Archive of SID

بررسی کیفیت لجن خشک شده تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اصفهان و کاربرد آن برای مصارف مختلف

بیژن بینا * حسین موحدیان عطار** احمدعلی امینی***

(دریافت ۸۲/۸/۳۰ پذیرش ۸۳/۱/۲۰)

چکیده

لجن ناشی از تصفیه فاضلاب، قبل از دفع نیاز به تصفیه دارد. فرایندهای مورد استفاده برای تصفیه لجن، خصوصیات آن را تغییر داده و برای دفع قابل قبول می‌سازند. با توجه به خواص کودی لجن و استفاده آن در کشاورزی، جنگل‌کاری، چمن زمین‌های بازی و اماکن تفریحی، کود گلدان‌ها، احیای اراضی و غیره و نیز صنعتی شدن شهرها و وجود آلاینده‌های میکروبی، شیمیایی، تخم انگل‌ها، عناصر و ترکیبات بالقوه سمی آلی و معدنی و .... در لجن و نیز استفاده بی‌رویه از آن، موجبات آلودگی فزاینده آب‌های سطحی و زیرزمینی و خاک را فراهم ساخته و در زنجیره غذایی و آلودگی انسان قرار می‌گیرد. در هر صورت، برای اطمینان از حذف آلاینده‌های مذکور، نیاز به تعیین خصوصیات لجن قبل از مصرف می‌باشد. در این مطالعه، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، ارزش کودی، میکروبیولوژیکی و فلزات سنگین لجن خشک شده تصفیه‌خانه‌های جنوب و شمال اصفهان و شاهین‌شهر به مدت شش ماه و هر ۱۰ روز یک بار اندازه‌گیری و میانگین مقادیر آن‌ها با استانداردهای زیست‌محیطی مقایسه گردیدند. نتایج حاصل از انجام آزمون‌ها نشان می‌دهد که میانگین مقادیر **pH**، رطوبت، جامدات کل، مواد آلی، مواد معدنی، ازت، فسفر، پتاسیم و ۱۱ فلز سنگین در هر سه تصفیه‌خانه، و میانگین مقادیر کلیفرم مدفوعی و تخم انگل‌ها در دو تصفیه‌خانه جنوب اصفهان و شاهین‌شهر، در محدوده معمول و یا استاندارد واقع هستند. اما میانگین مقادیر سدیم، کربن آلی و **C/N** در هر سه تصفیه‌خانه و کلیفرم مدفوعی و تخم انگل در تصفیه‌خانه شمال اصفهان از حداکثر مقادیر معمول و مجاز فراتر رفته و لذا کاربرد آن‌ها برای مصارف مختلف مناسب نمی‌باشد و نیاز به تجدید نظر در فرایندهای تصفیه لجن و سیستم بهره‌برداری از این تصفیه‌خانه دارد و چون میانگین مقادیر کلیفرم مدفوعی و تخم انگل در لجن دو تصفیه‌خانه دیگر با توجه به مقررات قسمت ۵۰۳ آئین‌نامه **40CFR** وضع شده توسط **EPA** در کلاس **B** مقررات پاتوژن واقع می‌شوند، بنابراین رعایت محدودیت‌های مصرف آن‌ها در کشاورزی از نظر نوع محصول و زمان برداشت ضروری است. هم‌چنین با توجه به خاصیت تجمع‌پذیری فلزات سنگین و نداشت اثرات حفاظتی لازم استانداردهای **EPA**، در کاربرد این لجن‌ها برای مصارف کشاورزی باید احتیاط و دقت لازم به عمل آید. اما برای سایر مصارف لجن‌ها محدودیتی وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی : لجن خشک، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اصفهان، کلیفرم مدفوعی، مقررات پاتوژن.

Evaluation of Potentially Harmful Substances in Dried Sludge of Isfahan Wastewater Treatment Plants

Bina, B. (Ph.D.), Movahedian, H. (Ph.D.) and Amini, A. (M.Sc.)
School of Public Health, Isfahan University

Abstract

Wastewater sludge is categorized as hazardous waste material which must be stabilized and treated before disposal and reuse. Final disposal of sludge from treatment facilities usually involves some form of land disposal. However, sludge contains different type of pathogens and heavy metals

* دانشیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
** استادیار دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
*** کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط

www.SID.ir

Archive of SID

which can causes pollution of surface and ground waters, soils and spread diseases if there is human exposure to the sludge. In this respect, U.S.EPA presented requirements for using and disposing of sludge.

Thus, taking into account the potential risks caused by presence of heavy metals in sludge and for the control of processes of sludge treatment and disposal and also protect of environmental health and enhauncement of public health level, specially for farmers and consumers of raw crops, needs sampling and characterization of sludge. In the present research concentration of 11 heavy metals and potentially toxic elements in dried sludge of Isfahan South and North and Shahinshahr wastewater treatment plants were determined using standard methods. Samples have been taken from dried sludge of treatment plants, and been measured after being prepared through atomic absorption apparatus and were compared with EPA enacted standards in regulation 40 CFR part 503. As well, fertilizer value parameters of sludge were measured and were compared with standards and guidelines. The results showed that the average concentration of above elements in all three treatment plants, not exceeded from EPA standards, however, regarding the accumulative property of these elements and lack of necessary protective effects of EPA standards, in using these sludges in the agricultural soils, the necessary caution and care should be taken, in other uses of sludges, however, there is no limitation.

مقدمه

لجن فاضلاب، باقی‌مانده حاصل از تصفیه فاضلاب خانگی است و یا به عبارت دیگر، لجن فاضلاب مواد جامدی است که در روش‌های مختلف تصفیه به منظور حذف آلاینده‌های معلق و محلول از فاضلاب از طریق جداسازی مواد جامد از مایع و یا ترسیب شیمیایی و یا فعالیت‌های بیولوژیکی در تصفیه‌خانه فاضلاب به دست می‌آید و در حقیقت، نوعی محصول فرعی مهم در پروسه تصفیه است [٦، ١١ و ١٤]. هدف از تصفیه لجن، تبدیل لجن خام حجیم و بدبو به مواد خنثی و بدون بو که به آسانی آب خود را از دست بدهد، می‌باشد. روش‌هایی که برای تصفیه لجن به کار می‌روند، به اندازه، نوع و موقعیت تصفیه‌خانه، عملیات واحدهای موجود در آن، خصوصیات و مقدار جامدات و بالاخره به طریقه دفع نهایی لجن بستگی دارد [٥]، ولی در هر صورت روش انتخابی بایستی لجن دریافتی را به طور اقتصادی به موادی که از نظر دفع در محیط بلامانع باشد، تبدیل کند [١١].برای دفع لجن روش‌های مختلفی وجود دارد که استفاده مجدد از آن یکی از این روش‌هاست و منظور از استفاده لجن، بهره‌برداری اقتصادی از آن است [١٦]. در بعضی مواقع لجن بنا به دلایلی مانند داشتن مواد سمی بیش از حد، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد که در این صورت دفع (دفع نهایی) می‌گردد [١٩]. لجن ممکن است به عنوان منبع انرژی، به عنوان منبع تولید بعضی مواد مثل پودر کربن فعال یا مصالح ساختمانی و یا غذای دام و بالاخره بر روی زمین برای بهبود خاک مورد استفاده قرار گیرد [١٦ و ١٧]. استفاده از لجن در زمین یکی از مهم‌ترین روش‌های استفاده مجدد است که شامل استفاده‌های کشاورزی، جنگل‌کاری و درخت‌کاری، احیای اراضی، چمن زمین‌های بازی مثل فوتبال و بیس‌بال و میدان‌های اسب‌دوانی، پارک‌ها و اماکن تفریحی و ... می‌شود [١٤].برای هر نوع استفاده لجن، قبلاً بایستی کلیه جوانب کار از قبیل نحوه تصفیه لجن، نحوه استفاده از زمین، موقعیت تصفیه‌خانه، قوانین و مقررات موجود، شرایط اقلیمی و منطقه‌ای، مشخصات خاک، نحوه استفاده از زمین، موقعیت توپوگرافی، وضعیت زمین، فاصله تصفیه‌خانه از اراضی مورد نظر و بالاخره عوامل اجتماعی موثر، به دقت مورد مطالعه قرار گیرد، تا از بروز مسائل بهداشتی و زیست‌محیطی جلوگیری شود [٩، ١١، ١٦ و ١٨]. روش‌های استفاده فوق‌الذکر هر کدام مزایا و معایبی دارند. مهم‌ترین مزایای آن عبارت است از : وجود مواد مغذی مورد نیاز گیاهان، داشتن نقش اصلاح کننده با ارزش برای خاک، داشتن هزینه پایین، نداشتن محدودیت فلزات سنگین برای مصارف غیر کشاورزی، تنظیم pH خاک در حد خنثی و .... [١٥].

اگرچه لجن فاضلاب، دارای مواد مغذی گیاهی مفید است و خواص اصلاح کننده برای خاک دارد، اما ممکن است حاوی باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزوئرها، پارازیت‌ها و سایر ارگانیسم‌های مولد بیماری و یا

www.SID.ir

Archive of SID

فلزات سنگین و ترکیبات آلی سمی مثل PCB_s [1] و حشره‌کش‌ها و ... نیز باشند. به استفاده از این لجن می‌تواند بالقوه برای محصولات کشاورزی، حیوان و انسان خطرناک باشد، زیرا کنترل تماس مردم با چمن‌ها و اماکن تفریحی که در آن‌ها لجن به کار برده می‌شود مشکل است و چنین زمین‌هایی از نظر کنترل آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک و گیاهان، مصرف‌کنندگان، کارکنان و ... نیاز به پایش‌های وسیع دارند [۱۵]. به همین دلیل و برای حفاظت بهداشت عمومی بسیاری از کشورها استفاده و دفع لجن را قانونمند کردند. در همین راستا سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا EPA، مقرراتی را تحت عنوان آئین‌نامه 40CFR (Code of Federal Regulations) تنظیم نموده که شامل قسمت‌های زیر است :

الف- مقررات طرح شده به منظور کنترل و کاهش پاتوژن‌ها در لجن فاضلاب

این مقررات که در زیر قسمت D از قسمت ۵۰۳ آئین‌نامه مذکور آمده است، به دو دسته کلاس A و کلاس B تقسیم می‌شوند. هدف اصلی مقررات کلاس A ، کاهش پاتوژن‌های لجن فاضلاب به زیر سطوح قابل تشخیص می‌باشد. یعنی کمتر از ۳MPN سالمونلا،۱PFU ویروس روده‌ای و یک تخم انگل بارور در هر ٤ گرم جامدات کل بر حسب وزن خشک لجن فاضلاب و یا کمتر از ۱۰۰۰MPN کلیفرم مدفوعی در هر گرم جامدات کل بر حسب وزن خشک لجن. شش گزینه برای کاهش پاتوژن کلاس A وجود دارد که روش‌ها و فرایندهای لازم برای رسیدن به سطوح فوق را بیان و مورد بحث قرار می‌دهند.

هم‌چنین هدف اصلی مقررات کلاس B ، عبارت است از، اطمینان از این که پاتوژن‌ها به سطوحی کاهش یابند که ایجاد تهدید برای بهداشت عمومی و محیط زیست، تحت شرایط معین و مشخص استفاده بعید باشد، یعنی کمتر از ۲ میلیون MPN کلیفرم مدفوعی در هر گرم جامدات کل بر حسب وزن خشک لجن برای لجن کلاس B که روی زمین به کار می‌روند. برای به حداقل رساندن پتانسیل تماس انسان و حیوان با لجن برای یک دوره زمانی معین، وضع محدودیت‌هایی از نظر نوع محصول و زمان برداشت، ضروری است تا فاکتورهای محیطی وسیله کاهش پاتوژن‌ها را فراهم سازند. لجن کلاس B را نمی‌توان به صورت بسته‌بندی در داخل کیسه‌ها یا سایر ظروف برای مصارف مختلف فروخت. ضمن این که هیچ‌کدام از این محدودیت‌ها برای لجن کلاس A وجود ندارد. در کلاس B نیز ۳ گزینه، روش مختلف برآورده کردن هدف اصلی این کلاس را بیان می‌کنند [١٤]. قابلیت کاربرد مقررات کاهش پاتوژن‌ها در زیر قسمت D از قسمت ۵۰۳ آئین‌نامه در جدول ۱ به طور خلاصه آمده است.

ب- مقررات وضع شده به منظور کاهش توانایی جذب ناقلین (Vector Attraction)

ناقلین، ارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که توانایی انتقال پاتوژن را از طریق مکانیکی یا بیولوژیکی دارند، مانند حشرات، جوندگان، پرندگان و ... که می‌توانند انسان یا حیوان را در تماس با پاتوژن‌های لجن فاضلاب قرار دهند و به عنوان یک خطر مطرح می‌باشند. قسمت ۵۰۳ آئین‌نامه، ۱۲ گزینه برای کاهش جذب ناقلین در لجن فاضلاب ارائه نموده است [١٤].

ج- محدودیت‌های فلزات سنگین و ترکیبات آلی

غالباً فاضلاب‌های صنعتی و آب‌های باران زهکشی شده از خیابان‌ها و معابر به مجاری جمع‌آوری فاضلاب وارد می‌شوند. بنابراین لجن فاضلاب علاوه بر مواد آلی حاوی میزان کمی از آلاینده‌هایی است که در جوامع مدرن استفاده می‌شود [۱، ۸، ۱۱ و ۱۳] که این عناصر شیمیایی هم برای گیاهان و حیوانات می‌تواند مفید باشد و هم مضر. بنابراین لازم است که میزان آن‌ها در خاک کنترل شود [۱۲]. چون از عوامل

[1] Poly Chorinated Bipherryls

www.SID.ir

Archive of SID

مهم و تعیین کننده کیفیت لجن برای مصارف مختلف هستند [۱۰].

مواد و روش‌ها

مطالعات اولیه حاکی از عدم رعایت استانداردهای مذکور در مورد لجن‌های مصرفی است و از طرفی جلوگیری از مصرف این لجن‌ها نیز کاری ساده نیست، لذا شناسایی کیفیت و اصلاح آن مد نظر قرار گرفت و در این راستا سه تصفیه‌خانه جنوب و شمال اصفهان و تصفیه‌خانه شاهین‌شهر برای مطالعه لجن‌های آن‌ها انتخاب و به مدت حدود شش‌ماه این مطالعه صورت گرفت. در این تحقیق برای تعیین خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، ارزش کودی، میکروبیولوژیکی، بیولوژیکی و فلزات سنگین لجن، پارامترهای: pH، جامدات کل، رطوبت، مواد آلی، خاکستر (مواد معدنی)، کربن، ازت، فسفر، سدیم، پتاسیم، C/N، کلیفرم مدفوعی، تخم انگل بارور و ۱۱ فلز سنگین؛ انتخاب گردیدند. مدت نمونه‌برداری ٦ ماه و فواصل نمونه‌برداری ۱۰ روز تعیین شد. در مجموع ١٤ نمونه از هر تصفیه‌خانه و جمعاً ٤٢ نمونه برای تعیین پارامترهای مطرح شده به طور تصادفی برداشته شد، به استثنای آزمون تخم انگل که ۸ نمونه از هر تصفیه‌خانه برداشت شد. محل نمونه‌برداری در هر تصفیه‌خانه، لجن خشک آماده فروش برای کشاورزی، از محل دپوی لجن یا بسترهای خشک‌کن تعیین گردید. نمونه‌های یک‌نواخت، با توجه به شرایط ذکر شده در مراجع، در ظروف پلاستیکی تمیز برای آزمون‌های عادی، و ظروف

جدول ۱- قابلیت کاربرد لجن برای مصارف مختلف با توجه به مقررات زیر قسمت D از قسمت ۵۰۳

مصارف	کشاورزی	احیای اراضی	زمین‌های چمن	جنگل کاری	اماکن تفریحی و پارک‌ها	بسته بندی برای فروش	باغچه های خانگی	گلدان‌ها	مراتع	دفع سطحی*
کلاس A	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
کلاس B و محدودیت‌های محل	×	×		×	×				×	

*** چنانچه در پایان هر روز با خاک پوشانده شود**

استریل شده برای آزمون‌های میکروبیولوژیکی برداشت شدند. برای آزمون‌های میکروبیولوژیکی، برای جلوگیری از تغییر وضعیت نمونه‌ها و حفظ شرایط واقعی، ظروف نمونه تا انتقال به آزمایشگاه در شرایط مناسب از نظر درجه حرارت نگهداری شدند [١٤]. آزمایشگاه‌هایی که آزمون در آن صورت گرفت، آزمایشگاه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و آزمایشگاه مرکزی آب و فاضلاب شرکت آب و فاضلاب استان تهران بودند.

آزمون با استفاده از روش‌های استاندارد ذکر شده در مراجع مختلف مثل استاندارد متد و سایر مراجع معتبر به دقت انجام و نتایج گزارش گردید[۲، ۳، ٤، ۷ و ۱۰]. در آزمون کلیفرم مدفوعی چون نمونه‌ها جامد بودند و پیش‌بینی می‌شد دانسیته آن‌ها در لجن بالا باشد، برای آماده‌سازی نمونه‌ها و تهیه دانسیته مناسب، از روش پیشنهادی EPA استفاده گردید و سپس با استفاده از روش معمول MPN طبق دستورالعمل ۹۲۲۱E استاندارد متد چاپ هیجدم آزمایش ادامه یافت و با استفاده از نتیجه آزمون جامدات کل برای نمونه مزبور،

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه گزارش گردید [۱۰ و ۱٤]. برای انجام آزمون تخم انگل بارور نیز از روش اختصاصی برای نمونه‌های جامد و نیمه جامد پیشنهاد شده توسط EPA استفاده شد. در این روش چند نوع تخم انگل روده‌ای شناسایی و تعیین تعداد شده و قابلیت زنده بودن آن‌ها تعیین می‌گردند [۱٤].

نتایج و بحث

برای بررسی کیفیت لجن خشک شده تولیدی در تصفیه‌خانه و مقایسه آن با استانداردها برای مصارف مختلف، نتایج به دست آمده در چهار محور مورد بحث قرار می‌گیرد.

بررسی کیفیت فیزیکی لجن فاضلاب

جدول ۲، میانگین pH، رطوبت، جامدات کل، مواد آلی و مواد معدنی (خاکستر) لجن فاضلاب در سه تصفیه‌خانه و مقایسه با مقادیر معمول را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین مقادیر این پارامترها، همگی در محدوده معمول قرار دارند و بنابراین کاربرد این لجن‌ها از این نظر برای مصارف مختلف مطرح شده به خصوص برای مصارف کشاورزی بلامانع است. ولی مقادیر مواد آلی در تصفیه‌خانه‌ها نسبتاً بالا است که نشان دهنده عدم کارایی درست سیستم هضم بی‌هوازی در تصفیه‌خانه‌ها و تثبیت لجن می‌باشد. اما نکته حائز اهمیتی که بایستی به آن اشاره شود، این است که، در هر تصفیه‌خانه، با افزایش زمان ماند لجن در بستر، روند تقریباً افزایشی در pH و نیز روند تقریباً کاهنده در رطوبت و مواد آلی مشاهده می‌گردد، اما در این روندهای افزایش یا کاهش ناهماهنگی‌هایی وجود دارد.

بررسی کیفیت لجن فاضلاب از نظر ارزش کودی

پارامترهای کربن، ازت، فسفر، سدیم و پتاسیم در این ارتباط اندازه‌گیری شد. جدول ۳ میانگین این پارامترها را در سه تصفیه‌خانه نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، میانگین مقادیر سدیم و کربن در هر سه تصفیه‌خانه بالا بوده و خارج از محدوده استاندارد قرار دارد، که البته در مورد سدیم، بدون داشتن مقادیر سایر کاتیون‌ها مثل کلسیم و منیزیم، قضاوت مشکل است. اما علت اصلی بالا بودن کربن (به ترتیب ٥٦، ٦١/٣ و ٦٦٪ برای تصفیه‌خانه‌های جنوب،

جدول ۲- میانگین مقادیر پارامترهای فیزیکی لجن در تصفیه خانه‌های فاضلاب اصفهان و مقایسه با مقادیر معمول

پارامتر	زمان ماند (روز)	pH	درصد رطوبت	درصد جامدات کل	درصد مواد آلی	درصد مواد معدنی (خاکستر)
جنوب	۴۹ - ۳۹ سال	۷/۶۲۳۸۳	۳۰	۶۹/۶	۴۷/۴	۵۲/۶
شمال	۶۴	۷/۵۹	۳۳	۶۶/۶	۴۱/۶	۵۸/۴
شاهین شهر	۱۸۰	۷/۳	۳۵	۶۴/۵	۴۷/۵	۵۲/۵
مقادیر معمول	-	۶-۹	۳۰-۵۰	۵۰-۷۰	۲۵-۵۰	۲-۶۵

جدول ۳- میانگین مقادیر پارامترهای ارزش کودی لجن در تصفیه خانه‌های اصفهان و مقایسه با مقادیر توصیه شده

پارامتر	کربن (درصد)	ازت (درصد)	فسفر (درصد)	سدیم (درصد)	پتاسیم (درصد)	C/N
جنوب	۵۶	۲/۶۶	۲/۲۵	۰/۸۶	۰/۳۹	۲۱/۱
شمال	۶۱/۳	۲/۴۸	۱/۷۳	۱/۳۴	۰/۳۸	۲۴/۷
شاهین شهر	۶۶	۲/۲۳	۲/۵۱	۱/۲۷	۰/۳۹	۲۰/۴
مقادیر معمول	۸-۵۰	۰/۱-۳/۵	۰/۳-۳/۵	۰/۲-۰/۵	۰/۱-۲/۸	۲۰

www.SID.ir

Archive of SID

شمال و شاهین‌شهر) و مقادیر نسبت C/N ، هضم و تغلیظ ناقص لجن در مراحل قبلی تصفیه لجن می‌باشد.

همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، میانگین مقادیر مواد آلی نیز در هر سه تصفیه‌خانه تقریباً بالا بوده و به کرانه بالای محدوده استاندارد نزدیک هستند. از آنجا که به علت ارتباط کربن با ازت مقایسه مقدار کربن با استاندارد به تنهایی خیلی ارزشمند نیست، بنابراین نسبت کربن به ازت (C/N) پارامتر بهتری برای مقایسه می‌باشد. همان طور که در جدول ۳ نشان داده شد، میانگین C/N در تصفیه‌خانه شاهین‌شهر تقریباً در حد استاندارد (۲۰/٤) و در تصفیه‌خانه جنوب، با قدری تسامح می‌توان گفت در حد استاندارد (۲۱/۱) قرار دارد. ولی در تصفیه‌خانه شمال این مقدار از استاندارد فراتر رفته (۲٤/۷)، که علت آن یعنی بالا بودن مواد آلی و کربن توضیح داده شد. به هر حال برای جلوگیری از وقوع پدیده دزدی ازت خاک، بایستی برای کاهش میزان کربن (تثبیت بهتر لجن در طی فرایندهای تصفیه لجن)، برنامه‌ریزی و تلاش نمود. قابل ذکر است که پدیده دزدی ازت معمولاً در نسبت‌های C/N خیلی بالا به وجود می‌آید که در این تصفیه‌خانه خوشبختانه میانگین مقدار C/N خیلی از مقدار استاندارد وضع شده بیشتر نیست. میانگین مقادیر ازت، فسفر و پتاسیم در هر سه تصفیه‌خانه در محدوده استاندارد واقع هستند. در نهایت با توجه به نتایج بررسی‌ها تصفیه‌خانه شمال با داشتن کمترین میزان ازت، فسفر و پتاسیم و داشتن بیشترین مقدار سدیم و نسبت C/N ، کمترین مطلوبیت را از نظر ارزش کودی دارد ولی در مجموع ارزش کودی این لجن‌ها نسبتاً بالا بوده و حاوی مقادیر قابل توجهی مواد مغذی ضروری برای رشد گیاهان و محصولات می‌باشند. بنابراین کاربرد آن‌ها به عنوان کود بدون در نظر گرفتن سایر محورهای مورد بررسی بلامانع و مفید بوده و در صورت مدیریت صحیح، باعث ارتقاء حاصل‌خیزی خاک می‌شود.

بررسی کیفیت لجن فاضلاب از نظر بهداشتی

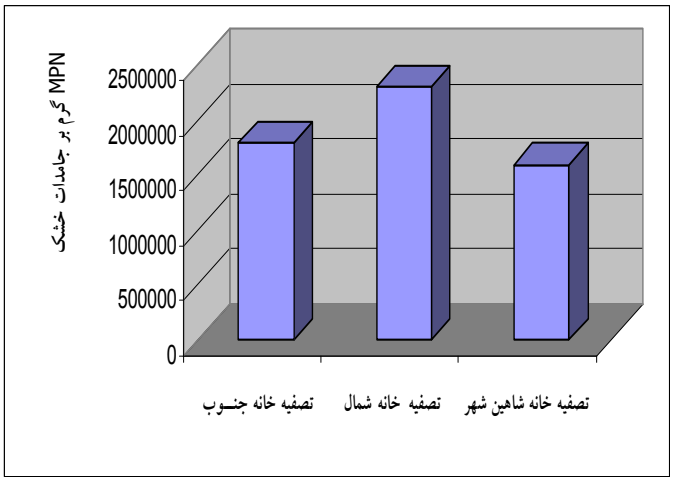
الف- کلیفرم مدفوعی

میانگین هندسی کلیفرم مدفوعی در سه تصفیه‌خانه جنوب، شمال و شاهین‌شهر به ترتیب MPN/g $۱/۸\times۱۰^{٦}$، MPN/g $۲/۳\times۱۰^{٦}$ و MPN/g $۱/٦\times۱۰^{٦}$، وزن خشک لجن فاضلاب می‌باشد. همان طور که ملاحظه می‌شود با توجه به توضیحات قبلی، لجن تصفیه‌خانه‌های جنوب و شاهین‌شهر در کلاس B طبقه‌بندی پاتوژن‌ها از نظر EPA قرار می‌گیرند. چون مقادیر میانگین آن‌ها بالاتر از ۱۰۰۰ و کمتر از دو میلیون MPN بر گرم وزن خشک جامدات کل لجن می‌باشد، برای مصرف این لجن‌ها بایستی مقررات مربوط به کلاس B مقررات پاتوژن‌ها، و محدودیت‌های محل مربوط به نوع محصول و زمان برداشت، به دقت به مورد اجرا گذاشته شود. اما چون دانسیته کلیفرم مدفوعی در تصفیه‌خانه شمال بیشتر از ۲ میلیون MPN برگرم می‌باشد، لذا حتی در کلاس B مقررات پاتوژن قرار نگرفته و از مصرف این لجن‌ها جداً بایستی خودداری گردد و حتماً مسئولین تصفیه‌خانه‌ها در مورد مراحل قبلی تصفیه لجن (فرایندها و نحوه بهره‌برداری) و نیز زمان ماند لازم در بسترها برای کاهش پاتوژن به حد کافی، قبل از فروش لجن برای مصرف، تجدید نظر به عمل آورند. یعنی با استفاده از یکی از روش‌های قید شده در گزینه ۲ و ۳ کلاس B، کیفیت لجن حاصله در حد مقررات کلاس B اصلاح گردد.

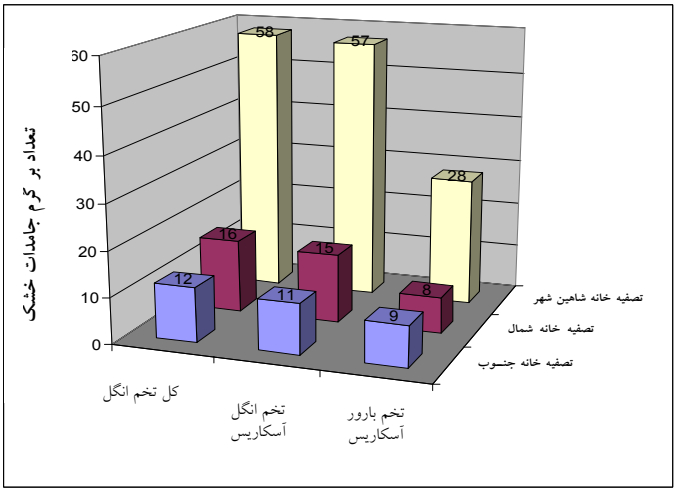
و در غیر این صورت از فروش چنین لجن‌هایی برای مصارف مختلف به خصوص کشاورزی به طور جدی اجتناب شود. شکل ۱ میانگین مقادیرکلیفرم مدفوعی در تصفیه‌خانه‌های اصفهان را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- میانگین هندسی مقادیر کلیفرم مدفوعی لجن خشک شده در تصفیه‌خانه های اصفهان



شکل ۲- مقایسه میانگین مقادیر کل تخم انگل، آسکاریس و تخم بارور آسکاریس لجن خشک شده در تصفیه خانه‌های اصفهان

جدول ۴- میانگین مقادیر فلزات سنگین لجن خشک شده در تصفیه خانه‌های فاضلاب اصفهان و مقایسه با استاندارد بر حسب mg/kg

عناصر / تصفیه خانه	Cr	Co	Cd	Cu	Pb	Ni	Zn	Fe	Mn	As	Hg
جنوب	۳۹	۵/۳	۴/۶	۵۲۹	۱۶۷	۷۳	۹۶۲	۱۰۹۵۴	۱۹۹	۲/۶۴	۱/۴
شمال	۵۸	۸/۴	۷/۱	۴۶۵	۱۶۶	۶۱	۱۱۵۲	۱۰۸۴۶	۱۸۹	۱/۹	۲/۵
شاهین شهر	۴۸	۲/۷	۴/۴	۲۰۶	۱۱۴	۷۹	۱۰۲۹	۱۱۱۸۳	۱۷۸	۳/۳	۱/۹
استاندارد	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۳۹	۱۵۰۰	۳۰۰	۴۲۰	۲۸۰۰	۱۱۰۰۰	۲۶۰	۴۱	۱۷

www.SID.ir

Archive of SID

ب- تخم انگل

هرچند برای لجن کلاس B مقررات پاتوژن EPA ، تنها انجام آزمون تعیین دانسیته کلیفرم مدفوعی به عنوان اندکس، کافی می‌باشد و نیازی به انجام سایر آزمایش‌های تعیین کیفیت میکروبیولوژیکی مثل ویروس، سالمونلا و تخم انگل نیست، ولی به لحاظ اهمیت تخم انگل آزمون اختصاصی برای تعیین دانسیته تخم انگل بارور در لجن انجام گردید. هدف اصلی در این آزمون تعیین و شمارش تخم بارور اسکاریس لمبریکوئیدس به عنوان اندکس تخم انگل‌ها (مقاوم‌ترین تخم انگل) می‌باشد، اما در اینجا تعداد تخم انگل‌های غیر بارور، تعداد لارو آسکاریس و هم‌چنین تعداد سایر تخم انگل‌های مشاهده شده در سل، مثل تنیا، ترایکوریس و هایمنولیپیس ناتا (که تعدادشان بسیار کم نیز بوده) هم قرائت شده و در نهایت به صورت تعداد کل تخم اسکاریس و کل تخم انگل گزارش گردید. در هر صورت، تعداد نسبتاً بالای تخم انگل‌های آسکاریس (به عنوان اندکس) در نمونه‌ها، موید مطالب اشاره شده در مورد کلیفرم مدفوعی است و لزوم بازنگری در نوع فرآیندها و سیستم‌های بهره‌برداری مراحل تصفیه لجن را در تصفیه‌خانه‌ها به خصوص تصفیه‌خانه شمال، با توجه به استانداردهای مدون EPA در زیر قسمت D از قسمت ۵۰۳ آئین‌نامه 40CFR و دادن زمان مانند کافی به لجن پس از تصفیه و قبل از فروش در بسترهای خشک‌کن یا محل‌های دپو، برای کاهش پاتوژن‌ها حداقل به سطح کلاس B و سپس رعایت محدودیت‌های محل از نظر محصول و زمان برداشت و آموزش‌های لازم به مصرف کنندگان و آگاه ساختن آن‌ها از خطرات بالقوه و بالاخره پایش‌های دوره‌ای، بسیار ضروری است.

شکل ۲ میانگین مقادیر کل تخم انگل، تخم آسکاریس و تخم بارور آسکاریس لجن خشک شده در تصفیه‌خانه‌های اصفهان را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود قسمت عمده تخم انگل را تخم آسکاریس تشکیل داده که از بین آن‌ها نیز بیش از ۵۰٪ تخم‌ها بارور می‌باشند که نگرانی عمده مربوط به این دسته است.

٤- بررسی کیفیت لجن فاضلاب از نظر فلزات سنگین

مهم‌ترین مواد شیمیایی معدنی سمی در لجن فاضلاب، که قادرند بیماری‌های حاد یا مزمن در انسان ایجاد کنند و یا برای گیاهان و جانوران اثرات سوء داشته باشند، عمدتاً عناصر جدول ٤ هستند که اندازه‌گیری شدند. قسمت اعظم فلزات سنگین، در حین عملیات تصفیه فاضلاب، به صورت اکسید یا هیدروکسید در لجن ته‌نشین می‌شوند و چنانچه لجن حاصله برای تقویت و اصلاح خاک مصرف شود، برخی از فلزات سنگین ممکن است آزاد شده و به وسیله گیاهان جذب شوند. خصوصاً در خاک‌هایی که pH آن‌ها اسیدی و کمتر از ٦/٥ باشد. همان طور که از جدول ٤ بر می‌آید، میانگین مقادیر این عناصر در نمونه‌های موردآزمایش، به جز یک مورد عنصر آهن در تصفیه‌خانه شاهین‌شهر، در بقیه موارد از مقادیر استاندارد وضع شده EPA (حداکثر مجاز) فراتر نرفته و لذا کاربرد این لجن از لحاظ این عناصر برای تمامی مصارف لجن که مورد بحث قرار گرفت، ظاهراً بلامانع است و مشکلی از این جهت وجود ندارد. اما توجه به دو مطلب را در این ارتباط نبایستی از نظر دور نگه داشت. اول این که عموماً این عناصر خاصیت تجمع‌پذیری داشته و بنابراین در میزان کاربرد این لجن‌در یک خاک خاص، در هر نوبت، در طول سال و نیز در سال‌های متوالی، بایستی دقت بیشتری به عمل آید و مقدار کاربرد لجن به عنوان یک پارامتر مهم در طراحی، و نیز سایر پارامترها از جمله شرایط و مشخصات خاک، حتماً در نظر گرفته شوند. یعنی ملاک قضاوت، بیشتر میزان وجود این عناصر در خاک است تا میزان آن‌ها در لجن. مطلب دوم این است که اخیراً تحقیقاتی در مورد استانداردهای وضع شده EPA برای فلزات سنگین انجام شده و محققان معتقدند در

www.SID.ir

Archive of SID

وضع استانداردها به نکاتی از جمله تفاوت‌های شیمی خاک و لجن، اثرات مواد معدنی و آلی بر روی غیر محلول نگه داشتن فلزات سمی، ثابت فرض کردن اثرات حفاظتی لجن با گذشت زمان، کم بودن مقادیر اکسیدهای منگنز در بیشتر خاک‌ها به عنوان خنثی کننده اثرات سمی و ... توجه دقیق نشده، و بنابراین اثرات طولانی مدت کاربرد لجن حاوی فلزات در بارگذاری‌های تعیین شده توسط مقررات EPA هنوز نامشخص است و اثرات حفاظتی لازم را ندارد؛ و نهایتاً این که در کاربرد آن‌ها در خاک‌های کشاورزی باید احتیاط شود تا از آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک‌ها و گیاهان و قرار گرفتن در زنجیره غذایی و در نتیجه آلودگی حیوان و انسان اجتناب گردد. ولی مصرف این لجن‌ها برای سایر کاربردهای پیش گفته لجن بلامانع است. هم‌چنین توجه به جدول ٤ نشان می‌دهد که تقریباً مقادیر اکثر عناصر در تصفیه‌خانه شمال نسبت به دو تصفیه‌خانه دیگر بالاتر است؛ و هر چند در محدوده زیر حداکثر مجاز واقع هستند، ولی می‌تواند قابل تأمل باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

از نظر خصوصیات فیزیکی، با توجه به بالا بودن نسبی مقادیر رطوبت و مواد آلی لجن در تصفیه‌خانه‌ها، تجدید نظر در سیستم‌های بهره‌برداری تصفیه لجن ضروری است.

مصرف لجن به عنوان کود و یا اصلاح کننده خاک در مزارع کشاورزی، مناسب بوده و دارای مزایایی است که این مزایا از سه محور مورد بررسی قرار گرفته و مهم هستند:

نخست این که می‌توان لجن فاضلاب را به عنوان یک منبع با ارزش مواد مغذی و نیز یکی از روش‌های دفع لجن با هزینه پایین مورد بررسی قرار داد.

دوم این که می‌توان به کاربرد لجن فاضلاب از نظر مزرعه داران از دید افزایش سود توجه کرد.

و سوم این که می‌توان از دیدگاه اقتصاد کشور و بهبود آن به مسئله کاربرد لجن فاضلاب توجه کرد.

از نظر میکروبیولوژیکی و بیولوژیکی، استفاده از این لجن برای مصارفی مثل : چمن زمین‌های بازی، باغچه‌های خانگی، گلدان‌ها و فروش آن‌ها به صورت بسته‌بندی برای مصارف مختلف مناسب نمی‌باشد؛ و به استثنای لجن تصفیه‌خانه شمال، برای سایر مصارف مثل زمین‌های کشاورزی، جنگل‌کاری، اماکن عمومی و تفریحی، مراتع و احیای اراضی با رعایت محدودیت محل، قابلیت کاربرد دارد؛ برای سایر مصارف و دفع سطحی بدون محدودیت سایت نیز قابل استفاده است؛ اما لجن تصفیه‌خانه شمال، چنانچه در پایان هر روز کاری با خاک پوشانده شود. تنها برای دفع سطحی مناسب است.

از نظر فلزات سمی، این لجن‌ها، بدون محدودیت برای تمامی مصارف لجن قابل استفاده است و تنها برای مصارف کشاورزی، به دلیل خاصیت تجمع‌پذیری این فلزات و نداشتن اثرات حفاظتی لازم استانداردهای EPA ، کاربرد آن‌ها بایستی با احتیاط صورت گیرد.

تجدید نظر در سیستم‌های تصفیه لجن، مراحل فرایندها و نحوه بهره‌برداری از سیستم‌ها، اعمال کنترل دقیق و نظارت بر بهره‌برداری و نگهداری از این سیستم‌ها و لزوم سیستم نظارت و کنترل و دفع لجن در هر سه تصفیه‌خانه ضروری است. آموزش کارکنان تصفیه‌خانه‌ها و کارگران مزارع و سایر افراد مرتبط در مورد نکات بهداشتی، نحوه استفاده از لجن و محدودیت‌های مصرف آن، ضرورت دارد.

با توجه به این که کشورمان خاک‌های فقیر از نظر مواد مغذی زیاد دارد، واردات کودهای شیمیایی هزینه‌های ارزی-ریالی زیادی داشته و از طرفی باعث آلودگی غیر قابل جبران محیط زیست می‌شود؛ و این لجن‌ها نیز از نظر ارزش کودی بسیار ارزشمند می‌باشند؛ برنامه‌ریزی درازمدت برای امکان گسترش تولید کود از لجن، که در آن رعایت ضوابط و استانداردها از نظر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی،

www.SID.ir

Archive of SID

ارزش کودی، میکروبیولوژیکی و عناصر بالقوه سمی شده باشد، به عنوان یک منبع درآمد و کمک به اقتصاد صنعت آب و فاضلاب کشور توصیه می‌شود.

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده، استانداردی در زمینه مصارف مختلف لجن در ایران وجود ندارد؛ تدوین یک استاندارد که با توجه به شرایط خاص نقاط مختلف کشورمان از نظر شرایط آب و هوایی، شرایط و خصوصیات خاک، امکانات و فناوری موجود برای تصفیه لجن، نوع محصولات و از همه مهمتر ضروریات و الزامات خاص کشور تهیه شده باشد، به دست اندرکاران سازمان‌های ذیربط مثل وزارت بهداشت، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، سازمان حفاظت محیط زیست و وزارت کشاورزی... توصیه اکید می‌شود. در ضمن اطلاعات این تحقیق و انجام تحقیقات مشابه در سایر نقاط کشور می‌تواند اساسی برای تدوین این استانداردها از نظر شناسایی وضعیت موجود و خصوصیات لجن‌ها باشد.

برای تحقیقات بعدی پیشنهاد می‌شود پارامترهای فوق‌الذکر به خصوص فلزات سنگین و کلیفرم مدفوعی و تخم انگل در خاک‌های مزارعی که این لجن‌ها در آن‌ها به کار می‌روند و محصولات رشد یافته در آن‌ها، اندازه‌گیری و تعیین مقدار شوند تا بتوان اثرات واقعی کاربرد این لجن‌ها را تعیین نموده و در وضع استاندارد خاص ایران نیز کمک نمود.

مطالعه دیگری که در این مورد ضروری به نظر می‌رسد، کنترل زمان ماند لجن در بسترهای خشک‌کن در تصفیه‌خانه‌ها و بررسی اثر زمان ماند بر سایر پارامترها به خصوص رطوبت، pH، تخم انگل، کلیفرم مدفوعی و ... با در نظر گرفتن شرایط و عوامل محیطی است تا به این وسیله بتوان استاندارد نگه‌داری لجن در تصفیه‌خانه‌ها را قبل از فروش به دست آورد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱- اسدی، س.ر.، (۱۳۷٤)."*بررسی شاخص‌های مهندسی بهداشتی کاربرد پساب و لجن حاصل از تصفیه فاضلاب خانگی در مصارف کشاورزی*"، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

۲- ترکیان، ا.، (۱۳۷۲)."*راهنمای آزمایش‌های آب و فاضلاب*"، انتشارات دانشگاه علوم پزشکی اصفهان.

۳- زرین‌کفش، م.، (۱۳٦۷). "*خاکشناسی کاربردی*"، انتشارات دانشگاه تهران.

٤- گودینی. ح.، (۱۳۷۳). "*بررسی اثرات هوادهی، کمپوست کردن، رطوبت و زمان بر روند تثبیت و کیفیت کمپوست زباله‌های شهری*"، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان.

۵- معقول. ن.، (۱۳۷۳). "*بررسی مشکلات هضم بی‌هوازی لجن در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اصفهان*"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تحصیلات تکمیلی و تحقیقات عالی.

٦- منزوی. م.، (۱۳٦٦). "*فاضلاب شهری، تصفیه فاضلاب*"، چاپ دوم، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

۷- مؤسسه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، (۱۳٦٦). "*شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک*"، نشریه شماره ۸۹۳

8- Hong, R., T., (1993). "*The Practical Handbook of Compost Engineering",* Lews.

9- Lannelli, M., (1971). "*Sludge Treatment and Disposal",* Water Services Journal.

10- Lenores, C., (1977). "*Standard Method for the Examination of Water and Wastewater",* AWWA. A.A.P.HA, AWWA.

11- Metcalf and Eddy, (1991). "*Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse",* McGraw-Hill Book Co., Newyork.

12- Pescod, M.B., (1992). "*Wastewater Treatment and Use in Agriculture",* F.A.O. of the United Nations, Rome.

13- Carbitts, R., (1989). "*Standard Handbook of Environmental Engineering",* McGraw-Hill Publishing Co.

14- U.S. EPA, (1992). "*Environmental Regulations Technology : Control of Patogens and Vector Attrition in Sewage Sludge*", EPA/G25/R-92/03.

15- U.S.EPA., (1983). "*Process Design Manual for Land Application of Municipal Sludge",* EPA-625/1-83-0/6.

16- U.S.EPA, (1979). "*Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal",* EPA 625/1-79-Oll.

17- U.S.EPA, (1977). "*Process Design Manual Wastewater Treatment Facilities for Sewere Small Communities".*

18- U.S.EPA, (1977). "*Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater*".

19- U.S.EPA, (1974). "*Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal".*

www.SID.ir