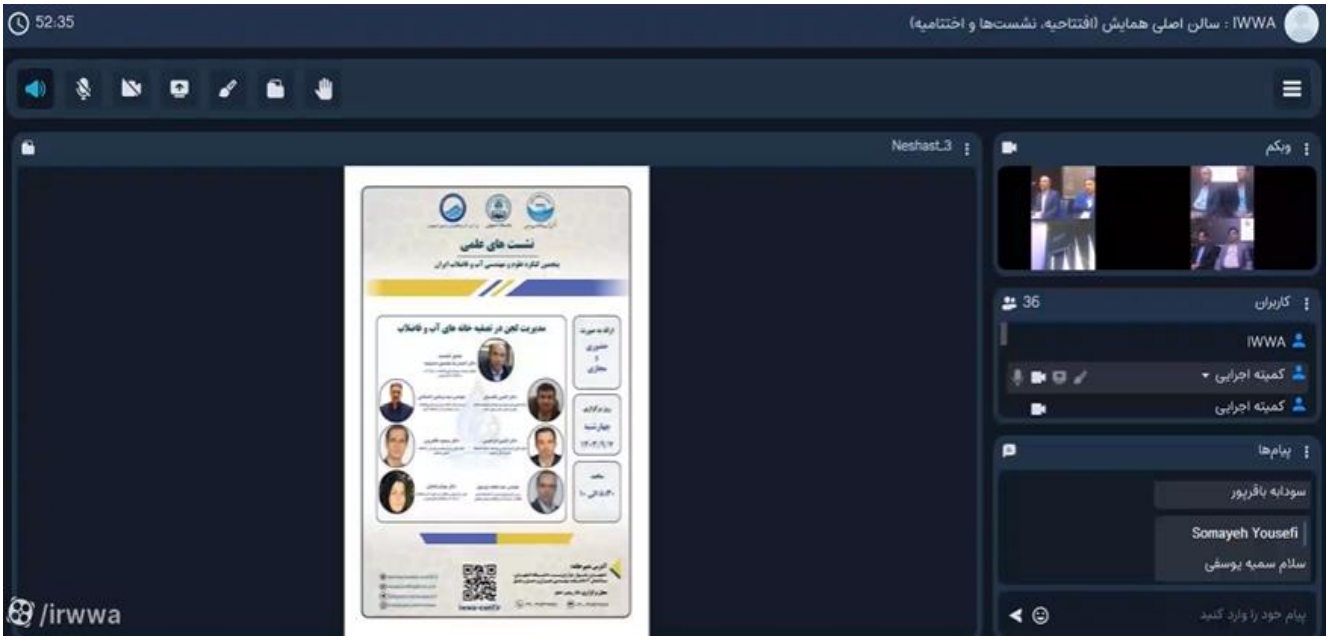
نشست تخصصی مدیریت لجن در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب

(پنجمین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، ۶ تا ۸ آذرماه ۱۴۰۳، دانشگاه اصفهان)

لینک فیلم نشست: https://www.aparat.com/v/cawfci9



اعضای نشست:

دکتر افشین ابراهیمی (عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط‌زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)

مهندس سید مرتضی احتشامی (سرپرست دفتر نظارت بر بهره‌برداری فاضلاب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور)

دکتر مهتاب باغبان (مدیر مرکز پایش و نظارت بر کیفیت آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان تهران)

دکتر افشین تکدستان (عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط‌زیست، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز)

دکتر مسعود طاهریون (عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر احمدرضا محمدی ده چشمه (معاون توسعه و بهره‌برداری فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، مدیر نشست)

مهندس سید محمد موسوی (رئیس گروه بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان)

دکتر احمدرضا محمدی ده چشمه:

عرض سلام و وقت به‌خیر دارم خدمت حضار محترم. از برگزاری این نشست و پرداختن به یکی از پرچالش‌ترین موضوعات مرتبط با تصفیه فاضلاب، یعنی مدیریت لجن، تشکر می‌کنم. بدون فوت وقت، از جناب آقای مهندس احتشامی از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور دعوت می‌کنم تا ارائه خود را آغاز کنند.

مهندس سید مرتضی احتشامی:

عرض سلام و وقت به‌خیر دارم خدمت حضار محترم. من نیز از برگزارکنندگان این نشست تشکر می‌کنم. اجازه بدهید درباره سیمای کلی فاضلاب کشور توضیحاتی خدمت شما عرض کنم.

وضعیتی که اکنون در کشور در حوزه‌ی تصفیه فاضلاب داریم، نسبت به بیست سال پیش بسیار تغییر کرده است. آن‌زمان، وقتی

طراحی تصفیه‌خانه انجام می‌دادیم، هیچ نگاهی به پساب نداشتیم؛ فقط سعی می‌کردیم جایی را پیدا کنیم که پساب را تخلیه کنیم و به‌قول معروف، از شر آن راحت شویم. اما اکنون با توجه به این‌که منابع آبی بسیار محدود شده و منابع مالی ما نیز درحال کاهش است، به این نتیجه رسیده‌ایم که پساب یک عنصر بسیار ارزشمند است و می‌تواند در تعادل‌سازی منابع آبی نقش مهمی داشته باشد. خوشبختانه در چند سال اخیر اقدامات خوبی در زمینه‌ی تصفیه و بازتخصیص پساب صورت‌گرفته است. دستورالعمل‌هایی نیز از سوی شرکت‌های آب و فاضلاب ابلاغ شده که موجب تسریع این روند شده است. وزارت نیرو نیز درگیر این موضوع است و حمایت‌هایی انجام می‌دهد.

موضوع بعدی، لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است که می‌تواند ارزش افزوده زیادی برای صنعت ایجاد کرده و تأمین‌کننده منابع مالی باشد. ضمن این‌که آلودگی‌هایی که اکنون در سطح جامعه پراکنده هستند، می‌توانند با مدیریت صحیح لجن به محصولات قابل‌استفاده تبدیل شوند.

در حال‌حاضر، در کشور نزدیک به پنج میلیون تن کود شیمیایی مصرف می‌شود؛ در حالی‌که لجن می‌تواند جایگزین مناسبی برای بخشی از این کود باشد. علاوه‌بر آن، از لجن می‌توان در هاضم‌های بی‌هوازی برق تولید کرد. در حال‌حاضر ظرفیت تولید ۵۰۰ مگاوات برق از تاسیسات موجود وجود دارد. متأسفانه در تهران، فقط در واحدهای ۱ تا ۴ و هم‌چنین در فیروز بهرام، این کار درحال انجام است و سایر تاسیسات بلااستفاده مانده‌اند.

ما بیش از ۶ میلیون مترمکعب در روز پساب تصفیه‌شده داریم. اگر حساب کنید، این مقدار حجم زیادی لجن تولید می‌کند که می‌توان از آن محصولات با ارزشی به‌دست آورد. همان‌طور که می‌بینید، بخش عمده‌ای از سیستم‌های تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب، سیستم‌های لجن فعال هستند که خودشان قابلیت تولید لجن دارند. در حال‌حاضر، در سطح کشور حدود ۳۷ هاضم بی‌هوازی وجود دارد. برخی از این تاسیسات مجهز به سیستم‌های CHP (تولید هم‌زمان برق و حرارت) هستند، اما برخی دیگر هنوز به‌طور کامل راه‌اندازی نشده‌اند و فقط گاز را بدون بهره‌برداری مناسب می‌سوزانند.

در زمینه تولید گاز، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب پتانسیل بالایی دارند و علاوه‌بر آن می‌توانند ارزش افزوده خوبی برای تاسیسات تصفیه‌خانه داشته باشند. هر کیلوگرم لجن حدود ۲/۷ کیلووات ساعت برق تولید می‌کند که این برای صنعت ما عدد بسیار ارزشمندی است.

روند جمع‌آوری فاضلاب در کشور با سرعت بالایی در حال پیشرفت است. پیش‌بینی می‌شود تا ۷ تا ۱۰ سال آینده، حدود ۵۰٪ کشور تحت‌پوشش شبکه جمع‌آوری فاضلاب قرارگیرد و تا ۱۵ سال آینده این پوشش به ۱۰۰٪ برسد. بنابراین اکنون زمان بسیار مهمی است که برای تاسیسات فاضلاب، فکری جدی کنیم.

ما باید با سه رویکرد لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌ها را مدیریت کنیم: ۱) بازیافت به بهترین شکل ممکن انجام شود؛ ۲) از لجن، محصولات جانبی ارزشمند تولید شود؛ ۳) ایجاد درآمد پایدار برای تاسیسات فاضلاب صورت‌گیرد.

واقعیت این است که تاسیسات فاضلاب باید بنگاه‌هایی خودگردان باشند و بتوانند هزینه‌هایشان را از طریق فروش پساب، فروش لجن و ارائه خدمات به مشترکین تأمین کنند. ما در چرخه اقتصادی توسعه‌ی پایدار، اصلی داریم به‌نام «اصل بازیافت» که باید حتماً درنظر گرفته‌شود. باید نگاه‌مان را به‌سمت اقتصاد زیستی ببریم و مدیریت پایدار پسماند را به‌عنوان منبع زیستی بالقوه جدی بگیریم. لجن نیز به‌عنوان یک منبع زیستی بالقوه، می‌تواند محصولات با ارزشی تولید کند. این نکته بسیار مهم است که به‌سمت آن حرکت کنیم؛ زیرا علاوه‌بر استفاده از لجن، می‌توانیم از انتشار آلودگی‌های محیط‌زیستی نیز جلوگیری کنیم.

در زمینه مدیریت لجن در اروپا، بسیاری از کشورها از ما جلوتر هستند و به‌سمت ایده‌های نو حرکت می‌کنند. بیشتر سیستم‌ها در حال‌حاضر از فناوری لجن‌سوزی استفاده می‌کنند، اما با توجه به شرایط کشور ما، ساخت سیستم لجن‌سوز نیازمند سرمایه‌گذاری بسیار بالایی است. به‌نظر من، بهتر است فعلاً به‌سمت سوزاندن نرویم و بیشتر بر فناوری‌های جایگزین مانند تولید محصولات ارزشمند تمرکز کنیم.

در برخی کشورها از لجن، محصولات مغذی استخراج می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها فسفر است. این‌کار در کشورهای مختلف دنیا انجام می‌شود؛ به‌عنوان مثال، در آلمان حدود ۲۰ واحد سوزاندن لجن وجود دارد که ۷ کارخانه از آن‌ها علاوه‌بر سوزاندن لجن، برق نیز تولید می‌کنند.

حال بیایید وضعیت خودمان را بررسی کنیم. در برخی شهرها، مانند جنوب اصفهان، بعضی از تاسیسات نزدیک مناطق مسکونی ساخته شده‌اند. بنابراین در این مناطق نمی‌توانیم به‌سمت تولید کمپوست برویم، چرا که بخشی از این فرآیند ممکن است موجب انتشار بو و آزار محیط اطراف شود. باید به‌سمتی حرکت کنیم که این فرآیندها به بهترین شکل ممکن انجام شوند و مزاحمتی برای محیط اطراف ایجاد نکنند.

یکی از فرآیندهایی که در شرکت فاضلاب تهران تعریف شده و در حال اجرا است، پیرولیز لجن است که ان‌شاءالله تا چند ماه

آینده به نتیجه خواهد رسید. در این فرآیند می‌توان از لجن، روغن زیستی و محصولات قابل‌سوزاندن تولید کرد. این روش آلودگی محیط‌زیستی بسیار کمی دارد، ولی ارزش افزوده بالایی ایجاد می‌کند.

پیرولیز در واقع یک فرآیند بسته است که در دمای حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود. لجن در این دما به‌جای سوزاندن، به کربن تبدیل می‌شود. بخارات حاصل از لجن نیز که بخارات هیدروکربنی هستند، به مایع روغن سوختی تبدیل می‌شوند و آن مایع قابلیت تبدیل به گازوئیل را نیز دارد.

در انتهای این فرآیند، اگر به‌صورت کامل اجرا شود، حدود ۱۰٪ از لجن به کربن تبدیل خواهد شد. برآورد ما این است که مثلاً یک دستگاه ۱۰۰ تُنی، روزانه حدود ۲۴ میلیون تومان درآمد ایجاد کند. این عدد بسیار قابل‌توجه است و می‌تواند کمک بزرگی به اقتصاد صنعت آب و فاضلاب کشور باشد.

دکتر احمدرضا محمدی ده چشمه:

تشکر می‌کنم از جناب آقای مهندس احتشامی. روش پیشنهادی ایشان برای تولید ارزش افزوده، بسیار جالب و قابل‌توجه بود. اکنون دعوت می‌کنم از جناب آقای مهندس موسوی از اصفهان، رئیس کل بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب این استان، تا مطالب خود را ارائه دهند..

مهندس سید محمد موسوی:

بسم‌الله‌الرحمن‌الرحیم. ضمن عرض سلام و ادب خدمت حضار محترم. من می‌خواهم تجربه شهر اصفهان را در زمینه بهداشت و مدیریت لجن خدمتتان عرض کنم. در حال‌حاضر، اصفهان ۳ تصفیه‌خانه لجن فعال دارد، جنوب، شمال و شاهین‌شهر. عمده فاضلاب اصفهان وارد همین تصفیه‌خانه‌ها می‌شود. حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ تُن کیک لجن با غلظت ۲۰٪ در روز تولید می‌شود. تصفیه‌خانه‌های دیگر به‌صورت لاگون هوادهی فعالیت دارند که بیش از ۲ تا ۳ تُن لجن در روز تولید نمی‌کنند. عمده تصفیه‌خانه‌هایی که به‌صورت لاگون هوادهی هستند، هر ۵ تا ۶ سال یک‌بار لجن خود را تخلیه می‌کنند.

به‌طور کلی، سالانه حدود ۹۳ هزار تُن لجن خشک در اصفهان تولید می‌شود. سرنوشت این لجن‌ها به این‌صورت است که پس از آب‌گیری، توسط ماشین‌های کمپرسی (تحت شرایط ایزوله) که با کشاورزان طرف قرارداد هستند، به مزارع منتقل می‌شوند. در آن‌جا تحت یک مرحله خشک‌سازی قرارگرفته و سپس با کود گاوی مخلوط می‌شوند.

دلیل این‌کار این است که لجن اگر به‌صورت مستقیم استفاده شود، بسیار سفت است و نفوذپذیری آب را در خاک کاهش می‌دهد. در نتیجه اگر نفوذپذیری خاک مناسب نباشد، ممکن است برای کشاورزی مضر باشد. کشاورزان از ۴۰ تا ۵۰ سال پیش به این نتیجه رسیده‌اند که باید لجن را با کود گاوی فرآوری کرده و سپس استفاده کنند.

در سال ۱۳۹۳، در قالب طرحی مربوط به مدیریت یکپارچه رودخانه زاینده‌رود که توسط یک شرکت آلمانی انجام شد، نمونه‌هایی از خروجی تصفیه‌خانه شمال اصفهان و مناطقی که در آن‌ها کشاورزی انجام می‌شد، برداشت شد. این نمونه‌ها شامل خاک‌های مخلوط‌شده با لجن و خاک‌های بدون لجن بودند و برای مقایسه مورد بررسی قرار گرفتند.

استانداردهای مورد استفاده برای مقایسه، استانداردهای آلمان و آمریکا بودند. فلزات سنگینی مانند سرب، کادمیم، نیکل، کروم و جیوه در این نمونه‌ها مورد سنجش قرارگرفتند و نتایج نشان‌داد که غلظت تمام فلزات سنگین، بسیار کمتر از حد مجاز استاندارد است؛ هم در نمونه لجن استخراج‌شده از دستگاه‌های آب‌گیری و هم در نمونه خاک‌های کشاورزی. جالب این‌جا است که در برخی از لجن‌ها کلی‌فرم مدفوعی وجود داشت، اما پس از استفاده در زمین، مقدار آن به زیر حد استاندارد رسید. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، در لجن‌هایی که با خاک کشاورزی مخلوط شده‌اند، تخم انگل نیز به صفر رسیده است.

سال گذشته نیز آزمایش‌هایی بر روی لجن تمام تصفیه‌خانه‌ها انجام دادیم و نتایج مربوط به فلزات سنگین همگی در محدوده استاندارد محیط‌زیست قرار داشتند. بنابراین نگرانی خاصی از بابت فلزات سنگین وجود ندارد. حتی در برکه‌های تثبیت و لاگون‌های هوادهی که زمان ماند لجن ممکن است تا ۵ یا ۶ سال طول بکشد، مقدار کلی‌فرم‌ها نیز در حد استاندارد است؛ بنابراین نگرانی بهداشتی خاصی مشاهده نمی‌شود.

در سطح بین‌المللی نیز بررسی‌هایی انجام شده است. به‌عنوان مثال، گزارشی از مدیریت یکپارچه لجن در شهر برلین آلمان نشان می‌دهد که حدود ۲۱ درصد از لجن در خاک دفن می‌شود، ۴۷٪ برای کشاورزی استفاده و ۱۹/۹ درصد از طریق سوزاندن دفع می‌شود. این آمار نشان می‌دهد که در اروپا نیز استفاده کشاورزی از لجن جایگاه بالایی دارد و نگرانی چندانی از نظر بهداشتی وجود ندارد.

در اصفهان نیز در همین مسیر حرکت کرده‌ایم. از سال ۱۳۸۰، لجن‌ها کلاس‌بندی بهداشتی شده‌اند و در حال‌حاضر در کلاس B استاندارد EPA قرار داریم. هم‌اکنون نیز سیستم در حال بازنگری

است و حتی سرمایه‌گذارانی پیدا شده‌اند که آمادگی ورود به این حوزه را دارند.

در شهر مشهد نیز تجربه‌ای مشابه وجود داشته است؛ به این‌صورت که لجن‌های مخلوط‌شده با کود گاوی و خشک‌شده را با حرارت و افزودنی‌های خاص استریل و بسته‌بندی کرده و به‌صورت تجاری به فروش رسانده‌اند. این‌کار ارزش افزوده بالایی ایجاد می‌کند و حتی این محصولات به کشور افغانستان نیز صادر می‌شود.

دکتر احمدرضا محمدی ده چشمه:

خیلی ممنونم از جناب آقای مهندس موسوی بابت ارائه ارزشمند و توضیحات کاملشان. لطفاً سؤالات خود را نگه دارید تا در بخش پایانی نشست به آن‌ها پرداخته شود. اکنون از جناب آقای دکتر طاهریون، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان، دعوت می‌کنم تا ارائه خود را آغاز کنند.

دکتر مسعود طاهریون:

بسم‌الله‌الرحمن‌الرحیم. ابتدا می‌خواهم به‌صورت خلاصه به اهمیت استانداردها و مروری بر مقررات بین‌المللی و ملی در زمینه مدیریت لجن بپردازم. سعی می‌کنم مطالب را خلاصه و جمع‌بندی‌شده ارائه دهم. موارد مقدماتی که اهمیت زیادی دارند، یک مقایسه و در نهایت جمع‌بندی و پیشنهادات را مطرح خواهم کرد.

کاملاً روشن است که بحث حفظ سلامت عمومی، رعایت بهداشت، تحقق توسعه پایدار، جلوگیری از آلودگی منابع و مهم‌تر از همه، پذیرش اجتماعی، از جمله مواردی هستند که استانداردها برای تأمین آن‌ها تدوین شده‌اند و در سطح ملی و بین‌المللی نیز مورد پذیرش قرارگرفته‌اند. حتی در همکاری‌های بین‌المللی نیز الزاماتی وجود دارد که باعث می‌شود ما به رعایت استانداردها متعهد بمانیم.

یکی از مهم‌ترین استانداردهایی که در این زمینه وجود دارد، استاندارد EPA آمریکا است که دارای دو کلاس A و B است. کلاس A به‌صورت کاملاً عاری از پاتوژن‌ها است و پاتوژن‌ها تا زیر حد تشخیص کاهش یافته‌اند و در این‌حالت ما لجن پاستوریزه‌شده داریم. کلاس B تا حد قابل‌توجهی از نظر وجود پاتوژن‌ها کاهش یافته، اما هم‌چنان نیازمند مدیریت‌ها و محدودیت‌هایی است. به‌عنوان مثال، برای کلاس A تا ۱۰۰۰ کلی‌فرم مجاز است و برای کلاس B تا دو میلیون کلی‌فرم. روش‌هایی که در زمینه کاهش پاتوژن‌ها ارائه شده‌اند، شامل روش‌های بیولوژیکی و حرارتی هستند. یکی از نکات مهم در این روش‌ها، بحث زمان و دمای فرآیند است که در جدول‌های مربوط به این استانداردها به‌صورت دقیق قید شده است. اگر به روش‌ها نگاه کنیم، از کمپوست‌سازی گرفته تا روش‌های حرارتی و تثبیت شیمیایی، همگی به‌عنوان گزینه‌هایی برای ارتقای کیفیت لجن درنظر گرفته‌شده‌اند. البته دمای پایین‌تر و زمان تماس بیشتر، دو عاملی هستند که می‌توان با استفاده از آن‌ها تا حد زیادی پاتوژن‌ها را کاهش داد.

در مورد فلزات سنگین نیز موارد مهمی مانند تجمع فلزات و تجمع زیستی مورد توجه قرارگرفته است. به‌طوری‌که در جدول کلاس‌بندی، محدودیت‌های کلاس A و B به‌طور کامل مشخص هستند. برای کلاس A، در بسیاری از موارد استفاده بدون محدودیت مجاز است، اما برای کلاس B در برخی موارد محدودیت زمانی برداشت وجود دارد؛ مثلاً باید بین ۱۴ تا ۳۸ ماه فاصله زمانی رعایت شود، یا حداقل ۳۰ روز برای علوفه دام و هم‌چنین برای فضاهای سبز این زمان می‌تواند بین یک ماه تا یک سال متغیر باشد.

استانداردهای اتحادیه اروپا که از سال ۱۹۹۳ تدوین شده‌اند، هنوز هم به‌روز هستند و مورد استفاده قرار می‌گیرند. اتحادیه اروپا از سال ۱۹۸۶ تأکید بیشتری بر محدودیت فلزات سنگین داشته و در زمینه پاتوژن‌ها نیز بیشتر به استاندارد EPA آمریکا ارجاع داده است. به‌طور کلی، مقادیر تعیین‌شده برای فلزات سنگین در استانداردهای اروپایی سخت‌گیرانه‌تر هستند. در سال ۲۰۱۰، بررسی‌هایی انجام شد که تمرکز آن‌ها بر آلاینده‌های نوظهور، استفاده از تصفیه‌های پیشرفته و اثرات گازهای گلخانه‌ای بود، هرچند هنوز استاندارد جدیدی در این زمینه منتشر نشده است.

در سطح ملی، سازمان ملی استاندارد ایران مجموعه‌ای از آیین‌نامه‌ها را منتشر کرده است که بیشتر آن‌ها برگرفته از استانداردهای بین‌المللی هستند. برای مثال، در زمینه لجن و بایومس زیستی، نشریه ۲۲-۹۶۷ منتشر شده که برگرفته از استاندارد استرالیا است. در این استاندارد، دو دسته اصلی آلاینده درنظر گرفته شده است: ۱) آلاینده‌های شیمیایی؛ ۲) آلاینده‌های بیولوژیکی. در جدول مربوطه، چهار رده آلودگی بیولوژیکی تعریف شده است. رده P1 سخت‌گیرانه‌ترین حالت است و برای مثال،

مقدار کلی‌فرم را عدد ۱۰۰ درنظر گرفته است. این مقدار در کلاس A استاندارد EPA عدد ۱۰۰۰ بود. رده P2 تقریباً با استاندارد EPA برابری می‌کند و رده‌های P3 و P4 نیز دارای محدودیت‌های کمتر یا فاقد محدودیت خاص هستند.

در مورد فلزات سنگین نیز مشابه استانداردهای اروپا و آمریکا، در این استاندارد درجه‌بندی انجام‌شده است. برای مثال، سطح C1 که سخت‌گیرانه‌تر است، برای خاک‌های اسیدی و قلیایی حدود مجاز پایین‌تری دارد. برای سطح C2 در برخی موارد اعداد مجاز بالاتر و در برخی موارد کمتر است. اگر بخواهیم این استاندارد را با استانداردهای آمریکا و اروپا مقایسه کنیم، می‌توان گفت که در مجموع سخت‌گیرانه‌تر است.

در جدول موارد استفاده نیز دسته‌بندی‌ها مشخص شده است. به‌عنوان مثال، دسته C1 و سطح P1 دارای بالاترین کیفیت میکروبی و کمترین مقدار فلزات سنگین هستند و بدون محدودیت قابل استفاده‌اند. این جدول‌ها به ما کمک می‌کنند تا بدانیم هر نوع لجن در چه کاربردی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

اگر بخواهم استانداردها را به‌صورت تطبیقی جمع‌بندی کنم، باید بگویم که اگرچه استانداردهای ملی سخت‌گیرانه‌تر هستند، اما اثرات گازهای گلخانه‌ای به‌طور کامل در آن‌ها پوشش داده نشده‌اند. در زمینه بازیافت لجن، تقریباً ۷ تا ۸ روش مختلف وجود دارد که رایج‌ترین آن استفاده در کشاورزی است (حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد). روش‌های دیگر شامل استفاده در صنایع ساختمانی، معادن و حتی سوزاندن هستند، اما به‌دلیل هزینه بالا و آلودگی هوا، محدودیت‌هایی دارند.

در جمع‌بندی، باید گفت که ما هنوز در استانداردها به موضوعاتی مانند آلاینده‌های نوظهور، فناوری‌های مدرن تصفیه و اثرات اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای توجه کافی نکرده‌ایم. محدودیت‌های فنی، اجتماعی و اقتصادی همچنان چالش‌هایی جدی برای بازیافت لجن محسوب می‌شوند.

راه‌کارهایی که می‌توانند در این زمینه مؤثر باشند شامل استفاده از پیش‌تصفیه‌ها، توسعه فناوری‌های تصفیه پیشرفته، افزایش آگاهی عمومی و یکپارچه‌سازی مدیریت منابع با حوزه‌های انرژی و کشاورزی است. خیلی متشکرم.

دکتر احمدرضا محمدی ده چشمه:

خیلی ممنونم از توضیحات آقای دکتر طاهریون که مطالب بسیار ارزشمندی را مطرح کردند. اکنون دعوت می‌کنم از سرکار خانم دکتر باغبان تا ارائه خود را آغاز کنند.

دکتر مهتاب باغبان:

عرض سلام، ادب و احترام دارم. تشکر می‌کنم از حامیان و برگزارکنندگان همایش و همچنین تشکر ویژه دارم از جناب آقای دکتر محمدی به‌دلیل توجه ایشان به محور توسعه آزمایشگاهی برای شناخت آلاینده‌ها در کیفیت لجن. کیفیت لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در چهار دسته شناسایی می‌شود؛ یعنی چهار گروه از آلاینده‌ها وجود دارند که در کیفیت لجن فاضلاب نقش دارند.

دسته اول پاتوژن‌ها یا عوامل بیماری‌زا هستند که شامل ویروس‌ها و باکتری‌ها می‌شوند. همان‌طور که آقای دکتر طاهریون نیز توضیح دادند، در استاندارد EPA این پاتوژن‌ها به دو گروه A وB تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته دوم ریزآلاینده‌ها هستند که شامل ترکیبات دارویی و ترکیبات کربن‌دار هستند. دسته سوم فلزات سنگین (Heavy Metals) هستند که در تمامی لجن‌ها باید اندازه‌گیری شوند تا براساس نتایج، مجوز خروج از تصفیه‌خانه و تعیین نوع کاربرد برای آن‌ها صادر شود. دسته چهارم نیز آلاینده‌های نوظهور (Emerging Pollutants) هستند که موضوع اصلی بحث ما محسوب می‌شوند.

همان‌طور که آقای دکتر طاهریون هم فرمودند، در کلاس‌بندی سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) لجن‌ها به دو دسته A و B تقسیم می‌شوند. دسته A شامل لجن‌هایی است که عاری از پاتوژن‌ها بوده و امکان رشد مجدد پاتوژن‌ها در آن‌ها وجود ندارد؛ بنابراین برای همه کاربری‌ها قابل استفاده‌اند. در این نوع لجن‌ها پاتوژن‌های بیماری‌زا قابل مشاهده یا اندازه‌گیری نیستند، چون به‌طور کامل حذف شده‌اند. اما در گروه B، هم‌چنان پاتوژن‌ها و عوامل بیماری‌زا وجود دارند و لازم است تصفیه کامل‌تری بر روی آن‌ها انجام شود. چون این ترکیبات در صورت استفاده در مصارف کشاورزی یا فضاهای تفریحی می‌توانند عامل انتقال بیماری باشند و باید برای آن‌ها محدودیت‌هایی درنظر گرفته شود.

هر دو دسته A و B می‌توانند شامل مواد رادیواکتیو یا دارویی باشند، زیرا این طبقه‌بندی فقط براساس مقدار پاتوژن‌ها انجام می‌شود. در گروه A، به‌دلیل محدود بودن پاتوژن‌ها، می‌توان از لجن در تمامی کاربری‌ها استفاده کرد. حداکثر مقدار کلی‌فرم در این گروه ۱۰۰۰ MPN در هر گرم جامد خشک و حداقل مقدار

آن ۱۰۰ MPN است. در گروه B شرایط متفاوت است و مقدار پاتوژن‌ها بیشتر است. برای این گروه محدودیت‌هایی در استفاده وجود دارد. به‌عنوان مثال، زمینی که با لجن گروه B آغشته شده است، حداقل پس از ۱۴ ماه و حداکثر تا ۳۸ ماه بعد، اجازه کشت پیدا می‌کند. در رابطه با محصولات فیبردار مانند علوفه، برداشت حداقل باید ۳۰ روز پس از استفاده انجام شود. اگر دام از این علوفه استفاده کند، آن دام نیز به‌مدت ۳۰ روز اجازه ندارد در چراگاه‌های تمیز و عاری از آلودگی تردد کند. از همه مهم‌تر، اگر از این لجن برای فضاهای سبز استفاده شود، باید حداقل به‌مدت یک‌سال محدودیت تماس مستقیم انسان با آن رعایت شود.

در سال ۲۰۰۴، مطالعه‌ای درباره مراکزی که لجن‌های کلاس B را دفن می‌کردند انجام شد. مشخص شد که اگر لجن‌های کلاس B در محل‌هایی دفن شوند که شیرابه‌های زباله نیز وجود دارد، می‌توانند محیط مناسبی برای رشد مجدد میکروارگانیسم‌ها ایجاد کنند. افرادی که در نزدیکی محل دفن کلاس B زندگی می‌کردند، دچار مشکلاتی از جمله بیماری‌های ریوی و آسم شدند. در همان‌سال، مطالعه دیگری روی ساکنان اطراف این محل‌ها انجام شد و نتایج نشان‌داد که این افراد تحریکات پوستی و تنفسی داشتند و حدود نیمی از آن‌ها در بازه زمانی یک‌ماهه دچار عفونت شدند. علائمی مانند اشک‌ریزش، ضعف عمومی بدن، زخم پوستی و کم‌آبی در این افراد مشاهده شد.

همان‌طور که دکتر طاهریون نیز درباره استاندارد ایران -۹۶۷ ۲۲ توضیح دادند، دسته‌بندی کیفیت لجن در ایران براساس میزان آلودگی شیمیایی و درجه تثبیت و کاهش عوامل بیماری‌زا انجام می‌شود. درجه آلودگی شیمیایی شامل دو دسته C1 و C2 است، و درجه تثبیت و بیماری‌زایی شامل چهار دسته از B1 تا B4 است که از سخت‌گیرانه تا سهل‌گیرانه طبقه‌بندی شده‌اند. اگر لجن دارای درجه C1 و B1 باشد، برای همه کاربری‌ها قابل استفاده است. اما اگر درجه C2 و B4 داشته باشد، در صورت امکان تصفیه می‌شود و در غیر این‌صورت به‌عنوان پسماند ویژه در خاک‌چال دفن می‌شود و قابلیت استفاده ندارد.

در مورد آلاینده‌های نوظهور، به‌دلیل آلودگی بالا، سمیت زیاد و توانایی تجمع در محیط‌زیست و بافت بدن موجودات، امروزه توجه بسیاری به آن‌ها می‌شود. اثرات بلندمدت این آلاینده‌ها باعث شده که به‌طور جدی مورد بررسی قرار گیرند.

آلاینده‌های نوظهور شامل چند گروه اصلی هستند:

- داروها و محصولات مراقبت شخصی مانند آنتی‌بیوتیک‌ها، هورمون‌ها، مسکن‌ها و داروهای ضدالتهاب. این مواد پس از مصرف انسان از طریق فاضلاب وارد تصفیه‌خانه‌ها می‌شوند و با روش‌های تصفیه متعادل از بین نمی‌روند، در نتیجه در فاضلاب باقی می‌مانند. مهم‌ترین آنتی‌بیوتیک‌هایی که امروزه در جهان موردتوجه هستند، سیپروفلوکساسین‌ها و تتراسایکلین‌ها هستند که از پرمصرف‌ترین داروهای ضد درد و ضد التهاب محسوب می‌شوند.
- محصولات مراقبت شخصی شامل ترکیباتی خطرناک مانند عطرها و لوسیون‌ها هستند.
- مواد شیمیایی مختل‌کننده غدد درون‌ریز مانند ترکیبات حاوی استروژن (برای مثال اتیل‌استات در قرص‌های ضد بارداری).
- آفت‌کش‌ها
- میکروپلاستیک‌ها
- و در نهایت مواد شیمیایی ضد آتش.

آخرین نکته‌ای که باید اشاره کنم، مربوط به خطرات ناشی از مصرف این آلاینده‌ها است. این ترکیبات می‌توانند موجب آلودگی خاک و منابع آب شوند، خطرات بهداشتی برای انسان به‌همراه داشته باشند و به محیط‌زیست آسیب برسانند. مهم‌ترین مسئله این است که ما باید توانایی اندازه‌گیری و شناسایی این آلاینده‌ها را داشته باشیم تا بدانیم چه مقدار از لجن مصرفی در کشاورزی یا سایر کاربردها وارد محیط‌زیست می‌شود. اگر بتوانیم آن‌ها را شناسایی کنیم، می‌توانیم از بروز مشکلات بعدی برای انسان و محیط‌زیست جلوگیری کنیم. خیلی ممنون و متشکر.

دکتر احمدرضا محمدی ده چشمه:

تشکر می‌کنم از سرکار خانم دکتر باغبان بابت ارائه دقیق و جامع‌شان. اکنون دعوت می‌کنم از آقای دکتر تک‌دستان، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، تا ارائه خود را آغاز کنند.

دکتر افشین تکدستان:

به‌نام خدا. صبح بخیر عرض می‌کنم خدمت حضار محترم، اساتید بزرگوار و دانشجویان گرامی. امیدوارم همیشه سلامت باشید. تشکر می‌کنم از برگزارکنندگان همایش؛ واقعاً هم دانشگاه اصفهان، هم انجمن و هم شرکت آب و فاضلاب اصفهان برای برگزاری این رویداد زحمت زیادی کشیدند. همین‌جا لازم می‌دانم

از دانشجویان عزیزی که در کمیته اجرایی فعالیت داشتند نیز تشکر کنم؛ واقعاً تلاش زیادی کردند و پیگیر بودند.

در واقع، موضوع صحبت من درباره کاهش لجن است. چون در سخنرانی‌های قبلی، خانم دکتر باغبان و آقای دکتر طاهریون نیز به‌خوبی به این موضوع اشاره کردند. البته لازم است بگویم که آقای دکتر طاهریون، خودشان دانشجوی ارشد همین دانشگاه بودند؛ روبه‌روی همین ساختمان، در دانشکده بهداشت و گروه مهندسی بهداشت محیط. سال ۱۳۷۸ که بنده دانشجو بودم، آقای مهندس موسوی هم در جریان هستند، در امور دانشجویی فعالیت داشتم.

اولین بار، ما در کشور در همان سال ۱۳۷۸ کار روی استانداردهای فاضلاب را آغاز کردیم. چند مقاله هم از آن منتشر شده است. محل انجام کار، تصفیه‌خانه جنوب اصفهان و هم‌چنین تصفیه‌خانه شاهین‌شهر بود که پروژه کارشناسی ارشد خود من هم در همین زمینه بود. در آن‌زمان، تصفیه‌خانه جنوب اصفهان نه استاندارد کلاس A را برآورده می‌کرد و نه کلاس B، اما شاهین‌شهر توانست استاندارد کلاس B را کسب کند. این نکته‌ای است که در ادامه صحبت اساتید قبلی باید عرض کنم. تمام آلاینده‌ها در واقع در داخل لجن تجمع پیدا می‌کنند، همان‌طور که دیگر سخنرانان هم اشاره کردند.

به‌همین دلیل، امروز همه متخصصان به‌دنبال روش‌هایی هستند که بتوانند تولید لجن را کاهش دهند و به‌جای پس‌تصفیه لجن، به‌سمت حداقل‌سازی (minimization) حرکت کنند. با توجه به هزینه‌های تصفیه‌خانه‌ها، باید گفت حدود ۵۰٪ از کل هزینه‌ها مربوط به تصفیه و دفع لجن است. همان‌طور که آقای دکتر محمدی نیز اشاره کردند، سیستم لجن فعال اگر بدون همکاری و مدیریت صحیح از سوی بهره‌برداران و مدیران اجرایی باشد، دچار مشکل می‌شود.

واقعیت این است که ما در کشور با مشکل لجن مواجه هستیم و حدود ۹۰٪ این مشکلات ناشی از راهبری نادرست است. پیش از آن‌که وارد بحث روش‌های کاهش لجن شوم، اجازه بدهید به یک‌کار تحقیقاتی اشاره کنم که در استان مازندران انجام دادیم. فیلم آن موجود است و مربوط به شرکت فاضلاب استان مازندران است. در آن پروژه، یکی از دانشجویان دکترا شروع به بررسی سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب شهر ساری کرد؛ سیستمی از نوع MLE (جریان فعال اصلاح‌شده) که توانایی حذف ازت را هم دارد.

مشکلی که در آن‌جا داشتیم، تولید بالای لجن بود. بنابراین، یک طرح تحقیقاتی در مقطع دکترا تعریف شد و یک پایلوت آزمایشی نیز ساخته شد. این پایلوت در خروجی ته‌نشینی اولیه نصب شد و سیستم OSA مورد آزمایش قرارگرفت. این پروژه با همکاری شرکت آب و فاضلاب ساری و مرکز تحقیقات دانشکده بهداشت علوم پزشکی ساری انجام شد و به راندمان بسیار خوبی رسیدیم؛ به‌طوری‌که حدود ۶۰٪ کاهش در تولید لجن به‌دست آمد. در این سیستم به‌ویژه در بخش برگشت لجن، اصلاحاتی انجام دادیم که تأثیر بسیار مثبتی داشت.

به‌عنوان نمونه، سیستم لجن فعال را طوری طراحی کردیم که پساب تصفیه‌شده از نظر شفافیت تفاوتی با آب معمولی نداشت. یعنی این سیستم توانست آلاینده‌ها را تا حدی حذف کند که تمام پارامترها پایین‌تر از مقادیر حدی استاندارد بودند. نتیجه این کار، چاپ دو مقاله ISI بود. بنابراین، ما توانستیم در این طرح تحقیقاتی که برای شرکت آب و فاضلاب استان مازندران انجام شد و توسط یک دانشجوی دکترا هدایت می‌شد، نتایج ارزشمندی به‌دست آوریم.

اگر اجازه دهید، اشاره‌ای هم داشته باشم به روش‌های مختلف کاهش لجن که امروزه در دنیا مورد استفاده هستند. البته چون قرار است بعد ازظهر در کارگاه کاهش لجن مفصل‌تر درباره این روش‌ها صحبت کنم، در این‌جا به‌صورت خلاصه عرض می‌کنم. سیستم لجن فعال، همان‌طور که اساتید قبلی هم اشاره کردند، یکی از رایج‌ترین سیستم‌ها در کشور ما و در سطح جهان است و در بسیاری از کشورهای صنعتی و در حال‌توسعه کاربرد دارد. یکی از عیوب اصلی این سیستم، تولید حجم بالای لجن است. لجن معمولاً بین ۰/۲۵ تا ۱/۲ درصد مواد جامد دارد و بقیه آن آب است. در لجن اولیه چیزی بین ۳ تا ۶ درصد مواد جامد وجود دارد و در لجن ثانویه، درصد آب بسیار بیشتر است. به‌همین دلیل، در دنیا تلاش می‌شود تا حجم لجن در فرآیندهای لجن فعال کاهش یابد. یکی از روش‌های بیولوژیکی برای این‌کار، روش OSA است. در ایران نیز محاسبات نشان داده‌اند که لجن اولیه حدود ۰/۵ تا ۱ لیتر و لجن ثانویه بین ۱/۵ تا ۲/۵ لیتر به‌ازای هر نفر تولید می‌شود. بنابراین، اگر منطقه‌ای ۱۰۰ هزار نفر جمعیت داشته باشد، می‌توان حجم لجن تولیدی آن را به‌راحتی محاسبه کرد. این حجم زیاد نه‌تنها هزینه تأسیسات را افزایش می‌دهد، بلکه هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری را نیز بالا می‌برد. به‌همین دلیل، امروزه در سراسر جهان روش‌های گوناگونی برای کاهش لجن توسعه یافته است. برخی از این روش‌ها در دانشگاه‌های ما توسط دانشجویان ارشد و دکترا بررسی شده‌اند، هرچند هنوز در مرحله اجرا نیستند.

بحث اصلی من در این‌جا میکروبیولوژی فاضلاب است. این همان نظریه‌ای است که مک‌گی و مک‌کارتی مطرح کردند: «یک

مهندس آب و فاضلاب، اگر درک درستی از میکروبیولوژی فاضلاب نداشته باشد، نمی‌تواند مهندس موفقی باشد)). در میکروبیولوژی فاضلاب گفته می‌شود که در سیستم‌های هوازی، حدود ۵۰٪ از کل مواد به لجن تبدیل می‌شود، در حالی‌که در سیستم‌های بی‌هوازی این عدد کمتر از ۱۰٪ است. از آن‌جا که اکثر تصفیه‌خانه‌های ما از نوع هوازی هستند، ضریب تولید لجن در آن‌ها بالا است. در واقع، به‌ازای هر کیلوگرم BOD ورودی به تصفیه‌خانه، حدود ۰/۶ تا ۰/۸ کیلوگرم لجن تولید می‌شود.

برای کاهش لجن، باید ضریب تولید لجن را پایین بیاوریم. در سیستم OSA، همان‌طور که مشاهده می‌کنید، در خط برگشت لجن، مرحله‌ای برای نگهداری در فاز بی‌هوازی درنظر گرفته می‌شود که همین‌کار باعث کاهش تولید لجن می‌شود. این مکانیزم در تحقیقات مختلفی که در کشور و در همکاری با دانشجویان و مراکز تحقیقاتی دانشگاه ما انجام شده، مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج نشان می‌دهد که این فرآیند می‌تواند تا ۶۰٪ کاهش در تولید لجن ایجاد کند. در این تحقیقات، علاوه‌بر کاهش لجن، پارامترهای دیگر نیز بهبود یافته و کیفیت پساب افزایش پیدا کرده است.

در پایان عرض می‌کنم که اگر فرصت داشتید، ان‌شاءالله بعد ازظهر در کارگاه کاهش لجن، انواع مکانیزم‌های کاهش لجن را با جزئیات و مثال‌های عملی خدمت شما توضیح خواهم داد. خیلی ممنون.

دکتر احمدرضا محمدی ده چشمه:

بسم‌الله‌الرحمن‌الرحیم. در خصوص موضوع کاهش لجن، اجازه بدهید ابتدا یک علامت سؤال مطرح کنم. آیا باید با صرف انرژی، میزان تولید لجن را کاهش دهیم؟ یا برعکس، لجن بیشتری تولید کنیم تا بتوانیم انرژی بیشتری از آن استحصال کنیم؟ به‌عبارت دیگر، اگر لجن بیشتری تولید کنیم، قطعاً می‌توانیم در فرآیند هضم بی‌هوازی لجن، انرژی بیشتری به‌دست آوریم. این نکته را باید پیش از ورود به بحث کاهش لجن درنظر داشت. می‌خواهم تأکید کنم که هیچ راه‌کاری قطعیت ندارد؛ کاهش لجن لزوماً راه‌حل قطعی و مطلوب برای تمام مناطق و شرایط جغرافیایی کشور نیست.

روش‌های متداولی که در جهان برای دفع لجن به‌کار گرفته می‌شوند، در نهایت به یکی از چهار دسته زیر ختم می‌شوند: ۱) دفن در لندفیل؛ ۲) سوزاندن در نیروگاه‌های لجن‌سوز؛ ۳) پخش در زمین‌های کشاورزی؛ ۴) تخلیه در اقیانوس‌ها (در کشورهایی که دسترسی دارند).

هریک از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند. به‌عبارتی، بخش‌هایی از فرآیند دارای مزیت‌اند و بخش‌هایی دیگر محدودیت یا مشکل به‌همراه دارند. اگر در منطقه‌ای که تصفیه‌خانه در آن بهره‌برداری می‌شود، یکی از این محدودیت‌ها وجود داشته باشد، آن‌گاه کاهش لجن می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل جایگزین مطرح شود.

حال اجازه دهید روش‌های کاهش لجن را با یک دسته‌بندی متفاوت نسبت به آن‌چه آقای دکتر تک‌دستان فرمودند توضیح دهم. به‌طور کلی، چهار روش اصلی وجود دارد و تمام فناوری‌های کاهش لجن در یکی از این چهار گروه قرار می‌گیرند: ۱) متابولیسم ناقص؛ ۲) نگهداری متابولیسم؛ ۳) شکار میکروبی؛ ۴) تخریب و رشد نهان.

در روش متابولیسم ناقص، می‌دانیم که سوخت‌وساز سلولی عامل اصلی تولید لجن است. این فرآیند در قالب متابولیسم انجام می‌شود که شامل سه بخش است: آنابولیسم (ساخت)، کاتابولیسم (سوخت) و تنفس درون‌زا. در سوخت‌وساز، مصرف COD رخ می‌دهد، یعنی آلاینده‌های فاضلاب کاهش می‌یابند. در مرحله سوخت، بسته‌های انرژی تولید می‌شوند و در مرحله ساخت، این انرژی‌ها با مواد آلی موجود در فاضلاب ترکیب‌شده و به میکروارگانیسم جدید تبدیل می‌شوند. اگر بتوانیم میکروارگانیسم را در مرحله سوخت نگه‌داریم و نگذاریم وارد مرحله تولید مثل شود، عملاً باعث می‌شویم که میزان تولید لجن کاهش پیدا کند.

در روش نگهداری متابولیسم، به میکروارگانیسم اجازه نمی‌دهیم وارد فاز ساخت شود. این روش معمولاً در سن‌های لجن بسیار طولانی (بیش از هزار روز) اتفاق می‌افتد. در این‌مدت، می‌توان باکتری‌هایی را پرورش داد که باکتری‌های غیرفعال یا استرس‌زده را شکار کنند و در نهایت موجب کاهش لجن شوند.

روش چهارم، یعنی تخریب و رشد نهان، شامل تخریب لجن بیولوژیکی مازاد با یک عامل فیزیکی یا شیمیایی است، به‌گونه‌ای که پس از تخریب، لجن دوباره به سیستم تصفیه بازگردانده می‌شود.

در روش متابولیسم ناقص، محیطی ایجاد می‌کنیم که بسته‌های انرژی ذخیره‌شده برای تولید مثل آزاد شوند و صرف فعالیت‌های حیاتی سلول شوند. سیستم OSA که آقای دکتر تک‌دستان هم اشاره کردند، یکی از همین روش‌ها است. در این روش، لجن فعال در مسیر برگشت، در شرایط بی‌هوازی قرار می‌گیرد. به‌دلیل اعمال شرایط سخت زیستی، سلول انرژی ذخیره‌شده خود را برای زنده ماندن مصرف می‌کند و دیگر وارد مرحله تولید مثل نمی‌شود. در نتیجه، لجن جدید تولید نمی‌شود.

مطالعات نشان داده‌اند که این‌روش می‌تواند تا ۶۰٪ کاهش لجن ایجاد کند.

در روش دیگر، محدود کردن مواد مغذی مدنظر قرار می‌گیرد. همان‌طور که می‌دانید، ساخت یک سلول جدید (که همان لجن محسوب می‌شود) به عناصر سازنده‌ای مانند کربن، ازت و فسفر نیاز دارد. درست مانند ساخت یک ساختمان که بدون آجر، شن یا میلگرد امکان‌پذیر نیست. حال اگر یکی از این عناصر در محیط نباشد، فرآیند تولید سلول متوقف می‌شود. این‌روش برای تصفیه‌خانه‌های صنعتی که ترکیب پساب متفاوتی دارند، قابل استفاده است.

هم‌چنین از افزودن مواد شیمیایی نیز برای کاهش لجن استفاده می‌شود. این مواد معمولاً ترکیبات فنولی هستند که با تأثیر بر غشای سیتوپلاسم سلول، خاصیت تراوایی آن را تغییر می‌دهند. در نتیجه، پروتون‌هایی که باید برای تولید ATP (انرژی سلول) مصرف می‌شدند، از غشا فرار می‌کنند و انرژی سلول از بین می‌رود. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده پیوسته از پارامتروفنول می‌تواند تا ۶۲٪ کاهش لجن ایجاد کند.

در روش نگهداری متابولیسم، همان‌طور که گفته شد، سن لجن بیش از ۱۰۰۰ روز است. اما در سیستم‌های متعارف، چنین سن بالایی می‌تواند موجب مشکلات ته‌نشینی ثقلی شود. بنابراین، در این شرایط از سیستم‌های MDR استفاده می‌شود که در آن‌ها حوض ته‌نشینی ثانویه وجود ندارد. طبیعی است که هرچه سن لجن بیشتر باشد، میزان لجن تولیدشده کمتر خواهد بود.

در کار باکتری‌ها دو روش وجود دارد: یکی این‌که سیستم لجن فعال را طوری راهبری کنیم که در دو سن لجن متفاوت عمل کند. در مرحله اول، سن لجن را کوتاه درنظر می‌گیریم و عمداً سیستم را دچار وضعیتی به‌نام رشد پراکنده می‌کنیم. البته در حالت عادی، رشد پراکنده نوعی اختلال است، اما در این‌جا هدفمند انجام می‌شود تا باکتری‌ها وارد فاز دفاعی نشوند و توسط گونه‌های دیگر شکار شوند. در مرحله بعد، سن لجن را طولانی می‌کنیم تا گونه‌های شکارچی مانند پروتوزوآها، متازوآها و روتیفرها بتوانند باکتری‌های پراکنده را شکار کنند.

در نهایت، در مرحله تخریب و رشد نهان، لجن مازاد را با یک عامل فیزیکی یا شیمیایی تجزیه می‌کنیم. این عامل می‌تواند حرارت، انجماد، امواج فراصوت یا مواد اسیدی و قلیایی باشد. در این فرآیند، لخته‌ها ابتدا شکسته می‌شوند، سپس سلول‌ها تخریب شده و مواد درون‌سلولی آزاد می‌شوند. میزان COD محلول افزایش می‌یابد و این مواد آزادشده می‌توانند به‌عنوان منبع غذایی برای سایر میکروارگانیسم‌ها در حوض هوادهی مورد استفاده قرار گیرند.

روش‌های مختلفی مانند تخریب حرارتی، استفاده از مواد شیمیایی، یکنواخت‌سازها، امواج فراصوت، انجماد و هیدرولیز بیولوژیکی در این حوزه بررسی شده‌اند. البته در این روش‌ها بخشی از لجن که غیرقابل تجزیه است، باقی می‌ماند و باعث افزایش COD محلول در سیستم می‌شود. بنابراین، راندمان حذف COD در تصفیه‌خانه کاهش می‌یابد.

باید توجه داشت که تمام این روش‌ها نیازمند صرف انرژی هستند و ممکن است بر عملکرد ورودی سیستم نیز اثر منفی بگذارند. در نتیجه، نمی‌توان انتظار داشت که هم لجن تولید نشود، هم انرژی مصرف نشود و هم راندمان بالا باقی بماند.

بنابراین، این‌که بگوییم «کاهش لجن» راه‌حلی قطعی و نهایی است، صحیح نیست. انتخاب روش مناسب به شرایط محیطی، اقتصادی و زیستی بستگی دارد. مثلاً در مناطق کویری یک‌روش مناسب است، در حالی‌که در شمال کشور که آلودگی هوا مسئله مهمی نیست، ممکن است روش دیگری بهتر عمل کند. در مجموع، هیچ قطعیت مطلقی در روش‌های مدیریت لجن وجود ندارد و باید با توجه به شرایط هر منطقه، بهترین گزینه را انتخاب کرد. ممنون از توجه شما و عذر می‌خواهم اگر وقتتان را گرفتم. آقای دکتر ابراهیمی، در خدمت شما هستیم. لطفاً در رابطه با موضوع مدیریت لجن در حوزه آب و فاضلاب توضیحات خود را ارائه بفرمایید. ایشان عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان هستند.

دکتر افشین ابراهیمی:

عرض سلام، ادب و احترام و خسته نباشید خدمت حضار گرامی. دوستان پیش از این، به‌طور مفصل درباره لجن فاضلاب صحبت کردند. بد نیست اشاره کنم که بسیاری از نکاتی که درباره تصفیه، تثبیت و کاهش لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مطرح می‌شود، در مورد تصفیه‌خانه‌های آب نیز صدق می‌کند. در واقع، شاید در اینجا وضعیت حتی دشوارتر باشد؛ زیرا علاوه‌بر میکروارگانیسم‌ها و بار میکروبی موجود در لجن فاضلاب، با مواد شیمیایی نیز مواجه هستیم که اثرات محیط‌زیستی و بهداشتی لجن را بیشتر می‌کنند.

در این بخش می‌خواهم به‌طور خلاصه درباره یک رویکرد کلی در زمینه بازیافت (recycle) و استفاده مجدد(reuse) لجن صحبت کنم. می‌دانیم که رشد شهرنشینی و افزایش نیاز به مصرف آب

باعث توسعه تصفیه‌خانه‌ها شده است؛ اما این توسعه، آلاینده‌های خاص خود را نیز دارد، به‌ویژه در بخش مواد شیمیایی‌ای که ما به فرآیند تصفیه اضافه می‌کنیم.

براساس برآوردها، یک تصفیه‌خانه متعارف آب سالانه حدود ۱۰۰ هزار تُن لجن تولید می‌کند. در حالی‌که برخی گزارش‌های بین‌المللی اعلام کرده‌اند که در حال‌حاضر روزانه بیش از ۱۰۰۰ تُن از این نوع لجن تولید می‌شود. بخشی از این اختلاف به این دلیل است که در بعضی کشورها، بسیاری از رسوبات و مواد ته‌نشین‌شده در زمره لجن محسوب نمی‌شوند، در حالی‌که در واقع ماهیت لجن دارند.

یکی از مسائل مهم، ابعاد محیط‌زیستی این لجن‌ها است. معمولاً در تصفیه‌خانه‌های آب، زلال‌سازها سالی یک‌بار تخلیه می‌شوند و لجن حاصل اغلب در کانال‌ها، رودخانه‌ها یا زمین‌های مجاور تخلیه می‌شود. اگرچه تاسیسات متعددی برای خشک‌سازی لجن وجود دارد، اما بررسی‌ها نشان می‌دهد بسیاری از آن‌ها هم‌اکنون غیرفعال یا بلااستفاده هستند.

امروزه با توجه به کمبود آب در مناطق مختلف، به‌ویژه در نواحی مرکزی ایران، کشاورزان متقاضی استفاده از این آب‌ها هستند. البته در اینجا واژه "آب" را به‌صورت کلی به‌کار می‌برم؛ زیرا از نظر فیزیکی، لجن با پساب تصفیه‌شده تفاوت دارد، اما از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، بسته به نوع فرآیند تصفیه، ممکن است مشابهت‌هایی داشته باشد. برای مثال، اگر منبع آب تصفیه‌خانه، آب زیرزمینی باشد، معمولاً کیفیت ثابتی در طول سال دارد و در نتیجه لجن حاصل نیز کیفیتی نسبتاً پایدار خواهد داشت. اما در منابع آب سطحی، با توجه به مواد مختلفی که برای تصفیه اضافه می‌شوند، لجن‌های متنوعی تولید می‌شود.

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که درصد بالایی از لجن تصفیه‌خانه‌های آب شامل اکسید سیلیس، اکسید آلومینیوم، اکسید آهن و اکسید کلسیم است. غلظت برخی از این ترکیبات بسیار بالا گزارش شده است؛ مثلاً غلظت آلومینیوم در لجن ناشی از استفاده از آلوم به حدود ۱۲۰ هزار میلی‌گرم بر کیلوگرم و در لجن حاصل از فریک کلراید (آهن) حدود ۲۲۰ هزار میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد. این مقادیر بسیار بالا هستند. علاوه‌بر این، عناصری مانند منگنز، روی و کروم نیز در ترکیب این لجن‌ها یافت می‌شوند. در کنار آن‌ها، سایر آلاینده‌های شیمیایی نیز وجود دارند که در بسیاری موارد بدون بررسی دقیق، در اختیار کشاورزان یا صنایع قرار می‌گیرند.

در برخی نمونه‌ها، مشاهده شده که غلظت سیلیس در لجن بسیار بالا است و این میزان در طول زمان نیز پایدار باقی می‌ماند.

در بررسی‌های انجام‌شده، مشخص شده است که حجم کل ریزمنافذ در این لجن‌ها برای آلوم حدود ۴۲ هزار سانتی‌متر مربع بر گرم و برای فریک حدود ۱۲ هزار سانتی‌متر مربع بر گرم است. این ویژگی نشان می‌دهد که این نوع لجن‌ها می‌توانند سطح ویژه‌ی بالایی داشته باشند و به‌عنوان جاذب برای آنیون‌ها و فلزات سنگین مورد استفاده قرار گیرند. در مورد سمیت این لجن‌ها، متأسفانه تحقیقات محدود و گاه متناقض است. به‌طور معمول، ترکیبات آلومینیوم و فریک در این لجن‌ها آلاینده‌های اصلی محسوب می‌شوند، اما در برخی مطالعات حضور سرب و جیوه نیز گزارش شده است. به‌همین دلیل، لازم است موضوع سمیت این لجن‌ها به‌صورت دقیق‌تر مورد مطالعه و بازنگری قرارگیرد.

برخی تحقیقات نشان داده‌اند که ارتباطاتی میان وجود این ترکیبات و بیماری‌هایی نظیر آلزایمر، پارکینسون و اختلالات عصبی وجود دارد. بنابراین باید با دقت بیشتری به ترکیبات شیمیایی موجود در این لجن‌ها نگاه کرد.

در زمینه بازیافت و استفاده مجدد (recycle and reuse)، کارهای مختلفی انجام شده است، از جمله:

- بازیابی مواد منعقدکننده از لجن و استفاده مجدد آن‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب؛
- استفاده از لجن تصفیه‌خانه آب به‌عنوان منعقدکننده در تصفیه‌ی تکمیلی پساب، برای بهبود کیفیت نهایی؛
- استفاده از لجن تصفیه‌خانه‌ها در حذف آلاینده‌ها و فلزات سنگین؛
- استفاده از لجن به‌عنوان بستر در تالاب‌های مصنوعی؛
- به‌کارگیری آن در فرآیند آب‌گیری لجن فاضلاب؛
- استفاده از لجن در تولید آجر و سرامیک، به‌دلیل درصد بالای سیلیس؛
- به‌کارگیری آن در ساخت بتن و ملات؛
- و استفاده محدود در کشاورزی، به‌ویژه برای کاربری‌های خاک‌محور و تثبیت فسفر.

در مجموع، هدف از این ارائه این بود که تأکید کنم موضوع مدیریت لجن نباید فقط محدود به لجن فاضلاب باشد. لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های آب نیز نیازمند توجه جدی است. در حالی‌که استانداردهای مرتبط با لجن فاضلاب تا حد زیادی تدوین شده‌اند، در زمینه لجن حاصل از تصفیه آب هنوز خلأ مقرراتی وجود دارد. به‌نظر می‌رسد وزارت نیرو باید در این حوزه ورود کند و با همکاری دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی، مطالعات جامع‌تری را برای شناسایی، ارزیابی و استانداردسازی این نوع لجن‌ها انجام دهد. خیلی ممنونم.