



دانشگاه علوم پزشکی تهران



مرکز تحقیقات کیفیت آب
پژوهشکده محیط زیست

راهنمای کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی

مؤلفان

دکتر محمد تقی قانعیان

دانشیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات
بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

مهندس محبوبه دهواری

دانشجوی دکتری بهداشت محیط
دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و
خدمات بهداشتی درمانی جندی شاپور اهواز

سید المرسلین



دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی تهران



پژوهشکده محیط زیست

راهنمای کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی

نام کتاب: راهنمای کاربرد آب بازیافتی در کشاورزی

مؤلف (ان): محمدتقی قانعیان - محبوبه دهواری

ناشر: دانشگاه علوم پزشکی تهران

سال انتشار: ۱۳۹۸

نوبت چاپ: اول

لیتوگرافی چاپ و صحافی: چاپ بهرنگ

قیمت:

- سرشناسه: قانعیان، محمدتقی، ۱۳۵۳ -
عنوان و نام پدیدآور: راهنمای کاربرد آب‌های بازیافتی در کشاورزی / محمدتقی قانعیان، محبوبه دهواری؛ [تهیه‌کننده مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران].
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری: ۱۵۴ص: جدول، نمودار.
شابک: ۵-۰۸۳-۰۸۳-۱۵۶-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی: فیبا
یادداشت: کتابنامه: ص. ۱۳۹-۱۴۱.
موضوع: آبیاری با فاضلاب
موضوع: Sewage irrigation
موضوع: فاضلاب -- تصفیه
موضوع: Sewage -- Purification
موضوع: آب -- استفاده مجدد
موضوع: Water reuse
شناسه افزوده: دهواری، محبوبه، ۱۳۶۶-
Dehvari, Mahbobeh
شناسه افزوده: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران. پژوهشکده محیط زیست. مرکز تحقیقات کیفیت آب
شناسه افزوده: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران
شناسه افزوده: Tehran University of Medical Sciences and Health Services
رده بندی کنگره: ۷۶۰TD
رده بندی دیویی: ۳۶۲۳/۶۲۸
شماره کتابشناسی ملی: ۵۸۰۹۷۹۲

- عنوان: راهنمای کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی
- تعداد صفحات: ۱۵۴
- در جلسه مورخ ۹۶/۰۳/۰۲ شورای انتشارات دانشگاه علوم پزشکی تهران با چاپ کتاب موافقت گردیده است.

مرکز تحقیقات کیفیت آب- پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران:

تهران- میدان انقلاب- خیابان کارگر شمالی- نرسیده به بلوار کشاورز- پلاک ۱۵۴۷ طبقه
هشتم- کد پستی: ۱۴۱۷۹۹۳۳۶۱
تلفن: ۸۸۹۷۸۳۹۶-۰۲۱، دورنگار: ۸۸۹۷۸۳۹۸-۰۲۱
<http://ier.tums.ac.ir>

مؤلف:

نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	محل خدمت
دکتر محمد تقی قانعیان	دانشیار	دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

کمیته فنی تدوین راهنما به ترتیب الفبا:

نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی / سمت	محل خدمت
مهندس محبوبه دهواری	دانشجوی دکتری بهداشت محیط / مولف دوم	دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی جندی شاپور اهواز
دکتر نوشین راستکاری	دانشیار/ عضو کمیته	پژوهشکده محیط زیست/ دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
دکتر سیمین ناصری	استاد/ عضو کمیته	پژوهشکده محیط زیست/ دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
مهندس سعیده همتی برجی	کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط/ عضو کمیته	پژوهشکده محیط زیست

فهرست:

۱	پیشگفتار
۲	۱- مقدمه
۳	۲- اهداف
۴	۳- دامنه کاربرد
۴	۴- اصطلاحات و تعاریف
۵	۵- فاضلاب
۶	۶- ترکیب فاضلاب
۸	۷- سیستم های تصفیه فاضلاب
۸	۸- مقایسه سیستم های تصفیه فاضلاب
۱۴	۹- اهمیت و منافع استفاده مجدد از پساب
۱۶	۱۰- اهمیت استفاده مجدد از پساب در کشاورزی
۱۷	۱۱- تاریخچه استفاده مجدد از آب های بازیافتی در کشاورزی
۱۹	۱۲- طبقه بندی گیاهان
۱۹	۱۲-۱ طبقه بندی محصولات و گیاهان زراعی از دیدگاه بهداشت مصرف کنندگان
۲۰	۱۲-۲ گروه بندی علمی گیاهان
۲۰	۱۲-۳ گروه بندی باغبانی
۲۳	۱۲-۴ گروه بندی گیاهان زراعی بر اساس هدف تولید و مورد مصرف
۲۴	۱۳- انواع روش های آبیاری
۲۶	۱۳-۱ انتخاب روش آبیاری
۲۹	۱۴- آبیاری گیاهان خوراکی
۲۹	۱۵- آبیاری گیاهان غیر خوراکی
۳۰	۱۶- عوامل مؤثر بر مطلوبیت آب های بازیافتی جهت استفاده مجدد در کشاورزی
۳۰	۱۶-۱ کیفیت آب

- ۳۰-۱۶ نوع محصول تحت آبیاری
- ۳۱-۱۶ خاک تحت آبیاری
- ۳۱-۱۶ ۴ آب و هوا
- ۳۱-۱۶ ۵ مدیریت آبیاری و زهکشی
- ۳۲-۱۷ معیارهای کیفیت آب های بازیافتی برای استفاده مجدد در کشاورزی
- ۳۴-۱۷ ۱ شوری
- ۳۷-۱۷-۱-۱ عوامل مؤثر بر تحمل گیاهان نسبت به شوری
- ۳۸-۱۷ ۲ نفوذ پذیری
- ۴۱-۱۷ ۳ سمیت یون ویژه
- ۴۲-۱۷ ۳-۱ اسدیم
- ۴۲-۱۷ ۲-۳ کلرور
- ۴۳-۱۷ ۳-۳ بر
- ۴۴-۱۷ ۴ عناصر جزئی و مواد مغذی
- ۴۴-۱۷ ۱-۴ عناصر جزئی
- ۴۶-۱۷ ۲-۴ مواد مغذی
- ۴۷-۱۷ ۱-۲-۴ نیتروژن
- ۴۷-۱۷ ۲-۲-۴ فسفر
- ۴۸-۱۷ ۵ انتخاب نوع محصول زراعی
- ۴۸-۱۷ ۶ مشکلات متفرقه
- ۴۹-۱۸ ملاحظات بهره برداری کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی
- ۵۱-۱۹ مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی
- ۵۸-۲۰ آنالیز و ارزیابی ریسک استفاده مجدد از آب های بازیافتی در کشاورزی
- ۶۲-۲۰ ۱ ارزیابی ریسک در شرایط استاندارد
- ۶۲-۲۰ ۲ مدیریت ریسک
- ۶۲-۲۰ ۳ ارزیابی ریسک در استفاده مجدد از آب های بازیافتی

- ۶۳ ۲۰-۳-۱ محدودیت های ارزیابی ریسک استفاده مجدد از آب های بازیافتی
- ۶۴ ۲۰-۴-۴ ارزیابی ریسک بهداشتی
- ۶۴ ۲۰-۴-۱ ریسک های بهداشتی میکربی
- ۶۸ ۲۰-۴-۱-۱ میکروارگانسیم های موجود در فاضلاب
- ۶۸ ۲۰-۴-۱-۱-۱ باکتری ها
- ۶۹ ۲۰-۴-۱-۱-۲ ویروس ها
- ۶۹ ۲۰-۴-۱-۱-۳ تک یاخته ها و کرم ها
- ۷۱ ۲۰-۴-۱-۲ شواهد اپیدمیولوژیکی
- ۷۱ ۲۰-۴-۱-۲-۱ خطر برای کارگران و خانواده های آنها
- ۷۵ ۲۰-۴-۱-۲-۲ خطر برای مصرف کنندگان
- ۷۶ ۲۰-۴-۱-۲-۳ خطر برای ساکنین مجاور با مناطق آبیاری شده با فاضلاب
- ۷۶ ۲۰-۴-۱-۳ ارزیابی کمی ریسک میکربی
- ۷۶ ۲۰-۴-۱-۴ تکنیک های آنالیز میکربی
- ۷۷ ۲۰-۴-۱-۵ شاخص های میکربی
- ۷۹ ۲۰-۴-۱-۶ اهداف کاهش عوامل میکربی
- ۷۹ ۲۰-۴-۱-۶-۱ آبیاری نامحدود
- ۸۴ ۲۰-۴-۱-۶-۲ آبیاری محدود
- ۸۵ ۲۰-۴-۲ ارزیابی کمی ریسک آلاینده های شیمیایی
- ۸۶ ۲۰-۴-۲-۱ فلزات سنگین
- ۸۹ ۲۰-۴-۲-۲ نمک ها
- ۸۹ ۲۰-۴-۲-۳ مواد مغذی
- ۸۹ ۲۰-۴-۲-۴ مواد آلی
- ۹۱ ۲۰-۴-۲-۵ مواد معلق
- ۹۱ ۲۰-۴-۲-۶ آلاینده های دارای تقدم
- ۹۲ ۲۰-۴-۲-۷ سورفاکتانت ها

- ۹۲ ۲۰-۴-۲-۸ آلاینده های نوپدید
- ۹۳ ۲۰-۴-۲-۹ مواد شیمیایی قانونمند نشده
- ۹۳ ۲۰-۴-۲-۱۰ مواد شیمیایی مختل کننده غدد درون ریز
- ۹۴ ۲۰-۴-۲-۱۱ باقیمانده های دارویی
- ۹۵ ۲۰-۴-۲-۱۲ محصولات مراقبت های شخصی و خانگی
- ۹۵ ۲۰-۴-۲-۱۳ هورمون های طبیعی
- ۹۵ ۲۰-۴-۲-۱۴ اثرات بهداشتی تماس با مواد شیمیایی
- ۹۶ ۲۰-۴-۲-۱۴-۱ اثرات بهداشتی مستقیم
- ۹۶ ۲۰-۴-۲-۱۴-۲ اثرات بهداشتی غیرمستقیم
- ۹۷ ۲۰-۴-۲-۱۵ ارزیابی مخاطرات ناشی از آلاینده های شیمیایی
- ۹۸ ۲۰-۴-۲-۱۶ اهداف مبتنی بر سلامتی برای مواد شیمیایی
- ۱۰۰ ۲۰-۴-۲-۱۷ تکنیک های آنالیز مواد شیمیایی
- ۱۰۱ ۲۰-۴-۳ سم شناسی و اپیدمیولوژی
- ۱۰۲ ۲۱- مدیریت ریسک استفاده مجدد در کشاورزی
- ۱۰۴ ۲۲- ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی استفاده مجدد در کشاورزی
- ۱۰۷ ۲۳- قوانین و استانداردهای ملی و بین المللی مرتبط با آب های بازیافتی
- ۱۰۷ ۲۳- ۱ سابقه تدوین استانداردهای استفاده مجدد از آب های بازیافتی در کشاورزی
- ۱۰۸ ۲۳- ۲ استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران
- ۱۰۹ ۲۳- ۳ بررسی نشریه شماره ۵۳۵، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری
- ۱۱۱ ۲۳- ۴ استانداردها و رهنمودهای بین المللی
- ۱۱۱ ۲۳- ۴-۱ رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)
- ۱۱۴ ۲۳- ۴-۲ استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)

- ۱۱۸ ۲۳-۴-۳ استانداردهای استفاده از آب های بازیافتی جهت کشاورزی
در کشورهای مختلف جهان
- ۱۲۸ ۲۴- آنالیزهای آزمایشگاهی
- ۱۳۳ ۲۵- مطالعات موردی و تجربیات کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی در
ایران و جهان
- ۱۳۳ ۲۵- ۱ تجارب استفاده مجدد از آب های بازیافتی در ایران
- ۱۳۶ ۲۵- ۲ تجارب استفاده مجدد از آب های بازیافتی در جهان
- ۱۳۸ ۲۶- مراجع

پیشگفتار

آب از ضروری ترین عوامل توسعه جوامع انسانی بوده و ایران از جمله کشورهایی است که در آن، تأمین آب برای مصارف مختلف از دغدغه های مهم دولت در راستای توسعه پایدار محسوب می شود.

جوامع شهری و روستایی، کانون اصلی مصارف آب برای مقاصد شرب، کشاورزی، صنعت و تولید فاضلاب انسانی می باشند. افزایش مصارف آب و به تبع آن، تولید فاضلاب و روند رو به رشد این تولید و همچنین توجه به استفاده غیراصولی در وضع موجود، ایجاب می نماید برای جلوگیری از گسترش مشکلات بهداشتی و زیست محیطی و همچنین تأمین بخشی از آب مورد نیاز مصارف مختلف، از طریق بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب ها و آب های برگشتی، برنامه ریزی شود. رشد مستمر جمعیت، آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی، توزیع نامتناسب منابع آب و خشکسالی های دوره ای، سازمان های فعال در زمینه آب را به جستجوی منابع جدید آب واداشته است. لذا بهره برداری از پساب خروجی از تصفیه خانه های فاضلاب بیش از پیش به عنوان یک منبع قابل اطمینان آب مورد توجه است.

محدودیت منابع آب در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک، یکی از مهمترین معضلات موجود در بخش کشاورزی است. از این رو استفاده از منابع آبی غیرمتعارف (از جمله پساب ها) در این کشورها روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می شود. کاربرد پساب به عنوان یک منبع دائمی آب در کشاورزی علاوه بر تأمین بخشی از نیازهای آبی این بخش، باعث صرفه جویی و دوام منابع آبی موجود نیز می گردد. علاوه بر این وجود عناصر غذایی گیاهی در پساب ها، مصرف کودهای شیمیایی و بالطبع، اثرات زیست محیطی استفاده از آنها را کاهش می دهد. بکارگیری پساب در کشاورزی اگرچه با فواید زیادی توأم است ولی چنانچه این امر بدون برنامه ریزی دقیق و اعمال مدیریت و نظارت صحیح انجام پذیرد، می تواند اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی متعددی را در پی داشته باشد که از آن جمله می توان به عدم پذیرش از سوی مردم، عدم وجود بازار مناسب برای عرضه محصولات تولیدی، شور و سدیمی شدن خاک به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، تجمع فلزات سنگین و سایر عناصر سمی در خاک و گیاهان، آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی و از همه مهمتر شیوع بیماری های مختلف، اشاره نمود.

با توجه به میزان استقبال و همچنین نیاز به استفاده از پساب ها و آب های برگشتی در کشاورزی، در حال حاضر بیشتر تصفیه خانه های فاضلاب در سطح کشور با هدف استفاده مجدد از پساب حاصل در کشاورزی، طراحی و اجرا می گردند.

۱- مقدمه

امروزه کمبود آب در بسیاری از کشورهای جهان به عنوان یک مشکل مطرح است. جهان، در حال حرکت به سمت بحران آب است و در سال ۲۰۲۵، دو سوم از جمعیت جهان، استرس کمبود آب را خواهند داشت و در حدود نیمی از جمعیت جهان با محدودیت تأمین آب مواجه خواهند شد. در کشور ما با میزان بارش کمتر از ۳۰٪ متوسط باران سالیانه کره زمین، سرانه منابع آب کشور از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۰ از ۷۰۰۰ به ۴۳۰۰ متر مکعب تقلیل یافته و بر اساس پیش بینی ها در سال ۱۴۰۰ به ۱۳۰۰ مترمکعب خواهد رسید. بر پایه مستندات موجود، سرانه آبی بین ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال، نشان از بحران آب در منطقه می باشد و در صورتی که این سرانه بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ و کمتر از ۵۰۰ باشد به ترتیب کشور به کمبود آب و کم آبی مطلق دچار خواهد شد. از طرفی بخشی از این مقدار آب محدود نیز از طریق دفع غیربهداشتی فاضلاب ها، آلوده شده است.

عواملی مشتمل بر روند فرآیند تقاضا نسبت به آب تأمین شده، محدودیت در تأمین آب از منابع سطحی و زیرزمینی، آلودگی آب های استحصالی از منابع آب، عدم امکان کاهش تقاضای آب و هزینه های بالای دفع بهداشتی فاضلاب موجب بررسی استفاده مجدد از فاضلاب ها جهت مصارف مختلف شده است.

از طرف دیگر استفاده از پساب های حاصله از تصفیه فاضلاب و همچنین فضولات انسانی به علت اینکه حاوی برخی از ترکیبات تقویت کننده اکوسیستم های آب و خاک هستند، یک منبع با ارزش محسوب می شوند که نباید مورد غفلت واقع گردند و چنانچه مورد بی اعتنایی قرار گیرند، موجبات آلودگی محیط زیست را فراهم خواهند کرد، لیکن دستیابی به مقاصد فوق هنگامی مقدور خواهد بود که استفاده مجدد از فاضلاب ها به طور صحیح و بهداشتی صورت گیرد.

امکان سنجی کاربری پساب ها برای مصارف گوناگون و همچنین تعیین ضوابط و محدودیت های کیفی مربوطه، یکی از مؤلفه های با اهمیت در زمان برنامه ریزی و بهره برداری از پساب، محسوب می گردد. پساب ها آب شیرین اما آلوده محسوب می شوند که بسته به درجه تصفیه و استاندارد ملی و بین المللی با توجه به بحران کمی و کیفی آب می توان جهت مصارف مختلف از قبیل مصارف شهری غیرآشامیدنی و همچنین آبیاری محصولات کشاورزی و گلخانه ای، تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی، پرورش آبزیان، شرب حیوانات و مصارف صنعتی استفاده نمود.

از آنجایی که کشاورزی بزرگترین استفاده کننده آب در سطح جهانی است و ۶۰ درصد از منابع آب شیرین جهان را مصرف می کند، به همین دلیل امروزه از پساب، بیشتر برای توسعه کشاورزی استفاده می شود. از میان منابع مختلف تولیدکننده پساب، فاضلاب های خانگی به دلیل حجم زیاد و داشتن کیفیت مناسب تر بعد از طی مراحل تصفیه، از اولویت بیشتری برای مصارف کشاورزی برخوردارند. استفاده از پساب حاصل از تصفیه فاضلاب های شهری برای مصارف کشاورزی با توجه به پارامترهای شاخص بهداشتی مانند کل کلیفرم ها، کلیفرم های مدفوعی و تخم کرم های نماتود از اهمیت زیادیتری برخوردارند و لذا از عوامل محدودکننده در انتخاب الگوی کشت به شمار می روند. پساب حاصل از فرآیندهای تصفیه فاضلاب های صنعتی به دلیل حجم محدود، پراکندگی و کیفیت متنوعی که دارند بویژه از نظر دارا بودن ترکیبات مختلف مانند فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی خاص برای مصارف کشاورزی در اولویت پایین تری قرار دارند.

امروزه کاربرد پساب در کشاورزی در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایالات متحده آمریکا، کانادا، فرانسه، آلمان، مکزیک، برزیل، مصر، مراکش، اردن، عربستان سعودی، قطر، چین و ... رایج است و در کشور ایران نیز در سال های اخیر، به دلیل محدودیت منابع آب، افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی، صنایع، کشاورزی و همچنین توسعه و اجرای طرح های متعدد جمع آوری و تصفیه فاضلاب ها، کاربرد پساب در زمین های کشاورزی اهمیت ویژه ای یافته و در اولویت های برنامه ریزی مدیریت منابع آب قرار دارد.

باید توجه داشت که شرط استفاده موفقیت آمیز از پساب در کشاورزی، در نظر گرفتن اثرات آن بر محیط زیست و محصولات کشاورزی و بهداشت و تندرستی انسان ها می باشد. در غیر این صورت، آسیب های جدی به طبیعت و جوامع انسانی وارد خواهد آمد.

به همین منظور، وجود آئین نامه ها و دستور کارهایی برای اطلاع از شرایط و ویژگی های کیفی فاضلاب های تصفیه شده به منظور حفظ کیفیت مناسب محصولات کشاورزی، حفاظت از محیط زیست و بهداشت جامعه، ضروری خواهد بود.

۲- اهداف

هدف از تدوین این راهنما، تبیین اهمیت و اهداف استفاده مجدد از آب های بازیافتی در کشاورزی، جنبه های مهم مرتبط با کیفیت آب های بازیافتی مصرفی جهت کشاورزی، مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی استفاده مجدد و قوانین و استانداردهای ملی و بین المللی مرتبط با استفاده مجدد

بوده تا با هماهنگی و همکاری بین بخشی، فاضلاب های تصفیه شده به عنوان منبع آب در بخش کشاورزی استفاده شده و ضمن حفاظت کمی و کیفی از منابع از بروز مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی مرتبط پیشگیری شود.

۳- دامنه کاربرد

این راهنما در راستای تشریح اهمیت و استفاده مجدد از آب های بازیافتی در کشاورزی و جنبه های بهداشتی و زیست محیطی مرتبط با آن تهیه شده و به همین دلیل در کلیه پروژه های استفاده مجدد از آب های بازیافتی جهت کشاورزی قابل استفاده است. با توجه به اینکه ارگان هایی نظیر شرکت های آب و فاضلاب شهری و روستایی، شرکت سهامی آب منطقه ای، سازمان محیط زیست و سازمان جهاد کشاورزی و منابع طبیعی در ارتباط با پروژه های استفاده مجدد می باشند، لذا در تدوین این راهنما سعی شده تا با رویکرد جامع نگر به جنبه های مختلف و حائز اهمیت استفاده مجدد، بتوان با جلب همکاری های بین بخشی و حداقل بروز مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی از آب های بازیافتی جهت استفاده مجدد در کشاورزی استفاده نمود.

۴- اصطلاحات و تعاریف

بازیابی آب: تصفیه یا پالایش فاضلاب به منظور امکان استفاده مجدد از آن. این عبارت اغلب همراه با ارسال آب بازیافتی به محل استفاده نهایی آن استفاده می شود.

آب بازیافتی (پساب): پساب های حاصل از تصفیه فاضلاب ها که بصورت انتفاعی مورد استفاده مجدد می باشد.

پساب: واژه پساب به معنی آب خروجی از هرگونه فرآیند تصفیه فاضلاب است. پساب ها و فاضلاب های تصفیه شده در برگزیده فاضلاب های تصفیه شده شهری و صنعتی می باشد که حداقل یک مرحله تصفیه اعم از فیزیکی، شیمیایی یا زیستی را طی کرده باشند.

آب های برگشتی: آب های برگشتی شامل زه آب های حاصل از آبیاری زمین های کشاورزی می باشد که به صورت زهکش سطحی و یا زیرزمینی تولید می گردد.

استفاده مجدد: استفاده از فاضلاب تصفیه شده با اهداف انتفاعی همچون آبیاری در بخش کشاورزی و سیستم های خنک کننده صنعتی.

کاربردهای انتفاعی: روش های مختلف مصرف آب، مستقیم یا غیرمستقیم، یا مقاصد سودآور برای افراد نظیر مصارف آب شهری، کاربردهای کشاورزی و صنعتی، حمل و نقل آب، پرورش ماهی و حیات وحش، تفریحات آبی.

استفاده مجدد مستقیم: استفاده از آب بازیافتی که بدون تخلیه احتمالی به منابع طبیعی آب، از تصفیه خانه های فاضلاب به محل استفاده مجدد آب، نظیر آبیاری کشاورزی و چشم اندازها، انتقال یافته است.

استفاده مجدد غیر مستقیم: استفاده غیرمستقیم از آب بازیافتی توسط عبور دادن آن از منبع طبیعی آب یا استفاده از آب زیرزمینی تغذیه شده توسط آب بازیافتی.

کشاورزی: کشاورزی به مفهوم راه ها و روش های بهره برداری از منابع آب و خاک و انرژی و ... در جهت تأمین نیازهای غذایی و پوشاک انسان ها می باشد. به عبارتی کشاورزی تولید مواد غذایی و کالا از راه زراعت و جنگل داری و دامداری است.

آبیاری: تلاش انسان جهت تغییر موضعی چرخه هیدرولوژی به منظور تولید محصولات کشاورزی را آبیاری گویند. به عبارت دیگر، آبیاری کاربرد مصنوعی آب روی زمین برای کمک به رشد محصولات، مراتع و گیاهان در زمین های تفریحی نظیر پارک ها و زمین های گلف می باشد.

آبیاری کنترل شده: آبیاری محصولات خوراکی (به ویژه محصولات که بصورت خام مصرف می شوند)، میدین ورزشی و پارک های عمومی.

آبیاری کنترل نشده: آبیاری درختان، محصولات علوفه ای و صنعتی، درختان میوه و مراتع.

اثرات بهداشتی: عوارض سوء بهداشتی ناشی از استفاده از پساب ها و آب های بازیافتی جهت مصارف مختلف نظیر کشاورزی.

۵- فاضلاب

هر نوع ماده زاید مایع حاصل از فعالیت های شهری و صنعتی بدون طی مراحل تصفیه را فاضلاب خام گویند. فاضلاب ها به چهار دسته تقسیم می شوند:

۱- فاضلاب خانگی (Domestic Wastewater)

۲- فاضلاب صنعتی (Industrial Wastewater)

۳- فاضلاب کشاورزی (Agricultural Wastewater)

۴- آب سطحی، رواناب (Surface Water, Runoff)

۶- ترکیب فاضلاب

بطور کلی فاضلاب شهری شامل فاضلاب خانگی، فاضلاب صنعتی و رواناب های سطحی می باشد. آب عمدتاً ۹۹/۹ درصد از فاضلاب شهری را تشکیل می دهد و ۰/۱ درصد باقیمانده آن شامل مواد آلی، معدنی، معلق و یا محلول در فاضلاب است. کربوهیدرات ها، لیگنین ها، چربی ها، قلیاها، مواد پاک کننده صنعتی، پروتئین ها و محصولات حاصل از تجزیه آن ها و نیز سایر ترکیبات شیمیایی آلی طبیعی و مصنوعی حاصل از فرآیندهای صنعتی از جمله مواد آلی موجود در فاضلاب می باشند. همچنین از مواد معدنی موجود در فاضلاب ها می توان برخی از عناصر سمی از قبیل آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، سرب، جیوه، روی و غیره را نام برد که منشأ آن ها عمدتاً فعالیت های صنعتی می باشد. البته غالباً مواد سمی موجود در فاضلاب شهری در صورتیکه به مصرف کشاورزی برسد، به حدی نیست که سلامتی انسان را به خطر بیندازد. با این حال توجه به حضور آلاینده های دارای تقدم در کاربرد آب های بازیافتی جهت کشاورزی و سایر مصارف، حائز اهمیت است.

یکی دیگر از اجزاء فاضلاب های شهری، رواناب های سطحی است که در اثر بارش باران و یا آب حاصل از ذوب برف، تولید و به سمت منابع آب پذیرنده سرازیر می گردند. رواناب ها جزء منابع آلاینده غیر نقطه ای بوده و ۲۰ درصد آلودگی رودخانه ها را شامل می گردند. توسعه شهری باعث حذف پوشش گیاهی، افزایش سطوح نفوذناپذیر، تغییر در خصوصیات هیدروگراف رواناب سطحی، افزایش حجم و دبی حداکثر رواناب می گردد. افزایش رواناب و عدم نفوذ آب، موجب محروم شدن آب های زیرزمینی از منابع آب سطحی می شود. با افزایش رواناب، علاوه بر بروز سیل های خسارت زا، غلظت آلاینده های مختلف نظیر رسوبات، آفت کش ها، فلزات سنگین، نمک ها و مواد شیمیایی در منابع آب افزایش می یابند که به شدت سلامت محیط زیست را به خطر می اندازد.

شبکه جمع آوری فاضلاب، مدیریت پسماندها، کاربری اراضی، مدیریت ترافیک و آلودگی هوا، شبکه جمع آوری رواناب های سطحی، تراکم جمعیت شهری، استانداردهای زندگی و بسیاری از عوامل دیگر در کیفیت رواناب های سطحی مؤثر می باشند. عمده آلاینده های موجود در رواناب ها شامل مواد معلق و رسوبات، روغن و گریس، مواد مغذی، مواد آلی اکسیژن خواه، میکروارگانیزم ها، فلزات سنگین (از جمله روی، سرب، کادمیوم، مس، آهن، آلومینیوم) و دیگر مواد سمی است.

از دید مسائل بهداشتی، ارگانیزم های بیماریزای موجود در فاضلاب ها نظیر ویروس های بیماری زا، باکتری ها، تک سلولی ها و کرم ها نیز بسیار بااهمیت بوده و به ویژه در پروژه های

استفاده مجدد جهت کشاورزی می توانند سلامت کشاورزان و مصرف کنندگان محصولات آبیاری شده با پساب را تهدید نمایند. اجزاء تشکیل دهنده فاضلاب شهری حائز اهمیت از نظر تصفیه را می توان بصورت اجزاء متداول، غیرمتداول و در حال ظهور تقسیم بندی کرد. اجزاء اصلی تشکیل دهنده در هر گروه از موارد فوق در جدول (۱) ارائه شده است. عبارت اجزاء متداول به عنوان مبنایی برای طراحی اغلب تصفیه خانه های متداول فاضلاب بکار می رود. عبارت غیرمتداول در خصوص اجزایی بکار می رود که پیش از استفاده مجدد از پساب، می باید توسط فرآیندهای تصفیه پیشرفته فاضلاب حذف گردند. عبارت در حال ظهور در خصوص گروه هایی از ترکیبات اندازه گیری شده در مقیاس میکرو یا نانوگرم در لیتر بکار می رود که با افزایش آگاهی در خصوص این ترکیبات، احتمال نقش آن ها در ایجاد مخاطرات طولانی مدت بر سلامت و محیط زیست قوت می یابد.

جدول ۱- دسته بندی اجزاء فاضلاب

دسته بندی	اجزاء تشکیل دهنده
متداول	کل جامدات معلق
	جامدات کلوئیدی
	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی
	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی
	کل کربن آلی
	آمونیاک
	نیترات
	نیتريت
	نیترژن کل
	فسفر
غیر متداول	باکتری ها
	کیست پروتوزوا و آسبست ها
	ویروس ها
	مواد آلی مقاوم
	ترکیبات آلی فرار
غیر متداول	عوامل فعال سطحی یا سورفاکتانت ها
	فلزات
	کل جامدات محلول

ادامه جدول ۱- دسته بندی اجزاء فاضلاب

دسته بندی	اجزاء تشکیل دهنده
در حال ظهور	مواد فعال دارویی (داروهای نسخه دار و آزاد)
	محصولات مراقبت های خانگی
	آنتی بیوتیک های انسانی و دامی
	محصولات خانگی و صنعتی
	هورمون های جنسی و استروئیدی
	سایر ترکیبات مختل کننده غدد درون ریز

۷- سیستم های تصفیه فاضلاب

تصفیه فاضلاب، امکان بهره برداری از پساب بدون نگرانی های بهداشتی و زیست محیطی را فراهم می آورد و آبیاری مؤثرترین و بهترین روش استفاده مجدد از پساب به حساب می آید. برای استفاده مجدد از پساب، فاضلاب باید طی مراحل مورد تصفیه قرار گیرد. تصفیه خانه های فاضلاب باید به گونه ای طراحی شوند که پساب حاصل از لحاظ فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مطابق استانداردهای موجود باشد. از سوی دیگر از نظر بهره برداری و تعمیر و نگهداری، دارای کمترین هزینه اولیه و جاری باشد.

تصفیه فاضلاب شامل عملیات فیزیکی و فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی مشتمل بر تصفیه مقدماتی، اولیه، ثانویه و پیشرفته می باشد. تصفیه مقدماتی و اولیه، حداقل سطح مورد نیاز تصفیه بوده که با هدف حذف مواد معلق و جامدات فاضلاب، مورد استفاده قرار می گیرند. در بیشتر حالات، تصفیه ثانویه به دنبال تصفیه اولیه و از طریق استفاده از فرآیند بیولوژیکی هوازی نظیر لجن فعال، صافی چکنده و تماس دهنده های بیولوژیکی دوار، استفاده می شود. فرآیند تصفیه پیشرفته نیز در نهایت جهت حذف نیتروژن، فسفر، مواد معلق باقیمانده، مواد آلی مقاوم، فلزات سنگین و نمک های محلول بکار می رود. در بسیاری از کشورها، گندزدایی جهت حذف پاتوژن ها به عنوان آخرین مرحله تصفیه در نظر گرفته می شود.

۸- مقایسه سیستم های تصفیه فاضلاب

سیستم های تصفیه فاضلاب به دو دسته سیستم های طبیعی و مصنوعی تقسیم می شوند. سیستم های لجن فعال و صافی چکنده از جمله سیستم های تصفیه مصنوعی و برکه های تثبیت

و تلندها از جمله سیستم های تصفیه طبیعی هستند. مزایا و معایب سیستم های مختلف تصفیه فاضلاب بطور خلاصه در جدول (۲) و حدود متداول حذف پاتوژن در این فرآیندها در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۲- مزایا و معایب سیستم های تصفیه فاضلاب

نوع فرآیند	سیستم تصفیه	مزایا	معایب
فرآیندهای کم بار	برکه های تثبیت، مخازن تصفیه و نگهداری فاضلاب	مؤثر در کاهش پاتوژن ها، هزینه های پایین اجرا، بهره برداری و نگهداری، سهولت بهره برداری، تولید لجن کم با تخم انگل کم، کارایی بالا در آب و هوای گرم و مناطقی که تبخیر متوسط تا کم دارند، عدم نیاز به انرژی، کمک به تطبیق تولید پساب با نیاز به آب آبیاری به دلیل اینکه قادر به ذخیره آب برای مصارف حداکثر نیاز می باشند.	اتصال کوتاه هیدرولیکی می تواند سبب کاهش حذف پاتوژن ها گردد، جلبک ها در خروجی ممکن است در عملیات آبیاری ایجاد مزاحمت نمایند، نیاز به زمین زیاد، در صورت عدم نگهداری مناسب می تواند به مخزنی برای پرورش ناقلین تبدیل گردد، افزایش تبخیر در مناطق گرم منجر به از دست رفتن منابع آب و افزایش شوری پساب می گردد.
	وتلندهای مصنوعی	مؤثر در کاهش پاتوژن ها، کارایی متوسط در حذف باکتری و ویروس، هزینه و پیچیدگی کم، بهره برداری و نگهداری نسبتاً ساده، عدم نیاز به انرژی، ممکن است باعث بهبود محیط زیست برای سایر گونه های جانوری و گیاهی شوند.	بسته به عوامل مختلف، قدرت متفاوت در حذف پاتوژن ها دارند. افزایش تبخیر در مناطق گرم منجر به از دست رفتن منابع آب و افزایش شوری پساب می گردد. ممکن است باعث پرورش ناقلین گردد.
فرآیندهای پر بار	ته نشینی اولیه	هزینه کم، فرآیند ساده	حذف کم پاتوژن ها
	تصفیه اولیه با افزودن مواد شیمیایی	بهبود عملکرد ته نشینی با هزینه پایین، نیاز به فضای کم، حذف بالای تخم انگل.	تولید لجن بیشتر در مقایسه با ته نشینی اولیه ساده، نیاز به تصفیه لجن به منظور غیرفعال سازی پاتوژن ها، نیاز به مصرف مواد شیمیایی.
تصفیه اولیه	راکتورهای بی هوازی با بستر لجن و جریان رو به بالا	هزینه کم، حذف متوسط تخم انگل ها.	ممکن است پساب بوی بد بدهد، نیاز به بهره برداران آموزش دیده، لجن نیاز به هضم یا تصفیه دارد تا پاتوژن ها غیر فعال گردند.

ادامه جدول ۲- مزایا و معایب سیستم های تصفیه فاضلاب

معایب	مزایا	سیستم تصفیه	نوع فرآیند
<p>هزینه بالا و پیچیدگی، نیاز به بهره برداران آموزش دیده، نیاز به انرژی، تولید حجم زیاد لجن که نیازمند تصفیه می باشد، نیاز به تصفیه لجن برای حذف پاتوژن ها، لجن بالکینگ می تواند باعث افزایش تعداد تخم انگل در پساب گردد.</p>	<p>این فناوری به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد و به خوبی شناخته شده است، برای حذف خوب پاتوژن ها می توان عملکرد این سیستم را بهینه نمود.</p>	<p>لجن فعال یا صافی چکنده + ته نشینی ثانویه + گندزدایی</p>	<p>تصفیه ثانویه</p>
<p>نیاز به انرژی، نیاز به زمین بیشتر در مقایسه با سایر فرآیندهای پربار زیاد، لجن نیاز به هضم یا تصفیه دارد تا پاتوژن ها غیرفعال گردند.</p>	<p>این فناوری بطور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد و به خوبی شناخته شده است، برای حذف خوب پاتوژن ها می توان عملکرد سیستم را بهینه نمود، عدم نیاز به ته نشینی اولیه.</p>	<p>لاگون هوادهی</p>	
<p>تولید لجن بیشتر، نیاز به تصفیه لجن برای حذف پاتوژن ها</p>	<p>بهبود حذف ویروس و سایر پاتوژن ها، هزینه های جانبی کم.</p>	<p>انعقاد، لخته سازی و ته نشینی</p>	
<p>نیاز به مدیریت دقیق برای بهینه ساختن فرآیند، صافی شنی کند نیاز به فضای زیادی دارد، نیاز به تصفیه لجن برای حذف پاتوژن ها.</p>	<p>بهبود حذف پاتوژن ها، فناوری شناخته شده، هزینه های اضافی کم.</p>	<p>صافی شنی کند یا صافی گرانولی پربار</p>	<p>تصفیه ثالثیه</p>
<p>کارایی کم برای حذف باکتری و ویروس، نیاز به مدیریت دقیق برای بهینه ساختن فرآیند.</p>	<p>هنگامی که پس از تصفیه اولیه مورد استفاده قرار می گیرد، بطور مؤثری کیست پروتوزوئرها و تخم انگل را حذف می کند و چنانچه پس از ته نشینی ثانویه مورد استفاده قرار گیرد، باعث بهبود حذف پاتوژن ها می شود.</p>	<p>فیلتراسیون با بستر دوگانه</p>	

جدول ۳- کاهش یا غیرفعال سازی لگاریتمی پاتوزن های مدفوعی در فرآیندهای مختلف تصفیه فاضلاب

نوع فرآیند	فرآیند تصفیه	تعداد واحد لگاریتمی حذف پاتوزن ^a			
		ویروس	باکتری	کیست پروتوزوئر	
فرآیندهای زیستی کم بار	برکه های تثبیت فاضلاب	۱-۴	۱-۶	۱-۴	
	مخازن تصفیه و نگهداری فاضلاب	۱-۴	۱-۶	۱-۴	
	وتلند مصنوعی	۱-۲	۰/۵-۳	۰/۵-۳	
فرآیندهای پربار	ته نشینی اولیه	۰-۱	۰-۱	۰-۱	
	تصفیه اولیه	تصفیه اولیه با افزودن مواد شیمیایی	۱-۲	۱-۲	۱-۲
		راکتورهای بی هوازی با بستر لجن و جریان رو به بالا	۰-۱	۰/۵-۱/۵	۰-۱
	تصفیه ثانویه	لجن فعال + ته نشینی ثانویه	۰-۲	۱-۲	۰-۱
		صافی چکنده + ته نشینی ثانویه	۰-۲	۱-۲	۰-۱
	تصفیه ثالثیه	لاگون هوادهی + برکه ته نشینی	۱-۲	۱-۲	۰-۱
		انعقاد/لخته سازی	۱-۳	۰-۱	۱-۳
	گندزدایی	صافی شنی کند	۱-۳	۰-۳	۰-۳
		فیلتراسیون با بستر دو گانه	۱-۳	۰-۱	۱-۳
		فرآیندهای غشایی	۲/۵-۶ <	۳/۵-۶ <	۶ <
کلرزنی (کلر آزاد)		۱-۳	۲-۶	۰-۱/۵	
گندزدایی	ازن زنی	۳-۶	۲-۶	۱-۲	
	پرتو فرابنفش	۱-۳ <	۲-۴ <	۳ <	

^a مقادیر کاهش لگاریتمی بصورت log10 (غلظت اولیه پاتوزن به غلظت نهایی پاتوزن). بنابراین ۱ واحد لگاریتمی کاهش پاتوزن معادل ۹۰٪ حذف و ۲ واحد لگاریتمی کاهش پاتوزن معادل راندمان ۹۹٪ می باشد.

^b مقادیر مربوط به سیستم های تصفیه در مقیاس واقعی می باشد.

^c راندمان تئوریک بر اساس مکانیسم های حذف

^d داده های مرتبط با مقادیر حذف بیش از ۲ واحد لگاریتمی. مقادیر حذف ممکن است بالاتر از داده های گزارش شده باشد.

^e داده های مرتبط با نتایج آزمایشگاهی.

در حال حاضر، اغلب تصفیه خانه های فاضلاب شهری دارای مراحل تصفیه مقدماتی، اولیه و ثانویه می باشند. با این حال، اگر هدف تصفیه پیشرفته فاضلاب ها و دستیابی به پسایی با کیفیت جهت استفاده مجدد باشد، فرآیندهایی نظیر انعقاد و لخته سازی، جذب سطحی، اکسیداسیون،

فرآیندهای غشایی و تبادل یون نیز ممکن است در ادامه سایر مراحل تصفیه مورد استفاده قرار گیرند.

در جدول (۴)، درجه تصفیه (راندمان حذف، زدایش و یا کاهش) فرآیندهای مختلف تصفیه آب (پساب تصفیه ثانویه) ارائه شده است. انتخاب فرآیندهای تصفیه بر اساس کیفیت پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب (کیفیت های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، فلزات سنگین، عناصر کمیاب و ...) صورت گرفته و براساس غلظت آلاینده ها و درصد حذف و درجه تصفیه، مشخص خواهد شد.

جدول ۴- درجه تصفیه فرآیندهای تصفیه بر حذف آلاینده های مختلف آب

طبقه بندی	نوع آلاینده	هوادهی	ته نشینی و فیلتراسیون	انتقاد و لخته سازی،	سختی گیری با آهک	تبادل یون		استرمکوس	اکسیداسیون شیمیایی	گراول کربن فعال	جذب سطحی با
						کاتیونی	آنیونی				
	کل باکتری های کلیفرم	P	G-E	G-E	G-E	P	P	E	E	F	F
	ژیاردیا لامبلیا	P	G-E	G-E	G-E	P	P	E	E	F	F
	کدورت	P	E	E	G	F	F	E	P	F	P
	فلونوراید	P	F-G	F-G	P-F	P	P-F	E	P	G-E	G-E
	نترات	P	P	P	P	P	P	G	P	P	P
	نیتريت	F	P	P	P	P	P	G	G-E	P	P
	رادیوم (۲۲۶و۲۲۸)	P	P-F	P-F	G-E	E	E	E	P	P-F	P-F
	ترکیبات آلی فرار	G-E	P	P	P-F	P	P	F-E	P-G	F-E	F-E
	آفت کش ها	P-F	P-G	P-G	P-F	P	P	F-E	P-G	P-G	G-E
	تری هالومتان ها	G-E	P	P	P	P	P	F-G	P-G	F-G	F-E
	پیش ساز تری هالومتان ها	P	F-G	F-G	P-F	-	-	G-E	F-G	F-G	F-E
ب-آلاینده های ثانویه ^(۲)	سختی	P	P	E	E	E	E	E	P	P	P
	آهن	F-G	F-E	F-E	E	E	E	G-E	G-E	P	P
	منگنز	P-F	F-E	F-E	E	E	E	G-E	G-E	P	P
	رنگ	P	F-G	F-G	E	E	E	-	-	P-G	P
	طعم و بو	F-E	P-F	P-F	P-F	P-F	P-F	-	-	P-G	P
	کل جامدات محلول	P	P	P	P-F	P-F	P-F	P	P	P	P
	کلراید	P	P	P	P	P	P	F-G	F-G	P	P
	سولفات	P	P	P	P	P	P	E	E	P	P
سولفید هیدروژن	F-E	P	P	P	F-G	P	P	P	F-E	F-G	

P: ضعیف (۲۰ تا ۹۰ درصد حذف)، F: کم (۲۰ تا ۶۰ درصد حذف)، G: (۶۰ تا ۹۰ درصد حذف)، E: عالی (۹۰ تا ۱۰۰ درصد حذف)

- غیر قابل استفاده / عدم وجود داده کافی

(۱): آلاینده های اولیه: آلاینده هایی هستند که از نظر بهداشت عمومی و سلامت مصرف کنندگان اهمیت دارند.

(۲): آلاینده های ثانویه: آلاینده هایی هستند که اثر سوء بر کیفیت ظاهری و زیبایی شناختی آب دارند.

بطور کلی کارایی فرآیندها و مراحل مختلف تصفیه فاضلاب تحت تأثیر پارامترهای مختلفی نظیر ویژگی های کیفی فاضلاب خام و ضوابط طراحی و بهره برداری قرار می گیرد. در جدول (۵)، غلظت های مورد انتظار اجزاء فاضلاب در پساب با توجه به میزان تصفیه انجام شده برای یک نمونه فاضلاب با ویژگی های کیفی مشخص، ارائه شده است.

جدول ۵- حذف اجزاء فاضلاب در فرآیندهای مختلف تصفیه به منظور بازیابی آب^a

مجموعه	پساب تصفیه پیشرفته (AWT)		پساب تصفیه ثانویه		پساب تصفیه ثانویه		پساب تصفیه اولیه		غلظت در فاضلاب خام	اجزاء کیفی فاضلاب	فرآیندهای مختلف تصفیه
	درصد حذف	غلظت (mg/L)	درصد حذف	غلظت (mg/L)	درصد حذف	غلظت (mg/L)	درصد حذف	غلظت (mg/L)			
۹۸		NA	۵	۴/۳	۷۴	۱۳	۱۹	۱۴۹	۱۸۵	^b CBOD	متداول
۹۹+		NA	۴	۱/۳	۵۵	۹/۸	۴۰	۱۳۱	۲۱۹	TSS	
۹۹+	۷	۰/۶	۸	۷/۱	۶۴	۱۴	۲۱	۷۲	۹۱	TOC	
۹۸	۷۲	۴۳	۶	۱۰۹۰	۱۰	۱۱۸۳	۹	۱۳۲۲	۱۴۵۲	TS	
۹۹+	۰	۰/۲۷	۱۴	۰/۵	۷۴	۱۴	۱۲	۸۸	۱۰۰	کدورت (NTU)	
۹۶	۳۹	۰/۸	۱	۹/۳	۵۲	۹/۵	۵	۲۱	۲۲	آمونیاک-N	
۰	۰	۰/۷	۰	۱/۷	۰	۱/۴	۰	۰/۱	۰/۱	نیترات-N	
۹۷	۴۱	۰/۹	۰	۱۴/۲	۵۳	۱۳/۹	۳	۳۰/۶	۳۱/۵	TKN	
۹۸	۰	۰/۱	۵۴	۰/۱	۲۸	۳/۴	۱۶	۵/۱	۶/۱	فسفات-P	
۹۲	۴۰	۰/۰۰۳	۳۰	۰/۰۱۵	۱۹	۰/۰۰۲۵	۳	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۳۲	آرسنیک	
۱۷	۳	۰/۲۹	۱۳	۰/۳۱	۰	۰/۴۲	۰	۰/۳۸	۰/۳۵	بر	غیر متداول
۸۳	۰	۰/۰۰۱	۶۷	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱۲	۱۷	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۶	کادمیوم	
۹۹	۸۸	۱	۰	۷۰/۱	۷	۶۶/۷	۳	۷۲/۲	۷۴/۴	کلسیم	

ادامه جدول ۵- حذف اجزاء فاضلاب در فرآیندهای مختلف تصفیه به منظور بازیابی آب^a

مجموعه	پساب تصفیه پیشرفته (AWT)		پساب تصفیه ثالثیه		پساب تصفیه ثانویه		پساب تصفیه اولیه		غلظت در فاضلاب خام	اجزاء کیفی فاضلاب	فرآیندهای مختلف تصفیه
	درصد حذف	غلظت (mg/L)	درصد حذف	غلظت (mg/L)	درصد حذف	غلظت (mg/L)	درصد حذف	غلظت (mg/L)			
	۹۴	۹۰	۱۵	۰	۲۸۴	۰	۲۳۸	۳	۲۳۲	۲۴۰	
۸۳	۲۸	۰/۰۰۱	۲۴	۰/۰۰۱	۳۲	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	کروم	
۸۳	۰	۰/۰۱۱	۵۲	۰/۰۰۹	۳۳	۰/۰۴۳	۰	۰/۰۰۷	۰/۰۶۳	مس	
۹۴	۲	۰/۰۰۴	۲۲	۰/۰۰۵	۵۹	۰/۰۱۸	۱۱	۰/۰۵۳	۰/۰۶	آهن	
۹۱	۰	۰/۰۰۱	۹۳	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۸	۰	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	سرب	
۹۶	۱۳	۱/۵	۸۲	۶/۴	۰	۳۹/۳	۱	۳۸/۱	۳۸/۵	منگنز	
۹۷	۰	۰/۰۰۲	۵۷	۰/۰۰۲	۳۷	۰/۰۳۹	۴	۰/۰۶۲	۰/۰۶۵	منیزیم	
۹۷	۰	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۰۰۰۱	۳۳	۰/۰۰۰۱	۳۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	جیوه	
۸۹	۴۵	۰/۰۰۱	۱۱	۰/۰۰۴	۳۳	۰/۰۰۴	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	نیکل	
۸۰	۶۴	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۲	۱۶	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	سلنیوم	
۷۵	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۷۵	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	نقره	
۹۴	۹۱	۱۱/۹	۰	۲۱۱	۰	۱۹۸	۳	۱۹۲	۱۹۸	سدیم	
۹۹+	۹۱	۰/۱	۰	۳۶۸	۰	۳۰۹	۹	۲۸۳	۳۱۲	سولفات	
۹۷	۰	۰/۰۰۲	۲۷	۰/۰۰۲	۶۴	۰/۰۲۴	۶	۰/۰۷۶	۰/۰۸۱	روی	

^a تصفیه اولیه شامل آشغالگیرهای استوانه دورانی به همراه آشغالگیرهای دیسکی، تصفیه ثانویه به همراه سنبل آبی، تصفیه ثالثیه شامل ترسیب با آهک و فیلتراسیون عمقی و تصفیه پیشرفته فاضلاب متشکل از اسمز معکوس، زدایش با هوا (هوادهی) و جذب سطحی با کربن فعال می باشد.

^b نتایج ارائه شده برای فاضلاب خام و پساب اولیه بر حسب CBOD نبوده بلکه بر حسب BOD می باشند.

۹- اهمیت و منافع استفاده مجدد از پساب

منابع آب آشامیدنی ایران به دلیل قرار داشتن کشور در منطقه نیمه خشک کره زمین محدود است. این منابع همراه با رشد جمعیت و گسترش و توسعه شهرها مورد تهدید جدی قرار می گیرند. همچنین بالابودن هزینه های تأمین و توزیع آب ایجاب می کند که از منابع آبی موجود بطور کامل محافظت و از هر اقدامی که باعث آلودگی آب می شود، جلوگیری شود. دفع غیربهداشتی فاضلاب ها، یکی از راه های اصلی آلودگی منابع آب است که این امر بر افت کیفیت منابع آب مؤثر است. از طرفی حدود ۸۰-۷۰ درصد مصارف آب به فاضلاب تبدیل می شود.

باتوجه به پتانسیل آبی محدود کشور (۱۲۵ میلیارد مترمکعب در سال) و همچنین توجه به این مسأله که ۹۹/۹ درصد فاضلاب خانگی را آب تشکیل می دهد، لزوم تصفیه مناسب فاضلاب و استفاده مجدد از پساب، کاملاً احساس می شود. به علاوه در طی سال های گذشته، پروژه های کنترل رواناب های سطحی و شناسایی راهکارهای استفاده از آنها به عنوان منبع آب مد نظر قرار گرفته که این امر مستلزم مناسب بودن کمیت و کیفیت رواناب ها است. سیستم های استحصال رواناب یا جمع آوری آب باران جزء اقدامات اساسی هستند که با توجه به برنامه های مدیریت منابع آب و پایش های زیست محیطی، کاربرد زیادی دارند. در بخش کشاورزی نیز سیستم های جمع آوری رواناب برای آبیاری تکمیلی دسر افزایش تولیدات کشاورزی و بهبود معیشت مردم در مناطق خشک اهمیت بسزایی دارند. کیفیت رواناب ها و امکان استفاده از آنها بحث مهمی در توسعه پایدار منابع آب است که خود تابعی از عوامل مختلف می باشد.

شناسایی پتانسیل و اهمیت استفاده مجدد از فاضلاب های تصفیه شده و رواناب ها به ما کمک می کند که در مقیاس بزرگ، استفاده از آب بازیابی شده با آب تأمین شده از منابع متداول را مقایسه نماییم. هرچند ممکن است، نسبت آب بازیابی شده به کل آب مصرفی در ابتدای کار ناچیز به نظر برسد اما باتوجه به اینکه مقدار آب بازگردش شده، یک عامل کنترل کننده منابع آبی محسوب می شود، کمیت واقعی استفاده مجدد از آب، افزایش قابل توجهی خواهد یافت.

علیرغم محدودیت هریک از روش های مختلف استفاده مجدد از پساب، فاضلاب تصفیه شده یک منبع آب درد سترس بوده و حتی در سال هایی که مشکل کم آبی وجود دارد، با توجه به اینکه پساب های شهری خیلی کم تحت تأثیر خشکسالی قرار می گیرند، لذا فاضلاب تصفیه شده یک منبع آب مطمئن جهت استفاده مجدد خواهد بود. استفاده مجدد از پساب، منافع متعددی دارد که عبارتند از:

- منافع اولیه: منافی که مستقیماً از پروژه ها حاصل می گردد و بصورت ارزش ریالی مشخص می شود. این منافع به اجزاء زیر تقسیم می شوند:

منافع اولیه مستقیم: سود حاصل از فروش فاضلاب تصفیه شده به مشترکین
 منافع اولیه غیرمستقیم: کاهش در میزان گرد و غبار از طریق آبیاری یا کاهش در مصرف کودهای شیمیایی بدلیل نیتروژن و فسفر موجود در فاضلاب تصفیه شده مصرفی در کشاورزی، استفاده از لجن تصفیه فاضلاب به عنوان بارورکننده زمین

- منافع ثانویه: این منافع شامل اثرات متعاقب پروژه های استفاده مجدد نظیر جلوگیری از نشست

زمین و پیشروی آب های شور ساحلی طی تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی است. - منافع عمومی: این منافع شامل بهبود کیفیت و زیبایی محیط زیست و همچنین ممانعت از ورود آلوده کننده های خاص به بدن می باشد.

۱۰- اهمیت استفاده مجدد از پساب در کشاورزی

هدف کلی استفاده مجدد از فاضلاب در کشاورزی، بهینه سازی و حفظ موجودیت منابع آب از طریق برگشت دادن جریان های فاضلاب به زمین و استفاده منطقی از منابع آب شیرین است. مهمترین عوامل مؤثر در توسعه استفاده مجدد فاضلاب ها عبارتند از:

۱. کمبود منابع آب برای کشاورزی و تشدید آن در اثر رشد جمعیت که به افزایش نیازهای آب شیرین در بخش آب آشامیدنی و آب آبیاری برای تولید مواد غذایی منجر شده است.
۲. بالا بودن هزینه تصفیه پیشرفته فاضلاب ها برای دستیابی به کیفیت پساب تا حد استانداردهای تخلیه به آب های پذیرنده.
۳. بالا بودن هزینه مصرف کودهای شیمیایی، شناسایی ارزش مواد مغذی موجود در فاضلاب و تأثیر قابل توجه آن در افزایش میزان تولید محصولات کشاورزی.
۴. جلوگیری از آلودگی آب های سطحی، رودخانه ها و خاک در اثر تخلیه مستقیم فاضلاب های تصفیه نشده.
۵. کنترل بیابان زایی، حفاظت خاک و بهبود کیفیت آن از طریق رشد گیاهان و جلوگیری از فرسایش زمین.
۶. بهبود وضعیت شهرها، گسترش فضای سبز و مناظر زیبا.
۷. رشد و توسعه کشاورزی، افزایش اشتغال و مقبولیت فرهنگی - اجتماعی.

تجربه نشان داده است که وجود مقادیر قابل توجه موادی مانند فسفر، پتاسیم و ازت در فاضلاب که همگی در حاصلخیزی زمین های کشاورزی نقش با ارزشی دارند، در افزایش میزان محصولات مؤثر بوده است. از سوی دیگر به دلیل تأمین آب برای کشاورزی، زمین های جدیدی را می توان زیر کشت برد و این امر در کنترل مهاجرت روستاییان به شهرها نقش اساسی خواهد داشت. استفاده مجدد از آب های بازیافتی جهت کشاورزی مزایا و معایبی دارد که عبارتند از:

مزایا:

۱. افزایش منابع آب آبیاری
۲. ذخیره و نگهداری آب های با کیفیت بالا برای سایر مصارف مهم و اقتصادی
۳. تأمین آب آبیاری با هزینه پایین
۴. بهره گیری از یک روش اقتصادی برای استفاده از فاضلاب و جلوگیری از آلودگی و بروز مخاطرات بهداشتی
۵. دسترسی به یک منبع آب قابل اطمینان و دائمی
۶. استفاده مؤثر از مواد مغذی موجود در پساب نظیر ازت و فسفر
۷. فراهم کردن مراحل بیشتری از تصفیه برای فاضلاب قبل از تخلیه به آب های زیرزمینی

معایب:

۱. فاضلاب اگر بطور صحیح تصفیه نشده باشد، می تواند باعث بروز مخاطرات بهداشتی متعددی گردد.
۲. امکان آلودگی شیمیایی آب های زیرزمینی وجود دارد.
۳. بعضی از ترکیبات محلول موجود در پساب می توانند در غلظت های موجود برای گیاهان مسموم کننده باشد.
۴. جامدات معلق موجود در فاضلاب تصفیه شده در حدی است که ممکن است منافذ سیستم های آبیاری قطره ای را مسدود سازد.
۵. تولید فاضلاب تصفیه شده در طول سال بطور مداوم است در حالی که نیاز به آب برای آبیاری بستگی به فصل سال دارد.
۶. سرمایه گذاری زیادی برای زمین و تجهیزات کشاورزی مورد نیاز است.

۱۱- تاریخچه استفاده مجدد از آب های بازیافتی در کشاورزی

قدیمی ترین کاربرد فاضلاب با پیشینه چند هزار سال در کشاورزی و آبیاری مزارع بوده است. هرچند تنها در قرن اخیر، شکل صحیح و بهداشتی آن براساس استفاده از فاضلاب تصفیه شده، مطرح گردیده است. در سه دهه گذشته، استفاده مجدد از آب های بازیافتی برای آبیاری محصولات، به ویژه در مناطق خشک کشورهای صنعتی، خاورمیانه و کشورهای در حال توسعه، افزایش قابل توجهی یافته است.

حدود ۲۰۰۰ سال است که در کشورهای آسیایی از جمله ایران، هند و به ویژه چین از فاضلاب در اراضی کشاورزی استفاده می شود. در قرن هجدهم و نوزدهم، آبیاری محصولات کشاورزی با فاضلاب در اروپا و استرالیا رایج بوده است.

از اوائل قرن شانزدهم میلادی، در کشور آلمان برای تصفیه فاضلاب های شهری و نیز پرورش محصولات زراعی از مزارع فاضلاب، استفاده می نمودند. در کشور انگلستان نیز در قرن هفدهم از این نوع مزارع استفاده می شده است. مزارع فاضلابی تا اوایل قرن نوزدهم روش رایجی بود ولی با گسترش و توسعه شهرها و نیاز به زمین بیشتر برای توسعه، کاربرد این روش کاهش یافت. از سال ۱۹۵۰ میلادی، مجدداً علاقه و اشتیاق به آبیاری کشاورزی با پساب شدت گرفت. یکی از دلایل توجه به این رویکرد جدی، شهرنشینی سریع و افزایش آلودگی آب های سطحی به علت تخلیه فاضلاب ها بود. به علاوه اغلب شهرهایی که در مناطق خشک و بی آب قرار گرفته بودند با کمبود آب شیرین برای آبیاری مواجه شدند و این کمبود به جایی رسید که اجباراً برای آبیاری، فاضلاب های تصفیه شده مورد بهره برداری قرار گرفت.

در بسیاری از مناطق جهان که منابع تأمین آب محدود است، بازیافت فاضلاب های شهری و استفاده از پساب های حاصله در آبیاری کشاورزی به عنوان یک استراتژی مدیریتی شناخته شده است.

با این حال کیفیت پساب حاصل از تصفیه فاضلاب مهمترین جنبه تکنیک طراحی و اجرای یک سیستم منطقی استفاده مجدد از پساب است. استفاده از پساب ها برای آبیاری کشاورزی و حتی سیستم های آبیاری پروری نه تنها از نقطه نظر زیست محیطی، با ثبات است بلکه از بعد اقتصادی نیز قابل قبول است. استفاده مجدد از فاضلاب های تصفیه شده به عنوان یک منبع آبی غیرمتعارف تا اوائل قرن بیستم به دلیل عدم آگاهی از منافع بالقوه پساب ها، وحشت از مخاطرات بهداشتی پساب ها، وجود تعصبات فرهنگی و تجربیات منفی و ناموفق ناشی از استفاده نادرست از پساب هایی که کیفیت نامتعارفی داشته اند، مورد توجه نبوده است.

با ظهور سیستم های جمع آوری فاضلاب در قرن نوزدهم، فاضلاب شهری برای آبیاری مزارع مورد استفاده قرار گرفت و در سال ۱۹۰۰ تعداد قابل توجهی از مزارع آبیاری شده با فاضلاب در اروپا و ایالات متحده وجود داشت. اولین گزارش علمی در مورد استفاده مجدد از فاضلاب در ۱۹۲۱ توسط دکتر ایمهاف انتشار یافت. بر طبق نظریات این دانشمند، فاضلاب را می توان پس از تصفیه، جهت مصارف معمولی شهری یا روستائی مورد استفاده قرار داد و استفاده مجدد را تا وقتی که

محدودیت هائی از نظر غلظت املاح بوجود نیامده است، ادامه داد.

استفاده از فاضلاب انسانی در کشاورزی با هدف آبیاری محصولات و حاصلخیز کردن خاک ها از قدیم در کشورهای آسیایی رواج داشته است. در عصر معاصر و در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، در کشورهایی مانند آلمان، انگلیس و آمریکا، مهمترین روش دفع فاضلاب، تخلیه آن به زمین های کشاورزی بوده است. در کشور ایران نیز در عهد صفویه از فضولات انسانی اصفهان به عنوان کود در زمین های حاشیه شهر استفاده می شده است. در کشور ژاپن در سال ۱۹۹۶ نزدیک به ۱۳ میلیون متر مکعب فاضلاب تصفیه شده جهت آبیاری مصرف شده است. در کشورهای خاورمیانه که اکثر آنها در ناحیه خشک و نیمه خشک قرار دارند و از قدیم با معضل کم آبی مواجه بوده اند، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی هر روز اهمیت بیشتری می یابد، زیرا در اغلب این کشورها، بخش کشاورزی مهمترین مصرف کننده آب است. مراکش، اردن، عربستان، عمان، پاکستان، ایران و امارات متحده عربی، هر کدام طرح هایی را برای استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی دارند.

۱۲- طبقه بندی گیاهان

هرچند واژه گیاهان مثمر و غیرمثمر در زبان فارسی به کار می رود ولی از نگاه طبقه بندی گیاهان، تعریف دقیقی را نمی توان برای این دو واژه ارائه داد. در یک نگاه ساده، منظور از گیاهان مثمر، گیاهانی است که میوه آنها به مصرف انسان می رسد. با این حال، گاهی گیاه میوه دارد ولی قابل استفاده توسط انسان نیست. در رابطه با بعضی از گیاهان نیز برگ یا بخش های دیگری از گیاه توسط انسان مصرف می شود که جزء میوه محسوب نمی شود. به همین دلیل در رهنمودها و منابع علمی تدوین شده در خصوص استفاده مجدد در کشاورزی، عبارتی نظیر گیاهانی که خام و یا بعد از فرآوری خورده می شوند و گیاهانی که خوراکی نیستند، بطور متعدد ذکر شده است. با توجه به هدف این راهنما، جهت تدوین مباحث مرتبط با کیفیت آب های باز یافتی در کشاورزی، در این بخش ۴ مورد از رایج ترین روش های طبقه بندی گیاهان ارائه شده است.

۱-۱۲ طبقه بندی محصولات و گیاهان زراعی از دیدگاه بهداشت مصرف کنندگان

۱- محصولات غذایی:

محصولاتی که خام مصرف می شوند.

محصولاتی که بعد از پخت مصرف می شوند.

۲- محصولات علوفه ای و دامی:

محصولاتی که مستقیماً به وسیله حیوانات مصرف می شوند.

محصولاتی که بعد از برداشت به مصرف دام می رسند.

۳- فضای سبز:

مناطق حفاظت نشده و در تماس با رفت و آمد عموم مردم

مناطق نیمه حفاظت شده

۴- جنگل ها و گیاهان جنگلی

پرورش درختان جهت اهداف تجاری (میوه، چوب، سوخت و زغال سنگ)

مناطق حفاظت شده زیست محیطی

۱۲-۲ گروه بندی علمی گیاهان

قلمرو گیاهان یکی از پنج گروه موجودات زنده است که به دو گروه گیاهان آونددار و بدون آوند تقسیم می شود. جلبک ها و خزه ها جزء گیاهان بدون آوند بوده و آوندداران به گیاهان بدون دانه و دانه دار تقسیم می شوند. در این طبقه بندی، گیاهان دانه دار به دو دسته مخروط داران (بازدانگان) و گلداران (نهاندانگان) تقسیم می شود. مخروط داران شامل انواع کاج ها و سروها بوده و گلداران دارای دو رده تک لپه ای ها و دولپه ای ها می باشند. از طرفی گیاهان بدون دانه شامل دو دسته سرخس ها و دم اسبی ها هستند.

۱۲-۳ گروه بندی باغبانی

بر اساس نحوه مصرف، گیاهان به چهار دسته کلی میوه، سبزی، زینتی و متفرقه تقسیم می شوند.

میوه ها

۱- میوه های درختی

- میوه های دانه دار مانند سیب، گلابی، به و زالزالک.
- میوه های هسته دار مانند گیلاس، آلبالو، زردآلو، هلو و آلو.
- میوه های مرکب مانند شاه توت و توت.

- میوه های خشکباری مانند فندق، گردو و بادام.
- ۲- میوه های خرد یا دانه ریز (ریز میوه ها)
- میوه های دارای سته یا حبه مانند انگور و زغال اخته.
- میوه های مجتمع مانند تمشک و توت فرنگی.
- ۳- درختان همیشه سبز
- مرکبات شامل پرتقال، لیمو شیرین، نارنگی، لیمو ترش و گریپ فروت.
- نخلیات شامل خرما و نارگیل.
- ازگیل که جزء گیاهان دانه دار است.
- زیتون و خربزه درختی.
- انبه و آوآکادو.
- ۴- درختان میوه خزان دار
- انار
- انجیر
- پسته
- خرمالو
- ۵- گیاهان علفی
- موز
- آناناس

سبزی ها

- ۱- گروه بندی سبزی ها بر اساس قسمت های خوراکی
- سبزی های ریشه ای مانند هویج، شلغم و تربچه.
- سبزی های سوخی (پیازی) مانند پیاز، سیر، موسیر، پیازچه، تره فرنگی و تره ایرانی.
- سبزی های ژوخه ای (غده ای) مانند سیب زمینی و سیب زمینی ترشی.
- سبزی های جالیزی مانند خیار، هندوانه، انواع کدو، خربزه و طالبی.
- سبزی های تیره کلم سانان مانند کلم گل، کلم قمری، کلم تکمه، کلم سبز و کلم پیچ.
- سبزی های خورشی مانند اسفناج، کرفس، جعفری، ریواس، چغندر برگی، تره، گشنیز،

شنبليله و شويد.

- سبزی های سالادی مانند کاهو، کاسنی و شاهی (تره تیزک).
 - سبزی های تیره سیب زمینی سانان مانند بادمجان، گوجه فرنگی و فلفل.
 - سبزی های تیره لوبیاسانان مانند لوبیا، نخود فرنگی، باقلا، ماش، عدس و نخود ایرانی.
 - سبزی های خوردنی مانند ریحان، مرزه، ترخون، شاهی (تره تیزک)، نعناع و تربچه.
 - متفرقه مانند ذرت بلال، مارچوبه، قارچ، بامیه و آرتیشو.
- ۲- گروه بندی سبزی ها بر اساس تیره گیاهی و قسمت های مورد استفاده
- سبزی هایی که برگ، گل و یا ساقه آنها مصرف می شود:
 - تیره سوسن سانان مانند مارچوبه.
 - تیره چغندرسانان مانند چغندر سالادی، چغندر برگی و اسفناج.
 - تیره چترسانان مانند کرفس و جعفری.
 - تیره کلاهپرک سانان مانند آرتیشو، کنگر، کاسنی و کاهو.
 - تیره هفت بندسانان مانند ریواس.
 - تیره چلیپاسانان مانند کلم تکمه، کلم پیچ، کلم گل، شاهی (تره تیزک) و شلغم.
 - سبزی هایی که ریشه یا قسمت های زیرزمینی آنها مصرف می شود:
 - تیره نسرین سانان مانند چغندر لبویی.
 - تیره چغندرسانان مانند سیر، پیاز، موسیر و پیازچه.
 - تیره چلیپاسانان مانند ترب اسبی، تربچه و شلغم.
 - تیره نیلوفرسانان مانند سیب زمینی شیرین.
 - تیره چترسانان مانند هویج، کرفس قمری و جعفری ریشه بلند.
 - تیره کاهپرک سانان مانند سیب زمینی ترشی.
 - تیره سیب زمینی سانان مانند سیب زمینی.
 - سبزی هایی که میوه یا دانه آنها مورد استفاده قرار می گیرد.
 - تیره گندم سانان مانند ذرت بلال.
 - تیره لوبیاسانان مانند لوبیا، باقلا، نخود فرنگی، عدس، نخود ایرانی و ماش.
 - تیره سیب زمینی سانان مانند بادمجان، فلفل سبز و گوجه فرنگی.
 - تیره کدوسانان مانند انواع کدو، طالبی، هندوانه، گرمک، خربزه و خیار چنبر.

گیاهان زینتی

■ گیاهان چوبی

- درخت ها

- خزان دارها مانند افرا، سپیدار و نارون.

- همیشه سبزه ها مانند کاج، سرو و نخل زینتی.

- درختچه ها

- خزان دارها مانند یاس خوشه ای و ورد (گل سرخ).

- همیشه سبزه ها مانند خرزهره و شمشاد.

■ گیاهان علفی

- چندساله ها

- گل ها مانند شمعدانی، اختر، میخک، داوودی و زنبق.

- گیاهان برگساره ای مانند برگ بیدی، گردی، چمن و برگ انجیری.

• دو ساله ها مانند گل استکانی، گل انگشتانه و گل خطمی.

• یک ساله ها مانند آهار، اطلسی و مروارید.

گیاهان متفرقه

• گیاهان نوشابه ای مانند چای، قهوه و کاکائو.

• گیاهان شیرابه ای مانند درخت کائوچو و فیکوس.

• گیاهان دارویی مانند گل گاوزبان و سنبل الطیب.

• گیاهان ادویه ای مانند وانیل، دارچین، هل، زردچوبه و آویشن.

۱۲-۴ گروه بندی گیاهان زراعی بر اساس هدف تولید و مورد مصرف

در این گروه بندی، نوع محصول تولید شده و نحوه مصرف آن مورد نظر است و چون یک محصول

با اهداف مختلفی تولید می شود ممکن است در چند گروه قرار گیرد.

۱- غلات: گیاهانی از تیره غلات هستند که به منظور تولید دانه کشت می گردند و عمدتاً به

مصرف تغذیه انسان یا دام می رسد مثل گندم و جو.

۲- حبوبات: گیاهانی از تیره بقولات هستند که برای تولید دانه کشت می شوند و عمدتاً به مصرف

- انسان می رسد مثل لوبیا و نخود.
- ۳- گیاهان روغنی: گیاهانی که جهت روغن گیری از دانه تولیدی کشت می شوند مثل پنبه، کتان و لوبیای روغنی.
- ۴- گیاهان علوفه ای: گیاهانی که جهت استفاده از قسمت های هوایی در تغذیه دام، کشت می گردند. مانند ذرت علوفه ای و علف سودان.
- ۵- گیاهان ریشه ای: گیاهانی که برای استفاده از ریشه غده ای آنها کشت می گردند، مانند چغندر و شلغم.
- ۶- گیاهان لیفی: گیاهانی که برای استفاده از الیاف آنها کشت می گردند. این الیاف ممکن است از پوست دانه منشاء یافته (مانند پنبه) و یا از فیبرهای دستجات آوند آبکشی اولیه تشکیل یافته باشند (مانند کتان و کنف).
- ۷- گیاهان غده ای: گیاهانی که برای استفاده از ساقه ضخیم شده و زیرزمینی آنها کشت می گردند مانند سیب زمینی معمولی.
- ۸- گیاهان قندی: گیاهانی که برای قندگیری از عصاره شیرین آنها کشت می گردند مثل نیشکر و چغندر قند.
- ۹- گیاهان دارویی: گیاهانی که به منظور استفاده از ترکیبات آنها و یا تهیه ادویه کشت می شوند مانند توتون، قهوه و چای.

۱۳- انواع روش های آبیاری

انواع مختلف سیستم های آبیاری به صورت زیر طبقه بندی می گردند:

۱- روش های آبیاری سطحی (سنتی)^۱

هزینه این روش، کم و اجرای آن ساده است. این روش آبیاری برای زمین های کشاورزی که در آن گیاهان در ردیف های منظم کاشته شده اند (مانند ذرت) و همچنین در نواحی نیمه خشک در زمین های مسطح، معمول است.

در این روش، آب در آبراهه هایی سرباز و دارای شیب ملایم به جریان انداخته می شود، سپس توسط سیفون به کشت ها و یا ردیف های کشت داده می شود. در صورت کمیاب بودن آب و

1. Surface Irrigation

یا شیب نسبتاً زیاد زمین، آب توسط لوله های فلزی و یا پلاستیکی انتقال یافته و با باز کردن دریچه هایی که در بدنه لوله ها به فواصل مساوی تعبیه شده، آب به میزان دلخواه به زمین هدایت می شود. در آبیاری سطحی، آب بصورت غرقابی به کرت ها و در کشت های ردیفی توسط جویچه های بین ردیف ها، منتقل می شود.

- آبیاری کرتی یا غرقابی^۱: در این روش آبیاری، باغ به کرت هایی دارای یک تا چند درخت تقسیم و هر کرت در هر بار آبیاری با آب پر می شود. از محاسن این روش، عدم نیاز آن به تسطیح خاک و احتیاج نداشتن به وسایل مدرن آبیاری، می باشد.
- آبیاری نواری^۲: سیستم آبیاری نواری جهت آبیاری محصولات علوفه ای بکار می رود.
- آبیاری شیاری^۳: در این روش، تنها قسمتی از زمین خیس می شود. در این روش، آب از طریق شیار در دسترس گیاه قرار می گیرد. اگر ناحیه ریشه گیاه از املاح انباشته شده باشد، این آب باعث شستشوی خاک می شود.

۲- روش های آبیاری تحت فشار^۴

- آبیاری بارانی^۵: در این روش، آب بصورت باران مصنوعی به گیاهان داده می شود. آب با فشار توسط پمپ، وارد لوله های اصلی شده و از آنجا به انشعابات فرعی می رود. سپس توسط فواره هایی روی گیاهان پاشیده می شود. در صورتی که سیستم دائمی باشد، می توان لوله ها را زیر زمین قرار داد و در صورت موقتی بودن، آن ها را روی زمین قرار داده و پس از برداشت محصول، لوله ها را جمع آوری کرد. از محاسن این روش آبیاری، صرفه جویی در مصرف آب است. ضمناً مسطح بودن زمین نیز الزامی نیست. امکان کاربرد کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی همراه با آبیاری از دیگر محاسن آن می باشد. اما هزینه اولیه برای ایجاد این نوع سیستم آبیاری را نباید از نظر دور داشت. ضمناً در مناطقی که باد شدید می وزد، آب بطور یکنواخت بر روی مزرعه پاشیده نمی شود. این روش آبیاری شامل انواع مختلفی نظیر سیستم ثابت، نیمه متحرک، محور مرکزی و تنفگی است.

1. Flood Irrigation
2. Border Irrigation
3. Furrow Irrigation
4. Pressurised Irrigation
5. Sprinkler

- آبیاری قطره ای^۱ (سیستم موضعی یا نقطه ای): این روش ابتدا در گلخانه ها مرسوم بود ولی بعداً به مزارع نیز کشانده شد. با آبیاری قطره ای به میزان زیادی در مصرف آب، صرفه جویی می شود. البته گرفتگی لوله ها و قطره چکان ها از معایب این روش است که با نصب فیلتر و سیستم های تصفیه آب می توان تا حدودی از آن جلوگیری نمود.
- سیستم های آبیاری قطره ای، راندمان بسیار خوبی دارند و اگر بطور مناسب از آن ها استفاده شود، بهترین روش آبیاری در مناطق کم آب می باشند. برای آبیاری با آب های شور و خاک های قلیایی، آبیاری قطره ای، روش مطلوبی است. به علاوه، استفاده از این روش، برای آبیاری با پساب، ایمن و بی خطر می باشد. در این روش، تماس کشاورزان و کاربران پساب و محصولات زراعی به حداقل ممکن می رسد و از آنجا که آئروسول ایجاد نمی شود، مشکلی از نظر آلودگی هوا و مناطق مجاور زمین های زراعی، وجود ندارد.
- آبیاری زیرسطحی^۲: در این روش، آبیاری به صورتی انجام می شود که رطوبت به حدود ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتری زیر سطح خاک برسد. بدین منظور لوله های مختلفی را در زیر خاک در عمق مورد نیاز قرار داده و آب از طریق پمپ به لوله ها منتقل می گردد. آب طبق قانون موینگی به طرف ریشه ها حرکت می کند و گیاه از آن بهره مند می شود. در فصول با بارندگی زیاد، می توان از این لوله ها به عنوان زهکش نیز استفاده کرد. این روش آبیاری نسبت به سایر روش ها کمتر معمول می باشد. در آبیاری زیر سطحی، آب از طریق کانال های عمیق سطحی و یا لوله های مدفون در خاک تأمین می شود. استفاده از این روش برای آب های با کیفیت پایین، مفید است. آبیاری زیر سطحی معمولاً برای دفع پساب خروجی از سپتیک تانک ها استفاده می شود.

۱۳-۱ انتخاب روش آبیاری

سیستم های آبیاری بر اساس آب و هوا، خاک، نوع محصول، نیازمندی های کیفی و کمی آب، راندمان آبیاری، مشخصات محل و هزینه های مدیریت و نیاز به کارگر با تجربه، انتخاب می شوند. زمانی که منبع آب آبیاری، پساب است، آلودگی محصولات، کارگران مزارع، محیط زیست، شوری و خطرات ناشی از سمیت نیز باید مورد توجه قرار گیرند. در این مواقع همچنین باید مطمئن شد که سلامت افراد جامعه به مخاطره نیفتد (جدول ۶).

1. Drip Irrigation
2. Subsurface Irrigation

جدول ۶- خصوصیات روش های آبیاری و ملاحظات کاربرد پساب جهت کشاورزی

روش آبیاری	خصوصیات روش آبیاری	ملاحظات کاربرد پساب جهت کشاورزی
آبیاری غرقابی	هزینه مورد نیاز، کم است. به تسطیح کامل زمین، نیاز نمی باشد. راندمان آبیاری، کم می باشد. سطح حفظ بهداشت عمومی، پایین است.	حفظ بهداشت کارگران، کشاورزان و کسانی که با محصولات زراعی سروکار دارند و همچنین مصرف کنندگان محصولات، ضروری است.
آبیاری نشتی یا شیاری	برای تسطیح زمین ممکن است به هزینه کمی نیاز باشد. راندمان آبیاری، پایین می باشد. حفاظت از بهداشت جامعه، در حد متوسط است.	حفاظت بهداشت کشاورزان بویژه کسانی که با محصولات زراعی سروکار دارند و همچنین مصرف کنندگان محصولات زراعی، ضروری می باشد. انتخاب نوع محصول مناسب، الزامی می باشد.
آبیاری نواری	نسبتاً کم هزینه می باشد. به تسطیح زمین، نیاز می باشد. راندمان آبیاری، پایین می باشد. سطح حفاظت از بهداشت جامعه، متوسط می باشد.	حفاظت از بهداشت کشاورزان و دست اندرکاران محصولات زراعی و مصرف کنندگان، ضروری می باشد. انتخاب نوع محصول مناسب، الزامی می باشد.
آبیاری بارانی	هزینه آن، متوسط و یا زیاد می باشد. راندمان آبیاری، متوسط می باشد. به تسطیح زمین، نیاز نیست. سطح حفاظت از بهداشت جامعه به ویژه به خاطر ایجاد آئروسل، پایین است.	حداقل فاصله از مناطق مسکونی و جاده ها باید ۵۰ تا ۱۰۰ متر باشد. برای آبیاری برخی از محصولات به ویژه درختان میوه مناسب نیست. توجه به کیفیت پساب، حائز اهمیت است.
آبیاری قطره ای و آبیاری زیرزمینی	هزینه سیستم و تجهیزات مورد نیاز، بالا است. راندمان آبیاری، بالا است. میزان تولید محصولات زراعی، زیاد می باشد. حفاظت از بهداشت جامعه در بالاترین سطح قرار دارد.	به اصول حفاظتی خاصی، نیاز نیست. کیفیت پساب بایستی بالا باشد تا از گرفتگی و مسدود شدن سیستم های آبیاری جلوگیری شود. برای جلوگیری از تماس افراد با پساب، مدیریت خوبی نیاز می باشد. جهت جلوگیری از انسداد منافذ لوله ها، فیلتراسیون پساب ضروری است.

با توجه به اهداف این راهنما، مهمترین فاکتورهای تأثیرگذار در انتخاب یک سیستم آبیاری عبارتند از:

- حفظ و ارتقاء سلامت همگانی: انتخاب نوع سیستم های آبیاری به میزان زیادی بر روی احتمال تماس انسان با آب بازیافتی اثر می گذارد. رهنمودها و قوانین استفاده مجدد از آب، بطور کلی روش های آبیاری را مطابق با کیفیت آب بازیافتی و نوع محصولات مورد آبیاری، وابستگی به زمان آبیاری و فاصله تا مناطق عمومی، برای به حداقل رساندن تماس کشاورزان و افراد جامعه با آب بازیافتی، تعیین کرده اند. زمانی که روش های آبیاری سطحی استفاده می شود، احتمال

تماس با آب بازیافتی برای افراد کشاورز، بالاست. آئروسل های تولید شده از سیستم های آبیاری بارانی و آب باقیمانده بر روی محصول نیز خطرات بالقوه ای را برای کشاورزان، همسایگان مزارع و افرادی که محصولات را جابجا می کنند، به وجود می آورد.

کاربرد آبیاری بارانی معمولاً به پساب خروجی از تصفیه پیشرفته محدود شده و در بعضی از مناطق دنیا، آبیاری بارانی حتی برای محصولات غذایی که بصورت پردازش شده مصرف می شوند، نمی تواند استفاده شود. با این حال آبیاری قطره ای (به دلیل پایین بودن احتمال تماس افراد با پساب)، غالباً از دیدگاه سلامت عمومی ترجیح داده می شود.

- راندمان آبیاری: سیستم های آبیاری بطور معمول برای به حداکثر رساندن راندمان آبیاری طراحی و نگهداری می شوند. راندمان آبیاری درصد آب مصرفی است که بطور مفید توسط زمین استفاده شده است. این آب بطور بالقوه برای تبخیر و تعرق محصول، خنک شدن محصول، کنترل کیفی محصول و شستشوی نمک ها از ناحیه ریشه گیاه، در دسترس است. هدر رفت آب نه تنها توسط روش آبیاری مورد استفاده بلکه توسط شرایط سیستم آبیاری، مشخصات خاک، نوع و وسعت محصول، زمان آبیاری و مقدار آب بکار برده شده، مهارت مدیریت آب و شرایط محیطی زمان کاربرد آب، تحت تأثیر قرار می گیرد. بطور کلی، بازده آبیاری بطور ماهیانه تعیین می شود. با یک سیستم آبیاری که بطور مناسب طراحی و مدیریت شده، بازده آبیاری می تواند بیشتر از ۸۰٪ باشد.

- جلوگیری از انسداد و گرفتگی سیستم آبیاری: آب بازیافتی مورد استفاده برای کشاورزی معمولاً خروجی سیستم تصفیه ثانویه یا پیشرفته است. جامدات معلق در فاضلاب تصفیه شده بیشتر لخته های بیولوژیکی بوده و غلظت جامدات آن به اندازه کافی برای اغلب سیستم های آبیاری، پایین می باشد. با این حال توجه به این نکته ضروری است که سیستم های آبیاری قطره ای، به گرفتگی توسط رشد بیولوژیکی و ترسیب شیمیایی، حساس هستند. برای جلوگیری از گرفتگی در اینگونه سیستم های آبیاری معمولاً راهکارهایی نظیر پایش کیفی آب، انتخاب لوله مناسب، کنترل میزان جریان، فیلتراسیون و نگهداری سیستم آبیاری با کلرزنی دوره ای و یا تخلیه آب قابل کاربرد می باشد. به عنوان مثال، انتقال آب بازیافتی با کسر آزاد باقیمانده 0.5 mg/L به سیستم آبیاری قطره ای در پایان هر چرخه آبیاری برای توقف انسداد و گرفتگی مؤثر است.

۱۴- آبیاری گیاهان خوراکی

با توجه به اهداف تدوین شده در این راهنما، منظور از گیاهان خوراکی، گیاهانی است که قسمت هایی از آنها (برگ، ساقه، میوه یا فرآورده هایی از آنها) بصورت خام یا پردازش شده توسط انسان خورده می شود. محصولات خوراکی را می توان بصورت زیر طبقه بندی نمود:

۱. محصولات مصرف شده بصورت خام با تماس مستقیم بین آب بازیافتی و قسمت های خوراکی محصول
۲. محصولات مصرف شده بصورت خام اما بدون تماس مستقیم بین محصول خوراکی و آب بازیافتی
۳. محصولاتی که قبل از مصرف، پخته شده یا فراوری می شوند.

علاوه بر موارد فوق، توجه به این نکته ضروری است که بعضی از عناصر، به ویژه فلزات سنگین، قادر به تجمع در بافت گیاهان می باشند. در صورت تغذیه دام از محصولات آبیاری شده با پساب ها، توجه به جنبه های بهداشتی و پتانسیل بیماری زا بی فرآورده های دامی که از گیاهان آبیاری شده با پساب تغذیه کرده اند، ضروری است. در این راستا، می توان به تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت گیاه و دام و در نهایت انسان و همچنین پتانسیل انتقال بیماری هایی نظیر تیبازیس (کرم کدوی گاوی) اشاره نمود.

۱۵- آبیاری گیاهان غیر خوراکی

منظور از آبیاری گیاهان غیر خوراکی، آبیاری گیاهانی است که بخش هایی از آن توسط انسان و یا دام مصرف نمی شود. در این راستا، می توان به آبیاری چراگاه ها، چمن، جنگل کاری، پرورش گل های زینتی، توت برگی (جهت پرورش کرم ابریشم)، پنبه و ... اشاره نمود. هرچند از نقطه نظر بهداشتی و ایمنی آبیاری گیاهان غیرخوراکی، نگرانی های کمتری در مقایسه با گیاهان خوراکی وجود دارد. با این حال کاربرد آب های بازیافتی جهت گیاهان غیرخوراکی نیز می تواند با توجه به نوع گیاه و روش آبیاری، مخاطرات بهداشتی را برای کشاورزان و حتی عموم مردم در بر داشته باشد. در این حالت نیز ویژگی های میکروبی آب های بازیافتی نظیر جمعیت باکتری های کلیفرم مدفوعی و تخم نماتودهای روده ای حائز اهمیت است.

۱۶- عوامل مؤثر بر مطلوبیت آب های بازیافتی جهت استفاده مجدد در کشاورزی

۱۶-۱ کیفیت آب

پایداری طرح های آبیاری با پساب به مدیریت مناسب اثرات بالقوه پساب بر روی خاک، محصولات زراعی و محیط زیست بستگی دارد. همچنین در تمامی مراحل پروژه استفاده از پساب یعنی مراحل طراحی، ساخت و مدیریت، آگاهی از علوم زراعی لازم است. در جدول (۷) پارامترهای مهم و با اهمیت پساب برای آبیاری ارائه گردیده است.

جدول ۷- پارامترهای با اهمیت پساب جهت آبیاری

پارامتر	اهمیت آن در پساب
TSS	ذرات معلق با آلودگی میکربی ارتباط دارد و بر روی راندمان گندزایی پساب، تأثیر می گذارد.
کدورت	کدورت موجب گرفتگی و رسوب گذاری در سیستم های آبیاری قطره ای می شود.
BOD ₅ COD	مواد آلی برای رشد میکربی لازم است و می توانند موجب رشد مجدد باکتری ها در سیستم های توزیع پساب شوند.
کل کلیفرم ها	کل کلیفرم ها مخاطرات مربوط به حضور عوامل بیماریزا را نشان می دهد. کل کلیفرم ها باعث گرفتگی بیولوژیکی افشانک ها و نازل های سیستم های آبیاری قطره ای می شوند.
فلزات سنگین	برخی از املاح معدنی محلول که به نوترینت ها موسومند، برای رشد گیاه ضروری می باشند. اما برخی از این املاح، برای گیاهان، سمی بوده و یا اینکه در غلظت های زیاد ممکن است، سمی باشند. عناصری مانند کادمیوم، نیکل، جیوه، روی برای بعضی از گیاهان سمی اند و لذا مقادیر آن ها حداکثر مجاز غلظت آن ها در پساب تعیین شده است.
عناصر معدنی	شوری زیاد و غلظت زیاد بر، برای گیاهان، سمی است.
کلر باقیمانده	برای جلوگیری از رشد میکروبی در سیستم های آبیاری توصیه می گردد. غلظت کلر آزاد باقیمانده بیش از ۰/۵ میلی گرم در لیتر موجب صدمه زدن به برخی از گیاهان می شود.
ازت	ازت و فسفر، مواد مغذی موجود در پساب بوده و نیاز مزارع آبیاری شده با پساب کود را کاهش می دهند. با این حال غلظت زیاد ازت می تواند مشکلاتی را ایجاد کند که در مباحث بعد به آن اشاره خواهد شد.
فسفر	باعث رشد جلبک و اوتروفیکاسیون در مخازن روباز ذخیره پساب می گردد و این امر، مطلوبیت آب به ویژه در سیستم های آبیاری قطره ای را کاهش می دهد.

۱۶-۲ نوع محصول تحت آبیاری

ارزیابی آب های بازیافتی بایستی بر اساس مقاومت محصولات کشاورزی به مقدار کل جامدات محلول و یا یک یون خاص صورت گیرد. مقاومت یک محصول به شوری نشان می دهد که عملکرد

گیاه نسبت به حالتی که شرایط شوری وجود ندارد، چقدر کاهش می یابد.

۱۶-۳ خاک تحت آبیاری

قابلیت استفاده پساب برای آبیاری، انتخاب نوع محصول و روش آبیاری همگی تحت تأثیر خصوصیات خاک می باشند. بافت، ساختمان، عمق، پروفیل و خصوصیات شیمیایی خاک از جمله موارد عمده خصوصیات خاک است.

از نقطه نظر طبقه بندی خاک، برای آبیاری با پساب، خاک های دارای بافت متوسط، مانند ماسه های خیلی ریز، لوم سیلتی لوم و سیلت، بهترین شرایط را دارند. مواد آلی موجود در خاک عبارتند از بقایای گیاهی و حیوانی که در مراحل مختلف تجزیه قرار دارند. وجود مواد آلی خاک، خصوصیات فیزیکی خاک، دانسیته، میزان نشتاب، رشد ریشه گیاه، مقدار اکسیژن، فعالیت بیولوژیکی، مقدار مواد مغذی و ظرفیت نگهداری آب را بالا می برد.

عمق خاک از جمله دیگر خصوصیات خاک است که بر روی ظرفیت نگهداری آب توسط گیاه و در نتیجه، فواصل زمانی آبیاری تأثیر می گذارد. وجود یک لایه غیر قابل نفوذ و یا سطح آب زیرزمینی کم عمق موجب محدودیت حرکت رو به پائین آب و نفوذ ریشه می گردد.

۱۶-۴ آب و هوا

تبخیر و تعرق و بارندگی دو عامل آب و هوایی هستند که بر مطلوبیت کیفیت آب بازیافتی جهت کشاورزی، مؤثرند. مقدار آب مورد استفاده در طول دوره رشد محصول بستگی زیادی به مقدار تبخیر و تعرق دارد که آن نیز روی رژیم آبیاری و همچنین دینامیک حرکت املاح در پروفیل خاک تأثیر به سزایی می گذارد. به عبارتی، آب های بازیافتی با شرایط کیفی مشابه ممکن است در مناطق با آب و هوای متفاوت، اثرات مختلفی را بر روی گیاهان داشته باشند.

۱۶-۵ مدیریت آبیاری و زهکشی

روش آبیاری می تواند روی تجمع املاح در خاک و یا گیاه مؤثر واقع شود. استفاده از آب های نسبتاً شور در آبیاری شیاری تأثیر سوء زیادی روی رشد گیاه نخواهد گذاشت. ولی اگر همین آب، کیفیت مشابه در آبیاری بارانی مورد استفاده قرار گیرد، موجبات کاهش عملکرد محصول را فراهم می سازد. بنابراین، غلظت مجاز آنیون ها و کاتیون ها (شوری) آب های بازیافتی تحت تأثیر

معیارهای متعددی نظیر روش آبیاری و امکان زهکشی خاک و پدیده خاک شویی قرار می گیرد که باید در استفاده از پساب ها مورد توجه قرار گیرد.

۱۷- معیارهای کیفیت آب های بازیافتی برای استفاده مجدد در کشاورزی

ویژگی های کیفی آب های بازیافتی از جنبه های مختلف نظیر اثر بر تجمع املاح در خاک، بروز سمیت در گیاه و اثر بر رشد گیاه، اثر بر سلامت کشاورزان، مصرف کنندگان محصولات و عموم مردم و همچنین بروز مشکلات فنی- مهندسی و اقتصادی حائز اهمیت است. در این راستا، پارامترهایی نظیر میزان هدایت الکتریکی و غلظت سدیم، بر، کلراید و نیتروژن از جمله فاکتورهای اثرگذار بر سلامت گیاه بوده در حالیکه غلظت فلزات سنگین و جمعیت عوامل پاتوژن (به ویژه کلیفرم های مدفوعی و تخم نماتودهای روده ای) از جمله معیارهای کیفی اثرگذار بر سلامت انسان ها هستند.

از نقطه نظر فنی- مهندسی و اقتصادی نیز پارامترهایی نظیر میزان TDS، قلیائیت، سختی و pH آب بازیافتی بر بروز خوردگی و رسوب گذاری در سیستم های انتقال و توزیع پساب اثرگذار بوده و غلظت TSS بر پتانسیل گرفتگی نازل های سیستم آبیاری قطره ای مؤثر است.

با توجه به اهداف تدوین شده برای راهنمای حاضر، در این بخش جنبه های کیفی مؤثر بر گیاه بحث خواهد شد. ویژگی های کیفی مؤثر بر سلامت در بخش استانداردهای زیست محیطی مطرح خواهد شد و مباحث فنی- اقتصادی نظیر خوردگی و رسوب گذاری خارج از اهداف این رهنمود بوده و مورد بحث قرار نمی گیرد.

کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب های مورد استفاده در آبیاری به ویژه در مناطقی که دارای تبخیر و تعرق زیاد، دمای بالا و رطوبت اندک می باشند، از اهمیت بالایی برخوردار است. نتیجه تبخیر و تعرق، برجای ماندن نمک از آب مصرفی بوده که عمدتاً در ساختار خاک تجمع می یابد. از طرفی بخشی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر ساختار و نفوذپذیری خاک به میزان و نوع یون های قابل تبادل موجود در آب بازیافتی، حساس می باشند. به همین دلیل در هنگام برنامه ریزی جهت کاربرد آب های بازیافتی جهت کشاورزی، علاوه بر توجه به ویژگی های کیفی آب، خصوصیات خاک نیز حائز اهمیت است.

بطور معمول، کاربرد آب های بازیافتی چهار دسته از مشکلات احتمالی مرتبط با کیفیت آب در

آبیاری را می تواند در برداشته باشد که عبارتند از: شوری، میزان نفوذ آب، سمیت یون ویژه و مشکلات متفرقه. در این راستا، رهنمودهای کیفیت آب با تأکید بر تولید محصول، شرایط خاک و مدیریت کشت ارائه شده که جهت آب شیرین و آب های باز یافتی قابل کاربرد است (جدول ۸).

جدول ۸- رهنمودهایی برای تعبیر کیفیت آب آبیاری^۱

درجه محدودیت کاربرد آب			واحد	مشکلات احتمالی در مورد آبیاری
شدید	نسبی تا متوسط	عدم محدودیت		
شوری (بر در دسترس بودن آب مورد استفاده برای آبیاری محصولات مؤثر است):				
>۳	۰/۷ - ۳	<۰/۷	umho/cm ² ds/m	EC _w
>۲۰۰۰	۴۵۰ - ۲۰۰۰	<۴۵۰	mg/L	TDS
نفوذپذیری (بر درجه تراوش آب به خاک مؤثر است. با استفاده از EC _w و نسبت جذب سدیم اصلاح شده (SAR _{adj}) به همراه یکدیگر را بررسی نمایید).				
<۰/۳	۰/۷ - ۰/۳	EC _w ≥ ۰/۷		SAR _{adj} = ۰ - ۳ (نسبت جذب تعدیل شده) ^۲
<۰/۳	۱/۲ - ۰/۳	≥ ۱/۲		۳ - ۶
<۰/۵	۱/۹ - ۰/۵	≥ ۱/۹		۶ - ۱۲
<۱/۳	۲/۹ - ۱/۳	≥ ۲/۹		۱۲ - ۲۰
<۲/۹	۵ - ۲/۹	≥ ۵		۲۰ - ۴۰
سمیت یون ویژه (تأثیرگذار بر محصولات حساس) ^۳				
سدیم (Na ⁺)				
>۹	۳ - ۹	<۳	SAR	آبیاری سطحی
	>۷۰	<۷۰	mg/L	آبیاری بارانی
				کلراید (Cl ⁻) ^۴
>۳۵۰	۱۴۰ - ۳۵۰	<۱۴۰	mg/L	آبیاری سطحی
	>۱۰۰	<۱۰۰	mg/L	آبیاری بارانی
>۳	۰/۷ - ۳	<۰/۷	mg/L	بر (B)
مشکلات متفرقه (تأثیرگذار بر محصولات حساس)				
>۳۰	۵ - ۳۰	<۵	mg/L	نیتروژن (کل N) ^۵
>۵۰۰	۹۰ - ۵۰۰	<۹۰	mg/L	بیکربنات (HCO ₃ ⁻) (آبیاری بارانی بالادست)
	۶/۵ - ۸/۴		-	pH
>۵	۱ - ۵	<۱	mg/L	کلر باقیمانده (آبیاری بارانی بالادست)

^۱ برگرفته از Ayers و Westcot (۱۹۸۵) و Asano و Pettgrove (۱۹۸۵)

^۲ در آبیاری توسط فاضلاب، پیشنهاد می شود SAR به گونه ای تنظیم گردد که برآورد دقیق تری از کلسیم در آب موجود در خاک درج شود. یک روش در معادله (۵) و جدول (۱۰) ذکر شده است. نسبت جذب سطحی سدیم تعدیل شده (SAR_{adj}) به وسیله این روش و به منظور جایگزینی با مقدار SAR در این جدول محاسبه می شود.

^۳ جدول ۱۴ را مشاهده نمایید.

^۴ با روش آبیاری بارانی بالادست و رطوبت پایین (<۳۰٪)، سدیم یا کلراید بزرگتر از ۷۰ یا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، به ترتیب منجر به جذب بیش از حد در برگ و آسیب به محصولات به ویژه محصولات حساس می شوند.

^۵ کل نیتروژن شامل نیترات، آمونیاک و نیتروژن آلی می باشد.

۱۷-۱ شوری

منظور از شوری، میزان کل جامدات محلول (TDS) آب است. شوری آب مورد استفاده در آبیاری با اندازه گیری هدایت الکتریکی آب قابل محاسبه است. هدایت الکتریکی آب (EC_w) مورد نظر معیاری از غلظت کل جامدات محلول بوده و بطور معمول بر حسب میکروموس بر سانتیمتر ($\frac{\mu mho}{cm}$) یا میکروزیمنس بر سانتیمتر ($\frac{\mu s}{cm}$) گزارش می شود که به دلیل سهولت در اندازه گیری بصورت جایگزین TDS به کار می رود. هرچه مقدار املاح حل شده در آب بیشتر باشد، قابلیت هدایت الکتریکی نیز افزایش می یابد. مقدار هدایت الکتریکی متأثر از درجه حرارت آب می باشد. درجه حرارت استاندارد برای اندازه گیری هدایت الکتریکی آب و پساب، ۲۵ درجه سانتیگراد است. برای اغلب آب های کشاورزی مقدار EC_w و TDS به یکدیگر وابسته می باشند و با صحت ۱۰ درصد براساس معادلات ذیل قابل تبدیل به یکدیگرند:

$$EC_w < 5 \frac{ds}{m} \leftarrow TDS \left(\frac{mg}{L} \right) \approx EC_w \left(\frac{ds}{m} \right) \times 640 \text{ اگر}$$

$$EC_w > 5 \frac{ds}{m} \leftarrow TDS \left(\frac{mg}{L} \right) \approx EC_w \left(\frac{ds}{m} \right) \times 800 \text{ اگر}$$

اندازه گیری میزان هدایت الکتریکی آب های زراعی خصوصاً در مواردی که خاک مورد کشت گیاه از نوع رس بوده و عمل شستشو و زهکشی خاک به خوبی انجام نمی گیرد، بی نهایت مهم و با ارزش است. نتایج کلی اندازه گیری میزان هدایت الکتریکی آب ها را می توان بصورت زیر خلاصه نمود:

- الف- در طبقه بندی آب های زراعی، آن دسته از آب هایی که EC آنها کمتر از ۷۵۰ میکروموس بر سانتیمتر است برای کشاورزی، خوب و مناسب بوده و ضرری برای گیاه ندارد.
- ب- آب هایی که مقدار EC آنها بین ۷۵۰ تا ۲۲۵۰ میکروموس بر سانتیمتر است، برای خاک هایی که زهکشی آنها محدود است مناسب نبوده و گیاهانی که با این نوع آب، آبیاری می شوند بایستی نسبت به شوری مقاوم باشند. در صورتی که شستشو و زهکشی خاک بطور دلخواه انجام گیرد، این آب ها می توانند برای آبیاری گیاهان، مناسب باشند.
- ج- آن دسته از آب هایی که مقدار EC آن ها بین ۲۲۵۰ تا ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر تغییر

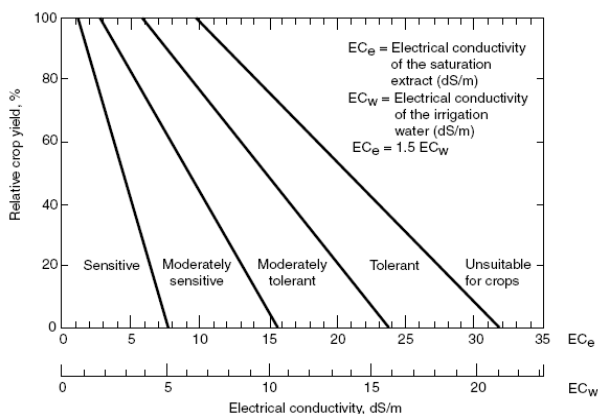
می یابد، در صورتی که جنس خاک مورد کشت، قابل شستشو باشد، برای آبیاری انواع درختان میوه از قبیل لیمو، هلو، زردآلو، بادام، آلو و سبزیجات مانند ترب، کرفس، لوبیا و غیره مناسب بوده و ضرری ندارد.

د- آن دسته از آب هایی که مقدار EC آن ها بین ۴۰۰۰ تا ۸۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر است برای آبیاری انگور، خیار، کدو، پیاز، هویج، سیب زمینی، ذرت، انجیر، انار، گندم، شبدر و برنج مناسب می باشند.

ه- آن دسته از آب هایی که مقدار EC آن ها بین ۸۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ میکروموس بر سانتیمتر است فقط برای آبیاری گیاهانی از قبیل خرما، چغندر، اسفناج، جو، پنبه و یونجه قابل استفاده است.

وجود نمک به سه طریق تأثیرات اسمزی در نتیجه غلظت کل نمک محلول در آب موجود در خاک، سمیت یونی اختصاصی در نتیجه غلظت یون های منفرد و پراکندگی ذرات خاک در نتیجه سدیم زیاد و شوری اندک، بر رشد گیاهان مؤثر است.

با افزایش شوری آب، گرادیان اسمزی بین آب داخل خاک و سلول های ریشه گیاه کاهش می یابد و در نتیجه گیاه بایستی انرژی بیشتری مصرف کند تا املاح را در سلول های ریشه، تجمع و آب را از خاک جذب نماید تا در رشد گیاه تأخیر ایجاد نشود. در شکل (۱) طبقه بندی حد تحمل نمک برای محصولات کشاورزی، نمایش داده شده است. بطور معمول، میزان مقاومت گیاهان نسبت به شوری (جدول ۹) متفاوت است؛ لذا در میزان شوری بیشتر از حد آستانه، بازدهی محصول، کاهش می یابد.



شکل ۱- طبقه بندی تحمل نسبی محصولات کشاورزی به شوری

جدول ۹- طبقه بندی مقاومت محصولات کشاورزی نسبت به شوری آب

مقاوم	نسبتاً مقاوم	حساس
خرما	انار	گلایبی
جو	انجیر	زردآلو
چغندر	زیتون	سیب
پنبه	انگور	هلو
اسفناج	گندم	پرتقال
-	گوچه فرنگی	لیمو
-	کلم	گوچه
-	برنج	بادام
-	یونجه	تربچه
-	کاهو	کرفس
-	ذرت	حبوبات
-	هویج	سیب زمینی

مقدار املاحی که توسط گیاه مصرف می شود در مقایسه با املاحی که از طریق آب یا پساب تأمین می شود، اندک است و لذا آبشویی خاک، کلید کنترل مشکلات مربوط به شوری در زمان استفاده از پساب برای آبیاری است.

خطر شوری حاصل از آب آبیاری زمانی رخ می دهد که هدایت الکتریکی آب آبیاری آنقدر زیاد است که املاح آب در ناحیه توسعه ریشه ها تجمع یافته و رشد گیاه را کاهش می دهد. برای حفظ درصد نمک محلول خاک در محدوده حد تحمل گیاهان مقاوم به شوری، بایستی توازن نمک محاسبه شود. مفهوم نیاز آبشویی نیز بر اساس موازنه نمک در خاک، بنا شده است. بخشی از آب مورد استفاده که از کل مسیر ریشه عبور کرده و به منطقه زیر آن، تراوش می یابد، اصطلاحاً نسبت آبشویی (LF: Leaching Fraction) نامیده می شود و به عبارت دیگر جزء آبشویی نسبت آب زهکش به عمق آب آبیاری است (معادله ۱).

$$LF = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{(D_{iw} - ET_e)}{D_{iw}} \quad (1)$$

LF: نسبت آبشویی، بدون بعد

D_{dw} : عمق آب تراوش یافته به منطقه زیر ریشه (آب زهکشی)، میلی متر

D_{iw} : عمق آب بکار برده شده در سطح (آب آبیاری)، میلی متر

ET_e : تعریق و تعرق گیاه، میلی متر

نسبت آبشویی بسیار بالا به تجمع کمتر نمک در منطقه ریشه می انجامد. در حالت پایدار، مقدار نمک موجود در آب آبیاری با مقدار نمک موجود در آب زهکشی، برابر است:

$$D_{dw} EC_{dw} = D_{iw} EC_{iw} \quad (2)$$

EC_{dw} : شوری آب زهکشی، دسی زیمنس بر متر
 EC_{iw} : شوری آب آبیاری، دسی زیمنس بر متر
 با استفاده از معادلات (۱) و (۲)، شوری آب زهکشی که به زیر منطقه ریشه گیاه تراوش می کند، بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$EC_{dw} = \frac{EC_{iw}}{LF} \quad (3)$$

کمیت EC_{dw} به منظور ارزیابی تأثیرات احتمالی بر بازده محصول و آب زیرزمینی، مورد استفاده قرار می گیرد. در حوزه مدیریت شوری، اغلب EC_{dw} با عصاره اشباع بدست آمده از نمونه خاک، EC_e ، برابر در نظر گرفته می شود. به منظور بازبینی سریع، در اغلب خاک ها، مقدار EC_{dw} را می توان با دوبرابر کردن مقدار EC_e برآورد نمود.

۱۷-۱- عوامل مؤثر بر تحمل گیاهان نسبت به شوری

(۱) عوامل گیاهی: اثر شوری بر گیاهان زمانی مشهود است که گیاه مدت نسبتاً طولانی در معرض نمک قرار گیرد. مقاومت گیاه در مقابل شوری به این که گیاه در چه مرحله ای از رشد خود در معرض شوری قرار گرفته، وابسته است. گیاهانی مثل جو، برنج، گندم و ذرت در مراحل اولیه رشد نسبت به نمک حساس بوده، ولی در سایر مراحل در مقابل شوری مقاومت می نمایند. بطور کلی شوری معمولاً موجب کاهش کلی رشد گیاه می شود. موضوع مهمی که در آبیاری بارانی باید به آن توجه داشت این است که در هنگام پخش آب روی درختان، کلوروز موجب سوختگی برگ ها می شود.

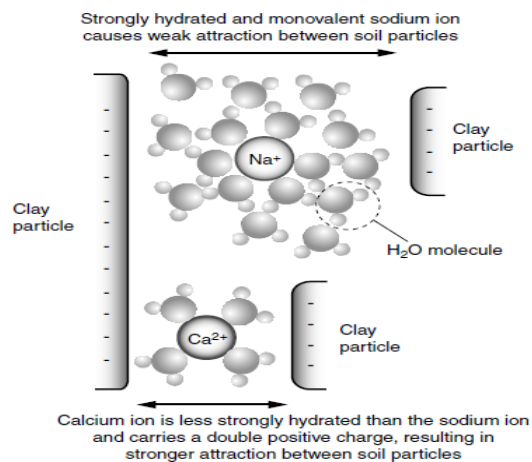
(۲) عوامل مربوط به خاک: درصد رطوبت خاک و فاصله بین دو آبیاری از عوامل مؤثر بر تحمل گیاه نسبت به شوری است. هرچه خاک خشک تر باشد، پتانسیل اسمزی محلول پایین تر

خواهد بود و برای جلوگیری از اثرهای نامطلوب شوری لازم است تناوب آبیاری کاهش یابد. حاصلخیزی خاک نیز می تواند از عوامل ظاهری مقاومت گیاه نسبت به شوری باشد. در بعضی از موارد مشاهده شده است که کوددهی به زمین، مقاومت گیاه نسبت به شوری را کاهش داده است.

۳) عوامل آب و هوایی: آب و هوا نیز بر تحمل گیاه نسبت به شوری مؤثر است. در شرایط گرم و خشک، مقاومت گیاه کاهش می یابد. در اطراف شهرهای بزرگ که آلودگی هوا زیاد است، شوری خاک اثر نامطلوب آلودگی هوا را از بین می برد. به تجربه ثابت شده است که گیاه در محیط دارای هوای آلوده مقاومت بیشتری نسبت به شوری از خود نشان می دهد. بطور کلی معمولاً شوری با افزایش عمق خاک افزایش می یابد و حداکثر شوری در تحتانی ترین بخش ناحیه ریشه قرار دارد.

۱۷-۲ نفوذپذیری

قلیایی شدن خاک در واقع وضعیتی است که در آن کاتیون سدیم، کاتیون غالب در محلول خاک و آب آبیاری می گردد. تحت این شرایط، ذرات خاک از یکدیگر جدا شده و ذرات رس متورم می شوند (شکل ۲). لذا، خلل و فرج فضاهاى ماتریکس خاک مسدود شده و میزان نفوذ آب در خاک محدود می شود.



شکل ۲- اثر یون های سدیم و کلسیم بر روی ذرات خاک

سدیم بطور بالقوه موجب تخریب ساختمان خاک و کاهش قابلیت نفوذ آب در خاک شده که در نتیجه آن، میزان رشد گیاه کاهش می یابد. بالا بودن مقدار سدیم موجود در پساب و متعاقب آن بالا رفتن میزان سدیم و شرایط قلیایی خاک را می توان با اعمال استراتژی های مختلف از جمله کاربرد گچ (CaSO_4) بصورت مستقیم یا بصورت حل شده در آب آبیاری و کاربرد مواد آلی در زمین های مزروعی، کنترل نمود.

خطر سدیم معمولاً بر حسب نسبت جذب سدیم (SAR: Sodium adsorption Ratio) بیان می شود. SAR نسبت کاتیون سدیم به کاتیون های کلسیم و منیزیم است و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (4)$$

در این رابطه، غلظت کلیه کاتیون ها بر حسب meq/L و SAR یک عدد بدون بعد می باشد. در معادله بالا، فرض شده که میزان HCO_3^- به Ca^{2+} برای شرایط آب موجود در خاک در تعادل است. در شرایطی که از پساب به عنوان منبع آب جهت استفاده مجدد در کشاورزی استفاده می شود، مقدار غلظت کلسیم ممکن است برای تخمین بهتر غلظتی که انتظار می رود در آب موجود در خاک، پس از آنکه آب آبیاری با خاک به تعادل رسیده است، باقی بماند، نیاز به تعدیل داشته باشد. مقادیر تعدیل شده کلسیم ($[\text{Ca}_x^{2+}]$) را می توان با استفاده از جدول (۱۰) به دست آورد. مقادیر ارائه شده در جدول (۱۰) برای آب موجود در خاک نزدیک به سطح در آب های با شوری مختلف استفاده می شود. در ضمن، فرض بر این است که هیچ رسوب منیزیمی رخ نداده و فشار جزئی دی اکسید کربن، 0.071 کیلو پاسکال (0.0007 اتمسفر) در نزدیکی سطح خاک می باشد. نسبت جذب سطحی تعدیل شده سدیم (SAR_{adj}) که تغییرات در حلالیت کلسیم در آب موجود در خاک را منظور کرده است، از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{SAR}_{adj} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{([\text{Ca}_x^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])}{2}}} \quad (5)$$

$[\text{Ca}_x^{2+}]$: غلظت تعدیل شده یون کلسیم (بر حسب میلی اکی والان در لیتر) که از جدول (۹) بدست می آید.

جدول ۱۰- مقادیر Ca_x^{2+} برای محاسبه میزان جذب سدیم تعدیل شده^{a,b,c}

میزان هدایت الکتریکی آب مصرفی (میلی موس بر سانتیمتر)												نسبت بیکربنات به کلسیم
۸	۶	۴	۳	۲	۱/۵	۱	۰/۷	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۱	
۱۹/۹۴	۱۹/۰۷	۱۷/۹۷	۱۷/۲۸	۱۶/۴۳	۱۵/۹۱	۱۵/۲۶	۱۴/۷۹	۱۴/۴۰	۱۳/۹۲	۱۳/۶۱	۱۳/۲۰	۰/۰۵
۱۲/۵۶	۱۲/۰۱	۱۱/۳۲	۱۰/۸۹	۱۰/۳۵	۱۰/۰۲	۹/۶۲	۹/۳۱	۹/۰۷	۸/۷۷	۸/۵۷	۸/۳۱	۰/۱۰
۹/۵۸	۹/۱۷	۸/۶۴	۸/۳۱	۷/۹۰	۷/۶۵	۷/۳۴	۷/۱۱	۶/۹۲	۶/۶۹	۶/۵۴	۶/۳۴	۰/۱۵
۷/۹۱	۷/۵۷	۷/۱۳	۶/۸۶	۶/۵۲	۶/۳۱	۶/۰۶	۵/۸۷	۵/۷۱	۵/۵۲	۵/۴۰	۵/۲۴	۰/۲۰
۶/۸۲	۶/۵۲	۶/۱۵	۵/۹۱	۵/۶۲	۵/۴۴	۵/۲۲	۵/۰۶	۴/۹۲	۴/۷۶	۴/۶۵	۴/۵۱	۰/۲۵
۶/۰۴	۵/۷۷	۵/۴۴	۵/۲۴	۴/۹۸	۴/۸۲	۴/۶۲	۴/۴۸	۴/۳۶	۴/۲۱	۴/۱۲	۴	۰/۳۰
۵/۴۵	۵/۲۱	۴/۹۱	۴/۷۲	۴/۴۹	۴/۳۵	۴/۱۷	۴/۰۴	۳/۹۴	۳/۸۰	۳/۷۲	۳/۶۱	۰/۳۵
۴/۹۸	۴/۷۷	۴/۴۹	۴/۳۲	۴/۱۱	۳/۹۸	۳/۸۲	۳/۷۰	۳/۶۰	۳/۴۸	۳/۴۰	۳/۳۰	۰/۴۰
۴/۶۱	۴/۴۱	۴/۱۵	۴	۳/۸۰	۳/۶۸	۳/۵۳	۳/۴۲	۳/۳۳	۳/۲۲	۳/۱۴	۳/۰۵	۰/۴۵
۴/۳۰	۴/۱۱	۳/۸۷	۳/۷۲	۳/۵۴	۳/۴۳	۳/۲۹	۳/۱۹	۳/۱۰	۳	۲/۹۳	۲/۸۴	۰/۵۰
۳/۲۸	۳/۱۴	۲/۹۵	۲/۸۴	۲/۷۰	۲/۶۲	۲/۵۱	۲/۴۳	۲/۳۷	۲/۲۹	۰/۲۴	۲/۱۷	۰/۷۵
۲/۷۱	۲/۵۹	۲/۴۴	۲/۳۵	۲/۲۳	۲/۱۶	۲/۰۹	۲/۰۱	۱/۹۶	۱/۸۹	۱/۸۵	۱/۷۹	۱
۲/۳۳	۲/۲۳	۲/۱۰	۲/۰۲	۱/۹۲	۱/۸۶	۱/۷۸	۱/۷۳	۱/۶۸	۱/۶۳	۱/۵۹	۱/۵۴	۱/۲۵
۲/۰۷	۱/۹۷	۱/۸۶	۱/۷۹	۱/۷۰	۱/۶۵	۱/۵۸	۱/۵۳	۱/۴۹	۱/۴۴	۱/۴۱	۱/۳۷	۱/۵۰
۱/۸۶	۱/۷۸	۱/۶۸	۱/۶۲	۱/۵۴	۱/۴۹	۱/۴۳	۱/۳۸	۱/۳۵	۱/۳۰	۱/۲۷	۱/۲۳	۱/۷۵
۱/۷۰	۱/۶۳	۱/۵۴	۱/۴۸	۱/۴۰	۱/۳۶	۱/۳۱	۱/۲۶	۱/۲۳	۱/۱۹	۱/۱۶	۱/۱۳	۲
۱/۵۸	۱/۵۱	۱/۴۲	۱/۳۷	۱/۳۰	۱/۲۶	۱/۲۱	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۰	۱/۰۸	۱/۰۴	۲/۲۵
۱/۴۷	۱/۴۰	۱/۳۲	۱/۲۷	۱/۲۱	۱/۱۷	۱/۱۲	۱/۰۹	۱/۰۶	۱/۰۲	۱	۰/۹۷	۲/۵۰
۱/۳۰	۱/۲۴	۱/۱۷	۱/۱۳	۱/۰۷	۱/۰۴	۱	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۵	۳
۱/۱۷	۱/۱۲	۱/۰۶	۱/۰۲	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۸	۳/۵۰
۱/۰۷	۱/۰۳	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۷۱	۴
۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۶	۴/۵۰
۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۱	۵
۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۹	۷
۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۳۹	۱۰
۰/۳۷	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۴	۲۰

^a SAR_{adj} حالت اصلاح شده SAR است. غلظت کلسیم در محیط آب- خاک ثابت نیست و غلظت کلسیم در حالت تعادل به غلظت کلسیم آب مصرفی و انحلال یا رسوب گذاری کلسیم در محیط آب- خاک است. میزان اثرات پساب با توجه به میزان سدیم در محیط آب- خاک کاهش و یا افزایش می یابد. میزان کلسیم در محلول و شرایط تعادل تحت تأثیر شوری محیط آب- خاک، غلظت کلسیم، بی کربنات و میزان دی اکسیدکربن محلول است.

^b SAR_{adj} به نحو دقیق تری خطرات مربوط به سدیم و مشکل نفوذپذیری ناشی از نامناسب بودن کیفیت آب را پیش بینی می کند. پارامتر SAR_{adj} وقتی ارزیابی مشکل نفوذپذیری خاک مدنظر است، ممکن است جایگزین SAR شود.

^c نسبت بی کربنات به کلسیم بر حسب میلی اکی والان در لیتر

در صورت آبیاری با آب های بازیافتی، استفاده از SAR تعدیل شده دارای اولویت است، چرا که تغییرات کلسیم آب موجود در خاک را با دقت بیشتری نشان می دهد. برای یک مقدار ثابت SAR، با افزایش غلظت کل نمک، نفوذپذیری خاک افزایش و برای یک مقدار ثابت غلظت کل نمک، با افزایش مقدار SAR، مقدار نفوذپذیری خاک کاهش می یابد. بنابراین SAR یا SAR

تعدیل شده (SAR_{adj}) و هدایت الکتریکی (EC_w) آب مورد استفاده در آبیاری همانگونه که در جدول (۸) نشان داده شده، می باید به صورت ترکیبی در ارزیابی مشکل بالقوه نفوذپذیری مورد استفاده قرار گیرد.

آب بازیافتی بطور طبیعی محتوای کلسیم بالایی دارد و نگرانی چندانی در خصوص حل شدن یا آبشویی مقادیر قابل توجه کلسیم از خاک سطحی وجود ندارد. با این همه از آنجا که محتوای کلسیم آب های بازیافتی بالا است، افزایش قابل توجه SAR در طرح های آبیاری با استفاده از آن از نگرانی های اصلی محسوب می شود.

علاوه بر تأثیر غلظت سدیم و نسبت SAR_{adj} در قلیایی شدن خاک و کاهش میزان نفوذپذیری آب در آن، پارامتر درصد سدیم قابل تبادل (ESP: Exchangeable Sodium Percentage) بیانگر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است که مطلوبیت خاک برای کشت گیاهان مختلف را تحت تأثیر قرار می دهد. بطور کلی پراکندگی ذرات خاک (یعنی مشکل قابلیت نفوذ خاک) زمانی که ESP خاک بیشتر از ۱۵ درصد و شوری آن کمتر از ۴ ds/m باشد، محتمل است. در این شرایط به خاک، خاک سدیک یا قلیایی می گویند. در جدول (۱۱) مقاومت محصولات مختلف زراعی به درصد سدیم قابل تبادل، ارائه شده است.

جدول ۱۱- مقاومت محصولات مختلف زراعی به درصد سدیم قابل تبادل

مقاومت به ESP	نوع گیاه	عکس العمل گیاه
بسیار حساس ESP= ۲-۱۰	درختان میوه، گردو، بادام، فندق، مرکبات	علائم مسمومیت به سدیم حتی در درصد سدیم قابل تبادل کم نیز مشاهده می شود.
حساس ESP= ۱۰-۲۰	انواع لوبیا	حتی اگر شرایط فیزیکی خاک هم خوب باشد در درصد سدیم قابل تبادل کم نیز کاهش رشد به علت سوء تغذیه پیش خواهد آمد.
نیمه مقاوم ESP= ۲۰-۴۰	شیدر، برنج، جو دو سر	کاهش رشد هم در نتیجه شرایط سوء فیزیکی خاک و هم عوامل تغذیه ای پیش می آید.
مقاوم ESP= ۴۰-۶۰	گندم، یونجه، جو، چغندر، پنبه، گوجه فرنگی	کاهش رشد معمولاً به علت شرایط فیزیکی ناسازگار خاک پیش می آید.

۱۷-۳ سمیت یون ویژه

بسیاری از یون های موجود در پساب می توانند در غلظت های کم مفید و یا مضر باشند. اما در صورتی که غلظت آنها افزایش یابد ممکن است در خاک و گیاه تجمع یافته و موجب تخریب بافت

گیاه شوند. در صورتی که رشد محصول به جای تأثیرات اسمزی به تنهایی به واسطه غلظت های اضافی یون های ویژه کاهش یابد، سمیت یون ویژه نامیده می شود. همانطور که در جدول (۸) نشان داده شده است، مهمترین یون ها در آب های بازیافتی از این منظر، سدیم، کلرور و بر می باشند.

مقابله با سمیت یون ویژه با روش تغییر کوتاه مدت محصول یا منبع آب در خصوص محصولات حساس، دشوار خواهد بود. این مشکل همچنین در شرایط آب و هوایی گرم و خشک به واسطه میزان بالای تبخیر و تعرق، تشدید می گردد.

۱۷-۳-۱ سدیم

اگر غلظت سدیم خاک زیاد باشد، خاک به سهولت پخش و ذرات آن از یکدیگر جدا می شوند و شرایط فیزیکی خاک ضعیف می گردد. تأثیر وجود سدیم اضافی بر رشد گیاهان یا به شکل مسمومیت گیاهی یا به صورت توازن در تغذیه گیاه ظاهر می شود. سوختگی برگ ها، کلروز (زرد شدن و سفید شدن برگ ها) و مرگ سرشاخه ها از جمله اثرات سدیم اضافی می باشند. سمیت سدیم در گیاه آوکادو، مرکبات و درختان میوه هسته دار مانند زردآلو، گیلان، هلو و آلو، مشاهده شده است. در صورت پایین بودن غلظت کلسیم خاک، سدیم در گیاهان تجمع می یابد.

۱۷-۳-۲ کلرور

کلرور تأثیر خاصی روی خصوصیات فیزیکی خاک نداشته و در حد بسیار ناچیز توسط کلوئیدهای خاک های خشک، جذب می شود. کلر به سهولت توسط رطوبت خاک انتقال یافته و طی فرآیند تعرق توسط گیاه جذب شده و در برگ ها تجمع می یابد. کلرور می تواند موجب ایجاد اثرات سمیت مشابه سدیم در گیاهان شود (تنها برای گونه های گیاهی چوبی). مدیریت آب های دارای کلرور زیاد صرفاً از طریق آبشویی مؤثر یا کشت گیاهان مقاوم به یون کلرور، ممکن می گردد. سبزیجات، غلات، علوفه و محصولات فیبری، در غلظت های معمول سدیم و کلرور موجود در آب های بازیافتی، تحت تأثیر قرار نمی گیرند به شرطی که SAR آب بالا نباشد. در جدول (۱۲)، تحمل نسبی محصولات کشاورزی در برابر کلرور ارائه شده است.

جدول ۱۲- میزان تحمل محصولات کشاورزی نسبت به کلرور

درجه حساسیت	غلظت کلرور (mg/L)	نوع گیاه
حساس	کمتر از ۱۷۸	بادام، زردآلو، آلو
نسبتاً حساس	۱۷۸ الی ۳۵۵	انگور، فلفل، سیب زمینی و گوجه فرنگی
نسبتاً مقاوم	۳۵۵ الی ۷۱۰	جو، یونجه، ذرت و خیار
مقاوم	بیشتر از ۷۱۰	گل کلم، پنبه، کنجد، ذرت علوفه ای، چغندر قند، آفتابگردان و گلرنگ

۱۷-۳-۳ بر

بر صورت آزاد در طبیعت یافت نمی شود بلکه نمک های برات کلسیم یا برات سدیم می باشد. منبع بر در آب های بازیافتی عموماً شوینده های خانگی یا فاضلاب های صنعتی است. متداول ترین سمیت در نتیجه استفاده از آب بازیافتی، سمیت حاصل از بر می باشد. عنصر بر اگر اندکی بیشتر از آنچه که مورد نیاز گیاه است در پساب وجود داشته باشد، برای گیاه مسموم کننده است. علائم آن به شکل سوختگی و زرد شدن برگ ها، قرمز و آبی رنگ شدن برگ ها، ایجاد لکه در برگ، ریزش برگ ها پیش از موعد و کاهش رشد گیاه مشاهده می گردد.

وقتی ترکیبات بر به خاک اضافه می شود، قسمت قابل توجهی از بر، جذب ذرات خاک می شود و فقط مقدار کمی از آن وارد محلول خاک می گردد. لذا گیاهان نسبت به مقدار بر موجود در محلول خاک عکس العمل نشان داده و بروز سمیت در گیاه به میزان بر جذب شده توسط ذرات خاک، ارتباط ندارد. تحمل محصولات نسبت به بر بسته به شرایط آب و هوایی خاک و نوع محصول متفاوت است. در جدول (۱۳) حد تحمل نسبی محصولات کشاورزی نسبت به بر ذکر شده است.

جدول ۱۳- میزان تحمل محصولات کشاورزی نسبت به بر

حد تحمل	غلظت بر در آب موجود در خاک (mg/L)	نوع گیاه
بسیار حساس	< ۰/۵	تمشک سیاه
حساس	۰/۵ - ۱	هلو، گیلاس، آلو، انگور، لوبیا، پیاز، سیر، گندم، جو، گل آفتابگردان، توت فرنگی و کنجد
نسبتاً حساس	۱ - ۲	فلفل قرمز، نخود، هویج، تربچه، سیب زمینی و خیار
نسبتاً مقاوم	۲ - ۴	کاهو، کلم، کرفس، شلغم، جو دو سر، ذرت، کنگر فرنگی، خردل، تنباکو و کدو
مقاوم	۴ - ۶	گوجه فرنگی، یونجه، جعفری و چغندر قند
بسیار مقاوم	۶ - ۱۵	مارچوبه

۱۷-۴ عناصر جزئی و مواد مغذی

مقادیر جزئی فلزات، ترکیبات غیرآلی و آلی و دیگر پارامترهای کیفی آب نظیر pH و دما نیز می تواند بر مناسب بودن آب بازیافتی برای آبیاری، تأثیرگذار باشد. اثرات سمی عناصر جزئی و مواد مغذی در آب بازیافتی در زیر مورد بحث قرار گرفته است.

۱۷-۴-۱ عناصر جزئی

اصطلاح عناصر جزئی برای عناصر شیمیایی که در غلظت های کم در محیط زیست وجود دارند، استفاده می شود. برخی از این عناصر در غلظت های کم برای رشد گیاهان ضروری می باشند اما در غلظت های زیاد، اثرات سمی دارند. این اثرات سمی در گیاه بسته به غلظت عناصر و گونه های گیاهی، متفاوت است. سمیت هایی نظیر آسیب برگ گیاه و کاهش محصول، زمانی رخ می دهد که عناصر جزئی توسط ریشه گیاه، جذب و سپس در برگ و سایر بافت های گیاه، تجمع می یابند. غلظت عناصر جزئی در آب بازیافتی نسبت به منبع تولید فاضلاب متفاوت است و غلظت آنها بویژه هنگامی که منبع تولید آنها عمدتاً فاضلاب های خانگی است از میلی گرم بر لیتر (mg/L) تا میکروگرم بر لیتر ($\mu\text{g/L}$) نوسان دارد. زمانی که فاضلاب های صنعتی به سیستم های جمع آوری فاضلاب شهری تخلیه می گردند، غلظت های بالاتری از عناصر جزئی، مشاهده می شود. حداکثر غلظت توصیه شده برای عناصر جزئی در آبیاری در جدول (۱۴) ارائه شده است.

غلظت عناصر جزئی در آب بازیافتی در محدوده ای است که در کوتاه مدت اثرات منفی مشخص نمی گردند. گرچه کاربرد طولانی مدت آب های حاوی عناصر جزئی منجر به تجمع این عناصر در خاک شده و ممکن است موجب سمیت گیاه و آلودگی آب های زیرزمینی گردد. افزایش غلظت عناصر جزئی در قسمت های خوراکی گیاه ممکن است مخاطراتی را نیز برای انسان و حیوانات در بر داشته باشد، بنابراین پایش غلظت عناصر جزئی در خاک، بافت گیاهان و حتی آب های زیرزمینی منطقه حائز اهمیت است.

جدول ۱۴- حداکثر غلظت توصیه شده برای عناصر جزئی در آبیاری

توضیحات	حداکثر غلظت توصیه شده ^a (mg/L)	عنصر
می تواند موجب عدم تولید محصول در خاک های اسیدی ($pH < 5.5$) شود اما خاک های با $pH = 5.5-8$ می تواند یون آلومینیوم را رسوب داده و هر نوع سمیت را حذف کند.	۵	آلومینیوم
بروز سمیت برای گیاهان مختلف بسیار متفاوت است. بطوری که از ۱۲ میلی گرم در لیتر برای علف سودانی تا کمتر از ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر برای برنج متغیر است.	۰/۱	آرسنیک
بروز سمیت برای گیاهان مختلف بسیار متفاوت است. از ۵ میلی گرم در لیتر برای کلم برگ تا کمتر از ۰/۵ میلی گرم در لیتر برای لوبیای بته ای، متغیر است.	۰/۱	بریلیموم
برای رشد گیاهان ضروری است. مقادیر کافی از آن در آب بازیافتی جهت تصحیح کمبود خاک مورد نیاز است. در غلظت های چند دهم میلی گرم در لیتر، بازده بهینه بدست می آید. در غلظت ۱ میلی گرم در لیتر برای گیاهان حساس (مرکبات)، سمی است. اکثر علف ها به غلظت ۱۰-۲ میلی گرم در لیتر مقاوم هستند.	۰/۷۵	بر
در غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر برای لوبیا، چغندر و شلغم، سمی است. محدودیت های محافظه کارانه ناشی از پتانسیل تجمع در خاک و گیاه تا حدی که برای انسان خطرناک است، پیشنهاد شده اند.	۰/۰۱	کادمیوم
در غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر برای گوجه فرنگی سمی است. در خاک های خنثی و قلیایی تمایل به بی اثر شدن دارد.	۰/۰۵	کبالت
بطور معمول بصورت یک عنصر ضروری شناخته نشده است. بدلیل فقدان معلومات در مورد سمیت آن برای گیاهان، محدودیت های محافظه کارانه پیشنهاد شده است.	۰/۱	کروم
در غلظت های ۰/۱ تا ۱ میلی گرم در لیتر برای برخی گیاهان سمی است.	۰/۲	مس
توسط خاک های خنثی و قلیایی، بی اثر می شود.	۱	فلوئور
در خاک های هوازی، سمیتی برای گیاهان ندارد. اما در اسیدی کردن خاک و از دست دادن قابلیت دسترسی عناصر مورد نیاز مولیبدن و فسفر نقش دارد.	۵	آهن
تا غلظت ۵ میلی گرم در لیتر توسط اکثر گیاهان تحمل می شود. برای مرکبات در غلظت های کم (بیشتر از ۰/۰۷۵ میلی گرم در لیتر) سمی است.	۲/۵	لیتیم
برای برخی از گیاهان در غلظت های چند دهم میلی گرم تا چند میلی گرم، سمی است اما این امر عموماً در خاک های اسیدی صادق است.	۰/۲	منگنز
برای گیاهان سمی نیست. در صورت وجود غلظت های بالای مولیبدن در خاک می تواند برای دام ها در سنین رشد، سمی باشد.	۰/۰۱	مولیبدن
در غلظت های ۰/۵ تا ۱ میلی گرم در لیتر برای تعدادی از گیاهان، سمی است. در خاک های خنثی و قلیایی، سمیت کاهش می یابد.	۰/۲	نیکل
در غلظت های خیلی بالا می تواند از رشد سلول های گیاهی جلوگیری کند.	۵	سرب
در غلظت های کم برای گیاهان، سمی است. در صورت وجود غلظت های پایین سلنیوم در خاک می تواند برای دام های در سنین رشد، سمی باشد.	۰/۰۲	سلنیوم
بطور مؤثری توسط گیاهان، دفع می شود و میزان قابل تحمل آن، نامعلوم است.	-	قلع
بطور مؤثری توسط گیاهان، دفع می شود و میزان قابل تحمل آن، نامعلوم است.	-	تیتانیوم

ادامه جدول ۱۴- حداکثر غلظت توصیه شده برای عناصر جزئی در آبیاری

عناصر	حداکثر غلظت توصیه شده ^a (mg/L)	توضیحات
تنگستن	-	بطور مؤثری توسط گیاهان، دفع می شود و میزان قابل تحمل آن، نامعلوم است.
وانادیوم	۰/۱	در غلظت های نسبتاً پایین برای بسیاری از گیاهان سمی است.
روی	۲	در غلظت های بسیار متفاوت برای بسیاری از گیاهان سمی است. در خاک های با $\text{pH} \geq 6$ و در خاک های با بافت ریز یا آلی، سمیت آن کاهش می یابد.

توجه: حداکثر غلظت ها بر اساس نرخ آبیاری مناسب (۱۰۰۰۰ مترمکعب بر هکتار بر سال) می باشد. اگر نرخ آبیاری با این مقدار خیلی فاصله داشته باشد، غلظت ها باید متناسب با آن کاهش یابند. برای نرخ های آبیاری کمتر از این مقدار نباید غلظت ها تعدیل شوند. مقادیر بر اساس آبیاری پیوسته در یک محل می باشند. (FAO, ۱۹۸۵).

^a غلظت حداکثر بر مبنای میزان آبیاری (۴ ft/yr) (۱/۲۵ m/yr) می باشد که با شیوه های مطلوب کشاورزی همخوانی دارد.

۱۷-۴-۲ مواد مغذی

وجود مواد مغذی در آب بازیافتی، ارزش باروری آن را برای محصولات و فضای سبز افزایش می دهد. با این وجود در مواردی که غلظت این مواد از نیاز گیاهان بیشتر است، ممکن است منجر به بروز مشکلاتی شود. نیتروژن، فسفر و پتاسیم مواد مغذی اصلی یافت شده در آب های بازیافتی هستند. گاهی اوقات روی، بر و گوگرد نیز در مدیریت کشاورزی با اهمیت هستند. نیتروژن و فسفر در غلظت قابل توجهی در آب بازیافتی وجود دارند و بر رشد گیاه اثر می گذارند. غلظت پتاسیم در آب بازیافتی معمولاً بسیار کمتر بوده و اثر آن بر روی رشد گیاه نیز کمتر می باشد. کلسیم، منیزیم و سولفات، از دیگر مواد مغذی مورد نیاز برای رشد گیاه می باشند. غلظت های معمول نیتروژن و فسفر در آب های بازیافتی در جدول (۱۵) ارائه شده است.

جدول ۱۵- مقادیر متداول غلظت نوترینت ها در آب های بازیافتی^(a)

پارامتر	فاضلاب تصفیه نشده	لجن فعال متعارف	لجن فعال متعارف همراه با BNR ^(b)	محدوده غلظت نوترینت ها در آب های بازیافتی (mg/L)	
				لجن فعال همراه با BNR، فیلتراسیون عمقی و گندزدایی	بیوراکتور غشایی ^(c)
نیتروژن کل	۲۰-۷۰	۱۵-۳۵	۲-۱۲	۲-۱۲	۷-۱۸
نیتروژن نترات (NO ₃ ⁻ - N)	صفر تا ناچیز	۱۰-۳۰	۱-۱۰	۱-۱۰	۵-۱۱
فسفر کل	۴-۱۲	۴-۱۰	۱-۲	۱-۲	۰/۳-۵

^a برگرفته از چوبانوگوس (۲۰۰۳) ^b BMR (Biological Nutrient Removal): حذف بیولوژیکی نوترینت ها ^c بدون فرآیند BNR ^d MF: میکروفیلتراسیون ^e RO: اسمز معکوس

غلظت سایر مواد مغذی در فاضلاب های تصفیه نشده، بسته به منبع آب و مواد شیمیایی مورد استفاده در تصفیه متغیر بوده و بطور قابل توجهی توسط فرآیندهای تصفیه ثانویه و ثالثیه متداول کاهش نمی یابند. نیتروژن و فسفر موجود در آب بازیافتی بر پتانسیل رشد جلبک در مخازن ذخیره نیز تأثیرگذار است. اگر غلظت مواد مغذی در آب بازیافتی بالاتر از سطوح مورد نیاز باشد، کیفیت آب بازیافتی با حذف این مواد و یا با اختلاط آب بازیافتی با سایر منابع آب، باید تغییر یابد.

۱۷-۴-۲-۱ نیتروژن

با ارزش ترین و متداول ترین ماده مغذی که غلظت آن در آب بازیافتی از میزان مطلوب فراتر می رود، نیتروژن است. نیتروژن موجود در آب بازیافتی قادر به جایگزینی با مقادیر مشابهی از کودهای تجاری در اوایل تا میانه فصل رشد محصولات در مزارع است.

نیاز گیاهان به نیتروژن بسته به نوع محصول، متفاوت است. گیاهان، نیتروژن را به شکل های قابل جایگزین و محلول در آب، آمونیم و نترات، مورد استفاده قرار می دهند. نیتروژن آلی تا زمانی که به شکل نترات و یا آمونیم نباشد، برای گیاه قابل استفاده نیست. آمونیم، شکل اصلی نیتروژن در آب بازیافتی از تصفیه ثانویه متداول بدون نیتریفیکاسیون است در حالی که نترات شکل اولیه نیتروژن در آب بازیافتی نیتریفای شده است. شکل و مقدار نیتروژن در آب بازیافتی بستگی به فرآیندهای تصفیه دارد (جدول ۱۵).

در مراحل اولیه رشد گیاه، نیتروژن بسیار مفید و با ارزش است. اما مقادیر بیش از حد نیتروژن در اواخر فصل رشد بر اغلب محصولات، تأثیری منفی دارد و منجر به رشد بیش از حد پوشش گیاهی، رسیدن دیر هنگام یا ناهمسان میوه یا کاهش کیفیت محصولات می گردد.

در صورتی که منبع جایگزین آب با مقدار اندک نیتروژن موجود باشد، تغییر منابع آب یا مخلوط نمودن آب بازیافتی با دیگر منابع آب به عنوان روشی برای کنترل اثر نیتروژن مورد استفاده قرار گرفته است، در غیر این صورت روش پرهزینه حذف نیتروژن بصورت فصلی مورد نظر خواهد بود.

۱۷-۴-۲-۲ فسفر

فسفر موجود در آب بازیافتی به فرآیند تصفیه فاضلاب وابسته بوده که مقادیر آن در جدول ۲۵ ارائه شده است. فسفر اضافه شده به خاک در نتیجه آبیاری با آب بازیافتی، ممکن است توسط محصول گرفته شده، در خاک تجمع یافته و یا توسط شستشو با رواناب و فرسایش، شسته شود. فسفر آب

بازیافتی عمدتاً غیرآلی است که می تواند تحت یک فرآیند جذب سطحی پیچیده به خاک اتصال یابد. جذب ظاهری فسفر ممکن است تلفیقی از چندین فرآیند از جمله جذب برگشت پذیر سریع روی سطوح ذرات خاک همراه با فرآیندهای مختلف کند، باشد که برخی از آنها منجر به رسوب فسفر در فضای بین منافذ ذرات خاک می شود.

۱۷-۵ انتخاب نوع محصول زراعی

نکته اساسی در فرآیند طراحی یک سیستم آبیاری با پساب، انتخاب نوع محصول زراعی است. انتخاب نوع محصول زراعی تابع کیفیت آب بازیافتی، اقلیم منطقه، اقتصاد، مهارت های مدیریتی، دسترسی به امکانات فنی و نیروی انسانی و سنت های کشاورزی در ناحیه است. از میان عوامل مهم زراعی، اولین فاکتور، مقاومت محصول در برابر شوری و سپس حد تحمل محصول نسبت به عنصر بر است. تحمل شوری، مکانیزمی است که به گیاه اجازه می دهد تا در برابر تنش نمک زیاد مقاومت نماید.

بطور کلی برای ارزیابی حدود تحمل محصولات زراعی در برابر نمک یک آستانه شوری قرار دارد که پایین تر از آن، اثرات مضر مشاهده نمی شود و بالاتر از آن، هر چقدر که شوری افزایش یابد بازده نسبی محصولات کاهش می یابد. بازده نسبی محصول توسط رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$Y_t = 100 - b (EC_e - a) \quad (۶)$$

Y_t : بازده نسبی محصول (درصد)

b : درصد کاهش تولید محصول به ازای هر واحد شوری (dS/m)

EC_e : میانگین شوری خاک در ناحیه ریشه (dS/m)

a : حد آستانه شوری (dS/m)

۱۷-۶ مشکلات متفرقه

مشکل گرفتگی در سیستم های آبیاری بارانی و قطره ای خصوصاً در جریان خروجی برکه های اکسیداسیون گزارش شده است. رشد بیولوژیکی (لجن) و غلظت های بالایی از جلبک و جامدات معلق در دهانه خروجی آب در سیستم آبیاری بارانی، اوریفیس ها یا خطوط آبیاری، منجر به

انسداد مجاری عبور آب می شود. مشکل انسداد بیش از همه در سیستم های آبیاری قطره ای مشاهده می شود. چنین سیستم هایی از نقطه نظر سلامت عمومی اغلب به دلیل محصور بودن و کاهش مشکلات مربوط به تماس کارگر با آب بازیافتی به عنوان سیستم هایی بهینه در نظر گرفته می شوند.

در مواردی که آب بازیافتی کلرزنی شده است، کلر باقیمانده در غلظت کمتر از ۱ میلی گرم در لیتر تأثیری بر برگ محصولات ندارد، اما در صورتی که آب با کلر باقیمانده بیشتر از ۵ میلی گرم در لیتر طی آبیاری بارانی بصورت مستقیم بر روی برگ گیاه پاشیده شود، احتمال صدمه شدیدی بر گیاه وجود دارد.

۱۸- ملاحظات بهره برداری کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی

در گذشته، فرآیند و نحوه تصفیه فاضلاب بزرگترین معیار سنجش در طرح های استفاده کنترل شده از پساب بوده و برای حالت های خاص و تعداد محدودی از محصولات کاربرد داشته است. اما در حال حاضر به نظر می رسد در یک طرح جامع استفاده مجدد از پساب می بایست با توجه به نوع خاک، گیاه و شرایط آبیاری، معیارهای ارتقاء سلامت و بهداشت عمومی را تدوین کرد؛ به نحوی که با ویژگی های فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی منطقه نیز سازگار باشد. این رویکرد، به نحوی در رهنمودهای جدید WHO نیز مورد تأکید قرار گرفته و به سن کارگران شاغل در زمین های زراعی طرح های کاربرد پساب، توجه شده است.

با این حال، سیاست دولت ها در استفاده از پساب در کشاورزی، اخذ تصمیمات مؤثر جهت کنترل محل مصرف و نوع محصولات تحت آبیاری با پساب است. تصمیم گیری برای استفاده نامحدود از پساب توسط کشاورزان و همچنین استفاده از پساب جهت آبیاری پارک ها و مناطق شهری مستلزم اتخاذ تدابیر و احتیاطات لازم در زمینه محل مصرف، تکنیک های آبیاری، نوع کشت و به حداقل رساندن ریسک مخاطرات بهداشتی و اثرات سوء زیست محیطی آن است. در واقع رویکرد جامع نگر در کاربرد پساب دارای سابقه نسبتاً طولانی است. به نحوی که Cobham and Johnson در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد کردند که در برنامه ریزی جهت استفاده مجدد از پساب ها بایستی مسایل فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی نیز مدنظر قرار گیرد. این محققین موارد زیر را جهت بهره برداری مناسب و موفقیت آمیز از پساب در آبیاری پیشنهاد نموده اند:

الف- پیش بینی های سازمانی و اداری جهت مدیریت منابع و انتخاب برنامه استفاده از پساب ها و اجرای آن.

ب- اهمیت دادن به بهداشت عمومی و توجه به میزان ریسک کاربرد پساب.

ج- انتخاب استراتژی های یک منظوره یا چند منظوره در کاربرد پساب.

د- تعیین معیارهای ارزیابی انواع طرح های استفاده مجدد.

ه- افزایش توجه به توسعه جنگل ها از طریق بهره برداری از پساب.

در این راستا، انتخاب استراتژی های چند منظوره بهره برداری از پساب ها بر تک منظوره ارجح بوده و تأمین مالی و بازده بیشتری حاصل می گردد. چون در استراتژی بهره برداری تک منظوره در بعضی از فصول، پساب، اضافی و بلااستفاده خواهد بود. بنابراین انتخاب صحیح نوع محصول و محل کشت، ضمن فراهم نمودن محصولات مختلف باعث می شود که حداکثر راندمان بهره برداری حاصل گردد.

از جمله عوامل بحرانی در تعیین محل کشت و کاربرد پساب در زمین های کشاورزی، قابلیت دسترسی، امکان تماس با پساب و فاصله محل کاربرد از اجتماع می باشد. زمین های کشاورزی که از محل تصفیه خانه فاضلاب فاصله زیادی دارند، به علت آنکه جهت انتقال پساب لزوماً هزینه های سنگینی را دربردارد، برای این منظور مناسب به نظر نمی رسند. لذا توصیه می شود در انتخاب محل تصفیه خانه فاضلاب برنامه ریزی مناسب به عمل آید تا بین محل تصفیه خانه فاضلاب و زمین های قابل کشت و مناسب جهت کشاورزی فاصله کمی وجود داشته باشد. در رابطه با مخاطرات بهداشتی کاربرد پساب در آبیاری، حساسیت زیادی در بین مردم وجود دارد و همین عامل لزوم سختگیری و کنترل کیفی پساب برای کاهش این حساسیت ها را گوشزد می کند. لذا جهت انتخاب محل مناسب جهت کاربرد پساب دسترسی به اطلاعات پایه زیر حائز اهمیت است:

- نقشه های توپوگرافی

- نقشه خاک های کشاورزی

- عکس های هوایی

- نقشه ها و گزارشات زمین شناسی

- گزارش وضعیت آب زیرزمینی و مشخصات چاه های منطقه

- مشخصات حفاری و نتایج آزمایشات خاک شناسی

- سایر اطلاعات مربوط به خاک و داده های پیژومتری

خصوصیات پروفیل خاک در زمین های در دسترس، در انتخاب محل مناسب جهت آبیاری با پساب و همچنین نحوه کاربرد آن بسیار اهمیت دارد. در این خصوص، پارامترهای فیزیکی خاک (نظیر بافت خاک، دانه بندی خاک، حد روانی و خمیری)، نفوذپذیری خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک، pH، شوری و ترکیبات شیمیایی خاک از نقطه نظر کاربرد آب های بازیافتی و تولید محصولات کشاورزی باید مدنظر قرار گیرند.

معمولاً در انتخاب محصول، یک کشاورز تحت تأثیر مسایل اقتصادی، اقلیمی، خاک و آب، مهارت های مدیریتی، کارگران و امکانات در دسترس و نیز آداب و رسوم ملی قرار می گیرد. با این حال انتخاب نوع محصول جهت آبیاری با پساب به سیاست مسئولان ذیربط، شرایط بهره برداری و کیفیت پساب وابسته است. با عنایت به اینکه سیاست مسئولان به حداقل رساندن احتمال اثرات سوء بهداشتی و تأثیر پساب بر محصولات تولیدی است. لذا در کاربرد استراتژی چندمنظوره، ارزیابی مداوم محصولات کشاورزی مورد کشت، ضروری است. این کار مستلزم بررسی نقشه ها، منابع بودجه ای و همچنین ارزیابی کیفیت آب و خاک بوده و می بایست نیازهای روزانه، ماهیانه و سالیانه آب جهت محصولات مورد نظر، تعیین شود. در نهایت می بایست آب مورد نیاز محصول با میزان پساب در دسترس مطابقت داشته و طرح پیشنهادی، حداقل عملیات اجرایی و هزینه را در طی یک دوره بهره برداری دربرداشته باشد.

۱۹- مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی

بطور معمول هنگام طراحی سیستم های آبیاری با پساب باید اطلاعات کافی در مورد خاک، گیاه، آب و اقلیم، جمع آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. کاربرد پساب در آبیاری به دلیل حضور میکروارگانیسم ها و مواد شیمیایی آن می تواند با مخاطرات بهداشتی متعددی همراه گردد که معمولاً در سه بخش بهداشت فردی، بهداشت محصولات کشاورزی و بهداشت مصرف کنندگان محصولات مطالعه می شوند. مهمترین عامل ایجادکننده مخاطرات مرتبط با بهداشت فردی، میکروارگانیسم های بیماری زا، انگل ها، مواد سمی و شیمیایی موجود در فاضلاب هستند. همچنین مشکلات بهداشتی مرتبط با محصولات کشاورزی در نتیجه فعل و انفعالات و واکنش های مختلف بین ترکیبات و آلاینده های موجود در فاضلاب با خاک و گیاه اتفاق می افتد.

از دیدگاه میکروبیولوژی، پارامترهای جمعیت کلیفرم های مدفوعی و تخم نماتودهای روده ای نظیر آسکاریس و کرم قلابدار حائز اهمیت است و مواد شیمیایی سمی عمدتاً مشتمل بر فلزات سنگین (کروم، کادمیوم، مس، سرب و ...) و ترکیبات آلی (آفت کش ها و ترکیبات حلقوی) می باشد که ضمن تأثیر منفی بر خاک زراعی، بهداشت فردی کارگران مزارع و مصرف کنندگان محصولات را نیز تهدید می نمایند.

از جمله مخاطرات بهداشتی مرتبط با استفاده مجدد از پساب در کشاورزی می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- آلودگی مستقیم کشاورزان
- آلودگی محصولات کشاورزی با عوامل میکربی و شیمیایی بیماری زا
- آلودگی افراد در معرض آئروسل های پساب
- آلودگی دام ها از طریق محصولات و خاک در چراگاه های آبیاری شده با فاضلاب

در طی سال های گذشته، مطالعات متعددی در زمینه مخاطرات بهداشتی استفاده از آب های بازیافتی انجام شده است. مهمترین نتایج حائز اهمیت در این زمینه و با توجه به نتایج تحقیقات گذشته عبارتند از:

- بیماری های انگلی نظیر آلودگی به کرم آسکاریس و تریکوریس و بیماری وبا می تواند در اثر مصرف سبزیجات و گیاهان سالادی که با فاضلاب خام آبیاری می شوند، به انسان منتقل شود.
- تحقیقات نشان داده است که بیماری حصبه می تواند در اثر مصرف سبزیجات خام آبیاری شده با پساب، به انسان انتقال یابد.
- چرای دام ها روی زمین های کشاورزی و مراتع که تازه با فاضلاب خام آبیاری شده اند یا استفاده از پساب برای شرب دام ها، شیوع بیماری سیستمی سرکوزیس در دام ها را به شدت افزایش می دهد. بنابراین نامعقول نخواهد بود اگر تصور کنیم که مصرف گوشت اینگونه دام ها می تواند موجب انتقال بیماری به مصرف کنندگان آن شود چرا که تنها راه انتقال اینگونه بیماری های انگلی به انسان از طریق مصرف گوشت خام یا کم پخته آنها می باشد.
- در مناطقی که آلودگی به کرم آسکاریس و کرم های قلابدار بصورت بومی شایع است، کارگران و کشاورزان شاغل در زمین های آبیاری شده با پساب در مقایسه با سایر کارگران که به کارهای

مشابه اشتغال دارند بیشتر در معرض ابتلا به بیماری قرار دارند. خطر آلودگی به کرم قلابدار برای افرادی که با پای برهنه در مزرعه کار می کنند به مراتب بیشتر از سایر زارعین می باشد چرا که لارو کرم قلابدار می تواند از طریق پوست به داخل بدن نفوذ نماید.

- احتمال انتقال بیماری توسط ویروس های روده ای به ساکنین اطراف مزارع آبیاری شده با فاضلاب خام به ویژه در روش آبیاری بارانی، وجود دارد. همچنین احتمال انتقال بیماری باکتریایی در اثر تماس مستقیم با کارگران اینگونه مزارع نیز وجود دارد.

- بررسی کارایی تصفیه فاضلاب بوسیله زمین در حذف فلزات سنگین نشان داده است که بالاترین غلظت فلزات در لایه سطحی خاک تجمع یافته و در بافت های گیاهان، غلظت فلزات در ریشه گیاه بیشتر از ساقه و برگ بوده است.

- نتایج تحقیقات انجام شده در زمینه اثرات استفاده مجدد از فاضلاب در آبیاری در مکزیک انجام گرفته، نشان داده است که شیوع عفونت های انگلی در کارگران مزارع که با فاضلاب خام تماس داشته اند و خانواده آنها، افزایش یافته است. به علاوه، اثرات سوء زیست محیطی استفاده مجدد بلندمدت از پساب بصورت تجمع فلزات سنگین در بافت خاک و در نهایت جذب توسط محصولات گیاهی بروز می نماید.

- در طی ارزیابی که از یک سیستم لجن فعال در مصر انجام شد، مشخص گردید که کارایی سیستم در حذف ویروس ها فقط ۳۳ درصد بوده است در حالی که همه تخم انگل های روده ای به غیر از تخم کرم قلابدار حذف شده اند. لازم به ذکر است که تخم کرم قلابدار حتی بعد از گندزدایی با کلر نیز باقیمانده است. در این بررسی مشخص شد که استفاده از روش آبیاری بارانی برای سیستم آبیاری با محدودیت به کمک پساب مناسب نیست.

به منظور کاهش اثرات سوء بهداشتی استفاده مجدد از پساب در کشاورزی، انجام اقدامات زیر پیشنهاد می شود:

- پیش از خوردن غذا یا آشامیدن یا حتی روشن کردن سیگار، کشاورزان می بایست دست های خود را بشویند.

- لباس های کار، دستکش ها و چکمه ها هنگام ترک محل کار بایستی در محل باقی بماند.

- بریدگی ها، خراش ها و زخم ها بایستی فوراً شسته و ضدعفونی شود.

- کارگران بایستی علیه بیماری های مختلف همانگونه که بوسیله سازمان بهداشت جهانی توصیه

- شده، واکسینه شوند و آزمایش پزشکی منظم نیز بایستی انجام شود.
- میوه یا محصولاتی که بصورت خام یا پخته مصرف می شوند، حداقل ۷ روز قبل از برداشت محصول نباید با پساب، آبیاری گردند.
 - اولین چرای دام نظیر گاو وگوسفند، حداقل ۷ روز بعد از آخرین آبیاری مزارع با پساب باشد.
 - در آبیاری بارانی با پساب علاوه بر کنترل های خاص، حداقل فاصله تا نقاط مسکونی و جاده های عمومی به ترتیب نباید از ۵۰ و ۱۰۰ متر کمتر باشد.
 - کارگران مزارع موظف هستند پس از آبیاری، دست های خود را با آب تمیز بشویند و در مواقع کار از وسایلی چون لباس کار، چکمه و غیره برای جلوگیری از آلودگی های ثانویه استفاده نمایند.
 - از جاری شدن پساب مورد استفاده جهت آبیاری بر روی جاده ها جلوگیری شود.
 - علائم هشدار دهنده در مزارع آبیاری شده با پساب، نصب شود. این علائم باید در محل هایی نصب شود که اکثر مردم بتوانند به راحتی آنرا ببینند و رنگ تابلوها و اندازه آن ها باید به گونه ای باشد که از فاصله دور قابل رؤیت باشد.
 - آگاه کردن و آموزش کشاورزان و مردم از جنبه های بهداشتی استفاده مجدد از پساب جهت آبیاری انجام شود.
 - از لجن فاضلاب های شهری در زمین های کشاورزی که محصول آن مستقیماً مورد استفاده انسان قرار می گیرد (مثل سبزیجات و میوه جات) مخصوصاً در فصل برداشت محصول نباید استفاده کرد.
 - لجن فاضلاب نباید در فاصله کمتر از ۱۰۰ متر از نقاط مسکونی بکار رود.
 - در زمین هایی که از لجن برای حاصلخیزی آن استفاده شده تا ۲ ماه بعد از پخش لجن هیچ حیوان شیرده مجاز به چریدن نیست.
 - آب آشامیدنی سالم و کافی باید در اختیار کشاورزان باشد.
- مهمترین اقدامات علمی که در جهت حفظ و ارتقاء سلامت در طرح های کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی مطرح است را می توان تحت چهار عنوان اصلی زیر دسته بندی می گردند:
- (۱) تصفیه فاضلاب و کیفیت پساب
 - (۲) محدودکردن نوع محصول

۳) نحوه کاربرد پساب

۴) کنترل مواجهه و تماس انسان

با توجه به اهمیت این اقدامات در جهت کاهش مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی، ملاحظات مرتبط با هریک از این موارد در ذیل ارائه شده است:

۱) تصفیه فاضلاب و کیفیت پساب

استانداردها و رهنمودهای کیفی استفاده مجدد از پساب، اغلب به صورت حداکثر غلظت مجاز مجموع باکتری های کلیفرم و یا کلیفرم های مدفوعی و در مواردی تخم نماتودهای روده ای، بیان می شود. در مورد کاربرد فاضلاب در آبیاری، معمولاً هم استانداردهای صریح (مانند حداکثر تعداد کلیفرم مدفوعی در پساب) و هم حداقل تصفیه لازم بر اساس نوع محصول (خوراکی و غیرخوراکی) تعیین می شود. در نشست متخصصین سازمان جهانی بهداشت (WHO) در سال ۱۹۷۳ اعلام شد که تولید پساب با کیفیت ۱۰۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر، از نظر فنی به راحتی امکان پذیر است و آبیاری بدون محدودیت محصولات با چنین پسابی، احتمالاً مخاطرات بهداشتی بسیار محدودی را موجب می شود.

منظور از آبیاری بدون محدودیت، آبیاری محصولات خوراکی (به ویژه محصولاتی که خام مصرف می شوند)، میدین ورزشی و پارک های عمومی است. در سال ۱۹۸۵، در پایان اجلاسی که در منطقه انگلبرگ (سویس) تشکیل شد، رهنمودهایی تحت عنوان "بیانیه آدلبدان" صادر گردید. رهنمود کیفی انگلبرگ برای آبیاری بدون محدودیت برای اولین بار استاندارد صریحی را در مورد نماتودهای روده ای (کمتر یا مساوی یک عدد تخم زنده نماتود در لیتر) با هدف تأمین سلامت مصرف کنندگان محصولات ارائه داد.

فرآیندهای تصفیه متداول (ته نشینی ساده، لجن فعال، صافی چکنده، لاگون هوادهی و کانال های اکسیداسیون) بدون فیلتراسیون و گندزدایی تکمیلی نمی توانند پسابی تولید کنند که با رهنمودهای انگلبرگ برای آبیاری بدون محدودیت مطابقت داشته باشد. علاوه بر این، عموماً سیستم های متداول تصفیه فاضلاب در حذف تخم انگل ها مؤثر نیستند و گندزدایی با کلر نیز روی تخم انگل ها تأثیر ندارد، به همین دلیل معمولاً کاربرد چند برکه به صورت سری و یا فیلتراسیون به دنبال تصفیه متداول جهت دستیابی به شاخص انگلبرگ توصیه می شود.

۲) محدود کردن نوع محصول

محصولاتی که با پساب، آبیاری می شوند را می توان بصورت زیر طبقه بندی کرد:

۱) محصولات که حیوانات از آن استفاده می کنند مانند علوفه، ذرت که مخصوص پرورش دام است.

۲) محصولاتی که فقط به مصرف انسان می رسد که خود در دو گروه متمایز زیر قابل بررسی است:

- محصولاتی که قبل از مصرف پخته می شود (سیب زمینی، بادمجان).
- محصولاتی که بدون پخته شدن مستقیماً توسط انسان مصرف می گردد (گوجه فرنگی، فلفل، کاهو، هلو، زردآلو).

در کاربرد پساب برای آبیاری محصولات کشاورزی، باتوجه به دامنه اقدامات لازم جهت حفظ بهداشت جامعه، محصولات را می توان به صورت زیر طبقه بندی نمود:

گروه I: تنها حفاظت از کارگران مزرعه ضروری است. محصولات صنعتی مانند پنبه و کنف، حبوبات و محصولاتی که نهایتاً به صورت کنسرو به بازار عرضه می شوند، در این گروه قرار دارند.

گروه II: ممکن است به اقدامات حفاظتی بیشتری نیاز باشد. این گروه چراگاه ها، علوفه های سبز، محصولات درختی، میوه و سبزیجاتی که قبل از خوردن پوست کنده شده و یا پخته می شوند را شامل می شود.

گروه III: انجام عملیات تصفیه تا رسیدن به رهنمودهای انگلبرگ برای آبیاری بدون محدودیت، ضروری است. سبزیجات تازه و میوه های آبیاری شده به روش بارانی، پارک ها، چمنزارها و زمین های ورزشی در این گروه قرار می گیرند.

محدود کردن کشت به انواع خاصی از محصولات، بهداشت و سلامت مصرف کنندگان را تضمین می کند، ولی در مورد کارگران مزارع باید اقدامات حفاظتی انجام شود که لازمه آن، تصفیه فاضلاب تا رسیدن به رهنمودهای انگلبرگ از نظر تعداد تخم نماتودهای روده ای می باشد.

۳) نحوه کاربرد فاضلاب

استفاده از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری به ۵ روش زیر امکان پذیر است:

۱. آبیاری غرقابی، که تقریباً تمام سطح زمین را مرطوب می سازد.
۲. آبیاری نشتی، که تنها بخشی از زمین مرطوب می شود.
۳. آبیاری بارانی، که مرطوب شدن خاک همانند مرطوب شدن در اثر بارندگی است.
۴. آبیاری زیرزمینی، که سطح خاک تنها کمی مرطوب شده ولی خاک زیرین از آب اشباع می شود.

۵. آبیاری موضعی (قطره ای)، که برای هر گیاه، میزان معینی آب بصورت قطرات ریز به نزدیک ساقه، تخلیه می شود.

× آبیاری غرقابی، کمترین هزینه سرمایه گذاری را دارد و معمولاً با بیشترین مخاطرات بهداشتی همراه است.

× چنانچه کیفیت باکتریایی پساب با رهنمودهای انگلبرگ، مطابقت نداشته باشد و آبیاری محصولات گروه II مورد نظر باشد، نباید از سیستم آبیاری بارانی به جز برای گیاهان علوفه ای و چراگاه ها و از آبیاری غرقابی برای سبزیجات، استفاده شود.

× در آبیاری زیرزمینی، ضمن فراهم شدن بهترین شرایط برای حفظ بهداشت، از پساب نیز به شکل مؤثری استفاده شده و محصولات بیشتری نیز تولید می شود. اما این روش پرهزینه بوده و برای جلوگیری از انسداد منافذ لوله های پخش کننده فاضلاب به تصفیه کامل تری نیاز است. در پروژه های استفاده مجدد از پساب در کشاورزی، با توجه به کیفیت و کمیت پساب در دسترس و براساس نیازهای آبی گیاهان، نوع کشت مناسب و روش صحیح آبیاری، انتخاب می شود.

۴) کنترل مواجهه و تماس انسان

در پروژه های استفاده مجدد از پساب در کشاورزی، افرادی که به نحوی با مزارع و محصولات سروکار دارند یعنی کارگران مزارع و خانواده هایشان، مصرف کنندگان محصولات و افرادی که در نزدیکی اینگونه مزارع زندگی می کنند، با خطرات بالقوه ای مواجه هستند. تماس کارگران مزارع با کرم های قلابدار از طریق استفاده از کفش های مناسب، کاهش می یابد. ایمن سازی در مقابل عفونت های انگلی و اغلب بیماری های اسهالی عملی نیست، اما ایمن سازی افرادی که به شدت در معرض آلودگی هستند، در مقابل تیفوئید و هپاتیت، ارزشمند است. پختن کامل مواد غذایی و رعایت استانداردهای بالای بهداشتی، مخاطرات بهداشتی مربوط به مصرف کنندگان را کاهش خواهد داد. هیچ مدرکی در دست نیست که نشان دهد افراد ساکن در نزدیکی مزارع آبیاری شده با پساب در معرض مخاطرات بهداشتی مهمی هستند، ولی فاصله محل آبیاری بارانی تا منازل و جاده ها نباید کمتر از ۵۰ تا ۱۰۰ متر باشد.

خوردن محصولات مزارعی که به روش بارانی، آبیاری می شوند، به صورت خام بیشترین مخاطرات بهداشتی را ایجاد می کند. در این شرایط، زمان بقاء پاتوژن ها ممکن است از دوره رشد محصولات

بیشتر باشد لذا توجه به تصفیه مناسب فاضلاب و رعایت استانداردهای کیفیت پساب، حائز اهمیت است.

بروز آلودگی میکربی در جوامع در معرض پروژه های استفاده مجدد از پساب به عواملی نظیر جمعیت میکروارگانیسم و خصوصیات ایمنی و مقاومت بدن افراد وابسته است. در راستای کاهش مواجهه، آشنایی با فاکتورهای مؤثر بر زنده ماندن پاتوژن ها در خاک اهمیت دارد که عبارتند از: **میزان رطوبت:** رطوبت خاک و افزایش میزان بارندگی، زمان زنده ماندن باکتری ها در خاک را افزایش می دهد. این وضعیت در مورد اشرشیا کلی، سالمونلاتیفی و مایکو باکتریوم آویوم ثابت شده است.

ظرفیت نگهداری رطوبت: زمان زنده ماندن پاتوژن ها در خاک های شنی کوتاه تر از سایر خاک ها با ظرفیت نگهداری رطوبت بالاتر می باشد.

درجه حرارت: زمان بقاء میکروارگانیسم ها در درجه حرارت پائین تر نظیر فصل زمستان طولانی تر است.

pH: زمان بقاء در خاک های اسیدی ($pH= 3-5$) نسبت به خاک های با pH خنثی یا قلیایی کوتاه تر است. pH خاک بر دسترسی به مواد مغذی یا عوامل محدودکننده رشد اثرگذار است.

نور خورشید: زمان بقاء میکروارگانیسم ها در سطح خاک به دلیل درجه حرارت بالاتر و حضور اشعه ماوراء بنفش کوتاهتر از زیر سطح خاک است.

مواد آلی: مواد آلی همراه با ظرفیت نگهداری رطوبت، زمان بقاء باکتری ها را افزایش می دهد. رشد مجدد بعضی از باکتری ها نظیر سالمونلا، ممکن است در حضور مواد آلی رخ دهد. در خاک های دارای غلظت زیاد مواد آلی، بروز شرایط بی هوازی می تواند بقاء اشرشیاکلی را افزایش دهد.

میکروارگانیسم های خاک: میکروارگانیسم های بومی خاک از طریق رقابت و جلوگیری از رشد، زمان زنده ماندن سایر میکروارگانیسم ها را کاهش می دهند. به عبارتی، باکتری های روده ای در یک نمونه خاک استریل شده زمان بقاء طولانی تری نسبت به یک خاک غیراستریل دارند.

۲۰- آنالیز و ارزیابی ریسک استفاده مجدد از آب های بازیافتی در کشاورزی

ارزیابی ریسک یک روش منطقی برای تعیین اندازه کمی و کیفی خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از حوادث احتمالی بر روی افراد، مواد، تجهیزات و محیط است. در حقیقت از این طریق میزان کارآمدی روش های کنترلی موجود مشخص شده و داده های با ارزشی برای تصمیم گیری در زمینه کاهش ریسک، خطرات، بهسازی سیستم های کنترلی و برنامه ریزی برای واکنش به آنها فراهم می شود.

عموماً، ارزیابی کامل ریسک به دو بخش ارزیابی ریسک و مدیریت ریسک تقسیم می گردد. ارزیابی ریسک شامل بررسی و تحلیل اثرات بالقوه ریسک بر سلامت انسان است. ارزیابی ریسک با بهره گیری از اطلاعات آماری در خصوص ارتباط علت و معلولی، به عنوان ابزاری در اتخاذ تصمیمات آگاهانه مطرح می باشد. مدیریت ریسک عبارت است از فرآیند کاهش ریسکی که غیر قابل قبول تلقی می گردد. تحلیل ریسک زیست محیطی در چهار مرحله جداگانه انجام می شود:

۱. شناسایی ریسک: این مرحله شامل ارزیابی شواهد موجود و تعیین قابلیت یا عدم قابلیت یک ماده یا جزء در ایجاد اثرات مضر بر سلامت می باشد. شواهد مربوط به موادی که احتمال ایجاد اثرات نامطلوب توسط آنها بر سلامت انسان یا تأثیرات غیر قابل قبول بر محیط زیست وجود دارد، به عنوان بخشی از فرآیند شناسایی ریسک، جمع آوری می گردد. مطالعات بالینی، مطالعات اپیدمیولوژیک کنترل شده، مطالعات تجربی بر روی حیوانات و دیگر شواهد جمع آوری شده از حوادث و بلایای طبیعی، منابع اصلی این اطلاعات در مورد انسان به شمار می روند.

۲. ارزیابی تماس: تماس، فرآیندی است که ضمن آن یک ارگانیسم در مخاطره قرار می گیرد. این تماس با قابلیت دسترسی عامل تبدیل مخاطره به یک ریسک عینی است. در خصوص انسان، تماس ممکن است از مسیرهای مختلف از جمله استنشاق هوا، خوردن غذا یا آب، جذب پوستی از طریق تماس مستقیم یا جذب از طریق پوست به واسطه تابش پرتو روی دهد.

مراحل اصلی ارزیابی تماس شامل شناسایی جمعیت در معرض ریسک دریافت عامل مورد نظر، ارزیابی مسیرها و روش های تماس و تعیین میزان تماس می باشد. برای مثال سناریوی تماس در خصوص ارزیابی اثرات آب زیرزمینی حاوی مقدار مشخصی از تری کلرواتیلن (TCE) به این صورت می باشد: یک فرد بزرگسال با وزن ۷۰ کیلوگرم روزانه و به مدت ۷۰ سال ۲ لیتر آب زیرزمینی

حاوی ۵ میکروگرم در لیتر TCE نوشیده است. در این مثال، فرد بزرگسال دریافت کننده عامل ریسک، آب زیرزمینی مسیر، نوشیدن ۲ لیتر در روز آب حاوی ۵۰ میکروگرم بر لیتر TCE به مدت ۷۰ سال به عنوان تعریفی از تماس در نظر گرفته می شود.

۳. ارزیابی دز-واکنش: هدف اصلی ارزیابی دز-واکنش، تعریف رابطه ای (عموماً ریاضی) بین مقدار ماده سمی که انسان با آن در تماس است و ریسک به عنوان واکنش نامطلوب بر سلامت به آن مقدار، در انسان می باشد. الگوهای ریاضی برای تعیین دز-واکنش در غلظت های اندک ابداع گردیده اند. الگوهای دز-واکنش پیشنهاد شده در خصوص تماس انسان عبارتند از: الگوی تک تماس، الگوی چند مرحله ای، الگوی چند مرحله ای خطی، الگوی چند تماس و الگوی آماری. تابع ریاضی مورد استفاده در توصیف رابطه بین ریسک و مقدار برای یک الگوی تک تماسی به صورت زیر است:

$$P(d) = 1 - \exp[-(q_0 - q_1 d)] \quad (7)$$

$P(d)$: ریسک (احتمال) ابتلا به سرطان در طول عمر

q_0 و q_1 : شاخص های تجربی انتخاب شده به منظور تطبیق داده ها
d: دز

فرمول ریاضی مورد استفاده در توصیف رابطه بین ریسک و دز در الگوی چند مرحله ای عبارت است از:

$$P(d) = 1 - \exp \left[-\sum_{i=0}^n q_i d^i \right] \quad (8)$$

$P(d)$: ریسک (احتمال) ابتلا به سرطان در طول عمر

q_i : شاخص های تجربی انتخاب شده به منظور تطبیق داده ها
d: مقدار

الگوهای مختلفی به منظور تعیین ریسک مربوط به ترازهای اندک عوامل بیماریزای میکربی ارائه شده اند. U.S.EPA ریسک طول عمر را اینگونه تعریف کرده است:

$$\text{ریسک در طول عمر} = \text{CDI} \times \text{PF}$$

CDI: دریافت روزانه دراز مدت در طول عمر ۷۰ ساله، mg/kg.d

PF: ضریب حدت، $(\text{mg/kg.d})^{-1}$

دریافت روزانه دراز مدت (CDI) به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\text{CDI} = \frac{\text{مقدار کل، mg}}{(\text{وزن بدن، kg})(\text{طول عمر، d})} \quad (9)$$

مقدار کل در عمومی ترین شکل آن به صورت زیر محاسبه می گردد:

(ضریب جذب) (دوره تماس) (میزان دریافت) (غلظت اجزاء) = مقدار کل

علاوه بر اطلاعات دز-واکنش، U.S.EPA بر مبنای پیش فرض وجود حد آستانه برای برخی تأثیرات سمی همچون مرگ موضعی بافت زنده، مقادیر مرجع (RfD) را برای تعدادی از مواد تعیین کرده است. بطور کلی RfD بر مبنای نتایج مطالعات اپیدمیولوژیک، مطالعات طولانی مدت بر روی حیوانات و سایر اطلاعات سم شناسی موجود تعیین شده است. RfD به عنوان یک مرجع در ارزیابی اثرات بالقوه مورد استفاده قرار می گیرد و معمولاً مقادیر کمتر از RfD منجر به ریسک های مربوط به سلامت نخواهد شد. اما با افزایش تعداد موارد تماس های بالاتر از RfD و همچنین افزایش کمیت این تماس ها، احتمال مشاهده تأثیرات نامطلوب بر سلامت عمومی در جامعه افزایش خواهد یافت. RfD با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$RfD = \frac{NOAEL \text{ or } LOAEL}{(UF_1 \times UF_2 \dots) \times MF} \quad (10)$$

NOAEL: سطح بدون اثرات نامطلوب قابل مشاهده

LOAEL: کمترین سطح دارای اثرات نامطلوب قابل مشاهده

UF₁, UF₂: ضرایب عدم اطمینان

MF: ضریب تصحیح

در رابطه بالا، میزان LOAEL تنها در زمان عدم دسترسی به NOAEL مناسب، مورد استفاده است. با توجه به محدودیت دانش در زمان های مختلف و نظر به اینکه در شناسایی ریسک، بیشتر ارزیابی ها حاصل انجام مطالعات و آزمایش بر روی حیوانات است، لذا در ارزیابی ریسک، نتایج تحلیل ها باید به عنوان یک راهنما در اتخاذ تصمیمات مورد استفاده قرار گیرد.

۴. تعیین ریسک: مرحله پایانی در ارزیابی ریسک، تعیین ریسک است که در آن پرسش هایی در خصوص اینکه چه کسی در معرض ریسک بوده و اثرات احتمالی به چه صورت می باشند تا حد امکان تعیین می شوند. تعیین ریسک شامل تلفیق تماس و ارزیابی های دز-واکنش به منظور بدست آوردن احتمالات کمیت اثرات در انسان در شرایط تماس معین می باشد.

۲۰-۱ ارزیابی ریسک در شرایط استاندارد

ارزیابی ریسک در مدیریت فاضلاب شامل اثرات مرتبط با مصرف آب بازیافتی با سطح تصفیه بالا و اثرات آن بر بهداشت و محیط زیست است. ریسک قابل قبول ۱ در ۱۰۰۰۰ اغلب در ارزیابی ریسک زیست محیطی مورد استفاده قرار می گیرد. ریسک های کمتر از ۱ در ۱۰۰۰۰ بسیار اندک در نظر گرفته می شوند.

۲۰-۲ مدیریت ریسک

مدیریت ریسک شامل تدوین معیارها، رهنمودها و خط و مشی های مدیریتی برای مواد ویژه شامل مواد سمی و عوامل عفونی می باشد. به عنوان مثال، در صورتی که یک ماده سمی یا میکروارگانیسم عفونی بر مبنای ارزیابی ریسک در سطحی بالاتر از حداکثر غلظت مجاز وجود داشته باشد، مدیریت ریسک شامل تعیین موارد مدیریتی و یا فناوری لازم به منظور محدود نمودن ریسک در سطح قابل قبول خواهد بود. بنابراین، توسعه و گزینش گزینه های دیگر از جمله انتخاب، طراحی و اجرا، پایش و بازبینی از اجزاء با اهمیت مدیریت ریسک مربوط به سلامت، محسوب می گردند.

۲۰-۳ ارزیابی ریسک در استفاده مجدد از آب های بازیافتی

در کشورهای کمتر توسعه یافته که انجام سطوح پیشرفته تصفیه فاضلاب امکان پذیر نبوده یا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، برخی از محققان با استفاده از کنترل مسیرهای احتمالی انتقال عفونت های مربوط به مواد دفعی بدن، به دنبال ارزیابی ریسک استفاده از آب بازیافتی با کیفیت متغیر در کاربردهای مختلف استفاده مجدد آب بوده اند. رهنمودهای مربوط به سلامت سازمان جهانی بهداشت در خصوص استفاده از فاضلاب در کشاورزی و پرورش آبزیان یکی از مواردی است که در غلظت های بالایی از عوامل بیماری زا در فاضلاب و پساب های نیمه تصفیه شده موجود است.

در ایالات متحده، از بین مواد موجود در آب بازیافتی، به دلیل عفونت زایی ویروس های روده ای در مقادیر اندک، دوام طولانی مدت در محیط زیست، دشوار بودن پایش آنها، بازده اندک حذف و غیر فعال سازی آن ها در تصفیه متداول فاضلاب، بیش از هر چیز مورد توجه هستند. با این وجود، اخیراً مواد آلی و معدنی همچون آرسنیک و N-نیتروزودی متیل آمین (NDMA) که ممکن است در فاضلاب تصفیه شده وجود داشته باشند، نیز به دلیل ضرایب حدت قابل توجه آن ها مورد

توجه قرار گرفته اند.

ریسک های مربوط به سلامت در خصوص ویروس های روده ای در آب بازیافتی، بطور معمول با روش ارزیابی کمی ریسک های میکربی مورد بررسی قرار می گیرند. به دلیل دامنه وسیع تغییرات غلظت ویروس های روده ای و همچنین قابل توجه بودن این تغییرات در پساب های تصفیه ثانویه کلرزی نشده، تعیین این تغییرات از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

در ارتباط با ایمنی کاربرد آب های بازیافتی، دو مفهوم مورد استفاده قرار می گیرد: (۱) قابلیت اطمینان که عبارت است از عدم امکان افزایش ریسک عفونت از میزان تعیین شده و (۲) احتمال وقوع که عبارت است از ریسک سالیانه قابل قبول که در آن تماس با ویروس های روده ای بصورت تصادفی و از طریق شبیه سازی های عددی همچون روش های مونت کارلو قابل محاسبه است. در قوانین تصفیه آب سطحی، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا عفونت یک در هر ۱۰۰۰۰ نفر جمعیت در هر سال بواسطه عوامل بیماریزا در مخازن عمومی آب، قابل قبول فرض می گردد.

۲۰-۳-۱ محدودیت های ارزیابی ریسک استفاده مجدد از آب های بازیافتی

گرچه ارزیابی ریسک در موارد گوناگون به عنوان یک روش کمی در تصمیم گیری مورد استفاده می باشد، محدودیت های قابل توجهی در خصوص کاربرد ارزیابی ریسک در استفاده مجدد آب های بازیافتی وجود دارد. محدودیت های اصلی ارزیابی ریسک در این زمینه عبارت است از:

- ماهیت نسبی ارزیابی ریسک در شیوه اجرای فعلی

- بررسی نامناسب عفونت های ثانویه میکربی در ارزیابی ریسک

- محدود بودن داده های قابل اطمینان دز-واکنش (مهمترین محدودیت)

به دلیل ناممکن بودن تعیین ریسک قطعی با توجه به سطح دانش فعلی، ریسک نسبی سلامت در برابر ریسک قطعی، در ارزیابی ایمنی روش های استفاده مجدد آب های بازیافتی بکار می رود. در ارزیابی ریسک مواد شیمیایی، مبنای تحلیل شخصی است که ماده مورد نظر از راه دهان وارد بدنش شده است. با این حال در ارزیابی ریسک میکربی، به دلیل انتقال فرد به فرد ویروس های روده ای، روش های کمی جامع تری، مورد نیاز است. به دلیل احتمال انتقال فرد به فرد بیماری، عفونت ثانویه باید در ارزیابی ریسک های میکربی خصوصاً هنگامی که جمعیت بزرگی در معرض ریسک است (برای مثال شناکردن در برکه های حاوی آب بازیافتی) در نظر گرفته شود. به منظور توصیف عفونت حاصل از ویروس های روده ای و بیماری در بین جمعیت در معرض ریسک،

شمارش افراد دارای عفونت و نشانه دار، دارای عفونت و بدون نشانه، بدون عفونت و بدون نشانه، بدون عفونت و نشانه با ایمنی کوتاه مدت یا نسبی و تغییر حالت بین حالت های ذکر شده، پیشنهاد می گردد.

مهمترین محدودیت در بکارگیری ارزیابی ریسک در استفاده مجدد آب های بازیافتی، محدودیت در دسترس بودن داده های دز-واکنش در خصوص مواد مورد نظر در استفاده مجدد است. از آنجا که داده های دز-واکنش به عنوان مبنای بیشتر الگوسازی های ریاضی مورد استفاده قرار می گیرند، نتایج بدست آمده از تلاش های مربوط به الگوسازی می باید بصورت منطقی بکار گرفته شوند. در این میان، تبادل نظر در سطح ملی به منظور ایجاد اتفاق نظر در خصوص سطح قابل قبول ریسک های مربوط به سلامت و محیط زیست، از اهمیت بالایی برخوردار است.

۲۰-۴ ارزیابی ریسک بهداشتی

در ارزیابی ریسک بهداشتی با تأکید بر آنالیز داده های میکربی و نتایج مطالعات اپیدمیولوژیکی به ارزیابی های کمی ریسک میکربی پرداخته می شود. در واقع آنالیز میکربی اطلاعاتی را برای مطالعات اپیدمیولوژیکی و QMRA (تحلیل کمی خطر میکربی) فراهم می کند. هر نوع ارزیابی محدودیت هایی را دارد اما آنها همچنین می توانند اطلاعات کاملی را فراهم کنند.

۲۰-۴-۱ ریسک های بهداشتی میکربی

مهمترین محدودیت استفاده مجدد از فاضلاب، نگرانی از بعد مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی است. فاضلاب ها حاوی انواع مختلفی از ارگانیسم های بیماری زا می باشند. هدف اصلی فرآیند گندزدایی در تصفیه فاضلاب، حذف این عوامل است اما بهره برداری مداوم از این مرحله، هزینه بر بوده و فراتر از توانایی های مالی و فنی بعضی از مناطق در کشورهای در حال توسعه است. بعضی از این ارگانیسم های بیماریزا از طریق مصرف آب و غذای آلوده روی سلامت انسان تأثیر می گذارند. فاکتورهای اصلی مؤثر بر درجه ریسک بهداشتی میکربی استفاده مجدد شامل موارد زیر است:

- توانایی ها پاتوژن ها برای بقاء در محیط (جدول ۱۶)
- دز عفونت زایی عامل بیماری زا (جدول ۱۷)
- وجود یا عدم وجود میزبان های واسط
- حساسیت فرد در معرض خطر

جدول ۱۶- زمان بقاء میکروارگانیسم ها در محیط های مختلف
(درجه حرارت ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس)

نوع میکروارگانیسم	شرایط محیط	زمان بقاء
باکتری سیاه زخم	آب و فاضلاب	۱۹ روز
تخم آسکاریس	سبزیجات	۲۷-۲۵ روز
	زمین های آبیاری شده با فاضلاب خاک	۳-۲ سال ۶ سال
عامل بیماری های اسهالی	آب	۱۶۰ روز
کلیفرم	چمن ها برگ ها گوجه فرنگی سطح زمین مدفوع آب و فاضلاب خاک روی محصولات	۱۴ روز
		۱۴-۱۲ روز ۳۵ روز ۳۸ روز کمتر از ۹۰ روز (کمتر از ۵۰ روز) کمتر از ۶۰ روز (کمتر از ۳۰ روز) کمتر از ۷۰ روز (کمتر از ۲۰ روز) کمتر از ۳۰ روز (کمتر از ۱۵ روز)
اسهال آمیبی	سبزیجات، آب	۳ روز، ماه ها
پلی ویروس	آب آلوده	۳۰ روز
کیست های کبدی	علوفه خشک علوفه خشک کثیف	چند هفته ۳۸ روز
استرپتوکوک	خاک سطح خاک	۳۶-۳۳ روز ۳۸ روز
		۶ هفته، ۴ هفته، ۳ هفته، ۴۰ روز، ۴۰ روز، ۱۰ روز، ۵ روز، ۱۲-۵ هفته، ۱۷ هفته کمتر از ۶۰ روز (کمتر از ۳۰ روز) کمتر از ۶۰ روز (کمتر از ۳۰ روز) کمتر از ۷۰ روز (کمتر از ۲۰ روز) کمتر از ۳۰ روز (کمتر از ۱۵ روز)
سالمونلا	چمن، سبزیجات، برگ چغندر، سطح خاک، سیب زمینی، هویج، کلم، خاک شنی، لجن هضم شده مدفوع آب و فاضلاب خاک روی محصولات	

ادامه جدول ۱۶- زمان بقاء میکروارگانسیم ها در محیط های مختلف
(درجه حرارت ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس)

نوع میکروارگانسیم	شرایط محیط	زمان بقاء
شیگلا	چمن، سبزیجات، خاک مدفوع آب و فاضلاب روی محصولات	۶ هفته، ۷ روز، ۶۳-۲۵ روز کمتر از ۳۰ روز (کمتر از ۱۰ روز) کمتر از ۳۰ روز (کمتر از ۱۰ روز) کمتر از ۱۰ روز (کمتر از ۵ روز)
سالمونلا تیفی	آب آلوده	۱۰۴ - ۸۷ روز
ویبریوکلرا	آب، فاضلاب مدفوع خاک روی محصولات	۲۳روز، ۵ روز کمتر از ۳۰ روز (کمتر از ۵ روز) کمتر از ۲۰ روز (کمتر از ۱۰ روز) کمتر از ۵ روز (کمتر از ۲ روز)
لپتوسپیرا	آب، آب رودخانه، فاضلاب	ماه ها، ۸ روز، ۳۰ روز
ویروس ها	مدفوع آب و فاضلاب خاک روی محصولات	کمتر از ۱۰۰ روز (کمتر از ۲۰ روز) کمتر از ۱۲۰ روز (کمتر از ۵۰ روز) کمتر از ۱۰۰ روز (کمتر از ۲۰ روز) کمتر از ۶۰ روز (کمتر از ۱۵ روز)
پروتوزوئرها	مدفوع آب و فاضلاب خاک روی محصولات	کمتر از ۳۰ روز (کمتر از ۱۵ روز) کمتر از ۳۰ روز (کمتر از ۱۵ روز) کمتر از ۲۰ روز (کمتر از ۱۰ روز) کمتر از ۱۰ روز (کمتر از ۲ روز)
آسکاریس	مدفوع آب و فاضلاب خاک روی محصولات	چند ماه چند ماه چند ماه کمتر از ۶۰ روز (کمتر از ۳۰ روز)

جدول ۱۷- غلظت ارگانسیم ها و مقدار عفونت زایی آنها در فاضلاب خام

محدوده عفونت زائی، تعداد ارگانسیم ها ^ب	غلظت در فاضلاب خام الف (MPN/100ml)	انواع ارگانسیم	ارگانسیم
-	۱۰ ^۷ -۱۰ ^{۱۰}	باکتریوئیدس	باکتری ها
-	۱۰ ^۷ -۱۰ ^۹	کلیفرم کل	
۱۰ ^۶ -۱۰ ^{۱۰}	۱۰ ^۶ -۱۰ ^۸	کلیفرم مدفوعی ^ج	
۱-۱۰ ^{۱۰}	۱۰ ^۳ -۱۰ ^۵	کلستریدیوم پرفرنزنس	
-	۱۰ ^۴ -۱۰ ^۵	انتروکوکسی	
-	۱۰ ^۴ -۱۰ ^۷	استرپتوکوک های مدفوعی	
-	۱۰ ^۳ -۱۰ ^۶	سودوموناس آئروژینوزا	
۱۰-۲۰	۱۰ ^۰ -۱۰ ^۳	شیگلا	
۱۰ ^۱ -۱۰ ^۸	۱۰ ^۲ -۱۰ ^۴	سالمونلا	
۱-۱۰	۱۰ ^۱ -۱۰ ^۳	اسیست کریتوسپوریدیوم پاروم	
۱۰-۲۰	۱۰ ^{-۱} -۱۰ ^۳	کیست آنتاموبا هیستولیتیکا	
<۲۰	۱۰ ^۳ -۱۰ ^۴	کیست ژیا ردیا لامبلیا	
-	۱۰ ^۱ -۱۰ ^۳	تخمک	کرم ها
۱-۱۰	۱۰ ^{-۲} -۱۰ ^۰	آسکاریس لومبریکوئیدس	
۱-۱۰	۱۰ ^۳ -۱۰ ^۴	ویروس های روده ای	ویروس ها
-	۱۰ ^۳ -۱۰ ^۴	کلی فاژ (باکتریوفاژ آلاینده E.coli)	

^{الف} این مقادیر با مرگ و میر و تکثیر میکروارگانسیم ها و نسبت به زمان تغییر می نمایند.

^ب مقادیر عفونت زائی با توجه به گونه یا ازدیاد ارگانسیم و بهداشت عمومی تغییر می کند.

بدین ترتیب بعضی از میکروارگانسیم ها مثل سالمونلا تیفی، مدت زمان کوتاهی در فاضلاب زنده می مانند ولی بعضی دیگر مانند آسکاریس یا بعضی ویروس های عفونت زا به شدت در محیط زیست مقاومت می کنند. گرچه مطالعات نشان داده است که میکروارگانسیم ها نمی توانند از نقاط آسیب دیده سبزیجات به داخل آنها نفوذ کنند ولی ادامه حیات عوامل پاتوژن در کنار برگ سبزیجات، امکان پذیر بوده و این زمان بقاء، اغلب خیلی طولانی است.

یکی از مهمترین عوامل حائز اهمیت در استفاده مجدد، بقاء ارگانسیم های بیماری زا در محیط زیست می باشد. بقاء پاتوژن ها به فاکتورهایی بستگی دارد که در جدول (۱۸) ارائه شده است.

جدول ۱۸- فاکتورهای تأثیرگذار بر بقاء پاتوژن ها در محیط

فاکتور	توضیحات
رطوبت	محیط های مرطوب برای بقاء پاتوژن ها مساعد هستند.
محتوای خاک	محیط های خشک، مرگ پاتوژن ها را تسهیل می کند.
دما	دما مهمترین فاکتور در مرگ پاتوژن ها است. دماهای بالا منجر به مرگ سریع تر و دماهای پایین منجر به بقاء پاتوژن ها می شود. دماهای انجماد همچنین موجب مرگ پاتوژن ها می شود.
pH	بعضی از ویروس ها در خاک های با pH پایین تر مدت زمان طولانی تری زنده می مانند در حالیکه خاک های قلیایی با مرگ سریع تر ویروس ها در ارتباط است. خاک های خنثی تا کمی قلیایی برای بقاء باکتری ها مناسب هستند.
نور خورشید (تابش ماوراء بنفش)	نور خورشید مستقیم از طریق خشک کردن و تماس با تابش ماوراء بنفش منجر به غیرفعال سازی سریع پاتوژن ها می شود.
برگ درختان/ نوع گیاه	گیاهان مخصوصی که سطوح لزج و چسبناکی دارند (مانند کدو) یا می توانند پاتوژن ها را از محیط جذب کنند (مانند کاهو، کلم) منجر به بقاء طولانی مدت بعضی از پاتوژن ها می شوند. محصولات ریشه ای نظیر پیاز بیشتر مستعد آلودگی هستند و بقاء پاتوژن ها را تسهیل می کنند.
رقابت با گیاهان و جانوران بومی	اثرات آنتاگونیستی از باکتری ها یا جلبک ها ممکن است مرگ پاتوژن ها را بهبود دهد. باکتری ممکن است توسط پروتوزوا شکار شود.

۲۰-۴-۱-۱ میکروارگانیسم های موجود در فاضلاب

در سیستم های تصفیه فاضلاب، میکروارگانیسم ها به عنوان تجزیه کننده های مفید مواد آلی، عمل می کنند. فاضلاب خام خانگی حاوی محدوده وسیعی از میکروارگانیسم های بیماری زا می باشد. میکروارگانیسم های بیماری زا شامل چهار گروه باکتری ها، تک یاخته ها، کرم ها و ویروس ها بوده و دارای نقش اساسی در ارتباط با کیفیت بهداشتی آب آبیاری می باشند.

۲۰-۴-۱-۱-۱ باکتری ها

باکتری ها میکروارگانیسم هایی در اندازه های ۰/۲ تا ۱۰ میکرون هستند. فاضلاب شهری حاوی تنوع وسیعی از باکتری ها است که از طریق مدفوع افراد مبتلا، به محیط زیست وارد می شوند. از جمله باکتری های فاضلاب خام می توان به گونه های ویبریو، مایکوباکتریوم، کلوستریدیوم، لپتوسپیرا و یرسینیا اشاره نمود. جمعیت باکتریایی فاضلاب می تواند به میزان قابل توجهی از طریق روش های فیزیکی نظیر ته نشینی یا فیلتراسیون، کاهش یابد. باکتری ها می توانند به ذرات معلق یا ذرات لخته ای چسبیده و طی ته نشینی ثانویه یا در فرآیندهای تصفیه پیشرفته نظیر

انعقاد/لخته سازی/ ته نشینی، حذف شوند. باکتری‌ها همچنین می‌توانند با استفاده از فیلترهای شنی، فیلترهای دیسکی و یا فرآیندهای غشایی، حذف و یا توسط گندزدایی، غیرفعال و نابود شوند.

۲۰-۴-۱-۲ ویروس‌ها

ویروس‌ها شکل‌های متفاوتی داشته و دارای اندازه‌ای در محدوده ۰/۱ تا ۰/۳ میکرون هستند. ویروس‌ها برعکس باکتری‌ها در مدفوع تمام افراد وجود نداشته بلکه فقط در مدفوع افراد مبتلا دیده می‌شوند و از طریق آب آلوده، تماس با شخص بیمار یا مصرف غذای آلوده وارد بدن سایر افراد می‌گردند. بیشتر از ۱۰۰ نوع ویروس روده‌ای وجود داشته که قادر به تولید بیماری یا عفونت می‌باشند. ویروس‌ها در مقابل تنش‌های محیطی نسبت به باکتری‌ها مقاوم‌تر هستند. با این حال برخی از ویروس‌ها تنها برای مدت کوتاهی در فاضلاب باقی می‌مانند. ویروس‌ها می‌توانند بطور فیزیکی، حذف یا غیرفعال شوند. گرچه به دلیل اندازه نسبتاً کوچک ویروس‌ها، فرآیندهای ته نشینی و فیلتراسیون، کمتر مؤثر هستند ولی با استفاده از غشاهای اولترافیلتراسیون می‌توان به حذف قابل توجهی از ویروس‌ها دست یافت. کاربرد فرآیندهای گندزدایی نظیر استفاده از پرتو UV از جمله روش‌های اصلی حذف عوامل پاتوژن است. برای غیرفعال سازی ویروس‌ها توسط UV به دوز بالاتری از پرتو نسبت به باکتری‌ها و پروتوزوئرها نیاز است. هرچند پایش پاتوژن‌های ویروسی خاص در نمونه‌های فاضلاب، اطلاعات مطمئن‌تری را برای ارزیابی ریسک ابتلاء به عفونت‌های ویروسی منتقله از آب، فراهم می‌نماید ولی پایش مستقیم چند پاتوژن ویروسی در آب، مشکل و غیرعملی است.

در بررسی‌هایی که تاکنون در مورد بیماری‌های ویروسی صورت گرفته است، افزایش شیوع این نوع بیماری‌ها در کارگران کشاورزی و همچنین کارگران تصفیه‌خانه‌های فاضلاب که مستقیماً در معرض فاضلاب قرار دارند، ثابت نشده است. البته مطابق با نظریه‌ای، ساکنان نزدیک به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و مزارع تحت آبیاری با پساب خصوصاً با روش آبیاری بارانی، احتمال مبتلا شدن به بیماری‌های منطقه‌ای در ایشان بیشتر است.

۲۰-۴-۱-۳ تک‌یاخته‌ها و کرم‌ها

تک‌یاخته‌ها موجودات تک سلولی و معمولاً بزرگتر از باکتری‌ها هستند. بیشتر کیست‌ها، اسپورها، اسیست‌ها و تخم‌انگل‌ها دارای اندازه‌ای از ۱ تا بزرگتر از ۶۰ میکرون هستند. اسیست

کریپتوسپوریدیوم پاروم و کیست ژیا ردیا لامبلیا بیشترین شکل مقاوم تک یاخته ها هستند. این ارگانیسم ها از اهمیت قابل اعتنایی برخوردارند زیرا تقریباً در تمامی انواع فاضلاب ها وجود داشته و تکنیک های گندزدایی با کلر، تأثیر مطلوبی در غیر فعال سازی یا تخریب آنها ندارد. کرم ها شامل نماتودها، ترماتودها و سستودها بوده و می توانند به صورت ارگانیسم های بالغ، لارو یا تخم در فاضلاب یا آب های آلوده وجود داشته باشند. تخم و لارو کرم ها اندازه ای در حدود ۱۰ تا بیشتر از ۱۰۰ میکرون دارند و نسبت به تنش های محیطی، مقاوم می باشند. نتایج مطالعات گذشته نشان داده است در مناطقی که آلودگی به بیماری انگلی ناشی از آسکاریس و تریکوریس بصورت محلی وجود دارد و از سویی محصولات سالادی و سبزیجاتی که خام به مصرف می رسند، با فاضلاب تصفیه نشده آبیاری می شوند روند گسترش و سرایت بیماری، افزایش می یابد. مطابق با شواهد موجود، اگر چرای گله های گاو در مزارع آبیاری شده با فاضلاب در فاصله زمانی کمی نسبت به زمان آبیاری باشد ویا اینکه کانال های عبور فاضلاب در معرض عبور گاوها باشند و دام از آن بنوشد، آلودگی به بیماری های مرتبط نظیر کرم کدوی گاوی افزایش می یابد. مطابق با گزارشات دانشمندان هندی، کارگران مزارع تحت آبیاری با فاضلاب خام به ویژه در مناطقی که آلودگی به کرم قلابدار و آسکاریس شایع است، بیشتر از کارگران مناطق مشابه، آلوده می باشند.

نتایج مطالعات انجام شده در مورد اثر کیفیت آب روی آلودگی محصول با کرم ها نشان داد که سطوح آلودگی محصول در هنگام برداشت با توجه به نوع فرآیند تصفیه و کیفیت پساب، متفاوت است (جدول ۱۹).

جدول ۱۹- اثر کیفیت آب روی آلودگی محصول با کرم ها

خلاصه ای از مشاهدات مرتبط با آلودگی گیاه به تخم نماتود	نوع تصفیه و کیفیت پساب، تعداد تخم های نماتود در لیتر
سطوح آلودگی کاهو در زمان برداشت:	
(i) بالاتر از ۶۰ عدد تخم کرم بر روی گیاه	(i) فاضلاب خام، >100
(ii) ۰/۶ عدد تخم کرم بر روی گیاه	(ii) برکه های تثبیت فاضلاب، >10
(iii) ۰ عدد تخم کرم بر روی گیاه	(iii) برکه های تثبیت فاضلاب، $<0/5$
(iv) ۰ عدد تخم کرم بر روی گیاه	(iv) برکه های تثبیت فاضلاب، ۰
سطوح آلودگی کاهو در زمان برداشت:	
(i) بالاتر از ۲/۲ عدد تخم کرم بر روی گیاه	(i) برکه های تثبیت فاضلاب، ۵۰
(ii) حداکثر ۱/۵ عدد تخم کرم بر روی گیاه	(ii) برکه های تثبیت فاضلاب، ۱۰
(iii) ۰/۳ عدد تخم کرم بر روی گیاه	(iii) برکه های تثبیت فاضلاب، ≤ 1

تک یاخته ها و کرم ها بدلیل اندازه نسبتاً بزرگشان نسبت به سایر عوامل پاتوژن می توانند بطور فیزیکی توسط ته نشینی یا فیلتراسیون حذف شوند. تک یاخته ها و کرم ها نسبت به گندزدایی با کلر و دیگر گندزداهای شیمیایی، مقاوم می باشند اما ممکن است توسط اشعه UV غیرفعال شوند. مطالعات اخیر از طریق سنجش های مولکولی، اثر UV بر غیر فعال سازی کیست عوامل پاتوژن را تأیید کرده اند.

۲۰-۴-۱-۲ شواهد اپیدمیولوژیکی

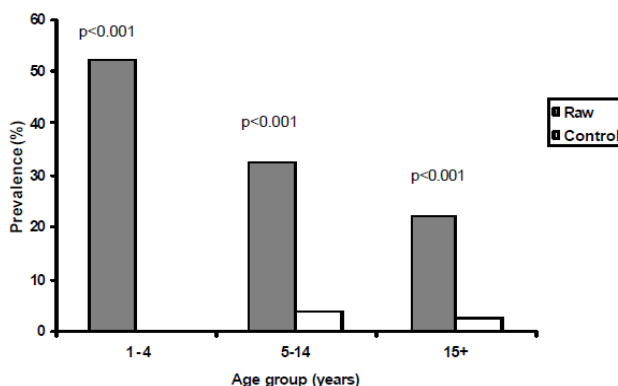
پاتوژن های موجود در فاضلاب ها و آب های بازیافتی، گروه های جمعیتی متفاوتی را تحت تأثیر قرار می دهند. مصرف کنندگان سبزیجات خام نسبت به افرادی که سبزیجات را بصورت پخته مصرف می کنند، در معرض خطر بالاتری می باشند. کارگرانی که در مزارع آبیاری شده با فاضلاب کار می کنند در معرض خطر بالاتری نسبت به کسانی هستند که در مکان های دیگر کار می کنند. چهار گروه در معرض خطر حاصل از کاربرد فاضلاب در کشاورزی هستند: کارگران مزرعه و خانواده های آنها، کسانی که محصولات را از مزارع تا محل فروش حمل می کنند، مصرف کنندگان، کسانی که در نزدیکی مناطق آبیاری شده با فاضلاب زندگی می کنند.

۲۰-۴-۱-۲-۱ خطر برای کارگران و خانواده های آنها

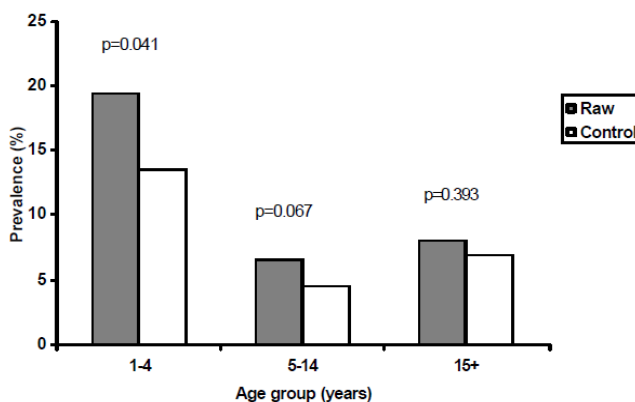
در مناطقی که از فاضلاب خام جهت آبیاری مزارع استفاده می شود، کارگران و خانواده های آنها در معرض ابتلاء به بیماری های اسهالی و آلودگی به آسکاریس قرار دارند (شکل ۳ و ۴). تماس مستقیم با فاضلاب تصفیه نشده از طریق آبیاری غرقابی و شیری می تواند منجر به افزایش عفونت های انگلی (مخصوصاً آلودگی به آسکاریس) شود که اثرات آن در کودکان نسبت به بزرگسالان، آشکارتر است. در رابطه با فاضلاب های تصفیه شده، با توجه به درجه تصفیه، میزان شیوع عفونت به آسکاریس کاهش می یابد. مطالعات انجام شده در مورد بیماری های اسهالی مرتبط با تماس مستقیم با فاضلاب نشان می دهد که:

- ریسک ابتلا به بیماری های اسهالی بویژه در کودکان و در فصول خشک سال به دلیل امکان تماس با فاضلاب، افزایش می یابد.
- تصفیه جزئی فاضلاب (تا حد 10^5 MPN عدد کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر) اثر عفونت زائی فاضلاب را در بزرگسالان کاهش داده در حالی که تأثیری بر کاهش شیوع عفونت در کودکان ندارد.

- در مکان هایی که احتمال تماس زیاد کودکان با فاضلاب وجود دارد، درجه تصفیه تا حد دستیابی به 10^4 MPN کلیفرم های مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر نیاز می باشد. در غیر این صورت، امکان تماس کودکان با فاضلاب باید کاهش یابد.



شکل ۳- اثر تماس کارگران مزارع با فاضلاب خام بر آلودگی به آسکاریس



شکل ۴- اثر تماس کارگران مزارع با فاضلاب خام بر شیوع بیماری های اسهالی

کارگران شاغل در پروژه های تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از آن در کشاورزی بصورت بالقوه در معرض آلودگی با عوامل بیماری زا (کرم ها، باکتری ها، ویروس ها و تک یاخته ها) می باشند. از این گروه به ویژه کارگران شاغل در مراحل مختلف تصفیه و دفع لجن به دلیل تماس بیشتر از

آسیب پذیری بیشتری نسبت به کارگران شاغل در در مزرعه برخوردارند. راه اصلی انتقال بیماری در این گروه از راه دهان بوده که به وسیله آلوده شدن دست در اثر تماس با محیط آلوده و انتقال عامل بیماریزا به سیستم گوارشی صورت می گیرد. در مراحل بعد، دریافت عوامل بیماری زا از طریق پوست و همچنین تنفس نیز صورت می گیرد. تماس با آب آلوده و خاک آبیاری شده با پساب، هر دو می توانند در انتقال بیماری مؤثر باشند. نتایج حاصل از یک مطالعه شاهد-موردی در مزارع برنج آبیاری شده با فاضلاب در ویتنام نشان داده است که کشاورزانی که برای آبیاری از فاضلاب استفاده کرده اند نسبت به کشاورزانی که از آب رودخانه برای آبیاری استفاده کرده اند، بیشتر در معرض خطر آلودگی به انگل ها می باشند. خطر ابتلا به عفونت توسط کرم های روده ای برای کارگرانی که کفش مناسب نمی پوشند، بالاست. با این حال چنین مخاطراتی را می توان با کاربرد روش های آبیاری مناسب و کمتر آلوده کننده و نیز با پوشیدن لباس های حفاظت فردی (کفش، چکمه و دستکش) کاهش و حتی حذف نمود. میزان تأثیر این روش های حفاظتی در کاهش انتقال پاتوژن ها بصورت کمی هنوز مشخص نشده است. پوشیدن کفش و یا چکمه در مناطقی که خطر انتقال کرم فلابدار و شیستوزومیازیس وجود دارد، سودمند است. کارگران مزرعه باید به توالت بهداشتی و آب سالم برای مصارف شرب و بهداشت، دسترسی داشته باشند و از هرگونه تماس با فاضلاب دوری نمایند.

با توجه به امکان بروز مخاطرات بهداشتی در گروه های مختلف، برنامه های آموزشی مرتبط با ارتقای سلامت، باید کارگران کشاورزی، حمل کنندگان محصولات کشاورزی، فروشندگان و مصرف کنندگان را مورد هدف قرار دهد. در این راستا، شستشوی صحیح دست ها با صابون باید مورد تأکید قرار گیرد.

خطر خوردن تخم های انگل توسط دام از طریق خاک بالا است زیرا ۱۸-۱ درصد از ماده خشک بلعیده شده توسط گاو و ۳۰ درصد این مواد در گوسفند است. اگرچه تخم کرم تیناسازیناتا برای ماه ها بر روی خاک زنده می ماند، اما خطر انتشار سیستی سرکوزیس گاوی با توقف آبیاری مزارع با فاضلاب دو هفته قبل از چرای دام کاهش می یابد. از طرفی انتقال کرم نواری را می توان توسط بازرسی خوب گوشت کنترل نمود، مشروط بر آنکه دام ها در یک کشتارگاه های تحت نظارت دامپزشکی ذبح شوند و کلیه دام های ذبح شده، بازرسی و موارد آلوده، معدوم گردد. در خصوص مناطق آندمیک شیستوزومیازیس، احتیاط های لازم باید انجام گیرد. برای مثال کارگران مزارع هنگامی که در کانال ها مشغول به کار می باشند باید چکمه بپوشند.

انتقال بیماری از طریق محصولات که جنبه غذایی ندارند فقط در کارگران مزارع و با افرادی که در فرآوری مواد غذایی از این محصولات کار می کنند، اتفاق می افتد. تماس افراد و به ویژه کشاورزان با زمین های مرطوبی که با فاضلاب آبیاری شده یکی از مهمترین راه های انتقال بیماری است. به همین دلیل برای حفظ سلامتی کارگران باید لباس های حفاظتی مخصوص، تدارک دیده شود. همچنین باید همزمان با رعایت سطح بالای مسائل بهداشتی، افراد در مقابل آلودگی های موجود مصون سازی شوند (جدول ۲۰).

جدول ۲۰- برنامه پایش برای کارگران شاغل در طرح استفاده از پساب در آبیاری

تناوب پایش ها	نوع و ویژگی پایش های مرتبط با سلامت کارگران
ماهانه	-
فصلی	معاینات کلینیکی
شش ماه	آزمایش از نظر بیماری های مرتبط با پساب شامل حصه، شبه حصه، وبا، هپاتیت، کرم های انگلی شامل آسکاریس، آنکی لوستوم دئودنال، تریکوریس تریکورا، استروژیلوییدس استراکوریس، تنیها، فاسیولا، شیستوزومیا
سالانه	بیماری های قارچی پوستی

برنامه پایش بهداشتی کارگران و کارکنان به قرار زیر پیشنهاد می شود:

هنگام شروع کار یا در بدو استخدام باید آزمایش پزشکی توسط پزشک داخلی جهت تشخیص ناقلین سالم یعنی تشخیص سرپایی کم خونی، بی حالی و سفیدی چشم، امکان ابتلاء به بیماری های انگلی و سپس آزمایش های مدفوع انجام گیرد. آزمایش مدفوع شامل کشت مدفوع جهت حصه و شبه حصه و آزمایش انگل های آسکاریس، آنکیلوستوم، تریکوریس و استرنزیلوئید (وجود تخم انگل یا نوع وژتاتیو) می باشد. در همین راستا دفترچه بیمه کارگر توسط پزشک جهت سوابق بیماری مورد بررسی قرار می گیرد. در صورت نداشتن دفترچه بیمه، توسط پرسش و پاسخ سوابق بیماری شخص یادداشت می گردد. هر شش ماه یکبار معاینه توسط پزشک و آزمایش تکرار می گردد. فرم سوابق و پرونده بهداشتی کارگران یا کارکنان تهیه و در بایگانی شرکت و یک نسخه نزد پزشک نگهداشته می شود. در این فرم باید مطالب زیر دیده شود:

- مشخصات فردی، سن، محل کار، تاریخ استخدام، سواد و تحصیلات، وضعیت تأهل، تعداد اولاد، محل سکونت (غیر از محل کار)

- دفعات مراجعه شش ماه یکبار به پزشک و نتایج آزمایش ها

- تمهیدات انجام شده، مثلاً داروهای تجویز شده، مرخصی بیماری، تعویض محل کار، بیمارستان، پرداخت غرامت و ...

- چک لیستی شامل موارد الزامی در هنگام کار (استفاده از دستکش و پوتین، استفاده از مواد ضد عفونی کننده در سرویس های بهداشتی و ...) تهیه گردد و مسئول پایش در بازه های زمانی ماهانه چک لیست را جهت تک تک کارکنان تکمیل نماید (جدول ۲۱).

جدول ۲۱- چک لیست پیشنهادی برای کنترل سلامتی افراد شاغل در پروژه های استفاده مجدد از

پساب ها و آب های برگشتی

ردیف	اقدامات	ماهانه	فصلی	سالانه
	معاینات کلینیکی شامل:			
۱	- معاینات کلی و بررسی وضعیت ظاهری - بررسی علائم مربوط به بیماری های پوستی	•		
۲	کنترل کاربرد محافظت کننده های شخصی (دستکش، چکمه، لباس کار مناسب)	•		
۳	انجام آزمایش های سلامتی شامل بیماری های باکتریایی و ویروسی (حصه و شبه حصه، وبا، انواع هیپاتیت، سل، ژیا ردیا)	•		
۴	انجام آزمایش های سلامتی شامل بیماری های انگلی (آسکاریس، انواع تنیایا، آنکیلوستوم دیودنال، تریکوریس تریکورا، استرونژیلوئید استراکوراریس، فاسیولا، شیسستوزومیاها)			•

۲-۴-۱-۲-۲ خطر برای مصرف کنندگان

اقداماتی نظیر طبخ غذا، مصرف کنندگان را در مقابل مخاطرات ناشی از عوامل پاتوژن حفاظت می کند اما کسانی را که در تهیه غذا فعالیت می کنند، در معرض خطر می باشند. در مناطقی که از فاضلاب خام جهت آبیاری استفاده می شود، مصرف کنندگان (بزرگسالان و کودکان) در معرض ابتلا به عفونت های باکتریایی، ویروسی، تک یاخته ای و آلودگی به نماتودها هستند. به نحوی که در این گونه مناطق، شیوع وبا، حصه و اسهال باسیلی در اثر استفاده از فاضلاب خام جهت کشاورزی گزارش شده است. در صورت کاربرد فاضلاب های با تصفیه ناقص جهت کشاورزی (10^4 MPN) کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر، شیوع بیماری های اسهالی افزایش می یابد. مصرف کنندگان می بایست با اعمال روش های کنترلی مانند بهداشت فردی، شستشوی متناوب دست ها با صابون و استفاده از مکان مجزا برای طبخ غذا حفاظت شوند. به علاوه آموزش مؤثر

ضوابط بهداشتی ضروری است. جهت حفظ سلامتی مصرف کنندگان می توان از طریق پختن محصولات قبل از مصرف و بالابردن سطح استاندارد مواد غذایی، خطر مربوط به آن را کاهش داد.

۲۰-۴-۱-۲-۳ خطر برای ساکنین مجاور با مناطق آبیاری شده با فاضلاب

این افراد باید اطلاعات جامعی در مورد پروژه استفاده مجدد از پساب داشته و به آن ها توصیه شود که از تماس با فاضلاب خودداری کنند. به علاوه توصیه می شود در مناطقی که روش آبیاری بارانی استفاده می شود، تا شعاع صد متری اطراف مزارع، افراد سکونت نداشته باشند.

۲۰-۴-۱-۳ ارزیابی کمی ریسک میکربی

به دلیل احتمال انتقال فرد به فرد بیماری، عفونت ثانویه باید در ارزیابی ریسک های میکربی خصوصاً هنگامی که جمعیت بزرگی در معرض خطر است، در نظر گرفته شود. به منظور توصیف عفونت حاصل از ویروس های روده ای و بیماری در بین جمعیت در معرض ریسک، شمارش افراد دارای ویژگی های زیر پیشنهاد گردیده است: دارای عفونت و نشانه دار، دارای عفونت و بدون نشانه، بدون عفونت و بدون نشانه، بدون عفونت و نشانه با ایمنی کوتاه مدت یا نسبی و تغییر حالت بین حالت های ذکر شده.

ارزیابی کمی ریسک میکربی (QMRA) می تواند خطرات مرتبط با تنوعی از تماس های متفاوت و یا پاتوژن هایی که اندازه گیری آنها، بدلیل هزینه بالا و ضرورت مطالعه جمعیت های بزرگ، از طریق بررسی های اپیدمیولوژیکی مشکل است، را تخمین بزند. QMRA برای خطرات مرتبط با باکتری ها، ویروس ها و تک یاخته ها بکار برده می شود اما تحلیل های کمی ریسک میکربی محدودی در مورد انتقال عفونت های کرمی از فاضلاب یا فعالیت های استفاده از مدفوع انجام شده است.

۲۰-۴-۱-۴ تکنیک های آنالیز میکربی

آنالیز میکربی فرآیند مهمی جهت فراهم کردن اطلاعات لازم جهت ارزیابی ریسک بهداشتی می باشد. فاضلاب خام شامل تنوعی از ارگانسیم های مدفوعی پاتوژن بوده که نوع و تعداد آن ها بسته به سطوح زمینه عفونت در جامعه، متفاوت است. عوامل پاتوژن به ندرت بطور مستقیم در فاضلاب ها اندازه گیری می شوند زیرا جمعیت آنها متغیر

بوده و کاربرد روش های تحلیلی برای آنها اغلب مشکل و پرهزینه است. با این حال باکتری را معمولاً به یکی از چهار حالت شمارش مستقیم میکروسکوپی، شمارش بشقابی، صافی غشایی و تخمیر چند لوله ای شمارش می کنند. علاوه بر این روش های رنگ آمیزی و فلوتورسانس جهت شناسایی باکتری های خاص نیز پیشرفت چشمگیری داشته اند. در سال های اخیر، شناسایی و تشخیص اختصاصی باکتری ها و پروتوزوئرها توسط روش های وابسته به رشد، کاربرد آنتی بادی های فلوتورسنت و بهره گیری از پراب های اسید نوکلئیک انجام می گردد. این روش ها امکان تحقیق بر روی ارگانسیم ها و واکنش های ویژه را فراهم نموده و نهایتاً در درک هر چه بیشتر روابط متقابل میکربی که در سیستم های طبیعی اتفاق می افتد، کمک شایانی می نمایند.

ویروس ها اندازه ای بین $0.08 - 0.2 \mu\text{m}$ داشته و آنقدر کوچک هستند که نمی توان آنها را با میکروسکوپ نوری مشاهده کرد. با این وجود میکروسکوپ الکترونی قادر به انجام این کار بوده ولی مراحل آماده سازی نمونه جهت انجام آزمایش، پرهزینه و وقت گیر بوده و اکثر آزمایشگاه ها فاقد میکروسکوپ الکترونی می باشند. اندک بودن ویروس های موجود در آب و فاضلاب و محدودیت روش های تشخیص ویروس ها باعث شده است تا از روش های تغلیظ برای ویروس ها استفاده شود. به علاوه یکی از کاربردی ترین روش های شمارش ویروس ها، آزمایش پلاک (assayPlaque) می باشد.

واکنش های زنجیره ای پلیمر از (PCR) روشی است که به منظور تشخیص سریع میکروارگانسیم های بالقوه بیماریزا مورد استفاده قرار می گیرد. البته این روش معایبی نظیر حجم کم نمونه مورد آزمایش، بازدارندگی توسط اجزاء مداخله کننده در نمونه های زیست محیطی، عدم شمارش تعداد ارگانسیم ها، عدم توانایی تفکیک میان میکروارگانسیم های زنده و غیرفعال را دارا می باشد.

۲۰-۴-۵ شاخص های میکربی

از آنجایی که ارگانسیم های بیماریزای موجود در فاضلاب متنوع بوده و شناسایی و تشخیص تک تک آنها دشوار می باشد، معمولاً میکروارگانسیم هایی را که از نظر تعداد نسبت به دیگر میکروارگانسیم ها برتری داشته و تشخیص و شمارش آنها راحت تر است، به عنوان ارگانسیم های شاخص (جانشین) برای تشخیص میکروارگانسیم های بیماریزای هدف، مورد استفاده قرار می گیرند. یک ارگانسیم شاخص ایده آل حداقل می بایست ویژگی های زیر را داشته باشد:

- ۱) ارگانیسیم شاخص باید زمانی که آلودگی به مدفوع وجود دارد، وجود داشته باشد.
 - ۲) تعداد ارگانیسیم های شاخص می بایست مساوی یا بیشتر از ارگانیسیم بیماریزای هدف باشد.
 - ۳) ارگانیسیم شاخص می بایست ویژگی های ادامه حیات بیشتری را از خود در شرایط محیطی متفاوت نسبت به ارگانیسیم بیماریزای هدف به نمایش بگذارد.
 - ۴) ارگانیسیم شاخص نباید قادر به تکثیر و تولید مثل در خارج از بدن ارگانیسیم میزبان باشد.
 - ۵) جداسازی و تشخیص می بایست با سرعتی بیش از آنچه در ارگانیسیم بیماریزای هدف انجام می گیرد، به انجام رسد.
 - ۶) ارگانیسیم شاخص باید عضوی از میکروفلوئور روده ای حیوانات خونگرم باشد.
- ارگانیسیم های شاخصی نظیر باکتری های کلیفرم کل، کلیفرم های مدفوعی، اشرشیا کلی، انتروکوکسی ها و کلیفازها برای معتبر بودن عملکرد تصفیه و کیفیت نهایی آب بازیافتی، استفاده می شوند. ضعف اصلی استفاده از شاخص های میکربی این است که توانایی آنها برای پیش بینی حضور پاتوژن ها تا حدودی محدود است. همچنین تشخیص و شمارش باکتری های شاخص میکربی، روش های کشتی است که نتایج را برای حداقل ۲۴ ساعت به تأخیر می اندازند.
- در حال حاضر تکنیک PCR نیز برای مطالعه عوامل پاتوژن و شاخص، توسط تشخیص DNA یا RNA در محیط، استفاده می شود. در مطالعات اخیر، DNA و RNA عوامل پاتوژن در پساب فاضلاب های شهری ثانویه و پیشرفته، بعضی از آب های بازیافتی، آب زیرزمینی و آب اقیانوس ها که توسط تخلیه فاضلاب تحت تأثیر قرار می گیرند، گزارش شده است.
- ارگانیسیم های شاخص آلودگی مدفوعی نظیر اشرشیاکلی و کلیفرم های مقاوم به حرارت به عنوان نماینده هایی برای پاتوژن های با خصوصیات مشابه که ممکن است در فاضلاب حضور داشته باشند، بکار می روند. در بعضی موارد، حضور ارگانیسیم های شاخص در آب، به مقدار آلودگی مدفوعی موجود نسبت داده می شود. به علاوه در رابطه با فاضلاب های خانگی، جمعیت باکتری های شاخص می تواند نشان دهنده درجه تصفیه انجام شده، بوده و تخمین نسی از خطر مرتبط با کاربرد پساب را نشان می دهد. باید در نظر داشت که ارگانیسیم های شاخص تنها پتانسیل خطر را ارزیابی می کنند.
- بر اساس رهنمودهای بهداشتی ارائه شده توسط سازمان جهانی بهداشت و همچنین استانداردهای سازمان محیط زیست ایران، علاوه بر شاخص های باکتریایی در مواردی نظیر کاربرد آب های بازیافتی در آبیاری محصولات که خام مصرف می شوند، تخم نماتودهای روده ای (آسکاریس،

تریکوریس، کرم فلابدار) نیز به عنوان یکی از شاخص های میکروبیولوژیکی باید در آب های باز یافتی سنجش شود.

۲۰-۴-۱-۶ اهداف کاهش عوامل میکربی

رویکرد سازمان بهداشت جهانی در رهنمود ۲۰۰۶ در زمینه مخاطرات و ریسک های استفاده مجدد در کشاورزی، تمرکز بر روی خطر مصرف محصولات غذایی است که بطور خام مصرف می شوند و نیز خطراتی که متوجه کارگران و کشاورزان مزارع می باشد. داده های بدست آمده از مطالعات اپیدمیولوژیکی، میکربی و تحلیل کمی خطر میکربی (QMRA) برای ارزیابی خطرات بیماری های عفونی ناشی از استفاده مجدد فاضلاب تصفیه شده و نیمه تصفیه شده در کشاورزی، مورد استفاده قرار گرفته است. خطرات ناشی از مواجهه با فاضلاب ها با کیفیت مختلف، تحلیل و داده ها به وسیله مدل مونت کارلو مبتنی بر QMRA و مطالعات اپیدمیولوژیکی توسعه داده شد و از این طریق فرآیند دستیابی به اهداف مبتنی بر بهداشت را پشتیبانی کردند. مدل مونت کارلو-QMRA تخمین هایی از آلودگی را در مورد کیفیت های مختلف فاضلاب ارائه نمود. این تحلیل، مصرف محصولات کشاورزی را که به صورت خام به مصرف می رسند و خطرات ناشی از تماس مستقیم با فاضلاب (شامل بلع اتفاقی خاک) را در نظر می گیرد. بطوری که اهداف عملی یا بهره برداری برای آبیاری محدود (در مواردی که مواجهه کشاورزان و فرزندان آنان، مواجهه مهم در نظر گرفته می شود) و نیز آبیاری نامحدود، قابل حصول می باشد.

۲۰-۴-۱-۶-۱ آبیاری نامحدود

- اهداف کاهش عوامل میکربی برای ویروس ها، باکتری ها و پروتوزوئرها

نتایج حاصل از مدل مونت کارلو- QMRA برای آبیاری نامحدود (بر اساس سناریوی مواجهه مصرف کاهو) همراه با شواهد اپیدمیولوژیکی مرتبط نشان می دهد که برای دستیابی به مقدار DALY (سال های عمر سپری شده با ناتوانی، شاخصی برای اندازه گیری بار بیماری) 10^{-6} یا کمتر از آن به ازای هر نفر در سال برای روتاویروس ها، کاهش کلی در تعداد عوامل بیماریزا به میزان ۶ واحد لگاریتمی برای مصرف محصولات برگ دار کشاورزی (کاهو) و ۷ واحد لگاریتمی برای مصرف محصولات ریشه ای (پیاز) مورد نیاز است (جدول ۲۲).

جدول ۲۲- آبیاری نامحدود: کاهش عوامل بیماریزای مورد نیاز برای سطوح مختلف خطر قابل تحمل عفونت ناشی از مصرف کاهو و پیاز آبیاری شده با فاضلاب که توسط مدل شبیه سازی شده مونت- کارلو با ۱۰۰۰ بار تکرار انجام شده است.

سطح مورد نیاز کاهش (واحد لگاریتمی)		خطر عفونت قابل تحمل (به ازای هر نفر در سال)
پیاز	کاهو	
روتاویروس		
۶	۵	۱۰ ^{-۲}
۷	۶	۱۰ ^{-۳}
۸	۷	۱۰ ^{-۴}
کامپیلو باکتر		
۴	۴	۱۰ ^{-۲}
۵	۵	۱۰ ^{-۳}
۶	۶	۱۰ ^{-۴}
کریپتوسپوریدیوم		
۲	۴	۱۰ ^{-۲}
۳	۵	۱۰ ^{-۳}
۴	۶	۱۰ ^{-۴}

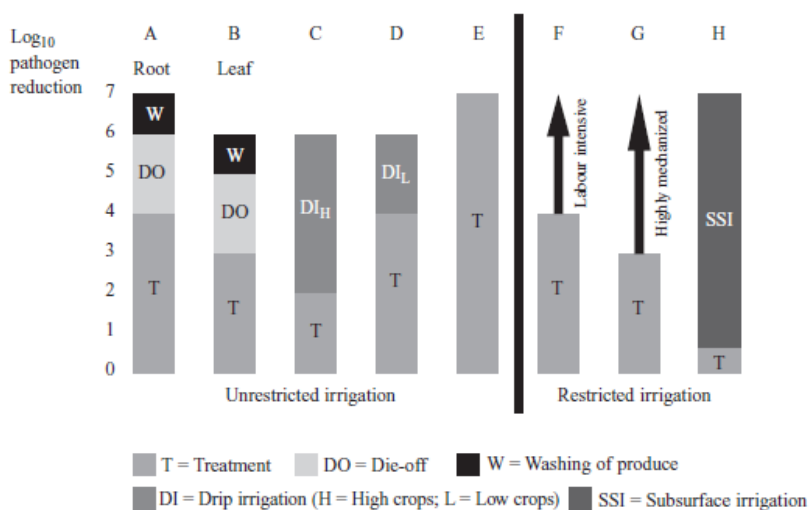
توجه: هر نفر ۱۰۰ گرم کاهو و پیاز در دو روز مصرف کرده است، ۱۵-۱۰ میلی لیتر فاضلاب بر روی محصول (۱۰۰ گرم کاهو و ۱۰۰ گرم پیاز) باقی می ماند.

در رهنمودهای WHO (۲۰۰۶) کاهش عوامل بیماریزای در حدود ۷-۶ واحد لگاریتمی به عنوان هدف عملکردی (بهره برداری) برای آبیاری نامحدود استفاده شده است تا بتوان به بار بیماری اضافی قابل تحمل DALY^{-۶} ۱۰ یا کمتر از آن به ازای هر نفر در سال رسید. به دلیل اینکه خطرات مربوط به مواجهه با روتاویروس ها زیاد تخمین زده می شود، این سطح از کاهش عوامل بیماریزای، حفاظت کافی در مقابل آلودگی باکتریایی و پروتوزوئری بوجود می آورد.

کاهش ۷-۶ واحد لگاریتمی در تعداد عوامل بیماریزای با استفاده از اقدامات حفاظت بهداشتی، قابل حصول می باشد. با توجه به اینکه هر کدام از این اقدامات، میزان کاهش لگاریتمی مربوط به خود را دارند، ترکیبی از این اقدامات مورد استفاده قرار گرفته است. بطوری که برای کلیه ترکیب ها، مجموع کاهش های لگاریتمی برای هر اقدام حفاظتی مورد استفاده برابر با کاهش کلی مورد نیاز ۷-۶ واحد لگاریتمی را حاصل می نماید.

شکل (۵) روش های کاهش عوامل بیماریزای از طریق اقدامات حفاظتی گوناگون را نشان می دهد. هر کدام از این روش ها ترکیبی از تصفیه فاضلاب و سایر اقدامات حفاظت بهداشتی به منظور دستیابی به DALY^{-۶} ۱۰، یا کمتر از آن به ازای هر نفر در سال می باشد. به عبارت دیگر، روش های ارائه

شده در شکل (۵)، نمونه ای از ترکیب روش های حفاظت بهداشتی است که در عمل، توانایی رسیدن به هدف مبتنی بر بهداشت را دارا می باشند. برنامه ریزان و طراحان برنامه های استفاده مجدد از فاضلاب های تصفیه شده ممکن است تمایل داشته باشند ترکیبی از راهکارهای حفاظت بهداشتی را که در محل، قابلیت اجرا دارند، مورد استفاده قرار دهند. به علاوه تکنولوژی های جدید تصفیه نیز ممکن است راهکارهای جدیدی را توسعه دهند.



شکل ۵- مثال هایی از راهکارهای مختلف کاهش پاتوژن های پروتوزوئی، ویروسی و باکتریایی با ترکیب اقدامات مختلف حفاظت بهداشتی با هدف مبتنی بر بهداشت 10^{-6} DALY به ازای هر نفر در سال

انتخاب A: شکل (۵) نشان می دهد که کاهش عوامل بیماریزای مورد نیاز با ترکیب راهکارهای زیر قابل دستیابی است:

- تصفیه فاضلاب با ۴ واحد لگاریتمی پاتوژن ها (T)
 - مرگ پاتوژن ها در فاصله بین آخرین آبیاری و مصرف با ۲ واحد کاهش لگاریتمی (DO)
 - شستشوی محصولات مورد استفاده در سالاد و یا سبزیجات با آب، قبل از مصرف با ۱ واحد کاهش لگاریتمی (W)
- این انتخاب که در مجموع به ۷ واحد لگاریتمی کاهش در پاتوژن ها دست پیدا می کند، برای

محصولات کشاورزی ریشه ای که ممکن است به صورت خام مصرف شوند، مناسب است. این گزینه معادل کیفیت پساب ۱۰۰۰ کلیفرم گرمای پای در ۱۰۰ میلی لیتر می باشد.

انتخاب B: درجه کمتری از تصفیه فاضلاب نسبت به انتخاب A (log ۳ کاهش در مقابل ۴) ارایه می کند. در این انتخاب، تصفیه فاضلاب با دو اقدام ثانویه حفاظت بهداشتی ترکیب می گردد که شامل:

- مرگ پاتوژن ها در فاصله بین آخرین آبیاری و مصرف (۲ واحد کاهش لگاریتمی)
- شستشوی محصولات مورد استفاده در سالاد و یا سبزیجات با آب، قبل از مصرف (۱ واحد لگاریتمی) است. این انتخاب که در مجموع به ۶ واحد لگاریتمی کاهش در پاتوژن ها دست پیدا می کند و برای آبیاری محصولات سالادی غیر ریشه ای یا سبزیجاتی که خام مصرف می شوند، مناسب است. این گزینه، سطح کافی از حفاظت بهداشتی را برای مصرف کننده فراهم می کند زیرا محصولات سالادی، اغلب دارای آلودگی کمتری نسبت به محصولات ریشه ای هستند و لذا مصرف آنها خطر کمتری برای انسان ایجاد می کند. این گزینه معادل کیفیت خروجی ۱۰۰۰۰ کلیفرم گرمای پای در ۱۰۰ میلی لیتر می باشد.

انتخاب C: ۲ واحد لگاریتمی کاهش عوامل میکربی توسط فرآیند تصفیه، در این انتخاب توأم با آبیاری قطره ای محصولات بدون تماس با خاک (مانند گوجه فرنگی) که باعث ۴ واحد کاهش لگاریتمی می شود، ترکیب شده و در مجموع ۶ واحد لگاریتمی کاهش تأمین می کند.

انتخاب D: این انتخاب ادغام آبیاری قطره ای محصولات غیرریشه ای در تماس با خاک (با ۲ واحد کاهش لگاریتمی) و درجه تصفیه بیشتر (با ۴ واحد کاهش لگاریتمی) می باشد. یک گزینه مناسب دیگر برای بخش تصفیه می تواند شامل ۲ واحد کاهش عوامل میکربی به کمک روش تصفیه و به دنبال آن، ۱ واحد کاهش به دلیل مرگ پاتوژن ها در فاصله بین آخرین آبیاری و مصرف و ۱ واحد کاهش در اثر شستشوی محصولات مورد استفاده با آب، قبل از مصرف باشد.

انتخاب E: بیشتر بر تصفیه فاضلاب برای کاهش ۶ تا ۷ واحد لگاریتمی در پاتوژن ها تکیه دارد. نمونه فرآیند تصفیه فاضلاب برای دستیابی به این هدف شامل فرآیند تصفیه فاضلاب متعارف (یعنی ته نشینی اولیه، لجن فعال، ته نشینی ثانویه) و به دنبال آن انعقاد شیمیایی، لخته سازی، ته نشینی و گندزدایی است. برای مثال، چنین مراحل تصفیه ای در کالیفرنیا آمریکا انجام می شود و به حدود استاندارد بازیافت آب برای آبیاری نامحدود دست پیدا می کند (کلیفرم کل کمتر از ۲/۲ در ۱۰۰ میلی لیتر و کدورت کمتر از ۲ واحد نفلومتری). این انتخاب، کاهش پاتوژن ها را به سبب

مرگ طبیعی در فاصله بین آخرین آبیاری و مصرف و نیز اقدامات خاص آماده سازی محصول، قبل از مصرف در خانه مانند شستن، گندزدایی و پوست کندن در نظر نمی گیرد و لذا حفاظت بهداشتی بزرگتر از DALY^۶ می باشد. هزینه های بسیار بالای بهره برداری در این روش تصفیه، کاربرد آن را در بسیاری از کشورها محدود نموده و حتی در کشورهایی که این انتخاب، قابل اجراست باید مود تحلیل هزینه- اثربخشی قرار گیرد.

انتخاب H,G,F: این انتخاب ها در ارتباط با آبیاری محدود می باشد. تحلیل عمیق خطر در مورد استفاده ایمن از فاضلاب در هر اجتماع اگر توسط یک گروه علمی انجام شود، می تواند پایه ای برای انتخاب راهکارهای توصیه شده در آن اجتماع باشد. این گروه کاری علمی باید در مطالعات خود بوم شناسی، اپیدمیولوژی، رفتارهای انسانی و نیز هزینه- اثربخشی را در نظر گیرند.

- اهداف کاهش میکربی برای تخم انگل

اهداف کاهش میکربی، حفاظت در برابر عفونت های انگلی بر پایه نتایج مطالعات اپیدمیولوژیکی و میکروبیولوژیکی می باشد. QMRA به منظور استخراج اهداف عملی برای این نوع از عفونت ها مورد استفاده قرار نگرفته است به این دلیل که داده های معتبر در مورد خطرات عفونت و مقادیر DALY به ازای هر نفر در سال که ناشی از مواجهه های مرتبط با فاضلاب یا ثابت های عفونت زایی برای انگل های مرتبط مانند آسکاریس می باشد برای استفاده در محاسبات QMRA وجود ندارند. علاوه بر این، در خصوص آلودگی های انگلی، شدت عفونت با ناتوانی ناشی از بیماری مرتبط است.

بررسی های اپیدمیولوژیکی عفونت آسکاریس در بین مصرف کنندگان محصولات کشاورزی نشان داده است که تصفیه فاضلاب باعث می شود که خطر انتقال عفونت آسکاریس به بزرگسالانی که از محصولات آبیاری شده با فاضلاب استفاده می کنند، کاهش یابد. رهنمود پیشنهاد شده توسط WHO (≤۱ تخم انگل در لیتر) وشواهد میکروبیولوژیکی حاصل از مطالعات میدانی در برزیل به این صورت تأیید شده است که دسر مواردی که پساب خروجی از برکه های اختیاری با تخم انگل کمتر از ۰/۵ عدد در لیتر برای آبیاری مورد استفاده قرار گرفته اند، تخم انگلی بر روی محصولات یافت نشده است. لذا هدف عملکردی تخم انگل کمتر و مساوی ۱ در لیتر در فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری نامحدود توصیه شده است.

مطالعات اپیدمیولوژیکی انجام شده در مکزیک نشان داده است که رعایت رهنمود WHO (≤۱) تخم انگل در لیتر) در شرایط مساعد برای زندگی تخم انگل (مانند هوای گرم، شرایط مرطوب خاک) نمی تواند به حد کافی ضامن سلامتی باشد. بنابراین، امکان تجمع تخم انگل بر روی خاک

یا محصول وجود داشته و به ویژه در مواردی می تواند کودکان زیر ۱۵ سال را که از محصولات کشاورزی که توسط والدین آنها به طور مستقیم از مزرعه به خانه آورده می شود و به صورت خام به مصرف می رسد، آلوده کند. بنابراین هنگامی که کودکان زیر ۱۵ سال از سبزیجات خامی که با پساب حاوی $1 \leq$ تخم انگل در لیتر آبیاری شده اند، استفاده می کنند، اقدامات حفاظت بهداشتی اضافی مورد نیاز است. این اقدامات می تواند شامل موارد زیر باشد:

- در مواردی که داده های بهداشتی مؤید آلودگی غالب تخم انگل در جامعه ای باشد، درمان انگلی توسط برنامه های دارویی و برنامه های کنترل تخم انگل در مدارس انجام شود.
- شستشوی سبزیجات با دترجنت ضعیف قبل از مصرف انجام شود.
- یک اقدام مؤثر در حذف تخم انگل از سطح محصولاتی که به صورت خام به مصرف می رسند، شستشو با یک دترجنت ضعیف و آبکشی با آب سالم می باشد. چون تخم انگل به سطح محصول می چسبد، دترجنت سبب می گردد که از سطح محصول، جدا و وارد فاز مایع گردد. این روش کنترلی باعث می گردد تعداد تخم انگل ها به میزان ۱ تا ۲ واحد لگاریتمی کاهش یابد.

۲۰-۴-۱-۶-۲ آبیاری محدود

- اهداف کاهش عوامل میکربی برای ویروس ها، باکتری ها و پروتوزوئرها

نتایج بدست آمده از ارزیابی کمی خطر میکربی برای آبیاری محدود با تمرکز بر کارگران مزارع و بر اساس بلع غیرارادی خاک توسط آنان و به همراه شواهد اپیدمیولوژیکی مرتبط نشان می دهد، که به منظور دستیابی به هدف مبتنی بر سلامتی DALY^{-۶} ۱۰^{-۶} به ازای هر نفر در سال برای روتاویروس، ضروری است که روش تصفیه فاضلاب، درجه کاهشی در حد ۴ واحد لگاریتمی اشرشیاکلی داشته باشد (از ۱۰^۸-۱۰^۷ به ۱۰^۴-۱۰^۳ در ۱۰۰ میلی لیتر) بنابراین برای آبیاری محدود با تمرکز بر سلامت کارگران، هدف مبتنی بر سلامتی با ۴ واحد کاهش لگاریتمی در پاتوژن ها قابل دستیابی است. برای کشاورزی بسیار مکانیزه، تصفیه فاضلاب تا حد دستیابی به پسابی با ۱۰^۶-۱۰^۵ اشرشیاکلی در ۱۰۰ میلی لیتر، یعنی کاهش پاتوژن در حد ۳ واحد لگاریتمی، قابل قبول خواهد بود.

- اهداف کاهش میکربی برای تخم انگل

هدف عملیاتی برای آبیاری محدود، $1 \leq$ تخم انگل در لیتر فاضلاب تصفیه شده می باشد. شواهد اپیدمیولوژیکی بدست آمده از عفونت به آسکاریس در مکزیک نشان می دهد که هدف مذکور

بطور کافی کودکان زیر ۱۵ سال را که در معرض تماس با مزارع آبیاری شده با فاضلاب قرار دارند را حفظ نمی نماید. بنابراین در مواردی که کودکان زیر ۱۵ سال به واسطه کارکردن یا بازی در مزارع آبیاری شده با فاضلاب، در تماس با فاضلاب قرار گیرند، اقدامات اضافی دیگر برای حفاظت از سلامتی مورد نیاز است. درچنین شرایطی که عفونت انگلی غالب می باشد، درمان ضدانگلی باید به عنوان یک راهبرد اضافی مدیریت خطر در نظر گرفته شود. این امر می تواند از طریق برنامه های درمانی در سطح دبستان برای کنترل تخم انگل و یا با اجرای یک سری برنامه های درمانی ویژه که توسط مراکز خدمات بهداشتی محلی در مناطق با خطر بالا ارائه می گردد، انجام گیرد. در صورت امکان، برنامه های کنترلی باید شامل بخش ارتقاء سلامتی برای کاهش تماس نیز باشد (برای مثال استفاده از دستکش و ابزار مناسب به منظور جلوگیری از تماس دست با خاک و یا شستشوی دست با صابون پس از تماس با فاضلاب).

۲۰-۴-۲ ارزیابی کمی ریسک آلاینده های شیمیایی

در ارزیابی ریسک مواد شیمیایی، مبنای تحلیل، شخصی است که ماده مورد نظر از راه دهان وارد بدنش گردیده است. گرچه می توان از روش مشابه با ارزیابی ریسک میکربی نیز استفاده کرد. فاضلاب ها شامل مواد شیمیایی متنوعی هستند که تعداد و غلظت ترکیبات شناسایی شده آنها به عوامل بسیاری از جمله منشأ تولید، شرایط سیستم جمع آوری و فرآیندهای تصفیه، بستگی دارد. جدول (۲۳) طبقه بندی ترکیبات شیمیایی طبیعی یا مصنوعی که در مقادیر جزئی ممکن است در آب بازیافتی، تشخیص داده شوند را نشان می دهد.

جدول ۲۳- طبقه بندی ترکیبات شیمیایی جزئی (طبیعی و مصنوعی) بالقوه قابل

تشخیص در آب های بازیافتی

مثال	طبقه بندی بر حسب نوع مصرف
۴۰۱- دیوکسان، پرفلوروآکتانئیک اسید، متیل ترتیاری بوتیل اتر، تتراکلرواتان	مواد شیمیایی صنعتی
آترازین، لیندین، دیوران، فیپرونیل هورمون ها (۱۷β- استرادیول)، فیتواستروژن، ژنوزمین، ۲- متیل ایزوبورنئول	آفت کش ها، حشره کش ها و علف کش ها مواد شیمیایی طبیعی
آنتی باکتریال ها (سولفامتوکسازول)، داروهای مسکن (استامینوفن، ایبوپروفن)، داروهای کاهش دهنده فشار خون (آتنولول)، داروهای ضد صرع و تشنج (کاربامازین)، آنتی بیوتیک های انسانی (آزیترومایسین)، داروهای ضدبارداری خوراکی	داروها و متابولیت ها

جدول ۲۳- طبقه بندی ترکیبات شیمیایی جزئی (طبیعی و مصنوعی) بالقوه قابل تشخیص در آب های بازیافتی

مثال	طبقه بندی بر حسب نوع مصرف
مواد خوشبوکننده و معطر، ترکیبات ضدآفتاب، رنگدانه ها، تریکلوسان (عامل ضد باکتریایی و ضد قارچی یافت شده در محصولات مانند صابون ها، مواد شوینده و اسباب بازی ها)	محصولات مراقبت خانگی
دی بوتیل فتالات، بیس فنل A، الکیل فنل پلی اتوکسیلات، ترکیبات افزودنی در تولید پلاستیک (پرفلوئوروآکتانویک اسید، پرفلوئوروآکتان سولفونات)	مواد شیمیایی خانگی و افزودنی های غذایی
نیتروزودی متیل آمین، هالواستیک اسیدها و تری هالومتان ها	محصولات جانبی

ترکیبات شیمیایی فاضلاب بطور معمول به عنوان مواد آلی و غیر آلی طبقه بندی می شوند. ترکیبات شیمیایی غیر آلی مشکل ساز شامل ترکیبات محلول در آب، مواد مغذی، ترکیبات غیر فلزی، فلزات و گازها می شوند. غلظت ترکیبات معدنی در آب بازیافتی اساساً به منبع فاضلاب و درجه تصفیه آبی که دریافت کرده است، بستگی دارد. حضور ترکیبات معدنی ممکن است روی قابلیت پذیرش آب بازیافتی برای کاربردهای مختلف استفاده مجدد، تأثیر گذارد.

ترکیبات آلی مورد توجه در فاضلاب به دو دسته کمپلکس و مجزا تقسیم می شوند. هر دوی این ترکیبات در تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب، از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

۲۰-۲-۴-۱ فلزات سنگین

بطور معمول غلظت فلزات سنگین در فاضلاب های خانگی، پایین تر از مقادیر رهنمودی پیشنهاد شده برای آبیاری است. با این حال استفاده از فاضلاب های خانگی برای کشاورزی می تواند بدون ایجاد اثرات منفی در تولید محصول، منجر به تجمع فلزات سنگین در لایه خاک زمین های کشاورزی شود. استفاده از فاضلاب ناشی از صنایع با غلظت های فلزات سنگین بالا منجر به تجمع فلز در خاک و محصولات شده و مشکلات بهداشتی برای مصرف کنندگان محصولات بوجود می آورد. در این راستا، ابتدا غلظت فلز در خاک منطقه تجمع یافته و سپس جذب بافت گیاه می شود. در جدول (۲۴) حداکثر غلظت توصیه شده فلزات سنگین در آب آبیاری ارائه شده است.

جدول ۲۴- حداکثر غلظت توصیه شده فلزات سنگین در آب آبیاری (میلی گرم در لیتر)

نوع فلز سنگین	مصرف کوتاه مدت ^۱	مصرف طولانی مدت ^۲
آلومینیوم	۲۰	۵
آرسنیک	۲	۰/۱
بر	۰/۵	۰/۱
کادمیوم	۰/۰۵	۰/۰۱
کروم	۱	۰/۱
کیالت	۵	۰/۰۵
مس	۵	۰/۲
فلوئور	۱۵	۱
آهن	۲۰	۵
سرب	۱۰	۵۰
لیتیم	۲/۵	۲/۵
منگنز	۱۰	۱۰
مولیبدن	۰/۰۵	۰/۰۵
نیکل	۲	۲
سلنیم	۰/۰۲	۰/۰۲
وانادیم	۱	۱
روی	۱۰	۱۰

۱ برای مصرف مداوم بر روی هر نوع خاکی
 ۲ برای مصرف یک دوره ۲۰ ساله بر روی خاکی با بافت ریزدانه و یا خاکی که خاصیت قلیایی دارد.

به دلیل استفاده روزافزون از پساب ها در مصارف آبیاری می بایست به نقش تجمعی فلزات در خاک و محصولات بیشتر توجه گردد زیرا احتمال می رود اثرات منفی بر سلامت مصرف کنندگان و محیط زیست داشته باشند. در مواردی که از کود تهیه شده از لجن در کشاورزی استفاده می شود، باید مقدار آرسنیک، کادمیوم، مس، سرب، جیوه، مولیبدن، نیکل، سلنیم و روی را تعیین نمود. کادمیوم، مس، مولیبدن، نیکل و روی بیشتر مواقع در فاضلاب وجود دارند و می توانند به آسانی در محیط آب و خاک حرکت کرده و توسط گیاهان جذب شوند. کادمیوم و نیکل بدلیل سمیت بیشتر برای انسان، بیشترین خطرات بهداشتی را ایجاد می کنند. با توجه به مطالعات، در بیشتر غذاها و دانه های گیاهی آبیاری شده با فاضلاب یا پساب محتوی کادمیوم و همچنین گوشت حیواناتی که از گیاهان آبیاری شده با پساب حاوی کادمیوم استفاده نموده اند، این فلز مشاهده شده است. جذب فلزات سنگین توسط گیاه به میزان زیادی به شرایط خاک نظیر pH، حضور سایر فلزات سنگین، میزان مواد آلی خاک، کاربرد مواد شیمیایی، شخم زدن و مدیریت آب بستگی دارد. این

عوامل به میزان زیادی بر روی قابلیت در دسترس بودن بیولوژیکی فلزات سنگین خاک نیز اثرگذار می باشند. آلودگی و مورگان در سال ۱۹۸۶ متوجه شدند که نیکیلی که به صورت سوبستراهای آلی به خاک اضافه می شود (مثلاً از طریق لجن فاضلاب) بسیار راحت تر توسط گیاه جذب می شود در مقایسه با هنگامی که به صورت نیکل معدنی وارد خاک می گردد. گیاهان از خاک های اسیدی در مقایسه با خاک های خنثی، کادمیوم و سرب را بیشتر جذب می کنند. در بعضی از موارد، حضور یا عدم حضور برخی از فلزات دو ظرفیتی در خاک می تواند بر روی جذب فلزات سنگین توسط گیاه اثر بگذارد. برای مثال به نظر می رسد کلسیم، روی و منگنز با کادمیوم برای جذب توسط گیاهان رقابت می کنند. کبالت، مس و روی به نظر نمی رسد بتوانند توسط گیاهان به مقادیر کافی که برای سلامتی مصرف کنندگان مضر است، جذب شوند. برای برخی عناصر، حد آستانه سمیت تعیین شده است. برای مثال، حد آستانه سم شناسی برای یون کروم ۶ ظرفیتی تعیین شده است. کرومات به سرعت به کروم ۳ ظرفیتی احیاء می گردد که در هر صورت، یک فاز جامد با حلالیت پایین در فاضلاب یا خاک تشکیل می دهد. ولی بر، مولیبدن و فلئور تحت شرایط خاصی تشکیل آنیون هایی را در داخل خاک می دهند که ممکن است به راحتی توسط گیاهان جذب شده و در نهایت وارد بدن انسان شوند (جدول ۲۵).

جدول ۲۵- حداکثر غلظت های قابل تحمل ترکیبات معدنی و فلزات سنگین در خاک بر اساس حفاظت از سلامت انسان

ماده شیمیایی	غلظت در خاک (mg/kg)
آنتیموان	۳۶
آرسنیک	۸
باریم	۳۰۲
برلیوم	۰/۲
بر	۱/۷
کادمیوم	۴
فلئور	۶۳۵
سرب	۸۴
جیوه	۷
مولیبدن	۰/۶
نیکل	۱۰۷
سلنیوم	۶
نقره	۳
تالیوم	۰/۳
وانادیوم	۴۷

۲۰-۴-۲-۲ نمک ها

نمک ها یا کل جامدات محلول موجود در آب بازیافتی بطور کلی از آستانه نگرانی برای سلامت انسان، تجاوز نمی کنند اما می توانند محصولات و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار دهند. غلظت کل مواد محلول در آب، یکی از مهمترین پارامترهای تشخیص کیفیت آب کشاورزی است. نمک های محلول در آب با شوری خاک در ارتباط هستند و لذا، رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات از کل نمک های محلول در آب اثر می پذیرد. شوری می تواند موجب سوختگی برگ، کاهش نفوذپذیری خاک های رسی و اثر بر ساختار خاک، شود.

۲۰-۴-۲-۳ مواد مغذی

نیترژن و فسفر موجود در فاضلاب ها می تواند مشکلات بهداشتی و زیست محیطی را در برداشته باشد اما می تواند در کاربرد آب های بازیافتی جهت آبیاری، مفید باشد. نیترژن، ماکرونوترینت ضروری برای گیاهان است که در فاضلاب به عنوان نیترات، آمونیاک و نیترژن آلی می باشد. اکثر گیاهان تنها نیترات را جذب می کنند اما معمولاً دیگر اشکال نیترژن در خاک به نیترات تبدیل می شوند. نیترات ها در آب خیلی محلول هستند و زمانی که گیاهان آبیاری می شوند، این امر منجر به شسته شدن بیشتر نیترژن از خاک می شود. زمان آبیاری با آب بازیافتی مهمترین مشکل محیطی، آبشویی نیترات است. هر چند تجمع نیترژن غیرآلی در خاک منجر به تحریک بیش از حد رشد گیاه و کاهش محصول می شود.

۲۰-۴-۲-۴ مواد آلی

بسیاری از مواد شیمیایی آلی موجود در فاضلاب ها (جدول ۲۶)، حلال های آلی هستند و انتظار می رود در جریان فرآیند تصفیه فاضلاب، حذف و یا تجزیه شوند در مواردی که این مواد در فاضلاب شناسایی می شدند، غلظت آنها بسیار کم بوده است. احتمالاً نیازی نیست این مواد هنگامی که فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد، در نظر گرفته شوند. اما در مواقعی که فاضلاب خام و یا فاضلاب های با تصفیه ناقص، به تناوب در آبیاری محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرند، این مواد شیمیایی باید در ارزیابی مدنظر قرار گیرند.

جدول ۲۶- حداکثر غلظت های قابل تحمل ترکیبات آلی در خاک بر اساس حفاظت از سلامت انسان

غلظت در خاک (mg/kg)	ماده شیمیایی
۰/۴۸	آلدین
۰/۱۴	بنزن
۳	کلردان
۲۱۱	کلروبنزن
۰/۴۷	کلروفرم
۰/۲۵	دی،۲،۴
۱/۵۴	DDT
۱۵	دی کلروبنزن
۰/۱۷	دی آلدین
۰/۰۰۰۱۲	دی اکسین
۰/۱۸	هپتاکلر
۱/۴۰	هگزاکلروبنزن
۱۲	لیندان
۴/۲۷	متوکسی کلر
۱۶	PAH _s
۰/۸۹	PCB _s
۱۴	پنتاکلروفلن
۱۳۷۳۳	فتالات
۴۱	پایرن
۰/۶۸	استیرین
۳/۸۲	۵،۴،۲- تی
۱/۲۵	تتراکلرواتان
۰/۵۴	تتراکلرواتیلن
۱۲	تولوئن
۰/۰۰۱۳	توکسافن
۰/۶۸	تری کلرواتان

بعضی از اثرات مضر مواد آلی شامل اثرات زیبایی شناختی (اثر روی طعم و بوی آب)، انسداد (گرفتگی نازل ها در سیستم آبیاری قطره ای) یا تجمع در خاک و تأثیر روی نفوذ پذیری خاک، مصرف اکسیژن (اثر روی زندگی آبزیان)، تداخل در گندزدایی و اثرات بهداشتی حاد و مزمن، می باشد.

تشخیص انواع مواد آلی در فاضلاب های تصفیه شده شهری، نگرانی هایی را در مورد حضور بالقوه آلاینده های شیمیایی در آب های بازیافتی و همچنین اثرات بهداشتی آنها مطرح کرده است.

ترکیبات آلی موجود در فاضلاب می توانند به محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) تبدیل شوند. از طرفی بین در معرض قرار گرفتن با DBPs و سرطان مثانه، در میان افرادی که دارای سه ژن (GSTT1, GSTZ1, and CYP2E1) می باشند، ارتباط قوی وجود دارد.

زمانی که کلر به آب حاوی مواد آلی افزوده شود، گونه های مختلف ترکیبات آلی کلردار تشکیل می شوند. این ترکیبات را محصولات

جانبی گندزدایی می نامند. این مواد در غلظت های کم نیز حائز اهمیت بوده زیرا بیشتر آنها بصورت بالقوه یا شناخته شده با سرطانزایی در ارتباط می باشند. این ترکیبات عمدتاً بصورت تری هالومتان ها، هالواستیک اسیدها، تری کلرو فنل و آلدئیدها می باشد. در گذشته، بیشترین توجه روی ترکیبات تری هالومتان (THM) نظیر کلروفرم بوده است. این ترکیب در گسترش سرطان کبد و کلیه نقش دارد. هالواستیک اسیدها از دیگر محصولات جانبی نامطلوب کلرزی بوده که اثرات بهداشتی مشابهی دارد. هنگام گندزدایی آب باز یافتی با کلر یا کلرآمین، N-نیتروزودی متیل آمین (NDMA) نیز ممکن است تولید شود که قدرت بالایی در سرطانزایی دارد. این ترکیبات در غلظت های پایین به عنوان سرطانزای قوی برای گونه های مختلف ماهی ها به شمار می آیند. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، مقدار مجاز NDMA را در حد ۲ ppt محدود کرده است. به دلیل نگرانی های زیادی که در زمینه تشکیل DBPs و NDMA وجود دارد، نگاه ویژه ای به گندزدایی پساب با اشعه ماوراء بنفش و جایگزینی آن به جای کلر معطوف شده و اصلاح فرآیندهای متعارف تصفیه جهت بهبود تصفیه این ترکیبات و فرآیندهای پیشرفته حذف آنها در طی سال های گذشته مد نظر قرار گرفته است.

۲۰-۴-۲-۵ مواد معلق

زمانی که فاضلاب های تصفیه نشده به محیط آبی تخلیه می شوند، جامدات معلق می توانند منجر به افزایش رسوبات لجن و ایجاد شرایط بی هوایی در منابع آب شوند. افزایش غلظت TSS مانع از عملکرد مطلوب سیستم های گندزدایی و افزایش جمعیت عوامل پاتوژن در پساب نهایی می شود. به علاوه مقادیر بیش از حد جامدات معلق در آب های باز یافتی موجب گرفتگی در سیستم های آبیاری قطره ای می شود.

۲۰-۴-۲-۶ آلاینده های دارای تقدم

آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۲۹ آلاینده دارای تقدم را در ۵ دسته طبقه بندی نموده است که می بایست از قوانین و مقررات سختگیرانه دفع فاضلاب تبعیت کنند. آلاینده های دارای تقدم (هر دو نوع آلی و معدنی) را بر اساس آثار شناخته شده یا مشکوک آنها در سرطان زایی، جهش زایی کروموزومی، تولد نوزاد ناقص الخلقه و یا سمیت شدید طبقه بندی کرده اند. اکثر آلاینده های آلی دارای تقدم را تحت عنوان ترکیبات آلی فرار طبقه بندی می کنند.

۲۰-۴-۲-۷ سورفاکتانت ها

سورفاکتانت ها گروه متنوعی از مواد شیمیایی هستند که بدلیل ویژگی های تمیز کردن و حل شونده گی، طراحی شده اند. اساساً سورفاکتانت ها به سه نوع آنیونی، غیر یونی و کاتیونی تقسیم می شوند. سولفونات های خطی آلکیل بنزن (LAS)، سولفونات های آلکیل اتوکسی (AES)، آلکیل سولفونات ها (AS)، آلکیل فنول اتوکسیلات ها (APE)، آلکیل اتوکسیلات ها (AE) و ترکیبات چهارتایی آمونیوم (QAC) معمول ترین سورفاکتانت های تجاری مورد استفاده هستند. آنها بطور وسیعی در پاک کننده های خانگی، محصولات مراقبت شخصی، صنایع نساجی، پلیمرها، داروسازی و ... استفاده می شوند. بقایای این مواد بعد از مصرف بصورت سورفاکتانت های باقیمانده و محصولات حاصل از تجزیه آنها به تصفیه خانه فاضلاب تخلیه می شوند. اخیراً بدلیل استفاده گسترده و مصرف بالای سورفاکتانت ها مشکلات ناشی از آنها افزایش یافته است. به عنوان مثال بعضی از کشورهای اروپایی استفاده از APE را بدلیل محصولات نسبتاً پایدار در مقابل تجزیه بیولوژیکی، نونیل فنول و اکتیل فنول، ممنوع کرده اند. نونیل فنول و اکتیل فنول برای ماهیان دریایی و آب شیرین، سمی هستند.

آلاینده های نوظهور به نوعی از آلاینده های زیست محیطی اطلاق می شود که در خود مواد آلی و معدنی با غلظت کم اما با قابلیت بیماریزایی بالا دارند و موجب بیماری های غیرواگیر و مزمنی مانند سرطان می شوند.

هر ساله استفاده از مواد آرایشی و تجویز داروهایی از قبیل آنتی بیوتیک ها و هورمون های مصنوعی بطور مداوم رو به افزایش است. مجموعاً این ترکیبات به عنوان محصولات دارویی و مراقبت شخصی (PPCPS) شناخته شده و طیف وسیعی از ترکیبات را شامل می شوند. مقداری از PPCPS توسط رواناب ها در نهایت به آب های سطحی تخلیه شده یا مستقیماً از طریق نشت وارد آب های زیرزمینی می شوند اما عمده این ترکیبات در نهایت وارد فاضلاب شده و در تصفیه خانه فاضلاب بطور متمرکز تصفیه می شوند. متأسفانه حذف PPCPS توسط فرآیندهای متداول تصفیه فاضلاب بطور جزئی امکان پذیر است. به دلیل افزایش آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی و استفاده مجدد از پساب ها در مناطق کم آب، نگرانی فزاینده ای در مورد راه یافتن PPCPS به آب آشامیدنی وجود دارد. آنتی بیوتیک ها، مسکن ها، مسدودکننده های بتا، داروهای کاهنده چربی، استروئیدهای جنسی ناشی از داروهای جلوگیری از بارداری و درمان های جایگزین هورمونی از جمله عمده ترین ترکیبات دارویی و مراقبت شخصی هستند. بیان شده است که اثرات ناشی از

PPCPs ممکن است چنان خفیف باشد که در زمان مصرف قابل تشخیص نباشند و احتمالاً اثرات تجمعی مشخصی برای آنها وجود ندارد.

۲۰-۴-۲-۸ آلاینده های نوپدید

این گروه از مواد شیمیایی، گاهی اوقات تحت عنوان آلاینده های ایجادکننده نگرانی در حال ظهور (CECs)، ترکیبات آلی جزئی (TROC) یا ترکیبات جزئی نامیده می شوند. این گروه شامل داروها، داروهای بدون نسخه، محصولات مراقبت شخصی، مواد شیمیایی خانگی، افزودنی های غذایی و آفت کش ها، عوامل هورمونی فعال، مختل کننده های غدد درون ریز (EDs)، ترکیبات مختل کننده غدد درون ریز می باشند.

۲۰-۴-۲-۹ مواد شیمیایی قانونمند نشده

بسیاری از آلاینده های نوپدید موجود در آب های بازیافتی جزء آلاینده های قانونمند نشده هستند. در حالی که هیچ استاندارد مشخصی در مورد آنها وجود ندارد. اما انجام تحقیقات گسترده پیش از تصمیم گیری در خصوص کاربرد نهایی آب بازیافتی بسیار ضروری می باشد.

۲۰-۴-۲-۱۰ مواد شیمیایی مختل کننده غدد درون ریز

مواد شیمیایی که شبیه به هورمون عمل کرده و یا فعالیت ضدهورمونی دارند و در عملکرد سیستم های اندوکراین در بسیاری از گونه ها اختلال ایجاد می کنند، در فاضلاب های شهری شناسایی شده اند. این مواد شیمیایی که به مختل کننده های غدد درون ریز (EDCs) معروف هستند شامل آفت کش ها، آلاینده های آلی پایدار، دترجنت های غیر یونی و باقیمانده های دارویی دام پزشکی می باشند. بعضی از PhACs نظیر قرص های ضدبارداری و استروئیدها همچنین جزء مختل کننده های غدد درون ریز هستند.

بسیاری از ترکیبات آلی که توسط فرآیند ارزیابی ریسک مشخص شده اند (جدول ۲۵ و ۲۶) ویژگی های اختلال در اندوکراین را نشان می دهند. این مواد شامل مواد شیمیایی آلی هالوژن دار (آلدترین و دیلدترین)، مواد افزودنی مصرفی دسر تولید پلاستیک ها (فتالات ها)، هیدروکربن های آروماتیک چندحلقه ای (PAHs) مانند بنزوالفاپیرن و پیرن، بی فنیل های پلی کربنه (PCB) و دی اکسین ها می باشند. مطالعات بیشتری مورد نیاز است تا بتوان خطراتی را که بر سلامتی و

محیط زیست در هنگام کاربرد فاضلاب در کشاورزی ایجاد می نمایند، ارزیابی نمود. بسیاری از مختل کننده های غدد درون ریز در برابر فرآیندهای مرسوم تصفیه فاضلاب مقاوم بوده و ممکن است برای مدت طولانی در محیط زیست باقی بمانند. اثرات بهداشتی مرتبط با مواجهه این مواد بر سلامتی انسان شامل سرطان سینه، پروستات و بیضه، کاهش کیفیت و کمیت اسپرم ها و اختلال در رفتار و عملکرد مغز و نیز سیستم ایمنی و تیروئید دسر کودکان می باشد. هر چند شواهد مستقیمی از اثرات زیان بخش بر انسان وجود ندارد، ناهنجاری های تولیدمثلی، تغییر در عملکرد ایمنی و تغییر ساختار جمعیت بطور بالقوه در ارتباط با مواجهه با این دسته از مواد در دوزیستان، پرندگان، ماهیان، مهره داران، خزندگان و پستانداران مشاهده شده است. اکثر ترکیبات مختل کننده غدد درون ریز (EDCs) و ترکیبات فعال دارویی (PhACs)، قطبی تر از آلاینده های متداول بوده و دارای چندین گروه عاملی اسیدی و بازی می باشند. این ویژگی همراه با وقوع در مقادیر جزئی (به عنوان مثال، $<1\mu\text{g/L}$)، چالش هایی را برای فرآیندهای تصفیه و روش های تشخیصی بوجود می آورند. این مواد شیمیایی در آب های زیرزمینی و سطحی مختلفی شناسایی شده اند و بعضی از آنها در غلظت های جزئی، دارای اثرات زیست محیطی هستند. تعداد قابل توجهی از مطالعات نشان داده اند که تصفیه خانه های متداول آب آشامیدنی و فاضلاب نمی توانند بطور کامل بسیاری از EDCs و PhACs را حذف کنند. به نظر می رسد تکنولوژی های تصفیه پیشرفته نظیر کربن فعال، اکسیداسیون پیشرفته و اسمز معکوس برای حذف بعضی از آلاینده های جزئی شامل EDCs و PhACs، قابل قبول باشد.

۲۰-۴-۲-۱۱ باقیمانده های دارویی

ترکیبات فعال دارویی (PhACs)، مواد شیمیایی سنتز شده برای اهداف پزشکی هستند (به عنوان مثال، آنتی بیوتیک ها). مقادیر زیادی از داروها برای درمان بیماری های مختلف و یا در محصولات مراقبت شخصی تجویز می شوند. پس از استفاده، درصد بالایی از داروهای استفاده شده در نهایت به جریان فاضلاب و تصفیه خانه ها وارد شده و ممکن است این داروها در آب بازیافتی، شناسایی شوند. در سال ۱۹۹۲، متابولیت داروی اسید کلوفیبریک متابولیت، اولین بار در نمونه های آب زیرزمینی موجود در زیر حوزه های قدیمی آبیاری شده با فاضلاب در نزدیک برلین یافت شد. متأسفانه اطلاعات در مورد سرنوشت بسیاری از داروها در محیط و اثرات طولانی مدت آن ها بر روی انسان ها و اکوسیستم ها، ناچیز است.

مواد شیمیایی دارویی فعال موجود در فاضلاب ها در هنگامی که فاضلاب و لجن مربوطه در بخش کشاورزی مورد استفاده مجدد قرار می گیرند، وارد محیط زیست می شوند. داده های محدود بدست آمده از مطالعات نشان داده است که این ترکیبات به شدت توسط ترکیبات خاک، جذب سطحی شده و احتمال تجمع آنان در گیاهان به میزانی که در هنگام مصرف، خطر بهداشتی ایجاد کند، وجود ندارد. از طرفی اثر بهداشتی زیان آور در انسان از مواجهه با این مواد شیمیایی، ناشی از استفاده فاضلاب در کشاورزی تاکنون به ثبت نرسیده است.

۲۰-۴-۲-۱۲ محصولات مراقبت های شخصی و خانگی

محصولاتی نظیر شامپو، صابون، مواد شوینده، ترکیبات ضد آفتاب، نرم کننده مو، مواد خوشبو کننده و معطر و لوسیون بدن جزء محصولات مراقبت شخصی و خانگی (PCPs) هستند.

۲۰-۴-۲-۱۳ هورمون های طبیعی

هورمون های استروئیدی از جمله ترکیباتی هستند که از طریق انسان ها به جریان فاضلاب، دفع می شوند. این هورمون ها در فاضلاب های تصفیه شده و آب های سطحی، شناسایی شده اند. هورمون ها در محیط های آبی ممکن است با عملکرد طبیعی سیستم های غدد درون ریز مداخله کرده و بر روی هر دو تولید مثل و توسعه، تأثیر بگذارند. استروئیدهای مشکل ساز برای محیط های آبی بدلیل پتانسیل اختلال در غدد درون ریز اساساً استروژن ها و قرص های ضد بارداری هستند که شامل 17β -oestradiol (E2)، oestrone (E1)، oestriol (E3)، EE2) و 17α -ethnyloestradiol (MeEE2) هستند. هورمون های استروئیدی در محیط ممکن است بر روی گیاهان و حیات وحش تأثیر بگذارند. به عنوان مثال در آلفالفا (Alfalfa) آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده، حاوی هورمون های استروئیدی، سطوح بالایی از فیتواستروژن مشاهده شده بود.

۲۰-۴-۲-۱۴ اثرات بهداشتی تماس با مواد شیمیایی

دامنه تماس انسان با ترکیبات آلی سمی موجود در آب بازیافتی به فاکتورهایی همچون غلظت و رفتار این ترکیبات و شرایط محیطی، بستگی دارد. مسیرهای اصلی که ممکن است انسان در تماس با این ترکیبات قرار گیرد عبارتند از:

۱. از طریق گیاهان خوراکی، به عنوان مثال:
 - جذب توسط ریشه گیاه، کاربرد مستقیم روی گیاهان، جذب بخارات شیمیایی توسط شاخ و برگ گیاه
 - مصرف گیاهان آلوده به مواد شیمیایی توسط دام
 ۲. خوردن خاک آلوده توسط دام
 ۳. جذب مستقیم گرد و غبارهای منتقله از هوا
 ۴. مصرف خاک توسط حیوانات علف خوار و انتقال به محصولات غذایی دامی
 ۵. ورود رواناب های سطحی به داخل رودخانه هایی که به عنوان منبع آب آشامیدنی استفاده می شوند.
 ۶. آبخوایی مواد آلی به آبخوان های آب زیرزمینی که به عنوان منبع آب آشامیدنی استفاده می شوند.
 ۷. مصرف مستقیم بخارات حاوی مواد آلی فرار در فاضلاب.
- با توجه به موارد فوق باید تلاش لازم در خصوص به حداقل رساندن تماس بین انسان و آلاینده های آلی سمی به حداقل برسد. یکی از این روش ها شستشوی گیاهان و محصولات کشاورزی است.

۲۰-۴-۲-۱۴-۱ اثرات بهداشتی مستقیم

شواهد موجود در مورد اثرات مستقیم تماس با مواد شیمیایی حاصل از استفاده از آب های بازیافتی در کشاورزی بر سلامت، بسیار محدود بوده که غالباً به دلیل ماهیت مواد سمی شیمیایی است. غلظت اغلب مواد شیمیایی موجود در پساب ها و یا محصولات آبیاری شده با آن به اندازه ای نخواهد رسید تا بتواند باعث اثرات حاد بهداشتی گردد. اثرات بهداشتی مزمن که ممکن است در ارتباط با تماس با مواد شیمیایی موجود در فاضلاب باشد (مانند سرطان) معمولاً سال ها پس از تماس اتفاق می افتند و ممکن است ناشی از سایر تماس هایی باشند که مرتبط با استفاده از پساب در کشاورزی نمی باشند.

۲۰-۴-۲-۱۴-۲ اثرات بهداشتی غیر مستقیم

عملیات آبیاری سنتی با آب های بازیافتی بر روی کیفیت آب های زیرزمینی در آبخوان های کم عمق و آب های سطحی، اثر می گذارد. آلودگی نیترات ناشی از فاضلاب در آبخوان ها در کشورهای

در حال توسعه و توسعه یافته گزارش شده است. غلظت های بالای نترات در آب آشامیدنی قادر به بروز بیماری متهموگلوبینما (بیماری نوزاد آبی) است. ورود مواد مغذی (فسفر و نیتروژن) به منابع آب سطحی، باعث آلودگی این آب ها و ایجاد پدیده اتروفیکاسیون می شود. اتروفیکاسیون آب های شیرین و شور می تواند شرایط مساعد برای رشد سیانوباکترها و جلبک های تولیدکننده سم را فراهم نماید. سموم حاصله باعث گاستروانتریت، صدمه به کبد، اختلال در سیستم عصبی و تحریک پوستی می گردد. مشکلات بهداشتی مربوط به سیانوتوکسین ها در کشورهای بسیاری مانند استرالیا، برزیل، کانادا، چین، انگلستان، آمریکا و زیمباوه گزارش شده است. در برخی از موارد، سرطان کبد در انسان ناشی از تماس با سموم سیانوباکترها از طریق آب می باشد.

۲۰-۴-۲-۱۵ ارزیابی مخاطرات ناشی از آلاینده های شیمیایی

استفاده از آب های بازیافتی جهت کشاورزی می تواند باعث ورود آلاینده های سمی به خاک شود. این آلاینده های سمی ممکن است به دلیل جذب از طریق خاک توسط گیاهان و ورود به زنجیره غذایی، بر روی سلامتی مصرف کنندگان، اثرگذار باشند. به علاوه آلاینده های تجمع یافته در خاک های آبیاری شده با پساب ممکن است باعث آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی شده و سبب تماس های بیشتر گردد.

بر اساس تحقیقات انجام شده در بسیاری از نقاط جهان، مواد شیمیایی خاص مانند فلزات سنگین، به نظر می رسد در همه جا وجود دارند و تقریباً در همه فاضلاب های شهری یافت می شوند و سایر مواد شیمیایی مانند مواد شیمیایی آلی، تنها در بعضی از فاضلاب ها مشاهده شده اند. وجود یک ماده شیمیایی در یک فاضلاب، شاخصی برای حضور یا عدم حضور آن در جریان سایر فاضلاب ها نیست.

بر اساس بررسی های انجام شده توسط چانگ و همکاران در سال ۲۰۰۲، عناصر شیمیایی معدنی و ترکیبات آلی را که می توانند خطر بهداشتی برای سلامتی انسان در اثر استفاده مجدد از فاضلاب در کشاورزی داشته باشند، شناسایی کردند (جداول ۲۵ و ۲۶). این مواد شیمیایی دارای ویژگی های زیر می باشند:

- برای انسان و حیوانات سمی می باشند.
- در فاضلاب یا لجن یافت می شوند.

- به راحتی از طریق خاک توسط گیاهان جذب می شوند.
- چانگ و همکاران طی مطالعه در زمینه خطرات بهداشتی برای سلامت انسان در نتیجه مصرف غذاهای آبیاری شده با فاضلاب به نتایج زیر دست یافتند:
- آبیاری محصولات با فاضلاب های شهری و صنعتی تصفیه نشده به دلیل حضور ترکیبات سمی و خطرناک موجود در زایدات، می تواند برای محصولات مضر بوده و باعث صدمه به انسان شود.
 - تناوب تشخیص آلاینده های غیر آلی نظیر عناصر جزئی در فاضلاب معمولاً در حد ۵۰ تا ۱۰۰ درصد می باشد.
- تناوب تشخیص آلاینده های آلی بطور قابل توجهی پایین تر (۵ تا ۱۰ درصد) بود و در صورت یافت شدن، غلظت های آنها پایین بود. مقررات مرتبط با پیش تصفیه فاضلاب صنعتی برای جلوگیری از تخلیه آلاینده ها توسط صنایع، در کاهش غلظت آلاینده ها در پساب و لجن فاضلاب مؤثر بوده است.
- چانگ و همکاران (۲۰۰۲) دو اصل را برای به حداقل رساندن خطرات شیمیایی بر سلامت انسان، مطرح کردند که عبارت است از:

- (۱) جلوگیری از تجمع آلاینده ها در خاک های دریافت کننده زایدات
- (۲) استفاده از حداکثر ظرفیت جذب آلاینده ها توسط خاک به منظور کاهش و رفع سمیت آنها.

۲۰-۴-۲-۱۶ اهداف مبتنی بر سلامتی برای مواد شیمیایی

به منظور تعیین حدود عددی برای حداکثر غلظت قابل تحمل آلاینده در خاک های آبیاری شده با فاضلاب، ابتدا باید با تعیین میزان قابل قبول دریافت روزانه انسان (acceptable daily intake: ADI) برای یک آلاینده شروع کنیم و سپس بطور کمی، مسیر انتقال آلاینده را از طریق راه های مواجهه متعدد در محیط زیست جستجو نموده تا به یک غلظت آلاینده قابل تحمل در خاک برسیم. مواجهه انسان با آلاینده های موجود در خاک از طریق آبیاری فاضلاب ممکن است از ۸ راه اتفاق بیفتد:

۱. فاضلاب - خاک - گیاه - انسان
۲. فاضلاب - خاک - انسان
۳. فاضلاب - خاک - گیاه - حیوان - انسان
۴. فاضلاب - خاک - حیوان - انسان

۵. فاضلاب - خاک - ذرات منتقله توسط هوا- انسان
۶. فاضلاب - خاک - رواناب سطحی - آب سطحی - انسان
۷. فاضلاب - خاک - آب ناحیه غیراشباع خاک- آب زیرزمینی - انسان
۸. فاضلاب - خاک - اتمسفر- انسان

به منظور بدست آوردن مقادیر عددی در خاک های آبیاری شده با فاضلاب، یک رویکرد ساده مورد استفاده قرار گرفته است. به جای ارزیابی همه راه های مواجهه، سازمان بهداشت جهانی تنها دو راه انتقال زیر را در نظر گرفته است:

(الف) انتقال آلاینده از طریق زنجیره غذایی: فاضلاب - خاک- گیاه- انسان

(ب) دریافت آلاینده از طریق مصرف غلات، سبزیجات، محصولات ریشه ای و میوه

انتقال از طریق زنجیره غذایی، اولین راه مواجهه انسان با آلاینده های زیست محیطی است. بر اساس آمار تغذیه جهانی، دریافت روزانه غلات، سبزیجات، محصولات ریشه ای و میوه، ۷۵ درصد از سهم مصرف روزانه بزرگسالان را تشکیل می دهند. سناریوی مواجهه اینطور فرض می کند که اکثر افراد مواجهه یافته، افراد بزرگسال (با وزن ۶۰ کیلوگرم) ساکن مناطق آبیاری شده با فاضلاب می باشند که کل دریافت روزانه آنان از مصرف غلات، سبزیجات، محصولات ریشه ای و میوه از خاک های آبیاری شده با فاضلاب حاصل می گردد و دریافت روزانه آلاینده ها از این مصرف، ۵۰ درصد دریافت روزانه قابل قبول (ADI) می باشد. ۵۰ درصد باقیمانده به سایر راه های مواجهه مربوط می شود (یعنی آب آشامیدنی، سیگار و ...).

بر اساس این فرض که انتقال از طریق زنجیره غذایی، راه اصلی مواجهه با آلاینده های خطرناک موجود در فاضلاب می باشد، سازمان بهداشت جهانی حدود مقادیر عددی را بدست آورده است که نشان دهنده حداکثر غلظت های مجاز دسته ای از آلاینده های آلی و معدنی می باشد. غلظت های حداکثر مجاز آلاینده ها در جداول (۲۵ و ۲۶) ارایه شده اند. این مقادیر در واقع غلظت های بی خطر در خاک می باشند که در مقادیر بیشتر از آنها، انتقال آلاینده ها به مردم از طریق زنجیره غذایی، رخ خواهد داد. برای آلاینده های معدنی، غلظت های آنها در خاک های آبیاری شده با فاضلاب با هر بار کاربرد فاضلاب به آهستگی بالا می رود. به هر حال برای بسیاری از این آلاینده های آلی، شانس تجمع در خاک در مقادیری تا چند برابر غلظت های اشاره شده، کم می باشد زیرا غلظت متداول این مواد در فاضلاب کم است.

۲۰-۴-۲-۱۷ تکنیک های آنالیز مواد شیمیایی

بطور کلی می توان آنالیزهای مورد استفاده جهت تعیین مواد آلی کمپلکس را به آنالیزهای بکار رفته در اندازه گیری غلظت های زیاد مواد آلی در حد بیش از ۱ میلی گرم در لیتر و اندازه گیری غلظت های جزئی در حد 10^{-12} تا ۱۰ میلی گرم در لیتر تقسیم بندی نمود. روش های آزمایشگاهی که امروزه در سنجش مقادیر زیاد مواد آلی (بیش از ۱ میلی گرم در لیتر) بکار می روند عبارتند از اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و کل کربن آلی (TOC). اکسیژن مورد نیاز تئوریک (ThOD) نیز مکمل این روش های آزمایشگاهی می باشد. تجهیزات پیشرفته سنجش آلاینده ها، شناسایی و تعیین کمیت های بسیار پایین ترکیبات آلی و غیرآلی موجود در آب را امکان پذیر ساخته است. گاز کروماتوگرافی/ طیف سنجی جرمی (GC/MS) و کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا/ طیف سنجی جرمی (HPLC/MS) از جمله این ابزارها هستند.

این آنالیزها پرهزینه بوده و ممکن است به آماده سازی دشوار و گسترده نمونه، مخصوصاً برای مواد آلی غیر فرار، نیاز باشد. پیشرفت در این تکنیک های تحلیلی شیمی و دیگر تکنیک ها، تعیین مقدار مواد شیمیایی موجود در آب را در حد قسمت در تریلیون (ppt) فراهم کرده است. طیف سنجی جذب اتمی برای اندازه گیری مقادیر خیلی کم و ناچیز بسیاری از عناصر به ویژه فلزات سنگین در آب، خاک و گیاه پیدا کرده است. مزیت این روش این است که برای بسیاری از عناصر، کاملاً اختصاصی است.

طیف سنجی جرمی نه تنها توانایی نشان دادن مقدار ماده آلی را در هنگام خروج آن از ستون گاز کروماتوگرافی دارد، بلکه می تواند شناسایی مثبتی از هر ماده آلی را فراهم کند. با استفاده از کروماتوگراف گازی همراه با طیف سنج جرمی (GC/MS) می توان صدها ترکیب آلی در آب یا پساب را شناسایی کرد.

دستگاه های کروماتوگراف امکان اندازه گیری کمی سریع ترکیبات شیمیایی موجود در مخلوط های پیچیده را تا حد غلظت های ppb یا میکروگرم در لیتر ($\mu\text{g/l}$) و کمتر را فراهم کرده است. در کروماتوگرافی مدرن برای جداسازی مؤثر مواد مخلوط معمولاً از دو فاز مختلف که یکی فاز ثابت و دیگری فاز متحرک می باشد، استفاده می گردد. هنگامی که فاز متحرک یک گاز و فاز ثابت یک مایع است، کروماتوگرافی گاز- مایع نامیده می شود. زمانی که فاز متحرک مایع و فاز ثابت کاغذ باشد، کروماتوگرافی کاغذی نامیده می شود. با توجه به پیشرفت های انجام شده در

زمینه دستگاه‌های کروماتوگرافی مایع، دستگاه‌های پیشرفته کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) تولید شده است. برخی ترکیبات شامل حشره کش‌ها، آنتی بیوتیک‌ها، ترکیبات آلی فلزی و انواع زیادی از مواد آلی را با روش HPLC می‌توان جداسازی و تشخیص داد. کروماتوگرافی گازی برای اندازه‌گیری آلاینده‌های دارای تقدم تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، ترکیبات آلی مولد طعم و بو و گستره وسیعی از ترکیبات تحت عنوان ترکیبات آلی فرار بکار برده می‌شود. معمولاً فلزات را از طریق جذب اتمی با شعله، جذب اتمی الکتروترمال، کوپل هدایت الکتریکی، پلاسما و اسپکتروفتومتری جرمی / IPC، تعیین می‌کنند.

۲۰-۴-۳ سم شناسی و اپیدمیولوژی

مقدار اغلب آلاینده‌های شیمیایی موجود در فاضلاب شهری (تصفیه شده) پایین‌تر از سطوح سمی برای انسان است. تخلیه فاضلاب‌های صنعتی می‌تواند غلظت ترکیبات معینی نظیر فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی را افزایش دهد. این آلاینده‌ها، در صورت آبیاری کنترل نشده، می‌توانند سلامت انسان را به خطر اندازند. مشکل بالقوه دیگر، تجمع فلزات سنگین در قسمت‌های گیاه است که وارد زنجیره غذایی انسان می‌شوند.

به عنوان مثال در کشور ژاپن، مسمومیت مزمن با کادمیوم در مناطقی که مزارع برنج با آب آلوده رودخانه جینزو آبیاری شده‌اند، مشاهده گردیده است. به علاوه در برخی از مناطق چین، استفاده از فاضلاب صنعتی برای آبیاری باعث افزایش ۳۶ درصدی در هیاتومگالی (بزرگ شدن کبد) و افزایش ۱۰۰ درصدی در سرطان شده است.

بررسی گزارش‌های بانک جهانی مرتبط با مطالعات اپیدمیولوژیکی کاربرد فاضلاب جهت آبیاری بیان‌کننده موارد زیر است:

- آبیاری با فاضلاب آلودگی به نماتودهای روده‌ای در مصرف‌کنندگان محصول یا کارگران مزارع را بطور قابل توجهی افزایش می‌دهد. احتمال ابتلاء به عوامل پاتوژن نظیر کرم‌های قلابدار در کارگران مزارع مخصوصاً افرادی که پابرهنه کار می‌کنند نسبت به کسانی که در مزارع آبیاری شده با فاضلاب کار نمی‌کنند، بیشتر است.

- آبیاری با فاضلاب‌های تصفیه شده (در حد استاندارد)، به افزایش آلودگی کارگران مزارع و مصرف‌کنندگان به نماتودهای روده‌ای، منجر نمی‌گردد.

- و با و احتمالاً حصبه از طریق آبیاری سبزیجات با فاضلاب تصفیه نشده بطور مؤثرتری انتقال می یابند.
- تغذیه گله های گاو در چراگاه های آبیاری شده با فاضلاب خام باعث آلودگی آنها به کرم کدوی گاو می شود، اما در زمینه خطرات واقعی آن برای انسان ها مدارک کمی وجود دارد.
- در مورد تحت تأثیر قرار گرفتن سلامت افراد ساکن در نزدیک مزارع آبیاری شده با فاضلاب خام از طریق تماس مستقیم با خاک یا از طریق تماس غیرمستقیم با کارگران مزارع، شواهد محدودی وجود دارد. در اجتماعات با استانداردهای بالای بهداشت فردی، معمولاً اثرات منفی کاربرد فاضلاب به افزایش بروز اسهال های ضعیف (اغلب ویروسی) محدود می گردد، هر چند ممکن است عفونت های باکتریایی نیز افزایش یابد.
- آبیاری بارانی از طریق آئروسل های ایجاد شده، انتقال ویروس های مدفوعی را افزایش می دهد، اما در عمل این مسئله به ندرت اتفاق می افتد زیرا بیشتر مردم بطور معمول نسبت به بیماری های ویروسی آندمیک، از ایمنی بالایی برخوردارند.
- بر این اساس، هنگام کاربرد فاضلاب تصفیه نشده برای آبیاری محصولات، خطرات بهداشتی ناشی از نماتودهای روده ای و باکتری ها در حد بالایی وجود دارد. اما خطرات ناشی از ویروس ها اندک است. به علاوه خطرات واقعی ناشی از تک یاخته ها نیز هنوز به خوبی مشخص نشده است.

۲۱- مدیریت ریسک استفاده مجدد در کشاورزی

مدیریت ریسک شامل تدوین معیارها، رهنمودها و خط و مشی های مدیریتی برای مواد ویژه شامل مواد سمی و عوامل عفونی می باشد. برای مثال در صورتی که یک ماده سمی یا میکروارگانیسم عفونی بر مبنای ارزیابی ریسک در سطحی بالاتر از حداکثر غلظت مجاز وجود داشته باشد، مدیریت ریسک شامل تعیین موارد مدیریتی و یا فناوری لازم به منظور محدود نمودن ریسک در سطح قابل قبول خواهد بود. بنابراین، توسعه و گزینش گزینه های دیگر از جمله انتخاب، طراحی و اجرا، پایش و بازبینی از اجزاء بااهمیت مدیریت ریسک مربوط به سلامت محسوب می گردند.

استراتژی های مدیریت ریسک می تواند برای اطمینان از دستیابی به اهداف مبتنی بر سلامت توسعه داده شود. پیشگیری از آلودگی، مخصوصاً برای مواد شیمیایی باید در استراتژی های مدیریت ریسک بکار گرفته شود. اندازه گیری ها و مداخله ها بر اساس کاربرد فاضلاب متفاوت خواهد بود.

در استفاده مجدد از آب های باز یافتی در کشاورزی، یک ارزیابی ریسک جامع مشتمل بر همه مراحل فرآیند، استفاده مجدد از پساب تا تولید و مصرف محصول، باید در نظر گرفته شود. ارزیابی سیستم، شناسایی اقدامات کنترلی و روش هایی برای پایش و توسعه برنامه مدیریت ریسک، سه قسمت از این رویکرد بوده که جهت رسیدن به اهداف مبتنی بر سلامت مهم می باشند. مجموعه اقدامات کنترلی برای کاهش تماس با آلاینده ها برای آبیاری نامحدود در مقایسه با آبیاری محدود، متغیر خواهد بود. به عنوان مثال، ممکن است کاهش ۹۹/۹۹٪ در تماس با پاتوژن ها برای دستیابی به اهداف مبتنی بر سلامت برای آبیاری نامحدود مطلوب باشد؛ در حالی که یک کاهش ۹۹٪ برای دستیابی به اهداف مبتنی بر سلامت برای آبیاری محدود، قابل قبول باشد. در مورد اول، اهداف توسط ترکیب تصفیه و آبیاری موضعی و در مورد دوم تنها توسط تصفیه (به همراه جلوگیری از تماس کارگران و جوامع محلی) قابل انجام است. به منظور کاهش ریسک های مرتبط با استفاده مجدد از آب های باز یافتی در کشاورزی، ترکیبی از راهکارها جهت دستیابی به شرایط مطلوب باید انجام شود که عبارتند از:

- تصفیه فاضلاب: حذف پاتوژن ها و مواد شیمیایی سمی تا غلظت های قابل قبول رسیدن به اهداف مبتنی بر سلامت.
- محدود کردن نوع محصول: کاشت گیاهانی که مستقیماً توسط انسان خورده نشوند یا همیشه قبل از مصرف، فرآوری (پخته) شوند.
- نحوه کاربرد آب باز یافتی: استفاده از تکنیک های کاربرد پساب به نحوی که تماس کارگران با آلودگی را کاهش دهد.
- روش های کنترل تماس: محدود کردن دسترسی عمومی به مزارع آبیاری شده با پساب، پوشیدن لباس های حفاظتی توسط کارگران، رعایت ضوابط بهداشت شخصی مانند شستن دست ها با صابون جهت حذف آلاینده ها بعد از تماس با فاضلاب یا محصولات آلوده شده با آنها.
- شستشو، گندزدایی و پختن محصول: شستشوی صحیح محصول در خانه با آب آشامیدنی سالم یا با استفاده از گندزدهای شیمیایی، امکان آلودگی و تماس بالقوه با پاتوژن ها و بعضی از مواد شیمیایی را کاهش می دهد. پختن کامل غذا و محصولات آبیاری شده با پساب قبل از مصرف، بعضی از پاتوژن ها را غیرفعال خواهد کرد.

۲۲- ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی استفاده مجدد در کشاورزی

در طرح های استفاده مجدد از آب های بازیافتی، ملاحظات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- ۱) ارزیابی درجه تصفیه مورد نیاز و دفع پساب
- ۲) ارزیابی عرضه و تقاضای آب بازیافتی
- ۳) ارزیابی منافع کاربرد آب بازیافتی بر مبنای موقعیت های موجود برای استفاده مجدد از آب
- ۴) ارزیابی بازار آب بازیافتی
- ۵) ارزیابی فنی و اقتصادی گزینه های استفاده مجدد
- ۶) طرح اجرایی با ارزیابی مالی
- ۷) برنامه اطلاعات عمومی

در برنامه ریزی طرح های استفاده مجدد از آب، یافتن خریدارانی که قادر به استفاده از آب بازیافتی بوده و به آن علاقه مند باشند، ضروری است.

گرچه اجرای بیشتر طرح های استفاده مجدد آب بر عوامل فنی، زیست محیطی و اجتماعی استوارند، در بسیاری از موارد به نظر می رسد عوامل مالی مرتبط با اجرا یا عدم اجرای طرح های استفاده مجدد از اهمیت بیشتری برخوردارند. به جای تأکید بر رویکرد هزینه-اثر بخشی به عنوان روشی برای سنجش توجه یک طرح استفاده مجدد آب باید تأکید بیشتری بر ملاحظات زیست محیطی، مقبولیت عمومی و سیاست های عمومی وجود داشته باشد.

تحلیل های اقتصادی و مالی. تمرکز تحلیل اقتصادی بر ارزش منابع سرمایه گذاری شده (بصورت ریالی) در یک طرح برای احداث و بهره برداری از آن می باشد. تحلیل مالی بر هزینه های ارزیابی شده و مزایای طرح از نقطه نظر سرمایه گذار طرح، مشارکت کننده ها و دیگر افرادی که تحت تأثیر طرح هستند، استوار است. این هزینه ها و مزایای ارزیابی شده ممکن است بواسطه یارانه ها یا نقل و انتقال های مالی، برآورد واقعی ارزش منابع سرمایه گذاری شده نباشند.

در حالی که هدف از تحلیل اقتصادی، ارزیابی طرح های بازیابی و استفاده مجدد آب در چارچوب تأثیر بر جامعه می باشد. تحلیل مالی بر توانایی بومی درآمدزایی از عایدات طرح، اعتبارات دولتی، وام ها و تعهدات پرداخت برای طرح متمرکز است.

نتیجه اصلی تحلیل اقتصادی، پاسخ به این پرسش است که آیا اجرای یک طرح استفاده مجدد از آب باید در دستور کار قرار بگیرد یا خیر؟ همچنین امکان یا عدم امکان احداث طرح استفاده مجدد آب

نیز دیگر پرسشی است که از اهمیتی یکسان برخوردار است. هردوی این جنبه ها ضروری هستند. با این همه، تنها طرح هایی که توجیه اقتصادی داشته باشند، مورد ارزیابی مالی قرار می گیرند.

هزینه و قیمت آب. یک عامل بااهمیت در برآورد پولی طرح های استفاده مجدد آب، ایجاد تمایز بین هزینه و قیمت آب است. در یک تحلیل اقتصادی، تنها جریان های آتی منابع سرمایه گذاری شده در طرح یا برآمده از آن مورد بررسی قرار می گیرد. منابع پیشین سرمایه گذاری شده به عنوان هزینه هایی قلمداد می شود که با تصمیمات آتی سرمایه گذاری مرتبط نمی باشد. به این جهت، پرداخت اصل و فرع سرمایه گذاری های پیشین در تحلیل اقتصادی مورد بررسی قرار نمی گیرد. قیمت آب، میزان پولی است که به فروشنده آب پرداخت می شود. قیمت آب عموماً نشان دهنده مجموعه هزینه های گذشته و فعلی مجموعه طرح ها و همچنین هزینه های مدیریتی سیستم آب که معمولاً هزینه های ثابتی هستند، می باشد. هزینه های مرتبط با یک تحلیل اقتصادی تنها هزینه های احداث در آینده، بهره برداری و نگهداری می باشند.

به منظور تعیین مزایای تأمین آب از یک طرح استفاده مجدد آب در یک تحلیل اقتصادی، این طرح عموماً با ایجاد چندین منبع آب شیرین جدید مقایسه می شود. در انجام این تحلیل، هزینه های مربوطه که مورد مقایسه قرار می گیرند عبارتند از جریان آتی هزینه ها: (۱) برای احداث تأسیسات جدید آب شیرین (۲) بهره برداری و نگهداری تمامی تأسیسات مورد نیاز برای تصفیه و ارسال آب از منابع جدید. در این مورد، قیمت حال و آینده آب، مبنای مناسبی برای مقایسه و قضاوت در مورد مزایای تأمین آب از یک طرح استفاده مجدد آب، در دسترس قرار نمی دهد.

از سوی دیگر، در نظر داشتن قیمت های تعیین شده برای آب شیرین و آب بازیابی شده به منظور تعیین امکان پذیر بودن از نظر مالی با اهمیت است. هزینه نهایی آب برای خریدار هزینه تعیین شده است و بر مبنای مصرف کننده های بالقوه آب بازیابی شده در تعیین تمایل برای شرکت در طرح استفاده مجدد آب، ارزیابی می شود.

اگرچه مسئولیت جمع آوری، تصفیه و دفع فاضلاب شهری معمولاً برعهده شرکت های آب و فاضلاب و یا شهرداری می باشد اما کشاورزانی که تمایل به استفاده از آب های خروجی تصفیه خانه دارند، معمولاً آمادگی دارند تا هزینه مربوط به آنچه را که از آن استفاده می کنند، بپردازند. آنها عموماً آمادگی پرداخت هزینه های کلی دفع فضولات ناشی از تصفیه فاضلاب را ندارند. متولیان تصفیه فاضلاب بایستی به مسئولین امور مالی خود تفهیم نمایند که هزینه های دستیابی به اهداف حفاظت از محیط زیست در طرح، هدف اصلی بوده و کشاورزان بایستی فقط هزینه های مربوط به

تصفیه اضافی و یا شبکه انتقال و توزیع پساب به مزارع را بر عهده گیرند. پرداخت های کشاورزان ممکن است بصورت تعرفه های استفاده مستقیم از جریان فاضلاب تصفیه شده و یا شرکت در سرمایه گذاری و یا هزینه های بهره برداری از تصفیه خانه فاضلاب و شبکه انتقال پساب صورت بگیرد. همچنین کشاورزان می توانند با پرداخت های نقدی و یا خودیاری بصورت تحویل زمین برای کارخانه یا مخازن و یا کار در امر نگهداری و بهره برداری سیستم تصفیه، مشارکت نمایند.

ضرورت دارد که هنگام انتخاب فرآیند تصفیه، مسائل مربوط به انتخاب نوع محصول و سیستم آبیاری با فاضلاب نیز در نظر گرفته شود. تنها با اتخاذ این روش است که می توان از طرح های مذکور با حداقل سرمایه گذاری و بدون مواجه شدن با خطرات احتمالی برای بهداشت عمومی، استفاده لازم را به عمل آورد. با توجه به نوسانات تولید و تقاضا برای پساب خروجی که از تغییرات فصلی و زمانی مصرف آب ناشی می شود، کشت محصولات و نیاز آبی آنها بایستی همواره تنظیم گردد حتی اگر بهای پساب متغیر باشد و در فصل گرما افزایش یابد.

دورنما و موفقیت هر گونه طرح استفاده مجدد از پساب تا اندازه ای به مهارت های اداری در سازماندهی تشکیلات مربوطه، بستگی دارد. جمع آوری فاضلاب، تصفیه و استفاده مجدد از آن در کشاورزی، محدوده وسیعی از موضوعات مورد توجه شهری و روستایی را در بر می گیرد و لذا مسئولیت های سازمانی و تشکیلاتی باید دقیقاً معین و روشن گردد و تصمیمات زیر اتخاذ شود:

- تخصیص پساب به استفاده های رقابتی موجود
- حفظ استانداردهای کیفی و قابلیت اعتماد سیستم
- سرمایه گذاری در منابع حمایتی، بخصوص کادر مدیریتی و فنی مورد نیاز برای هر یک از عوامل تشکیل دهنده در اداره طرح استفاده مجدد از پساب.

یکی از مهمترین خصوصیات یک طرح موفق استفاده مجدد، نظارت کامل بر تمام سیستم می باشد. این کنترل دقیق، بایستی از سیستم تصفیه فاضلاب و سیستم های آبیاری و انتقال گرفته تا کیفیت محصولات تولیدی اعم از اینکه آنها دارای ارزش تجاری و یا ارزش زیست محیطی باشند، به عمل آید.

استفاده از آب های بازیافتی در کشاورزی به عنوان یک منبع اصلی برای توسعه فعالیت کشاورزی بوده و به نوعی ساختار تشکیلاتی که از منابع کافی برخوردار باشد، نیازمند است تا به موفقیت نایل آید.

چارچوب قانونی و حقوقی برای استفاده از جریان فاضلاب در کشاورزی می تواند تأثیر مهمی بر روی امکان سنجی اجرای این پروژه ها باشد. برای استفاده مجدد از آب های بازیافتی در کشاورزی لازم است که یک سیاست ملی و منسجم و مرتبط به هم، اتخاذ گردد. در این سیاست گذاری باید مسئولیت های بین وزراء و مسئولین امور مشخص گردد و هماهنگی لازم بین آنها و نیز مکانیزم های تشکیلاتی برای اجرای سیاست ملی به عمل آید و ضوابط قانونی برای اعمال مقررات تدوین شود. همچنین لازم است که استانداردهای واقعی برای تضمین امنیت بهداشت عمومی و حفظ محیط زیست در مقابل مضرات احتمالی تدوین گردند. در تدوین و توسعه خطوط هدایت سیاسی، معمولاً تشکیل یک کمیته مشاور در سطح ملی و یا منطقه ای مفید خواهد بود. این کمیته بایستی نماینده تمام گروه های اصلی و علاقه مند شامل برنامه ریزان منابع آب، بهداشت عمومی، شهرداری ها، کشاورزی و منابع طبیعی، حفاظت از محیط زیست، علاقه مندان تجاری و بازرگانی (مانند کشاورزان) باشد.

۲۳- قوانین و استانداردهای ملی و بین المللی مرتبط با آب های بازیافتی

پروژه های استفاده مجدد از فاضلاب بیش از ۱۰۰ سال است که به عنوان یک استراتژی ترکیبی و مؤثر برای حفظ و جلوگیری از آلودگی منابع آب مورد توجه قرار گرفته و رهنمودهای بهداشتی نیز در این راستا تدوین شده است. لازم به ذکر است که رهنمودهای مربوط به استفاده مجدد از پساب بر اساس تحقیقات تخصصی و مطالعات اپیدمیولوژیکی و به منظور حفظ بهداشت عمومی و محیط زیست تدوین می شوند و در این راستا مسائل تکنیکی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی نیز مدنظر قرار می گیرند.

۲۳-۱ سابقه تدوین استانداردهای استفاده مجدد از آب های بازیافتی در کشاورزی

گرچه از قرن ۱۹، کاربرد فاضلاب در کشاورزی رواج داشته است ولی تا اوایل قرن بیستم این کار تابع هیچ مقرراتی نبوده است. از آن زمان به علت مشخص شدن اثرات بیماریزایی فاضلاب، استفاده از آن در کشاورزی طبق دستورالعمل های محدودکننده ای صورت گرفته است تا از این طریق سلامت مردم تضمین شود. اولین استاندارد تصفیه و استفاده مجدد از پساب در ایالت کالیفرنیا در سال ۱۹۱۸ وضع شد و طبق آن استفاده از پساب حاصل از تصفیه اولیه جهت آبیاری کشاورزی

مجاز شمرده شد. بعداً سازمان بهداشت جهانی پس از سال ها مطالعه و تحقیق، گزارشی در این رابطه منتشر کرد و برای مصارف مختلف پساب، حداقل تصفیه لازم را تعیین نمود. در سال ۱۹۸۹، استانداردهای بازیافتی شده سازمان بهداشت جهانی تحت عنوان "راهنمای بهداشتی کاربرد فاضلاب در کشاورزی و آبیاری پروری" منتشر شد.

در این راستا علاوه بر سازمان جهانی بهداشت، در سطح بین المللی USEPA و FAO نیز استانداردهایی را در زمینه استفاده مجدد از آب های بازیافتی ارائه داده و در سطح ملی نیز سازمان محیط زیست ایران و معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، مجموعه ای از استانداردها را تدوین و ارائه داده اند.

۲۳-۲ استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران

در قوانین زیست محیطی کشور ما، ایران، تدوین استانداردهای زیست محیطی به عهده سازمان حفاظت محیط زیست و با همکاری نهادهای ذیربط دولتی گذاشته شده و مرجع تصویب آنها نیز عمدتاً هیئت محترم وزیران و یا شورای عالی حفاظت محیط زیست می باشد. استانداردهای زیست محیطی استفاده مجدد از آب های بازیافتی در ایران، اولین بار در سال ۱۳۷۳ تدوین شده است. این استاندارد به استناد ماده ۵ آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب و با توجه به ماده ۳ همین آیین نامه و با همکاری وزارتخانه های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نیرو، صنایع، صنایع سنگین، معادن و فلزات کشور و کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست، تهیه و تدوین گردیده است. استاندارد خروجی فاضلاب ها بر اساس سه محیط پذیرنده (آب سطحی، کشاورزی، آب های زیرزمینی) منتشر شده است. این استانداردها در برگزیده ۵۲ پارامتر کیفی بوده که مقادیر حد مجاز آلاینده های مربوطه جهت استفاده مجدد از پساب در کشاورزی در جدول (۲۷) ارائه شده است. در این استاندارد، تعاریف و اصطلاحاتی که به کار رفته است به شرح ذیل می باشند:

- آب سطحی: عبارتست از آب های جاری فصلی یا دائمی، دریاچه های طبیعی یا مصنوعی و تالاب ها

- چاه جاذب: عبارتست از حفره یا گودالی که قابلیت جذب داشته و کف آن تا بالاترین سطح ایستابی، حداقل ۳ متر فاصله داشته باشد.

- ترانشه جذبی: عبارتست از مجموعه ای از کانال های افقی که فاضلاب به منظور جذب در زمین به آنها تخلیه شده و فاصله کف آنها از بالاترین سطح ایستابی، حداقل ۳ متر باشد.

جدول ۲۷- استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران در ارتباط با کیفیت پساب خروجی

مصارف کشاورزی و آبیاری	مواد آلوده کننده	مصارف کشاورزی و آبیاری	مواد آلوده کننده
-	نیتريت	۰/۱	نقره
-	نیترات	۵	آلومینیوم
-	فسفات	۰/۱	آرسنیک
۱	سرب	۱	بر
۰/۱	سلنیم	۱	باریم
۳	سولفید	۰/۵	بریلیم
۱	سولفیت	-	کلسیم
۵۰۰	سولفات	٪۵	کادمیوم
۰/۱	وانادیم	۰/۲	کلر آزاد
۲	روی	۶۰۰	کلراید
۱۰	چربی و روغن	۱	فرمالدئید
۰/۵	دترجنت	۱	فنل
۱۰۰	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی	۰/۱	سیانور
۲۰۰	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	٪۵	کیالت
۲	اکسیژن محلول (حداقل)	۱	کروم (شش ظرفیتی)
-	مجموع مواد جامد محلول	۲	کروم (سه ظرفیتی)
۱۰۰	مجموع مواد جامد معلق	۰/۲	مس
-	مواد قابل ته نشینی	۲	فلوئوراید
۶-۸/۵	pH (حدود)	۲	آهن
صفر	مواد رادیواکتیو	ناچیز	جیوه
۵۰	کدورت (واحد کدورت)	۲/۵	لیتیم
۷۵	رنگ (واحد رنگ)	۱۰۰	منیزیم
-	درجه حرارت	۱	منگنز
۴۰۰ (در صد میلی لیتر)	کلیفرم گوارشی	۲	مولیبدن
۱۰۰۰ (در صد میلی لیتر)	MPN کل کلیفرم	۲	نیکل
تبصره	تخم انگل	-	آمونیم (آمونیاک)

تبصره- تعداد تخم انگل (نماتود) در فاضلاب تصفیه شده شهری، در صورت استفاده از آن جهت آبیاری محصولاتی که بصورت خام مورد مصرف قرار می گیرند نباید بیش از یک عدد در هر لیتر باشد.

۲۳-۳ بررسی نشریه شماره ۵۳۵، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری

با توجه به اهمیت استفاده مجدد از پساب ها، امور آب و وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه نشریه ای (نشریه شماره ۵۳۵) با عنوان "ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشتی و پساب ها" را با هماهنگی دفتر نظام فنی اجرایی معاونت نظارت راهبردی ریاست جمهوری در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تأیید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور، ارسال نمود تا پس از بررسی، بر اساس ماده ۲۳

قانون برنامه و بودجه و آیین نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیأت محترم وزیران و طبق نظام فنی اجرایی کشور (مصوب شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردد. این نشریه به منظور راهنمایی و ایجاد هماهنگی در زمینه استانداردها، قوانین و ضوابط زیست محیطی استفاده از پساب ها و آب های برگشتی در مصارف مختلف، تهیه و تدوین گردیده است و در برگیرنده نتایج تجربیات داخلی و خارجی استفاده از پساب ها و آب های برگشتی، کمیت و کیفیت آب های بازیافتی، اثرات زیست محیطی استفاده از این آب ها، معیارهای قانونی و استانداردهای مربوط و پیشنهاد ضوابط زیست محیطی کاربرد آنها و ارائه برنامه های آموزشی در بهره برداری از آب ها می باشد (جدول ۲۸).

جدول ۲۸- استاندارد کیفی پیشنهادی (براساس نشریه ۵۳۵) برای کاربرد پساب ها و آب های برگشتی در آبیاری فضای سبز

پارامتر	واحد	مقدار حداکثر مجاز
pH	-	۶/۵-۸/۴
هدایت الکتریکی (EC_w)	میکروزیمنس بر سانتیمتر	۷۰۰
نسبت جذب سدیم تنظیم شده (SAR_{adj})	-	۳ ^۱
سدیم (Na^+)	میلی گرم بر لیتر	۷۰ ^۲
کلراید (Cl)	میلی گرم بر لیتر	۱۰۰ ^۳
بُر (B)	میلی گرم بر لیتر	۰/۷
کربنات (CO_3^{2-})	میلی گرم بر لیتر	۳-۰
بی کربنات (HCO_3^-)	میلی گرم بر لیتر	۹۰ ^۴
فسفات (PO_4^{3-})	میلی گرم بر لیتر	۵۰
نیترژن نیترات ($N-NO_3^-$)	میلی گرم بر لیتر	-
نیترژن آمونیاکی ($N-NH_4^+$)	میلی گرم بر لیتر	مجموعاً ۵
کل مواد جامد معلق (TSS)	میلی گرم بر لیتر	۴۰
کل مواد محلول (TDS)	میلی گرم بر لیتر	۴۵۰
اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)	میلی گرم بر لیتر	۳۱
کلیفرم مدفوعی	MPN/100 ml	۱۰۰۰ ^۵
تخم نماتودهای روده ای	تعداد در لیتر	۱ ^۶

۱- مقدار جذب سدیم تنظیم شده مندرج در جدول به ازای حداقل $EC_w = 0.7 \text{ ds/m}$ در نظر گرفته شده است. برای مقادیر بیشتر SAR، میزان هدایت الکتریکی به صورت زیر تغییر خواهد نمود:

$SAR < 3$ تنظیم شده	$EC_w \geq 1/2$
$SAR < 12$ تنظیم شده	$EC_w \geq 1/8$
$SAR < 20$ تنظیم شده	$EC_w \geq 2/8$
$SAR < 40$ تنظیم شده	$EC_w \geq 5$

۲- این مقدار برای آبیاری بارانی است. برای آبیاری سطحی، مقدار حداکثر مجاز بر حسب SAR برابر ۳ می باشد.

۳- این مقدار برای آبیاری بارانی است. برای آبیاری سطحی، حداکثر مجاز ۱۴۰ میلی گرم در لیتر می باشد.

۴- این مقدار تنها برای آبیاری بارانی است.

۵- میانگین هندسی

۶- میانگین حسابی

۲۳-۴ استانداردها و رهنمودهای بین المللی

- در این بخش، استانداردها و رهنمودهای مرتبط با موضوع استفاده مجدد از پساب ها و آب های بازیافتی جهت مصارف کشاورزی ارائه شده که مشتمل بر موارد زیر است.
- رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت (WHO) در زمینه کیفیت میکروبیولوژیکی فاضلاب های تصفیه شده جهت کاربرد در کشاورزی
 - رهنمودهای سازمان خوارو بار کشاورزی (FAO) در زمینه کیفی پساب تصفیه شده جهت آبیاری فضای سبز
 - استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) جهت استفاده مجدد از پساب ها جهت کشاورزی
 - استاندارد آکادمی ملی علوم آمریکا (NAS) مرتبط با استفاده مجدد از پساب در کشاورزی
 - استانداردهای استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی در کشورهای چین، عربستان، تونس، آمریکا، تایوان، مجارستان و کانادا
 - استانداردهای کیفی کشور اردن جهت استفاده از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری گیاهان (استاندارد شماره ۸۹۳/۱۹۹۵)

۲۳-۴-۱ رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی (WHO)

با وجود اینکه قوانین و مقررات ایالت متحده به عنوان بهترین تکنولوژی و بالاترین سطوح ممکن حفاظت از سلامت عمومی مطرح شده است، چنین مقرراتی ممکن است در بعضی کشورها مناسب نباشد. قوانین توسعه داده شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO)، رویکرد متفاوتی از رهنمودها و قوانین ایالت متحده دارد. در رهنمودهای WHO، ملاحظات مطابق با هزینه فرآیندهای تصفیه و مرتبط با مخاطرات بهداشتی ناشی از آبیاری با آب بازیافتی و دیگر عوامل بیماری ها، ارائه شده است.

سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۸۹ در زمینه کیفیت میکروبیولوژیکی فاضلاب برای استفاده در کشاورزی، راهنمای کاملی را ارائه نمود ولی با وجود این راهنما، سازمان مذکور توصیه می کرد که در شرایط خاص باید به عوامل محلی از نظر اپیدمیولوژیکی، فرهنگی، اجتماعی و محیط زیستی توجه داشت. هدف WHO از تدوین چنین رهنمودهایی، تعیین مقادیر رهنمودی برای مهندسیین طراح جهت انتخاب تکنولوژی های مناسب برای تصفیه فاضلاب و برای برنامه ریزها جهت انتخاب

گزینه های برتر مدیریتی است.

به نظر می رسد رهنمود مورد نظر سازمان بهداشت جهانی در زمینه شاخص های بهداشتی (سال ۱۹۸۹)، مقادیر مناسبی بوده و با توجه به در نظرگیری تعداد تخم انگل ها و همچنین توجه به تفکیک گونه های زراعی به سه گروه A (گیاهانی که احتمالاً خام خورده می شوند، زمین های ورزشی و پارک ها)، گروه B (غلات، گیاهان صنعتی یا علوفه ای، درختان و چراگاه ها) و گروه C (آبیاری موضعی مثل آبیاری قطره ای گیاهان گروه B در صورتی که کسی در معرض قرار نگیرد)، می تواند شاخص بهداشتی خوب و عملی در زمینه استفاده از پساب ها در کشورها محسوب شود. این استاندارد در سال ۲۰۰۰ مورد بازنگری قرار گرفت که در جدول (۲۹) ارائه شده است. میزان کاهش لگاریتمی مورد نیاز برای عوامل پاتوژن و مراحل تصفیه پیشنهادی جهت تصفیه فاضلاب ها به منظور استفاده مجدد در کشاورزی در جداول (۳۰ و ۳۱) ارائه شده است.

جدول ۲۹- توصیه های پیشنهادی میکروبیولوژی (WHO)^a برای فاضلاب مورد استفاده در آبیاری

گروه	شرایطی که فاضلاب در آن بکار می رود	گروه های در معرض خطر	سیستم آبیاری	کرمک های روده ای ^b (تعداد تخم کرم در لیتر)	کلیفرم های مدفوعی (تعداد کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر) ^d
A	آبیاری محصولاتی که به صورت خام مصرف می شوند، آبیاری پارک های عمومی و مناطق تفریحی و ورزشی ^e	کارگران، مصرف کنندگان و عموم مردم	تمام سیستم های آبیاری	<۰/۱ ^f	<۱۰۰۰
B	آبیاری غلات، علوفه، گیاهان صنعتی، چراگاه ها و درختان ^g	B۱: کارگران (به غیر از بچه های کمتر از ۱۵ سال) B۲: مانند B۱ B۳: کارگران که شامل بچه های کمتر از ۱۵ سال می گردد، عموم مردم	قطره ای یا بارانی شپاری تمام سیستم های آبیاری	≤۱ ≤۱ ≤۰/۱	≤۱۰ ^h ≤۱۰ ^h ≤۱۰ ^h
C	آبیاری موارد دسته B در صورتی که کارگران و عموم در معرض فاضلاب نباشند	هیچکس	آبیاری قطره ای	قابلیت کاربری ندارد	قابلیت کاربری ندارد

^a در موارد خاص، فاکتورهای اپیدمیولوژیکی، اجتماعی- فرهنگی و زیست محیطی محل باید در اصلاح راهنما مدنظر قرار گیرد.

^b اسکاریس، تریکوریس و کرم های قلابدار؛ مقدار راهنما همچنین محافظت در برابر خطر آلودگی به پروتوزوئهای بیماریز را در بر می گیرد.

^c اگر فاضلاب از طریق برکه های تثبیت یا سیستم های تصفیه ای که برای دستیابی به این تعداد تخم کرم طراحی شده، تصفیه شده است. پایش متداول کیفیت پساب نیاز نیست.

^d شمارش باکتری های کلیفرم مدفوعی ترجیحاً هفتگی و حداقل ماهیانه باید انجام شود.
^e یک مقدار راهنمای سخت گیرانه تر (کمتر از ۲۰۰ کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر) در مواردی که پساب برای آبیاری چمن های عمومی نظیر چمن هتل بکار می رود، به دلیل تماس مستقیم مردم با پساب باید در نظر گرفته شود.
^f حدود این راهنما می تواند به کمتر مساوی ۱ عدد تخم در لیتر افزایش یابد اگر:
 - شرایط گرم و خشک است و از سیستم آبیاری سطحی استفاده نمی شود.
 - اگر در مناطقی که فاضلاب تصفیه شده استفاده مجدد می شود، از داروهای شیمیایی کرم کش در تکمیل تصفیه فاضلاب استفاده می شود.
^g در مورد درختان میوه، لازم است که آبیاری دو هفته قبل از چیدن میوه ها متوقف شود و هیچ میوه ای هنگام چیدن نباید روی زمین بیفتد. آبیاری بارانی برای درختان میوه نباید استفاده شود.

جدول ۳۰- اهداف بهداشتی برای استفاده از فاضلاب های تصفیه شده در کشاورزی (WHO, ۲۰۰۶)

نوع روش آبیاری	نوع محصول	تعداد تخم نماتود روده ای در لیتر	میزان کاهش لگاریتمی عوامل پاتوژن
آبیاری نامحدود	کاهو	$\leq 1^{a,b}$	۶
	پیاز	$\leq 1^{a,b}$	۷
آبیاری محدود	کاملاً مکانیزه	$\leq 1^{a,b}$	۳
	دستی (متمرکز به نیروی کار)	$\leq 1^{a,b}$	۴
آبیاری موضعی	محصولات با رشد سریع	^c توصیه ای وجود ندارد	۲
	محصولات با رشد کند	$\leq 1^b$	۴

^a هنگامی که کودکان زیر ۱۵ سال در معرض تماس با فاضلاب هستند، تدابیر لازم برای محافظت از سلامتی باید مضعف گردد. (تعداد تخم انگل در فاضلاب تصفیه شده ≥ 10 در هر لیتر، به علاوه تجهیزات محافظتی نظیر دستکش، کفش یا چکمه یا درمان دارویی باید استفاده شود).

^b متوسط حسابی تخم نماتود باید در فصل آبیاری اندازه گیری شود. مقدار متوسط آن باید کمتر یا مساوی یک تخم در هر لیتر باشد که باید حداقل برای ۹۰٪ نمونه ها بدست آید تا اجازه استفاده در موقعیت های متفاوت را داشته باشد. در بخشی از پروسه تصفیه فاضلاب، زمان ماند هیدرولیکی می تواند به عنوان تضمینی جهت اطمینان از تأمین تعداد تخم نماتود روده ای کمتر یا مساوی یک تخم در لیتر باشد.

^c برای محصولاتی که از روی خاک برداشت می شوند، صادق نیست.

جدول ۳۱- مراحل تصفیه پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی برای استفاده از فاضلاب در کشاورزی

مصارف آبیاری کشاورزی			فرآیندهای تصفیه
محصولاتی که بطور مستقیم مورد استفاده انسان نیست	محصولاتی که بطور پخته مصرف می شوند	محصولاتی که بطور خام مصرف می شوند	
A, D	C, D یا B, D	C, D	ضوابط بهداشتی
**	**	**	تصفیه مقدماتی
-	**	**	تصفیه ثانویه
-	*	*	صافی شنی
-	*	**	گندزدایی

ضوابط بهداشتی:

- *- وجود این مرحله ممکن است لازم باشد.
- ** - وجود این مرحله از تصفیه بسیار ضروری است.
- A- عاری از مواد جامد و تخم انگل ها و پارازیت ها باشد.
- B- مانند A به اضافه اینکه آب باید عاری از باکتری ها باشد.
- C- آب نباید بیش از ۱۰۰ کللیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر در ۸۰ درصد نمونه های گرفته شده داشته باشد.
- D- عاری از مواد شیمیایی که جهت محصولات کشاورزی، مضر می باشد.

۲۳-۴-۲ استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)

آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا نیز به عنوان یک سازمان مطرح در زمینه اقدامات بهداشتی و زیست محیطی در طی سال های گذشته، استانداردهای متعددی را تدوین و ارائه نموده است. استاندارد EPA جهت استفاده مجدد از پساب ها در آبیاری، بیشتر جنبه ملاحظات زیست محیطی داشته و با در نظر گرفتن مصارف مختلف به ویژه در بخش کشاورزی مانند آبیاری اراضی با دسترسی محدود، آبیاری گیاهانی که خام مصرف می شوند، آبیاری محصولات خوراکی که پس از فرآوری مصرف می شوند، آبیاری باغ ها و تاکستان ها، مراتع و علفزار، گیاهان فیبری، گیاهان دانه ای، حدود مجاز کیفی مربوط به هر گروه از مصارف ارائه شده است و راه رسیدن به استاندارد مورد نظر و ملاحظات مربوطه مانند حداقل فاصله و ملاحظات خاص کیفی در زمینه بعضی از پارامترها ارائه شده است (جدول ۳۲).

جدول ۲۲- خطوط راهنمای پیشنهادی USEPA برای استفاده از آب های بازیافتی جهت کشاورزی

نوع استفاده	تصمیمه	کیفیت آب بازیافتی	پایش آب بازیافتی	فاصله حرم ^۳	ملاحظات
دسترسی محدود به مناطق آبیاری؛ چمن کاری، درخت کاری و سایر نقاطی که دسترسی عموم به آنها قاذغش یا محدود است.	تصفیه ثانویه فیلتر اسفون ضدعفونی	$pH = 6-9$ $BOD_5 < 10 \text{ mg/l}$ $BOD_5 \leq \text{YNTU}$ کلیرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر نباید وجود داشته باشد. ^۴ $1 \text{ mg/l} < \text{کلر باقیمانده}^5$	هفتگی= pH هفتگی= BOD ₅ کدورت= بطور مداوم کلیرم= روزانه کلر باقیمانده= مداوم	فاصله تا چاه های آب ۹۰ متر در صورت استفاده از آبیاری اسپری فاصله تا دسترسی عموم ۳۰ متر (در صورت استفاده از آبیاری اسپری)	وجود قاربات و محصولات زراعی باید مورد مشورت قرار گیرد. تصفیه فاضلاب در سطح پائین و فاقد تصفیه ثانویه و ضدعفونی پساب نظر به اینکه کلیرم مدفوعی به حدود کمتر یا مساوی ۱۴ عدد در ۱۰۰ میلی لیتر برسد. استفاده از پلنجرها و مواد منعقد کننده قبل از فیلتر اسفون آب بازیافتی نباید حاوی پاتوزن باشد. آب بازیافتی باید زلال، بی بو بوده و فاقد مواد سمی باشند. برای نابودی ویروس ها وانگل ها و یا غیرفعال کردن آنها باید با کلر باقیمانده زیاد باشد و یا اینکه زمان تماس افزایش یابد. - برای کاهش بو، لجن و رشد مجدد باکتری ها باید کلر باقیمانده در سیستم توزیع، مساوی و یا بیشتر از ۰.۵ میلی گرم در لیتر باشد.
		$pH = 6-9$ $BOD_5 < 30 \text{ mg/l}$ $SS \leq 30 \text{ mg/l}$ $200 / 1000 \leq \text{کلیرم مدفوعی}$ $1 \text{ mg/l} < \text{کلر باقیمانده}$	هفتگی= pH هفتگی= BOD ₅ SS= روزانه کلیرم= روزانه کلر باقیمانده= مداوم	فاصله تا چاه های آب ۹۰ متر در صورت استفاده از آبیاری اسپری فاصله تا دسترسی عموم ۳۰ متر (در صورت استفاده از آبیاری اسپری)	وجود قاربات در محصولات زراعی باید مورد مشورت قرار گیرد. در صورت استفاده از آبیاری اسپری، مقدار SS باید کمتر از ۳۰ میلی گرم در لیتر باشد تا موجب گرفتگی نازل ها نشود.

ادامه جدول ۳۲- خطوط راهنمای پیشنهادی USEPA برای استفاده از آب های بازیافتی جهت کشاورزی

نوع استفاده	تصفیه	کیفیت آب بازیافتی	پایش آب بازیافتی	فاصله حريم ^a	ملاحظات
آبیاری کشاورزی ^۱ ؛ آبیاری محصولاتی که بصورت تجاری فرایند می شوند. آبیاری سطحی و بارانی- آبیاری محصولاتی که بصورت خام مصرف می شوند.	تصفیه ثانویه فیلتراسیون ضدعفونی ^c	pH=۶-۹ BOD ₅ < ۱۰۰mg/l NITR < ۱۰۰ mg/l کلیرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر نباید وجود داشته باشد. ^{c,d} باید کل باقیمانده ^e > ۱۱mg/l	مفتگی = pH مفتگی = BOD ₅ کلرور ^b = بطور مداوم کلیرم = روزانه کل باقیمانده = مداوم	۱۵ متر تا منابع آبی (چاه) شرب	وجود فلزات سنگین مورد مشورت قرار می گیرد. بعد از انعقاد و یا افزودن پلیمر به آب بازیافتی قبل از فیلتراسیون امکان دارد از مواد شیمیایی برای حصول استانداردهای توصیه شده استفاده شود. آب بازیافتی نباید دارای عوامل پاتوزن باشد. ^g برای اطمینان از غیرفعال شدن یا نابودی ویروس ها و انگل ها باید از کلر یا استفاده شود. وجود مقادیر زیاد نوترینت در آب های بازیافتی ممکن است در برخی از مراحل رشد گیاهان اثر منفی بر روی محصول داشته باشد.
آبیاری کشاورزی ^۱ ؛ آبیاری محصولاتی که بصورت تجاری فرایند می شوند. آبیاری سطحی باغ های میوه و تاکستان ها	تصفیه ثانویه ^c ضدعفونی ^e	pH = ۶-۹ BOD ₅ ≤ ۳۰۰mg/l SS ≤ ۳۰۰mg/l کلیرم مدفوعی مدفوعی ^{c,d} > ۱۱mg/l کل باقیمانده ^e	مفتگی = pH مفتگی = BOD ₅ SS = روزانه کلیرم = روزانه کل باقیمانده = مداوم	۹۰ متر تا چاه های آب شرب و ۳۰ متر از محل هایی که توسط مردم قابل دسترسی است.	بررسی وجود فلزات در آب بازیافتی در صورت آبیاری اسیدی، مقدار SS باید کمتر از ۳۰ میلی گرم در لیتر باشد تا موجب گرفتگی نازل ها نشود. وجود مقادیر زیاد نوترینت در آب های بازیافتی ممکن است در برخی از مراحل رشد گیاهان اثر منفی بر روی محصول داشته باشد.

ادامه جدول ۳۲- خطوط راهنمای پیشنهادی USEPA برای استفاده از آب های بازیافتی جهت کشاورزی

نوع استفاده	تصفیه	کیفیت آب بازیافتی	پایش آب بازیافتی	فاصله حرمه ^a	ملاحظات
آبیاری کشاورزی: محمولات غیرخوراکی - مراغ حیوانات شیره - محمولات علوفه ای - علوفه جات - غلات	تصفیه ثانویه ضدعفونی	$pH = 6-9$ $BOD_5 \leq 30 \text{ mg/l}$ $SS \leq 30 \text{ mg/l}$ $SS \leq 200 \text{ mg/l}$ $SS \leq 100 \text{ mg/l}$	هفتگی = pH هفتگی = BOD ₅ روزانه = SS کلنفرم = روزانه کلر باقیمانده = مداوم	۹۰ متر تا چاه های آب شرب و ۳۰ متر از محل هایی که توسط مردم قابل دسترسی است. در صورتی که از آبیاری بازاری استفاده شود.	مانند موارد قبل بریدن حیوانات شیره تا ۱۵ روز بعد از آخرین آبیاری مراغ منجمد است. سطح ضدعفونی باید اقدر باشد که کلنفرم مذوقی کمتر از ۱۴ کلنفرم در ۱۰۰ میلی متر برسد.

a میزان حرمه توصیه شده بر اساس حفاظت از منابع آب شرب و سلامت انسان ها در برابر مخاطرات بهداشتی ناشی از تماس با آب های بازیافتی ارائه شده است.
b مقدار متوسط کدورت برای یک دوره ۲۴ ساعته در آبیاری کفی مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال میزان کدورت نباید هیچ موقع بیش از ۵ NTU باشد در مواقعی که از چاهحات ملغی به جای کدورت استفاده می شود، متوسط چاهحات ملغی نباید بیش از ۵ میلی لیتر باشد.
c مقدار پیشنهادی جهت کلنفرم ها بصورت مقدار میانگین نتایج آزمایش های باکتریولوژی در ۷ روز گذشته در نظر گرفته می شود.
d تعداد باکتری های کلنفرم های مدفوعی (در مواردی که در این جدول توصیه نشده) در هیچ یک از نمونه ها نباید بیش از ۱۴۰ عدد در ۱۰۰ میلی لیتر باشد.
e مقادیر این راهنما در شرایطی که از کلر جهت کدورتزدایی استفاده می شود کاربرد دارد. مقدار کلر باقیمانده بعد از حداقل ۱۰ دقیقه زمان تماس باید تا ۱۰ دقیقه کمتر از ۳۰ دقیقه باشد.

۲۳-۴-۳ استانداردهای استفاده از آب های بازیافتی جهت کشاورزی در کشورهای مختلف جهان

علاوه بر رهنمودهای فوق، در کشورهای مختلف به منظور تأمین سلامت عموم و حفاظت از محیط زیست، در برنامه ریزی های کاربرد پساب در کشاورزی گام های متفاوتی برداشته شده که یک نمونه از آن، تدوین استاندارد و رهنمودهای میکروبیولوژیکی است. از نظر تدوین و بکارگیری اینگونه استانداردها و رهنمودها، کشورها را می توان به چند گروه تقسیم نمود:

الف) در کشورهای صنعتی و پیشرفته مانند آمریکا و فرانسه، استانداردها و رهنمودها با دیدگاهی محافظه کارانه و براساس تکنولوژی پیشرفته و هزینه بالا و نیز با ریسک پذیری کم، تدوین شده است.

ب) در برخی کشورهای دیگر، رهنمودهای WHO که براساس تکنولوژی پایین و هزینه کم پایه گذاری شده، مورد قبول بوده و اساس کنترل را تشکیل می دهد.

ج) در مقابل کشورهای فوق، گروه سومی از کشورها که بیشتر شامل کشورهای در حال رشد هستند، بدون مطالعه و برنامه ریزی، استانداردهای بسیار سخت گیرانه ای را قبول نموده اند. این چنین استانداردهایی اگرچه مورد قبول مراجع قانونی است و برای داشتن وجهه بین المللی بسیار خوب است ولی عملاً به دلایل اقتصادی و فنی غیرقابل قبول و غیرقابل اجرا است. برای چنین کشورهایی شاید بهترین راه حل، تدوین گام به گام استانداردها باشد که در صورت اجرا می تواند به نحو مؤثری از مخاطرات بهداشتی جلوگیری نماید.

کشور اردن یکی از کشورهای واقع در ناحیه آب و هوایی خشک و نیمه خشک است و سالانه مقادیر بسیار زیادی فاضلاب های تصفیه شده را برای آبیاری استفاده می کند. سازمان حفاظت محیط زیست این کشور، استانداری را برای چهار گروه از محصولات کشاورزی، تدوین و منتشر کرده است که در جدول (۳۳) آمده است. کشور قبرس نیز استانداردهای فاضلاب خانگی تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری را برای محصولات گوناگون کشاورزی منتشر کرده است که در جدول (۳۴) ارائه شده است. با توجه به اهداف این راهنما، مقادیر عددی پارامترهای کیفی آب در کشاورزی تدوین شده در سایر کشورها نیز در جدول (۳۵) و مقایسه مقادیر استانداردهای مختلف جهت کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی در جدول (۳۶) ارائه شده است.

جدول ۳۳- استانداردهای کیفی کشور اردن جهت استفاده از فاضلاب خانگی
تصفیه شده در آبیاری گیاهان

(Jordanian Standard شماره ۸۹۳/۱۹۹۵)

پارامتر (mg/L)	سبزیجات پخته نشده	درختان جنگلی و محصولات صنعتی	آبیاری چمنزارها و پارک ها	آبیاری محصولات علوفه ای
BOD ₅	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 (TCU)	-	-	۷۵	-
FOG ¹	۸	۸	۸	۱۲
فنل	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
MBAS ²	۵۰	۵۰	۱۵	۵۰
N- NO ₃	۵۰	۵۰	۲۵	۵۰
N- NH ₄	-	-	۵۰	-
TN	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	-
PO ₄ -P	-	-	۱۵	-
SO ₄	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
CO ₃	۶	۶	۶	۶
HCO ₃	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰
Na	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰
Mg	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
Ca	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
SAR	۹	۹	۱۲	۹
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

ادامه جدول ۳۳- استانداردهای کیفی کشور اردن جهت استفاده از فاضلاب خانگی تصفیه شده در آبیاری گیاهان (Jordanian Standard شماره ۸۹۳/۱۹۹۵)

پارامتر (mg/L)	سبزیجات پخته نشده	درختان جنگلی و محصولات صنعتی	آبیاری چمنزارها و پارک ها	آبیاری محصولات علوفه ای
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
کلیفرم های مدفوعی (MPN/100ml)	۱۰۰۰	-	۲۰۰	-
آمییب و زیاردیا (تعداد کیست در هر لیتر)	۱	-	-	-
نماتود (تخم در هر لیتر)	<۱	-	<۱	>۱

^۱ روغن چربی ها و گریس

^۲ ترکیبات فعال متیلن بلو

جدول ۳۴- استانداردهای فاضلاب خانگی تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری در کشور قبرس

آبیاری	BOD ₅ (mg/L)	TSS (mg/L)	کلیفرم مدفوعی (در ۱۰۰ میلی لیتر)	تخم نماتود یا کرم های روده ای (تعداد در لیتر)	تصفیه مورد نیاز
کل محصولات	۱۰	۱۰	۵ ۱۵*	صفر	ثانویه، ثالثیه و گندزدایی
سبزیجاتی که بصورت پخته مصرف می شود	۱۰ ۱۵*	۱۰ ۱۵*	۵۰ ۱۰۰*	صفر	ثانویه، ثالثیه و گندزدایی
محصولات مورد استفاده انسانی	۲۰ ۳۰*	۳۰ ۴۵*	۲۰۰ ۱۰۰۰*	صفر	ثانویه و ذخیره بیشتر از ۷ روز، ثالثیه و گندزدایی
	-	-	۲۰۰ ۱۰۰۰*	صفر	برکه تثبیت، تکمیلی یا زمان ماند ۳۰ روزه یا ثانویه

ادامه جدول ۳۴- استانداردهای فاضلاب خانگی تصفیه شده مورداستفاده در آبیاری در کشور قبرس

تصفیه مورد نیاز	تخم نماتود یا کرم های روده ای (تعداد در لیتر)	کلیفرم مدفوعی (در ۱۰۰ میلی لیتر)	TSS (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	آبیاری
ثانویه و ذخیره بیشتر از ۷ روز، ثالثیه و گندزدایی برکه تثبیت، تکمیلی با زمان ماند ۳۰ روزه یا ثانویه	صفر	۱۰۰۰ ۵۰۰۰*	۳۰ ۴۵*	۲۰ ۳۰*	محصولات علوفه ای
ثانویه و گندزدایی	صفر	۳۰۰۰ ۱۰۰۰۰*	-	۵۰ ۷۰*	محصولات صنعتی
برکه تثبیت، تکمیلی با زمان ماند بیش از ۳۰ روز یا ثانویه با زمان ماند بیش از ۳۰ روز	-	۳۰۰۰ ۱۰۰۰۰*	-		

* اعداد دوم مربوط به حداکثر مجاز می باشد.

جدول ۳۵- استانداردهای کیفی آب های بازیافتی جهت آبیاری محصولات کشاورزی در برخی از کشورهای جهان

پارامتر	کانادا کلیه خاک ها	آمریکا خاک های شنی	تایوان	مجارستان		چین			عربستان		تونس
				۸/۵-۶/۵	۸/۵-۵/۵	برنج کاری	زمین های خشک	سبزیجات	کلیه خاک ها	کلیه خاک ها	
pH	-	-	-	۸/۵-۶/۵	۸/۵-۵/۵	۸/۵-۵/۵	۸/۵-۵/۵	۸/۵-۵/۵	۸/۵-۵/۵	۸/۵-۶/۵	-
TDS (میلی گرم بر لیتر)	۳۵۰۰	۵۰۰	-	-	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	-	۷۰۰	-
هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتیمتر)	-	-	۷۵۰	-	-	-	-	-	-	۷۰۰	-
جامدات معلق (میلی گرم بر لیتر)	-	-	۱۰۰	-	۱۵۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰	۳۰	-
کلرید (میلی گرم بر لیتر)	-	-	۱۷۵	-	۲۵۰	-	-	-	۲۸۰	۲۰۰۰	-
سولفات (میلی گرم بر لیتر)	-	-	۲۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
TKN (میلی گرم بر لیتر)	-	-	۱	-	۱۲	۳۰	۳۰	۳۰	-	-	-
BOD (میلی گرم بر لیتر)	-	-	-	-	۸۰	۱۵۰	۸۰	۸۰	۱۰	-	-
COD (میلی گرم بر لیتر)	-	-	-	-	۲۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۱۵۰	-	۹۰	-
درجه حرارت (سانتیگراد)	-	-	۲۵	-	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	-	-	-
آلومینیوم (میکروگرم بر لیتر)	-	۵۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	-	-	-	-	۵۰۰۰	-	-
آرسنیک (میکروگرم بر لیتر)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰	۱۰۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
برلییم (میکروگرم بر لیتر)	۱۰۰	۱۰۰	۵۰۰	۱۰۰	-	-	-	-	۱۰۰	-	-
بر (کل) (میکروگرم بر لیتر)	۶۰۰	۵۰۰	۷۵۰	۷۵۰	۷۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰	۳۰۰۰	-
کادمیوم (میکروگرم بر لیتر)	۱۰	۱۰	۱۰	۲۰	۵	۵	۵	۵	۵	۱۰	۱۰
کروم (کل) (میکروگرم بر لیتر)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
کبالت (میکروگرم بر لیتر)	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	-	-	-	-	۵۰	۱۰۰	۵۰
مس (میکروگرم بر لیتر)	۱۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۲۰۰
فلوئور (کل) (میکروگرم بر لیتر)	۱۰۰۰	-	-	-	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	-
آهن (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	۱۰۰	-	-	-	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰
سرب (میکروگرم بر لیتر)	۲۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
لینیم (میکروگرم بر لیتر)	-	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	-	-	-	-	۷۰	-	-
منگنز (میکروگرم بر لیتر)	-	۲۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰	-	-	-	۲۰۰	۵۰۰	۵۰۰

ادامه جدول ۳۵- استانداردهای کیفی آب های بازیافتی جهت آبیاری محصولات کشاورزی در برخی از کشورهای جهان

پارامتر	کانادا		آمریکا		تایوان	مجارستان	چین		عربستان			تونس
	کلیه خاک ها	خاک های شنی	خاک های شنی	خاک های شنی			برنج کاری	زمین های خشک	سبزیجات	کلیه خاک ها	کلیه خاک ها	
جیوه (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	۵	۱۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
مولبدن (میکروگرم بر لیتر)	۵۰-۱۰	-	۱۰	۱۰	۱۰	-	-	-	-	۱۰۰	-	-
نیکل (میکروگرم بر لیتر)	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	-	-	-	۲۰	۲۰۰	-
سلنیم (میکروگرم بر لیتر)	۵۰-۲۰	-	۲۰	۲۰	۲۰	-	-	-	-	۲۰	۵۰	-
نقره (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	-	۱۰۰	-	-	-	-	-	-
وانادیم (میکروگرم بر لیتر)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰	-	-	-	-	-	-
روی (میکروگرم بر لیتر)	۱۰۰۰-۵۰	-	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۵۰۰۰	-
سیانید (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	-	۱۰۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۵۰	-	-
مواد فعال کننده سطحی (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	۵۰۰۰	۵۰۰۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰۰	۵۰۰۰	-	-	-
نفت و روغن (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	۵۰۰۰	۸۰۰۰	-	-	-	-	-	-
بنزن (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	-	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	-	-	-
نفت (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	-	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	-	-	-
متانول (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	-	۱۰۰	-	-	-	-	-	-
تری کلرواستناید (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	-	-	۱۰۰۰	۵۰۰	۵۰۰	-	-	-
پروپیون آلدئید (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	-	-	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	-	-	-
فل (میکروگرم بر لیتر)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۰۰۰	-	-

جدول ۳۶- مقایسه استانداردهای ملی و جهانی کیفیت آب های بازیافتی

جهت کشاورزی (بر حسب mg/L)

پارامتر	WHO ^۱	FAO ^۲	EPA ^۳	NAS ^۴	DOE ^۵	نشریه ۵۳۵
نقره	-	-	۰/۰۵	-	۰/۱	-
آلومینیوم	۵	۵	۵	۵	۵	-
آرسنیک	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	-
بُر	۰/۷	۰/۷	۰/۷۵	-	۱	۰/۷
باریم	-	-	۱/۰	-	۱	-
بریلیوم	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۵	-
کلسیم	-	-	۲۰۰	-	-	-
کادمیوم	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	-
کلر آزاد	-	-	۰/۲۸	۰/۵	۰/۲	-
کلراید	۳	۴	۲/۸	۲/۸	۱۷	۲/۸۵
فرمالدئید	-	-	-	-	۱	-
فنل	-	-	-	-	۱	-
سیانور	-	-	-	-	۰/۱	-
کبالت	-	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	-
کروم (Cr ^{۶+})	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱	-
کروم (Cr ^{۳+})	-	-	-	-	۲	-
مس	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	-
فلوئوراید	۱	۱	۱	۱	۲	-
آهن	۵	۵	۵	۵	۳	-
جیوه	-	-	۰/۰۱	-	ناچیز	-
لیتیم	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	-
منیزیم	-	-	۲۵	-	۱۰۰	-
منگنز	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱	-
مولیبدن	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	-
نیکل	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۲	-
آمونیم-N	-	-	-	-	-	-
نیتريت	-	-	-	-	-	-
نیترات	۵	۵	TN=۳۰	-	-	-
فسفات-P	-	-	۱۰	-	-	۵۰
سرب	۵	۵	۵	۵	۱	-
سدیم (meq/L)	۳	-	۳	-	-	۳
سلنیم	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱	-
سولفید	-	-	-	-	۳	-
سولفیت	-	-	-	-	۱	-
وانادیم	۰/۱	۰/۱	۱	۰/۱	۰/۱	-
روی	۲	۲	۱	۲	۲	-
روغن	-	-	-	-	۱۰	-
پاک کننده ها	-	-	-	-	۰/۵	-

ادامه جدول ۳۶- مقایسه استانداردهای ملی و جهانی کیفیت آب های بازیافتی جهت کشاورزی (بر حسب mg/L)

پارامتر	^۱ WHO	^۲ FAO	^۲ EPA	^۴ NAS	^۵ DOE	نشریه ۵۳۵
EC (ds/m)	۰/۷	۰/۷	۰/۷	-	-	۰/۷
BOD ₅	-	-	۳۰	-	۱۰۰	۳۱
COD	-	-	۱۲۰	-	۲۰۰	-
DO	-	-	۲۰۰۰-۵۰۰	-	۲	-
TDS	۴۵۰	۴۵۰	-	-	-	۴۵۰
TSS	-	-	۳۰	-	۱۰۰	۴۰
بی کربنات (meq/L)	-	۸/۵-۱/۵	-	-	-	-
SAR	۳	۳	-	-	-	۳
pH	۶-۸/۵	۶/۵-۸	۶/۵-۸/۴	-	۶-۸/۵	۶/۵-۸/۴
مواد رادیواکتیو	۰	۰	۰	۰	۰	-
کدورت (NTU)	-	-	۲	-	۵۰	-
رنگ (TCU)	-	-	-	-	۷۵	-
کلیفرم گوآرشی (تعداد در ۱۰۰ ml)	۱۰۰۰	۱۰۰۰	-	-	۴۰۰	۱۰۰۰
کل کلیفرم (تعداد در ۱۰۰ ml)	۱۰۰۰	-	۲۰۰	-	۱۰۰۰	-
تخم انگل	۱	۱	۱	-	۱	۱

ماتود روده ای، عدد در لیتر)

^۱ سازمان بهداشت جهانی

^۲ سازمان خوار و بار و کشاورزی

^۳ آژانس حفاظت محیط زیست

^۴ آکادمی ملی علوم آمریکا

^۵ سازمان محیط زیست ایران

در جداول (۳۷) و (۳۸) به ترتیب کیفیت پساب و مشخصات فرآیندهای تصفیه فاضلاب برای محصولات غیرخوراکی و محصولات خوراکی در هفت ایالت مختلف آمریکا، نشان داده شده اند. در برخی از ایالات، از مقررات استفاده از پساب در ایالت کالیفرنیا، استفاده می گردد و در پاره ای دیگر از ایالات، مقررات وضع شده براساس مطالعات خودشان و مبتنی بر تأثیرات بهداشتی، تنظیم شده است. با توجه به اهمیت ویژگی های میکربی آب های بازیافتی، نمونه هایی از استانداردهای میکروبیولوژیکی متداول برای استفاده از آب های بازیافتی در آبیاری در جدول (۳۹) ارائه شده است.

جدول ۳۷- کیفیت پساب و مشخصات فرآیند تصفیه فاضلاب برای آبیاری محصولات غیرخوراکی در ۷ ایالت آمریکا (a)

ایالت	آریزونا	کالیفرنیا	فلوریدا	هاوایی	نوادا	تکزاس	واشنگتن
					پساب اکسیده		
تصفیه	تصفیه ثانویه	فاضلاب اکسیده شده (b) و ضد عفونی شده	تصفیه ثانویه و ضد عفونی شده	شده فیلتر شده و ضد عفونی شده	تصفیه ثانویه و ضد عفونی	مشخص نشده است (c)	اکسیده شده و ضد عفونی شده
BOD	مشخص نشده است	مشخص نشده است	CBOD= ۳۰ mg/l	مشخص نشده است	۳۰ mg/l	۵ mg/l	۳۰ mg/l
TSS	مشخص نشده است	مشخص نشده است	۵ mg/l	مشخص نشده است	مشخص نشده است	مشخص نشده است	۳۰ mg/l
کدورت	مشخص نشده است	مشخص نشده است	مشخص نشده است	حداکثر: ۲ NTU	مشخص نشده است	۳ NTU	میانگین: ۲ NTU حداکثر: ۵ NTU
کلیفرم	کلیفرم مدفوعی (d): ۲۳/۱۰۰ cc حداکثر: ۳۰ روزه: ۲۴۰/۱۰۰ cc	کلیفرم مدفوعی: ۲۰۰/۱۰۰ cc حداکثر: ۸۰۰/۱۰۰ cc	کلیفرم مدفوعی: ۲۰۰/۱۰۰ cc حداکثر: ۲۰۰/۱۰۰ cc	میانگین کلیفرم مدفوعی: ۲/۲/۱۰۰ cc حداکثر: ۲۳۰/۱۰۰ cc	میانگین کلیفرم مدفوعی: ۲۰۰/۱۰۰ cc حداکثر: ۷۵/۱۰۰ cc	میانگین کل کلیفرم مدفوعی: ۲۰/۱۰۰ cc حداکثر: ۴۰۰/۱۰۰ cc	کل کلیفرم مدفوعی: ۲۳/۱۰۰ cc حداکثر: ۲۴۰/۱۰۰ cc

a برگرفته از USEPA سال ۲۰۰۴

b فاضلاب اکسید شده، فاضلابی است که با فرآیندهای بیولوژیکی تصفیه شده باشد. از واژه «اکسیده شده» به جای تصفیه ثانویه استفاده شده است.

c برابر مقررات ایالتی، مشخص نشده است.

d کمتر از ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی لیتر در ۴ نمونه از ۷ نمونه.

جدول ۳۸- کیفیت پساب و مشخصات فرآیند تصفیه فاضلاب برای آبیاری محصولات خوراکی در ۷ ایالت آمریکا^(a)

ایالت	آریزونا	کالیفرنیا	فلوریدا	هاوایی	نوادا	تکزاس	واشنگتن
پساب باید اکسید شده ^(b)	پساب باید اکسید شده ^(b)	تصفیه ثانویه	تصفیه ثانویه	پساب باید اکسید شده و سپس فیلتر گرد و در نهایت ضد عفونی شود.	تصفیه ثانویه ضد عفونی	پساب باید بعد مشخص نشده از اکسیداسیون فیلتر شده و ضد عفونی شود.	پساب باید بعد مشخص نشده از اکسیداسیون فیلتر شده و ضد عفونی شود.
تصفیه فیلتراسیون ضد عفونی	تصفیه ثانویه سپس کواگوله شده و بعد از فیلتر شدن ضد عفونی شود.	فیلتراسیون ضد عفونی پیشرفته	فیلتراسیون ضد عفونی پیشرفته	پساب باید اکسید شده و سپس فیلتر گرد و در نهایت ضد عفونی شود.	تصفیه ثانویه ضد عفونی	پساب باید بعد مشخص نشده از اکسیداسیون فیلتر شده و ضد عفونی شود.	پساب باید بعد مشخص نشده از اکسیداسیون فیلتر شده و ضد عفونی شود.
BOD	مشخص نشده است.	مشخص نشده است.	CBOD= ۲۰ mg/l	مشخص نشده است.	۳۰ mg/l	۵ mg/l	۳۰ mg/l
TSS	مشخص نشده است.	مشخص نشده است.	۵ mg/l	مشخص نشده است.	مشخص نشده است.	مشخص نشده است.	۳۰ mg/l
کدورت	میانگین: ۲ NTU حداکثر: ۵ NTU	میانگین: ۲ NTU حداکثر: ۵ NTU	مشخص نشده است.	حداکثر: ۲ NTU	مشخص نشده است.	۳ NTU	میانگین: ۲ NTU حداکثر: ۵ NTU
کللیفرم	حداکثر کللیفرم مدفوعی ^(d) : ۲۳/۱۰۰ cc	کللیفرم: ۲/۲/۱۰۰ cc حداکثر روزه ^(e) : ۲۳/۱۰۰ cc	در ۷۵٪ نمونه ها نیابستی کللیفرم مدفوعی وجود داشته باشد و حداکثر ۲۵/۱۰۰ cc	میانگین کللیفرم مدفوعی: ۲/۲/۱۰۰ cc حداکثر ^(e) : ۲۳۰/۱۰۰ cc	کللیفرم مدفوعی: ۲۰۰/۱۰۰ حداکثر: cc ۴۰۰/۱۰۰	میانگین کل کللیفرم ^(f) : ۲۰/۱۰۰ cc حداکثر: ۷۵/۱۰۰ cc	کللیفرم: ۲/۲/۱۰۰ cc حداکثر: ۲۳/۱۰۰ cc

a بر گرفته از USEPA سال ۲۰۰۴

b فاضلاب اکسید شده، فاضلابی است که با فرآیندهای بیولوژیکی تصفیه شده باشد. از واژه «اکسید شده» به جای تصفیه ثانویه استفاده شده است.

c مشخص نشده است.

d در نمونه های ۷ روزه- در ۴ مورد نیابستی وجود داشته باشد (در ۵۷٪ درصد نمونه ها نباید دیده شوند).

e میانگین هفت روزه

f میانگین هندسی

جدول ۳۹- نمونه هایی از استانداردهای میکروبیولوژیکی متداول برای استفاده از آب های بازیافتی در آبیاری

کشور	آبیاری با محدودیت ^۱	آبیاری بدون محدودیت ^۲
عمان	حداکثر ۲۲ عدد کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر، متوسط کمتر از ۲/۲ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر، فقط برای آبیاری درختان	آبیاری محصولات مجاز نیست.
کویت	کمتر از ۱۰۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر	کمتر از ۱۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر، غیر از محصولات سالادی و توت فرنگی
عربستان سعودی	استفاده از پساب ثانویه برای محصولات علوفه ای، محصولات و سبزیجاتی که فرآوری می شوند و آبیاری فضای سبز مجاز است.	کمتر از ۲/۲ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر، کمتر از ۵۰ کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر
تونس	آبیاری درختان میوه، محصولات علوفه ای و سبزیجاتی که بصورت پخته مصرف می شوند: تصفیه ثانویه و کلرژنی، عدم وجود ویبریوکلا و سالمونلا	عدم آبیاری سبزیجاتی که خام مصرف می شوند.
مکزیک	برای اماکن تفریحی، کمتر از ۱۰۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر، کمتر از ۲۰۰۰ کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر	برای سبزیجاتی که خام مصرف می شوند و میوه هایی که با خاک تماس پیدا می کنند، کمتر از ۱۰۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر
پرو	تصفیه اختصاصی که تابع نحوه استفاده مجدد است.	عدم آبیاری محصولاتی که در نزدیکی سطح زمین رشد می کنند و محصولات ریشه ای که خام مصرف می شوند.

^۱ آبیاری درختان، محصولات علوفه ای و صنعتی، درختان میوه و مراعات

^۲ آبیاری محصولات خوراکی، میادین ورزشی و پارک های عمومی

۲۴- آنالیزهای آزمایشگاهی

ارزیابی کیفی آب های بازیافتی مصرفی جهت کشاورزی فاکتورهای بسیار مهم و مؤثر در حفظ و ارتقاء سلامت کشاورزان، محصولات کشاورزی و مصرف کنندگان این محصولات است. با توجه به اهمیت این موضوع، انجام آنالیزهای آزمایشگاهی برای پارامترهای حائز اهمیت در کیفیت آب آبیاری نظیر سدیم، کلسیم، منیزیم، کلراید، بر، نیتروژن، فلزات سنگین و عوامل میکربی، مطابق با روش های استاندارد آزمایش های آب و فاضلاب ضروری است. در جدول (۴۰) روش های استاندارد سنجش پارامترهای کیفی مهم آب های بازیافتی جهت کاربرد در کشاورزی و در جدول (۴۱ تا ۴۵) پایش های پیشنهادی جهت ارزیابی کیفی پساب، آب های سطحی، زیرزمینی، خاک و محصولات کشاورزی آبیاری شده با آب های بازیافتی و برنامه مراقبت و تقلیل مشکلات بهداشتی ارائه شده است.

جدول ۴۰- روش های استاندارد سنجش ویژگی های کیفی آب های بازیافتی جهت کاربرد در کشاورزی

روش آزمایش	پارامترهای کیفی	
پتانسیومتری	هدایت الکتریکی	شیمیایی
فلیم فتومتری	سدیم	
تیتراسیون	کلسیم	
تیتراسیون	کلراید	
تیتراسیون	منیزیم	
تیتراسیون	بیکربنات	
رنگ سنجی	نیتروژن	
جذب اتمی	بور	
رنگ سنجی، تیتراسیون	کلرباقیمانده	میکربی
جذب اتمی	فلزات سنگین	
روش تخمیر چند لوله ای	کل کلیفرم ها	
روش تخمیر چند لوله ای	کلیفرم های مدفوعی	
تفلیظ و بررسی میکروسکوپی	تخم نماتوهای روده ای	

جدول ۴۱- پایش های پیشنهادی جهت ارزیابی کیفی پساب خروجی از سیستم های تصفیه فاضلاب

فواصل نمونه برداری و پایش				سیستم مورد بررسی			
سالانه	شش ماه	فصلی	ماهانه	۱۵ روزه	هفتگی	روزانه	مورد بررسی
		EC, TKN					
		بررسی وضعیت هیدرودینامیکی جریان و زمان ماند (بررسی احتمال تشکیل اتصال کوتاه و عدم اختلاط)	تخم انگل نماتودها، فسفرکل، نیتريت و نیترات نیتروژن آمونیاکی، کلراید، سدیم، کلسیم و منیزیم، بر	دما، دترجنت، چربی و روغن، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی، TP فلزات سنگین (کروم، نیکل، کادمیوم، جیوه، سرب، مس و روی)		COD صاف شده و صاف نشده، BOD صاف نشده	برکه تثبیت
		بررسی وضعیت هیدرودینامیکی جریان و زمان ماند (بررسی احتمال تشکیل اتصال کوتاه و عدم اختلاط)	کللیفرم کل و کلیفرم مدفوعی، تخم انگل، TKN (نیتروژن کل به روش کجلدال)، بر، فسفر کل، نیترات و نیتريت، نیتروژن آمونیاکی، دترجنت، چربی و روغن، فلزات سنگین			دما، دی، کلر باقیمانده، pH، DO	لاگون هوادی
		بررسی وضعیت هیدرودینامیکی جریان و زمان ماند (بررسی احتمال تشکیل اتصال کوتاه و عدم اختلاط)	کلراید، سدیم، کلسیم، منیزیم، EC			BOD ₅ ، pH، DO	

ادامه جدول ۴۱- پایش های پیشنهادی جهت ارزیابی کیفی پساب خروجی از

سیستم های تصفیه فاضلاب

فواصل نمونه برداری و پایش							سیستم
سالانه	شش ماه	فصلی	ماهانه	۱۵ روزه	هفتگی	روزانه	مورد بررسی
-	بررسی وضعیت هیدرودینامیکی جریان و زمان ماند	فلزات سنگین، EC، کلراید، سدیم، منیزیم، کلسیم	چربی و روغن، دترجنت، تخم انگل، نیترژن آمونیاکی، فسفر کل، نیترات و نیتریت، TKN، بر	COD، TS، TSS، VSS (جامدات معلق فرار)	کلیفرم و کلیفرم مدفوعی، BOD ₅	دما، دبی، کلر باقیمانده، pH، DO	لجن فعال

جدول ۴۲- مراحل پایش استفاده از پساب ها و آب های برگشتی در آبیاری فضای سبز

فواصل نمونه برداری و بررسی						منابع مورد پایش
سالانه	شش ماه	فصلی	ماهانه	هفتگی		
تخم انگل نماتود	فلزات سنگین (کادمیوم، جیوه و سرب)	BOD, DO, COD, TSS، آنیون (کربنات، بی کربنات، سولفات، کلرور)، کاتیون (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم)، کلیفرم مدفوعی، فسفر کل، ازت کل، نیترات	TDS, pH, EC	-	-	آب سطحی
کلیفرم مدفوعی، فسفر کل، ازت کل	آنیون (کربنات، بی کربنات، سولفات، کلرور)، کاتیون (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم)، نیترات	TDS, EC, pH	-	-	-	آب زیرزمینی
فلزات سنگین شامل روی، کادمیوم، جیوه و سرب	-	مواد آلی خاک، فسفر کل، ازت کل، ظرفیت تبادل یونی خاک	شوری خاک، قلیائیت خاک، EC _e	-	-	خاک
نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی خاک، آزمایش خواص زیستی خاک	-	-	-	-	-	-

جدول ۴۳- مراحل پیشنهادی برای پایش زیست محیطی محصولات آبیاری شده با پساب ها و آب های برگشتی

فواصل نمونه برداری و بررسی			محصولات کشاورزی (اجزای سیستم مورد بررسی روزانه)
سالانه	شش ماه	فصلی	
-	فلزات سنگین شامل کروم، جیوه، کادمیوم و سرب	تخم نماتودهای روده ای فکال کلیفرم	مصارف انسانی بصورت خام (مانند سبزیجات و صیفی جات)
-	فلزات سنگین شامل کروم، جیوه، کادمیوم و سرب	-	مصارف انسانی بصورت پخته
-	فلزات سنگین شامل کروم، جیوه، کادمیوم و سرب	تخم نماتودهای روده ای فکال کلیفرم	محصولات گلخانه ای
فلزات سنگین شامل کروم، جیوه، کادمیوم و سرب	-	-	میوه های درختی
فلزات سنگین شامل جیوه، کادمیوم و سرب	-	-	محصولات علوفه ای
-	-	-	محصولات صنعتی

جدول ۴۴- خلاصه ای از برنامه مراقبت و روش تقلیل مشکلات بهداشتی بر اساس اثرات پایش بینی شده

منبع تأثیرپذیر	عامل اثرگذار	نوع اثر	روش تقلیل	روش پایش
استفاده مستقیم پساب	احتمال ضعیف ابتلا به بیماری های انگلی، ویروسی و باکتریایی	حصول اطمینان از استاندارد بودن کیفیت پساب، رعایت بهداشت فردی، شستشوی دست ها، ظروف، استفاده از مواد ضدعفونی کننده، پرهیز از خوردن میوه های نشسته و	- معاینات کلینیکی و پاراکلینیکی	
تماس مستقیم با پساب	ابتلا به بیماری های باکتریایی، ویروسی انگلی و قارچی	رعایت بهداشت فردی، پوشش مناسب هنگام کار (دستکش، کلاه، چکمه و غیره)	- معاینات کلینیکی و پاراکلینیکی	- تکمیل چک لیست موارد الزامی در هنگام کار

کارگران/ کشاورزان

ادامه جدول ۴۴- خلاصه ای از برنامه مراقبت و روش تقلیل مشکلات بهداشتی بر اساس اثرات پیش بینی شده

منبع تأثیرپذیر	عامل اثرگذار	نوع اثر	روش تقلیل	روش پایش
	گزیده شدن توسط حشرات ناقل مرتبط با آب	سلب آسایش و انتقال بیماری ها	بهبود شرایط آب های سطحی، حذف جایگاه های پرورش و تکثیر حشرات و استفاده از وسایل حفاظتی	- معاینات کلینیکی و پاراکلینیکی - تکمیل چک لیست موارد الزامی در هنگام کار
محصول / مصرف کنندگان	عدم انطباق پارامترهای کیفی پساب با شرایط استاندارد	احتمال تجمع فلزات سنگین	- ارتقاء عملکرد سیستم های تصفیه جهت دستیابی به استانداردهای کیفی پساب - اعمال محدودیت در نحوه کاربرد پساب - کاربرد متناوب پساب و منابع آب شیرین در دسترس	آنالیز پساب مورد استفاده جهت آبیاری برای اطمینان یافتن از انطباق با شرایط استاندارد
	عدم دقت در هنگام برداشت محصولات جالبیزی	ورود آلودگی زیستی در اثر قاچ خوردگی محصولات جالبیزی	نظارت بر نحوه برداشت و حمل و نقل محصولات جالبیزی	کنترل وضعیت محصولات جالبیزی از نظر عدم قارچ خوردگی و زخمی شدن پوست محصولات
خاک	آبیاری با پساب و کشت گیاهان الگوی کشت پیشنهادی	احتمال تجمع فلزات سنگین	- تصفیه فاضلاب تا حد دستیابی به استانداردهای کیفی پساب - اعمال محدودیت در روش آبیاری و نحوه کاربرد پساب - کاربرد متناوب پساب و منابع آب شیرین در دسترس	آنالیز پساب مورد استفاده جهت آبیاری برای اطمینان یافتن از انطباق با شرایط استاندارد

۲۵- مطالعات موردی و تجربیات کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی در ایران و جهان

۲۵-۱ تجارب استفاده مجدد از آب های بازیافتی در ایران

انسان از گذشته های دور و نامعلوم، آب های برگشتی و فاضلاب ها را در کشاورزی مورد استفاده قرار داده است. اطلاعات موجود نشان می دهد که در قرن دهم هجری، فاضلاب در حومه شهر اصفهان برای کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. در قدیم استفاده از فاضلاب عمدتاً با انگیزه حاصلخیز شدن اراضی کاربرد داشته، در صورتی که در حال حاضر کمبود آب، انگیزه اصلی استفاده مجدد محسوب می شود.

در حال حاضر در سطح کشور، به ویژه در حواشی شهرهای بزرگ و مراکز استان ها، مناطق وسیعی با آب های بازیافتی و رواناب های شهری، آبیاری می شوند. در بیشتر مواقع این استفاده، غیراصولی بوده و برای کشت سبزیجات و صیفی جات بکار رفته و موجب آلودگی محیط زیست، تجمع آلودگی در خاک و انتقال آن به محصولات کشاورزی شده است. با توجه به میزان استقبال و همچنین نیاز به استفاده از پساب ها و آب های برگشتی در کشاورزی، در حال حاضر بیشتر تصفیه خانه های فاضلاب در سطح کشور با هدف استفاده مجدد از پساب در کشاورزی، طراحی و اجرا می گردند. با وجود قدمت استفاده از فاضلاب در کشور، عمده تحقیقات مربوط به یکی دو دهه اخیر است. در بخشی از این مطالعات، توجه اصلی به اثرات زیست محیطی کاربرد این آب ها معطوف شده و در بررسی های دیگر، تأثیر این آب ها در کمیت و کیفیت محصول مورد بررسی قرار گرفته است. در حال حاضر نیز در بسیاری از شهرهای کشور فاضلاب های تصفیه شده شهری و رواناب های سطحی، در زمین های کشاورزی پایین دست استفاده می شود. خلاصه ای از تجارب عملی و تحقیقاتی استفاده از پساب ها و آب های برگشتی در سطح کشور در جدول (۴۵) ارائه شده است.

جدول ۴۵- خلاصه ای از تجارب عملی و تحقیقاتی استفاده از پساب ها و آب های برگشتی در ایران

موضوع	نتیجه
بررسی پیامد آبیاری با پساب بر برخی از ویژگی های شیمیایی خاک های ناحیه برخوردار اصفهان و انباشتگی برخی از عناصر در گیاه یونجه	مشاهده شد که هفت سال آبیاری با پساب توانسته است زمین های شور و سدیمی منطقه را بدون هیچ تیمار دیگری به یک خاک مناسب برای کشاورزی تبدیل کند و شوری سدیم محلول و تبدالی و همچنین سدیم کل خاک را به اندازه چشمگیری کاهش دهد. همچنین آبیاری با پساب نتوانسته است غلظت عناصر سنگین گیاه را به مرز زیان آور برساند.
بررسی روش های بازیافت و کاربرد فاضلاب ها در امور کشاورزی و احیای اراضی	بیانگر نقش مثبت استفاده اصولی از پساب ها و همچنین نقش خاک و زمین در پالایش فاضلاب ها می باشد.
بررسی نقش عوامل مهم در بکارگیری فاضلاب ها در آبیاری	بیانگر مزایای برکه های تثبیت و نقش آنها در استفاده مجدد از فاضلاب و ارائه مبانی طراحی آن برای استفاده از پساب حاصل در کشاورزی می باشد.
بررسی اثرات استفاده از فاضلاب های تصفیه شده شهری بر کیفیت و عملکرد گوجه فرنگی، کاهو، هویج و خیار	مشاهده شد که استفاده از پساب افزایش عملکرد این گیاهان را در مقایسه با شاهد به همراه داشته و تأثیر منفی بر ویژگی های خاک و به خصوص نفوذپذیری آن در هیچکدام از تیمارها نداشته است. از نظر کیفیت و تجمع عناصر سنگین، اختلاف معنی داری بین تیمارها وجود نداشت. از نظر بهداشتی آبیاری با پساب برای هویج و کاهو قابل توصیه نمی باشد ولی برای گوجه و خیار قابل توصیه می باشد.
بررسی تأثیرات استفاده مجدد از پساب پالایشگاه تهران در آبیاری جنگل های اطراف پالایشگاه	مشاهده شد که pH و هدایت الکتریکی خاک جنگل بعد از آبیاری نسبت به شرایط قبل از شروع آبیاری با پساب، افزایش پیدا کرده است. آنها همچنین نشان دادند که میزان اغلب آلودگی های پساب پالایشگاه تهران در حدی است که نمی توان از آن برای آبیاری درختان جنگلی یا مصرف مجدد در پالایشگاه استفاده نمود.
بررسی تأثیر فاضلاب تصفیه شده خانگی بر عملکرد گیاهان خیار و هویج و ویژگی های خاک آزمایشی در شرایط زراعی	مشاهده شد که استفاده از پساب باعث افزایش عملکرد و همچنین افزایش میزان تجمع مواد غذایی ماکرو و میکرو در اندام های هوایی خیار و هویج و همچنین باعث افزایش میزان غلظت عناصر ماکرو و میکرو در خاک گردیده است. همچنین استفاده از فاضلاب باعث افزایش آلودگی های میکربی در محصول تولیدی گردید.
بررسی اثر فاضلاب های تصفیه شده خانگی بر کیفیت و عملکرد گوجه فرنگی و کاهو	نتایج نشان داد که استفاده از فاضلاب جهت آبیاری مزارع آزمایشی عملکرد و غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو در کلیه اندام های هوایی و زیرزمینی گوجه فرنگی و هویج شده است و هیچ گونه اثر سویی بر ویژگی های خاک نداشته است.
ارزیابی کمی و کیفی نهرهای فاضلاب کش جنوب تهران و چگونگی تصفیه آن با روش برکه های تثبیت	نتایج تحقیق حاکی از قابلیت استفاده فاضلاب و کاربرد پساب حاصله در آبیاری محدود و غیرمحدود بود.
بررسی پیامدهای استفاده ۹ ساله از پساب شمال اصفهان بر خواص فیزیکی، شیمیایی و زیست محیطی خاک	نتایج نشان داد که آبیاری با پساب طی مدت ۹ سال باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری، نفوذپذیری و افزایش درصد رطوبت در ظرفیت مزرعه، عملکرد و کیفیت محصول نسبت به مزرعه آبیاری نشده با پساب گردیده است.

ادامه جدول ۴۵- خلاصه ای از تجارب عملی و تحقیقاتی استفاده از پساب ها و آب های برگشتی در ایران

موضوع	نتیجه
بررسی تغییرات کیفی آب رودخانه های فصلی شیراز در اثر فاضلاب	مشاهده شد که غلظت کروم شش ظرفیتی موجود در آب در تعدادی از ایستگاه ها بیش از حد استاندارد ایران و سازمان خواربار جهانی (FAO) بوده اما مقادیر سرب، مس، کادمیوم، کروم، نیکل و روی عموماً کمتر و یا مساوی مقادیر توصیه شده می باشد. طبق نتایج، استفاده مجدد از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر مشهد در کشاورزی و جایگزینی آن با چاه های زراعی در مصارف شهری می تواند به عنوان راه حلی برای معضل کم آبی شهر مطرح باشد.
بررسی امکان استفاده مجدد از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر مشهد در بخش کشاورزی	نتایج نشان داد که پارامترهای کیفی پساب بجز بی کربنات، نیترژن و کلیرم از نظر آبیاری فضای سبز در محدوده مجاز قرار دارند.
ارزیابی کیفیت پساب تصفیه خانه شمال شهر اصفهان برای استفاده در کشاورزی	بر اساس نتایج، میزان ازت، فسفر، پتاسیم و نمک های محلول پساب در حد مجاز مصارف زراعی بوده ولی برای تخلیه در آب های زیرزمینی لازم است که مواد جامد معلق، فسفر و ازت آن کاهش یابد. همچنین میزان ازت، کلر، سدیم و بویژه بی کربنات سدیم آن در مقایسه با استاندارد FAO بالا بوده و بسته به روش آبیاری و نوع گیاه می تواند زیان آور باشد.
بررسی عوامل و روش های مؤثر در کاهش بار آلودگی پساب های زراعی	اعمال مدیریت صحیح مانند افزایش راندمان آبیاری، مصرف بهینه کود و سم و تغییر روش های آبیاری را به عنوان عوامل مؤثر در کاهش بار آلودگی پساب ها توصیه نمودند و همچنین راهکارهایی از جمله استفاده از استخرهای طبیعی و مصنوعی، باتلاق ها، نوارهای حایل، کانال های علف دار، فیلتر خاک و چمن و تطبیق کشت با کیفیت پساب را به عنوان راهکارهای مؤثر در کاهش آلودگی در مزارع توصیف نمود.
تأثیر استفاده از پساب تصفیه خانه شاهین شهر در آبیاری چغندر، ذرت و آفتابگردان	نتایج نشان داد که آبیاری با پساب باعث کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک گردیده است. روش آبیاری اثر معنی داری بر میزان کاهش سرعت نفوذ نهایی آب در خاک و کاهش میزان خلل و فرج خاک دارد.
آلودگی ناشی از کاربرد فاضلاب تصفیه نشده در اراضی دشت برخوار	نتایج نشان داد که میزان نیترات در ۹۰ درصد از چاه ها بیش از حد استاندارد بوده ولی غلظت فلزات سنگین به استثناء کبالت کمتر از حدود استاندارد مصارف کشاورزی می باشد.
بررسی تجمع عناصر سنگین در خاک و گونه گندم، ذرت، خیار و یونجه که طی ۸ سال با فاضلاب آبیاری شده اند.	بر اساس نتایج، غلظت فلزات سنگین در نمونه های خاک و گیاه در مزارع آبیاری شده با فاضلاب، کمی بیشتر از مقادیر آنها در مزارع آبیاری شده با آب چاه می باشد اما محدودیتی از نظر میزان تجمع عناصر سنگین در آبیاری این گیاهان با فاضلاب وجود نداشته است.

ادامه جدول ۴۵- خلاصه ای از تجارب عملی و تحقیقاتی استفاده از پساب ها و آب های برگشتی در ایران

نتیجه	موضوع
بر اساس نتایج، غلظت پارامترهای چربی و روغن، جامدات معلق، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، کلر و سولفات بالاتر از حد مجاز استاندارد برای تخلیه به محیط زیست بوده ولی میزان اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، کادمیوم، سرب و روی پایین تر از استانداردهای محیط زیست ایران می باشند.	بررسی کیفیت فاضلاب خروجی صنایع بزرگ فلزی اهواز
بر اساس نتایج، میزان تجمع سرب، کادمیوم، مس، نیکل و کبالت در اندام های گیاهی کمتر از حد استاندارد بوده و نسبت اختلاط ۲۵ درصد فاضلاب خام و ۷۵ درصد آب چاه را به عنوان بهترین نسبت اختلاطی از لحاظ تجمع فلزات سنگین پیشنهاد نمود.	بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده بر رشد و میزان جذب فلزات سنگین در ذرت
نتایج نشان داد که با افزایش مواد آلی موجود در فاضلاب مورد استفاده در آبیاری گیاهان گوجه فرنگی، جعفری و هویج، بر مقدار ماده آلی خاک افزوده می شود.	بررسی تأثیر استفاده از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری بر میزان مواد آلی خاک
مشاهده شد که تیمار آبیاری نشتی با پساب فاضلاب، آلوده ترین شرایط را داشته و استفاده از روش آبیاری قطره ای زیرسطحی در شرایط بهره برداری مجدد از پساب فاضلاب شهری توصیه شد.	بررسی اثر استفاده از پساب به روش های آبیاری قطره ای سطحی و زیرسطحی و آبیاری نشتی بر آلودگی خاک
بر اساس نتایج، سویا و ذرت آبیاری شده در مقایسه با آب چاه افزایش عملکرد قابل توجهی داشته ولی عملکرد جعفری تغییر معنی داری نسبت به آب چاه ندارد. میزان تجمع کادمیوم در سویا و ذرت در فاضلاب و آب چاه تفاوت معنی داری نسبت به آب چاه نداشتند.	تحقیق در قالب کشت لایسیمتری با استفاده از فاضلاب خام در آبیاری ذرت و استفاده زه آب حاصله در آبیاری سویا و نهایتاً زه آب سویا در آبیاری جعفری
نتایج نشانگر محدودیت کیفی جریان نهر فیروزآباد از نظر فلزات سنگین و مواد آلی می باشد.	بررسی تغییرات کمی- کیفی و میزان خودپالایی نهر فیروزآباد برای استفاده در کشاورزی
نتایج بیانگر قابلیت و توانایی متفاوت گونه های مورد بررسی در جذب و تجمع کادمیوم در اندام های مختلف و توانایی بیشتر گونه های سبزیجات برگ پهن در جذب و تجمع کادمیوم در اندام مختلف به ویژه بخش های خوراکی می باشد.	بررسی میزان جذب کادمیوم از محیط ریشه و میزان تجمع آن در اندام محصولات زراعی

۲۵-۲ تجارب استفاده مجدد از آب های بازیافتی در جهان

بسیاری از کشورهای جهان به شکل های مختلف از پساب ها برای کشاورزی استفاده می نمایند. نمونه هایی از آبیاری کشاورزی در نقاط مختلف جهان، در جدول (۴۶) ارائه شده است.

جدول ۴۶- وضعیت کاربرد فاضلاب ها و پساب ها در سطح دنیا

کشور	کاربرد فاضلاب
آفریقای جنوبی	در این کشور، ۳۲٪ فاضلاب ها بعد از تصفیه مجدداً برای کارهای مختلف استفاده می شوند که ۱۶٪ آن برای آبیاری محصولات کشاورزی است. اراضی آبیاری شده با این آب ها نزدیک به ۲۸۰۰۰ هکتار می باشد.
آلمان	۸۸۰۰۰ هکتار زمین در سال ۱۹۹۷ در این کشور با فاضلاب تصفیه شده آبیاری می گردید.
انگلستان	در سال ۱۹۸۸ در ۶۰ پروژه مختلف از این آب ها استفاده می شد و این روند رو به افزایش داشته است.
ایالت متحده آمریکا	در این کشور تعداد تصفیه خانه های فاضلاب از ۱۵۰ واحد در سال ۱۹۴۰ به ۳۴۰۰ واحد در سال ۱۹۸۰ افزایش یافت. در این کشور، ایالت کالیفرنیا و فلوریدا در استفاده از فاضلاب تصفیه شده از دیگران پیشی گرفته است. در این دو ایالت به ترتیب معادل ۱/۶۷ و ۱/۵۲ میلیون مترمکعب پساب تصفیه شده حاصل می شود که از این مقدار در ایالت کالیفرنیا ۵۹٪ در آبیاری محصولات کشاورزی و فضای سبز و در ایالت فلوریدا معادل ۲۱٪ در آبیاری کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد. دو طرح مهم استفاده از پساب کشاورزی در ایالت فلوریدا به ترتیب از ۱۳۰۰۰۰ و ۶۸۰۰۰ متر مکعب در روز پساب برای آبیاری بیش از ۶۰۰۰ و ۱۵۵۰ هکتار زمین استفاده می کنند.
تونس	در سال ۱۹۸۸، حجم فاضلاب تصفیه شده در این کشور ۷۸ میلیون مترمکعب بود و در سال ۲۰۰۰ به ۱۲۵ میلیون مترمکعب افزایش یافت. طبق برنامه ریزی انجام شده، ۹۵٪ این آب ها در کشاورزی بکار می رود.
چین	بزرگترین مساحت اراضی آبیاری شده با فاضلاب در چین است که مساحت کل آن در حدود ۳ میلیون هکتار برآورد شده است. تصفیه خانه Gaobeidian روزانه بیش از ۵۰۰ هزار مترمکعب پساب تولید نموده که در صنعت و کشاورزی مصرف می شود.
شیلی	در سال ۲۰۰۳، مساحت اراضی آبیاری شده با پساب در این کشور، ۱۶۰۰۰ هکتار بوده است.
کویت	۱۲۰۰۰ هکتار زمین در این کشور با فاضلاب آبیاری می شود.
مکزیک	حدود ۴۱۳۰۰ هکتار زمین در نزدیکی شهر مکزیکوسیتی با حدود ۴۰ مترمکعب در ثانیه فاضلاب خام آبیاری می شود.
هندوستان	برآوردهای سال ۱۹۸۶ بانک جهانی نشان می دهد که تولید روزانه فاضلاب در این کشور در حدود ۳/۶ میلیون مترمکعب بوده است که ۵۵-۵۰٪ آن برای آبیاری مورد استفاده قرار گرفته است.
آرژانتین (مندوزا)	بیش از ۱۶۰۰۰۰ هزار مترمکعب فاضلاب شهری در هر روز در تصفیه خانه فاضلاب Camp Espejo تصفیه می گردد. برای دستیابی به استانداردهای سازمان بهداشت جهانی در خصوص آبیاری نامحدود از یک سیستم لاگونی به مساحت ۲۹۰ هکتار استفاده و از پساب خروجی تصفیه خانه برای آبیاری درختان جنگلی، تاکستان ها، درختان زیتون، درختان میوه، یونجه در وسعت ۳۶۴۰ هکتار زمین بهره گیری می شود.
استرالیا	بزرگترین سیستم تولید پساب در این کشور احداث شده است. سالانه نزدیک به ۲۸۰ میلیون مترمکعب پساب از طریق یک خط لوله به طول ۱۵۰ کیلومتر از تصفیه خانه فاضلاب بولیوار انتقال و برای آبیاری ۲۰۰ کیلومتر مربع مزارع سبزی کاری و صیفی جات مصرف می گردد.
فلسطین اشغالی (ناحیه DAN)	سالانه ۱۳۰ میلیون مترمکعب پساب حاصل از فرآیند تصفیه ثانویه و حذف نوترینت پساب و بعد از استفاده از سیستم SAT به مصرف آبیاری مزارع کشاورزی نامحدود می رسد.

ادامه جدول ۴۶- وضعیت کاربرد فاضلاب ها و پساب ها در سطح دنیا

کشور	کاربرد فاضلاب
فرانسه (Clermont- Ferrano)	روزانه بیش از ده هزار مترمکعب پساب حاصل از تصفیه فاضلاب های شهری که بطور پیشرفته تصفیه شده اند مورد مصرف آبیاری ۷۰۰ هکتار ذرت می گردد.
یونان	از پساب های تولیدی حاصل از تصفیه فاضلاب ها برای آبیاری تاکستان ها، چغندر قند، گوجه فرنگی و پرورش گل استفاده می گردد. با استفاده از پساب ها کشت هیدروپونیک نیز در حال تحقیقات می باشد.
ایتالیا	سالانه ۴۵۰ هزار مترمکعب پساب برای آبیاری ۱۲۵ هکتار زمین زراعی استفاده می گردد.
کویت	سه تصفیه خانه فاضلاب عمده حدود ۳۵۷ میلیون مترمکعب فاضلاب را به صورت پیشرفته تصفیه نموده و از این مقدار، ۱۲۵ میلیون مترمکعب به آبیاری کشاورزی اختصاص یافت.
اسپانیا	در منطقه Vitoria، حدود ۸ میلیون مترمکعب در سال فاضلاب بصورت پیشرفته تصفیه و بعد از ضدعفونی به مصرف آبیاری نامحدود رسید. در جزایر قناری پساب خروجی از سیستم الکترودیالیز معکوس (EDR) برای آبیاری چندین نوع درخت موز به مصرف رسیده است.
تونس	پساب حاصل از تصفیه فاضلاب در تصفیه خانه (La-cherguia) تونس از سال ۱۹۶۵ میلادی جهت کشاورزی استفاده شده است. در منطقه (Lasaukra) از پساب حاصل از تصفیه فاضلاب برای آبیاری ۶۰۰ هکتار باغات مرکبات و زیتون مصرف می شود. آبیاری محصولات زراعی که بصورت خام و ناپخته مصرف می شود، ممنوع می باشد. مجموع مساحت تحت پوشش آبیاری با پساب به ۷۰۰۰ هکتار می رسد.

۲۶- مراجع

- متکف و ادی، خانی محمدرضا و آقا سید ابوالقاسم پویا. مهندسی فاضلاب: تصفیه و استفاده مجدد، ویرایش چهارم، قسمت پنجم، انتشارات خانیران، چاپ اول، تابستان ۱۳۹۰.
- عابدی محمدجواد و نجفی پیام. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شماره انتشار: ۴۷، بهار ۱۳۸۰.
- محمدی پرویز و سیاهی محمدکاظم و احتشامی مجید و مهرداد ناصر و اشرفی عقیل و لیاقت عبدالمجید و قدوسی فریدون و عدل مهرداد و زرنکابی محمدرضا. مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب ها برای آبیاری، گروه کار اثرات زیست محیطی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. نشریه شماره ۳۴۵- الف. ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشتی و پساب ها، تیرماه ۱۳۸۹.
- نشریه شماره ۵۳۵- الف. ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشتی و پساب ها، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۸۹.
- خوشخوی مرتضی و شبانی بیژن و روحانی ایرج و تفضلی عنایت الله. اصول باغبانی، بازنگری دوم، چاپ سیزدهم، انتشارات دانشگاه شیراز، ۱۳۸۴.
- غلامعلی زاده آهنگر احمد. کیفیت و ارزیابی کیفی آب آبیاری، چاپ دوم، نشر علوم کشاورزی، ۱۳۸۶.
- حسینیان سید مرتضی. مصارف مجدد فاضلاب های تصفیه شده در کشاورزی- پرورش ماهی- صنایع و تغذیه مصنوعی آب های زیرزمینی، چاپ اول، انتشارات علوم روز، ۱۳۸۱.
- کشفی سید حمیدرضا. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. دستیار مهندسی آب و فاضلاب، چاپ اول، انتشارات تهران: مکت نظر، ۱۳۹۱.
- قانعیان محمدتقی و مصداقی نیا علیرضا و احرامپوش محمدحسن. مبانی استفاده مجدد از فاضلاب "کلیات، روش ها، استانداردها، مخاطرات بهداشتی"، چاپ اول، انتشارات طب گستر، پاییز ۱۳۸۰.
- سایر کلایر و پری مک کارتی و جن پارکین، ترجمه بابایی، جعفرزاده حقیقی نعمت الله. شیمی محیط زیست (آنالیزهای آب و فاضلاب)، انتشارات اندیشه رفیع، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، ۱۳۸۸.
- دانش شهناز و علیزاده امین. کاربرد پساب در کشاورزی، فرصت ها و چالش ها. اولین سمینار ملی جایگاه آب های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، خراسان رضوی، ۱۳۸۸.

- دانکن مارا. ترجمه محوی امیرحسین. تصفیه فاضلاب در مناطق گرمسیری. چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده بهداشت. ۱۳۶۴.
- ندافی کاظم و فائزی رازی دادمهر و مستوفی سعید و کسای سید ناصرالدین. رهنمودهای کاربرد پساب در کشاورزی بر مبنای کمی سازی خطرات میکروبی. چاپ اول، انتشارات تحفه، ۱۳۹۰.
- وروانی جواد و وروانی هادی و مردیان مهدی. کاربرد سیستم های استحصال رواناب سیلابی در آبخیز شهری اراک، مجله آب و فاضلاب. شماره ۳، ۱۳۹۱، ۹۴-۸۵.
- پروین نیا محمد و رخشنده رو غلامرضا و منجمی پرویز. بررسی کیفیت و احیای رواناب های شهری در شیراز. مجله آب و فاضلاب. شماره ۶۶، ۱۳۸۷، ۵۵-۴۶.
- سهرابی تیمور و حسینی عطاالله و طالبی خلیل. تغییرات کیفی رواناب در شالیزارهای گیلان و فومنات. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پنجم، شماره اول، ۱۳۸۰، ۱۴-۱.
- Metcalf & Eddy, Tchobanoglous George. Asano Takashi, L.Burton Franklin, L.Leverenz Harold, Tsuchihashi Ryujiro. *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. McGraw-Hill. 2007.
- Hussain I,Raschid L,A. Hanjra M, Marikar F,Van der Hoek W.*Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impacts*. (With an extended list of bibliographical references). Working Paper 37. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 2002.
- Khouri Nadim, M.Kalbermatten John, R.Barton Carl. *The reuse of wastewater in agriculture:a guide for planners*. UNDP-World Bank Water and Sanitation Program. The World Bank. Washington, DC. 1994.
- World Health Organization (WHO). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and Greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture*. 2006.
- World Health Organization (WHO). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture*. 2006.
- Water Anchor (ETWWA). The World Bank. *Improving Wastewater Use in Agriculture: An Emerging Priority*. Energy Transport and Water Department. June 30, 2010.
- Lazarova Valentina, Bahri Akiça. *Water Reuse for Irrigation*. 2005.
- Stevens Daryl, Pty Ltd Arris. *Growing Crops With Reclaimed Wastewater*.CSIRO publishing. 2006.
- Water Resources Management Team of Severn Trent Water. *WaterResources Master*

- Plan2009 (Final WRMP). Vol 3, Chapter 7: *Water Reuse*. 2006.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). *Guidelines for Water Reuse*. Office of Wastewater Management Office of Water Washington, D.C., 2012.
- Lazarova Valentina, Bahri Akica. *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass*. 2004.
- Deblonde Tiphonie, Cossu-Leguille Carole, Hartemann Philippe. *Emerging pollutants in wastewater: A review of the literature*. International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2011, 214: 442-448.
- Shuval H, Lampert Y, Fattal B. *Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture*. Water Science and Technology. Volume 35, Issues 11–12, 1997, 15–20.
- Y. Bell Katherine, J.M. Wells Martha, A. Traexler Kathy, Pellegrin Marie-Laure, Morse Audra, Bandy Jeff. *Emerging Pollutants*. Water Environment Research, 83 (10), 2011.
- EPA Victoria. *Guidelines For Environmental Management: Use of Reclaimed Water*. 2003.
- World Health Organization (WHO). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and graywater. Volume 1: Policy and regulatory aspects*. 2006.
- U. J.Blumenthal, D.D. Mara, A. Peasey, G. Ruiz-Palacios, R. Stott. *Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines*. Bulletin of the World Health Organization, 78 (9), 2000, 1104-1116.
- B. H.Grumbles, P. Gilman, J. E.Schafer. *Guidelines for water reuse*. U.S. environmental protection agency. U.S. Agency for International Development Washington, DC. September 2004.
- N. Stoner, L. Kadeli, E. Postel. *Guidelines for Water Reuse*. U.S. Environmental Protection Agency Office of Wastewater Management. Office of Water Washington, D.C. U.S. Agency for International Development. Washington, D.C. September 2012.
- A. Peasey, U. Blumenthal, D. Mara, G. Ruiz-Palacios, J. WELL Study. *a Review of Policy and Standards for Wastewater Reuse in Agriculture: A Latin American Perspective*. 2000.
- FAO/ UNW-DPC/UNU-INWEH. *Capacity Development Project on Safe Use of*

Wastewater in Agriculture. Stage I: Concept Note. July-2011.

- D.D. Mara, P.A. Sleight, U.J. Blumenthal, R.M. Carr. *Health risks in wastewater irrigation: Comparing estimates from quantitative microbial risk analyses and epidemiological studies.* Journal of Water and Health, 05 (1). 2007.
- C.A. Scott, N.I. Faruqui, L. Raschid-Sally. *Wastewater Use in Irrigated Agriculture. Confronting the Livelihood and Environmental Realities.* CAB International. 2004.
- R. Ardakanian, H. Sewilam, J. Liebe. (UNW-DPC). *Mid-Term-Proceedings on Capacity Development for the Safe Use of Wastewater in Agriculture.* A Collaboration of UN-Water Members & Partners (FAO • WHO • UNEP • UNU-INWEH • UNW-DPC • ICID • IWMI). UNW-DPC, Bonn, Germany. August 2012.
- P. Drechsel, Ch. A.Scott, L. Raschid-Sally, M. Redwood, A. Bahri. *Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low-income Countries.* December 2009.
- V. Lazarova, A. Bahri. *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass.* CRC PRESS. Boca Raton London New York Washington, D.C., 2005.
- J.B. Rose. *Water reclamation, reuse and public health.* Water Science & Technology. 55(1-2): 275-282. 2007.
- M. A.Hanjra, J. Blackwell, G. Carr, F. Zhang, T. M.Jackson. *Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy.* International Journal of Hygiene and Environmental Health 215: 255-269. 2012.

**Guideline for Application
of Reclaimed water in
Agriculture**