تهیه رهنمودهای شیمیایی مرتبط با سلامتی انسان در خصوص آبیاری با فاضلاب تصفیه شده ★

ترجمه : رامین نبی زاده* یلدا بسیم**

چکیده

روشهای تهیه رهنمودهای شیمیایی مرتبط با سلامتی انسان با قابلیت کاربرد در مقیاس جهانی در مورد استفاده از فاضلاب بررسی شد . دو روش را می‌توان در خصوص تهیه رهنمودهای بارگذاری آلاینده‌ها به‌کار برد:

الف - جلوگیری از تجمع آلاینده‌ها در خاکهای پذیرنده مواد زاید

ب - بیشینه‌سازی ظرفیت خاک جهت جذب ،کاهش و خنثی سازی مواد شیمیایی مضر

میزان بارگذاری آلاینده‌ها بر اساس روش نخست با اصول بنیادی حفظ تعادل اکولوژیکی خاک منطبق است. اما معمولاً حدودکمّی آنها بسیار مشکل بوده و جوامع نمی‌توانند این مقررات را تامین کنند. توصیه‌های حاصل از روش دوم حداکثر بار مجاز آلاینده‌های خاک را به میزانی معرفی می‌کند که بیش از آن مقادیر آلاینده‌ها ممکن است برای جمعیتهای تحت تماس مضر باشند. روشی در مورد کاربرد رویه دوم تجربه شد.جهت استفاده فاضلاب در زمین، حدود بارگذاری آلاینده‌ها با توجه به انتقال آلاینده‌ها از زنجیره غذایی از طریق جذب توسط غلات و حبوبات، سبزیها، گیاهان ریشه‌ای ـ غده‌ای و میوه‌های به ثمر رسیده از خاکهای در معرض فاضلاب به دست می‌آیند.

واژه‌های کلیدی

استفاده مجدد از آب ، استاندارد کیفیت آب در آبیاری ، آلودگی خاک ، مواد شیمیایی سمی

مقدمه

فاضلاب شهری اغلب در زمینهای کشاورزی بکار برده می‌شود. تنها بیش از ۳۰۰۰ منطقه آبیاری شده با فاضلاب در ایالات متحده امریکا وجود دارد. در کشورهای در حال توسعه کاربری فاضلاب در اراضی همواره به عنوان شیوه دفع فاضلابهای شهری و همچنین تامین آب مورد نیاز کشاورزی بوده است .به عنوان مثال در کشور چین حداقل $1/33 \times 10^6$ هکتار از زمینهای کشاورزی با فاضلابهای شهری تصفیه نشده و یا نیمه تصفیه شده شهرها آبیاری می‌شوند. در شهر مکزیکوسیتی ، پایتخت پانزده میلیون نفری کشور مکزیک ، بیش از هفتاد هزار هکتار از زمینهای کشاورزی خارج از شهر با فاضلاب تصفیه شده آبیاری می‌شود. با بررسی مبانی این تجربیات ، کاربرد فاضلاب در زمین در هر منطقه‌ای امکان‌پذیر می‌گردد. اخیراً رهنمودها و دستورالعمل های متعددی جهت استفاده فاضلاب تصفیه شده در آبیاری محصولات کشاورزی بوجود آمده است. ولیکن هیچ یک از آنها به قدر کافی جوانب سلامتی انسان در رابطه با ورود آلاینده‌های سمی از طریق آبیاری با فاضلاب را مورد توجه قرار نداده‌اند . ما متون فنی مربوطه را بررسی کرده و سعی نموده‌ایم به بحث پیرامون سوالات زیر بپردازیم .

۱- جهت آبیاری با فاضلاب از کدام روشها برای تهیه رهنمودهای شیمیایی مرتبط با سلامتی با قابلیت کاربری در مقیاس جهانی می‌توان استفاده کرد ؟

۲- آیا اطلاعات فنی برای تهیه این رهنمودها کافی است ؟ در صورت مثبت بودن پاسخ ، کدام آلاینده‌ها باید در نظر گرفته شوند و حدود کمی آنها چقدر است ؟

روشهای وضع استاندارد شیمیایی

جهت جلوگیری از ایجاد آثار سوء ناشی از ورود آلاینده‌ها به زمین در مصرف‌کنندگان محصولات کشاورزی آبیاری شده با فاضلاب دو روش را می‌توان در وضع استانداردها بکار برد.

۱- جلوگیری از تجمع آلاینده‌ها در خاکهای پذیرنده مواد زاید

در این روش فرض می‌شود که خاک یک منبع غیر قابل جایگزینی برای بشر است. اگر خاک عاری از هر گونه آلاینده‌ای باشد بدون هیچ محدودیت خاصی می‌توان از آن استفاده کرد و محصولات روییده از این خاک حاوی مقادیر مضر آلاینده‌ها نخواهند بود. اگر آلاینده‌های ورودی از طریق کاربرد فاضلاب در زمین تجمع یابند، ممکن است استفاده بالقوه از زمین در درازمدت دچار محدودیت شود.هدف ،قانونمند کردن کاربرد فاضلاب در زمین و جلوگیری از تجمع آلاینده‌ها در خاکهای پذیرنده است. بنابراین استفاده از فاضلاب نباید باعث افزایش چشمگیر آلاینده‌ها در خاک شود. در صورت تأمین این ضابطه پایداری خاک جهت استفاده از آن در آینده تضمین خواهد شد و انتقال آلاینده‌های بالقوه خطرناک از طریق زنجیره غذایی به حداقل میزان ممکن می‌رسد. بنابراین سلامتی انسان با جلوگیری از آلودگی خاک حفظ می‌شود. برای اینکه مقدار آلاینده‌ها در خاک افزایش پیدا نکند باید آلاینده‌های ورودی ناشی از کاربرد مواد زاید در خاک با آلاینده‌های خروجی از طریق روانابهای سطحی،نشت،کاهش اتمسفری،و جذب توسط گیاهان در تعادل باشد. تحت شرایط فوق مقدار مجاز آلاینده‌های ورودی اندک خواهد بود.

به طور کلی ایده بنیادی که این روش بر پایه آن استوار گردیده با اصول اکولوژیکی کاملا منطبق است. یک مزیت کاربرد این روش جهت تهیه استانداردها این است که به اطلاعات دقیق در مورد سرنوشت نهایی و گردش آلاینده‌ها، راههای تماس و رابطه دوز- واکنش نیازی نیست . حدود کمّی آلاینده‌ها با برقراری موازنه ساده جرم به دست آمده و نتایج در مقیاس جهانی قابل اجرا خواهد بود. به هر صورت هزینه شبکه دفع و تصفیه فاضلاب به لحاظ تکنولوژیهای پیشرفته‌ای که باید در تصفیه فاضلاب بکار گرفته شود افزایش می‌یابد یا اینکه زمین مورد نیاز جهت پذیرش همان مقدار فاضلاب بیشتر خواهد بود.

۲- بیشینه‌سازی ظرفیت خاک جهت جذب و خنثی سازی آلاینده‌ها

موضوع بحث این قوانین استفاده کامل از ظرفیت خاکها جهت کاهش آلاینده‌ها می‌باشد. اگر در عملیات کاربری از زمین مدیریت صحیح اعمال شود فواید کاربرد فاضلاب در کشاورزی مشخص می‌شود و تجمع آلاینده‌ها به مقداری که برای افراد تحت تماس مضر باشد نخواهد رسید. همان گونه که در بخش پیش بدان اشاره شد قوانین

---

* - دانشجوی دکتری بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تهران
** - دانشجوی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کرمان

جدول ۱ - معیارهای کیفیت آب جهت آبیاری در چند کشور منتخب

پارامترها	واحد	کانادا خاکها ۱۹۹۱	امریکا خاکهای شنی ۱۹۷۳	تایوان خاکها ۱۹۷۸	مجارستان خاکها ۱۹۹۱	عربستان سعودی جمهوری خلق چین برنجکاری	سبزیها زمینهای خشک	تمام خاکها بدون تاریخ	تونس تمام خاکها بدون تاریخ
pH				۶-۹	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۸/۵	۶-۸/۴	۶/۵-۸/۵
کل جامدات محلول	mg/L	۵۰۰-۲۵۰۰				۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰		۱۰۰۰-۲۰۰۰
هدایت الکتریکی	Mmho/Cm 25C			۷۵۰					
جامدات معلق	mg/L			۱۰۰		۱۵۰	۲۰۰	۱۰	۷۰۰
کلرید	mg/L			۱۷۵		۲۵۰	۲۵۰	۲۸۰	۳۰
سولفات	mg/L			۲۰۰					۲۰۰
کل نیتروژن جلدال	mg/L			۱		۳۰	۲۰		
BOD	mg/L					۱۲	۱۵	۱۰	
COD	mg/L			۸۵		۸۰	۳۰۰		۹۰
	°C درجه حرارت			۳۵		۱۵۰	۳۵		
آلومینیوم	µg/L			۵۰۰۰		۲۰۰	۳۵		
ارسنیک	µg/L			۱۰۰۰		۱۰۰	۵۰		۵۰۰۰
باریم	µg/L			۵۰۰		۱۰۰	۱۰۰		۱۰۰
بریلیم	µg/L			۷۵۰		۱۰۰-۲۰۰۰			
برا (کل)	µg/L			۱۰		۵۰۰-۶۰۰			۲۰۰۰
کادمیم	µg/L			۱۰		۵			۱۰
کرم (کل)	µg/L			۱۰۰		۱۰۰			۵۰
کبالت	µg/L			۵۰		۱۰۰			۵۰۰
مس	µg/L			۲۰۰		۲۰۰-۱۰۰۰			۲۰۰
فلوئور (کل)	µg/L			۱۰۰۰		۲۰۰۰-۳۰۰۰			۳۰۰
آهن	µg/L			۱۰۰		۲۰۰۰-۳۰۰۰			۵۰۰۰
سرب	µg/L			۵۰۰۰		۱۰۰			۱۰۰
لیتیم	µg/L			۲۵۰۰		۱۰۰			۱۰۰
منگنز	µg/L			۲۰۰۰		۱۰۰۰-۲۰۰۰			۵۰۰
جیوه	µg/L			۵		۵			۲۰۰
مولیبدن	µg/L			۱۰		۱			۱
نیکل	µg/L			۱۰-۵۰		۱			۱۰
سلنیم	µg/L			۲۰۰		۱			۲۰
نقره	µg/L			۲۰-۵۰		۱			۱۰۰
تالیم	µg/L			۲۰		۲۰			۱۰۰
وانادیم	µg/L			۱۰۰		۲۰			۵۰۰
روی	µg/L			۲۰۰۰		۲۰			۵۰۰
سیانید	µg/L			۱۰۰۰-۵۰۰۰		۲۰			۵۰۰۰
مواد فعال کننده سطحی	µg/L			۱۰۰۰		۲۰			۱۰۰۰
فنل و ترکیبات	µg/L			۵۰۰۰		۲۰			۸۰۰۰
بنزن	µg/L			۵۰۰		۲۰			۲۵۰۰
آلی	µg/L			۵۰۰		۲۰			۲۰۰۰
نفت	µg/L			۱۰۰۰		۲۰			۵۰۰
متانول	µg/L			۵۰۰		۲۰			۱۰۰
نرخ کاربامات ئید	µg/L			۵۰۰		۲۰			۱۰۰
پرمیون الدئید	µg/L			۵۰۰		۲۰			۱۰۰
فنل	µg/L			۲۰۰۰		۲۰			۱۰۰

اطلاعات گرفته شده از محیط زیست کانادا ۱۹۸۷ - انجمن ملی علوم و آکادمی مهندسی ۱۹۷۳،۱۹۷۸ و سازمان حفاظت م

کاربری فاضلاب در زمین مبتنی بر حدود بارگذاری مشکل بوده و موجب عدم استفاده از گزینه کاربری فاضلاب در زمین است . عواقب مقبول شمردن سایر گزینه‌های دفع نظیر تخلیه مواد زاید در آبهای پذیرنده حساس از نظر اکولوژیکی ممکن است نامطلوب‌تر نیز باشد. استانداردهای کاربرد زمین در تصفیه فاضلاب باید تنها بر اساس حداکثر مقادیر مجاز و یا حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌ها در خاک تهیه شود و برای کاربران این گزینه انعطاف لازم را در کاربری زمین در تصفیه فاضلاب به طور اطمینان بخش و منطبق با شرایط محلی فراهم آورد.

در آبیاری غلات راههای انتقال متعددی وجود دارد که از طریق آنها انسان ممکن است در معرض آلاینده‌های حاصل از کاربرد فاضلاب در آبیاری واقع گردد. با علم به راههای تماس و پارامترهای تعیین کننده میزان انتقال فاضلاب در هر مسیر ، حداکثر حدود بارگذاری مجاز آلاینده‌ها تعیین می‌شود. به منظور فراگیر و جامع بودن مقررات، هر ماده سمی موجود در فاضلاب باید شناسایی و از طریق مسیرهای تماس ردیابی شده و حدود کمّی آن مشخص شود.

ارزیابی قوانین و معیارهای کنونی آب در آبیاری

جدول ۱ مقادیر عددی معیارهای تهیه شده در چند کشور را بطور خلاصه نشان می‌دهد. پنج مورد از هفت مورد در این مجموعه معیارها اختصاصاً جهت آبیاری با فاضلاب بوجود آمده‌اند (به عنوان مثال تایوان، مجارستان ، جمهوری خلق چین،عربستان سعودی و تونس).از نظر تقدم زمانی هفت مجموعه معیار مربوط به کیفیت آب در آبیاری در طی ۲۰ سال پدید آمده‌اند.آگاهی دانشمندان در مورد رفتار آلاینده‌ها در فاضلاب و خاک در طی این مدت پیشرفتهای شگرفی نموده است. مقادیر بیان شده در جدول ۱ می‌تواند بیانگر تکامل تفکر دانشمندان باشد. به‌طور کلی حدود کمی آلاینده‌هایی که بر اساس این معیارها تعیین می شوند به مقدار قابل توجهی بیشتر از غلظت همان عناصر در آبهای طبیعی و پساب فاضلابهای تصفیه شده است. در برخی مواد (به عنوان مثال ارسنیک،کروم،مس،روی) حتی غلظت آلاینده‌ها در فاضلاب شهری تصفیه شده، بعید است از حدود کمی مربوطه تجاوز کند و به هر حال تشابهاتی بین این معیارها از نظر اجزاء موجود و حدود کمی آنها وجود دارد. نکته بسیار قابل توجه این است که برخی از عناصر شیمیایی مانند ارسنیک ، بر، کادمیم، کروم، مس ، سرب و روی در تمام فهرستها وجود دارند. حداکثر غلظت مجاز بعضی از عناصر (کادمیم ، سلنیم ، جیوه و ...) کاملا با استانداردهای آب آشامیدنی یکسان است. گرچه این معیار جهت محافظت گیاهان از خطرات کافی است ، ولی ممکن است که آلاینده‌ها در خاک تجمع یابند. بنابراین عوارض سوء بر سلامتی انسان در طی استفاده درازمدت و مکرر از فاضلابهایی که به معیارهای کیفی آب در آبیاری دست یافته‌اند نیز روشن نیست.

در آبیاری با فاضلاب تنها برخی مواقع محدودیتهایی از نظر مواد جامد معلق، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و چند ماده شیمیایی آلی (چربی و روغن ، تری کلرواتیلن ، هیدروکربنهای نفتی و بقایای پاک کننده‌ها) مطرح بوده است . ولیکن هیچکدام از آنها بر پایه اثرات سم شناسی نبوده است. این مواد شیمیایی احتمالا به خاطر اثرات بالقوه‌ای که در بهره‌برداری و نگهداری (BOD مواد جامد معلق ، چربی و روغن)، آلودگی آبهای زیرزمینی (تری کلرواتیلن، مواد هیدروکربنی و بنزن)، یا رشد گیاهان (هیدروکربنهای نفتی ، باقیمانده مواد پاک کننده و غیره) دارند مورد توجه قرار گرفته‌اند. در نظر گرفتن بسیاری از عناصر مانند آلومینیوم،باریم،بریلیم،کبالت،آهن ، مس ، لیتیم ، منگنز ، مولیبدن، نقره ، انادیم و روی در انتقال آلاینده‌های فاضلاب از طریق زنجیره مواد غذایی به محصولات کشاورزی و به انسان ضرورتی ندارد. حدود کمی در بسیاری موارد در معیارهای مختلف یکسان بوده اما در برخی موارد یک یا دو برابر اختلاف داشته است.به هر حال روشن نیست که این تفاوت یک اختلاف واقعی از

دیدگاه نظری بوده یا به طور ساده از شرایط رشد گیاهان یا شرایط خاص خاک منطقه مورد استفاده، نشأت گرفته است. مشاهده برخی ترکیبات (هیدروکربنهای نفتی، بقایای پاک کننده‌ها، بنزن و غیره) در آبیاری زمین با فاضلاب بدون تردید نشان دهنده وجود ترکیبات مذکور در جریان فاضلاب است.

ارزیابیهای مبتنی بر خطر در خصوص مخاطرات بهداشتی برای انسان

یک ارزیابی مبتنی بر خطر جامع و فراگیر معمولا به طور عمده شامل چهار قسمت اساسی است که عبارتند از شناسایی خطر، آزمایشها و برآورد تماس، ارزیابی رابطه دوز - پاسخ و تعیین و تشخیص عوامل مخاطره آمیز (آکادمی ملی علوم، ۱۹۸۳).

جهت استفاده از ارزیابیهای مبتنی بر خطر در تعیین حدود کمی در استفاده از زمین در تصفیه فاضلاب، ضرورتاً اجزای اطلاعاتی یکسانی مورد نیاز است.در این مورد ابتدا باید حداکثر میزان تماس مجاز دریافت کننده از طریق دوز- پاسخ و بر پایه احتمال خطر قابل قبول تعیین شود. چگونگی تماس در مورد مسیر انتقال هر آلاینده باید مشخص شود و بارگذاری مجاز آلاینده (ورودی) از طریق کاربرد فاضلاب در زمین باید بر طبق روابط ریاضی که انتقال مواد سمی را از راههای تماس معین می‌کنند، محاسبه گردد. ایده ارزیابی خطر در حرفه مهندسی بهسازی یک تفکر جدید و ناآشنا نیست.

جهت تعیین حدود کمی آلاینده‌ها در کار برد زمین در تصفیه فاضلاب باید مراحل زیر دنبال شود.

شناسایی خطر

ما مواد شیمیایی بالقوه خطرناک را طبق روشهای مورد استفاده توسط سازمانهای ملی و ارگانهای بین‌المللی مورد بررسی قرار داده‌ایم . برای مثال ۲۳۶ ماده شیمیایی آلی و معدنی در قوانین آب آشامیدنی و توصیه‌های بهداشتی سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده یافت شده‌اند. این مواد شیمیایی (۳۰ ماده آلی و ۲۰۶ ماده معدنی) جهت اقدامات قانونی در نظر گرفته شده‌اند. تعداد کمی از این مواد به دلیل اثرات احتمالیشان بر عملکرد فرایندهای تصفیه آب یا به علت تاثیر بر میزان مقبولیت آب نزد مصرف کنندگان در این فهرست قرار گرفته‌اند. اکثر آنها با توجه به اثرات سوء بالقوه‌ای که بر سلامتی انسان دارند در یک فهرست آورده شده‌اند.سند دیگری از همان سازمان (EPA) دارای فهرستی از مواد زاید خطرناک مشتمل بر ۲۰۴ ماده شیمیایی است .

مراحل ارزیابی بهداشتی آبیاری با فاضلاب تصفیه شده

مرحله	کارهای قابل انجام
شناسایی خطر	استفاده از داده‌های اپیدمیولوژی و سم شناسی محیط و اطلاعات راجع به ترکیبات شیمیایی فاضلاب جهت شناخت آلاینده‌های سمی بالقوه که باید مورد توجه قرار گیرند.
آنالیز دوز- پاسخ	تعیین حداکثر دریافت آلاینده‌های مجاز در جمعیتهای در معرض تماس به صورت میزان دریافت روزانه قابل قبول (ADI)
مسیرتماس وتحلیل چگونگی آنها	شناخت مسیرهای زیست محیطی و چگونگی تماس از طریق جمعیتهایی که ممکن است در تماس با آلاینده‌ها قرارگیرند
محاسبه‌مقدار بارگذاری آلاینده‌ها	بر پایه اطلاعاتADI ، مسیرهای تماس و چگونگی تماس مقدار مجاز آلاینده‌ها در خاک‌به‌طور کمی تعیین می‌گردد.

بسیاری از مواد شیمیایی در هر دو فهرست وجود دارند. از سال ۱۹۷۶ ، ۱۲۹ ماده وگروه مواد که سمی ، مقاوم و قابل تجمع زیستی می‌باشند توسط انجمنهای اروپایی شناسایی شده و چندین کشور خواهان حذف آلودگی ایجاد شده توسط این مواد شیمیایی شده‌اند.

در نظر گرفتن مواد شیمیایی مطرح شده توسط همه ارگانها و تعیین حداکثر مقادیر مجاز برای صدها ماده شیمیایی آلی که برخی اوقات به مقادیر جزیی در فاضلاب وجود دارند کاری غیر عملی است.به دلیل فقدان روشی بهتر و مناسبتر جهت کاهش تعداد این مواد، ما فهرستهای کنونی و مواد منتخب راکه مکررا و مشترکا در این فهرستها وجود دارند، مقایسه نموده‌ایم.

آزمایشهای دوز - پاسخ

مطالعات سم‌شناسی مبتنی بر زیست آزمونهای جانوری در تماسهای کوتاه مدت و با دوز بالا اغلب اساس تعیین کمی روابط دوز- پاسخ می‌باشند. عدم اطمینان ناشی از فرایابی‌های انجام شده از جانوران به انسان و از دوزهای بالا به دوزهای پایین در تعیین رابطه دوز- پاسخ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای بسیاری از جوانب راه حلی وجود ندارد. با این حال ، حل مسایل مربوط به عدم اطمینان دوز- پاسخ در حوزه بحث این مطالعه نیست . از طریق آزمایشهای دوز- پاسخ انجام شده توسط متخصصان سم شناسی ، میزان دریافت قابل قبول روزانه (ADI) برای مواد شیمیایی سمی تعیین شده است . ما به عنوان منبع اولیه اطلاعاتی ، مقادیر منتشر شده در قوانین آب آشامیدنی و توصیه‌های بهداشتی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (۱۹۹۱) را بر می‌گزینیم .

آزمایشهای تماس

به عنوان نمونه در یک ارزیابی مبتنی بر خطر که گسترده‌ترین شکل آن توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا صورت گرفت چهار مسیر انتقال آلاینده (به همراه تعیین دقیق چگونگی تماس برای هر مسیر) جهت تهیه استانداردهای دفع لجن فاضلاب بررسی شد. مدارک تاییدی که استانداردها بر پایه آنها تعیین می‌شوند، تاکنون کامل ترین تجزیه و تحلیل مبتنی بر خطر است که در خصوص کاربرد لجن فاضلاب در زمین انجام گرفته است. (سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، ۱۹۹۲).

مسیرهای تعیین شده در این مدارک و اسناد تقریباً

جدول ۲- مواد شیمیایی که غالباً در قوانین مطرح می‌شوند.

مواد معدنی	مواد آلی	
ارسنیک	آلدرین	هگزاکلرواتان
باریم	بنزن	پیرین ها
بریلیم	بنزوپیرن	لیندین
کادمیم	تتراکلریدکربن	متوکسی کلر
کروم	کلردان	پنتاکلروفنل
سیانید	کلروبنزن	PCBs
فلوئور	کلروفرم (تری هالومتان ها)	تتراکلرواتان
سرب	دی کلرواتان ها	تتراکلرواتیلن
جیوه	دی کلروفنل ها	تولوئن
نیکل	2,4-D	توکسافن
سلنیم	دیلدرین	2,4,5-T
نقره	هپتاکلر	تری کلرواتان
	هگزاکلروبنزن	تری کلروفنل

تمام‌راههای احتمالی انتقال زیست محیطی آلاینده‌ها به واسطه کاربرد مواد زاید در زمین و همچنین دریافت کنندگان این آلاینده‌ها شامل کودکان و افراد بالغ ، احشام ، گیاهان، موجودات زنده خاک و گونه‌های مختلف صیادان در خاک را در بر گرفته است.

الگوهای مصرف غذا که به همراه ADI جهت تعیین غلظت مجاز آلاینده‌ها در غذا باید به کار روند به طور قابل توجهی از یک منطقه به منطقه دیگر تفاوت دارند. حتی اگر تمام رژیمهای غذایی به حالت نرمال در آیند باز هم اختلافات عمده‌ای در تمایل به گروههای غذایی به طور محلی که Ksp آنها معلوم نشده است ، وجود دارد. به منظور تخمین میزان دریافت باقیمانده آفت کشها در سطوح بین‌المللی ، FAO (سازمان خواروبار کشاورزی) استفاده از میانگین مواد غذایی فهرست شده در"فهرست توازن غذایی " را توصیه می‌کند (رژیم غذایی جهانی).

در رژیم غذایی جهانی غلات و حبوبات،سبزیها، گیاهان ریشه‌ای و غده‌ای و میوه‌ها به عنوان ۷۶ درصد از کل مصارف غذایی روزانه گزارش شده‌اند. پتانسیل آلاینده‌های ناشی از فاضلاب در انتقال به انسان از طریق سایر گروههای مواد غذایی (لبنیات و محصولات دامی،روغن و چربی،کره ، شکر، عسل و غیره) نسبتاً کم است . ما بر اساس ملاحظات فوق یک روش تشریح چگونگی تماس را تعیین کردیم که این روش چگونگی تماس یک فرد بالغ را نشان می‌دهد که مواد غذایی خود را از غلات و حبوبات،سبزیها، گیاهان ریشه‌ای و غده‌ای و میوه‌هایی که تماماً در خاکهای آبیاری شده با فاضلاب رشد کرده‌اند، دریافت می‌کند. ذیلا شرایط مورد نظر در این محاسبات به طور خلاصه ارائه شده‌است.

الف–طبق رژیم غذایی جهانی میزان دریافت غذای روزانه برای غلات و حبوبات ، سبزیها، گیاهان ریشه‌ای و غده‌ای و میوه‌ها به ترتیب ۰/۴۰۵ و ۰/۲۱۲ و ۰/۲۸۸ و ۰/۲۳۵ کیلوگرم وزن تازه می‌باشد. ضرایب تبدیل وزن تازه به وزن خشک به ترتیب ۰/۹ و ۰/۰۵ و ۰/۲ و ۰/۰۵ برای مواد غذایی مذکور به کار می‌رود. سایر موارد در رژیم غذایی تحت تاثیر کاربرد فاضلاب در زمین قرار نمی‌گیرند.

ب – تنها بخش کوچکی از رژیم غذایی افراد تحت تماس با آلاینده‌ها ممکن است تحت تاثیر کاربرد فاضلاب در آبیاری قرار گیرد. اطلاعات چندانی در مقیاس جهانی جهت توجیه و تفسیر مقادیر خاص وجود ندارد. ما ضریب ۱۰۰ درصد را در محاسبات انتخاب می‌کنیم . این رویه محافظه کارانه است و چگونگی تماس را برای جمعیتهایی بیان می‌کند که در مناطق کاربری فاضلاب در زمین زندگی می‌کنند و به طور کامل از غذاهای تولید شده محلی استفاده می‌نمایند.

ج – ضریب تسهیم آلاینده‌ها در گیاهان (مواد غذایی) و خاک ، Ksp ،[نسبت (میلی‌گرم آلاینده‌ها برکیلوگرم غذا) تقسیم بر (میلی‌گرم آلاینده بر کیلوگرم خاک)] برای مواد معدنی با داده‌های به دست آمده توسط کاباتا– پندیاس و پندیاس در سال ۱۹۸۴ که از طریق مطالعات وسیع ژئوشیمیایی گردآوری شده است تعیین می‌گردد. Ksp غلات و حبوبات ، سبزیها ، گیاهان ریشه‌ای و غده‌ای و میوه‌ها به طور جداگانه‌ای تعیین می‌شود. Ksp آنها از میانگین داده‌های جدول بندی شده بسیاری از منابع وسیع جهانی مستقل به دست آمده و در نهایت به صورت یک تخمین اولیه گزارش می‌گردد. از آنجایی که داده‌های واقع‌گرایانه‌تری در مورد ارسنیک،کادمیم،سرب،جیوه و نیکل در دست است ، آنها طبق اطلاعات موجود در سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا محاسبه می‌شوند. آلاینده‌های آلی غیر یونی از مقادیر Kow بر طبق اطلاعات ارائه شده توسط تراویس و ارمس محاسبه می‌شود. از آنجا که موازنه گروههای غذایی تفاوتی با هم ندارند ، Ksp چهار گروه یکسان فرض می‌شود.

د – برای آلاینده‌های معدنی و غیر سرطان‌زا ADI دوز مرجع آلاینده بوده و مربوط به میزان آلاینده بدون اثر سوء مشهود است .ADI برای مواد سرطان زا با استفاده از مقدار آلاینده تخمینی با در نظر گرفتن احتمال ایجاد سرطان به میزان 10^{-6} محاسبه می‌شود. در این محاسبه وزن یک فرد بالغ ۶۰ کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود.

هـ – برای انجام این محاسبات فرض می‌کنیم که تماس با آلاینده(مقدار زمینه‌ای آلاینده+ مقدار آلاینده پس از ورود فاضلاب به زمین) از مصرف غلات و حبوبات ، سبزیها، گیاهان ریشه‌ای و غده‌ای و میوه‌ها تا ۵۰ درصد میزان دریافت قابل قبول روزانه (ADI) برای تمام آلاینده‌ها می‌باشد.

و – حداکثر غلظت آلاینده‌های خاک (میلی‌گرم آلاینده تقسیم بر کیلوگرم) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Cs = [\ ADI\ (mg / kg\ Bw.\ day)\times 60\ (kg\ \ Bw)\times 0.5] / S\ [I_i\times f_i\times K_{spi}\times FD_i]$$

I= مصرف مواد غذایی (Kg/day)

f= درصد مواد غذایی تحت تاثیر کاربرد فاضلاب در زمین

Ksp= ضریب تسهیم گیاه – خاک [(mg/Kg)/(mg/Kg)]

FD = ضریب تبدیل وزن تازه به وزن خشک

i = زیرنویس نشان دهنده غلات و حبوبات ، سبزیها، گیاهان ریشه‌ای – غده‌ای و میوه‌ها

پارامترهای به کار رفته در محاسبات در جدول ۱ توسط چانگ و همکارانش در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است و نتایج نهایی محاسبات در جدول ۳ خلاصه گردیده است .

بر پایه این تجزیه و تحلیل روشن است که در صورت وجود بعضی ازاجزا (ارسنیک ، کادمیم ، جیوه ، الدرین ، کلردان ، دیلدرین ، لیندین و 2،4،5 T)احتمالا کاربرد فاضلاب در زمین محدود می‌شود. زیرا مقادیر مجاز این مواد در خاک (Cs) به دلیل پایین بودن ADI یا Ksp بالا بسیار کم است . سایر موارد (باریم ، کروم ، فلوئور و ...) نیازی به وضع استاندارد قانونی ندارند چرا که Cs آنها بسیار بیشتر از حد آستانه است و مقدار آنها تحت شرایط معمول استفاده فاضلاب در زمین افزایش پیدا نمی‌کند. به هر حال تحقیقات بیشتر جهت تایید یافته‌های اولیه ضروری است . برای مثال Cs کلروفرم ۱/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است . در حالیکه Ksp این ترکیب از طریق یک معادله تجربی به میزان ۲/۸۱۴ به دست می‌آید . ما نمی‌توانیم هیچ گونه اطلاعاتی را برای اثبات ضریب واقعی تسهیم گیاه ـ خاک به کار ببریم . همچنین نگران این نکته هستیم که ممکن است حد آستانه محاسبه شده در خصوص فلوئور و سلنیم بسیار زیاد باشد. برخی از شکلهای سلنیم در خاک به آسانی در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و مسمومیت مزمن افراد با سلنیم نیز گزارش شده است . وجود این تناقضات در نتایج نهایی ، ضعف ارزیابی‌های ما را نشان می‌دهد که این مسئله به دلیل کمبود اطلاعات موجود برای مقاصد زیر است :

الف – تعیین دقیق چگونگی تماس

ب – به دست آوردن دقیق ضریب تسهیم خاک ـ گیاه برای آلاینده‌ها

ج – تعیین میزان تماسهای زمینه‌ای

در حالی که معتقدیم پایگاههای اطلاعاتی جهت تعیین حدود کمی می‌تواند بهبود پذیرد، ولی تغییرات اساسی رژیم غذایی تماس زیست محیطی با آلاینده‌ها و ضریب تسهیم گیاه ـ خاک همیشه مسایل غامضی خواهند بود و هرگز در مقیاس جهانی حدود کمی قابل قبولی نخواهد بود. بنابراین باید سوالاتی را به صورت زیر مطرح کرد.

آیا باید یک رهنمود برای کل جهان وجود داشته باشد؟ یا باید کنترل آلاینده‌ها و تعیین حدود کمی آنها عملا و با تکیه بر شرایط محلی و با یک روش ارزیابی استاندارد صورت پذیرد ؟ ما برای این سوالات پاسخی نداریم.

روش شناسی ارائه شده در این مقاله را می‌توان به عنوان پایه‌ای جهت قانونمند کردن رهنمودهای شیمیایی مرتبط با سلامتی انسان برای آبیاری محصولات با پساب بکار برد. به عقیده ما مبنای اساسی کنترل آلودگی آب و نیز استفاده مجدد فاضلاب باید کاهش در منبع باشد. اگر از ورود آلودگی به سیستم‌های جمع‌آوری فاضلاب جلوگیری شود، پساب تصفیه شده نسبتاً عاری از آلاینده‌ها خواهد بود. اگر آلاینده‌های صنعتی بدون هیچگونه کنترلی به سیستم تصفیه فاضلاب تخلیه شوند، آبیاری زمین با فاضلاب تصفیه نشده و یا نیمه تصفیه شده و یا حتی فاضلاب تصفیه شده باید به دقت پایش شود. رهنمودهایی مانند جدول ۳ که حد بالای آستانه بارگذاری آلاینده‌ها را

جدول ۳- حداکثر غلظت مجاز محاسبه شده آلاینده‌ها در خاکهای آبیاری شده با فاضلاب

ترکیبات	حداکثر غلظت در خاک (وزن خشک mg/Kg)
A) عناصر معدنی :	
ارسنیک	۹
باریم	۲۹۰۰
بریلیم	۲۰
کادمیم	۷
کروم	۳۲۰۰
فلوئور	۲۶۰۰
سرب	۱۵۰
جیوه	۵
نیکل	۸۵۰
سلنیم	۱۴۰
نقره	۳
B) ترکیبات آلی :	
آلدرین	۰/۲
بنزن	۰/۰۳
بنزوآلفاپیون	۳
کلردان	۰/۳
کلروبنزن	اطلاعات کافی نیست
کلروفرم	۲
دی کلروفنل ها	اطلاعات کافی نیست
D- ۴ و ۲	۱۰
DDT	اطلاعات کافی نیست
دیلدرین	۰/۰۳
هپتاکلر	۱
هگزاکلروبنزن	۴۰
هگزاکلرواتان	۲
پیرین	۴۸۰
لیندین	۰/۶
متوکسی کلر	۲۰
پنتاکلروفنل	۳۲۰
تتراکلرواتان	۴
PCB_s	۳۰
تتراکلرواتیلن	۲۵۰
تولوئن	۵۰
توکسافن	۹
T-۵و۴و۲	اطلاعات کافی نیست
۸,TCDD و۷و۳و۲	۳۰

تعیین می‌کنند ضروری است . به عقیده ما حداکثر غلظت آلاینده‌های خاک نسبت به مقدار بارگذاری جرمی آنها مرجع جهانی مناسبتری است چراکه شرایطی از خاک را در نظر می‌گیرد که ورای آن انتقال آلاینده‌ها از طریق زنجیره غذایی صرف نظر از محل یا منبع آلاینده ممکن است غیر قابل قبول باشد. همچنین نیازی به الحاظ کاهش آلاینده‌ها در خاک نیست.

نتایج کلی

نتایج کلی زیر را می‌توان بیان نمود:

۱- در اجتماعاتی که یک طرح پیش تصفیه مواد زاید صنعتی جامع و کارامد دارند، پساب حاصل از تصفیه ثانویه و پیشرفته فاضلاب را می‌توان بدون هیچ محدودیتی جهت آبیاری محصولات کشاورزی بکار برد. البته در صورتی که مقدار کاربرد مطابق با نیاز آبی محصولات کشاورزی باشد.

۲- در جایی که تخلیه مواد زاید صنعتی به درستی قانونمند نشده است فاضلابهای تصفیه شده جوامع ممکن است حاوی مقادیر زیادی از آلاینده‌های شیمیایی باشد که استفاده از این فاضلابها باید به دلیل پتانسیل آن در انتقال آلاینده‌ها از طریق زنجیره غذایی محدود شود. جهت کلیه اهداف کاربردی،میزان بارگذاری آلاینده‌های حاصل از در فاضلابهای تصفیه شده و نیمه تصفیه شده جهت آبیاری غلات را می‌توان یکسان فرض نمود .برای استفاده از این نوع آبها در آبیاری زمین و کاربرد کودهای حاصل از لجن فاضلاب در زمین باید مناسبترین مدیریت در کشاورزی اعمال شده و غلظت آلاینده‌ها در خاک نباید از حدود آستانه تعیین شده توسط روش شناسی مشابه با آنچه در این گزارش ذکر شد، تجاوز نماید.

★ Andrew C. Change, Albert L. Page ,Takashi Asano, and Ivanildo Hespanhol, " Developing Human Health Related Chemical Guidelines for Reclaimed Wastewater Irrigation",Wat.Sci.Tech. Vol.33, No.10-11,pp.463-472,1996, Great Britain.