلزات سنگین

خطر فلزات سنگین به دلیل انباشت زیستی[۱] آن‌ها در بدن انسان و سایر موجودات زنده است. انباشت زیستی (تجمع زیستی) به این معناست که غلظت یک ماده شیمیایی با گذشت زمان، درون یک موجود زنده در مقایسه با غلظت آن در محیط‌زیست افزایش پیدا کند. افزایش زمانی روی می‌دهد که جذب و ذخیره‌سازی آن‌ها سریع‌تر از شکست ترکیبات و سوخت و ساز باشد.

۱۲-٦- علل آلودگی خاک

همه خاک‌ها، چه آلوده و چه بدون آلودگی، دارای ترکیباتی هستند که در طبیعت وجود دارند. چنین آلاینده‌هایی شامل فلزات، یون‌های معدنی و نمک‌ها (مانند فسفات‌ها، کربنات‌ها، سولفات‌ها، نیترات‌ها) و بسیاری از ترکیبات آلی (مانند لیپیدها، پروتئین‌ها، دی‌ان‌ای[۲]، اسیدهای چرب، هیدروکربن‌ها، ترکیبات حلقوی[۳]، الکل‌ها و غیره هستند. این ترکیبات، در بیشتر موارد، از طریق

1Bioaccumulation

۲Deoxyribonucleic acid, DNA

دئوکسی ریبو نوکلئیک اسید به اختصار دی‌اِن‌اِی یا دِنا، گونه‌ای اسید نوکلئیک است که دارای دستورالعمل‌های ژنتیکی است که برای کارکرد و توسعه زیستی جانداران و ویروس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نقش اصلی مولکول دی‌ان‌ای ذخیره‌سازی طولانی مدت اطلاعات ژنتیکی و دستوری است.

۳Polyaromatic Hydrocarbons, PAHs ترکیب حلقوی به گروهی از ترکیبات در علم شیمی گفته می‌شود که در آن گروهی از اتم‌ها با یکدیگر پیوند برقرار کرده و تشکیل یک حلقه را می‌دهند. از شناخته شده‌ترین ترکیبات در این دسته می‌توان به ترکیبات آروماتیک مانند بنزن یا تولوئن اشاره کرد.

فعالیت میکروبی خاک و تجزیه و تخریب موجودات زنده (گیاهان و حیوانات) تشکیل می‌شوند. افزون بر این، ترکیبات گوناگونی با باد و باران از محیط پیرامون وارد خاک می‌شوند. جریان آب از پهنه‌های آب سطحی و آب‌های زیرزمینی کم عمق نیز می‌تواند حامل این آلاینده‌ها باشد. هرگاه آلاینده‌های خاک از حد طبیعی (آنچه به طور طبیعی در خاک‌ها وجود دارد) فراتر رود، آلودگی ایجاد می‌شود.

در بیشتر موارد، آلودگی بر پایه غلظت کل ارزیابی می‌شود. با این حال، برخی از پژوهشگران تشخیص داده‌اند که فراهمی‌زیستی فلزات است که سرنوشت ورفتار آن‌ها را در محیط تعیین می‌کند؛ نه غلظت آن‌ها. منشأ و غلظت این مواد در مناطق گوناگون می‌تواند متفاوت باشد. برخی مطالعات نشان می‌دهد که Fe، Ti، V، Ni، Cr و Co در بیشتر موارد منشأ سنگ مادری دارند، یعنی برجا تشکیل شده‌اند. در حالی که سهم منابع انسانی شامل فعالیت‌های صنعتی، احتراق سوخت و کاربرد اصلاح کننده‌های آلی در خاک در Cr، As، Hg، Pb، Zn، Cd و Cu بیشتر است.

علت‌های اصلی آلایندگی خاک را می‌توان به دو گروه علل طبیعی و انسانی (انسان ساخت) تقسیم کرد:

۱۲-۷- آلاینده‌های طبیعی

فرآیندهای طبیعی می‌توانند باعث انباشت مواد شیمیایی سمی‌در خاک شوند. این نوع آلودگی تنها در موارد معدودی ثبت شده است، مانند انباشت سطوح بالای پرکلرات در خاک‌های صحرای آتاکاما در شیلی؛ نوعی تجمع که تنها به دلیل فرآیندهای طبیعی در محیط‌های خشک ایجاد می‌شود. تجمع طبیعی مواد شیمیایی که منجر به آلودگی خاک می‌شود، چندان زیاد نیست. لیکن فرایندهای طبیعی می‌توانند بر مواد شیمیایی سمی‌آزاد شده توسط انسان در خاک تأثیر بگذارند و سمیت آلاینده و/یا سطح آلودگی خاک را کاهش یا افزایش دهند. محیط پیچیده خاک، و حضور سایر مواد شیمیایی و نیز شرایط طبیعی حاکم بر محیط می‌توانند برآلاینده‌های آزاد شده تاثیر بگذارند.

فرآیندهای طبیعی منجر به آلودگی خاک عبارتند از:

- انباشت طبیعی ترکیبات در خاک به دلیل رسوب مواد آلاینده از اتمسفر (مانند سرب) و نشت و نفوذ با آب بارش (به عنوان نمونه، گوگرد)؛
- تولید طبیعی در خاک در شرایط محیطی خاص (به عنوان نمونه، تشکیل طبیعی پرکلرات در خاک در حضور منبع کلر، فلز سنگین و استفاده از انرژی تولید شده توسط رعد و برق)؛ و
- نشت از خطوط فاضلاب به زیر زمین (به عنوان نمونه، نشت کلر می‌تواند تری هالومتان هایی مانند کلروفرم را ایجاد کند).

۱۲-۸- آلاینده‌های انسان ساخت

آلاینده‌های انسان ساخت عامل اصلی آلودگی خاک هستند و از طیف گسترده‌ای از آلاینده‌ها یا مواد شیمیایی آلی و معدنی تشکیل شده‌اند. آلاینده‌های انسان ساخت می‌توانند خاک را به تنهایی، یا همراه با چند آلاینده طبیعی آلوده کنند. به طور معمول،آلودگی خاک توسط انسان به دلیل دفع نادرست زباله‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی یا شهری و نیز کاربرد آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های کشاورزی ایجاد می‌شود. کاربرد برخی از کودهای شیمیایی نیز در این کار مشارکت دارند.

آلودگی انسانی خاک می‌تواند ریشه در چند فرایند داشته باشد. برخی از آن‌ها مانند آلودگی‌های صنعتی، اختیاری و برخی دیگر تصادفی هستند. چنانچه این آلودگی‌های خاک با فرآیندهای طبیعی همراه شود، می‌تواند آلودگی را به سطح سمی‌شدن برساند. نمونه‌های زیر، آلایندگی‌های انسانی را نشان می‌دهند:

- نشت و سرریز تصادفی هنگام ذخیره سازی، حمل و نقل یا استفاده از مواد شیمیایی (مانند سرریز بنزین و گازوئیل در پمپ بنزین)؛
- فعالیت‌های ریخته گری و فرایندهای تولیدی در کارخانه‌ها شامل کوره‌ها که منجر به پراکندگی احتمالی آلاینده‌ها در محیط می‌شود؛

- فعالیت‌های معدنی شامل خرد کردن و فرآوری مواد خامی‌مانند فلزات سنگین که می‌تواند به انتشار مواد سمی‌بینجامد؛
- فعالیت‌های ساختمانی؛
- فعالیت‌های کشاورزی شامل انتشار علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و/یا حشره کش‌ها و کودها؛
- آمد وشد خودروها و انتشار گازهای سمی؛
- تخلیه زباله‌های شیمیایی به محیط که می‌تواند تصادفی یا اختیاری باشد؛
- ذخیره سازی زباله در محل‌های دفن زباله که در آن ممکن است مواد زائد به آب‌های زیرزمینی نشت کنند یا بخار و گاز آلوده کننده تولید کنند؛ و
- ریزش تراشه‌های رنگ از دیوارهای ساختمانی، به ویژه آن هایی که در آن‌ها سرب وجود دارد.

کارگاه‌های ساختمانی به دلیل ماهیت کم و بیش فراگیرشان، مهم ترین عوامل آلودگی خاک در مناطق شهری هستند. هر ماده شیمیایی که در کارگاه‌های ساختمانی استفاده می‌شود، ممکن است خاک را آلوده کند. با این حال، خطر بالاتر مربوط به آن دسته از مواد شیمیایی است که می‌توانند آسان تر به شکل ذرات ریز در هوا جابجا شوند. مواد شیمیایی که به صورت ذرات معلق حرکت می‌کنند، در برابر تخریب مقاوم‌تر هستند و مانند ترکیبات حلقوی در موجودات زنده انباشته می‌شوند. افزون بر این، گرد و غبار ساختمانی می‌تواند به راحتی در هوا پخش شود و به دلیل‌اندازه ذرات کوچک(کمتر از ۱۰ میکرون) خطرناک است. گرد وغبار ساختمانی می‌تواند باعث بیماری‌های تنفسی مانند آسم و برونشیت و حتی سرطان شود. چنانچه ساختمان‌ها قدیمی‌تر باشند، می‌توانند آزبست که یک ماده معدنی سمی‌است، را نیزآزاد کنند.

۱۲- ۹- آلاینده‌های رادیواکتیو

مواد رادیواکتیو مانند رادیوم، توریم، اورانیوم، نیتروژن و ... می‌توانند در خاک نفوذ کرده و اثرات سمی‌از خود به جا بگذارند.

۱۲-۱۰- زباله‌های شهری

زباله‌های شهری شامل زباله، لجن خشک شده و شیرابه زباله‌های خانگی و تجاری پس از رسیدن به خاک، می‌توانند اثرات سمی‌از خود به جا بگذارند.

۱۲-۱۱- زباله‌های صنعتی

زباله‌های صنعتی مانند فولاد، آفت‌کش‌ها، منسوجات، داروها، شیشه، سیمان، نفت و مانند آن‌ها که توسط کارخانه‌های کاغذسازی، پالایشگاه‌های نفت، کارخانه‌های قند، صنایع نفت و مانند آن‌ها تولید می‌شوند و به خاک می‌رسند، خاک را مسموم می‌کنند.

۱۲-۱۲- ویژگی‌های فلزات سنگین

همان گونه که گفته شد تعریف جامع پذیرفته شده‌ای از فلزات سنگین در دست نیست. فلزات سنگین حتی به برخی از نافلزها هم گفته می‌شود. از همین روست که برخی مواقع به جای عبارت فلزات سنگین از عناصر سنگین استفاده می‌کنند. هرچند برخی چگالی بیشتر از ۴ ، ۵ یا ۶ گرم بر سانتی متر مکعب را معیاری برای فلزات سنگین به حساب می‌آورند، لیکن این نظرهای متفاوت نیز مورد پذیرش دست‌اندرکاران قرار نگرفته است. برخی عدد اتمی‌را نشانه سنگین بودن فلز می‌دانند. این گروه نیز نتوانسته‌اند که نظر جامعه علمی‌را به خود جلب کنند. به وزن اتمی‌نیز به همین صورت نگریسته می‌شود. تنها عاملی که دانشمندان بر آن هم نظر هستند، زیانبار بودن آن‌ها برای محیط‌زیست است. در این کتاب تنها سرب، جیوه، آرسنیک، مس، روی، نیکل، کادمیوم و کروم به عنوان فلز سنگین در نظر گرفته شده‌اند.

چنانچه فرض شود که فلزات سنگین به همین عناصر محدود می‌شوند، دامنه تغییرات عدد اتمی‌آن‌ها بین ۲۴ تا ۸۳ و دامنه تغییرات چگالی آن‌ها بین ۴/۸۱ تا ۱۳/۵۳ گرم بر سانتی متر مکعب است.

ویژگی‌های فلزات سنگین، بویژه منشا، کاربرد، ویژگی‌های شیمیایی، سمیّت و خطرات انسانی آن‌ها در پیوست شماره ۱ ارائه شده است. ترکیباتی مانند هیدرو کربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای نیز هرچند به صورت عنصری وجود ندارند، لیکن از آنجا که به شدت زیانبار هستند، در پیوست شماره ۲ مورد بحث قرار می‌گیرند.

جدول ۱۲ - ۱- عدد اتمی و چگالی چند عنصری که به عنوان فلز سنگین شناخته می‌شوند

عدد اتمی	عنصر	چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)
۲۴	کروم (Cr)	۷/۱۵
۲۷	کبالت (Co)	۸/۹۰
۲۸	نیکل (Ni)	۸/۹۱
۲۹	مس (Cu)	۸/۹۶
۳۰	روی (Zn)	۷/۱۴
۳۳	آرسنیک (As)	۵/۷۳
۳۴	سلنیم (Se)	۴/۸۱
۴۲	مولیبدن (Mo)	۱۰/۲۸
۴۸	کادمیوم (Cd)	۸/۶۵
۵۰	قلع (Sn)	۷/۲۷
۸۰	جیوه (Hg)	۱۳/۵۳
۸۲	سرب (Pb)	۱۱/۳۴
۸۳	بیسموت (Bi)	۹/۷۸

یون‌های فلزی تمایل به حل شدن در آب، تجمع زیستی در حیوانات آبزی / محصولات زراعی دارند و می‌توانند از طریق زنجیره غذایی و تامین آب، اثرات مخربی بر سلامتی گروه گسترده‌ای از یک زیست‌بوم ایجاد کنند. گرایش فلزات سنگین به حل شدن در آب و جابجاشدن آن‌ها نقش

مهمی‌در زهکشی و آب‌های زیرزمینی دارد. در زیست‌بوم خاک، فلزات سنگین از طریق آب‌های زیرزمینی آلوده، در اثر واکنش‌های ردوکس شیمیایی، آبشویی و یا با فرآیندهای فیزیکی هوازدگی در بافت‌های زنده انباشته می‌شوند (حسین و همکاران، ۲۰۰۸). در مجموع، آلودگی فلزات سنگین در رسوبات، خاک و آب به موضوعی بسیار نگران کننده تبدیل شده است. شهرنشینی و صنعتی شدن، بدون شک، منجر به آلودگی فلزات شده است (اولادویه، ۲۰۲۲).

خاک به طور خاص به عنوان محلی برای انباشت فلزات سنگین عمل می‌کند. فعالیت‌های انسانی گوناگون مانند باقی‌مانده‌های احتراق زغال سنگ و تایر، کاربرد کود و آبیاری (آدوی و اولادویه، ۲۰۲۰) و همچنین نشت مواد پتروشیمی، رسوب از اتمسفر، و کود حیوانی نمونه‌هایی از آن هستند. در زمین‌های کشاورزی، انتشار گسترده فلزات سنگین، فشار قابل توجهی بر زیست‌بوم‌های زمینی وارد آورده است. پی آمد این کار می‌تواند به وارد شدن آن در زنجیره رژیم غذایی منجر شود (آلووی، ۲۰۱۳). آلودگی آب‌های زیرزمینی ومحصولات کشاورزی به فلزات سنگین بر کیفیت غذا نیز تأثیر منفی گذاشته است. بنابراین کنترل منابع یا ورودی‌های آلودگی فلزات سنگین به خاک و از همه مهم‌تر، بهبود اثربخشی رویکردهای اصلاحی مورد استفاده در پالایش خاک‌های آلوده بسیار ضروری است (درخشان نژاد و همکاران، ۲۰۱۸). جدای از پیشگیری، فناوری پاکسازی موجود برای پاکسازی محیط آلوده، بر پایه نوع آلاینده، سطح آلودگی و ماهیت محیط آلوده نیازمند بهبود زیادی است. خاک/آب آلوده، جدا از قوانین گوناگون برای حفاظت از سلامت انسان و محیط‌زیست، به برنامه‌های گوناگونی برای پاکسازی نیاز دارند. بنابراین، بازیابی سلامت خاک از آلودگی فلزات سنگین، پس از یک مطالعه عمیق امکان پذیر خواهد بود. فراهمی‌زیستی[1] و گونه‌زایی[2] یون‌های فلزی در چنین خاکی است که می‌تواند اطلاعاتی در مورد اثرات بهداشتی

1 Bioavailability

2 Speciation

و محیطی، منبع آلودگی و راهکارهای شیمیایی اصلاح خاک فراهم کند. تنها در این صورت است که امکان مدیریت موثر و ارزان به سیاست گذاران و/یا تصمیم گیرندگان داده می‌شود.

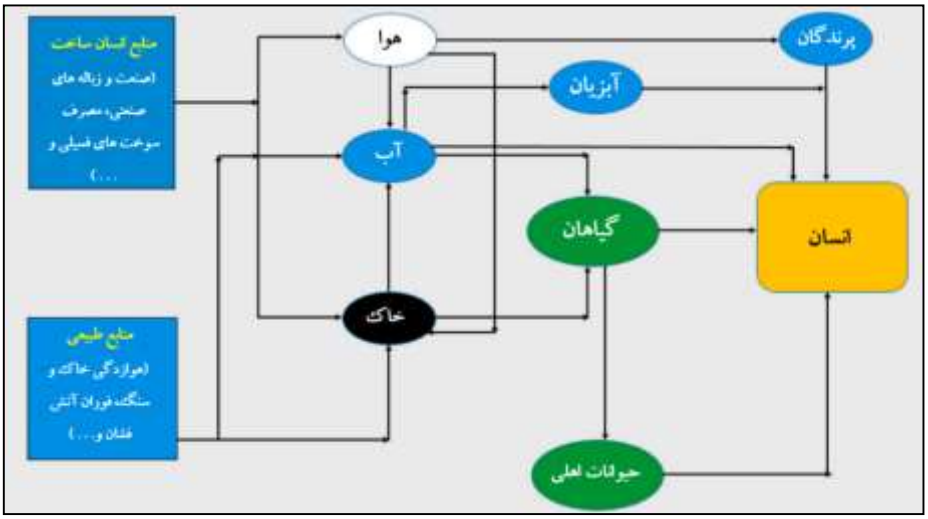
امروزه جامعه علمی‌علاقه بیشتری به حل این مشکل از طریق پژوهش‌های که منجر به توسعه فناوری‌های ارزان و مناسب برای احیای خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌شود، نشان می‌دهد. پالایش گیاه، تثبیت آلاینده‌ها و آبشویی خاک برخی از رویکردهای معمول پیشنهادی هستند. نشان داده شده است که این رویکردها، بهترین فناوری‌هایی هستند که برای بازسازی مکان هایی که با فلزات آلوده شده‌اند، می‌توانند کاربرد داشته باشند. در جلد دوم کتاب در باره پاکسازی و بازسازی مکان های آلوده به فلزات سنگین بحث خواهد شد.

هر چند این فناوری‌ها در کشورهای توسعه‌یافته رایج است، ولی با وجود ارزانی و سازگاری با محیط‌زیست، هنوز به طور گسترده در کشورهای در حال توسعه به کار گرفته نشده‌اند. شاید دلیل آن نداشتن دانش یا آگاهی کافی از این فناوری‌ها و کم توجهی به خطرات باشد.

موضوع‌های مهم، توجه به منابع پیدایش فلزات سنگین، حدهای مسموم کنندگی، چه در خاک‌های کشاورزی و چه در خاک‌های شهری، و نیز تاثیر فلزات سنگین بر امنیت غذایی، توان انباشت در بدن موجودات زنده و راه‌های ممکن برای دفع و/یا استفاده از محصولات جانبی عملیات پالایش گیاه است.

۱۲- ۱۳- منابع فلزات سنگین در خاک‌های آلوده

دو منبع عمده فلزات سنگین عبارتند از منابع طبیعی و انسان ساخت. شکل ۱۲- ۱ منابع فلزات سنگین و چرخش آن در زیست‌بوم را نشان می‌دهد. این منابع آلودگی، ابتدا هوا، آب و خاک را آلوده می‌کنند و سپس گیاهان، حیوانات اهلی، آبزیان و پرندگان را آلوده می‌سازند و از این طریق به بدن انسان‌ها می‌رسند.



شکل ۱۲ - ۱- منابع فلزات سنگین و چرخش آن در زیست‌بوم

۱۲- ۱۳- ۱- منابع طبیعی

فلزات (گاهی نافلز ها) سنگین در مکان‌های آلوده را می‌توان به طور طبیعی از مواد مادری آن استخراج کرد. بسیاری از فلزات سنگین به تنهایی وجود ندارند، بلکه به شکل کمپلکس‌های شیمیایی هستند که می‌توانند توسط سلول‌ها/بافت‌های زنده به طور مستقیم و آسان جذب شوند(درخشان نژاد و همکاران، ۲۰۱۸). فلزات سنگین در خاک می‌توانند اشکال شیمیایی گوناگونی داشته باشند: سیلیکات‌ها، هیدروکسیدها، سولفیدها، اکسیدها، مواد آلی، فسفات‌ها و ترکیبات هیدروکسیدی؛ در حالی که فلزات سنگین رایجی که به صورت ترکیب در نیامده‌اند، عبارتند از: روی (Zn)، سرب (Pb)، جیوه (Hg)، نیکل(Ni)، مس (Cu)، آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd) و کروم (Cr) که آن‌ها را به صورت ترکیب نشده تنها می‌توان در مقادیر کمی‌یافت. با این حال، و با وجود مقدار ناچیز، به عنوان عامل جدی تهدید کننده سلامت انسان و مشکلات زیست‌بوم در نظر گرفته می‌شوند. هوازدگی مواد اولیه خاک از طریق فرایند خاکزایی نیز به مقدار ناچیزی (کمتر از یک گرم بر کیلوگرم) فلزات سنگین را در محیط خاک آزاد می‌کند. جدای از این، برخی شرایط محیطی خاص

مانند فوران‌های آتشفشانی، جابجایی ذرات خاک در اثر باد، باد آورد نمک دریا، آتش‌سوزی جنگل‌ها، منابع حاصل از فعالیت‌های زیستی(بیوژنیک) و هوازدگی سنگ‌ها نیز می‌توانند غلظت فلزات سنگین را افزایش دهند (ووآنا و اوکیمن، ۲۰۱۱).

۱۲- ۱۳- ۲- منابع انسان ساخت

برای پاسخگویی به نیازهای کلان جمعیت انسانی، تولید روزانه کالا و عملیات ساخت و ساز افزایش یافته است. همزمان، با رهاسازی پساب‌ها و پسماندها، آلودگی محیط‌زیست نیز بیشتر شده است. فعالیت‌های انسانی مانند پسماندهای شیمیایی، فاضلاب، زباله‌های صنعتی و مواد مصرفی کشاورزی، و همچنین فرآیندهای متالورژی و معدنی، به منابع مهم فلزات سنگین تبدیل شده‌اند. به طور کلی، خاک‌های پیرامون مناطق شهری صنعتی، در بسیاری موارد با سطوح بالای فلزات سنگین مانند سرب، مس، کادمیوم و روی به دلیل ضایعات شیمیایی پساب، آلوده می‌شوند. برخی از مشکلات فلزات سنگین با فعالیت‌های صنعتی خاص مرتبط است. به عنوان نمونه، می‌توان از مصرف سوخت دارای سرب (Pb) در خودروها ، استفاده از حشره کش‌های دارای آرسنیک (As) در کشاورزی، فرآیندهای ذوب با روی و مس و آرسنیک (As) و احتراق سوخت‌های فسیلی با وانادیوم (V)، نیکل (Ni)، جیوه (Hg)، قلع (Sn) و سلنیوم (Se) نام برد.

۱۲-۱٤- سمیت بالقوه فلزات سنگین

فلزاتی مانند کبالت (Co)، کروم (Cr)، نیکل (Ni)، مس (Cu)، سلنیوم (Se)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، منیزیم (Mg)، روی (Zn) و مولیبدن (Mo) همه موادی هستند که برای چندین عملکرد فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در حیوانات و گیاهان ضروری هستند (سازمان بهداشت جهانی، ۱۹۹۶). این در حالی است که برخی مانند سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، آرسنیک (As) و جیوه (Hg) فلزات سنگین غیر ضروری هستند. همچنین، مشخص شده است که این فلزات سنگین، اجزای اصلی

آنزیم‌های اصلی هستند و نقش مهمی‌در واکنش‌های کاهش اکسایش در سیستم‌های زیستی دارند. فلزات سنگین براندامک‌ها و/یا اجزای گوناگون سلول‌ها مانند هسته تأثیر می‌گذارند. این فلزات، غشاء سلولی، شبکه اندوپلاسمی، میتوکندری، هسته و برخی آنزیم‌های مرتبط با فرآیندهای متابولیک را سم زدایی و ترمیم می‌کنند (وانگ و شی، ۲۰۰۱). لیکن وجوداین ریز مغذی‌ها در سطح بالاتر ازاندازه مجاز می‌تواند به مسمومیت شدید انسان بینجامد(اسمولویه و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول ۱۲- ۲ بیشینه مجاز برخی از فلزات سنگین را در محیط‌های گوناگون نشان می‌دهد. همان گونه که گفته شد، فلزات سنگین غیر ضروری حتی در مقادیر بسیار کم برای انسان، حیوان و گیاه سمی‌هستند. به عنوان نمونه می‌توان به اورانیوم (U)، وانادیم (V)، قلع (Sn)، تیتانیوم (Ti)، نیکل (Ni)، جیوه (Hg)، لیتیوم (Li)، سرب (Pb)، ایندیم (In)، طلا (Au)، ژرمانیوم (Ge)، گالیم (Ga)، کادمیوم (Cd)، بیسموت (Bi)، بریلیوم (Be)، باریم (Ba)، آرسنیک (As)، آنتیموان (Sb)، آلومینیوم (Al) و تلوریم (Te) اشاره کرد(علی و همکاران، ۲۰۱۹). در این میان، سمی‌ترین و از نظر زیست‌محیطی مهم ترین آن‌ها، آرسنیک (As)، جیوه (Hg)، سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، روی (Zn)، مس (Cu)، نیکل (Ni) و کروم (Cr) هستند (برکات و همکاران، ۲۰۱۱).

مقدار بالای فلزات سنگین در خاک تأثیر منفی بر ساختمان، عملکرد، مواد مغذی و فعالیت زیستی خاک، سلامت انسان و کیفیت غذا دارد (پان و همکاران، ۲۰۱۶). انسان از طریق تنفس، خوردن و تماس با پوست رویاروی فلزات سنگین در خاک قرار می‌گیرد (علی و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۱۲- ۲- بیشینه‌اندازه مجاز برخی از فلزات سنگین در فاضلاب، خاک، گیاهان و آب آشامیدنی در چند سازمان معتبر

کشور/سازمان	محیط	بیشینه غلظت مجاز چند فلز سنگین(ppm)				
		Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
بانک جهانی	خروجی فاضلاب	۰/۵	۰/۵ (کل)	۰/۱	۰/۱	۰/۰۱
	خاک (برای باغ)	۷۲	۱۱	۲۰۰	۰/۴۸	۱/۰
	خروجی فاضلاب	۰/۲	۰/۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰۰۳
سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا	زهاب	۰/۲	۰/۱	۵/۰	۰/۰۱	؟
	آب آشامیدنی	۰/۰۲	۰/۱ (کل)	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
	گیاه (سبزیجات)	؟	۲/۳	۰/۳۰	۰/۲۰	۰/۰۱۵
چین	گیاه (سبزیجات)	۱/۰	۰/۵ تا ۱/۰	۰/۱ تا ۰/۳	۰/۰۵ تا ۰/۲	۰/۰۱
	خاک کشاورزی	۴۰ تا ۶۰	۱۵۰ تا ۳۰۰	۸۰	۰/۳ تا ۰/۶	۰/۳ تا ۱/۰
	خروجی فاضلاب	۱/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۰۳	۰/۰۰۵
	آب آشامیدنی	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۱
سازمان بهداشت جهانی	گیاه (سبزیجات)	۱/۰	۱/۳	۰/۱ تا ۰/۳	۰/۰۲	۰/۱
	خاک کشاورزی	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱	۰/۰۰۳	؟
ایران	تخلیه به آب سطحی	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۱	۲/۵
	مصرف کشاورزی	۲/۰	۱/۰	۱/۰	۰/۰۵	۲/۵
	شرب (تصفیه اولیه)	؟	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
	سطحی و زیرزمینی (مصرف کشاورزی)	۰/۲	۰/۱	؟	۰/۰۱	؟

۱۲-۱۵- آلودگی خاک‌های کشاورزی به فلزات سنگین و اثرات آن‌ها بر امنیت غذایی

۱۲-۱۵-۱- خاک‌های کشاورزی و فلزات سنگین

آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی در دهه گذشته افزایش یافته است. این افزایش، به پیچیدگی و زیادتر شدن فعالیت انسانی نسبت داده شده است. صنعتی شدن بیش ازاندازه، کاربرد بیشتر مواد شیمیایی و مکانیزاسیون را می‌توان به این افزایش نسبت داد (اشرف و همکاران، ۲۰۱۹؛ سومان و همکاران، ۲۰۱۸). به دلیل نیمه عمر زیستی، ماهیت غیرقابل تجزیه زیستی، سمیت،

ماندگاری و تجمع زیستی در زنجیره غذایی، آلودگی خاک‌های کشاورزی با فلزات سنگین یک مشکل زیست‌محیطی جدی و تهدیدی برای تولیدات کشاورزی است. عوامل طبیعی اصلی که مشکوک به پراکندگی فلزات سنگین در محیط هستند را می‌توان به ویژگی‌های جغرافیایی، آب و هوای محلی و زمین شناسی نسبت داد. فلزات سنگین به دلیل برهمکنش با اجزایی از خاک، ماندگاری طولانی دارند.

وجود و جابجایی فلزات سنگین در خاک که تحت تأثیر شکل شیمیایی و گونه فلز است، می‌تواند کیفیت آبخوان را تغییر دهد. شناخته شده ترین منابع انسان ساخت آلودگی به فلزات سنگین، احتراق سوخت، انتشار آلاینده‌های صنعتی و حمل و نقل و مدیریت پسماند است.

کودهای معدنی، آبیاری با استفاده از فاضلاب و لجن و نیز گاه کاربرد آهک، منبع اصلی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی هستند. منابع دیگر مانند قارچ‌کش‌ها می‌توانند غلظت‌های متفاوتی از کروم، کادمیوم، روی، سرب و نیکل را در خاک باقی بگذارند. استفاده زیاد از کود فسفات، باعث انباشت مقادیر قابل توجهی فلزات سنگین اصلی در خاک کشاورزی می‌شود. کروم، مس، روی، سرب، نیکل و کادمیوم توسط لجن فاضلاب به خاک اضافه می‌شوند، در حالی که کود حیوانی کبالت، مس، منگنز و روی را اضافه می‌کند. در مزارع کشاورزی، استفاده از آفت‌کش‌ها نیز آلودگی فلزات سنگین را به همراه دارند. آبیاری با فاضلاب به میزان قابل توجهی به آلودگی ناشی از فلزات سنگین کمک می‌کند. در نتیجه، غلظت و مقادیر فلزات سنگین در خاک کشاورزی تحت تأثیر ویژگی‌های خاک و همچنین ترکیب و میزان کاربرد آفت‌کش‌ها، کودهای معدنی، فاضلاب و/یا لجن فاضلاب است.

تصمیم گیرندگان از ارزیابی ریسک برای برخورد عملی با خطرات فلزات سنگین برای محیط‌زیست و تندرستی انسان‌ها استفاده می‌کنند. تغییرات در سنگ مادر، ویژگی‌های محیط و فرآیندهای خاکزایی، همگی تأثیر زیادی بر روی توزیع ژئوشیمیایی فلزات سنگین در خاک دارند (رضاپور و همکاران، ۱۳۹۳). قرار گرفتن انسان در معرض سطوح سمی‌فلزات سنگین، به ویژه کروم (Cr)، مس

(Cu)، آرسنیک (As)، روی (Zn) و سرب (Pb) باعث اختلال قابل توجهی در سلامتی و انواع شرایط نامطلوب دیگر می‌شود. معرفی کودها و سموم، کمپوست و کودهای بی کیفیت، ضایعات صنعتی و برخی دیگر از محصولات جانبی فعالیت‌های انسانی، همگی از منابع اصلی آلودگی به فلزات سنگین در مناطق کشاورزی هستند (کشاورزی و کومار، ۲۰۱۹).

پژوهشگران از روش‌های گوناگونی برای‌اندازه‌گیری آلودگی به فلزات سنگین استفاده می‌کنند. در میان آن‌ها، شاخص خطرات اکولوژیکی[1] (RI)، شاخص انباشتگی در زمین[2]، فاکتور آلودگی[3] (CF) و فاکتور غنی‌سازی[4] (EF) (البهیری و همکاران، ۲۰۱۹) را می‌توان برشمرد.

۱۲-۱۵-۲- تاثیر فلزات سنگین بر امنیت غذایی

ضرورت کاهش ناامنی غذایی در دومین و سومین هدف توسعه پایدار (SDGs) مصوب مجمع عمومی‌سازمان ملل متحد برای سال ۲۰۳۰ بیان شده است (سازمان ملل متحد، ۲۰۱۵). بر پایه گزارش‌های اخیر، فلزات سنگین موجود در مواد غذایی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه و جهان سومی‌افزایش یافته است (عنانی و همکاران، ۲۰۲۰). نشان داده شده است که فلزات موجود در مواد غذایی که از خاک‌های آلوده برداشت می‌شوند، ازاندازه مجاز قانونی فراتر رفته و خطرات احتمالی تندرستی و بویژه سرطان زایی را به همراه دارند. این وضعیت می‌تواند شکستگی‌ها و ناهنجاری‌های استخوانی، مشکلات قلبی عروقی، اختلال عملکرد کلیه، فشار خون بالا و سایر بیماری‌های مهم کبد، ریه، سیستم عصبی و سیستم ایمنی را افزایش دهد. افزون بر این، برخی از ترکیبات پیچیده دارای فلزات سنگین، در آب‌های آلوده و غذاهای دریایی نیزشناسایی شده‌اند. اثرات فلزات سنگین بر امنیت غذایی به روش‌های گوناگونی مورد مطالعه قرار گرفته است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر انباشت فلزات سنگین بر ایمنی غذا در چین را بررسی کرده و دریافتند که کادمیوم با ۷/۷۵ درصد بالاترین میزان آلودگی را داشت و پس از آن جیوه، مس، نیکل و روی

1 Ecological Risk Index (ERI)
2 Geo-accumulation index
3 Contamination factor
4 Enrichment factor

قرار داشتند. سرب و کروم با کمتر از یک درصد، کمترین میزان آلودگی را در چین داشتند. به گفته نویسندگان، کل آلودگی در خاک کشاورزی چین ۱۰/۱۸ درصد از مساحت اراضی را شامل می‌شود. بیشتر مشکلات، به دلیل وجودکادمیوم، جیوه، مس و نیکل است. همچنین مقادیر کمی‌از فلزات سنگین در اثر فعالیت‌های انسانی مانند معدن کاوی، ذوب فلزات، صنعت، آبیاری با فاضلاب، گسترش شهری و مصرف کود در خاک کشاورزی دیده می شود.

۱۲-۱۶- فلزات سنگین در آبزیان

پاندیان و همکاران (۲۰۲۱) از طیف‌سنج جذب اتمی‌دو پرتو[1] برای‌اندازه‌گیری فلزات سنگین در منابع آبی استفاده کردند. غلظت Hg، Co و Cr در رسوبات بیشتر بود، در حالی که غلظت Cd و Ni در برخی از کرم‌های دریازی و نرم تنان بیشتر بود. خرچنگ‌ها مس و سرب بیشتری را جذب کرده بودند، در حالی که جذب روی در ماهی‌ها بیشتر بود.

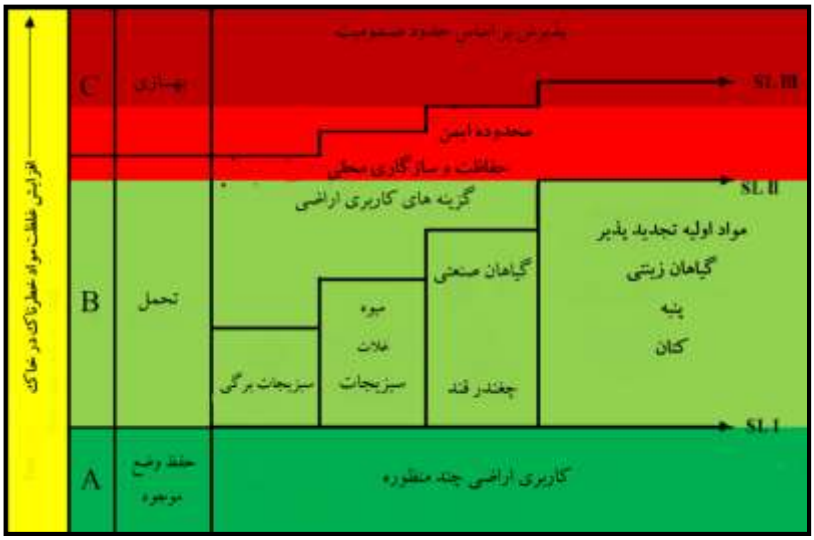
۱۲-۱۷- چارچوبی برای بهره برداری کشاورزی از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین

۱۲-۱۷-۱- شناخت محل مشکل زایی، تجربه‌ای از لبنان

درویش (۲۰۱۸) در سمپوزیوم جهانی آلودگی خاک که توسط فائو برگزار شد، به بررسی آلودگی خاک توسط فلزات سنگین در لبنان پرداخت. وی در این مطالعه، مدلی مفهومی مطابق شکل ۱۲-۲ ارائه داد. لازم به یادآوری است که این مدل تنها جنبه مفهومی‌دارد و به نظر می‌رسد تنها می‌تواند برای بیان موضوع کشت ایمن محصولات مورد استفاده قرار گیرد. گیاهان مورد نظر ارائه شده در این مدل در همه شرایط قابل کشت نیستند.

1 Double-beam Atomic Absorption Spectrophotometer

این مدل که آلودگی خاک را ارزیابی می‌کند، از سه ۳ بخش A ، B و C و یا سه طبقه یا کلاس گوناگون مطابق جدول ۱۲- ۳ تشکیل شده است. این مدل مفهومی‌می‌تواند با نظر بررسی کنندگان برای شرایط مورد نظر بازنگری و اصلاح شود.



شکل ۱۲- ۲- مدل مفهومی‌رابطه خطر مسمومیت فلزات سنگین در خاک و گروه محصولات قابل کشت

غلظت نیکل، مس، روی ، آرسنیک و سرب برای طبقه بندی خطر در خاک در جدول ۱۲- ۴ ارائه شده است.

جدول ۱۲-۳ – طبقه بندی خطرات فلزات سنگین و طرز رفتار با زمین

کلاس		رفتار با زمین و گیاه
A	SL I	غلظت عنصر خطرناک پایین است و خاک برای کاربری چند منظوره مناسب است.
B	SL II	غلظت پایین عناصر خطرناک را می‌توان تحمل کرد، لیکن کشت باید با شرایط گوناگون سازگار شود
B+	SL III	این یک فاصله زمانی ایمن است که سطح بالاتری از عناصر خطرناک را تحمل می‌کند، لیکن محصول باید با محل سازگار شود
C-	>SL III	در این غلظت، به علت بالا بودن مقادیر بالای عناصر سمی، نیازمند بهسازی خاک و زمین است

درویش، ۲۰۱۸

جدول ۱۲- ٤- طبقه بندی خطر چند فلز سنگین در خاک

فلزات سنگین		SL III	SL II	SL I
نیکل	Ni	۱۰۰ تا ۲۰۰	۴۰ تا ۱۰۰	کمتر از ۴۰
مس	Cu	۱۰۰ تا ۲۰۰	۵۰ تا ۱۰۰	کمتر از ۵۰
روی	Zn	۳۰۰ تا ۶۰۰	۱۵۰ تا ۳۰۰	کمتر از ۱۵۰
آرسنیک	As	۴۰ تا ۵۰	۲۰ تا ۴۰	کمتر از ۲۰
سرب	Pb	۵۰۰ تا ۱۰۰۰	۱۰۰ تا ۵۰۰	کمتر از ۱۰۰

درویش، ۲۰۱۸

فصل سیزدهم
استفاده از فاضلاب و پساب در کشاورزی

۱۳-۱- پیش‌گفتار

کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین است. بنابراین، استفاده از منابع جایگزین برای آبیاری، مانند فاضلاب تصفیه شده، می‌تواند فشار فزاینده به منابع آب شیرین را کاهش دهد (دهیمان و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده از فاضلاب در آبیاری از گذشته‌های دور در دنیا وجود داشته است. در گذشته، پراکندگی نقاط دفع فاضلاب به‌اندازه‌ای بود که محیط توان پالایش آن را داشت. افزایش جمعیت، مهاجرت به شهرها و گسترش شهرنشینی، بهبود سطح زندگی، رشد و گسترش صنایع و... سبب شد که امروزه حجم زیادی از فاضلاب تولید شود. این حجم بالای فاضلاب می‌تواند به عنوان منبعی برای تأمین آب و انرژی مورد توجه قرار گیرد.

امروزه با توجه به پیشرفت فناوری، امکان تصفیه فاضلاب با طیفی گسترده از کیفیت پساب فراهم است؛ تا جایی که می‌توان از آن آب شرب نیز تهیه کرد. اگر پذیرفته شود که چنین است، بی توجه به قیمت تمام شده آب، بی‌تردید استفاده از آن در کشاورزی نیز امکان پذیر خواهد بود. با توجه به بحران آب، گمان می‌رود که استفاده از پساب، با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی باید به عنوان منبع آب پایدار در آبیاری شناخته شود. هر چند که پساب را در بیلان آب حوضه آبریز و یا کشور، نمی‌توان بار دیگر به عنوان آب ورودی به بیلان در نظر گرفت، لیکن کیفیت فاضلاب به‌اندازه‌ای می‌تواند بهبود یابد که آن را به آب تجدیدپذیر نزدیک کند. امروزه در کشورهای خشک و کم آب، فاضلاب باید نه به‌عنوان کالایی دورریختنی، بلکه به‌عنوان یک منبع آب مفید به حساب آید. نزدیک ۹۰ درصد فاضلاب تولید شده در جهان، تصفیه نشده باقی می‌ماند و باعث آلودگی گسترده آب، بویژه در کشورهای کم درآمد می‌شود. استفاده از فاضلاب تصفیه نشده برای آبیاری

زمین‌های کشاورزی رو به افزایش است. کشاورزان، محصولات تازه پرسود خود را که با فاضلاب پرورش می‌یابند، به بازار عرضه می‌کنند. بخش کشاورزی برای افزایش منابع آبی خود با آب مورد نیاز صنعت و آب شهری در رقابت است. از این رو، در بسیاری موارد، جایگزینی برای کشاورزان وجود ندارد جز این که از آب آلوده شده با فاضلاب شهری، برای آبیاری محصولات خود استفاده کنند.

چنانچه جمعیت کشور ۸۵ میلیون نفر، درصد شهرنشینی ۷۰ درصد، آب مصرفی هر نفر ۲۰۰ لیتر در روز، و نسبت فاضلاب به آب مصرفی ۸۵ درصد فرض شود، فاضلاب تولیدی جمعیت شهر نشین ایران ۱۰/۱ میلیون متر مکعب در روز یا ۳/۷ میلیارد متر مکعب در سال خواهد بود. این مقدار قابل توجه است، به ویژه آن که در کنار شهرها وجود دارد. بر پایه اطلاعات مرکز آمار ایران در نیمه نخست سال ۱۴۰۰، ۲۵۶ تصفیه‌خانه فاضلاب در کشور در حال کار بوده است که ظرفیت اسمی آنها ۵/۷ میلیون متر مکعب در شبانه روز یا ۲/۱ میلیارد متر مکعب در سال است.

در گذشته، بیشتر فاضلاب منازل از طریق چاه‌های جذبی یا رها کردن در آبهای سطحی و جاری دفع می‌شد. این در شرایطی بود که خاک و رودخانه‌ها، توان پالایش طبیعی و خودپالایی را داشتند؛ لیکن افزایش جمعیت و تراکم در مناطق شهری باعث شد تا منابع خاک و آب دیگر پاسخ گوی پالایش فاضلاب نباشند و بشر به فکر جمع آوری، دفع، تصفیه و یا استفاده مجدد از آنها بیفتد. به موازات آن، خدمات شهری برای جمع آوری فاضلاب نیز به مقدار قابل توجهی گسترش یافت. پرسش مهم این بود که چگونه می‌توان فاضلاب را مدیریت کرد؟ از سوی دیگر، استفاده و بازچرخانی فاضلاب فرصت‌های بسیاری را فراهم آورد. ازجمله آنها می‌توان به تأمین بهداشت عمومی‌جامعه، استفاده از عناصر غذایی موجود در فاضلاب، کاستن از نیاز به کود شیمیایی، تولید غذای بیشتر و حرکت به سوی امنیت بیشتر غذایی، درآمد بالاتر، حفظ محیط‌زیست، ایجاد اشتغال و... اشاره کرد. بدیهی است که انسان نیز با خطرات مستقیم و غیرمستقیمی‌در استفاده از فاضلاب روبرو بود. همه‌گیری بیماری‌ها، ورود ترکیبات شیمیایی غیردلخواه به بدن، ورود آلاینده‌ها به منابع

خاک وآب، خطر آلودگی گیاهان و . . . از جمله خطراتی بودند که انسان را تهدید می‌کردند. این خطر همچنان وجود دارد.

در هر صورت، در مورد استفاده از فاضلاب، فرصت‌ها و تهدیدهایی وجود دارد که باعث اختلاف نظرهایی در استفاده از آن در بخش کشاورزی گردیده است. اکنون وقت آن است تا به بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب فاضلاب در بخش کشاورزی نگاهی جامع تراندا‌خته شود.

۱۳-۲- استفاده از پساب در کشاورزی، چشم‌انداز کشاورزی شهری

تأثیر پساب بر ویژگی‌های خاک، گیاه و آب زیرزمینی و در پایان بر سلامت جانوران و انسان اهمیت دارد. بازیافت آب برای آبیاری، جایگزینی است که ممکن است فشار بر منابع آب شیرین، به ویژه در شهرها ومناطق نزدیک آن را کاهش دهد و همزمان از تلف شدن آن جلوگیری کند. افزون بر این، پساب بازیافتی فرصتی برای کاهش استفاده از کودهای مصنوعی است. چیزی که نه تنها به سلامت محیط‌زیست کمک می‌کند، بلکه می‌تواند هزینه کشاورزان را کاهش دهد و به آنها کمک کند تا زندگی خود را بهبود بخشند.

امروزه فاضلاب تصفیه نشده، نیمه تصفیه شده، پساب و/یا مخلوط شده به طور گسترده برای اهداف کشاورزی استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد که در آینده‌ای نه چندان دور، کشاورزی شهری نیز رونق خواهد گرفت. جمعیت جهان در حال افزایش است و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۵۰ به نزدیک ۹ میلیارد نفر خواهد رسید. در سال ۱۹۵۰ تنها ۲۰ درصد از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کردند. این نسبت، در سال ۲۰۱۶، به ۵۰ درصد رسیده است (بانک جهانی، ۲۰۱۶). پیش‌بینی می‌شود که این نسبت در سال ۲۰۵۰ به نزدیک ۷۰ درصد شهری و ۳۰ درصد روستایی برسد (مویر و همکاران، ۲۰۱۴؛ اورسینی و همکاران، ۲۰۱۳؛ وایراوامورثی و همکاران، ۲۰۰۸). به این ترتیب، گمان می‌رود که جمعیت شهری نیاز به تولید غذای بیشتر در مناطق شهری دارد. اعتقاد بر این است که کشاورزی شهری نقش‌های مهم زیر را باید بازی کند:

- تامین غذای جمعیت افزوده شده شهری؛
- تامین غذای جمعیت روستایی مهاجرت کرده به شهرها؛ و
- تامین درآمد قابل اعتماد برای کشاورزان فقیری که به شهرها مهاجرت می‌کنند.

در بسیاری از جاها، آب عامل اصلی محدودکننده کشاورزی است. بی‌تردید، این نیاز برای کشاورزی شهری بیشتر از کشاورزی متداول خواهد بود(اورسینی و همکاران، ۲۰۱۳). به طور معمول، مناطق شهری تراکم جمعیت بالایی دارند. قیمت زمین در آنها بالاست زیرا باید با زمین مورد نیاز بخش‌های دیگری مانند مسکن، صنعت و فعالیت‌های تفریحی رقابت کند. در شهر، آب نیز کمیاب تر و گران بهاتر است. بیشتر کشاورزان شهری باید برای به دست آوردن آب آبیاری با کیفیت بالا، با مصرف کنندگان آب آشامیدنی رقابت کنند. لیکن در مناطق شهری، برخی منابع آب جایگزین نیز در دسترس هستند، مانند فاضلاب شهری، پساب صنایع و آب بارندگی که به صورت رواناب در می‌آید. این منابعِ جایگزین می‌توانند برای استفاده در آبیاری کشاورزی مورد مطالعه قرار گیرند.

اگر اقدامات ایمنی مناسب رعایت شود، از پساب تصفیه شده یا نیمه تصفیه شده می‌توان در کشاورزی شهری استفاده کرد. بنابراین، فاضلاب را می‌توان به عنوان یک منبع آب جایگزین و قابل اعتماد برای افزایش دسترسی به آب شهری، به ویژه در دوره‌های خشک نگریست. مقدار فاضلاب به جمعیت مناطق شهری و درصد جمعیتی که دارای تسهیلات آب و فاضلاب هستند، بستگی دارد. مهمتر این که آبیاری با پساب، تااندازه‌ای از منابع آب شیرین و محیط‌زیست نیز محافظت می‌کند (قدیر و همکاران، ۲۰۱۰). آب بازیافتی منبعی از مواد مغذی ریز و درشت است که برای رشد گیاه، بهبود pH خاک، ظرفیت بافری[۱] خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) مهم هستند(چن و همکاران، ۲۰۱۳). استفاده از آب بازیافتی می‌تواند تولید درآمد کند. فاضلاب تصفیه نشده و نیمه

۱ ظرفیت بافری خاک به توانایی خاک در برابر تغییرات pHگفته می شود.

تصفیه شده برای کشاورزان، مصرف کنندگان تولیدات کشاورزی و محیط‌زیست ناایمن است. در سال ۲۰۱۲ بیش از ۸۰۰ میلیون شهرنشین در کشورهای در حال توسعه در مناطق فقیر نشین زندگی می‌کردند؛ مناطقی که دست‌اندرکاران، در بیشتر موارد، در ارائه خدمات بهداشتی فراگیر، مقرون به صرفه و مناسب به ساکنان آنها ناتوان هستند. بنابراین می‌توان گفت که بازیافت آب می‌تواند به تامین آب سالم یاری برساند، کشاورزی شهری را رونق بخشد و در عین حال به بهبود خدمات بهداشتی کمک کند.

۱۳-۳- روندهای جهانی برای بازیافت آب در کشاورزی

فاضلاب تولید شده در جهان می‌تواند نشانه‌ای از توان بازیابی آب شهری باشد. در سطح جهانی، حجم روزانه تولید فاضلاب بین ۶۸۰ تا ۹۶۰ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. توان تصفیه کنونی فاضلاب بیش از ۳۲ میلیون متر مکعب در روز نیست. این مقدار کمتر از ۵ درصد از فاضلاب تولیدی است (لاوتز و همکاران، ۲۰۱۴). این بدان معناست که نیاز زیادی به افزایش ظرفیت جمع آوری و تصفیه و در نتیجه افزایش دسترسی به آب برای بازیابی وجود دارد. دلایل اصلی این شکاف عبارتند از:

- زیرساخت‌های بهداشتی یا توالت‌های منسوخ و با مدیریت نادرست؛
- عدم گنجاندن موضوع در برنامه‌ریزی شهری؛
- منابع مالی محدود؛ و
- نبود ظرفیت برای اجرای مقررات (قدیر و همکاران، ۲۰۱۰).

همان طور که گفته شد، بازیابی آب، می‌تواند جایگزینی مقرون به صرفه برای بسیاری از مناطق کم‌آب در نظر گرفته شود. آب بازیابی شده می‌تواند منبع قابل اعتمادی برای تولید مواد غذایی پایدار باشد. با توجه به دسترسی به جریان‌های فاضلاب، آبیاری می‌تواند مصرف کننده مهمی‌برای فاضلاب تصفیه نشده یا نیمه تصفیه شده در بسیاری از کشورهای در حال توسعه باشد. در آستانه

قرن بیست و یکم، تخمین زده شد که نزدیک ۱۰ درصد از جمعیت جهان از محصولات آبیاری شده با فاضلاب خام، نیمه تصفیه شده یا مخلوط استفاده می‌کنند. این مقدار آبیاری بیش از ۲۰ میلیون هکتار از زمین‌های قابل کشت در نزدیک ۵۰ کشور را در بر می‌گیرد. برآوردهای دیگر نشان می‌دهد که در سرتاسر جهان، کل سطح آبیاری شده با فاضلاب خام، نیمه تصفیه شده یا مخلوط آنها نزدیک ۱/۵ تا ۶/۶ درصد از کل مساحت زمین‌های فاریاب ۳۰۱ میلیون هکتاری است. پیش‌بینی می‌شود که بازیافت آب برای آبیاری، در مقایسه با سایر مصارف صنعتی و خانگی، بیشترین افزایش را داشته باشد. در اروپا، بازیابی آب برای مصارف کشاورزی، به طور معمول در مناطق نیمه خشک که بیشتر مناطق ساحلی را شامل می‌شود و نیز در جزایر جنوب قاره اروپا انجام می‌شود. حجم آب بازیافتی پیش‌بینی شده برای اروپا تا سال ۲۰۲۵ از ۳ میلیارد متر مکعب در سال فراتر خواهد رفت (آنجلاکیس و گیکاس، ۲۰۱۴). بازیابی آب در اسرائیل بالاترین نسبت را دارد و کم و بیش ۹۰ درصد از فاضلاب تولیدی بازیابی می‌شود (پاولی و همکاران، ۲۰۱۶). در غرب آمریکای شمالی و استرالیا، از آب بازیافتی بیشتر برای آبیاری استفاده می‌شود (ساتو و همکاران، ۲۰۱۳). در مناطقی که تصفیه فاضلاب به ندرت انجام می‌شود، کشاورزان از فاضلاب تصفیه نشده یا رقیق شده برای آبیاری استفاده می‌کنند. چین با نزدیک ۳/۵ میلیون هکتار، هند و مکزیک با بیش از ۱ میلیون هکتار، کشورهایی هستند که بیشترین مناطق آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده یا رقیق شده را دارند (جانیرو و همکاران، ۲۰۲۰). در چین محصولات اصلی آبیاری شده با چنین آب‌هایی، سبزیجاتی مانند اسفناج، کلم، جعفری و گل کلم و غلاتی مانند ذرت، گندم و برنج هستند. در هند نیز با فاضلاب صنعتی، نیشکر و با فاضلاب شهری، سبزیجات پرورش می‌یابند. در مکزیک، فاضلاب تصفیه نشده یا نیمه تصفیه شده حتی برای آبیاری سبزیجات خام مانند تربچه، اسفناج، کاهو، جعفری و کرفس و همچنین ذرت، یونجه و سایر گیاهان علوفه‌ای استفاده می‌شود (چاوز و همکاران، ۲۰۱۱). پساب می‌تواند منبع مناسبی برای زراعت چوب، انرژی زیستی و گیاهان صنعتی باشد؛ گیاهانی که خوراکی نیستند و خطر بهداشتی ایجاد نمی‌کنند.

۱۳-٤ - استفاده از فاضلاب انسانی در کشاورزی

استفاده از فاضلاب انسانی در کشاورزی با هدف آبیاری محصولات و بارورترکردن خاک‌ها از دیرباز رواج داشته است. تا اوایل قرن بیستم، در کشورهایی مانند آلمان، انگلستان و آمریکا، مهم‌ترین روش دفع فاضلاب، تخلیه آن به زمین‌های کشاورزی بود. در کشورهای خاورمیانه، مراکش، اردن، عربستان، عمان، پاکستان و امارات متحده عربی، طرح هایی را برای کاربرد دوباره فاضلاب تصفیه شده یا پساب در کشاورزی در دست اجرا دارند. در اصفهان از فضولات انسانی به عنوان کود استفاده می‌شده است. در حال حاضر در بسیاری از شهرهای ایران، فاضلاب‌های خانگی و رواناب‌های سطحی و گاه پساب‌های صنعتی پس از خروج از شهر، در زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود. برای نمونه، سال‌های درازی است که نهر فیروزآباد تهران که بار زیادی از آلودگی رواناب‌های سطحی شهر، پساب کارخانه‌ها و فاضلاب شهری به آن تخلیه می‌شود، زمین‌های جنوب شهر تهران را آبیاری می‌کند. با توجه به کمبود منابع آب در بسیاری از مناطق کشور و افزایش حجم فاضلاب‌های شهری، استفاده دوباره از آنها اجتناب ناپذیر است. شرط استفاده موفقیت آمیز از فاضلاب و پساب در کشاورزی، در نظر گرفتن اثرات آن بر محیط‌زیست، محصولات کشاورزی و بهداشت و تندرستی انسانها است. پیش نیاز چنین استفاده ای، داشتن چارچوب‌های قانونی و اجرای دقیق آنهاست.

استفاده از پساب یا فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی مزایایی نیز دارد. در این میان، همان طور که گفته شد، می‌توان از کاهش فشار بر منابع آب، کاهش هزینه آب کشاورزی، کاهش هزینه کود، افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، کاهش بار آلودگی وارده به محیط‌زیست، تقویت منابع آب و دسترسی به منابع آب با کیفیت بالاتر برای مصارف شرب و بهداشت نام برد.

در جهان، پژوهش‌های زیادی در باره استفاده از فاضلاب و پساب انجام شده است. در کشور ما نیز پژوهش‌هایی در زمینه اثرات کاربرد فاضلاب‌ها و پساب‌ها در آبیاری زمین‌های کشاورزی انجام گرفته است. آبیاری با پساب، ابتدا بر ویژگی‌های خاک و سپس بر گیاه تاثیر می‌گذارد. پدیدار شدن

آثار تخریبی و زیانبار آن تا جایی که به چرخه غذایی وارد شود، به زمانی دراز نیازمند است. از این رو، شاید نتوان به نتایج پژوهش‌های کوتاه مدت، به‌اندازه لازم اعتماد داشت.

واژه فاضلاب در این متن به معنی آبهای دورریختنی است؛ مایعی که تصفیه نشده است. پساب یا «فاضلاب تصفیه شده»، خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است. گاهی به آن «پساب فاضلاب» نیز گفته می‌شود. بدیهی است که بین زهاب و پساب نیز باید تفاوت قایل شد. جدول ۱۳- ۱ ترکیبات اصلی فاضلاب شهری را به نقل از فائو و سازمان بهداشت جهانی ارائه می‌کند.

فاضلاب از ابتدای تولید تا هنگامی‌که به شکلی به محیطزیست وارد شود و یا به طور دلخواه و نادلخواه دفع شود و یا به شکلی در کشاورزی و یا صنعت به مصرف برسد، راه درازی را مطابق شکل ۱۳ -۱ می‌پیماید. فاضلاب شهری در منازل تولید می‌شود. سپس یا در چاه‌های جذبی انبار می‌شود و یا به شبکه فاضلاب شهری منتقل می‌شود. چنانچه به چاه‌های جذبی منتقل شود، قسمت مایع آن در آبرفت به آب زیرزمینی می‌پیوندد و بخش جامد آن در انبار برای مدتی باقی می‌ماند تا به نحوی در جایی دفع شود. سرنوشت این بخش زیاد مشخص نیست. چنانچه مدتی از زمان زنده‌مانی عوامل بیماری زای آن گذشته باشد، خطر بهداشتی فوری ندارد ولی مواد غیرزیستی موجود در آن مانند فلزات سنگین، همچنان آلایندگی خود را حفظ می‌کنند.

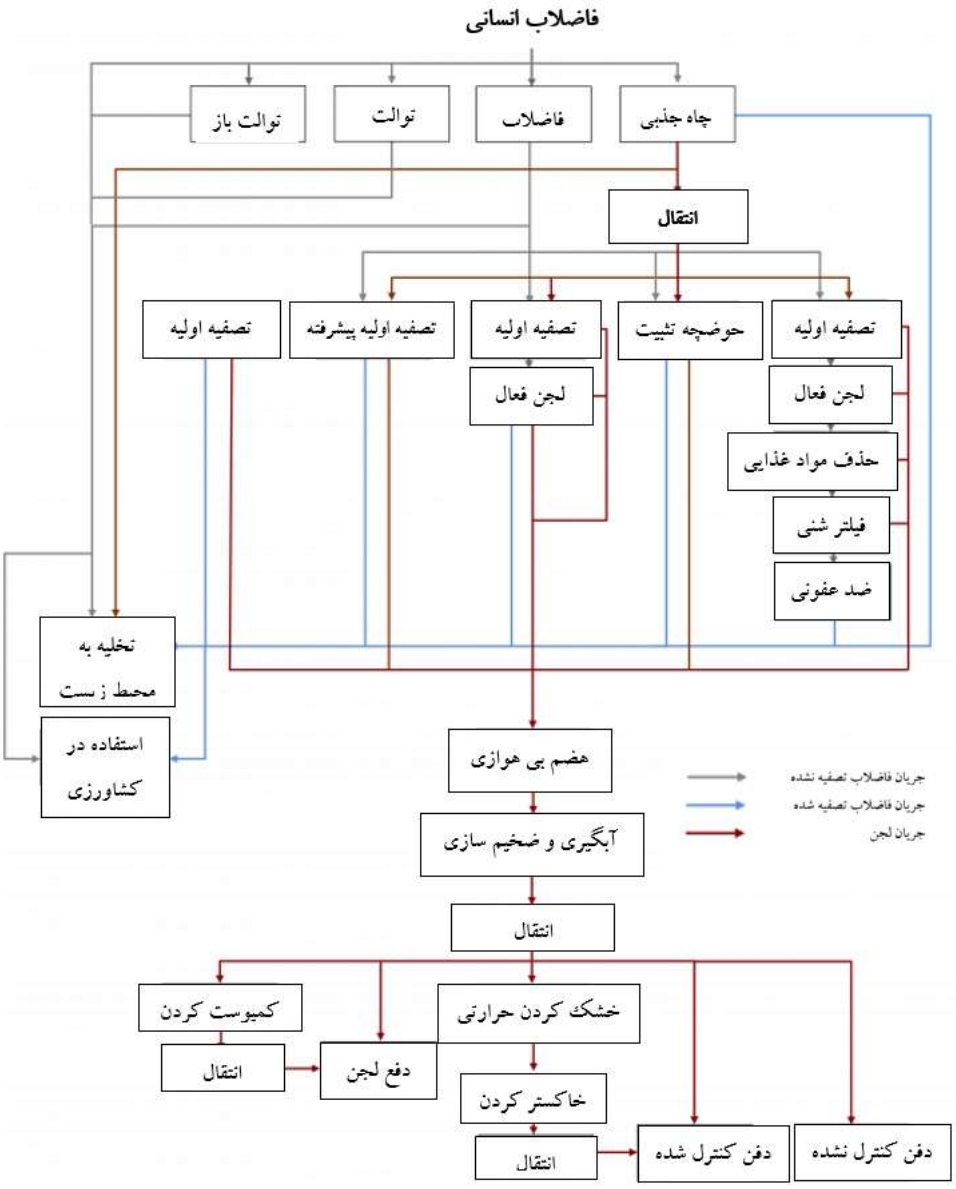
جدول ۱۳-۱ - ترکیبات اصلی فاضلاب شهری (میلی‌گرم بر لیتر)

مواد	با غلظت زیاد	متوسط	با غلظت کم
کل مواد جامد	۱۲۰۰	۷۰۰	۳۵۰
مواد جامد محلول(TDS)	۸۵۰	۵۰۰	۲۵۰
مواد جامد معلق	۳۵۰	۲۰۰	۱۰۰
نیتروژن	۸۵	۴۰	۲۰
فسفر	۲۰	۱۰	۶
کلر	۱۰۰	۵۰	۳۰
قلیاییت (به صورت $CaCO_3$)	۲۰۰	۱۰۰	۵۰
چربی	۱۵۰	۱۰۰	۵۰
BOD_5	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰

پاسکد، فائو، ۱۹۹۲، سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۶

کلر و TDS شامل مقادیر بین راهی نیست.

مقدار BOD_5 در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۵ روز است.



شکل ۱۳- ۱- فلوچارت جریان فاضلاب انسانی از تولید تا پایان

۱۳-۵- مزایای زراعی و اقتصادی استفاده از فاضلاب در آبیاری

برای روشن شدن مزایای استفاده از پساب در کشاورزی، توجه به نمونه زیر می‌تواند کمک کننده باشد:

شهری با جمعیت پانصد هزار نفر و مصرف آب ۲۰۰ لیتر در روز برای هر نفر، نزدیک ۸۵۰۰۰ متر مکعب در روز (۳۰ میلیون متر مکعب در سال) فاضلاب تولید می‌کند. فرض می‌شود که ۸۵ درصد آب به صورت فاضلاب به سیستم فاضلاب عمومی‌بر می‌گردد. اگر پساب فاضلاب تصفیه شده در آبیاری به شکل کنترل شده، با نرخ کاربرد ۱۰۰۰۰ متر مکعب در هکتار در سال استفاده شود، می‌توان با آن مساحتی نزدیک ۳۰۰۰ هکتار را آبیاری کرد. علاوه بر سود اقتصادی آب، ارزش کودی پساب نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. با غلظت‌های معمولی مواد مغذی در فاضلاب تصفیه شده، از فرآیندهای تصفیه فاضلاب معمولی به شرح زیر، می توان مقادیری کود را بازیابی کرد.

نیتروژن (N) ۴۰ میلی‌گرم در لیتر؛

فسفر (P) ۱۰ میلی‌گرم در لیتر؛ و

پتاسیم (K) ۳۰ میلی‌گرم در لیتر.

و با فرض مصرف ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار، سهم کود پساب:

نیتروژن (N) ۴۰۰ کیلو گرم بر هکتار؛

فسفر (P) ۱۰۰ کیلو گرم بر هکتار؛ و

پتاسیم (K) ۳۰۰ کیلو گرم بر هکتار.

بنابراین، تمام نیتروژن و مقدار بسیار زیادی از فسفر و پتاسیم مورد نیاز، از پساب تامین می‌شود. افزون بر این، برخی ریز مغذی‌های ارزشمند و مواد آلی موجود در پساب، نیز مزایای بیشتری را به همراه خواهند داشت.

۱۳-٦- عوامل بیماری زا

پس از مصرف پساب در کشاورزی، آنچه که زودتر و بیش از همه، مایه نگرانی عمومی‌می‌شود، وجود عوامل بیماری زا است. بدیهی است که عوامل دیگری مانند فلزات سنگین نیز اهمیت زیادی دارند، لیکن نگرانی مردم از آنها به علت آگاهی کمتر، و نیز دیرتر آشکار شدن آثار آنها کمتر است. مقادیر ممکن وجود عوامل بیماری زا در فاضلاب شهری، به نقل از سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶) در جدول ۱۳-۲ ارائه شده است.

جدول ۱۳- ۲- مقادیر ممکن وجود عوامل بیماری زا در فاضلاب شهری

عامل بیماری			غلظت ممکن در لیتر در فاضلاب شهری
	انتروویروس ها	Enteroviruses	۵۰۰۰
	اشرشیا کولی	E. coli	؟
ویروس ها	سالمونلا	Salmonella spp.	۷۰۰۰
	شیگلا	Shigella spp.	۷۰۰۰
	نوعی وبا	Vibrio cholerae	۱۰۰۰
تک یاخته‌ای‌ها		Entamoeba histolytica	۴۵۰۰
	آسکاریس	Ascaris Lumbricoides	۶۰۰
	کرم‌های قلاب دار	Hookworms	۳۲
کرم ها	شیستوزوما	Schistosoma mansoni	۱
	تانیا	Taenia saginata	۱۰
	تریشین	Trichuris trichiura	۱۲۰

سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶)

عوامل بیماری زا در محیط‌های گوناگون می‌توانند برای مدتی معین زنده یا موثر باقی بمانند. اگر از کِرم‌ها بگذریم که می‌توانند برای مدت درازی زنده بمانند و تکثیر کنند، بقیه عوامل بیماری زا در کمتر از ۳ تا ۴ ماه بی‌اثر می‌شوند. جدول ۱۳ – ۳ زمان زنده مانی عوامل بیماری زا را در فضولات

انسانی نشان می‌دهد. ارقام داخل پرانتز، زمان زنده مانی متداول که در بیشتر موارد روی می‌دهند، بر حسب روز هستند.

جدول ۱۳- ۳ - زمان زنده مانی عوامل بیماری زای فضولات انسانی (روز)

	نوع عامل بیماری		در مدفوع، کود انسانی و لجن	درآب و فاضلاب	در خاک	روی گیاه
ویروس ها	انتروویروس ها	Enteroviruses	کمتر از ۱۰۰ (کمتر از ۲۰)	کمتر از ۱۲۰ (کمتر از ۵۰)	کمتر از ۱۰۰ (کمتر از ۲۰)	کمتر از ۶۰ (کمتر از ۱۵)
باکتری‌ها	کلیفرم مدفوعی	Faecal Coliforms	کمتر از ۹۰ (کمتر از ۵۰)	کمتر از ۶۰ (کمتر از ۳۰)	کمتر از ۷۰ (کمتر از ۲۰)	کمتر از ۳۰ (کمتر از ۱۵)
	سالمونلا	Salmonella spp.	کمتر از ۶۰ (کمتر از ۳۰)	کمتر از ۶۰ (کمتر از ۳۰)	کمتر از ۷۰ (کمتر از ۲۰)	کمتر از ۳۰ (کمتر از ۱۵)
	شیگلا	Shigella spp.	کمتر از ۳۰ (کمتر از ۱۰)	کمتر از ۳۰ (کمتر از ۱۰)		کمتر از ۱۰ (کمتر از ۵)
	نوعی وبا	Vibrio cholerae	کمتر از ۳۰ (کمتر از ۵)	کمتر از ۳۰ (کمتر از ۱۰)	کمتر از ۲۰ (کمتر از ۱۰)	کمتر از ۱۰ (کمتر از ۲)
تک یاخته‌ای‌ها		Entamoeba histolytica	کمتر از ۳۰ (کمتر از ۱۵)	کمتر از ۳۰ (کمتر از ۱۵)	کمتر از ۲۰ (کمتر از ۱۰)	کمتر از ۱۰ (کمتر از ۲)
کرم ها	آسکاریس	Ascaris Lumbricoides	ماه‌ها خیلی	ماه‌ها خیلی	ماه‌ها خیلی	
	سایر کرم ها					کمتر از ۶۰ (کمتر از ۳۰)

ارقام داخل پرانتز، زمان زنده مانی متداول را بر حسب روز نشان می‌دهد

سازمان جهانی بهداشت(۲۰۰۶)

۱۳-۷- اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده، نیمه تصفیه شده و پساب

۱۳- ۷- ۱- کلیات

فاضلاب شهری از آب خانگی، آب مصرفی در صنایع و آب باران تشکیل شده است. ویژگی‌های فاضلاب از جامعه‌ای به جامعه دیگر متفاوت است. تفاوت فاضلاب‌ها، در مواد آلی، مواد مغذی، نمک ها، فلزات سنگین، مواد شیمیایی سمی‌و پاتوژن‌ها است. بیشتر کشاورزان شهری در کشورهای در حال توسعه، در سطح اجتماعی و اقتصادی پایینی زندگی می‌کنند (اورسینی و همکاران، ۲۰۱۳). بسیاری از آنها نمی‌توانند منابع آبی، به جز فاضلاب تصفیه نشده یا نیمه تصفیه شده، داشته باشند (قدیر و همکاران، ۲۰۱۰)؛ چیزی که ممکن است اثرات زیانباری بر خاک، محصولات کشاورزی، سلامت کشاورزان و مصرف کنندگان و نیز آب‌های زیرزمینی داشته باشد. خاک هایی که به طور مداوم با فاضلاب تصفیه نشده یا نیمه تصفیه شده آبیاری می‌شوند، تغییرات کیفیت خاک را در نتیجه تخریب ساختمان (مانند سدیمی‌شدن خاک رس) و آلودگی معدنی، آلی و باکتریایی نشان می‌دهند. با این حال، تخریب خاک پس از دریافت فاضلاب در درازمدت بسته به بافت و ساختمان خاک و نوع کانی رسی، ظرفیت نگهداری آب در خاک، نفوذپذیری، ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت جذب فسفر، متفاوت است (جانیرو، ۲۰۲۰ به نقل ازامونگور و رامولمانا، ۲۰۰۴). افزون بر این، آبیاری درازمدت با فاضلاب تصفیه نشده یا نیمه تصفیه شده، منجر به افزایش غلظت سدیم، کلر و نیترات در آب‌های زیرزمینی می‌شود (جانیرو، ۲۰۲۰ به نقل از چن و همکاران، ۲۰۱۳). هنگامی‌که فاضلاب با فلزات سنگین آلوده شود، غلظت فلزات در بافت گیاه در فرآیندی به نام انباشت زیستی[1] افزایش می‌یابد (لی و همکاران، ۲۰۱۶ و قدیر و همکاران، ۲۰۱۰). نشان داده شده است که این انباشتگی، با توجه به گونه گیاهی، موجب مسموم کنندگی گیاه می‌شود. جذب فلزات سنگین توسط گیاهان می‌تواند از طریق ریشه یا سطوح برگ رخ دهد. سبزیجات برگدار، به ویژه، آماده انباشت فلزات

1 Bioaccumulation

سنگین هستند. روی، کادمیوم، سرب و مس برخی از فلزات رایج موجود در سبزیجات به شمار می‌روند (جانیرو، ۲۰۲۰ به نقل از چاووا، ۲۰۱۸ و قدیر، ۲۰۱۰). جذب فلزات سنگین، بسته به غلظت آنها در خاک، ممکن است با گذشت زمان افزایش یابد. کادمیوم و سرب اثرات سرطان زایی در انسان دارند. مس و روی، اگرچه عناصر ضروری هستند، لیکن در غلظت‌های بالا می‌توانند مسموم کننده باشند و مازاد مس می‌تواند باعث دردهای حاد معده و روده شود. مصرف کنندگان، حلقه نهایی در زنجیره تامین غذا هستند و ممکن است به شدت تحت تاثیر این اقدامات ناامن قرار گیرند. فاضلاب ناقل عوامل بیماری زا است. همه‌گیری سالمونلا در ایالات متحده (۲۰۰۸)، توسط فلفل‌های آلوده و E. coli در سوئد (۲۰۱۳) توسط کاهوی آلوده، به آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده یا نیمه تصفیه شده نسبت داده شد. استفاده از این فاضلاب‌ها در آبیاری، گاهی با بیماری‌های گوارشی و پوستی نیز همراه است.

برای کاستن از اثرات منفی زیست‌محیطی و خطرهایی که سلامتی انسان را تهدید می‌کند، تجزیه و تحلیل کیفیت فاضلاب موجود، تعیین سطح تصفیه مورد نیاز و نیز طراحی چارچوب‌های نظارتی مناسب ضرورت دارد تا پساب ایمن برای آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. کنترل کیفیت آب در تصفیه‌خانه برای اطمینان از ایمنی مصرف کننده کافی نیست، زیرا ممکن است محصول، به دلیل شستشوی ناایمن در سطح بازار و محل مصرف آلوده شود. در برخی از کشورها، دستورالعمل‌هایی تدوین شده است که سطوح تصفیه فاضلاب، شیوه‌های مدیریت دقیق پساب، انتخاب محصول، و روش‌های آبیاری و برداشت ایمن را تعریف می‌کنند.

۱۳-۷-۲- مخاطرات بهداشتی استفاده از پساب

کاربرد فاضلاب در آبیاری به دلیل حضور ریزجانداران (میکروارگانیسم ها) و مواد شیمیایی، می‌تواند با مخاطرات بهداشتی همراه باشد. خطرها، به طور معمول در سه بخش بهداشت فردی کارکنان، بهداشت محصولات کشاورزی و بهداشت مصرف کنندگان مورد توجه قرار می‌گیرند.

مهم ترین عامل ایجادکننده مخاطرات بهداشت فردی، وجود ریزجانداران بیماری زا، انگل‌ها و مواد سمی‌و شیمیایی در فاضلاب است. از میان باکتری‌ها، کلیفرم‌های مدفوعی بسیار مهم هستند. کِرم‌ها و انگل‌های بیماری زا نیز از اهمیت برخوردارند. مواد شیمیایی سمی، همرا ه با فلزات سنگین (کروم، کادمیوم، مس، سرب و...) و ترکیبات آلی (آفت‌کشها و ترکیبات حلقوی و. . .) ضمن تأثیر منفی بر خاک زراعی، بهداشت فردی کارگران مزارع را نیز تهدید می‌کنند.

بیشتر مشکلات بهداشتی محصولات کشاورزی، به دلیل کاربرد پساب و فاضلاب، ناشی از انباشت فلزات سنگین در قسمت‌های گوناگون گیاهی است. در برخی موارد نیز انباشت نیتروژن مشکلاتی را ایجاد می‌کند.

در سال ۱۹۸۹ نخستین استاندارد مربوط به سلامت مصرف کنندگان توسط سازمان بهداشت جهانی تدوین شد. هدف از ارائه این ضوابط، تأمین سلامت مصرف کنندگان محصولات کشاورزی بود. این استاندارد در سال ۲۰۰۶ بازنگری شد. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) نیز در سال ۱۹۹۲ در نشریه ۴۷ آبیاری و زهکشی راهنمای استفاده از پساب را ارائه کرد(پاسکد،۱۹۹۲). دستورالعمل سازمان بهداشت جهانی، بیشتر به موضوع‌های بهداشتی توجه کرده و راهنمای فائو به موضوع استفاده از پساب در کشاورزی می‌پردازد.

خطرات ناشی از عناصر شیمیایی گوناگون موجود در پساب‌های مورد استفاده در آبیاری در جدول ۱۳-۴آورده شده است. استاندارد مورد استفاده با توجه به نوع کشت در کاربرد فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی، با در نظر گرفتن طیفی از اقدامات ضروری برای حفظ سلامت جامعه، محصولات کشاورزی به صورت زیر طبقه بندی می‌شوند (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵):

گروه الف: محصولاتی که تنها حفاظت کارگران در آنها ضروریست. مانند محصولات صنعتی پنبه و کنف، زراعت چوب و مانند آنها. حبوبات و محصولاتی که به صورت کنسرو به بازار عرضه می‌شوند، دارای خطرات مربوط به ریزجانداران نیستند ولی می‌توانند دارای مشکلات دیگری مانند فلزات سنگین باشند.

گروه ب: محصولاتی که ممکن است به اقدامات حفاظتی بیشتری نیاز داشته باشند. مانند چراگاه‌ها، علوفه‌های سبز، محصولات درختی، میوه و سبزیجاتی که قبل از خوردن پوست کنده و یا پخته می‌شوند.

گروه پ: محصولاتی که تا رسیدن به رهنمودهای قابل پذیرش برای آبیاری (کنترل نشده یا در همه شرایط)، انجام عملیات تصفیه برای آنها ضروری است. مانند سبزیجات تازه، میوه‌های آبیاری شده به روش بارانی، پارکها، چمنزارها و میادین ورزشی.

بطور کلی استفاده از پسابها از سه جنبه مورد توجه است:

- تأثیر پسابها بر روی خاک شامل تغییر در باروری و شوری خاک، مسمومیت با فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی؛
- تأثیر بر روی محصولات کشاورزی، چه از نظر مقدار و چه از نظر کیفیت محصول؛ و
- احتمال آلوده کردن آبهای سطحی و زیرزمینی.

بهره‌گیری از پساب، ابتدا بر خاک اثر می‌گذارد. سپس برخی از اثرات منفی آن، پس از جذب بوسیله ریشه، و ورود مواد زائد غیردلخواه به گیاه آشکار می‌شود. این زیان با مصرف قسمت‌هایی از گیاه توسط حیوان و انسان به بدن موجودات جانوری منتقل می‌شود. برخی از این مواد غیردلخواه در بدن انباشته می‌شوند؛ یعنی سرعت تجزیه و دفع آنها کندتر از سرعت جذب و انباشته شدن است. به طور معمول، محل انباشته شدن این مواد در کبد است.

خلاصه خطرات بهداشتی مرتبط با استفاده از فاضلاب برای آبیاری به نقل از سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶) در جدول ۱۳- ۴ ارائه شده است.

جدول ۱۳- ٤ - خلاصه خطرات بهداشتی مرتبط با استفاده از فاضلاب برای آبیاری

گروه‌های در خطر	خطر برای تندرستی		
	کرم ها	باکتری‌ها و ویروس ها	تک یاخته ای‌ها (پروتوزوآ)
مصرف کنندگان	خطرات قابل توجه عفونت کرمی برای بزرگسالان و کودکانی که با فاضلاب تصفیه نشده سر و کار دارند	همه‌گیری وبا، تیفوئید و شیگلوز در اثر استفاده از فاضلاب تصفیه نشده گزارش شده است. پاسخ‌های سرمی مثبت برای هلیکوباکتر پیلوری (درمان نشده)؛ افزایش اسهال غیر اختصاصی با کیفیت آب بیش از ده هزار کلیفرم مقاوم به حرارت در هر ۱۰۰ میلی لیتر	شواهدی از تک یاخته‌های انگلی در روی سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب یافت شده است، لیکن شواهد مستقیمی از انتقال بیماری وجود ندارد.
کشاورزان و خانواده آنها	خطرات قابل توجه عفونت کرمی‌برای بزرگسالان و کودکان در تماس با فاضلاب تصفیه نشده. افزایش خطر عفونت کرم قلابدار برای کارگرانی که کفش مناسب نمی‌پوشند. خطرات عفونت کرمی، به ویژه برای کودکان، حتی زمانی که فاضلاب به کمتر از ۱ تخم کرم در هر لیتر تصفیه می‌شود، باقی می‌ماند. بزرگسالان در این غلظت کرمی‌در معرض افزایش خطر نیستند	اگر کیفیت آب از ده هزار کلیفرم مقاوم به حرارت در هر ۱۰۰ میلی لیتر بیشتر شود، خطر ابتلا به بیماری اسهال در کودکان خردسال با تماس با فاضلاب افزایش می‌یابد. افزایش خطر عفونت سالمونلا در کودکانی که در معرض فاضلاب تصفیه نشده قرار دارند. افزایش پاسخ سرمی‌به نورووپروس در بزرگسالانی که رویاروی فاضلاب نیمه تصفیه شده قرار دارند	خطر عفونت ژیاردیای روده‌ای با تماس با فاضلاب تصفیه نشده و تصفیه شده ناچیز گزارش شده است. مطالعه‌ای در پاکستان افزایش سه برابری خطر ابتلا به عفونت ژیاردیا را برای کشاورزانی که از فاضلاب خام استفاده می‌کنند در مقایسه با آبیاری با آب سالم تخمین زده است. افزایش خطر آمیبیاز مشاهده شده از تماس با فاضلاب تصفیه نشده
همسایگان	انتقال عفونت‌های کرمی‌برای آبیاری بارانی مورد مطالعه قرار نگرفته است، لیکن مانند موارد بالا برای آبیاری غرقابی یا شیاری با تماس شدید	آبیاری بارانی با کیفیت پایین آب (یک میلیون تا صد میلیون کلیفرم کل در ۱۰۰ میلی لیتر) و قرار گرفتن در معرض آئروسل بالا همراه با افزایش نرخ عفونت. استفاده از آب نیمه تصفیه شده (ده هزار تا صد هزار کلیفرم مقاوم به گرما در ۱۰۰ میلی لیتر یا کمتر). در آبیاری بارانی با افزایش عفونت ویروسی مشاهده نشده است.	داده‌ای برای انتقال عفونت‌های تک یاخته‌ای در طی آبیاری بارانی با فاضلاب وجود ندارد

سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶)

۱۳-۸- دستورالعمل آبیاری با پساب

چند دستورالعمل برای تنظیم مقررات بازیابی آب برای مصارف کشاورزی وجود دارد. از این دستورالعمل‌ها به عنوان استاندارد نیز یاد می‌شود. متداول‌ترین آنها توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده[1] و سازمان بهداشت جهانی[2] تدوین شده است. ایالت کالیفرنیای آمریکا نیز دستورالعمل خود را تدوین کرده است.

همان طور که گفته شد، سازمان بهداشت جهانی ابتدا دستورالعمل‌های خود را در سال ۱۹۸۹ ارائه کرد که با نسخه ۲۰۰۶ به روز شد. دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی به طور گسترده توسط بسیاری از کشورها به عنوان مرجع استفاده می‌شود. با این حال، برخی از کشورهای جنوب اروپا به مقررات تازه‌ای برای استفاده از پساب علاقه مندند. کشورهای دیگری مانند ایتالیا، خود مقررات سخت‌گیرانه‌تری برای بازیافت آب وضع کرده‌اند. در دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده، سازمان بهداشت جهانی و کالیفرنیا برای استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری محدود و نامحدود[3]، پارامترهای گوناگونی به ویژه با توجه به عوامل میکروبی در نظر گرفته شده است. آبیاری محدود شامل استفاده از پساب تصفیه شده برای آبیاری محصولات صنعتی، علوفه دام، درختان و محصولاتی است که به صورت خام مصرف نمی‌شوند، در حالی که آبیاری نامحدود شامل همه محصولات می‌شود. دستورالعمل‌های کالیفرنیا(۲۰۱۴) بر وجود غلظت‌های محدود از اجزای خاص مانند کلیفرم‌های کل برای آبیاری محدود و نامحدود تمرکز دارد. علاوه بر این، هر دو دستورالعمل سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده و کالیفرنیا شامل یک مرحله ضد عفونی به عنوان شرط لازم برای استفاده نامحدود هستند، که در دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی(۲۰۰۶) در نظر گرفته نشده است. در واقع، دستورالعمل‌های سازمان حفاظت

1 Environment Protection Agency (EPA or USEPA)
2 World Health Organization (WHO or UNWHO)
۳ آبیاری محدود یعنی برای برخی شرایط و آبیاری نامحدود یعنی در همه شرایط آب و خاک و گیاه

محیط‌زیست ایالات متحده و کالیفرنیا فقط بر پارامترهای کیفیت آب در محل مصرف تمرکز می‌کنند، یعنی کیفیت آبی که برای آبیاری محصول در دسترس است. این دستورالعمل‌ها جنبه‌های دیگر زنجیره تامین از تولید تا محل مصرف، مانند روش آبیاری، مدیریت محصول، جابجایی و ضدعفونی خانگی را در نظر نمی‌گیرند. می‌توان گفت که استفاده از پارامترهای کیفیت محدود کننده، دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده را سخت تر می‌کند و نیاز به تصفیه گسترده تحت هر شرایطی دارد. دستورالعمل‌های جدیدتر سازمان بهداشت جهانی(۲۰۰۶)، عمر تعدیل‌شده در اثر ناتوانی[1] (DALYs) را به عنوان معیاری بر پایه شرایط منطقه‌ای و پشتیبانی شده توسط مدل‌های ارزیابی کمّی‌خطر میکروبی[2] (QMRA) در نظر می‌گیرند (لازاروا و بحری، ۲۰۰۴). ریسک قابل تحمل در قالب DALYs، رویکردی است که سطحی از خطرات را نشان می‌دهد که می‌تواند بر پایه عمر از دست رفته (به دلیل مرگ زودرس و/یا ناتوانی ناشی از یک بیماری) برآورد واندازه گیری شود (کار و همکاران، ۲۰۱۱ و بوگنگ و همکاران، ۲۰۱۸). دستورالعمل‌های سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶)، هدف هایی که بر پایه سلامت جمعی تعریف می‌شوند را برای کل زنجیره تامین، از تولید تا مصرف محصولات آبیاری شده با فاضلاب، پی گیری می‌کند. افزون بر این، دستورالعمل یاد شده تعدیل‌های لازم با توجه به شرایط محلی را نیز در نظر می‌گیرد (درچسل و همکاران، ۲۰۰۸).

به آن قسمت از فاضلاب ایجاد شده توسط افراد در خانه‌ها یا ساختمان‌های اداری که دربرگیرنده تمام جریان‌ها، به استثنای فاضلاب خروجی از سرویس‌های بهداشتی (فاضلاب مدفوعی که به آن آب سیاه می‌گویند) باشد،آب خاکستری[3] گفته می‌شود. آب خاکستری آبی است که از فعالیت‌های معمول روزانه نظیر رخت‌شویی، شستشوی ظروف و حمام کردن به دست می‌آید. از این آب می‌توان در کارهایی مانندآبیاری فضای سبز، استفاده درسیفون توالت و ساختمان‌های

1 Disability Adjusted Life Years (DALYs)
2 Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) models
3 Greywater

نیازمند رطوبت زیاد همچون گلخانه‌ها، به مصرف رساند. نزدیک ۶۵ تا ۷۵ درصد فاضلاب تولید شده در خانه‌ها آب خاکستری است. استفاده از آب خاکستری نیز از مقرراتی پیروی می‌کند که در جدول ۱۳- ۵ نشان داده شده است.

جدول ۱۳- ۵ - نمونه‌هایی از خطرات و مسیرهای رویارویی با پساب، فاضلاب و آب خاکستری در کشاورزی و آبزی پروری

خطر	راه انتقال	ملاحظات
عوامل بیماری زای مدفوعی باکتری‌ها (*Escherichia coli, Vibrio cholerae, Salmonella* spp., *Shigella* spp.)	تماس مصرف	باکتری‌هایی که روی محصولات زراعی هستند، نسبت به برخی دیگر از عوامل بیماری زا (مانند کرم ها) زودتر می‌میرند. لیکن هنوز هم ممکن است خطر بیماری زایی داشته باشند. همه‌گیری وبا ، حصبه و اسهال نتیجه استفاده از فاضلاب، مدفوع، یا آب خاکستری برای آبیاری سبزیجات است. از آنجا که این عوامل بیماری زا می‌توانند زمان درازی در محیط‌زیست زنده بمانند، ضد عفونی/شستشو و پخت و پز اقداماتی مهم برای حفظ سلامتی است.
کرم ها کرم هایی که با خاک منتقل می‌شوند *(Ascaris, Ancylostoma, Necator, Hymenolepis, Strongyloides, Toxocara, Trichuris, Taenia spp.)*	تماس مصرف	خطر بالا در کشاورزی، به ویژه جایی که از فاضلاب تصفیه نشده و فضولات انسانی استفاده می‌شود و استانداردهای بهداشتی پایین است، پیش می‌آید. تخم‌ها می‌توانند برای مدت درازی در محیط زنده بمانند. عفونت کرم قلابدار (*Ancylostoma duodenale*، *Necator americanus*) در مناطقی که کشاورزان کفش یا چکمه مناسب نمی‌پوشند، زیاد است.
ترماتودها کرم‌های مسطح انگلی که دارای قلاب یا مکنده هستند *(Clonorchis, Opisthorchis, Fasciola, Schistosoma spp.)*	تماس مصرف	خطر عمده در آبزی پروری که در آن انگل ترماتود وجود دارد. وجود این انگل محدود به مناطق جغرافیایی خاصی است. ترماتودهای غذایی از طریق مصرف غذا (به ویژه مصرف ماهی خام و فرآوری نشده) منتقل می‌شوند. شیستوزومازیا از طریق تماس پوست با آب آلوده منتقل می‌شود.
پروتوزوا ، پیش زیان*(Protozoa)* *(Giardia, Cyclospora, Cryptosporidium, Entamoeba spp.)*	تماس مصرف	روی سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب در محل برداشت و در بازار یافت می‌شوند و می‌توانند به‌اندازه‌ای در محیط زنده بمانند تا خطراتی برای سلامتی ایجاد کنند.

ادامه جدول ۱۳- ۵ - نمونه‌هایی از خطرات و مسیرهای رویارویی با پساب، فاضلاب و آب خاکستری در کشاورزی وآبزی پروری

ویروس‌ها (هپاتیت *A* و *E*، ویروس‌های دستگاه تنفس فوقانی، و *rotavirus, norovirus*	تماس مصرف	ویروس‌ها به تعداد زیاد در فاضلاب و فضولات وجود دارند. برخی از انواع آن می‌توانند به‌اندازه‌ای در محیط زنده بمانند تا خطراتی برای سلامتی ایجاد کنند. آلودگی محصولات منجر به همه‌گیری بیماری می‌شود.
پاتوژن‌های ناقل (*Plasmodium spp., dengue virus, Wuchereria bancrofti, Japanese* encephalitis virus)	تماس با حشرات	خطر برای هر گونه فعالیت توسعه منابع آب در مناطق جغرافیایی مربوطه که در آن بیماری‌های همه گیر وجود دارد. بیشتر حشرات ناقل در آب تمیز تولید مثل می‌کنند، به استثنای ناقلین فیلاریازیس لنفاوی که در آب‌های آلوده به مواد آلی تولید مثل می‌کنند.
التهاب دهنده‌های پوست	تماس	علل تحریک پوست مانند درماتیت تماسی (اگزما) احتمالاً به دلیل ترکیبی از خطرات میکروبی و شیمیایی است.
آنتی بیوتیک‌ها مانند کلرامفنیکل	مصرف	خطر بالقوه برای مصرف کنندگان محصولات آبزی ، چنانچه این مواد در تولید ماهی استفاده شده باشند.
سموم سیانوباکتریایی *microcystin-LR*	مصرف تماس	خطر بالقوه برای مصرف کنندگان محصولات آبزی پروری، به ویژه مکمل‌های غذایی جلبک سبز آبی (اسپیرولینا).
فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، سرب و جیوه) و فنول‌های فنولاتی	مصرف	فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، سرب، جیوه) که ممکن است توسط آب و خاک در گیاهان انباشته شود. فتالات‌ها و فنل‌ها از مصرف آبی که از سفره‌های زیرزمینی تغذیه شده توسط فاضلاب به دست می‌آید. برخی از این مواد شیمیایی ممکن است در غدد درون ریز اختلال ایجاد کنند.
هیدروکربن‌های هالوژنه (دیوکسین ها، فوران ها، *PCB* ها)	مصرف	این هیدرو کربن‌ها توسط گیاهان جذب نمی‌شوند، لیکن اگر گیاهان قبل از مصرف پوست کنده یا شسته نشوند، ممکن است سطوح را آلوده کنند. پتانسیل انباشت زیستی در ماهی‌های گوشتخوار بزرگ‌تر پرورش یافته در تأسیسات آبزی‌پروری وجود دارد.
آفت‌کش‌ها و باقی‌مانده آنها (آلدرین و د. د. ت)		خطر بیشتر به شیوه‌های کاربرد آفت‌کش‌ها مربوط می‌شود.

سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۶

۱۳-۹- تزریق به آبخوان، راهی برای ایمن کردن پساب برای مصرف

یکی از بهترین راه‌های تصفیه پساب، برای کنترل و پیش‌گیری از بیماری‌ها، تزریق پساب به آبخوان و سپس استفاده از آن است. در جایی که شرایط خاک و آب‌های زیرزمینی برای تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی از طریق حوضچه‌های نفوذی مساعد باشد، می‌توان پساب فاضلاب نیمه تصفیه شده را به داخل خاک نفوذ داده و به سمت آب‌های زیرزمینی روانه کرد. منطقه غیراشباع[1] به عنوان فیلتری طبیعی عمل می‌کند و می‌تواند تمام مواد جامد معلق، مواد زیست تخریب پذیر[2]، باکتری‌ها، ویروس‌ها و ریزجانداران دیگر را حذف کند. افزون بر این، کاهش قابل توجهی در غلظت نیتروژن، فسفر و فلزات سنگین نیز امکان پذیر است. پس از اینکه فاضلاب تصفیه شده از ناحیه غیراشباع گذشت و به سفره آب‌های زیرزمینی رسید، به طور معمول اجازه داده می‌شود تا پیش از جمع آوری و مصرف، مقداری هم به صورت افقی بپیماید (شکل ۱۳- ۲). این حرکت اضافی می‌تواند تصفیه بیشتری مانند حذف ریزجانداران، چسبیدن فسفات‌ها به ذرات خاک، جذب مواد آلی و غیره را به همراه داشته باشد. از آنجایی که خاک و آبخوان به عنوان تصفیه طبیعی استفاده می‌شوند، از آنها به عنوان سامانه‌های تصفیه خاک-آبخوان[3] نیز یاد می‌شود. تصفیه خاک-آبخوان، در حقیقت، یک سیستم تصفیه فاضلاب با فناوری پایین و در عین حال پیشرفته است. از دیدگاه زیبایی شناختی نسبت به فاضلاب تصفیه شده معمولی نیز برتری دارد، زیرا آب بازیافت شده از آن نه تنها شفاف و بدون بو است، بلکه از چاه، زهکش یا از نهر به صورت طبیعی خارج می‌شود. چنانچه منطقه کم آب باشد، اهمیت آن دو چندان می‌شود. در این روش، آب مفهوم فاضلاب خود را از دست داده و عموم مردم آن را به عنوان آب خروجی از زمین (آب‌های زیرزمینی) می‌بینند. این دیدگاه می‌تواند عامل مهمی‌در پذیرش عمومی‌طرح‌های استفاده دوباره از فاضلاب باشد.

---

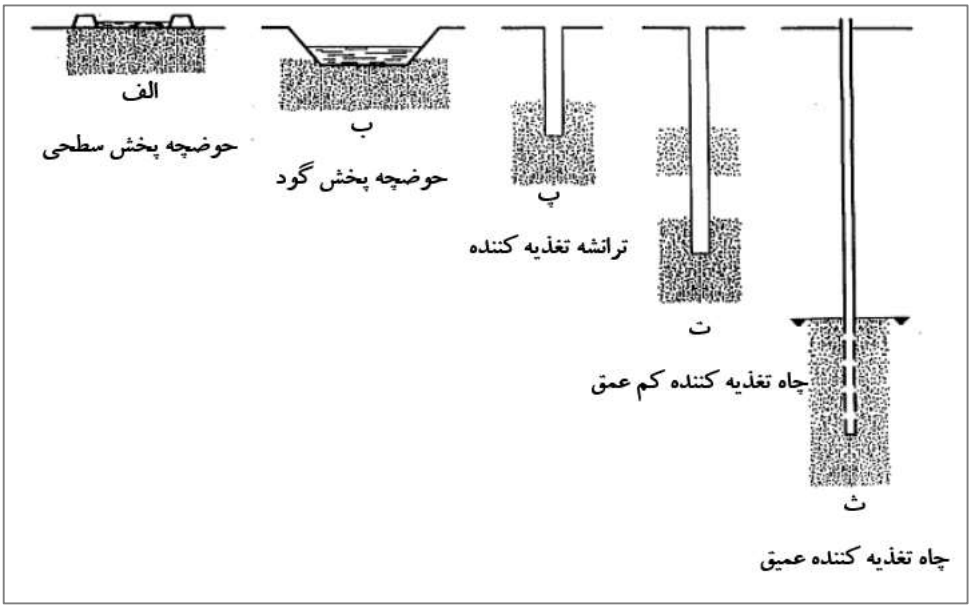
1 Vadose zone
2 Biodegradable
3 Soil-aquifer treatment (SAT)

۱۳-۱۰- طراحی سامانه تصفیه خاک-آبخوان

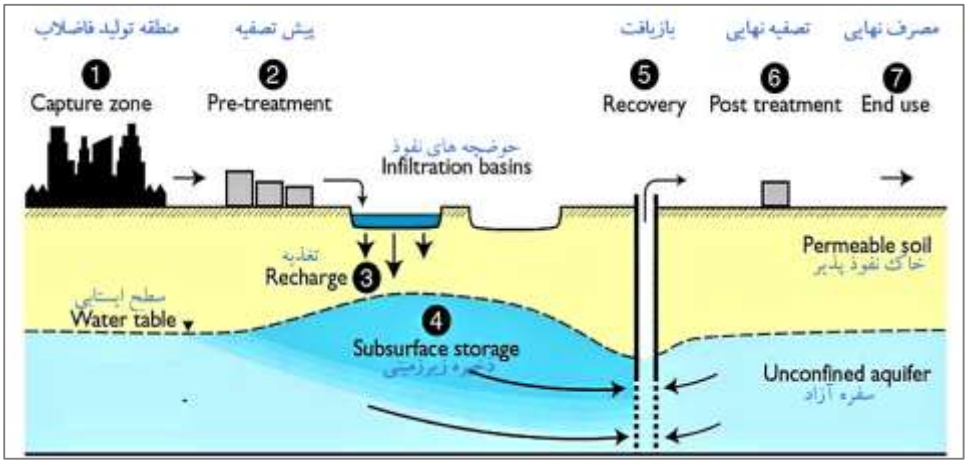
انواع گوناگون سیستم SAT در شکل ۱۳- ۲ و نوع متداول‌تر آن در شکل ۱۳- ۳ نشان داده شده است. برای رسیدن به هدف و موفقیت این سامانه باید شرایط کلی زیر فراهم باشد:

- در دسترس بودن زمین کافی مناسب؛
- داشتن آبخوان آزاد (نامحدود)؛
- عمق مناسب تا سفره آب زیرزمینی؛
- وجود منطقه غیر اشباع با نفوذ پذیری کافی؛
- نزدیکی به تصفیه‌خانه فاضلاب؛
- نزدیکی به محل مصرف؛
- پرهیز از مناطق پرجمعیت؛ و
- پرهیز از نقاط سیل گیر.

در ساده‌ترین شکل این سامانه، پساب فاضلاب باید به حوضچه‌های نفوذ در زمین‌های مرتفع ریخته شود؛ پس از نفوذ، به سمت آب‌های زیرزمینی حرکت کند و در نهایت به طور طبیعی از زمین خارج شود یا در محلی دورتر، بو سیله چاه تخلیه شود. ناحیه پایین می‌تواند یک فرورفتگی طبیعی یا منطقه نشت، نهر، زهکش روباز، رودخانه و یا دریاچه و تالاب باشد. سامانه‌های SAT برای کاهش آلودگی آب‌های سطحی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. به جای تخلیه مستقیم آب سطحی آلوده به نهرها یا دریاچه‌ها، از آن در رقومی بالاتر، به حو ضچه‌های نفوذی ریخته می شود تا قبل از ورود به رودخانه یا دریاچه، تصفیه خاک-آبخوان را دریافت کند. شکل ۱۳- ۳این روش کار را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳- ۲- روش‌های گوناگون تزریق فاضلاب پیش تصفیه شده به خاک برای تصفیه کامل



https://sswm.info/water-nutrient-cycle/reuse-and-recharge/hardwares/recharge-and-disposal/soil-aquifer-treatment

شکل ۱۳- ۳- یک نوع سامانه تصفیه خاک-آبخوان

در حوضچه‌های نفوذی، فاضلاب از پیش تصفیه شده بر روی سطح گسترده‌ای از زمین پخش می‌شود. فرایندتصفیه در نفوذ عمودی پساب، دردرون خاک انجام می‌شود. این سامانه به خاکی با نفوذپذیری بالا، با عمق مناسبی از ناحیه غیر اشباع نیاز دارد که در آن لایه نفوذناپذیر مهمی‌وجود نداشته باشد. افزون بر این، سفره زیرزمینی زیر ناحیه غیر اشباع باید آزاد و دارای قابلیت انتقال مناسب باشد، به طوری که آب نفوذی از منطقه تغذیه دور شود، بدون این که آب زیرزمینی همانند تپه‌ای در زیر حوضچه نفوذ بالا بیاید. افزون بر این، آبخوان باید عاری از آلاینده‌های نامطلوبی باشد که ممکن است به مکان‌های غیردلخواه انتقال یابد. در مواردی که چنین شرایطی حاکم باشد، پساب فاضلاب را می‌توان بر روی زمین خالی که اطراف آن مرزبندی شده است، انبار کرد تا نفوذ کند (شکل ۱۳ -۲ - الف).

هنگامی‌که خاک مناسب در زیر حوضچه و در عمق قابل قبول وجود داشته باشد، می‌توان لایه بالایی را حفاری کرد و پساب را در حوضچه ریخت (شکل ۱۳ - ۲- ب). هنگامی‌که توپوگرافی سایت نیاز به خاکبرداری و خاکریزی داشته باشد، بهتر است که سطح تغذیه در ناحیه خاکبرداری قرار گیرد و از مواد حفاری شده در ساخت دیواره‌ها استفاده شود و سپس متراکم گردد.

در سامانه‌هایی با ناحیه غیراشباع، پساب از طریق ترانشه‌ها (شکل ۱۳ - ۲- پ)یا چاه‌های حفاری شده (شکل ۱۳ - ۲- ت) به درون ناحیه غیر اشباع نفوذ می‌کند. این سیستم در مواردی توصیه می‌شود که دسترسی به زمین کافی دشوار باشد و یا خاک رویی به‌اندازه‌ای خوب باشد که نتوان از آن چشم پوشید. ترانشه‌ها بلند و دراز هستند. به طور معمول عرضی کمتر از یک متر (در صورت پایداری خاک در هنگام ساخت) و عمقی نزدیک ۵ متر دارند که با ماسه درشت یا شن ریز پر می‌شوند. چاه‌های ناحیه غیر اشباع، به صورت عمودی حفر می‌شوند. چاه‌های معمولی ۰/۵ تا ۲ متر قطر و ۳۰ تا ۴۵ متر عمق دارند و با ماسه درشت یا شن ریز پر می‌شوند. این چاه‌ها صرفه جویی قابل توجهی نسبت به چاه‌های تزریق مستقیم دارند. پیش تصفیه برای این سامانه بسیار حیاتی است زیرا آنها را نمی‌توان آبشویی معکوس (بازشویی) کرد. توان هیدرولیکی این سامانه‌ها به هدایت

هیدرولیک خاک ناحیه غیراشباع بستگی دارد. همانطور که از نام آن پیداست، چاه‌های ناحیه غیر اشباع برای تغذیه مستقیم آبخوان با استفاده از آب بازیافتی با کیفیت کم و بیش مناسب استفاده می‌شود. از چاه‌ها به طور معمول، هنگامی‌استفاده می‌شود که روش‌های دیگر پاسخ گوی نیاز نباشند. حفر این چاه‌ها در مقایسه با سیستم نفوذ در منطقه غیر اشباع هزینه بیشتری دارد. از میان روش‌های یاد شده، نوع الف و ب بیشترین کاربرد را دارند.

۱۳-۱۱- از پساب تا مواد غذایی

چرخه استفاده از پساب تا ورود آن به مواد غذایی در شکل ۱۳-۴ نشان داده شده است. فاضلاب شهری، به طور معمول از مواد زیر ترکیب شده است:

- پساب خانگی از کارهای رختشویی، ظرف شویی، دست شویی، توالت و....؛
- شوینده‌ها؛
- مواد سلولزی؛
- چربی؛
- ضایعات انسانی؛
- اسیدهای شوینده توالت؛
- کربوهیدرات‌ها؛
- مواد غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ...)؛
- مواد کمیاب (سرب، روی، بور، کرم، مس، آرسنیک و منیزیم)؛ و
- عوامل بیماری زا (باکتری‌ها و ویروس ها).

شکل ۱۳- ٤- چرخه آلودگی مواد غذایی برای انسان ها

پساب همراه با ترکیبی مطابق آنچه گفته شد، تولید می‌شود. چنانچه برای استفاده در آبیاری مصرف شود، نخست خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در حقیقت، خاک واسطه‌ای است بین عوامل موثر موجود در پساب و گیاه. در این میان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- pH خاک؛
- شوری خاک؛
- درصد مواد آلی خاک؛
- سدیمی‌شدن خاک با افزایش غیر متناسب سدیم و مجموع کلسیم و منیزیم خاک؛

- انتقال و رسوب فلزات سنگین سمی‌در خاک و انباشت آنها؛ و
- ورود عوامل بیماری زا یا پاتوژن‌های زیانبار به خاک.

همه این عوامل، از دیدگاه سلامت خاک پر اهمیت هستند؛ ولی شاید بتوان گفت که به علت ماندگاری فلزات سنگین در خاک و اصلاح پذیری دشوار آن، در بسیاری موارد، باید به فلزات سنگین اهمیت بیشتری داد.

روش‌های گوناگونی برای پاک کردن خاک‌های آلوده به کار گرفته می‌شوند. به طور معمول، روش‌های رایج فیزیکی و شیمیایی پالایش خاک از آلاینده‌ها، بویژه در خاک‌های کشاورزی، بسیار پرهزینه هستند. شاید بتوان روش‌های زیستی یا پالایش زیستی[1] و پالایش گیاهی[2] را نوآوری‌هایی در راستای پالایش خاک‌های آلوده دانست؛ روش‌هایی دشوار، زمان بر و پرهزینه.

آلاینده‌ها پس از ورود به بافت‌های گیاهی، تغییراتی را در آنها به وجود می‌آورند. موارد زیر را می‌توان برای این تغییرات برشمرد:

- اثر بر زیست توده گیاهی و تغییر حجم گیاه؛
- دراز شدن ریشه‌ها؛
- تغییرات در فتوسنتز گیاهی و اختلال در سوخت و ساز گیاه؛
- تغییر در مقدار جذب آب و مواد غذایی؛
- آسیب به لیپیدها در گیاه؛
- اختلال در فعالیت‌های آنزیمی؛

---

1 Bioremediation

پالایش زیستی، به فرایندی گفته می‌شود که در آن، در راستای پاکسازی و پالایش زیست‌بوم و برگرداندن آن به شرایط نخستین، از ریزاندامگان یا اجتماع ریزجانداران، قارچ‌ها یا باکتریها و آنزیم آنها استفاده می‌شود.

2 Phytoremediation

پالایش گیاهی، به فرایندی گفته می‌شود که در آن مواد زیانبار با کمک گیاهان جذب می شوند، تغییر شکل می‌دهند، انباشته می شوند و یا تصعید می گردند تا آلودگی‌های آب و خاک کاسته شود و یا از بین برود.

- کاهش جوانه زنی بذر؛
- اختلال در جذب مواد معدنی؛
- اختلال در تنفس گیاه؛
- تغییر در مقدار رنگدانه در برگ ها؛
- آسیب به دی‌ان‌ای گیاه و پدید آوردن اختلال ژنتیکی؛ و
- اختلال در ساخت پروتئین گیاهی.

برخی از این تغییراتی که در فیزیولوژی گیاهان پیش می‌آید، ماندگار هستند، تااندازه‌ای که ممکن است به نسل‌های بعدی نیز انتقال داده شوند.

استفاده انسان و جانوران از گیاهانی که با پساب آبیاری شده‌اند، می‌تواند بر سلامت آنها تاثیر بگذارد. این تاثیر، بسته به نوع گیاه و ترکیب پساب یکسان نیست. موارد مهم آن عبارتند از:

- تاخیر در رشد؛
- پوکی و شکسته شدن استخوان ها؛
- سرطان دستگاه گوارش فوقانی، مری و معده؛ و
- ضعف توان دفاعی ایمنی بدن.

با همه این موارد، همان گونه که گفته خواهد شد، استفاده از پساب به عنوان آب آبیاری هم اکنون در برخی کشورهای جهان، از جمله در کشورهای جنوب خلیج فارس رواج دارد. آنچه مایه نگرانی است این است که طرح‌های استفاده از پساب در کشورها با مطالعات علمی و پایش نتایج همراه نباشند. برای کاهش این نگرانی‌ها، خوبست برنامه‌های استفاده از پساب ابتدا به گیاهان غیر خوراکی مانند زراعت چوب و گیاهان صنعتی مانند پنبه اختصاص داده شود.

۱۳-۱۲- مروری بر منابع

در برخی از کشورهای جهان، و از جمله ایران، پژوهش‌هایی در باره استفاده از پساب به عنوان آب آبیاری انجام شده و نتایج آنها منتشر شده است. در زیر نمونه‌هایی از آنها ارائه می‌شود. ممکن است همه تاثیر استفاده از پساب بر خاک و گیاه در کوتاه مدت آشکار نشود. بنابراین به نتایج پژوهش‌های کوتاه مدت نمی‌توان به‌اندازه پژوهش‌های درازمدت اعتماد داشت.

۱۳-۱۲-۱- تأثیر پساب بر ویژگی‌های خاک

همان گونه که گفته شد، پساب بر ویژگی‌هایی مانند pH، شوری، مواد آلی، باروری خاک، فلزات سنگین، تغییرات فیزیکی خاک مانند ساختمان خاک و حرکت آب در خاک موثر است.

۱۳- ۱۲- ۱- ۱- اثر آبیاری با پساب بر pH خاک

نتیجه پژوهش‌های انجام شده بر روی تغییرات pH خاک متفاوت است و نمی‌توان از بررسی آنها به نتیجه واحدی رسید. از میان نتیجه نه پژوهش بررسی شده، دو پژوهش به نتیجه کاهش (وازکوئزمونتیل و همکاران ، ۱۹۹۶ و کیزیل اوغلو و همکاران، ۲۰۰۸)، پنج پژوهش به نتیجه افزایش رسیده (شیپر و همکاران،۱۹۹۶، کیان و مچام، ۲۰۰۵ ، خان و همکاران، ۲۰۰۸ و واکر و لین، ۲۰۰۸ و بدبابیس و همکاران ، ۲۰۱۵) و دو پژوهش به بی‌اثر بودن آبیاری با پساب در تغییر pH دست یافته‌اند (حیدرپور و همکاران ۲۰۰۷ و کلای و همکاران،۲۰۱۰).

نتایج پژوهش کیان و مچام (۲۰۰۵) مربوط به پایلوتی با سابقه ۳۳ سال آبیاری با پساب و واکر و لین (۲۰۰۸) با پیشینه ۴۰ سال است. این دو پژوهش، افزایش pH را نشان داده‌اند. پژوهش کلای و همکاران (۲۰۱۰) مربوط به تأثیر آبیاری ۱۵ ساله بر pH خاک‌های هوموسی[1] بوده است که در آن pH خاک تغییری نشان نداده است.

1 Humic soils

۱۳- ۱۲- ۱- ۲- اثر آبیاری با پساب بر شوری خاک

نتیجه تعدادی از مطالعات انجام شده در باره افزایش شوری خاک در آبیاری با پساب در جدول ۱۳- ۶ خلاصه شده است. به طوری که دیده می‌شود می‌توان افزایش شوری خاک در آبیاری با پساب را تایید کرد. تنها در یکی دو مورد، این افزایش به صراحت اعلام نشده است (ارل و همکاران، ۲۰۱۹ و لیوزر و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۱۳- ٦ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر شوری خاک

پژوهش	تغییرات	ملاحظات
کامرون (۱۹۹۷)	افزایش	EC لایه سطحی خاک از ۰/۷۵ به ۱/۶ دسی زیمنس بر متر
استیونز و همکاران (۲۰۰۳)	افزایش	
کیان و مچام (۲۰۰۵)	افزایش	۱۸۷ درصد نسبت به آب معمولی
اسدیان و همکاران (۲۰۰۵)	افزایش	گرفتگی خروجی‌های آبیاری قطره‌ای زیر سطحی
ابراهیمی‌زاده و همکاران (۱۳۸۵)	افزایش	قابل توجه در ۲۰ تا ۶۰ سانتی متری
حیدرپور و همکاران (۲۰۰۷)	افزایش	هدایت الکتریکی آب آبیاری متداول نسبت به پساب بیشتر بود. میانگین EC خاک آبیاری شده با پساب بیشتر از میانگین EC آب آبیاری شده با آب متداول بود.
روسان و همکاران (۲۰۰۷)	افزایش	بیشترین EC در مناطقی که به مدت ۱۰ سال با پساب آبیاری شده بودند مشاهده شد. بیشترین انباشت نمک در لایه ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک وجود داشت.
لادو و بن هور (۲۰۰۹)	افزایش	افزایش شوری خاک تا عمق نزدیک ۱/۵ متری.
پدرو و آلارکن (۲۰۰۹)	افزایش	
کلای و همکاران (۲۰۱۰)	افزایش	خاک‌های هوموسی در مدت ۱۵ سال
علی‌محمدی (۱۳۹۴)	افزایش	در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری
جهانی و رضا پور (۲۰۱۹)	افزایش	هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیمی(SAR)، درصد سدیم قابل تبادل (ESP) از ۱۸ تا ۱۴۷ درصد
عبدالواحد (۲۰۱۹)	افزایش	افزایش هدایت الکتریکی ۶۲ تا۱۰۷ درصد، نسبت جذب سدیم ۳۱تا۸۰درصد و نسبت سدیم قابل تبادل ۱۷تا۵۲ درصد
ارل و همکاران (۲۰۱۹)	افزایش کم	افزایش مداوم نسبت جذب سدیم
لیوزر و همکاران (۲۰۱۹)		تنها SAR در سطح خاک افزایش یافت
بدبابیس و همکاران (۲۰۱۵)	افزایش	
جهانی و رضاپور (۲۰۲۰)	افزایش	افزایش هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیمی(SAR) و درصد سدیم تبادلی (ESP)

۱۳- ۱۲- ۱- ۳ - اثر پساب بر ماده آلی خاک

نتیجه تعدادی از مطالعات انجام شده در باره تغییرات ماده آلی خاک در اثر آبیاری با پساب در جدول ۱۳- ۷ خلاصه شده است. به طوری که دیده می‌شود، نتیجه نزدیک نیمی‌از پژوهش‌ها گواه بر این است که آبیاری با پساب، ماده آلی خاک را افزایش نمی‌دهد. در این میان، واکر و لین (۲۰۰۸) و عبدالواحد (۲۰۱۹) که خاک‌هایی را مورد بررسی قرار دادند که به مدت درازی با پساب آبیاری شده بود، به نتیجه‌ای مغایر با بیشتر پژوهشگران دست یافته‌اند. به نظر می‌رسد که باید به نتایج مقایسه‌های درازمدت توجه بیشتری کرد.

جدول ۱۳-۷ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر ماده آلی خاک

پژوهش	تغییرات	ملاحظات
وانگ و همکاران (۲۰۰۷)	افزایش‌اندک	با افزایش دفعات آبیاری، بر مقدار ماده آلی خاک افزوده می‌گردد.
خان و همکاران (۲۰۰۸)	بدون تغییر	افزایش قابل توجه در مقدار اسید هیومیک خاک
روتنبرگ و همکاران (۲۰۰۷)	بدون تغییر	افزایش قابل توجه در مقدار اسید هیومیک خاک
واکر و لین (۲۰۰۸)	افزایش	نتیجه آزمون ۴۰ ساله، افزایش بیشتر در افق‌های زیرسطحی
بدبابیس و همکاران (۲۰۱۵)	افزایش	
پدرو و آلارکن (۲۰۰۹)	بدون تغییر	
عبدالواحد (۲۰۱۹)	افزایش	آزمون درازمدت

۱۳- ۱۲- ۱- ٤- اثر پساب بر باروری خاک

نتیجه تعدادی از مطالعات انجام شده در باره تغییرات باروری خاک در اثر آبیاری با پساب در جدول ۱۳- ۸ خلاصه شده است. از مطالعه این موارد می‌توان چنین برداشت کرد که آبیاری با پساب، با افزودن نیتروژن و فسفر به خاک، به باروری آن کمک می‌کند. در باره فعالیت‌های آنزیمی‌در خاک، چند پژوهشگر نتیجه گرفته‌اند که این فعالیت‌ها در اثر آبیاری با پساب در کوتاه مدت کاهش می‌یابد.

گمان می‌رود که موضوع تغییر در فعالیت آنزیمی‌هنوز نیاز به بررسی بیشتر دارد. نباید فراموش کرد که نتایج کاربرد پساب‌های صنعتی می‌تواند متفاوت از پساب فاضلاب شهری باشد.

جدول ۱۳- ۸ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر باروری خاک

پژوهش	تغییرات	ملاحظات
عبدالواحد (۲۰۱۹)	افزایش	افزایش کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دسترس و ظرفیت تبادل کاتیونی. آزمایش درازمدت
ارل و همکاران (۲۰۱۹)	افزایش	افزایش قابل توجه نیتروژن، فسفر و پتاسیم. کوددهی اضافی لازم نبوده است. افزایش عملکرد. مدت آزمایش درازمدت
موزیژورا و همکاران (۲۰۱۹)	افزایش	افزایش غلظت نیتروژن و فسفر خاک
لیو و همکاران (۲۰۲۱)	افزایش	آزمون کوتاه مدت آزمایشگاهی. تنوع بیشتر باکتری‌ها در خاک. اافزایش نیتروژن، فسفر و مواد آلی در افق بالای خاک
جهانی و رضاپور (۲۰۲۰)	افزایش	افزایش نیتروژن، فسفر و مواد آلی خاک بین ۱۰ تا ۷۰ درصد
لیانگ و همکاران (۲۰۱۴)		کاهش قابل ملاحظه فعالیت‌های آنزیمی
مخینینی و همکاران (۲۰۲۰)	افزایش	کاهش فعالیت‌های آنزیمی‌در ابتدا. افزایش فعالیت در درازمدت (۲۰ سال)
چاگانتی و همکاران (۲۰۲۰)		بدون تغییر عملکرد در دو سال
خانپایی و همکاران (۲۰۲۰)		استفاده درازمدت از پساب تخلخل خاک را کاهش داد

۱۳- ۱۲- ۱- ۵- اثر پساب بر فلزات سنگین خاک

نتیجه چند مطالعه انجام شده در باره تغییرات غلظت فلزات سنگین در خاک در اثر آبیاری با پساب در جدول ۱۳- ۹ خلاصه شده است. آبیاری با فاضلاب عناصری را به خاک اضافه می‌کند که می‌تواند برای خاک و همچنین رشد گیاه مفید باشد؛ لیکن استفاده درازمدت آن موجب افزایش انباشت فلزات سنگین در خاک شده که برای گیاهان و سپس برای جانوران و انسان خطرناک است. فلزات سنگین در سطح خاک، به نسبت بیشتری رسوب می‌کنند. استفاده از فاضلاب دارای فلزات سنگین در کشاورزی می‌تواند پیامدهای زیانباری داشته باشد. گفته شده است که در خاک‌هایی با

pH>۷ و یا در حضور مواد آلی، فلزات سنگین بیشتر تثبیت می‌شوند. همچنین گفته می‌شود که انباشت فلزات سنگین در نیمرخ خاک، به شدت تحت تأثیر مقدار مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است. به نظر می‌رسد که این دو موضوع، نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد.

جدول ۱۳- ۹- نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر فلزات سنگین خاک

پژوهش	تغییرات	ملاحظات
بدبابیس و همکاران (۲۰۱۵)	افزایش	
جهانی و رضاپور (۲۰۲۰)	افزایش	در خاک‌هایی با pH>۷ و یا در حضور مواد آلی بسیار زیاد
ماپاندا و مانگوینا (۲۰۰۵)	افزایش شدید	مطالعه نشان داد که در مدت ۵ تا ۶۰ سال، همه فلزات سنگین مورد مطالعه، بسته به مکان، از حد مجاز خود در خاک فراتر می‌روند.
بهمنیار (۲۰۰۸)	افزایش	افزایش بیشتر در طبقه‌های زیرین
مانی و همکاران (۲۰۱۲)		انباشت روی و کادمیوم در خاک، به شدت تحت تأثیر مقدار مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است
لیانگ و همکاران (۲۰۱۴)	افزایش	آبیاری به مدت ۲۰ سال منجر به انباشت جیوه، کادمیوم، آرسنیک، سرب، مس، کروم، روی و منگنز در خاک شده است.
لیوزر و همکاران (۲۰۱۹)	افزایش	آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش مقدار سرب، نیکل، کادمیوم و کروم در خاک شد
علی‌محمدی (۱۳۹۴)	بدون تغییر	
عسگری و کرنلیس (۲۰۱۵)	بدون تغییر	غلظت مس، سرب و روی، در حد استانداردهای دفتر حفاظت محیط‌زیست آمریکا بود. غلظت کادمیوم در ذرت و گندم، و نیز غلظت کروم در ذرت، بالاتر از حد استاندارد دفتر حفاظت محیط‌زیست آمریکا بود.

ادامه جدول ۱۳- ۹- نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر فلزات سنگین خاک

پژوهش	تغییرات	ملاحظات
جهانی و رضا پور (۲۰۱۹)	افزایش	آبیاری با پساب تصفیه شده فلزات سنگین Zn، Cu، Cd، Pb و Ni را از ۳۶ تا ۳۰۰ درصد افزایش داد.
عبدالواحد (۲۰۱۹)	افزایش	مقادیر فلزات سنگین Pb، Cd، Cu و Ni در خاک افزایش یافت
لیوزر و همکاران (۲۰۱۹)	افزایش	آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش غلظت سرب، نیکل، کادمیوم و کروم در خاک شد
مخینینی و همکاران (۲۰۲۰)	افزایش	انباشت فلزات سنگین مهم مانند کادمیوم، مس، روی و نیکل در خاک
توئیل و همکاران (۲۰۲۰)		انباشت برخی از فلزات سنگین شامل جیوه، مس و نیکل در خاک. مقدار عناصر کادمیوم، کروم، کبالت و آهن تحت تأثیر آبیاری با پساب افزایش نیافت.
سرور و همکاران (۲۰۱۹)		کادمیوم، منگنز و آهن به بالاتر از آستانه مجاز رسید.
بیدو و همکاران (۲۰۲۱)	افزایش	افزایش انباشت کادمیوم، کروم، مس، سرب، روی و نیکل
منگ و همکاران (۲۰۲۲)	افزایش	نتایج درازمدت. غلظت بسیار بالاتری از کادمیوم، مس، سرب، روی، نیکل، کروم، آرسنیک و جیوه وجود داشت. غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی (۰ تا ۲۰ سانتی متر) بسیار بیشتر از خاک زیرین بود. آلودگی قابل توجه فلزات سنگین (Cd، Zn و Hg) در خاک مناطقی که از فاضلاب تصفیه نشده استفاده می کردند، رخ داده بود.
فو و همکاران (۲۰۲۱)	افزایش	غلظت کادمیوم در بیش از ۹۵ درصد از نمونه‌های خاک بیش از استاندارد ملی کشور چین بود. نزدیک ۹۰ درصد از کادمیوم خاک توسط گیاه جذب شده بود.
شوآنژین و همکاران (۲۰۲۱)	افزایش	در بیش از ۵۰ سال، مقدار ماده آلی، فسفر و کل کادمیوم خاک به ترتیب ۱/۵۴، ۱۳/۰۵ و ۱۶۴ برابر افزایش یافت
خانپایی و همکاران (۲۰۲۰)	افزایش	غلظت سرب، کلسیم، کادمیوم، منیزیم، پتاسیم و سدیم در عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتیمتر افزایش یافت

آبیاری با پساب صنعتی یکی از عمده‌ترین راه‌های ورود عناصر سنگین به اراضی کشاورزی است. آبیاری با این پساب، در مقایسه با فاضلاب شهری، موجب افزایش بیشتر فلزات سنگین در خاک می‌شود. با توجه به این موارد است که استفاده از پساب‌ها در درازمدت در کشاورزی همچنان با تردید رو به روست.

۱۳-۱۳- تغییرات فیزیکی خاک در اثر آبیاری با پساب

در منابعی که مورد بررسی قرار گرفته‌اند، نتایج گوناگونی دیده می‌شود. برخی تراکم آلاینده‌ها در خاک را عاملی برای افزایش هدایت هیدرولیک غیراشباع، تخلخل خاک و نیز فراوانی کرم‌های خاکی می‌دانند و معتقدند که فعالیت‌های زیستی منجر به ایجاد کرم‌راهه‌های مناسب برای انتقال مواد و املاح می‌شود (آبابسا و همکاران، ۲۰۲۰). در عوض، برخی نتیجه گرفته‌اند که جرم مخصوص ظاهری و درصد رس خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به خاک‌های شاهد، کاهش معنی‌داری دارد (یزدانی و همکاران (۱۳۹۳). افزون بر اینها، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، تنفس میکروبی و پتاسیم قابل دسترس بیشترین کاهش را در اثر آبیاری با پساب دارند (حاجی‌نمکی و همکاران، ۱۳۹۹). در هر حال، به نظر می‌رسد که هنوز پژوهش‌های بیشتری در این مورد، به ویژه در درازمدت نیازمند است.

۱۳-۱٤- تأثیر پساب بر محصولات کشاورزی

همان گونه که گفته شد، آبیاری با پساب می‌تواند بر زیست توده گیاهی و تغییر حجم گیاه، دراز شدن ریشه‌ها، تغییرات در فتوسنتز گیاهی و اختلال در سوخت و ساز گیاه، تغییر در مقدار جذب آب و مواد غذایی، آسیب رسانی به لیپیدها در گیاه، اختلال در فعالیت‌های آنزیمی، کاهش جوانه زنی بذر، اختلال در جذب مواد معدنی، اختلال در تنفس گیاه، تغییر مقدار رنگدانه در برگ ها، آسیب به دی‌ان‌ای گیاه و پدید آوردن اختلال ژنتیکی و ساخت پروتئین گیاهی تاثیر داشته باشد.

بیشتر این موارد، نتیجه تغییرات زیستی گیاه است. آنچه که بیش از همه به آب ارتباط دارد، در زیر بیان شده است.

۱۳- ۱٤-۱- اثر پساب بر عملکرد گیاهان

نتیجه چند مطالعه انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر عملکرد محصولات در جدول ۱۳- ۱۰ خلاصه شده است. در یک جمع بندی می‌توان گفت که بیشتر پژوهشگران به این نتیجه رسیده‌اند که آبیاری با پساب، به افزایش عملکرد می‌انجامد. ونگ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از نتایج ۶۲ پژوهش به نتایج زیر دست یافته‌اند:

- به طور میانگین، مزارعی که با پساب آبیاری شده‌اند، با افزایش عملکرد ۱۹/۷ درصدی روبرو بوده‌اند؛
- آبیاری با مخلوطی از آب و پساب فاضلاب شهری، عملکرد را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد؛
- استفاده از پساب فاضلاب صنعتی باعث کاهش عملکرد می‌شود؛ هر چند که این کاهش زیاد نیست؛ و
- اثربخشی استفاده از پساب به شیوه استفاده، زمان و کاربرد کود بستگی دارد.

۱۳- ۱٤-۲- اثر پساب بر کیفیت محصول

کیفیت محصول با کم و زیاد شدن عناصر در درون گیاه تغییر می‌کند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از پساب در آبیاری، به افزایش غلظت برخی از عناصر در قسمت‌های گوناگون برخی از گیاهان می‌انجامد. این که افزایش این عناصر در درون گیاه کیفیت آن را بهبود می‌بخشد یا آن را تخریب می‌کند، بستگی به عنصر و گیاه مورد نظر دارد. در این راستا، نوع مصرف نیز اهمیت زیاد دارد. به عنوان نمونه، اهمیت استفاده از ذرت علوفه‌ای برای سوخت زیستی، با استفاده از آن برای

مصرف علوفه دام متفاوت است؛ مقدار بیش ازاندازه نیتروژن می‌تواند برای سوخت زیستی بی‌اثر باشد ولی در خوراک دام مشکلی را برای دام ایجاد کند. نتیجه چند مطالعه انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر کیفیت محصولات در جدول ۱۳- ۱۱ خلاصه شده است.

جدول ۱۳- ۱۰ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر عملکرد محصول

پژوهش	محصول	تغییرات	ملاحظات
مائور و همکاران (۱۹۹۵)	مرکبات	افزایش	
کیزیل اوغلو و همکاران (۲۰۰۸)	گل کلم و کلم قرمز	افزایش	عملکرد نسبت به استفاده تلفیقی از آب‌های متعارف کشاورزی و کود شیمیایی، بسیار بیشتر بود
توسلی و همکاران (۱۳۸۹)	ذرت علوفه ای	افزایش	
سیرلی و همکاران (۲۰۱۲)	گوجه‌فرنگی و بادمجان	افزایش	افزایش ۲۰ درصدی
هیریچ و همکاران (۲۰۱۳)	ذرت شیرین	افزایش	
بدیعی و همکاران (۱۳۹۵)	گندم	افزایش	استفاده از فاضلاب خام باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، تعداد پنجه‌های بارور، تعداد کل دانه و عملکرد دانه شد.
زارع میرک‌آباد و همکاران(۱۳۹۵)	ذرت	افزایش	آبیاری با پساب سبب افزایش وزن تر و خشک‌اندام هوایی و ریشه گیاه نسبت به آب معمولی شد
الفانسی و همکاران (۲۰۱۸)	یونجه	افزایش	
خانپایی و همکاران (۲۰۲۰)	گندم، جو و ذرت علوفه‌ای	افزایش	افزایش عملکرد گندم، جو و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۱/۳۲، ۱/۲۱ و ۱۶/۵۱ تن در هکتار
چاگانتی و همکاران (۲۰۲۰)	سورگوم	بدون تغییر	تفاوت معنی‌داری بین بازده زیست توده سورگوم در آبیاری با آب‌های شیرین و فاضلاب وجود نداشت.
سامارا و همکاران (۲۰۲۰)	جو	افزایش	
عرفانی و همکاران (۱۳۸۱)	کاهو	افزایش	همراه با افزایش فلزات سنگین در خاک
وانگ و همکاران (۲۰۰۷)	کرفس، گندم، ذرت، ارزن، کلزا و لوبیای زرد	افزایش	
چوپان و همکاران (۱۳۹۹)	پنبه	افزایش	بیشترین عملکرد مربوط به اختلاط آب آبیاری و پساب به طور مساوی بود.

جدول ۱۳- ۱۱- نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر کیفیت محصول

پژوهش	محصول	تغییرات	ملاحظات
اللحام و همکاران (۲۰۰۳)	گوجه‌فرنگی	پس رفت	کاهش جامدات محلول و ثبات و استحکام میوه
نظری و همکاران (۱۳۸۵)	گندم، جو و ذرت	پس رفت	افزایش غلظت نیتروژن در ذرت، افزایش غلظت آهن، روی، منگنز و مس در همه گیاهان
فنگ کان و همکاران (۲۰۰۸)	گندم	بهبود	پروتئین خام و گلوتن آرد گندم بهبود یافت
الفانسی و همکاران (۲۰۱۸)	گوجه‌فرنگی	بهبود	افزایش آنزیم‌های آنتی اکسیدان، کاهش هدایت روزنه‌ای و کلروفیل
کاکماکچی و ساهین (۲۰۲۰)	ذرت علوفه ای		افزایش نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، بور و آهن در گیاه به ترتیب ۲۸، ۲۸، ۲۶، ۱۲، ۴۷، ۲۳ و ۲۴ درصد

۱۳-۱٤-۳- آبیاری با پساب و افزایش فلزات و فلزات سنگین در گیاه

نتیجه چند مطالعه انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر افزایش فلزات و فلزات سنگین در جدول ۱۳- ۱۲ خلاصه شده است. نتایج به دست آمده در برخی موارد یکدیگر را تایید نمی‌کنند. بی‌تردید کیفیت پساب، بافت خاک، مقدار پساب آبیاری شده، بارش و بسیاری عوامل دیگر در این موضوع دخالت دارند و نمی‌توان انتظار داشت که گوناگونی نتایج وجود نداشته باشد.

بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که خاک آبیاری شده با فاضلاب دارای غلظت بسیار بالاتری از فلزات سنگین در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب معمولی است. همچنین غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی (۰ تا ۲۰ سانتی متر) بسیار بیشتر از خاک زیرین است. مطالعات گواه بر این است که آلودگی قابل توجهی از فلزات سنگین در خاک مناطقی که از فاضلاب تصفیه نشده استفاده کنند روی می‌دهد. بخشی از این آلودگی‌ها به گیاه نیز می‌رسد. گمان می‌رود که ریشه‌ها توان جذب بیشتری دارند و همزمان مانعی برای انتقال آنها به بافت‌های دیگر هستند.

در بسیاری از این پژوهش‌ها گفته شده که استفاده از فاضلاب در بخش کشاورزی می‌تواند سلامت مصرف کنندگان را به خطر بیندازد. آبیاری محصولات خوراکی با استفاده از پساب باید با نظارت مستمر به منظور محافظت از سلامت انسان انجام شود.

جدول ۱۳- ۱۲ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر فلزات سنگین درون گیاه

پژوهش	تغییرات	گیاه	ملاحظات
منگ و همکاران (۲۰۲۲)	افزایش	گندم و سبزیجات	مقادیر زیاد کادمیم، کروم، سرب و آرسنیک در ریشه انباشته شده بود. میانگین غلظت‌های Cd، Pb و As در سبزیجات بالاتر ازاندازه مجاز و میانگین غلظت مس، روی و کروم کمتر از مقدار مجاز در چین بود.
فیضی (۱۳۸۰)	افزایش	ذرت علوفه ای	پساب سبب افزایش غلظت عناصر آهن و منگنز در ذرت علوفه‌ای شد. آبیاری تناوبی (اختلاط پساب با آب معمولی و کاربرد یک در میان پساب و آب معمولی) غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه را کاهش داد.
ماپاندا و مانگوینا (۲۰۰۵)	افزایش شدید	سبزیجات	آزمون بلند مدت. کاشت سبزیجات در شرایط کاربرد پساب در درازمدت توصیه نشد.
روسان و همکاران (۲۰۰۷)	افزایش		استفاده بلندمدت از پساب منجر به کاهش زیست‌توده تولیدی گیاهان شد. در گیاهان آبیاری شده با فاضلاب، به‌ویژه به مدت ده سال، غلظت بالاتر از حد مجاز سرب و کادمیوم مشاهده شد.
رضوانی‌مقدم و همکاران (۱۳۸۸)	افزایش	ذرت، سورگوم و ارزن علوفه‌ای	تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد پنجه در هر بوته و عملکرد علوفه خشک نشان داد.
جلالی و همکاران (۱۳۸۹)	افزایش	سورگوم	آبیاری با پساب در کل دوره رشد و پس از آن در آبیاری یک در میان (آب معمولی و پساب) باعث انباشت بیشترین مقدار فلزات سنگین گردید.
بیگی هرچگانی و بنی طالبی (۱۳۹۲)	افزایش	گندم و ذرت	غلظت کادمیوم، کروم و سرب در دانه گندم و ذرت فراتر از حد مجاز اتحادیه اروپا بود. شاخص خطر سرب برای کودکان و بزرگ‌سالان در گندم و ذرت و شاخص خطر کادمیوم برای کودکان در ذرت، جدی و فزاینده بود.
علی‌محمدی (۱۳۹۴)	بدون تغییر		

ادامه جدول ۱۳- ۱۲ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر فلزات سنگین درون گیاه

پژوهش	تغییرات	گیاه	ملاحظات
عسگری و کرنلیس (۲۰۱۵)	بدون تغییر	ذرت و گندم	غلظت مس، سرب و روی، در حد استانداردهای دفتر حفاظت محیط‌زیست آمریکا بود. غلظت کادمیوم در ذرت و گندم، و نیز غلظت کروم در ذرت، بالاتر از حد استاندارد دفتر حفاظت محیط‌زیست آمریکا بود.
منگ و همکاران (۲۰۱۶)	افزایش	گندم	آزمون درازمدت. ریشه گیاه گندم بیشترین مقدار فلزات را جذب کرد.
الفانسی و همکاران (۲۰۱۸)	بدون تغییر	یونجه	آزمون کوتاه مدت.
کاکماکچی و ساهین (۲۰۲۰)	افزایش	ذرت علوفه‌ای	فلزات سنگین مس، منگنز، روی، سرب، کادمیوم، کروم و نیکل بین ۷۵ تا ۷۷۰ درصد در گیاه افزایش یافت.
خانپایی و همکاران (۲۰۲۰)		گندم، جو و ذرت علوفه‌ای	سرب در دانه و ساقه گندم و جو ناچیز بود. غلظت کادمیوم بیشتر از حد مجاز بود. کلسیم، منیزیم و سدیم بالا بود. لیکن این عناصر در سلامت انسان تأثیر منفی ندارند.
محفوظ و همکاران (۲۰۲۰)		ذرت، برنج، گندم، نیشکر و ارزن	سرب و روی از مقادیر مجاز استاندارد فائو بالاتر بود. رابطه نزدیکی بین استفاده از پساب و غلظت فلزات سنگین در محصولات و خاک دیده شد.
حاتمیان و همکاران (۱۳۹۸)		گندم و جو	غلظت فلز سنگین سرب در دانه جو بیشتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی بود. کادمیوم در دانه‌های دو گیاه اختلاف معنی‌داری نداشت، لیکن غلظت سرب در دانه جو بیشتر از گندم بود.
ساماراو همکاران (۲۰۲۰)	بدون تغییر	جو	غلظت فلزات سنگین روی، کادمیوم و سرب در خاک و دانه جو در اثر آبیاری با پساب افزایش پیدا نکرد.
چاووا و همکاران (۲۰۱۹)	افزایش		غلظت فلزات سنگین در کلیه نمونه‌ها از بیشتر به کمتر به ترتیب روی، سرب، مس و کادمیوم بود. شاخص ریسک سلامت برای سرب و کادمیوم نشان دهنده خطر برای سلامتی بود. خاک‌های آبیاری شده کم و بیش از روی، مس، سرب و کادمیوم غنی بودند ولی غلظت آن‌ها در محصولات در حد مجاز فائو و سازمان بهداشت جهانی بود.
محمود و همکاران (۲۰۲۰)	افزایش		غلظت آهن، سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در محصولات حاصل از آبیاری با پساب به نسبت محصولاتی که با آب معمولی آبیاری می‌شدند، بسیار بیشتر بود.
اینزدیاگوا و همکاران، ۲۰۲۰	افزایش	سیب زمینی	

ادامه جدول ۱۳- ۱۲ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر فلزات سنگین درون گیاه

پژوهش	تغییرات	گیاه	ملاحظات
عطاملکی و همکاران (۲۰۲۱)	افزایش	کاهو و گشنیز	ترتیب عناصر بالقوه زیانبار در کاهو از زیاد به کم به ترتیب آهن، روی، مس، نیکل، سرب، کروم و کادمیوم و برای گشنیز به ترتیب آهن، روی، کروم، نیکل، مس، سرب و کادمیوم بودند. این مقادیر برای بزرگسالان در بیشترکشورها و برای کودکان در همه کشورها بیش از حد مجاز بود.
چن و همکاران (۲۰۲۱)		گندم	کبالت در تمامی‌نمونه‌های خاک و گیاه گندم در محدوده مجاز قرار داشت. غلظت زیاد کبالت در آبیاری با پساب در خاک و گیاه نشان داد که استفاده مداوم از این نوع آب ممکن است با گذشت زمان منجر به مسمومیت کبالت در موجودات زنده شود.
اسلیما و همکاران (۲۰۲۰)		نخود	آبیاری با پساب موجب افزایش فلزات سنگین در خاک و گیاه نخود شد. کاهش معنی داری در پارامترهای رشد نخود و مقدار کلروفیل و کاروتنوئید در برگ نخود ثبت شد. مقدار جذب شده فلزات سنگین توسط دانه‌ها (بخش‌های خوراکی) ثبت شد (Cd = ۷۵/۶، Cu =۹/۷ ، Cr =۲۹/۸ ، Fe = ۱۲۳/۶ ، Mn= ۸۲/۲ ، Ni = ۲۶/۸، Pb= ۱۳۱/۴ و Zn= ۳۵/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم). غلظت کادمیوم، کروم، آهن و سرب در بذر در محدوده مسمومیت گیاهی بود.
لیو و همکاران (۲۰۲۱)		سبزیجات ، غلات و باغ	بررسی در ۵۳۵ سایت. ۹۲ درصد از نمونه‌های گیاهی طبق استاندارد کنترل خطر چین آلوده نبودند. خاک مزارع سبزی بیشتر آلوده بود. خطر اصلی مربوط به کروم و کادمیوم بود. بر پایه استاندارد چین مصرف محصولات برای کودکان خطرناک است، لیکن برای بزرگسالان خطری وجود ندارد.
نواز و همکاران (۲۰۲۱)		گندم	خطر کادمیوم وجود داشت. خطر بهداشتی نیکل و کروم به حد آستانه خود نرسیده بود. آبیاری با پساب به میزان قابل توجهی انباشت فلزات را در گندم افزایش داده و خطرات بالقوه برای سلامتی کودکان و بزرگسالان فراهم می‌کرد.
ناتاشا و همکاران (۲۰۲۱)	بدون تغییر	گندم	خطرات احتمالی سلامتی برای گندم برای کودکان نشان داد. در حالی که برای سایر محصولات غذایی هیچ خطری وجود نداشت.
گوادی و همکاران (۲۰۲۱)		سبزیجات (کاهو، کلم و گوجه فرنگی)	در سبزیجات، غلظت فلزات سنگین به ترتیب بیشتر به کمترعبارت بود از: آهن، منگنز، روی، سرب، مس و کادمیوم. ذخیره فلزات سنگین از بیشتر به کمتر میوه، برگ، ریشه و ساقه بودند. در سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده مقدار سرب و کادمیوم بیش از حد مجاز بود.

ادامه جدول ۱۳- ۱۲ - نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر فلزات سنگین درون گیاه

پژوهش	تغییرات	گیاه	ملاحظات
لتشونیو و همکاران (۲۰۲۰)	افزایش	اسفناج	برخی از فلزات سنگین در تمامی‌اندام‌ها وجود داشت. انباشت زیستی در ریشه‌ها و ساقه‌ها خطرناک بود. سه فلز مس، آهن و روی بیشترین توان جابجایی را در ساقه داشتند. به عکس، فلزات سنگین آرسنیک، کروم، نیکل، منگنز و سرب بیشترین جابجایی را در برگ در مقایسه با ساقه داشتند.
انوار و همکاران (۲۰۲۱)		ماش	انباشت فلزات سنگین بیشتر در ریشه‌ها بوده و کمتر به ساقه‌های گیاه منتقل شد. مقادیر مشاهده شدهٔ آرسنیک، کادمیوم و سرب در دانه ماش خطر سلامتی برای انسان را نشان می‌داد. در مناطق با سطح بالای فلزات سنگین در پساب و آب‌های معمولی، اختلاط آنها یک روش مدیریت ایده آل نیست.
محمود و همکاران (۲۰۲۰)	افزایش	سبزیجات	غلظت فلزات در سبزیجات آبیاری شده با پساب در مقایسه با سبزیجات آبیاری شده با آب چاه بیشتر بود. ترتیب انباشت عناصر در سبزیجاتی که با پساب آبیاری می‌شدند، از بیشتر به کم‌تر به ترتیب پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم و آهن بود. در حالی که در سبزیجات آبیاری شده با آب چاه، این ترتیب از بیشتر به کمتر به ترتیب پتاسیم، کلسیم، سدیم، منیزیم و آهن بود. انباشت فلزات سنگین در سبزیجات برگ‌دار در مقایسه با سبزیجات غیربرگی، بیشتر بود.
سایو و همکاران (۲۰۲۰)	افزایش	سبزیجات	میانگین غلظت عناصر مس، روی، کادمیوم و سرب در پساب بالاتر از سطح مجاز سازمان بهداشت جهانی بود. به دلیل استفاده مداوم از پساب برای آبیاری، ممکن است انباشت تدریجی فلزات سنگین در سبزیجات در حال رشد شود.

۱۳-۱۵- تأثیر پساب بر آلودگی آب زیرزمینی

نتیجه چند مطالعه انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر آلودگی آب زیرزمینی در جدول ۱۳-۱۳ خلاصه شده است. ترکیب شیمیایی آب آبیاری، همراه با زمین شناسی و کاربری اراضی، عمق سطح ایستابی و نیز الگوهای بارش منطقه، نقش مهمی‌در کیفیت آبی دارند که به سفره زیرزمینی می‌رسد. آبیاری با پساب، در درازمدت، تمامی‌پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به طور کلی، آبیاری با پساب می‌تواند منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط نیتروژن، فسفر و باکتری‌های کلیفرم شود. از آنجا که فلزات سنگین، بیشتر در لایه‌های سطحی باقی می‌مانند،

خطر آلودگی آب زیرزمینی با فلزات سنگین کمتر است؛ هر چند که مقداری از آنها نیز می‌توانند در درازمدت به آب زیرزمینی بپیوندند. در هر حال، آبیاری با آب با کیفیت پایین به مرور بر آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار خواهد بود.

جدول ۱۳- ۱۳- نتایج چند پژوهش انجام شده در باره اثر آبیاری با پساب بر کیفیت آب زیرزمینی

پژوهش	محل	نتیجه
گوینزی و موناندو (۲۰۰۸)		پژوهش بلند مدت. آبیاری با پساب تمامی‌پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. به طور کلی، آبیاری با پساب منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط N، P و باکتری‌های کلیفرم شد.
گالیتسکایا و همکاران (۲۰۱۷)	حیدرآباد (هند) و مسکو (روسیه)	در حیدرآباد به دلیل فعالیت چندین واحد صنعتی، غلظت فلزات سنگین نظیر کادمیوم، مس، قلع و روی در خاک افزایش یافته است. در مقابل، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که آلودگی ناشی از فلزات سنگین در منابع آب محدود بوده و خطر جدی را به وجود نیاورده است. مطالعه با مدل هایدروس.
نجاتی جهرمی‌و همکاران (۱۳۹۷)	ورامین، ایران	آلودگی آبخوان ورامین نسبت به فلزات سنگین در اکثر بخش‌ها خطرناک نیست، لیکن در بخش‌هایی تغییرات شدید در غلظت برخی فلزات قابل مشاهده است. با توجه به تداوم وجود منابع آلودگی در دشت ورامین، می‌توان انتظار داشت که در درازمدت خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی نسبت به فلزات سنگین ادامه یابد.
تیروچلو و همکاران (۲۰۲۰)	مادورای، هند	آب زیرزمینی تحت تأثیر آلودگی شدید است. در حالت کنونی، غلظت عناصر کمیاب در پساب، خاک و گیاهان در حد استاندارد است، لیکن اگر روند استفاده از پساب ادامه یابد، به زودی منطقه مورد مطالعه با تأثیرات شدید زیست‌محیطی و سلامت انسان روبرو می‌شود.
جامپانی و همکاران (۲۰۲۰)	حیدرآباد، هند	ژئوشیمی‌آب زیرزمینی حوضه تا حد زیادی با آبیاری درازمدت فاضلاب، الگوهای بارشی محلی و فعل و انفعالات آب و خاک کنترل می‌شود.
ابوزید و همکاران (۲۰۲۱)	دلتای نیل، مصر	pH، کلسیم، منیزیم، آهن ، سدیم، مس، منگنز، نیکل و روی با توجه به استانداردهای آب آشامیدنی مصر و WHO در حد مجاز بود. تعداد باکتری‌های کلیفرم کل از حد ایمنی فراتر رفت. هیچ خطر بالقوه سرطانی برای بزرگسالان در سه سایت نمونه‌گیری مشاهده نشد، در حالی که کودکان در سایت‌های آبیاری با زهاب، خطرات بهداشتی نامطلوبی را متحمل می‌شوند. این پژوهش مربوط به زهاب است و پساب فاضلاب شهری مورد توجه نبوده است.
فرید و همکاران (۲۰۲۰)		آبیاری با آب با کیفیت پایین به مرور بر آب‌های زیرزمینی منطقه تأثیرگذار خواهد بود.
کاس و همکاران (۲۰۰۵)	اسراییل	ترکیب شیمیایی آب آبیاری، همراه با سنگ‌شناسی و کاربری اراضی نقش مهمی‌در تعیین کیفیت آبی که به سمت سفره آب زیر مزارع کشاورزی جریان پیدا می‌کند را دارد.

ترکیب شیمیایی آب آبیاری، همراه با زمین شناسی و کاربری اراضی و نیز الگوهای بارش منطقه، نقش مهمی‌در کیفیت آبی دارند که به سفره زیرزمینی می‌رسد. آبیاری با پساب، در درازمدت، تمامی‌پارامترهای کیفی آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به طور کلی، آبیاری با پساب می‌تواند منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط نیتروژن، فسفر و باکتری‌های کلیفرم شود. از آنجا که فلزات سنگین، بیشتر در لایه‌های سطحی باقی می‌مانند، خطر آلودگی آب زیرزمینی با فلزات سنگین کمتر است؛ هر چند که مقداری از آنها نیز در درازمدت به آب زیرزمینی می‌پیوندند. در هر حال، آبیاری با آب با کیفیت پایین به مرور بر آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار خواهد بود.

۱۳-۱۶- پارامترهای پر اهمیت کیفیت آب آبیاری درکشاورزی

کیفیت آب آبیاری در مناطق خشک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مناطق، دمای بالا و رطوبت نسبی پایین، نرخ تبخیر از سطح خاک را بالا می‌برد و نمک را در نیمرخ خاک باقی می‌گذارد. ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک مانند پراکندگی ذرات، پایداری سنگدانه‌ها، ساختمان خاک و نفوذپذیری به نوع یون‌های قابل تبادل موجود در آب آبیاری بسیار حساسند. بنابراین، زمانی که استفاده از پساب در حال برنامه ریزی است، چندین عامل مرتبط با ویژگی‌های خاک باید در نظر گرفته شود. یکی از شناخته شده ترین مبانی توسط فائو (آیرز و وستکات، ۱۹۸۵) تهیه شده است که در نشریه آبیاری و زهکشی فائو شماره ۲۹ موجود است. هر چند این سند تا اندازه‌ای قدیمی‌است، لیکن همچنان مورد پذیرش و استفاده است (جدول ۱۳- ۱۴).

جدول ۱۳- ۱٤ - طبقه بندی کیفیت آب برای آبیاری

Parameter		Units	Degree of restriction on use		
			None	Slight to moderate	Severe
Salinity EC_w[a]		dS/m	<0.7	0.7–3.0	>3.0
TDS		mg/l	<450	450–2000	>2000
TSS		mg/l	<50	50–100	>100
SAR[b]	0–3	meq/l	>0.7 EC_w	0.7–0.2 EC_w	<0.2 EC_w
SAR	3–6	meq/l	>1.2 EC_w	1.2–0.3 EC_w	<0.3 EC_w
SAR	6–12	meq/l	>1.9 EC_w	1.9–0.5 EC_w	<0.5 EC_w
SAR	12–20	meq/l	>2.9 EC_w	2.9–1.3 EC_w	<1.3 EC_w
SAR	20–40	meq/l	>5.0 EC_w	5.0–2.9 EC_w	<2.9 EC_w
Sodium (Na^+)	Sprinkler irrigation	meq/l	<3	>3	
Sodium (Na^+)	Surface irrigation	meq/l	<3	3–9	>9
Chloride (Cl^-)	Sprinkler irrigation	meq/l	<3	>3	
Chloride (Cl^-)	Surface irrigation	meq/l	<4	4–10	>10
Chlorine (Cl_2)	Total residual	mg/l	<1	1–5	>5
Bicarbonate (HCO_3^-)		mg/l	<90	90–500	>500
Boron (B)		mg/l	<0.7	0.7–3.0	>3.0
Hydrogen sulfide (H_2S)		mg/l	<0.5	0.5–2.0	>2.0
Iron (Fe)	Drip irrigation	mg/l	<0.1	0.1–1.5	>1.5
Manganese (Mn)	Drip irrigation	mg/l	<0.1	0.1–1.5	>1.5
Total nitrogen (TN)		mg/l	<5	5–30	>30
pH			Normal range 6.5–8		
Trace elements (see Table A1.2)					

TDS, total dissolved solids; TSS, total suspended solids
Sources: Ayers & Westcot (1985); Pescod (1992); Asano & Levine (1998).
[a] EC_w means electrical conductivity in deciSiemens per metre at 25 °C.
[b] SAR means sodium adsorption ratio ($[meq/l]^{1/2}$).

سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۶

یکی از جنبه‌های نگرانی کشاورزی، تأثیر مواد جامد محلول (TDS) در آب آبیاری بر رشد گیاهان است. نمک‌های محلول، پتانسیل اسمزی آبِ خاک را افزایش می‌دهند و افزایش فشار اسمزی محلول خاک باعث افزایش انرژی‌ای می‌شود که گیاهان برای جذب آب از خاک باید صرف کنند. با افزایش فشار اسمزی، رشد و عملکرد بیشترگیاهان به آرامی کاهش می‌یابد. اگرچه بیشتر گیاهان،

به شوری به عنوان تابعی از پتانسیل اسمزی کل آبِ خاک پاسخ می‌دهند، برخی از گیاهان به مسموم کنندگی یونی خاص نیز حساس هستند. بسیاری از یون‌هایی که در غلظت‌های تااندازه‌ای پایین، بی‌ضرر یا حتی مفید هستند، ممکن است در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمی‌شوند. این کار، یا از طریق تداخل مستقیم با فرآیندهای سوخت و ساز(متابولیک)، یا از طریق تأثیرات غیرمستقیم بر سایر مواد مغذی، انجام می‌شود.

پارامترهای مهم کیفیت آب کشاورزی شامل آنهایی هستند که بر عملکرد، کیفیت محصول، حفظ بهره وری خاک و حفاظت از محیط‌زیست تاثیر می‌گذارند. جدول ۱۳- ۱۴ فهرستی از برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مهمی‌که در ارزیابی کیفیت آب کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد را ارائه می‌کند.

۱۳-۱۷- استفاده از فاضلاب در کشاورزی

اقدامات حفاظتی بهداشتی که می‌تواند در استفاده از فاضلاب برای مصارف کشاورزی اعمال شود، شامل موارد زیر به صورت تک به تک یا ترکیبی از آنها است:

- تصفیه فاضلاب؛
- محدود کردن نوع محصول؛
- کنترل درکاربرد فاضلاب؛ و
- کنترل در رویارویی انسان با فاضلاب و بهبود بهداشت.

در گذشته، به طور گسترده‌ای کنترل‌ها بر تصفیه فاضلاب متمرکز بود. در این راستا، محدود کردن نوع محصول نیز مورد توجه قرار می‌گرفت. رویکرد یکپارچه تر برای برنامه ریزی استفاده از پساب در کشاورزی، از ترکیب بهینه اقدامات حفاظتی بهداشتی، محدودیت‌های خاک/گیاه و شرایط اجتماعی-فرهنگی برای رسیدن به یک سیستم اقتصادی مناسب استفاده می‌کند.

فائو اعتقاد دارد که برای دستیابی به امکان‌پذیری بیشتر در استفاده از کاربرد پساب، باید روش‌ها و یا سامانه‌های نوینی از آبیاری توسعه داده شوند تا بتوانند پساب با کیفیت پایین را مورد استفاده قرار دهند.

۱۳- ۱۷-۱- کنترل رویارویی انسان با فاضلاب

هدف از این کار جلوگیری از تماس مستقیم گروه‌های جمعیتی با عوامل بیماری زا در فاضلاب است. چهار گروه در استفاده کشاورزی از فاضلاب با خطر روبرو هستند:

- کارگران کشاورزی و خانواده‌های آنها؛
- کنترل کننده‌ها و حمل کنندگان محصول؛
- مصرف کنندگان محصولات زراعی، گوشت و شیر و...؛ و
- کسانی که در نزدیکی مناطقی که با فاضلاب آبیاری می‌شود، زندگی می‌کنند.

برای کنترل هر یک از این گروه‌ها، می‌توان روش‌های گوناگونی را به کار برد. اقدامات کنترلی با هدف حفاظت از کارگران مزرعه و دست‌اندرکاران تولید محصولات کشاورزی شامل تهیه لباس‌های محافظ و اصرار بر پوشیدن آنها، همراه با حفظ سطح بالایی از بهداشت، و ایمن سازی در برابر عفونت‌هایی است که ممکن است واکسن داشته باشند. خطرات برای مصرف کنندگان را می‌توان با پختن محصولات کشاورزی قبل از مصرف و با استانداردهای بالای بهداشت مواد غذایی کاهش داد. آموزش بهداشت مرتبط با طرح‌های استفاده از فاضلاب را باید جدی گرفت. ساکنان محلی باید به طور کامل در مورد استفاده از فاضلاب در کشاورزی آگاه شوند تا خود و فرزندانشان بتوانند از مناطق پرخطر دوری کنند. اگرچه شواهدی وجود ندارد که نشان دهد کسانی که در نزدیکی مزارع آبیاری شده با فاضلاب زندگی می‌کنند، رویاروی خطر قابل توجهی هستند، از آبپاش‌های آبیاری نباید تا فاصله ۱۰۰ متری خانه‌ها یا جاده‌ها استفاده کرد. در طرح‌های استفاده از فاضلاب همواره باید دقت ویژه‌ای صورت گیرد تا اطمینان حاصل شود که کارگران کشاورزی یا

مردم از فاضلاب برای مصارف شرب یا خانگی به‌طور تصادفی، یا به دلیل نبود جایگزین، استفاده نکنند. تمام کانال‌ها، لوله‌ها و خروجی‌های فاضلاب باید به روشنی مشخص شده و رنگ مشخصی داشته باشند.

۱۳-۱۸- آبیاری با پساب

در سطح مزرعه، برای موفقیت کشاورزی آبی باید شرایط اساسی زیر رعایت شود:

- آب به مقدار لازم مصرف شود؛
- آب از کیفیت قابل قبولی برخوردار باشد؛
- مصرف آب به درستی برنامه ریزی شود؛ یعنی چه موقع و به چه مقدار آبیاری شود؛
- از روش آبیاری مناسب استفاده شود؛
- با آبشویی کافی، از انباشت نمک در ناحیه ریشه پیش‌گیری شود؛
- با زهکشی مناسب از بالا آمدن سطح آب پرهیز شود؛ و
- مواد مغذی مورد نیاز گیاه به روشی بهینه در اختیار قرار داده شود.

در استفاده از فاضلاب تصفیه شده، یا پساب نیز باید همین موارد رعایت گردد. مواد مغذی موجود در پساب تصفیه شده فاضلاب شهری دارای این برتری ویژه است که می‌تواند بخشی از نیازهای غذایی گیاه را پاسخگو باشد، تااندازه‌ای که گاه گیاه را از کودهای مکمل لازم بی نیاز کند. بدیهی است زمانی که منبع آب آبیاری همان فاضلاب تصفیه شده باشد، لازم است الزامات زیست‌محیطی و بهداشتی اضافی نیز در نظر گرفته شود.

۱۳- ۱۸- ۱- مقدار آب مصرفی

بیش از ۹۹ درصد از آب جذب شده توسط گیاهان در اثر تعرق از سطح گیاه و تبخیر از سطح خاک از بین می‌رود. بنابراین، از دیدگاه علمی‌و عملی، نیاز آبی محصولات کشاورزی برابر با نیاز تبخیر و تعرق آنها است. نیاز تبخیر و تعرق گیاه توسط عوامل اقلیمی‌تعیین می‌شود. از این روست که می‌توان

مقدار تبخیر و تعرق را با استفاده از داده‌های هواشناسی با دقت قابل قبولی تخمین زد. نرم افزاری در موسسه تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی در دسترس هست که می‌توان با آن تبخیر و تعرق گیاهان را در دشت‌های ایران برآورد کرد. باید در نظر داشت که مقدار واقعی آب آبیاری مورد استفاده باید برای بارندگی موثر، نیاز آبشویی، تلفات کاربرد و سایر عوامل تنظیم شود.

۱۳- ۱۸- ۲- کیفیت آب مصرفی

در این مورد در همین فصل و جلد دوم کتاب به‌اندازه کافی سخن گفته شده و از تکرار آن در اینجا پرهیز می‌شود.

۱۳-۱۸-۳- برنامه ریزی آبیاری

برای به دست آوردن بیشترین عملکرد، آبیاری باید پیش از رسیدن رطوبت خاک به‌اندازه‌ای معین انجام گیرد؛اندازه‌ای که درآن نرخ تبخیر و تعرق واقعی کمتر از پتانسیل آن نباشد. به عبارت دیگر، آبیاری زمانی انجام گیرد که هنوز گیاه دچار این حالت نشده باشد که بخواهد تبخیر و تعرق انجام دهد، ولی در اثر کمبود آب نتواند آبی را جذب کند.

رابطه عملکرد واقعی و بیشترین عملکرد ممکن گیاه با تبخیر و تعرق واقعی و بیشترین تبخیر و تعرق ممکن گیاه در رابطه زیر نشان داده شده است:

$$(1 - Y_a / Y_m) = k_y . (1- Et_a / ET_m)$$

که در آن:

Y_a = عملکرد برداشت شده واقعی؛

Y_m = بیشترین عملکرد ممکن؛

k_y = ضریب پاسخ عملکرد؛

ET_a = تبخیر و تعرق واقعی؛ و

ET_m = بیشترین تبخیر و تعرق ممکن.

برای تعیین برنامه ریزی آبیاری بهینه، چندین روش وجود دارد. عواملی که برنامه ریزی آبیاری را تعیین می‌کنند عبارتند از: ظرفیت نگهداری آب در خاک، عمق ناحیه ریشه، نرخ تبخیر و تعرق، مقدار آبی که باید در هر آبیاری مصرف شود، روش آبیاری و شرایط زهکشی.

۱۳- ۱۸- ٤- روش‌های آبیاری

روش‌های گوناگونی توسط کشاورزان برای آبیاری محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد. از نظر خیس کردن خاک، این روش‌ها را می‌توان در پنج عنوان دسته‌بندی کرد، که عبارتند از:

- **آبیاری غرقابی** که در آن آب در کل مزرعه توزیع می‌شود تا به خاک نفوذ کند؛ مانند روش سیلابی وحشی، سیلابی روی خطوط تراز، کرتی، حوضچه‌ای و غیره.
- **آبیاری جویچه‌ای** یا آبیاری نشتی که در آن آب درون جویچه‌ها و بین پشته‌ها روان می‌شود؛ مانند شیارهای مسطح ته باز و ته بسته، شیارهای روی خطوط تراز، شیارهای باریک[1] و غیره. در این روش، آب در اثر جذب سطحی و نیروی موئینه‌ای به پشته‌ها می‌رسد؛ جایی که ریشه گیاه در آن متمرکز شده است.
- **آبیاری بارانی** که در آن آب به صورت اسپری بر روی گیاه پاشیده می‌شود و بسیار شبیه باران به خاک می‌رسد. روش‌های آبیاری بارانی گوناگونند؛ مانندآبپاش‌های ثابت، آبیاری با توان جابجایی و ماشین‌هایی مانند دوار مرکزی[2]، آبیاری با آبپاش‌های متحرک[3]، آبپاش‌های با حرکت خطی [4] و غیره.

1 Corrugation
2 Center pivot
3 Travelling sprinklers
4 Linear move laterals

- **آبیاری زیرزمینی** که در آن آب در زیر ناحیه ریشه به گونه‌ای اعمال می‌شود که با جذب سطحی و نیروی موئینه‌ای، ناحیه ریشه را خیس می‌کند.
- **آبیاری موضعی**[1] که در آن آب در اطراف یک یا چند گیاه ریخته می‌شود تا فقط به صورت موضعی، ناحیه ریشه را خیس کند. از میان روش‌های موضعی می‌توان به آبیاری قطره‌ای، حبابی (بابلر)، پاششی (اسپری) و غیره اشاره کرد.

آبیاری غرقابی

آبیاری نشتی

آبیاری بارانی

آبیاری موضعی (قطره ای)

شکل ۱۳- ۵- روش‌های اصلی متداول آبیاری

1 Localized irrigation (Trickle irrigation)

۱۳-۱۸-۵- روش مناسب آبیاری برای استفاده از پساب

پریرا و همکاران (۲۰۰۲) در پژوهشی نتیجه گرفتند که در استفاده از پساب، روش آبیاری مناسب آن است که خطرات مسمومیت و آلودگی ناشی از تماس برگ و میوه گیاهان با پساب، افزایش شوری خاک در ناحیه ریشه، و نیز خطرات بهداشتی مرتبط با کاربرد پساب را به کمترین مقدار برساند. الشریده (۲۰۰۱)، افزون بر این موارد، ورود کمترین مقدارآلودگی به منابع آب را از ویژگی‌های روش بهینه آبیاری با پساب دانسته است.

نتایج مطالعات گوناگون نشان داده است که سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و آبیاری بارانی به ترتیب بهترین و نامناسب‌ترین روش‌های آبیاری با پساب محسوب می‌شوند. استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای متداول و قطره‌ای زیرسطحی، بویژه در مورد محصولاتی که قسمت خوراکی آن‌ها بالاتر از سطح زمین می‌روید، توسط پژوهشگران گوناگونی مورد تأیید قرارگرفته است (آسانو، ۲۰۰۷).

مطالعات میدانی اورون و همکاران (۱۹۹۹) دلالت بر این دارد که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند یک فنّاوری امیدبخش برای مرتفع نمودن مشکلات ناشی از کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری محصولات کشاورزی باشد.

گوشیکن (۱۹۹۵) نیز در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدکه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی روشی منحصربه‌فرد و سازگار با رویکردهای دفع پساب، استفاده از فاضلاب و حفاظت از منابع آب است. کاپرا و سیکولونه (۲۰۰۷)، کمترین تماس کارگران و محصولات با پساب، تشکیل نشدن افشانه‌ها[1]، تخلیه کمتر پساب به رواناب‌های سطحی، نفوذاندک، آبشویی کمتر مواد مغذی، کاهش رشد علف‌های هرز و درنتیجه کاهش نیاز به استفاده از علف‌کش‌ها را ازجمله مزایای مهم روش‌های آبیاری قطره‌ای می‌دانند. اگرچه در تدوین معیارهای استفاده ایمن از پساب در کشاورزی به ویژگی‌های روش آبیاری چندان توجه نمی‌شود، لیکن با توجه به عملکرد خاک به‌عنوان یک فیلتر تکمیلی، استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای در کاربرد پساب، مخاطرات کمتری را به دنبال دارد.

1 Aerosols

استفاده موفق از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در آبیاری محصولات گوناگون کشاورزی با پساب، در بسیاری از نقاط دنیا گزارش‌شده است (کرون، ۱۹۹۱).

هر چند استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای با مزایای پرشماری همراه است، لیکن بالا بودن خطر گرفتگی فیلترها و خروجی‌ها و درنتیجه کاهش یکنواختی پخش آب و کاهش کارایی سامانه آبیاری از مسائلی هستند که دامنه کاربرد این روش را محدود ساخته است (کاپرا و سیکلونه، ۱۹۹۸).

گرفتگی خروجی‌ها ارتباط نزدیکی با کیفیت آب آبیاری و ساختار مسیر خروجی‌ها دارد. از همین روست که عوامل پرشمار فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌توانند گرفتگی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را تشدید کنند. به همین سبب کنترل کیفیت آب آبیاری برای کاهش خطر گرفتگی بخش‌های گوناگون سامانه آبیاری از اهمیت به سزایی برخوردار است. از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی آب و پساب که باید در این ارتباط مورد توجه قرار گیرند، می‌توان به مواد جامد معلق، غلظت مواد محلول، pH، غلظت منگنز، آهن کل، سولفید هیدروژن و نیز تراکم باکتری‌ها اشاره کرد.

کاپرا و سیکلونه (۱۹۹۸ و ۲۰۰۵) معتقدند که غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم را نیز بایستی در زمره این پارامترها به حساب آورد. نتیجه آزمایش‌های میدانی بی‌شماری که توسط پژوهشگران گوناگون در استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای در برنامه‌های کاربرد پساب انجام شده، مؤید این مطلب است که مواد جامد معلق و مقدار ماده آلی پساب، مهم‌ترین عوامل گرفتگی خروجی‌ها هستند.

برخی از پژوهشگران عقیده دارند که در بیشتر موارد، فرایندگرفتگی خروجی‌ها با تشکیل بیوفیلم‌های[1] باکتریایی آغاز می‌گردد. بیوفیلم برخی از گونه‌های باکتریایی از طریق ترسیب آهن، منگنز و مواد معدنی گوگردی موجود در پساب، گرفتگی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای را تشدید می‌کند (ساهین و همکاران، ۲۰۰۵). رشد و تکثیر ریزجانداران و تشکیل زیست‌توده یکی از مهم‌ترین عوامل گرفتگی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای در برنامه‌های استفاده از پساب دانسته شده است (ابراهیمیان و همکاران، منتشر نشده به نقل از راوینا و همکاران، ۱۹۹۷ و داژوانگ و همکاران،

1 Biofilm

۲۰۰۹). تغییر ناگهانی دما نیز می‌تواند با تحت تأثیر قرار دادن چسبندگی بیوفیلم، دبی خروجی‌ها را تغییر دهد.

بر پایه گزارش‌ها، pH به‌صورت مستقیم موجب گرفتگی نمی‌شود و تنها می‌تواند با تشدید رشد زیستی و تغییر سرعت واکنش‌های موثر، فرایندگرفتگی را تند تر کند(دهقانی سانیج و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعات گویای آن است که در شرایط pH<۷ ، گرفتگی‌اندکی در سیستم آبیاری ایجاد می‌شود و چنانچه pH در محدوده بین هفت تا هشت قرار گیرد، گرفتگی متوسط روی خواهد داد. لیکن چنانچه pH به بیش از هشت برسد، گرفتگی شدید سیستم آبیاری دور از انتظار نیست. ویژگی‌های روش‌های اصلی آبیاری در کاربرد پساب، عوامل موثر و راهکارهای پیشنهادی برای کاربرد آن در جدول ۱۳- ۱۵ ارائه شده است.

جدول ۱۳- ۱۵- ویژگی‌های روش‌های آبیاری در کاربرد پساب

روش آبیاری	عوامل موثر	راهکار ویژه برای کاربرد
غرقابی	پایین بودن هزینه، نیاز به تسطیح دقیق ندارد	به حفاظت کامل کارگران کشاورزی، جا بجا کنندگان محصولات و مصرف کنندگان نیاز دارد.
نشتی	پایین بودن هزینه، ممکن است به تسطیح نیاز داشته باشد	به حفاظت کارگران کشاورزی و تااندازه‌ای به جا بجا کنندگان محصولات و مصرف کنندگان نیاز دارد.
بارانی و اسپری	راندمان متوسط، به تسطیح نیاز ندارد، آب پاش‌هایی وجود دارند که می‌توانند آلودگی گیاه و رویارویی جوامع با عوامل بیماری زا را تا ده درصد کاهش دهند.	برخی گیاهان و به ویژه درختان میوه بیشتر در خطر هستند. فاصله آب پاش‌ها از خانه و جاده نباید کمتر از ۵۰ تا ۱۰۰ متر باشد. از پسابی که تخمیر بی هوازی شده و بو تولید می‌کند، نباید استفاده شود. آب پاش‌های جدید بادبردگی را کاهش داده‌اند و شاید بتوانند ازآلوده شدن گیاه بکاهند.
موضعی و زیرزمینی	هزینه بالا، راندمان آبیاری بالا، عملکرد بیشتر، می‌تواند آلودگی را به مقدار زیاد کاهش دهد، می‌تواند رویارویی با آلودگی گیاه و جوامع با عوامل بیماری زا را از صد تا یک میلیون برابر کاهش دهد.	لازم است از خروجی‌هایی استفاده شود که گرفتگی در آنها پیش نیاید. به تصفیه مناسب آب نیازمندند.

سازمان بهداشت جهانی(۲۰۰۶)

۱۳- ۱۸- ٦- جمع بندی

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که آبیاری با پساب می‌تواند منجر به اثرات منفی و مثبت بر ویژگی‌های خاک و باروری آن، عملکرد محصول، کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی و زیست‌بوم آبزیان شود. تأثیر پساب بستگی به غلظت مواد شیمیایی، حلالیت و ویژگی مسموم کنندگی ذاتی ترکیبات شیمیایی موجود در پساب، شدت کاربرد پساب، نوع محصول، ویژگی‌های خاک، آسیب‌پذیری آبخوان، شرایط آب و هوایی، سطح فناوری و وضعیت اجتماعی کشاورزان دارد. مهم‌ترین نگرانی در کاربرد پساب در اراضی کشاورزی، مسائل بهداشتی (عوامل بیماری‌زا مانند کلیفرم‌ها) است که باید مورد توجه جدی باشد. آلودگی فلزات سنگین هم می‌تواند چالش دیگر کاربرد پساب به حساب آید. هرچندکه در برخی از مطالعات اشاره شده است که پساب‌های شهری (نه صنعتی) حاوی مقادیراندکی از فلزات سنگین است، لیکن از آنجا که این عناصر در بدن انباشته می‌شوند، ممکن است که مقدار کم آنها نیز اثرات مخربی از خود به جای بگذارند. برای اطمینان از عملکرد خوب محصولات کشاورزی و کمینه کردن خطرات زیست‌محیطی مرتبط با مواد شیمیایی در پساب، ارزیابی خطرات و اقدامات لازم برای رویارویی با آن باید انجام شود.

با توجه به ویژگی‌های خاص هر منطقه مانند خاک، اقلیم، الگوی کشت و همچنین کیفیت متفاوت فاضلاب‌های تصفیه شده در هر منطقه، انجام چنین پژوهش‌هایی در هر منطقه لازم و ضروری است. با وجود آخرین دستورالعمل به روز شده سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۰۶ برای «استفاده از فاضلاب در کشاورزی»، مقامات فقط پارامترهای گوناگون کیفیت آب در ابتدای محل مصرف را در نظر می‌گیرند. جنبه‌های دیگر مانند نوع آبیاری، مدیریت محصول، و شیوه‌های پس از برداشت، که آشکارا بر کاهش تعداد آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارند، به سادگی نادیده گرفته می‌شوند. در یک رویکرد جامع‌تر، باید توازنی بین کیفیت آب مورد نیاز برای آبیاری، استفاده از فناوری‌های تصفیه مقرون‌به‌صرفه، و راه حل هایی برای بهبود و کاهش خطرات بهداشتی در مرحله پس از برداشت برقرار کرد. چنین مبادله‌ای باید بین کیفیت آب در محل مصرف و تصفیه فاضلاب نیز صورت

گیرد. راه درازی برای دستیابی به بازیابی مناسب آب برای استفاده در کشاورزی وجود دارد. به نظر جانیرو و همکاران (۲۰۲۰)، دستورالعمل‌های محدودکننده کنونی غیرواقعی هستند و رویکردهای مناسب‌تری برای هر مکان باید ایجاد شود.

۱۳-۱۹- آبیاری با پساب و آبشویی

در کشاورزی آبی، مقدار معینی آب آبیاری اضافی مورد نیاز است تا از ناحیه ریشه بگذرد و نمک‌های باقی‌مانده از آب آبیاری از آن منطقه خارج شوند. این فرایندجابجایی نمک‌ها از ناحیه ریشه را آبشویی می‌نامند. آن قسمت از آب آبیاری که موجب می‌شود تا نمک‌های وارد شده برابر نمک‌های خارج شده از محیط ریشه باشد، کسر آبشویی[1](LF) نامیده می‌شود. هر چه آب آبیاری شورتر باشد، باید درصد بیشتری از آن برای آبشویی مصرف شود تا تعادل نمک در محیط ریشه برقرار باقی بماند.

$$\text{کسر آبشویی} = \frac{\text{عمق آبی که از زیر ناحیه ریشه گذشته است}}{\text{عمق آب کاربردی در سطح خاک}}$$

۱۳-۲۰- آبیاری با پساب و زهکشی

زهکشی به عنوان حذف آب اضافی از سطح خاک و زیر آن به منظورفراهم آوردن امکان رشد بهینه گیاه تعریف می‌شود. حذف آب‌های سطحی اضافی را زهکشی سطحی، و حذف آب اضافی از زیر سطح خاک را زهکشی زیرزمینی می‌نامند. زهکشی برای کشاورزی موفق آبی به ویژه در مناطق نیمه خشک و خشک، برای جلوگیری از شور شدن ثانویه خاک اهمیت دارد. در این مناطق، زمانی که زهکشی داخلی طبیعی خاک کافی نباشد، سطح آب درون خاک با آبیاری بالا می‌آید. هنگامی‌که سطح ایستابی در چند متری سطح خاک قرار گیرد، صعود موئینه‌ای آب زیرزمینی شور، نمک‌ها را به سطح خاک منتقل می‌کند. آب در سطح خاک تبخیر می‌شود و نمک‌ها را به جای

1 Leaching fraction

می‌گذارد. اگر این روند متوقف نشود، انباشت نمک ادامه می‌یابد و خاک شور می‌شود. در چنین مواردی، زهکشی زیرزمینی می‌تواند بالا آمدن سطح ایستابی را کنترل کرده و از شور شدن خاک جلوگیری کند.

۱۳-۲۱- رویکردهای مدیریت پساب در مزرعه

موفقیت در استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای تولید محصول تا حد زیادی به اتخاذ رویکردهای مناسب بستگی دارد. هدف این است که عملکرد و کیفیت محصول بهبود یابد، از بهره وری خاک کاسته نشود و حفاظت از محیط‌زیست مورد توجه قرار داشته باشد. چندین گزینه در دسترس است و به طور معمول، ترکیبی از این گزینه‌هاست که راه حل بهینه برای مجموعه‌ای از شرایط ارائه می‌دهد. مطالعه کننده باید پیش از همه چیز، اطلاعاتی در مورد عرضه پساب و کیفیت آن کسب کند. جدول ۱۲ - ۱۶ می‌تواند راهنمایی برای این کار باشد. اجزای رویکرد استفاده از پساب تصفیه شده در مزرعه شامل ترکیبی از موارد زیر خواهد بود:

- انتخاب محصول؛
- انتخاب روش آبیاری؛ و
- اتخاذ شیوه‌های مدیریتی مناسب.

افزون بر این، هنگامی که کشاورز منابع اضافی تامین آب، مانند مقدار محدودی آب آبیاری معمولی داشته باشد، می‌تواند از پساب و منبع معمولی آب به دو طریق استفاده کند، یعنی:

- اختلاط آب معمولی و پساب؛ و
- استفاده تناوبی از دو منبع آب.

جدول ۱۳- ۱۶ - اطلاعات مورد نیاز در باره مقدار و کیفیت پساب

اطلاعات	تصمیم در باره مدیریت آبیاری
عرضه پساب:	
مقدار کل پسابی که می‌توان در دوره رشد گیاه عرضه کرد	مقدار زمین قابل آبیاری
مقدار پساب سالانه	تسهیلاتی که می‌توان در دوره غیر رشد درمزرعه و یا در نزدیکی تصفیه‌خانه فاضلاب فراهم کرد. امکان استفاده در آبزی پروری
دبی پساب	مساحت قابل آبیاری در مدت معین، آرایش قطعات آبیاری و تسهیلات دیگر در مزرعه و سامانه‌های آبیاری
روش عرضه پساب: دائمی، متناوب یا بر پایه تقاضا	آرایش قطعات آبیاری و تسهیلات دیگر در مزرعه و سامانه‌های آبیاری و برنامه ریزی آبیاری
روش عرضه: در سر مزرعه یا این که پساب در مخزنی قرار دارد که کشاورز باید آن را پمپ کند.	نیاز به پمپ و لوله برای انتقال پساب و نوع سامانه آبیاری
کیفیت پساب:	
غلظت کل نمک و/یا هدایت الکتریکی پساب.	انتخاب محصولات، روش آبیاری، آبشویی و سایر شیوه‌های مدیریتی.
غلظت کاتیون‌ها مانند Ca^{++} ، Mg^{++}و Na^{+}	ارزیابی خطر سدیم و انجام اقدامات مناسب.
غلظت یون‌های سمی‌مانند فلزات سنگین، بور و کلر.	برای ارزیابی سموم احتمالی ناشی از این عناصر و اتخاذ اقدامات مناسب.
غلظت عناصر کمیاب (به ویژه آنهایی که مشکوک به سمیت گیاهی هستند).	برای ارزیابی مسموم کننده‌های کمیاب و انجام اقدامات مناسب.
غلظت مواد مغذی، به ویژه نیتروژن نیتراتی.	برای تنظیم سطح کود، پیش‌گیری از کوددهی بیش از حد و انتخاب محصول.
سطح رسوبات معلق	انتخاب سیستم آبیاری مناسب و اقدامات برای جلوگیری از گرفتگی.
سطوح نماتدهای روده‌ای و کلیفرم‌های مدفوعی	برای انتخاب محصولات مناسب و روش‌های آبیاری.

سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶)

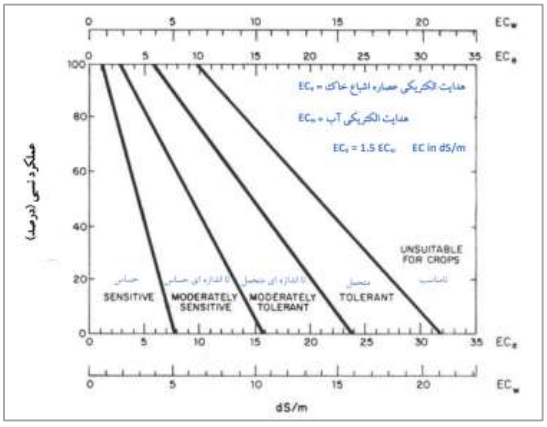
۱۳-۲۲- انتخاب محصول

۱۳- ۲۲- ۱- برای چیرگی بر خطرات شوری

همه گیاهان به شیوه‌ای مشابه به شوری پاسخ نمی‌دهند. برخی از محصولات می‌توانند با خاکی بسیار شورتر از دیگر گیاهان، عملکرد قابل قبولی داشته باشند؛ به این دلیل که می‌توانند تنظیمات اسمزی مورد نیاز را بهتر از گیاهان دیگر انجام دهند. این ویژگی آنها را قادر می‌سازد تا آب بیشتری از خاک شور استخراج کنند. توانایی یک محصول برای سازگاری با شوری بسیار مفید است. در مناطقی که شوری خاک را نتوان در غلظت قابل قبولی برای محصول کشت شده به کنترل در آورد، می‌توان محصول جایگزینی را انتخاب کرد که هم نسبت به شوری خاک متحمل‌تر باشد و هم بتواند بازده اقتصادی داشته باشد. دامنه تحمل به شوری در محصولات کشاورزی ۸ تا ۱۰ برابر است؛ یعنی متحمل ترین گیاهان، خاکی ۸ تا ۱۰ برابرشورتر از آنچه که حساس ترین گیاهان توانایی آن را دارند، تحمل می کنند. این دامنه گسترده در تحمل، امکان استفاده بیشتر از آب لب شور را فراهم می‌کند. همچنین دامنه قابل قبول شوری آب (ECw) آبیاری را تااندازه زیادی افزایش می‌دهند. تحمل نسبی نمک برای بیشتر محصولات کشاورزی به‌اندازه کافی شناخته شده است. بر همین اساس است که دستورالعمل‌های کلی تحمل گیاهان به شوری ارائه شده است. شکل ۱۳- ۶ رابطه بین عملکرد نسبی محصول و شوری عصاره اشباع خاک را با توجه به چهار کلاس شوری خاک نشان می‌دهد. از این داده‌ها می‌توان نتایج کلی زیر را به دست آورد:

- عملکرد کامل همه محصولات در صورت استفاده از آبی که شوری عصاره اشباع خاک را به کمتر از ۱ دسی زیمنس بر متر برساند قابل دستیابی است. چنانچه فرض شود که شوری عصاره اشباع خاک با ۱/۵ برابر شوری آب آبیاری به تعادل می‌رسد ($EC_e = 1.5$ ECiw)، می‌توان گفت هرگاه شوری پساب کمتر از ۰/۷ دسی زیمنس بر متر باشد، همه گیاهان می‌توانند به پتانسیل عملکرد خود برسند.

- هنگام استفاده از آب آبیاری‌ای که شوری عصاره اشباع خاک را به شوری کم تا متوسط (یعنی ۱ تا ۳ دسی زیمنس بر متر) برساند، پتانسیل عملکرد کامل گیاهان تااندازه‌ای حساس همچنان امکان پذیر است، لیکن برای حفظ شوری خاک در حد تحمل محصولات، باید مراقب بود که کسر آبشویی مورد نیاز حاصل شود. پساب فاضلاب تصفیه شده به طور معمول در این گروه قرار می‌گیرد (ECiw = 0.7 – 2 dS/m).
- هنگام استفاده از آب آبیاری‌ای که شوری عصاره اشباع خاک را به شوری متوسط تا زیاد (یعنی۳ تا ۶ دسی زیمنس بر متر) برساند، پتانسیل عملکرد کامل گیاهانِ تااندازه‌ای متحمل همچنان امکان پذیر است، لیکن گیاهانی که تحمل آنها کمتر است، با کاهش عملکرد روبرو خواهند شد (ECiw = 2 – 4 dS/m).
- چنانچه شوری آب مصرفی بیش از ۳ دسی زیمنس بر متر باشد، آب همچنان می‌تواند برای خاک‌های نفوذپذیرتر و محصولات مقاوم‌تر قابل استفاده باشد. در این خاک‌ها دستیابی به کسرهای آبشویی بالا امکان پذیر است. این شرایط در کشورهای عربی خلیج فارس، جایی که از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به طور گسترده استفاده می‌شود، وجود دارد.



شکل ۱۳- ٦ رابطه بین عملکرد نسبی محصول و شوری عصاره اشباع خاک با توجه به چهار کلاس شوری خاک

۱۳- ۲۲- ۲- برای چیرگی بر خطرات مسمومیت

مشکل مسمومیت با مشکل شوری متفاوت است؛ زیرا این پدیده در خود گیاه، و نه در خاک، رخ می‌دهد و به دلیل نرسیدن آب به گیاه نیست. به طور معمول، مسمومیت هنگامی‌روی می‌دهد که یون‌های خاصی توسط گیاهان با آبِ خاک جذب می‌شوند و در اثر تعرق در برگ‌ها انباشته می‌گردند تااندازه‌ای که به گیاه زیان می‌رسانند. شدت خسارت به زمان، غلظت مواد سمی، حساسیت گیاه و مصرف آب بستگی دارد. عملکرد محصول هنگامی‌کاهش می‌یابد که خسارت به‌اندازه کافی شدید باشد. یون‌های سمی‌رایج در آب آبیاری کلرید، سدیم و بور هستند که همگی در پساب نیز وجود دارند. خسارت به گیاه می‌تواند توسط هر یک از این یون‌ها به صورت جداگانه، یا ترکیبی از آنها ایجاد شود. همه محصولات به یک‌اندازه به این یون‌های سمی‌حساس نیستند. با این حال، اگر غلظت مواد سمی‌به‌اندازه کافی بالا باشد، نشانه‌های مسمومیت، کم و بیش در هر گیاهی آشکار می‌شود. چنانچه مسمومیت با شوری آب و خاک همراه شود، مشکل بیشتر و پیچیده تر می‌شود.

یون‌های سمی‌سدیم و کلرید می‌توانند به طور مستقیم نیز از طریق برگ‌ها جذب شوند. این مشکل می‌تواند در آبیاری بارانی روی دهد. هرچه دما بیشتر و رطوبت هوا کمتر باشد، این خطر بیشتر می‌شود. جذب برگ سرعت انباشت یون سمی‌را افزایش می‌دهد و ممکن است منبع اولیه سمیت باشد.

علاوه بر سدیم، کلرید و بور، بسیاری از عناصر کمیاب در غلظت‌های پایین برای گیاهان سمی‌هستند. خوشبختانه، بیشتر منابع آب آبیاری و پساب‌های فاضلاب دارای غلظت بسیار کمی‌از این عناصر کمیاب هستند.

با این حال، ممکن است فلزات سنگین در پساب فاضلاب شهری به‌اندازه‌ای باشند که باعث انباشت آنها در خاک و سپس در بافت گیاهی شوند. فلزات سنگین به آسانی در خاک هایی که به دفعات با پساب آبیاری می‌شوند، تثبیت شده و انباشته می‌شوند؛ تا جایی که ممکن است خاک و یا محصول

را غیرقابل استفاده کنند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیش از ۸۵ درصد از فلزات سنگین وارد شده با پساب، در سطح خاک انباشته می‌شوند.

بیشینه غلظت مجاز فلزات در خاک برای این که غلظت آنها در گیاه از آستانه مجاز بیشتر نشود، در جدول ۱۳- ۱۷ ارائه شده است.

جدول ۱۳- ۱۷ - آستانه غلظت فلزات کمیاب برای تولید گیاهی

عنصر		بیشینه توصیه شده میلی‌گرم در لیتر	ملاحظات
آلومینیوم	Al	۵/۰	در خاک‌های اسیدی با pH کمتر از ۵/۵ موجب ناباروری می‌شود. در خاک هایی با pH بیشتر از ۷ رسوب می‌کند و مسمومیتی به وجود نمی‌آورد.
آرسنیک	As	۰/۱۰	مسمومیت در دامنه گسترده‌ای روی می‌دهد. از ۱۲ میلی‌گرم در لیتر برای سودان گراس تا کمتر از ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر برای برنج.
بریلیم	Be	۰/۱۰	مسمومیت در دامنه گسترده‌ای روی می‌دهد. از ۵ میلی‌گرم در لیتر برای کلم وکیل (کلم برگی) تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر برای نوعی لوبیا.
کادمیوم	Cd	۰/۰۱	برای لوبیا، چغندر و شلغم حتی با غلظت ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی مسموم کننده است. دامنه نغییرات مجاز برای انباشت در گیاه و خاک تا انباشت در بدن انسان است.
کبالت	Co	۰/۰۵	برای گیاه گوجه فرنگی حتی با غلظت ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی، مسموم کننده است. در خاک‌های خنثی و قلیایی، به آرامی غیرفعال می‌شود.
وانادیم	Va	۰/۱	برای بسیاری از گیاهان، حتی در غلظت‌های پایین مسموم کننده است.
روی	Zn	۲/۰	برای بسیاری ار گیاهان، در دامنه گسترده‌ای از غلظت مسموم کننده است. با بالاتر رفتن pH خاک از ۶ و نیز در خاک‌های ریز بافت یا آلی، از مسمومیت آن کاسته می‌شود.

سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۶

ادامه جدول ۱۳- ۱۷ - آستانه غلظت فلزات کمیاب برای تولید گیاهی

عنصر		بیشینه توصیه شده میلی‌گرم در لیتر	ملاحظات
کرُم	Cr	۰/۱۰	به طور معمول به عنوان عنصر مورد نیاز بدن شناخته نمی‌شود. به دلیل نداشتن اطلاعات کافی، به طور محافظه کارانه، حد مجاز آن به‌اندازه‌ای است که برای گیاه در نظر گرفته شده است.
مس	Cu	۰/۲۰	برای تعدادی از گیاهان با غلظت ۰/۱ تا ۱/۰ میلی‌گرم در لیتر در محلول غذایی.
فلوئور	F	۱/۰	در خاک‌های خنثی و قلیایی، غیرفعال است.
آهن	Fe	۵/۰	در خاک هایی که تهویه مناسبی دارند، مسموم کننده نیست. لیکن با اسیدی کردن خاک، عناصر فسفر و مولیبدن را از دسترس خارج می‌کند. آبیاری بارانی موجب پخش شدن آن بر روی گیاهان، ادوات و ساختمان‌ها می‌شود، بی‌ان که به چشم بیاید.
لیتیم	Li	۲/۵	بیشتر گیاهان تا غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر را تحمل می‌کنند. در خاک حرکت می‌کند. برای مرکبات از غلظت ۰/۰۷۵ میلی‌گرم بر لیتر سمی‌است. همانند بور عمل می‌کند.
منگنز	Mn	۰/۲	برای برخی از گیاهان چند دهم میلی‌گرم بر لیتر آن نیز سمی‌است ولی بیشتر در خاک‌های اسیدی.
مولیبدن	Mo	۰/۰۱	در غلظت‌های معمولی در خاک و آب سمی‌نیست. برای دام هایی که از علف هایی استفاده می‌کنند که خاک آنها غلظت بالایی از مولیبدن در دسترس داشته باشند، می‌تواند مسموم کننده باشد.
نیکل	Ni	۰/۲	غلظت ۰/۵ تا ۱/۰ میلی‌گرم بر لیتر آن برای تعدادی از گیاهان مسموم کننده است. مسمومیت در pH خنثی و قلیایی کاهش می‌یابد.
سرب	Pb	۵/۰	در غلظت خیلی بالا، رشد سلول‌های گیاهی را متوقف می‌کند.
سلنیم	Se	۰/۰۲	برای گیاهان، حتی با غلظت ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نیز مسموم کننده است. برای دام هایی که از علف هایی استفاده می‌کنند که خاک آنها غلظت بالایی از سلنیم داشته باشند، می‌تواند مسموم کننده باشد. عنصری لازم برای رشد حیوانات است؛ لیکن با غلظت خیلی کم.

سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۶

۱۳- ۲۲- ۳- برای پیش‌گیری از خطرات سلامتی

از نقطه نظر مصرف انسان و خطرات بالقوه سلامتی، محصولات زراعی را می‌توان به گروه‌های زیر دسته‌بندی کرد:

محصولات غذایی:

- آنهایی که نپخته خورده می‌شوند؛ و
- آنهایی که پس از پختن خورده می‌شوند.

محصولات علوفه‌ای و خوراک حیوانات:

- آنهایی که حیوانات دسترسی مستقیم به آنها دارند؛ و
- آنهایی که پس از برداشت، به صورت دستی به حیوانات داده می‌شوند.

گیاهان فضای سبز و محوطه‌ها:

- مناطق حفاظت نشده با دسترسی عمومی؛ و
- مناطق نیمه حفاظت شده.

گیاهان جنگلی:

- تجاری (میوه، چوب، سوخت و زغال چوب)؛ و
- کاشت درخت برای حفاظت از محیط‌زیست (شامل تثبیت شن و ماسه).

از نظر خطرات بهداشتی، پساب تصفیه شده با کیفیت بالا (از دیدگاه میکربی)را می‌توان برای آبیاری برخی از محصولات، حتی گیاهان سبزی که به صورت خام مصرف می‌شوند، به کار برد. در جدول ۱۳- ۱۸ نمونه‌هایی از خطرهای استفاده از پساب در آبیاری به نقل از سازمان جهانی بهداشت ارائه شده است.

جدول ۱۳-۱۸ - نمونه‌ای از خطرهای استفاده از پساب در آبیاری

خطر	راه انتقال	درجه خطر	ملاحظات
عوامل بیماری زای مدفوعی باکتری‌ها (*Escherichia coli, Vibrio cholerae, Salmonella* spp., *Shigella* spp.)	تماس مصرف	کم تا زیاد	این عوامل بیماری زا می‌توانند به‌اندازه‌ای در محیط‌زیست زنده بمانند، که برای سلامتی خطرناک باشند. آلودگی گیاهان موجب همه‌گیری برخی بیماری‌ها شده است. شستن و ضد عفونی محصولات از خطر می‌کاهد. بهداشت فردی پس از تماس با پساب می‌تواند از بروز عفونت و یا بیماری پیش‌گیری کند.
کرم ها کرم هایی که با خاک منتقل می‌شوند *(Ascaris, Ancylostoma, Necator, Hymenolepis, Strongyloides, Toxocara, Trichuris, Taenia spp.)*	تماس مصرف	کم تا زیاد	خطر در جایی زیاد است که بهداشت فردی در آنجا پایین باشد. خطر به نحوه تصفیله فاضلاب، داشتن کفش مناسب و چگونگی پختن غذا بستگی داردتخم‌ها می‌توانند برای مدت درازی در محیط زنده بمانند.
شیستوزوما ترماتودها کرم‌های مسطح انگلی که دارای قلاب یا مکنده هستند *(Clonorchis, Opisthorchis, Fasciola, Schistosoma spp.)*	تماس	هیچ تا زیاد	شیستوزوما تنها در مناطق ویژه‌ای وجود دارند. برای ازدیاد به میزبان واسطی نیازمندند. شیستوزومازیا از طریق تماس پوست با آب آلوده منتقل می‌شود.
پروتوزوا ، پیش زیان*(Protozoa)* *(Giardia, Cyclospora, Cryptosporidium, Entamoeba spp.)*	تماس مصرف	کم تا متوسط	می‌توانند به‌اندازه‌ای در محیط زنده بمانند تا خطراتی برای سلامتی ایجاد کنند. در موارد معدودی، آلودگی محصولات منجر به همه‌گیری بیماری شده است.

ادامه جدول ۱۳-۱۸ - نمونه‌ای از خطرهای استفاده از پساب در آبیاری

ویروس‌ها (هپاتیت *A* و *E*، ویروس‌های دستگاه تنفس فوقانی، و *rotavirus, norovirus*	تماس مصرف	کم تا زیاد	ویروس‌ها می‌توانند به‌اندازه‌ای در محیط زنده بمانند تا خطراتی برای سلامتی ایجاد کنند. آلودگی محصولات منجر به همه‌گیری بیماری نیز می‌شود. شستن و ضد عفونی محصول خطر را کاهش می‌دهد. بهداشت فردی نامناسب پس از تماس با پساب خطر عفونت و یا بیماری را زیاد می‌کند. در مناطق با استاندارد پایین بهداشتی، بیشتر مردم و کودکان به آن مبتلا می‌شوند تا این که ایمنی جمعی ایجاد شود. خطر بیشتر برای کسانی است که هنوز با آن روبرو نشده‌اند؛ مانند کودکان و گردشگران.
ملتهب کننده ها	تماس	متوسط تا زیاد	بیماری‌های پوستی مانند اگزما در تماس درازمدت با پساب گزارش شده است. هنوز علت قطعی آن مشخص نشده لیکن ممکن است ترکیبی از عوامل میکربی و شیمیایی باعث پدیدار شدن آن باشند. در برخی شرایط نیز احتمال دارد که وجود سموم سیانوباکتر در محیط، علت اصلی پیدایش آن باشد.
پاتوژن‌های ناقل *(Plasmodium spp., dengue virus, Wuchereria bancrofti, Japanese encephalitis virus)*	تماس با حشرات	هیچ تا متوسط	محدود به مناطق جغرافیایی‌ای است که در آن پاتوژن بومی‌شده و نیز ناقلین مناسب وجود داشته باشند. بیشتر خطرها با توسعه منابع آب (سدها و سیستم‌های آبیاری) مرتبط است و معمولاً به طور خاص با استفاده از فاضلاب در کشاورزی مربوط نیست؛ بجز ناقلین فیلاریازیس لنفاوی که در آب‌های آلوده به مواد آلی تولید مثل می‌کنند.
فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم، سرب و جیوه)	مصرف	کم	فلزات سنگین می‌توانند در برخی گیاهان انباشته شوند. لیکن به ندرت غلظت آنها به‌اندازه مجاز می‌رسد.
هیدروکربن‌های هالوژنه (دیوکسین ها، فوران ها، *PCB* ها)	مصرف	کم	در پساب، به طور معمول غلظت این مواد بالا نیست (هر چند که این غلظت در لجن می‌تواند زیاد باشد). این مواد به طور معمول به وسیله ذرات خاک جذب می‌شوند ولی به گیاه نمی‌رسند.
آفت‌کش‌ها و باقی‌مانده آنها (آلدرین و د. د. ت)	تماس مصرف	کم	عملیات کشاورزی نقش زیادی در مقدار خطر بازی می‌کنند.

سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۶

۱۳-۲۳- انتخاب روش مناسب آبیاری

در شرایط عادی، انتخاب روش آبیاری به شرایط تامین آب و تناسب با آب و هوا، خاک، گیاهی که باید کشت شود، هزینه روش آبیاری و توانایی کشاورز برای مدیریت سیستم بستگی دارد. با این حال، هنگام استفاده از پساب به عنوان منبع آب آبیاری، عوامل دیگری مانند آلودگی گیاهان و محصول برداشت شده، کارگران مزرعه و محیط، و خطرات شوری و مسمومیت خاک و گیاه نیز باید در نظر گرفته شوند. با انتخاب روش‌های مناسب آبیاری، زمینه‌های قابل توجهی برای کاهش اثرات نامطلوب استفاده از پساب در آبیاری پیش می آید. انتخاب روش آبیاری در استفاده از پساب تحت تأثیر عوامل فنی زیر است:

- انتخاب گیاه؛
- خیس شدن شاخ و برگ، میوه‌ها واندام‌های هوایی؛
- توزیع آب، نمک‌ها و آلاینده‌ها در خاک؛
- سهولت حفظ مقدار قابل توجه آب در خاک؛
- راندمان کاربرد، و
- پتانسیل آلودگی کارگران مزرعه و محیط‌زیست.

جدول ۱۳- ۱۹ تناسب روش‌های اصلی آبیاری در استفاده از پساب را نشان می دهد.

جدول ۱۳- ۱۹- تناسب روش‌های اصلی آبیاری در استفاده از پساب

عامل ارزیابی	آبیاری نشتی	آبیاری کرتی	آبیاری بارانی	آبیاری قطره ای
خیس شدن برگ و تاثیر بر عملکرد	بدون آسیب چون گیاه روی پشته کاشته می‌شود	آسیب کم در برگ‌های پایین، بدون کاهش محصول	آسیب شدید برگ ، با کاهش جدی محصول	بدون آسیب به برگ
انباشت نمک در ناحیه ریشه با آبیاری‌های زیاد	تمایل نمک‌ها به انباشت در پشته‌ها و زیان احتمالی به محصول	نمک‌ها به صورت عمودی به پایین حرکت می‌کنند و به احتمال زیاد در ناحیه ریشه انباشته نمی‌شوند	نمک‌ها به صورت عمودی به پایین حرکت می‌کنند و به احتمال زیاد در ناحیه ریشه انباشته نمی‌شوند	نمک‌ها در امتداد جهت حرکت آب به صورت شعاعی حرکت می‌کنند و در بین نقاط خروجی انباشته می‌شود.
توانایی نگهداری بالای آب در خاک	گیاهان ممکن است بین دو آبیاری تحت تنش قرار گیرند	گیاهان ممکن است بین دو آبیاری تحت تنش قرار گیرند	امکان نگهداری پتانسیل بالای آب در خاک در سراسر دوره رشد وجود ندارد	امکان حفظ پتانسیل بالای آب در خاک در سرتاسر دوره رشد و کمینه کردن اثر شوری
تناسب با کاربرد آب لب شور بدون کاهش قابل ملاحظه عملکرد	قابل قبول تا متوسط. با مدیریت خوب و زهکشی، عملکرد قابل قبول دست یافتنی است	قابل قبول تا متوسط. با مدیریت خوب آبیاری و زهکشی، عملکرد قابل قبول دست یافتنی است	قابل قبول تا ضعیف. بیشتر محصولات زراعی از آسیب برگی رنج می‌برند و عملکرد کم است	عالی تا خوب. کم و بیش همه محصولات را می‌توان با کاهش بسیار کم عملکرد کشت کرد

پسکاد، ۱۹۹۲

در آبیاری نواری و غرقابی، پساب سطح خاک را پوشش کامل می‌دهد. کارایی پایین آن موجب می‌شود که آبیاری با حجم بیشتری از پساب انجام گیرد و خاک آلوده تر شود. در این روش، سبزیجات که به طور معمول کوتاه ترند، با پساب آلوده می‌شوند. کارگران مزرعه بیش از هر روش

دیگری در تماس با پساب قرار می‌گیرند. بنابراین، هم از نظر بهداشت و هم از نظر حفظ آب، آبیاری نواری با پساب سازگاری چندانی ندارد.

آبیاری نشتی کل سطح خاک را خیس نمی‌کند. این روش می‌تواند آلودگی محصولات را کاهش دهد، زیرا گیاهان در پشته‌ها رشد می‌کنند. با این حال، در این روش نمی‌توان حفاظت کامل در برابر بیماری‌ها را تضمین کرد. خطر آلودگی کارگران مزرعه بسته به درجه اتوماسیون سامانه، متوسط تا زیاد است. اگر پساب از طریق لوله منتقل شده و با استفاده از لوله‌های دریچه‌دار به شیارها برسد، خطر برای کارگران آبیاری به کمترین مقدار خواهد رسید.

کارایی روش‌های آبیاری سطحی به طور کلی تحت تأثیر کیفیت آب قرار نمی‌گیرد. به عبارت دیگر در آبیاری با پساب نیز می‌توان به راندمانی برابر آب مناسب دست یافت. لیکن خطر دچار شدن به بیماری، بی‌تردید نگران‌کننده است. اگر پساب مقادیر زیادی از جامدات معلق داشته باشد، ته نشینی آنها می‌تواند جریان را در کانال ها، دریچه‌ها، لوله‌ها و لوازم جانبی محدود کند. استفاده از فاضلابی که تنها تصفیه اولیه بر روی آن انجام شده باشد، بسیاری از این مشکلات را از میان بر خواهد داشت. برای جلوگیری از آب‌ماندگی سطحی پساب، تسطیح زمین باید با دقت انجام شود.

روش‌های آبیاری بارانی به طور معمول از نظر مصرف آب کارآمدتر هستند زیرا با آنها می‌توان به یکنواختی کاربرد بیشتری دست یافت. با این حال، این روش‌ها ممکن است محصولات زراعی، درختان میوه و کارگران مزرعه را آلوده کنند. افزون بر این، عوامل بیماری زای موجود در پساب ممکن است با باد جابجا شوند و برای سلامتی ساکنان مجاورخطری ایجاد کنند. به طور کلی، سیستم‌های مکانیزه یا خودکار در مقایسه با سیستم‌های آبپاش دستی، هزینه‌های سرمایه‌ای بالاتر و هزینه‌های نیروی کار پایین تری دارند. تسطیح سبک زمین ناهموار برای این سامانه‌ها و برای کاستن از افت انرژی و دستیابی به یکنواختی پخش، ضروری است. سامانه‌های بارانی بیشتر از آبیاری سطحی تحت تأثیر کیفیت آب قرار می‌گیرند. علت این امر را باید به خطر گرفتگی روزنه‌های سر آبپاش‌ها، سوختگی احتمالی برگ‌ها، تجمع رسوب در لوله‌ها و دریچه‌ها و نیز مسمومیت گیاهی زمانی که

آب شور یا دارای عناصر سمی‌بیش ازاندازه باشد، نسبت داد. به طور کلی مشخص شده است که تصفیه ثانویه فاضلاب، پساب مناسبی را برای توزیع از طریق آبپاش‌ها تولید می‌کند، مشروط بر اینکه پساب خیلی شور نباشد. اقدامات احتیاطی بیشتر، مانند فیلتراسیون و بزرگ کردن قطر دهانه نازل‌ها به دست کم ۵ میلی‌متر، می‌تواند مشکلات را کاهش دهد.

استفاده از آبیاری موضعی، به ویژه هنگامی‌که سطح خاک با ورقه‌های پلاستیکی یا مالچ‌های دیگر پوشانده شده باشد، از موثرترین روش‌ها برای کاربرد پساب به شمار می‌رود. این روش در بیشتر موارد می‌تواند محصول بیشتری تولید کند و بی‌تردید بیشترین حفاظت در برابر بیماری‌ها را برای کارگران مزارع و مصرف کنندگان فراهم سازد. با این حال، سیستم‌های آبیاری موضعی گران هستند و به پساب با کیفیت بالایی نیاز دارند. جامدات و موجودات زنده موجود در پساب در قطره چکان‌ها گرفتگی ایجاد می‌کنند، لیکن فیلتراسیون شنی پساب تصفیه شده ثانویه و آبشویی منظم خطوط در جلوگیری از چنین مشکلاتی می‌تواند موثر باشد. آبیاری حبابی یا بابلر روشی از آبیاری موضعی است که بیشتر برای آبیاری درختان کاربرد دارد. روزنه‌های آن بزرگ و خطر گرفتگی در آن کمتر است، لیکن به تنظیم دقیق برای کاربرد موفقیت آمیز نیاز دارد.

در مقایسه با سیستم‌های دیگر، به نظر می‌رسد مزایای اصلی آبیاری قطره‌ای عبارتند از:

- افزایش رشد و عملکرد، حاصل از دسترسی بهینه به آب، مواد مغذی و هوا در ناحیه ریشه؛
- راندمان آبیاری بالا بدون پاشش آب به شاخ و برگ ها، باد بردگی و تلفات انتقال همراه با کمترین مقدار تلفات زهکشی؛
- کمترین تماس بین کارگران مزرعه و پساب؛
- نیازاندک به انرژی. سیستم قطره‌ای تنها به فشار آب ۱۰۰تا۳۰۰ کیلو پاسکال (۱ تا۳ بار) نیاز دارد؛ و
- نیاز به نیروی کار کم . سیستم قطره‌ای را می‌توان به راحتی خودکار کرد.

جدا از هزینه‌های سرمایه‌ای بالای سیستم‌های آبیاری قطره ای، یکی دیگر از عوامل محدود کننده در استفاده از آنها این است که آنها فقط برای آبیاری محصولات ردیفی مناسب هستند. جابجایی سیستم‌های زیرسطحی از جایی به جای دیگرمی‌تواند ناممکن ویا دست کم بسیار گران باشد.
همانطور که گفته شد، روش استفاده از پساب به چند عامل بستگی دارد؛ در میان آنها، باید به امکان کنترل بهداشتی، انتخاب محصول مناسب، درجه تصفیه فاضلاب و کنترل قرار گرفتن انسان در برابر پساب اشاره کرد. این عوامل با یکدیگر در هم کنش دارند. بدیهی است که تصمیم گیری در مورد انتخاب سیستم آبیاری، بیش از همه، یک تصمیم مالی است، لیکن می‌توان امیدوار بود که خطرات بهداشتی مرتبط با روش‌های گوناگون نیز در نظر گرفته شود.

۱۳-۲٤- شیوه‌های مدیریت مزرعه در آبیاری با پساب

مدیریت آب، خاک، محصول و روش‌های کار و نیز اقدامات احتیاطی برای حفاظت بهداشتی کارگران مزرعه، نقش مهمی‌در استفاده موفق از پساب برای آبیاری دارند.

۱۳- ۲٤- ۱- مدیریت آب

بیشتر فاضلاب‌های تصفیه شده خیلی شور نیستند. سطح شوری آنها به طور معمول بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر (هدایت الکتریکی بین ۰/۷ تا ۳ دسی زیمنس بر متر) متغیر است. با این حال، ممکن است مواردی وجود داشته باشد که غلظت نمک آنها به بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز برسد. در هر صورت، صرف نظر از این که غلظت نمک در فاضلاب زیاد یا کم باشد، باید از شیوه‌های مدیریت مناسب برای جلوگیری از شور شدن خاک پیروی کرد. جالب است گفته شود که حتی استفاده از پساب غیر شور، مانند پسابی که بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نمک دارد، زمانی که ۲۰۰۰۰ متر مکعب در هکتار در سال از آن استفاده شود، بین ۴ تا ۱۰ تن نمک در هر هکتار در سال به خاک اضافه می‌کند. چنانچه این مقدار با آبشویی از ناحیه ریشه خارج نشود، مشکلات شوری

می‌تواند به سرعت پدیدار گردد. بنابراین آبشویی و زهکشی دو روش مهم مدیریت آب برای جلوگیری از شور شدن خاک هستند.

۱۳- ۲٤- ۲- مدیریت آبشویی

همه آب‌های آبیاری، و از جمله پساب‌ها، دارای مقداری نمک محلول هستند. چنانچه نمک‌های وارد شده به نحوی از نیمرخ خاک خارج نشود، خاک شور می گردد. خارج شدن نمک‌ها از نیمرخ خاک یا به صورت طبیعی روی می‌دهد و یا با کمک زهکش‌ها انجام می‌شود. چنانچه مقداری آب اضافی برای خارج کردن نمک‌ها داده شود، به آن آب آبشویی می گویند. پرسشی که مطرح می‌شود این است که برای آبشویی چه مقدار آب باید مصرف شود، یعنی نیاز به آبشویی چقدراست؟ برای تخمین نیاز آبشویی، هم شوری آب آبیاری (EC_w) و هم تحمل محصول به شوری خاک (EC_e) باید مشخص باشد. نیاز آبشویی (LR) را می‌توان از شکل ۱۳- ۷ برای تناوب زراعی عمومی، تخمین زد. تخمین دقیق تری از نیاز آبشویی برای یک محصول خاص را می‌توان با استفاده از معادله زیر به دست آورد:

$$LR = EC_w / (5\ EC_e - EC_w)$$

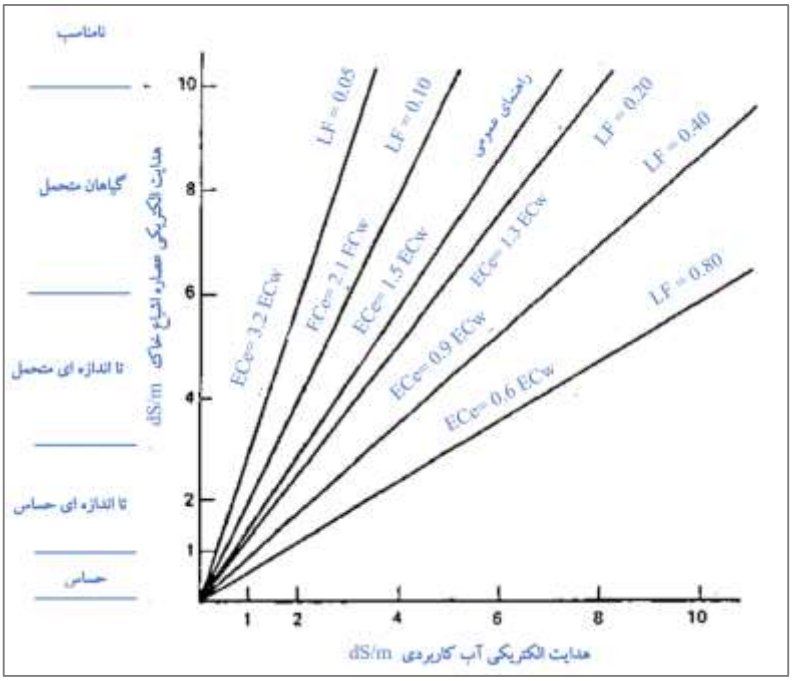
که در آن:

LR = کمترین مقدار نیاز آبشویی برای کنترل نمک در محدوده تحمل (ECe) محصول با روش‌های معمولی آبیاری سطحی و درصد کاهش عملکرد مورد انتظار؛

EC_w = شوری آب آبیاری اعمال شده دسی زیمنس بر متر؛ و

EC_e = میانگین شوری خاک قابل تحمل برای گیاه که با شوری عصاره اشباع خاک یکسان گرفته می‌شود.

توصیه می‌شود که مقدار EC_e دست کم برای عملکرد ۹۰ درصد در محاسبه استفاده شود. شکل ۱۳- ۷ با استفاده از مقادیر EC_e برای عملکرد ۹۰ درصد ایجاد شده است. برای آب در محدوده شوری متوسط تا بالا (بیش از ۱/۵ دسی زیمنس بر متر)، ممکن است بهتر باشد از مقدار EC_e برای عملکرد ۱۰۰درصد استفاده شود.



شکل ۱۳- ۷ - رابطه بین شوری آب آبیاری و شوری خاک در کسرهای گوناگون آبشویی

در مواردی که آب کمیاب و گران است، شیوه‌های آبشویی باید به گونه‌ای طراحی شوند که تولید محصول را در واحد حجم آب مصرفی بیشینه کنند. به عبارت دیگر، هم نیاز آب مصرفی و هم نیازهای آبشویی برآورده شود. آبشویی را می‌توان بسته به وضعیت شوری، در هر نوبت آبیاری، یک در میان، با دفعات کمتر، فصلی یا حتی در فواصل طولانی‌تر انجام داد تا شوری در خاک کمتر از

آستانه‌ای نگه داشته شود که بالاتر از آن بر عملکرد تأثیر می‌گذارد. چنانچه کیفیت آب خوب باشد، به طور معمول همیشه آب اضافی کافی به زمین داده می‌شود، به طوری که نیازی به دادن آب بیشتری برای آبشویی نیست. هنگامی‌که شوری آب آبیاری زیاد باشد، تامین نیاز آبشویی دشوار است و به مقدار زیادی آب نیاز دارد. در برآورد نیاز آبشویی و در انتخاب روش آبشویی باید بارندگی را در نظر گرفت. اقدامات زیر برای افزایش راندمان آبشویی و کاهش مقدار آب مورد نیاز پیشنهاد می‌شود:

- آبشویی در فصول سرد به جای دوره‌های گرم، انجام شود. تبخیر کمتر موجب می‌شود تا راندمان آبشویی افزایش یابد.
- از گیاهان متحمل به شوری بیشتر استفاده شود که نیاز آنها به آبشویی کمتر است و تقاضای آب کمتری دارند.
- از خاکورزی برای کند کردن جریان رواناب و کاهش تعداد ترک‌های سطحی استفاده شود تا جریان زیادی از منافذ بزرگ عبور نکند و راندمان آبشویی افزایش یابد.
- استفاده از آبیاری بارانی با نرخ کاربرد آب کمتر از سرعت نفوذ آب به خاک. این کار به جریان غیراشباع کمک می‌کند. ثابت شده است که کارایی آبشویی در جریان غیراشباع به مقدار قابل توجهی بیش از آبشویی در جریان اشباع است. در این حالت، زمان آبیاری بیشتراست؛ لیکن آب کمتری مصرف می‌شود.
- استفاده از آبشویی متناوب به جای آبشویی دایم. این کار برای آبشویی کارآمدتر است و آب کمتری مصرف می‌کند، هر چند زمان لازم برای آبشویی بیشتر است.
- در صورت امکان، آبشویی را برای دوره‌هایی با مصرف کم آب برنامه ریزی کرد. این کار را می‌توان در ابتدای فصل رشد و یا پس از برداشت نیز انجام داد.
- در صورت امکان باید از آبشویی در دوره‌های آیش، به ویژه در تابستان‌های گرم پرهیز کرد. در این مدت امکان شور شدن دوباره خاک وجود دارد.

- چنانچه نفوذ پذیری خاک کم باشد، آبیاری قبل از کاشت یا آبشویی خارج از فصل توصیه می‌شود تا از مصرف بیش ازاندازه آب در فصل زراعی جلوگیری شود.
- اگر کل بارندگی برای آبشویی کامل کافی باشد، نیازی به آبشویی مصنوعی نیست. ممکن است یک بار آبیاری پیش از شروع فصل بارندگی بتواند نیاز آبشویی را بر طرف کند. بارندگی کارآمدترین روش آبشویی است زیرا آب با کیفیت بالا را با شدت کم به زمین می‌رساند.

۱۳- ۲٤- ۳- مدیریت زهکشی

در بسیاری از پروژه‌های آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک، مشکلات شوری خاک با وجود سطح ایستابی کم عمق همراه است. در این شرایط، نقش زهکشی پایین آوردن سطح ایستابی به‌اندازه‌ای است که در آن، انتقال نمک‌ها به ناحیه ریشه و توسط نیروی مویینه‌ای به سطح خاک امکان پذیر نباشد. مهم این است که حرکت کلی آب در نیمرخ خاک رو به پایین باشد تا شوری نتواند بالا بیاید. یکی دیگر از عناصر مهم طرح زهکشی این است که بتواند زهاب تولید شده را به خارج از طرح آبیاری هدایت و آن را به طور ایمن دفع کند. در مواردی که از پساب به عنوان آب آبیاری استفاده می‌شود، بسته به ترکیب پساب، موضوع اهمیت بیشتری می‌یابد.

۱۳- ۲٤- ٤- مدیریت زمان بندی آبیاری

زمان بندی مناسب آبیاری، می‌تواند خطر شوری را کاهش دهد و از تنش آبی در فاصله آبیاری‌ها جلوگیری کند. در برنامه ریزی زمان آبیاری، باید به دفعات آبیاری و فاصله بین آنها، آبیاری قبل از کاشت و آبیاری قبل از شروع فصل بارانی اشاره کرد. آبیاری با پساب را می‌توان در این برنامه ریزی گنجاند.

افزایش دفعات آبیاری با بالا بردن رطوبت خاک، غلظت نمک‌های آن را کاهش می‌دهد و از مشکلات رویارویی با شوری خاک نیز کاسته می‌شود. با این حال، از دیدگاه مدیریت کلی آب، این شیوه کار ممکن است همیشه نتیجه دلخواه را به همراه نداشته باشد. به عنوان نمونه، با روش‌های آبیاری سطحی، آبیاری‌های مکرر ممکن است به افزایش غیرقابل قبولی در مقدار آب مصرفی و کاهش راندمان مصرف آب بینجامد و مقدار بیشتری زهاب تولید شود. افزایش تعداد دفعات آبیاری در روش‌های آبیاری بارانی و موضعی با مقادیر کمتر آب، نه تنها کاهش راندمان مصرف آب را در پی ندارد، بلکه می‌تواند بر مشکل شوری مرتبط با آب آبیاری شور نیز چیره شود.

آبیاری قبل از کاشت در بسیاری از طرح‌های آبیاری به دو دلیل انجام می‌شود:

- برای آبشویی نمک‌هایی که ممکن است در طول دوره کشت قبلی در سطح خاک جمع شده باشد و ایجاد محیطی بدون نمک برای جوانه زدن بذرها. باید اشاره کرد که برای بیشتر محصولات زراعی، مراحل جوانه زنی بذر حساس ترین مرحله برای رویارویی با شوری است؛ و
- تامین رطوبت کافی برای جوانه زدن بذرها و نهال‌های جوان.

پساب تصفیه شده منبع خوبی برای آبیاری پیش از کاشت است زیرا به طور معمول شور نیست و خطرات بهداشتی آن نیز نزدیک صفر است.

۱۳-۲۵- مخلوط کردن پساب با سایر منابع آب

در صورت وجود منابع گوناگون آب، یکی از گزینه‌ها می‌تواند اختلاط آب و پساب باشد. ممکن است فرد کشاورزی دارنده آب زیرزمینی شور باشد و در صورت داشتن پساب غیر شور، بتواند این دو منبع را با هم مخلوط کند تا آبی با شوری قابل قبول به دست آید. در این صورت، کیفیت میکروبی مخلوط نیز می‌تواند نسبت به پساب بهتر باشد.

۱۳-۲۶- جایگزینی پساب با سایر منابع آب

استفاده متناوب از آب آبیاری و پساب یکی دیگر از راهکارها به شمار می‌رود. از نقطه نظر کنترل شوری، کاربرد متناوب بهتر از اختلاط است. با این حال، کاربرد متناوب به سیستم‌های انتقال دوگانه نیازمند است.

۱۳-۲۷- مدیریت خاک و زمین

برای چیره شدن بر شوری، خطر سدیم، سمیت و خطرات بهداشتی که ممکن است با استفاده از پساب پیش بیاید، می‌توان از چند روش مدیریت زمین و خاک در سطح مزرعه استفاده کرد.

۱۳- ۲۷- ۱- توسعه زمین

در مراحل اولیه تجهیز اراضی در مزرعه[1]، می‌توان اقداماتی را برای کمینه کردن خطرات احتمالی استفاده از پساب انجام داد. هدف این کارها بهبود شرایط دائمی‌زمین و خاک به منظور تسهیل آبیاری با پساب است. این اقدامات پرهزینه هستند و در بیشتر موارد تنها یک بار انجام می‌شوند. از این رو باید به خوبی برنامه ریزی، طراحی و اجرا شوند. این فعالیت‌ها عبارتند از تسطیح زمین، ایجاد زهکشی کافی (هم سطحی و هم زیرزمینی)، شخم عمیق و آبشویی برای کاهش شوری خاک.

۱۳- ۲۷- ۲- تسطیح زمین

برای دستیابی به یکنواختی کاربرد آب در روش‌های آبیاری سطحی و به طور کلی رسیدن به راندمان آبیاری قابل قبول، لازم است که زمین تسطیح شده باشد. چنانچه پساب شور باشد، تسطیح اهمیت بیشتری می‌یابد. نمک‌ها در نقاط بلندی که نفوذ و آبشویی بسیار کمی‌دارند انباشته می‌شوند. در نقاط پست نیز آب‌ماندگی و سله بستن روی می‌دهد. این هر دو، غیردلخواه هستند.

1 On-farm land development

تسطیح زمین درآبیاری با آب‌های معمولی، به عنوان یک عمل مهم مزرعه، پذیرفته شده است. در آبیاری با پساب نیز دست کم باید به آن همان اهمیت داده شود.

۱۳- ۲۷- ۳ - مدیریت عمق کشت

در برخی مناطق، خاک از لایه‌های گوناگونی تشکیل شده است. آبیاری چنین خاک هایی دشوار است. در خاک‌های لایه لایه[1]، در بیشتر مواقع، لایه‌های خاک رس، ماسه یا سخت لایه‌ها مانع حرکت آزاد آب به داخل منطقه ریشه و پایین تر از آن می‌شوند. این وضعیت، نه تنها موجب اشباع شدن ناحیه ریشه می‌شود، بلکه باعث انباشت نمک در آن ناحیه نیز می‌گردد. راندمان آبیاری و همچنین جابجایی آب در خاک را می‌توان با زیرکنی[2] تااندازه زیادی افزایش داد. آثار زیر کنی بین ۱ تا ۵ سال باقی می‌ماند. با شخم عمیق نیز می‌توان به چنین نتیجه‌ای رسید. شخم عمیق نیز پرهزینه است. پس از انجام شخم عمیق، باید گیاهان یکساله در زمین کشت کرد تا پس از نشست کافی خاک، آن را تسطیح کرد.

۱۳- ۲۷- ٤- مدیریت زراعی

چندین روش مدیریت زراعی که در استفاده از آب شور اعتبار دارند، در استفاده از پساب نیز همچنان معتبر هستند. این اقدامات با هدف جلوگیری از آسیب به گیاه به کار برده می‌شوند تا از انباشت نمک در نزدیکی گیاهان و در ناحیه ریشه جلوگیری کنند و بتوانند کود و مواد شیمیایی دیگر را متناسب با کیفیت پساب و شرایط گیاه تنظیم کنند.

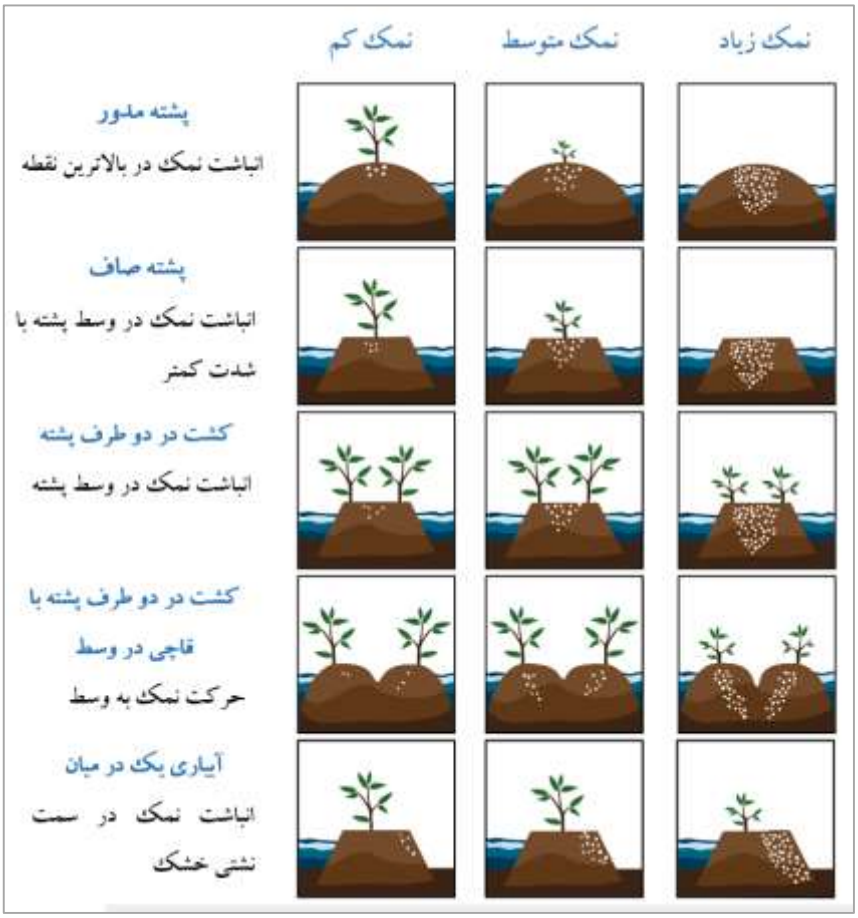
1 Stratified soils
2 Subsoiling

۱۳- ۲۷- ٤- ۱- قرار دادن بذر

در بیشتر محصولات زراعی، جوانه زنی بذر بیشتر از سایر مراحل رشد گیاه تحت تأثیر شوری خاک قرار می‌گیرد. این اثرات در آبیاری نشتی با آب لب شور و شور بیشتر آشکار است؛ زیرا که آب با نیروی مویینه‌ای در پشته‌ها به سمت بالا حرکت می‌کند و نمک‌ها در پشته‌ها رسوب می‌کنند. به طور معمول، بالاترین غلظت نمک در مرکز پشته و کمترین غلظت نمک در امتداد شانه‌های پشته‌ها یافت می‌شود. یک وسیله کارآمد برای چیرگی بر این مشکل این است که اطمینان حاصل شود که خاک اطراف بذرهای جوانه زده کمتر شور هستند. روش‌های کاشت مناسب، شکل پشته‌ها و مدیریت آبیاری می‌تواند به طور قابل‌توجهی آسیب به بذرهای جوانه‌زده را کاهش دهند. شکل ۱۳- ۸ نمایش شماتیکی از تجمع نمک، موقعیت کاشت، شکل پشته و الگوهای آبیاری را نشان می‌دهد.

برخی از شیوه‌های خاص عبارتند از:

- کاشت روی شانه پشته در صورت کاشت تک ردیفه یا روی هر دو شانه در کاشت دو ردیفه؛
- استفاده از بسترهای شیبدار با بذرهای کاشته شده در سمت شیبدار، لیکن بالای خط آب؛ و
- آبیاری یک در میان شیارها به طوری که نمک‌ها از ردیف بذرها دور بمانند.



Managing Salt-affected Soils for Crop Production | OSU Extension Service (oregonstate.edu)

شکل ۱۳- ۸- انباشت شوری در نشتی‌های با شکل های گوناگون

۱۳-۲۸- برنامه ریزی متمرکز برای آبیاری با پساب

سیاست دولت در مورد استفاده از پساب در کشاورزی تأثیر تعیین کننده‌ای بر اقدامات کنترلی خواهد داشت. این کنترل‌ها با انتخاب درست مکان و گیاهانی که باید با پساب آبیاری شوند، آغاز می‌شود. تصمیم برای قرار دادن پساب در اختیار کشاورزان برای آبیاری بدون محدودیت یا آبیاری پارک‌های عمومی‌و مناطق سبز شهری، جایی برای انتخاب دقیق مکان، روش‌های آبیاری و نوع

محصولات کشاورزی باقی نمی‌گذارد. در این صورت، امکان محدود کردن خطرات بهداشتی و کمینه کردن اثرات نامناسب زیست‌محیطی از بین می‌رود. با این حال، اگر دولت تصمیم بگیرد که آبیاری پساب فقط در مناطق تحت کنترل خاص اعمال شود، حتی اگر انتخاب محصول محدود نباشد، باید از دسترسی عمومی‌به این مناطق جلوگیری شود و برخی از اقدامات کنترلی اعمال گردد. بی‌تردید، بیشترین امنیت در برابر خطرات بهداشتی و اثرات نامطلوب زیست‌محیطی هنگامی‌به دست می‌آید که استفاده از پساب تنها در مناطق کنترل‌شده که عموم مردم به آن دسترسی ندارند، انجام شود. اما حتی با اعمال محدودیت‌هایی برای آبیاری با پساب توسط کشاورزان، در صورت اجرای صحیح، می‌توان به درجه‌ای از کنترل دست یافت.

کوبهام و جانسون (۱۹۸۸) برخی از مسائل مهم و کلیدی که می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر موفقیت نهایی آبیاری با پساب داشته باشند را به شرح زیر ارائه کرده‌اند:

- تمهیدات سازمانی و مدیریتی اتخاذ شده برای اداره منابع آب، انتخاب طرح استفاده از پساب و اجرای آن؛
- اهمیتی که به ملاحظات بهداشت عمومی‌و سطوح خطر داده می‌شود؛
- انتخاب درست برای یکبار مصرف از پساب یا چند بار مصرف از آن؛
- معیارهای اتخاذ شده برای ارزیابی گزینه‌های جایگزین؛ و
- سطح اهمیتی که به مصرف پساب برای جنگل کاری داده شده است.

استفاده از چند بار مصرف پساب، به طور معمول با انعطاف‌پذیری بیشتر، افزایش امنیت مالی و استفاده کارآمدتر از پساب در طول سال همراه است، در حالی که استفاده یکبار مصرف منجر به مازاد فصلی پساب می‌شود. بنابراین، در انتخاب محل و محصول، فراهم کردن امکانات برای کشت‌های گوناگون و جنگل‌کاری به‌منظور استفاده از پساب با حداکثر بازده در کل چرخه سالانه فصول باید مورد نظر قرار گیرد.

۱۳-۲۹- ویژگی‌های منطقه دلخواه برای کاربرد پساب

پایداری پروژه کاربرد پساب به موقعیت زمین و نگرش‌های عمومی‌مربوط است. زمینی که از تصفیه‌خانه فاصله زیادی داشته باشد، هزینه‌های زیادی را برای انتقال پساب همراه دارد و به طور کلی مناسب نخواهد بود. از این رو، در دسترس بودن زمین برای آبیاری با پساب باید در هنگام برنامه‌ریزی در نظر گرفته شود. با این دیدگاه، نه تنها انتخاب محل کشاورزی اهمیت دارد، بلکه باید در انتخاب محل تصفیه‌خانه نیز دقت شود. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب باید در ارتباط با زمین‌های کشاورزی در جای مناسب قرار گیرند. در حالت ایده‌آل، این مکان‌ها نباید به مناطق مسکونی نزدیک باشند. چنانچه نگرش‌های اجتماعی، فرهنگی یا مذهبی با آبیاری فاضلاب مخالف باشد، حتی زمین‌های دوردست نیز ممکن است برای عموم قابل قبول نباشد. خطرات بهداشتی مرتبط با آبیاری با پساب، می‌تواند این موضوع را به یک چالش بسیار حساس تبدیل کند. نگرانی عمومی تنها با اعمال اقدامات کنترلی دقیق برطرف می‌شود. در مناطق خشک، اهمیت استفاده کشاورزی از پساب باعث می‌شود تا در برنامه ریزی، ساخت و مدیریت پروژه‌های آبیاری با پساب دقت بیشتری انجام شود. در این تصمیم گیری‌ها مردم باید در تمام مراحل مشارکت داشته باشند. هدف ایده آل در انتخاب مکان، یافتن منطقه‌ای مناسب است که در آن کاربرد طولانی مدت پساب بدون اثرات نامطلوب زیست‌محیطی یا بهداشت همگانی امکان پذیر باشد. داشتن اطلاعات زیر برای انتخاب محل مناسب ضروری است:

- نقشه توپوگرافی؛
- نقشه‌های خاک شناسی کشاورزی؛
- عکس‌های هوایی؛
- نقشه‌ها و گزارش‌های زمین شناسی؛
- گزارش آب‌های زیرزمینی و نیمرخ چاه‌های منطقه؛
- نتایج آزمایش‌های مکانیک خاک و نیمرخ گمانه‌ها؛ و

- سایر داده‌های مربوط به خاک و پیزومتری.

در مرحله بررسی‌های مقدماتی، باید بتوان تأثیر بالقوه کاربرد پساب را بر روی آبخوان ارزیابی کرد. نخستین رتبه بندی مناطق مساعد باید علاوه بر شرایط خاک و آب زیرزمینی، عوامل دیگری مانند هزینه، موقعیت زمین، کاربری کنونی و عوامل اجتماعی را در نظر بگیرد.

ویژگی‌های نیمرخ خاک در تصمیم گیری در مورد مناسب بودن آن برای آبیاری با پساب و روش مناسب آبیاری بسیار مهم است. از جمله این ویژگی‌ها عبارتند از: پارامترهای فیزیکی مانند بافت، شیب و تسطیح، حد روانی و حد خمیری، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب در خاک، pH، شوری و ترکیب شیمیایی.

مشاهده اولیه مناطق مساعد، که می‌تواند شامل حفر گمانه‌های کم عمق و شناسایی پوشش گیاهی باشد، امکان حذف مکان‌هایی که به روشنی نامناسب هستند را فراهم می‌کند. پس از حذف این مکان‌ها، هر سایتی که به طور جدی مورد توجه قرار می‌گیرد، باید توسط گمانه‌هایی بررسی شود تا نیمرخ خاک، ویژگی‌های خاک و موقعیت سطح ایستابی مشخص شود. پیزومترها باید در هر گمانه باقی بمانند تا بتوان از آنها برای نمونه برداری بعدی از آب زیرزمینی استفاده کرد. هنگامی‌که یک سایت انتخاب شد، پایش درازمدت آب زیرزمینی باید در برنامه کار قرار گیرد.

منابع

ابراهیمی زاده، م.ع.، حسنلی، ع. م.، احمدی راد، ش. ۱۳۸۵. حداقل اثرات زیست محیطی پساب فاضلاب شهری بر خاک در کشت ذرت. مجموعه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.

اکرم، م.، ۱۴۰۱. زهکشی کشاورزی، تجربه های ایران، جلد نخست : وضع موجود آب و خاک، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

اکرم، م.، ۱۴۰۱. زهکشی کشاورزی، تجربه های ایران، جلد دوم: معیارهای طراحی زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

بدیعی، آ.، کاراندیش، ف.، طباطبائی، م. ۱۳۹۵. تأثیر آبیاری با پساب خام و تصفیه‌شده شهری بر عملکرد گندم و ویژگی‌های میکروبی خاک و گیاه. نشریه آب و خاک. جلد ۲۶. شماره ۲.

پذیرا، ا.، راهنمای کاربرد مدل های تجربی و نظری آبشویی نمک‌ها ی خاک‌ها ی شور، ۱۳۸۵. سازمان برنامه و بودجه، نشریه ۳۵۹

جلالی، ع.، گلوی، م.، قنبری، ا. ، رمرودی، م. ۱۳۸۹. اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد و جذب فلزات سنگین در سورگوم. مجله علوم آب و خاک. ۱۴(۵۲ :۲۵-۱۵).

جواهریان، ز.، فاتح وحدتی، ع. ر.، رحمتی، ع. ر.، زمانی، ز. ۱۳۹۵. اهداف توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، انتشارات حک، شابک ۴-۶۲-۶۶۸۲-۶۰۰-۹۷۸

حاتمیان، ل.، رفعتی، م. فرساد، ف. ۱۳۹۸. اثر آبیاری با فاضلاب بر انباشت فلزات سرب و کادمیوم در خاک و دانه‌های گندم و جو. مدیریت آب و آبیاری. ۹(۲): ۳۳۲-۳۲۱.

حاجی‌نمکی، س. امامی، ح. فتوت، الف. ۱۳۹۸. کاربرد تجزیه مولفه‌ها ی اصلی برای شناسایی تغییرات ویژگی‌های خاک ناشی از آبیاری با پساب در اراضی حاشیه رودخانه کشف رود، نشریه آب و خاک، ۳۳ (۲).

زارع میرک اباد، ر.، سهرابی، ت.، متشرع زاده، ب. ۱۳۹۷. اثر کم آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری بر عملکرد ذرت. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹(۳)، ۵۱۴-۵۰۵.

شیرعلی، ا. ۲۰۲۰. گزارش اهداف توسعه پایدار سازمان ملل، مرکز افکارسنجی دانشجویان ایران
http://www.ispa.ir/Default/Details/fa/2257/%DA%AF%D8%B2%D8%A7%D8%B1%D8%B4-%D8%A7%D9%87%D8%AF%D8%A7%D9%81-%D8%AA%D9%88%D8%B3%D8%B9%D9%87-%D9%BE%D8%A7%DB%8C%D8%AF%D8%A7%D8%B1-%D8%B3%D8%A7%D8%B2%D9%85%D8%A7%D9%86-%D9%85%D9%84%D9%84-(2020)

عرفانی، ع.، حق نیا ،غ. علیزاده، ا. ۱۳۸۱. تأثیر آبیاری با فاضلاب بر عملکرد وکیفیت کاهو و برخی ویژگی‌های خاک. مجله علوم آب و خاک. ۶ (۱) :۹۲-۷۱.

علی محمدی، ر. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات حاصله در خاک و گیاه ناشی از آبیاری با استفاده از پساب تصفیه شده شهری و تأثیر آن بر عملکرد یونجه. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹ (۱): ۴۷-۳۵.

محمدی، پ.، ۱۳۸۵. مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پسابها برای آبیاری، نشریه شماره ۱۰۴، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

مرکز آمار ایران، ۱۳۹۶، نتایج تفصیلی سرشماری عمومی کشاورزی سال ۱۳۹۵. استان خوزستان.

مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹، نتایج تفصیلی سرشماری عمومی کشاورزی سال ۹۸-۱۳۹۷. استان خوزستان.

مظهری، م. ۱۳۹۹. آلودگی خاک به فلزات سنگین و پالایش گیاهی، چاپ دوم، انتشارات پلک، شابک ۹۷۸۹۶۴۲۳۵۱۷۰۱

مهندسین مشاور پندام. ،۱۳۸۱ . فعالیت های انسانی و اثرات آنها بر اکوسیستم تالاب شادگان، جلد ۳ از مجموعه گزارش های مطالعات مدیریت زیست محیطی تالاب شادگان، پروژه بهسازی آبیاری ایران، وزارت جهاد کشاورزی.

مهندسین مشاور پندام. ،۱۳۸۱ . فعالیت های انسانی و اثرات آنها بر اکوسیستم تالاب شادگان، جلد ۲ از مجموعه گزارش های مطالعات مدیریت زیست محیطی تالاب شادگان، پروژه بهسازی آبیاری ایران، وزارت جهاد کشاورزی.

مهندسین مشاور پندام. ،۱۳۸۱. محیط طبیعی بوم سازگان تالاب شادگان، جلد ۱ از مجموعه گزارش های مطالعات مدیریت زیست محیطی تالاب شادگان، پروژه بهسازی آبیاری ایران، وزارت جهاد کشاورزی .

مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۹، سیمای طرح و ارزیابی زیست محیطی، از مجموعه گزارش‌های مطالعات بازنگری مرحله اول شبکه آبیاری و زهکشی در سطح ۲۸۰۰۰ هکتار و انجام مطالعات مرحله دوم شبکه آبیاری و زهکشی نخیلات موجود در سطح ۲۰۰۰ هکتار در پایین‌دست رودخانه جراحی، سازمان آب و برق خوزستان.

نظری، م.ع.، شریعتمداری، ح.، افیونی، م.، مبلی، م.، رحیلی، ش. ۱۳۸۵. اثر کاربرد پساب و لجن پساب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۳): ۱۱۱-۹۷.

وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۶. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۵- ۱۳۹۴. جلد اول.

همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره انتشار ۵۸

یارقلی، ب. ۱۳۹۶. استفاده از منابع آب نامتعارف در راستای مدیریت بحران آب کشور. بخشی از نشریه "تحلیل‌ها ی فنی در مدیریت و مهندسی کشاورزی ایران (جلد اول)" . موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

یزدانی، و. قهرمان، ب. داوری، ک و فاضلی، ا. ۱۳۹۳. تأثیر پساب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، علوم و تکنولوزی محیط. دوره شانزدهم، صفحه ۵۵۸-۵۴۳.

Ababsa, N., Kribaa, M., Tamrabet, L., Addad, D., Hallaire, V., Ouldjaoui. 2020. Long-term effects of wastewater reuse on hydro physicals characteristics of grassland grown soil in semi-arid Algeria. Journal of King Saud University, 32(1), 1004-1013.

Abd-Elwahed, M. S. 2019. Effect of long-term wastewater irrigation on the quality of alluvial soil for agricultural sustainability. Annals of Agricultural Sciences.

Abuzaid, A. S., Jahin, H. 2021. Implications of irrigation water quality on shallow groundwater in the Nile Delta of Egypt: A human health risk prospective. Environmental Technology & Innovation, 22. 101383. 10.1016/j.eti.2021.101383

Agri Drain *https://www.agridrain.com/smart-drainage-system/*

Ali, H., Khan, E., Ilahi, I., 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. J. Chem. *https://doi.org/10.1155/2019/6730305, 2019*

Alloway, B.J., 2013. Heavy Metals in Soils.
https://doi.org/ 10.1016/s0165-9936(9690032-1

Al-Shreideh, B. 2001. Reuse of Treated Waste Water in Irrigation and Agriculture as a non-conventional Resource in Jordan. In Advanced Short course: Water Saving and Increasing Water Productivity: Challenges and Options. Amman (Jordan), 10-23 Mar 2001. CIHEAM-IAMB.

Angelakis, A., Gikas, P., 2014. Water reuse: overview of current practices and trends in the world with emphasis on EU states. Water Utility Journal 8, 67–78.

Angelakis, A.N., Durham, B., 2008. Water recycling and reuse in EUREAU countries: trends and challenges. Desalination 218, 3–12. https://doi.org/10.1016/j. desal.2006.07.015.

Anwar, H., Shahid, M., Natasha., Niazi, N., Khalid, S., Tariq, Z., Ahmad, S., Nadeem, M., Abbas, G. 2021. Risk assessment of potentially toxic metal(loids) in Vigna radiata L. under wastewater and freshwater irrigation. Chemosphere, 265.

Asemoloye, M.D., Marchisio, M.A., Gupta, V.K., Pecoraro, L., 2021. Genome-based engineering of ligninolytic enzymes in fungi. Microb. Cell Factories 20, 20.
https://doi.org/10.1186/s12934-021-01510-9

Asgari, K., Cornelis, W. M. 2015. Heavy metal accumulation in soils and grains, and health risks associated with use of treated municipal wastewater in subsurface drip irrigation. Environ Monit Assess 187:410.

Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z.A., Ashraf, S., Asghar, H.N., 2019. Phytoremediation: environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. Ecotoxicol. Environ. Saf. 174, 714–727. https://doi.org/10.1016/j. ecoenv.2019.02.068

Assadian, N. W., Di Giovanni, G. D., Enciso, J., Iglesias, J., Lindemann, W. 2005. The transport of waterborne solutes and bacteriophage in soil subirrigated with a wastewater blend. Agriculture, ecosystems & environment, 111(1-4, 279-291).

Atamaleki, A., Yazdanbakhsh, A., Fallah, S., Hesami, M., Nesaht, A., Fakhri, Y. 2021. Accumulation of potentially harmful elements (PHEs) in lettuce (Lactuca sativa L.) and coriander (Coriandrum sativum L.) irrigated with wastewater: a systematic review and meta-analysis and probabilistic health risk assessment. Environmental Science and Pollution Research.

Australian Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities 2012. National Pollutant Inventory—Total Phosphorus: Environmental Effects. Australian Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities.

Bahmanyar, M.A., 2008. Effects of long-term irrigation using industrial wastewater on soil properties and elemental contents of rice, spinach, clover, and grass, Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 39, Issue 11, pp 1620-1629.

Balkhi, A., Ebrahimian, H., Ghameshlou, A.N., Amini, M. 2022. Modeling of nitrate and ammonium leaching and crop uptake under wastewater application considering nitrogen cycle in the soil. Model. Earth Syst. Environ.
https://doi.org/10.1007/s40808-022-01546-9

Barakat, M.A., 2011. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. Arab. J. Chem. 4, 361–377. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.07.019

Bedbabis, S., Trigui, D., Ahmed, C. B., Clodoveo, M. L., Camposeo, S., Vivaldi, G. A., Rouina, B. B. 2015. Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. Agricultural Water Management, 160, 14-21.

Beidou, X., Hong, Y., Yanping, L., Qiuling, D., Wenbing, T., Yan, W,. Dongyu, C. 2021. Insights into the effects of heavy metal pressure driven by long-term treated wastewater irrigation on bacterial communities and nitrogen-transforming genes along vertical soil profiles. Journal of Hazardous Materials, 403.

Busgang, A., Friedler, E., Gilboa, Y., Gross, A., 2018. Quantitative Microbial Risk Analysis for Various Bacterial Exposure Scenarios Involving Greywater Reuse for Irrigation, vol. 10. Water, pp. 1–15. *https://doi.org/10.3390/w10040413.*

Çakmakci, T., & Şahin, Ü. 2020. The effect of using treated wastewater with different irrigation methods on silage maize macro-micro element and heavy metal accumulation. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 17(1), 12-23.

California Department of Public Health, 2014. California Department of Public Health. Regulations Related to Recycled Water 1–115.

Cameron, D. R. 1997. Sustainable Effluent Irrigation Phase II: Review of Monitoring Data Moose Jaw. Tech. Rept. prepared for Irrigation Sustainability Committee, Canada-Saskatchewan Agriculture Green Plan.

Carr, G., Potter, R.B., Nortcliff, S., 2011. Water reuse for irrigation in Jordan: perceptions of water quality among farmers. Agric. Water Manag. 98, 847–854.
https://doi.org/ 10.1016/j.agwat.2010.12.011.

Chaganti, V. N., Ganjegunte, G., Niu, G., Ulery, A., Flynn, R., Enciso, J. M., ... & Kiniry, J. R. 2018. Effects of treated urban wastewater irrigation on bioenergy sorghum and soil quality. Agricultural Water Management, 228, 105894

Chavez, A., Maya, C., Gibson, R., Jimenez, B., 2011. The removal of microorganisms and organic micropollutants from wastewater during infiltration to aquifers after irrigation of farmland in the Tula Valley, Mexico. Environ. Pollut. 159, 1354–1362.
https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.008.

Chen, F., Khan, Z., Zafar, A., Ma, J., Nadeem, M., Ahmad, K., Mahpara, S., Wajid, K., Bashir, H., Munir, M., Saleem, I., Ashfaq, A., Ugulu, I., Dogan, Y., Yang, Y. 2021. Evaluation of toxicity potential of cobalt in wheat irrigated with wastewater: health risk implications for public. Environmental Science and Pollution Research.

Chen, W., Lu, S., Jiao, W., Wang, M., Chang, A.C., 2013. Reclaimed water: a safe irrigation water source? Environ. Dev. 8, 74–83. *https://doi.org/10.1016/j. envdev.2013.04.003.*

Cheraghi S. A. M., 2004. Institutional and scientific profiles of organizations working on saline agriculture in Iran. In Prospects of Saline Agriculture in the Arabian Peninsula: Proceedings of the International Seminar on Prospects of Saline Agriculture in the GCC

Cheraghi, S. A. M., 2012, Edited by: Mary K. Halim, Status and New Developments on the Use of Brackish Water for Agricultural Production in the Near East, Iran Country Report, United Nations Food and Agriculture Organization Regional Office for the Near East (RNE

Commision on Ecology and Development Cooperation (CEDC, 1986. Report on environment and development cooperation, Royal Tropical Institute, Amsterdam, the Netherlands

Darvish, T. 2018. Origin of heavy metals in agricultural soils of Lebanon and the need for adapted soil thresholds, Global Symposium on Soil Pollution, FAO, Italy, 2-4 May.

DehghaniSanij, H., Yamamoto, T., Rasiah, V., Utsunomiya, J., Inoue, M. 2004. Impact of biological clogging agents on filter and emitter discharge characteristics of microirrigation systems. Irrigation and Drainage, 53(4), 363-373.

Derakhshan Nejad, Z., Jung, M.C., Kim, K.H., 2018. Remediation of soils contaminated with heavy metals with an emphasis on immobilization technology. Environ. Geochem. Health 40, 927–953. *https://doi.org/10.1007/s10653-017-9964-z*

Dewan, M. L., and J. Famouri. 1964. *The Soils of Iran*. *FAO*, Rome

Drechsel, P., Keraita, B., Amoah, P., Abaidoo, R.C., Raschid-Sally, L., Bahri, A., 2008. Reducing health risks from wastewater use in urban and peri-urban sub-Saharan Africa: applying the 2006 WHO guidelines. Water Sci. Technol. 57, 1461–1466. *https://doi.org/10.2166/wst.2008.245*

Elbehiry, F., Elbasiouny, H., El-Ramady, H., Brevik, E.C., 2019. Mobility, distribution, and potential risk assessment of selected trace elements in soils of the Nile Delta, Egypt. Environ. Monit. Assess. 191, 713

Elfanssi, S., Ouazzani, N., Mandi, L. 2018. Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (Medicago sativa L.) irrigated by treated domestic wastewater. Agricultural water management. 202, 231-240.

Erel, R., Eppel, A., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Levy, G., Zipori, I., ... & Dag, A. 2019. Long-term irrigation with reclaimed wastewater: Implications on nutrient management, soil chemistry and olive (Olea europaea L. performance. Agricultural water management, 213, 324-335.

FAO 1989. Wastewater quality guidelines for agricultural use. Irrigation and Drainage paper.

FAO, 1988. Salt-affected soils and their management. FAO soils bulletin 39, Rome, Italy, 131 p.

Farid, I., Abbas, M., Bassouny, M., Gameel, A., & Abbas, H. 2020. Indirect Impacts of Irrigation with Low-Quality Water on The Environmental Safety. Egyptian Journal of Soil Science, 60(1 (In progress, 1-15.

Farshad, A., Pazira, E., Noroozi A. A. 2018. Chapter 13: Human-Induced Land Degradation, In book: The Soils of Iran, DOI: 10.1007/978-3-319-69048-3_12

Feng-cun, Y., Guo-hua, F., Nai-fu, W. 2008. Effect of reclaimed wastewater irrigation on flour quality and performance in steamed breadmaking of wheat. Journal of Biotechnology. 136, 717-742.

Fu, Y., Li, F., Guo, S., Zhao, M. 2021. Cadmium concentration and its typical input and output fluxes in agricultural soil downstream of a heavy metal sewage irrigation area. Journal of Hazardous Materials.

Galitskaya, I. V., Mohan, K. R., Krishna, A. K., Batrak, G. I., Eremina, O. N., Putilina, V. S., Yuganova, T. I. 2017. Assessment of soil and groundwater contamination by heavy metals and metalloids in Russian and Indian megacities. Procedia Earth and Planetary Science, 17, 674-677.

Gasparatos, D. Soil Contamination by Heavy Metals and Metalloids. Environments 2022, 9, 32. *https://doi.org/10.3390/ environments9030032*

Grismer M. 1990. Leaching fraction, soil salinity, and drainage efficiency. Calif Agr 44(6):24-26.

Gushiken, E. C. 1995. Water reuse through subsurface drip irrigation systems. In Journal of AWWA, Annual Conference Proceedings (Vol. 500).

Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Koupai, J. A., Malekian, R. 2007. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agricultural Water Management, 90(1-2, 87-94).

Hillel, D., 2000. Salinity management for sustainable irrigation. The International Bank for Reconstruction

Hopmans, J.W., Qureshi, A.S., Kisekka, I., Munns, R., Grattan, S.R., Rengasamy, P., Ben-Gal, A., Assouline, S., Javaux, M., Minhas, P.S. and Raats, P.A.C., 2021. Critical knowledge gaps and research priorities in global soil salinity. Advances in agronomy, 169, pp.1-191.

Hossain, M.B., Jahiruddin, M., Panaullah, G.M., Loeppert, R.H., Islam, M.R., Duxbury, J. M., 2008. Spatial variability of arsenic concentration in soils and plants, and its relationship with iron, manganese and phosphorus. Environ. Pollut. 156, 739–744.
https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.06.015

http://geisseler.ucdavis.edu/Guidelines/N_Uptake.html.

https://epi.envirocenter.yale.edu/epi-indicator-report/WRS?country=iran

https://waterse.ir/unripened-soil-drainage

Humboldt University of Berlin, August 2017, Water Quality for Irrigation in Khuzestan Based on Selected Hydrometic Stations in Dez, Karun, Maroon, Zohre and Karkhe River Basins

Ivushkin, K., H. Bartholomeus, A. K. Bregt, A. Pulatov, B. Kempen, and L. De Sousa. 2019. Global mapping of soil salinity change. Remote Sensing of Environment 231: 111260.

Jahany, M., Rezapour, S. 2020. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment. Ecological Indicators, 109, 105800.

Jampani, M., Leidl, R., Hülsmann , S., Sonkamble, S., Amerasinghe, P. 2020. Hydrogeochemical and mixing processes controlling groundwater chemistry in a wastewater irrigated agricultural system of India. Chemosphere, 239.

Janeiro, C., Arsenio, M., Brito, R., Lier, V. 2020. Use of (partially) treated municipal wastewater in irrigated agriculture; potentials and constraints for sub-Saharan Africa. Physics and Chemistry of the Earth, 118-119.

Kass, A., Gavrieli, I., Yechieli, Y., Vengosh, A., Starinsky, A. 2005. The impact of freshwater and wastewater irrigation on the chemistry of shallow groundwater: a case study from the Israeli Coastal Aquifer. J. Hydrol. 300, 314–331.

Keshavarzi, A., Kumar, V., 2019. Ecological risk assessment and source apportionment of heavy metal contamination in agricultural soils of northeastern Iran. Int. J. Environ. Health Res. 29 (5, 544–560. *https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1555638*

Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z., Zhu, Y. G. 2008. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental pollution, 152(3), 686-692.

Khanpae, M., Karami, E., Maleksaeidi, H., & Keshavarz, M. 2020. Farmers' attitude towards using treated wastewater for irrigation: The question of sustainability. Journal of Cleaner Production, 243, 118541.

Kiepper, O., Chairuddin, Gt., Hatta, M. 1990. Ecological aspects of the development of acid sulphate soils in the humid tropics, Agency for Agricultural Research and Development, Jakarta

Kiziloglu, F. M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., Dursun, A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (Brassica olerecea L. var. botrytis) and red cabbage (Brassica olerecea L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural water management, 95(6), 716-724.

Klay, S., Charef, A., Ayed, L., Houman, B., Rezgui, F. 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse) perimeter, Oriental Tunisia. Desalination, 253(1-3), 180-187.

Lado M., Ben-Hur M. 2009. Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: a review. Soil and Tillage Research 106, 152-163.

Lazarova, V., Bahri, A., 2004. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass.

Leghari, Sh. J., Wahocho, N. M., Laghari, Gh. M., Laghari, A. H., Babhan, Gh. M., Talpur, KH. H., Bhutto, T. A., Wahocho, S. A., Lashari, A. A., Role of nitrogen for plant growth and development: a review, 2016. Advances in Environmental Biology, vol. 10, no. 9

Letshwenyo, M., Mokokwe, G. 2020. Accumulation of heavy metals and bacteriological indicators in spinach irrigated with further treated secondary wastewater. Heliyom, 6(10).

Li, B., Zhou, F., Huang, K., Wang, Y., Mei, S., Zhou, Y., Jing, T., 2016. Highly efficient removal of lead and cadmium during wastewater irrigation using a polyethylenimine-grafted gelatin sponge. Sci. Rep. 6, 1–9. *https://doi.org/10.1038/ srep33573.*

Liang, Q., Gao, R., Xi, B., Zhang, Y., Zhang, H. 2014. Long-term effects of irrigation using water from the river receiving treated industrial wastewater on soil organic carbon fractions and enzyme activities. Agricultural Water Management, 135, 100-108.

Maas, E.V. & Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance - current assessment. Proceedings American Society of Civil Engineers: Journal of Irrigation and Drainage Division, 103 (IRZ): pp. 115-134.

Mahfooz, Y., Yasar, A., Guijian, L., Islam, Q. U., Akhtar, A. B. T., Rasheed, R., ... & Naeem, U. 2020. Critical risk analysis of metals toxicity in wastewater irrigated soil and crops: a study of a semi-arid developing region. Scientific reports, 10(1), 1-10.

Mahmood, A., Mahmoud, A. H., El-Abedein, A. I. Z., Ashraf, A., & Almunqedhi, B. M. 2020. A comparative study of metals concentration in agricultural soil and vegetables irrigated by wastewater and tube well water. Journal of King Saud University-Science.

Mani, D., Sharma, B., Kumar, C. 2013.. Depth-wise distribution, mobility and naturally occurring glutathione based phytoaccumulation of cadmium and zinc in sewage-irrigated soil profiles. Int. J. Environ. Sci. Technol. 10, 1167–1180.

Mapanda, F., Mangwayana, E. N., Nyamangara, J., Giller, K. E. 2005. The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. Agriculture, Ecosystems & Environment, 107(2-3), 151-165.

Mardamootoo, T., Du Preez, C. C., & Barnard, J. H. 2021. Agricultural Phosphorus Management for Environmental Protection: A Review. Journal of Geoscience and Environment Protection, 9, 48-81. doi: 10.4236/gep.2021.98004.

Mkhinini, M., Boughattas, I., Alphonse, V., Livet, A., Giusti-Miller, S., Banni, M., & Bousserrhine, N. 2020. Heavy metal accumulation and changes in soil enzymes activities and bacterial functional diversity under long-term treated wastewater irrigation in East Central region of Tunisia (Monastir governorate. Agricultural Water Management, 235, 106150.

Momeni A 2009 = 1389 Iranian calander Geographic distribution of saline surfaces and of soil resources in Iran. Soil Res J (Soil and Water Sciences/ Alef/Vol.24/Number 3) (in Persian)

Natasha, N., Shahid, M., Khalid, S., Niazi, K., Murteza, B., Ahmad, N., Farooq, A., Zakir, A., Imrab, M., Abbas, G. 2021. Health risks of arsenic buildup in soil and food crops after wastewater irrigation. Science of The Total Environment.

National Atmospheric Deposition Program.
https://nadp.slh.wisc.edu/filelib/maps/animated/NO3_dep_ani.pdf

National Research Council 2000. Clean Coastal Waters: Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution. The National Academies Press. *https://doi.org/10.17226/9812*

Nawaz, N., Haq, M., Akhtar, J., Arfan, M. 2021. Cadmium, chromium, nickel and nitrate accumulation in wheat (Triticum aestivum L.) using wastewater irrigation and health risks assessment. Ecotoxicology and Environmental Safety, 208.

Nitrogen in the Environment: Leaching
https://extension.missouri.edu/publications/wq262

Oladoye, P. O., Olowe, O. M., Asemoloye, M. D. 2022. Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: A review of literature, Chemosphere, Volume 288, Part 2, 2022, 132555, ISSN 0045-6535, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132555. *(https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521030277*

Oomen, J. M. V., de Wolf, J., Jobin, W. R., 1990. Health and irrigation: Incorporation of disease control measures in irrigation. A multi faceted task in design, construction, operation. Volumes 1 and 2, ILRI publication 45. Wagennigen, the Netherlands

Oron, G., Campos, C., Gillerman, L., Salgot, M. 1999. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. Agricultural water management, 38(3), 223-234.

Orsini, F., Kahane, R., Nono-Womdim, R., Gianquinto, G., 2013. Urban agriculture in the developing world: a review. Agron. Sustain. Dev. 33, 695–720.
https://doi.org/ 10.1007/s13593-013-0143-z.

Passioura, J. B., Soil structure and plant growth, 1991. Australian Journal of Soil Research 29(6) 717 – 728

Pedrero, F., Alarcón, J. J. 2009. Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. Desalination, 246(1-3, 631-639.

Pereira, L. S., Oweis, T., Zairi, A. 2002. Irrigation management under water scarcity. Agricultural water management, 57(3), 175-206.

Pescod. M. B, 1992. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47, ISBN 92-5-103135-5
https://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm

Powley, H.R., Du, H.H., Lima, A.T., Krom, M.D., Cappellen, P. Van, 2016. Direct discharges of domestic wastewater are a major source of phosphorus and nitrogen to the Mediterranean sea. Environ. Sci. Technol. 50, 8722–8730.
https://doi.org/ 10.1021/acs.est.6b01742.

Qadir, M., A. S. Qureshi, and S. A. M. Cheraghi. 2008. Extent and characterisation of salt affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *Land Degradation & Development* 19(2:214–227.

Qian, Y. L., Mecham, B. 2005. Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. Agronomy Journal, 97(3, 717-721.

Qureshi, A. S., Qadir, M., Heydari, N., Turral, H., Javadi, A. 2007. A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. International Water Management Institute, IWMI Working Paper 125, Colombo, Sri Lanka, 30 p.

Ramos, T. B., Castanheira, N., Oliveira, A. R., Paz, A. M., Darouich, H., Simionesei, L., Farzamian, M., & Goncalves, M. C. 2020. Soil salinity assessment using vegetation indices derived from Sentinel-2 multispectral data. Application to Leziria Grande, Portugal. Agricultural Water Management, 241, 106387.
https:// doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106387

Rezania, Sh., Kamyab, H., Rupani, P. F., Park, J., Nawrot, N., Wojciechowska, E., Krishna Kumar Yadav, K., Lotfi Ghahroud, M., Mohammadi, A. K., Thirugnana, S. T., Chelliapan, Sh., Cabral-Pinto, M. M.S. 2021. Recent advances on the removal of phosphorus in aquatic plant-based systems, Environmental Technology & Innovation, Volume 24, ISSN 2352-1864,
https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101933.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186421005812

Roozitalab, M.H., Siadat, H. and Farshad, A. 2018. The Soils of Iran, Springer International Publishing, DOI: 10.1007/978-3-319-69048-3_12

Rothenberg, S. E., Du, X., Zhu, Y. G., Jay, J. A. 2007. The impact of sewage irrigation on the uptake of mercury in corn plants (Zea mays) from suburban Beijing. Environmental Pollution, 149(2), 246-251.

Rusan, M. J. M., Hinnawi, S., & Rousan, L. 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination, 215(1-3), 143-152.

Şahin, Ü., Anapalı, Ö., Dönmez, M. F., Şahin, F. 2005. Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. Journal of environmental management, 76(4), 338-341.

Samarah, N. H., Bashabsheh, K. Y., & Mazahrih, N. T., 2020. Treated wastewater outperformed freshwater for barley irrigation in arid lands. Italian Journal of Agronomy.

Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., Zahoor, A., 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. Agric. Water Manag. 130, 1–13. *https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007.*

Schipper, L. A., Williamson, J. C., Kettles, H. A., Speir, T. W. 1996. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. Journal of Environmental Quality, 25(5), 1073-1077.

Sharpley, A. N., & Beegle, D. 2001. Managing Phosphorus for Agriculture and the Environment. Pennsylvania State University.

Sharpley, A. N., & Wang, X. 2014. Managing Agricultural Phosphorus for Water Quality: Lessons from the USA and China. Journal of Environmental Science, 26, 1770-1782.*https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.06.024*

Singh, A. 2021. Soil salinity: A global threat to sustainable development. Soil Use and Management, 00, 1–29. *https://doi. org/10.1111/sum.12772*

Slima, D., Ahmed, D. 2020. Trace Metals Accumulated in Pea Plant (Pisum sativum L. as a Result of Irrigation with Wastewater. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20, 2749-2760.

Stevens, D. P., McLaughlin, M. J., Smart, M. K. 2003. Effects of long-term irrigation with reclaimed water on soils of the Northern Adelaide Plains, South Australia. Soil Research, 41(5), 933-948.

Suman, J., Uhlik, O., Viktorova, J., Macek, T., 2018. Phytoextraction of heavy metals: a promising tool for clean-up of polluted environment? Front. Plant Sci. 9, 1476. *https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01476*

Tanji Kenneth K. and Neeltje C. Kielen, 2002. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas, FAO publication 61, ISBN 9251048398

Thiruchelve, S., Chandran, S., Kumar, P., Veluswamy, K. 2020. Assessment of environmental impacts in the untreated urban wastewater irrigated sites – a case study. Agricultural and Biological Engineers.

Tian, F., Hou, M., Qiu, Y., Zhang, T., & Yuan, Y., 2020. Salinity stress effects on transpiration and plant growth under different salinity soil levels based on thermal infrared remote (TIR technique. Geoderma, 357, 113961. *https://doi.org/10.1016/j.geode rma.2019.113961*

Touil, S., Chabaca, M. N., & Hasbaia, O. 2020. Impact assessment of long treated wastewater irrigation on soil and crops in Algeria. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration, 5(3, 1-10.

University of California, Davis, California Fertilization Guidelines, *http://geisseler.ucdavis.edu/Guidelines/Home.html*

US EPA, 2000. Wastewater Technology Fact Sheet: Free Water Surface Wetlands

Vairavamoorthy, K., Gorantiwar, S.D., Pathirana, A., 2008. Managing urban water supplies in developing countries – climate change and water scarcity scenarios. Phys. Chem. Earth 33, 330–339. *https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.008*.

Van Genuchten, M. Th.,G., J., Hoffman, 1984. Analysis of crop salt tolerance data. Ecological Studies. 51. 258-271.

Vazquez-Montiel, O., Horan, N. J., Mara, D. D. 1996. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. Water Science and Technology, 33(10-11), 355-362.

Walker, C., Lin, H. S. 2008. Soil property changes after four decades of wastewater irrigation: A landscape perspective. Catena, 73(1, 63-74.

Wang, H-j, Wang, J., Yu, X. 2022. Wastewater irrigation and crop yield: A meta-analysis. Journal of Integrative Agriculture, 21(4): 1215-1224. DOI: 10.1016/S2095-3119(2163853-4

Wang, J. F., Wang, G. X., Wanyan, H. 2007. Treated wastewater irrigation effect on soil, crop and environment: Wastewater recycling in the loess area of China. Journal of Environmental Sciences, 19(9), 1093-1099.

Wang, X., Zhang, F., Kung, H.-T., Johnson, V. C., & Latif, A. 2020. Extracting soil salinization information with a fractional-order filtering algorithm and grid-search support vector machine (GS-SVM model. International Journal of Remote Sensing, 41(3), 953–973. *https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1654142*

Wolters, W., 1992. Influences on the efficiency of irrigation water use. 1992. ILRI Publication51, Wagenningen, the Netherlands

World Bank, 2016. Agriculture, value added (% of GDP. | Data | Table [WWW Document]. The World Bank Group. *http://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR. TOTL.ZS*

World Health Organization. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater in agriculture and aquaculture. World Health Organization. *https://apps.who.int/iris/handle/10665/78265*

Wuana, R.A., Okieimen, F.E., 2011. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. ISRN Ecol 1–20. *https://doi.org/10.5402/2011/402647, 2011*

Yale Center for Environmental Law & Policy, Yale University, Environmental Performance Index (EPI 2022, Ranking country performance on sustainability issues *https://epi.envirocenter.yale.edu/epi-indicator-report/WRS?country=iran*

Yale Environment 360, DIGEST, APRIL 30, 2018. Published at the Yale School of the Environment *https://e360.yale.edu/digest/scientists-confirm-florida-sized-dead-zone-in-the-gulf-of-oman*

Zhang K, Shi Y, Cui X, Yue P, Li K, Liu X, Tripathi BM, Chu H. 2019. Salinity is a key determinant for soil microbial communities in a desert ecosystem. mSystems 4:e00225-18. *https://doi.org/10.1128/mSystems.00225-18.*

Zhang, W., Jiang, F. & Ou, J. 2011. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, 1(2, 125–144.

Zhang, X., Zhong, T., Lei, L., Liu, X.O., 2015. Impact of soil heavy metal pollution on food safety in China. PLoS One 10 (8), e0135182

Zinck, J. A., Metternicht, G., 2009. Soil salinity and salinization hazard. Remote sensing of soil salinization, 3-18.

پیوست‌ها

پیوست ۱

منشا، کاربرد، ویژگی‌های شیمیایی، سمی‌بودن و خطرات انسانی فلزات سنگین

سرب (Pb)

بسته به مدت زمانی که انسان در برابر سرب قرار می‌گیرد، تاثیرات بیولوژیکی مختلفی رخ می‌دهد که تاثیر آن بر روی جنین و نوزادان، بیشتر از فرد بالغ است. مقادیر زیاد این ماده سبب بروز مشکلاتی در تولید هموگلوبین، کارکلیه‌ها، دستگاه گوارش و آسیب به مفاصل و سیستم‌های عصبی می‌شود.

وجود سرب در محیط زیست ناشی از منابع طبیعی و انسانی است و افراد از طریق غذا، آب و هوا رویاروی‌این ماده قرار می‌گیرند. در رنگ‌های قدیمی‌نیز از سرب بهره می‌گرفتند. غذا، آب و خاک از جمله منابع اصلی هستند که انسان می‌تواند از طریق آن رویاروی سرب قرار بگیرد.

سرب در برخی رنگ‌ها، معادن، فعالیت‌های ریخته‌گری، اگزوز خودروها، فعالیت‌های ساختمانی و فعالیت‌های کشاورزی وجود دارد که می‌تواند آلوده کننده خاک باشد. مصرف سرب در دنیای ما رو به فزونی است. زیرا افزون براین که منابع عظیم سرب روی زمین وجود دارد، اتم‌های فلزات سنگین تری مانند اورانیوم نیز به سرب تبدیل می‌شوند و به منابع آن می‌افزایند. به نظر می‌رسد که می‌توان فرض کرد که درآینده قابل پیش بینی، کمبود سرب در جهان وجود نخواهد داشت.

خواص شیمیایی

سرب سنگین تر از آهن، ماده‌ای نرم و چکش خوار به رنگ نقره‌ای آبی است. سرب از زمان‌های قدیم از طریق استخراج و فرآوری آسان و ارزان در دسترس بوده است. این ماده به ندرت به شکل تنها در دسترس است و در عوض، به طور گسترده در سنگ‌های معدن یافت می‌شود.

این فلز به راحتی از طریق خوردگی یا گرما تغییر رنگ می‌دهد. این موضوع، کیمیاگران را به‌این باور رسانده بود که به فلزات دیگری تبدیل شده یا خواصی کم و بیش جادویی دارد.

سرب از آنجا که دارای نقطه ذوب پایین و چگالی بالا است، در بسیاری از محصولات خانگی و مهندسی در طول تاریخ استفاده شده است. به دلیل سمی‌بودن آن، استفاده از سرب در اقلام تجاری در حال کاهش است.

سرب نزدیک ۶۰۰۰ سال پیش از میلاد، به طور گسترده‌ای شناخته شده بود. سپس توسط رومی‌ها برای ساخت لوله‌های آب مورد استفاده قرار گرفت. امروز در لوله‌های آب، ظروف غذاخوری، گلوله، افزودنی‌های سوخت، رنگ، لوازم آرایشی، باتری‌ها و صنایع کنسرو مصرف دارد.

سمی‌بودن

سرب حتی در کم ترین غلظت نیز خطرناک است، به ویژه چنانچه تماس با آن مدتی به درازا بکشد. برای کودکان خردسال حتی در دوزهای کم بسیار سمی‌است. در دوزهای بالاتر می‌تواند به طور کلی برای همه انسان‌ها کشنده باشد.

علائم مسمومیت با سرب عبارتند از: کاهش وزن، تحریک پذیری و اختلالات خلقی، مشکلات یادگیری، دل پیچه و استفراغ، خستگی، مشکلات عصبی، سردرد، اوتیسم در افرادی که استعداد ژنتیکی دارند، کاهش رشد، اختلال در سیستم غدد درون ریز هیپوفیز و تیروئید و کمک به پوکی استخوان.

کادمیوم (Cd)

کادمیوم از جمله فلزات سنگینی به شمار می‌آید که در صورت جذب، تا سال‌ها و حتی دهه‌ها در بدن موجودات زنده همچون انسان باقی می‌ماند. اگر انسان در رویارویی دراز مدت با کادمیوم قرار

بگیرد، دچار مشکلات کلیوی خواهد شد. این ماده در مقادیر زیاد سبب بروز مشکلات در ریه وایجاد سرطان و بروز نقص‌های استخوان خواهد شد. علاوه براین، افزایش فشار خون حیوانات و بروز مشکلات قلبی در آن‌ها را نیز می‌توان از جمله تاثیرات کادمیوم بر محیط زیست دانست.

کادمیوم به هنگام استخراج و فرآوری روی نیز پدیدار می شود، چراکه این فلز به همراه روی در سنگ معدن وجود دارد و از جمله مصارف عمده آن در تولید باتری‌های نیکل-کادمیومی و آلیاژها و قطعات الکترونیکی است.

جیوه (Hg)

جیوه ماده‌ای سمی‌است که عملکرد شناخته شده‌ای در بدن انسان ندارد و به ندرت در بدن موجودات زنده یافت می‌شود. مسمومیت با جیوه سبب مشکلاتی همچون سقط خودبه‌خودی جنین و بروز ناهنجاری‌های بدوتولد خواهد شد. این ماده از جمله آلاینده‌هایی به شمار می‌رود که خواص شیمیایی و فیزیکی پیچیده‌ای دارند. منبع طبیعی اصلی جیوه ناشی از آزاد شدن گازها در زیر پوسته زمین و انتشار آن‌ها از طریق آتش‌فشان‌ها یا تبخیر آب‌های سطحی است.

ناگفته نماند که استفاده ازاین ماده در بسیاری از فرآیندهای صنعتی و محصولات مختلفی همچون باتری، دماسنج و لامپ‌ها رواج دارد. افزون براین ازاین ماده به عنوان آمالگام در دندان‌پزشکی بهره می‌گیرند.

جیوه در استخراج معادن، سوزاندن زغال‌سنگ، فرآوری قلیا و فلزات، زباله‌های پزشکی، آتش‌فشان‌ها و رسوبات زمین‌شناسی، انباشتگی در گیاهان و سبزیجات رشد یافته در محیط‌های آلوده دیده می‌شود.

جیوه مایع نقره‌ای رنگی است که پیش ازاین به آن کویک سیلور[1] گفته می‌شد. جیوه تنها فلز مایع

1 Quick silver

نیست (برم، گالیم، سزیم و روبیدیم نیز مایع هستند)، اما تنها مایعی است که در دما و فشار معمولی به حالت مایع است. نام فعلی آن از سیاره عطارد[1] گرفته شده است.

جیوه به شکل معمول آن در طبیعت یافت نمی‌شود. به راحتی با فلزات دیگر مانند نقره یا طلا پیوند برقرار می‌کند. این بدان معنی است که می‌توان از آن برای تشکیل ترکیب‌های نقره و طلا استفاده کرد. این ترکیب به طور گسترده در دندانپزشکی به عنوان پرکننده استفاده می‌شود. یافتن ظرف فلزی برای حمل جیوه آسان نیست، زیرا بیشتر فلزات در تماس با آن حل می‌شوند. دراین میان، آهن یک استثنا است.

جیوه رسانای خوبی برای الکتریسیته است. تا مدت‌ها پیش گمان می‌شد که دارای ویژگی‌های دارویی است (که در بیشتر موارد توسط علم رد شد یا با آشکار شدن اثرات سمی‌آن، با استفاده دارویی از آن مخالفت شد).

کاربردهای جیوه

استفاده از جیوه در سال‌های گذشته، به ویژه در کشورهای پیشرفته تر، به شدت کاهش یافته است. بااین حال، مقررات لازم در بسیاری از نقاط جهان، هنوز به طور کامل تنظیم نشده است و بنابراین جیوه هنوز در محصولات مختلف در بازار وجود دارد. دراین راستا می‌توان از کلیدها یا سایر قطعات الکتریکی و الکترونیکی، دماسنج‌ها، لامپ‌های فلورسنت، برخی از انواع تلسکوپ، انواعی از سلاح‌ها، گونه‌هایی از داروها (مانند پمادهای ضد عفونی کننده، قطره‌های چشمی، دیورتیک‌ها و ملین‌ها)، لوازم آرایشی (مانند ریمل، محصولات مراقبت از پوست)، مواد پرکننده دندان، واکسن‌ها، محصولات پزشکی و باتری‌ها نام برد.

[1] Mercury

سمی‌بودن جیوه

مسمومیت زیاد جیوه در مطالعات بسیار مورد تایید قرار گرفته است. به همین دلیل، حذف جیوه از بیشتر محصولات تجاری موجود درایالات متحده در برنامه کار قرار دارد. جیوه می‌تواند به اشکال مختلفی وجود داشته باشد – فلز، بخار یا نمک – . در بسیاری از ترکیبات، ممکن است تشخیص و آگاهی از تماس با آن دشوار باشد. جیوه می‌تواند از طریق تماس با پوست و استنشاق جذب شود. مسمومیت با جیوه بسیار خطرناک است.

ضعف و آتروفی عضلانی، احساس سوزن سوزن شدن دراندام‌ها، اختلال گفتار، از دست دادن تعادل و جهت یابی، لرزش، افسردگی، تغییرات خلقی، سردرد، آسیب عصبی شدید، خارش، سوزش، درد، آسیب به مغز، کلیه‌ها و ریه‌ها، بیماری صورتی (اکرودینیا)، بی رنگ شدن پوست (صورتی رنگ شدن گونه‌ها، نوک انگشتان و پنجه‌های پا)، پوسته پوسته شدن لایه‌های مرده پوست، فشار خون بالا و ترشح بیش از حد بزاق، ضربان زیادنبض (تاکی کاردی)،ریزش مو، دندان، ناخن، نورهراسی (فوتوفوبیا)، اختلال عملکرد کلیه، اختلال حافظه و بی خوابی در کودکان می‌توانند از عوارض مسمومیت با جیوه باشند.

آرسنیک (As)

آرسنیک در معادن، نیروگاه‌های زغال سنگی، تاسیسات فرآوری چوب، صنعت الکترونیک، فعالیت‌های ریخته گری، کشاورزی و نیز به صورت انباشت طبیعی دیده می‌شود. آرسنیک عنصری طبیعی در پوسته زمین است که از طریق آب، خاک و هوا پخش می‌شود. از بسیاری جهات مفید است، اما از جهات بیشتری سمی‌است. آرسنیک عنصری بسیار گوناگون است وانسان هزاران سال است که آن را می‌شناسد.

آرسنیک شبه فلزی است که می‌تواند به صورت کریستال خالص وهمچنین در مواد معدنی مختلف

وجود داشته باشد. آرسنیک غیر آلی، بیشتر از ترکیبات آرسنیک آلی، سمی‌است. رایج ترین آلوتروپ‌های آرسنیک (شکل‌هایی که یک عنصر می‌تواند داشته باشد) خاکستری، زرد و سیاه هستند. هنگامی‌که در معرض رطوبت قرار می‌گیرد، طلایی-برنزی و سیاه می‌شود.

کاربرد آرسنیک

برای چندین قرن، آرسنیک به طور گسترده‌ای در پزشکی استفاده می‌شد. به عنوان نمونه می‌توان از کاربرد آن در درمان سیفلیس، لوسمی(سرطان خون)، برخی سرطان‌های دیگر و پسوریازیس نام برد. در سال‌های اخیر، گاهی آرسنیک-۷۴ به جای ید-۱۲۴ در پت اسکن[1] برای تشخیص وجود تومورها مورد استفاده قرار گرفته است.

سایر محصولاتی که آرسنیک در آنها استفاده می‌شود عبارتند از: لوله کشی، شیشه، رنگدانه‌ها، مهمات، منسوجات، کاغذ، داروها، آفت کش‌ها، باتری‌ها و نیمه‌هادی‌ها.

سمی‌بودن آرسنیک

آرسنیک به طور طبیعی در محیط وجود دارد و می‌تواند از طریق انفجارهای آتشفشانی یا آب‌های زیرزمینی آلوده در مناطقی که آرسنیک با غلظت بالا در آن وجود دارد، آزاد شود. علائم مسمومیت با آرسنیک عبارتند از: استفراغ (از جمله استفراغ خون)، درد شکم، اسهال (از جمله همراه با خون)، سوزن سوزن شدن انگشتان دست وپا، گرفتگی عضلات، خون در ادرار، ریزش مو، مسمومیت عصبی، اثرات رشدی، رنگدانه‌های پوست، پینه‌های سخت روی دست‌ها وپاها، ضایعات پوستی در موارد رویارویی دراز مدت (پنج سال یا بیشتر)، سرطان مثانه یا ریه در طولانی مدت، بیماری‌های

1 Positron Emission Tomography scan (PET scan)

ریوی، دیابت، بیماری‌های قلبی عروقی، عوارض بارداری، مرگ ومیر نوزادان و مشکلات شناختی در نوزادان.

آرسنیک در صورت مصرف خوراکی، به تغییرات رنگ پوست ونیز به سرطان (از جمله سرطان کبد، کلیه، مثانه، پروستات و ریه) می‌انجامد. در دوزهای پایین تر، سیستم گوارشی ممکن است با نشانه هایی‌مانند تهوع و استفراغ، تحریک معده، اسهال و آسیب به رگ‌های خونی تحت تاثیر قرار گیرد.

آرسنیک در صورت استنشاق به تغییرات پوستی، تحریک گلو و ریه‌ها، مشکلات گردش خون، اختلالات سیستم عصبی، تغییرات الگوی پوست و سرطان (از جمله سرطان کبد، کلیه، مثانه، پروستات و ریه) می‌انجامد. در دوزهای پایین تر، سیستم گوارشی ممکن است با علائمی‌مانند تهوع استفراغ، تحریک معده، اسهال و آسیب به رگ‌های خونی همراه باشد.

مس (Cu)

مس فلزی نرم و بسیار رسانا است. از معدن استخراج می‌شود و به راحتی در دسترس است و با روند کنونی می‌تواند نیاز انسان را تا میلیون‌ها سال فراهم کند.

مس هر چند از معدن استخراج می‌شود، ولی آن را می‌توان در طبیعت نیز یافت. همین امر باعث شد تا از ۸۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح برای استفاده گسترده توسط انسان در دسترس باشد. بسیار انعطاف پذیر و رسانا است که آن را برای صنایع مختلف بسیار مفید می‌کند.

هنگامی‌که در هوا قرار می‌گیرد قرمز نارنجی است، اما به آرامی‌اکسید می‌شود و سیاه یا با گذشت زمان سبز می‌شود. معروف ترین نمونه آن، رنگ سبز لایه مس در مجسمه آزادی در نیویورک است. در ترکیب‌های مختلف، می‌تواند رنگ‌های مختلف دیگری را نیز به خود بگیرد.

مس در آلیاژهای مختلف مانند برنج (مس و روی) یا برنز (مس و قلع یا آلومینیوم) بسیار کاربرد دارد. در لحیم کاری جواهر، ساخت و سازهای زیر دریا یا کنار دریا، زیور آلات، ابزار خانگی و غیره استفاده می‌شود. مس در برابر خوردگی مقاوم است.

کاربرد مس

مس به طور طبیعی در بدن همه موجودات زنده یافت می‌شود و در بسیاری از آنها بخشی از رنگدانه خون را تشکیل می‌دهد. در انسان بیشتر در کبد، استخوان‌ها و ماهیچه‌ها یافت می‌شود. کاربرد مس در موارد زیر متداول است: سیم‌های برق، تابلوهای برق، لوله کشی، ماشین‌های صنعتی، رنگدانه‌ها، دکوراسیون، مواد نگهدارنده، قارچ کش‌ها، دستگاه‌های تقطیر و پوشش‌های ضد میکروبی.

سمی‌بودن مس

هرچند مس در دوزهای بسیار کم برای انسان ضروری است، اما رویارویی با آن در مقادیر بیش از اندازه مجاز می‌تواند بسیار زیانبار باشد. مسمومیت مس می‌تواند ناشی از ظروف مسی، آب آشامیدنی آلوده و یا استفاده بیش ازاندازه از قرص‌های مکمل باشد. سیم کشی مسی، استفاده از حشره کش‌ها و سایر محصولات غنی از مس نیز می‌توانند از موارد دیگر آلاینده باشند. علائم مسمومیت با مس عبارتند از درد شکم، ضعف، تهوع و استفراغ، سردرد، احساس طعم فلزی در دهان، لرز، کم خونی، زردی چشم، رنگدانه‌های پوست و نارسایی کبد یا کلیه در موارد شدید.

روی(Zn)

روی عنصری است که بیشتر در پوسته زمین یافت می‌شود. روی در سه هزار سال پیش از میلاد، از یونان تا هند غربی، به اشکال مختلف مورد استفاده قرار می‌گرفت. بااین حال، تنها در قرن شانزدهم در اروپا در سطح گسترده تولید شد، و تنها در اواسط قرن ۱۸ بود که توسط یک شیمی‌دان آلمانی

به شکل فلزی خالص کشف شد. پنجاه سال بعد، گالوانی و ولتا با آزمایشات الکتروشیمیایی خود آن را به شهرت رساندند.

ویژگی‌های شیمیایی روی

روی یک فلز دیامغناطیسی[1] (یعنی دفع شده توسط مواد مغناطیسی) به رنگ آبی سفید است که در دمای بالای ۱۰۰ درجه سانتی گراد چکش خوار می‌شود. رسانای خوبی برای الکتریسیته است و در آلیاژهای مختلف از جمله برنج به کار می‌رود و با شبه فلزات مختلف واکنش نشان می‌دهد.

کاربرد روی

روی به دلیل خاصیت ضد خورندگی در آبکاری استفاده می‌شود. روی در باتری‌ها نیز مصرف می‌شود. آلیاژها و ترکیبات آن نیز در زندگی امروزی کاربرد فراوان دارند. برخی از محصولاتی که در آنها از روی استفاده می‌شود عبارتند از: خوشبو کننده‌ها یا دئودورانت‌ها، باتری‌ها، شبرنگ‌ها (مانند رنگ‌های فلورسنت یا رنگ‌های فسفری)، آبکاری فلزات برای پیش گیری از خورندگی، شامپوهای ضد شوره سر، بازدارنده‌ها و یا تاخیراندازهای آتش، مواد نگه دارنده چوب، قارچ کش‌ها و مصارف نظامی.

روی عنصری ضروری در بدن انسان است. به متابولیسم RNA و DNA، در فرآوری پروتئین‌ها، تعدیل و تنظیم پاسخ‌های عصبی و بسیاری از عملکردهای دیگر کمک می‌کند. کاهش سطح روی پی آمدهای جدی مانند اسهال، ناتوانی جنسی، ضایعات پوستی و مشکلات شناختی دارد؛ همان طور که سطوح اضافی روی نیز پی آمدهای جدی دارد. روی به طور طبیعی در انواع غذاهای پروتئینی و حتی برخی گیاهان و همچنین انواع حبوب و مغزها وجود دارد. مکمل‌های غذایی و غذاهای غنی

[1] Diamagnetic metal

شده با روی نیز مورد مصرف قرار می‌گیرند؛ هر چند که به نظر می‌رسد کمتر موثر باشند.

سمی‌بودن روی

روی می‌تواند به راحتی خاک و آب مناطقی که در آنها به طور طبیعی وجود دارد یا از آنجا استخراج می‌شود را آلوده کند. هنگامی‌که روی بیش از حد مصرف شود، چه دانسته از طریق مکمل‌ها یا به طور نادانسته و غیرارادی از طریق رویارویی با خاک یا آب آلوده، می‌تواند باعث مشکلات مختلف تندرستی شود. در میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کمبود مس، مشکلات ادراری، از دست دادن بویایی، نقایص ژنتیکی، عفونت قارچی، بی حالی، مشکلات عصبی و آسیب‌های‌اندامی.

نیکل (Ni)

نیکل فلزی کم و بیش سخت، ولی چکش خوار و نقره‌ای رنگ است. به سبب رنگ آن، برای مدتی دراز با نقره اشتباه گرفته می‌شد. هر چند هزاران سال است که مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما نخستین بار در میانه قرن ۱۸ شناخته شد.

ویژگی‌های شیمیایی نیکل

نیکل به دلیل مقاومت در برابر خورندگی کاربرد دارد و رسانای خوبی برای الکتریسیته و گرما است. فرّومغناطیسی است، به‌این معنی که مانند آهن، به شدت به مغناطیس واکنش نشان می‌دهد.

کاربرد نیکل

برای مدت طولانی، انسان به طور اتفاقی یا پراکنده از آن در آبکاری استفاده می‌کرد. از آنجا که آلیاژهای مختلف آن پرداخت صیقلی داشتند، مورد توجه قرار می‌گرفتند. از میانه قرن نوزدهم در

ساخت سکه‌ها از آن استفاده شد. پس از آن کاربردهای مختلفی پیدا کرد. امروزه در بسیاری از موارد از آلیاژهای مختلف نیکل استفاده می‌شود. از موارد کاربرد نیکل می‌توان به ساخت سکه، فولاد ضد زنگ، سیم کشی، سیم‌های گیتار الکتریک، جواهر سازی، لوله کشی، ساخت شفت پروانه، ته رنگ، شیرآلات، ظروف آشپزی، مواد شوینده، باتری‌های قابل شارژ، مصارف صنعتی (آهن رباهای صنعتی، توربین‌های گازی و غیره)، پر کننده‌های دندان، مواد ارتودنسی وایمپلنت‌های جراحی نام برد.

مسمومیت نیکل

در حالی که نیکل را می‌توان به طور طبیعی در آب و خاک یافت، ولی بیشتر در مناطقی با آلودگی انسانی دیده می‌شود. در مقادیر کم، از طریق ادرار یا روده‌ها دفع می‌شود. بااین حال، در دوزهای بالا، سمی‌است و ممکن است باعث بیماری‌های جدی شود:

درماتیت (سودا یا اگزما) تماسی، سرطان ریه، مشکلات عصبی، مسائل رشد دوران کودکی، نارسایی کلیه و کبد و بیماری‌های قلب و عروقی.

تاثیر فلزات سنگین بر سلامت

تاثیر فلزات سنگین موجود در فاضلاب بر سلامت انسان و گیاه در جدول پ-۱-۱ خلاصه شده است.

جدول پ- ۱-۱- عناصر موجود در منابع مختلف فاضلاب و اثر آنها بر انسان و گیاه در آبیاری با پساب

پارامتر	منابع در فاضلاب	اثر بر روی گیاه در غلظت بالا	اثر بر روی انسان در غلظت بالا
آلومینیم (Al)	فاضلاب‌های صنعتی و خانگی که برای تصفیه آنها از آلومینوم استفاده شده است.	می‌تواند در خاک‌های اسیدی PH<5.5 موجب عدم حاصلخیزی گردد. اما در بشتر خاک‌های قلیایی با PH>7 رسوب می کند و هر گونه سمیت را از بین ببرند	آلومینیم می‌تواند در انسان مسمومیت حاد خفیف ایجاد کند. ارتباط آلومینیم و دو بیماری عصبی آلزایمر و دمانس در حد فرضیه است
آرسنیک (As)	فاضلاب‌های صنعتی (بهره‌برداری از معادن، حشره‌کش و سموم، عکاسی، فتوکپی، صنایع داروسازی، نفت و زغال‌سنگ)	حد مسمومیت آن برای گیاهان مختلف فرق می‌کند. از ۱۲mg/l برای علف سودانی تا mg/l ۰/۰۵برای برنج متغیر است.	در سبزیجات و غلات بیشتر است. سمیت آرسنیک معدنی از آلی بیشتر است . مقدار زیاد آن باعث صدمات حاد دستگاه گوارش و بیماری‌های قلبی می‌شود.
بریلیم (Be)	فاضلاب‌های صنعتی	حد مسمومیت آن برای گیاهان مختلف فرق می‌کند. از mg/l ۵ برای کلم تا mg/l ۰/۵ برای نوعی لوبیا متغیر است.	استنشاق بریلیم منجر به ناراحتی ریوی می‌شود.
کادمیوم (Cd)	فاضلاب‌های صنعتی (بهره‌برداری معدن، تولید رنگ، باطری‌سازی)	در غلظت‌های پایین حدود mg/l ۰/۱ موجود در محلول‌های غذایی برای لوبیا، چغندر و شلغم مسموم کننده است. به دلیل قابلیت تجمع آن در خاک و گیاه و رسیدن به حدی که برای انسان مضر باشد ارقام محافظه کارانه‌ای از آن در آب آبیاری توصیه شده است.	در دوز ۳ تا۹۰mg (از راه خوراکی) به عنوان یک قی آور عمل می‌کند و در دوزهای بالا کشنده است. تماس مداوم و طولانی باعث اختلال در عمل کلیه‌ها می‌گردد. خاصیت سرطان‌زایی هم دارد.
کبالت (Co)	فاضلاب‌های صنعتی	در غلظتmg/l ۰/۱ در محلول غذایی برای گوجه‌فرنگی مسموم کننده است. توسط خاک‌های قلیایی و خنثی تمایل به غیر فعال شدن دارد.	
کروم (Cr)	کروم در آب با ظرفیت ۳+ و ٦+ است، کروم سه ظرفیتی غیر سمی و دیر جذب است. کروم شش ظرفیتی سمی است و باعث صدمه به کلیه و کبد می‌شود. اختلال تنفسی نیز ایجاد می‌کند.	معمولاً به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاه در نظر گرفته نمی‌شود. به دلیل فقدان اطلاعات در زمینه سمیت آن برای گیاهان مقادیر محافظه کارانه‌ای از آن در آب آبیاری توصیه شده است.	فاضلاب‌های صنعتی (بهره‌برداری معدن، تولید رنگ، عکاسی و فتوکپی، کارخانجات شیمی، نساجی، سلولز و کاغذ سازی)

ادامه جدول پ- ۱-۱- عناصر موجود در منابع مختلف فاضلاب و اثر آنها بر انسان و گیاه در آبیاری با پساب

پارامتر	منابع در فاضلاب	اثر بر روی گیاه در غلظت بالا	اثر بر روی انسان در غلظت بالا
مس (Cu)	در دوزهای بالا، مس می‌تواند اثرات جانبی از قبیل صدمه به دستگاه گوارش، کلیه، کبد و کم خونی داشته باشد.	در غلظت ۰/۱ تا ۱ mg/l در محلول‌های غذایی برای تعدادی از گیاهان مسموم کننده است.	فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ، نساجی، صنایع الکترونیک و الکتریکی، عکاسی، شیمیایی)
فلوئور (F)	در دوزهای بالا روی دندان‌ها و استخوان اثرات سوء دارد.	توسط خاکهای قلیایی و خنثی غیر فعال می‌شود.	فاضلاب‌های صنعتی
آهن (Fe)		برای گیاهان که در خاک‌های با هوای کافی کاشته می‌شوند مسموم کننده نیست اما می‌تواند به اسیدی شدن خاک و عدم دسترسی گیاه به فسفر و مولیبدن کمک کند. در اثر آبیاری بارانی ممکن است لکه‌های زشتی روی گیاهان، وسایل و ساختمان‌ها بگذارد.	فاضلاب‌های خانگی و صنعتی
لیتیم (Li)		تا سقف ۵ mg/l توسط گیاهان قابل تحمل است و قابلیت حرکت در خاک را دارد. در غلظت‌های پایین برای مرکبات‌سمی است.کمتر از ۰/۷۵mg/l این عنصر, شبیه بر عمل می‌کند.	فاضلاب‌های صنعتی
منگنز (Mn)		در غلظت‌های کم، حدود چند دهم تا چند میلی‌گرم در لیتر برای تعدادی از گیاهان مسموم‌کننده است اما معمولاً فقط درخاک‌های‌اسیدی این گونه است.	فاضلاب‌های خانگی و صنعتی
مولیبدن (Mo)	اثرات حاد در تماس زیاد با مولیبدن شامل صدمه به کلیه و کبد است. تماس طولانی منجر به کاهش وزن، ناهنجاری‌های استخوانی و عقیمی در مردان می‌گردد.	در غلظت‌های طبیعی که در آب و خاک موجود است برای گیاهان مسموم کننده نیست، برای دام‌هایی که از علوفه‌های کاشته شده در زمین‌هایی که دارای مولیبدن قابل دسترسی زیادی هستند، مصرف می‌کنند، می‌تواند مسموم‌کننده باشد.	فاضلاب‌های صنعتی

ادامه جدول پ- ۱-۱- عناصر موجود در منابع مختلف فاضلاب و اثر آنها بر انسان و گیاه در آبیاری با پساب

پارامتر	منابع در فاضلاب	اثر بر روی گیاه در غلظت بالا	اثر بر روی انسان در غلظت بالا
نیکل (Ni)	مقادیر زیاد آن باعث ایجاد اثرات حاد شامل؛ کاهش وزن، تغییر در خون و آنزیم, تغییر در گنجایش آهن بدن می‌شود.	در غلظت‌های ۰/۵ تا۱ mg/l برای بعضی از گیاهان مسموم کننده است. سمیت آنها در pH قلیایی و خنثی کاهش پیدا می‌کند	فاضلاب‌های صنعتی
سرب (Pb)	مقادیر زیاد سرب خون باعث دخالت در ساختن Heme لازم برای تشکیل گلبول‌های قرمز خون، کم خونی،صدمات کلیوی، تأخیر رشد عصبی و فیزیکی ، بالارفتن فشار خون می‌شود.	در غلظت‌های خیلی زیاد می‌تواند مانع رشد معمولی گیاه بشود.	فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ, سموم، صنایع الکترونیک، نساجی, عکاسی و فتوکپی، باطری‌سازی, نفت و زغال سنگ) فاضلاب‌های خانگی
سلنیوم (Se)	درماتیت، ریزش موها، تشکیل ناخن غیرطبیعی و اضطراب‌های روانی، در اثر دریافت طولانی و زیاد سلنیوم حادث می‌گردد.	درغلظت‌های پایین‌حدود mg/l ۰/۲۵ برای گیاهان مسموم کننده است. برای دام‌ها اگر علوفه‌های کاشته شده در خاک‌های با میزان سلنیوم بالا را مصرف کنند، مسموم کننده است.	فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ, صنایع الکترونیک و الکتریکی، عکاسی، فتوکپی)
وانادیوم (V)		در غلظت‌های نسبتاً پایین برای بسیاری از گیاهان مسموم‌کننده است.	فاضلاب‌های صنعتی
روی (Zn)		سمیت روی برای گیاهان بسیار متغیر است. سمیت آن در pH>٦ در خاک‌های آلی و خاک‌های با بافت ریز کاهش می‌یابد.	فاضلاب‌های صنعتی (لاستیک و پلاستیک، سموم، باطری‌سازی، صنایع داروسازی، بهره‌برداری معدن)
نیتروژن (N)	نیتریت باعث بیماری متهموگلوبینمیا در کودکان می‌شود. در اثر ترکیب نیتریت و نیترات با ترکیباتی که قابلیت تبدیل آنها را به نیتروز و نیتروزآمین را دارا می‌باشند, ترکیبات سرطان‌زا تشکیل شود.	آب آبیاری آلوده به نیتروژن باعث افزایش رشد گیاه برنج قهوه ای می‌گردد و این افزایش رشد باعث از دست رفتن عملکرد برنج می‌شود، چرا که افراط در رشد، پیری زودرس گیاه را تسریع نموده و استعداد پذیرش آفت و بیماری را بیشتر می‌کند.	فاضلاب‌های خانگی و صنعتی

ادامه جدول پ- ۱-۱- عناصر موجود در منابع مختلف فاضلاب و اثر آنها بر انسان و گیاه در آبیاری با پساب

پارامتر	منابع در فاضلاب	اثر بر روی گیاه در غلظت بالا	اثر بر روی انسان در غلظت بالا
سدیم (Na^+)		سدیم تبادلی تمایل به پراکنش خاک داشته، باعث کاهش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک می‌گردد. این پراکنش ذرات باعث تشکیل یک لایه سله بر روی خاک گشته، مانع جوانه‌زنی بذر می‌گردد.	فاضلاب‌های خانگی و صنعتی
یون‌های سمی (B^-, Cl^-, Na^+)		بالا بودن غلظت این یون‌ها در آب آبیاری باعث سمیت در گیاه می‌شود، این سمیت سبب اختلال در ریشه، کاهش عملکرد، تغییر شکل ظاهری گیاه و حتی مرگ گیاه می‌شود.	فاضلاب‌های خانگی و صنعتی
باریم (Ba)	اثر حاد تماس با باریم شامل تحریک دائم قلب، دستگاه گوارش و سیستم عصبی ماهیچه‌ای است.		فاضلاب‌های صنعتی
جیوه (Hg)	جیوه معدنی باعث صدمه به کلیه می‌شود و با تشکیل متیل مرکوری موجب صدمه به سیستم اعصاب مرکزی می‌گردد که منجر به مرگ یا وارد آمدن صدمات ذهنی و اختلال در عملکرد این سیستم می‌شود.		فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ سموم، صنایع الکترونی، نساجی کارخانجات شیمیایی، لاستیک و پلاستیک، باطری سازی، سلولز و کاغذ سازی، صنایع داروسازی)
نقره (Ag)	تماس مزمن با نقره منجر به بیماری آرژریا (Argyria) می‌شود.		فاضلاب‌های صنعتی
سیانید (CN^-)	در ترکیب با سیتوکروم سلول، از انتقال اکسیژن جلوگیری می‌کند.		فاضلاب‌های صنعتی (تولید رنگ، سموم، صنایع الکترونیک، لاستیک و پلاستیک، باطری سازی، داروسازی)

سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶)

پیوست ۲

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، علف کش‌ها و آفت کش‌ها

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای

هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای[1] (PAHS) که درایران به آن ترکیبات آلی حلقوی نیز گفته می‌شود، به سبب خوشبو بودن آروماتیک نامیده می‌شوند. بنزن با فرمول C_6H_6 ساده‌ترین و نخستین هیدروکربن آروماتیک شناخته‌شده است. هیدروکربن آروماتیک چندحلقه‌ای به دسته‌ای از هیدروکربن‌های آروماتیک گفته می‌شود که شامل دو یا بیش از دو حقله بنزنی باشند. سوزاندن زغال سنگ، آمد و شد خودروها، انباشتگی در گیاهان و سبزیجاتی که در خاک‌های آلوده رشد می‌کنند، برای انسان بسیار سمی‌هستند و به اشکال بی شماری در اطراف ما وجود دارند، از دود چوب و دود سیگار گرفته تا اگزوز خودروها، آتش سوزی‌ها، آتش زدن مزارع کشاورزی، سوزاندن چوب و ساخت و ساز از منابع اصلی انتشار آن هستند.

گمان می‌رودکه هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک ترکیباتی بسیار قدیمی‌هستند که نقش‌اساسی در شکل‌گیری ستارگان، سیارات و شاید خود حیات داشته باشند.

ویژگی‌های شیمیایی

هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک بیش از یک صد نوع ماده شیمیایی آلی هستند که از هیدروژن و کربن تشکیل شده‌اند. مقدار معینی از همه آنها، به درجات مختلف، سمی‌هستند.این هیدروکربن‌ها به صورت طبیعی و یا انسان ساخت وجود دارند.

---

1 Polyaromatic Hydrocarbons

کاربرد

هیدروکربن‌های آروماتیک به طور معمول به طور ناخواسته پدیدار می‌شوند. اما تااندازه‌ای در صنایع گوناگون کاربرد دارند. در میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: فرآورده‌های شیمیایی کشاورزی، عکاسی، دارو، آفت کش‌ها و رنگ‌ها و رنگدانه‌ها.

سمی‌بودن هیدروکربن‌های آروماتیک

هیدروکربن‌های آروماتیک در تاریخ بشری از متداول ترین آلوده کننده‌ها به شمار می‌رفته‌اند زیرا به طور طبیعی از فعالیت‌های انسانی‌ایجاد می‌شده‌اند. در گذشته، پخت و پز و گرم کردن خانه‌ها با استفاده از چوب از نشانه‌های آن به شمار می‌رفت. امروزه آلوده کننده‌های مهم دیگری نیز به آن افزوده شده‌اند. مانند: انتشار گاز خودروها، ساخت فلزات گوناگون، استخراج نفت شیل، فرآوری کُک، تولید تایرهای لاستیکی، ساخت آسفالت و کارخانه‌های برق که با گاز طبیعی کار می‌کنند.

برخی از هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی به عنوان مواد سرطان زا شناخته شده‌اند. کار و زندگی در کناراین فرآورده‌ها، مانند تنفس گازهای سوختن ذغال و ذغال سنگ با خطراتی همراه است. مقادیر بالای هیدروکربن‌های آروماتیک می‌توانند مشکلات زیر راایجاد کنند: تشنج، بیماری‌های مجاری تنفسی، اثرات جهش زای ژنتیکی، سرکوب سیستم‌ایمنی بدن، سرطان و آسیب‌های کبدی..

علف کش‌ها و آفت کش‌ها

مسمومیت علف کش‌ها و آفت کش‌ها

علف کش‌ها و آفت کش‌ها عواملی شیمیایی یا زیستی هستند که برای از بین بردن آفت‌ها و علف‌های زیانبار به کار می‌روند تا گیاهان و در پی آن زندگی انسانی را حفظ کنند. علف کش‌ها

و آفت‌کش‌ها را می‌توان از سویی سودمند برای زندگی انسانی به حساب آورد و از سویی دیگر برای محیط زیست زیانبار دانست.

ویژگی‌های شیمیایی

حشره‌کش‌ها شامل ارگانوکلرین‌ها، ارگانوفسفرها و کاربامات‌ها هستند. علف کش‌ها می‌توانند از ترکیبات فنوکسی و بنزوئیک اسید، تریازین‌ها، اوره‌ها و غیره باشند. آفت کش‌ها می‌توانند شامل گلایفوسیت و سایر ترکیبات باشند. آنها از روش‌های مختلفی برای تأثیرگذاری بر هدف خود استفاده می‌کنند، از مسموم کردن تا دخالت در فتوسنتز آنها.

کاربرد

در حالی که علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها برای رهایی از آفات مختلف مفید هستند، ممکن است عموم مردم از این که آنها در بسیاری موارد به اهداف ناخواسته می‌رسند، ناآگاه باشند. از آنجایی که بیشتر علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها به طور دقیق هدف گیری نمی‌کنند، می‌توانند با رسیدن به آب، خاک یا هوای اطراف خود، اثرات نامطلوب زیادی بر انسان و محیط زیست داشته باشند.

مطالعات گویای‌این است که هر جریان آبی که درایالات متحده مورد بررسی قرار گرفته است، آثاری از آلودگی آفت کش‌ها را نشان داده است. علف کش‌ها و حشره کش‌ها نیز به مقدار قابل توجهی در باران و آب‌های زیرزمینی شناسایی شده‌اند. آنها همچنین به جمعیت زنبورها و منابع غذایی آسیب می‌زنند، به طوری که برخی از حیوانات می‌توانند از منابع غذایی خود محروم شوند و یا باعث گرسنگی یا جابجایی آنها شود. دراین میان پرندگان و ماهی‌ها که توان جابجایی بیشتری دارند، قابل توجه هستند.

سمی‌بودن علف کش‌ها و آفت کش‌ها

علف کش‌ها و حشره کش‌ها آلاینده‌های شناخته شده‌ای هستند. آنها می‌توانند از راه تنفس، غذا یا آب و یا از طریق تماس مستقیم با پوست زیان وارد کنند. آنها، بسته به مدت قرار گرفتن در برابر انسان و نیز بسته به غلظت آلاینده‌ها، می‌توانند نگرانی‌های جدی برای سلامتی کودکان وبزرگسالان‌ایجاد کنند. دراین راستا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: نقائص هنگام تولد، اختلال غدد درون ریز، مشکلات تولید مثل، سرطان خون و سایر سرطان‌ها، اختلالات خونی، بیماری‌های سیستم عصبی و بیماری‌های سیستم‌ایمنی.

پیوست ۳

استانداردهای استفاده از پساب برای آبیاری

سازمان بهداشت جهانی پس از سالها مطالعه و تحقیق، گزارشی دراین رابطه منتشر کرد و برای مصارف مختلف پساب حداقل تصفیه لازم را تعیین نمود. در سال ۱۹۸۹ استانداردهای باز بینی شده سازمان بهداشت جهانی تحت عنوان "راهنمای بهداشتی کاربرد فاضلاب در کشاورزی و آبزی پروری" منتشر شد.این استانداردها در جدول پ- ۳-۱ آمده است.

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) نیز به عنوان یک سازمان مطرح در اقدامات بهداشتی و زیست محیطی، استاندارد پذیرفته شده خود را منتشر کرد که در جدول پ- ۳-۲ ارائه شده است.

درایران نیز سازمان حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۷۳ مجموعه استاندارد خروجی فاضلابها را براساس سه محیط پذیرنده (آب سطحی، کشاورزی و آبهای زیرزمینی منتشر کرده است که در جدول پ-۳-۳ ارائه شده است.

آکادمی‌ملی علوم آمریکا[1] و فائو نیز دراین مورد استانداردهایی را برای استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری تدوین و منتشر نموده‌اند. این استانداردها در جداول پ-۳- ۴ و پ-۳- ۵ آورده شده‌اند.

کشور اردن یکی از کشورهای واقع در ناحیه آب و هوائی خشک و نیمه خشک است و سالانه مقادیر بسیار زیادی پساب تصفیه شده را برای آبیاری مصرف می‌کند. سازمان حفاظت محیط زیست این کشور نیز استانداردی تحت عنوان استانداردهای فاضلاب تصفیه شده برای چهار گروه از

[1] National Academy of Science, NAS

محصولات کشاورزی تدوین و منتشر کرده که در جدول پ-۳-۶ آمده است.

کشور قبرس نیز استانداردهای فاضلاب خانگی تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری برای محصولات گوناگون کشاورزی را برای چهار پارامتر BOD ،SS، کلیفرم مدفوعی و نماتد منتشر کرده که در جدول پ-۳-۷ آورده شده است.

جدول پ-۳-۱- استانداردهای کیفی سازمان جهانی بهداشت برای فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری

پارامتر	واحد	حد مجاز
نقره	mg/l	-
آلومینیوم	mg/l	۵/۰
آرسنیک	mg/l	۰/۱
بر	mg/l	۰/۷
باریوم	mg/l	-
بریلیوم	mg/l	۰/۱
کلسیم	mg/l	-
کادمیم	mg/l	۰/۰۱
کلر آزاد	meq/l	-
کلراید	meq/l	۳/۰
فرم آلدئید	mg/l	-
فنل	mg/l	-
سیانور	mg/l	-
کبالت	mg/l	-
کروم (Cr^{+6})	mg/l	۰/۱
کروم (Cr^{+3})	mg/l	-
مس	mg/l	۰/۲
فلوراید	mg/l	۱/۰
آهن	mg/l	۵/۰
جیوه	mg/l	-
لیتیوم	mg/l	۲/۵
منیزیم	mg/l	-
منگنز	mg/l	۰/۲
مولیبدن	mg/l	۰/۰۱
نیکل	mg/l	۰/۲
آمونیوم - N	mg/l	-
نیتریت	mg/l	-

پارامتر	واحد	حد مجاز
نیترات	mg/l	۵/۰
فسفات - P	mg/l	-
سرب	mg/l	۵/۰
سدیم	meq/l	۳/۰
سلنیم	mg/l	۰/۰۲
سولفید	mg/l	-
سولفیت	mg/l	-
واندیم	mg/l	۰/۱
روی	mg/l	۲/۰
روغن	mg/l	-
پاک‌کننده‌ها	mg/l	-
EC	dS/m	۰/۷
BOD5	mg/l	-
COD	mg/l	-
DO	mg/l	-
TDS	mg/l	٤٥٠
TSS	mg/l	-
SS	mg/l	-
SAR		۳/۰
pH		٦ - ۸/٥
مواد رادیو اکتیو		۰/۰
کدورت رنگ	NTU	-
کلیفرم گوارشی		-
کل کلیفرم	عدد در ۱۰۰ ml	۱۰۰۰
تخم انگل روده	عدد در ۱۰۰ ml	۱

به نقل از نشریه مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب، بی تاریخ، کمیته ملی آبیاری و زهکشی‌ایران

جدول پ-۳-۲- استانداردهای کیفی سازمان حفاظت محیط زیست امریکا برای فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری

پارامتر	واحد	حد مجاز
نقره	mg/l	۰/۰۵
آلومینیوم	mg/l	۱/۰
آرسنیک	mg/l	۰/۱
بر	mg/l	۱/۰
باریوم	mg/l	۱/۰
بریلیوم	mg/l	۰/۱
کلسیم	mg/l	۲۰۰
کادمیم	mg/l	۰/۰۱
کلر آزاد	meq/l	۰/۲۸
کلرایید	meq/l	۲/۸
فرم آلدئید	mg/l	–
فنل	mg/l	–
سیانور	mg/l	–
کبالت	mg/l	۰/۰۵
کروم (Cr^{+6})	mg/l	۰/۱
کروم (Cr^{+3})	mg/l	–
مس	mg/l	۰/۲
فلورایید	mg/l	–
آهن	mg/l	۵/۰
جیوه	mg/l	۰/۰۱
لیتیوم	mg/l	۵/۰
منیزیم	mg/l	۲۵
منگنز	mg/l	۰/۲
مولیبدن	mg/l	۰/۰۱
نیکل	mg/l	۰/۲
آمونیوم ـ N	mg/l	–
نیتریت	mg/l	–
نیترات	mg/l	۵/۰

پارامتر	واحد	حد مجاز
فسفات ـ P	mg/l	۱۰
سرب	mg/l	۵/۰
سدیم	meq/l	۳/۰
سلنیم	mg/l	۰/۰۲
سولفید	mg/l	–
سولفیت	mg/l	–
وانادیم	mg/l	۱۰
روی	mg/l	۱/۰
روغن	mg/l	–
پاک‌کننده‌ها	mg/l	–
EC	dS/m	۰/۷
BOD5	mg/l	۳۰
COD	mg/l	۱۲۰
DO	mg/l	–
TDS	mg/l	–
TSS	mg/l	۵
SS	mg/l	۳۰
SAR		–
pH		۸/٤ ـ ٦/٥
مواد رادیو اکتیو		۰/۰
کدورت	NTU	۲/۰
رنگ		–
کلیفرم گوارشی		–
کل کلیفرم	عدد در ۱۰۰ ml	۲۰۰
تخم انگل روده	عدد در ۱۰۰ ml	۱/۰

به نقل از نشریه مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب، بی تاریخ، کمیته ملی آبیاری و زهکشی‌ایران

جدول پ- ۳- ۳- استانداردهای کیفی سازمان حفاظت محیط زیست ایران برای فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری

پارامتر	واحد	حد مجاز
نقره	mg/l	۰/۱
آلومینیوم	mg/l	۵/۰
آرسنیک	mg/l	۰/۱
بر	mg/l	۱/۰
باریوم	mg/l	۱/۰
بریلیوم	mg/l	۰/۵
کلسیم	mg/l	-
کادمیم	mg/l	۰/۰۵
کلر آزاد	meq/l	۰/۲
کلراید	meq/l	۶۰۰
فرم آلدئید	mg/l	۱/۰
فنل	mg/l	۱/۰
سیانور	mg/l	۰/۱
کبالت	mg/l	۰/۰۵
کروم (Cr^{+6})	mg/l	۱/۰
کروم (Cr^{+3})	mg/l	۲/۰
مس	mg/l	۰/۲
فلوراید	mg/l	۲/۰
آهن	mg/l	۳/۰
جیوه	mg/l	ناچیز
لیتیوم	mg/l	۲/۵
منیزیم	mg/l	۱۰۰
منگنز	mg/l	۱/۰
مولیبدن	mg/l	۰/۰۱
نیکل	mg/l	۲/۰
آمونیوم - N	mg/l	-
نیتریت	mg/l	-
نیترات	mg/l	-

پارامتر	واحد	حد مجاز
فسفات - P	mg/l	-
سرب	mg/l	۱/۰
سدیم	meq/l	-
سلنیم	mg/l	۰/۱
سولفید	mg/l	۳/۰
سولفیت	mg/l	۱/۰
واندیم	mg/l	۰/۱
روی	mg/l	۲/۰
روغن	mg/l	۱۰
پاک‌کننده‌ها	mg/l	۰/۵
EC	dS/m	-
BOD5	mg/l	۱۰۰
COD	mg/l	۲۰۰
DO	mg/l	۲/۰
TDS	mg/l	-
TSS	mg/l	۱۰۰
SS	mg/l	-
SAR		-
pH		۶-۸/۵
مواد رادیو اکتیو		۰/۰
کدورت	NTU	۵۰
رنگ		۷۵
کلیفرم گوارشی		۴۰۰
کل کلیفرم	عدد در ۱۰۰ ml	۱۰۰۰
تخم انگل روده	عدد در ۱۰۰ ml	۱

به نقل از نشریه مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب، بی تاریخ، کمیته ملی آبیاری و زهکشی‌ایران

جدول پ-۳-٤- استانداردهای کیفی آکادمی‌ملی علوم‌ایالات متحده، NAS برای فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری

پارامتر	واحد	حد مجاز
نقره	mg/l	-
آلومینیوم	mg/l	۵/۰
آرسنیک	mg/l	۰/۱
بر	mg/l	-
باریوم	mg/l	-
بریلیوم	mg/l	۰/۱
کلسیم	mg/l	-
کادمیم	mg/l	۰/۰۱
کلر آزاد	meq/l	-
کلرایید	meq/l	۲/۸
فرم آلدئید	mg/l	-
فنل	mg/l	-
سیانور	mg/l	-
کبالت	mg/l	۰/۰۵
کروم (Cr^{+6})	mg/l	۰/۱
کروم (Cr^{+3})	mg/l	-
مس	mg/l	۰/۲
فلورایید	mg/l	۱/۰
آهن	mg/l	۵/۰
جیوه	mg/l	-
لیتیوم	mg/l	۲/۵
منیزیم	mg/l	-
منگنز	mg/l	۰/۲
مولیبدن	mg/l	۰/۰۱
نیکل	mg/l	۰/۲
آمونیوم ـ N	mg/l	-
نیتریت	mg/l	-
نیترات	mg/l	-

پارامتر	واحد	حد مجاز
فسفات ـ P	mg/l	-
سرب	mg/l	۵/۰
سدیم	meq/l	-
سلنیم	mg/l	۰/۰۲
سولفید	mg/l	-
سولفیت	mg/l	-
وانادیم	mg/l	۰/۱
روی	mg/l	۲/۰
روغن	mg/l	-
پاک‌کننده‌ها	mg/l	-
EC	dS/m	-
BOD5	mg/l	-
COD	mg/l	-
DO	mg/l	-
TDS	mg/l	-
TSS	mg/l	-
SS	mg/l	-
SAR		-
pH		-
مواد رادیو اکتیو		۰/۰
کدورت	NTU	-
رنگ		-
کلیفرم گوارشی		-
کل کلیفرم	عدد در ۱۰۰ ml	-
تخم انگل روده	عدد در ۱۰۰ ml	-

به نقل از نشریه مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب، بی تاریخ، کمیته ملی آبیاری و زهکشی‌ایران

جدول پ- ۳- ۵- استانداردهای کیفی فائو برای فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری

پارامتر	واحد	حد مجاز
نقره	mg/l	-
آلومینیوم	mg/l	۵/۰
آرسنیک	mg/l	۰/۱
بر	mg/l	۰/۷
باریوم	mg/l	-
بریلیوم	mg/l	۰/۱
کلسیم	mg/l	-
کادمیم	mg/l	۰/۰۱
کلر آزاد	meq/l	-
کلراید	meq/l	۴/۰
فرم آلدئید	mg/l	-
فنل	mg/l	-
سیانور	mg/l	-
کبالت	mg/l	۰/۰۵
کروم (Cr^{+6})	mg/l	۰/۱
کروم (Cr^{+3})	mg/l	-
مس	mg/l	۰/۲
فلوراید	mg/l	۱/۰
آهن	mg/l	۵/۰
جیوه	mg/l	-
لیتیوم	mg/l	۲/۵
منیزیم	mg/l	-
منگنز	mg/l	۰/۲
مولیبدن	mg/l	۰/۰۱
نیکل	mg/l	۰/۲
آمونیوم ـ N	mg/l	-
نیتریت	mg/l	-
نیترات	mg/l	۵/۰

پارامتر	واحد	حد مجاز
فسفات ـ P	mg/l	-
سرب	mg/l	۵/۰
سدیم	meq/l	-
سلنیم	mg/l	۰/۰۲
سولفید	mg/l	-
سولفیت	mg/l	-
واندیم	mg/l	۰/۱
روی	mg/l	۲/۰
روغن	mg/l	-
پاک‌کننده‌ها	mg/l	-
EC	dS/m	۰/۷
BOD5	mg/l	-
COD	mg/l	-
DO	mg/l	-
TDS	mg/l	۴۵۰
TSS	mg/l	-
SS	mg/l	-
SAR		۳/۰
pH		۶/۵ ـ ۸
مواد رادیو اکتیو		۰/۰
کدورت	NTU	-
رنگ		-
کلیفرم گوارشی		۱۰۰۰
کل کلیفرم	عدد در ۱۰۰ ml	-
تخم انگل روده	عدد در ۱۰۰ ml	۱

به نقل از نشریه مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب، بی تاریخ، کمیته ملی آبیاری و زهکشی‌ایران

جدول پ-۳-٦- استانداردهای کیفی کشور اردن جهت استفاده از فاضلاب خانگی تصفیه شده در آبیاری گیاهان

پارامتر (mg/l)	سبزیجات پخته نشده	درختان جنگلی و محصولات صنعتی	آبیاری چمنزارها و پارک‌ها	آبیاری محصولات علوفه‌ای
BOD5	۱۵۰	۱۵۰	۵۰	۲۵۰
COD	۵۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۷۰۰
DO	>۲	>۲	>۲	>۱
TDS	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰
TSS	۲۰۰	۲۰۰	۵۰	۲۵۰
pH	۶ – ۹	۶ – ۹	۶ – ۹	۶ – ۹
رنگ	–	–	۷۵	–
FOG	۸	۸	۸	۱۲
فنل	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
MBAS	۵۰	۵۰	۱۵	۵۰
NO3- – N	۵۰	۵۰	۲۵	۵۰
NH4+ – N	–	–	۵۰	–
TN	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	–
PO4 – P	–	–	۱۵	–
CT	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰
SO4-2	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
CO3-2	۶	۶	۶	۶
HCO3-	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰
Na+	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰
Mg++	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
Ca++	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
SAR	۹	۹	۱۲	۹

ادامه جدول پ-۳-٦- استانداردهای کیفی کشور اردن جهت استفاده از فاضلاب خانگی تصفیه شده در آبیاری گیاهان

پارامتر (mg/l)	سبزیجات پخته نشده	درختان جنگلی و محصولات صنعتی	آبیاری چمنزارها و پارک‌ها	آبیاری محصولات علوفه‌ای
کلر باقیمانده	۰/۵	–	۰/۵	–
Al	۵	۵	۵	۵
As	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
Be	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
Cu	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
F	۱	۱	۱	۱
Fe	۵	۵	۵	۵
Li	۲/۵	۵	۳	۵
Mn	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
Ni	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
Pb	۵	۵	۰/۱	۵
Se	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
Cd	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Zn	۲	۲	۲	۲
CN	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
Cr	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
Hg	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
V	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
Co	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
B	۱	۱	۳	۳
Mo	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
FC MPN/100ml	۱۰۰۰	–	۲۰۰	–
پاتوژن	–	–	–	–
آمیب و ژیاردیا	۱	–	–	–
نماتد (تخم در لیتر)	<۱	–	<۱	>۱

به نقل از نشریه مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب، بی تاریخ، کمیته ملی آبیاری و زهکشی‌ایران

جدول پ-۳-۷- استانداردهای فاضلاب خانگی تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری در کشور قبرس

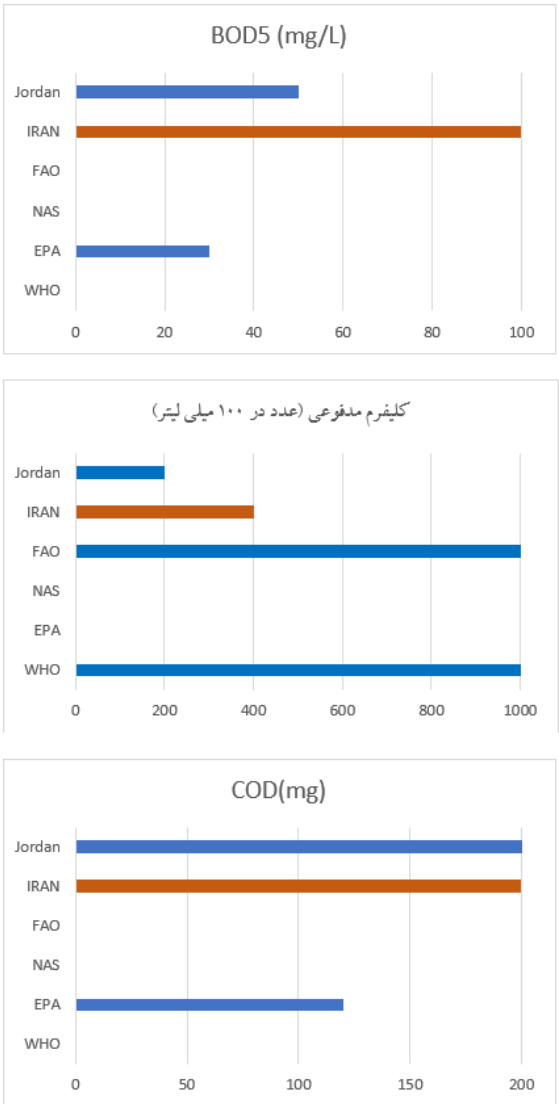
آبیاری	BOD mg/l	SS mg/l	کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی‌لیتر	کرم روده	تصفیه مورد نیاز
کل محصولات	۱۰	۱۰	۵ ۱۵*	صفر	ثانویه و ثالثه و گندزدایی
سبزیجاتی که بصورت پخته مصرف می‌شود	۱۰ ۱۵*	۱۰ ۱۵*	۵۰ ۱۰۰*	صفر	ثانویه و ثالثه و گندزدایی
محصولات مورد استفاده انسان	۲۰ A ۳۰*	۳۰ ۴۵*	۲۰۰ ۱۰۰۰*	صفر	ثانویه و ذخیره بیشتر از ۷ روز ـ ثالثه و گندزدایی
	(B		۲۰۰ ۱۰۰۰*	صفر	استخر تثبیت ـ تکمیل با زمان ماند ۳۰ روزه یا ثانویه
محصولات علوفه‌ای	۲۰ (A ۳۰*	۳۰ ۴۵*	۱۰۰۰ ۵۰۰۰*	صفر	ثانویه و ذخیره بیش از ۷ روز یا ثالثه و گندزدایی
	(B		۵۰۰۰	صفر	استخر تثبیت ـ تکمیلی یا ثانویه با بیش از ۳۰ روز زمان ماند
محصولات صنعتی	۵۰ (A ۷۰*		۳۰۰۰ ۱۰۰۰۰*	صفر	ثانویه و گندزدایی
	(B		۳۰۰۰ ۱۰۰۰۰*		استخر تثبیت ـ تکمیلی با زمان ماند بیش از ۳۰ روز یا ثانویه با زمان ماند بیش از ۳۰ روز

ارقامی که با * مشخص شده‌اند، نمایانگر بیشینه مجاز هستند.

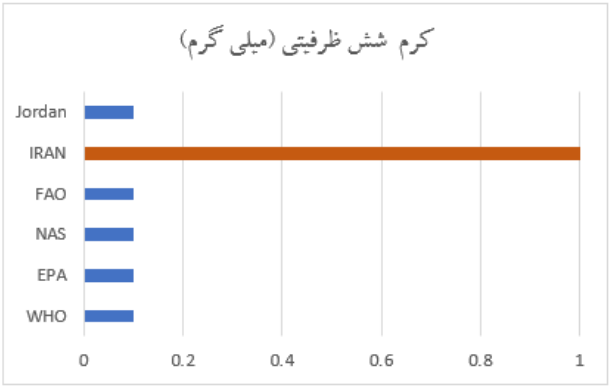
به نقل از نشریه مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب، بی تاریخ، کمیته ملی آبیاری و زهکشی‌ایران

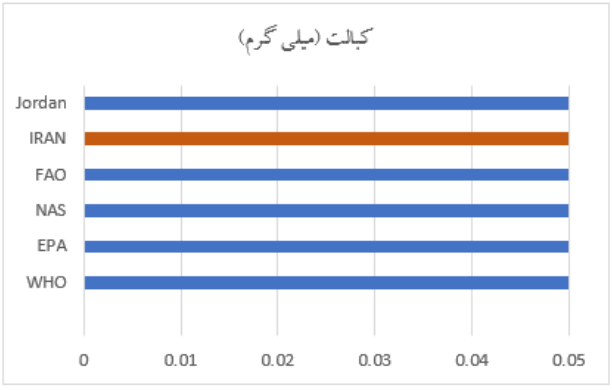
اختلاف بین استانداردها

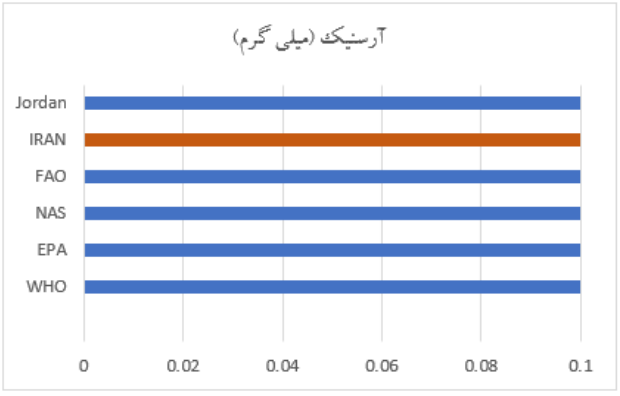
شکل پ-۳-۱ مقایسه‌ای بین پارامترهای BOD_5، کلیفرم مدفوعی، COD ،کروم شش ظرفیتی، سرب، کبالت، آرسنیک وکادمیوم را در استانداردهای گوناگون نشان می‌دهد.



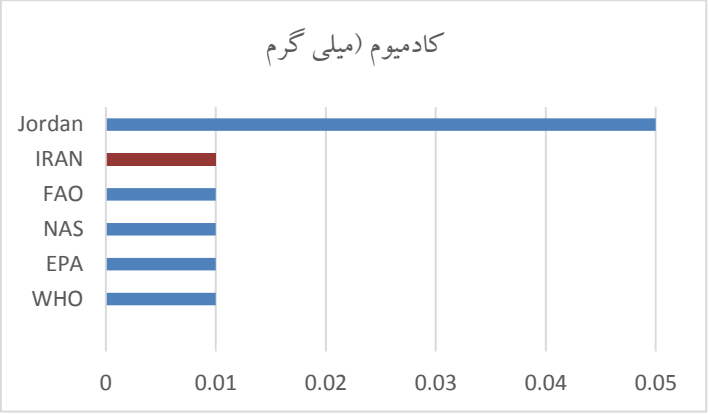
شکل پ- ۳- ۱- مقایسه استاندارد کیفیت آب در سازمان های مختلف







دنباله شکل پ- ۳- ۱- مقایسه استاندارد کیفیت آب در سازمان های مختلف



دنباله شکل پ- ۳- ۱- مقایسه استاندارد کیفیت آب در سازمان های مختلف

Drainage and Environment

Vol. 1- Pollutants and Drainage Water Receiving Bodies

M. Akram

Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID)

Ministry of Energy
Iran Water Resorces Management Company

ISBN : 978-600-96875-9-6

Publication No. 190
2024