

کاربرد پساب در کشاورزی، فرصت ها و چالش ها

شهناز دانش^۱ و امین علیزاده^۲

۲۰۱: اعضای هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir

alizadeh@gmail.com

چکیده

محدودیت منابع آب در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک، یکی از مهمترین معضلات موجود در بخش کشاورزی است. از این رو استفاده از منابع آبی غیر متعارف (از جمله پساب تصفیه خانه ها) در این کشورها روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می شود. کاربرد پساب به عنوان یک منبع دائمی آب در کشاورزی علاوه بر تأمین بخشی از نیازهای آبی این بخش، باعث صرفه جویی و دوام منابع آبی موجود نیز می گردد. علاوه بر این وجود عناصر غذایی گیاهی در پساب تصفیه خانه ها، مصرف کودهای شیمیایی و بالطبع اثرات زیست محیطی استفاده از آنها را کاهش می دهد. به کار گیری پساب در کشاورزی اگر چه با فواید زیادی توأم است ولی چنانچه این امر بدون برنامه ریزی دقیق و اعمال مدیریت و نظارت صحیح انجام پذیرد می تواند اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی حاد و متعددی را در پی داشته باشد که از آن جمله می توان به: عدم پذیرش از سوی مردم، عدم وجود بازار مناسب برای عرضه محصولات تولیدی، شور و سدیک شدن خاک به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، تجمع عناصر سنگین و سایر عناصر سمی در خاک و گیاهان، آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی و از همه مهمتر شیوع بیماری های مختلف، اشاره نمود. مقاله حاضر که براساس نتایج تحقیقات مختلف صورت گرفته در نقاط مختلف دنیا تدوین شده است، موضوعات فوق را به تفصیل مورد بررسی قرار داده و راهکارهای مناسبی را در جهت کاهش اینگونه مسائل ارائه می دهد. در همین راستا هماهنگی های مورد نیاز بین بخش های ذی نفع نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

واژه های کلیدی

فاضلاب، پساب تصفیه خانه ها، استفاده مجدد از پساب، آلودگی خاک، عناصر سنگین، آلودگی

مقدمه

در یک قرن اخیر به دلیل افزایش رشد جمعیت و توسعه دامنه فعالیت‌های انسان در بخش‌های مختلف، مصرف سرانه آب به شدت افزایش یافته است. افزایش مصرف سرانه و نیز استفاده بی‌رویه از منابع آب سبب شده است که در بسیاری از مناطق جهان به خصوص نقاطی که به طور طبیعی با اقلیم نامناسب و محدودیت منابع آب روبرو هستند شرایط بحرانی کمی و کیفی منابع آب بروز نماید. در چنین شرایطی استفاده از آب‌های نامتعارف از جمله پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب در بخش‌های مختلف به ویژه در بخش کشاورزی که عمده مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهد، اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. امروزه کاربرد پساب در کشاورزی در بسیاری از کشورهای جهان از جمله ایالات متحده آمریکا، کانادا، فرانسه، آلمان، مکزیک، برزیل، مصر، مراکش، اردن، عربستان سعودی، قطر، چین و ... رایج است (۶، ۷، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶). در کشور ایران نیز در سال‌های اخیر، به دلیل محدودیت منابع آب، افزایش جمعیت، توسعه شهرنشینی، صنایع و کشاورزی و همچنین توسعه و اجرای طرح‌های متعدد جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، کاربرد پساب در اراضی کشاورزی اهمیت ویژه‌ای یافته و در اولویت‌های برنامه ریزی مدیریت منابع آب قرار دارد. استفاده از پسابها (فاضلاب‌های تصفیه شده) در کشاورزی مزایای متعددی را به همراه دارد که در بسیاری از مقالات به آن اشاره شده است و مهمترین آنها عبارتند از: فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، کاهش هزینه‌های تصفیه، آزادسازی بخشی از منابع آب با کیفیت خوب برای سایر مصارف، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و اثرات زیست‌محیطی آنها و کاهش اثرات زیست‌محیطی دفع پساب به منابع آبی (۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۸، ۱۹ و ۲۰).

به کارگیری پساب در بخش کشاورزی هر چند با مزایای زیادی توأم است اما به دلیل اینکه این گونه آب‌ها حاوی موادی مانند املاح، سدیم، کلر، بر، میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا، و در برخی از شرایط فلزات سنگین و یا ترکیبات آلی و معدنی مضر دیگری می‌باشند کاربرد بدون برنامه ریزی آنها می‌تواند تبعات زیست‌محیطی بسیار نامطلوبی را به بار بیاورد که جبران بسیاری از آنها حداقل در کوتاه مدت امکان‌پذیر نخواهد بود. شور شدن خاکها، تخریب ساختمان خاک، مسمومیت گیاهان و کاهش عملکرد آنها، آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و شیوع بیماری‌ها نمونه‌های بارزی از این اثرات می‌باشند. به همین جهت به منظور جلوگیری از اثرات سوء کوتاه مدت و طولانی مدت کاربری پساب، بایستی برنامه ریزی‌ها و تمهیدات خاصی در نظر گرفته شود. در این مقاله عمدتاً چالش‌های توأم با کاربرد پساب در کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته و به نکاتی پرداخته می‌شود که رعایت آنها در برنامه ریزیها و مدیریت طرح‌های کاربردی پساب ضروری بوده و عدم توجه به آنها دستیابی به اهداف برنامه‌ی توسعه پایدار کشاورزی را با ابهام روبرو می‌سازد.

چالش‌های کاربرد پساب

اثرات نامطلوب بر روی خاک، گیاه و بهداشت عمومی

در کاربرد مجدد پساب 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 می‌تواند تحت تاثیر قرار گرفته و به خصوص در طولانی مدت تغییر نماید.

محققین بسیاری در نقاط مختلف دنیا در ارتباط با موضوع اثرات پساب بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مطالعه و بررسی نموده‌اند. افزایش شوری و سدیم خاک در اثر آبیاری با پساب که به ترتیب باعث ایجاد شرایط کاهش مهبیایی آب برای گیاه و تخریب ساختمان خاک می‌شود، توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است.

صابر (۲۱) طی تحقیقات خود در آبیاری با فاضلاب در قاهره نشان داد که با افزایش سال‌های استفاده از پساب، میزان نمک‌های محلول در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متری خاک، به میزان قابل توجهی تا حدود ۳ برابر، در مقایسه با خاک‌های آبیاری نشده افزایش داشته است. مطالعات صفری

سنجایی و حاج رسولیها (۱۳۷۴) به نقل از فیضی (۲۲) دلالت بر این دارد که هشت سال آبیاری با فاضلاب تصفیه شده اصفهان، شوری و سدیم خاک را به طور معنی داری افزایش داده است. نتایج تحقیقات ابراهیمی زاده و همکاران (۱) نیز بیانگر آن است که در اثر آبیاری با پساب در مقایسه با آب متعارف، شوری خاک در لایه های ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی متری و SAR و سدیم خاک در اعماق ۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی متری افزایش قابل توجهی را داشته است. اسمارت (۲۳) در مقایسه خصوصیات خاکهای منطقه شمال آدلاید در استرالیا که با آب و یا پساب آبیاری می شوند گزارش نمود که آبیاری با پساب میزان شوری، سدیم و بر را در خاکهای منطقه افزایش داده است، اگر چه افزایش مشاهده شده هنوز به حدی نرسیده که بر روی عملکرد محصولات کشاورزی اثر گذارد. ولی افزایش مشاهده شده در سدیم و SAR خاک از نظر تخریب ساختمان خاک و کاهش ظرفیت زه کشی آن هشداردهنده است.

مطالعه و بررسی های انجام شده (۱۷) بر روی خاکهای منطقه Moose Jaw در ایالت ساسکاچوان کانادا که از سال ۱۹۸۲ توسط پساب در مساحتی حدود ۱۲۰۰ هکتار آبیاری می گردد نشان داده است که شوری خاک به میزان قابل توجهی افزایش یافته است به طوری که میانگین EC خاک از $\frac{ds}{m} 0.75$ به $\frac{ds}{m} 1.6$ در سال ۱۹۹۷ رسیده است. تجمع شوری بیشتر در لایه ی یک متری سطحی خاک گزارش شده است. نتایج بررسی ها بر روی آبهای زیرزمینی کم عمق در منطقه مذکور نیز دلالت بر افزایش غلظتهای سدیم، کلرور، سولفات و بیکربنات را داشته است. همچنین، مطالعات انجام گرفته در ارتباط با پروژه بزرگ دیگری که در Swift Current همان ایالت در سال ۱۹۷۸ در مساحتی حدود ۳۳۸ هکتار آغاز شد بیانگر آن است که در برخی نقاط شوری خاک افزایش معنی داری داشته است. در منطقه اخیر نیز میزان کلرور، سختی، سدیم، سولفات و منگنز در آبهای زیرزمینی کم عمق افزایش را نشان داده است (۱۷).

پاترسون (۲۴) در تحقیقات خود در استرالیا به این نتیجه دست یافت که بالا بودن SAR در پساب حاصل از تصفیه خانه های فاضلاب خانگی منجر به کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می گردد، به طوری که با افزایش SAR از صفر به ۳، هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ۵۰٪ و در صورت افزایش آن به ۱۵، هدایت هیدرولیکی به میزان ۷۵٪ کاهش می یابد. در گزارش تحقیقاتی پروان (۵) نیز کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع به میزان ۳۰٪ در لایه سطحی خاک در اثر آبیاری طولانی مدت با پساب، گزارش شده است.

علیزاده و همکاران (۲۵) در تحقیقات خود نشان دادند که آبیاری ذرت با فاضلاب تصفیه شده شهر مشهد به مدت ۲ سال، کاهش ۱۵۶ درصدی ظرفیت نفوذپذیری خاک را در مقایسه با زمان قبل از آغاز تحقیق به دنبال داشته است. شادکام و سایرین (۲) نیز در اثر آبیاری با پساب کاهش چشمگیری را در هدایت هیدرولیکی خاکهای مورد مطالعه مشاهده نمودند.

غلامحسین و الساعتی (۲۶) در بررسی خصوصیات پسابهای تولیدی در کشور عربستان گزارش کردند که کاربرد این گونه پسابها 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 پسابها را فقط به عنوان آبهای کمکی توصیه نمودند. معاضد و حنیفه لو (۳) در بررسی کیفیت پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب غرب شهر اهواز برای استفاده در کشاورزی، به این نتیجه رسیدند که پساب مذکور از نظر برخی از پارامترها مانند سولفات، کلراید و شوری فراتر از استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران بوده و به خصوص از نظر شوری براساس رهنمودهای کیفیت آب آبیاری آیرز و وستکات (۳۴)، دارای درجه پیامد بسیار بد ارزیابی می شود.

در استفاده مجدد از فاضلاب pH خاک نیز می تواند تغییر یابد. از آنجا که مهبیایی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و همچنین حلالیت بسیاری از عناصر و ترکیبات سمی به شرایط pH خاک بستگی دارد، تغییر این پارامتر می تواند جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را کاهش داده و از این طریق و یا از طریق تأثیر بر مهبیایی عناصر و ترکیبات مسموم کننده، رشد گیاه و عملکرد آن را تحت تأثیر قرار دهد.

مطالعات صابر (۲۱) نشان می دهد که آبیاری اراضی شهر قاهره با فاضلاب، کاهش pH خاکها را به دنبال داشته است اما در بررسی های انجام شده توسط مهیدا (۲۷) افزایش pH در خاکهای خشک و نیمه خشک هند در اثر آبیاری با پساب گزارش شده است.

آبیاری با پساب به خصوص به علت فرآیند کلرزی در تصفیه خانه ها، می تواند غلظت این عنصر را در خاک افزایش داده و به حد سمیت برای گیاهان برساند. گیاهان زراعی و درختان میوه به یون کلر حساس بوده و چنانچه مقدار این عنصر در عصاره اشباع خاک به حدود $10 \frac{meq}{lit}$ برسد

برای بسیاری از گیاهان ایجاد مسمومیت می کند (۳۴). پروان (۵) در کار تحقیقاتی خود بر روی اثرات طولانی مدت پساب، افزایش میزان کلر را در اعماق مختلف خاک گزارش کرده است.

از جمله ناخالصیهای دیگری که در پساب تصفیه خانه ها به ویژه در مناطق صنعتی یافت می شود، فلزات سنگین و عناصر کمیاب می باشند. کاربرد پساب هایی از این قبیل در اراضی کشاورزی، می تواند تجمع عناصر مذکور را در خاک و آبهای زیرزمینی افزایش داده و غلظت آنها را به مرز غلظت های سمی برای گیاهان برساند (۲۸ و ۲۹). از طرفی تجمع عناصر سنگین در گیاهان سبب ورود آنها به زنجیره های غذایی شده و از این طریق می تواند اثرات نامطلوبی بر سلامت مصرف کنندگان بگذارد. تحقیقات چنگ و همکاران (۳۰) دلالت بر این دارد که طی ۶ سال کاربرد فاضلاب در خاک های لومی شنی و لومی، تجمع معنی داری در غلظت هر یک از عناصر کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی در خاک، به خصوص در لایه صفر تا ۱۵ سانتی متری، اتفاق افتاد است. این محققین همچنین نشان دادند که بین کاربرد پساب و تجمع عناصر سنگین در خاک و بافتهای گیاهی، همبستگی وجود دارد. موحدیان و افیونی (۴) در بررسی اثر پساب و لجن صنعتی بر روی خصوصیات خاک، کاهش pH، افزایش مواد آلی، افزایش EC و نیز افزایش غلظت عناصر سنگین را در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متری کلیه تیمارهای آزمایشی خود مشاهده کردند. فیضی (۲۲) در بررسی تجمع عناصر سنگین در مزارع شمال اصفهان که به مدت ۸ سال با فاضلاب و پساب آبیاری شده بودند مشاهده نمود که مقادیر عناصر روی، منیزیم، مس و آهن در خاکهای این مزارع نسبت به مزارع آبیاری شده با آب چاه افزایش یافته است. وی در مقاله خود به نتایج کار برخی از محققین اشاره نموده و گزارش می دهد که بر اساس مطالعات بغوری (۱۳۷۶)، در خاکهای تحت آبیاری با فاضلابهای شهری و صنعتی اصفهان، آلودگی شدیدی از نظر عناصر کادمیوم و سرب در مقایسه با آب معمولی مشاهده شده است و نیز اینکه بقری و همکاران (۱۳۷۹) در تحقیقات خود دریافتند که در اثر آبیاری با پساب مقدار منگنز و کروم و سرب در خاکهای تحت کشت در منطقه اصفهان افزایش یافته است. پروان (۵) در مقایسه خصوصیات خاک مزارع آبیاری شده با پساب و مزارعی که با آب چاه آبیاری شده بودند مشاهده نمود که افزایش فراهمی عنصر نیکل در لایه ۵ تا ۲۵ سانتی خاک و عنصر روی در لایه ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی متری خاک به طور معنی داری افزایش یافته است.

در بررسی اثر کاربرد پساب و لجن به عنوان منابع غذایی بر روی تجمع و رفتار عناصر کمیاب در خاکهای بیتنام، کای (۳۱) چنین نتیجه گرفت که منابع مذکور تجمع عناصر کمیاب (مس و روی) را در تیمارهای مورد آزمایش افزایش داده و از این لحاظ می توانند تهدیدی برای کیفیت آب و خاک و نیز بهداشت عمومی محسوب شوند.

در ارتباط با نیتروژن، اگر چه این عنصر از جمله عناصر غذایی بسیار مهم برای گیاهان محسوب می شود، اما مقادیر بیش از حد آن می تواند سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در ضمن باعث رشد فزاینده علفهای هرز شود. همچنین آب شویی ترکیبات از ته به آبهای زیرزمینی و سطحی موجبات آلودگی این منابع را فراهم می سازد، مهیدا (۲۷) و صابر (۲۱) در مطالعات خود گزارش کردند که آبیاری مزارع با پساب، افزایش ازت خاک را در پی داشته است.

استفاده از فاضلاب می تواند از طریق شیوع امراضی با منشأ باکتریولوژیکی، ویروسی، پروتوزوایی و انگلی باعث به خطر افتادن سلامت انسانها شود. نتایج طرح مطالعاتی بلومنتال (۲۰۰۰)، به نقل از ماتاوکی تر تو (۱۹)، دلالت بر این دارد که کاربرد فاضلاب در کشاورزی به شرط آن که به حد کافی تصفیه شده باشد، سبب شیوع بیماری های نماد روده ای در میان کارگران مزارع و مصرف کنندگان محصولات نمی شود، مگر آنکه شرایط آب و هوایی و نوع آبیاری، شرایط را برای بقای تخم این گونه نامتدها فراهم سازد. ولی براساس مطالعات شوال و همکاران (۳۲)، در نقاطی از جهان که بیماری های انگلی آسکاریزیس و تریکوزیاسیس به صورت اندمیک وجود داشته است، شیوع این گونه بیماری ها همزمان با کاربرد پساب در آبیاری زمینهای آن منطقه مشاهده شده است. شووال (۳۳) نیز در مطالعات اپید میولوژی خود چنین نتیجه می گیرد که ریسک شیوع کرمهای آسکاریس در کودکان و افراد بالغی که از محصولات زراعی آبیاری شده با فاضلاب خام استفاده می کنند بسیار زیاد است. وی همچنین در تحقیقات خود به شیوع بیماری هایی از قبیل وبا، تیفوئید، شیکلوزیس در اثر استفاده از فاضلاب خام در کشاورزی اشاره می کند. عزیزاده و همکاران (۸) در تحقیقات خود بر روی آبیاری چغندر قند با پساب، در ارتباط با آلودگی های انگلی مربوط به خاک و اندام های گیاهی، آلودگی نمادهای روده ای را مشاهده نکردند اما در مورد آلودگی های میکروبی تفاوت قابل توجهی را در کلی فرم های مدفوعی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک در آبیاری با پساب و آب چاه مشاهده نمودند.

از بعد میکروبیولوژیکی، یکی از حیاتی ترین گام ها در برنامه ریزی کاربرد مجدد پساب در کشاورزی محافظت سلامت جامعه با تاکید بر روی کارگران مزارع و مصرف کنندگان محصولات می باشد. علاوه بر افراد مذکور، افراد دیگری مانند خانواده های کارگران و جوامع مجاور مکانهای کاربرد پساب نیز در معرض خطرات بیماری ها قرار دارند. به همین جهت تامین سلامت عموم به خصوص در جوامعی که بیماری هایی با منشاء مدفوعی رایج است از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

علاوه بر میکروارگانیسم های پاتوژن، فاضلابهای خانگی و صنعتی حاوی ترکیبات مختلف شیمیایی از قبیل داروها، هورمونها، آنتی بیوتیکها، ترکیبات تاثیرگذار بر سیستم هورمونی و ... می باشند که اثرات طولانی مدت آنها به خصوص از طریق کاربرد پساب در کشاورزی، بر روی سلامت انسان ها و اکوسیستم ها هنوز به طور کامل شناخته شده نیست (۱۹).

استانداردها و رهنمودها

استانداردها و رهنمودهای کاربرد مجدد پساب در کشاورزی در کشورهای مختلف دنیا بسیار متفاوت است. یکی از مهمترین رهنمودهای رایج در ارتباط با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آبهای آبیاری، رهنمود آیرس و وستکات (۳۴) می باشد که در جدول ۱ خلاصه شده است. از آنجا که رهنمود آیرس و وستکات بر اساس مطالعات و تحقیقات زیاد و با در نظر گرفتن فاکتورهایی مانند درصد آبشویی، تغییرات نفوذپذیری خاک در اثر EC و SAR، ظرفیت قابل تحمل گیاهان در مقابل شوری، سدیم، و سمیت بر و سایر عناصر کمیاب، تدوین شده است، می تواند در ارزیابی کیفیت پساب برای کاربرد در کشاورزی نیز مبنای مناسبی باشند.

جدول ۱: رهنمودهای کیفیت آب برای آبیاری (۳۴).

میزان محدودیت در استفاده			واحد	مشکلات آبیاری
محدودیت شدید	محدودیت کم تا متوسط	بدون محدودیت		
شوری (تاثیر بر میزان مهیابی آب برای گیاه)				
>۳	۰/۷-۳	<۰/۷	dS/m	ECw
				یا
>۲۰۰۰	۴۵۰-۲۰۰۰	<۴۵۰	mg/l	TDS
نفوذپذیری (تاثیر بر سرعت نفوذ آب به داخل خاک که با در نظر گرفتن ECw و SAR ارزیابی می شود)				
<۰/۲	۰/۷-۰/۲	>۰/۷	=	ECw و SAR = ۰-۳
<۰/۳	۱/۲-۰/۳	>۱/۲	=	۳-۶
<۰/۵	۱/۹-۰/۵	>۱/۹	=	۶-۱۲
<۱/۳	۲/۹-۱/۳	>۲/۹	=	۲۰-۱۲
<۲/۹	۵-۲/۹	>۵	=	۲۰-۴۰
سمیت یونهای خاص (گیاهان حساس)				
سدیم				
>۹	۳-۹	<۳	SAR	آبیاری سطحی
	>۳	<۳	me/l	آبیاری بارانی
کلرور				
>۱۰	۴-۱۰	<۴	me/l	آبیاری سطحی
	>۳	<۳	me/l	آبیاری بارانی
>۳	۰/۷-۳	<۰/۷	mg/l	بر
اثرات دیگر (گیاهان حساس)				
>۳۰	۵-۳۰	<۵	mg/l	نیتروژن
بیکربنات				
>۸/۵	۱/۵-۸/۵	<۱/۵	me/l	آبیاری بارانی
محدوده نرمال				pH

در ارتباط با پارامترهای میکروبیولوژیکی فاضلاب و پساب نیز به دلیل اهمیت آنها در سلامت عموم، رهنمودهایی توسط سازمانهای مختلف مانند WHO (۳۵) و EPA آمریکا (۳۶) جهت کاربرد در کشاورزی ارائه شده است که به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آمده است. هدف WHO از تدوین چنین رهنمودها تعیین شاخص های راهنما برای مهندسين طراح جهت انتخاب تکنولوژی های مناسب برای تصفیه فاضلاب و برای برنامه ریزها جهت انتخاب گزینه های برتر مدیریتی است. مقایسه جداول مذکور نشان می دهد که رهنمودهای EPA آمریکا نسبت به رهنمودهای WHO سخت گیرانه تر است. براساس EPA برای کاربرد پساب در آبیاری گیاهانی که فرآوری نمی شوند (به عنوان مثال گیاهانی که به صورت خام خورده میشوند) نبایستی هیچ گونه کلی فرم مدفوعی در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه های پساب قابل تشخیص باشد. این در حالی است که برای آبیاری اینگونه گیاهان، WHO تعداد کلی فرم های مدفوعی را در ۱۰۰ میلی لیتر پساب کمتر یا مساوی ۱۰۰۰ در نظر گرفته است.

جدول ۲ - رهنمودهای WHO (۱۹۸۹) برای کاربرد پساب (فاضلاب تصفیه شده) در کشاورزی^a (۳۵).

طبقه بندی	شرایط استفاده مجدد	گروه‌های در معرض	نماتد روده ای ^b میانگین حسابی (تعداد تخم در لیتر) ^c	کلی فرم های مدفوعی میانگین هندسی (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر) ^c	روشهای تصفیه ای که انتظار می رود رهنمودهای میکروبیولوژیکی را تامین نمود
A	آبیاری گیاهانی که به صورت خام خورده می شوند، زمینهای ورزشی و پارکهای عمومی ^d	کارگران، مصرف کنندگان و عموم مردم	≤ 1	≤ 1000	یک سری از برگه های تثبیت که به منظور دستیابی به شاخص میکروبیولوژیکی طراحی شده اند و یا تصفیه معادل آنها.
B	آبیاری غلات، گیاهان صنعتی، گیاهان علوفه ای، مراتع و درختان ^e	کارگران	≤ 1	استاندارد توصیه نمی شود.	نگهداری در برگه های تثبیت به مدت ۸ تا ۱۰ روز و یا روشهای معادل برای حذف کرمها و کلی فرمهای مدفوعی
C	آبیاری گیاهان طبقه B به شرط آنکه کارگران و عموم در معرض قرار نگیرند	هیچیک	غیر قابل اعمال	غیر قابل اعمال	پیش تصفیه مورد نیاز بستگی به روش آبیاری دارد. حداقل: ته نشینی اولیه

a: در موارد خاص شرایط اپیدمیولوژیکی، اجتماعی، فرهنگی و فاکتورهای محیطی می بایست در نظر گرفته شده و رهنمودها براساس آنها اصلاح گردد.

b: گونه های اسکاریس و نریکوریس و کرمهای قلابدار

c: در طی دوره آبیاری

d: برای فضاهای سبز عمومی مانند هتلها یعنی جاییکه امکان تماس مستقیم عمومی وجود داشته باشد، بایستی رهنمود سخت گیرانه تری (کمتر یا مساوی ۲۰۰ کلی فرم در ۱۰۰ میلی لیتر) در نظر گرفته شود.

e: در مورد درختان میوه، آبیاری بایستی دو هفته قبل از چیدن میوه متوقف شده و هیچ میوه ای از روی زمین جمع آوری نگردد. ضمناً آبیاری بارانی نباید استفاده گردد.

جدول ۳ - رهنمودهای USEPA برای استفاده مجدد پساب در آبیاری (۳۶).

نوع کاربرد	تصفیه مورد نیاز	کیفیت پساب	پایش پیشنهادی	فاصله حائل
آبیاری: - گیاهان غذایی که به طور تجاری فرآوری می شوند - باغات میوه و تاکستانها - مراتع - مراتع جهت دامهای شیری - مراتع جهت دامها	- تصفیه ثانویه - ضد عفونی	pH = ۶-۹ BOD \leq ۳۰ mg/l SS = ۳۰ mg/l FC \leq ۲۰۰/۱۰۰ ml Cl2 = ۱mg/l باقیمانده	pH - هفتگی BOD - هفتگی کدورت - روزانه FC روزانه کلر باقیمانده - پیوسته	۳۰۰ فوت از منابع تامین آب آشامیدنی و ۱۰۰ فوت از مناطق قابل دسترس عموم
- گیاهان غذایی که به صورت تجاری فرآوری نمی شوند	- تصفیه ثانویه - فیلتراسیون - ضد عفونی	pH = ۶-۹ BOD \leq ۳۰ mg/l کدورت \leq ۱ NTU FC = (صفر) / ۱۰۰ ml Cl2 = ۱mg/l باقیمانده	pH - هفتگی BOD - هفتگی کدورت - روزانه FC روزانه کلر باقیمانده - پیوسته	۵۰ فوت از چاههای تامین آب آشامیدنی و ۱۰۰ فوت از مناطق قابل دسترس عموم

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

الف) در کشورهای صنعتی و پیشرفته مانند آمریکا و فرانسه استانداردها و رهنمودها با دیدگاهی محافظه کارانه و براساس تکنولوژی پیشرفته و هزینه بالا و نیز با ریسک پذیری کم تدوین شده است (۱۹).

ب) در برخی کشورهای دیگر رهنمودهای WHO که براساس تکنولوژی پایین و هزینه کم پایه گذاری شده، مورد قبول بوده و اساس کنترل را تشکیل می دهد (۳۷).

ج) در مقابل کشورهای فوق، گروه سومی از کشورها که بیشتر شامل کشورهای در حال رشد هستند، بدون مطالعه و برنامه ریزی، استانداردهای بسیار سخت گیرانه ای را قبول نموده اند. این چنین استانداردهایی اگرچه مورد قبول مراجع قانونی است و برای داشتن وجهه بین المللی بسیار خوب است ولی عملاً به دلایل اقتصادی و فنی غیر قابل قبول و غیر قابل اجرا است. برای چنین کشورهایی شاید بهترین راه حل تدوین گام به گام استانداردها باشد که در صورت اجرا می تواند به نحو مؤثری از مخاطرات بهداشتی جلوگیری نماید (۳۷).

در ارتباط با کشور ایران، استانداردهای زیست محیطی کاربرد پساب بسیار پیشرفته و مجموعاً بیش از ۵۰ پارامتر فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی را شامل می گردد (۹) که چنانچه اجرا گردد بسیار ایده آل است. اما با توجه به شرایط اقتصادی و فنی موجود اشکالات عمده ای به شرح ذیل وجود دارد که اجرای استانداردها را عملی نمی سازد:

۱- استانداردها براساس شرایط اقتصادی، اجتماعی و اپیدمیولوژیکی کشور تدوین نشده است.
۲- برخی از پارامترهای کیفی مهم که از نظر کشاورزی و کیفیت خاک حائز اهمیت بسیار زیادی هستند مانند: EC، TDS و SAR، در استاندارد های کنونی لحاظ نشده است.

۳- تأمین کیفیت پارامترهای کیفی پساب جهت تأمین استانداردهای تدوین شده، به لحاظ اقتصادی و فنی امکان پذیر نیست.
۴- در حال حاضر پایش کیفی پساب خروجی از تصفیه خانه ها صرفاً بر مبنای پارامترهای محدودی مانند BOD، PH، TSS، COD، کل کلی فرم ها و کلی فرم های مدفوعی صورت می گیرد و سایر پارامترهای دارای اهمیت در کشاورزی، اندازه گیری نمی شود. به همین جهت این چنین آماری نمی تواند مبنای مناسبی برای ارزیابی کیفیت پساب به منظور کاربرد در کشاورزی قرار گیرد.
لازم به یادآوری است که استانداردهای سخت گیرانه و تکنولوژی پیشرفته الزاماً به مفهوم کاهش خطرات زیست محیطی و ریسک های توأم با فاضلاب نیست. زیرا در بسیاری از موارد عدم بهره برداری صحیح تصفیه خانه های فاضلاب، عدم تأمین بودجه کافی برای راهبری تصفیه خانه ها و اعمال سیستم پایش مناسب و یا عدم اجرای قوانین سبب می شود که تکنولوژی پیشرفته و استانداردهای تدوین شده مفهوم کاربردی خود را از دست داده و در نتیجه ریسکهای زیست محیطی افزایش یابند.

عدم هماهنگی بین ارگانها و موسسات ذیربط

در ارتباط با بحث تصفیه فاضلاب ها و کاربرد پساب در اراضی کشاورزی ارگان ها، موسسات و گروههای متعددی درگیر می باشند که هر یک مسئولیتها و وظایف معینی را داشته و اهداف خاصی را دنبال می کنند. این گروهها عمدتاً عبارتند از:

- ۱- موسسات و ارگانهای قانون گذار و مجری قانون
- ۲- شرکتهای و موسسات مسئول تأمین آب برای کشاورزی و سایر مصارف
- ۳- موسسات و شرکتهای مسئول تصفیه فاضلاب
- ۴- ارگانهای مسئول تأمین بهداشت جامعه
- ۵- ارگانهای مسئول برنامه ریزی برای بخش های کشاورزی، جنگلها و مراتع

۶- کشاورزان و مصرف کنندگان محصولات کشاورزی

هرچند که هر یک از گروه های فوق در محدوده مسئولیت های قانونی و اهداف خاص خود حداکثر تلاش را می نمایند ولی متأسفانه در بسیاری از کشورها به این نکته توجه نمی گردد که طرحهایی از جمله کاربرد پساب در کشاورزی طرحهایی نیستند که مسئولیت آن ها فقط بر عهده سازمان یا ارگان خاصی باشد.

این گونه طرحها چنانچه از ماهیت آنها نیز بر می آید طرحهای چند بعدی و بین سازمانی هستند که برنامه ریزی جامع برای آنها هماهنگی کامل بین کلیه سازمانهای فوق را می طلبد. بدیهی است که موفقیت در تدوین، اجرا و تداوم طولانی مدت چنین طرحهایی که در آنها بایستی کلیه جنبه های قانونی، فنی، اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و سلامت جامعه مد نظر قرار بگیرد زمانی می تواند با موفقیت توأم باشد و تداوم یابد که اتحاد نظر، اتحاد اهداف و حداکثر تلاش برای ایجاد هماهنگی در بین دست اندرکاران و مسئولین سازمانهای مربوطه وجود داشته باشد. نتیجه اینگونه همکاری ها و هماهنگی ها تدوین و اجرای صحیح برنامه های جامع و اصولی کاربرد پساب در کشاورزی است که به افزایش اثرات مثبت و کاهش ریسکهای زیست محیطی توأم با این گونه طرحها می انجامد (۱۸، ۳۷ و ۳۹).

جنبه های اجتماعی - فرهنگی

از جنبه های مهم و اساسی موفقیت برنامه های کاربری پساب در کشاورزی، قبول پساب به عنوان یک منبع آب آبیاری توسط کشاورزان و نیز پذیرش عامه مردم در خرید و مصرف محصولاتی است که به وسیله این منبع آبیاری شده باشد (۳۹). برای دست یابی به این مهم لازم است که کشاورزان و مردم به طور کامل در جریان اهمیت اینگونه طرح ها و چگونگی اجرای آن قرار گرفته و توجیه گردند. همچنین در صورت امکان، نظرات آنها جمع آوری و بررسی شده و در تدوین برنامه ها به کار گرفته شود. در راستای این امر، آموزش و ترویج و نیز جلب اعتماد عموم از نظر تأمین سلامتی آنها و تضمین حفاظت منابع طبیعی (خاک، آبهای سطحی، آبهای زیرزمینی، گیاهان و...) می تواند بسیاری از مشکلات اجتماعی - فرهنگی را مرتفع سازد.

ناکافی بودن آمار، اطلاعات و تحقیقات

از آنجا که شرایط اقلیمی، خصوصیات پساب تولیدی، نوع گیاهان زراعی، شرایط اقتصادی، اجتماعی، فنی، فرهنگی و بهداشتی کشورهای مختلف با یکدیگر متفاوت است، لذا هر کشوری نمی تواند صرفاً با بهره گیری از نتایج مطالعات سایر کشورها در برنامه ریزی های خود موفق باشد. تداوم و موفقیت برنامه های طولانی مدت کاربرد پساب در کشاورزی منوط به آن است که برنامه ریزی ها براساس اطلاعات و نتایج جامعی تدوین گردند که از تحقیقات متعدد کوتاه مدت و طولانی مدت انجام شده در شرایط بومی، حاصل شده باشند. تحقیقات مذکور بایستی موضوعات مختلفی را از قبیل: مکان یابی، نوع گیاهان زراعی و الگوی کشت، ریسکهای زیست محیطی و سلامتی، تعیین میزان ریسکهای قابل قبول، تعیین نقاط ریسک، روش های مدیریت کاهش ریسک، هزینه های مربوط به گزینه های مختلف کاهش ریسک، بومی سازی رهنمودها و استانداردها، گزینه های مناسب آموزش کشاورزان و مردم و ... را شامل گردد (۱۸، ۲۳ و ۳۸). حقیقت این است که در حال حاضر در بسیاری از کشورها به خصوص کشورهای در حال رشد، بدون توجه به لزوم انجام تحقیقات و دستیابی به آمار و اطلاعات لازم، بر مبنای این باور که " چون سایر کشورها موفق بوده اند، ما نیز موفق خواهیم بود " برنامه ریزی های کاربرد پساب را تدوین و بدون تأمل و درنگ اجرا می کنند که متأسفانه عواقب زیست محیطی آن گریبان گیر نسلهای آتی می گردد.

نتیجه گیری:

استفاده از پساب در کشاورزی برای اهداف توسعه اقتصادی فقط زمانی قابل اجرا خواهد بود که حفاظت و نگهداری طولانی مدت منابع و همچنین حفاظت سلامت عموم امکان پذیر باشد.

بررسی چالش های توأم با کاربرد پساب در کشاورزی نشان می دهد که بسیاری از این چالش ها را می توان با برنامه ریزی های اصولی و اعمال روش های مدیریتی صحیح برطرف نمود. در این گونه روش ها از سیستم تلفیقی کنترل (مجموعه ای از روش های مختلف) جهت جلوگیری، کاهش و جبران ریسک های زیست محیطی و بهداشتی استفاده می شود که نتیجه آن، کاهش هزینه ها، عدم نیاز به استانداردهای سختگیرانه و تضمین موفقیت برنامه ریزی ها است.

در سیستم مدیریت تلفیقی کاربرد پساب در کشاورزی، مجموعه ای از گزینه های مختلف به کار گرفته می شود که اهم آنها عبارتند از:

- ۱- استفاده از استانداردها و رهنمودهای مناسب
 - ۲- به کار گیری روش های بهینه تصفیه
 - ۳- کاربرد الگوهای کشت مناسب
 - ۴- به کار گیری روش های کاشت و آبیاری مناسب
 - ۵- اعمال روش های لازم به منظور محدود سازی تماس و در معرض قرار گرفتن کارگران و عموم
 - ۶- تدوین و اجرای دستورالعمل های لازم (برای گروههای مختلف ذیربط مانند کشاورزان و عوامل اجرایی کنترل کننده)
 - ۷- ایجاد و اجرای سیستم های پایش دقیق و کارآمد
- بدیهی است که انتخاب مجموعه مناسبی از راهکار های فوق بستگی به شرایطی مانند مهبایی منابع موجود، وضعیت کشاورزی و اجتماعی منطقه، وضعیت شیوع بیماری های با منشأ مدفوعی در منطقه و تقاضای بازار برای محصولات آبیاری شده با پساب را دارد که بایستی قبل از اجرایی سازی مجموعه منتخب به دقت مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

فهرست مراجع و مأخذ

۱. ابراهیمی زاده. م. ع. حسن لی. ع. م. احمدی راد. ش. حداقل اثرات زیست محیطی پساب فاضلاب شهری بر خاک در کشت ذرت. مجموعه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران. ۱۳۸۵.
۲. شادکام. س، دانش. ش، علیزاده، الف، پروان، م. بررسی استفاده مجدد از فاضلاب خام و پساب تصفیه شده بر هدایت هیدرولیکی بافت های مختلف خاک. مجموعه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران. ۱۳۸۵.
۳. معاضد. ه، حنیفه لو، الف. ارزیابی کیفیت فاضلابهای ورودی و خروجی تصفیه خانه فاضلاب غرب شهر اهواز برای استفاده مجدد در کشاورزی. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زه کشی، اهواز. ۱۳۸۵.
۴. موحدیان. ف، افیونی. م. اثر پساب و لجن صنعتی روی برخی خصوصیات شیمیایی و تجمع عناصر سنگین خاک در اصفهان. مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان. ۱۳۸۵.
۵. پروان، م. اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۸۳.
۶. نی ریزی، س. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده راهکار تامین آب. مجله آب و محیط زیست. شماره ۳۴. ۱۳۷۸.
۷. عرفانی آگاه، ع. بررسی کارایی فاضلاب تصفیه شده خانگی در آبیاری زراعت کاهو و گوجه فرنگی. مجموعه مقالات همایش جنبه های زیست محیطی استفاده از پسابها در آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران. ۱۳۷۸. صفحات: ۶۱ الی ۷۹.

۸. علیزاده، الف. استفاده از پساب تصفیه شده خانگی در آبیاری چغندرقد، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، گزارش نهایی طرح پژوهشی. ۱۳۷۶.
۹. سازمان حفاظت محیط زیست. ضوابط و استانداردهای زیست محیطی، نشریه تدوین و بازنگری، تهران. ۱۳۸۴.
۱۰. دانش، ش. علیزاده، الف. حق نیا، غ. اثر آبیاری با پساب بر کمیت و کیفیت چغندرقد و چغندر علوفه ای. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۳۶۹.
11. Bahri, A. Agricultural Reuse of Wastewater and Global Water Management, *Wat. Sci. and Technol.* Vol. 40, No 4-5, pp. 339-346. 1999.
12. Angelakis, A. N., Marecos Do Monte, M. H. F. Bontoux, L., Asano, T. The Status of Wastewater Reuse Practices in the Mediterranean Basin: Need for Guidelines. *Wat. Res*, Vol.33, No 10. pp. 2201-2217. 1999.
13. Asano T., Levine A. D. Wastewater Reclamation, Recycling And Reuse: Past, Present, And Future, *Wat. Sci. and Tehcnol.*, Vol. 33. No. 10-11, pp.1-14. 1996.
14. Bouwer, H. Integrated Water Management: Emerging Issues and Challenges. *Agri. water Manage.* Vol.45. pp. 217-228. 2000.
15. Thrassyvoulos M., Ioannis., K.T. Evaluating Water Resources Availability and Wastewater Reuse Importance in the Water Resources Management of Small Mediterranean Municipal Districts. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 47, pp. 245-259. 2006.
16. Cameron, D. R. Sustainable Effluent Irrigation Phase I: Literature Review, International Perspective and Standards. Tech. Rept. Prepared for Irrigation Sustainability Committee, Canada-Saskatchewan, Agriculture Green Plan. 1996.
17. Cameron, D. R. Sustainable Effluent Irrigation Phase II: Review of Monitoring Data, Moose Jaw. Tech. Rept. Prepared for Irrigation Sustainability Committee, Canada-Saskatchewan, Agriculture Green Plan. 1997.
18. Haruvy, N. Wastewater Reuse-regional and Economic Considerations. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 23, pp.57-66. 1998.
19. Fatta, D. and Kythreotou, N. Wastewater as Valuable Water Resource - Concerns, Constraints and Requirements Related to Reclamation, Recycling and Reuse. IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance, Greece. 2005.
20. Shelef, G. The Role of Wastewater Reuse in Water Resources Management in Israel. *Wat. Sci. Tech.* Vol.23, pp.:2081-2089. 1990.
21. Saber, M. S. M. Prolonged Effect of Land Disposal of Human Waste on Soil Conditions. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 18, pp.371-374. 1986.
22. Feizi, M. Effect of Treated Wastewater on Accumulation of Heavy Metals in Plants and Soil. International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul, Korea. pp.137-146. 2001.
23. Smart, M. K. Effects of Long-Term Irrigation with Reclaimed Water on Soils of the Northern Adelaide Plains, South Australia. *Australian Journal of Soil Research*.
24. Patterson, R. A. 1996. Soil Hydraulic Conductivity and Domestic Wastewater. *Wat. Scie. and Technol.* Vol. 43. No. 12. pp. 103-108. 2003.
25. Alizadeh, A., Using Reclaimed Municipal Wastewater for Irrigation of Corn. International Workshop on Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul. Korea. pp.147-154. 2001.
26. Hussain, G. Al-Saati, J.A. Wastewater Quality and its Reuse in Agriculture in Saudi Arabia. *Desalination*. Vol.123. pp. 241-251. 1999.
27. Mahida, U. N. Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. McGraw-Hill pub., New Delhi., 323 pp. 1981.

28. 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.
29. Farhood, M. R., Amin, S. Groundwater Contamination by Heavy Metals in Agricultural Water Resources of Shiraz Area. International Workshop in Wastewater Reuse Management. ICID-CIID. Seoul, Korea. pp.95-103. 2001.
30. Cheng, A. C., Warknek, J. E., Page, A. L., Land, A. J. Accumulation of Heavy Metal in Sewage Sludge Treated Soils. *J. Environ. Qual.* Vol.13. pp.87-90. 1984.
31. Khai, N. M. 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, Sweden. 2007.
32. Shuval, H. I., Adin, A., Fattal, B., Rawitz, E., Yekutieli, P. Wastewater Irrigation in Developing Countries. Health Effects and Technical Solutions. World Bank Tech. Pap. 51, 325pp. 1986.
33. Shuval, H. I., Yekutieli, P., Fattal, B. Epidemiological Evidence for Helminth and Cholera Transmission by Vegetables Irrigated with Wastewater: Jerusalem - a Case Study. *Wat. Sci. Technol.*, Vol.17, pp. 433-442. 1984.
34. Ayers, R.S. and Westcot, D.W. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 29, FAO, Rome, Italy. 1985.
35. WHO. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. WHO Tech. Rep. Ser. 778, Geneva. 1989.
36. US. Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. Report No. EPA. 625/R-04-108. 2004.
37. Strauss, M. Reuse of Wastewater in Urban Agriculture. ETC-RUAF, CTA Pub. Wageningen, Netherlands. 2001
38. Kamizoulis, G. Setting Health Based Targets for Water Reuse (in Agriculture). *Desalination* 218:154-163. 2008.
39. Salgot, M. Water Reclamation, Recycling and Reuse: Implementation Issues. *Desalination*, 218:190-197. 2008.