مرکز تحقیقات کیفیت آب
پژوهشکده محیط زیست

دانشگاه علوم پزشکی تهران

راهنمای کاربرد آب بازیافتی در بهسازی خاک

مولفان

دکتر عباس شاهسونی

استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی

مهندس شمس السادات قطبی

کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط

راهنمای کاربرد آب بازیافتی در بهسازی خاک

دکتر عباس شاهسونی - مهندس شمس السادات قطبی

۱۳۹۸

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی تهران

پژوهشکده محیط زیست

راهنمای
کاربرد آب بازیافتی در بهسازی خاک

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۵۶-۰۸۴-۲

نام کتاب: راهنمای کاربرد آب بازیافتی در بهسازی خاک

مولف (ان): عباس شاهسونی، شمس السادات قطبی

ناشر: دانشگاه علوم پزشکی تهران

سال انتشار: ۱۳۹۸

نوبت چاپ: اول

لیتوگرافی چاپ و صحافی : چاپ بهرنگ

قیمت:

سرشناسه: شاهسونی، عباس،

عنوان و نام پدیدآور: راهنمای کاربرد آب بازیافتی در بهسازی خاک

مشخصات نشر: تهران

مشخصات ظاهری: ۶۴ص.: جدول

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۵۶-۰۸۴-۲

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: واژه‌نامه.

یادداشت: کتابنامه: ص. ۱۲۶.

موضوع: آب -- استفاده مجدد

موضوع: Water reuse

موضوع: خاک -- بهسازی

موضوع: Soil remediation

شناسه افزوده: قطبی، شمس‌السادات،

شناسه افزوده: Ghotbi, Shamsosadat

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: TD۴۲۹

رده بندی دیویی: ۶۲۸/۱۶۲

شماره کتابشناسی ملی: ۵۸۱۰۷۶۴

- عنوان: راهنمای کاربرد آب بازیافتی در بهسازی خاک
- تعداد صفحات: ۱۵۲
- 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 عباس شاهسونی	استادیار	دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی

کمیته فنی تدوین راهنما به ترتیب الفبا:

نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی/ سمت	محل خدمت
دکتر نوشین راستکاری	استاد/ عضو کمیته	پژوهشکده محیط زیست/ دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران
دکتر نعمت اله جعفرزاده حقیقی فرد	استاد/ عضو کمیته	دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز
مهندس شمس السادات قطبی	کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط/ مولف دوم	شرکت مهندسی آب و فاضلاب شیراز
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

تقدیم به
همه آنهایی که به فردایی بهتر برای کشور ایران عزیز می اندیشند

فهرست:

۱– مقدمه	۱
۲– هدف	۱
۳– دامنه کاربرد	۲
۴– بررسی کیفیت و قابلیت مصرف آب بازیافتی	۲
۴–۱ ترکیبات اصلی آب بازیافتی	۴
۴–۱–۱ شوری	۶
۴–۱–۲ عناصر جزئی و مواد مغذی	۶
۴–۲ امکان سنجی و قابلیت استفاده از آب بازیافتی در بهسازی خاک	۸
۴–۲–۱ پستی و بلندی منطقه	۹
۴–۲–۲ ویژگی های خاک	۹
۴–۲–۲–۱ سدیمی شدن خاک	۱۱
۴–۲–۲–۲ شوری خاک	۱۱
۴–۲–۲–۳ هدایت هیدرولیکی اشباع	۱۱
۴–۲–۲–۴ ظرفیت نگهداری آب در دسترس	۱۳
۴–۲–۲–۵ pH خاک	۱۳
۴–۲–۲–۶ ظرفیت تبادل کاتیون و کاتیون های قابل تبادل	۱۴
۴–۲–۲–۷ آزمون پایداری امرسون	۱۴
۴–۲–۲–۸ جذب فسفر در خاک	۱۵
۵– بررسی اثرات و خطر مصرف آب های بازیافتی در بهسازی خاک	۱۵
۵–۱ اثر مفید آب های بازیافتی در بهسازی خاک	۱۷
۵–۱–۱ بهبود ساختار فیزیکی خاک	۱۸
۵–۱–۲ افزایش فعالیت میکربی خاک	۲۱
۵–۱–۳ بهبود عملکرد خاک به عنوان یک سیستم تصفیه فاضلاب	۲۳

۵–۲ اثرات منفی استفاده مجدد از فاضلاب یا آب بازیافتی ۲۷
۵–۲–۱ شور شدن ۲۸
۵–۲–۲ تجمع فلزات سنگین در خاک ۳۰
۵–۲–۳ آلودگی خاک توسط عوامل بیماریزای میکربی ۳۰
۵–۲–۳–۱ اثرات ناشی از آلودگی میکربی خاک ۳۲
۵–۲–۴ عوامل میکربی در خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی ۳۳
۵–۲–۴–۱ آلودگی خاک به پاتوژن های مقاوم به آنتی بیوتیک ۳۶
۵–۲–۴–۲ سرنوشت میکرو ارگانیسم های بیماریزا در خاک ۳۷
۵–۲–۵ آلودگی خاک توسط فلزات سنگین ۴۰
۵–۲–۶ آلودگی خاک توسط ترکیبات آلی ۴۳
۵–۲–۶–۱ اثرات آلاینده های آلی ناشی از استفاده از آب بازیافتی ۴۷
۶– بررسی استاندارد های ملی و بین المللی ۴۹
۶–۱ استاندارد های ملی ۴۹
۶–۱–۱ استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ۴۹
۶–۱–۲ استاندارد موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۵۱
۶–۲ استاندارد های بین المللی استفاده مجدد از آب بازیافتی جهت آبیاری و بهسازی خاک ۵۳
۶–۲–۱ رهنمود سازمان بهداشت جهانی به منظور استفاده مجدد از آب بازیافتی جهت آبیاری ۵۴
۶–۲–۲ رهنمود پیشنهادی برنامه محیط زیست سازمان ملل برای استفاده مجدد از آب بازیافتی در منطقه مدیترانه ۵۵
۶–۲–۳ محدودیت های اتحادیه اروپا برای استفاده مجدد از آب بازیافتی ۵۶
۶–۲–۴ معیار های موقتی کیفیت برای آبیاری با آب بازیافتی در کشور قبرس ۵۸
۶–۲–۵ توصیه های مربوط به استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور فرانسه ۵۹

۶-۲-۶ استاندارد میکربی و فیزیکو شیمیایی برای آبیاری با آب بازیافتی در کشور ایتالیا ۶۰
۶-۲-۷ راهنمای کیفی برای استفاده مجدد از آب بازیافتی در مناطق مختلف کشور اسپانیا ۶۲
۶-۲-۸ معیار های کیفیت آب بازیافتی برای آبیاری در کشور ترکیه ۶۵
۶-۲-۹ معیار های سازمان حفاظت محیط زیست کشور استرالیا جهت استفاده از آب بازیافتی ۶۶
۶-۲-۱۰ استاندارد کشور مکزیک جهت استفاده از آب بازیافتی ۶۷
۶-۲-۱۱ راهنمای استفاده از آب بازیافتی در کشور های خاورمیانه و شمال آفریقا ۶۸
۶-۲-۱۱-۱ راهنمای استفاده مجدد از آب بازیافتی در فلسطین اشغالی ۶۹
۶-۲-۱۱-۲ استاندارد کشور اردن برای استفاده مجدد از آب بازیافتی ۷۱
۶-۲-۱۱-۳ استاندارد کیفیت برای استفاده مجدد از آب بازیافتی در آبیاری در کشور مراکش ۷۳
۶-۲-۱۱-۴ استاندارد استفاده مجدد از آب بازیافتی در بخش کشاورزی در کشور تونس ۷۳
۶-۲-۱۲ استاندارد سازمان فائو جهت کاربرد آب بازیافتی در آبیاری ۷۵
۶-۲-۱۳ راهنمای پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا برای استفاده مجدد از آب بازیافتی ۷۵
۷- برنامه پایش اثرات مصرف آب بازیافتی در بهسازی خاک ۸۲
۷-۱ پایش خاک محل ۸۳
۷-۱-۱ برنامه سالیانه نمونه برداری از خاک ۸۴
۷-۱-۲ مشاوره و برنامه زمان بندی قبل از نمونه برداری در مکان های نمونه برداری غیر قابل تفکیک ۸۶
۷-۱-۳ روش های جمع آوری نمونه خاک ۸۷

۷–۱–۴ تضمین کیفیت و کنترل کیفیت نمونه برداری و زنجیره انتقال ۸۷
۷–۱–۵ آزمایشات خاک ۸۸
۷–۱–۶ مدیریت داده های خاک و تضمین کیفیت/ کنترل کیفیت ۸۸
۷–۱–۷ گزارش های اختصاصی خاک و جمع آوری اطلاعات به صورت حضوری ۸۹
۷–۱–۸ گزارش کلی شرایط خاک از طرف سازمان آبیاری منطقه به سازمان آب روستایی ۹۰
۸– اقدامات کنترلی در استفاده از آب بازیافتی در بهسازی خاک ۹۰
۸–۱ اصلاح خاک سدیمی ناشی از مصرف آب بازیافتی ۹۳
۸–۲ کنترل شوری ناشی از مصرف آب بازیافتی ۹۶
۸–۲–۱ ارتباط روش های آبیاری با کنترل شوری ۹۸
۸–۲–۱–۱ ارتباط آبیاری به روش کرتی و کنترل شوری ۹۹
۸–۲–۱–۲ ارتباط آبیاری به روش بارانی و کنترل شوری ۹۹
۸–۲–۱–۳ ارتباط آبیاری به روش قطره ای و کنترل شوری ۱۰۰
۸–۳ روش های کنترل فلزات سنگین ناشی از مصرف آب بازیافتی ۱۰۰
۸–۳–۱ افزایش pH به ۶/۵ و یا بالاتر. ۱۰۱
۸–۳–۲ زهکشی خاک های مرطوب. ۱۰۱
۸–۳–۳ کاربرد فسفات ۱۰۱
۸–۳–۴ انتخاب گیاهان مناسب برای استفاده در خاک های آلوده به فلزات سنگین ۱۰۱
۸–۴ کنترل بار مواد آلی ناشی از مصرف آب بازیافتی ۱۰۲
۸–۵ کنترل عوامل بیماری زا ناشی از مصرف آب بازیافتی ۱۰۳
۸–۶ مدیریت آب در مزرعه و بهسازی خاک ۱۰۴
۸–۶–۱ استفاده از روش های مناسب آبیاری ۱۰۵
۸–۶–۲ روش های استفاده از آب های بازیافتی شور ۱۰۷
۸–۶–۲–۱ کوتاه کردن فاصله بین آبیاری ها ۱۰۷

۸–۶–۲–۲ انتخاب گیاه مناسب ۱۰۸
۸–۶–۲–۳ شست و شوی خاک ۱۰۸
۸–۶–۲–۴ آبیاری قبل از کشت ۱۰۸
۸–۶–۲–۵ انتخاب محل بذرکاری ۱۰۸
۸–۶–۲–۶ تغییر روش آبیاری ۱۰۹
۸–۶–۲–۷ تغییر نوع آب ۱۰۹
۸–۶–۲–۸ شخم عمیق ۱۱۰
۸–۶–۲–۹ زهکشی ۱۱۰
۸–۶–۲–۱۰ ارتقاء نفوذ آب ۱۱۰
۸–۶–۳ انتخاب مناسب محصول کشاورزی برای کشت ۱۱۱
۸–۶–۴ تسطیح زمین ۱۱۳
۹– مطالعه موردی استفاده مجدد از آب بازیافتی ۱۱۴
۹–۱ ویژگی های مهم سیستم های استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های در حال توسعه ۱۱۶
۹–۱–۱ استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های خاور نزدیک و شمال آفریقا (کشور های با درآمد کم و متوسط) ۱۱۶
۹–۱–۲ استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های آفریقای مرکزی و جنوبی ۱۱۶
۹–۱–۳ استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های آمریکای مرکزی و جنوبی ۱۱۷
۹–۱–۴ استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های آسیای میانه و کشور های کم درآمد ۱۱۷
۹–۲ ویژگی های مهم سیستم های استفاده مجدد از آب بازیافتی در مناطق توسعه یافته ۱۱۷
۹–۲–۱ استفاده مجدد از آب بازیافتی در اروپا ۱۱۷
۹–۲–۲ استفاده مجدد از آب بازیافتی در آمریکای شمالی ۱۱۸
۹–۲–۳ استفاده مجدد از آب بازیافتی در اقیانوسیه ۱۱۸

۹–۲–۴ استفاده مجدد از آب بازیافتی در خاور نزدیک و شمال آفریقا (کشورهای با درآمد بالا) ۱۱۸
۹–۲–۵ استفاده مجدد از آب بازیافتی در آسیا (کشور های با درآمد بالا) ۱۱۹
۹–۳ تجارب تحقیقاتی و کاربردی استفاده از آب بازیافتی در مناطق مختلف کشور ایران ۱۲۰
۱۰– برنامه آموزش افراد ۱۲۴
۱۰–۱ اطلاعات پایه و آموزش های مورد نیاز ۱۲۴
مراجع ۱۲۶
ایندکس موضوعی ۱۳۳
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۳۶

اصطلاحات

آب بازیافتی[1]

عبارت است از فاضلاب شهری یا پسابی که به منظور رسیدن به کیفیت مشخص و جهت استفاده در گستره ی مقاصد خاص، تصفیه شده باشد.

آبشویی مورد نیاز[2]

مقدار آب اضافی که باید به خاک داده شود تا غلظت نمک را در حد پایین‌تر از میزان تحمل گیاه نگه دارد را آبشویی مورد نیازگویند.

توقف فسفات[3]

گاهی اوقات فسفات محلول در ابتدا با جذب بر روی ذرات خاک بی‌حرکت و سپس به آرامی به فرم نا محلول باز می‌گردد که موجب جذب بیشتر فسفات های متحرک می‌شود. به طور کلی این فرایند را توقف فسفات می‌گویند.

جزء آبشویی[4]

جزء آبشویی عبارت است از حاصل بخش مقدار آب زه‌کشی شده از منطقه ریشه‌ها (Dd) به مقدار آب آبیاری (Di).

سدیمی شدن خاک[5]

اشاره به میزان کاتیون های سدیم قابل تبادل داشته و به صورت درصد سدیم قابل تبادل (ESP) بیان می‌گردد.

---

1. Reclaimed water/Recycled water
2. Leaching requirement
3. Phosphate aging
4. Leaching fraction
5. Sodicity

شوری خاک[1]

شـــوری غلظت نمک های محلول در محلول خاک بوده و از طریـــق اندازه گیری هدایت الکتریکی محاسبه می‌گردد.

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک[2]

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، کل مقدار کاتیون های قابل تبادل بوده که در pH مورد نظر توانایی ماندن در کمپلکس جذب را دارد.

ظرفیت تبادل کاتیونی موثر[3]

ظرفیت تبادل کاتیونی موثر معیاری از غلظت پنج کاتیون عمده کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و آلومینیم در خاک است.

ظرفیت نگهداری آب در دسترس[4]

اشـــاره به میزان رطوبت خاک دارد. این رطوبت حداکثر مقدار آب در دسترس گیاه بوده که خاک قادر به نگهداری آن است.

هدایت هیدرولیکی اشباع[5]

نفوذ پذیری خاک معیاری از حرکت آب از درون خاک بوده و بر حســـب میلی متر در ســـاعت بیان می‌گردد. هدایت هیدرولیکی اشباع (Ksat) خاصیت مهمی از خاک بوده که میزان مناسب بودن آن را جهت آبیاری با آب بازیافتی و همچنین محدودیت های کاربرد آن در خاک را مشخص می کند.

بهسازی خاک

بهبود کیفیت خاک در نتیجه استفاده از آب بازیافتی به گونه ای که تغییری در عملکرد خاک برای استفاده دراز مدت ایجاد نگردد.

---

1. Salinity
2. Cation exchange capacity(CEC)
3. Effective cation exchange capacity (ECEC)
4. Available water holding capacity (AWC)
5. Saturated hydraulic conductivity (Ksat)

۱– مقدمه

جوامع شـــهری و روســـتایی کانون اصلی مصارف آب برای مقاصد شـــرب، زراعـــی، صنعت و تولید فاضلاب انسانی و پساب می باشند. افزایش مصرف آب و به تبع آن تولید فاضلاب و روند رو به رشد این تولید و همچنین توجه به استفاده غیر اصولی، ایجاب می نماید که برای جلوگیری از گسترش مشـــکلات زیســـت محیطی و همچنین تامین بخشـــی از آب مورد نیاز مصارف مختلف از طریق باز چرخانی و استفاده مجدد از پساب و آب بازیافتی برنامه ریزی شود.

در دسترس بودن آب نقش اساسی در موفقیت کشاورزی در سطح ملی و جهانی داشته و بر سلامت انسان، ایمنی مواد غذایی، اقتصاد، جامعه شناسی، مطالعات رفتاری و علوم محیط زیست تاثیر دارد. بدون آب کافی، کشاورزی نمی تواند مواد غذایی برای جمعیت فعلی جهان را فراهم نماید، از طرفی خاک به عنوان یک منبع حیاتی، میراث مشـــترک و ثروت ملی، بســـتر اصلی تولیدات کشاورزی و مواد غذایی، زیســـتگاه اصلی گیاهان و جانوران و پالایشگاه آلودگی های محیطی است. تشکیل هر سانتی متر عمق خاک صد ها سال به طول می انجامد همچنین استفاده از روش های بهره برداری نامناســـب می تواند خاک را از چرخه تولید خارج کرده و تمامی این ســـرمایه ملی به هدر رود. لذا با توجه به شـــرایط اقلیمی و موقعیت طبیعی کشـــور و در راســـتای تحقق توسعه پایدار و حفاظت، اصلاح و بهسازی منابع خاک و آب و به منظور استفاده بهینه از این دو منبع ارزشمند یعنی آب و خاک این رهنمود تهیه شده است.

۲– هدف

راهنمـــای حاضر جهت ایجاد ضوابطی در خصوص کاربرد آب بازیافتی در آبیاری و بهســـازی خاک تدوین گردیده اســـت. در این راهنما به موارد زیر در خصوص اســـتفاده از آب بازیافتی در بهسازی خاک پرداخته شده است:

- بررسی کیفیت آب بازیافتی و قابلیت استفاده از آن در بهسازی خاک.
- اثرات استفاده از آب بازیافتی بر خاک.
- بررسی خطرات احتمالی استفاده از آب بازیافتی برای سلامتی انسان.
- برنامه پایش اثرات مصرف آب بازیافتی بر خاک.
- اقدامات کنترلی هنگام استفاده از آب بازیافتی.

۳- دامنه کاربرد

خاک و آب به عنوان منبع طبیعی تجدید ناپذیر، سرمایه ملی و بستر حیات، نقش اساسی در استقرار و رشد جوامع بشری و نیز سایر مخلوقات دارد و در واقع بخشی از زنجیره غذایی انسان و سایر حیوانات از این دو منبع می باشد. بر اساس مراجع مختلف تشکیل هر سانتی متر خاک در شرایط مختلف آب و هوایی از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال طول می کشد. از سوی دیگر، رفع آلودگی خاک فرایندی بسیار دراز مدت است که این زمان از دست رفته و فواید اقتصادی خاک در این دوره هم می تواند به عنوان هزینه های مربوطه در نظر گرفته و به آن اضافه شود.

با توجه به این ملاحظات، راهنمای حاضر جهت پایش، بهسازی و کاهش آلودگی ناشی از آب بازیافتی به کار رفته در خاک تهیه گردیده است. سعی بر آن بوده که در این راهنما موارد مربوط به مدیریت آلودگی های ناشی از استفاده از آب بازیافتی، حفاظت خاک از این آلودگی ها و بهسازی محل های مورد مصرف آورده شود. شرکت های آب و فاضلاب شهری و روستایی، ادارات جهاد کشاورزی، ادارات کل محیط زیست و دانشگاه های علوم پزشکی و مراکز تحقیقاتی مرتبط می توانند از مطالب این راهنما استفاده نمایند. در ابتدا مطالبی در مورد آب بازیافتی، خطرات مربوطه و نحوه کاربرد آنها آورده شده است.

۴- بررسی کیفیت و قابلیت مصرف آب بازیافتی

به طور کلی آب بازیافتی[1] فاضلاب یا پسابی است که به منظور رسیدن به کیفیت مشخص و جهت استفاده در گستره مقاصد خاص، تصفیه شده باشد. عبارت آب بازیابی شده[2] مترادفی برای این مفهوم است (۱).

استفاده از آب بازیافتی در کشاورزی با هدف آبیاری محصولات و یا حاصل خیز کردن خاک ها از قدیم به ویژه در اغلب کشور های آسیایی و در کشور های خاورمیانه (از جمله ایران) رواج داشته است. استفاده از آب بازیافتی علاوه بر مزایای آن، معایبی نظیر آلودگی خاک را دارد.

خطر آلودگی خاک کمتر از آلودگی های آب و هوا نیست، اما به طور معمول این آلودگی ملموس نبوده و کمتر به آن توجه می شود. از دیدگاه جهانی پس از آب و هوا، خاک سومین جزء عمده محیط زیست تلقی می شود. تا زمانی که بشر با شکار امرار معاش می کرد، نیازی به تفکر درباره

1. Reclaimed water
2. Recycled water

طبیعت و ارزش خاکی که زیر پایش بود نداشت ولی همین که به جای شکار اقدام به کاشتن کرد و طبیعت خاک اثر مستقیمی در زندگیش بر جای نهاد، مجبور شد تا درباره خاک نیز فکر کند. در آن موقع بشر فکر می کرد که خاک زیر پایش بستری است برای رشد و نمو گیاه، جایی است که می توان در آن بذری نهاد که از آن گیاهی حاصل شود و غذای او را تامین کند. بعد ها که با گذشت زمان بینش عمومی نسبت به ارزش خاک و دنیای نهفته در آن فزونی یافت، خاک مفهوم عمیق تری پیدا کرد و بقای میلیون ها انسان گرسنه به آن وابسته گردید (۲).
همانطور که قبلا ذکر شد یکی از کاربرد های آب بازیافتی استفاده در کشاورزی و جهت بهسازی خاک است. با این وجود آب بازیافتی مزایای بسیاری دارد از جمله:

- آب بازیافتی منبع بسیار قابل اعتمادی بوده و به طور معمول با رشد جمعیت افزایش می یابد.
- به طور کلی هزینه تصفیه فاضلاب مطابق با استاندارد های موجود از هزینه تامین آب قابل شرب از منابع غیر متعارف (مثلا نمک زدایی) پایین تر است.
- استفاده از آب بازیافتی در کشاورزی قابل قبول تر بوده و گزینه مدیریتی کم هزینه تری است.
- به جای استفاده از منابع آب شیرین برای آبیاری محصولات کشاورزی می توان از آب بازیافتی استفاده کرد. آب بازیافتی می تواند کمبود های ناشی از آب شیرین در کشاورزی را جبران نماید.

ممکن است در بسیاری از مناطق بهترین آب در دسترس کشاورزان، آب بازیافتی بوده که یک منبع ارزان قیمت دارای کود (مواد مغذی) نیز است. با این حال، این مزایا بستگی به مقدار مناسب آب و مواد غذایی و زمان کاربرد آن دارد. بسته به مرحله رشد، مواد مغذی اضافی می تواند تاثیر منفی بر بازده محصول داشته باشد (۱).
از آنجا که در سطح جهانی استفاده مجدد از آب بازیافتی در بهسازی خاک به منظور استفاده در فعالیت های کشاورزی می باشد درک عوامل تعیین کننده موفقیت یا شکست فعالیت های کشاورزی وابسته به آب بازیافتی برای آبیاری بسیار مهم است.
به طور کلی حساسیت گیاه تابعی از تحمل یک گیاه در برابر ترکیباتی است که در منطقه ریشه با آن مواجه شده و یا بر روی شاخ و برگ آن رسوب می کند. در مقایسه با منابع آب زیر زمینی و یا سطحی، آب بازیافتی دارای غلظت های بالاتری از برخی از این ترکیبات است. انواع ترکیبات

موجود در آب بازیافتی و غلظت آن بستگی به منبع تامین آب شهری، نوع شبکه جمع آوری فاضلاب (خانگی و صنعتی)، مقدار و ترکیب جریانات نفوذی به سیستم جمع آوری فاضلاب (نشتاب)، فرآیند های تصفیه و نوع تاسیسات ذخیره سازی دارد. تعیین مناسب بودن آب بازیافتی برای استفاده به عنوان یک منبع آب کشاورزی و جهت بهسازی خاک بستگی به موقعیت محل و شرایط موجود داشته و قبل از اجرای برنامه استفاده مجدد در کشاورزی، انجام تحقیقات زراعی بر روی آن توصیه می شود.

در مورد ترکیبات شیمیایی موجود در تمام منابع آب جهت آبیاری نگرانی های مشابهی وجود دارد و آب بازیافتی از این قاعده مستثنی نیست. عوامل مختلفی از جمله بر همکنش خاک- گیاه- آب (کیفیت آب آبیاری، حساسیت و تحمل گیاه، ویژگی های خاک، شیوه های مدیریت آبیاری و زهکشی) در تولید محصول مهم است. به عنوان مثال در شرایط زهکشی ضعیف، حتی استفاده از با کیفیت ترین آب برای آبیاری ممکن است باعث خرابی محصول شود. از سوی دیگر، اگر خاک دارای زهکشی خوبی بوده و از آب شویی مناسبی برخوردار باشد، می تواند شوری نسبتا بالا در آب آبیاری (آب بازیافتی یا آب های زیر زمینی لب شور) را تحمل کند. بنابراین، هنگامی که هدف ما استفاده از آب بازیافتی در بهسازی خاک است باید ترکیبات اصلی و تاثیرگذار آب شناسایی شوند (۱).

۴-۱ ترکیبات اصلی آب بازیافتی

آب بازیافتی حاوی ناخالصی هایی است که در نتیجه مصارف شهری و یا صنعتی آب حاصل شده اند (جدول ۱). این ناخالصی ها شامل نمک ها، مواد مغذی، میکروارگانیسم ها و مواد جامد هستند. منشاء نمک های موجود در آب بازیافتی عمدتا دفع خانگی، صنعتی و یا ترکیبات به کار رفته به عنوان کود های شیمیایی می باشد. مقدار و ترکیب این نمک ها تعیین کننده ویژگی های مهمی مانند سختی، قلیاییت، سمیت، هدایت الکتریکی و pH در آب بازیافتی است. آب بازیافتی همچنین دارای مقادیر قابل توجهی از مواد مغذی اصلی برای گیاهان است. این مواد مغذی اصلی شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم بوده که در نتیجه می توان آب بازیافتی را به عنوان یک کود ضعیف حاوی چندین ماده مغذی در نظر گرفت. غلظت این مواد مغذی در آب بازیافتی بستگی به میزان تصفیه فاضلاب، فصل سال و مقدار رقیق سازی با آب باران دارد (۴).

مواد مغذی دیگری که در آب بازیافتی موجود می باشد شامل کلسیم، منیزیم، گوگرد و مواد

مغذی میکرو مانند آهن، منگنز، روی، مس، مولیبدن و بُر است. علاوه بر موارد فوق در آب بازیافتی میکروار گانیسم هایی نیز وجود دارند که ممکن است برای سلامتی انسان مضر باشند. سه گروه اصلی عوامل بیماریزا که دارای احتمال خطر آلودگی بوده و اثر آنها بر سلامتی انسان متفاوت است عبارتند از:

الف) انگل ها[1] با احتمال خطر زیاد
ب) باکتری های روده ای با احتمال خطر متوسط
ج) ویروس های روده ای با احتمال خطر کم

تفاوت در مدت زمان زنده ماندن تخم انگل ها، نماتد ها و باکتری ها در فاضلاب تصفیه شده، تعیین کننده میزان احتمال خطر آلودگی آنها است (۴).

جدول ۱: ناخالصی های موجود در آب بازیافتی (۴)

نمک ها (آنیون یا کاتیون)	مواد مغذی	میکرو ارگانیسم ها	مواد جامد
کلراید	آمونیوم	ویروس ها	مواد جامد معلق
کربنات	فسفات	کرم ها	مواد آلی
بی کربنات	کربن	پروتوزوآ	چربی، روغن
سدیم	روی	-	-
پتاسیم	آهن	-	-
کلسیم	منگنز	-	-
منیزیم	-	-	-
بُور	-	-	-
عناصر ناچیز	-	-	-

اگر چه کیفیت آب بازیافتی بر نحوه استفاده از آن اثر می گذارد اما با توجه به هدف این راهنما که در مورد کاربرد آب های بازیافتی در بهسازی خاک می باشد در ادامه به تفصیل در مورد ناخالصی هایی بحث می‌شود که از این نظر دارای اهمیت بیشتری هستند (۴).

1. Parasites

۴-۱-۱ شوری

شـوری یک پارامتر کلیدی در تعیین مناسـب بـودن آب بازیافتی برای آبیاری اسـت. با توجه به وجـود گیاهانی که تنوع گسـترده ای در مقابل تحمل به شـوری دارند وضع معیـار هایی در این زمینه مشـکل است. همه آب های مورد استفاده برای آبیاری تا حدی دارای نمک هستند بنابراین بدون زهکشـی مناسـب نمک ها (کاتیون ها و آنیون ها) در خاک تجمع می یابند. به دلیل اهمیت مدیریت شـوری در استفاده مجدد از آب بازیافتی درکشاورزی، بحث مختصری از موضوع در اینجا ارائه شده است (۱).

بـا انـدازه گیری هدایت الکتریکی و یا کل مواد جامد محلول در آب[1]، شـوری تعیین می شـود. با این حال، در اکثر اندازه گیری های کشـاورزی، کل مواد جامد محلول به صورت هدایت الکتریکی گزارش شده است. میزان تجمع نمک در خاک بستگی به غلظت نمک در آب آبیاری و مقدار حذف آن نمک ها توسط آب شویی دارد. با استفاده از کل مواد جامد محلول به عنوان معیاری از شوری، معمـولا زیـر ۵۰۰ میلی گرم در لیتر هیچ گونه اثرات زیان باری مشـاهده نمی شـود. بین ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر، کل مواد جامد محلول آب آبیاری می‌تواند گیاهان حساس را تحت تاثیر قرار دهد. در غلظت های بالاتر از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر، مقدار کل مواد جامد محلول می تواند بر بسـیاری از محصولات تاثیر گذارد، بنابراین در این موارد شیوه های مدیریتی سنجیده باید به کار رود.

آبی که غلظت کل مواد جامد محلول آن بیشتر از ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر است را می توان برای آبیاری منظم گیاهان مقاوم در برابر نمک[2] در خاک بسیار نفوذ پذیر به کار برد (۱).

۴-۱-۲ عناصر جزئی و مواد مغذی

سـیزده ماده معدنی مغذی برای رشـد گیاه مورد نیاز بوده و کود های شـیمیایی که دارای غلظت کافی از این مواد مغذی هسـتند به خاک اضافه می شـوند. مواد مغذی معدنی به دو گروه تقسـیم می شـوند که عبارتند از مـواد مغذی ماکرو (اولیـه و ثانویه)[3] و مواد مغذی میکـرو[4]. مواد مغذی ماکروی اولیه، که شـامل نیتروژن، فسـفر و پتاسیم هستند اغلب در خاک کم بوده و گیاهان برای

1. Total disolved solids (TDS)
2. Salt-tolerant plants
3. Macronutrients (primary and secondary)
4. Micronutrients

رشـــد و بقاء مقادیر زیادی از آنها را اســـتفاده می کنند. مواد مغذی ماکروی ثانویه شـــامل کلسیم، منیزیم و گوگرد است. مواد مغذی میکرو (بور، مس، آهن، کلرید، منگنز، مولیبدن و روی) عناصری می باشند که در مقادیر کم برای رشد گیاه ضروری هستند و اغلب به عنوان عناصر جزئی شناخته می شـــوند. هر چند این عناصر جزئی برای رشـــد گیاه ضروری هســـتند، غلظـــت بیش از حد آنها می تواند سمی باشد (۱).

آب های بازیافتی مورد استفاده باید دارای ویژگی های خاصی بوده تا بتوان آن را مورد استفاده قرار داد. به عنوان مثال برای ارزیابی کیفیت آب بازیافتی از نظر شوری، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد[1] توصیه هایی را برای آبیاری محصولات کشاورزی با چنین آب هایی منتشر کرده است. این اطلاعات راهنمایی جهت ارزیابی اولیه برای اســـتفاده از آب بازیافتی در محیط کشـــاورزی را فراهم می کند. خلاصه ای از این توصیه ها در جدول ۲ آورده شده است (۱).

لازم به ذکر است که "محدودیت در استفاده" که در جدول ۲ نشان داده شده به سه درجه از سخت گیری تقسیم شده است که شامل: بدون محدودیت، محدودیت ناچیز تا متوسط و محدودیت شدید اســـت. این تقســـیم بندی ها تا حدودی اختیاری بوده زیرا تغییرات بـــه تدریج رخ می دهد و هیچ حد روشـــنی که تفکیک را نشـــان دهد وجود ندارد. نوسانات ۱۰ تا ۲۰ درصدی از مقدار راهنما اگر جهت پیش بینی مناســـب با دیگر عوامل موثر بر عملکرد در نظر گرفته شـــوند، دارای اهمیت کمی می باشـــد. مطالعات محلی، طرح های تحقیقاتی و مشـــاهدات، منجر به این تقســـیم بندی ها شده است اما مهارت مدیریتی استفاده کننده از آب می تواند راهی که در آن تقسیم بندی ها برای یک کاربرد خاص تفســـیر می شـــوند را تغییر دهد. مقادیر نشان داده شده تحت شرایط عادی حاکم در اغلب مناطق خشک و نیمه خشک در جهان قابل استفاده می باشد (۱).

1. Food and Agriculture Organization (FAO)

جدول ۲: راهنمای تفسیر کیفیت آب برای آبیاری (۱)

مشکلات بالقوه آبیاری		واحد	درجه محدودیت در آبیاری		
			بدون محدودیت	ناچیز تا متوسط	شدید
شوری (موثر بر آب در دسترس محصول)[الف]					
هدایت الکتریکی (ECw)		dS/m	کمتر از ۰/۷	۰/۷ تا ۳/۰	بیش از ۳/۰
کل جامدات محلول (TDS)		mg/L	کمتر از ۴۵۰	۴۵۰ تا ۲۰۰۰	بیش از ۲۰۰۰
نفوذ (بر میزان نفوذ آب در خاک تاثیر دارد؛ با استفاده همزمان از ECw و SAR برآورد می شود) [ب]					
میزان جذب سدیم (SAR)	صفر تا ۳	هدایت الکتریکی (ECw)	بیش از ۰/۷	۰/۷ تا ۰/۲	کمتر از ۰/۲
	۳ تا ۶		بیش از ۱/۲	۱/۲ تا ۰/۳	کمتر از ۰/۳
	۶ تا ۱۲		بیش از ۱/۹	۱/۹ تا ۰/۵	کمتر از ۰/۵
	۱۲ تا ۲۰		بیش از ۲/۹	۲/۹ تا ۱/۳	کمتر از ۱/۳
	۲۰ تا ۴۰		بیش از ۵/۰	۵/۰ تا ۲/۹	کمتر از ۲/۹
سمیت ویژه یون (بر روی محصولات حساس تاثیر دارد)					
سدیم [ج]		-	-	-	-
آبیاری سطحی		SAR	کمتر از ۳	۳ تا ۹	بیش از ۹
آبیاری بارانی		meq/l	کمتر از ۳	بیش از ۳	-
کلراید [ج]		-	-	-	-
آبیاری سطحی		meq/l	کمتر از ۴	۴ تا ۱۰	بیش از ۱۰
آبیاری بارانی		meq/l	کمتر از ۳	بیش از ۳	-
بُر		mg/L	کمتر از ۰/۷	۰/۷ تا ۳/۰	بیش از ۳/۰
اثرات دیگر (بر محصولات آسیب پذیر تاثیر دارد)					
نیتروژن نیتراتی		mg/L	کمتر از ۵	۵ تا ۳۰	بیشتر از ۳۰
بی کربنات		meq/l	کمتر از ۱/۵	۱/۵ تا ۸/۵	بیشتر از ۸/۵
pH		-	محدوده خنثی ۶/۵ تا ۸/۴		

الف) ECW به معنی هدایت الکتریکی بوده و معیاری از شوری آب است. بر حسب دسی زیمنس بر متر (dS/m) در ۲۵°C و یا میلی موس بر سانتی متر (mmhos/cm) گزارش شده که هر دو معادل هستند.

ب) SAR میزان جذب سدیم است. در یک SAR خاص نرخ نفوذ با افزایش شوری آب افزایش می یابد.

ج) برای آبیاری سطحی، اغلب محصولات درختی و گیاهان چوبی به سدیم و کلراید حساس هستند. اغلب محصولات زراعی یکساله[1] حساس نمی باشند. با آبیاری بارانی مصنوعی[2] و رطوبت کم (کمتر از ۳۰ درصد)، سدیم و کلراید ممکن است از طریق برگ محصولات حساس جذب شوند.

1. Annual Crops
2. Overhead Sprinkler Irrigation

۴-۲ امکان سنجی و قابلیت استفاده از آب بازیافتی در بهسازی خاک

به منظور امکان سنجی و قابلیت استفاده از آب بازیافتی در بهسازی خاک باید موارد زیر را در نظر داشت:

۴-۲-۱ پستی و بلندی منطقه

پستی و بلندی منطقه بر روی انتخاب نوع سیستم آبیاری تاثیر دارد (جدول ۳). به عنوان مثال در یک منطقه مسطح که شیبی کمتر از ۰/۱ درصد دارد، آبیاری غرقابی مناسب بوده در حالی که در زمینی با شیب بیش از ۵ درصد آبیاری بارانی بسیار مناسب تر است. مشکلات مربوط به زهکش ضعیف و ماندابی شدن[1] آب در منطقه ای که به طور مناسبی تسطیح شده و شیب یکنواختی داشته باشد، کمتر مشاهده می شود. جمع شدن آب بازیافتی در شیار ها و گودال ها منجر به انباشتگی آب و مواد مغذی در یک نقطه و تخریب گیاه و خاک می گردد. جمع شدن آب بازیافتی می تواند منجر به آلودگی آب سطحی و یا آب زیر زمینی شود. این گودال ها باعث تجمع پشه ها و ناقلین بیماری نیز می شوند (۴).

۴-۲-۲ ویژگی های خاک

ویژگی های خاک در مناسب بودن منطقه جهت آبیاری با آب بازیافتی، انتخاب سیستم آبیاری و فعالیت های مدیریتی مورد نیاز تاثیر دارد. از آنجا که آب بازیافتی ممکن است دارای مواد مغذی و نمک باشد، بنابراین لازم است خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آبیاری مورد آزمون قرار گیرد. چون استفاده از این آب ها می تواند نتایج زیر را به همراه داشته باشد:

- تخریب ساختار خاک
- محدودیت در رشد گیاه
- فرسایش
- شوری
- رها شدن آلاینده ها به آب های سطحی و زیر زمینی

بنابراین پس از انتخاب محل هایی که به طور بالقوه جهت آبیاری با آب بازیافتی مناسب هستند، باید خاک محل توسط افراد متخصص مورد بررسی قرار گیرد. هدف از این بررسی مشخص کردن نوع خاک و برآورد محدودیت های آن جهت استفاده می باشد. مناطقی که مشخص شود برای

1. Ponding

آبیاری با آب بازیافتی مناسب نیستند از سیستم برنامه ریزی حذف گردند. بازرسی دقیق خاک فقط در مورد محل هایی انجام می گردد که مناسب جهت آبیاری با آب بازیافتی هستند. بازرسی دقیق باید تمام محدودیت های خاک و ویژگی های محل را مشخص کرده تا سیستم آبیاری بر مبنای آن انجام گردد. ایجاد چنین سیستمی منجر به کاهش مخاطرات محیطی و آلودگی های ناشی از آن می شود. مهمترین خواص خاک که در مورد مناسب بودن محل جهت آبیاری با آب بازیافتی باید در نظر گرفته شود در ادامه آورده شده است:

جدول ۳: محدودیت آبیاری توسط آب بازیافتی (از نظر توپوگرافی محل) (۴)

ویژگی	محدودیت			مخاطره
	ناچیز	متوسط	شدید	
شیب				
آبیاری غرقابی	کمتر از یک درصد	بین ۱ تا ۳ درصد	بیشتر از ۳ درصد	رواناب و فرسایش زیاد
آبیاری بارانی	کمتر از ۶ درصد	بین ۶ تا ۱۲ درصد	بیش از ۱۲ درصد	
آبیاری قطره ای	کمتر از ۱۰ درصد	بین ۱۰ تا ۲۰ درصد	بیش از ۲۰ درصد	
آبیاری کرتی/ سیل	ندارد- کم	گاهگاهی	مکرر	فرسایش، غرقاب شدن، افزایش تغذیه
فاصله تا رودخانه	بیشتر از ۲۰۰ متر	بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر	بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر	آلودگی توسط رواناب
شکل سطح زمین	شیب محدب و دشت ها	شیب مقعر، پای دامنه ها	دشت های دارای زهکش	فرسایش و غرقاب شدن
سنگ روی سطح زمین	خیلی ناچیز	صفر تا ۵ درصد	بیشتر از ۵ درصد	عمق کم خاک، افزایش رواناب
هدایت هیدرولیکی (mm/hr) خاک سطحی	۲۰ تا ۸۰	۵ تا ۲۰	کمتر از ۵	رواناب بیش از حد
خاک زیر تا عمق یک متر	۲۰ تا ۸۰	۱ تا ۲۰	کمتر از یک	غرقاب شدن، فیلتراسیون ضعیف
عمق تا سطح آب زیر زمینی (m)	بیشتر از ۳	۰/۵ تا ۳	کمتر از ۰/۵	رطوبت، احتمال خطر آلودگی آب زیرزمینی
عمق تا سطح بستر سنگی (m)	بیشتر از ۱	۰/۵ تا ۱	کمتر از ۰/۵	محدودیت در رشد ریشه، افزایش غرقاب شدن، ذخیره کوچک آب- خاک
ظرفیت نگهداری آب (mm/m)	بیشتر از ۲۰۰	کمتر از ۲۰۰	-	امکان کم نگهداری آب در بین آبیاری
هدایت الکتریکی (dS/m)	کمتر از ۲	بین ۲ تا ۸	بیشتر از ۸	محدودیت در رشد گیاه
ظرفیت جذب فسفر (mgP/kg)	بیشتر از ۱۰۰۰	بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰	کمتر از ۲۰۰	آبشویی به آب های زیرزمینی
pH (در $CaCl_2$)	۴ تا ۹	۳ تا ۴	بیشتر از ۹	کاهش رشد گیاه
ظرفیت تبادل کاتیون *(cmol(+)/kg)	بیشتر از ۱۵	کمتر از ۱۵	-	محدودیت در امکان جذب مواد مغذی

* به طور متوسط صفر تا۴۰ سانتی متر

۴-۲-۲-۱ سدیمی شدن خاک[1]

سدیمی شدن خاک اشاره به میزان کاتیون های سدیم قابل تبادل داشته و به صورت درصد سدیم قابل تبادل (ESP)[2] بیان می گردد. هنگامی که درصد سدیم قابل تبادل بیشتر از ۵ باشد، سدیمی شدن خاک روی می دهد. این امر موجب می شود که خاک ناپایدار و متلاشی شده در نتیجه امکان فرسایش و کاهش نفوذ پذیری چنین خاکی بیشتر می گردد.

آب های بازیافتی که میزان نسبت جذب سدیم (SAR) آنها بیش از ۶ باشد، می توانند درصد سدیم قابل تبادل خاک های سدیمی نشده[3] را افزایش داده و آب های بازیافتی که میزان نسبت جذب سدیم آنها کمتر از ۳ باشد، موجب کاهش درصد سدیم قابل تبادل خاک های سدیمی شده می شوند (۴).

۴-۲-۲-۲ شوری خاک[4]

شوری، غلظت نمک های محلول در محلول خاک بوده و از طریق اندازه گیری هدایت الکتریکی محاسبه می گردد. هدایت الکتریکی بر حسب واحد دسی زیمنس بر متر (dS/m) یا میکرو زیمنس بر متر (µS/m) و یا دیگر واحد ها از قبیل میکروموس بر سانتی متر (µmhos/cm) بیان می شود. شوری را می توان بر حسب میلی گرم بر لیتر کل نمک های محلول (TDS) نیز اندازه گیری نمود. هنگامی که نمک ها در خاک انباشته می شوند، شور شده و در نتیجه فقط گیاهان مقاوم به شوری قادر به رشد هستند. بنابراین خاک هایی که شوری بالایی دارند، برای آبیاری با آب بازیافتی مناسب نبوده به خصوص اگر میزان نمک چنین آبی بالا باشد (۴).

۴-۲-۲-۳ هدایت هیدرولیکی اشباع[5]

نفوذ پذیری خاک معیاری از حرکت آب از درون خاک بوده و بر حسب میلی متر در ساعت بیان می گردد. هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat}) خاصیت مهمی از خاک بوده که میزان مناسب بودن آن جهت آبیاری با آب بازیافتی و همچنین محدودیت های کاربرد آن را در خاک مشخص می کند. نفوذ پذیری خاک بر روش آبیاری، میزان آب بکار رفته و مدیریت لازم جهت کنترل رواناب ها تاثیر دارد.

1. Sodicity
2. Exchangeable Sodium Percentage (ESP)
3. Non Sodic Soils
4. Salinity
5. Saturated Hydraulic Conductivity (Ksat)

خـاک های با هدایت هیدرولیکی اشـباع بالا (مثل خاک های شـنی) امـکان ورود مواد مغذی و نمک ها را به آب های زیر زمینی فراهم کرده در حالی که خاک های با هدایت هیدرولیکی اشباع خیلی پایین (معمولا خاک های غیر اشـباع دارای رس) در معرض غرقاب شـدن هسـتند. هدایت هیدرولیکی اشـباع در سرتاسـر نیم رخ خاک متفاوت بوده، بنابراین باید در بررسی خاک، هدایت هیدرولیکـی لایـه های موجود در یـک متری بالایی را با هدف تعیین لایـه دارای کمترین میزان نفوذپذیری اندازه گیری نمود. همانطور که در جدول ۴ نشـان داده شـده اسـت هنگام آبیاری با آب بازیافتی، خاک هایی که میزان هدایت هیدرولیکی آنها خیلی کم و یا خیلی زیاد باشـد نیاز به مدیریت بیشتری دارند (۴).

جدول ۴: الزامات خاک هنگام آبیاری با آب های بازیافتی (۴)

خواص	محدودیت			ویژگی محدود کننده
	ناچیز	متوسط	شدید	
سدیمی شدن، ESP (۰ تا ۴۰ سانتی متر)	کمتر از ۵	۵ تا ۱۰	بیش از ۱۰	تخریب ساختار و غرقاب شدن خاک (و)
سدیمی شدن، ESP (۴۰ تا ۱۰۰ سانتی متر)	کمتر از ۱۰	بیش از ۱۰	-	تخریب ساختار و غرقاب شدن خاک
شوری، EC (dS/m) (ج)	کمتر از ۲	۲ تا ۴	بیش از ۴	نمک اضافی مانع رشد گیاه می شود
عمق تا بالاترین سطح ایستابی فصلی (متر) (ز)	بیش از ۳ (الف)	۰٫۵ تا ۳ (الف)	کمتر از ۰٫۵	تر شدن، احتمال خطر برای آب های زیر زمینی
عمق تا سنگ بستر (متر)	بیش از ۱	۰٫۵ تا ۱	کمتر از ۰٫۵	محدودیت رشد گیاه، افزایش رواناب، غرقاب شدن
هدایت هیدرولیکی اشباع، K_{sat} (میلی متر در ساعت)	۲۰ تا ۸۰	۵ تا ۲۰ بیش از ۸۰	کمتر از ۵	افزایش رواناب، غرقاب شدن، احتمال خطر برای آب های زیر زمینی
ظرفیت نگهداری آب در دسترس (میلی متر بر متر)	بیش از ۱۰۰	کمتر از ۱۰۰	-	احتمال خطر برای آب های زیر زمینی
وزن مخصوص ظاهری (گرم در سانتی متر مکعب)	-	-	-	محدودیت رشد ریشه
لوم شنی	کمتر از ۱٫۸	بیش از ۱٫۸	-	-
لوم و لوم رسی	کمتر از ۱٫۶	بیش از ۱٫۶	-	-
رسی	کمتر از ۱٫۴	بیش از ۱٫۴	-	-
pH خاک (لایه سطحی)	۶٫۰ تا ۷٫۵	۳٫۵ (ب) تا ۶٫۰ بیش از ۷٫۵	کمتر از ۳٫۵ (ب)	کاهش رشد بهینه گیاه
ظرفیت تبادل کاتیونی موثر، (cmol(+)/kg)	بیش از ۱۵	۳ (ج) تا ۱۵	کمتر از ۳ (ج)	عدم توانایی گیاه در نگهداری مواد مغذی
آزمون پایداری امرسون	۸،۷،۶،۵،۴	۳،۲	۱	ساختار ضعیف
جذب فسفر (کیلوگرم در هکتار)	بیش از ۶۰۰۰ (د)	۶۰۰۰ تا ۲۰۰۰	کمتر از ۲۰۰۰ (ه)	عدم توانایی در تثبیت فسفر اضافی

الـف- اغلـب حفاری تا عمق ۳ متر غیر ممکن بوده بنابراین اطلاعات محلی و فقدان شـواهدی مبنی بر وجود سـطح ایستابی آب جهت عمق نمونه برداری (یک متر) مورد استفاده قرار می گیرد.
ب- هنگامی که آب بازیافتی قلیایی بوده یا آهک در دسـترس باشـد، امکان بالا بردن pH وجود دارد. در صورتی که خاک سولفاته اسیدی باشد ممکن است تسطیح زمین به خوبی انجام نشده باشد.
ج- با اضافه کردن اصلاح کننده های خاک از قبیل جامدات زیستی[1] و یا مواد آهکی.
د - با فرض این که قدرت جذب بیش از ۲۰ در صد ظرفیت جذب باشـد. در غیر این صورت ظرفیت جذب بیشـتری نیاز است تا فسفر اضافی تثبیت گردد.
ه- این محدودیت در صورتی اعمال می گردد که منبع آب زیر زمینی حساس وجود داشته باشد.
و- رفع مشکل با بکار بردن ژیپس.
ز- کیفیت و اثرات بالقوه بر روی آب زیر زمینی باید در نظر گرفته شود.
ح- گیاهان از نظر حساسیت به نمک متفاوت هستند.

۴-۲-۲-۴ ظرفیت نگهداری آب در دسترس[2]

ظرفیت نگهداری آب در دسـترس اشـاره به میزان رطوبت خاک دارد. این رطوبت حداکثر مقدار آب در دسـترس گیاه بوده که خاک قادر به نگهداری آن اسـت. ظرفیت نگهداری آب در دسترس به صورت عمق آب در دسـترس بر حسـب میلی متر به ازای عمق خـاک بیان می گردد. معمولا خاک های شنی و برخی از خاک های رسی (با ظرفیت تبادل کاتیونی کم) دارای ظرفیت نگهداری آب کمی هستند.

هنگام طراحی سیسـتم آبیاری، محاسبات موازنه آب برای محل و جهت برنامه زمان بندی آبیاری، داشـتن اطلاعـات در مورد این پارامتر مهـم بوده تا بازده اسـتفاده از آب حداکثر گردد و یا خطر آلودگی آب های سطحی و زیر زمینی کاهش یابد (۴).

۴-۲-۲-۵ pH خاک

معیاری از غلظت یون هیدروژن در خاک و شاخصی از در دسترس بودن مواد مغذی ماکرو و میکرو برای گیاه است. برای اغلب گیاهان pH در محدوده ۶ تا ۷٫۵ (اندازه گیری شده در کلرید کلسیم) دسترسی گیاه به مواد مغذی را به حداکثر رسانده در نتیجه رشد گیاه نیز افزایش می یابد (۴).

1. Bio-Solids
2. Available Water Holding Capacity (AWC)

۴-۲-۲-۶ ظرفیت تبادل کاتیون و کاتیون های قابل تبادل

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک[1] (CEC)، کل مقدار کاتیون های قابل تبادل بوده که در pH مورد نظر توانایی ماندن در کمپلکس جذب را دارند. کاتیون های قابل تبادل در خاک شامل کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم (بازهای قابل تبادل)، هیدروژن و آلومینیوم (اسید قابل تبادل) هستند. ظرفیت تبادل کاتیونی موثر[2] معیاری از غلظت پنج کاتیون عمده در خاک است.

همان طور که در جدول ۴ نشان داده شده است خاک هایی که ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارند برای آبیاری توسط آب بازیافتی مناسب هستند زیرا این خاک ها قادر به نگهداری مواد مغذی می باشند. خاک هایی که ظرفیت تبادل کاتیونی کمی دارند را می توان با مواد آلی (که معمولا ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بالایی دارند) و یا با استفاده از کود سبز زراعی[3] (که میزان مواد آلی خاک را افزایش می دهد) بهبود بخشید (۴).

۴-۲-۲-۷ آزمون پایداری امرسون[4]

معیاری از پایداری ساختار خاک بوده و خاک ها را بر اساس پایداری در آب طبقه بندی می کند. در جدول ۵ خلاصه ای در مورد خصوصیات مربوط به انواع خاک ها طبق این طبقه بندی آورده شده است.

همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است، خاک های با درجه ی ۴ تا ۸ بر مبنای آزمون پایداری امرسون برای آبیاری با آب بازیافتی مناسب تر هستند و نیاز به مدیریت کمتری جهت مقابله با فرسایش دارند. پایداری ساختار خاک های واگرا[5] را می توان با افزودن گچ، آهک و یا مواد آلی به خاک بهبود بخشید (۴).

1. Cation Exchange Capacity (CEC)
2. Effective Cation Exchange Capacity (ECEC)
3. Green Manure Crop
4. Emerson Aggregate Test (EAT)
5. Dispersive Soils

جدول ۵: خواص خاک بر مبنای آزمون پایداری امرسون (۴)

طبقه بندی خاک ها بر مبنای آزمون پایداری امرسون	تفسیر
۱	شدیدا پراکنده خاک ها کمترین میزان پایداری را دارند
۲ و ۳	پراکندگی متوسط خاک تمایلی برای فروکش کردن و پراکندگی دارد.
۴ تا ۸	پراکندگی کم مشخصه های خاک پایدار را دارد. خاک درجه ی ۸ به حدی پایدار است که ریشه ی گیاه درون آن نفوذ نمی کند.

۴-۲-۲-۸ جذب فسفر در خاک

جذب فسفر در خاک معیاری از توانایی خاک در تثبیت فسفر بوده که به صورت کیلوگرم فسفر در هر هکتار بیان می شود. همانگونه که در جدول ۴ نشان داده شده است جذب کم فسفر نشان می دهد که هر میزان فسفر اضافی در خاک محل مورد نظر (بیش از مقدار مورد مصرف گیاه) توانایی عبور از خاک و آلوده کردن آب های زیر زمینی را دارد.

خاک های اسیدی که مقدار رس آنها زیاد است ظرفیت بالای جذب فسفر داشته در حالی که خاک های شنی ظرفیت پایینی دارند. خاک هایی که طی سالیان متمادی مقادیر زیادی فسفر به صورت کود و یا از طریق آبیاری دریافت می کنند، ظرفیت جذب فسفر آنها کاهش می یابد (۴).

۵- بررسی اثرات و خطر مصرف آب های بازیافتی در بهسازی خاک

خاک مخلوط پیچیده ای از مواد معدنی و آلی با غلظت هایی متفاوت در مناطق آب و هوایی گوناگون می باشد. به همین دلیل به طور کلی نمی توان مشخص کرد که کدامیک از ترکیبات و با چه غلظتی آلاینده خاک می باشند. اثرات این ترکیبات (جدول۶) نه تنها به خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد، بلکه به نوع محصول زراعی، شرایط آب و هوایی، کیفیت و مقدار آب مورد مصرف جهت آبیاری بستگی دارد. مطالعات نشان داده اند که حتی روش آبیاری نیز بر خصوصیات خاک تاثیر دارد (به عنوان مثال تجمع فلزات هنگامی که از روش آبیاری قطره ای در عمق ۳۰ سانتی متری استفاده شود نسبت به زمانی که در عمق ۱۵ سانتی متری از سطح انجام می گیرد، بسیار کمتر است) (۸).

جدول ۶: اثر ترکیبات مختلف موجود در آب بازیافتی بر روی خاک (۸)

پارامتر	غلظت در آب آبیاری	خاک
نیتروژن	فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با نیتروژن کل ۲۰ تا ۸۵ میلی گرم در لیتر	مشکل اسیدی شدن در نتیجه استفاده از کودهای مصنوعی مشاهده نشده است.
	فاضلاب یا آب بازیافتی با نیتروژن بیش از ۳۰ میلی گرم در لیتر	اثری گزارش نشده است.
فسفر	فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با غلظت فسفر ۶ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر	اثری گزارش نشده است.
	فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با فسفر بیش از ۲۰ میلی گرم در لیتر	اثری گزارش نشده است.
پتاسیم	مقدار معمول در فاضلاب شهری یا آب بازیافتی	اثری گزارش نشده است.
	مقادیر بالاتر از میزان معمول در فاضلاب شهری یا آب بازیافتی	اثری گزارش نشده است.
مواد آلی	فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با میزان ۱۱۰ تا ۴۰۰ میلی گرم در لیتر BOD	بهبود فعالیت میکروبی و حاصلخیزی خاک. مواد آلی کلوئیدی و معلق میزان رطوبت و مواد مغذی خاک را افزایش داده ساختار خاک را بهبود می بخشد. کاهش اثرات ناشی از شوری به دلیل میزان آب بیشتر در خاک. نگهداری و اتصال با فلزات سنگین. بسته به ترکیب و کاربرد خاک توانایی آزاد سازی نمک ها، نیتروژن و فلزات را دارد. آبیاری مداوم با آب حاوی مواد آلی بالا ممکن است باعث انسداد خلل و فرج خاک شده، شرایط را برای رشد عوامل بی هوازی در ناحیه ریشه گیاه مناسب سازد. مواد آلی به نیتروژن متصل شده و آبیاری مداوم ممکن است موجب از دست رفتن به دلیل دنیتریفیکاسیون گردد.
	مقدار آن در فاضلاب یا آب بازیافتی مورد استفاده بیشتر از مقدار معمول مشاهده شده در فاضلاب ها است.	
شوری (متغیر، بسته به ترکیب آب مورد مصرف و نوع تخلیه)	فاضلاب یا آب بازیافتی با: کل جامدات محلول ۲۵۰ تا ۸۵۰ میلی‌گرم در لیتر، هدایت الکتریکی کمتر از ۳ دسی زیمنس بر متر، نسبت جذب سدیم ۵ تا ۹ و سدیم کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر.	در کوتاه مدت اثراتی مشاهده نگردید. در طولانی مدت شور شدن خاک رخ داده سرعت آن بستگی به تواتر شستن آب و خصوصیات زهکش زمین دارد. از بین رفتن ساختار خاک و امکان انتقال آب و هوا و در نتیجه کاهش توانایی نگهداری گیاه. اثرات بستگی به هدایت الکتریکی و مقدار، تواتر شست شوی خاک و شرایط زهکش زمین دارد.
	فاضلاب یا آب بازیافتی با: کل جامدات محلول بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، هدایت الکتریکی بیشتر از ۳ دسی زیمنس بر متر، نسبت جذب سدیم بیشتر از ۸ و سدیم بیشتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر	

ادامه جدول ۶: اثر ترکیبات مختلف موجود در آب بازیافتی بر روی خاک (۸)

پارامتر	غلظت در آب آبیاری	خاک
بُور	فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با مقدار بور ۰/۷ تا ۳ میلی گرم در لیتر فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با مقدار بور بیشتر از ۳ میلی گرم در لیتر فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با مقدار بور ۳۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در لیتر	اثری گزارش نشده است. اثری گزارش نشده است. ممکن است باعث شورشدن خاک گردد و بستگی به عوامل دیگر از جمله تواتر شستن خاک و شرایط زهکش زمین نیز دارد.
قلیاییت	فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با قلیاییت ۵۰ تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با قلیاییت بالاتر از ۵۰۰ میلی گرم در لیتر	اثری گزارش نشده است غلظت های بیشتر از شرایط تعادلی در خاک، کلسیم را رسوب داده و بر ساختار خاک اثر دارد.
فلزات	فاضلاب شهری یا پساب صنعتی که غلظت فلزات در آنها زیاد نباشد. آلومینیوم و آهن	با گذشت زمان غلظت فلزات در لایه های اولیه خاک افزایش می یابد. بسته به میزان مواد آلی و زمان آبیاری فلزات ممکن است به ذرات خاک متصل شده و یا درون خاک حرکت کنند. کاهش انتقال و حرکت فسفات در خاک.
مواد آلی سمی		طولانی مدت: برخی از این ترکیبات ممکن است در خاک تحت تجزیه زیستی قرار گیرند. برخی ترکیبات مانند آفت‌کش ها حاوی فلز بوده و باعث تجمع در خاک می شوند.
جامدات معلق	فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با مقدار جامدات معلق ۱۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر	کلوخه شدن خاک، بسته به غلظت مواد جامد، ترکیب آنها و خلل و فرج خاک، جامدات معدنی بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایجاد مشکل می کنند. در صورت کلوخه شدن خاک، نفوذ آب کاهش یافته و بازده آبیاری کاهش می یابد.
pH	فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با pH ۷ تا ۷/۴ فاضلاب شهری یا آب بازیافتی با pH خارج از محدوده ۶/۵ تا ۸/۵	اثری گزارش نشده است. در صورتی که pH خاک به اندازه کافی بالا نگه داشته نشود (بیشتر از ۶/۵) حل شدن فلزات رخ می دهد. هنگامی که pH زیر ۸/۵ نگه داشته شود، آلومینیوم به صورت محلول درآمده و موجب پراکنش خاک و از دست رفتن نیتروژن به دلیل فراریت می گردد.

۵-۱ اثر مفید آب های بازیافتی در بهسازی خاک

به منظور تعریف بهبود کیفیت خاک در نتیجه استفاده از فاضلاب خام و یا آب بازیافتی باید نحوه استفاده از خاک تعیین شود. مشخص شده که خاک دارای پنج کارکرد اکولوژیکی است:

- محیطی برای رشد گیاه (از جمله کشاورزی)
- یک منبع تنوع زیستی و زیستگاهی برای گیاهان (میکرو و ماکرو) و جانوران

- پذیرنده کربن[1]
- محیطی جهت ذخیره سازی، پالایش و تبدیل مواد مغذی، آلاینده ها و آب
- محیطی جهت محوطه سازی و عملیات مهندسی (۵)

عــلاوه بر تامین مســتمر مواد مغذی خاک، آبیاری با فاضلاب خام و یــا آب بازیافتی موجب بهبود قابل توجه کیفیت خاک می شود. تغییرات مطلوب گزارش شده در چنین خاک هایی عبارتند از:

الف) بهبود در ساختار فیزیکی خاک.
ب) افزایش فعالیت میکربی خاک.
ج) بهبود کارایی خاک به عنوان یک سیستم تصفیه فاضلاب.

۵-۱-۱ بهبود ساختار فیزیکی خاک

آرایش ذرات جامد، اندازه و شــکل آنها و اتصال منافذ و حفره ها در خاک را ساختار فیزیکی خاک می گویند. ســاختار خاک ارتباط نزدیکی با ظرفیت ذخیره و انتقال گاز و آب دارد (مواد محلول). تبــادل گاز بین خاک و جو تعیین کننده شــرایط هوازی، بدون اکســیژن یــا بی هوازی موجود در خاک است. این به نوبه خود متابولیسم میکرو ارگانیسم های خاک را تنظیم و بر فرایند های دیگر از جمله تثبیت نیتروژن، تبدیل مواد آلی خاک و تخریب آلاینده ها اثر دارد. علاوه بر این ســاختار فیزیکی خاک از طریق اثر بر توزیع ریشه، بر رشد گیاه و در نتیجه قابلیت جذب آب و مواد غذایی تاثیر می گذارد. بهبود ساختار فیزیکی خاک با افزایش ثبات خاکدانه ها و تخلخل خاک در ارتباط اســت. ارتقای ســاختار فیزیکی خاک موجب افزایش حاصلخیزی زراعی، افزایش نفوذ آب از طریق خاک به آبخوان و کاهش فرسایش پذیری می شود (۶).

بر طبق نظریه سلســله مراتبی[2] اندازه ذرات، خاکدانه ســازی[3]، تشکیل خاکدانه کوچک (اندازه ذره کمتر از ۲۵۰ میکرومتر) در خاک از طریق اتصال مواد آلی به برخی اجزای معدنی تشــکیل دهنده خاک (به عنوان مثال رس و هیدروکسید ها) بوده که به نوبه خود این خاکدانه های کوچک به هم پیوسته و خاکدانه های بزرگ (اندازه ذرات بالا ۲۵۰ میکرومتر) را تشکیل می دهند.

1. Carbon Sink
2. The Hierarchical Theory
3.Aggregation

از طـرف دیگـر خاکدانه هـای بزرگ می توانند در اطراف ذرات آلی تشـکیل شـوند. حال آن که ترشـحات تولید شده توسـط میکروارگانیسم های خاک به عنوان عواملی که موجب چسبیدن این ذرات به هم می شوند موجب با ثبات تر شدن خاکدانه های کوچک و بزرگ می گردند. با استفاده از ترشحات پلی ساکاریدی باکتریایی، کلنی های باکتریایی به ذرات رس متصل شده و از این طریق نیز خاکدانه های ریز تشـکیل می شـوند. ذرات رس به عنوان پوسته محافظ باکتری ها عمل کرده و شـکل گیری خاکدانه های بزرگ همانطور که در بالا توصیف شـده اسـت ادامه می یابد. از آنجا که تشـکیل خاکدانه ها مربوط به حضور ماده آلی و در برخی موارد میکروارگانیسـم ها می باشد، انتظار می رود که تامین مستمر این دو از طریق فاضلاب و یا آب بازیافتی باعث افزایش تشکیل و ثبات خاکدانه ها و در نتیجه بهبود ساختار فیزیکی خاک شود. به عنوان مثال، مطالعات نشان داد کـه افزایـش فعالیت میکربی خاک به علت افزایش کربن آلی در نتیجه اسـتفاده از فاضلاب یا آب بازیافتی اثرات مثبت بر ثبات خاکدانه ها دارد. علاوه بر این، به غیر از مواد آلی و میکرو ارگانیسم ها موادی در آب بازیافتی وجود دارد که ممکن اسـت در شـکل گیری و ثبات خاکدانه ها تاثیر داشته باشـند. کاتیون های کلسـیم و منیزیم (که در آب بازیافتی فراوان هستند) تشکیل ریز خاکدانه ها را از طریق پل زدن کاتیونی بین خاک رس و مواد آلی که منجر به خاکدانه سـازی می شـوند، را افزایش می دهد.

در خاک های مناطق خشـک و خـاک های دارای مواد آلی کم، کربنات های نامحلول کلسـیم و منیزیم می تواند موجب تشـکیل ریز خاکدانه ها و درشـت خاکدانه ها شوند. علاوه بر این کلسیم می توانـد پراکندگی خاک رس را مهار کند و بنابراین هنگامی که غلظت سـدیم در خاک افزایش می یابد (خاکدانه ها متلاشـی می شـوند). مواد آلی محلول در فاضلاب یا آب بازیافتی می تواند با آهن و آلومینیوم موجود در خاک تشـکیل کمپلکس داده و ترکیبات آلی فلزی متحرکی[1] تشـکیل دهند. این ترکیبات بعدا می توانند رسوب کرده و به عنوان هسته برای شکل گیری ریز خاکدانه ها عمل کنند. مواد آلی ذره ای (یعنی مواد جامد معلق آب بازیافتی) ممکن است اتصال ریز خاکدانه ها به هم و در نهایت تشـکیل درشـت خاکدانه ها را افزایش دهند. به عنوان مثال، پلی ساکارید های خارج سـلولی میکروارگانیسـم ها در سـطح مواد جامد معلق می توانند به عنوان عوامل اتصال در شـکل گیری درشـت خاکدانه ها عمل کنند. در مورد فسفر، تشـکیل آلومینیوم فسفات و کلسیم فسفات نامحلول در خاک می تواند موجب تشکیل ریز خاکدانه ها شده و علاوه بر آن ممکن است

1. Mobile Organometallic

به عنوان یک عامل اتصال در درشت خاکدانه ها عمل کنند. ورود مواد شیمیایی خاص به خاک از طریــق فاضلاب یا آب بازیافتی ثبات خاکدانه ها را افزایــش می دهد. به عنوان مثال، مواد آبگریز[1] (مثل مواد فعال سطحی[2]، چربی ها و هیدروکربن ها) قابلیت تر شوندگی خاکدانه ها را کاهش می دهند این مواد با دفع آب، که به نوبه خود منجر به افزایش انسجام و نرخ کم تجزیه خاکدانه ها می شــود این عمل را انجام می دهند. فعالیت های کشــاورزی در خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی نیز ممکن اســت به بهبود ساختار فیزیکی خاک کمک کند. مطالعات قبلی نشان داده اند که برخی از محصولات زراعی (به عنوان مثال ذرت، یونجه و گیاهان وابسته به خانواده حبوبات) اثرات مفیدی بر حفظ ساختار فیزیکی خاک دارند (۷).

کاشــت محصولات با تراکم بالا و طول بلند ریشه موجب افزایش تجمع ذرات خاک می شود. دلیل این تجمع این اســت که مواد شــیمیایی منتشر شده توسط ریشــه (یعنی مواد لعاب دار گیاهی[3]) ثبات خاکدانه ها در ریزوســفر را مســتحکم تر و کاهش میزان تر شوندگی[4] را افزایش می دهند. با توجه به مطالعه انجام شــده، ریشه گیاهان وابسته به خانواده حبوبات تجمع ذرات خاک را افزایش می دهد. باقی مانده (برگ و ساقه) ذرت نیز در مقایسه با سایر محصولات زراعی تجمع ذرات خاک را افزایش می دهد. این تجمع مربوط به ترشــح ترکیبات فنلی از بافت های گیاهی است. فنل بهم چسبیدگی[5] ذرات را تسهیل و از تر شوندگی جلوگیری می کند. فاضلاب شهری و آب بازیافتی نیز ممکن است منبع ترکیبات فنلی به خاک از طریق آبیاری بوده اثرات مشابه با ضایعات ذرت ایجاد کند. ثبات خاکدانه ها در کشــت مداوم یونجه، بالا اســت در حالی که در ســویا برعکس است. این موضوع مربوط به غلظت کم فنل در محصول دوم است.

برخی از مطالعات حاکی از تغییرات در ســاختار فیزیکی خاک های کشــاورزی در اثر آبیاری بلند مدت با فاضلاب یا آب بازیافتی اســت. نتایج این مطالعات نشــان دهنده کاهش تخلخل خاک در اثر انســداد منافذ توســط مواد جامد معلق موجود در فاضلاب یا آب بازیافتی و یا به دلیل افزایش میکرب ها (شعاع کمتر از ۰٫۰۱ میکرومتر) در ماتریکس خاک است (۷).

بســته به روش کاربرد آب در طول آبیاری، ممکن اســت تراکم خاک پــس از آبیاری افزایش یابد. خاک آبیاری شده به روش غرقابی تراکم بالایی را نشان می دهد در حالی که در خاک آبیاری شده

1. Hydrophobic Substances
2. Surfactants
3. Mucilage
4. Wetting rate
5. Agglutination

توسط روش پاششی ممکن است فرسایش مشاهده گردد. در هر دو مورد، در خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی جمعیت زیادی از کرم های خاکی مشاهده می شود که ممکن است به شکل گیری و اتصال منافذ در ماتریس خاک کمک کنند (۷).

بدون شک آب بازیافتی دارای عواملی است که ساختار فیزیکی خاک را بهبود می دهد. با این حال، مطالعات انجام شده تاکنون نشان دهنده نتایج متضاد (افزایش ریز حفره های خاک و یا فشردگی خاک) است. از این رو لازم است مطالعاتی با هدف اندازه گیری تغییرات در ساختار فیزیکی خاک در طی چندین چرخه آبیاری و برای دوره های طولانی تر (ماه و یا سال) انجام گیرد (۷).

۵-۱-۲ افزایش فعالیت میکربی خاک

با توجه به استفاده بیش از حد از کربن آلی و یا به دلیل ورود میکرو ارگانیسم ها از طریق آب بازیافتی، فعالیت میکربی در خاک آبیاری شده با آب بازیافتی بیشتر از خاک های آبیاری شده دیگر است. افزایش فعالیت میکربی خاک مزایایی برای بخش کشاورزی و همچنین توسعه جمعیت گیاهی و جانوری در اکوسیستم خاک دارد. با توجه به مطالعات انجام شده، نسبت کربن به نیتروژن در خاک هایی که برای مدت طولانی با آب بازیافتی آبیاری شده تا ۴۵ درصد کاهش نشان می دهد که دلالت بر بهبود شرایط تغذیه ای برای میکروارگانیسم های خاک دارد. گزارش شده که جمعیت باکتری های کوپیوتروف و اولیگوتروف (به ترتیب ۲۳۴ و ۲۱۷ درصد) و همچنین جمعیت اکتینومیست ها (۲۳۴ درصد) و قارچ ها (۲۰۶ درصد) در خاک هایی که برای مدت ۱۰۰ سال با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری شده در مقایسه با جمعیت های موجود در خاک هایی که با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری نشده اند، افزایش داشته است (۷).

افزایش فعالیت متابولیک خاک (که به صورت تولید آدنوزین تری فسفات (ATP) و فعالیت آنزیمی اندازه‌گیری می شود) نیز گزارش شده است. با مطالعات انجام شده، ۲۰ سال پس از توقف آبیاری با فاضلاب یا آب بازیافتی فعالیت آنزیمی خاک بدون تغییر باقی مانده است. در مقابل، مطالعات دیگر نشان می دهد که فعالیت میکربی بالا در خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی چند روز پس از عدم آبیاری کاهش می یابد. با توجه به افزایش جمعیت باکتری ها، اکتینومیست ها و قارچ ها در خاک آبیاری شده با فاضلاب آب بازیافتی، افزایش فعالیت در منطقه ریشه گیاه مشاهده شده که در نتیجه موجب موارد زیر می گردد:

الف) افزایش رشد و توسعه گیاهان.
ب) نرخ بالای تثبیت مواد آلی وارده به خاک از طریق فاضلاب یا آب بازیافتی.
ج) بازده بالاتر در تصفیه فاضلاب و تجزیه آلاینده های تثبیت شده در خاک در مقایسه با خاک های آبیاری نشده با فاضلاب.
د) بهبود شکل گیری و تثبیت خاکدانه ها که ممکن است به دلیل نقش پلی ساکارید های تراوش شده توسط باکتری ها باشد.

تبدیل کربن و نیتروژن توسط میکروارگانیسم های خاک موجب تکثیر جانوران خاک (ریز و درشت)[1] شده که این موجودات برای تشکیل خاک و رشد و نمو گیاهان ضروری هستند. با توجه به مطالعه صورت گرفته استفاده ۲۰ ساله از آب بازیافتی برای آبیاری خاک های کشاورزی منجر به بهبود بازده متابولیک میکرو فلورای خاک در تبدیل مواد کربن دار و فسفردار به مواد مغذی می گردد که به آسانی در دسترس گیاهان و جانداران درشت[2] خاک است (۷).
ثابت شده که زیست توده[3] خاک قادر به جذب نسبت معینی از فلزات سنگین موجود در آب بازیافتی است. به عنوان مثال در مطالعه ای مشخص شد که نرخ جذب زیستی کادمیوم و نیکل در خاکی که با فاضلاب یا آب بازیافتی برای دو دهه آبیاری شده بود در محدوده ۵ تا ۵۵ میلی‌گرم در گرم در زیست توده این خاک بود. انتروباکتریاسه و سودوموناس[4] باکتری های غالب در این خاک پس از آبیاری بودند (۷).
مطالعه کمی در مورد اثر آبیاری با فاضلاب یا آب بازیافتی در موجودات تثبیت کننده نیتروژن خاک انجام شده است. افزایش فعالیت نیترات سازی خاک همراه با نرخ پایین نیترات زدایی در خاک های جنگلی آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی مشاهده شده است. در حالی که مطالعات نشان داده اند که حداکثر تولید نیتروس اکساید (N_2O) در یک خاک آبیاری شده با آب بازیافتی مشاهده و پس از آن تولید گاز به سرعت کاهش یافته است. تاکنون بررسی کمی در مورد فرایند های متابولیکی انجام شده توسط گونه های مختلف میکربی در خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی انجام شده است. با این حال در هنگام برنامه ریزی سیستم های کشاورزی بر اساس

1. Soil (micro and macro) Fauna
2. Macrofauna
3. Biomass
4. Enterobacteriaceae and Pseudomonas

اســتفاده مجدد از فاضلاب یا آب بازیافتی، توجه به نقش مهمی که میکروارگانیســم های خاک در توســعه خاک و گیاهان و همچنین در تصفیه فاضلاب دارند دارای اهمیت اســت. حتی زمانی که جمعیــت میکربــی خاک نوعی انعطاف پذیری در مقابل طیف گســترده ای از آلودگی ها را نشــان می دهد، برخی از مواد شیمیایی دیگر می تواند نه تنها باعث اثرات سمی در میکرو ارگانیسم های خاک گردند بلکه موجب گسترش ارگانیسم های بیماریزا و بروز مقاومت آنتی بیوتیکی در خاک های کشاورزی شوند (۷).

۳-۱-۵ بهبود عملکرد خاک به عنوان یک سیستم تصفیه فاضلاب

کاربرد و نفوذ فاضلاب یا آب بازیافتی در خاک باعث تصفیه آن می شــود. در عمل، سیســتم های خــاص تصفیــه فاضلاب بر مبنــای نفوذ در خاک قادر به بهبود کیفیت آب مشــابه سیســتم های پیشــرفته تصفیه می باشند. تصفیه فاضلاب یکی از وظایف اکولوژیکی خاک است که از طریق این مکانیســم، خاک حداقل تا حدی کیفیت آب های ســطحی و زیر زمینی را حفظ می کند. میزان بازده این سیستم های طبیعی بسیار متغیر بوده و بستگی به شرایط محلی و نوع آلاینده دارد (۷). جدول ۷ نشــان دهنده میزان حذف آلاینده های موجود در فاضلاب از طریق نفوذ در خاک اســت. کاربرد فاضلاب یا آب بازیافتی در خاک مقدار باکتری های بیماریزا را ۶ تا ۷ واحد لگاریتم، کرم ها و دیگر تک یاخته ها را ۱۰۰ درصد کاهش می دهد. کل کربن آلی را می توان تا ۹۰ درصد کاهش داده در حالی که مقدار ترکیبات مقاوم[1] در فاضلاب نیز به طور چشمگیری (فسفر ۲۰ تا ۹۰ درصد، نیتروژن ۲۰ تا ۷۰ درصد و فلزات ۷۰ تا ۹۵ درصد) کاهش می یابد (۷).

در فاضلاب یا آب بازیافتی، فســفر آلی (۵ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) به طور بیولوژیکی به فســفات تبدیل می شــود. پس از آن، در خاک های قلیایی و یا آهکی، فســفات با کلسیم رسوب و به شکل کلســیم فســفات در می آید که در دسترس گیاهان است. در مقابل، در خاک های اسیدی فسفات با آهن و اکسید های آلومینیوم واکنش یافته و به شکل ترکیبات نامحلول در می آید که غیر قابل دســترس گیاهان می باشــد. گاهی اوقات فســفات محلول در ابتدا با جذب بر روی ذرات خاک بی حرکت و سپس به آرامی به فرم نامحلول بازمی گردد که موجب جذب بیشتر فسفات های متحرک[2] می شود. به طور کلی این فرایند را توقف فسفات[3] می گویند (۷).

1. Recalcitrant Compounds
2. Mobile Phosphate
3. Phosphate Aging

جدول ۷: فرایند هایی از خاک که باعث بهبود کیفیت آب بازیافتی می گردند (نسبت به پارامتر های انتخابی) (۷)

متغیر	تاثیر
مواد آلی	مواد قابل تجزیه زیستی بیش از ۹۰ درصد کاهش می یابد، در حالی که موادی که قابلیت کمتری جهت تجزیه زیستی دارند، جذب و بعدا به صورت زیستی تجزیه و یا به ماده فرار تبدیل می شود.
نیتروژن	از طریق تغییر شکل در خاک و همچنین جذب توسط میکرو ارگانیسم ها و گیاهان خاک، میزان حذف نیتروژن از آب بازیافتی مشابه سیستم های تصفیه پیشرفته است.
فسفر	در نتیجه جذب توسط گیاهان مقدار فسفر می تواند به کمتر از یک میلی گرم در لیتر کاهش یابد.
میکروارگانیسم ها	حذف تخم انگل ها و تک یاخته ها به راحتی توسط فیلتر شدن در سطح خاک انجام می شود. باکتری ها و ویروس می توانند بر روی ذرات خاک جذب شده و پس از آن در نتیجه از دست دادن رطوبت و یا توسط میکرو ارگانیسم های بومی خاک حذف شوند. بازده این فرآیند ها بستگی به بافت، ساختار فیزیکی و مقدار مواد آلی خاک دارد.
فلزات سنگین	فلزات سنگین از طریق تشکیل کمپلکس با ماده آلی خاک، رسوب یا متیلاسیون با بازده ۷۰ تا ۹۵ درصدی می توانند حذف شوند.
ترکیبات آلی سمی	بسیاری از آنها در خاک باقی مانده و پس از آن با سرعت های مختلفی به صورت زیستی تجزیه می شوند.

اغلب ترکیبات آلی (طبیعی و مصنوعی) موجود در فاضلاب یا آب بازیافتی به سرعت در خاک به ترکیبات آلی پایدار و در برخی موارد غیر سمی (به عنوان مثال اسید هومیک و فولویک) تبدیل می شوند. در واقع، مقدار و انواع بیشتری از آلاینده های آلی در خاک در مقایسه با جریان های آب تجزیه زیستی می شوند. کاربرد فاضلاب یا آب بازیافتی در خاک تحت شرایط کنترل شده (به عنوان مثال نرخ آبیاری محدود و آبیاری متناوب) موجب تجزیه بیولوژیکی صد ها کیلوگرم مواد کربن دار در هر هکتار در هر روز، بدون این که تاثیری بر محیط زیست داشته باشد، می‌شود (۷). در لایه سطحی خاک، فلزات از طریق کمپلکس با مواد آلی و یا رسوب در pH بالا انباشته می شوند. تنها بخش کوچکی از فلزات به لایه های پایین تر خاک وارد شده و حتی مقدار کمتری از آنها می تواند توسط محصولات کشاورزی جذب شوند. به عنوان مثال، حدود ۸۰ تا ۹۴ درصد کادمیوم، مس، نیکل و روی در ۵ تا ۱۵سانتی متری اولین لایه خاک می تواند حذف گردیده و ۵ تا ۱۵ درصد به لایه های پایین تر نفوذ و فقط ۱ تا ۸ درصد از آنها می توانند توسط گیاه جذب شوند (۷).

در مورد فلوئور نیز فرآیند مشابهی رخ می دهد. در سیستم های تصفیه طبیعی مانند تالاب ها از این فرایند برای تصفیه فاضلاب استفاده می شود. با این حال برخی از محصولات خوراکی قادر هستند تا فلزات سنگین را تا حد بیشتری از چمن ها جذب کنند (۷).

قابلیت خاک به عنوان یک فیلتر و محیطی برای تبدیل آلاینده های فاضلاب یا آب بازیافتی را

می توان درخاک هایی مشـاهده کرد که به تازگی با این موارد آبیاری شـده و یا مدت زمان زیادی است که آبیاری می شوند. بهره برداری از این سیستم های تصفیه طبیعی کاملا با خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مرتبط بوده و در نتیجه تغییرات در خصوصیات خاک به دلیل آبیاری با فاضلاب یا آب بازیافتی ممکن است منجر به بهبود و یا بدتر شدن عملکرد این سیستم طبیعی تصفیه فاضلاب گـردد. افزایـش مقدار مواد آلی خاک عامل اصلی در بهبود فراینـد حذف آلاینده های بیولوژیکی، آلـی و معدنـی در حین عبور آنها از خاک اسـت زیرا مواد آلی خاک عامل تثبیـت[1] آلاینده ها از طریق جذب و یا تشـکیل کمپلکس می باشـند در حالی که در همان زمان موجب تشـدید تکثیر میکروارگانیسم های تجزیه کننده نیز می شوند (۷).

فلزات سنگین از طریق کمپلکس با مواد آلی به طور منظم در لایه های بالایی خاک باقی مانده در نتیجه غنی سازی مواد آلی در خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی منجر به نگهداری بیشـتر این فلزات توسـط ماتریکس جامد می شود. تجزیه زیستی فلزات سنگین امکان پذیر نبوده اما آنها ممکن اسـت توسط میکرو ارگانیسـم های خاک تغییر نمایند. متیلاسیون زیستی فلزات و شـبه فلزاتی مانند سـلنیوم، آرسنیک و جیوه در خاک های آبیاری شـده با فاضلاب گزارش شده اسـت. انتظار می رود در خاک های آبیاری شـده با فاضلاب که در آنها زیست توده میکربی بیشتر از دیگرخـاک ها می باشـد، ایـن فرایند اتفاق افتد. متیلاسـیون فلزات سـنگین منجر به کاهش سـمیت و یـا حذف فلـزات از خاک از طریق افزایش فراریت[2] می شـود. در خـاک هایی که برای مدت طولانی با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری شـده فرایند دیگری مشـاهده می شود که پتانسیل میکروارگانیسـم های خاک در افزایش مقاومت به اثرات مضر ناشـی از حضور فلزات سـنگین در ماتریکس جامد است (۷).

چنین مقاومتی شـبیه مقاومت در برابر آنتی بیوتیک ها اسـت و برای کادمیوم، کروم، روی و نیکل در خاک هایی که به مدت طولانی با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری شـده اند گزارش شـده است. افزایش متیلاسیون فلزات سنگین در خاک موجب زنده ماندن و ادامه زندگی میکروارگانیسم های خاک با آن دسـته از عوامل متابولیکی می شـود که موجب افزایش بهره وری کشـاورزی و تصفیه فاضلاب می شوند (۷).

افزایـش مـاده آلی خاک در اکثر مـوارد موجب افزایش جذب مواد حل شـده بر روی ذرات خاک می شـود. مطالعات نشـان دهنده این بود که جذب آلاینده های آلی (به عنوان مثال آفت کش ها،

1. Immobilization
2. Volatilization

مواد دارویی و هورمون استروژن) در خاکی که برای مدت طولانی با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری شـده در مقایسـه با خاکی از همان منطقه کشـاورزی که با آب باران آبیاری شـده، بیشتر است. ترکیبـات آلـی که خاصیت آب گریزی بالایی دارند در مقایسـه با ترکیبات نیمه قطبی و قطبی نه تنها توسط خاک سریع تر و به میزان بیشتر بلکه با قدرت بیشتری جذب می شوند (۷).

افزایش خاصیت آبگریزی خاک به دلیل کاربرد فاضلاب یا آب بازیافتی، ظرفیت چنین خاک هایی جهـت نگهداری آلاینده های آلی غیر قطبی در ماتریکس جامد را افزایش می دهد. افزایش جذب آلاینـده های آلی توسـط خاک موجب نگهـداری طولانی مدت آنها در ماتریس جامد شـده و به فرآیند های تجزیه زیسـتی کمک می کند. مشـابه نتایج گزارش شـده برای جذب، میزان بالاتری از تجزیـه بیولوژیکی آلاینده های آلی در خاک های آبیاری شـده بـا فاضلاب خام یا آب بازیافتی در مقایسـه با آنهایی که با فاضلاب آبیاری نشـده بودند نیز مشـاهده گردید که ممکن اسـت به دلیـل افزایش مـداوم مواد آلی به خـاک از طریق فاضلاب یـا آب بازیافتی (که می‌تواند توسـط میکروارگانیسـم های خاک به عنوان کمک سوبسـترا در تجزیه بیولوژیکی آلاینده های آلی مورد نظر، استفاده شود) و یا مواجهه طولانی مدت موجودات خاک با آلاینده ها باشد (۷).

مواجهه طولانی مدت موجب سـازگاری موجودات تجزیه کننده به آلاینده های آلی ورودی خاک و به دنبال آن کسـب توانایی برای اسـتفاده از آلاینده های آلی به عنوان یک منبع کربن می شود. در نتیجه آبیاری با فاضلاب یا آب بازیافتی ماده آلی خاک افزایش می یابد که نه تنها دارای تاثیر مثبتی بر جذب ترکیبات آلی بوده بلکه پاتوژن های منتقله توسط فاضلاب را به وسیله خاک نگه می دارد. نگهداری این پاتوژن ها به دلیل میل بالای غشاء سلول به مواد آلی خاک است. نتایج مطالعات نشان می دهد که جذب باکتری روده ای اشریشیاکلی و تک یاخته روده ای ژیاردیا لامبلیا در خاک هایی که در دراز مدت با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری شـده اند در مقایسـه با خاک های همان منطقه کشاورزی که در بلند مدت با آب های زیر زمینی آبیاری شده اند بیشتر بوده است (۷).

بـه طور کلی، افزایش pH در خاک های کشـاورزی آبیاری شـده با فاضلاب خـام یا آب بازیافتی مشـاهده شده است. اگر چه در مواردی نیز pH خاک پس از استفاده از آب بازیافتی کاهش یافته اسـت. اولین ویژگی مربوط به افزایش مستمر مداوم نمک ها (کربنات، کلسیم، منیزیم، سدیم) در فاضلاب اسـت. مورد دوم توسـط سرعت بالای معدنی شدن مواد آلی در خاک آبیاری شده توضیح داده می شـود که به نوع خاک، شـرایط آب و هوایی محل و کیفیت آب بازیافتی، بسـیار وابسـته اسـت. افزایش pH خاک، همراه با تامین مداوم ماده آلی منجر به خاصیت بافری pH خاک شـده

که مانع از کاهش pH خاک در طی باران (از جمله باران اسیدی) می شود. تثبیت pH خاک به نگهداری فلزات سنگین در لایه های سطحی خاک نیز کمک می کند، این کار با تشکیل نمک نامحلول بازی انجام می شود. علاوه بر این، pH بازی خاک می تواند جذب آلاینده های آلی خنثی و بازی را تسهیل کند چون این ترکیبات تمایل بیشتری برای جذب بر روی خاک های خنثی و بازی دارند (۷).

از آنجا که آبیاری با فاضلاب یا آب بازیافتی ساختار فیزیکی خاک را بهبود می بخشد (یعنی افزایش تشکیل و پایداری بیشتر خاکدانه ها)، شرایط هوازی که ممکن است در ماتریکس خاک ایجاد شود به نوبه خود باعث افزایش میزان تجزیه زیستی هوازی آلاینده های آلی می شود. علاوه بر این در چنین خاک هایی به دلیل افزایش مساحت سطح ویژه ذرات خاک، جذب آلاینده ها افزایش می یابد. علاوه بر این، هر چه که مدت زمان بیشتری آلاینده ها در دسترس میکروارگانیسم ها باشند تجزیه زیستی بیشتری را می توان انتظار داشت. در خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی که در آن امکان انسداد منافذ توسط جامدات معلق وجود دارد ممکن است شرایط آنوکسیک[1] حاصل شود. در چنین شرایطی، انواع فلزات سنگین سمی به روش های شیمیایی به انواع غیر سمی احیا شده (به عنوان مثال کروم ۶ به کروم ۳ و ارسنیک ۵ به ارسنیک ۳)، که بعدا با تشکیل هیدروکسید های نامحلول تثبیت می شوند. این که تا چه حد آبیاری با فاضلاب یا آب بازیافتی سهمی در نقش خاک به عنوان فیلتر و محیطی برای تجزیه آلاینده ها دارد هنوز کاملا مطالعه نشده و در ابتدای بررسی است (۷).

از پتانسیل خاک به عنوان یک سیستم کارآمد تصفیه فاضلاب می توان برای متقاعد کردن سیاستگذاران در مورد آبیاری محصولات کشاورزی با فاضلاب تصفیه شده یا آب بازیافتی استفاده کرد. این می تواند یک استراتژی مناسب باشد که بدون تاثیر منفی بر کیفیت منابع آب اطراف محل‌های آبیاری، به طور همزمان مشکلات مربوط به تنش آب[2] و بهره وری کم کشاورزی را حل کند. البته این امر منوط به رعایت همه اقدامات احتیاطی برای جلوگیری از آلودگی در محل می باشد (۷).

۵-۲ اثرات منفی استفاده مجدد از فاضلاب یا آب بازیافتی

مشکلات اصلی در استفاده مجدد از فاضلاب خام یا آب بازیافتی در کشاورزی آلودگی خاک، آلودگی محصولات کشاورزی و منابع آب و ریسک موجود در اثرات مضری آن بر موجودات در

1. Anoxic
2. Water Stress

معرض اســت. حتی زمانی که خاک به عنوان یک فیلتر زنده کارآمد جهت حذف، غیر فعال سازی و تبدیل آلاینده های موجود در فاضلاب یا آب بازیافتی عمل می کند، نیز به طور کامل در از بین بردن برخی از آلاینده ها موثر نیســت. علاوه بر این در نتیجه توســعه صنعتی، خاک آبیاری شده با این موارد به طور مداوم مواد ســاخته شده جدیدی دریافت می کند که ممکن است بر نقش خاک به عنوان یک سیســتم تصفیه تاثیر منفی داشته و این کار را با تاثیر بر میکروارگانیسم های تجزیه کننده، از بین بردن ســاختار فیزیکی خاک و یا آســیب رساندن به چرخه های طبیعی خاک انجام می دهد (۷).

آلاینده هایی که از طریق فاضلاب یا آب بازیافتی وارد خاک می شــوند ممکن است در کشور های در حال توســعه و توســعه یافته متفاوت باشــد. عوامل بیماریز ای میکربی نمونه هایی از این مورد می باشــند. در کشــور های توســعه یافته در اغلب موارد فاضلاب ها قبل از استفاده مجدد تصفیه می شوند و در نتیجه در آب آبیاری عامل بیماریزا وجود ندارد در حالی که در کشور های در حال توسعه در اغلب موارد از فاضلاب خام استفاده می شود. در مناطق مختلف عوامل بیماریزا متفاوت اســت. به عنوان مثال تک یاخته روده ای ژیاردیا معمولا در فاضلاب یا آب بازیافتی کشــور های در حال توسعه (کشور های آمریکای لاتین و آفریقا)، در حالی که تک یاخته انگلی کریپتوسپوریدیوم در کشور های توسعه یافته (ایالات متحده و اروپای غربی) وجود دارد.

همانند میکروارگانیسم ها برخی از آلاینده های آلی را می توان در آب بازیافتی و فاضلاب کشور های در حال توســعه یافت که در آب بازیافتی کشورهای توسعه یافته وجود ندارند. مانند برخی از علف کش ها (به عنوان مثال د.د.ت و آترازین) که استفاده از آنها در کشورهای توسعه یافته محدود شده اســت. از ســوی دیگر نانو مواد و آنتی بیوتیک های نسل جدید بیشــتر در فاضلاب یا آب بازیافتی کشور های توسعه یافته وجود دارند (۷).

۵-۲-۱ شور شدن

شــور شــدن[1]، عمده ترین مشــکلی اســت که کاربرد فاضلاب و آب های بازیافتی در خاک ایجاد می کند. در صورتی که شســت و شــوی خاک[2] به طور مناسب صورت نگرفته و زهکشی آن ناکافی باشــد این مشــکل حتی هنگام استفاده از آب های شــیرین نیز روی می دهد. به دلیل میزان زیاد نمک در فاضلاب و آب های بازیافتی اســتفاده از این نوع آب ها فرایند شــور شدن خاک را تسریع

1. Salinization
2. Soil Washing

می کند. شـور شـدن باعث فروپاشی[1] بافت خاک شـده، خلل و فرج آن را از بین برده و در نتیجه منجر به موارد زیر می گردد:

- افزایش زهکشی جانبی[2]
- تسهیل در فرسایش خاک[3]
- ایجاد محدودیت در اکسیژن گیری خاک
- ممانعت از گسترش ریشه
- کاهش یا توقف رشد گیاه

عمدتا در مناطق خشـک و نیمه خشـک که نمک تجمع یافته از نیم رخ[4] خاک در نتیجه نزولات طبیعی شسـته نشـده و مناطقی که از فاضلاب و آب های بازیافتی اسـتفاده می شود، اثر شوری[5] نگران کننده است. خطر شور شدن خاک را می توان از طریق ترکیب پارامتر ها اندازه گیری کرد. مشـکلات ناشـی از شوری بسته به نوع خاک و شرایط زهکشـی هنگامی روی می دهد که هدایت الکتریکی بیش از ۳ دسـی زیمنـس بر متر، جامدات محلول بیـش از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر (در صورتی که بیش از ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر باشـد این مشـکلات شـدید تر خواهد بود) و نسبت جذب سدیم بین ۳ تا ۹ باشد.

یکی دیگر از مشـکلات ناشـی از کاربرد آب های بازیافتی سدیمی شدن خاک (نوع خاصی از شور شدن) است که در نتیجه غلظت های بالای یون سدیم در مقایسه با یون های کلسیم و منیزیم رخ می دهد. فاضلاب و آب های بازیافتی تنها عوامل ایجاد کننده شوری خاک نبوده و عوامل دیگری مانند زهکشی نامناسب خاک و لایه های زیرین آن، شرایط آب و هوایی و نوع خاک نیز (حتی اگر از آب شیرین جهت آبیاری استفاده شود) می توانند تاثیر داشته باشند (۸).

کربنات ها و بی کربنات ها از دیگر ترکیباتی هسـتند که باعث از هم پاشـیدگی خاک[6] می گردند. بی کربنات ها در غلظت های ۹۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارای اثر زیادی نبوده اما در غلظت های

1. Collapse
2. Lateral Drainage
3. Soil Erode
4. Profile
5. Salinity
6. Deflocculation

بالای ۵۰۰ میلی گرم در لیتر این مشکل ممکن است شدیدتر گردد (۸).
تغییر کیفیت آب آبیاری از طریق ایجاد تعادل جدیدی می تواند بر خاک اثر داشته باشد. به عنوان مثال اگر آب دارای میزان مواد آلی کم جایگزین آبی با مواد آلی بالا گردد، اثرات زیر ممکن است مشاهده شود:
الف) شور شدن در نتیجه افزایش غلظت نمک در نزدیکی ریشه گیاه پس از کاهش رطوبت خاک.
ب) تحرک فلزات[1]، چون مواد آلی برای اتصال با آنها وجود ندارد.
لازم به ذکر است که هر چه اختلاف کیفی بین آب های مورد مصرف بیشتر باشد، اثرات آن بر روی خاک بیشتر خواهد بود.

۵-۲-۲ تجمع فلزات سنگین در خاک

خاک ظرفیت بالایی برای جذب فلزات سنگین دارد در نتیجه صد ها سال طول می کشد تا ظرفیت جذب خاکی که با فاضلاب و آب های بازیافتی آبیاری شده، اشباع گردد. فلزات در لایه های بالایی خاک باقیمانده، به بخش آلی آن چسبیده و یا در نتیجه pH خاک رسوب می نمایند. فقط بخش کوچکی از فلزات به لایه های عمیق تر خاک نفوذ کرده و در نتیجه بخش خیلی کمتری از آن توسط محصولات زراعی جذب می گردند. به عنوان مثال حدود ۸۰ تا ۹۴ درصد کادمیوم، مس، نیکل و روی در ۵ تا ۱۵ سانتی متری اولیه لایه خاک باقیمانده، ۵ تا ۱۵ درصد به لایه های پایین تر رفته و تنها ۱ تا ۸ درصد توسط گیاهان جذب می گردند (۸).

۵-۲-۳ آلودگی خاک توسط عوامل بیماریزای میکربی

آلودگی خاک و محصولات کشاورزی توسط عوامل بیماریزا در نتیجه استفاده از فاضلاب یا آب بازیافتی در کشاورزی موجب توجه زیاد متخصصین بهداشت محیط شده است. فاضلاب شهری حاوی تعداد زیادی از باکتری ها، تک یاخته ها و ویروس ها بوده که منشاء آن مدفوع انسانی و حیوانی و ادرار می باشد، بنابراین چنین آبی ناقل عفونت های روده ای است (هر چند بیماری های دیگری نیز می تواند از طریق فاضلاب در محیط زیست پراکنده شود) (۷).
مواجهه ممکن است مستقیم (از طریق تماس یا مصرف فاضلاب یا آب بازیافتی و خاک)، یا غیر مستقیم (از طریق تماس با افراد بیمار و یا مصرف محصولات، گوشت یا شیر آلوده باشد. چهار گروه

1. Metal Mobilization

در معرض خطر وجود دارد:

۱) کشاورزان و خانواده های آنها

۲) توزیع کنندگان محصول[1]

۳) مصرف کنندگان محصول

۴) مردم ساکن در نزدیک محل هایی که با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری می‌شود.

کودکان و افراد مسن آسیب پذیرترین اشخاص در هر یک از این گروه ها هستند، به ویژه هنگامی که دچار سوء تغذیه باشند. از آنجایی که کارگران کشاورزی مواجهه بیشتری با فاضلاب و خاک آلوده دارند، آسیب پذیر تریرین گروه می باشند. جدول ۸ نشان دهنده خطر آلودگی به بیماری های منتقله از راه آب برای گروه های آسیب پذیر در مناطق آبیاری شده با فاضلاب خام یا آب بازیافتی است (۷).

در مقابل، بخشی از مواد آلی موجود در آب بازیافتی مربوط به آلاینده های آلی (مانند هیدروکربن های پلی آروماتیک و بی فنیل های پلی کلرینه) و عوامل بیماری زا میکربی است. به دلیل وجود آلاینده های آلی، معدنی و میکربی در آب بازیافتی و به منظور جلوگیری از آلودگی خاک، محصولات کشاورزی و منابع آب مجاور و در نتیجه جلوگیری از انتشار بیماری منتقله از آب و یا تخریب خاک باید هنگام استفاده آب بازیافتی الزامات و استانداردهای مربوطه رعایت شود. قبل از آبیاری میزان تصفیه فاضلاب بستگی به محدودیت های محلی ایجاد شده و یا معیارهای بین المللی کیفیت آب ها برای آبیاری دارد. از تصفیه اولیه (انعقاد- لخته سازی همراه با ته نشینی و یا استخرهای تثبیت هوازی- بی هوازی) برای فاضلاب مورد استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی استفاده می شود که برای مصرف انسان در نظر گرفته نشده است (به عنوان مثال علوفه) در حالی که تصفیه ثانویه فاضلاب (تصفیه بیولوژیکی و پس از آن گندزدایی) برای آبیاری نامحدود محصولات توصیه می شود.

در کشورهای در حال توسعه، اغلب کل فاضلاب تولیدی در شهرها قبل از آبیاری محصولات کشاورزی تصفیه شده، در حالی که در کشورهای کم درآمد تصفیه فاضلاب یک اولویت نبوده، در نتیجه معمولا از فاضلاب خام، تا حدودی تصفیه شده و یا مخلوطی از فاضلاب تصفیه شده و خام در کشاورزی استفاده می گردد. به عنوان مثال در مکزیک، چین، هند و پاکستان، مناطق بزرگی

1.Crop Handlers

وجود دارد که در آن از فاضلاب تصفیه نشده در آبیاری محصولات کشاورزی برای سالیان متمادی استفاده شده است. سازمان بهداشت جهانی تخمین می زند که نزدیک به ۲۰ میلیون هکتار در سراسر جهان با استفاده از فاضلاب تصفیه نشده آبیاری می شوند. همچنین گزارش شده که در برخی از شهرها تا ۸۰ درصد از سبزیجات مصرفی محلی با استفاده از فاضلاب آبیاری می شوند. استفاده از فاضلاب در خاک، به ویژه فاضلاب تصفیه نشده و به دنبال آن نفوذ آن در خاک موجب آلودگی نه تنها خاک و محصولات کشاورزی شده بلکه منابع آب سطحی و زیر زمینی آن محل را نیز آلوده می سازد (۷).

علت اصلی نگرانی در مورد استفاده از آب بازیافتی، آلودگی خاک توسط عوامل بیماریزا است. با توجه این که انواع میکروارگانیسم ها از طریق این آب وارد خاک می شوند، خطر شیوع بیماری های روده ای برای کشاورزان و مصرف کنندگان وجود دارد. در این بخش در مورد آلودگی خاک های آبیاری شده با آب بازیافتی، توسط کرم ها (کرم روده) و باکتری های بیماریزای شایع در کشورهای در حال توسعه (که از فاضلاب خام به میزان بیشتری استفاده می شود) و همچنین خطر شیوع بیماری های انگلی برای کشاورزان و مصرف کنندگان در این مناطق کشاورزی بحث خواهد شد.

۵-۲-۳-۱ اثرات ناشی از آلودگی میکربی خاک

مطالعات نشان می‌دهد که چندین اپیدمی بیماری اسهال مربوط به استفاده از فاضلاب یا آب بازیافتی برای آبیاری بوده است. با این حال به دلیل کیفیت پایین شرایط بهداشتی و آب آشامیدنی در مکان هایی که شیوع رخ می دهد، در اغلب موارد تعیین سهم هرکدام دشوار است.

وبا (ناشی از باکتری ویبریو کلرا) عفونتی است که ارتباط نزدیکی با آبیاری با فاضلاب یا آب بازیافتی در کشورهای فقیر دارد. دیگر بیماری های روده ای مربوط به استفاده از فاضلاب یا آب بازیافتی برای آبیاری، اسهال مسافرتی ناشی از اشرشیاکلی، شیگلوز ناشی از گونه های شیگلا، زخم معده ناشی از هلیکو باکتر پیلوری، ژیاردیازیس ناشی از تک یاخته انگلی ژیاردیا اینتستینالیس و اسهال آمیبی ناشی از آنتاموبا هیستولیتیکا هستند. علاوه بر این، آماس روده[1] ویروسی (ناشی از روتا ویروس ها) و هپاتیت A عمده ترین عفونت های ویروسی ناشی از مصرف سبزیجات آلوده می‌باشند. در برخی از مطالعات بیماری های پوستی مانند درماتیت (اگزما) در کشاورزانی گزارش

1. Enteritis

شـــده که در تماس با فاضلاب تصفیه نشده و خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی بوده اند. در کشـــاورزان مشـــکلات ناخن مانند ناخن قاشقی[1] نیز گزارش شـــده که مربوط به حضور قارچ در خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی است (۷).

مشـــکلات بهداشـــتی و رشدی در گاو هایی مشـــاهده شده که علوفه تولید شـــده توسط آبیاری با فاضـــلاب یا آب بازیافتـــی مصرف کرده اند. علاوه بر این در مناطق کم درآمد که در آن آب کمیاب است، گاو ها نه تنها با علوفه ای تغذیه می کنند که با استفاده از فاضلاب یا آب بازیافتی رشد یافته، بلکـــه از همـــان آب ها نیز می خورند. برخی از تک یاخته ها می‌توانند در لایه های ســـطحی خاک و یـــا حتی در بخش های هوایی محصولات زنده بمانند. امکان آلودگی حیوانات بعد از خوردن این محصولات آلوده وجود دارد. شـــواهدی مبنی بر امکان انتقال کرم گوشت گاو (تنیا ساژیناتا) از دام تغذیه شـــده با علوفه آبیاری شـــده با فاضلاب در مصرف کنندگان گوشت وجود دارد. علاوه بر این شواهد قوی وجود دارد که نشان می دهد که گاو هایی که علوفه مزارع تازه آبیاری شده با فاضلاب خام و یا از فاضلاب خام اســـتفاده کرده اند، شـــدیدا به سیستی ســـرکوس بوویس (مرحله اولیه از چرخه زندگی تنیا ساژیناتا) آلوده شده اند (۷).

۵-۲-۴ عوامل میکربی در خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی

مطالعه آلودگی میکربی در نتیجه اســـتفاده از فاضلاب خام یا آب بازیافتی در آبیاری کشـــاورزی به جای تمرکز بر خاک دریافت کننده فاضلاب یا آب بازیافتی بیشتر در آلودگی محصولات بوده است. زیرا تعداد بیشتری از مردم از طریق مصرف محصولات آلوده، گوشت و شیر به میکروارگانیسم های بیماریزا آلوده می شوند تا از طریق تماس مستقیم با خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی، از طرف دیگر آنالیز میکروارگانیسم ها در خاک مشکل است.

مطالعات انجام شـــده در دره مزکویتال[2]، مکزیک مرکزی، نشان دهنده وجود شاخص های آلودگی مدفوعی (اشرشـــیاکلی)، کیســـت ژیاردیا لامبلیـــا و تخم انگل (آســـکاریس) در عمق های مختلف خاک هایی اســـت که در بلند مدت با فاضلاب آبیاری شـــده اند. نتایج نشـــان داده شده در شکل ۱ نشانگر تجمع سه میکروارگانیسم در چند سانتی متری سطح خاک بوده و نشان می دهد که عوامل عفونی در ابتدای نفوذ فاضلاب به خاک حذف می شوند. چنین میزان حذفی را می توان با چندین پدیده های فیزیکی و شیمیایی به دست آورد.

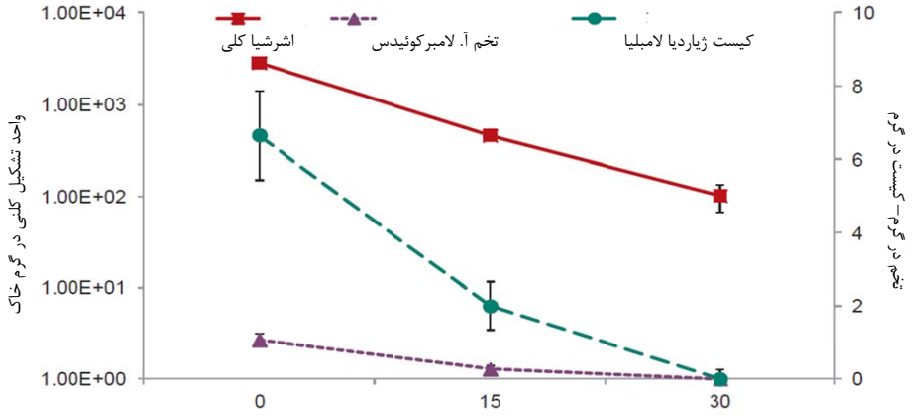
1. Koilonychias
2. Mezquital

جدول ۸: خلاصه ای از خطرات بهداشتی ناشی از استفاده از فاضلاب یا آب بازیافتی در کشاورزی (۷)

گروه در معرض	عفونت های کرمی	عفونت های باکتریایی/ ویروسی	عفونت تک یاخته ای
مصرف کنندگان	- در بزرگسالان و کودکان مصرف کننده سبزیجات آلوده به تخم انگل کرمی خطر قابل توجهی از آلودگی به آسکاریس وجود دارد.	- به دلیل مصرف محصولات آلوده، گزارش هایی در مورد شیوع وبا، تیفوئید و بیماری شیگلوز وجود دارد. - آزمایشات سرولوژیکی نشان دهنده آلودگی به هلیکو باکتر پیلوری در مصرف کنندگان محصول است. افزایش خطر ابتلا به اسهال غیر اختصاصی هنگامی که غلظت باکتری های گرماپای در فاضلاب مورد استفاده جهت آبیاری بیش از $۱۰^{۴}$ CFU/۱۰۰ mL باشند.	- شواهدی مبنی بر وجود تک یاخته های انگلی بر روی سطح سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی مشاهده شده، اما هیچ شواهد مستقیمی مبنی بر انتقال بیماری وجود ندارد.
کارگران مزرعه و خانواده های آنها	- خطرات قابل توجه آلودگی به آسکاریس برای بزرگسالان و کودکان در تماس با فاضلاب یا آب بازیافتی و خاک آبیاری شده. - به خصوص برای کودکان، هنگامی که فاضلاب یا آب بازیافتی مصرفی بیش از ۱ تخم نماتد در هر لیتر دارد. - افزایش خطر ابتلا به عفونت کرم قلابدار در کشاورزان.	- افزایش خطر ابتلا به بیماری های اسهالی برای کودکانی که در تماس با فاضلابی هستند که بیش از $۱۰^{۴}$ CFU/۱۰۰ mL کلی فرم گرماپای دارند. خطر فزاینده آلودگی به سالمونلا در کودکانی که در معرض فاضلاب تصفیه نشده و خاک آبیاری شده با آب بازیافتی هستند، وجود دارد. آزمایشات سرولوژیکی نشان دهنده آلودگی به نورو ویروس در بزرگسالانی است. که در معرض فاضلاب تا حدودی تصفیه شده و خاک آبیاری شده با آن می باشند.	- خطر قابل توجه ابتلا به ژیاردیا اینتستینالیس برای افرادی که تماس با فاضلاب خام یا آب بازیافتی و خاک هستند وجود دارد. خطر فزاینده ابتلا به آمیبیازیس در نتیجه تماس با فاضلاب تصفیه نشده و خاک آبیاری شده با آن وجود دارد.
جوامعی که در مجاورت محل های کاربرد آب بازیافتی زندگی می کنند.	- هنگامی که از روش های آبیاری غرقابی و جوی و پشته‌ای استفاده می شود خطر بالای آلودگی وجود دارد. برای روش آبیاری بارانی انتقال آسکاریس مورد مطالعه قرار نگرفته است.	- آبیاری بارانی با فاضلاب خام یا آب بازیافتی و مواجهه با مقدار زیاد آئروسل موجب افزایش نرخ آلودگی های باکتریایی به دلیل استفاده از فاضلاب تا حدودی تصفیه شده ($۱۰^{۴}$ -$۱۰^{۵}$ CFU/۱۰۰ mL) یا کمتر) می شود. خطر آلودگی ویروسی در آبیاری بارانی وجود ندارد.	- هیچگونه داده ای در مورد انتقال آلودگی تک یاخته ای در طی آبیاری با فاضلاب وجود ندارد.

در این مطالعه، میکرو ارگانیسم های بیماریز ای موجود در خاک در زمان های مختلف آبیاری نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تجمع میکروارگانیسم ها در خاک مورد آزمایش به زمان آبیاری مربوط نبوده و خاک دارای مکانیزم هایی برای غیر فعال کردن و یا نابود کردن این میکروارگانیسم ها پس از آبیاری است (۷).

همانطور که در بالا اشاره شد، بسته به منطقه ای که در آن استفاده مجدد در حال انجام است، انواع مختلف میکروارگانیسم ها را می‌توان در خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی مشاهده کرد.



شکل ۱: فراوانی سه میکروارگانیسم بیماری زا در در اعماق مختلف خاکی که به طور بلند مدت با فاضلاب یا آب بازیافتی، آبیاری شده (۷).

کریپتوسپوریدیوم تک یاخته ای است که معمولا در کشور های توسعه یافته پیدا می شود در حالی که گونه های مختلف ژیاردیا در کشور های در حال توسعه پراکنده است.

در این رابطه، مطالعه دیگر نشان دهنده وجود آسکاریس لامبرکوئیدس، کرم قلابدار و تریکوریس تریکورا در ۶۹ درصد از نمونه های خاک گرفته شده از منطقه آبیاری فاضلاب خام یا آب بازیافتی در بنگال غربی، هند است (۷).

۵-۲-۴-۱ آلودگی خاک به پاتوژن های مقاوم به آنتی بیوتیک

ورود پاتوژن های مقاوم در برابر آنتی بیوتیک[1] و ژن های مقاوم به آنتی بیوتیک[2] به خاک از طریق فاضلاب یا آب بازیافتی یک موضوع نوپدید است. از آنجا که فاضلاب شهری دارای مقادیر زیر درمانی[3] از آنتی بیوتیک ها، پاتوژن های مقاوم در برابر آنتی بیوتیک و ژن های مقاوم به آنتی بیوتیک بوده و در صورت ترکیب فاضلاب شهری و بیمارستانی این مقادیر افزایش خواهد یافت، بنابراین این مواد می توانند به خاک رسیده و جمعیت های میکربی خاک را تغییر دهند. مقاومت آنتی بیوتیکی ممکن است به طور طبیعی در خاک و به میزان بیشتری در ریزوسفر رخ دهد که به عنوان محلی برای باکتری های مقاوم به آنتی بیوتیک و ژن های مقاوم به آنتی بیوتیک است. مطالعات قبلی نشان دهنده حضور پاتوژن های فرصت طلب (استنوتروفوموناس مالتوفیلیای[4] مسئول عفونت دستگاه تنفسی و اندوکاردیت) در ریزوسفر گیاهان نوع براسیکاسه[5] بود. انتقال ژن های مقاوم به آنتی بیوتیک از این باکتری های فرصت طلب به پاتوژن های انسانی رسیده به خاک از طریق فاضلاب یا آب بازیافتی هنوز ثابت نشده است. پاتوژن های مقاوم در برابر آنتی بیوتیک وارد شده به خاک از طریق فاضلاب یا آب بازیافتی ممکن است در سطح خاک زنده بماند و اگر شرایط مناسب باشد تکثیر نموده و یا وارد منابع آب سطحی و زیر زمینی شوند. ژن های مقاوم به آنتی بیوتیک ممکن است از طریق نفوذ فاضلاب یا آب بازیافتی به سفره های آب زیر زمینی و یا توسط رواناب به منابع آب های سطحی وارد شوند. تاکنون ارتباطی قطعی بین حضور آنتی بیوتیک ها در فاضلاب یا آب بازیافتی و بروز مقاومت آنتی بیوتیکی در خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی مشخص نشده است (۷).

در مطالعات قبلی بروز دو ژن مقاوم به سولفونامید (sul 1 و sul 2) در فاضلاب یا آب بازیافتی مکزیکوسیتی، خاک های کشاورزی آبیاری شده با چنین آب هایی در دوره های مختلف زمانی و خاک های آبیاری شده با آب باران مشخص شد. محققین ژن های مقاوم به آنتی بیوتیک را در سه ماتریکس مشاهده و غلظت ژن های مقاوم در خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی ۱۵۰۰-۱۵۰ بار بیشتر از خاک هایی بود که آبیاری نشده بودند. حضور ژن های مقاوم به آنتی

1. Antibiotic–Resistant Pathogens (ARPs)
2. Antibiotic Resistance Genes (ARGs)
3. Subtherapeutic Amounts
4. Stenotrophomonas Maltophilia
5. Brassicacaea

بیوتیک همبستگی مثبتی با زمان آبیاری داشت به طوری که مقدار بیشتری از ژن مقاوم در باکتری انتروکوکی دیده شـد که در خاکی موجود بود که مدت زمان بیشـتری با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری شـده بود. چنین رفتاری ممکن اسـت نشـان دهنده این باشـد که آبیاری طولانی مدت با فاضلاب یا آب بازیافتی موجب تکثیر پاتوژن های مقاوم در برابر آنتی بیوتیک بومی خاک (به خاطر ورود دائمی مقدار زیادی از مواد مغذی از طریق فاضلاب یا آب بازیافتی) و افزایش جذب[1] ژن های مقاوم به دلیل مقدار بالاتر زیسـت توده در خاک هایی باشـند که قبلا بـا فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری شـده اند. در مقابل، برخی مطالعات انجام شـده نشـان داد که فراوانی سویه های مقاوم به تترا سـایکلین، سـیپرو فلوکساسین، سولفونامید ها و اریترومایسـین در خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی و آب شیرین یکسان بود با وجود این که بار ژن های مقاوم به آنتی بیوتیک و پاتوژن های مقاوم در برابر آنتی بیوتیک در فاضلاب مورد استفاده برای آبیاری بالا بود.

در این راسـتا، مطالعات نشان داد که با مقایسه رزیستوم[2] خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی و آب های زیرزمینی، باکتری انتروکوکسـی در خاک آبیاری شـده با آب شیرین به تعداد بیشـتری از آنتی بیوتیک های مقاوم (اریترومایسـین، تیلوزین، تتراسایکلین و سیپروفلوکساسین) بود، در مقایسـه با همان باکتری در خاکی که به طور بلند مدت با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری شده و در مقابل لینکومایسین و داپتومایسین مقاومت نشان داد. علاوه بر این زمانی که خاک های آبیاری شـده با فاضلاب و آب شـیرین با هم مقایسه شدند، تفاوتی در مقدار پاتوژن های مقاوم در برابـر آنتی بیوتیک دیده نشـد که حاکی از این اسـت که امکان بقای پاتـوژن های مقاوم در برابر آنتی بیوتیک پس از ورود به خاک از طریق فاضلاب ناچیز است. هر چند بعید به نظر می رسد که گسـترش مقاومت آنتی بیوتیکی عوامل بیماریزای انسـانی در خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی با ورود آنتی بیوتیک ها و موجودات مقاوم از طریق آنها مرتبط باشد، به عنوان گام بعدی مطالعه مواد ژنتیکی قابل تعویض (به عنوان مثال پلاسـمیدها) ارزشـمند است زیرا این قبیل مواد می توانند توسط میکروارگانیسم های خاک جذب شده و موجب مقاومت آنتی‌بیوتیکی شوند (۷).

۵-۲-۴-۲ سرنوشت میکروارگانیسم های بیماری زا در خاک

میکروارگانیسـم ها به محض ورود به خاک می توانند زنده مانده و یا توسـط فرایند های فیزیکی

1. Assimilation
2. Resistome

و شـــیمیایی که به طور طبیعی در خاک رخ می دهد غیر فعال و یا کشـــته (شکار توسط موجودات بومی خاک) شوند. با توجه به این که میکروارگانیسم ها می توانند در خاک زنده بمانند پس ممکن است در ذرات خاک تکثیر یافته، به آبخوان نفوذ و یا از طریق رواناب ها جابجا شوند. تجارب قبلی نشان داده اند که برخی از میکروارگانیسم ها می تواند به صورت عمودی و یا افقی در خاک حرکت کرده، مسافت های طولانی را طی کنند. گزارش شده که جابجایی باکتریایی در خاک تا ۸۳۰ متر می باشـــد. در حالی که برای ویروس ها ایـــن جابجایی به طور قابل توجهی پایین تر (تا ۴۰۸ متر) است. بقاء پاتوژن ها با سرنوشت زیست محیطی آنها مرتبط بوده به طوری که میکروارگانیسم های با طول عمر بیشتر مسافت طولانی تری را طی می کنند (۷).

شرایط آب و هوایی نیز بر جابجایی پاتوژن ها تاثیر دارد. به عنوان مثال، در خاک یخ زده پاتوژن ها می توانند بیشـــتر زنده مانده و بنابراین در مقایسه با خاک های مناطق گرمسیری و کویری بیشتر جابجا می شوند. در خاک های درشت دانه میکرو ارگانیسم ها راحت تر از خاک های ریز دانه جابجا می شـــوند. مطالعات نشـــان دادند که حرکت کلیفرم ها در خاک های ماسه- شنی بیشتر از خاک های ماسه ای ریز است. در واقع، حرکت عمودی میکرو ارگانیسم ها در خاک های ماسه‌ای درشت می تواند شبیه ردیاب های معدنی باشد. در این راستا، بنا بر نتایج گزارش شده، نفوذ اشریشیاکلی مقاوم در برابر استرپتومایســـین (حتی زمانی که خاک ها دارای ساختار متفاوت باشند) را می توان با ردیاب کلرید در ستون های خاک دست نخورده مقایسه کرد.

مطالعات در مورد حرکت پاتوژن ها در خاک زمین های زراعی نشـــان داد که همانند تســـت های آزمایشگاهی حرکت باکتری های بیماریزا سریع بود. همچنین غلظت بالایی از باکتری ها و ویروس در آب های زیر زمینی یافت شـــد. علاوه بر مقدار بالاتر منافذ و اتصال های بینابینی آنها، افزایش جابجایـــی باکتـــری ها و ویروس ها در خـــاک را می توان از طریق وجود مســـیر های ترجیحی در ماتریکس خاک توضیح داد. منظور از چنین مسیر های ترجیحی ترک ها، شکستگی ها، سوراخ‌های ایجاد شده توسط کرم ها و کانال های تشکیل شده به وسیله ریشه های گیاه و یا جانوران در خاک است. مطالعات نشان می دهند که نفوذ میکرو ارگانیسم های بزرگتر (اشرشیاکلی) به خاک بیشتر از کلی فاژهای کوچک تر اســـت. علاوه بر این، اشـــاره شـــده که انتقال سلول های باکتریایی با قطر کوچک تر از ۱ میکرومتر در خاک سریع تر از موجودات بزرگتر می باشد (۷).

خـــواص شـــیمیایی خاک می تواند بر انتقال عمودی و افقی میکروارگانیســـم ها نیـــز تاثیر بگذارد. ترکیب معدنی خاک می تواند به چســـبندگی ســـلول های میکربی، تخم ها یا کیســـت ها به ذرات

خاک کمک کند. نشـان داده شـده که چندین نوع سـلول باکتریایی قویا به بخش معدنی خاک و مواد آبخوان چسبیده و توانایی تکثیر و تشکیل بیوفیلم بر سطح ذرات خاک را دارند. در خاک های آبیاری شـده بـا فاضلاب، مواد آلی تجمع یافته و همچنین ورود مـداوم مواد آلی محلول از طریق فاضلاب ممکن اسـت موجب افزایش تکثیر باکتری گردد. نتایج مطالعات نشـان داد که آسکاریس لومبرکوئیدس و کیسـت ژیاردیا لامبلیا به بخش معدنی خاک های آبیاری شـده با فاضلاب یا آب بازیافتی سـریع تر و شـدیدتر از بخش آلی آن می چسبند. در مورد تخم آسکاریس، چسبندگی به سیلیس موجود در ذرات ماسه روی می دهد.

مطالعات نشـان می دهد که چسـبندگی یا جذب کیسـت تک یاخته ها برخلاف تخم آنها ممکن است بیش از بخش معدنی خاک وابسته به ماده آلی آن باشد. این موضوع به طبیعت آبگریز دیواره کیست ها نسبت داده شده است. با توجه به یافته های گزارش شده در جدا شدن باکتری از ذرات خاک تحت تاثیر ترکیب آب، آبیاری خواهد بود. در مطالعاتی مشـخص شـد که در آزمایش های ستونی جدا شدن گونه های سودوموناس با استفاده از آب مقطر بیش از محلول کلرید سدیم ۰٫۰۱ مولار بوده اسـت. چنین نتایجی نشـان می دهد که آب تمیز می تواند کاملا پلی‌ساکارید دفع شده توسط سلول های باکتریایی را که به عنوان یک چسب بین ذرات خاک و باکتری ها عمل می کند، بشوید (۷).

برای تخم آسـکاریس نتیجه متضادی مشاهده شده است. هنگامی که خاک با محلول هیپوکلریت سـدیم شسته شـد، تخم ها به طور موثر از ذرات خاک جدا شدند. دلیل این است که هیپوکلریت سدیم می تواند لایه آلبومینی[1] که سطح تخم کرم ها را می پوشاند و موجب چسبیدن آنها به ذرات خاک می شود را تخریب کند. با توجه نتایج بدست آمده، ارتباط زیست محیطی تاثیر این نمک در جدا شدن تخم از خاک بر این واقعیت متکی است که هیپوکلریت سدیم می تواند در آب بازیافتی یافت شود چون که معمولا برای گندزدایی فاضلاب استفاده می گردد (۷).

هنگامی که میکروارگانیسم ها در نتیجه جذب، چسبیدگی و یا صاف کردن[2] توسط خاک نگهداشته می شـوند، می توانند غیر فعال شـده و یا در اثر خشک شـدن از بین بروند. این پدیده به ویژه در مناطق خشـک که مناطقی با سـطح بالایی از تابش خورشیدی می باشـند، مهم است. سرنوشت زیسـت محیطی میکروارگانیسـم ها در خاک به میکروارگانیسم های بومی که در ماتریکس جامد

1. Albuminose
2. Straining

زندگی می کنند نیز بستگی دارد. شکارچیان باکتری های بیماریزای منتقله از فاضلاب یا آب بازیافتی در خاک شامل استرپتومایست ها[1]، میکسوباکتریا ها[2]، بدلو ویبریو[3] و نماتد ها هستند (۹). ممکن است حضور گیاهان بر تداوم حرکت میکروارگانیسم ها در خاک تاثیر گذارد. از یک طرف به دلیل مقدار بالای مواد مغذی در ریزوسفر، پاتوژن ها می توانند شرایطی مطلوب برای بقاء یافته و از سوی دیگر باکتری های بومی در ریزوسفر می توانند شکارچی طبیعی این پاتوژن ها باشند، در حالی که ریشه ممکن است آنتی‌بیوتیک هایی ترشح کند که میکروارگانیسم های بیماریزا را محدود کرده و یا از بین ببرد (۷).

۵-۲-۵ آلودگی خاک توسط فلزات سنگین

با توجه به این که در آبیاری محصولات کشاورزی با فاضلاب یا آب بازیافتی محتوای فلزات سنگین ناچیز می باشد، مقدار این عناصر در خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی به طور قابل توجهی پایین تر از حداکثر مجاز غلظت تعیین شده توسط مقررات بین‌المللی است. با این حال در استفاده از فاضلاب یا آب بازیافتی در آبیاری، مواردی وجود دارد که باید در نظر داشت (۱۰).

برای فلزات سنگین مختلف سطوح خطر متفاوتی وجود دارد. در حالی که برخی از آنها در غلظت های بسیار کم مواد مغذی برای گیاهان هستند، نشان داده شده که بقیه اثرات مضری بر موجودات زنده در معرض داشته و یا توسط گیاهان جذب شده و از طریق شبکه غذایی انباشته می شوند. جدول ۹ نشان دهنده تاثیر برخی فلزات در خاک می باشد (۷).

بیشترین خطر فلزات سنگین مربوط به کادمیوم است. این فلز در مقداری بسیار پایین تر از آن که بطور مشخص گیاهان را تحت تاثیر قرار دهد برای انسان و حیوانات سمی است. علاوه بر این جذب توسط محصول (که به طور قابل ملاحظه ای در خاک های اسیدی بالا است) می تواند مقدار مصرف شده توسط موجودات زنده و به نوبه خود تجمع در بافت های حیوانی را افزایش دهد. کادمیوم جذب شده، در کلیه و کبد حیوانات ذخیره می شود اگرچه تجمع کادمیوم در گوشت و محصولات لبنی[4] اندک است (۱۱).

1. Streptomycetes
2. Myxobacteria
3. Bdellovibrio
4. Milk Products

جدول ۹: تاثیر فلزات موجود در آب آبیاری بر خاک (۷)

تاثیر	فلز
کم خطر	منگنز، آهن، روی، مس، سلنیم، آنتیموان
خطر بالا	کروم، آرسنیک، سرب، جیوه، نیکل، آلومینیوم، کادمیوم
ریز مغذی های ضروری برای گیاهان	مس، آهن، منگنز، مولیبدن، روی، نیکل
سودمند برای برخی از محصولات	کبالت، سدیم، سیلیس
توانایی تجمع در محصولات تا مقداری را دارند که برای مصرف کنندگان سمی است	کادمیوم، مس، مولیبدن
برای آب بازیافتی در نظر گرفته شده جهت آبیاری آستانه سمیتی برای انسان تعیین نشده است.	جیوه
آستانه نسبتا بالا برای آب بازیافتی مورد استفاده در آبیاری	مس، آهن، منگنز، روی
جذب کم توسط گیاهان	کبالت، مس، منگنز، روی

جهت برقراری محدودیت در مورد مقدار قابل قبول فلزات سنگین موجود در فاضلاب یا آب بازیافتی که برای آبیاری استفاده می شود دانش نسبتا کافی موجود است. محاسبه عددی حداکثر غلظت قابل تحمل آلاینده در خاک های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی (اهداف مبتنی بر سلامت) انجام شده است (۷).

این مقدار بر اساس مصرف قابل قبول روزانه انسان[1](ADI) برای فلزات سنگین بود و مقداری است که می‌تواند اجازه تجمع در خاک را داشته قبل از این که اثرات مضر در مصرف کنندگان محصولات ایجاد شود. در این تجزیه و تحلیل فرض شد:

الف) برای مواجهه تنها دو مسیر وجود دارد (آب بازیافتی، خاک، گیاه، انسان و آب بازیافتی، محصول، انسان).

ب) یک رژیم غذایی کلی وجود دارد که در آن حبوبات/ غلات، سبزیجات، محصولات ریشه/ غده دار و میوه در حدود ۷۵ درصد مصرف روزانه مواد غذایی بزرگسالان را تشکیل می دهد.

ج) وزن بزرگسالان[2] ۶۰ کیلوگرم است.

د) همه غلات، سبزیجات، محصولات ریشه/ غده ای و میوه ها از زمین های آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی به دست آمده است.

ه) کل مصرف روزانه آلاینده ها از این مسیر ۵۰ درصد مقدار مصرف قابل قبول روزانه انسان بوده و ۵۰ درصد باقیمانده مصرف قابل قبول روزانه انسان مربوط به مواجهه زمینه[3] است (۷).

1. Acceptable Daily Human Intake (ADI)
2. Body Mass
3. Background Exposure

جدول ۱۰ ورودی فلزات سنگین توسط فاضلاب یا آب بازیافتی که برای آبیاری خاک استفاده می شود را نشان می دهد با فرض این که میزان استفاده از فاضلاب یا آب بازیافتی در حدود ۱٫۲ مترمکعب در سال بوده که تقریبا مقدار آب مورد نیاز برای تولید یک چرخه محصول[1] در منطقه خشک است (۷).

جدول ۱۰: حداکثر غلظت قابل تحمل فلزات سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی (۷)

عنصر	حداکثر ورودی توسط آب بازیافتی کیلوگرم بر هکتار در سال (kg/ha/year)	حداکثر غلظت قابل تحمل میلی گرم بر کیلوگرم (mg/kg)
آرسنیک	۰٫۶-۱۲	۹
کادمیوم	۰٫۰۶-۰٫۲۴	۷
کرم	۱٫۲-۶۰	۳۲۰۰
سرب	۱٫۲-۶۰	۱۵۰
جیوه	۰٫۱۲-۰٫۱۲	۵
نیکل	۰٫۲۴-۱۲	۸۵۰
سلنیوم	۰٫۲۴-۰٫۶	۱۴۰
نقره	۱٫۲	۳

اثرات بهداشتی مربوط به استفاده از آب شدیدا آلوده به پساب های صنعتی جهت آبیاری محصولات کشاورزی گزارش شده است. در ژاپن، بیماری ایتای ایتای[2] (بیماری استخوان و کلیه در نتیجه مسمومیت مزمن با کادمیوم)، در مناطقی رخ داد که شالیزار ها با آب رودخانه آلوده جینزو[3] آبیاری شدند. در برخی از نقاط چین، استفاده از پساب صنعتی برای آبیاری با افزایش ۳۶ درصدی هپاتومگالی (بزرگ شدن کبد) و افزایش ۱۰۰ درصدی سرطان و میزان ناهنجاری های مادرزادی[4] همراه بوده است.

با توجه به وجود فلزات سنگین در خاک های کشاورزی آبیاری شده با فاضلاب یا آب بازیافتی، مطالعه در خاک های کشاورزی انگلستان و ولز حضور برخی از فلزات سنگین (روی، مس، نیکل، سرب، کروم و کادمیوم) در خاک های این مناطق را نشان می دهد. نتایج نشان داد که کاربرد لجن تصفیه خانه های فاضلاب بیشترین سهم را در میزان فلزات سنگین آن خاک ها داشته اند

1. Crop Cycle
2. Itai–Itai Disease
3. Jinzu
4. Congenital Malformation Rates

در حالی که به نظر می رسد آبیاری به عنوان یک منبع فلزات سنگین در خاک، از اهمیت کمی برخوردار است. بر اساس این تحقیقات، که میزان رسوب فلزات سنگین در خاک های مورد مطالعه را بررسی می کرد، زمان مورد نیاز برای این که غلظت فلزات به حداکثر مقدار مجاز توسط مقررات بین المللی برسد ۸۰ سال برای روی و حداقل ۱۲۵۶ سال برای کادمیوم است. در این رابطه، یک مطالعه نشان داد که در مکزیک مرکزی غلظت فلزات سنگین در خاک هایی که برای طولانی مدت با فاضلاب تصفیه نشده آبیاری شده، ۱۰ برابر کمتر از حد تعیین شده توسط مقررات دانمارک[1] بودند. علاوه بر این، نویسندگان آن مطالعه تخمین زده اند که یک قرن دیگر آبیاری لازم است تا غلظت این فلزات به بیش از این حدود تعیین شده برسد (۷).

فلزات معمولا از طریق تشکیل کمپلکس های آلی- فلزی به مواد آلی پیوند یافته که از لحاظ زیستی در دسترس گیاهان نیستند. افزایش آهک و فاضلاب یا آب بازیافتی به خاک به رسوب فلزات کمک کرده در حالی که افزودن کودهای شیمیایی اثر مخالف داشته و در دراز مدت موجب کاهش pH خاک و در نتیجه حل شدن فلزات می شود. در مقابل، گزارشاتی وجود دارد که نشان می دهد غلظت فلزات سنگینی مانند کادمیوم و روی در خاک های کشاورزی به حداکثر مقدار تعیین شده توسط مقررات بین‌المللی نزدیک شده است.

در این موارد، عواملی که منجر به تشدید آلودگی خاک و در نتیجه افزایش خطر آلودگی آب های زیر زمینی و محصول شده عبارتند از:

الف) ساختار ماسه ای خاک.

ب) pH اسیدی تا خنثی خاک.

ج) مقدار کم ماده آلی.

د) استفاده از پساب صنعتی برای آبیاری محصولات کشاورزی. در چنین مواردی توصیه می شود آبیاری محصولات کشاورزی با فاضلاب یا آب بازیافتی قطع و همزمان از طریق تکنیک های اصلاح مانند گیاه پالایی[2] برای اصلاح شرایط خاک استفاده شود (۱۲، ۱۳).

1. Danish Regulations
2. Phytoremediation

۵-۲-۶ آلودگی خاک توسط ترکیبات آلی

آلودگی خاک توسط مواد آلی یک موضوع نگران کننده برای دانشمندان و سازمان هایی بوده که برای چند دهه به دنبال نظارت بر کیفیت خاک، منابع آب و غذا هستند. حجم گسترده ای از تحقیقات وجود دارد که به تخریب خاک توسط آلاینده های آلی معمول (به عنوان مثال آفت کش ها، پلی هیدروکربن های آروماتیک، ترکیبات آلی کلردار، پارافین، حلال های آلی، و غیره) پرداخته است. با این حال، مواد آلی در محل هایی که در آن از فاضلاب خام یا آب بازیافتی برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده می شود با مواد آلی مورد مطالعه در محل هایی که مواد نفتی نشات یافته، مناطق استخراج معادن و یا خاک آلوده به فاضلاب های صنعتی تفاوت دارد. بسیاری از مواد آلی محلول و ذره ای موجود در فاضلاب شهری در نتیجه تجزیه فضولات انسانی و حیوانی تولید می شوند در نتیجه مواد آلی موجود در فاضلاب یا آب بازیافتی به طور عمده از ساکارید ها، چربی ها، اسید های آمینه و پروتئین ها تشکیل شده اند. با این حال، بخش کوچکی از مواد آلی موجود در فاضلاب از مواد شیمیایی سرچشمه می گیرند که در محصولات مصرفی روزمره موجود بوده و از طریق فاضلاب های خانگی دفع می شوند (۷).

در فاضلاب شهری مقادیر کمی از هزاران نوع ترکیب آلی موجود است. در مورد اثراتی که چنین موادی ممکن است به تنهایی و یا به همراه ترکیبات آلی دیگر بر موجوداتی بگذارند که در مواجهه با آنها هستند دانش کافی وجود ندارد. این گروه از مواد شیمیایی تحت عنوان «آلاینده های آلی نوپدید[1]» (OPECs) شناخته شده اند. در مواردی که از فاضلاب یا آب بازیافتی برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده می شود این آلاینده ها را باید به عنوان آلاینده های اولیه[2] در نظر گرفت چون این آلاینده ها در تماس با خاک، محصولات کشاورزی و منابع آب موجود در نزدیکی محل آبیاری هستند.

در طول سه دهه گذشته به منظور استخراج، جداسازی و تعیین مقدار برخی از این آلاینده ها در فاضلاب یا آب بازیافتی و خاک فعالیت قابل توجهی شده است. آلاینده های آلی نوظهوری که غالبا در چنین ماتریکس پیچیده ای یافت می شوند شامل ترکیبات فعال دارویی[3] (PACS) و متابولیت های آنها، محصولات مراقبت شخصی[4] (به عنوان مثال مواد ضد عفونی کننده، خوش بو کننده ها، مواد دور کننده حشرات، کرم های ضد آفتاب و غیره)، شیرین کننده ها، محرک ها (مانند کافئین و مواد روانگردان[5])، مواد شوینده و متابولیت های آنها، نرم کننده ها و افزودنی های صنعتی (به

1. Organic Pollutants of Emerging Concern(OPECs)
2. Priority Pollutants
3. Pharmaceutically Active Compounds (PACs)
4. Personal Care Products
5. Psychoactive Drugs

عنوان مثال مواد افزودنی در بنزین) هستند (۱۴).

تقریبا در تمام مطالعاتی که به حذف آلاینده های آلی نوظهور در تصفیه خانه های فاضلاب پرداخته اند، گزارش شده که بسیاری از این مواد در سیستم های تصفیه اولیه و ثانویه به طور جزئی تخریب و یا حذف می شوند. البته برخی از آلاینده ها در سیستم های تصفیه پیشرفته نیز فقط تا حدی حذف شده اند. به این دلیل، آلاینده های آلی نوظهور در خاک های آبیاری شده با فاضلاب خام یا آب بازیافتی وجود دارند (۷).

پساب تصفیه خانه های فاضلاب شامل بخش کوچکی از مواد اصلی و همچنین محصولات جانبی تولید شده در طی تصفیه هستند. با این حال در لجن تولید شده در طی تصفیه فاضلاب ممکن است برخی از این ترکیبات، باقیمانده و تغلیظ شوند. استفاده از این لجن (یا جامدات زیستی) به عنوان اصلاح کننده خاک در کشاورزی موجب ورود این مواد به محیط زیست می شود.

به علت توسعه مداوم صنعتی، تعداد مواد آلی موجود در فاضلاب به طور مداوم افزایش می یابد. در واقع، بسیاری از این مواد قبل از ورود به بازار مورد آزمایش قرار نگرفته و در نتیجه خطرات بالقوه و یا عوارض جانبی آنها در موجودات غیر هدف در خاک یا آب هنوز ناشناخته است (۷).

بروز مقاومت آنتی بیوتیکی در موجودات بومی و پاتوژن های وارده به خاک از طریق آب بازیافتی توجه دانشمندان و سازمان های بهداشتی سراسر جهان را به خود جلب کرده است. در خصوص آلودگی های آلی، در حال حاضر نگرانی در مورد ورود آلاینده های نوظهور به خاک و خطرات احتمالی آنها در محصولات کشاورزی وجود دارد. این آلاینده ها موادی هستند که قبلا به عنوان آلاینده در نظر گرفته نمی شدند چون بخشی از محصولات روزمره هستند. با این حال، با توجه به اثرات مضری که این مواد ممکن است در انواع موجودات آبزی و زمینی داشته و با توجه به ورود مستمر آنها به محیط زیست از طریق فاضلاب و آب بازیافتی، نگرانی ها افزایش یافته است. چنین اثراتی به تازگی و تنها برای برخی از آلاینده های نوظهور مشخص شده است، اگر چه در حال حاضر حدود هفت میلیون ماده شیمیایی تجاری موجود است که پس از استفاده وارد فاضلاب و در نتیجه مقادیری نیز به آب بازیافتی منتقل می شوند (۷).

به رغم تنوع و مقدار آلاینده هایی که به طور منظم از طریق آبیاری با فاضلاب و یا آب بازیافتی وارد خاک می شوند، این اکوسیستم دارای فرآیند های خود تصفیه ای بوده که هم ایستایی (تعادل پایدار)[1] در درون سیستم را حفظ می کند. چنین فرآیند های خود تصفیه ای ممکن است جمعیت میکرو ارگانیسم های بیماریزای ورودی به خاک توسط فاضلاب یا آب بازیافتی را از طریق شکار

1. Homeostasis

توسط ریزجانداران[1] بومی موجود در خاک، تولید آنتی‌بیوتیک ها از سوی برخی از موجودات در ریزوسفر[2] و با نگهداری میکروارگانیسم ها در سطح لایه های خاک و از طریق فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی غیر فعال کرده و یا کاهش دهد (۷).

برای آلاینده های آلی، مکانیسم هایی مانند تجزیه شیمیایی بر اثر نور[3] و تجزیه زیستی موجب افزایش تخریب آلاینده در خاک شده در حالی که جذب بر روی ذرات خاک منجر به حبس و نگهداری مواد آلی در ماتریکس جامد می گردد. به منظور انجام دقیق تر مطالعات ارزیابی آلودگی منابع آب، خاک و محصولات کشاورزی در مناطق آبیاری شده با فاضلاب و یا آب بازیافتی آگاهی در مورد سرنوشت زیست محیطی آلاینده ها در خاک های آبیاری شده با این آب ها مهم است. این آگاهی اطلاعات مورد نیاز برای سیاست‌گذاران جهت ایجاد قانونی مناسب با هدف ترویج مدیریت زیست محیطی مسئولانه کاربرد فاضلاب خام یا آب بازیافتی در آبیاری محصولات کشاورزی فراهم می کند (۷).

تصفیه فاضلاب قبل از استفاده مجدد آن محتمل ترین گزینه برای جلوگیری از آلودگی خاک در نتیجه استفاده مجدد از فاضلاب یا همان آب بازیافتی است. با این حال، از آنجا که فاضلاب یک منبع ارزان آب و کود برای کشاورزان می باشد، لازم است قبل از برنامه ریزی طرح های تصفیه فاضلاب نیازهای کاربران در نظر گرفته شود. استفاده از سیستم های تصفیه فاضلاب با هدف حذف کربن، نیتروژن، فسفر و مواد معدنی موجود در فاضلاب منجر به کاهش کیفیت آب بازیافتی به عنوان کود شده، بر بازده محصول تأثیر داشته و در نتیجه در معیشت کشاورزان موثر است. در این راستا، استفاده از سیستم های پیشرفته تصفیه اولیه می‌تواند یک گزینه عملی برای آب بازیافتی موارد زیر باشد:

الف) حذف جامدات معلق، پاتوژن ها و فلزات سنگین در فاضلاب بدون اینکه به طور قابل توجهی مواد مغذی موجود در پساب را تحت تأثیر قرار دهد.

ب) حفظ کیفیت خاک های کشاورزی تا به درستی فرایند اکوسیستمی خود مانند تولید مواد غذایی را انجام دهند.

ج) تحقق نیازهای کشاورزانی که از آب بازیافتی به عنوان منبعی از آب و مواد غذایی استفاده می کنند.

1. Microbiota
2. Rhizosphere
3. Photolysis

ممکن اســت در برنامه مدیریت جامع فاضلاب (بازیافت مواد مغذی و اســتفاده از خاک به عنوان تولید کننده مواد غذایی و سیستم تصفیه) تصفیه فاضلاب توسط چنین سیستم هایی فرصتی برای بهسازی همراه با استفاده مجدد باشد (۷).

۵-۲-۶-۱ اثرات آلاینده های آلی ناشی از استفاده از آب بازیافتی

همان طور که در بالا ذکر شد، به دلیل تعداد روز افزون ترکیبات تخلیه شده به خاک از طریق فاضلاب یا آب بازیافتی، دانش کلی در مورد اثرات چنین موادی در موجودات در معرض وجود ندارد.

به طور کلی، فاضلاب شــهری عامل اصلی رســیدن آلاینده های آلی نوظهور به محیط زیســت بوده و در هر جایی که جریان فاضلاب وجود دارد این آلاینده های نوظهور مشاهده می شوند. ترکیبــات فعــال دارویی (PACs) به این منظور در نظر گرفته شــده اند که اثر مشــخصی بر موجودات هدف داشــته باشــند. با این حال، هنگامی که مقدار بســیار کمی از این مواد توسط ترکیبات فعال دارویی به محیط زیســت وارد می شــوند، آنها می توانند بر موجودات غیر هدف نیز تاثیر بگذارند (۷).

در سال های اخیر یکی از اثراتی که مورد توجه جامعه علمی قرار گرفته گسترش مقاومت به آنتی بیوتیک ها در میکروارگانیسم های بیماریزا می باشد که به علت وجود آنتی بیوتیک ها در فاضلاب، آب و خاک هایی است که دریافت کننده ترکیبات فعال دارویی هستند. با این حال، تعداد زیادی از مطالعات انجام شــده در این موضوع گزارش کرده اند که تکثیر پاتوژن های مقاوم به آنتی بیوتیک در خاک های آبیاری شده با ترکیبات فعال دارویی کاملا بعید است (۱۵-۱۷). در مقابل، مطالعات دیگــر وجود ارتباطی بین وجود آنتی بیوتیک های ســولفونامید و فلورو کینولون با ظهور مقاومت آنتــی بیوتیکــی در فاضلاب و خاک هایی که به صورت بلند مدت با فاضلاب یا آب بازیافتی آبیاری شــده اند، را بیان می کنند. محققین گزارش کرده اند که بین مدت زمان آبیاری و تواتر تشــخیص ژن های مقاوم به آنتی بیوتیک در خاک ارتباط برقرار است (۷).

در مورد ترکیبات فعال دارویی غیر آنتی بیوتیکی ترکیباتی که بیشــتر مورد مطالعه قرار گرفته اند (به دلیل استفاده زیادی که در سطح جهان دارند) داروهای ضد درد و ضد التهاب هستند. ترکیباتی مانند ایبوپروفن، ناپروکســن، دیکلوفناک، پاراســتامول و کتوپروفن[1] موجب تخریب سیســتمیک (معمــولا تخریب کبد، آبشــش و کلیه) در گونه های آبزی شــده اند. نتایج مطالعات دیگر نشــان

1. Ibuprofen, Naproxen, Diclofenac, Paracetamol and Ketoprofen

مـی دهـد که قرار گرفتن در معرض مقادیر ناچیزی از داروهای ضد التهابی منجر به کاهش رشـد سلول های جنین انسان شده است (۱۸).

در مورد اثرات ناشـی از آلاینده های آلی نوظهور در موجودات خاک (بر خلاف موجودات آب) مطالعات کمی انجام شده است. جدول ۱۱ چند نمونه از این اثرات بر موجودات خاک را نشان می دهد. اثرات ناشـی از این دسـته از آلاینده ها به موجودات زنده خاک محدود نشـده و می توانـد در ماتریکس خاک نیز مشـاهده گردد. به عنوان مثال، عوامل فعال سـطحی می توانند از یـک طرف موجب کاهـش خاصیت مویینگی و نفوذپذیری[1] خـاک و همچنین افزایش زاویه تماس با جامد- مایع، ضریب شـکل[2] و قابلیت جذب سـطحی[3] ذرات خاک شوند (۷). از سوی دیگـر، ورود این مواد می‌توانـد موجب افزایش واجذبی[4] مولکول های آلی گردند که قبلا جذب ذرات خاک شـده بودند. این امر به نوبه خود فراهمی زیسـتی و تحرک ترکیبات دفع شـده را افزایش می دهد (۱۹).

جدول ۱۱: خلاصه ای از اثرات منفی ناشی از مقادیر بسیار اندک آلودگی های نوپدید بر روی موجودات زنده خاک (۷)

ترکیب	اثر در موجودات خاک
استرون، ۱۷ بتا استرادیول (هورمون)	اثرات منفی بر روی چرخه رویشی یونجه (مدیکاگو ساتیوا).
هورمون های جنسی	تغییر نسبت جنسی نماتد های آزاد زی موجود در خاک.
تریکلوزان (عامل ضد باکتری)	جلوگیری از رشد گیاه (برنج و خیار). غلظت موثر ۵۰ (EC_{50})، یعنی ۵۰ درصد از جمعیتی که در معرض این عوامل بودند تحت تاثیر قرار گرفتند) برای برنج و خیار به ترتیب ۵۷ و ۱۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. در غلظت بالاتر از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تنفس خاک و فعالیت فسفاتاز جلوگیری می کنند.
	کاهش تنفس خاک ۴ روز پس از ورود ترکیب. اثرات مشاهده شده بستگی به جذب ترکیب به درون خاک دارد.
بیس فنل آ (نرم کننده)	تغییر در نسبت جنسی (به انواع مونث) جورپایان (بند پایان خاک).
آبامکتین (کرم کش)	اثرات منفی بر روی تولید مثل فولزومیا فیمتاریا و فولزومیا کاندیدا (بندپایان خاک) به ترتیب در غلظت ۰٫۲۵ و ۰٫۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (جرم خشک). اثرات منفی در تولید مثل کرم های خاکی در غلظت ۰٫۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (وزن خشک).
فن بنزادول و سیپرمترین (ضدانگل)	اثرات منفی بر میکرو ارگانیسم های تجزیه کننده کود حیوانی.
سولفونامید و تتراسایکلین (آنتی بیوتیک)	جلوگیری از فعالیت میکربی خاک به میزان ۱۰ درصد (ED_{10}) در غلظت ۷٫۳۵-۰٫۰۰۳ میکروگرم بر گرم خاک (وزن خشک). تغییر در نسبت قارچ به باکتری.

1. Capillarity and Penetrability
2. Shape Factor
3. Sorptivity
4. Desorption

ادامه جدول ۱۱: خلاصه ای از اثرات منفی ناشی از مقادیر بسیار اندک آلودگی های نوپدید بر روی موجودات زنده خاک (۷)

ترکیب	اثر در موجودات خاک
سولفادیازین (آنتی بیوتیک)	کاهش نرخ نیترات زدایی زمانی که میزان آنتی بیوتیک ورودی ۱۰۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم از خاک بود (جرم خشک).
	کاهش قابل توجه در نسبت باکتری به قارچ
کلورتتراسایکلین، تتراسایکلین، تیلوزین، سولفامتوکسازول، سولفامتازین و تری متوپریم (آنتی بیوتیک)	کاهش رشد محصول (جو دو سر شیرین، برنج و خیار). جلوگیری از فعالیت میکربی خاک (تنفس خاک و فعالیت آنزیم فسفاتاز).
مواد فعال دارویی انسانی و دامی	کاهش رشد و نمو فاسیولوس ولگاریس ال، گلیسین ماکس، مدیکاگو ساتیوا ، ذی مایز، و چندین محصول دیگر.

۶- بررسی استاندارد های ملی و بین المللی

امروزه استفاده از آب بازیافتی یکی از جدید ترین مباحث در مدیریت جامع آب و خاک به حساب می آید. برای استفاده موثر از آب بازیافتی و عدم ایجاد آلودگی های زیست محیطی، آئین نامه و دستورالعمل های کامل، جامع و علمی مورد نیاز می باشد. در این بخش به ترتیب استاندارد های ملی و استاندارد های بین المللی آورده شده است.

۶-۱ استاندارد های ملی

استاندارد های ملی در رابطه با استفاده مجدد از آب های بازیافتی شامل موارد زیر است:

- استاندارد خروجی فاضلاب ها- سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۲۰)
- ویژگی های پساب های صنعتی- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۲۱)

۶-۱-۱ استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست

این استاندارد (جدول۱۲) به استناد ماده ۵ آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب و با توجه به ماده ۳ همین آیین نامه و با همکاری وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نیرو، صنعت معدن و تجارت، کشور و کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و تدوین گردیده است.

جدول ۱۲: استاندارد پساب خروجی فاضلاب شهری جهت مصارف کشاورزی و آبیاری (۲۰)

مواد آلوده کننده	مصارف کشاورزی و آبیاری(mg/l)
نقره	۰/۱
آلومینیوم	۵
آرسنیک	۰/۱
بور	۱
باریم	۱
بریلیوم	۰/۵
کلسیم	-
کادمیوم	۰/۰۵
کلر آزاد	۰/۲
کلراید	۶۰۰
فرم آلدئید	۱
فنل	۱
سیانید	۰/۱
کبالت	۰/۰۵
کروم (شش ظرفیتی)	۱
کروم (سه ظرفیتی)	۲
مس	۰/۲
فلوراید	۲
آهن	۳
جیوه	ناچیز
لیتیوم	۲/۵
منیزیم	۱۰۰
منگنز	۱
مولیبدن	۰/۰۱
نیکل	۲
آمونیوم برحسب NH_4	-
نیتریت برحسب NO_2	-
نیترات بر حسب NO_3	-
فسفات برحسب فسفر	-
سرب	۱
سلنیوم	۰/۱
سولفید	۳

مواد آلوده کننده	مصارف کشاورزی و آبیاری(mg/l)
سولفیت	۱
سولفات	۵۰۰
وانادیوم	۰/۱
روی	۲
چربی و روغن	۱۰
پاک کننده ها	۰/۵
BOD_5	۱۰۰
COD	۲۰۰
اکسیژن محلول (حداقل)	۲
کل موادجامد محلول	-
کل مواد جامد معلق	۱۰۰
مواد قابل ته نشینی	-
pH	۶_ ۸/۵
مواد رادیواکتیو	۰
کدورت	۵۰
رنگ (واحد رنگ)	۷۵
درجه حرارت	-
کلیفرم گوارشی (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)	۴۰۰
کل کلیفرم ها (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)	۱۰۰۰
تخم انگل در لیتر (نماتد روده ای)	۱

همچنین دفتر آب و خاک معاونت محیط زیست انسانی سازمان حفاظت محیط زیست استاندارد آلودگی منابع خاک و راهنما های آن را با هدف تعیین حداکثر بار مجاز آلودگی منابع آلاینده قابل تخلیه به منابع خاک به منظور حفاظت محیط زیست خاک با تاکید بر سلامت انسان برای فعالیت های اقتصادی، تولیدی، کشاورزی و خدماتی (گردشگری، تجارتی، خدمات شهری) ارائه نموده است. نکته ای که باید توجه داشت این است که استاندارد کیفیت منابع خاک به هیچ عنوان قابلیت استفاده جهت پساب های کشور را ندارد (۳۰).

۶-۱-۲ استاندارد موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

هدف از ارائه این استاندارد تعیین ویژگی های پسابی است که از واحد های تولیدی صنعتی خارج و بر حسب محل تخلیه تقسیم بندی می شود.

در این استاندارد ویژگی های پساب های صنعتی جهت مصارف آبیاری کشاورزی به قرار زیر است:

- پساب صنعتی نباید حاوی لجن، مواد جامد شناور بزرگتر از ۰/۸ میلی متر و ترکیبات روغنی قابل رویت باشد.
- pH پساب بستگی به نوع خاک پذیرنده داشته و باید بین ۶ تا ۸/۵ باشد.
- اکسیژن محلول پساب نباید کمتر از شش میلی گرم در لیتر طی حداقل ۱۶ ساعت از شبانه روز بوده و در بقیه ساعات نباید کمتر از پنج میلی گرم در لیتر باشد.
- مقدار BOD_5 حداکثر باید ۱۰۰ میلی گرم در لیتر باشد.

یادآوری: در موارد خاص مانند پساب صنایع غذائی میزان BOD_5 در مقادیر بالاتر از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر با تائید کمیسیونی مرکب از نمایندگان سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت کشاورزی و موسسه استاندارد بدون اشکال خواهد بود.

- مقدار COD حداکثر می تواند تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد.
- بر پایه حداقل پنج نمونه گیری ظرف ۳۰ روز تعداد کلیفرم های مدفوعی نباید از ۲۰۰ عدد در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه تجاوز کند.

یادآوری: حداکثر تا ۱۰ درصد نمونه های ماهیانه پساب صنعتی می تواند دارای تعداد ۴۰۰ کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه باشد.

- مجموع میکرب های کلیفرم با استفاده از جدول (M.P.N) نباید بیشتر از ۱۰۰۰ عدد به

ازاء ۱۰۰ میلی لیتر نمونه پساب باشد.

- درجه حرارت پســاب صنعتی هنگام تخلیه باید در حدی باشــد که تغییرات غیر عادی مؤثر بر حیــات گیاهی منطقه ایجاد نکند و در هر صورت حداکثــر درجه حرارت مجاز برابر ۳۰ درجه سلسیوس می باشد.

از آن جایی که نســبت جذب ســدیم از لحاظ نفوذپذیری آب و تهویه خاک و میزان کلراید، بُر و از نظر تولید مســمومیت گیاهی دارای اهمیت می باشــد، بنابراین عوامل مؤثر پساب صنعتی در این رابطه باید با جدول ۱۳ مطابقت نماید.

جدول ۱۳: حداکثر مجاز شوری آب و عوامل موثر از نظر تولید مسمومیت گیاهی (۲۱)

مشخصات	واحد	حداکثر مجاز
مواد جامد محلول	mg/l	۱۵۰۰
نسبت جذب سدیم (SAR تعدیل شده)	mmol/l	۹
کلرور	mg/l	۳۵۰
بور	mg/l	۱

ســایر ویژگی های شــیمیائی پســاب صنعتی جهت مصرف در آبیاری کشاورزی مطابق جدول ۱۴ است.

جدول ۱۴: حداکثر مواد شیمیایی در پساب صنعتی جهت مصارف آبیاری (۲۱)

نوع ترکیب شیمیایی	جهت آبیاری کشاورزی (mg/l)	
	برای تمام خاک ها	مصرف تا ۲۰ سال بر روی خاک سبک
آلومینیوم	۵	۲۰
آرسنیک	۰/۱	۲
بریلیوم	۰/۱	۵
بور	۱	۲
کادمیوم	۰/۰۱	۰/۰۵
کرم	۰/۱	۱
کبالت	۰/۰۵	۵
مس	۰/۲	۵
فلوئور	۱	۱۵
آهن	۵	۲۰

ادامه جدول ۱۴: حداکثر مواد شیمیایی در پساب صنعتی جهت مصارف آبیاری (۲۱)

نوع ترکیب شیمیایی	جهت آبیاری کشاورزی (mg/l)	
	برای تمام خاک ها	مصرف تا ۲۰ سال بر روی خاک سبک
سرب	۵	۱۰
لیتیوم	۲/۵	۲/۵
منگنز	۰/۲	۱۰
مولیبدن	۰/۰۱	۰/۰۵
نیکل	۰/۲	۲
سلینیوم	۰/۰۲	۰/۰۲
وانادیوم	۰/۱	۱
روی	۲	۱۰
جیوه	-	-
نیترات	۱۳۰	-
نیتریت	-	-

۶-۲ استانداردهای بین المللی استفاده مجدد از آب بازیافتی جهت آبیاری و بهسازی خاک

در مناطق مختلف جهان برای استفاده مجدد از آب بازیافتی جهت آبیاری و بهسازی خاک از استانداردهای متفاوتی استفاده می شود. در اصل این قوانین و مقررات جهت حفاظت سلامت عمومی برقرار شدند. استانداردهای مورد استفاده در آمریکا علی رغم سخت گیری های شدید حفاظت از سلامت عمومی را تضمین می کند (۱).

رهنمود سازمان جهانی بهداشت جهت آبیاری با آب بازیافتی (به طور گسترده در اروپا و مناطق دیگر استفاده می شود) یک استاندارد با مبنای علمی بوده که در سرتا سر جهان به طور موفقیت آمیزی در مصارف مجدد جهت آبیاری استفاده می شود (۸). معیارهای آب بازیافتی در کالیفرنیا (سند ۲۲)[1] نیز الزامات سختگیرانه ای در خصوص غیرفعال کردن میکربی در نظر گرفته است (تعداد کل کلیفرم در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر کمتر از ۲/۲). معیارهای آب برگشتی در کالیفرنیا سری فرایندهای تصفیه خاصی شامل صاف کردن (فیلتراسیون) و گندزدایی را برای تولید این آب جهت محصولات فاقد محدودیت آبیاری ملزم کرده اند (۱).

در سر تا سر جهان بیشترین استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه نشده در کشورهای چین، مکزیک

1. The California Water Recycling Criteria (Title 22 of the state Code of Regulations)

و هند است، در حالی که بیشترین استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در ایالات متحده آمریکا، عربستان سعودی و مصر می باشد. مناطق بزرگی در شیلی، مکزیک و قبرس نیز با پساب آبیاری می گردند (۲۳).

۶-۲-۱ رهنمود سازمان بهداشت جهانی به منظور استفاده مجدد از آب بازیافتی جهت آبیاری

در سال ۲۰۰۶، سازمان بهداشت جهانی (جدول ۱۶)، برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد و خواربار و کشاورزی راهنما های قدیمی تر را به روز کرده و استاندارد های کیفی برای استفاده مجدد از فاضلاب، مدفوع و آب خاکستری در بخش کشاورزی و آبزی پروری ارائه کردند. علاوه بر این، حداکثر غلظت برخی از ترکیبات آلی و معدنی قابل تحمل در خاک بر مبنای حفظ سلامت انسان در جدول ۱۵ آورده شده است.

جدول ۱۵: راهنمای سازمان جهانی بهداشت در مورد حداکثر غلظت برخی از ترکیبات آلی و معدنی قابل تحمل در خاک بر مبنای حفظ سلامت انسان (۸)

ترکیبات معدنی	خاک (mg/kg)	ترکیبات آلی	خاک (mg/kg)
نقره	۳	2,4-D	۰٫۲۵
آرسنیک	۸	2,4,5-T	۳٫۸۲
بور	۱٫۷	آلدرین	۰٫۴۸
باریم	۳۰۲	کلردان	۳
بریلیم	۰٫۲	دی‌آلدرین	۰٫۱۷
کادمیوم	۴	لیندان	۱۲
آهن	۶۳۵	د.د.ت	۱٫۵۴
جیوه	۷	PAHs	۱۶
مولیبدن	۰٫۶	PCDs	۰٫۸۹
نیکل	۱۰۷	PCDDs	۰٫۰۰۰۱۲
سرب	۸۴	بنزن	۰٫۱۴
آنتیموان	۳۶	کلروبنزن	۲۱۱
سلنیم	۶	تولوئن	۱۲
تالیوم	۰٫۳	فتالات	۱۳۷۳۳
وانادیوم	۴۷	پیرن	۴۱
-	-	استیرن	۰٫۶۸
-	-	توکزافن	۰٫۰۰۱۳

جدول ۱۶: راهنمای تجدید نظر شده ۱۹۸۹ سازمان بهداشت جهانی برای استفاده مجدد از آب بازیافتی یا فاضلاب در کشاورزی (در بخش های خاکستری رنگ مقادیر تجدید نظر و یا اضافه شده رهنمود نسبت به رهنمود اصلی آمده است) (۲۲)

گروه بندی	شرایط استفاده مجدد	گروه در معرض	روش آبیاری	تخم انگل در هر لیتر	کلی فرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر
A	نامحدود: محصولاتی که به صورت خام مصرف می شوند، میادین ورزشی، پارک های عمومی	کارگران، مصرف کنندگان، افراد جامعه	هرکدام از روش ها	کمتر یا مساوی ۰٫۱	کمتر یا مساوی 10^3
B	محدود: غلات، محصولات کشاورزی صنعتی، علوفه، مرتع و درختان	کارگران بیش از ۱۵ سال	پاششی/ بارانی	کمتر یا مساوی ۱	کمتر یا مساوی 10^5
		کارگران بیش از ۱۵ سال	غرقابی/ نشتی	کمتر یا مساوی ۱	کمتر یا مساوی 10^3
		کارگران و از جمله کودکان و همسایگان	هرکدام از روش ها	کمتر یا مساوی ۰٫۱	کمتر یا مساوی 10^3
C	آبیاری موضعی محصولات گروه B در صورتی که کارگران و افراد جامعه در مواجهه نباشند.	هیچکدام	قطره ای یا فواره ای	غیر قابل کاربرد	غیر قابل کاربرد

۶-۲-۲ رهنمود پیشنهادی برنامه محیط زیست سازمان ملل برای استفاده مجدد از آب بازیافتی در منطقه مدیترانه

توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل راهنما هایی برای استفاده مجدد از فاضلاب شهری در منطقه مدیترانه تنظیم و خطرات بهداشتی میکربی‌ولوژیکی و شیمیایی مشخص شد. آنها جهت استفاده مجدد چهار گروه را در نظر گرفتند: ۱) استفاده شهری و مسکونی ۲) آبیاری نامحدود و استفاده مجدد صنعتی ۳) آبیاری محدود کشاورزی و ۴) آبیاری قطره ای یا زیرسطحی (جدول ۱۷).

جدول ۱۷: راهنمای پیشنهادی برای استفاده مجدد از آب در منطقه مدیترانه (۲۳)

گروه بندی	تخم انگل در هر لیتر [الف]	کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر [ب]	کل جامدات معلق (mg/L)	تصفیه پیشنهادی
۱	کوچکتر یا مساوی ۰٫۱	کوچکتر یا مساوی ۲۰۰	کوچکتر یا مساوی ۱۰	ثانویه + فیلتراسیون + گندزدایی
۲	کوچکتر یا مساوی ۰٫۱	کوچکتر یا مساوی 10^3	کوچکتر یا مساوی ۲۰، کوچکتر یا مساوی ۱۵۰ [ج]	ثانویه + فیلتراسیون و یا ثانویه + ذخیره/ استخر های تکمیلی/ نفوذ
۳	کوچکتر یا مساوی ۱	کوچکتر یا مساوی 10^5	کوچکتر یا مساوی ۳۵، کوچکتر یا مساوی ۱۵۰ [ج]	ثانویه + چند روز ذخیره و یا استخر های اکسیداسیون
۴	هیچ	هیچ	مطابق با نیاز تکنولوژی آبیاری	حداقل تصفیه اولیه

الف: نیاز به پایش روزانه ندارد، ب: باید به صورت هفتگی و حداقل به صورت ماهانه پایش شود، ج: هنگام تصفیه با استخر های تثبیت

۶-۲-۳ محدودیت های اتحادیه اروپا برای استفاده مجدد از آب بازیافتی

در اروپا رهنمود تصفیه خانه فاضلاب شـهری (EEC / ۲۷۱/ ۹۱) راهنمایی برای اسـتفاده مجدد از فاضلاب تبیین نمی کند اما اسـتفاده مجدد از فاضلابی که «مناسـب» باشد را تشویق می کند. اسـتفاده مجدد مسـتقیم و یا تصفیه فاضلاب به طور عمده در جنوب اروپا (عمدتا اسپانیا تمرین، ایتالیـا، قبرس و مالـت) انجام می گردد که در آن کمبود آب بارزتر اسـت، اما تنها در حدود ۲/۴ درصد از کل پسـاب تصفیه شده در اروپا مورد استفاده مجدد قرار می گیرد. مجموعه ای از راهنما های موجود اسـتفاده مجدد آب بازیافتی در اروپا و محدودیت های جدید اعمال شـده بر اسـاس ارزیابی ریسـک برای گزینه های مختلف استفاده مجدد توسط AQUAREC تالیف شده است (جدول ۱۸).

جدول ۱۸: بررسی اجمالی محدودیت های شیمیایی در نظر گرفته شده در اروپا برای استفاده مجدد از آب بازیافتی (۲۴)

پارامتر	آبیاری جهت مقاصد شخصی و شهری	محیطی و آب کشت
پارامتر های اندازه گیری شده با تواتر خیلی زیاد (روزانه- هفتگی)		
pH	۶-۹٫۵	۶-۹٫۵
BOD	۱۰-۲۰	۱۰-۲۰
COD (یا TOC)	۱۰۰	۷۰-۱۰۰
اکسیژن محلول	بیشتر از ۰٫۵	بیشتر از ۳
جذب نور ماوراء بنفش ($cm^{-1}*10^3$)	۳۰-۷۰	۳۰-۷۰
هدایت الکتریکی (μmhos/cm)	۳۰۰۰	۳۰۰۰
کل جامدات معلق	۱۰-۲۰	۱۰-۲۰
کلر باقیمانده	۰٫۲-۱	۰٫۰۵
نیتروژن کل کجلدال	۱۵-۲۵	۱۰-۲۰
آمونیوم بر حسب نیتروژن	۲-۲۰	۱٫۴
پارامتر های اندازه گیری شده با تواتر زیاد (ماهیانه)		
نسبت جذب سدیم	۵	۵
سدیم	۱۵۰	۱۵۰-۲۰۰
نیترات	-	-
کلرید	۲۵۰	۲۵۰-۴۰۰
سولفات	۵۰۰	۵۰۰
فسفات کل	۲-۵	۰٫۲-۱

ادامه جدول ۱۸: بررسی اجمالی محدودیت های شیمیایی در نظر گرفته شده در اروپا برای استفاده مجدد از آب بازیافتی (۲۴)

پارامتر	آبیاری جهت مقاصد شخصی و شهری	محیطی و آب کشت
پارامتر های اندازه گیری شده با تواتر متوسط (ماهیانه- یک بار در سال)		
آرسنیک	۰/۰۲-۰/۱	۰/۰۲-۰/۱
بور	۰/۴	۰/۴
کادمیوم	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
کروم (کل)	۰/۱-۰/۰۱	۰/۱-۰/۰۱
کروم (سه ظرفیتی)	۰/۱	۰/۱
کروم (چهار ظرفیتی)	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
جیوه	۰/۰۰۲-۰/۰۰۱	۰/۰۰۲-۰/۰۰۱
سرب	۰/۱	۰/۱
فلوئور	۲-۱/۵	۲-۱/۵
مواد فعال سطحی	۱-۰/۵	۱-۰/۵
روغن معدنی	۰/۰۵	۰/۰۵
پارامتر های اندازه گیری شده با تواتر کم (یک بار در سال- یک بار در هر ۵ سال)		
آلومینیم	۵-۱	۵-۱
باریم	۱۰	۱۰
بریلیم	۰/۱	۰/۱
کبالت	۰/۰۵	۰/۰۵
مس	۱-۰/۲	۱-۰/۲
پارامتر های اندازه گیری شده با تواتر کم (یک بار در سال- یک بار در هر ۵ سال)		
آهن	۲	۲
لیتیم	۲/۵	۲/۵
منگنز	۰/۲	۰/۲
مولیبدن	۰/۰۱	۰/۰۱
نیکل	۰/۲	۰/۲
سلنیوم	۰/۰۲-۰/۰۱	۰/۰۲-۰/۰۱
قلع	۳	۳
تالیم	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
وانادیم	۰/۱	۰/۱
روی	۲-۰/۵	۲-۰/۵
سیانید (کل)	۰/۱-۰/۰۵	۰/۱-۰/۰۵
آفت کش ها	۰/۰۵	۰/۰۵
پنتا کلرو فنل	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA)	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

ادامه جدول ۱۸: بررسی اجمالی محدودیت های شیمیایی در نظر گرفته شده در اروپا برای استفاده مجدد از آب بازیافتی (۲۴)

پارامتر	آبیاری جهت مقاصد شخصی و شهری	محیطی و آب کشت
پارامتر های اندازه گیری شده با تواتر کم (یک بار در سال- یک بار در هر ۵ سال)		
تترا و تری کلرو متیلن	۰/۰۱	۰/۰۱
: نیتروزو دی متیل آمین(NDMA)	۰/۰۰۰۱*	-
تری هالومتان (THM)	۰/۰۳	۰/۰۳
آلدهید	۰/۵	۰/۵
حلال های آلی آروماتیک	۰/۰۱	۰/۰۱
بنزن	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
بنزو (آ) پیرن	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۱
کل فنل	۰/۱	۰/۱
ترکیبات مختل کننده غدد درون ریز	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۱*
PhAC	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۱*

* مقدار پیشنهادی

تعدادی از کشورها راهنماهای ملی یا منطقه ای را منتشر کرده اند. استاندارد های موجود بر اساس راهنمای سازمان جهانی بهداشت بوده (به عنوان مثال فرانسه، اسپانیا) و یا بر اساس استاندارد شماره ۲۲ ایالت کالیفرنیا می باشد (به عنوان مثال قبرس، ایتالیا).

۶-۲-۴ معیار های موقتی کیفیت برای آبیاری با آب بازیافتی در کشور قبرس

در کشور قبرس ۱۰۰ درصد فاضلاب تصفیه شده بازیافت شده و برای آبیاری شهری و کشاورزی (درختان و علوفه) استفاده می شود. مقررات بر مبنای استاندارد های سازمان جهانی بهداشت و استاندارد شماره ۲۲ ایالت کالیفرنیا بوده و بر این اساس رهنمود خاصی منتشر شده است (جدول ۱۹).

جدول ۱۹: معیار های موقتی کیفیت، برای آبیاری با آب بازیافتی در کشور قبرس (۲۳)

مورد مصرف درآبیاری		BOD_5 (mg/l)[1]	کل جامدات معلق (mg/l) [1]	کلیفرم مدفوعی (MPN / 100ml)[1]	تخم انگل در هر لیتر	تصفیه
همه محصولات (*)	A	۱۰	۱۰	۵ (۱۵)	هیچ	تصفیه ثانویه، پیشرفته و گندزدایی
سبزیجاتی که به صورت پخته خورده می‌شوند (**)	A	۱۰ (۱۵)	۱۰ (۱۵)	۵۰ (۱۰۰)	هیچ	تصفیه ثانویه، پیشرفته و گندزدایی
محصولات کشاورزی جهت مصارف انسانی. مناطق رفاهی با محدودیت دسترسی برای عموم.	A	۲۰ (۳۰)	۳۰ (۴۵)	۲۰۰ (۱۰۰۰)	هیچ	تصفیه ثانویه همراه با ذخیره سازی برای بیش از یک هفته و گندزدایی و یا تصفیه پیشرفته و گندزدایی.
	B	-	-	۲۰۰ (۱۰۰۰)	هیچ	استخرهای تثبیت تکمیلی با زمان ماند کل بیش از ۳۰ روز و یا تصفیه ثانویه و ذخیره سازی بیش از ۳۰ روز
محصولاتی که به عنوان خوراک دام استفاده می شوند.	A	۲۰ (۳۰)	۳۰ (۴۵)	۱۰۰۰ (۵۰۰۰)	هیچ	تصفیه ثانویه همراه با ذخیره سازی برای بیش از یک هفته و یا تصفیه پیشرفته و گندزدایی. استخر های تثبیت تکمیلی با زمان ماند کل بیش از ۳۰ روز و یا تصفیه ثانویه و ذخیره سازی بیش از ۳۰ روز
	B	-	-	-	-	
محصولات صنعتی	A	۵۰ (۷۰)	-	۳۰۰۰ (۱۰۰۰۰)	-	تصفیه ثانویه و گندزدایی. استخر های تثبیت تکمیلی با زمان ماند کل بیش از ۳۰ روز و یا تصفیه ثانویه و ذخیره سازی بیش از ۳۰ روز
	B	-	-	۳۰۰۰ (۱۰۰۰۰)	-	

A: روش های مکانیزه شـده تصفیه؛ B: اسـتخرهای تثبیت. ۱ تا ۸۰ درصد نمونه های برداشت شده در هر ماه (حداقل ۵ نمونه در هر ماه) نباید بیش از مقدار اول داشته باشند، مقدار داخل پرانتز حداکثر مقدار مجاز است.

* آبیاری سبزیجات برگ دار، سوخ ها و پداژه هایی که به صورت پخته نشده مصرف می شوند، مجاز نیست.

** سیب زمینی، چغندر، فیل. گوش

نکته: آبیاری سبزیجات مجاز نیست. آبیاری گیاهان زینتی برای مقاصد تجاری مجاز نمی باشد. وجود موادی که در بخش های خوراکی محصولات کشـاورزی تجمع می یابند و ثابت شده که برای انسان و یا حیوانات سمی هستند در آب بازیافتی مجاز نیست.

۶-۲-۵ توصیه های مربوط به استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور فرانسه

راهنما های کشـور فرانسـه (بر اسـاس رهنمود سازمان جهانی بهداشـت) اجازه استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شـده را می دهد، اگر محیط زیسـت، آبخوان و عموم مردم در معرض خطر نباشند در این رهنمود الزامات دیگری در مورد مدیریت آبیاری، زمان بندی و فاصله تا مناطق مسـکونی/

مناطـق تفریحی در نظر گرفته می شـود (جـدول ۲۰). با این حـال، از آب بازیافتی برای آبیاری در اطراف شـهر های بزرگ و به ویژه در جنوب کشـور فرانسـه، آبیاری در بخش کشـاورزی و در زمین های گلف استفاده می گردد.

جدول ۲۰: توصیه های مربوط به استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور فرانسه (۲۳)

گروه بندی	معیار	نوع آبیاری	رستنی ها	نوع تصفیه
A	وجود ندارد	آبیاری قطره ای سطحی یا زیرسطحی	غلات، محصولات صنعتی، علوفه، درختان میوه، جنگل و فضای سبز با دسترسی محدود	-
B	تخم انگل در هر لیتر کمتر یا مساوی با ۱	آبیاری سطحی یا جوی و پشته ای؛ آبیاری افشانه ای اگر انتشار آئروسل با رعایت فاصله بیشتر از ۱۰۰ متر تا مناطق مسکونی و ایجاد پرچین ها و غیره محدود شده باشد.	درختان میوه، غلات و علوفه و محصولات غذایی که به صورت پخته خورده می شوند، میادین ورزشی آبیاری چندین هفته قبل از استفاده متوقف شود.	برکه های تثبیت با زمان ماند بیش از ۱۰ روز یا معادل آن
C	تخم انگل در هر لیتر کمتر یا مساوی با ۱؛ کلیفرم مدفوعی در هر ۱۰۰ میلی لیتر کمتر از 10^4	روش های آبیاری که تماس محدود با محصولات دارند: بارانی کم فشار، سطحی، جوی و پشته ای، فاصله تا مناطق مسکونی بیشتر از ۱۰۰ متر.	درختان میوه، مرتع، محصولات غذایی که به صورت خام خورده می شوند، میادین ورزشی، زمین بازی گلف، فضا های سبز با دسترسی آزاد.	استخر های تثبیت با زمان ماند بیش از ۱۰ روز یا معادل آن

پیش نویس جدید مقررات در فرانسه (نوامبر ۲۰۰۰) بر اساس معیار های زیر است:
(a) تصفیـه ثانویـه (رهنمود اتحادیـه اروپا ، ۱۹۹۱): جامدات معلق کمتر از ۳۵ میلی‌گـرم در لیتر و COD کل کمتر از ۱۲۵ میلی‌گـرم در لیتر، برای پسـاب تالاب: جامدات معلق کمتـر از ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، COD محلول کمتر از ۱۲۵میلی‌گرم در لیتر، اشرشـیاکلی کمتر از ۱۰۰۰ در ۱۰۰میلی لیتر و هیچ سـالمونلا و تخم تنیا وجود نداشته باشد، (b) فاصله محل آبیاری (از جاده ها، خانه ها) بیشـتر یا مسـاوی ۵۰ متر، (ج) آبیاری افشـانی در خارج از ساعت کاری. آبپاش با پاشش کم توصیه می شود.

۶-۲-۶ اسـتاندارد میکربـی و فیزیکو شـیمیایی برای آبیاری بـا آب بازیافتی در کشور ایتالیا

در کشـور ایتالیا چون منابع آب کمیاب اسـت (به خصوص در جنوب)، از آب بازیافتی برای آبیاری باغ ها، مزارع انگور و سـبزیجات اسـتفاده می شود. اسـتفاده کنترل نشده برای چندین دهه ادامه داشـته اما در سـال ۲۰۰۳، کشـور ایتالیا استاندارد های اسـتفاده مجدد از آب بازیافتی را منتشر کرد که شـامل ۵۴ پارامتر اسـت (جدول ۲۲). در مناطق شهری شبکه های جداگانه ای برای آب بازیافتی در نظر گرفته شده و یا از قبل وجود داشته است. برخی از استاندارد های میکرو بیولوژیکی منطقه ای براساس راهنما های قدیمی تر کشور ایتالیا ایجاد شده است (جدول ۲۱).

جدول ۲۱: استاندارد های میکربی و فیزیکو شیمیایی برای آبیاری با آب بازیافتی در کشور ایتالیا (۲۳)

منطقه	آبیاری	کل کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر[a]	فیزیکو شیمیایی
استاندارد های ملی	نامحدود (b)	۲	نسبت جذب سدیم کمتر یا مساوی ۱۵
	محدود (c)	۲۰	
امیلیا روماگنا	نامحدود	۲	-
	محدود	۲۰	
پوگلیا	نامحدود	۲	BOD_5=۱۵ mg/l ، COD =۴۰ mg/l TSS=۱۰mg/l، کلر باقیمانده=۰٫۲ ، pH= ۶٫۵ -۸٫۵
	محدود	۲۰	
سیسیل	محدود	۳۰۰۰	BOD_5=۴۰ mg/l ،COD =۱۶۰mg/l TSS=۳۰mg/l، کلر باقیمانده=۰٫۲ ، pH= ۶٫۵ -۸٫۵
	آبیاری برای محصولاتی که در تماس مستقیم با آب بازیافتی هستند منع شده است	۱۰۰۰ کلیفرم مدفوعی در هر ۱۰۰ میلی لیتر، یک تخم انگل در هر لیتر، سالمونلا تشخیص داده نشده	

a: مقدار متوسط حاصل از ۷ روز نمونه برداری متوالی. B: آبیاری نا محدود: محصولاتی که می توانند به صورت خام خورده شوند. C: آبیاری محدود: مرتع

جدول ۲۲: الزامات کیفی برای آبیاری با آب بازیافتی در ایتالیا (۲۴)

پارامتر	استاندارد	پارامتر	استاندارد	پارامتر	استاندارد
نسبت جذب سدیم	۱۰	سیانید (mg/l)	۰٫۰۵	روغن و چربی (mg/l)	۱۰
کل جامدات معلق (mg/l)	۱۰	سولفید هیدروژن (mg/l)	۰٫۵	روغن های معدنی (mg/l)	۰٫۰۵
BOD_5 (mg/l)	۲۰	سولفیت (mg/l)	۰٫۵	فنل کل (mg/l)	۰٫۱
COD (mg/l)	۱۰۰	سولفات (mg/l)	۵۰۰	پنتا کلرو فنل (mg/l)	۰٫۰۰۳
فسفر کل (mg/l)	۲	کلر باقیمانده (mg/l)	۰٫۲	آلدئید کل (mg/l)	۰٫۵
نیتروژن کل (mg/l)	۱۵	کلراید (mg/l)	۲۵۰	تترا-/ تری کلرواتیلن (mg/l)	۰٫۰۱
آمونیوم (mg/l)	۲	فلوراید (mg/l)	۱٫۵	حلال های کلردار (mg/l)	۰٫۰۴
هدایت الکتریکی (μmhos/cm)	۳۰۰۰	جیوه (mg/l)	۰٫۰۰۱	تری هالو متان کل (mg/l)	۰٫۰۳
آلومینیوم (mg/l)	۱	منگنز (mg/l)	۰٫۲	حلال های آروماتیک (mg/l)	۰٫۰۰۱
ارسنیک (mg/l)	۰٫۰۲	نیکل (mg/l)	۰٫۲	بنزن (mg/l)	۰٫۰۱
باریم (mg/l)	۱۰	سرب (mg/l)	۰٫۱	بنزو (آ) پیرن (µg/l)	۰٫۰۱
بُر (mg/l)	۱	سلنیم (mg/l)	۰٫۰۱	حلال های نیتروژن دار (mg/l)	۰٫۰۱

ادامه جدول ۲۲: الزامات کیفی برای آبیاری با آب بازیافتی در ایتالیا (۲۴)

پارامتر	استاندارد	پارامتر	استاندارد	پارامتر	استاندارد
کادمیم (mg/l)	۰/۰۰۵	قلع (mg/l)	۳	شوینده ها (mg/l)	۰/۵
کبالت (mg/l)	۰/۰۵	تالیم (mg/l)	۰/۰۰۱	آفت کش های دیگر (mg/l)	۰/۰۵
کرم کل (mg/l)	۰/۱	وانادیم (mg/l)	۰/۱	اشرشیاکلی (FU/100 ml) (۸۰ درصد نمونه ها)	۱۰
کرم (VI) (mg/l)	۰/۰۰۵	روی (mg/l)	۰/۵	اشرشیاکلی (FU/100 ml) (تالاب مصنوعی)	۵۰
مس (mg/l)	۱	سموم کلر دار (µg/l)	۰/۱	اشرشیاکلی (CFU/100 ml) (استخر های تثبیت فاضلاب)	۱۰۰
آهن (mg/l)	۲	آفت کش های فسفر دار (µg/l)	۰/۰۱	سالمونلا (CFU/100 ml)	ناچیز

۶-۲-۷ راهنمای کیفی برای استفاده مجدد از آب بازیافتی در مناطق مختلف کشور اسپانیا

کشور اسپانیا بالاترین مقدار آب بازیافتی را در اروپا استفاده می کند و کاربرد های اصلی آن آبیاری مزارع انگور، باغ ها و زمین گلف، تغذیه آب های زیر زمینی جهت متوقف کردن نفوذ آب دریا و تقویت جریان رودخانه است. به خصوص در امتداد ساحل مدیترانه و در جزایر قناری و بالئارس، که در آن آب کمیاب است، بسیاری از طرح های استفاده مجدد در این مناطق توسعه یافته است. مقررات توسط مقامات منطقه ای مدیریت شده و در حال حاضر سه راهنمای منطقه ای مختلف بکار می رود (جزایر بالئارس، کاتالونیا و اندلس) (جدول ۲۳ برای اندلس). در نهایت راهنمای ملی در دسامبر ۲۰۰۷ تصویب شده که بر کنترل خطر نیز تاکید گردیده است. معیارهای کیفیت (جدول ۲۴) حداقل الزامات در نظر گرفته شده بوده و مقامات منطقه ای می توانند مقادیر سختگیرانه تری را نیز وضع نمایند.

جدول ۲۳: راهنمای کیفی برای استفاده مجدد از آب بازیافتی در منطقه اندلس کشور اسپانیا (۲۳)

نوع کاربرد	کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی‌لیتر	تخم انگل در هر لیتر
آبیاری میادین ورزشی و پارک های دارای دسترسی عمومی	کمتر از ۲۰۰	کمتر از یک
سبزیجاتی که به صورت خام مصرف می شوند.	کمتر از ۱۰۰۰	کمتر از یک
تولید زیست توده به منظور مصرف انسان و خنک کردن مدار های باز	کمتر از ۱۰۰۰	بدون تخم انگل
دریاچه های تفریحی	کمتر از ۲۰۰۰	کمتر از یک
خنک کردن در مدار نیمه باز	کمتر از ۱۰۰۰۰	بدون تخم انگل
محصولات صنعتی، بذر های علوفه ای خشک، جنگل ها، سبزیجات کنسروی یا پخته	فاقد کلیفرم مدفوعی	کمتر از یک
آبیاری فضای سبز که عموم دسترسی ندارند، تولید زیست توده که به منظور مصارف انسانی نیست، دریاچه های تفریحی که دسترسی به آن ممنوع شده است.	فاقد کلیفرم مدفوعی	بدون تخم انگل

جدول ۲۴: پیش نویس استاندارد کیفیت آب بازیافتی در کشور اسپانیا پیشنهاد CEDEX (۲۳)

	استفاده از آب بازیافتی	معیار کیفیت				
		تخم انگل در هر لیتر	اشرشیاکلی (CFU/100ml)	کل مواد معلق جامد (mg/l)	کدورت (NTU)	معیار های دیگر
۱	استفاده خانگی: آبیاری باغچه، فلاش تانک، سیستم های تهویه مطبوع خانگی، شست و شوی ماشین (برای مصرف انسان نیست).	کمتر از ۰٫۱	صفر	کمتر از ۱۰	کمتر از ۲	-
۲	قابلیت و استفاده شهری: آبیاری، شست و شوی خیابان، آتش نشانی، آبنما (برای سیستم های خنک کننده صنعتی و یا صنایع غذایی نیست).	کمتر از یک	کمتر از ۲۰۰	کمتر از ۲۰	کمتر از ۵	-
۳	آبیاری محصولات گلخانه ای	کمتر از یک	کمتر از ۲۰۰	کمتر از ۲۰	کمتر از ۵	لژیونلا پنوموفیلا (صفر CFU در هر ۱۰۰ میلی لیتر)
۴	آبیاری محصولاتی که به صورت خام مصرف می شوند. درختان میوه که به روش بارانی آبیاری شده اند.	کمتر از یک	کمتر از ۲۰۰	کمتر از ۲۰	کمتر از ۵	-
۵	آبیاری مراتع جهت پرورش حیواناتی که از شیر یا گوشت آنها استفاده می شود.	کمتر از یک	کمتر از ۱۰۰۰	کمتر از ۳۵	-	تنیا ساژیناتا و سولیوم کمتر از یک تخم در هر لیتر

ادامه جدول ۲۴: پیش نویس استاندارد کیفیت آب بازیافتی در کشور اسپانیا پیشنهاد CEDEX (۲۳)

	استفاده از آب بازیافتی	معیار کیفیت				
		تخم انگل در هر لیتر	اشرشیاکلی (CFU/100ml*)	کل مواد معلق جامد (mg/l)	کدورت (NTU)	معیار های دیگر
۶	آبیاری محصولاتی که بعد از کنسرو کردن مصرف می شوند و محصولاتی که به صورت خام خورده نمی شوند. آبیاری درختان میوه به استثنای درختان میوه که به روش بارانی آبیاری شده اند.	کمتر از یک	کمتر از ۱۰۰۰	کمتر از ۳۵	-	-
۷	آبیاری محصولات زراعی صنعتی، قلمستان ها، علوفه، غلات و دانه های روغنی.	کمتر از یک	کمتر از ۱۰۰۰۰	کمتر از ۳۵	-	-
۸	آبیاری محل های درختکاری شده، چشم انداز ها و مناطق با دسترسی محدود، جنگل کاری	کمتر از یک	-	کمتر از ۳۵	-	-
۹	خنک کننده صنعتی به استثنای خنک کننده های مصرفی در صنایع غذایی	-	کمتر از ۱۰۰۰۰	کمتر از ۳۵	-	لژیونلا پنوموفیلا (صفر CFU در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر)
۱۰	آبگیر ها، توده های آب و جویبار هایی که جهت مقاصد تفریحی مورد استفاده قرار گرفته و تماس افراد با آب مجاز است. (به جز شنا)	کمتر از یک	کمتر از ۲۰۰	کمتر از ۳۵	-	باید عاری از بو باشد
۱۱	آبگیر ها، توده های آب و جویبار هایی که جهت مقاصد تفریحی مورد استفاده قرار گرفته و تماس افراد با آب مجاز نیست.	-	-	کمتر از ۳۵	-	باید عاری از بو باشد
۱۲	آب کشت (زیست توده گیاهی یا حیوانی)، (برای صدف های فیلتر کننده نیست)	کمتر از یک	کمتر از ۱۰۰۰	کمتر از ۳۵	-	-
۱۳	تغذیه سفره های آب توسط عبور از خاک (حداقل ضخامت ۱/۵ متر)	کمتر از یک	کمتر از ۱۰۰۰	کمتر از ۳۵	-	کل نیتروژن کمتر از ۵۰ میلی گرم در لیتر
۱۴	تغذیه سفره های آب از طریق تزریق مستقیم	کمتر از ۰/۱	۰	کمتر از ۱۰	کمتر از ۲	کل نیتروژن کمتر از ۵۰ میلی گرم

CFU: واحد تشکیل کلنی

۶-۲-۸ معیار های کیفیت آب بازیافتی برای آبیاری در کشور ترکیه

از سال ۱۹۹۱ ترکیه دارای مقرراتی برای استفاده از آب بازیافتی در کشاورزی است. این مقررات بر طبق قوانین کنترل آلودگی آب می باشد که بر اساس استاندارد های سازمان جهانی بهداشت است (جدول ۲۵). همچنین استاندارد هایی نیز برای فلزات سنگین دارد (جدول ۲۶). با توجه به خطر سدیم و شوری پنج کلاس آب بازیافتی در نظر گرفته شده است. در این کشور برای استفاده مجدد باید مجوز های لازم را اخذ کرد (۲۴).

جدول ۲۵: معیار های کیفیت آب بازیافتی برای آبیاری در کشور ترکیه (۲۴)

	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	کلاس ۵
خطر سدیم و شوری	خیلی کم	کم	متوسط	با احتیاط قابل استفاده	غیر قابل استفاده
کل مواد معلق (mg/l)	۲۰	۳۰	۴۵	۶۰	بیشتر از ۱۰۰
BOD_5 (mg/l)	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	بیشتر از ۲۰۰
آمونیوم (mg/l)	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۳۰	۳۰-۵۰	بیشتر از ۵۰
نیترات (mg/l)	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۳۰	۳۰-۵۰	بیشتر از ۵۰
کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر	۰-۲	۲-۲۰	۲۰-۱۰۰	۱۰۰-۱۰۰۰	بیشتر از ۱۰۰۰
pH	۶٫۵-۸٫۵	۶٫۵-۸٫۵	۶٫۵-۸٫۵	۶-۹	کمتر از ۶ یا بیشتر از ۹
هدایت الکتریکی (μmhos/cm)	۰-۲۵۰	۲۵۰-۷۵۰	۷۵۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۳۰۰۰	بیشتر از ۳۰۰۰
کل جامدات محلول (mg/l)	۰-۱۷۵	۱۷۵-۵۲۵	۵۲۵-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۲۱۰۰	بیشتر از ۲۱۰۰
درصد سدیم	کمتر از ۲۰	۲۰-۴۰	۴۰-۶۰	۶۰-۸۰	بیشتر از ۸۰
نسبت جذب سدیم	کمتر از ۱۰	۱۰-۱۸	۱۸-۲۶	کمتر از ۲۶	-
کربنات سدیم (mg/l)	کمتر از ۶۶	۶۶-۱۳۳	۱۳۳-۶۲۵	۶۲۵-۷۱۰	-
کلراید (mg/l)	۰-۱۴۲	۱۴۲-۲۴۹	۲۴۹-۴۲۶	۴۲۶-۷۱۰	بیشتر از ۷۱۰
سولفات (mg/l)	۰-۱۹۲	۱۹۲-۳۳۶	۳۳۶-۵۷۵	۵۷۵-۹۶۰	بیشتر از ۹۶۰
بُور (mg/l)	۰-۰٫۵	۰٫۵-۱٫۱۲	۱٫۱۲-۲٫۰	بیشتر از ۲	

جدول ۲۶: حداکثر غلظت عناصر سمی در آب بازیافتی مورد استفاده در آبیاری در کشور ترکیه (۲۴)

عنصر	حداکثر غلظت (mg/l)	عنصر	حداکثر غلظت (mg/l)	عنصر	حداکثر غلظت (mg/l)
آلومینیوم	۵٫۰	سرب	۵٫۰	نیکل	۰٫۲
ارسنیک	۰٫۱	لیتیم	۲٫۵	سلنیم	۰٫۰۲
بریلیم	۰٫۱	منگنز	۰٫۲	وانادیم	۰٫۱
کادمیم	۰٫۰۱	مولیبدن	۰٫۰۱	روی	۲٫۰
کرم	۰٫۱	مس	۰٫۲	فلوئور	۱٫۰
کبالت	۰٫۰۵	آهن	۵٫۰	–	–

۶-۲-۹ معیار های سازمان حفاظت محیط زیست کشور استرالیا جهت استفاده از آب بازیافتی

استرالیا یک کشور کم آب بوده که دچار خشکسالی های طولانی مدت شده و به همین دلیل استفاده مجدد از آب بازیافتی در این کشور افزایش یافته است (در سال ۲۰۰۶ بیشتر از ۲۰ درصد کل پساب در استرالیای جنوبی). عمده مصرف این آب کشاورزی و مصارف غیر آشامیدنی روستایی است. رهنمود جدید جهت مصارف عمومی بوده و شامل فاضلاب و آب خاکستری است که در سال ۲۰۰۶ انتشار یافته و در سال ۲۰۰۹ به بعد استفاده مجدد از سیلاب ها، مدیریت آبخوان، تغذیه و بازیافت آب برای آشامیدن جایگزین رهنمود های ملی آب استرالیا شد (جدول۲۷).

جدول ۲۷: معیار های سازمان حفاظت محیط زیست کشور استرالیا جهت پارامتر های معدنی آب بازیافتی مورد استفاده جهت آبیاری (۲۳)

پارامتر	مقادیر راهنما جهت کیفیت آب آبیاری (mg/l)
pH	۴/۵-۹
شوری	-
آمونیاک	-
آلومینیوم	۵
آرسنیک	۰/۱
بریلیم	۰/۱
کادمیم	۰/۰۱
کرم	۱
کبالت	۰/۰۵

ادامه جدول ۲۷: معیار های سازمان حفاظت محیط زیست کشور استرالیا جهت پارامتر های معدنی آب بازیافتی مورد استفاده جهت آبیاری (۲۳)

پارامتر	مقادیر راهنما جهت کیفیت آب آبیاری (mg/l)
مس	۰/۲
فلوراید	۱
آهن	۱
سرب	۰/۲
لیتیم	۲/۵
منگنز	۲
جیوه	۰/۰۰۲
مولیبدن	۰/۰۱
نیکل	۰/۲
سلنیم	۰/۰۲
اورانیم	۰/۰۱
وانادیم	۰/۱
روی	۲

۶-۲-۱۰ استاندارد کشور مکزیک جهت استفاده از آب بازیافتی

در کشـــور مکزیک مقدار بســـیار زیادی از فاضلاب (حدود ۸۵ درصد کل جریان پساب) در آبیاری کشـــاورزی و به صورت تصفیه شده (۳۵ درصد) و یا تصفیه نشده (۶۵ درصد) مورد استفاده مجدد قرار می گیرد. به دلیل افزایش بیماری ها، در ســـال ۱۹۹۱ اســـتاندارد هایی برقرار شـــده و قبل از آخرین تجدید نظر آن در سال ۱۹۹۶ چندین بار مورد تجدید نظر قرار گرفت (جدول ۲۸).

جدول ۲۸: استاندارد کشور مکزیک و تغییرات پیشنهادی آن (۲۴)

آبیاری	استاندارد مکزیک		آخرین استاندارد پیشنهادی مکزیک	
	کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر*	تخم انگل در هر لیتر	کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر*	تخم انگل در هر لیتر
محدود	کمتر یا مساوی ۱۰۰۰	کمتر یا مساوی ۵	کمتر یا مساوی ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰	کمتر یا مساوی ۰٫۱ تا ۱٫۰
غیر محدود	کمتر یا مساوی ۱۰۰۰	کمتر یا مساوی ۱	کمتر یا مساوی ۱۰۰۰	کمتر یا مساوی ۰٫۱ تا ۱٫۰

* متوسط ماهیانه، متوسط روزانه ۲۰۰۰ کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی‌لیتر . آبیاری نا محدود برای تمام محصولات زراعی، آبیاری محدود محصولات سالادی و سبزیجاتی که خام خورده می شوند را شامل نمی شود.

۶-۲-۱۱ راهنمای استفاده از آب بازیافتی در کشور های خاورمیانه و شمال آفریقا

استفاده مجدد از آب برای قرن ها در مناطق خاورمیانه و شمال آفریقا متداول بوده اما عمدتا از فاضلاب خام در این مورد استفاده می شده است. به دلیل کمبود آب در این منطقه اغلب کشور های این منطقه مانند اردن و سوریه اقدام به بازیافت فاضلاب و استفاده از آب بازیافتی کرده اند. کشور های عربی را می توان با توجه به استاندارد های تصفیه فاضلاب و قوانین استفاده از آب بازیافتی به سه دسته تقسیم نمود:

۱- تصفیه پیشرفته فاضلاب و استفاده از پساب و آب بازیافتی برای آبیاری نامحدود مانند کشورهای بحرین، عمان، عربستان سعودی، قطر، کویت و امارات متحده عربی.
۲- قوانین محدود برای دفع فاضلاب که مطابق با استاندارد های بین‌المللی نبوده، دفع فاضلاب خام ممنوع است و قوانینی برای آبیاری محدود وجود دارد مانند کشورهای مصر، اردن، عراق، مراکش، سوریه و تونس.
۳- دفع فاضلاب خام بدون در نظر گرفتن مسائل محیط زیستی، بهداشتی و استفاده از فاضلاب خام مانند کشور های لبنان، فلسطین و یمن. مقایسه ای بین مقادیر رهنمود این کشور ها در جدول ۲۹ آورده شده است.

جدول ۲۹: راهنمای استفاده از آب بازیافتی در برخی از کشور های واقع در خاورمیانه و آفریقای شمالی (۲۷)

	کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر	تخم انگل در هر لیتر	BOD_5, COD, NO_x, TSS, EC	مجاز بودن مصرف محصولات خام	آیین کار
عمان	۲۰۰	کمتر از ۱	بلی	بلی	-
عربستان سعودی	۲/۲	کمتر از ۱	بلی	خیر	دارد
کویت	۲۰	کمتر از ۱	بلی	خیر	دارد
مصر	دارای احکام، اما استاندارد خاصی وجود ندارد				
اردن	۱۰۰	کمتر از ۱	بلی	خیر	دارد
مراکش	۱۰۰۰	فاقد راهنما	بلی	بلی	خیر
سوریه	۱۰۰۰	کمتر از ۱	بلی	خیر	دارد
تونس	-	کمتر از ۱	بلی	خیر	دارد
فلسطین	۱۰۰۰	کمتر از ۱	بلی	خیر	دارد
لبنان	پیش نویس راهنما دارد				

۶-۲-۱۱-۱ راهنمای استفاده مجدد از آب بازیافتی در فلسطین اشغالی

در فلسطین اشغالی برای دهه ها از آب بازیافتی استفاده شده و حدود ۷۵ درصد از فاضلاب برای آبیاری و تغذیه آب زیر زمینی بازیافت می‌گردد. آب بازیافتی باید مورد تایید مقامات ذی صلاح بوده و با استاندارد های سند شماره ۲۲ ایالت کالیفرنیای آمریکا مطابقت داشته باشد (جدول ۳۰). رهنمود به روز رسانی شده فلسطین اشغالی و معیار های جدید برای شوری، بور، فلزات سنگین و مواد مغذی در نظر گرفته شده که برای مصارف آبیاری و تخلیه به محیط زیست متفاوت می باشد که در جدول ۳۱ آورده شده است.

جدول ۳۰: معیار های استفاده مجدد از آب بازیافتی برای آبیاری در فلسطین اشغالی (۲۴)

پارامتر	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴
BOD_5 کل (mg/l)	۱۵	۳۵	۴۵*	۶۰*
BOD_5 محلول (mg/l)	۱۰	۲۰	-	-
کل مواد معلق (mg/l)	۱۵	۳۰	۴۰*	۵۰*
اکسیژن محلول (mg/l)	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر	۱۲(۸۰ درصد) ۲/۲ (۵۰ درصد)	۲۵۰	-	-
کلر باقیمانده (mg/l)	۰/۵	۰/۱۵	-	-
فیلتر شنی یا سیستم معادل آن	لازم است	-	-	-

ادامه جدول ۳۰: معیار های استفاده مجدد از آب بازیافتی برای آبیاری در فلسطین اشغالی (۲۴)

پارامتر	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴
کلرزنی (حداقل زمان تماس، بر حسب دقیقه)	۱۲۰	۶۰	–	–
فاصله از مناطق مسکونی (m)	–	–	۲۵۰	۳۰۰
فاصله از جاده آسفالت (m)	–	–	۲۵	۳۰

۱: محصولات نامحدود، از جمله سبزیجاتی که به صورت نپخته (خام) خورده می شوند، پارک ها و چمن زارها.
۲: درختان میوه برگ ریز (آبیاری باید ۲ هفته قبل از چیدن میوه متوقف شده و هیچ میوه ای نباید از زمین برداشت گردد)، سبزیجات کنسروی، سبزیجات پخته یا پوست گرفته شده، فضای سبز، زمین فوتبال و گلف.
۳: علوفه سبز، زیتون، بادام زمینی، مرکبات، موز، بادام، میوه های مغز دار و غیره.
۴: پنبه، چغندر قند، غلات، حبوبات، دانه خشک علوفه، آبیاری جنگل، و غیره.
* برای استخرهای تثبیت با زمان ماند حداقل ۱۵روز استاندارد های مختلف تعیین خواهد شد.

جدول ۳۱: استاندارد های آب بازیافتی و تصفیه فاضلاب مربوط به وزارت حفاظت از محیط زیست فلسطین اشغالی (۲۴)

پارامتر	آبیاری بدون محدودیت	پارامتر	آبیاری بدون محدودیت
هدایت الکتریکی (Ds/m)	۱٫۴	آلومینیوم (mg/l)	۵
BOD (mg/l)	۱۰	ارسنیک (mg/l)	۰٫۱
کل جامدات معلق (mg/l)	۱۰	بُر (mg/l)	۰٫۴
COD (mg/l)	۱۰۰	برلیم (mg/l)	۰٫۱
آمونیوم (mg/l)	۱۰	کادمیم (mg/l)	۰٫۰۱
نیتروژن کل (mg/l)	۲۵	کبالت (mg/l)	۰٫۰۵
فسفر کل (mg/l)	۵	کرم (mg/l)	۰٫۱
کلرید کل (mg/l)	۲۵۰	مس (mg/l)	۰٫۲
فلوراید کل (mg/l)	۲	آهن (mg/l)	۲
سدیم کل (mg/l)	۱۵۰	جیوه (mg/l)	۰٫۰۰۲
کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی‌لیتر	۱۰	لیتیم (mg/l)	۲٫۵
اکسیژن محلول (mg/l)	کمتر از ۰٫۵	منگنز (mg/l)	۰٫۲
pH	۶٫۵-۸٫۵	مولیبدن (mg/l)	۰٫۰۱
کلر باقیمانده (mg/l)	۱	نیکل (mg/l)	۰٫۲
شوینده آنیونی (mg/l)	۲	سرب (mg/l)	۰٫۱
کل روغن (mg/l)	–	سلنیم (mg/l)	۰٫۰۲
SAR $(mmol/l)^{0.5}$	۵	وانادیم (mg/l)	۰٫۱
سیانید (mg/l)	۰٫۱	روی (mg/l)	۲

۶-۲-۱۱-۲ استاندارد کشور اردن برای استفاده مجدد از آب بازیافتی

کشور اردن با کمبود جدی آب مواجه است و پیشرفت های بزرگی در گسترش شبکه جمع آوری فاضلاب و تصفیه آن داشته است. تمامی فاضلاب تصفیه خانه سمرا در نزدیکی شهر عمان (استخر های بزرگ تثبیت فاضلاب، به مساحت ۱۸۰ هکتار) با آب شیرین مخلوط می شود (به دلیل تبخیر از سطح استخر ها میزان شوری برای آبیاری مستقیم بیش از حد بالا است) و برای آبیاری نامحدود در دره اردن مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده مجدد غیر مستقیم با تخلیه پساب تصفیه شده به وادی ها و بعدا استخراج آن برای آبیاری انجام می شود. از آب بازیافتی برای تغذیه آبخوان در نزدیکی عقبه نیز استفاده می شود. از سال ۱۹۹۸ استفاده مجدد از فاضلاب در «استراتژی ملی آب» گنجانده و توسط دولت تشویق و خواستار بررسی گزینه های استفاده مجدد برای همه پروژه های جدید تصفیه فاضلاب شده است. راهنماهای مربوط به گزینه های مختلف استفاده مجدد در سال ۱۹۹۵ منتشر شد. استانداردهای بازنگری شده سختگیرانه تر در سال ۲۰۰۳ تصویب و در آن آبیاری سبزیجاتی که به صورت خام مصرف می‌شوند و تغذیه سفره های آب برای استفاده شرب منع شده است. در این کشور استفاده از آبیاری به روش بارانی جهت استفاده از آب بازیافتی و آبیاری دو هفته قبل از برداشت نیز ممنوع است. علاوه بر این تجدید نظر در سال ۲۰۰۶ (جدول ۳۲ و ۳۳) استاندارد آب بازیافتی برای تخلیه به وادی و یا مورد استفاده برای آبیاری مشخص کرده و سختگیری کمتری برای BOD، COD و اشریشیا کلی کرده است (۲۴).

جدول ۳۲: استاندارد کشور اردن برای استفاده آب بازیافتی در آبیاری با توجه به نوع مصرف (۲۴)

پارامتر	سبزیجات پختنی، پارک، زمین های بازی، کناره های راه ها در محدوده شهر	درختان میوه، کناره های راه ها در خارج از محدوده شهر، مناظر	نباتات مزرعه ای، نباتات صنعتی و درختان جنگل
BOD (mg/l)	۳۰	۲۰۰	۳۰۰
COD (mg/l)	۱۰۰	۵۰۰	۵۰۰
اکسیژن محلول (mg/l)	بیشتر از ۲	-	-
کل جامدات معلق (mg/l)	۵۰	۲۰۰	۳۰۰
pH	۶-۹	۶-۹	۶-۹
کدورت (NTU)	۱۰	-	-
نیترات (mg/l)	۳۰	۴۵	۷۰
نیتروژن کل (mg/l)	۴۵	۷۰	۱۰۰

ادامه جدول ۳۲: استاندارد کشور اردن برای استفاده آب بازیافتی در آبیاری با توجه به نوع مصرف (۲۴)

پارامتر	سبزیجات پختنی، پارک، زمین های بازی، کناره های راه ها در محدوده شهر	درختان میوه، کناره های راه ها در خارج از محدوده شهر، مناظر	نباتات مزرعه ای، نباتات صنعتی و درختان جنگل
کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی‌لیتر	کمتر از ۱۰۰	کمتر از ۱۰۰۰	نامحدود
تخم انگل در هر لیتر	کمتر و مساوی ۱	کمتر و مساوی ۱	کمتر و مساوی ۱
روغن و چربی (mg/l)	۸	۸	۸

جدول ۳۳: مقادیر راهنمای تجدید نظرشده برای استفاده آب بازیافتی در آبیاری در کشور اردن در سال ۲۰۰۴ (۲۴)

پارامتر (mg/l)	آبیاری	پارامتر (mg/l)	آبیاری
کل جامدات محلول	۱۵۰۰	ارسنیک	۰٫۱
کل فسفر	۳۰	بریلیم	۰٫۱
کلرید	۴۰۰	کادمیم	۰٫۰۱
سولفات	۵۰۰	کبالت	۰٫۰۵
بی کربنات	۴۰۰	کرم کل	۰٫۱
سدیم	۲۳۰	مس	۰٫۲
منیزیم	۱۰۰	جیوه	۰٫۰۰۲
کلسیم	۲۳۰	لیتیم	۲٫۵ (برای مرکبات ۰٫۰۷۵)
نسبت جذب سدیم	۹	منگنز	۰٫۲
سیانید	۰٫۱	مولیبدن	۰٫۰۱
فنل	کمتر از ۰٫۰۰۲	نیکل	۰٫۲
MBAS	۱۰۰	سرب	۰٫۲
آلومینیوم	۰٫۰	سلنیم	۰٫۰۵
بُر	۱	وانادیم	۰٫۱
فلوراید	۲	روی	۵
آهن	۵	کلر باقیمانده	-

۶-۲-۱۱-۳ استاندارد کیفیت برای استفاده مجدد از آب بازیافتی در آبیاری در کشور مراکش

در کشور مراکش تعداد مشترکین شبکه فاضلاب کم بوده و حتی تصفیه خانه های فاضلاب آن نیز کارایی لازم را نداشته و در نتیجه فاضلاب به طور عمده به رودخانه و دریا دفع و یا بدون تصفیه مناسب مورد استفاده مجدد قرار می گیرد اما استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در حال افزایش است. از سال ۲۰۰۲ مقررات برای آبیاری و بر اساس دستور العمل ۱۹۸۹ سازمان بهداشت

جهانی وجود دارد (جدول ۳۴). در شهر ها از پساب برای آبیاری محصولات کشاورزی و زمین های گلف اســتفاده می شود. سیســتم های تصفیه فاضلاب کم هزینه در تعدادی از پروژه های پایلوت اســتفاده مجدد به کار رفته اند به عنوان مثال در کوارزاتیت، رباط بن، سرگاو، مراکش و درارگا. در مقایسه با آب های زیر زمینی شور، فاضلاب تصفیه شده اثرات منفی شوری بر محصولات را کاهش می دهد. مشــخص شــده که اقدامات کنترلی مانند مدیریت محصول و آبیاری قطره ای بر کیفیت نهایی محصول تولیدی تاثیر دارد.

جدول ۳۴: استاندارد های کیفیت برای تمام آب های مورد استفاده در آبیاری از جمله آب بازیافتی در کشور مراکش (۲۴)

پارامتر	غلظت در نظر گرفته شده	پارامتر	حداکثر غلظت
کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر	۵۰۰۰*	ارسنیک (mg/l)	۰/۱
سالمونلا در ۵ لیتر	عدم وجود	برلیم (mg/l)	۰/۱
ویبریو کلرا در ۴۵۰ میلی لیتر	عدم وجود	کادمیم (mg/l)	۰/۰۱
پاتوژن	عدم وجود	کبالت (mg/l)	۰/۰۵
تخم و یا کیست پارازیت	عدم وجود	کرم (mg/l)	۰/۱
لارو آنکیلوستوم	عدم وجود	مس (mg/l)	۰/۲
سرکر شیستوزوما هماتوبیوم	عدم وجود	جیوه (mg/l)	۰/۰۰۱
فنل (mg/l)	۳	لیتیم (mg/l)	۲/۵
سیانید (mg/l)	۱	منگنز (mg/l)	۰/۲
آلومینیوم (mg/l)	۵	مولیبدن (mg/l)	۰/۰۱
فلوراید (mg/l)	۱	نیکل (mg/l)	۰/۲
آهن (mg/l)	۵	سرب (mg/l)	۵
-	-	سلنیم (mg/l)	۰/۰۲
-	-	وانادیم (mg/l)	۰/۱
-	-	روی (mg/l)	۲

*۱۰۰۰ CFU/100ml برای محصولاتی که خام خورده می شوند

۶-۲-۱۱-۴ استاندارد استفاده مجدد از آب بازیافتی در بخش کشاورزی در کشور تونس

در کشور تونس توسعه تصفیه فاضلاب و عملیات آبیاری در مقیاس پایلوت در دهه ۱۹۶۰ آغاز شده اســت. از اوایل دهه هشتاد سیاست اســتفاده مجدد از آب در تونس وجود داشته و استفاده مجدد به خوبی انجام شــده است. این کار از طریق گسترش سیســتم های جمع آوری و تصفیه فاضلاب

و ممنوعیت تخلیه فاضلاب های صنعتی تصفیه نشـده به سیستم جمع آوری فاضلاب امکان پذیر شده است. عمده استفاده مجدد آب بازیافتی در آبیاری محصولات کشاورزی، آبیاری چشم اندازها و تغذیه آب های زیر زمینی می باشـد. در اطـراف تونس آبیاری درختان میوه و زیتون در مقیاس بزرگ انجام شده است. استفاده از آب های بازیافتی جهت تغذیه سفره های آب زیر زمینی و کاهش نفوذ آب دریا موفقیت آمیز بوده اسـت. در این کشـور قانونی جهت استفاده مجدد از پساب تصفیه شده در کشاورزی وجود دارد (جدول ۳۵). محدودیت هایی برای آبیاری سبزیجاتی که خام خورده می شـوند، مراتعی که به شـدت استفاده می شوند و اسـتفاده از فاضلاب خام وجود دارد. استفاده مجدد با اختصاص یارانه آب و افزایش آگاهی عمومی و از طریق مقررات مناسب و هماهنگی های سازمانی امکان پذیر شده است.

جدول ۳۵: استاندارد های کشور تونس برای آب بازیافتی مورد استفاده در بخش کشاورزی (۲۳)

پارامتر	حداکثر غلظت	پارامتر	حداکثر غلظت (mg/l)
pH	۶٫۵-۸٫۵	ارسنیک	۰٫۱
هدایت الکتریکی (Ms/cm)	۷۰۰۰	کادمیم	۰٫۰۱
COD (mg/l)	۹۰*	کبالت	۰٫۱
BOD (mg/l)	۳۰*	کرم	۰٫۱
تخم انگل در هر لیتر	<۱	مس	۰٫۵
کل جامدات معلق (mg/l)	۳۰*	جیوه	۰٫۰۰۱
کلرید (mg/l)	۲۰۰۰	آهن	۵
فلوراید (mg/l)	۳	منگنز	۰٫۵
بُر (mg/l)	۳	نیکل	۰٫۲
هیدروکربن های هالوژن دار (mg/l))	۰٫۰۰۱	سرب	۱
-	-	سلنیم	۰٫۰۵
-	-	روی	۵

* نمونه مرکب ۲۴ ساعته

توجه: پایش پارامتر های فیزیکو شـیمیایی یک بار در ماه، عناصر جزئی یک بار در هر شـش ماه و تخم انگل یک بار در هر دو هفته. استفاده از پساب حاصل از تصفیه ثانویه فاضلاب برای تمام انواع محصولات به جز سـبزیجات (چه به صورت خام خورده شـود یا پخته) مجاز اسـت. در مورد برداشـت محصول، چـرای حیوانات، روش های کاربـرد آب بازیافتی و غیره در محل محدودیت هایی وجود دارد.

۶-۲-۱۲ استاندارد سازمان فائو جهت کاربرد آب بازیافتی در آبیاری

استانداردهای سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) جهت کاربرد آب بازیافتی در آبیاری در جدول ۳۶ آورده شده است.

جدول ۳۶: استاندارد های سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) جهت کاربرد آب بازیافتی در آبیاری (۲۸)

پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	مقدار
نقره	mg/l	-	کروم (۶ ظرفیتی)	mg/l	۰/۰۱
آلومینیوم	mg/l	۵/۰	کروم (۳ ظرفیتی)	mg/l	-
ارسنیک	mg/l	۰/۱	مس	mg/l	۰/۲
بُر	mg/l	۰/۷	فلوراید	mg/l	۱/۰
باریم	mg/l	-	آهن	mg/l	۵/۰
بریلیم	mg/l	۰/۱	جیوه	mg/l	-
کلسیم	mg/l	-	لیتیم	mg/l	۲/۵
کادمیم	mg/l	۰/۰۱	منیزیم	mg/l	-
کلر آزاد	meq/l	-	منگنز	mg/l	۰/۲
کلراید	meq/l	۴/۰	مولیبدن	mg/l	۰/۰۱
فرمالدئید	mg/l	-	نیکل	mg/l	۰/۲

۶-۲-۱۳ راهنمای پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا برای استفاده مجدد از آب بازیافتی

تاریخچه استفاده از آب بازیافتی در آمریکا به دهه ۶۰ در کالیفرنیا (جهت مصارف روستایی و کشاورزی به دلیل کمبود آب) و فلوریدا (به منظور کنترل تخلیه به تالاب های حساس) بر می گردد. در تگزاس و آریزونا نیز در مقیاس وسیعی از آب بازیافتی برای آبیاری استفاده می شود. سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا رهنمود هایی جهت استفاده مجدد از آب منتشر کرده است (جدول۳۷). در ایالت تگزاس شوری مشکل اصلی بوده و توصیه هایی برای انتخاب نوع کشت، روش آبیاری و کیفیت آب مطابق جداول ۳۸ و ۳۹ آورده شده است (۲۳). اما ایالت ها هر کدام رهنمود مربوط به خودشان را ایجاد کرده که یکی از مهمترین آنها رهنمود سند شماره۲۲ ایالت کالیفرنیا می باشد (جدول ۴۰). این رهنمود ها بر خلاف رهنمود های سازمان جهانی بهداشت مبتنی بر احتمال خطر نبوده اما الزامات سخت گیرانه تری برای کلیفرم مدفوعی در آب مصرفی جهت آبیاری نا محدود در نظر گرفته و در واقع به همین دلیل برای کشورهای در حال توسعه مناسب نمی باشند.

جدول ۳۷: راهنمای پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا برای استفاده مجدد از آب بازیافتی (۲۵)

نوع استفاده مجدد	BOD_5 (mg/l)	کل جامدات معلق (mg/l)	کدورت (mg/l)	کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر	کلر باقیمانده (mg/l)	فاصله عقب نشینی (m)	تصفیه مورد نیاز
استفاده مجدد شهری	کوچکتر یا مساوی ۱۰	–	کوچکتر یا مساوی ۲	ناچیز	۱	۱۵ تا الف	ثانویه + فیلتراسیون + گندزدایی
آبیاری نواحی با دسترسی محدود	کوچکتر یا مساوی ۳۰	کوچکتر یا مساوی ۳۰	–	کوچکتر یا مساوی ۲۰۰	۱	۹۰ تا الف ۳۰ تا ب	ثانویه + گندزدایی
استفاده مجدد در کشاورزی بدون محدودیت	کوچکتر یا مساوی ۱۰	-	کوچکتر یا مساوی ۲	ناچیز	۱	۱۵ تا الف	ثانویه + فیلتراسیون + گندزدایی
استفاده مجدد در کشاورزی با محدودیت	کوچکتر یا مساوی ۳۰	کوچکتر یا مساوی ۳۰	–	کوچکتر یا مساوی ۲۰۰	۱	۹۰ تا الف ۳۰ تا ب	ثانویه + گندزدایی
استفاده مجدد محیطی	کوچکتر یا مساوی ۳۰	کوچکتر یا مساوی ۳۰	–	کوچکتر یا مساوی ۲۰۰	–	–	ثانویه + گندزدایی (حداقل)، (+ کلرزدایی)
تغذیه آب زیرزمینی	تابع محل است	تابع محل است	تابع محل است	تابع محل است	تابع محل است	تابع محل است	حداقل: اولیه برای پخش و ثانویه برای تزریق
استفاده مجدد در شرب به طور غیر مستقیم	استانداردهای آب آشامیدنی					تابع محل است	ثانویه + فیلتراسیون + گندزدایی + پیشرفته

الف: چاه های تامین آب شرب، ب: مناطق در دسترس عموم مردم (در صورت آبیاری افشان)، توجه: فرایند های تصفیه ثانویه شامل فرایند های لجن فعال، صافی های چکنده، دیسک های بیولوژیکی چرخان بوده و ممکن است شامل استخر های تثبیت باشد. تصفیه ثانویه باید پسابی تولید کند که میزان BOD و TSS آن از ۳۰ میلی گرم در لیتر بیشتر نباشد. مقدار کلیفرم موجود در پساب برخی از استخر های تثبیت ممکن است به این حد کلیفرم برسد.
* پایش باید شامل ترکیبات آلی و معدنی و یا دسته ای از ترکیبات شناخته شده و یا مشکوک به سمی بودن، سرطان زایی، تراتوژن، موتاژن و انواع ذکر نشده در استاندارد های آب آشامیدنی باشد.

حداقل مقادیر راهنما، فرایند تصفیه پیشنهادی کیفیت آب بازیافتی دوره پایش و فاصله تا محل مصرف آب در هر یک از موارد مصرف توسط سازمان محیط زیست آمریکا در جدول ۳۸ آورده شده است.

معیار های عناصر ناچیز و مغذی برای خاک های دارای بافت نرم خنثی و قلیایی که پتانسیل زیادی برای حذف آلاینده های مختلف دارند، توسط سازمان محیط زیست آمریکا در جدول ۳۹ نشان داده شده است. در این جدول اثر pH بر سمیت فلزات نیز نشان داده شده که بر اساس آن محدوده pH شش تا هشت برای آبیاری با آب بازیافتی توصیه می گردد.

جدول ۳۸: استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا جهت استفاده از آب های بازیافتی در کشاورزی (۱)

کاربرد	نوع تصفیه	کیفیت آب بازیافتی	پایش آب بازیافتی	حریم اعمال شده [الف]	ملاحظات
استفاده مجدد در مصارف شهری					
نامحدود					
کاربرد در موارد غیر آشامیدنی در مکان های عمومی	تصفیه ثانویه[۱] فیلتراسیون[۲] گندزدایی[۳]	pH = ۶٫۰ تا ۹٫۰ BOD_5 کمتر یا مساوی ۱۰ میلی گرم در لیتر[۴] کدورت کمتر یا مساوی (NTU)۲ [۵] کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر دیده نشود.[۶،۷] کلر باقیمانده یک میلی گرم در لیتر (حداقل)[۸]	pH : هفتگی BOD_5: هفتگی کدورت: مداوم کلیفرم مدفوعی: روزانه کلر باقیمانده: مداوم	فاصله تا چاه های تامین کننده آب آشامیدنی ۱۵ متر؛ در خاک های متخلخل فاصله به ۳۰ متر افزایش پیدا می‌کند.[۱۸]	- در مکان های تحت کنترل و مناطقی که اقدامات مشخص دسترسی عمومی را کم می کند، می توان از تصفیه کمتر مثلا فقط تصفیه ثانویه و گندزدایی برای رسیدن به کلیفرم مدفوعی کمتر از ۱۴ در ۱۰۰ میلی‌لیتر استفاده کرد. - عوامل بیماریزا در آب بازیافتی قابل اندازه‌گیری نباشند. [۹] - آب بازیافتی باید شفاف و بدون بو باشد. - به منظور اطمینان از غیرفعال شدن و یا تخریب ویروس ها و پارازیت ها باقی مانده کلر و یا زمان تماس افزایش یابد. - به منظور کاهش بو، تشکیل لایه لزج و رشد باکتریایی در سیستم توزیع آب بازیافتی باقیمانده کلر بیش از ۵ میلی‌گرم در لیتر توصیه می شود.
محدود					
کاربرد در موارد غیر آشامیدنی در مکان های فاقد دسترسی عمومی	تصفیه ی ثانویه[۴] گندزدایی[۳]	pH = ۶٫۰ تا ۹٫۰ BOD_5 کمتر یا مساوی ۳۰ میلی گرم در لیتر[۴] کل مواد جامد معلق کمتر یا مساوی ۳۰ میلی گرم در لیتر. کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر کمتر یا مساوی ۲۰۰ [۶،۱۰،۱۴] کلر باقی مانده یک میلی گرم در لیتر (حداقل)[۸]	pH : هفتگی BOD_5: هفتگی کل مواد جامد معلق: روزانه کلیفرم مدفوعی: روزانه کلر باقی مانده: مداوم	فاصله تا چاه های تامین کننده آب آشامیدنی ۹۰ متر؛ فاصله تا مکان هایی با دسترسی عمومی ۳۰ متر (در صورتی که آبیاری پاششی باشد)	- در صورت آبیاری بارانی، میزان کل مواد معلق باید کمتر از ۳۰ میلی گرم در لیتر باشد تا از گرفتگی آب پاش ها ممانعت گردد. - عوامل بیماریزا در آب بازیافتی قابل اندازه‌گیری نباشند. [۹] - به منظور اطمینان از غیرفعال شدن و یا تخریب ویروس ها و پارازیت ها، باقی مانده کلر و یا زمان تماس افزایش یابد. - در برخی مراحل رشد گیاه مواد مغذی زیاد در آب بازیافتی ممکن است اثرات زیان آوری داشته باشد.

جدول ۳۸: استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا جهت استفاده از آب های بازیافتی در کشاورزی (۱)

کاربرد	نوع تصفیه	کیفیت آب بازیافتی	پایش آب بازیافتی	حریم اعمال شده [الف]	ملاحظات
استفاده مجدد در کشاورزی					
محصولات زراعی غذایی[11] استفاده از آب بازیافتی رسند.	تصفیه ی	pH : ۶٫۰ تا ۹٫۰ BOD_5 کمتر یا مساوی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر[۴] (حداقل)[۸]	pH : هفتگی BOD_5: هفتگی	فاصله تا چاه های تامین کننده	
استفاده مجدد در محصولات غذایی فراوری شده					
محصولات زراعی غذایی فرآوری شده [11] کاربرد آب بازیافتی در آبیاری سطحی محصولات زراعی غذایی که به صورت تجاری فرآوری شده و مصارف انسانی دارند. محصولات زراعی غیر غذایی کاربرد در موارد غیر آشامیدنی در مکان های فاقد دسترسی عمومی	تصفیه ثانویه[۱] گندزدایی[۳]	pH : ۶٫۰ تا ۹٫۰ BOD_5 کمتر یا مساوی ۳۰ میلی گرم در لیتر[۴] کل مواد جامد معلق کمتر یا مساوی ۳۰ میلی گرم در لیتر. کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر کمتر یا مساوی ۲۰۰ [۶،۱۰،۱۴] کلر باقی مانده یک میلی گرم در لیتر (حداقل)[۸]	pH : هفتگی BOD_5: هفتگی کل مواد جامد معلق: روزانه کلیفرم مدفوعی: روزانه کلر باقی مانده: مداوم	فاصله تا چاه های تامین کننده آب آشامیدنی ۹۰ متر؛ فاصله تا مکان هایی با دسترسی عمومی ۳۰ متر (در صورتی که آبیاری بارانی باشد)	- در صورت آبیاری بارانی، میزان کل مواد معلق باید کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر باشد تا از گرفتگی آب پاش ها ممانعت گردد. - در برخی مراحل رشد گیاه مواد مغذی زیاد در آب بازیافتی ممکن است اثرات زیان آوری داشته باشد.

۱- تصفیه ثانویه شـامل فرایند لجن فعال، صافی های چکنده و در صورت امکان برکه های تثبیت اسـت. این مرحله باید پسابی تولید کند که مقدار BOD_5 و مواد جامد قابل ته نشینی آن کمتر از ۳۰ میلی گرم در لیتر باشند.
۲- منظور از فیلتراسیون عبور فاضلاب یا آب بازیافتی از خاک طبیعی، صافی های شنی، آنتراسیتی و یا میکرو فیلترها و غشاء ها است.
۳- گندزدایـی عبارت اسـت از تخریب، غیر فعال کـردن و یا حذف عوامل بیماریزا به طریق فیزیکی، شـیمیایی و یا بیولوژیکی. این کار توسط کلرزنی، ازن زنی، دیگر مواد شیمیایی گندزدا، غشاء ها، اشعه ماوراء بنفش و فرایند های دیگر انجام شود.
۴- به صورت پنج روزه تعیین می شود.
۵- مقدار الزامی کدورت قبل از گندزدایی. متوسط کدورت باید بر اساس دوره ۲۴ ساعته باشد. هیچوقت کدروت نباید بیشـتر از NTU ۵ باشـد. در صورت استفاده از جامدات قابل ته نشینی به جای کدورت مقدار آن نباید بیش از ۵ میلی گرم در لیتر بشود. در صورت استفاده از غشاء برای فیلتراسیون کدورت نباید بیش از NTU ۰/۲ و جامدات قابل ته نشینی نباید بیش از ۰/۵ میلی گرم در لیتر باشد.
۶- مقدار توصیه شده بر اساس میانه اندازه گیری های باکتریولوژی طی ۷ روز به دست آمده است. هر دو روش غشائی یا تخمیر لوله ای قابل استفاده است.
۷- در هیچ نمونه ای تعداد کل کلیفرم و کلیفرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر نباید بیش از ۱۴ عدد باشد.
۸- مقدار توصیه شـده برای زمانی اسـت که کلر به عنوان گندزدا به کار می رود. این مقدار باقیمانده باید پس از زمان تماس طراحی شـده که حداقل ۹۰ دقیقه اسـت حاصل گردد. زمان تماس کمتر در صورتی مجاز خواهد بود که الزامات مربوط به عوامل بیماریزا و میکروارگانیسم ها را برآورده کند.
۹- توصیه می شـود ویژگی های میکربیولوژی آب بازیافتی قبل از اجرای برنامه استفاده مجدد به طور کامل مشخص گردد.
۱۰- تعداد کلیفرم های مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر نباید بیش از ۸۰۰ عدد باشد.
۱۱- این محصولات غذایی قبل از عرضه عمومی تحت فرایند های شیمیایی و یا فیزیکی عوامل بیماریز ای درون آنها از بین می رود.

جدول ۳۹: معیارهای پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا برای کیفیت آب بازیافتی مورد استفاده در خاک های دارای بافت نرم، خنثی و قلیایی (۱)

پارامتر	استفاده طولانی مدت (mg/l)	استفاده کوتاه مدت (mg/l)	ملاحظات
آلومینیوم	۵/۰	۲۰	در خاک اسید (با pH کمتر از ۵/۵) می تواند باعث عدم حاصلخیزی گردد، اما در خاک قلیایی و pH بیشتر از ۷ این یون رسوب کرده و اثر سمی آن از بین می رود.
آرسنیک	۰/۱۰	۲/۰	گستره سمی بودن این عنصر برای گیاهان متفاوت و از ۱۲ میلی گرم بر لیتر برای چمن سودان تا کمتر از ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر برای برنج است .
بُور	۰/۷۵	۲/۰	در مقادیر چند دهم میلی گرم بر لیتر برای رشد گیاه ضروری است. در غلظت یک میلی گرم بر لیتر برای اغلب گیاهان حساس (به عنوان مثال مرکبات) سمی بوده و اغلب علف ها در برابر مقادیر ۲ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر مقاوم هستند.
بریلیم	۰/۱۰	۰/۵	گستره سمی بودن این عنصر برای گیاهان متفاوت و از ۵ میلی گرم بر لیتر برای کلم برگ تا ۰/۵ میلی گرم بر لیتر برای بقولات می باشد.
کادمیوم	۰/۰۱	۰/۰۵	برای گیاهان خانواده بقولات، چغندر و شلغم در غلظت های کم مانند ۰/۱ میلی گرم بر لیتر در محلول‌های مواد مغذی سمی است. به دلیل امکان انباشتگی این عنصر در درون گیاه و خاک با غلظت هایی که برای انسان خطرناک است حدود محتاطانه برای آن توصیه می شود.
کبالت	۰/۰۵	۵/۰	در محلول های مواد مغذی با غلظت ۰/۱ میلی گرم بر لیتر برای گیاه گوجه سمی است. در خاک های خنثی و قلیایی غیرفعال می شود.
کروم	۰/۱۰	۱/۰	معمولا به عنوان یک عنصر ضروری شناخته نشده است. به دلیل فقدان اطلاعات در خصوص سمیت آن برای گیاهان حدود محتاطانه توصیه می شود.
مس	۰/۲۰	۵/۰	در محلول های مواد مغذی برای تعدادی از گیاهان در غلظت های بین ۰/۱ تا ۱/۰ میلی‌گرم بر لیتر سمی است.
فلوراید	۱/۰	۱۵	در خاک های خنثی و قلیایی غیرفعال است.
آهن	۵/۰	۲۰	در خاک هایی که هوادهی می شوند برای گیاهان سمی نیستند اما می تواند باعث اسیدی شدن خاک و عدم دسترسی به فسفر و مولیبدن شود. آب پاشی باعث ایجاد رسوب و ظاهری بد بر روی گیاه، تجهیزات و بنا می شود.
لیتیم	۲/۵	۲/۵	بیشتر گیاهان در برابر غلظت های تا پنج میلی گرم بر لیتر این عنصر مقاوم هستند. در خاک جا به جا می شود. در غلظت های کم (کمتر از ۰/۰۷۵ میلی گرم بر لیتر) برای مرکبات سمی است. مانند بور عمل می کند.
منگنز	۰/۲۰	۱۰	برای تعدادی از گیاهان در غلظت چند دهم تا چند میلی گرم بر لیتر و در خاک های اسیدی سمی است.
مولیبدن	۰/۰۱	۰/۰۵	در غلظت های معمول درون خاک و آب برای گیاهان سمی نیست. در صورت کشت علوفه دامی در خاک هایی که غلظت بالایی از مولیبدن قابل جذب دارند، برای دام سمی است.
نیکل	۰/۲۰	۲/۰	در غلظت های بین ۰/۵ تا ۱/۰ میلی گرم بر لیتر برای تعدادی از گیاهان سمی است. در pH خنثی و قلیایی سمیت آن کاهش می یابد.
سرب	۵/۰	۱۰	در غلظت های خیلی زیاد می‌تواند از رشد سلول گیاه جلوگیری کند.
سلنیم	۰/۰۲	۰/۰۲	در غلظت های حدود ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر برای گیاهان سمی بوده و در صورت کشت علوفه در خاک هایی که سلنیم نسبتا بالایی دارند، برای دام نیز سمی است. فقط در غلظت های کم برای حیوانات ضروری است.
وانادیم	۰/۱۰	۱/۰	در غلظت های نسبتا کم برای تعدادی از گیاهان سمی است.
روی	۲/۰	۱۰	در گستره وسیعی از غلظت ها برای تعدادی از گیاهان سمی است. در خاکی با pH کمتر از ۶/۰ و بافت نرم و یا مواد آلی سمیت آن کاهش می یابد.

جدول ۴۰: معیار های آب بازیافتی ایالت کالیفرنیا: تصفیه و کیفیت مورد نیاز برای آب بازیافتی مورد استفاده جهت مقاصد غیر قابل شرب (۲۳)

نوع استفاده	کل کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر[الف]	تصفیه مورد نیاز
آبیاری علوفه، محصولات زراعی بذری و لیفی، باغستان[ب] و تاکستان[ب]، محصولاتی غذایی که فراوری می شوند، درختان ثمری با محصولات غیر غذایی، نهالستان درختان زینتی[ج]، چمن زارها[ج]، شستشوی مجاری فاضلاب	احتیاج ندارد	ثانویه
آبیاری چراگاه های حیوانات شیرده، محوطه سازی[د]، نهالستان درختان زینتی، چمن زارها، سیستم های خنک کننده صنعتی و تجاری که تولید آئروسل نکنند، مصارف آتش نشانی غیر ساختمانی، خوراک بویلر های صنعتی، متراکم سازی خاک، کنترل گرد و خاک، تمیز کردن جاده ها و پیاده روها	کمتر یا مساوی ۲۳ کمتر یا مساوی ۲۴۰*	ثانویه+ گندزدایی
آبیاری محصولات زراعی غذایی[ب]، آبگیر های تفریحی محدود شده، محل تخم ریزی ماهی ها	کمتر یا مساوی ۲,۲ کمتر یا مساوی ۲۳	ثانویه + گندزدایی
آبیاری محصولات زراعی غذایی[ه]، محوطه سازی با دسترسی آزاد[و]، شستشوی دستشویی، آب مورد مصرف در موارد صنعتی، فواره های زینتی، رختشویی های صنعتی و ماشین شویی، ایجاد برف مصنوعی، سیستم آتش نشانی ساختمان ها، سیستم های خنک کننده صنعتی و تجاری که تولید افشانه کنند.	کمتر یا مساوی ۲,۲ کمتر یا مساوی۲۳* ۲۴۰ (حداکثر)	ثانوی ه+ لخته سازی[ز] + فیلتراسیون[ح] + گندزدایی
آبگیر های تفریحی بدون محدودیت	کمتر یا مساوی ۲,۲ کمتر یا مساوی۲۳* ۲۴۰ (حداکثر)	ثانویه + لخته سازی + زلال سازی[ط] + فیلتراسیون[ح] + گندزدایی

الف) بر اساس متوسط ۷ روزه مداوم؛ ب) تماسی بین آب بازیافتی و بخش های خوراکی محصول نباشد؛ ج) حداقل ۱۴ روز قبل از برداشت محصول، فروش و یا اجازه دسترسی عمومی، آبیاری انجام نشود؛ د) گورستان ها، محوطه سازی اطراف بزرگراها، زمین های گلف با دسترسی محدود، و دیگر مناطق با دسترسی کنترل شده؛ ه) تماس بین آب بازیافتی و بخش های خوراکی محصول از جمله محصولات زراعی دارای ریشه های خوراکی؛ و) پارک، زمین های بازی، محوطه مدرسه، محوطه مناطق مسکونی، زمین های گلف با دسترسی نا محدود، و دیگر مناطق آبیاری شده با دسترسی کنترل نشده؛ ز) اگر کدورت جریان ورودی به فیلتر به طور مداوم اندازه گیری می شود لازم نیست، برای بیش از ۱۵ دقیقه از NTU ۵ تجاوز نکند و هرگز بیش از NTU ۱۰ نگردد، قابلیت فعال سازی خودکار بخش افزایش مواد شیمیایی وجود دارد و یا اگر کدورت جریان ورودی فیلتر برای بیش از ۱۵ دقیقه بیش از NTU ۱۰ باشد جهت جریان فاضلاب تغییر یابد؛ ح) پس از فیلتراسیون، کدورت جریان عبوری از فیلتر نباید بیش از NTU ۲ در هر دوره ۲۴ ساعته، NTU ۵ بیش از ۵ درصد از زمان در یک دوره ۲۴ ساعته، و NTU ۱۰ در هر زمان باشد. پس از فیلتراسیون با فرایند غشایی، کدورت نباید بیش از NTU ۰/۲ در ۵ درصد از زمان در هر دوره ۲۴ ساعت و NTU ۰/۵ در هر زمان باشد؛ ط) اگر آب بازیافتی از نظر ویروس های روده ای، ژیاردیا و کریپتوسپوریدیوم پایش می گردد لازم نیست. * در بیش از یک نمونه در هر دوره ۳۰ روزه

با توجه به استاندارد هایی که در کشور های مختلف شامل کشور های در حال توسعه و کشور های توسعه یافته برای استفاده مجدد از آب بازیافتی در بخش های مختلف وجود دارد لزوم بازنگری

در اســتاندارد های ملی از طرف سازمان محیط زیســت با توجه به مطالب فوق الذکر امری الزامی اســت. که علاوه بر تعیین حدود مجاز برای مصارف مختلف، تواتر آزمایشــات لازم به منظور تعیین پارامتر های شیمیایی و بیولوژیکی نیز در این استاندارد ها مشخص گردد.

۷- برنامه پایش اثرات مصرف آب بازیافتی در بهسازی خاک

پایــش یک ابزار مهم برای تشــخیص اولیه اثر آب بازیافتی روی خاک و فرآیند های خاک اســت. بنابراین نقش اساسی در پیشگیری یا به حداقل رساندن خسارت محیطی یا تشخیص بهبود شرایط محیطی دارد. با تشخیص زود هنگام این اثرات یا پتانسیل آنها، برنامه پایش می تواند به کاهش یا حذف هزینه ها و حفاظت از محیط زیست کمک کند.

کاربرد آب بازیافتی در کشــاورزی و اســتفاده از آن جهت بهســازی خاک علاوه بر مزایای مختلف می توانــد موجــب تجمع برخی عناصــر و یا آلودگی ها در خاک گردیده و یــا خصوصیات خاک را تغییر دهد، بنابراین بهتر است که در ابتدا از کیفیت آب بازیافتی مطمئن شد. به همین دلیل اولین مرحله پایش و ضروری ترین بخش آن، کنترل و پایش منظم این آب می باشــد. برای این منظور می‌توان از «نظام نامه پایش پساب خروجی از تصفیه خانه های فاضلاب شهری به منظور استفاده مجدد در مصارف کشــاورزی» مربوط به شــرکت مدیریت منابع آب ایران و نشــریه ۵۳۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور با عنوان «ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشتی و پساب ها» استفاده نمود (۶۹).

لازم به ذکر اســت که علیرغم ایجاد سیســتم های تصفیه مناســب و پایش منظم آب بازیافتی، اســتفاده طولانی مدت از این آب ها در خاک اثراتی را به دنبال دارد که موجب شــده تا برنامه ریزی جهت پایش خاک آبیاری شــده با آب های بازیافتی لازم باشــد. اهــداف این برنامه پایش می‌تواند شــامل دامنه وســیعی از مقیاس های زمانی، متغیر ها و فرآیند ها باشــد، بنابراین ارایه یــک راهنمــای ویژه بر پایه طرح یک برنامه پایش، که بتواند همه هدف هایی که این گســتره را پوشش دهد، غیر ممکن می سازد. انتخاب محل ها، نقشه های نمونه برداری و غیره باید با توجه به اهداف ویژه برنامه پایش، انجام شوند. استاندارد ملی ایران به شماره ۱۴۵۳۰ با عنوان«کیفیت خاک- راهنمای ایجاد و نگهداری برنامه های پایش» اصول اساســی این قبیل برنامه ها را شــرح می دهد و می تواند به عنوان راهنما در این زمینه اســتفاده گردد. همچنین از نشــریات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور مانند «دستورالعمل انجام مطالعات خاک شناسی» – نشریه شماره

۴۶۶، «شـرح خدمات مطالعات خاک شناسی» – نشریه شـماره ۴۲۵ و «دستورالعمل نظارت و کنترل فنی مطالعات خاک شناسـی» – نشـریه شـماره ۵۰۰ نیز می توان برای انجام مطالعات خاک شناسـی اسـتفاده نمود (۷۰).

به منظور بررسـی اثرات مصرف این نوع آب ها بر خاک لازم اسـت که برنامه مدون و منظم پایش تنظیم گردد. هدف از این برنامه ایجاد مجموعه داده هایی اسـت که شـرایط خاک را قبل و بعد از شـروع اسـتفاده از آب بازیافتی توصیف می کند. این برنامه به تشخیص آلاینده های تجمع یافته در خـاک و عواملی که موجب تغییـر در خصوصیت آن می گردد، کمک می کند و امکان برقراری اقدامات کنترلی در استفاده از آب های بازیافتی را فراهم می سازد. پارامتر های مورد پایش و تواتر آنها در نشریه ۵۳۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور با عنوان «ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشـتی و پساب ها» بخش ارائه برنامه پایش کیفی خاک مزارع آورده شده که به عنوان راهنما می توان از آن استفاده کرد (۶۹).

جهت نمونه برداری از خاک از «دستور العمل نمونه برداری خاک» سازمان حفاظت محیط زیست به شـماره (LSW-10-00) می توان استفاده نمود. انجام آزمایش های خاک می تواند با استفاده از نشریه ۸۹۳ سازمان حفاظت محیط زیست با عنوان «شرح روش های شیمیایی تجزیه خاک» و همچنین «دسـتورالعمل تجزیه آزمایشگاهی نمونه های خاک و آب» نشریه شماره ۴۶۷ مربوط به دفتر نظام فنی اجرایی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور انجام گیرد.

با این وجود و به منظور آشنایی با نحوه کار پایش خاک در مناطقی که از آب های بازیافتی جهت اسـتفاده در کشـاورزی و بهسـازی خاک اسـتفاده می کنند، برنامه پایش منطقه وریبی[1] ملبورن استرالیا که در آن از آب بازیافتی جهت آبیاری استفاده می شود، به صورت موردی آورده شده است. در منطقه وریبی ملبورن استرالیا برنامه«بهبود محیط زیست منطقه»[2] تدوین و بر اساس آن مقرر شـده اسـت که پایش خاک محل هایی که از آب بازیافتی استفاده می کنند، انجام گردد (۲۹) که در ادامه مراحل انجام این برنامه پایش آورده شده است.

۷-۱ پایش خاک محل

پایش خاک محل در منطقه وریبی ملبورن اسـترالیا بر طبق برنامه «بهبود محیط زیست منطقه»

1. Werribee
2. Regional Environment Improvement Plan (REIP)

برنامه سالیانه نمونه برداری از خاک[1] و روش نمونه برداری میدانی توسط سازمان آب روستایی منطقه و پیمانکاران کشاورزی[2] برای سه سال بعدی در نظرگرفته شده است. به منظور اطمینان از تعهد به انجام الزامات نمونه برداری مطابق با «برنامه بهبود محیط زیست»، روش پایش خاک به صورت یک برنامه زمان بندی شده مطابق شرح خدمات و توافق نامه پیمانکار با سازمان آب منطقه انجام می گردد. در برنامه پایش خاک، نحوه و تواتر نمونه برداری نیز آمده است (۲۹).

۷-۱-۱ برنامه سالیانه نمونه برداری از خاک

در برنامه سالیانه نمونه برداری از خاک مواردی مانند نحوه جمع آوری نمونه خاک و عمق برداشت خاک مشخص شده است. این مدارک باید توسط پیمانکار کشاورزی سازمان آب روستایی تهیه گردد. فرایند برنامه سالیانه نمونه برداری به صورت زیر است:

۱- مسئولیت تهیه برنامه نمونه برداری سالیانه به عهده پیمانکار مشخص شده برای جمع آوری نمونه خاک، انجام آزمایش ها و تفسیر و گزارش نتایج می باشد.
۲- پیمانکار باید در فصل بهار هر سال با کمک سازمان آب روستایی فهرستی از کاربرد آب های بازیافتی در ۱۲ ماه گذشته برای هر ملک مطابق برنامه زمان بندی جمع آوری کند. با استفاده از داده های معلوم از مناطق آبیاری شده برای هر ملک، بار هیدرولیکی آب بازیافتی برای هر مزرعه/ ملک مشخص می گردد.
۳- مزارع با توجه به بار هیدرولیکی دسته بندی می شوند. مزارعی که بار هیدرولیکی آنها ۱٫۵ یا بیشتر است در فهرست مصرف کنندگان عمده آب بازیافتی آورده شده و این فهرست پیش نویس اولیه برنامه نمونه برداری سالیانه خاک است. مزارع دیگر با بار هیدرولیکی کمتر از ۱٫۵ در فهرست مصرف کنندگان جزیی آب بازیافتی آورده می شوند.
۴- فهرست مصرف کنندگان جزئی تهیه شده با فهرست مشابه در سال قبل مقایسه می گردد. هر مزرعه ای که مجموع آب بازیافتی مصرفی آن دو بوده و یا بیش از دو فصل آبیاری داشته باشد به برنامه نمونه برداری اضافه می شود.
۵- بر اساس داده های پایش خاک از سال قبل مزارعی که پارامترهای بحرانی آنها یعنی شوری

1. Annual Soil Sampling Plan (ASSP)
2. Agricultural Contractor

(هدایت الکتریکی) و درصد سدیم قابل تبادل آن کم باشد و یا کمتر از مقادیر هدف[1] یعنی به ترتیب ۳٫۵ دسی زیمنس بر متر و ۱۰ درصد باشد از برنامه نمونه برداری سالیانه حذف می شوند.

۶- از فهرست مزارع مصرف کننده جزئی آب بازیافتی، هر کدام که مالک و یا کاربر آن نیاز به آزمایش خاصی بر روی خاک داشته باشد در برنامه سالیانه آورده می شود.

۷- اگر برای دو سال از محل نمونه برداری نشده باشد، این مزارع در فهرست نمونه برداری سالیانه آورده می شوند.

۸- با استفاده از جدول۴۱ تواتر و پارامتر های نمونه برداری هر مزرعه تعیین می گردد. تاریخ ثبت شده برای اولین نمونه برداری در نظر گرفته شده و مقادیر آب بازیافتی مصرفی در هر سال نیز آورده می شود. با اختصاص دادن برنامه مناسب برای هر مزرعه، یک نسخه برنامه سالیانه نمونه برداری از خاک برای هر مزرعه توسط پیمانکار تهیه می گردد.

۹- کاربران مزرعه که مسئول جمع آوری نمونه های مزرعه هستند یک نسخه از برنامه را داشته و نسخه اصلی نزد سازمان آب روستایی منطقه و پیمانکار باقی می ماند.

۱۰- در هر مزرعه که چندین محل برای پایش وجود دارد، کاربر مزرعه قبل از جمع آوری نمونه در خصوص نمونه برداری از یک محل یا چندین محل مورد مشاوره و راهنمایی قرار می گیرد. این موضوع که نمونه برداری از یک محل و یا چندین محل انجام شده توسط کاربر مزرعه ثبت می گردد.

۱۱- در مواقعی که چندین مزرعه توسط یک نوع آب آبیاری می شوند یک یا چند مزرعه ممکن است در فصل های قبل تحت آیش بوده و در آنها زراعتی صورت نگرفته باشد. این موارد توسط کاربر مزرعه (نمونه‌بردار) مورد تایید گرفته و ثبت می گردد. مزارعی که به دلیل آیش آبیاری نمی شوند از برنامه سالیانه حذف می شوند.

۱۲- پس از انجام کارهای میدانی تمام مراحل برنامه توسط پیمانکار ثبت و به تایید سازمان آب روستایی منطقه می رسد و یک نسخه نیز نزد پیمانکار نگهداری می شود (۲۹).

1. Target Levels

جدول ۴۱: عمق و تواتر نمونه برداری سالیانه از خاک مزارعه آبیاری شده با آب بازیافتی در استرالیا (۲۹)

برنامه زمان بندی نمونه‌برداری از خاک الف	عمق نمونه برداری از خاک		
	صفر تا ۳۰ سانتی متری	۳۰ تا ۴۵ سانتی متری	۸۵ تا ۱۰۰ سانتی متری
آزمایش های اولیه- قبل از اولین استفاده آب بازیافتی	✓	✓	✓
بعد از اولین بار استفاده از آب بازیافتی	✓	-	-
بعد از دومین بار استفاده از آب بازیافتی	✓	-	-
بعد از سومین بار استفاده از آب بازیافتی	✓	-	-
بعد از چهارمین بار استفاده از آب بازیافتی	✓	✓	✓
بعد از پنجمین بار استفاده از آب بازیافتی	✓	-	-
بعد از ششمین بار استفاده از آب بازیافتی	✓	✓	-
بعد از هفتمین بار استفاده از آب بازیافتی	✓	-	-
بعد از هشتمین بار استفاده از آب بازیافتی	✓	✓	✓

۷-۱-۲ مشاوره و برنامه زمان بندی قبل از نمونه برداری در مکان های نمونه برداری غیر قابل تفکیک

پیمانکار حداقل سه روز قبل از برنامه زمان بندی نمونه برداری با مشتری تماس می گیرد. الزامات ورود بـــه مزرعه و جمع آوری نمونه های خاک بـــه انضمام ایمنی در مزرعه و احتیاط های لازم در خصوص بهداشت محصول کشاورزی که از طریق مشاوره با مشتریان تهیه می شود و یا جزء الزامات قبل از نمونه برداری ســـازمان آب می باشد، هنگام ورود به ملک و منطقه زیر کشت در نظر گرفته می شـــوند. برای نمونه برداری، کارکنان مسئول پیمانکار نیز الزامات مورد توافق دسترسی به محل را رعایت می کنند. تا آنجا که ممکن است نمونه های خاک به صورت یکسان و در پایان هر فصل قبل از شروع فصل جدید و همچنین قبل از باران های شدید پاییز و زمستان جمع آوری می شوند. نمونه برداری خاک در همه محل های تعیین شـــده در برنامه نمونه برداری ســـالیانه در طی مدت هشت هفته و بین اواسط اردیبهشت تا اواسط تیر ماه هر سال انجام می گیرد. هوای بارانی ممکن است باعث وقفه در نمونه برداری شده و نمونه برداری از مزرعه مشتریانی که در اواخر برنامه زمان بندی شده نمونه برداری سالیانه قرار دارند به بعد از اواسط تیر ماه منتقل می شود. در صورت بارش باران های سنگین و پیاپی، نمونه برداری ممکن است تا چند هفته به تاخیر بیفتد. برخی محل ها ممکن اســـت به دلیل باران های زیاد و آب شویی شدید که بر نتایج خاک (مانند شوری، نیتروژن) اثر می گذارد از برنامه نهایی نمونه برداری حذف گردند (۲۹).

۷-۱-۳ روش های جمع‌آوری نمونه خاک

در ابتدای نمونه برداری، برای هر مزرعه ای که در طرح استفاده از آب بازیافتی ثبت شده است یک محل مرجع[1] با قطر حدود شـش متر برای نمونه‌برداری و آزمایش های خاک ایجاد می گردد. در املاکی که کشاورز و یا صاحب مزرعه تفاوت های زیادی در خاک مشاهده کرده است، بیش از یک محل مرجع ایجاد شده به طوری که هر محل نماینده آن نوع خاک مخصوص می باشد. نمونه های محل مرجع به صورت نمونه های توده ای و از چهار نقطه جداگانه توسط مته نمونه برداری دستی برداشته می شود. نمونه های سالیانه خاک نیز به همین روش و از عمق های استاندارد زیر برداشته می شوند:

- سطح خاک: صفر تا ۳۰ سانتی متر (منطقه معمول کشت برای این خاک ها) که به عنوان خاک سطحی نیز شناخته می شود.
- زیر خاک: ۳۰ تا ۴۵ سانتی متری، لایه B در اغلب خاک ها (درست زیر ناحیه کشت).
- عمق خاک: ۸۵ تا ۱۰۰ سانتی متری، لایه C (زیر ناحیه ریشه).

در تمام محل های پایش، نمونه های خاک (نمونه های جمع‌آوری شـده توسـط مته نمونه برداری دستی از چهار نقطه از محل مرجع) جمع‌آوری شده و با هم مخلوط می شوند. هر جا که به دلیل نوع خاک و یا تغییرات دیگر بیش از یک محل مرجع در نظر گرفته می شـود از مالک مزرعه نظر خواهـی شـده که از یک محل نمونه بـرداری گردد و یا چندین محـل و در صورت تعدد محل ها کدام یک باید مورد پایش قرار گیرد. طول و عرض جغرافیایی هر یک از محل های مرجع توسـط دسـتگاه GPS مشـخص می گردد. از این مختصات در تعیین موقعیت محل مرجع و کنترل آن در نقشـه های مزرعه مورد نظر استفاده می شود. برای هر مزرعه تاریخ نمونه برداری، کشت انجام شـده/ آیش، شواهد و مدارک مربوط به اسـتفاده اخیر از کود های شیمیایی و مشاهدات دیگر در مورد حاصلخیزی مزرعه ثبت می گردد (۲۹).

1. Reference Site

۷-۱-۴ تضمین کیفیت و کنترل کیفیت نمونه برداری و زنجیره انتقال

نمونه برداری مطابق با «راهنمای نمونه برداری و آزمایش آب، فاضلاب، خاک و مواد زائد» سازمان حفاظت محیط زیست کشور استرلیا و «شرح روش های شیمیایی تجزیه خاک» انجام می گیرد. این راهنما به عنوان یک مرجع کلی برای شیوه های نگهداری نمونه، کنترل کیفیت و زنجیره انتقال به آزمایشگاه است. نمونه های خاک کاملا مخلوط شده و به نمونه های ۱۰۰ گرمی برای آزمایش فلزات سنگین (در صورت نیاز) و ۵۰۰ گرمی برای بقیه آزمایش ها تقسیم می گردد. همه نمونه ها به طور واضح دارای برچسبی است که اطلاعاتی از قبیل شماره محل مصرف کننده آب بازیافتی، شماره نمونه و مختصات جغرافیایی هر نمونه در آن آمده است. طی مدت انتقال نمونه ها به آزمایشگاه، آنها در محفظه های خنک نگهداری می شود. دما در طی انتقال نمونه ها از ۳ درجه سلسیوس کمتر و از ۱۴ درجه سلسیوس بیشتر نباید باشد (۲۹).

۷-۱-۵ آزمایشات خاک

نمونه ها برای آزمایش های فلزات سنگین به یک آزمایشگاه معتمد در زمینه انجام آزمایش های استاندارد خاک کشاورزی ارسال می گردد. آزمایش های pH خاک (در آب)، pH خاک (در کلراید کلسیم)، کلراید، هدایت الکتریکی (هدایت الکتریکی ۵:۱)، کاتیون های قابل تعویض، بافت خاک، فسفر در دسترس[1]، شاخص فسفر بافری[2]، نیترات، وارفتگی[3]، شاخص پراکندگی[4]، کادمیم (کل) در سال اول انجام می شود. تکرار نمونه برداری هر دو سال یک بار بوده و بر اساس بررسی نتایج سال اول می باشد. علاوه بر موارد فوق پارامتر های درصد سدیم قابل تبادل[5]، هدایت الکتریکی عصاره خاک اشباع شده[6]، نسبت کلسیم به منیزیم، نسبت پتاسیم به منیزیم نیز از نتایج آزمایشگاهی و بر اساس موازنه کاتیون ها و بافت خاک[7] محاسبه می گردد (۲۹).

۷-۱-۶ مدیریت داده های خاک و تضمین کیفیت/ کنترل کیفیت

نتایج آزمایشات خاک در ابتدا توسط پیمانکار کشاورزی دریافت و صحت و اعتبار آنها مورد بررسی

1. Available Phosphorus
2. Phosphorus Buffer Index
3. Slaking
4. Dispersion index
5. Exchangeable Sodium Percentage (ESP)
6. Electrical Conductivity of Saturated Soil Extract (ECE)
7. Soil Texture

قرار می گیرد. پیمانکار همزمان با ورود داده ها، آنها را در یک برنامه صفحه گسترده که با اکسس، نقشـــه GIS و پایگاه داده های مشـــابه مطابقت دارد، وارد می کند. ســـه دستاورد اصلی از پایگاه داده های مربوط به خاک عبارتند از: حفظ و کنترل دسترسی، کیفیت داده ها و همخوانی با پایگاه داده های ســـازمان آب روستایی و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، پس از تایید توسط پیمانکار مجموعه داده های سالیانه خاک به پایگاه داده های اصلی منطقه مورد آبیاری که در بردارنده تمام داده هـــا از ابتدای اجرای برنامه اســـت، وارد می گردد. این داده ها بـــا رعایت نکات حفاظتی برای سازمان آب روستایی ارسال شده تا از نظر کنترل کیفیت مورد بررسی قرار گیرند و به طور ایمن در سیستم مدیریتی داده ها نگهداری شوند. یک نسخه از این گزار ش ها نزد پیمانکار باقی می ماند.
داده های پایش خاک ســـپس جهت اهداف دســـته بندی، فیلتر کردن، تفسیر داده ها و رده بندی محل ها از نظر اهداف و کاربری، عملیات آماری، تفسیر مکانی و زمانی، نقشه GIS ، ممیزی محل مصرف کننده، تهیه گزارش سالیانه و یا اختصاصی مربوط به محل مصرف کننده و همچنین بررسی حوادث احتمالی در مورد محصول کشاورزی بازیابی می شوند (۲۹).

۷-۱-۷ گزارش های اختصاصی خاک و جمع آوری اطلاعات به صورت حضوری

گزارش های پایش سالیانه پس از دریافت از آزمایشگاه و تعیین اعتبار توسط پیمانکار به کشاورزان داده می شـــود. هر کشـــاورز می تواند گزارش را به صورت جداول نتایج آزمایش ها و یک رهنمود تفســـیری سالیانه و یا به صورت سفارشی که در آن مطالب مهم و اقدامات پیشنهادی قابل اجرا در آن ذکر شـــده دریافت کند. این گزارش ها یک ماه پس از دریافت نتایج از آزمایشـــگاه برای مصرف کنندگان ارســـال می گردد. کشاورزان همچنین می توانند با پیمانکار مشاوره حضوری در خصوص نتایج و در زمان مناسب داشته باشند. کشاورز پس از یک هفته از مشاوره حضوری یک نسخه کتبی از این جلسه را دریافت می کند. رهنمود های تفسیری (که هر سال تجدید می شوند)، گزارش های سفارشـــی و مشـــاوره های حضوری اغلب بر روی پارامتر هایی مانند شوری، سدیمی شدن/ میزان سدیم قابل تبادل در خاک، جابجایی مواد مغذی، موازنه کاتیون ها و pH خاک تمرکز دارد.
صاحبان مزرعه ای که فعالیت کشـــاورزی ندارند اما ملک خود را اجاره داده اند یک نســـخه از این گزارش را دریافت کرده و ســـازمان آب روستایی ترتیبی اتخاذ کرده که از دریافت گزارش اطمینان حاصل کند. یک نسخه از تمامی گزارش های خاک، مشاوره های خصوصی و رهنمود های تفسیری در هر سال به سازمان آب روستایی ارائه می شود (۲۹).

۷-۱-۸ گزارش کلی شـرایط خاک از طرف سـازمان آبیاری منطقه به سازمان آب روستایی

در پایان نمونه برداری و آزمایشـات، پیمانکار یک گزارش سـالیانه برای سازمان آب روستایی تهیه کرده و به اتحادیه کشاورزان نیز گزارش می دهد. این گزارش سالیانه حداقل باید شامل موارد زیر باشد:

۱- خلاصه ای از گزارش.

۲- نگاه اجمالی به شرایط فصلی.

۳- میـزان و کیفیت آب بازیافتی و رودخانه، همراه بـا تجزیه و تحلیل تراز جرمی (به عنوان مثال وزن شوری و مواد مغذی).

۴- شرح فرایند نمونه برداری، برنامه نمونه برداری سالیانه و شرایط کلی خاک.

۵- خلاصـه آمـاری از نتایـج خاک که تمام محل هـای مصرف کنندگان را پوشـش داده و عمق نمونه برداری از خاک و تایید اعتبار داده ها.

۶- جزییات مربوط به تفسـیر حدود مجاز (تشـخیص) و روند شوری، سدیمی شدن، کلراید، pH خاک، مواد مغذی، کادمیوم (در صورتی که در آن سـال اندازه‌گیری شده باشد) شامل ارزیابی و رتبه بندی با توجه به مقادیر هدف، آب بازیافتی مصرفی و نوع خاک.

۷- جزییات ارزیابی سـاختار خاک و شـرایط پراکندگی، وضعیت جابجایی مواد مغذی و شـوری و موضوعات دیگری که از نظر پیمانکار باید مورد توجه سازمان آب روستایی قرار گیرد.

۸- فهرسـتی از پیشـنهادات همراه با کسـانی که مسـئول انجام این اقدامات پیشنهادی هستند (سازمان آب منطقه ای، سازمان آب روستایی و یا خود مصرف کننده).

۹- گزارش پایانی نمونه برداری سـالیانه خاک، گزارش نمونه های اضافی، نکات مهم در مشـاوره خصوصی، رهنمود های تفسیری و تمامی روش های نمونه برداری و آزمایش به صورت پیوست (۲۹).

۸- اقدامات کنترلی در استفاده از آب بازیافتی در بهسازی خاک

خاک به عنوان بسـتر حیات انسـان، تحت تاثیر فعالیت های انسـانی و آلودگی های ناشی از این فعالیت ها قرار می گیرد. هرگونه تغییر در ترکیب شیمیایی و فیزیکی خاک به طوری که خاصیت اصلـی آن را تغییـر دهـد، را آلودگی مـی گویند. حفاظت از خـاک به عنوان یکـی از مهمترین

اکوسیستم های طبیعی دارای اهمیت زیادی است (۳۰). کاربرد آب های بازیافتی در بهسازی خاک (همان گونه که قبلا گفته شـد) دارای اثرات مفید و مضری بر خاک بوده و برای اسـتفاده پایدار از این منبع باید به گونه ای این اثرات را کنترل نمود. در جداول ۴۲ و ۴۳ توصیه هایی جهت کنترل برخی اثرات شرح داده شده در بخش های قبل، ارائه شده است.

جدول ۴۲: اقدامات کنترلی توصیه شده برای استفاده از آب بازیافتی در بهسازی خاک (۸)

مشکل	اقدامات کنترلی
نیتروژن اضافی	• رقیق سازی با آب شیرین • محدود سازی مقدار آب بکار رفته • حذف نیتروژن اضافی از طریق تصفیه
مواد آلی	• فاصله اندازی بین آبیاری ها و در نتیجه فراهم آوردن زمانی جهت تجریه زیستی مواد آلی توسط خاک • افزایش حذف از طریق تصفیه
شوری	• عدم استفاده از آب دارای جامدات محلول ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر بسته به نوع خاک و خاصیت زهکشی آن • کاهش کاربرد نمک در بالا دست جریان و در نتیجه کاهش تخلیه آن به فاضلاب • افزایش خاک شویی، بهبود زهکشی زمین، کاربرد اصلاح کننده های خاک • رقیق سازی آب
کلراید ها	• استفاده از آب دارای کلراید کمتر از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر در آب افشان ها • استفاده از آب دارای کلراید کمتر از ۳۵۰ میلی گرم در لیتر در آبیاری غرقابی • آبیاری در شب
ترکیبات آلی سمی	• پیش تصفیه یا جداسازی فاضلاب صنعتی • گسترش صنایعی که در تولیدات خود از ترکیبات آلی سمی کمتری استفاده می کنند. • آموزش همگانی در مورد استفاده کمتر از ترکیبات سمی و دفع بی خطر آنها
فلزات سنگین	• پیش تصفیه یا جداسازی فاضلاب صنعتی • فقط در زمین های با pH بیش از ۶/۵ استفاده شود.
کل مواد معلق	• حذف جامدات از طریق تصفیه • شخم زدن خاک در صورت گرفتگی منافذ آن • عدم استفاده از آبیاری قطره ای چون ممکن است مسدود شود.

اسـتفاده دراز مدت از آب بازیافتی ممکن اسـت باعث سـدیمی شدن خاک و شوری شود، ترکیب شـیمیایی خاک را تغییر داده و در نهایت منجر به عدم حاصل خیزی خاک گردد. همان گونه که ذکـر گردید از زمان شـروع برنامـه آبیاری با آب بازیافتی و به منظور تشـخیص روند نامطلوب در شـیمی خاک مناطقی که از این نوع آب اسـتفاده می کنند، باید آب مصرفی و خاک محل مورد پایـش قـرار گیرد. در صورت مشـاهده افزایش شـدید در پارامتر های مهم خاک مانند شـوری و

سدیمی شدن و ... لازم است اقداماتی جهت کنترل این عوامل صورت گیرد که به طور خلاصه در جدول ۴۴ این اقدامات همراه با میزان تاثیر آنها آورده شده است.

اصلاح خاک شـــامل دو فرایند اصلی کاهش درصد سدیم قابل تبادل و دیگری خارج ساختن نمک های محلول می باشـــد. تنها راه حل ممکن برای خارج ســـاختن نمک های محلول شســـت و شوی خاک اســـت که عمل نســـبتا ســـاده ای می باشد. ولی کاهش درصد ســـدیم قابل تبادل تا اندازه‌ای مشـــکل اســـت. زیرا یون های سدیم جذب ذرات خاک می گردد و قبل از خارج شدن از خاک باید از طریق فرایند های شیمیایی به وسیله یون های دو ظرفیتی موجود در محلول خاک جایگزین و سپس شسته و از منطقه ریشه ها خارج گردند. بنابراین اصلاح خاک های سدیمی ترکیبی از فرایند های شیمیایی و شست و شوی خاک می باشد (۲۸).

جدول ۴۳: اقدامات کنترلی توصیه شده برای استفاده از آب بازیافتی در بهسازی خاک با توجه به مشکلات مختلف (۸)

مشکل	اقدام کنترلی
گرفتگی سیستم های آبیاری	استفاده از آبی که مواد جامد معلق آن کم است. استفاده از سیستم آبیاری که کمتر تحت تاثیر مواد جامد باشد.
گرفتگی و خوردگی در سیستم آبیاری بارانی	گرفتگی و خوردگی در این سیستم ها را می توان با استفاده از آبی که کلراید کمتر از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، سدیم کمتر از ۷۰ میلی گرم در لیتر و آهن و منگنز کمتر از ۱/۵ میلی گرم در لیتر کنترل کرد.
شوری و سدیمی شدن خاک	افزایش شستشوی خاک، ایجاد زهکش در زمین و یا استفاده از اصلاح کننده های خاک. رقیق سازی آب هایی که نسبت جذب سدیم بیشتر از ۸ و هدایت الکتریکی بیشتر از ۲٫۳ دسی زیمنس بر سانتی متر دارند.
تشکیل لایه بیولوژیکی خاک که مانع نفوذ آب می گردد	کاهش مقدار مصرف آب و یا افزایش دوره ای غرقاب و خشک.
همزمان شدن آب شویی نیتروژن و مواد آلی	افزایش نیترات زدایی در خاک با ایجاد نسبت مناسب کربن به نیتروژن، افزایش شرایط بی هوازی در خاک و ممانعت از تجمع نمک که از فعالیت باکتری های نیترات زدا جلوگیری می کند.

جدول ۴۴: اقدامات اصلاحی بر روی خاک در زمان آبیاری با آب بازیافتی به همراه میزان تاثیر این اقدامات (۲۹)

اقدام اصلاحی	کاهش شوری	کاهش کلراید	کاهش سدیمی شدن	کم کردن pH خاک	کاهش انتقال مواد مغذی
افزایش آبیاری به منظور افزایش آب شویی	√√√	√√√	√	-	-
خاک ورزی عمیق برای باز کردن مسیر برای حرکت آب در حالت عمودی.	√√√	√√√	-	-	-
استفاده از گچ	√	√	√√√	-	-
استفاده از کود کلسیم دار (نیترات کلسیم، کلسیم تیوسولفات)	√	√	√√√	-	√
شیب بندی لیزری برای بهبود بستر زهکشی	√√√	√√√	-	-	-
نصب زهکش زیر زمینی	√√√	√√√	√	-	-
تعمیق و بهبود زهکشی مزرعه	√√√	√√√	√	-	-
بررسی و بهبود یکنواختی توزیع آب به منظور دستیابی به یک DU نزدیک ۹۰ درصد	√√√	√√√	-	-	√
بررسی استراتژی مصرف کود و تغییر آن برای حفظ تعادل با مواد مغذی موجود در آب بازیافت شده	-	-	-	√	√
تکرار استفاده از آهک	-	-	-	√	-

۸-۱ اصلاح خاک سدیمی ناشی از مصرف آب بازیافتی

اصلاح خاک های سدیمی مستلزم آن است که سدیم قابل تبادل به وسیله کلسیم جایگزین گردند. برای افزودن کلسیم به خاک می‌توان از نمک های محلول استفاده کرده و یا در خاک های آهکی با افزایش اسید یا مواد تولید کننده اسید، کلسیم را وارد محلول خاک نمود. معمول ترین ماده اصلاح کننده خاک، گچ ($CaSO_4,2H_2O$) است که به خاک یا آب آبیاری اضافه می شود. اگر کلراید کلسیم در اختیار باشد می توان از این ماده نیز استفاده نمود. اگر خاک آهکی باشد می توان اسید سولفوریک یا سولفات آهن و آلومینیوم یا گوگرد نیز به خاک اضافه نمود.

تخمین مقدار ماده اصلاح کننده برای خاک های سدیمی بستگی به ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک، تغییر مورد نظر در درصد سدیم قابل تبادل (ESP)، وزن مخصوص ظاهری خاک و عمق خاک دارد. اگر به ظرفیت تبادل کاتیونی برحسب مول در کیلوگرم خاک توصیف گردد مقدار کلسیم مورد نیاز (برحسب مول در کیلوگرم خاک) به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$\text{Ca (mol/kg خاک)} = \frac{(CEC) \times \Delta\,(\text{ESP})}{۱۰۰} \qquad (۱)$$

در واقع این معادله مقدار یون هایی که لازم اســت به خاک اضافه شــود تا آن را به اندازه ΔESP تقلیل دهد محاسبه می کند. همانطور که ذکر گردید این یون ها با افزودن گچ یا کلراید کلسیم به خاک اضافه می شوند. با توجه به قابلیت انحلال گچ و کلراید کلسیم که به ترتیب در حالت اشباع حــدود ۳۰/۶ و ۲۷۵۷۹ میلــی اکی والان در هر لیتر آب خالص اســت، مقدار گچ (ژیپس)، کلراید کلسیم و سولفور مورد نیاز برای تعویض مقادیر مختلف سدیم قابل تبادل در لایه ۰٫۳ متری سطح زمینی که خاک آن دارای وزن مخصوص ظاهری ۱٫۴۷ گرم بر ســانتی متر مکعب باشــد در جدول ۴۵ آورده شده است.

میزان آبی که باید از پروفیل خاک عبور نماید تا اصلاح شیمیایی به وسیله گچ صورت گیرد بستگی بــه مقــدار گچ مورد نیاز و درجه حلالیــت آن دارد. به عنوان مثال اگر ظرفیــت تبادل کاتیونی در خاکی ۱۵۰ مول در کیلوگرم و وزن مخصوص ظاهری آن ۱٫۴۷ گرم بر سانتی متر مکعب و درصد سدیم قابل تبادل خاک ۵۰ باشد و بخواهیم آن را در لایه ای به عمق ۱ متر به ۱۲ تقلیل دهیم.

$$\Delta ESP = ۵۰ - ۱۲ = ۳۸$$

بنابراین تغییر مورد نظر برابر است با:

$$\frac{(۱۵۰)(mol/kg)\times(۳۸)}{۱۰۰} = ۵۷ \ (mol/kg \text{ خاک})$$

به عبارت دیگر باید آن قدر گچ به زمین اضافه شــود تا بتواند به اندازه ۵۷ مول ســدیم قابل تبادل را در هر کیلوگرم خاک تعویض نماید. با توجه به جدول ۴۵ به ازای ۵۷ مول سدیم قابل تبادل در هر کیلوگرم خاک، مقدار گچ مورد نیاز برای لایه ۰٫۳ متری خاک ۲۱٫۶ تن در هکتار است که برای یک متر عمق ۷۲ = (۰٫۳ :۱) × ۲۱٫۶ تن در هکتار گچ مورد نیاز خواهد بود (۳۲).

جدول ۴۵: مقادیر گچ، کلراید کلسیم و سولفور مورد نیاز برای جایگزین شدن مقادیر مختلف سدیم قابل تبادل در لایه ۰٫۳ متری سطح زمین با در نظر گرفتن وزن مخصوص ظاهری ۱٫۴۷ گرم در سانتی متر مکعب (۳۲)

سدیم قابل تبادل	گچ	کلرور کلسیم	سولفور*
(مول در کیلوگرم خاک)	(تن در هکتار)		
۱۰	۳٫۸	۲٫۴	۰٫۷
۲۰	۷٫۶	۴٫۹	۱٫۴
۳۰	۱۱٫۰	۷٫۳	۱/۲
۴۰	۱۵٫۰	۹٫۸	۲٫۸
۵۰	۱۹٫۰	۱۲٫۰	۳٫۵
۶۰	۲۳٫۰	۱۵٫۰	۴٫۲
۷۰	۲۷٫۰	۱۷٫۰	۵٫۰
۸۰	۳۰٫۰	۲۰٫۰	۵٫۷
۹۰	۳۴٫۰	۲۲٫۰	۶٫۴
۱۰۰	۳۸٫۰	۲۴٫۰	۷٫۱

*استفاده آن در صورتی توصیه می شود که خاک حاوی مقدار کافی آهک باشد تا سولفور بتواند واکنش های شیمیایی را ایجاد کند.

وقتی گچ به خاک یا آب آبیاری اضافه می شود آبی که از خاک عبور می کند مقداری از آن را حل نموده و وارد خاک می کند. به طور معمول اگر ارتفاع آبیاری ۱۰ میلی متر باشد این آب در سطح یک هکتار قادر خواهد بود با توجه به حلالیت ژیپس مقدار ۲۵۰ کیلوگرم گچ را در خود حل نماید. بنابراین در مثال فوق برای حل شدن ۷۲ تن گچ در هکتار نیاز به ۲٫۹ متر آب خواهد بود. بر طبق تجارب به دست آمده وقتی گچ به خاک یا آب آبیاری اضافه می شود محلولی که از خاک عبور می‌کند از نظر گچ در حالت اشباع نبوده بلکه میزان گچ آن حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد حالت اشباع است. به این ترتیب هر هکتار- متر آب آبیاری در حدود ۸٫۶ تا ۱۳٫۲ تن گچ را در خود حل می کند و برای آن که در یک هکتار زمین به عمق یک متر بتواند به اندازه یک میلی اکی والان سدیم قابل تبادل را در هر صد گرم خاک معاوضه نماید (با راندمان ۷۵ درصد)، معادل ۱۵٫۶ تن گچ مورد نیاز خواهد بود. اگر محلولی که با شست و شو از خاک خارج می شود به اندازه ۳۰ درصد اشباع باشد برای اصلاح خاک مقدار ۱٫۸ متر آب مورد نیاز است. البته میزان گچ مورد نیاز همانطور که گفته شد بسته به این است که بخواهیم درصد سدیم قابل تبادل خاک را تا چه اندازه پایین بیاوریم. معمولا اصلاح و شست و شوی خاک تا حدی صورت می گیرد که درصد سدیم قابل تبادل

خاک در اعماق ۰٫۲ و ۱ متری خاک به ترتیب ۵ و ۱۵ باشند.
اصلاح خاک قاعدتا در دو مرحله صورت می گیرد. مرحله اول اصلاح لایه سطحی خاک است که قبل از کشت انجام می شود و مرحله بعدی اصلاح تدریجی لایه های عمیق تر خاک می باشد که در حین رشد محصول صورت می پذیرد (۳۲).
لازم به ذکر است که در«دستورالعمل آزمایش های آب شویی خاک های سدیمی و شور در ایران» نشریه شماره ۲۵۵ ب سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور اقدامات کنترلی لازم جهت خاک های سدیمی به تفصیل آورده شده که در مواقع لزوم می توان به آن مراجعه کرد.

۸-۲ کنترل شوری ناشی از مصرف آب بازیافتی

در نتیجه آبیاری با آب بازیافتی باید مدیریت صحیح انجام شود تا از عدم تخریب خاک و افزایش شوری اطمینان حاصل گردد. تمام آب هایی که برای آبیاری استفاده می شوند مقداری نمک دارند. در صورتی که زهکش مناسبی وجود نداشته باشد تا نمک های مصرف نشده توسط گیاه در حال رشد را از محل خارج کند، نمک ها ممکن است در ناحیه ریشه جمع شوند. در کاربرد آب بازیافتی، غلظت نمک در ناحیه ریشه به تدریج افزایش یافته مگر این که توسط آب شویی و زهکشی از این ناحیه خارج گردند. در صورت عدم وجود زهکش و آب شویی به سمت پایین، ممکن است نمک ها در اثر تبخیر به سطح خاک کشیده شوند. بنابراین الزام اساسی برای کنترل شوری در سیستم های آبیاری، آب شویی مناسب جهت جلوگیری از انباشته شدن نمک است. در صورت مصرف آب بازیافتی با TDS بیش از ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و جهت برقراری شرایط زیستی و پایدار برای گیاه، کنترل بیشتری در خصوص شوری باید انجام شود (۳۱).
در کنترل نمک از طریق آبیاری باید به دو رابطه اساسی توجه کرد، یکی مقدار آب مورد نیاز گیاه و دیگری کیفیت آب آبیاری. اگر چه روش آبیاری و عملیاتی که در این زمینه صورت می گیرد از محلی به محل دیگر متفاوت است ولی اصول کلی یکسان است.
در کنترل نمک به وسیله آبیاری نمک های خاک در آب آبیاری حل شده و همراه با آن شسته می شوند. بنابراین کیفیت آب آبیاری و جهت حرکت آن در خاک از نظر شستن نمک ها حائز اهمیت است. جذب آب توسط گیاه و تبخیر سطحی موجب حرکت نمک به طرف سطح خاک می شود. ولی اگر آب اضافی به زمین داده شود جهت حرکت آب به سمت پایین تغییر کرده و مقداری از نمک های خاک همراه با آن از دسترس ریشه ها خارج می گردد. این عمل را شستشوی

خاک گویند (۳۲).

همان طور که گفته شد شوری خاک به تدریج از سطح زمین تا لایه زیرین منطقه ریشه ها افزایش می یابد. شوری خاک در این لایه را می توان از طریق جزء آب شویی[1] کنترل کرد. جزء آب شویی (LF) عبارت است از حاصل تقسیم مقدار آب زهکشی شده از منطقه ریشه ها (D_d) به مقدار آب آبیاری (D_i). به عبارت دیگر:

$$LF = \frac{D_d}{D_i} = \frac{EC_i}{EC_d} \qquad (۲)$$

مقدار آب اضافی که لازم است به خاک داده شود تا غلظت نمک را در حد پایین تر از میزان تحمل گیاه نگه دارد را آب شویی مورد نیاز[2] گویند. برای محاسبه این مقدار از فرمول زیر استفاده می شود:

$$LR = \frac{EC_i}{EC_d^{\star}} = \frac{D_d^{\star}}{D_i} \qquad (۳)$$

معادله ۳ مشابه معادله ۲ بوده با این تفاوت که EC_d^* نشان دهنده حداکثر شوری مجاز و D_d^* نشان دهنده حداقل آب است که باید زهکشی شود. در واقع جزء آب شویی آن جزء از آب آبیاری است که عملا از لایه زیر ریشه ها خارج می گردد و آب شویی مورد نیاز (LR) تخمینی از شستشوی مورد نیاز است تا بتواند شوری محلول را در حد معینی کنترل کند (۳۲).

اصلاح خاک های شور معمولا به وسیله غرقاب کردن زمین انجام می گیرد. عمق خاکی که به این طریق اصلاح می شود حدودا برابر عمق آبی است که در خاک نفوذ و از آن عبور می کند. با جابجا شدن مقدار آبی معادل یک برابر حجم فضا های خالی خاک شوری به نصف تقلیل می یابد و اگر مقدار آب جابجا شده معادل ۱٫۵ تا ۲ برابر حجم فضا های خالی خاک باشد شوری به اندازه ۸۰ درصد کاهش می یابد. چون حجم نسبی فضا های خالی خاک در حدود ۵۰ درصد است، لذا جابجا شدن مقدار آبی معادل دو برابر حجم فضای خالی خاک برابر ارتفاع آبی است که به اندازه عمق خاک می باشد. مثلا اگر بخواهیم خاکی به عمق ۰٫۵ متر را شست و شو دهیم به طوری که حجم آب جابجا شده در داخل خاک به اندازه ۲ برابر حجم فضای خاک باشد، به ارتفاع آبی معادل ۰٫۵ متر نیاز است.

1. Leaching Fraction (LF)
2. Leaching Requirement (LR)

در شســت و شــوی خاک به طریق آبیاری بارانی یا متناوب (غیر غرقابی) مقدار کمتری آب مورد نیاز می باشــد. علاوه بر این راندمان شســت و شــو در این طریق بیش از زمانی است که به طریقه غرقابی صورت می گیرد. به عبارت دیگر با یک مقدار معین آب، اگر بخواهیم خاک بیشتر شستشو شود بهتر است این آب به طریق بارانی یا متناوب داده شود تا یکباره و به صورت غرقابی. دلیل این امر آن اســت که در حالت غرقابی حرکت آب به صورت اشــباع و در حالت بارانی یا آبیاری متناوب حرکت آب به صورت نیمه اشــباع انجام می شــود. در حالت اشباع آب عمدتا از فضا های بزرگ و با سرعت زیادتر عبور می کند و شسته شدن نمک (جابجایی نمک به وسیله آب) از فضا های کوچک بیشــتر صورت می گیرد تا از فضا های بزرگتر، لذا راندمان شســت و شــوی خاک به طریق غرقابی کمتر است (۳۲).

۸-۲-۱ ارتباط روش های آبیاری با کنترل شوری

بــه طور کلی، پخش آب در ســطح خــاک در روش های مختلف آبیاری به ســه طریق زیر صورت می گیرد:

- آب در تمام سطح زمین پخش می شود (آبیاری بارانی و کرتی)
- آب روی یک خط پخش می شود (آبیاری فارو یا آبیاری به وسیله لوله های سوراخ دار)
- آب در یک نقطه پخش می شود (آبیاری قطره ای و حوضچه ای کوچک)

در طریقه اول که آب تمام سطح زمین را می پوشاند، اگر پخش آب یکنواخت باشد و شست و شوی کافی انجام گیرد شــوری خاک نیز به طور یکنواخت از ســطح زمین تا عمق خاک افزایش می یابد ولی اگر آبیاری در فواصل طولانی تری صورت گیرد و میزان تبخیر از سطح زمین زیاد باشد در این صورت شوری خاک در لایه سطحی در فواصل بین دو آبیاری به تدریج افزایش می یابد.
آبیاری کرتی زمانی از نظر کنترل شــوری موفقیت آمیز اســت که آب به طور یکنواخت در ســطح مزرعه پخش شود. برای این منظور لازم است زمین به خوبی تسطیح گردد. اگر زمین پست و بلند باشد برخی نقاط به اندازه کافی آب دریافت نکرده نمک آن شسته نخواهد شد. در این صورت برای رفع مشــکل باید مقدار بیشتری آب به زمین داده شود. چنانچه نفوذ پذیری خاک کم باشد شسته شدن نمک با اشکال مواجه می شود.

در طریقه دوم یعنی آبیاری جوی– پشته ای (فارو) و آبیاری به وسیله لوله های سوراخ دار، توزیع نمـک در دو جهـت افقی و عمودی صورت می گیرد. در این نـوع آبیاری ها تجمع نمک در جبهه رطوبـت خاک بوده لذا در بین ردیف ها (روی پشـته ها) مقـدار نمک زیادتر از جاهای دیگر جمع می شـود. انباشـته شدن نمک روی پشـته ها به شکل فاروها نیز بسـتگی دارد. در آبیاری جوی-پشته‌ای خاکی که در زیر شیار یا خط آبیاری قرار گرفته است بیشتر از جاهای دیگر شسته می شود و میزان شسته شدن آن متناسب با مقدار آبیاری و فاصله بین دو آبیاری است.

در آبیـاری قطره ای و حوضچه ای کوچک حرکت نمک به صورت شـعاعی در تمام جهات صورت می گیرد. در خاک های شـنی جبهه حرکت نمک بسـته به کمی یا زیادی آب دایره ای و یا بیضی شکل (محور بزرگ عمودی) است ولی در خاک های رسی حرکت نمک در جهت افقی بیشتر است و تجمع نمک در عمق زیاد نخواهد بود.

مقایسه سیستم های آبیاری از نظر کنترل شوری بسیار مشکل است، زیرا عملیاتی که در هر کدام از این سیسـتم ها صورت می گیرد متفاوت است. مثلا اختلاف در راندمان آبیاری، حتی اگر مقدار آب داده شده به زمین یکسان باشد، تفاوت فاحشی را در شوری خاک بوجود می آورد.

سیستم های آبیاری در ارتباط با کنترل شوری عبارتند از:

۸-۲-۱-۱ ارتباط آبیاری به روش کرتی و کنترل شوری

در این سیسـتم شسـته شـدن خاک یکنواخت صورت می گیرد. راندمان آب شویی تا حد زیادی بسـتگی به مسـطح بودن زمین و نفوذ یکنواخت آب دارد. پس از برداشت محصول و خشک شدن سـطح زمین دوباره نمک ها در سـطح مزرعه پخش می شود لذا لازم است قبل از بذرکاری مجدد یک آبیاری سنگین به زمین داده شود تا نمک ها شسته شوند.

۸-۲-۱-۲ ارتباط آبیاری به روش بارانی و کنترل شوری

مشکلات ناشی از پستی و بلندی زمین و کمبود آب باعث شده است که روش بارانی در بسیاری از مناطق معمول گردد. این روش برای کنترل شوری خاک موثرتر از روش آبیاری کرتی است. علاوه بر این راندمان شسـت و شـوی نمک در روش آبیاری بارانی زیادتر از روش غرقابی است. در هنگام آبیاری درختان باید سـعی کرد از آب پاش هایی اسـتفاده شود که زاویه جهت آب کوچک باشد تا از برخورد آب به برگ ها و سوختگی آنها جلوگیری شود.

۸-۲-۱-۳ ارتباط آبیاری به روش قطره ای و کنترل شوری

در ایــن روش آبیــاری از طریق قطــره چکان های مخصوص که نزدیک پایه گیاه نصب می شــوند تامین می گردد. این روش برای آبیاری با آب شــور مناســب است زیرا محلول خاک تقریبا همیشه رقیق نگهداشــته شده و اثر شــوری زیاد مشهود نخواهد بود. مقایســه آبیاری قطره ای و کرتی به روشنی برتری اولی را معلوم می سازد. به این معنی که در روش کرتی محلول خاک بلافاصله پس از آبیاری از نظر شــوری به حداقل رسیده و ســپس به مرور زمان بر غلظت آن افزوده می شود. به طوری که تا آبیاری بعدی غلظت نمک در محلول خاک ممکن است ۱۰ برابر شود. در حالی که در روش قطره ای میزان غلظت نمک در محلول خاک تقریبا ثابت اســت و برای جزء آب شــویی ۰٫۱ تقریبا ۲٫۵ برابر غلظت آب آبیاری اســت و صدمه ناشی از آن به مراتب کمتر از آبیاری کرتی است. در آبیاری قطره ای توصیه می شــود قبل از کشــت در سال بعد نمک ها با انجام یک آبیاری عمیق سطحی شسته شوند (۳۲).

توضیحات بیشتر در خصوص اقدامات کنترلی لازم جهت خاک های شور در «دستور العمل آزمایش های آب شــویی خاک های ســدیمی و شور در ایران» نشریه شماره ۲۵۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی آورده شده که می توان به آن مراجعه کرد.

۸-۳ روش های کنترل فلزات سنگین ناشی از مصرف آب بازیافتی

برخی از فلزات سنگین به طور طبیعی و در مقادیر کم در خاک وجود دارند. میزان این فلزات بسته به منشاء مواد خاک متفاوت است. استفاده طولانی مدت از آب های بازیافتی احتمال خطر افزایش غلظت آلاینده ها را در لایه های بالایی خاک افزایش می دهد. اســتفاده از آب های بازیافتی نباید منجر به افزایش غلظت مواد شیمیایی در خاک گردد و نباید اجازه داد تا منطقه مورد آبیاری آلوده شود (۳۱).

کاربرد بعضی از روش های مدیریت خاک باعث می شود که آلاینده ها توسط گیاه جذب نشده و در خاک باقی بماند. شیوه های مدیریتی که در ادامه آورده شده است فلزات سنگین را از خاک حذف نمی کند بلکه موجب بی حرکت شدن آنها در خاک شده و خطرات بالقوه آنها را کاهش می دهند. در انتخاب این روش ها باید نوع فلز (کاتیون یا آنیون) در نظر گرفته شود:

۸-۳-۱ افزایش pH به ۶٫۵ و یا بالاتر

فلزات کاتیونی در pH های پایین تر دارای حلالیت بیشتری هستند، بنابراین افزایش pH موجب می شـود که قابلیت دسترسـی آنها برای گیاهان کمتر شـده در نتیجه کمتر وارد زنجیره غذایی گردند. افزایش pH اثر متضادی بر عناصر آنیونی دارد.

۸-۳-۲ زهکشی خاک های مرطوب

زهکشـی موجب می گردد که شـرایط تهویه خاک بهبود یافته در نتیجه فلزات اکسـیده شـده و حلالیت آنها کمتر گردد. بنابراین با افزایش میزان اکسیژن در نتیجه بهبود تهویه خاک، این فلزات کمتر در دسترس هستند. در مورد کروم شرایط فرق می کند به طوری که این فلز در فرم اکسیده شده بیشتر در دسترس می باشد. مواد آلی فعال در کاهش قابلیت دسترس کروم موثر است.

۸-۳-۳ کاربرد فسفات

کاربرد فسـفات به میزان زیاد، قابلیت دسـترس فلزات کاتیونی را کاهـش داده اما اثر متضادی بر ترکیبات آنیونی مانند آرسـنیک دارد. اسـتفاده از فسـفات باید با احتیاط صورت گیرد زیرا مقادیر بالای آن در خاک می تواند موجب آلودگی آب شود.

۸-۳-۴ انتخاب گیاهان مناسب برای استفاده در خاک های آلوده به فلزات سنگین

گیاهـان موجب جابجایی مقادیر بیشـتری از فلزات به برگ ها در مقایسـه با میوه ها و یا تخم ها می‌شـوند. بیشـترین خطر در آلودگی زنجیره غذایی در سبزی های برگ مانند (کاهو و یا اسفناج) می باشد. خطر دیگر در علوفه می باشد که توسط حیوانات خورده می‌شوند (۳۳).

استفاده از گیاهان برای اصلاح خاک های آلوده مزایای زیادی دارد. بررسی های انجام شده بر روی برخی جنبه های گیاه پالایی[1] فلزات در خاک در دسـترس اسـت. گیاه پالایی که برخی مواقع به عنوان زیست پالایی[2]، زیست پالایی گیاهی[3] و پالایش سبز[4] نیز شناخته می شود، روشی است که در آن از گیاهان برای رفع آلودگی خاک اسـتفاده می کنند. ایده اسـتفاده از گیاهان نادر که قادر

1. Phytoremediation
2. Bioremediation
3. Botanical Bioremediation
4. Green Remediation

به تجمع بیش از حد فلزات در درون خود و یا حذف انتخابی یا بازیافت مقادیر اضافی فلزات خاک هستند از سال ۱۹۸۳ ایجاد گردید. این روش به عنوان تکنولوژی عملی و با صرفه مورد بررسی و آزمون قرار گرفته است. در حال حاضر حدود ۴۲۰ گونه متعلق به ۴۵ خانواده از گیاهان وجود دارد که به عنوان فوق انباره های[1] فلزات سنگین شناخته شده اند. گیاه خس خس به دلیل رشد سریع و بازده محصول بالا در مقایسه با فوق انباره های دیگر مقادیر زیاد تری از فلزات سنگین و مواد مغذی را از خاک های آلوده جذب می کنند. توانایی زیست پالایی گیاهان را می توان با استفاده همزمان از آنها و ارگانیسم های ریشه‌ای[2] و یا از طریق مهندسی زیستی[3] افزایش داد. مقوله های مختلف گیاه پالایی عبارتند از:

- استخراج توسط گیاهان: گیاهان آلاینده ها را از خاک حذف می‌کنند.
- فرار سازی توسط گیاهان: گیاهان ترکیبات شیمیایی فرار از عناصر موجود در خاک ایجاد می کنند.
- جذب در ریشه های گیاه: آلاینده ها از جریان آب توسط ریشه های گیاه حذف می شوند.
- تثبیت توسط گیاه: گیاهان فلزات درون خاک را به اشکالی با سمیت کمتر تبدیل کرده بدون آنکه آنها را از خاک حذف کنند (۳۴).

۸-۴ کنترل بار مواد آلی ناشی از مصرف آب بازیافتی

در یک برنامه آبیاری مناسب مواد آلی وارد خاک شده، حاصلخیزی آن را بهبود می بخشد و پوشش گیاهی را گسترش می دهد. به هرحال در صورتی که میزان مواد آلی بیش از قدرت جذب آنها توسط خاک باشد منافذ خاک مسدود شده و شرایط بی هوازی در خاک ایجاد می گردد. بار زیاد مواد آلی باعث افزایش فاصله زمانی بین دو آبیاری می گردد. برای آبیاری موفق باید فواصل بین آبیاری کاملا مشخص باشند تا آب موجود در خاک فرصت خارج شدن از طریق تبخیر و تعرق را داشته و میکروارگانیسم های خاک قادر به تجزیه مواد آلی همراه با آب بازیافتی باشند. این کار همچنین امکان اشباع شدن خاک، ایجاد هرز آب و فقدان اکسیژن در ناحیه ریشه را به حداقل می رساند. متوسط روزانه بار مواد آلی در آبیاری باید با استفاده از میزان آبیاری (که از موازنه

1. Hyperaccumulators
2. Rhizosphere Organisms
3. Bioengineering

آب تعیین شـده) و میزان BOD_5 و روغن و چربی بر حسـب میلی گرم در لیتر موجود در پساب محاسـبه گردد. تجارب گذشـته نشان داده است که متوسـط میزان بار ۱۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار در مـاه (kg/ha/month) را مـی توان به عنوان حداکثر بار مـواد آلی برای خاک در نظر گرفت. هر جا که مدل مواد مغذی نشـان دهنده امکان نشـت مواد مغذی به زیر ناحیه ریشه باشد، سطح مورد آبیاری باید وسـیع تر شود. حداقل مساحت مورد آبیاری بر اساس بار مواد آلی را می توان به صورت زیر تخمین زد:

$$A = CQ / (1000 \times Lc)$$

که:

A= سطح آبیاری شده (هکتار)

C= غلظت BOD_5 (mg/L)

Q= متوسط میزان جریان آب بازیافتی (Kl/month[1])

Lc= میزان بار بحرانی جزء تشکیل دهنده (kg/ha/month) (۳۱)

۸-۵ کنترل عوامل بیماری زا ناشی از مصرف آب بازیافتی

آب بازیافتی می تواند وسیله انتقال عوامل بیماریزا باشد. برای ایجاد یک برنامه حفاظت از بهداشت دو راهکار وجود دارد. روش اول تمرکز بر کاهش خطرات احتمالی ناشی از آب مصرفی برای آبیاری است. این کار به طور معمول از طریق تصفیه فاضلاب و یا تصفیه و گندزدایی آن صورت می گیرد. در مواقعی که آب تصفیه شده در حد استاندارد های حفاظت بهداشت جهت آبیاری نامحدود نباشد جهـت کاهش احتمال خطر، بر روی کاربرد آب تمرکز می شـود (آبیاری). هر گونه برنامه کنترلی در مرحله اول باید بر ممانعت از ورود عوامل بیماریزا و بی ضرر کردن آنها متمرکز شـود. برای این کار اولین گزینه تصفیه فاضلاب (جدول۴۶) اسـت. فرایند تصفیه کاملی وجود ندارد اما هدف بلند مدت، کاهش احتمال خطر ناشی از فاضلاب می باشد (۳۵).

1. Kilolitres per Month

جدول ۴۶: حذف لگاریتمی پاتوژن های روده ای و ارگانیسم های شاخص در روش های مختلف تصفیه جهت کاهش احتمال خطر (۳۶)

روش تصفیه	اشرشیاکلی	باکتری های بیماری زا (از جمله کامپیلو باکتر)	ویروس ها (شامل آدنو ویروس ها، روتا ویروس ها، انترو ویروس ها)	فاژ	ژیاردیا	کریپتوسپوریدیوم	کلستریدیوم پرفریزنس	کرم ها
تصفیه اولیه	۰ – ۰,۵	۰ – ۰,۵	۰ – ۰,۱	مقداری در دسترس نیست	۰,۵ -۱	۰ – ۰,۵	۰ – ۰,۵	۰ -۲
تصفیه ثانویه	۱ -۳	۱ – ۳	۰,۵ -۲	۰,۵ – ۲,۵	۱,۵ – ۰,۵	۱ – ۰,۵	۱ – ۰,۵	۰ -۲
فیلتر با بستر دوگانه همراه با لخته سازی	۰ -۱	۰ -۱	۰,۵ – ۳	۱ – ۴	۱ -۳	۱,۵ – ۲,۵	۰ -۱	۲ – ۳
فیلتراسیون غشایی	بیشتر از ۶ – ۳,۵	بیشتر از ۶ – ۳,۵	بیشتر از ۶ – ۳	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶
اسمز معکوس	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶	بیشتر از ۶
استخر نگهداری	۵ – ۱	۵ – ۱	۴ – ۱	۴ – ۱	۴ – ۳	۳,۵ – ۱	مقداری در دسترس نیست	کمتر از ۳ – ۱,۵
کلرزنی	۶ – ۲	۶ – ۲	۳ – ۱	۲,۵ – ۰	۱,۵ – ۰,۵	۰,۵ – ۰	۲ – ۱	۱ – ۰
ازن زنی	۶ – ۲	۶ – ۲	۶ – ۳	۶ – ۲	مقداری در دسترس نیست	مقداری در دسترس نیست	۰,۵ – ۰	مقداری در دسترس نیست
نور ماوراء بنفش	کمتر از ۴ – ۲	کمتر از ۴ – ۲	بیشتر از ۱ ۵	۶ – ۳	بیشتر از ۳	بیشتر از ۳	مقداری در دسترس نیست	مقداری در دسترس نیست
تالاب با جریان سطحی	۲,۵ – ۱,۵	۱	مقداری در دسترس نیست	۲ – ۱,۵	۱,۵ – ۰,۵	۱ -۰,۵	۱,۵	۰ -۲
تالاب با جریان زیر سطحی	۰,۵ -۳	۳ – ۱	مقداری در دسترس نیست	۲ – ۱,۵	۲ – ۱,۵	۱ -۰,۵	۳ – ۱	مقداری در دسترس نیست

در استفاده از آب های بازیافتی، برخی رویکرد های مدیریتی نیز وجود دارد که در کنترل اثرات این آب ها بر خاک موثر می باشد. راهبرد های مدیریتی ممکن است در طی دوره رشد گیاه متفاوت باشند.

۶-۸ روش های مدیریت آب در مزرعه و بهسازی خاک

مدیریت مناسب آب طی کاربرد آن می تواند آلوده شدن خاک و محصولات کشاورزی را کاهش دهد. کنترل و زمان بندی و تواتر آبیاری نه تنها از جهت کاهش عوامل بیماریزا مهم بوده بلکه شوری و سمیت خاک را نیز کاهش می دهد. یکی از اقدامات مدیریت آب که به طور گسترده مستند شده و برای کاهش عوامل بیماریزا انجام می گیرد، توقف آبیاری چندین روز قبل از برداشت محصول است. به دلیل ایجاد شرایط نامساعد مانند نور خورشید این کار باعث از بین رفتن عوامل بیماریزا می شود. همچنین در مورد ویروس های قابل تشخیص نیز پس از دو روز در معرض نور خورشید قرار گرفتن ۹۹ درصد حذف، گزارش شده که تاییدی در خصوص رعایت فاصله زمانی بین آبیاری و برداشت محصول و یا چرای دام است. مطالعه ای دیگر نشان داد که هنگام استفاده از پساب خروجی یک صافی چکنده که 10^6 کلیفرم گرماپای در هر ۱۰۰ میلی لیتر داشت در آبیاری افشانه ای کاهو غلظت اولیه به بیش از 10^5 کلیفرم گرماپای در هر ۱۰۰ گرم محصول تازه رسید.

هنگامی که آبیاری با فاضلاب متوقف می گردد، پس از پنج روز هیچ سالمونلایی قابل تشخیص نبوده و میزان کلیفرم گرماپای پس از ۷ تا ۱۲ روز با میزان آن در محصول آبیاری شده با آب شیرین قابل مقایسه است. در کشور غنا مطالعات میدانی نشان دهنده کاهش ۰٫۶۵ واحد لگاریتمی روزانه در کلیفرم های گرماپای کاهو بود. نتایج این مطالعه نشان می دهد که توقف آبیاری با کاهش بازده محصول همراه است (۱٫۴ تن در هر هکتار نسبت به وزن تازه) و این کاهش ممکن است کشاورز را از انجام چنین اقدامی منصرف کند (۳۴).

مدیریت مناسب آب در مزرعه همچنین می تواند شوری و دیگر ترکیبات سمی را کاهش دهد. تجمع نمک ها در خاک را می توان با آب شویی در منطقه ریشه رفع کرد به این صورت که مقادیر بیشتری آب برای آبیاری استفاده کرد تا نمک به عمق پایین تر خاک شسته شود. در شرایط دیگر و به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک شوری و سمیت با سفره های آب زیر زمینی همراه است. بنابراین زهکشی در این حالت برای پایین تر بودن سطح آب زیر زمینی به میزان مناسب اهمیت داشته و از انتقال نمک ها به منطقه ریشه ای و سطح خاک بر اثر حرکت مویین ممانعت می کند (۳۴).

استفاده از روش های مناسب آبیاری، انتخاب محصول کشاورزی و تسطیح زمین از جمله مهمترین شیوه های مدیریت آب در مزرعه می باشند که در ادامه آورده شده است.

۸-۶-۱ استفاده از روش های مناسب آبیاری

در شرایط طبیعی، انتخاب روش آبیاری بستگی به تامین آب، شرایط اقلیمی، خاک، محصول کشت شده، هزینه روش آبیاری و امکانات کشاورز برای مدیریت سیستم دارد. به هرحال هنگامی که از فاضلاب به عنوان آبیاری استفاده می شود عوامل دیگری مانند آلودگی گیاهان توسط عوامل بیماریزا، محصول برداشت شده، کارگران مزرعه و محیط زیست همچنین شوری و خطرات مواد سمی را نیز باید در نظر گرفت. حوزه کاری قابل توجهی در خصوص کاهش اثرات نامطلوب فاضلاب از طریق انتخاب روش های مناسب آبیاری، وجود دارد (۳۴). در جدول ۴۷ عواملی که در ارزیابی توانایی کاهش احتمال خطرات چهار روش آبیاری که به طور وسیعی استفاده می شوند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند.

همچنین در رهنمود های آبیاری ایمن با فاضلاب توسط سازمان جهانی بهداشت استفاده از روش های مناسب آبیاری پیشنهاد شده است. بر اساس اثرات بهداشتی فاضلاب، سازمان جهانی

بهداشت روش های آبیاری را به سه دسته تقسیم بندی کرده است: آبیاری غرقابی و شیاری، افشانی و بارانی و آبیاری موضعی. میزان مواجهه با خطر در این روش ها متفاوت بوده و انتخاب روش آبیاری در کاهش میزان مواجهه موثر است (جدول ۴۸). در آبیاری غرقابی و شیاری آب در سطح خاک استفاده شده و احتمال در معرض خطر قرار گرفتن کارگران مزرعه بسیار زیاد است به ویژه هنگامی که پوشش حفاظتی استفاده نشود. در روش های افشانی و بارانی آبیاری در بالای سطح صورت گرفته و در این حالت بیشترین احتمال انتقال عوامل بیماریزا به سطح محصول وجود دارد زیرا در اغلب محصولات آب بر روی قسمت های خوراکی آنها پاشیده می شود. این روش ها همچنین باعث پخش وسیع عوامل بیماریزا به صورت آئروسل می گردند.

روش های آبیاری موضعی مانند آبیاری قطره ای بهترین حالت حفاظت از کارگران مزرعه را ایجاد می کند. زیرا آب مستقیما به ریشه گیاه می‌رسد. به هر حال روش های آبیاری موضعی در مقایسه نسبتا گران بوده و از آنجا که آب آلوده حاوی ذرات زیادی است مستعد گرفتگی سیستم آبیاری هستند. این روش ها قادر به کاهش آلودگی محصول را به میزان دو تا چهار واحد لگاریتمی می باشند (۳۴).

جدول ۴۷: بررسی روش های معمول آبیاری در ارتباط با استفاده از آب بازیافتی در کشاورزی (۲۴)

پارامتر های ارزیابی	آبیاری شیاری	آبیاری کرتی	آبیاری بارانی	آبیاری قطره ای
خیس شدگی برگی و در نتیجه آسیب برگ که منجر به کاهش بازده شود.	بدون آسیب برگ	برخی از برگ های پایین	آسیب شدید برگ	بدون آسیب برگ
تجمع نمک در منطقه ریشه با کاربرد مکرر	تجمع نمک در پشته	غیر محتمل	غیر محتمل	تکه های نمک بین نقاط آبیاری
توانایی حفظ آب خاک	تنش در بین آبیاری ها	تنش در بین آبیاری ها	تنش در بین آبیاری ها	پتانسیل بالای خاک جهت نگهداری آب
مناسب بودن برای آبیاری با فاضلاب لب شور بدون افت قابل توجه محصول	نسبتا خوب تا متوسط	نسبتا خوب تا متوسط	ضعیف تا نسبتا خوب	عالی تا خوب
مواجهه کارگران مزرعه با خطرات بهداشتی	زیاد	متوسط تا زیاد	بسیار زیاد	کم
قابلیت اجرا	مناطق کمی شیب دار، کشت های ردیفی	تنها مناطق مسطح، محصولاتی که ریشه عمیق دارد و باغات	مناطق موج دار، همه محصولات	هر نوع شیب، فقط کشت های ردیفی
بازده آب	۵۰ تا ۶۵ درصد	۴۵ تا ۶۰ درصد	۶۰ تا ۷۰ درصد	۷۵ تا ۸۵ درصد

جدول ۴۸: اقدامات کنترلی از طریق انتخاب روش آبیاری جهت کاهش میزان مواجهه (۲۴، ۳۴)

اقدام کنترلی	میزان کاهش
آبیاری قطره ای محصول	۲ لگاریتم
آبیاری قطره ای محصولی که تماس کمی با زمین دارد (مانند گوجه، فلفل)	۳ لگاریتم
آبیاری قطره ای محصول بالارونده که تماسی با زمین ندارند (مانند سیب، زرد آلو، انگور)	۵ لگاریتم
آبیاری زیرسطحی محصولات روی سطح زمین	۴ لگاریتم
دوره های اجتناب از کشت محصول	۰/۵ لگاریتم در روز *
دوره ای اجتناب از آبیاری زمین های پارک و ورزشی (۱ تا ۴ ساعت)	۱ لگاریتم
کنترل افشانه ها	۱ لگاریتم
آبیاری قطره ای گیاهان/ درختچه ها	۴ لگاریتم
آبیاری زیر سطحی گیاهان/ درختچه ها یا چمن زار ها	۵ تا ۶ لگاریتم
ممانعت از دسترسی عمومی هنگام آبیاری	۲ لگاریتم
ممانعت از دسترسی عمومی هنگام آبیاری و محدودیت تماس پس از آبیاری (منطقه‌ی غیر چمن زار) (مانند آبیاری محصولات غذایی)	۳ لگاریتم
ایجاد منطقه جداکننده	۱ لگاریتم

* بر مبنای غیر فعال شدن ویروس ها. در این شرایط باکتری های روده ای نیز غیر فعال می شوند.

۸-۶-۲ روش های استفاده از آب های بازیافتی شور

در هنگام اســتفاده از آب های بازیافتی شــور باید روش های خاصی به کار گرفته شوند تا دو هدف اصلی تامین گردند. یکی از این هدف ها کاهش یا کنترل شوری و دیگر بهبود وضع فیزیکی خاک و بخصــوص افزایش نفوذ آب در خاک اســت (۳۲). از عملیات مهمی که در این رابطه باید صورت گیرد می توان موارد زیر را ذکر نمود:

۸-۶-۲-۱ کوتاه کردن فاصله بین آبیاری ها

با تبخیر یا مصرف آب به وسیله گیاه غلظت نمک در محلول خاک افزایش می یابد. قبل از آبیاری غلظت نمک حداکثر و بلافاصله پس از آبیاری غلظت آن در محلول خاک به حداقل خود می رسد. کوتــاه کــردن فاصله بین آبیاری ها موجب می گردد تا متوســط رطوبت خاک افزایش یابد. به این ترتیب غلظت نمک به حدی نخواهد رسید که برای گیاه زیان آور باشد.

۸-۶-۲-۲ انتخاب گیاه مناسب

در استفاده از آب شور جهت جلوگیری از کاهش محصول، باید گیاه مقاومی را انتخاب نمود. البته انتخاب گیاه مقاوم، مانع از شستشوی خاک یا اعمال روش های دیگر نمی شود.

۸-۶-۲-۳ شست و شوی خاک

نمک های محلول خاک را که در لایه سطحی تجمع پیدا می کنند می توان از طریق وارد کردن آب اضافی از این لایه شستشو داد. زیرا ممکن است بارندگی سالانه به اندازه ای نباشد که نمک ها را بشوید و از منطقه توسعه ریشه ها خارج سازد. در این صورت لازم است در فصل غیر زراعت یا زمانی که گیاه در خواب است یک نوبت آبیاری سنگین انجام شده تا خاک به خوبی شسته شود.

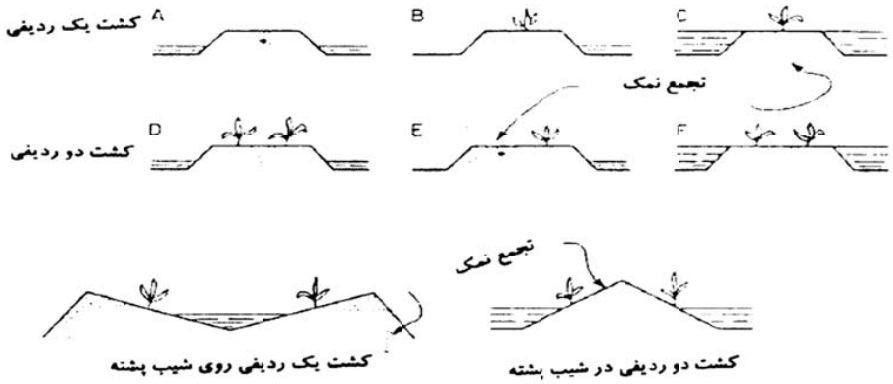
۸-۶-۲-۴ آبیاری قبل از کشت

چون تجمع نمک در لایه سطحی خاک در طی دوره آیش افزایش می یابد توصیه می شود قبل از کشت مجدد، زمین آبیاری گردد تا نمک ها شسته و از دسترس جوانه های گیاه خارج شوند. آبیاری قبل از کشت باید پیش از انجام هرگونه عملیات آماده سازی زمین صورت گیرد.

۸-۶-۲-۵ انتخاب محل بذرکاری

سبز شدن بذر در هنگام آبیاری با آب شور یکی از مشکلات عمده است. برای حل این مشکل کشاورزان مقدار بذر در هکتار را افزایش می دهند تا شانس جوانه زدن افزایش یابد. ولی این مسئله را می توان با انتخاب مناسب جوی و پشته ها و محل صحیح بذرکاری حل نمود. در آبیاری جوی- پشته ای اگر کشت بذر در وسط پشته های تک ردیفی صورت گیرد مثل آن است که بذر در محل جمع حداکثر نمک جایگذاری شده باشد. در پشته هایی‌که دو ردیف گیاه روی آنها کشت می شود باید سعی گردد محل بذرکاری تا حد امکان از مرکز پشته دور باشد. زیرا تجمع نمک در مرکز پشته خواهد بود. به این ترتیب در هنگام آبیاری با آب شور و در مورد گیاهانی که جوانه آنها نسبت به شوری حساس است توصیه می شود از کشت تک ردیفی روی پشته ها خودداری شده و به جای آن در ردیف بذر در نزدیک خطوط داغ آب طرفین کشت گردد. روش آبیاری به طریقه فاروهای یک در میان نیز یکی دیگر از راه حل ها به شمار می رود. اگر پشته از دو طرف خیس شود نمک در وسط یا مرکز پشته تجمع پیدا می کند ولی چنانچه پشته از یک طرف خیس شود

نمک ها به طرف شیاری که خشک نگه داشته شده است هدایت می شوند. به طوری که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در روش آبیاری یک در میان فاروها تجمع نمک در قسمت خشک پشته ها مانع جوانه زدن بذر می شود لذا این روش آبیاری برای کشت دو ردیفه توصیه نمی شود. با تغییر شکل فاروها نیز بهتر می توان شـوری خاک را کنترل نمود. فاروهای شیب دار که در آنها بذر درست در بالای خط داغ آب کشت داده شده باشد نتیجه بهتری حاصل می گردد.



شکل ۲: مقایسه تجمع نمک در پشته های مسطح و شیبدار (۳۲)

۸-۶-۲-۶ تغییر روش آبیاری

روش هـای آبیاری ثقلی (کرتی، غرقابی و فـارو) از نظر تغییر فاصله بین دو آبیاری و میزان ارتفاع آبیـاری قالیت انعطاف زیادی ندارنـد. مثلا در آبیاری فارو نمی توان ارتفاع آبیاری را از ۸۰ تا ۱۰۰ میلی متر در هر نوبت کمتر کرد، لذا اگرچه کم کردن فاصله بین دو آبیاری از نظر کنترل شـوری مفید است ولی باعث هدر رفتن مقدار زیادی آب می گردد. به این جهت اگر قرار است برای کنترل شوری فاصله بین آبیاری ها کم شود توصیه می گردد از روش آبیاری قطره ای استفاده شود.

۸-۶-۲-۷ تغییر نوع آب

اگر منابع مختلفی در اختیار است که کیفیت آب آنها متفاوت می باشد توصیه می شود که آبیاری زمین به طور متناوب با آب شیرین و شور صورت گیرد یا آنکه آب ها با هم مخلوط شوند تا شوری به اندازه کافی رقیق گردد.

۸-۶-۲-۸ شخم عمیق

در برخی شرایط لایه های متراکم و سختی در نیم رخ خاک مشاهده می گردد که مانع از نفوذ آب یا ریشه می شود. برای ساده کردن عمل آب شویی انجام یک شخم عمیق و یا استفاده از زیرکن[1] موجب بهبود وضع فیزیکی نیم رخ خاک می گردد. شخم عمیق پس از تسطیح زمین و قبل از شستشوی خاک صورت می گیرد.

۸-۶-۲-۹ زهکشی

عدم وجود زهکش های سطحی و زیر زمینی اغلب کنترل شوری را با اشکال مواجه می سازد. برای خارج کردن آب های اضافی سطح مزرعه لازم است که زمین را به خوبی تسطیح نموده و زهکش مناسب در آن احداث گردد. این عمل موجب می شود تا از تجمع آب در نقاط پست زمین جلوگیری شود.

اگر سطح آب زیر زمین بالا باشد (حدود دو متری از سطح زمین) تبخیر سطحی مقدرا زیادی نمک را بالا آورده، باعث شور شدن لایه سطحی خاک می گردد. برای جلوگیری از این مشکل لازم است در مورد زهکشی زیر زمین نیز تدابیر لازم در نظر گرفته شود.

۸-۶-۲-۱۰ ارتقاء نفوذ آب

برای بهبود نفوذپذیری خاک می توان از روش های فیزیکی استفاده نمود. روش های فیزیکی که موجب افزایش نفوذ آب می گردند عبارتند از: کوتاه کردن فاصله آبیاری ها، شخم عمیق، طولانی کردن مدت هر آبیاری، تغییر شیب زمین در آبیاری سطحی، جمع آوری و استفاده مجدد از زه آب های سطحی، استفاده از بقایای گیاهی و بالاخره تغییر روش آبیاری.

روش های شیمیایی شامل استفاده از مواد اصلاح کننده خاک است. استفاده از مواد شیمیایی زمانی موثر است که خاک از نظر فیزیکی نیز در شرایط مساعدی باشد. برای خارج کردن سدیم از آب روش های شیمیایی ارزان قیمتی وجود ندارد ولی می توان با افزودن کلسیم به آب یا خاک تا اندازه ای نسبت جذب سدیم را کاهش داد. کلسیم عمدتا به صورت گچ به خاک افزوده می شود. مقدار گچ (ژیپس) گرانوله که به خاک داده می شود بین ۲ تا ۲۰ تن در هکتار است. معمولا گچ در سطح خاک پاشیده می شود و یا توسط دیسک با خاک سطحی مخلوط می گردد. اگر گچ مستقیم

1. Subsoiler

به خاک اضافه گردد، بیشتر از ۷۰۰ کیلوگرم آن در هر هزار متر مکعب آب آبیاری حل نخواهد شد. چنانچه گچ مستقیما با آب مخلوط گردد به مقدار کمتری از آن نیاز خواهد بود.
علاوه بر گچ مواد اصلاح کننده دیگری نیز مورد مصرف دارند. کارایی این مواد در مقایسه با گچ در جدول ۴۹ نشان داده شده است (۳۲).

جدول ۴۹: مواد اصلاح کننده خاک و کارایی نسبی آنها برای رفع شوری خاک (۳۲)

نوع مواد اصلاح کننده	مقدار معادل ۱۰۰ درصد گچ
ژیپس	۱/۰۰
گوگرد	۰/۱۹
اسید سولفوریک	۰/۶۱
سولفات فریک	۰/۶۱
گوگرد + آهک (۹ درصد کلسیم و ۲۴ درصد گوگرد)	۰/۷۸
کلراید کلسیم	۰/۸۶
نیترات کلسیم	۱/۰۶

۸-۶-۳ انتخاب مناسب محصول کشاورزی مورد کشت

برخی از محصولات کشاورزی نسبت به دیگر محصولات برای آلودگی با عوامل بیماریزا مستعدتر بوده و یا به شوری و سمیت حساسیت بیشتری دارند. بنابراین انتخاب مناسب محصول کشاورزی مورد کشت احتمال خطرات را برای انسان کاهش می دهد. به عنوان مثال محصولات کشاورزی که بخش قابل خوردن آنها بیشتر در معرض آلودگی های خاک و آب آبیاری است (مانند محصولات بوته ای و ریشه ای) برای آلودگی به عوامل بیماریزا مستعد تر هستند. سازمان جهانی بهداشت در رهنمود های خود برای استفاده ایمن از فاضلاب و آب بازیافتی در کشاورزی توصیه هایی برای محدود سازی کشت به ویژه در مورد سبزیجات و محصولات دیگر که خام مصرف می شوند، دارد. در کشور مکزیک از کشاورزان خواسته شده است که کشت خود را از سبزیجات برگ دار به محصولاتی مانند پیاز و سیر تغییر دهند که امکان بقای باکتری ها در آنها کمتر است. به هر حال این تغییر در محصولات کشت شده در صورتی میسر است که ارزش بازار آن مشابه محصول اصلی باشد. اجرای محدود سازی کشت در صورت نیاز به اعمال فشار های قانونی، فشار بازار و عدم تقاضا برای محصول پاک، مشکل خواهد بود. به همین علت با وجود برنامه محدود سازی موفق در هند، مکزیک، پرو و شیلی امکان انجام آن در جنوب صحرای آفریقا و کشورهای دیگر

که به طور غیر رسمی از فاضلاب برای آبیاری استفاده می کنند، فراهم نشده است. قابلیت تحمل نمک توسط محصولات کشاورزی در محدوده هشت تا ده برابر است. این محدوده وسیع امکان استفاده بیشتر از آب های با شوری متوسط را که قبلا تصور می شد غیر قابل استفاده هستند، میسر می سازد. این محدوده باعث گستردگی حدود شوری قابل قبول آب مورد مصرف در آبیاری نیز می شود. سبزیجات مانند خانواده هویج، پیاز و بامیه نسبت به شوری بسیار حساس هستند در حالی که سبزیجات دیگر مانند مارچوبه قابلیت تحمل زیادی دارند. بر اساس قابلیت تحمل نمک در گونه های گیاهان، گونه هایی از گیاهان در حال پدید آمدن بوده و مدیریت می گردند تا کاربری بهینه ازخاک های نمکی و آب های شور و سودیک صورت گیرد. به عنوان مثال گیاهان علوفه ای مخصوص دام معمولا نسبت به دیگر محصولات مزرعه ای بیشتر قدرت تحمل نمک را دارد و می تواند منبع درآمد بیشتری برای کشاورزانی که در زمین های حاشیه ای هستند، باشد. گونه سازی محصولات کشاورزی و سیستم تولید بر اساس گونه های مقاوم در برابر شوری کلید اصلی در کشاورزی آینده و رشد اقتصادی در مناطقی است که خاک تحت تاثیر نمک وجود داشته و یا از آب های بازیافتی برای آبیاری استفاده می شوند (۳۴). در مورد طبقه بندی شوری آب آبیاری و قابلیت تحمل محصولات کشاورزی در برابر آن مقادیر راهنمایی وجود دارد (جدول ۵۰).

جدول ۵۰: راهنمای طبقه بندی شوری آب بازیافتی در آبیاری و قابلیت تحمل محصولات کشاورزی در برابر آن (۳۷)

کلاس	توضیحات	هدایت الکتریکی (Ms/cm)	کل جامدات محلول (mg/l)
۱	آب های بازیافتی با شوری کم را می توان برای اغلب محصولات کشاورزی و در بیشتر خاک ها توسط همه روش های آبیاری استفاده کرد. احتمال مشکل شوری هنگام استفاده از این آب ها کم است. به استثنای خاک هایی که نفوذ پذیری خیلی کمی دارند، در بقیه موارد مقداری آب شویی (که در شرایط طبیعی آبیاری رخ می دهد) لازم است.	۰ -۲۸۰	۰ -۱۷۵
۲	آب های بازیافتی با شوری متوسط را در صورت ایجاد آب شویی ملایم می توان استفاده کرد. گیاهانی که قابلیت تحمل شوری متوسطی دارند اغلب بدون اقدامات خاصی رشد می کنند. استفاده از آب های بازیافتی با کمی شورتر با روش آبیاری بارانی و در طول روز و مقادیر کم آبیاری منجر به سوختن سطح برگ ها به ویژه در گیاهان حساس به نمک می‌گردد.	۲۸۰ -۸۰۰	۱۷۵ -۵۰۰

ادامه جدول ۵۰: راهنمای طبقه بندی شوری آب بازیافتی در آبیاری و قابلیت تحمل محصولات کشاورزی در برابر آن (۳۷)

کلاس	توضیحات	هدایت الکتریکی (Ms/cm)	کل جامدات محلول (mg/l)
۳	آب های بازیافتی با شوری زیاد را نمی توان در خاکی که زهکشی محدود دارد، استفاده کرد. حتی در صورت زهکش مناسب مدیریت خاص برای کنترل شوری الزامی بوده و میزان مقاومت گیاه در برابر نمک نیز باید در نظر گرفته شود.	۸۰۰ -۲۳۰۰	۵۰۰ -۱۵۰۰
۴	آب های بازیافتی خیلی شور در شرایط معمولی برای آبیاری مناسب نیستند. هنگام استفاده از این نوع آب ها، خاک باید نفوذ پذیر بوده، زهکش مناسب داشته و آب باید به مقدار اضافه تری بکار رود تا آب شویی قابل توجهی ایجاد کند همچنین باید گیاهان مقاوم به نمک انتخاب گردند.	۲۳۰۰ -۵۵۰۰	۱۵۰۰ -۳۵۰۰
۵	آب های بازیافتی شدیدا شور را در خاک نفوذ پذیر، زهکش خوب تحت مدیریت مناسب به خصوص از جهت آب شویی و انتخاب گیاه مقاوم و یا کاربرد موقت و اضطراری استفاده کرد.	بیشتر از ۵۵۰۰	بیشتر از ۳۵۰۰

۸-۶-۴ تسطیح زمین

تسطیح زمین برای دستیابی به یکنواختی مناسب در آبیاری سطحی و یک آبیاری موثر مهم است. نمک در محل های بالاتر که میزان نفوذ آب و آب شـویی کم اسـت تجمع یافته در حالی که در محل های پایین تجمع آب موجب غرقاب شدن و ایجاد سله (لایه های سخت) در خاک می گردد. آبیاری خاک های لایه بندی شـده مشـکل اسـت زیرا اغلب لایه های خاک رس، ماسه و یا خاک سـفت از جریان آزاد آب در اطراف منطقه ریشه گیاه ممانعت می کنند. این پدیده منجر به اشباع آب و تجمع نمک در منطقه ریشه می گردد (۳۴).

تسطیح اراضی زراعی به روش های زیر امکان پذیر می باشد:

- تسطیح اراضی زراعی به روش مهندسی
- تسطیح اراضی زراعی با استفاده از تکنولوژی لیزر

در تسطیح اراضی زراعی به روش مهندسی، مزرعه شبکه بندی و میخ کوبی می شود، رئوس شبکه ها نقشه برداری شده و میزان خاک برداری و خاکریزی در رئوس شبکه ها توسط فرمول های مربوطه محاسـبه می گردد. از اسکریپر (نوعی از ماشین آلات سـاختمانی) جهت عملیات خاک برداری و

خاکریزی همزمان استفاده می شود. دقت عملیات تسطیح در این روش تا حدود زیادی به مهارت راننده بستگی دارد زیرا تصمیم گیری برای کنترل ارتفاع خاک برداری و خاکریزی با چشم و به صورت مکانیکی انجام می گردد که این موضوع باعث کاهش دقت عملیات تسطیح در این روش می شود. مطالعات نشان می دهد که خطای ۱۰۰± میلی متر در تسطیح مهندسی اجتناب ناپذیر می باشد.

پس از پایان عملیات تسطیح مجددا توسط نقشه بردار از وضعیت سطحی جدید مزرعه نقشه برداری شده و با تراز یابی توسط دوربین دقت عملیات تسطیح کنترل می گردد که به طور معمول همیشه پستی ها یا بلندی های پراکنده ای در سطح مزرعه وجود خواهد داشت و هموار بودن و تسطیح دقیق این نقاط بر اساس شیب نقشه بسیار سخت و مشکل است. گفتنی است که در عملیات تسطیح به روش مهندسی با در نظر گرفتن حجم عملیات خاک برداری و یا خاکریزی و همچنین دقت و مهارت راننده روزانه صاف کردن بیش از نیم هکتار از اراضی زراعی ممکن نیست و به این ترتیب زمان زیادی برای تسطیح اراضی بزرگ لازم است. در ضمن هزینه تسطیح با توجه به حجم جا به جایی خاک زیاد شده و دقت عملیات نیز پائین می آید. دقت عملیات تسطیح نقش بسزایی در بالا بردن راندمان کاربرد آب در مزرعه، راندمان یکنواختی توزیع آب در سطح مزرعه و افزایش کمی و کیفی عملکرد محصول دارد.

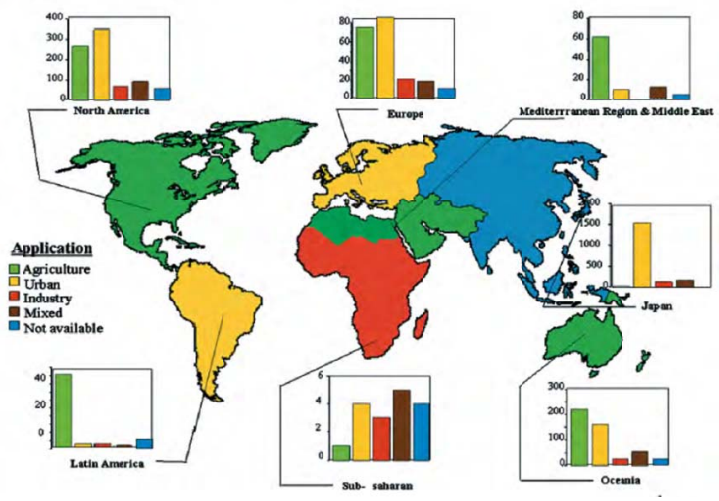
اختراع سیستم های لیزری جهت تسطیح اراضی یکی از مهمترین پیشرفت ها در بخش آبیاری سطحی محسوب می شود. استفاده از تکنولوژی لیزری در تسطیح اراضی ضمن بالا بردن دقت کار باعث افزایش سرعت عمل و کیفیت عملیات تسطیح و کاهش هزینه ها می گردد. انجام تسطیح دقیق (خطای کمتر از ۲۰± میلی متر) بوسیله تسطیح لیزری امکان پذیر می باشد. زیرا ارتفاع خاک برداری و خاکریزی با یک سیستم الکترونیکی- لیزری کنترل می گردد (۳۸).

جزییات بیشتر در این زمینه در نشریات شماره ۱-۳۴۶ الی ۵-۳۴۶ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور تحت عنوان "مبانی و ضوابط طراحی تجهیز و نوسازی اراضی خشکه زاری (آبیاری ثقلی)" آورده شده است.

۹- مطالعه موردی استفاده مجدد از آب بازیافتی

استفاده مجدد از آب بازیافتی راهبرد مورد استفاده در کشور های توسعه یافته بوده که در حال گسترش در سراسر جهان است. شکل ۳ نتایج بررسی انجام شده توسط کمیسیون اروپایی[1] در پروژه آکوارک[2] در سال ۲۰۰۳ را نشان می دهد. تعداد طرح های استفاده مجدد از آب بازیافتی که در سراسر جهان شناسایی شده است بر مبنای نوع کاربرد استفاده مجدد طبقه بندی شده اند. انواع کاربرد ها به پنج دسته تقسیم می‌شوند: ۱) آبیاری کشاورزی. ۲) استفاده های شهری، تفریحی و زیست محیطی و از جمله تغذیه آبخوان. ۳) آب فرایند برای صنعت. ۴) تولید آب آشامیدنی (غیر مستقیم). ۵) ترکیبی از موارد بالا (چند منظوره) (۳۹).

بیشتر از ۳۳۰۰ تاسیسات اصلاح آب که برای استفاده مجدد برنامه ریزی شده از آب در نظر گرفته شده اند در مناطق توسعه یافته قرار گرفته است. به عنوان مثال بیش از ۱۸۰۰ تاسیسات اصلاح آب در ژاپن، بیش از ۸۰۰ تاسیسات اصلاح آب در ایالات متحده، ۴۵۰ تاسیسات اصلاح آب در استرالیا و ۲۳۰ تاسیسات اصلاح آب در اتحادیه اروپا شناسایی شده اند.



شکل ۳: تعداد طرح های شناسایی شده تاسیسات اصلاح آب بر مبنای نوع استفاده مجدد (۳۹)

از سوی دیگر، مناطق در حال توسعه کمتر دارای تاسیساتی هستند که به طور برنامه ریزی شده اصلاح آب را انجام دهد به طوری که حدود ۱۰۰ سایت در شمال آفریقا و منطقه خاور نزدیک، ۵۰

1. European Commission
2. AQUAREC

سایت در آمریکای لاتین و ۲۰ سایت در کشورهای جنوب صحرای آفریقا[1] قرار دارند (۳۹).
این داده ها شامل استفاده برنامه ریزی نشده و غیر مستقیم از فاضلاب نمی شود. این نوع استفاده یک روش معمول در مناطق در حال توسعه و به ویژه برای مصارف کشاورزی است. گزارش شده که به طور گسترده ای از این نوع آبیاری برنامه ریزی نشده در کشور های کم درآمد آفریقا، آمریکای لاتین و آسیا استفاده می شود، اما به دلیل ماهیت برنامه ریزی نشده استفاده از آب بازیافتی و فاضلاب، اطلاعات در این زمینه بسیار کمیاب است (۳۹).
در ادامه خلاصه ای از ویژگی های اصلی استفاده از آب بازیافتی برای آبیاری در مناطق توسعه یافته و در حال توسعه آورده شده است. اطلاعات بر مبنای عوامل تشویق کننده اصلی در استفاده از فاضلاب، نوع راهنما و به دنبال آن شیوه های اصلی ارائه شده است. کشاورزی بیان کننده تقاضای مهم آب بوده و در نتیجه در میان تمام استفاده های مختلف از آب، بزرگترین استفاده کننده فاضلاب از نظر حجمی است. به طور کلی، آبیاری سطحی با فاضلاب تصفیه نشده به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از آبیاری با آب بازیافتی شده است. این امر به خصوص در مورد کشور های در حال توسعه و با درآمد پایین صدق می کند (۳۹).

۹-۱ ویژگی های مهم سیستم های استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های در حال توسعه

۹-۱-۱ استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های خاور نزدیک و شمال آفریقا (کشورهای با درآمد کم و متوسط)

- عامل اصلی در استفاده مجدد، کمبود آب است.
- برای استفاده مجدد، از فاضلاب تصفیه نشده و یا تا حدودی تصفیه شده استفاده می شود.
- فعالیت اصلی در استفاده مجدد، آبیاری محصولات کشاورزی است.
- عمدتا از رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت تبعیت می شود.

۹-۱-۲ استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های آفریقای مرکزی و جنوبی

- در مورد شیوه های استفاده مجدد اطلاعات کمی وجود دارد.
- کمبود آب و نبود شبکه جمع آوری فاضلاب علت استفاده مجدد از آب است.

1. Sub-Saharan Africa

- فاضلاب به عنوان یک منبع قابل اعتماد آب و به خاطر مواد مغذی آن دارای اهمیت است.
- تبعیت از رهنمودهای سازمان جهانی بهداشت شروع شده اما مشکلاتی وجود دارد.

۹-۱-۳ استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های آمریکای مرکزی و جنوبی

- عامل اصلی استفاده مجدد، مواد مغذی موجود در فاضلاب در مناطقی که دارای خاک فقیر هستند، عدم وجود شبکه جمع آوری فاضلاب که موجب می شود فاضلاب خام برای آبیاری در دسترس باشد، حفاظت از آب در جزایر کارائیب، مکزیک و پرو (کشور های که آب کمیاب است) می باشد.
- اغلب فاضلاب تصفیه نشده به طور مستقیم یا غیر مستقیم برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده می شود. فاضلاب به عنوان یک منبع قابل اعتماد آب، به خاطر مواد مغذی آن، و به دلیل هزینه کم یا بدون هزینه بودن آن برای کشاورزان دارای اهمیت است.
- سیاست های عمومی تمایل به کنترل استفاده مجدد برنامه ریزی نشده دارد تا ترویج استفاده مجدد برنامه ریزی شده.
- بسیاری از کشورها از رهنمود های سازمان جهانی بهداشت تبعیت کرده اما مشکلاتی وجود دارد.

۹-۱-۴ استفاده مجدد از آب بازیافتی در کشور های آسیای میانه و کشورهای کم درآمد

- کمبود آب، فقدان شبکه جمع آوری فاضلاب و تقاضا در مناطق با جمعیت بالا علت اصلی استفاده مجدد از آب است.
- استفاده مجدد برای کشاورزی و آبزی پروری است.

۹-۲ ویژگی های مهم سیستم های استفاده مجدد از آب بازیافتی در مناطق توسعه یافته

۹-۲-۱ استفاده مجدد از آب بازیافتی در اروپا

- آب یک منبع کمیاب در جنوب اروپا (منطقه مدیترانه) است. از آب بازیافتی عمدتا در کشاورزی استفاده می شود.
- کمبود آب و مقررات سختگیرانه ی تخلیه پساب علت استفاده از آب بازیافتی در کشاورزی است.

- کشـورهای اروپایی از رهنمود سـازمان جهانی بهداشـت و یا اسـتاندارد های شـماره ۲۲ ایالت کالیفرنیا[1] آمریکا استفاده می کنند.

۹-۲-۲ استفاده مجدد از آب بازیافتی در آمریکای شمالی

- اسـتفاده مجدد تنها در برخی از ایالت ها/ استان ها است که دلیل آن کمبود مزمن و موقت آب، تقاضای فزاینده آب در مناطق شـهری، استاندارد های سـختگیرانه برای تخلیه پساب، افزایش هزینه آماده سازی منابع آب جدید و محدودیت های زیست محیطی می باشد.
- در ۱۹۱۸ اولین استاندارد استفاده مجدد از آب در جهان در ایالت کالیفرنیا وضع شد. از آنجاییکه ایالـت کالیفرنیـا ملزم به حفاظت از بهداشـت عمومی در بالاترین سـطح اسـت، این قانون به استانداردهای عنوان ۲۲ که استاندارد هایی سختگیرانه تغییر شکل یافته است.
- در ایالات متحده از ۵۰ ایالت، ۲۲ ایالت دارای استاندارد های استفاده مجدد از آب هستند. برخی از استاندارد های عنوان ۲۲ پیروی کرده اما بقیه از این استاندارد پیروی نمی کنند.

۹-۲-۳ استفاده مجدد از آب بازیافتی در اقیانوسیه

- علت اسـتفاده مجدد از آب کمبود منطقه ای آب و شرایط سختگیرانه ی تخلیه پساب به منظور حفاظت از اکوسیستم اقیانوس، ساحل و آب سطحی می‌باشد.
- استرالیا برنامه های مهم استفاده مجدد از آب در دست دارد. این کشورخط مشی جدید آب را بر اساس اقدامات اجباری و مشوق هایی برای ترویج استفاده مجدد از آب ایجاد کرده است.
- در حال حاضر، نرخ رشد استفاده مجدد ۱۰ الی ۱۷ درصد در سال است.
- ۲۸ درصد آب بازیافتی برای آبیاری کشاورزی استفاده می‌شود.
- طرح های اسـتفاده مجدد از آب با پرداخت یارانه انجام می شـود به طوری که بهای آب بازیافت شده ۳۰ درصد بهای آب آشامیدنی است.

۹-۲-۴ استفاده مجدد از آب بازیافتی در خاور نزدیک و شمال آفریقا (کشورهای با درآمد بالا)

- علت اصلی استفاده مجدد، کمبود آب است. طرح های استفاده مجدد آب برای آبیاری محصولات

1. California’s Title 22 Standards

کشاورزی و منظر[1] وجود دارد.
- استفاده از آب بازیافتی در جایی است که تقاضای بالایی برای آب وجود دارد.
- استانداردهای استفاده از آب بازیافتی از عنوان ۲۲ کالیفرنیا الهام گرفته است.

۹-۲-۵ استفاده مجدد از آب بازیافتی در آسیا (کشور های با درآمد بالا)
- کمبود آب، تقاضا در مناطق دارای جمعیت بالا و در یک مورد (سنگاپور) فشار های سیاسی بین المللی بر منابع آب علت استفاده مجدد از آب است.
- استفاده مجدد برای مقاصد شهری و صنعتی (مانند ژاپن و کره).
- استفاده مجدد برای مقاصد شهری جهت فعالیت هایی است که نیاز به آب با کیفیت پایین (مانند شست و شوی سریع توالت[2]) داشته و همچنین برای مصرف انسان (فقط کره).

لازم به ذکر اســت که بســیاری از کشور های دارای درآمد بالا و مواجه با کمبود آب که به ویژه در خاور نزدیک و منطقه مدیترانه قرار دارند، به شــدت از فاضلاب تصفیه شــده برای آبیاری استفاده می کنند. در تعدادی از این کشــور ها (فلســطین اشــغالی، اردن و تونس) اســتفاده مجدد از آب بزرگترین سهم را در آب آبیاری دارد. فلسطین اشغالی بیشترین استفاده مجدد از آب در کشاورزی داشــته به طوری که بیش از ۷۰ درصد از فاضلاب جمع آوری و تصفیه شــده دوباره برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد (۳۹).

امروزه استفاده از آب بازیافتی در مصارف کشاورزی توسط سیاست های تنظیمی و بنیادی حمایت می شــود. به عنوان مثال در ســال ۲۰۰۹ کالیفرنیا سیاست آب بازیافتی و معیار های آب بازیافتی را همراه با هم اتخاذ کرد. هر دو خط مشــی مشــوق استفاده از آب احیا شده در کشاورزی هستند. در فلوریدا، استفاده از آب بازیافتی از سال ۱۹۶۶ آغاز شد. در حال حاضر، از ۶۷ بخش ایالتی ۶۳ بخش دارای سیستم های احیای آب هستند. یکی از بزرگترین و چشم گیرترین پروژه آب بازیافتی که به عنوان «واتر کانزرو دو»[3] شناخته می شود در اورنج کانتی، فلوریدا، قرار دارد که در آن از سال ۱۹۸۶ کشــاورزان از آب بازیافتی برای آبیاری مرکبات اســتفاده کرده اند. مثال دیگری از استفاده طولانی مدت از آب بازیافتی در ایالات متحده شــهر لاباک، تگزاس، بوده که از ســال ۱۹۳۸ برای آبیاری پنبه، ســورگوم دانه ای و گندم از آب بازیافتی اســتفاده می شود. علاوه بر این آب بازیافتی

1. Landscape
2. Toilet Flushing
3. Water Conserv II

بخش قابل توجهی از آب در نظر گرفته شده جهت توسعه کشاورزی (جدول۵۱) در ایالات متحده آمریکا است (۱).

جدول ۵۱: خلاصه ای در مورد حجم آب بازیافتی مورد استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی در ایالات متحده آمریکا (۱)

ایالت	حجم سالیانه آب بازیافتی مورد استفاده در کشاورزی	
	میلیون گالن در روز (MGD)	1000 ac-ft/yr
آریزونا	۲۳	۲۶
کالیفرنیا	۲۷۰	۳۰۳
کلرادو	۲٫۹۷	۳
فلوریدا	۲۵۶	۲۸۷
آیداهو	۰٫۲۷	۰٫۳
کارولینای شمالی	۱٫۰	۱
نوادا	۱۳٫۴	۱۵
تگزاس	۱۹٫۴	۲۲
اوتا	۰٫۸۱	۱
واشنگتن	۰٫۰۲	۰٫۰۳
ویومینگ	۰٫۸۹	۱

۳-۹ تجارب تحقیقاتی و کاربردی استفاده از آب بازیافتی در مناطق مختلف کشور ایران

در کاربرد آب های بازیافتی در کشاورزی به دلیل خصوصیات ذاتی آن و نیز به علت وقوع فرآیندهایی از قبیل تجزیه مواد آلی، تبادل یونی، اکسیداسیون مواد معدنی، رسوب گذاری، فیلتراسیون و ... در سیستم خاک، خصوصیات خاک می تواند تحت تاثیر قرار گرفته و به خصوص در طولانی مدت تغییر نماید. محققین بسیاری در ایران (جدول ۵۲) و جهان (جدول ۵۳) در ارتباط با موضوع اثر آب های بازیافتی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مطالعه نموده اند. که در ادامه با هدف آشنایی با نتایج این مطالعات آورده شده است.

جدول ۵۲: خلاصه ای از تجارب تحقیقاتی و کاربردی استفاده از آب بازیافتی در مناطق مختلف کشور ایران

مورد مطالعه	نتایج
بررسی روش های بازیافت و کاربرد فاضلاب ها در امور کشاورزی و احیای اراضی (۴۰).	بیانگر نقش مثبت استفاده اصولی از پساب ها و همچنین نقش خاک و زمین در پالایش فاضلاب ها می باشد.
بررسی اثرات استفاده از فاضلاب های تصفیه شده شهری بر کیفیت و عملکرد گوجه فرنگی، کاهو، هویج و خیار (۴۱).	مشاهده شد که استفاده از پساب افزایش عملکرد این گیاهان را در مقایسه با شاهد به همراه داشته و تاثیر منفی بر ویژگی های خاک و به خصوص نفوذ پذیری آن در هیچ کدام از تیمار ها نداشته است. از نظر کیفیت و تجمع عناصر سنگین اختلاف معنی داری بین تیمار ها وجود نداشت.
بررسی پیامد های آبیاری با پساب بر برخی از ویژگی های شیمیایی خاک های ناحیه برخوار اصفهان و انباشتگی برخی از عناصر در گیاه یونجه (۴۲).	هفت سال آبیاری با پساب توانست زمین های شور و سدیمی منطقه را بدون هیچ تیمار دیگری به یک خاک مناسب برای کشاورزی تبدیل کند و شوری، سدیم محلول و تبادلی و همچنین سدیم کل خاک را به اندازه چشم گیری کاهش دهد. همچنین آبیاری با پساب توانسته است غلظت عناصر سنگین گیاه را به مرز زیان آور برساند.
بررسی تاثیر فاضلاب تصفیه شده خانگی بر عملکرد خیار و هویج و ویژگی های خاک آزمایشی در شرایط زارعی (۴۳).	مشاهده شد که استفاده از پساب باعث افزایش عملکرد و افزایش میزان تجمع مواد غذایی ماکرو و میکرو در اندام های هوایی خیار و هویج و باعث افزایش میزان غلظت عناصر ماکرو و میکرو در خاک شده است. همچنین استفاده از فاضلاب باعث افزایش آلودگی های میکروبی در محصول تولیدی شد.
بررسی پیامد های استفاده نه ساله از پساب شمال اصفهان بر خواص شیمیایی، فیزیکی و زیست محیطی خاک (۴۴).	نتایج نشان داد آبیاری با پساب طی مدت نه سال، باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری، نفوذ پذیری و افزایش درصد رطوبت در ظرفیت مزرعه، عملکرد محصول نسبت به مزرعه آبیاری نشده با پساب شده است.
ارزیابی کیفیت پساب تصفیه خانه شمال شهر اصفهان جهت استفاده در کشاورزی (۴۲).	بر اساس نتایج میزان ازت، فسفر، پتاسیم و نمک های محلول پساب در حد مجاز مصارف زراعی بوده ولی برای تخلیه در آب های زیر زمینی لازم است که مواد جامد معلق، فسفر و ازت آن کاهش یابد. همچنین میزان ازت، کلر، سدیم و به ویژه بی کربنات سدیم آن در مقایسه با استاندارد فائو (FAO) بیشتر بوده و بسته به روش آبیاری و نوع گیاه می تواند زیان آور باشد.
تاثیر استفاده از پساب تصفیه خانه شاهین شهر در آبیاری چغندر قند، ذرت و آفتاب گردان (۴۵).	نتایج نشان داد که آبیاری با پساب باعث کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک شده است. روش آبیاری اثر معنی داری بر میزان کاهش سرعت نفوذ نهایی آب در خاک و کاهش میزان خلل و فرج خاک دارد.
بررسی تجمع عناصر سنگین در خاک و گونه گندم، ذرت، خیار و یونجه که طی هشت سال با فاضلاب آبیاری شده اند (۴۶)	براساس 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 است اما محدودیتی از نظر میزان تجمع عناصر سنگین در آبیاری این گیاهان با فاضلاب وجود نداشته است.
بررسی تاثیرات استفاده مجدد از پساب پالایشگاه تهران در آبیاری جنگل های اطراف پالایشگاه (۴۷).	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.
بررسی اثر فاضلاب های تصفیه شده خانگی در کیفیت و عملکرد گوجه فرنگی و کاهو (۴۸).	نتایج نشان داد که استفاده از فاضلاب جهت آبیاری مزارع آزمایشی باعث افزایش عملکرد و غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو در کلیه اندام های هوایی و زیر زمینی گوجه فرنگی و هویج شده است و هیچگونه اثر سوء بر ویژگی های خاک نداشته است.

ادامه جدول ۵۲: خلاصه ای از تجارب تحقیقاتی و کاربردی استفاده از آب بازیافتی در مناطق مختلف کشور ایران

مورد مطالعه	نتایج
بررسی تاثیر استفاده از پساب تصفیه خانه شهری بر میزان مواد آلی خاک (۴۹).	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 می‌شود.
بررسی اثر استفاده از پساب به روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی و آبیاری نشتی بر آلودگی خاک (۵۰).	مشاهده شد که تیمار آبیاری نشتی با پساب فاضلاب آلوده ترین شرایط را داشته است و استفاده از روش قطره ای زیر سطحی در شرایط بهره برداری مجدد از پساب فاضلاب شهری توصیه شد.
حداقل اثرات زیست محیطی پساب فاضلاب شهری بر خاک در کشت ذرت (۵۱).	در اثر آبیاری با پساب در مقایسه با آب متعارف، شوری خاک در لایه های ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری و نسبت جذب سدیم و سدیم خاک در اعماق صفر تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی متری افزایش قابل توجهی داشته است.
استفاده از فاضلاب شهری تصفیه شده در آبیاری ذرت (۵۲).	آبیاری ذرت با فاضلاب تصفیه شده شهر مشهد به مدت دو سال، کاهش ۱۵۶ درصدی ظرفیت نفوذ پذیری خاک را در مقایسه با زمان قبل از آغاز تحقیق به دنبال داشته است.
بررسی استفاده مجدد از فاضلاب خام و آب بازیافتی بر هدایت هیدرولیکی بافت های مختلف خاک (۵۳).	آبیاری با آب بازیافتی موجب کاهش چشم گیری در هدایت هیدرولیکی خاک‌های مورد مطالعه شده است.
اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک (۵۴).	آبیاری طولانی مدت با پساب موجب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ۳۰ درصد در لایه سطحی خاک شده و میزان کلراید در اعماق مختلف خاک را افزایش داده است. در مقایسه با خصوصیات خاک مزارع آبیاری شده با پساب و مزارعی که با آب چاه آبیاری شده بودند مشاهده شد که افزایش فراهمی عنصر نیکل در لایه پنج تا ۲۰ سانتی متری خاک و عنصر روی در لایه ۱۰ تا ۵۰ سانتی متری خاک به طور معنی داری افزایش یافته است.
استفاده از زئولیت جهت کنترل فلزات سنگین در فاضلاب شهری مورد استفاده در آبیاری (۵۵).	کاربرد پساب تصفیه خانه ها (به ویژه مناطق صنعتی) در اراضی کشاورزی می‌تواند تجمع فلزات سنگین و عناصر کمیاب در خاک و آب های زیر زمینی را افزایش داده و غلظت آنها را به مرز غلظت های سمی برای گیاهان برساند.
اثر پساب و لجن صنعتی بر روی برخی خصوصیات شیمیایی و تجمع عناصر سنگین خاک در اصفهان (۵۶).	در بررسی اثر پساب و لجن صنعتی بر روی خصوصیات خاک، کاهش pH، افزایش مواد آلی، افزایش هدایت الکتریکی و نیز عناصر سنگین در عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری کلیه تیمار های آزمایشی مشاهده شد.
استفاده از پساب تصفیه شده خانگی در آبیاری چغندر قند (۵۷).	تحقیقات انجام شده در مورد آبیاری چغندر قند با پساب نشان داد که در خاک و اندام های گیاهی آلودگی نماتد های روده ای مشاهده نشد. اما در مورد آلودگی های میکربی تفاوت قابل توجهی در کلیفرم های مدفوعی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک در آبیاری با پساب و آب چاه مشاهده شد.

جدول ۵۳: مطالعات موردی در کشور های دیگر در خصوص تجارب تحقیقاتی و کاربردی استفاده از آب بازیافتی

مورد مطالعه	نتایج
تجمع فلزات سنگین در خاک های تیمار شده با فاضلاب (۵۸).	طی شش سال کاربرد فاضلاب در خاک های لومی شنی و لومی، تجمع معنی داری در غلظت هر یک از عناصر کادمیم، کروم، مس، نیکل، روی و سرب در خاک به خصوص در لایه صفر تا ۱۵ سانتی متری اتفاق افتاده است. همچنین بین کاربرد آب بازیافتی و تجمع عناصر سنگین در خاک و بافت های گیاهی همبستگی وجود دارد.
اثرات آبیاری با آب بازیافتی بر بهسازی خاک (۵۹).	مطالعه در شهر قاهره نشان داد که با افزایش سال های استفاده از پساب میزان نمک های محلول در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک به مقدار قابل توجهی (تا حدود سه برابر) در مقایسه با خاک های آبیاری نشده افزایش داشته است. همچنین آبیاری اراضی شهر قاهره با این آب ها موجب کاهش pH خاک ها شده است. همچنین مشخص شد که آبیاری مزارع با پساب افزایش ازت خاک را در پی داشته است.
اثر آبیاری طولانی مدت با آب بازیافتی بر روی خاک های منطقه شمال آدلاید استرالیا (۶۰).	مقایسه خصوصیات خاک های منطقه شمال آدلاید استرالیا که با آب و یا آب بازیافتی آبیاری می شوند نشان داد که آبیاری با آب بازیافتی میزان شوری، سدیم و بر در خاک های منطقه افزایش داده است. اگرچه افزایش مشاهده شده هنوز به حدی نرسیده که بر روی عملکرد محصولات کشاورزی اثر گذارد. ولی افزایش مشاهده شده ای در سدیم و نسبت جذب سدیم خاک از نظر تخریب ساختمان خاک و کاهش ظرفیت زهکشی آن هشدار دهنده است.
مروری بر داده های پایش آبیاری پایدار با آب بازیافتی در منطقه موس‌جاو ایالت ساسکاچوان کانادا (۶۱).	مطالعه و بررسی های انجام شده بر روی خاک های منطقه موس جاو در ایالت ساسکاچوان کانادا که از سال ۱۹۸۲ توسط آب بازیافتی در مساحت حدود ۱۲۰۰ هکتار آبیاری می گردد نشان داده است که شوری خاک به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. به طوری که میانگین هدایت الکتریکی خاک از ۰/۷۵ دسی زیمنس بر متر به ۱/۶ دسی زیمنس بر متر رسیده است. تجمع شوری بیشتر در لایه یک متری سطحی خاک گزارش شده است. همچنین مطالعات انجام گرفته در ارتباط با پروژه بزرگ دیگری در سوویفت کرنت همان ایالت در سال ۱۹۷۸ در مساحت حدود ۳۳۸ هکتار انجام شد بیانگر آن است که در برخی نقاط شوری خاک افزایش معنی داری داشته است.
تاثیر فاضلاب خانگی بر هدایت هیدرولیکی خاک (۶۲).	تحقیقات انجام شده در استرالیا نشان داد که بالا بودن نسبت جذب سدیم در آب بازیافتی حاصل از تصفیه خانه های فاضلاب خانگی منجر به کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می گردد، به طوریکه با افزایش نسبت جذب سدیم از صفر به سه، هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ۵۰ درصد و در صورت افزایش آن به ۱۵، هدایت هیدرولیکی به میزان ۷۵ درصد کاهش می‌یابد.

ادامه جدول ۵۳: مطالعات موردی در کشور های دیگر در خصوص تجارب تحقیقاتی و کاربردی استفاده از آب بازیافتی

مورد مطالعه	نتایج
کیفیت فاضلاب و استفاده مجدد از آن در کشاورزی در کشور عربستان سعودی (۶۳).	بررسی خصوصیات پساب های تولیدی در کشور عربستان نشان داد که کاربرد اینگونه آب های بازیافتی به دلیل نامناسب بودن میزان شوری و سدیم آن می تواند سبب افزایش شوری خاک شده و درصد سدیم قابل تبادل خاک را تغییر دهد. به همین جهت آنها کاربرد آب بازیافتی را فقط به عنوان آب های کمکی توصیه نمودند.
بررسی اثرات دفع فاضلاب در زمین (۶۴).	آبیاری با آب بازیافتی موجب افزایش pH در خاک های خشک و نیمه خشک هند شده است. همچنین مشخص شد که آبیاری مزارع با آب بازیافتی افزایش ازت خاک را در پی داشته است.
اثر کاربرد فاضلاب و لجن به عنوان منابع غذایی بر روی تجمع و رفتار عناصر کمیاب در خاک های ویتنام (۶۵).	مشخص شد که منابع مذکور تجمع مس و روی را در تیمار های مورد آزمایش افزایش داده و از این لحاظ تهدیدی برای کیفیت آب و خاک و نیز بهداشت عمومی محسوب می شوند.

۱۰– برنامه آموزش افراد

درک و پذیرش عمومی به عنوان مسئله ای مهم در تمامی پروژه های استفاده مجدد از آب نقش تعیین کننده ای در نتایج پروژه دارد. تجربیات کشورهای مختلف در سال های اخیر نشان داده است: "اگر گروه های ذینفع درست آگاه نشوند، آموزش نبینند و بسیج نشوند"، حتی طرح هایی که از نظر فنی بسیار خوب طراحی شده اند، با شکست مواجه می شوند یا نتایج ناقص به بار می آورند. پذیرش عمومی آب بازیافتی، هم اکنون مهم ترین عامل موفقیت برای هر پروژهٔ بازیافت آب به حساب می آید (۶۶). برنامهٔ زیست محیطی سازمان ملل متحد تأکید می کند که لزوم توجه به شناسایی و جهت دهی درک و نگرش دربارهٔ استفادهٔ مجدد از آب بازیافتی، نه تنها در میان عموم مردم جامعه، بلکه در میان استفاده کنندگان بالقوه و مقام های مسئول ضروری است (۶۷).

۱۰-۱ اطلاعات پایه و آموزش های مورد نیاز

کاربران و مصرف کنندگان نهایی باید اطلاعات پایه در خصوص چگونگی تامین آب بازیافتی، خطرات احتمالی و روش کنترل آنها در تامین و استفاده از آب بازیافتی داشته باشند. کاربران به ویژه باید از روش مدیریت و راهبری سیستم آگاه بوده و آموزش های لازم را در این خصوص دیده باشند.

کاربران باید با موارد زیر آشنایی داشته باشند:

- عملیات لازم در مواقع اضطراری و حادثه
- مستندات گزارش برای پایش، عدم انطباق و حوادث
- روش های صحیح نمونه برداری
- روش های صحیح پایش و گزارش داده های نمونه
- تفسیر داده های نمونه برداری و عملیاتی
- جانمایی و روند جریان آب بازیافتی در سیستم
- استفاده و نگهداری از تجهیزات
- ارتباط موثر و منظم با استفاده کننده نهایی
- اطلاع از نکات لازم در خصوص بهداشت حرفه ای و ایمنی در کار

مصرف کنندگان نهایی کسانی هستند که از آب بازیافتی برای مصارف خاص استفاده می کنند به عنوان مثال در اینجا استفاده برای کشاورزی. این افراد باید در موارد زیر آگاهی کافی داشته باشند:

- ساختار اصلی طرح آب بازیافتی
- خطرات احتمالی برای سلامت هنگام کاربرد این آب
- چگونگی کاربرد ایمن از آب بازیافتی
- توصیه ها در خصوص ذخیره آب بازیافتی در صورت لزوم
- بهره گیری و مشاوره با متخصصین کشاورزی در خصوص استفاده بهینه از آب بازیافتی
- توجه به توصیه های مشاورین کشاورزی در خصوص روش کاربرد آب بازیافتی در زمین
- چگونگی اداره کردن کاربری آب بازیافتی (۶۸).

مراجع

1- U.S. Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse- EPA/600/R-12/618. 2012. https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf

۲- سـید محسـن کرابی، سـیدکمال الدین شـاهچراغی، عباس نظری جاغرق. اهمیت و ضرورت مدیریت آلودگی خاک (با تاکید بر آلودگی های کشـاورزی). اولیـن همایش ملی برنامه ریزی، حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار. ۱۳۹۲. همدان. ایران.

3- Guideline for reclaimed water irrigation in the Jordan valley- Reclaimed Water Project- Jordan Valley Authority- 2006. https://wocatpedia.net/images/1/19/GIZ_%282006%29_Guidelines_for_reclaimed_water_irrigation_in_the_Jordan_valley_Chapter_1_to_7.pdf

4- The Australian Meat Processor Corporation. Effluent Irrigation Environmental Best Practice Manual. http://ampc.sanscode.com/site/assets/media/reports/Resources/RES_Effluent-Irrigation-environmental-best-practice-manual.pdf

5- Coleman D.C., Crossley J.D.A., Hendrix P.F. Fundamentals of soil ecology. Secend Edition London:Academic Press; 2004. http://www.univpgri-palembang.ac.id/perpus-fkip/Perpustakaan/Geography/Geografi Tanah/Fundamentals of soil ecology.pdf

6- Boix–Fayos C., Calvo–Cases A., Imeson A.C., Soriano–Soto M.D., Tiemessen I.R. Spa-tial and Short Term Variations in Runoff, Soil Aggregation and Other Soil Properties Along a Mediterranean Climatological Gradient. Catena 1998;33(2) 123–138.

7- Juan C. Durán–Álvarez and Blanca Jiménez–Cisneros (2014). Beneficial and Negative Impacts on Soil by the Reuse of Treated/Untreated Municipal Wastewater for Agricultural Irrigation –A Review of the Current Knowledge and Future Perspectives, Environmental Risk Assessment of Soil Contamination, Dr. Maria C. Hernandez Soriano (Ed.), ISBN: 978-953-51-1235-8, InTech, DOI: 10.5772/57226.

8- Guidelines for the safe use of wastewater, Extra and Greywater- Volume 2-Wastewater use in agriculture- World Health Organization 2006. http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg2/en/

9- Abu–Ashour J., Joy D.M., Lee H., Whiteley H.R., Zelin S. Transport of Microorganisms Through Soil. Water, Air, and Soil Pollution 1994;75(1–2) 141–158.

10- Jiménez B., Drechsel P., Koné D., Bahri A., Raschid–Sally L., Qadir M. General Wastewater, Sludge and Excreta Use Situation. In: Drechsel Pay, Scott C.A., Raschid– Sally L., Redwood M., Bahri A. (eds) Wastewater Irrigation and Health: Assessing and Mitigating Risk in Low–Income Countries. London/Ottawa/Colombo: Earthscan/IDRC/IWMI; 2010. P.3–29.

11-Pescod M. Wastewater Treatment and Use in Agriculture, FAO irrigation and drainage Paper 47. Rome: Food and Agriculture Organization; 1992.

12- Mapanda F., Mangwayana E.N., Nyamangara J., Giller K.E. The Effect of Long Term Irrigation Using Wastewater on Heavy Metal Contents of Soils Under Vegetables in Harare, Zimbabwe. Agriculture, Ecosystems & Environment 2005;107(2) 151–165.

13- Muchuweti M., Birkett J.W., Chinyanga E., Zvauya R., Scrimshaw M.D., Lester J.N. Heavy Metal Content of Vegetables Irrigated with Mixtures of Wastewater and Sewage Sludge in Zimbabwe: implications for Human Health. Agriculture, Ecosystems & Environment 2006;112(1) 41–48.

14- Kümmerer K. Pharmaceuticals in the Environment: Sources, Fate, Effects and Risks. Berlin: Springer–Verlag; 2009. DOI 10.1007/978-3-540-74664-5.

15- Negreanu Y., Pasternak Z., Jurkevitch E., Cytryn E. Impact of Treated Wastewater Irrigation on Antibiotic Resistance in Agricultural Soils. Environmental Science and Technology 2012;46(9) 4800–4808. DOI: 10.1021/es204665b.

16- McLain J.E.T., Williams C.F. Development of antibiotic resistance in bacteria of soils irrigated with reclaimed wastewater. In: proceedings of the 5th National Decennial Irrigation Conference, 5–8 December 2010, Phoenix, USA. 2010.

17- Gatica J., Cytryn E. Impact of Treated Wastewater Irrigation on Antibiotic Resistance in the Soil Microbiome. Environmental Science and Pollution Research 2013;20(6):3529–3538. DOI: 10.1007/s11356-013-1505-4.

18- Pomati F., Castiglioni S., Zuccato E., Fanelli R., Vigetti D., Rossetti C., Calamari D. Effects of a Complex Mixture of Therapeutic Drugs at Environmental Levels on Human Embryonic Cells. Environmental Science and Technology 2006;40(7) 2442–2447. DOI: 10.1021/es051715a.

19- Abu–Zreig M., Rudra R.P., Dickinson W.T. Effect of Application of Surfactants on Hydraulic Properties of Soils. Biosystems Engineering 2003;84(3) 363–372. DOI:10.1016/S1537-5110(02)00244-1

۲۰- دفتر حقوقی و امور مجلس سازمان حفاظت محیط زیست ایران . ۱۳۷۹. مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست ایران. جلد اول و دوم.

۲۱- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۶۴. ویژگی های پسابهای صنعتی. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. شماره استاندارد ۲۴۳۹. چاپ اول، تیر ماه ۱۳۶۴

22- Blumenthal, U.J., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G. and Mara, D.D. (2000): Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence: WELL study. London, London School of Hygiene & Tropical Medicine. Task No: 68 Part 1. http://www.lboro.ac.uk/well/resources/well-studies/full-reports-pdf/task0068i.pdf.

23- UNEP (2005): Guidelines for municipal water reuse in the Mediterranean region: Mediterranean Action Plan. Athens, UNEP/MAP, UNEP(DEC)/MED/WG.270/ Inf.19. https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/7336/retrieve

24- Anke Steinel, Armin Margane. Best management practice guideline for wastewater facilities in karstic areas of Lebanon with special respect to the protection of ground- and surface waters. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, BMZ). 2011.

25- US EPA (2004): Guidelines for Water Reuse. Washington, DC, U.S. Agency for International Development, EPA/625/R-04/108. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/grants_loans/water_recycling/docs/econ_tskfrce/14.pdf

26- EPA SA (2009a): Wastewater irrigation management plan (WIMP) —a drafting guide for wastewater irrigators. http://www.epa.sa.gov.au/environmental_info/waste_management/liquid_waste/wastewater

27- Choukr-Allah, R. (2010): Wastewater Treatment and Reuse. chapter 7. http://www.afedonline.org/report2010/pdf/en/chapter7.pdf

28- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Wastewater treatment and use in agriculture - irrigation and drainage paper 47. http://www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm

29- Southern Rural Water. Regional Environment Improvement Plan Werribee Irrigation District Class A Recycled Water Scheme. 2009. http://www.srw.com.au/files/Technical_reports/WID_REIP_Final_July_2009.pdf

۳۰- دفتر آب و خاک معاونت محیط زیست انسانی- سازمان حفاظت محیط زیست. استاندارد های کیفیت منابع خاک و راهنماهای آن. ۱۳۹۵. http://www.doe.ir/Portal/file/?692345/1395.pdf

31- Minister for the Environment, Department of Environment and Conservation (NSW). Use of effluent by irrigation. http://www.environment.nsw.gov.au/resources/water/effguide.pdf

۳۲- کیفیت آب آبیاری- شینبرگ و اوستر- دکتر امین علیزاده- انتشارات آستان قدس رضوی- ۱۳۷۷

33- United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Soil Quality-Urban Technical Note No.3- Heavy Metal Soil Contamination. 2000. http://www.aiswcd.org/wp-content/uploads/2013/04/u031.pdf

34- Robert C. Abaidoo, Bernard Keraita, Pay Drechsel, Priyanka Dissanayake, and Akple S. Maxwel. Soil and Crop Contamination Through Wastewater Irrigation and Options for Risk Reduction in Developing Countries. P. Dion (ed.), Soil Biology and Agriculture in the Tropics, Soil Biology 21. 2010. DOI 10.1007/978-3-642-05076-3_13. https://www.researchgate.net/publication/227243195_Soil_and_Crop_Contamination_Through_Wastewater_Irrigation_and_Options_for_Risk_Reduction_in_Developing_Countries

35- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Quality control of wastewater for irrigated crop production. (Water reports- 10). Chapter 3: Implementing health protection measures for wastewater use. http://www.fao.org/docrep/w5367e/w5367e00.htm

36- NRMMC, EPHC and AHMC (2006): Australian Guidelines for Water Recycling. Managing Health and Environmental Risks (Phase 1): National Water Quality Management Strategy. Canberra, Natural Resource Management Ministerial Council (NRMMC), Environment Protection and Heritage Council (EPHC), Australian Health Ministers' Conference (AHMC). http://www.ephc.gov.au/sites/default/files/WQ_AGWR_GL__Managing_Health_Environmental_Risks_Phase1_Final_200611.pdf.

37- ANZECC (2000) Guidelines For Sewerage Systems – Reclaimed Water. National Water Quality Management Strategy. Australian And New Zealand Environment Conservation Council, Agriculture And Resource Management Council Of Australia And New Zealand, National Health And Medical Research Council. https://www.environment.gov.au/system/files/resources/53cda9ea-7ec2-49d4-af29-

d1dde09e96ef/files/nwqms-guidelines-4-vol1.pdf

۳۸- مرضیه بردبار و همکاران (۱۳۸۷). تسطیح لیزری اراضی زراعی راهبردی برای مدیریت بهینه آب در بخش کشاورزی. همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

39- Javier Mateo-Sagasta, Jacob Burke. 2011. Agriculture and water quality interactions:a global overview. http://www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic_reports/TR_08.pdf

۴۰- نقشینه پور، بیژن. ۱۳۷۴ . بازیافت و کاربرد فاضلاب ها در امور کشاورزی و احیای اراضی. مجله آب خاک ماشین، شماره ۵.

۴۱- علیزاده. امین ، غلامحسین حقنیا و ابوالقاسم نقیبی . ۱۳۷۵ . استفاده از فاضلاب تصفیه شده خانگی در آبیاری. دومین کنگره ملی مسایل آب و خاک کشور، ص ۵۳۳-۵۳۵.

۴۲- صفری سنجابی، علی اکبر و شاپور حاج رسولی ها. ۱۳۷۹ . ارزیابی کیفیت پساب تصفیه خانه فاضلاب شمال اصفهان برای کشاورزی. مجله آب و فاضلاب ، شماره ۳۳ ، ص ۲۰-۲۶

۴۳- خرقانی، کیوان . ۱۳۷۵ . تاثیر فاضلاب های تصفیه شده خانگی بر کیفیت و عملکرد گیاهان خیار و هویج و خصوصیات خاک . پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد.

۴۴- زاد هوش، عادل. ۱۳۷۵ . بررسی اثرات استفاده از پساب بر خاک و گیاه. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

45- Abedi-Koupai J. 2001.Influence of treated wastewater and irrigation systems on soil physical properties in Isfahasn province. ICID International workshop on wastewater reuse management. Sep.19-20.Seoul,Korea, pp: 165-173.

46-Feizi. M. 2001. Effect Of Tread Water on Accumulation of Heavy Metals in Plants and Soil, ICID International Workshop on Wastewater Management, September 19-20, Korea.

۴۷- وثوقی. منوچهر، حمید رضا مظاهری و فرهاد مشهون . ۱۳۷۵ . بررسی استفاده مجدد از فاضلاب پالایشگاه تهران در آبیاری درختان جنگلی. دومین کنگره ملی مسایل آب و خاک کشور، ۳۱۲-۳۳۱

۴۸- علیزاده، امین و عرفانی ۱۳۷۵ و ۱۳۷۷ . استفاده از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری چغندرقند، هویج و خیار. وزارت نیرو، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، گزارش نهایی طرح پژوهشی.

۴۹- حسن اقلی . علیرضا، عبدالمجید لیاقت و مهدی میر اب زاده. ۱۳۸۱ . تغییرات میزان موادآلی خاک در نتیجه آبیاری با فاضلاب های خانگی و خودپالایی آن. مجله آب و فاضلاب، شماره ۴۲ ، ص ۲-۱۱

۵۰- نجفی، پیام . ۱۳۸۰ . اثرات کاربرد روش آبیاری قطر ه ای در بهبود وضعیت بهره برداری از پساب فاضلاب شهری . همایش اثرات زیست محیطی پساب های کشاورزی بر آب های سطحی و زیر زمینی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

۵۱- ابراهیمی زاده. م. ع، حسـن لی.ع. م، احمدی راد. ۱۳۸۵. حداقل اثرات زیست محیطی پساب فاضلاب شهری بر خاک در کشت ذرت. مجموعه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران. ۱۳۸۵

52- Alizadeh, A., Using Reclaimed Municipal Wastewater for Irrigation of Corn. International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul. Korea. Pp.147-154. 2001.

۵۳- شادکام. س، دانش. ش، علیزاده، الف، پروان، م. ۱۳۸۵. بررسی استفاده مجدد از فاضلاب خام و پساب تصفیه شـده بر هدایـت هیدرولیکی بافت های مختلف خاک. مجموعه مقـالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.

۵۴- پـروان، م. ۱۳۸۳. اثـرات آبیـاری با فاضلاب تصفیه شـده برروی خصوصیات خاک. پایـان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

55- Tabatabaei, S. H., Liaghat, A., Heidarpor, M. "Use of Zeolite to Control Heavy Metal in Municipal Wastewater Applied for Irrigation. International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul. Korea. Pp. 33-41. 2001.

۵۶- موحدیان. ف، افیونی. م.۱۳۸۵. اثر پسـاب و لجن صنعتی روی برخی خصوصیات شـیمیایی و تجمع عناصر سنگین خاک در اصفهان. مجموعه. مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان.

۵۷- علیزاده، ا. ۱۳۷۶. اسـتفاده از پسـاب تصفیه شده خانگی در آبیاری چغندرقند، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، گزارش نهایی طرح پژوهشی.

58-Cheng, A. C., Warknek, J. E., Page, A. L., Land, A. J. (1984). Accumulation of Heavy Metal in SewageSludge Treated Soils. J. Environ. Qual. Vol.13. pp.87-90.

59-Saber, M. S. M. (1986). Prolonged Effect of Land Disposal of Human Waste on Soil Conditions. Wat. Sci.Tech. Vol. 18, pp.371-374.

60-Smart, M. K. (2003). Effects of Long-Term Irrigation with Reclaimed Water on Soils of the Northern

Adelaide Plains, South Australia. Australian Journal of Soil Research. http:// waterquality.montana.edu/energy/cbm/prof-papers/files-images/long_term_irrigation_S_Australia.pdf

61- Cameron, D.R. 1997. Sustainable Effluent lrrigation Phase ll: Review of Monitoring Data Moose Jaw.

fech. Rept. prepared for lrrigation Sustainability Committee, Canada-Saskatchewan Agriculture Green Plan.

62-Patterson, R. A. 2003. Soil Hydraulic Conductivity and Domestic Wastewater. Wat. Scie. And Technol. Vol. 43. No. 12. Pp. 103-108.

63- Hussain, G. Al-Saati, J.A. 1999. Wastewater Quality and its Reuse in Agriculture in Saudi Arabia. Desalination. Vol.123. pp. 241-251.

64-Mahida, U. N. 1981. Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. McGrow-Hill pub., New Delhi.,323 pp.

65-Khai, N. M. 2007. Effects of Using Wastewater and Biosolids as Nutrient Sources on Accumulation and Behaviour of Trace Metals in Vietnamese Soils. Ph.D. Thesis, Depart.of Soil Sci. University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sewden.

66- Wegelin-Schuringa, M. (2001), Public awareness and mobilization for sanitation. In: P. Lens, G. Zeeman and G. Lettinga (eds.): Decentralized Sanitation and Reuse. Concepts, systems and implementation. London: IWA Publishing, 534-551.

67- United Nations Environment Programme (UNEP) (2004), Water and Wastewater, United Nations Environment Programme and Global Environment Centre Foundation.

68- Government of Western Australia, Department of Health. 2011. Guidelines for the Non-potable Uses of Recycled Water in Western Australia. http://ww2.health.wa.gov.au/~/media/Files/Corporate/general%20documents/water/PDF/Guidelines_Non_potable_Uses_of_Recycled_Water.ashx

۶۹- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشتی و پسا ب ها. نشریه ۵۳۵. ۱۳۸۹

http://abedi-koupai.iut.ac.ir/sites/abedi-koupai.iut.ac.ir/files//files_course/wastewater_applications-code535.pdf

۷۰- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. «دستورالعمل انجام مطالعات خاک شناسی» – نشریه شماره ۴۶۶، ۱۳۸۸

http://www.swri.ir/DouranPortal/documents.466.pdf

ایندکس موضوعی

احتمال خطر ,د, ۳, ۸, ۱۰, ۶۴, ۸۵, ۸۷, ۸۸
اشرشیاکلی۵۲ ,۵۱, ۴۹, ۳۰, ۲۶, ۲۵ ,
آب ,ب
آب بازیافتی ,خ, د, ذ, ۱, ۲, ۳, ۴, ۵, ۷, ۸, ۹, ۱۰, ۱۱, ۱۲, ۱۳, ۱۹, ۲۰, ۲۱, ۲۲, ۲۴, ۲۵, ۲۶, ۲۷, ۲۸, ۲۹, ۳۰, ۳۱, ۳۲, ۳۳, ۳۴, ۳۵, ۳۶, ۳۸, ۴۲, ۴۳, ۴۴, ۴۵, ۴۸, ۴۹, ۵۰, ۵۱, ۵۲, ۵۴, ۵۵, ۵۶, ۵۷, ۵۸, ۵۹, ۶۱, ۶۲, ۶۳, ۶۵, ۶۷, ۶۸, ۶۹, ۷۱, ۷۲, ۷۳, ۷۴, ۷۵, ۷۶, ۷۷, ۷۸, ۷۹, ۸۰, ۸۲, ۸۳, ۸۷, ۹۰, ۹۶, ۹۷, ۹۸, ۹۹, ۱۰۰, ۱۰۱, ۱۰۳, ۱۰۴, ۱۰۵, ۱۱۳, ۱۱۵
آبشویی ,ر, ۹
آبیاری بارانی,۸۵, ۸۴, ۷۹, ۲۷, ۸, ۷, ۶, ۹۰, ۹۵, ۱۱۴
آبیاری غرقابی۸۹ ,۷۸, ۲۷, ۸, ۷ ,
آبیاری قطره ای,۷۹, ۶۱, ۴۹, ۴۵, ۱۳, ۸, ۸۴, ۸۵, ۹۰, ۹۱, ۹۳, ۱۰۲
آبیاری کرتی۹۰ ,۸۵, ۸۴, ۸ ,
آزمون پایداری ,خ, ۱۱, ۱۲, ۱۱۳
آسکاریس۳۱ ,۳۰, ۲۸, ۲۷, ۲۶ ,
آلودگی های نوپدید ,خ, ۳۷
آنتی بیوتیک,۳۷, ۳۶, ۲۹, ۲۸, ۲۲, ۲۱ , ۳۸, ۱۱۴
باکتری,۳۰, ۲۹, ۲۵, ۲۱, ۱۹, ۱۸, ۱۶, ۳, ۳۱, ۳۷, ۳۸, ۸۸, ۹۱, ۹۴
بذرکاری۹۲ ,۸۵, ۸۸ ,
بهسازی ,أ, ت, ث, ز, ۱, ۲, ۳, ۴, ۷, ۱۳, ۱۵, ۳۶, ۴۲, ۷۲, ۷۳, ۷۸, ۱۰۳
بهسازی ,د, ۱, ۷۲, ۷۸, ۷۹
پایش,۷۳, ۷۲, ۶۷, ۶۵, ۶۳, ۴۵, ۲, ۱ , ۷۴, ۷۶, ۷۷, ۷۹, ۱۰۴, ۱۰۵
تخم انگل,۴۵, ۴۴, ۴۰, ۲۷, ۲۶, ۱۹, ۳ , ۴۸, ۴۹, ۵۰, ۵۲, ۵۶, ۵۷, ۵۹, ۶۳
تصفیه فاضلاب ,د, ۲, ۳, ۱۵, ۱۸, ۱۹, ۲۰, ۲۱, ۲۲, ۲۴, ۳۵, ۳۶, ۴۵, ۵۶, ۵۸, ۵۹, ۶۱, ۶۲, ۸۷
جامدات معلق,۴۸, ۴۶, ۴۵, ۳۶, ۲۲, ۱۵ , ۴۹, ۵۰, ۵۸, ۵۹, ۶۳, ۶۵
خاک ,خ, د, ز, ۱, ۲, ۳, ۴, ۵, ۶, ۷, ۸, ۹, ۱۰, ۱۱, ۱۲, ۱۳, ۱۴, ۱۵, ۱۶, ۱۷, ۱۸, ۱۹, ۲۰, ۲۱, ۲۲, ۲۳, ۲۴, ۲۵, ۲۶, ۲۷, ۲۸, ۲۹, ۳۰, ۳۱, ۳۲, ۳۳, ۳۴, ۳۵, ۳۶, ۳۷, ۳۸, ۴۱, ۴۲, ۴۳, ۵۳, ۶۷, ۶۸, ۷۰, ۷۱, ۷۲, ۷۳, ۷۴, ۷۵, ۷۶, ۷۷, ۷۸, ۷۹, ۸۰, ۸۱, ۸۲, ۸۳, ۸۴, ۸۵, ۸۶, ۸۹, ۹۰,۹۱, ۹۲, ۹۳, ۹۴, ۹۵, ۹۶, ۹۸, ۱۰۱, ۱۰۲, ۱۰۳, ۱۰۴, ۱۰۶, ۱۰۷, ۱۱۳, ۱۱۴
خاکدانه۱۱۳ ,۲۲, ۱۸, ۱۷, ۱۶ ,
ریز مغذی۳۲ ,
سدیمی شدن,۷۹, ۷۸, ۷۷, ۲۳, ۱۰, ۹ ,

۸۰, ۱۱۴
سمیت,۸۹, ۸۶, ۷۱, ۷۰, ۶۵, ۲۰, ۶, ۳, ,
۹۴
شوری ,خ, د, ۳, ۴, ۵, ۶, ۷, ۹, ۱۰, ۱۳,
۲۳, ۴۱, ۵۴, ۵۵, ۵۷, ۵۹, ۶۱, ۷۴, ۷۵,
۷۷, ۷۸, ۷۹, ۸۰, ۸۲, ۸۳, ۸۴, ۸۵, ۸۹,
۹۱, ۹۲, ۹۳, ۹۴, ۹۵, ۱۰۱, ۱۰۲, ۱۰۳,
۱۰۴, ۱۱۴
ظرفیت تبادل کاتیون۹ ,
ظرفیت تبادل کاتیونی۱۱۴, ۸۱, ۱۲, ۱۱ ,
ظرفیت نگهداری آب۱۱۴, ۱۱, ۱۰, ۸ ,
عوامل بیماریزا,۶۸, ۶۷, ۲۵, ۲۴, ۲۲, ۳ ,
۶۹, ۸۷, ۸۹, ۹۰, ۹۴
فاضلاب ,خ, ذ, ۱, ۲, ۳, ۱۳, ۱۴, ۱۵, ۱۶,
۱۷, ۱۸, ۱۹, ۲۰, ۲۱, ۲۲, ۲۳, ۲۴, ۲۵,
۲۶, ۲۷, ۲۸, ۲۹, ۳۰, ۳۱, ۳۲, ۳۳, ۳۴,
۳۵, ۳۶, ۳۸, ۴۳, ۴۴, ۴۵, ۴۸, ۴۹, ۵۱,
۵۵, ۵۶, ۵۷, ۵۹, ۶۰, ۶۲, ۶۳, ۶۸, ۷۱,
۷۲, ۷۶, ۷۸, ۷۹, ۸۷, ۸۹, ۹۰, ۹۴, ۹۷,
۹۸, ۱۰۰, ۱۰۱, ۱۰۲, ۱۰۳, ۱۰۴, ۱۰۸,
۱۰۹
فرسایش۱۱۴, ۲۳, ۱۷, ۱۶, ۱۲, ۹, ۸, ۷ ,
فسفات,۸۶, ۴۶, ۳۹, ۱۹, ۱۷, ۱۴, ۴ ,
۱۱۴
فسفر,۳۶, ۱۹, ۱۶, ۱۳, ۱۲, ۱۱, ۹, ۵, ۳ ,
۱۱۵, ۱۰۱, ۷۶, ۷۰, ۶۰, ۵۸, ۵۱, ۵۰, ۳۹
فلزات ,خ, ۱۳, ۱۴, ۱۵, ۱۸, ۲۰, ۲۱, ۲۲,
۲۳, ۲۴, ۳۱, ۳۲, ۳۳, ۳۶, ۵۴, ۵۷, ۶۵,
۷۶, ۷۹, ۸۵, ۸۶, ۱۰۲, ۱۰۳, ۱۱۴
قلیاییت۱۴ ,
کادمیوم,۳۴, ۴۴, ۳۲, ۳۲, ۲۴, ۲۱, ۱۸ ,
۴۲, ۴۳, ۴۶
کروم,۸۶, ۷۰, ۶۳, ۴۶, ۳۳, ۳۲, ۲۲, ۲۱ ,
۱۰۳
کشاورزی ,ج, خ, د, ۱, ۲, ۳, ۴, ۵, ۱۵, ۱۷,
۱۸, ۲۰, ۲۱, ۲۲, ۲۴, ۲۵, ۲۶, ۲۷, ۲۹,
۳۱, ۳۳, ۳۴, ۳۵, ۳۶, ۳۸, ۴۲, ۴۳, ۴۴,
۴۵, ۴۸, ۴۹, ۵۴, ۶۱, ۶۲, ۶۳, ۶۵, ۶۷,
۶۸, ۷۲, ۷۳, ۷۵, ۷۶, ۷۷, ۸۹, ۹۰, ۹۴,
۹۵, ۹۷, ۹۸, ۹۹, ۱۰۰, ۱۰۱, ۱۰۳, ۱۰۴,
۱۰۵, ۱۰۶, ۱۱۳, ۱۱۵
کلوخه شدن۱۵ ,
کلیفرم۶۴, ۴۱, ۴۰ ,
گندزدایی,۶۸, ۶۷, ۶۵, ۴۸, ۴۵, ۳۱, ۲۴ ,
۶۹, ۷۱, ۸۷
گیاه,۱۴, ۱۲, ۱۱, ۱۰, ۹, ۸, ۷, ۵, ۳, ۲ ,
۶۷, ۳۷, ۳۴, ۳۲, ۳۰, ۲۳, ۱۸, ۱۶, ۱۵,
۹۰, ۸۹, ۸۶, ۸۵, ۸۳, ۸۲, ۷۱, ۷۰, ۶۸,
۱۱۴, ۱۰۲, ۱۰۱, ۹۶, ۹۵, ۹۲, ۹۱
متیلاسیون۲۱, ۲۰ ,
محدودیت ,خ, ۵, ۶, ۷, ۸, ۹, ۱۰, ۱۱, ۲۳,
۳۲, ۴۳, ۴۵, ۴۸, ۶۲, ۶۳, ۶۵, ۷۱, ۹۱,
۹۹
مواد آلی,۱۸, ۱۶, ۱۵, ۱۴, ۱۳, ۱۲, ۴ ,

۱۹, ۲۰, ۲۱, ۲۳, ۲۴, ۳۰, ۳۳, ۳۴, ۳۵,
۷۱, ۷۸, ۸۰, ۸۶, ۱۰۲, ۱۰۳
مواد جامد محلول۱۱۳ ,۴۱ ,۵ ,۴ ,
مواد مغذی,۱۵ ,۱۳ ,۱۱ ,۹ ,۷ ,۵ ,۴ ,۳ ,۲ ,
۱۸, ۲۹, ۳۱, ۳۶, ۵۷, ۶۷, ۶۸, ۷۰, ۷۷,
۷۸, ۸۰, ۸۶, ۸۷, ۹۸
میزان جذب سدیم۶ ,
نسبت جذب سدیم۹۳ ,۵۰ ,۴۱ ,۲۳ ,۹ ,
نفت ,ب
نمک ,ذ, ۲, ۳, ۴, ۵, ۷, ۹, ۱۰, ۱۱, ۱۳, ۲۱,
۲۳, ۳۱, ۷۸, ۷۹, ۸۰, ۸۲, ۸۳, ۸۴, ۸۵, ۸۹,
۹۰, ۹۱, ۹۲, ۹۳, ۹۴, ۹۵, ۹۶, ۱۰۱, ۱۰۳,
۱۱۳
نیتروژن,۱۸ ,۱۷ ,۱۶ ,۱۵ ,۱۳ ,۶ ,۵ ,۳ ,
۱۹, ۳۶, ۴۶, ۵۱, ۵۳, ۵۸, ۵۹, ۷۵, ۷۸, ۸۰
هدایت الکتریکی,۴۶ ,۲۳ ,۹ ,۸ ,۶ ,۴ ,۳ ,
۵۱, ۵۴, ۵۸, ۶۲, ۷۶, ۷۹, ۹۵, ۱۰۲, ۱۰۳,
۱۰۴
هدایت هیدرولیکی اشباع,۱۰۱ ,۱۰ ,۹ ,
۱۰۲, ۱۰۴, ۱۱۴

واژه نامه انگلیسی به فارسی

معادل فارسی	واژه انگلیسی	معادل فارسی	واژه انگلیسی
آب بازیافتی	Reclaimed water	ظرفیت تبادل کاتیونی موثر	Effective Cation Exchange Capacity (ECEC)
آب بازیابی شده	Recycled water	کود سبز زراعی	Green Manure Crop
انگل ها	Parasites	آزمون پایداری امرسون	Emerson Aggregate Test (EAT)
کل مواد جامد محلول در آب	Total disolved solids (TDS)	خاک های واگرا	Dispersive Soils
گیاهان مقاوم در برابر نمک	Salt-tolerant plants	پذیرنده کربن	Carbon Sink
مواد مغذی ماکرو (اولیه و ثانویه)	Macronutrients (primary and secondary)	خاکدانه سازی	Aggregation
مواد مغذی میکرو	Micronutrients	ترکیبات آلی فلزی متحرکی	Mobile Organometallic
سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد	Food and Agriculture Organization (FAO)	مواد آبگریز	Hydrophobic Substances
محصولات زراعی یکساله	Annual Crops	مواد فعال سطحی	Surfactants
آبیاری بارانی مصنوعی	Overhead Sprinkler Irrigation	مواد لعاب دار گیاهی	Mucilage
ماندابی شدن	Ponding	میزان تر شوندگی	Wetting rate
سدیمی شدن خاک	Sodicity	بهم چسبیدگی	Agglutination
سدیم قابل تبادل	Exchangeable Sodium Percentage (ESP)	نظریه سلسله مراتبی	The Hierarchical Theory
خاک های سدیمی نشده	Non Sodic Soils	جانوران خاک	Soil Fauna

Macrofauna	جانداران درشت	Salinity	شوری خاک
Biomass	زیست توده	Saturated Hydraulic Conductivity (Ksat)	هدایت هیدرولیکی اشباع
Enterobacteriaceae	انتروباکتریاسه	Bio-Solids	جامدات زیستی
Recalcitrant Compounds	ترکیبات مقاوم	Available Water Holding Capacity (AWC)	ظرفیت نگهداری آب در دسترس
Mobile Phosphate	فسفات های متحرک	Cation Exchange Capacity (CEC)	ظرفیت تبادل کاتیونی خاک
Phosphate Aging	توقف فسفات	Anoxic	شرایط آنوکسیک
Immobilization	عامل تثبیت	Water Stress	تنش آب
Volatilization	افزایش فراریت	Salinization	شور شدن

Guideline for the Use of Recycled Water in Soil Amendment