آبیاری با فاضلاب تصفیه شده

محمود توکلی، محمود طباطبائی[1]

مزایای استفاده از پساب تصفیه شده

دسترسی به آب شیرین یکی از مهم‌ترین موضوعات حیات بشری است اما مطابق برآوردهای جهانی ظرف پنجاه سال آینده شمار روزافزونی از مناطق جهان با بحران کمبود آب مواجه خواهند شد. این موضوع توجه جهانیان را به خود معطوف ساخته است به طوری که در دستور کار کنفرانس محیط زیست و توسعه (۱۹۹۲) «آب به عنوان یک عامل کلیدی در توسعهٔ پایدار» شناخته شد.

در چنین شرایطی استفاده از پساب به عنوان راه‌حلی مشکل‌گشا مورد استفاده بیشتر نقاط جهان قرار گرفته است و از این رهگذر منافع زیادی برای آنها به دنبال داشته است. اهم منافع کاربرد دوباره پساب عبارتند از:

الف - کاهش فشار بر منابع آب

برداشت بی‌رویه از منابع آب موجب افت سطح آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان شده است و این پدیده مشکلات بسیاری از جمله نشست زمین، شور شدن آب و کاهش دبی چاهها را به دنبال داشته است. استفاده دوباره از پساب موجب تخفیف میزان برداشت از آبخوان می‌شود.

ب - کاهش هزینه آب کشاورزی

در بسیاری از موارد تولید آب برای کشاورزی مستلزم صرف هزینه‌های گزاف جهت انتقال آب از نقاط دوردست و احداث سدها و بندهای انحرافی و یا پمپاژ آب از اعماق زمین می‌باشد در حالی که پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در سطح زمین قرار دارد و از طرف دیگر به علت ثبات تقریبی جریان آن، نیازی به مهار توسط سد و بند ندارد.

ج - کاهش هزینه کود کشاورزی

اصلاح زمین‌های کشاورزی و افزایش حاصلخیزی آنها یکی از هزینه‌های عمدهٔ جاری در

۱-کارشناسان شرکت خدمات مهندسی مشاور سروآب

فعالیت‌های کشاورزی است، در حالی که پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها دارای مواد مغذی از قبیل ازت، فسفر و پتاسیم در حد مطلوب می‌باشد. به طوری که مطالعات انجام شده در نقاط مختلف دنیا نشان داده بسیاری از محصولات آبیاری شده با پساب نیازی به افزودن کودهای شیمیایی و حیوانی ندارند و از این جهت صرفه‌جویی زیادی در هزینه تولیدات کشاورزی انجام گیرد. مطابق تحقیقات دانشگاه فردوسی مشهد، کاربرد پساب معادل استفاده از ۲۵ تن در هکتار کود حیوانی می‌باشد.

د - افزایش تولید محصولات کشاورزی

دسترسی به پساب فاضلاب به عنوان یک منبع مطمئن و دائمی آب و مواد مغذی موجب می‌شود محصولات کشاورزی در زمان نیاز آب و کود کافی و مناسب در اختیار داشته باشند. از طرف دیگر میزان املاح پساب در بسیاری از موارد بسیار پایین‌تر از میزان املاح آب‌های مورد استفاده در کشاورزی می‌باشد و چون زیادی املاح موجب بازده محصول می‌شود استفاده از پساب که املاح کمتری دارد و علاوه بر آن مواد مغذی کافی هم دارد، بازده محصول را برای بسیاری از گیاهان افزایش می‌دهد.

ه - کاهش بار آلودگی وارده به محیط زیست

استفاده از پساب از یک طرف باعث جلوگیری از تخلیه فاضلاب‌ها به محیط زیست می‌شود و از طرف دیگر به علت کاهش و توقف استفاده از کودهای آلی و شیمیایی مانع بروز اثرات تخریبی این مواد بر محیط زیستی می‌گردد. می‌دانیم که رها ساختن فاضلاب در محیط زیست علاوه بر شیوع بیماری‌های عفونی موجب تخریب منابع آب می‌شود و از طرف دیگر استفاده بی‌رویه از کودهایی شیمیایی و حیوانی نیز صدمات زیادی بر منابع سطحی و زیرزمینی وارد می‌آورد. در حالی که استفاده از پساب تصفیه شده مانع ورود آلودگی‌های فوق به محیط زیست می‌گردد.

و - تقویت منابع آب

استفاده از پساب اضافی جهت تغذیه منابع زیرزمینی آب ضمن ذخیره‌سازی مطمئن آب همراه با افزایش کیفیت آن موجب ممانعت از افت سطح آب زیرزمینی شده و مانع بروز پیامدهای ناگواری همچون نشست زمین، کاهش تولید آب و خشک شدن چاه‌ها و قنوات و همچنین تخریب کیفیت و شور شدن آب در اثر هجوم آبهای شور به داخل سفره‌های شیرین می‌شود.

ز - دسترسی به منابع آب ارزانتر جهت مصارف شرب و بهداشت

مهم‌ترین دغدغه مسئولین در بسیاری از نقاط دنیا،تأمین آب شرب شهرها و مراکز جمعیتی می‌باشد. استفاده دوباره از پساب از طریق تغذیه مصنوعی سفره‌های آب شرب و یا مبادله با آب مصرفی در کشاورزی یا مصرف مستقیم پساب تصفیه شده جهت مصارف بهداشتی که در مناطق مختلف دنیا تجربه شده است، باعث شده پساب به عنوان منبع مطمئنی جهت تأمین آب شهرها مدنظر قرار گیرد.

سوابق مصرف دوبارهٔ آب‌در آبیاری‌کشاورزی

استفاده از فاضلاب انسانی در تولید محصولات کشاورزی از طریق حاصلخیز کردن خاکها از قدیم، در کشورهای آسیایی رواج داشته است. در عصر حاضر نیز در کشورهایی مثل آلمان، انگلیس و امریکا از اواخر قرن نوزدهم مهمترین روش دفع فاضلاب، استفاده از آن در زمینهای کشاورزی بود. به این زمینها *(Sewage farm)* یا مزرعه فاضلاب می‌گفتند و اینکار منافع زیادی برای کشاورزان در برداشت. برای اولین بار در آمریکا در سال ۱۸۸۹ پساب فاضلاب جهت آبیاری و کوددهی به فضاهای سبز در پارک مشهور (گلدن کیت) در سانفرانسیسکو بکار رفت، پس از آن در سال ۱۹۲۹ در شهر پومونا (کالیفرنیا)، استفاده اصولی از پساب تصفیه شده جهت آبیاری باغها و فضای سبز شروع شد. گزارش شده که در سال ۱۹۸۰ حدود ۶۰ درصد فاضلابهای تولیدی در آمریکا در کشاورزی مصرف می‌شده است. در اسرائیل ۷۰٪ فاضلاب انسانی پس از تصفیه در آبیاری ۱۹۰۰۰ هکتار زمین کشاورزی بکار می‌رود. در ازبکستان بیش از ۴۰٪ فاضلابها در کشاورزی بخصوص در کشت پنبه دوباره استفاده می‌شود. در شهر سان دیگو (کالیفرنیا) کارخانه بازیافت آب با ظرفیت ۱۱۳ هزارمترمکعب در روز (۳۰ مگاگالن در روز) در سال ۱۹۹۷ به بهره برداری رسید که تا سال ۲۰۰۷ ظرفیت آن به ۱۷۰ هزارمترمکعب در روز (۴۵ مگا گالن در روز) خواهد رسید که تأمین کننده ۱۲٪ از کل نیاز آبی کشاورزی (۴۰۰ میلیون مترمکعب در سال) منطقهٔ سان دیگو خواهد بود. در مجموع ۶۰٪ از کل ۴۳۲ میلیون مترمکعب پساب تولیدی کالیفرنیا در کشاورزی مصرف می‌شود. از طرف دیگر،در شهر فونیکس آریزونا از سال ۱۹۹۳ طبق قرارداد بین شرکت آب این شهر و شرکتهای آبیاری، بخش عمده‌ای از پساب تصفیه شدهٔ شهری در اختیار کشاورزان قرار می‌گیرد و بجای آن آب شیرین مصرفی در کشاورزی به شهر انتقال یافته و مورد مصرف قرار می‌گیرد.

در کشور ژاپن از سال ۱۹۶۸ پروژه‌های بازیافت و استفادهٔ مجدد از آب در کشاورزی شروع شده است و هر روز برحجم آن افزوده می‌شود بطوریکه تا سال ۱۹۹۶ سالانه نزدیک به ۱۳ میلیون مترمکعب پساب در آبیاری کشاورزی مصرف می‌شده است. در خاورمیانه که اکثر کشورهای آن در ناحیه‌ای نیمه خشک قرار دارند و از قدیم با کم آبی آشنا بوده‌اند، استفادهٔ مجدد در کشاورزی هر روز اهمیت بیشتری می‌یابد چون در اغلب این کشورها مهمترین مصرف کنندهٔ آب، بخش کشاورزی است. مراکش، اردن، پاکستان، عمان، عربستان سعودی، امارت متحده و... هر کدام پروژه‌هایی در دست اجرا دارند که فاضلابهای شهری را پس از تصفیه در کشاورزی بکار برند. برای مثال در منطقه صلاله (عمان) یک پروژه ۳۲ میلیون دلاری جهت بازیافت ۴۰ هزار مترمکعب در روز در دو مرحله، در دست اجرا است تا فشار وارده‌برمنابع‌زیرزمینی‌ازطریق‌بازیافت‌واستفادهٔ دوباره از آب در کشاورزی کاهش یابد.

در کشورهای منطقهٔ مدیترانه افزایش جمعیت و مصرف آب از یکسو و خشکسالی‌های دوره‌ای از سوی دیگر موجب افزایش بیش از حد تقاضای آب گردیده است. برای رفع این مشکل کشورهای این ناحیه به تصفیه و استفادهٔ مجدد از فاضلابها روی آورده‌اند. اهداف اصلی این کار عبارتند از تصفیه فاضلاب، حفظ محیط زیست و استفاده دوباره از پساب در کشاورزی، در حال حاضر در فلسطین اشغالی بیشتر پسابهای خروجی از برکه‌های تثبیت به مصرف آبیاری می‌رسد. در کشور تونس که هم از روش لجن فعال و هم برکه تثبیت جهت تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود، پسابهای حاصل در کشاورزی مصرف می‌شود. قبرس نیز روش مشابهی جهت مبارزه با کم آبی اتخاذ کرده است. حتی در یونان استفاده دوباره از آب مورد توجه جدی واقع شده است. در اروپا علیرغم وجود قوانین سختگیرانه برای کیفیت آب، تولید پساب با کیفیت استاندارد انجام می‌شود و به مصارف مختلفی می‌رسد. مثلاً آلمان و فرانسه سالهاست که پساب تصفیه شده را در آبیاری کشاورزی بکار می‌برند و حاصل مطالعات و تجربیات آنها امروزه بصورت «خطوط راهنما جهت آبیاری با پساب» مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کشور پرتقال مطالعات زیادی جهت وضع خطوط راهنما جهت آبیاری با پساب صورت گرفته، این مطالعات نشان داده است که پساب برکه‌های تثبیت می‌تواند برای آبیاری نامحدود در کشاورزی بکار رود. در بلژیک یک کارخانهٔ تولید مواد غذایی برای گریز از هزینه‌های سنگین تصفیه فاضلاب خود تا حد استاندارد تخلیه به آبهای سطحی، از یک روش ارزان تصفیه جهت تولید پسابی با کیفیت مورد قبول برای آبیاری سبزیجات استفاده می‌کند. تا سال ۱۹۸۴ در نقاط نیمه خشک چین نزدیک به ۱/۳۲ میلیون هکتار از زمینهای کشاورزی با استفاده از پساب تصفیه شده آبیاری می‌شده است.

در ایران نیز از زمانهای قدیم استفاده از فاضلاب انسانی جهت حاصلخیز کردن باغها و مزارع کاربرد داشته است. برای مثال در مناطق کشاورزی ایران فاضلاب انسانی که بصورت نیمه جامد در موال‌ها یا مستراحهای قدیمی تلنبار می‌شده است توسط کشاورزان برداشت می‌شده و بعنوان «بار انسانی» در مزارع بکار می‌رفته است. در حال حاضر نیز در بسیاری از شهرهای کشور فاضلابهای خانگی و سطحی که از شهر خارج می‌شود در زمینهای کشاورزی پایین دست استفاده می‌شود. برای مثال نهر فیروز آباد تهران که قسمت اعظم آلودگی‌های سطحی و پساب تصفیه خانه‌ها و کارخانه‌های متعددی به آن تخلیه می‌شود، بطور گسترده‌ای در جنوب تهران در مناطق کشاورزی به مصرف تولید میوه و سبزی‌های خوراکی می‌رسد. در شهر تبریز فاضلابهای خانگی و سطحی که درون مسیل داخل شهر ریخته می‌شود پس از خروج از شهر در کشاورزی مصرف می‌شود. در شهر شیراز نیز گزارش شده که در فصول خشک سال جریان اصلی رودخانهٔ نزدیک شهر را فاضلابهای تخلیه شده به آن، تشکیل می‌دهد و این فاضلابها در نهایت به مصرف کشاورزی می‌رسد.

اطلاع از کیفیت فاضلاب، مکانیسمهای تصفیه، ملاحظات بهداشتی و استانداردهای زیست محیطی، مبانی اصلی در طراحی و اجرای موفقیت‌آمیز طرحهای تصفیه و استفادهٔ مجدد می‌باشد.
تصفیه فاضلاب در اثر مکانیسمهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی در محیط آب، خاک، گیاه رخ می‌دهد.در این روشها همهٔ آلاینده هریک تا درجه‌ای معین تصفیه می‌شوند. در زیر بطور خلاصه مکانیسم حذف آلاینده‌های عمده شامل مواد معلق، مواد آلی، ازت، فسفر، عناصر جزئی و مواد آلی پایدار و در نهایت میکروبها، بیان شده است.

الف– مواد معلق (بصورت TSS بیان می‌شود)

در روشهایی مثل برکه‌های تثبیت، نیزارهای مصنوعی و جریان رو سطحی مواد معلق در اثر سرعت کم جریان و عمق کم آب ته نشین شده و بطور موثری کاهش پیدا می‌کند. بخشی از ذرات معلق را گیاهان جذب کرده و در نهایت قسمتی از ذرات معلق در سطح آب – خاک حذف می‌شود.
در آبیاری با پساب، تغذیه مصنوعی و نیزارهای مصنوعی با جریان زیر سطحی، مکانیسم اصلی حذف مواد معلق، صاف شدن در ذرات خاک می‌باشد. البته مشکلات گرفتگی منافذ خاک بخصوص در تغذیه مصنوعی با پساب وجود دارد که بایستی طراحی و راهبری این سیستمها با دقت خاصی صورت گیرد تا مشکلات به حداقل برسد.

ب – مواد آلی (بصورت TOC, COD, BOD بیان می‌شود)

قسمت عمدهٔ مواد آلی قابل تجزیه که بصورت محلول و معلق در پساب و فاضلاب وجود دارد، اغلب توسط میکروبها حذف می‌شود. در این مورد میکروبها که بصورت توده‌های زنده و لایه‌های لزج روی سطح ذرات خاک و گیاه رشد می‌کنند، در شرایط هوازی مواد آلی را جذب کرده و به مصرف می‌رسانند.
چون روش هوازی سریعتر و موثرتر است غالباً سعی می‌شود شرایط هوازی در آب و خاک حفظ شود مثل هنگامی که نیاز به حذف ازت باشد.

ج – ازت (بصورت Nکل، N آمونیاکی، N – آلی، $NO3$- و $NO2$- بیان می‌شود)

حذف ازت و چرخهٔ ازت در سیستمهای طبیعی در مجموعهٔ پیچیده‌ای از فرایندها رخ می‌دهد. در فرایندهای تصفیه ثانویه اغلب ازت به میزان کمی حذف می‌شود مگرمراحل نیتریفیکاسیون، دنیتریفیکاسیون در سیستم تصفیه گنجانده شده باشد. دراین حالت بایستی شرایط هوازی، غیر هوازی بطورمتناوب اعمال شودتاازت حذف شود.مکانیسم حذف برای هرنوع «ازت» متفاوت است:

– ازت آلی: ازت آلی بصورت ذرات معلق بیشتر توسط فرایندهای ته نشینی و صاف شدن، حذف می‌شود.بخشی ازازت آلی نیزهیدرولیزشده ودرنهایت به آمونیاک تبدیل می‌شود.

– ازت آمونیاکی: در محیط طبیعی ازت آمونیاکی از مسیرهای مختلفی می‌گذرد. آمونیاک محلول می‌تواند بصورت گاز (NH_3) وارد هوا شود. البته کمتر از ۱۰٪ آمونیاک از این مسیر حذف می‌شود مگر در برکه‌های تثبیت که زمان ماند زیاد و pHپائین است. بیشتر آمونیاک در کاربردهای کشاورزی پساب، جذب سطحی ذرات خاک و مواد آلی می‌شودسپس جذب میکروبهاوگیاه می‌شودودرنهایت تبدیل به نیتریت ونیترات می‌شود.

– ازت نیتراتی: بعلت داشتن بار منفی، نیترات از طریق تبادل یونی با ذرات خاک، حذف نمی‌شود. اگر نیترات توسط گیاه جذب نشود و میکروبها نیز آنرا حذف نکنند، بطور مستقیم وارد سفره‌های آب زیرزمینی خواهد شد در سیستمهای تغذیه مصنوعی و کاربرد پساب در آبیاری، نیترات شسته شده به آبهای زیرزمینی می‌رسد و خطرات بهداشتی بدنبال خواهد داشت.

نیترات براحتی جذب گیاهان می‌شود اما این عمل فقط در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه رخ می‌دهدوفقط درفصل‌رشد فعال، گیاه‌به‌نیترات احتیاج داردوآنرا بطورکامل‌جذب می‌کند.

– دنیتریفیکاسیون زیستی:یکی از مهمترین مسیرهای حذف نیترات، دنیتریفیکاسیون می‌باشد که باعث تبدیل آن به $N2$ و NOx می‌شود. در روشهای تغذیه مصنوعی، نفوذ سریع، جریان روسطحی و برکه‌های تثبیت، مهمترین روش تصفیهٔ نیترات، عمل دنیتریفیکاسیون می‌باشد. این عمل فقط در شرایط نااکسیژنی و وجود باکتریهای اختیاری رخ می‌دهد. علاوه بر این بایستی نسبت کربن به ازت حداقل ۲ به ۱ باشد (بر اساس TOC و TN) تا دنیتریفیکاسیون، کامل باشد. بنابر این برای تصفیه پسابهای ثانویه که نسبت C/N در آنها نزدیک به ۱ به ۱ است نمی‌توان انتظار حذف نیترات از طریق دنیتریفیکاسیون را داشت.

د– فسفر (بصورت P کل، P آلی و P-ارتوفسفات بیان می‌شود)

مهمترین فرایند طبیعی حذف فسفر شامل جذب سطحی و ته نشینی می‌باشد. گرچه مقداری از فسفر توسط گیاه نیز جذب می‌شود. اغلب فسفری که به شکل ارتوفسفات است در سطح ذرات خاک و مواد آلی، جذب می‌شود. ترکیب فسفر با $Ca++$ در pHقلیایی و Fe و Alدر pHاسیدی، موجب ته نشینی و رسوب فسفر می‌شود. فسفر جذب شده ثبات زیادی داشته و بندرت شسته می‌شود. خاکها ظرفیت کمتری برای جذب فسفر دارند اما شنها ظرفیت زیادی دارند. درایالت میشیگان شهر کالمومت پس از ۸۸ سال نفوذ سریع فاضلاب خام شهری، هنوز غلظت فسفر در آب زیرزمینی بین ۰/۱ تا ۰/۴ میلیگرم بر لیتر می‌باشد. چون میزان تصفیه فسفر بستگی به زمان و سطح تماس آن با ذرات خاک و شن دارد، در روشهایی‌مثل‌برکه‌تثبیت‌که‌جریان رو سطحی دارند، میزان حذف فسفر، کم است.

هـ– عناصر ناچیز (اغلب فلزات سمی و سنگین را دربر می‌گیرد)

حذف عناصر ناچیز مثل فلزات سنگین اغلب از طریق جذب سطحی و ته نشینی رخ می‌دهد. مقدار کمی از فلزات نیز، جذب گیاه می‌شود در pHقلیایی بیشتر فلزات بصورت رسوب در نیمرخ خاک باقی می‌مانند. اما در شرایط بی هوازی و pHهای اسیدی ممکنست در آب حل شده و به آبهای زیرزمینی راه پیدا کنند. در هر صورت فلزات سنگین بین ۸۰ تا ۹۵ درصد در روشهای طبیعی حذف می‌شود.

و – مواد آلی پایدار (بیشتر بصورت $VOCs$ بیان می‌شود)

مواد آلی پایدار موادی هستند که در روشهای سریع تصفیه ثانویه بندرت حذف می‌شوند اما سیستمهای طبیعی مثل برکه تثبیت که زمان ماند زیادی دارند می‌توانند تا حد زیادی این مواد را حذف کنند. کلروفرم، تولوئن، بنزن و PCB در روشهای طبیعی بیش از ۹۹ درصد حذف می‌شوند. روش برکه تثبیت حتی فنل و هگزان را تا ۹۹ درصد حذف می‌کند. مکانیسمهای حذف VOC_s شامل تصعید، جذب سطحی، جذب و تجزیه زیستی و در نهایت تجزیه در اثر نور خورشید، می‌باشند.

ز– میکروبها وبیماریزاهای میکروبی(کلی‌فرم‌کل،کلی‌فرم‌مدفوعی،تخم‌انگل)

مکانیسمهای اصلی حذف میکروبها (باکتری، ویروس، تخم انگل) شامل مرگ و میر، غیر فعال شدن، غربال شدن، ته نشینی، تشعشع، جداسازی، جذب سطحی و گیرافتادن می‌باشد. در روشهای آبیاری با پساب و نفوذ سریع میکروبها تقریباً بطور کامل حذف می‌شوند. بطور معمول از عمق ۱/۵ متری خاک به بعد دیگر اثری از میکروبها نیست، مگر اینکه خاک خیلی نفوذپذیر باشد. گرچه در روشهای تصفیه بیولوژیکی بیشتر باکتریها حذف می‌شود اما هنوز برای تخلیه آنها به محیط زیست نیاز به گندزدایی دارند.

ملاحظات بهداشتی و زیست محیطی در کاربرد پساب

۱- میکروبها

از نظر علم میکروبشناسی موجودات بیماریزای موجود در فاضلاب شامل باکتریها، تک یاخته‌ها و کرمهای انگلی، قارچها و ویروسهای بیماریزا می‌باشند. امروزه مشخص شده است که بیشتر بیماریها از مصرف آب و مواد غذایی آلوده ایجاد می‌شود و تأمین آب سالم یکی از مهمترین راههای گسترش بهداشت است. استفاده از فاضلاب خام که در گذشته در کشاورزی رواج داشته است در بعضی نقاط موجب شیوع بیماریهای عفونی شده و زیانهای جبران ناپذیری در پی داشته است علت اینست که بیشتر میکروبها می‌توانند در شرایط مختلف بیش از چند ماه در خاک و گیاه باقی بمانند و خاصیت بیماریزایی خود را حفظ کند. بر همین اساس لازم است که فاضلاب قبل از کاربرد در کشاورزی تصفیه شود. طبق دستورالعملهای سازمان بهداشت جهانی فاضلاب نبایستی بیش از ۱۰۰۰ کلی فرم در هر صد میلی لیتر داشته باشد. البته این شاخص فقط نشاندهنده سالم بودن فاضلاب از نظر باکتریهای بیماریزا است و چون انگلهای خطرناکی همچون ژیاردیا و کریپتوسپیریدیوم نیز در فاضلاب وجود دارند که باعث بیماری می‌شوند دستور العمل جدید *WHO* محدودیت یک تخم انگل در هر ۱۰۰ میلی لیتر را برای کاربرد پساب در کشاورزی وضع کرده است. بدین ترتیب بطور معمول پساب یک برکه تثبیت برای کشاورزی مناسب است. البته بایستی آبیاری با پساب دو هفته قبل از برداشت محصول قطع شود و آب مورد نیاز گیاه بوسیلهٔ آب پاک تأمین شود.

گرچه آبیاری با پساب مورد قبول کارشناسان بهداشتی قرار دارد اما در هنگام استفاده از پساب جهت تغذیه مصنوعی، برکه‌های تفریحی و دیگر مصارفی که احتمال خورده شدن اتفاقی آب وجود دارد آب بازیافتی بایستی از نظر ویروسها و دیگر عوامل بیماریزا سالم باشد. مطالعات مختلف نشان داده است که حذف میکروبها و ویروس در تغذیه مصنوعی بستگی زیادی به شرایط محلی دارد. بنابر این پساب مورد استفاده در تغذیه مصنوعی یا برکه‌های تفریحی بایستی کیفیت بالایی از نظر عدم وجود ویروسهای بیماریزا داشته باشد.

۲- فلزات سنگین

فلزات سنگین که به آنها فلزات سمی هم گفته می‌شود اغلب عناصر فلزی با وزن اتمی زیاد را شامل می‌شوند این عناصر مثل $Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, Co, Ni, Cr$ اغلب در مقادیر ناچیز برای موجودات زنده ضروری بوده و مقادیر کمی بیشتر آنها باعث بروز بیماری می‌شوند. اغلب آنها دارای خاصیت تجمع زیستی بوده و در بافتهای بدن تجمع می‌یابند. علاوه بر این با دخالت در فعالیتهای حیاتی موجب اختلال در نظم طبیعی بدن می‌شوند. فلز جیوه در طبیعت تبدیل به ترکیب جیوهٔ آلی می‌شود که صدها برابر حالت فلزی آن خاصیت سمی دارد. منشاء اصلی فلزات سنگین پسابهای صنعتی هستند که بایستی در طرحهای استفادهٔ مجدد، کنترلهای شدیدی جهت جلوگیری از ورود این عناصر به پساب به عمل آید.

۳- مواد آلی پایدار

این مواد که جزو مواد مصنوعی می‌باشند و با عناوین مختلفی همچون $UV absorbant, TOC, VOC_s$ نامگذاری می‌شوند شامل طیف وسیعی از مواد آلی می‌باشند که مصارف گوناگونی در زندگی امروزی دارند. انواع آفت کشها، رنگهای مصنوعی، گندزداها، ترکیبات نفتی و... جزو این دسته قرار دارند. مشخصه اصلی آنها کندی روند تجزیهٔ آنها در طبیعت است. علاوه

بر این بیشتر آنها خاصیت تجمع زیستی داشته و یا اثرات ناهنجار زایی و بیماریزایی و حتی سرطانزایی دارند. روشهای معمول تصفیه ثانویه قادر به حذف این قبیل ترکیبات نبوده و مهترین راه حذف آنها در حال حاضر روش کربن فعال می‌باشد. با این حال آزمایشگاههای فعلی فقط قادر به شناسایی ۱۰ درصد این مواد می‌باشند و رفتار بیشتر آنها هنوز بدرستی شناخته شده نیست. وجود این ترکیبات در پسابهای بازیافتی یکی از مهمترین نگرانی‌های کارشناسان بهداشتی در هنگام کاربرد پساب برای تغذیه منابع آب می‌باشد. گرچه طی یک مطالعهٔ ۲۰ ساله در امریکا موشهایی که از آب بازیافتی با غلظت ۵۰۰ برابر معمول مواد آلی پایدار استفاده کرده بودند از نظر ناهنجارهای و بیماریهای مختلف تفاوتی با گروه کنترل نداشتند.

۴- مواد معلق

مواد معلق موجود در آب بازیافتی و پساب اغلب تحت عنوان SS و کدورت مورد بحث قرار می‌گیرد. این مواد از نظر بهداشتی فقط بعنوان مانعی جهت گندزادیی محسوب می‌شوند و در صورت ته نشینی در مجاری انتقال باعث بروز مشکلات خوردگی و... می‌شوند. علاوه بر این در پروژه‌های تغذیه مصنوعی بالا بودن کدورت موجب گرفتگی منافذ خاک می‌شود. در مجموع مشکلات ناشی از وجود مواد معلق در پساب بیشتر فنی است. در هر حال استانداردها استفاده از پساب با کدورت پایین را توصیه می‌کنند.

۵- املاح

املاح که در کشاورزی با شاخص EC و یا TDS سنجیده می‌شود، اثرات مختلفی بر گیاهان باقی می‌گذارد. با توجه به اینکه هنگامی که آب به فاضلاب تبدیل می‌شود بر میزان املاح آن ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلیگرم بر لیتر اضافه می‌شود، هنگام استفاده دوباره از پساب در کشاورزی بایستی به این نکته توجه داشت. بطور کلی شوری می‌تواند باعث شور شدن خاک، سفت و سخت شدن بافت آن و کاهش بازده محصول در گیاه شود. گزارش شده که در بعضی مناطق اگر بیش از ۵۰ درصد آب مصرفی در کشاورزی از پساب فاضلاب تأمین شود، تراکم نمک در خاک موجب پیامدهای ناگواری خواهد شد. بنابر این در هر منطقه و برای هر نوع خاک و محصول معین بایستی مناسبت پساب برای آبیاری مورد ارزیابی قرار گیرد.

۶- مواد مغذی

مواد مغذی در اصل به ازت و فسفر اطلاق می‌گردد که جزو عناصر ضروری جهت رشد گیاهان می‌باشند و تخلیه آنها به آبهای سطحی باعث بروز پدیده اتروفیکاسیون ناشی از رشد بیش از حد جلبکها می‌شود. علاوه بر این ازت موجود در پساب در حالیکه در طی دورهٔ رشد گیاه برای آن ضروری و مفید است زیادی آن باعث رشد علفی گیاه، خوابیدگی آن و تأخیر در رسیدن محصول و حتی کاهش محصول می‌شود. علاوه بر این نیترات اضافی از لایه‌های خاک عبور کرده و وارد آبهای زیرزمینی می‌شود که باعث آلودگی سفره‌های شرب می‌گردد. البته مواد مغذی دیگری مثل ید و کلرید وجود دارند که مقادیر زیادی آن باعث کاهش بازده محصول می‌شود و پساب بکار رفته در کشاورزی بایستی از این نظر متناسب با استانداردهای آب آبیاری باشد.

ملاحظات فنی کاربرد پساب در آبیاری

به طور معمول در سیستمهای مختلف آبیاری آب تازهٔ برداشت شده از منابع مختلف سطحی و زیرزمینی در جهت حصول به اهداف آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.دراین موارد نکات فنی و تکنیکی در ارتباط با کیفیت آب مورد استفاده وجود دارد. وقتی قرار است پساب بجای آب خام در آن بکار رود، این ملاحظات بیشتر بایستی مورد توجه قرار بگیرند.

الف – کلیات

از دیرباز بشر به نقش اساسی آبیاری در افزایش تولید محصول پی برده است. در مناطق خشک و نیمه خشک که بارندگی‌ها بطور پراکنده و به مقدار کم روی می‌دهد، آبیاری جنبه‌ای حیاتی برای فعالیتهای کشاورزی دارد، به همین دلیل روشهای مختلفی برای این کار توسعه پیدا کرده است.

امروزه آبیاری را بصورت زیر تعریف می‌کنند:

آبیاری عبارتست از تلاش انسان جهت تغییر موضعی چرخهٔ هیدرولوژی به منظور تولید محصولات کشاورزی.

ب – نحوه استفاده از پساب در آبیاری

سالهای متمادی است که از پساب برای آبیاری محصولات مختلف استفاده می‌شود و این تجربه در مناطق خشک و نیمه خشک بطور روز افزونی مورد استقبال قرار گرفته است. اما شرط استفاده موفقیت‌آمیز از پساب در آبیاری در نظر گرفتن تأثیرات کیفی آن بر سیستمهای آبیاری، خاک و محصولات کشاورزی می‌باشد.

بطور معمول هنگام طراحی سیستمهای آبیاری بایستی اطلاعات کافی در مورد خاک، گیاه آب و اقلیم جمع آوری شود و مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرد که مهمترین اطلاعات مورد نیاز برای طراحی سیستمهای آبیاری به شرح زیر است:

ج – اطلاعات مورد نیاز برای طراحی سیستمهای آبیاری

- خاک: ظرفیت نگهداری – ضریب نفوذپذیری – هدایت هیدرولیکی – بافت – ساختمان – پستی و بلندی – نوع لایه بندی – تغییر خصوصیات فیزیکی در اثر آبیاری.
- گیاه: فنولوژی – طول دورهٔ رویش – مقدار واحد حرارتی جهت کامل شدن دوره رشد – تعداد روزهای دوره تا جوانه زنی – زمان گل دهی – زمان رسیدن محصول – عمق موثر ریشه – حداکثرتوان‌تولیدمحصول – تبخیروتعرق‌وتغییرات‌آن‌درطول دورهٔ رویش.
- هواشناسی:میزان تابش خورشید – درجه حرارت هوا – رطوبت نسبی – سرعت و جهت باد – بارندگی موثر – حداکثر مطلق دما – تعداد روزهای یخبندان – سرعت باد.
- آب: مقدار – تغییرات میزان آب در روزها و ماههای سال – کیفیت آب.
- سیستم آبیاری:هزینه سرمایه گذاری اولیه – هزینه‌راهبری – هزینه نگهداری سالانه میزان کاربری – قابلیت پذیرش عمومی

وقتی از پساب بجای آب خام استفاده می‌شود کیفیت آب و واکنش آن با خاک، اهمیت بیشتری می‌یابد و بایستی اثرات دراز مدت آن بر سیستم آبیاری، شوری خاک، بازده محصول و کیفیت آن مورد توجه قرار بگیرد. در مجموع هنگام تصمیم‌گیری درمورد کاربردپساب‌بایستی‌اثرات‌متقابل‌ویژگیهای‌آب – خاک و محیط زیست شناخته شده باشد.

د- ویژگیهای پساب مورد استفاده و اثرات آن

- عوامل فیزیکی: شامل مواد معلق، رنگ، درجه حرارت و بو می‌باشد. مواد معلق ممکنست باعث بستن منافذ خاک و کاهش نفوذپذیری شود. مواد آلی ممکنست در تهویه خاک اختلال ایجاد کنند. رنگ و درجه حرارت پساب تأثیری در کاربرد آبیاری ندارد.
وجود بو نشانهٔ تجزیهٔ بی هوازی است و بیانگر نقصان در تصفیه ثانویه است.
- عوامل شیمیایی:بیشتر مربوط به املاح و عناصر کمیاب می‌باشد. بخصوص مس، روی، کادمیوم و بُر دارای اهمیت بیشتری می‌باشند.
- عوامل بیولوژیکی:از نظر حفظ سلامت مردم و پیشگیری از انتقال عفونتهای میکروبی‌حائز اهمیت می‌باشد. و بیشتر مربوط به وجود باکتریها و انگلها و ویروسهای بیماریزا می‌باشد.

هـ - مشکلات شیمیایی ناشی از استفاده پساب

مهمترین مشکلات ناشی از کیفیت شیمیایی آب و پساب عبارتنداز:
- شوری: هنگامی که میزان کل املاح موجود در آب خیلی بالا باشد و منجر به تجمع نمک در ناحیه ریشه گردیده و در نهایت بر تولید محصول اثر گذاشته و پدیدهٔ شوری اتفاق می‌افتد. در مناطقی که منشاء تولید فاضلاب، آب دارای املاح بالا است، بایستی این جنبه به دقت مورد نظر قرار گیرد.
-کاهش نفوذپذیری: ترکیب شیمیایی بعضی از آبها موجب کاهش قابلیت نفوذ آب در خلل و فرج خاک شده و آب در دسترس گیاه را کاهش می‌دهد در نتیجه بازده محصول کاهش می‌یابد. برای بررسی اثر کیفیت آب بر نفوذپذیری بایستی سه عامل شیمیایی زیر را در آب بطور همزمان مورد تحلیل و بررسی قرار داد.

SAR نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم

TH میزان کربنات و بی کربنات

TDS کل املاح محلول

- سمیّت: هنگامی که جذب بعضی از یونها بیش از حد تحمل گیاه صورت بگیرد و باعث کاهش بازده محصول گیاه شود، سمیت اتفاق افتاده است. املاح محلول عمده‌ای که غلظت بالای آنها سمّی است شامل کلرید، بر و سدیم می‌باشند.
- اثرات ازت: ازت نیتراتی و آمونیاکی هر دو توسط گیاه جذب شده و در رشد آن موثرند. غلظت ازت موجود در آب آبیاری بین صفر تا ۱۰۰ میلیگرم در لیتر بر حسب N متفاوت است. هرگاه میزان ازت در آب بیش از ۵ میلیگرم بر لیتر باشد، احتمالاً بر گیاهان حساس اثر می‌گذارد. برای مثال اگر چغندر قند ازت زیادتری دریافت کند، ابعاد و حجم چغندر زیاد زیاد ولی درجهٔ خلوص و میزان شکر تولیدی در هکتار احتمالاً کمتر می‌شود.
هنگامی که ازت موجود در آب بیش از ۳۰ میلیگرم بر لیتر باشد، گیاهان حساس دچار اثرات و خیمی خواهند شد. ولی گیاهان مقاوم می‌توانند با این غلظت ازت، بدون نیاز به کود اضافی، رشد کنند.
وجود مقادیر کمتر از ۵ میلیگرم بر لیتر ازت شاید بر گیاهان اثر نگذارد، اما باعث تولید شدید جلبک و گیاهان آبزی می‌شود که باعث گرفتگی مجاری انتقال آب می‌شوند.
- متفرقه

۱) رشد بیش از حد گیاه، خوابیدگی گیاه و تأخیر در رسیدن میوه ناشی از وجود ازت زیادی در آب
۲) ظاهر شدن لکه‌های سفید روی برگ و میوه ناشی از آبیاری بارانی با آب سخت
۳) علایم مشکوک و غیر معمول ناشی از pH نامطلوب.

● ● ● مهمترین ملاحظات بهداشتی کاربرد پساب:

ابعادبهداشتی‌مهم‌مربوط‌به‌روشهای آبیاری باپساب،بیشتراز سه جنبهٔ زیر مورد توجه قرار می‌گیرد.

۱) باکتریها و دیگر عوامل بیماریزا

۲) کیفیت آب زیرزمینی

۳) کیفیت محصولات کشاورزی

۱) باکتریها و دیگر عوامل بیماریزا

در حالت عادی، استفاده از پساب با کیفیت استاندارد (حداکثر ۱۰۰۰ کلی فرم در ۱۰۰ میلی لیتر) می‌تواند براحتی برای آبیاری انواع محصولات بکار رود بدون آنکه اثرات نامطلوب بهداشتی بدنبال داشته باشد. فقط در مورد آبیاری به روش بارانی بایستی بخاطر داشت که احتمال پراکنده شدن عوامل بیماریزا توسط ذرات ریز آب وجود دارد. فواره هایی که در آبیاری بارانی بکار می‌روند قسمتی از آب را بصورت آئروسلهایی در می‌آورند که بین ۰/۰۱ تا ۵۰ میکرون قطر داشته و می‌توانند همراه با باکتری و ویروس تا مسافت زیادی حمل شود. البته فقط ۳٪ آب آبیاری بصورت آئروسل در می‌آید و حداکثر فاصله حرکت آئروسل‌ها ۳۰ تا ۲۰۰ متر می‌باشد. بنابر این بایستی مناطق حدواسط بین زمینهای کشاورزی و منطقه مسکونی ایجاد شود.

۲) کیفیت آب زیرزمینی

هر جا که پساب به مصرف آبیاری ، احتمال ورود آلاینده‌ها به سفرهٔ آب و مصرف آب آلوده شده جهت شرب، وجود دارد. بنابر این بایستی این سیستمها طوری طراحی شوند که موجب تخریب کیفیت آب پذیرنده نشوند. بخصوص در مورد نیترات که بخاطر بیماری مت هموگلوبینا در کودکان، غلظت نیترات در آب شرب بشدت محدود شده است.

گرچه فلزات سنگین بندرت می‌توانند وارد آب زیرزمینی شوند اما برخی فلزات مثل جیوه ملاحظات خاصی را می‌طلبند. با این حال در مناطقی که مدتها از پساب جهت کشاورزی استفاده شده هیچ افزایشی درغلظت فلزات درآب زیرزمینی مشاهده نشده است.

در مورد تخریب کیفیت میکروبی آب زیرزمینی فقط در مناطق دارای گسیختگی‌های صخره‌ای یا آهکی بایستی تدابیر احتیاطی بطور جدی اتخاذ شود.

۳) کیفیت محصولات کشاورزی

اغلب گیاهان به راحتی فلزات سنگین را جذب می‌کنند. کروم و کادمیوم می‌توانند در گیاه به شدت تجمع پیدا کند و برای انسان و حیوان خطرناک است. با این حال تجربیات نشان می‌دهد که ورود فلزات سنگین از طریق گیاهان به بدن انسان، بعید است. برای مثال در ملبورن استرالیا پس از ۷۶ سال کاربرد پساب در کشاورزی هیچ افزایش معنی داری در غلظت‌کادمیوم‌جذب‌شدهٔ‌گیاهان‌تحت‌آبیاری‌باپساب‌نسبت به گیاهان شاهد، مشاهده نشد.فلزات دیگر مثل سرب، یا اصلاً جذب گیاه نمی‌شوند و یا مثل نیکل، روی و مس، حد سمی آنها برای گیاه بسیار پایین‌تر از حد سمی آنها برای انسان است و بنابر این قبل از آنکه گیاه به مصرف انسان برسد، دچار مرگ زودرس شده و از بین می‌رود.

استانداردهای جهانی

گرچه از قرن ۱۹ استفاده از فاضلاب در کشاورزی رواج داشته است ولی تا اوایل قرن بیستم این کار تابع هیچ مقرراتی نبوده است از آن زمان بعلت درک خواص بیماریزایی فاضلاب استفاده از آن در کشاورزی تحت دستورالعملهای محدود کننده قرار گرفت تا از این طریق سلامت مردم تضمین شود. اولین استاندارد تصفیه و استفاده مجدد در ایالت کالیفرنیا در سال ۱۹۱۸ وضع شد و طبق آن استفاده از پساب اولیه جهت آبیاری کشاورزی مجاز شمرده شد. بعداً سازمان بهداشت جهانی پس از سالها مطالعه و تحقیق گزارش ۵۱۷ خود را تحت عنوان *(Reuse of effluent:Methods of wastewater treatment and health safeguard)* منتشر کرد و برای مصارف مختلف پساب حداقل تصفیه لازم را تعیین نمود.کاربرد این راهنما در مطالعات و تجربیات مختلف در اقصی نقاط جهان منجر به بروز تغییراتی در گزارش ۵۱۷ شد که در سال ۱۹۸۹ استانداردهای بازبینی شدهٔ *WHO* تحت عنوان *(Health guidline for the use of waste water in agriculturet and aquaculture)* مشهور به گزارش ۷۷۸، منتشر شد. در جدول (۲-۱۴) اصلاحات عمدهٔ گزارش ۷۷۸ آورده شده است. در ایالات متحده آمریکا نیز که از دیرباز استفادهٔ دوباره از پساب رواج داشته است و سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا *(USEPA)* نیز بعنوان یک سازمان مطرح در اقدامات بهداشتی و زیست محیطی، مرجع و راهنمای بسیاری از فعالیتهای بهداشتی و زیست محیطی در اقصای نقاط دنیا میباشد، آخرین راهنمای *EPA* در سال ۱۹۹۶ تحت عنوان *(Guidline for water reuse)* با مشخصات *(EPA 1625K)* بعنوان استاندارد ملی آمریکا، منتشر شد. در جدول (۲-۱۵) خطوط راهنمای *EPA* در سال ۱۹۹۶ جهت مصارف مجدد آب، آورده شده است.

از طرف دیگر ایالتهای کالیفرنیا، فلوریدا و آریزونا بعلت مواجهه شدید با کمبود آب مدتها است که از پساب استفاده مینمایند و به همین دلیل دارای مقررات خاص ایالتی میباشند برای مثال ایالت کالیفرنیا در سال ۱۹۷۸ در مجموعهٔ دستورالعملهای حفاظت از منابع آب خود، «معیارهای بازیافت آب»را مشهور به «عنوان ۲۲» منتشر کرد که در سال ۱۹۹۴ مورد بازبینی قرار گرفت.

بطور کلی در کشورهای مختلف جهان مهمترین مرجع و راهنما جهت طراحی پروژههای استفادهٔ مجدد از پساب راهنمای *WHO* میباشد و برخی کشورهای صنعتی و پیشرفته نیز یا مستقیماً راهنمای *EPA* را استفاده میکنند و یا استانداردهای ملی برای کاربرد پساب وضع کردهاند.

در ایران نیز سازمان حفاظت محیط زیست در سال ۱۳۷۳ مجموعهٔ استانداردهای خروجی فاضلابها را بر اساس سه محیط تخلیه (آبهای سطحی - کشاورزی - آبهای زیرزمینی) منتشر کرده است که بایستی در طرحهای تصفیه و استفادهٔ مجدد از فاضلابها مورداستفاده قرار گیرد.

مراحل مختلف تصفیه پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی جهت استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی، مصارف تفریحی، صنعتی و استفاده‌های شهری «طبق گزارش شماره ۵۱۷ سازمان بهداشت جهانی»

شرح	مصارف آبیاری و کشاورزی			موارد تفریحی		مصارف صنعتی	مصارف شهری	
	محصولاتی که بطور مستقیم مورد استفاده انسان نیست	محصولاتی که بطور پخته مصرف می‌شود	محصولاتیکه خام مصرف می‌شوند	بدون تماس انسان	با تماس انسان	-	مصارف غیرشرب	مصارف شرب
استاندارد بهداشتی	*A,F*	*F,D* یا *F ,B*	*D,F*	*B*	*D,G*	*C* یا *D*	*C*	*E*
تصفیه مقدماتی	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
تصفیه ثانوی		xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
صافی شنی		x	x		xxx	x	xxx	xxx
نیتریفیکاسیون						x		xxx
دی نیتریفیکاسیون								xx
تصفیه شیمیائی						x		xxx
حذف کربن فعال								xx
مبادلهٔ یونی						x		xxx
ضد عفونی		x	xxx	x	xxx	x	xxx	xxx

تعریف علائمی در جدول بکار رفته است.

A- عاری از مواد جامد و تخم انگلها و پارازیت‌ها.

B- مانند *A* باضافه اینکه آب باید عاری از باکتری باشد.

C- مانند *A* باضافه اینکه آب باید عاری از باکتری و ویروس باشد.

D - آب نباید بیش از ۱۰۰ کلی فرم *(Coliform)* در ۱۰۰ میلی لیتر در ۸۰ درصد نمونه‌های گرفته شده داشته باشد.

E - عاری از انواع کلی فرم *(Coliform)* در ۱۰۰ میلی‌لیتر، عاری از ویروس و مواد سمی برای انسان.

F - عاری از مواد شیمیائی که جهت محصولات کشاورزی و یا ماهی‌ها مهمتر باشد.

G - عاری از مواد شیمیائی که موجب تحریک نسوخ و پوست انسان می‌شود.

بمنظور استفاده از جدول علامت‌های زیر بکار برده شده است.

xxx - وجود این مرحله از تصفیه بسیار ضروری است.

xx - این مرحله از تصفیه ضروری است.

x وجود این مرحله ممکن است لازم باشد.

خط راهنمای *WHO* برای مصارف مجدد فاضلاب در کشاورزی ۱۹۸۹ [a]

نوع مصرف	افراد در معرض	حداکثر تخم انگل [b]	کلی فرم مرفوعی [C]	حداقل تصفیه
آبیـــاری محصولاتیکه خام مصرف می‌شوند پارکها و زمینهای بازی	کشاورزان مصرف کنندگان	۱ > (C)	۱۰۰۰ > (d)	یک سری برکه‌های تثبیت یا معادل آن
آبیاری محصولات علوفه‌ای، صنعتی و درختان میوه [C]	کشاورزان	۱	-	یک سری برکهٔ تثبیت با حداقل ۸-۱۰ روزماند
آبیاری درمناطقی که تماس با انسان اتفاق نمی‌افتد	هیچکس	-	-	پیش تصفیه بسته به نوع آبیاری

(a) - با توجه به شرایط اقتصادی - اجتماعی فرهنگی و اپیدمیولوژی تعیین می‌شود.

(b)- شامل اسکاریس - تریکوریس - کرم قلابدار

(c) - در طی دورهٔ آبیاری

(d) - برای برکه‌های تفریحی استاندارد مشکلتر مطمئن‌تر است *(MPN<200)*

(e) - در هر صورتی بایستی ۲ هفته قبل از برداشت، آبیاری با پساب قطع شود.

راهنمای *EPA* جهت مصارف مجدد آب *(1992)*

نوع مصرف	حداقل تصفیه لازم	کیفیت آب بازیافتی
مصارف شهری، آبیاری محصولاتی که خام مصرف می‌شود. برکه‌های تفریحی	ثانویه، صاف کردن گندزدایی	$PH=۶-۹$ $BOD<10$ *(a)* کدورت < ۲ واحد نفلومتری *(b)* بدون کلی فرم مرفوعی *(c)* کلر باقی مانده > ۱ میلیگرم در لیتر
آبیاری محصولات غذایی فراوری شده، برکه‌های حیات وحش مصالح ساختمانی، آب خنک کننده صنعتی و مصارف زیست محیطی	ثانویه و گندزدایی	$BOD<30$ $PH=۶-۹$ $SS<30$ کلی فرم مدفوعی < ۲۰۰ کلر باقی مانده > ۱ میلیگرم در لیتر
تغذیه مصنوعی سفره‌های غیر شرب از طریق پخش	بسته به نوع محل و مصرف حداقل تصفیه اولیه	بسته به نوع محل و مصرف
تغذیه مصنوعی سفره‌های غیر شرب از طریق تزریق	بسته به نوع محل و مصرف حداقل تصفیه ثانویه	بسته به نوع محل و مصرف
تغذیه مصنوعی سفره‌های شرب از طریق پخش	بسته به نوع محل و مصرف حداقل تصفیه ثانویه و گندزدایی	در هر محل بایستی در حد استانداردهای آب شرب باشد
تغذیه مصنوعی سفره‌های شرب از طریق تزریق تقویت منابع سطحی آب شرب	ثانویه، صاف سازی گندزدایی، تصفیه پیشرفته	$PH=۶/۵-۸/۵$ کدورت < ۲ واحد نفلومتری *(a)* بدون کلی فرم مرفوعی *(b)* در حد استانداردهای محل آب شرب *(c)* کلر باقی مانده > ۱ میلیگرم در لیتر

(a) متوسط ۲۴ ساعته این متغیر نباید هیچگاه از ۵ واحد بگذرد و بایستی قبل از گندزدایی اندازه‌گیری شود.

(b) بر اساس متوسط هفت روزه هیچگاه نباید از ۱۴ بیشتر شود.

(c) حداقل زمان تماس آب و کلر، ۳۰ دقیقه است.

(d) برجهای خنک کننده مدار بسته.

(e) بر اساس متوسط هفت روزه هیچگاه نباید از ۸۰۰ بگذرد.

*«در مصارف محدود نشدهٔ آب بازیافتی آزمایش دوره‌ای ویروسهای روده‌ای، ژیاردیا و کریپتوسپریدیوم در طی ۲ سال اول بهره برداری، ضروری است»

حداکثر مجاز غلظت آلایندهای مهم در خاکهای آبیاری شده با فاضلاب و پساب

نوع ترکیب	حداکثر غلظت مجاز در خاک (mg/kg DW)	نوع ترکیب	حداکثر غلظت مجاز در خاک (mg/kg DW)
الف) عناصر معدنی			
۱) ارسنیک As	۹	۷) دی کلروفنل	ND
۲) باریوم Ba	۲۹۰۰	۸) 2,4-D	۱۰
۳) بریلیوم Be	۲۰	۱۰) دی الدرین	۰/۰۳
۴) کادمیوم Cd	۷	۱۱) هپتاکلر	۱
۸) کروم Cr	۳۲۰۰	۱۳) هگزاکلرواتان	۲
۹) فلوئور f	۲۶۰۰	۱۴) پیرن	۴۸۰
۱۰) سرب Pb	۱۵۰	۱۵) لیندان	۰/۶
۱۱) جیوه Hg	۵	۱۶) متوکسی کلر	۲۰
۱۲) نیکل Ni	۸۵۰	۱۷) پنتاکلروفنل	۳۲۰
۱۳) سلنیوم Se	۱۴۰	۱۸) PCB	۴
۱۴) نقره Ag	۳	۱۹) تتراکلرواتان	۴
ب) عناصر آلی		۲۰) تتراکلرواتلین	۲۵۰
۱) آلدرین	۰/۲	۲۱) تولوئن	۵۰
۲) بنزن	۰/۰۳	۲۲) توگزافن	۹
۳) بنزوآلفاپیرن	۳	۲۳) 2 و 4 و 5-T	ND
۵) کلروبنزن	ND	۲۴) 2,3,8 TCDD	
۶) کلروفرم	۲		

ND محدودیت وضع نشده است.

خلاصهٔ معیارهای ایالت فلوریدا و کالیفرنیای آمریکا برای بازیافت و استفادهٔ مجدد آب *(a)* (۱۹۹۴)

نوع مصرف	محدودیت کلی فرم *MPN*	حداقل تصفیه لازم
آبیاری علوفه، گیاهان لیف‌دار و گیاهان بذری، باغهای گل و تاکستانها *(c)* و محصولات غذایی که فراوری می‌شوند. شستشوی فاضلابروها	نیازی ندارد	تصفیه ثانویه
آبیاری علوفه جهت دامهای شیرده، فضاهای سبز *(d)* مراتع محافظت شده گله‌های پرورشی، برکه‌های مصنوعی، آب خنک کننده صنعتی و تجاری بدون تولید میست، آتش نشانی غیر ساختمانی، آب تغذیه دیگ بخار صنعتی، تراکم خاک، کنترل ذرات شستشوی جاده‌ها، خیابانها و پیاده روها	۲۳	تصفیه ثانویه و گندزدایی
آبیاری سطحی محصولات خوراکی، برکه‌های مصنوعی با دسترسی محدود	۲/۲	تصفیه ثانویه و گندزدایی
آبیاری محصولات خوراکی *(e)* و فضای سبز *(f)*، برکه‌های تفریحی بدون محدودیت دسترسی، فلاش تانک، آب فرایند در صنعت فواره‌های تزیینی، خشکشویی‌ها، تولید برف، آتش نشانی ساختمانها، برجهای خنک کننده صنعتی یا تجاری با تولید میست	۲/۲	تصفیه ثانویه، انعقاد ته نشینی صاف کردن، گندزدایی

(a) شامل آخرین تغییرات تا سال *(1996)*

(b) بر اساس متوسط هفت روزه

(c) در صورتیکه هیچ تماسی بین آب بازیافتی و قسمت خوراکی گیاه اتفاق نیافتد

(d) باغچه‌ها، فضای سبز بلوارها، زمینهای گلف و دیگر مناطق آبیاری با دسترسی محدود

(e) تماس آب بازیافتی با قسمت خوراکی گیاه مجاز است

(f) پارکهای عمومی، زمین‌های بازی، حیاط مدارس، فضای سبز خانگی و زمینهای گلف با دسترسی نامحدود

(g) فقط در مورد برکه‌های تفریحی محدود نشده و برجهای خنک کنندهٔ مولد بخار و میست لازم است مگر آنکه کدورت قبل از صاف کردن بالاتر از *NTU* ۵ باشد.

(h) کدورت پساب صاف شده نباید بطور متوسط در طی یک دوره ۲۴ ساعته بیش از *NTU* ۲ باشد.

معیارهای ایالت کالیفرنیای آمریکا جهت آبیاری با پساب (۱۹۹۴)

نوع استفاده	حداقل تصفیه مورد نیاز			حداکثر مجاز کلیفرم MPN/100ml (متوسط روزانه)
	اولیه (a)	ثانویه و گندزدایی	ثانویه - گندزدایی انعقاد ته‌نشینی و صاف کردن (b)	
محصولات علوفه‌ای (دام و طیور)	×			–
گیاهان صنعتی	×			–
بذرها	×			–
محصولاتی که خام خورده می‌شوند:				
(۱) آبیاری سطحی		×		۲/۲
(۲) آبیاری بارانی			×	۲/۲
محصولاتی که پخته خورده می‌شوند:				
(۱) آبیاری سطحی	×			–
(۲) آبیاری بارانی	×		۲۳	
فضاهای سبز عمومی		×		۲۳
پارکهای بچه‌ها - زمین‌های بازی و				
باغهای مدارس			×	۲/۲

a) پساب نباید بیش از ۰/۵ میلی‌لیتر برلیتر مواد قابل ته نشینی داشته باشد

b) پساب نباید بیش از ۲ واحد کدورت داشته باشد.

استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۳۷۳)

مقدمه و تعاریف

این استاندارد باستناد ماده ۵ آئین نامه جلوگیری از آلودگی آب و با توجه به ماده سه همین آئین نامه و با همکاری وزارتخانه‌های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، نیرو، صنایع، صنایع سنگین، معادن و فلزات، کشور و کشاورزی توسط سازمان حفاظت محیط زیست تهیه و تدوین گردیده است.در متن استاندارد تعاریف و اصلاحاتی بکار رفته است بشرح ذیل می‌باشند:

آب سطحی

عبارت‌است‌ازآبهای‌جاری‌فصلی یا دائمی، دریاچه‌های طبیعی یا مصنوعی و تالابها.

چاه جاذب

عبارت است از حفره یاگودالی که قابلیت جذب داشته و کف آن تا بالاترین سطح ایستابی حداقل ۳ متر فاصله داشته باشد.

ترانشه جذبی

عبارت است از مجموعه‌ای از کانالهای افقی که فاضلاب بمنظور جذب در زمین به آنها تخلیه شده و فاصله کف آنها از بالاترین سطح ایستابی حداقل ۳ متر باشد.

کنار گذر

کانالی است که فاضلاب را بدون عبور از بخشی از تصفیه خانه یا کل آن به بخش دیگر و یاکانال خروجی هدایت کند.

نمونه مرکب

عبارت است از تهیه یک نمونه ۲۴ ساعته از نمونه‌هائی که با فواصل زمانی حداکثر ۴ساعت تهیه شده‌اند.

ملاحظات کلی

۱- تخلیه فاضلابها، باید بر اساس استانداردهائی باشد که بصورت حداکثر غلظت آلوده کننده‌ها بیان می‌شود و رعایت این استانداردها تحت نظارت سازمان حفاظت محیط زیست ضروری است.

۲- مسئولین منابع آلوده کننده باید فاضلابهای تولیدی را با بررسی‌های مهندسی و استفاده از تکنولوژی مناسب و اقتصادی تا حد استانداردها تصفیه نماید.

۳- اندازه‌گیری غلظت مواد آلوده کننده و مقدار جریان در فاضلابها باید بلافاصله پس از آخرین واحد تصفیه‌ای تصفیه خانه و قبل از ورود به محیط انجام گیرد.

۴- اندازه‌گیری جهت تطبیق با استانداردهای اعلام شده قبل از تاسیسات تصفیه فاضلاب باید بر مبنای نمونه مرکب صورت گیرد در سیستم هائی که تخلیه ناپیوسته دارند اندازه‌گیری در طول زمان تخلیه ملاک خواهد بود.

۵- لجن و یا سایر مواد جامد تولید شده در تاسیسات تصفیه فاضلاب قبل از دفع بایستی بصورت مناسب تصفیه شده و تخلیه نهائی این مواد نباید موجب آلودگی محیط زیست گردد.

۶- فاضلاب تصفیه شده باید با شرایط یکنواخت و بنحوی وارد آبهای پذیرفته گردد که حداکثر اختلاط صورت گیرد.

۷- فاضلاب خروجی نبایستی دارای بوی نامطبوع بوده و حاوی کف و اجسام شناور باشد.

۸- رنگ کدورت فاضلاب خروجی نباید ظواهر طبیعی آبهای پذیرنده و محل تخلیه را بطور محسوس تغییر دهد.

۹- روشهای سنجش پارامترهای آلوده کننده بر مبنای روشهای ذکر شده در کتاب: *Standard methods for the examination of water and waste water* خواهدبود.

۱۰- استفاده از سیستم سپتیک تانک و ایمهوف تانک یا بکارگیری چاهها و یا ترانشه‌های جذبی در مناطقی که فاصله کف چاه یا ترانشه از سطح آبهای زیرزمینی کمتر از ۳ متر می‌باشد ممنوع است.

۱۱- ضمن رعایت استانداردهای مربوطه خروجی فاضلابها نباید کیفیت آب را برای استفاده‌های منظور شده تغییر دهد.

۱۲- رقیق کردن فاضلاب تصفیه شده یا خام بمنظور رسانیدن غلظت مواد آلوده کننده تا حد استانداردهای اعلام شده قابل قبول نمی‌باشد.

۱۳- استفاده از روشهای تبخیر فاضلابها با کسب موافقت سازمان محیط زیست مجاز است.

۱۴- استفاده از کنار گذر ممنوع است، کنار گذرهائیکه صرفاً جهت رفع اشکال واحدهای تصفیه‌ای بکار رفته و یا در زمان جمع آوری توام فاضلاب شهری و اب باران مورد استفاده قرار می‌گیرند مجاز است.

۱۵- تاسیسات تصفیه فاضلاب بایستی بگونه‌ای طراحی، احداث و بهره برداری گردد تا پیش بینی‌های لازم جهت حداقل رسانیدن آلودگی در مواقع اضطراری از قبیل شرایط آب و هوائی نامناسب، قطع برق، نارسائی تجهیزات مکانیکی و... فراهم گردد.

۱۶- آندسته از فاضلابهای صنعتی که آلودگی آنها بیش از این استانداردها نباشد می‌تواند فاضلاب خود را با کسب موافقت سازمان بدون تصفیه دفع نمایند.

استاندارد خروجی فاضلابها

شماره	مواد آلوده کننده		تخلیه به آبهای سطحی mg/l	تخلیه به چاه جاذب mg/l	مصارف کشاورزی و آبیاری mg/l
۱	نقره	Ag	۱	۰/۱	۰/۱
۲	آلومینیم	Al	۵	۵	۵
۳	آرسنیک	As	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۴	بر	B	۲	۱	۱
۵	باریم	Ba	۵	۱	۱
۶	بریلیوم	Be	۰/۱	۱	۰/۵
۷	کلسیم	Ca	۷۵	–	–
۸	کادمیم	Cd	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
۹	کلرآزاد	Cl	۱	۱	۰/۲
۱۰	کلراید	Cl-	۶۰۰(تبصره۱)	۶۰۰(تبصره۲)	۶۰۰
۱۱	فرم‌آلدئید	CH_2o	۱	۱	۱
۱۲	فنل	C_6H_5OH	۱	ناچیز	۱

ادامه استاندارد خروجی فاضلابها

شماره	موادآلوده‌کننده		تخلیه به آبهای سطحی mg/l	تخلیه به چاه جاذب mg/l	مصارف کشاورزی و آبیاری mg/l
۱۳	سیانور	CN	۰/۵	۰/۱	۰/۱
۱۴	کبالت	Co	۱	۱	۰/۰۵
۱۵	کرم	Cr^{6+}	۰/۵	۱	۱
۱۶	کرم	Cr^{3+}	۲	۲	۲
۱۷	مس	Cu	۱	۱	۰/۲
۱۸	فلوراید	F	۲/۵	۲	۲
۱۹	آهن	Fe	۳	۳	۳
۲۰	جیوه	Hg	ناچیز	ناچیز	ناچیز
۲۱	لیتیم	Li	۲/۵	۲/۵	۲/۵
۲۲	منیزیم	Mg	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۳	منگنز	Mn	۱	۱	۱
۲۴	مولیبدن	Mo	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲۵	نیکل	Ni	۲	۲	۲
۲۶	آمونیم بر حسب	NH4	۲/۵	۱	–
۲۷	نیتریت برحسب	No2	۱۰	۱۰	–
۲۸	نیترات بر حسب	No3	۵۰	۱۰	–
۲۹	فسفات‌برحسب‌فسفر	P	۶	۶	–

ادامه استاندارد خروجی فاضلابها

شماره	موادآلودکننده		تخلیه به آبهای سطحی mg/l	تخلیه به چاه جاذب mg/l	مصارف کشاورزی و آبیاری mg/l
۳۰	سرب	Pb	۱	۱	۱
۳۱	سلنیم	Se	۱	۰/۱	۰/۱
۳۲	سولفید	SH_2	۳	۳	۳
۳۳	سولفیت	SO3	۱	۱	۱
۳۴	سولفات	SO4	۴۰۰(تبصره۱)	۴۰۰(تبصره۲)	۵۰۰
۳۵	وانادیم	V	۰/۱	۰/۱	۰/۱
۳۶	روی	Zn	۲	۲	۲
۳۷	چربی و روغن	O&G	۱۰	۱۰	۱۰
۳۸	دترجنت	ABS	۱/۵	۰/۵	۰/۵
۳۹	بی.او.دی(تبصره۳)	BOD5	۳۰(لحظه‌ای ۵۰)	۳۰(لحظه‌ای ۵۰)	۱۰۰
۴۰	سی.او.دی(تبصره۳)	COD	۶۰(لحظه‌ای ۱۰۰)	۶۰(لحظه‌ای ۱۰۰)	۲۰۰
۴۱	اکسیژن محلول(حداقل)	DO	۲	-	۲
۴۲	مجموع مواد جامد محلول	TDS	(تبصره۱)	(تبصره۲)	-
۴۳	مجموع مواد جامد معلق	TSS	۴۰(لحظه‌ای ۶۰)	-	۱۰۰
۴۴	مواد قابل ته‌نشینی	SS	۰	-	-
۴۵	پ - هاش (حدود)	pH	۶/۵-۸/۵	۵-۹	۶-۸/۵
۴۶	مواد رادیواکتیو		۰	۰	۰

ادامه استاندارد خروجی فاضلابها

شماره	موادآلوده‌کننده	تخلیه به آبهای سطحی mg/l	تخلیه به چاه جاذب mg/l	مصارف کشاورزی و آبیاری mg/l
۴۷	کدورت(واحدکدورت)	۵۰	-	۵۰
۴۸	رنگ (واحد رنگ)	۷۵	۷۵	۷۵
۴۹	درجه حرارت T	تبصره۴	-	-
۵۰	کلیفرم‌گوارشی(تعداددر۱۰۰میلی‌لیتر)MPN	۴۰۰	۴۰۰	
۵۱	کل‌کلیفرم(تعداددر۱۰۰میلی‌لیتر) MPN	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۵۲	تخم انگل -	-	-	(تبصره۵)

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

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

تبصره ۳: صنایع موجود مجاز خواهند بود *BOD5* و *COD* را حداقل ۹۰ درصد کاهش دهند.

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

تبصره ۵: تعداد تخم انگل (نماتد) در فاضلاب تصفیه شده شهری در صورت استفاده از آن جهت آبیاری محصولاتیکه بصورت خام مورد مصرف قرار می‌گیرد نباید بیش از یک عدد در لیتر باشد.

موارد مصرف پساب

گروه یک: آبیاری

الف - آبیاری در کشاورزی:

- سبزی‌های خوراکی و محصولاتی که خام مصرف می‌شوند
- غلات و گیاهانی که پس از پخت مصرف می‌شوند
- باغها و درختان میوه
- گیاهان صنعتی (غیر خوراکی) و زینتی

ب - آبیاری فضای سبز و چمن:

- درختان غیر مثمر و چمنها
- باغچه‌ها و باغهای تفریحی و زمینهای بازی

ج - احیاء مراتع و جنگلها:

- آبیاری مراتع و چراگاهها
- تولید علوفه دام
- جنگلداری و تولید محصولات جنگلی

گروه دو: پرورش آبزیان

الف) پرورش ماهی و میگو

ب) گیاهان آبزی جهت خوراک دام و طیور

ج) گیاهان آبزی جهت مصارف صنعتی - دارویی

د) پرورش حیوانات غیر اهلی (تمساح و...)

گروه سه: صنعت

الف) آب خنک کننده ها

ب) آب تغذیه دیگ بخار

ج) آب فرایند

د) آب شستشو

هـ) انتقال و حمل مواد

گروه چهار: مصارف تفریحی

الف) برکه‌ها و دریاچه‌های مصنوعی (چشم اندازهای طبیعی)

ب) قایقرانی و ورزشهای آبی و شنا

ج) ماهیگیری

هـ) تولید برف مصنوعی جهت بازیهای زمستانی

گروه پنج: مصارف شهری غیر شرب

الف) آبیاری فضای سبز شهری و باغچه‌های خانگی

ب) آتش نشانی

ج) خیابان شویی و شستن جوی‌ها و فاضلابروها

د) آب نماها و فواره ها

هـ) هواسازها، تهویه و دیگهای بخار

و) شستشوی اتومبیلها و دیگر مصارف غیر شرب خانگی و اداری مثل فلاش تانک و...

گروه شش: تغذیه مصنوعی غیر شرب

الف) جلوگیری از هجوم آب شور

ب) جلوگیری از نشست زمین

ج) تقویت سفره‌های کشاورزی و صنعتی

گروه هفت: مصارف شرب

الف) تغذیه مصنوعی سفره‌های آب شرب

ب) تخلیه به مخازن سطحی آب شرب

ج) تخلیه پساب تصفیه شده به ورودی تصفیه خانه آب شرب (لوله به لوله)