

دامنه کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی و اهمیت مدیریت صحیح آن در کشور

جلال شایگان*، حسین حضرتی

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۰۴ - تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۲۹)

چکیده

با توسعه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشور و افزایش حجم فاضلاب تصفیه‌شده، ضرورت استفاده بهینه از آن بیشتر احساس می‌شود. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فاضلاب تصفیه‌شده در کشور ما در کشاورزی و آبیاری فضای سبز است. در این پژوهش مزایا و معایب این کاربرد بررسی شده و اهمیت مدیریت صحیح در انتخاب نوع محصول، نوع خاک و نحوه آبیاری تشریح شده است. در ادامه، نتایج آبیاری مزرعه‌ای آزمایشی با فاضلاب تصفیه‌شده و مقایسه آن با آبیاری معمولی ارائه می‌شود. نتایج نشان داد در فصل رشد (ماه‌های معتدل و گرم) مجموعه زمین و گیاه به‌عنوان فیلتری زنده برای حذف مواد معلق، بی‌اودی، نیترژن، فسفر و پتاسیم باقیمانده در فاضلاب تصفیه‌شده عمل کند. در ماه‌های سرد، خاک به‌عنوان محل ذخیره‌ای برای مواد مغذی موجود در فاضلاب عمل می‌کند که با شروع فصل بهار، مواد ذخیره‌شده به گیاه منتقل و موجب رشد بیشتر گیاه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آب کشاورزی، تصفیه فاضلاب، مدیریت صحیح آب، نحوه آبیاری، نوع خاک کشاورزی.

۱. مقدمه و هدف

ایران یکی از کشورهای خشک و کم‌آب دنیا محسوب می‌شود که میزان بارش در آن به‌طور میانگین ۲۵۱ میلی‌متر در سال گزارش شده است. حفظ منابع آب کشور و مدیریت صحیح منابع آب توأم با حفظ شاخص‌های کمی و کیفی آن، مدیریتی چندجانبه است که باید در همه مسائل از جمله مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی به آن توجه شود، اما متأسفانه در کشور ما در این زمینه ضعیف عمل شده است. افزایش جمعیت و ارتقای سطح زندگی در چند دهه گذشته، فشار مضاعفی بر منابع محدود آبی کشور وارد کرده است. با توجه به کمبود آب در کشور، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری زمین‌های کشاورزی، فضای سبز و احیای بیابان، در بیشتر طرح‌های تصفیه فاضلاب کشور، یکی از اهداف اصلی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، بررسی عوامل بهداشتی و انتقال بیماری‌ها و همچنین بررسی عوامل متفرقه از قبیل حفظ منابع طبیعی، تأمین رفاه، حفظ زیبایی و

محافظت از محیط‌زیست و درنهایت حفظ تعادل اکولوژیکی اهمیت خاصی دارد.

در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده، با توجه به نوع استفاده مجدد، نحوه کاربرد و احتمال تماس انسان با آن، کیفیت متفاوتی از فاضلاب تصفیه‌شده پذیرفتنی است. البته هر یک از روش‌های استفاده مجدد محدودیت‌هایی دارند، اما فاضلاب تصفیه‌شده یک منبع آب در دسترس تلقی می‌شود و حتی در سال‌هایی که مشکل کم‌آبی وجود دارد، مقدار فاضلاب تصفیه‌شده از خشکسالی تأثیر کمتری می‌پذیرد. در بسیاری از مناطق کشور، آب برای تقاضاهای بیشتر وجود ندارد؛ بنابراین، باید استفاده آن را محدود کرد یا باید آب را دوباره به چرخه استفاده رجعت داد. همچنین، توجه به این نکته مهم است که استفاده بیشتر از آب به تولید فاضلاب بیشتر منجر می‌شود [۱-۳]. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی مزایا و محاسن متعددی دارد که از جمله می‌توان به استفاده مؤثر از مواد مغذی موجود در

در آب نیز بر نفوذپذیری خاک تأثیر دارند. در زمینه مخاطرات بهداشتی استفاده مجدد از فاضلاب، استانداردهای باکتریولوژی، با توجه به نوع سیستم آبیاری و امکان تماس انسان وضع می‌شود، به طوری که شدیدترین استانداردها مربوط به آبیاری گیاهانی است که به صورت خام مصرف می‌شوند [۶].

۲. پتانسیل‌های موجود در کشور برای برگرداندن مجدد

فاضلاب به چرخه مصرف

۱.۲. سیستم‌های تصفیه فاضلاب شهری و روستایی

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، مسئولیت جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب‌های کشور را بر عهده دارد و مطالعات فراوانی را در این زمینه آغاز کرده است که از جمله می‌توان به ۳۷۵ پروژه مطالعاتی فعال فاضلاب و ۵۶۲ پروژه اجرایی فاضلاب اشاره کرد. همچنین، این شرکت پروژه‌های زیادی را به پایان رسانده است. در جدول ۱، اطلاعات مربوط به تعداد

فاضلاب و همچنین دسترسی به یک منبع قابل اطمینان و دائمی اشاره کرد، اما همواره نگرانی استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری مزارع کشاورزی به دلیل احتمال عوارض جانبی وجود داشته است [۴]. مطلوبیت آب برای آبیاری با توجه به مقدار و میزان املاح موجود در آن تعیین می‌شود. از این‌رو، آبیاری با آب‌هایی که کیفیت مناسبی ندارد، موجب بروز مشکلات گوناگون در خاک و گیاه می‌شود. از جمله مشکلات ناشی از آبیاری با آب‌های نامناسب می‌توان به مشکل شوری، نفوذناپذیری و سمیت اشاره کرد. در شرایط گرم و خشک، مقاومت گیاه کاهش می‌یابد. میزان شوری معمولاً با عمق خاک افزایش می‌یابد و حداکثر شوری در پایین‌ترین بخش ریشه گیاه است [۵]. همچنین، اگر کل مواد محلول آب بیش از حد بالا باشد، به تجمع نمک در ناحیه ریشه گیاه منجر می‌شود و در نهایت بر میزان محصول گیاه تأثیر می‌گذارد. در ضمن، عناصر سدیم، کلسیم، منیزیم و آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات موجود

جدول ۱. اطلاعات مربوط به فاضلاب شهری تا پایان سال ۱۳۹۱ [۷]

ردیف	عنوان	واحد	جمع کل
۱	جمعیت تحت پوشش تأسیسات فاضلاب	نفر	۲۱,۳۶۳,۱۱۷
۲	درصد جمعیت تحت پوشش تأسیسات فاضلاب	درصد	۸۲/۳۸
۳	تعداد شهرهای دارای انشعاب فاضلاب	شهر	۲۶۳
۴	تعداد مشترکان فاضلاب خانگی	فقره	۴,۲۶۹,۷۳۱
۵	تعداد مشترکان فاضلاب غیرخانگی	فقره	۴۱۳,۸۶۹
۶	تعداد کل مشترکان فاضلاب	فقره	۴,۶۸۳,۶۰۰
۷	تعداد واحدهای فاضلاب خانگی	واحد	۶,۳۶۱,۳۶۵
۸	تعداد واحدهای فاضلاب غیرخانگی	واحد	۶۰۹,۹۰۴
۹	تعداد کل واحدهای فاضلاب	واحد	۶,۹۷۱,۲۶۹
۱۰	حجم فاضلاب جمع‌آوری شده	مترمکعب در شبانه‌روز	۲,۷۹۴,۸۸۸
۱۱	طول شبکه جمع‌آوری فاضلاب	کیلومتر	۴۶۱۲۴
۱۲	طول خطوط انتقال فاضلاب	کیلومتر	۲۶۷۸
۱۳	تعداد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در مدار بهره‌برداری	واحد	۱۴۶
۱۴	ظرفیت در دست بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب	هزار مترمکعب در شبانه‌روز	۲۵۹۲
۱۵	ظرفیت اسمی (فعلی) تصفیه‌خانه‌های فاضلاب	هزار مترمکعب در شبانه‌روز	۳۷۰۸
۱۶	تعداد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در دست اجرا	مدول	۹۸
۱۷	ظرفیت اسمی (فعلی) تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در دست اجرا	هزار مترمکعب در شبانه‌روز	۱۶۰۰
۱۸	تعداد آزمایشگاه فاضلاب	واحد	۱۴۳
۱۹	تعداد آزمایشگاه‌های آب و فاضلاب	واحد	۵۷
۲۰	تعداد شهر دارای پروژه مطالعاتی فعال فاضلاب	شهر	۳۳۹
۲۱	تعداد شهر دارای پروژه اجرایی فاضلاب	شهر	۲۹۰
۲۲	تعداد پروژه مطالعاتی فعال فاضلاب	تعداد	۳۷۵
۲۳	تعداد پروژه اجرایی فاضلاب	تعداد	۵۶۲

جدول ۲. اطلاعات مربوط به فاضلاب روستایی تا پایان سال ۱۳۹۱ [۷]

ردیف	نام قلم آماری	واحد	عملکرد سال ۱۳۹۱	وضعیت در پایان سال ۱۳۹۱	پیش‌بینی سال ۱۳۹۲
۱	تعداد روستای دارای پروژه اجرایی فاضلاب	روستا	۴۲		۵۴
۲	تعداد مجتمع دارای پروژه اجرایی فاضلاب	مجتمع	۳		۹
۳	تعداد روستای دارای پروژه مطالعاتی فاضلاب	روستا	۵۲		۸۳
۴	تعداد مجتمع دارای پروژه مطالعاتی فاضلاب	مجتمع	۲		۳
۵	تعداد روستای تحت پوشش فاضلاب	روستا		۶۰	
۶	جمعیت روستای تحت پوشش فاضلاب	نفر		۸۸۵۰۶	
۷	تعداد روستای دارای تأسیسات دفع بهداشتی فاضلاب	روستا		۱۰۰	
۸	درصد جمعیت تحت پوشش فاضلاب	درصد		۴۲/۰٪	
۹	تعداد مشترکان فاضلاب	فقره	۲۳۴۸	۶۵۲۰	۸۳۷۶
۱۰	میزان توسعه خطوط انتقال فاضلاب	کیلومتر	۲۲	۱۴۳	۲۵
۱۱	میزان توسعه شبکه جمع‌آوری فاضلاب	کیلومتر	۸۰	۸۹۸	۵۵
۱۲	حجم فاضلاب - جمع‌آوری شده	مترمکعب در روز	۲۱۰۸		۹۰۵۵
۱۳	حجم فاضلاب - تصفیه‌شده (پساب)	مترمکعب در روز	۱۸۶۲		۸۷۱۵
۱۴	تعداد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب	مدول	۱۴	۲۰	۱۱
۱۵	ظرفیت اسمی (فعلی) تصفیه‌خانه‌های فاضلاب	مترمکعب در روز	۱۰۶۸۴	۳۲۷۱	۴۲۵۲
۱۶	ظرفیت در دست بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب	مترمکعب در روز		۲۷۰۰	۲۵۹۸
۱۷	تعداد آزمایشگاه فاضلاب	واحد	۱	۳	۴
۱۸	تعداد آزمایشگاه آب و فاضلاب	واحد		۹	

۱۶۲ مورد و تعداد مدول‌های در دست ساخت و طراحی به ترتیب ۴۲ و ۶۴ واحد است. شایان ذکر است با توجه به مقادیر آب مورد نیاز و آب تأمین‌شده می‌توان فهمید که شهرک‌های صنعتی معضل کمبود آب دارند؛ بنابراین، تصفیه مناسب و برگرداندن به چرخه مصرف حائز اهمیت است [۸].

۳. اهداف، مزایا و محدودیت‌های استفاده از فاضلاب

تصفیه‌شده در کشاورزی

۱.۳. استفاده فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری

کاهش کیفیت آب و تأمین آب مورد نیاز از جمله نگرانی‌های عمیق جهانی است. این نگرانی هر سال با افزایش تقاضا بیشتر شده است. به همین دلیل، در سراسر جهان به‌کارگیری پساب فاضلاب‌های شهری بسیار مهم است، به‌ویژه برای تأمین آب کشاورزی در کشورهای کم‌آب نقش بیشتری دارد [۹]. فاضلاب کشورهایمانند آلمان (برلین)، انگلستان (لندن)، ایتالیا (میلان) و فرانسه (پاریس) برای مصارف کشاورزی بازیافت می‌شوند [۱۰]. در سال‌های اخیر، پساب در مناطق کم‌آب بسیار باارزش شده است. در پاکستان، ۲۶ درصد سبزیجات از همین طریق آبیاری می‌شود [۱۱]. در غنا

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در حال بهره‌برداری، تعداد تصفیه‌خانه‌های در دست اجرا، میزان فاضلاب تولیدی روزانه در کشور و غیره تا پایان سال ۹۱ آورده شده است. همچنین، این اطلاعات نیز برای روستاهای کشور در جدول ۲ آورده شده است. این جدول‌ها نشان می‌دهد حدود دو میلیون و ششصد هزار مترمکعب فاضلاب شبانه‌روز در کشور تصفیه می‌شود و ۱۴۶ واحد تصفیه‌خانه، این میزان را تصفیه می‌کند.

۲.۲. سیستم‌های تصفیه فاضلاب شهرک‌های صنعتی

یکی دیگر از منابع ایجاد فاضلاب، شهرک‌های صنعتی است که اغلب شامل صنایع کوچک است. شرکت شهرک‌های صنعتی ایران، مسئولیت اداره، برنامه‌ریزی و هدایت شهرک‌های صنعتی را بر عهده دارد. یکی از فعالیت‌های شرکت شهرک‌های صنعتی، جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب تولیدی در شهرک‌های صنعتی کشور است. تعداد شهرک‌ها و نواحی صنعتی مصوب در کشور تا پایان شهریور سال ۱۳۹۲ حدود ۹۲۰ واحد است، آب مورد نیاز و آب تأمین‌شده برای این شهرک‌ها به ترتیب ۲۹۴۶۲ و ۱۲۴۵۷ لیتر بر ثانیه است. تعداد مدول تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در حال بهره‌برداری

مورد استفاده در کشاورزی تدوین شده است. این روش اغلب برای ارزیابی کیفیت آب کشاورزی استفاده می‌شود [۱۸]. سازمان ای پی آ^۱ دستورالعمل‌های سختگیرانه‌ای را برای استفاده پساب در ایالات متحده وضع کرده است. پارامترهایی که در این دستورالعمل برای استفاده مجدد فاضلاب تصفیه‌شده باید مد نظر قرار گیرند، در جدول ۳ آورده می‌شود. برای محصولاتی که باید به‌صورت خام (بدون پخت) خورده شوند، نباید کلی‌فرمی در آب آبیاری وجود داشته باشد. برای آبیاری دیگر محصولات کشاورزی و انواع علوفه میزان کلی‌فرم باید کمتر از ۲۰۰ اف سی^۲ در ۱۰۰ میلی‌لیتر باشد.

در برخی کشورهای در حال توسعه برای استفاده بهتر از فاضلاب تصفیه‌شده از شیوه‌های زیر استفاده می‌کنند [۱۰]:

- آبیاری محصولات تولیدی و زراعتی و تغذیه حیوانات که با فاضلاب تصفیه‌شده انجام می‌گیرد باید دو هفته قبل از برداشت متوقف شود.
- آبیاری به‌صورت پاششی ممنوع است.
- استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری تمام سبزیجات و محصولاتی که به‌صورت خام مصرف می‌شوند، ممنوع است.
- باید از لوله‌های مقاوم برای حمل و نقل پساب استفاده شود، به‌ویژه برای مناطقی که نفوذپذیری خاک آن بیشتر است.
- رقیق کردن فاضلاب تصفیه‌شده با آب شیرین به‌منظور رساندن به استاندارد مورد نظر ممنوع است.
- همچنین، در ایالت فلوریدا برای رسیدن به بازیاقت ۶۵ درصد فاضلاب‌های خانگی اقدامات زیر انجام گرفته است:
- تشویق مراکز مربوطه به اندازه‌گیری دقیق میزان فاضلاب تولیدی
- ترغیب به ذخیره فاضلاب تصفیه‌شده به‌صورت فصلی (ذخیره به‌صورت آبخوان)
- تشویق به استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده به‌عنوان یکی از منابع آب برای مصارف کشاورزی، مصارف صنعتی و...
- تشویق به تأمین آب از منابع مشابه دیگر مانند تصفیه آب‌های سطحی (فاضلاب‌های ناشی از بارندگی)
- تشویق به تغذیه آب‌های زیرزمینی و استفاده مجدد غیرمستقیم به‌عنوان آب قابل شرب
- تشویق به شیوه‌های آبیاری کارآمد

نیز از فاضلاب رقیق‌شده با آب رودخانه‌ها حدود ۱۱۵۰۰ هکتار زمین را آبیاری می‌کنند. در مکزیک نیز ۲۶۰۰۰۰ هکتار زمین با فاضلابی آبیاری می‌شود که تقریباً تصفیه‌نشده محسوب می‌شود [۱۲]. در همه موارد بیان شده است که کشاورزان از فاضلاب رقیق‌شده، تصفیه‌نشده و یا بخشی تصفیه‌شده برای آبیاری مزارع استفاده کرده‌اند.

خطرات بهداشتی بالقوه و آثار زیست‌محیطی ناشی از استفاده پساب یا فاضلاب برای آبیاری قبلاً ثبت شده است [۱۳]. جنبه‌های زیست‌محیطی و بهداشتی از موارد حساس و پیش‌نیازهای مهم‌اند، از این‌رو فاضلاب‌ها نباید به‌جای آب معمولی برای آبیاری استفاده شود، مگر اینکه کاملاً تصفیه شده و به‌صورت ایمن به‌کار گرفته شود [۱۴-۱۵]. اهداف کلی استفاده مجدد از آب برای مصارف کشاورزی این است که یک منبع آب با کیفیت بالا برای رشد فراهم شود و محصولات سالم به‌دست آید [۱۶]. از این‌رو، در کشورهای توسعه‌یافته معمولاً نهادهای عمومی کیفیت پساب را با در نظر گرفتن بهداشت آن و الزامات تصفیه فاضلاب برای رسیدن به این هدف تعیین می‌کنند. در این کشورها، برنامه یکپارچه‌ای برای استفاده مجدد از فاضلاب تنظیم شده است. نهادهای عمومی توسعه‌یافته این برنامه‌ها را طراحی می‌کنند که شامل سیاست‌هایی برای بهبود مدیریت فاضلاب در کشاورزی است و ممکن است قبل از تولید فاضلاب اجرایی شوند؛ بنابراین، اگر این برنامه‌ها اجرا شود، آبیاری به‌صورت مناسب انجام می‌گیرد و محصولات برای فروش و مصرف فرستاده می‌شود. ایالت کالیفرنیا برای ترویج احیای آب و استفاده مجدد آن از جمله پیشگامان است. اولین قانون استفاده مجدد در ۱۹۱۸ وضع شده است [۱۷]. در حال حاضر در ایالات متحده، ۱/۵ درصد آب شهری با استفاده از پساب تأمین می‌شود و ساکنان ایالت کالیفرنیا سالانه ۶۵۶ میلیون مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده شهری را به چرخه مصرف برمی‌گردانند. کشورهای توسعه‌یافته دیگر مانند اسرائیل، با یک برنامه منسجم توانسته‌اند ۳۶ درصد از منابع آب کشاورزی را با فاضلاب تصفیه‌شده تأمین کنند.

۲.۳. کیفیت فاضلاب تصفیه‌شده

کیفیت آب حاصل از فاضلاب تصفیه‌شده به‌طور عمده به موارد زیر بستگی دارد: ۱. کیفیت آب شهری مورد استفاده، ۲. آلودگی‌های اضافه‌شده در زمان استفاده و ۳. میزان تصفیه انجام‌گرفته. روش جامع و کاملی به‌عنوان راهنمای کیفیت آب

1. Environmental Protection Agency (EPA)

2. Fecal Coliform (FC)

- استفاده از پساب‌های بازیافت شده در مراکز دولتی؛ این روش هم در صرفه‌جویی مصرف آب مؤثر است و هم اینکه آموزشی برای عموم مردم است.

- اطمینان‌داشتن از ایمن بودن آب بازیافتی؛ با این راهبرد می‌توان عوامل بیماری‌زا را کنترل کرد.

جدول ۳. استانداردهای مربوط به استفاده مجدد فاضلاب تصفیه شده برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و شهری [۱۸]

نوع استفاده	نحوه تصفیه	کیفیت آب تصفیه شده	نحوه پایش
آبیاری سطحی محصولات غذایی که به صورت خام مصرف می‌شوند	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	BOD = 10 mg/L بدون هیچ کلی فرم 1 mg/L Cl ₂ residual	BOD به صورت هفتگی کلی فرم به صورت روزانه Cl ₂ باقیمانده پیوسته
آبیاری سطحی باغ‌ها و درختان میوه	تصفیه ثانویه گندزدایی	BOD=30 mg/L TSS= 30 mg/L 200 fecal coli/100mL 1 mg/L Cl ₂ residual	BOD هفتگی TSS روزانه کلی فرم روزانه Cl ₂ پیوسته
آبیاری سطحی مراتع (چرای حیوانات شیره) و مزارع	تصفیه ثانویه گندزدایی	BOD = 30 mg/L TSS = 30 mg/L 200 fecal coli/100mL 1 mg/L Cl ₂ residual	BOD به صورت هفتگی TSS به صورت روزانه کلی فرم به صورت روزانه Cl ₂ باقیمانده پیوسته
استفاده شهری همه نوع آبیاری برای طبیعت، پارک‌ها و فضای سبز	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	BOD = 30 mg/L TSS = 30 mg/L 200 fecal coli/100mL 1 mg/L Cl residual	BOD به صورت هفتگی TSS به صورت روزانه کلی فرم به صورت روزانه Cl ₂ باقیمانده پیوسته
استخر و برکه‌های تفریحی مانند مکان‌های قایقرانی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	BOD = 10 mg/L < 2NTU بدون هیچ کلی فرم 1 mg/L cl ₂ residual	BOD به صورت هفتگی NTU پیوسته کلی فرم به صورت روزانه Cl ₂ باقیمانده پیوسته
استفاده صنعتی آب خنک کننده بدون جریان برگشتی	تصفیه ثانویه گندزدایی	BOD = 30 mg/L TSS = 30 mg/L 200 fecal coli/100mL 1 mg/L cl ₂ residual	BOD به صورت هفتگی TSS به صورت روزانه کلی فرم به صورت روزانه Cl ₂ باقیمانده پیوسته
آب خنک کننده با جریان برگشتی	تصفیه ثانویه گندزدایی (کوآگولاسیون شیمیایی و فیلتراسیون ممکن است نیاز باشد)	BOD = 30 mg/L TSS = 30 mg/L 200 fecal coli/100mL 1 mg/L cl ₂ residual	BOD به صورت هفتگی TSS به صورت روزانه کلی فرم به صورت روزانه Cl ₂ باقیمانده پیوسته
استفاده غیرمستقیم به عنوان آشامیدنی تزریق به آب‌های زیرزمینی	تصفیه ثانویه گندزدایی فیلتراسیون تصفیه پیشرفته	< 2 NTU بدون هیچ کلی فرم 1 mg/L cl ₂ residual TOC = 3 mg/L TOX = 0.2 mg/L رسیدن به استاندارد آب شرب	کدورت به صورت پیوسته کلی فرم روزانه Cl ₂ باقیمانده پیوسته استاندارد آب آشامیدنی و بقیه موارد به صورت پیوسته

برای آبیاری استفاده شود، بیشتر است؛ برای مثال، میزان آبیاری ۲۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار در سال و غلظت‌های کلی نیتروژن و فسفر به ترتیب ۱۵ و ۳ میلی‌گرم در لیتر،

۳.۳. بررسی آثار آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر خاک مطالعه در بیشتر کشورها نشان داده است که بازدهی محصولات در صورتی که از فاضلاب تصفیه شده و تصفیه نشده

محیط‌زیست را حل کرد که نگرانی‌های مربوط به ساختار خاک از بین برود. دو نگرانی عمده شوری و سادیسیتته خاک است.

۱.۳.۳. آبیاری با فاضلاب و شوری خاک

مقدار ذرات جامد محلول (تی دی اس)^۱ در فاضلاب تصفیه شده تقریباً ۱۰ درصد بیشتر از آب مصرف‌شده است؛ بنابراین، آبیاری با فاضلاب پتانسیل دارد تا مقادیر زیادی نمک به خاک اضافه کند. تخمین زده شده است که برای ۱۰۰۰ میلی‌متر آب در طول یک سال با شوری ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، ۵ تن در هکتار در سال نمک وارد محیط می‌شود. فرایند تبخیر موجب غلظت زیاد نمک در خاک می‌شود؛ بنابراین، برای گیاهان بسیار مضر است [۲۴]؛ برای مثال، آجالدود و همکاران نشان دادند که آبیاری با فاضلاب میزان محصولات (ذرت و سورگوم) را افزایش می‌دهد تا زمانی که سطح شوری آب به ۲۳۳۰ میلی‌گرم بر لیتر برسد و پس از آن، عملکردش کاهش می‌یابد. از این‌رو، مهم است آبیاری فاضلاب برنامه‌ریزی شود تا با روش لیچینگ از حذف کافی نمک اطمینان حاصل شود [۲۵].

هنگام طراحی نحوه آبیاری، انتخاب خاک مناسب یکی از مهم‌ترین مسائل است. از نظر اسمیت، تجمع نمک در پروفایل خاک ناشی از تغییرات بارندگی فصلی و سالانه است [۲۶]. در صورت مدیریت مناسب آبیاری، نمک نه در ناحیه ریشه گیاه تجمع می‌یابد و نه وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. بعضی از نمک‌ها بین ناحیه ریشه گیاه و آب‌های زیرزمینی ذخیره می‌شود. با در نظر گرفتن ۶ تن در هکتار، برای سطح یک متر مشخص شده است که در زمینه ذخیره نمک در ناحیه بین ریشه گیاه و سطح آب زیرزمینی در ده سال آبیاری با میزان نمک ۵ تن در هکتار در سال، به حدود ۸ متر عمق نیاز است. از این‌رو واضح است که روش مذکور، روشی طولانی‌مدت نیست. نگارنده نتیجه گرفته است که در نهایت نمک شایان توجهی وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. آبیاری بدون زهکشی‌های مناسب غیرعملی است. زهکشی‌ها موجب می‌شود نمک‌ها از ناحیه ریشه گیاه خارج شود.

۲.۳.۳. آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده و سادیسیتته^۲ خاک

معمولاً فاضلاب علاوه بر اینکه که شوری بالایی دارد، غلظت

سالانه ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۶۰ کیلوگرم در هکتار فسفر را تأمین می‌کند [۱۹]. اگر این مواد مغذی برای کشاورزی استفاده نشوند، در آب‌های سطحی انباشته می‌شوند. مطالعات متعددی نشان داده است که فاضلاب تصفیه‌شده و تصفیه‌نشده در بهبود ساختار خاک مؤثر است و بهره‌وری کشاورزی را افزایش می‌دهد [۲۰-۲۲].

از آنجاکه آبیاری بهترین روش برای استفاده مجدد فاضلاب محسوب می‌شود، مدیریت دقیق آن بسیار حائز اهمیت است. آبیاری با فاضلاب بخشی از مدیریت یکپارچه است که شامل انتقال، تصفیه و ذخیره‌سازی فاضلاب می‌شود. تولید فاضلاب به صورت مداوم برای همه سال است، اما تقاضا برای آبیاری متناوب است. این نوع سیستم آبیاری شامل سرمایه‌گذاری‌های عمده در زمین و تجهیزات است. اگر فاضلاب تصفیه نشود، جامدات معلق بیشتری دارد و موجب گرفتگی نازل‌های سیستم توزیع آبیاری می‌شود. موفقیت این نوع سیستم‌های آبیاری علاوه بر زیرساخت‌های مربوط به آن به توانایی خاک برای یکپارچه‌کردن آب، مواد مغذی و ترکیباتی بستگی دارد که ممکن است حضور داشته باشند. بسیاری از جامدات معلق و بسیار مفید در خاک نیز ممکن است تخلخل‌های موجود در خاک را مسدود کند. محدودیت‌های کلیدی برای استفاده مناسب فاضلاب برای آبیاری عبارت‌اند از: ۱. نفوذ نیترات اضافی به آب‌های زیرزمینی، ۲. افزایش شوری و ۳. آثار افزایشی سادیسیتته خاک در مدت آبیاری.

نگرانی این نوع سیستم آبیاری فقط مربوط به نوع خاک نیست، بلکه نگرانی‌های محیط‌زیستی نیز در زمینه استفاده فاضلاب برای آبیاری وجود دارد [۲۳]:

- استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده ممکن است موجب به خطر انداختن سلامت عمومی شود.
- پتانسیل آلودگی شیمیایی (نمک، نیترات، سدیم، فسفر و...) برای آب‌های زیرزمینی و سطحی وجود دارد.
- حضور مواد محلول در فاضلاب تصفیه‌شده و تصفیه نشده ممکن است در سطحی باشد که برای گیاهان سمی باشد، همچنین این مواد در پروفایل خاک ذخیره می‌شوند یا به آب‌های زیرزمینی نفوذ می‌کنند. به‌علاوه، در برخی موارد ویژه مانند خاک با بافت ماسه‌ای عمیق، میزان نفوذ فسفر به آب‌های زیرزمینی یک پارامتر محدودکننده است.

زمانی می‌توان چالش‌های مربوط به زیرساخت‌ها و

1. Total Dissolved Solid (TDS)

2. Sodicity

برای آبیاری یک مزرعه آزمایشی در مجاورت آن به کار گرفته شد. در این مزرعه، به طور عمده چهار نوع کشت (یونجه، سیب زمینی، ذرت و گندم) صورت می گرفت و به منظور مقایسه نتایج در کنار هر کشت آبیاری شده با فاضلاب، دو کشت شاهد نیز حتی الامکان با وضعیت مساوی انجام می گرفت. حاصلخیزی قطعات آزمایشی و کشت های شاهد برای محصولات مختلف در جدول ۴ ارائه می شود. در این جدول، ملاحظه می شود مقدار محصول تولید شده در واحد سطح برای ذرت بیش از کشت های دیگر است. این مسئله نشان می دهد توانایی ذرت برای استخراج مواد مغذی از خاک بیشتر از سایر کشت هاست. افزایش مقدار حاصلخیزی با زمان برای زمین کشت فاضلابی به خوبی مشهود است. این روند برای زمین شاهد ۲ کاهشی و برای زمین شاهد ۱ تقریباً بدون تغییر ملاحظه می شود.

با بیلان مواد برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم متوسط راندمان حذف برحسب درصدی از مواد مغذی داده شده به خاک محاسبه و در جدول ۵ نشان داده می شود. راندمان زیر ۱۰۰ درصد نشان دهنده افزایش تدریجی این مواد در خاک است.

بالایی از سدیم را نسبت به کاتیون های دیگر دارد. نسبت جذب سدیم (اس آر) ^۱ در فاضلاب تصفیه شده حدود چهار تا هشت است [۲۷]. آب با شوری و اس آر بالا این پتانسیل را دارد که درصد سدیم قابل تبدیل (ای اس پی) ^۲ در خاک را افزایش دهد. مطالعات بیشتری نشان داده است ای اس پی به صورت خطی با مقدار اس آر آب آبیاری افزایش می یابد. افزایش ای اس پی، موجب کاهش خواص فیزیکی خاک می شود، به این ترتیب که منافذ خاک مسدود و شوری بیشتر می شود و در نهایت رشد گیاه کم می شود. همچنین، گزارش شده است آبیاری شدید با فاضلاب تصفیه شده در خاک های رسی و لومی افزایش چشمگیری در پراکندگی خاک رس دارد و موجب حرکت مواد معلق و محلول از یک لایه خاک به لایه دیگر می شود [۲۸].

۴.۳. مطالعه موردی: آبیاری مزرعه آزمایشی با فاضلاب تصفیه شده [۲۹]

در اینجا، نتایج یک مطالعه موردی در زمینه استفاده مجدد فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری مزرعه و مقایسه آن به روش متعارف آبیاری (آب شیرین همراه با کود) آورده می شود. بخشی از فاضلاب تصفیه شده تصفیه خانه جنوبی اصفهان

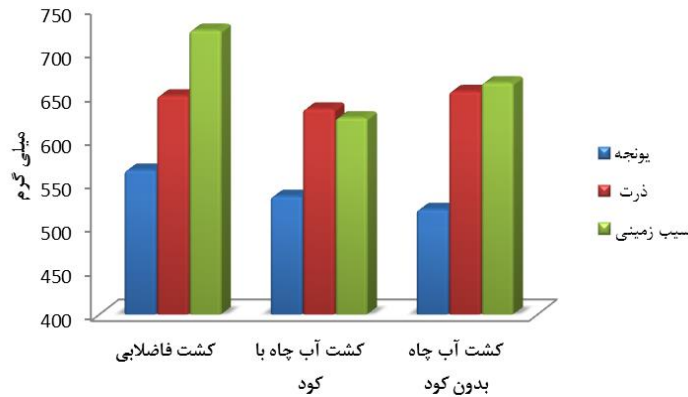
جدول ۴. متوسط حاصلخیزی برحسب وزن خشک محصول بر واحد سطح در روز طی دوره کشت (گرم در مترمربع در روز) [۲۹]

نوع کشت	آبیاری با فاضلاب تصفیه شده (کشت فاضلابی)	آبیاری با آب چاه افزودن کود (کشت شاهد ۱)	آبیاری با آب چاه (کشت شاهد ۲)
یونجه	۱۳/۱	۱۰/۵	۹/۶
ذرت	۱۵/۲	۱۲/۲	۱۰/۹
سیب زمینی	۱۱	۸/۲	۷/۱
گندم	۷/۹	۶/۶	۴/۰

جدول ۵. متوسط راندمان حذف مواد مغذی در یک دوره سه ساله برحسب درصد از کل مواد مغذی داده شده به خاک از طریق آبیاری با فاضلاب

نوع محصول	نیتروژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)
یونجه	۱۵۲	۶۵/۵	۱۹۵
ذرت	۹۱/۸	۷۱/۳	۹۷/۴
سیب زمینی	۸۷/۶	۹۸/۹	۹۵/۲
گندم	۳۴/۷	۳۲/۴	۱۰/۲

می پذیرد. این تغییرات برای نیتروژن پس از یک دوره سه ساله برای شرایط مختلف در شکل ۱ نشان داده می شود. از آنجاکه شرایط اولیه زمین برای کشت های مختلف یکسان بوده است، می توان باور داشت تغییرات ایجاد شده به دلیل توانایی های نوع کشت در جذب مواد مختلف از خاک به وجود آمده است.



شکل ۱. متوسط مواد مغذی نیتروژن در عمق ۰-۱۰۰ سانتی متری برای ۱۰۰ گرم خاک برای کشت های یونجه، ذرت و سیب زمینی

۴. نحوه مدیریت آب در ایران

با توجه به اینکه آب و هوای کشور به سه ناحیه گرم و خشک، معتدل شمالی و کوهستانی تقسیم می شود، مدیریت آب در این مناطق با هم متفاوت است. برای ناحیه اول تقریباً در همه فصل ها می توان آب بازیافتی را برای مصارف کشاورزی، آبیاری مزارع و حتی برای آبیاری پارک ها با در نظر گرفتن استانداردهای موجود در جدول ۵ استفاده کرد. برای نواحی معتدل و کوهستانی که کشاورزی به صورت فصلی انجام می گیرد، آبیاری برای مصارف کشاورزی بیشتر در فصل های بهار و تابستان است و در فصول دیگر باید آب بازیافتی ذخیره شود. در نتیجه، در این مناطق آب بازیافتی زمانی که استفاده نمی شود، باید ذخیره شود و در زمان مناسب استفاده شود. در کل، می توان برنامه راهبردی زیر را برای مدیریت هرچه بهتر آب در نظر گرفت:

۱. تعیین استانداردهای مناسب برای خروجی تصفیه خانه های فاضلاب کشور بر اساس نوع استفاده مجدد آن؛
۲. ذخیره سازی ایمن و بهداشتی برای مناطق دارای آبیاری و کشاورزی فصلی؛
۳. ایجاد زهکش هایی برای جلوگیری از شوری و سادیسیتته خاک؛
۴. اندازه گیری پارامترهای مهم به صورت روزانه و هفتگی هم در خاکی که آبیاری انجام می گیرد و هم در فاضلاب تصفیه شده که برای این هدف استفاده می شود.

اندازه گیری های مقدار رطوبت خاک قبل و بلافاصله بعد از آبیاری هفتگی نشان داد که مقدار رطوبت قبل و بعد از آبیاری بعد از عمق یک متری از سطح خاک تغییر نمی کند؛ بنابراین، می توان پذیرفت تغییرات در مقدار مواد مغذی به علت افزایش کود و یا جذب ریشه در همین عمق صورت

از مجموعه آزمایش های انجام گرفته در استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری زمین های مزروعی، می توان به نتایج زیر اشاره کرد:

۱. در فصل رشد (ماه های معتدل و گرم) مجموعه زمین و گیاه ممکن است به عنوان فیلتری زنده برای حذف مواد معلق، بی او دی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم باقیمانده در فاضلاب تصفیه شده عمل کند.
۲. در ماه های سرد، خاک ممکن است به عنوان محل ذخیره ای برای مواد مغذی موجود در فاضلاب عمل کند که با شروع فصل بهار، مواد ذخیره شده به گیاه منتقل می شود و موجب رشد بیشتر گیاه می شود.
۳. افزایش تدریجی مواد مغذی که از طریق آبیاری هفتگی با فاضلاب به خاک منتقل می شود، موجب می شود گیاه رشد بیشتری نسبت به تغذیه از طریق کود شیمیایی داشته باشد- که معمولاً در یک یا دو نوبت در دوره کشت انجام می گیرد. ترکیب شیمیایی مواد مغذی در فاضلاب تصفیه شده نیز در این رشد بیشتر، مؤثر است.
۴. افزایش تدریجی بعضی مواد مغذی در خاک در سال های اولیه موجب برداشت محصول بیشتری می شود، اما امکان مسمومیت خاک با رسیدن غلظت به حد بحرانی وجود دارد. از این رو، مدیریت سیستم در انتخاب نوع کشت و تنظیم غلظت مواد مغذی در فاضلاب با اختلاط آن با آب معمولی اهمیت خاصی دارد.

استفاده مجدد از فاضلاب به دست می آید و به صورت ارزش ریالی مشخص هستند. این منافع شامل سود حاصل از فروش فاضلاب تصفیه شده به مشترکان و کاهش در میزان مصرف کود شیمیایی است.

منافع ثانویه: این منافع از آثار متعاقب پروژه های استفاده مجدد، مانند کاهش افت سطح آب زیرزمینی حاصل می شوند. منافع کلی: این منافع شامل بهبود کیفیت و زیبایی محیط زیست است.

۶. جمع بندی

کشور ما پتانسیل های بالایی در زمینه تصفیه فاضلاب های شهری، روستایی و شهرک های صنعتی دارد و یکی از مناطق کم آب در جهان محسوب می شود؛ بنابراین، با مدیریت صحیح می توان مشکل کم آبی را تا حدی تعدیل کرد. بخش عمده ای از آب در کشور برای مصارف کشاورزی و آبیاری درختان است و با مطالعات و تحقیقات انجام گرفته نیز مشخص شده است که فاضلاب تصفیه شده با رعایت استانداردهای موجود به ویژه شوری و سادسیته خاک کارایی بهتری دارد؛ بنابراین، با انتخاب صحیح در نوع محصول، نوع خاک و نحوه آبیاری می توان پساب های تصفیه شده را با رعایت استانداردهای محیط زیستی و بهداشتی به چرخه مصرف بازگرداند. همچنین، با توجه به اینکه در ناحیه کوهستانی کشور آبیاری و کشاورزی به صورت فصلی است و تولید فاضلاب به طور مداوم صورت می گیرد، ذخیره سازی در این مناطق نیز ضروری است.

۵. استفاده از آب های بازیافت شده در مزارع ویژه ای که سازمان هایی مانند وزارت نیرو و وزارت کشاورزی آن را اداره می کنند، به منظور آموزش عموم هم از نظر رعایت مسائل ایمنی و بهداشتی و هم از نظر مزایای ویژه کاربرد فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی؛ مانند افزایش محصول، بی نیازی به کودهای شیمیایی و کاهش مصرف آب از منابع دیگر؛

۶. ممنوعیت استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری تمام سبزیجات و محصولات که به صورت خام مصرف می شوند.

۷. پایش های دائم سازمان های مسئول از جمله سازمان حفاظت محیط زیست از مناطقی که از پساب های شهری و صنعتی برای آبیاری محصولات کشاورزی و فضای سبز استفاده می کنند.

۵. منافع استفاده از فاضلاب تصفیه شده

رشد روزافزون جمعیت و توسعه سریع صنایع و فناوری، از جمله عوامل مهمی هستند که موجب افزایش مصرف آب و تولید فاضلاب در جوامع شده اند. با توجه به اینکه منابع آب در دسترس محدود است، با استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده می توان ضمن حفاظت از منابع آب، بخشی از کمبود آب را نیز برطرف کرد. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده منافع متعددی دارد که به صورت زیر می توان دسته بندی کرد [۶]:

منافع اولیه: این منافع، به طور مستقیم از طرح های

مراجع

- [1]. Meneses, M., Pasqualino, J.C. and Castells, F. (2010). "Environmental assessment of urban wastewater reuse: treatment alternatives and application" *Chemosphere*, 81, 266–272.
- [2]. Quadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornick, P.G., Drechsel, P., Bahri, A. and Minhas, P.S. (2010). "The challenges of wastewater irrigation in developing countries" *Agriculture Water Management*, 97, 561–568.
- [3]. Agrafioti, E., and Diamadopoulos, E. (2012) "A strategic plan for reuse of treated municipal wastewater for crop irrigation on the Island of Crete" *Agricultural Water Management*, 105, 57– 64.
- [4]. Asano, T. (2007). "Water Reuse, Issues, Technologies, and Applications" *Mc Graw Hill*.
- [۵]. سازمان حفاظت محیط زیست، (۱۳۸۰). "ضوابط و استانداردهای زیست محیطی" انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست.
- [۶]. پوردارا، ه.، زینی، م.، فلاح، ج. (۱۳۸۳). "استفاده از پساب تصفیه شده بیمارستانی برای آبیاری فضای سبز"، *مجله آب و فاضلاب*.
- [۷]. سایت رسمی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور (www.nww.co.ir)
- [۸]. آمارنامه ۶۷، سازمان صنایع کوچک و شهرک های صنعتی، وزارت صنعت معدن تجارت
- [9]. Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., Singh Minhas, P., Drechsel, P., Bahri, A. and McCornick,

- P.(2007). "Agricultural use of marginal-quality water—opportunities and challenges. In: Molden, D. (Ed.), *Water for Food; Water for Life. A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*", Earthscan, 8–12 Camden High Street, London, 425–457.
- [10]. AATSE (Australian Academy of Technological Sciences and Engineering), (2004). "Water Recycling in Australia", Victoria, Australia.
- [11]. Ensink, H.H., Mehmood, T., Vand der Hoeck, W., Raschid-Sally, L. and Amerasinghe, F.P. (2004). "A nation-wide assessment of wastewater use in Pakistan: an obscure activity or a vitally important one?", *Water Policy*, 6, 197–206.
- [12]. Mexico CAN (Comision Nacional del Agua), (2004). "Water Statistics" National Water Commission, Mexico City.
- [13]. Angelakis, A.N., Bontoux, L. and Lazarova, V. (2003). "Challenges and prospectives for water recycling and reuse in EU countries", *Water Science and Technology: Water Supply*, 3 (4), 59–68.
- [14]. Gerba, C.P., Rose, J.B. (2003). "International guidelines for water recycling: microbiological considerations", *Water Science and Technology: Water Supply*, 3 (4), 311–316.
- [15]. Salgot, M., Verge's, C., Angelakis, A.N., 2003. "Risk assessment in wastewater recycling and reuse", *Water Science and Technology: Water Supply*, 3 (4), 301–309.
- [16]. Dobrowolski, J., O'Neill, M., Duriancik, L. and Throwe, J. (2008). "Opportunities and challenges in agricultural water reuse: Final report", USDA-CSREES.
- [17]. Asano, T., Levine, A.D. (1996). "Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present and future", *Water Science and Technology*, 33 (10–11), 1–14.
- [18]. Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J. J., Koukoulakis, P. and Asano T. (2012). "Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece", *Agricultural Water Management*, 97, 1233–1241.
- [19]. Mara, D., Cairncross, S. (1989). "Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture", World Health Organization, Geneva.
- [20]. Angin, I., Yaganoglu, A.V. and Turan, M. (2005). "Effects of long-term wastewater irrigation on soil properties", *Journal of Sustainable Agriculture* 26 (3), 31–36.
- [21]. Lehrsch, G.A., Robbins, C.W. and Brown, M.J. (2008). "Whey utilization in furrow irrigation: effects on aggregate stability and erosion", *Bioresource Technology*, 99, 8458–8463.
- [22]. Stevens, D.P., McLaughlin, M.J. and 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*, 41 (5), 933–948.
- [23]. Rowe, D.R. and Abdel-Magid, I.M. (1995). "Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse", CRC Press Inc.
- [24]. Bond, W.J. (1998). "Effluent irrigation—an environmental challenge for soil science", *Australian Journal of Soil Research*, 36 (4), 543–555.
- [25]. Aljaloud, A.A., Hussain, G., Alsaati, A.J. and Karimullah, S. (1993). "Effects of wastewaters on plant growth and soil properties", *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 7 (2), 173–179.
- [26]. Smith, C., Snow, V., Bond, W. and Falkiner, R., (1996). "Salt dynamics in effluent irrigated soil. In: *Land Application of Wastes in Australia and New Zealand: Research and Practice*", CSIRO Forestry and Forest Products, Canberra, 175–180.
- [27]. Feigin, A., Ravina and I., Shalhevet, J. (1991). "Irrigation with Treated Sewage Effluent", *Management for Environmental Protection*. Springer-Verlag, Berlin.
- [28]. Warrington, D.N, Goldstein, D. and Levy, G.J. (2007). "Clay translocation within the soil profile as affected by intensive irrigation with treated wastewater", *Soil Science* 172 (9), 692–700.

[۲۹]. شایگان، ج. (۱۳۷۰). "تجربیات به دست آمده از آبیاری یک مزرعه آزمایشی با فاضلاب تصفیه شده"، همایش جنبه‌های

زیست محیطی استفاده از پساب‌ها در آبیاری، تهران