



مطالعه‌ی تأثیر پرتو گاما بر کاهش بار برخی عوامل بیماری‌زای موجود در لجن فاضلاب شهری

رامسینا بت عیشو*، خدیجه قطبی کهن، فرحناز نبردی، رویا رفیعی

پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران - ایران

چکیده: استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی، باعث انتقال آلاینده‌ها به زنجیره‌ی غذایی و انتشار آنها می‌شود. در این مقاله، میزان عوامل بیماری‌زا و نیز فلزهای سنگین و مغذی در لجن حاصل از فاضلاب تصفیه‌خانه‌های شهری اکباتان و شهید محلاتی (تهران) در سه نوبت نمونه‌برداری مستقل بررسی شد. هم‌چنین کاهش عوامل بیماری‌زا در لجن به دست آمده با دز ۱۰kGy پرتو گاما حاصل از ^{60}Co مطالعه شد. نتایج نشان داد که لجن تصفیه‌خانه‌ها از نظر مقدار فلزهای سنگین و مغذی در محدوده‌ی مجاز استاندارد است. بوی نمونه‌های پرتودیده کم‌تر از نمونه‌های شاهد بود. میزان عوامل بیماری‌زا پس از تابش دهی به زیر حد مجاز رسید، در حالی که تعداد تخم‌های زنده‌ی آسکاریس در لجن تصفیه‌خانه اکباتان حتی پس از تابش دهی، بالاتر از حد مجاز بود. با توجه به این نتایج، فقط لجن تصفیه‌خانه‌ی شهید محلاتی به لجن کلاس A تبدیل شد، به این معنی که بتواند در باغ‌ها و حتی منازل قابل استفاده باشد. ضروری است قبل از استفاده از این لجن، الزامات کاهش تجمع حشرات به کار گرفته شود. قابلیت به کارگیری دز مزبور به منظور تبدیل لجن به کود بهداشتی، به دلیل ثابت نبودن آلودگی میکروبی، منوط به تعیین آلودگی اولیه است.

کلیدواژه‌ها: فاضلاب، کود بهداشتی، تابش دهی، آسکاریس، آلاینده‌ها

A Study on the Effect of Gamma Rays on Reducing the Burden of Some Pathogens in Sewage Sludge

R. Betesho*, K. Ghotbikohan, F. Nabardi, R. Rafiee

Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-3486, Tehran-Iran

Abstract: The reuse of sludge in agriculture leads to the transfer of some pollutants into food chain, thus hazarding the public health. The pathogens, heavy metals and nutrients in the sewage sludge from two wastewater treatment plants in Tehran-Iran, Shahid Mahallati and Ekbatan, were investigated in three independent samplings. Moreover, the reduction of pathogens after irradiation by 10kGy gamma ray from ^{60}Co was studied. The obtained results indicated that the heavy metals and nutrients in both of the wastewater treatment plants comply with Environmental Pollution Agency Standards and the pathogens counts reduced to the extent of the permitted level after irradiation. Viable *Ascaris* eggs in Ekbatan sludge was more than permitted level even after irradiation. According to the obtained data, just the sewage sludge of Shahid Mahallati treatment plant produced class A biosolids by irradiation which means that it can be applied to the agricultural lands, public contact sites and even home gardens. The odor of irradiated samples reduced as compared with the control ones. Vector attraction reduction processes must be conducted before use. The capability of the mentioned dose of gamma ray in converting the municipal sewage sludge into a sanitary fertilizer, depends on the microbial contamination level, specially the numbers of viable *Ascaris* eggs.

Keywords: Wastewater, Sanitary Fertilizer, Irradiation, *Ascaris*, Pollutants



۱. مقدمه

سالمونلا و باکتری‌های نشان‌دهنده‌ی آنها (کلی‌فرم مدفوعی) حداقل یک چرخه‌ی لگاریتمی کاهش یافته باشد. لجن‌های کلاس B، قابل فروش، عرضه و مصرف در اماکن عمومی، چمن‌زارها و باغچه‌های خانگی نیستند و فقط در کشاورزی صنعتی، جنگل‌ها، مناطق بازیابی و احیای معادن قابل استفاده‌اند. الزامات لجن‌های کلاس A، به طور هم‌زمان و یا قبل از به کار بستن "تمهیدات کاهش تجمع حشرات و موجودات ناقل دیگر" بررسی می‌شوند. باکتری‌های بیماری‌زا در این کلاس باید از نظر غلظت کلی فرم‌های مدفوعی بلافاصله پس از تیمار، کم‌تر از $1000 \text{ mpn/g}^{(5)}$ باشند. اگر لجن هم‌زمان با تیمار، بسته‌بندی و یا عرضه شود، آزمون مجدد لازم نیست، ولی اگر بسته‌بندی و عرضه‌ی آن بعد از انجام تیمار باشد، این الزام باید دوباره بررسی شود. انجام یکی از فرایندهای زیر، منجر به پذیرفته شدن لجن در کلاس A می‌شود و هدف از انجام آنها، کاهش سالمونلا به زیر 3 mpn ، ویروس‌های انتریک به کم‌تر از $1 \text{ pfu}^{(6)}$ ، و کرم یا تخم زنده به زیر یک واحد در 4 g است. این فرایندها عبارتند از: حرارت و زمان، تیمار با قلیا، فرایندهای کاهش بیش‌تر عوامل بیماری‌زا^(۷)، تابش دهی با دز 10 kGy در دمای اتاق و فرایندهای معادل با فرایندهای کاهش بیش‌تر عوامل بیماری‌زا [۲].

استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست دو روش عمده به منظور کنترل فرایند کاهش تجمع حشرات و سایر موجودات ناقل پیشنهاد کرده است:

- ۱) از راه فرایندهای زیستی بلندمدت و کوتاه‌مدت، که از طریق تجزیه‌ی زیستی مواد آلی قابل فساد موجود در لجن قبل از به کارگیری آن در کشاورزی انجام می‌شود. در این صورت واکنش‌های بعدی که منجر به بوی نامطبوع می‌شوند در زمین رخ نمی‌دهند.
- ۲) از راه ایجاد موانع فیزیکی، که به دو صورت انجام می‌شوند؛ روش تزریق^(۸) که لجن مایع با ابزار خاصی به شکل لوله‌های نازک در عمق مشخصی از سطح خاک تزریق می‌شود، به طوری که آسیبی به سطح خاک وارد نمی‌شود، و روش اختلاط^(۹) که لجن ریخته شده در سطح خاک طی مدت 6 h با خاک مخلوط شده و سپس در عمق خاک مدفون می‌شود. این روش برای لجن‌های غلیظ‌تر استفاده می‌شود. هر دو روش قبل از کاشت و یا بعد از برداشت محصول قابل انجام‌اند [۳].

به دلیل افزایش جمعیت بشری، انجام فعالیت‌های صنعتی و هم‌چنین استفاده‌ی روزافزون از حشره‌کش‌ها و بقیه‌ی مواد شیمیایی، آلودگی منابع آب و فاضلاب نیز در جوامع، رو به افزایش است. ریخته شدن پساب‌های تصفیه‌خانه‌ها به رودخانه‌ها و آبیاری زمین‌های کشاورزی با آنها، و از طرف دیگر کوددهی باغ‌ها با لجن‌های آلوده، همگی باعث انتشار آلودگی فلزی و میکروبی در جوامع شهری می‌شوند. افزودن فاضلاب به خاک به دلیل غنی بودن آن از مواد مغذی معدنی (مثل ازت، فسفر و در درجه اهمیت کم تر پتاسیم و گوگرد) و مواد آلی به منظور حفظ کیفیت خاک، بسیار حائز اهمیت است. کیفیت لجن مصرف شده در کشاورزی باید در چهارچوب استانداردهای آژانس حفاظت محیط‌زیست^(۱) باشد [۱]. این استاندارد بررسی سه مورد زیر را در لجن الزامی می‌داند؛

- ۱) غلظت فلزهای سنگین فاضلاب در مقایسه با غلظت‌های پیشینه،
- ۲) عوامل بیماری‌زا،
- ۳) معیارهای کنترل فرایند، به منظور ایجاد موانع فیزیکی تجمع حشرات و موجودات ناقل دیگر^(۲).

بنا به تعریف، لجن طبقه‌بندی شده در هر کدام از این سه مورد، دارای کیفیت استثنایی یا $EQ^{(3)}$ معرفی می‌شوند. لجن‌های دارای الزامات کیفیت استثنایی را می‌توان در سطح زمین‌های عمومی پخش کرد. البته کاربرد لجن باید از دید کشاورزی در نظر گرفته شود تا ازت مازاد بر مصرف محصول به خاک وارد نشود. طبق تعریف، لجن‌ها از نظر عوامل بیماری‌زا به دو دسته‌ی A و B تقسیم می‌شوند. برای تبدیل لجن به کلاس A، تیمارهای گسترده‌تری باید به منظور رساندن تعداد عوامل بیماری‌زا (باکتری‌ها، ویروس‌های انتریک و تخم زنده‌ی کرم) به زیر حد قابل شناسایی بر آن به کار روند [۲].

لجن‌هایی را می‌توان به راحتی و بدون محدودیت به کار برد که از نظر غلظت فلزهای سنگین در محدوده‌ی مجاز، و از نظر عوامل بیماری‌زا در کلاس A باشند. به علاوه، از نظر کنترل جذب موجودات ناقل، الزامات تعریف شده را برآورده نمایند. چنین لجن‌هایی مانند سایر کودها قابل استفاده‌اند. به لجن‌هایی کلاس B اطلاق می‌شود که با قرار گرفتن در معرض "فرایندهای کاهش عمده‌ی عوامل بیماری‌زا"^(۴)، تعداد ویروس‌های بیماری‌زا،



۳۰۰۰۰ نفر جمعیت با فرایند لجن فعال- هوادهی گسترده، و تصفیه‌خانه اکباتان واقع در غرب تهران با ظرفیت پوشش‌دهی حدود ۱۰۰۰۰ نفر جمعیت با فرایند بیولوژیک لجن فعال، به صورت لحظه‌ای و در سه نوبت انجام شد. هر بار تعداد سه نمونه‌ی یک لیتری لجن برای آزمون‌های میکروبی و آلاینده‌های معدنی در بطری‌های درب‌دار پیرکس استریل جمع‌آوری شد.

۱.۲ تابش‌دهی

نمونه‌های لجن به دو بخش شاهد و تیمار شده تقسیم شدند. تابش‌دهی مقادیر ۱۰ ml از نمونه‌های تیمار در گاماسل Gamma Cell- 220 irradiator (Nordion, Canada) در دز ۱۰ kGy با پرتو زایی محاسبه شده برای هر کدام از دفعات تابش‌دهی برابر ۶۸۶، ۶۷۸ و ۶۶۴ TBq (۱۸۵۴۳ و ۱۸۳۴۴ و ۱۷۹۵۲ Ci) به ترتیب با آهنگ دز ۴/۲۷ و ۴/۳۲ و ۴/۱۸ Gy/s و برای سه نوبت نمونه‌برداری در سه ماه متوالی، هر کدام به فاصله‌ی یک ماه با دزیمتر فریک (۱۱)، انجام شد. تا زمان انجام آزمون‌ها، تمام نمونه‌ها در دمای ۴°C نگهداری شدند تا شاخص‌های مورد نظر اندازه‌گیری شوند.

علت انتخاب دز ۱۰ kGy این بود که تابش‌دهی لجن با این دز جزو فرایندهایی است که از جانب EPA برای پذیرفته شدن در کلاس A توصیه شده بود. علاوه بر این، سیستم صنعتی موجود در تهران نیز برای این دز از پیش تنظیم شده است. بنابراین در این مقاله قابلیت استفاده از این دز برای لجن‌های شهری تهران بررسی و مقایسه شده است.

۲.۲ تعیین عناصر معدنی

میزان عناصر مغذی و آلاینده‌های سنگین فاضلاب مانند کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، فسفر، ازت، آهن، منگنز، آرسنیک، مولیبدن، روی، جیوه، سرب، کادمیم، مس، کروم و نیکل در نمونه‌های شاهد بررسی شدند.

به منظور اندازه‌گیری میزان کلسیم و منیزیم از روش تیتراسیون و رنگ‌سنجی، مقدار سدیم و پتاسیم از روش فلیم فتومتری، میزان فسفر نمونه‌ها به روش اولسن و رنگ‌سنجی، مقدار ازت با روش تیتراسیون و رنگ‌سنجی با دستگاه کجلدال محاسبه، و مقادیر آرسنیک مولیبدن و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی با کوره‌ی گرافیتی در طول موج‌های مربوط به هر عنصر تعیین شد. مقادیر سرب، کادمیم، مس، منگنز، آهن، کروم

تابش‌دهی فاضلاب راه مطمئن، ساده و کارا برای تولید فاضلاب عاری از عوامل بیماری‌زا است. استفاده از این روش به چرخه‌ی فاضلاب کمک می‌کند و فاضلاب به دست آمده در نهایت بعد از تیمارهای ثانویه و به صورت کود زیستی^(۱۰) قابل استفاده است. پرتوهای پرنانرژی گاما حاصل از ^{۶۰}Co، توانایی غیرفعال کردن عوامل بیماری‌زا را با درجه اطمینان بسیار بالا و در شرایط تمیز دارند [۲].

طبق مطالعات برخی پژوهش‌گران، کوددهی خاک کشاورزی با فاضلاب تابش‌دهی شده با پرتو گاما، در مقایسه با فاضلاب تابش‌دهی نشده‌ی شاهد، علاوه بر حفظ خواص خاک، با مصرف فاضلاب پرتودیده، جذب ازت، فسفر و تولید ماده خشک در گیاه افزایش نشان داده است. نتایج بررسی نشان می‌دهد که غیرفعال شدن مواد سمی و عوامل ممانعت‌کننده رشد موجود در فاضلاب با اثر تابش‌دهی ارتباط دارد [۴]. استفاده از لجن تابش‌دهی شده با حفظ محیط زیست از آلودگی‌های میکروبی، منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی [۵]، صرفه‌جویی در مصرف آب و توسعه مناطق کشاورزی می‌شود [۶، ۷].

در این پژوهش، با در نظر گرفتن استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست، با توجه به سرریز شدن حوضچه‌های تصفیه‌خانه‌ها به ویژه در هنگام بارندگی به جوی‌های کوچک‌ها و خیابان‌های شهرک‌های مسکونی مجاور و انتشار عوامل بیماری‌زا در شهر، حضور سالمونلا، تعداد کلی‌فرم‌های مدفوعی و تخم آسکاریس حاوی لاروهای زنده در این فاضلاب‌ها، اثر پرتو گاما بر کاهش تعداد آنها و میزان آلاینده‌های معدنی و عناصر مغذی فاضلاب‌های مهم ایران حاصل از دو تصفیه‌خانه مهم و بزرگ شهر تهران به کود کشاورزی بحث و بررسی می‌شوند.

۲. مواد و روش‌ها

تصفیه‌خانه‌های مورد بررسی از نظر جغرافیایی در دو نقطه‌ی مقابل هم در شرق و غرب تهران قرار گرفته‌اند. هیچ‌گونه کارگاه یا مراکز فعالیت صنعتی در کنار مناطق تحت پوشش این تصفیه‌خانه‌ها وجود نداشته، و پساب‌های موجود در این تصفیه‌خانه‌ها از تعداد اندکی درمانگاه محلی و شمار بیش‌تری از منازل مسکونی تشکیل یافته است. نمونه‌برداری از کانال خروجی ایستگاه پمپاژ لجن برگشتی دو تصفیه‌ی خانه‌ی شهید محلاتی واقع در شمال شرق تهران با ظرفیت پوشش‌دهی حدود



نگهداری شدند. روش بیلینجر تغییر یافته^(۱۷) که در شناسایی و شمارش تخم آسکاریس استفاده می‌شود، به طور اختصار شامل مراحل زیر بود [۱۴-۱۶].

حجم مشخصی از لجن فاضلاب (V) به مدت ۲h در دمای اتاق به منظور ته‌نشینی اولیه نگهداری و سپس رسوب آن به مدت ۱۵min با سانتریفیوژ Sigma مدل 101 با سرعت ۱۰۰۰g در دمای ۲۷°C سانتریفیوژ شد. معادل حجم رسوب به دست آمده‌ی اسید استیک با pH برابر ۴/۵ و دو برابر حجم آن از محلول استات اتیل افزوده، و پس از مخلوط کردن با هم‌زن، دوباره سانتریفیوژ شد. از بین سه لایه‌ی پدید آمده در لوله‌ی سانتریفیوژ، رسوب زیرین حاوی تخم انگل، لارو و پروتوزوئرها بود. به میزان ۵ برابر حجم این لایه، سولفات روی ۳۳٪ به آن افزوده شد. حجم به دست آمده، معادل حجم نهایی (X) در معادله‌ی زیر در نظر گرفته شد. ۱ml از مخلوط حاصل (P) به لام شمارش سدویک-رفتسر^(۱۸) منتقل، و می‌انگین شمارش‌های انجام شده در ۳ لام معادل (A) در نظر گرفته شد. تخم‌های بیضی شکل حاوی لارو زنده با اندازه‌ی حدود ۹۰µm، و تخم‌های فاقد لارو (عقیم) با ابعاد کوچک‌تر از تخم زنده به تفکیک شمارش شدند. با کمک معادله‌ی (۱) تعداد تخم‌های آسکاریس در هر لیتر فاضلاب (N) به دست آمد:

$$N=A.X/P.V \quad (1)$$

۴.۲ تجزیه‌ی آماری

تمام آزمایش‌ها در سه تکرار انجام، و نتایج به صورت میانگین \pm انحراف معیار گزارش شده‌اند. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه‌ی ۱۷ به منظور بررسی آنالیز واریانس، و مقایسه‌ی میانگین‌ها انجام شد.

۳. نتایج و بحث

مطابق استانداردهای زیست‌محیطی، استفاده‌ی مستقیم از فاضلاب‌های شهری در کشاورزی غیرمجاز، و به کار بردن تیمارهای خاص در چهارچوب تعریف شده برای فاضلاب الزامی است [۱۷]. تابش‌دهی فاضلاب شهری به منظور تبدیل لجن فاضلاب به لجن کلاس A، با استفاده از پرتو گاما تا حد ۱۰kGy و در دمای اتاق، یکی از شیوه‌های معرفی شده‌ی آژانس حفاظت محیط زیست در فرایندهای کاهش بیش‌تر باکتری‌های بیماری‌زا

و نیکل در نمونه با استفاده از دستگاه جذب اتمی با شعله در طول موج‌های مربوط به هر عنصر به دست آمد [۸].

مقدار جیوه، از خوانش نتایج لجن هضم شده در دستگاه هیدرید در مقایسه با رقت‌های ۲۰ تا ۶۰ppb از کلرید قلع ۲۵٪ محلول در اسید کلریدریک احیاکننده به دست آمد [۹].

۳.۲ تعیین آلاینده‌های میکروبی

به منظور تعیین تعداد کلی‌فرم‌های مدفوعی قبل و بعد از تابش‌دهی با دز ۱۰kGy، از روش کشت لوله‌ای استفاده شد. در ۹ لوله‌ی حاوی محیط کشت لاکتوز برات^(۱۲)، هر سه لوله به ترتیب با ۰/۱ و ۱ و ۱۰ml از نمونه تلقیح شد. سه لوله‌ای که با ۱۰ml نمونه تلقیح شده‌اند، حاوی محیط کشت دوتایی بودند. لوله‌ها به مدت ۲۴ تا ۴۸h در دمای ۳۵°C گرم‌خانه‌گذاری، و تخمیر لاکتوز و تولید گاز در آنها بررسی شد. از لوله‌های مثبت ۱ml به لوله‌های محتوی ۱۰ml محیط مخصوص اشیشیا کولی^(۱۳) تلقیح، و به منظور تعیین تعداد کلی‌فرم‌های مدفوعی در ۴۴°C به مدت ۲۴ تا ۴۸h گرم‌خانه‌گذاری شدند. مشاهده‌ی کدورت همراه با تولید گاز در لوله‌ی دورهام مثبت تلقی شده سپس با استفاده از جدول بیش‌ترین تعداد احتمالی^(۱۴)، شمارش باکتری‌ها در ۱۰۰ml از نمونه گزارش شد [۱۰، ۱۱].

به منظور شناسایی سالمونلا در نمونه‌ی لجن‌های شاهد و پرتودیده با دز ۱۰kGy، ۲۵ml از نمونه به ۲۵۰ml لاکتوز برات افزوده، و به مدت ۲۴h در ۳۷°C گرم‌خانه‌گذاری شد. سپس ۱۲ml از محلول به لوله‌های حاوی سلنیت سیستین تلقیح، و سپس به مدت ۲۴h در دمای ۳۷°C نگهداری شد. با مشاهده‌ی کدورت در هر لوله، یک لوپ از محلول به سطح حاوی محیط کشت بیسموت سولفیت آگار^(۱۵) منتقل، و ۲۴h در همان دما نگهداری شدند. کُلنی‌های سیاه‌رنگ سالمونلا برای تأیید بیوشیمیایی، تحت آزمون‌های TSI^(۱۶)، لیزین و اوره قرار گرفتند و نتیجه‌ی آن به صورت حضور یا عدم حضور گزارش شد [۱۲، ۱۳].

از آن‌جا که از هر ۱۰۰ml فاضلاب، ۴g لجن تولید شد، بنابراین مقادیر به دست آمده از این عوامل بیماری‌زا در وزن لجن محاسبه شدند.

به منظور شمارش تخم‌های حاوی لارو زنده (بارور)، از روش گرم‌خانه‌گذاری لجن استفاده شد. در این شیوه، لجن‌های پرتودیده با دز ۱۰kGy و شاهد در لوله‌های درب‌پیچ‌دار در حالت نیمه‌بسته به مدت یک ماه در دمای ۲۷°C



فاضلاب که به کود کشاورزی تبدیل شده‌اند، بسیار کم‌تر بود [۱۸]. به جز مقادیر مولیبدن و مس، تفاوت در مقادیر سایر عناصر مورد بررسی بین دو تصفیه‌خانه وجود نداشت (t-test, $P=0.05$). میزان مولیبدن و مس در لجن حاصل از سه نوبت نمونه‌برداری نسبت به سایر عناصر دارای تغییرات بیش‌تری بود (ANOVA, one way, $P=0.05$) که ممکن است به دلیل افزوده شدن مقطعی برخی منابع آلوده‌کننده به فاضلاب باشد. هر دو لجن مورد بررسی، از نظر عناصر سنگین به منظور تخلیه در زمین‌های عمومی و جنگل‌ها و یا فروش به صورت بسته‌بندی شده، در حد مجاز آلودگی بودند. طبق استاندارد بین‌المللی، در صورتی که لجن دارای مقادیر مجاز عناصر سنگین باشد، نیاز به بررسی سالانه نیست و استفاده از آن ممنوعیتی ندارد. از آن‌جا که تابش، تأثیری بر مقدار مواد معدنی ندارد، این آزمون‌ها فقط بر نمونه‌های شاهد انجام شد و عوامل بیماری‌زای فاضلاب بعد از تابش دهی با دز 10 kGy بررسی شدند.

است. با توجه به تفاوت کیفیت سطح آلاینده‌های میکروبی و شیمیایی فاضلاب‌های مختلف شهری، برای امکان‌سنجی تابش‌دهی لجن فاضلاب برای استحصال کود کشاورزی سالم، لازم است ویژگی‌های زیر و نتایج به دست آمده در چهارچوب الزامات آژانس حفاظت محیط زیست بررسی شوند.

۱.۳ مقادیر فلزهای سنگین فاضلاب دو تصفیه‌خانه در سه نوبت

نمونه‌برداری

در جدول ۱، مقادیر فلزهای سنگین مولیبدن، سرب، کادمیم، نیکل، مس، روی و آرسنیک دو تصفیه‌خانه‌ی محلاتی و اکباتان نشان داده شده است. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که غلظت فلزهای سنگین در لجن دو تصفیه‌خانه‌ی اکباتان و شهید محلاتی، کم‌تر از بیشینه‌ی مجاز غلظت این آلاینده‌ها در استاندارد بین‌المللی است. مقدار عناصر سنگین در دو نمونه‌ی لجن بررسی شده از شهر تهران در مقایسه با نمونه‌هایی از لجن

جدول ۱. مقادیر فلزهای سنگین فاضلاب دو تصفیه‌خانه در سه نوبت نمونه‌برداری و حد مجاز آنها طبق استاندارد EPA

پارامتر (ppm)	محلاتی نمونه برداری اول نمونه برداری دوم نمونه برداری سوم	اکباتان نمونه برداری اول نمونه برداری دوم نمونه برداری سوم	EPA الزامات	
			حد مجاز انباشت تجمعی kg/ha	نرخ انباشت سالانه آلاینده Kg/ha/y*
مولیبدن	0.31 ± 0.3 0.51 ± 0.3 0.72 ± 0.3	3.62 ± 0.3 5.5 ± 0.3 3.38 ± 0.3	---	---
سرب	40.05 ± 0.3 32.4 ± 0.3 35.7 ± 0.3	40 ± 0.3 33.4 ± 0.3 43.6 ± 0.3	۳۰۰	۱۵
کادمیم	<0.1 <0.1 <0.1	<0.1 <0.1 <0.1	۳۹	۱.۹
نیکل	85 ± 0.3 <0.1 <0.1	2 ± 0.3 <0.1 1.1 ± 0.3	۴۲۰	۲۱
مس	128 ± 0.3 96.5 ± 0.3 106.5 ± 0.3	186.5 ± 0.3 167.5 ± 0.3 158 ± 0.3	۱۵۰۰	۷۵
روی	912.5 ± 0.3 1025 ± 0.3 1183.75 ± 0.3	1100 ± 0.3 1092.5 ± 0.3 1177.5 ± 0.3	۲۸۰۰	۱۴۰
آرسنیک	129 ± 0.3 296 ± 0.3 0.92 ± 0.3	613 ± 0.3 122 ± 0.3 173 ± 0.3	۴۱	۲
جیوه	1.02 ± 0.3 1.17 ± 0.3 1.21 ± 0.3	1.0 ± 0.3 1.1 ± 0.3 1.41 ± 0.3	۱۷	۰.۸۵
کروم	42.5 ± 0.3 <0.1 19 ± 0.3	4.5 ± 0.3 <0.1 1.41 ± 0.3	---	---

* کیلوگرم در هکتار در سال

**جدول ۲. مقادیر عناصر مغذی فاضلاب دو تصفیه‌خانه در سه نوبت نمونه‌برداری**

پارامتر	واحد	محلته‌ی اول	محلته‌ی دوم	محلته‌ی سوم
آهن	ppm	۵۹۲۵ ± ۳,۳	۴۴۸۲,۵ ± ۳,۳	۳۰۶۲,۵ ± ۳,۳
		۳۰۸۰ ± ۳,۳	۴۴۸۲,۵ ± ۳,۳	۳۰۹۰ ± ۳,۳
		۳۰۸۰ ± ۳,۳	۳۰۸۰ ± ۳,۳	۱۵۰۰ ± ۳,۳
منگنز	ppm	۹۶ ± ۳,۳	۸۳ ± ۳,۳	۱۳۸,۵ ± ۳,۳
		۹۶ ± ۳,۳	۸۳ ± ۳,۳	۱۴۶ ± ۳,۳
		۹۶ ± ۳,۳	۸۳ ± ۳,۳	۲۰۷,۵ ± ۳,۳
ازت کل	%	۷,۷۱ ± ۳,۳	۸,۰۱ ± ۳,۳	۸,۱۲ ± ۳,۳
		۷,۷۱ ± ۳,۳	۸,۰۱ ± ۳,۳	۷,۶ ± ۳,۳
		۷,۷۱ ± ۳,۳	۸,۰۱ ± ۳,۳	۴,۹۲ ± ۳,۳
کلسیم	ppm	۲۱۷۵ ± ۳,۳	۲۵۰۰ ± ۳,۳	۲۲۵۰۰ ± ۳,۳
		۲۱۷۵ ± ۳,۳	۲۵۰۰ ± ۳,۳	۲۷۵۰۰ ± ۳,۳
		۲۱۷۵ ± ۳,۳	۲۵۰۰ ± ۳,۳	۳۲۹۷۵ ± ۳,۳
سدیم	ppm	۲۹۶۳,۲۸ ± ۳,۳	۲۳۷۶,۲۴ ± ۳,۳	۴۲۷۹,۳۶ ± ۳,۳
		۲۹۶۳,۲۸ ± ۳,۳	۲۳۷۶,۲۴ ± ۳,۳	۵۳۱۳,۹۲ ± ۳,۳
		۲۹۶۳,۲۸ ± ۳,۳	۲۳۷۶,۲۴ ± ۳,۳	۰,۱۸ ± ۳,۳
پتاسیم	%	۰,۳۸ ± ۳,۳	۰,۳۷ ± ۳,۳	۰,۴۴ ± ۳,۳
		۰,۳۸ ± ۳,۳	۰,۳۷ ± ۳,۳	۰,۲ ± ۳,۳
		۰,۳۸ ± ۳,۳	۰,۳۷ ± ۳,۳	۰,۲ ± ۳,۳
منیزیم	ppm	۳۷۵۰ ± ۳,۳	۳۵۰۰ ± ۳,۳	۳۳۷۵ ± ۳,۳
		۳۷۵۰ ± ۳,۳	۳۵۰۰ ± ۳,۳	۴۲۵۰ ± ۳,۳
		۳۷۵۰ ± ۳,۳	۳۵۰۰ ± ۳,۳	۴۹۲۷,۵۵ ± ۳,۳
فسفر کل	%	۱,۴۵ ± ۳,۳	۱,۶۲ ± ۳,۳	۱,۶۴ ± ۳,۳
		۱,۴۵ ± ۳,۳	۱,۶۲ ± ۳,۳	۱,۹۷ ± ۳,۳
		۱,۴۵ ± ۳,۳	۱,۶۲ ± ۳,۳	۱,۹ ± ۳,۳

* انجام نشده.

۴.۳ شناسایی سالمونلای فاضلاب دو تصفیه‌خانه در سه نوبت نمونه‌برداری

سالمونلا که طبق گزارش به انواع تیمارها نسبتاً مقاوم است [۳] و حضور گونه‌های این باکتری، گویای حضور سایر پاتوژن‌ها در لجن هستند، در نمونه‌های لجن پرتو ندیده شناسایی، و دز ۱۰kGy پرتو گاما باعث از بین رفتن آن شد. بوی نمونه‌های لجن پرتو ندیده با دز ۱۰kGy نسبت به لجن شاهد کاهش نشان داد.

۲.۳ مقادیر عناصر مغذی فاضلاب دو تصفیه‌خانه در سه نوبت نمونه‌برداری

در جدول ۲، مقادیر عناصر مغذی آهن، منگنز، ازت کل، کلسیم، سدیم، منیزیم و فسفر کل دو عنصر مغذی موجود در لجن دو تصفیه‌خانه‌ی محلته‌ی و اکباتان نشان داده شده‌اند. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که عناصر مغذی موجود در لجن باید با توجه به عناصر مغذی گیاه مورد کشت و نوع خاک منطقه، و به منظور جلوگیری از ورود ازت مازاد بر مصرف گیاه به خاک بررسی شوند. میزان حذف هر کدام از عناصر مغذی از خاک کشاورزی در هنگام برداشت محصول، به نوع محصول و غلظت عناصر مغذی در وزن خشک گیاه مربوط است. مثلاً مقدار عناصر غذایی مورد نیاز درختان میوه، براساس دو عامل مقدار جذب عناصر غذایی در محصول و پتانسیل خاک برای تأمین به موقع مواد غذایی برای گیاه، تعیین و محاسبه می‌شود. برای تعیین مقدار کود مورد نیاز گیاهان باغی لازم است از نقش عناصر پرمصرف (مانند ازت، کلسیم، پتاسیم، منیزیم و فسفر) و کم‌مصرف (مانند آهن، منگنز، روی، مس و نیکل) در گیاهان شناخت کامل داشت. از طرفی میزان این عناصر در خاک‌های شنی، رُسی و سنگی نیز متفاوتند. در این مقاله، مقادیر به دست آمده از این عناصر در سه نوبت نمونه‌برداری برای چنین بررسی‌هایی ارائه شده‌اند. تکرار سنجش میزان عناصری که دارای اندازه‌های متغیر بوده‌اند در هر بار آزمون ضروری است. میزان عناصر مغذی در نمونه‌های لجن هر دو تصفیه‌خانه، از نظر تخلیه در زمین‌های عمومی، جنگل‌ها، فروش به صورت بسته‌بندی و به کارگیری به صورت کود کشاورزی در حد مجاز بودند.

۳.۳ مقادیر کلی فرم فاضلاب دو تصفیه‌خانه در سه نوبت نمونه‌برداری

کلی فرم‌های مدفوعی که باکتری‌های غالب در مدفوع انسانی را تشکیل می‌دهند به خودی خود برای سلامت انسان مضر نیستند. این باکتری‌ها همیشه در لجن تیمار نشده حضور دارند و گویای وجود ضایعات مدفوعی در لجن هستند. در این پژوهش، تعداد کلی فرم‌های مدفوعی نمونه‌های لجن قبل از تابش دهی در تمام موارد نمونه‌برداری در محدوده‌ی استاندارد قرار داشته، و تابش دهی نیز به طور معنی‌داری باعث کاهش جمعیت این باکتری‌ها شده است (t-test, P=۰,۰۵).



اندک، بدون مشاهده‌ی لارو همراه بود. البته در لجن شاهد، تحت شرایط نگه‌داری یکسان نیز تخم‌های عقیم و پاره شده وجود داشت، ولی به نظر می‌رسد که تابش دهی، تعداد تخم‌های عقیم و پاره شده را افزایش داده، و یا روند نابودی تخم‌ها را سرعت بخشیده است. مرجعی که گویای نابودی تدریجی و خود به خودی تخم‌های آسکاریس در لجن باشد یافت نشد.

۶.۳ میزان عوامل میکروبی در لجن سه تصفیه‌خانه

مقادیر عوامل میکروبی در لجن سه تصفیه‌خانه‌ی قبل و بعد از تابش دهی در جدول ۳ ارائه شده‌اند. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود و در مقالات نیز اشاره شده است [۱۶]، جمعیت کلی فرم مدفوعی در تمام نمونه‌برداری‌ها با به کار بستن دز 10 kGy به حد غیر قابل تشخیص کاهش نشان داد. در شکل ۱، از کاهش تعداد تخم‌های بارور آسکاریس از 83% و 58% در تصفیه‌خانه‌های اکباتان و محلاتی به ترتیب به 1% و صفر و معلوم می‌شود که به علت بالا بودن تعداد اولیه‌ی تخم‌های زنده در لجن تصفیه‌خانه‌ی اکباتان قبل از تیمار (جدول ۳)، با وجود کاهش آن بعد از پرتو دهی، هم‌چنان این تعداد، بالای حد استاندارد است.

آنچه مسلم است، غیریکنواختی لجن تصفیه‌خانه‌ها در تمام موارد نمونه‌برداری وجود دارد. در صورتی که استفاده از پرتو گاما برای بهره‌برداری بهینه از این لجن یا لجن کاملاً خشکانده در هر تصفیه‌خانه‌ای مورد نظر باشد، لازم است قبل از تابش دهی، از نظر میکروبی و به ویژه تعداد تخم‌های آسکاریس حاوی لارو زنده بررسی شوند. زیرا میزان کاهش تخم انگل و میکروب‌های بیماری‌زا در اثر پرتو، علاوه بر میزان دز و تعداد اولیه‌ی عامل مورد بررسی، به عوامل دیگری مانند دما، ترکیبات لجن و pH نیز بستگی دارد.

بررسی انجام شده‌ی Tree بر خواص فیزیکوشیمیایی فاضلاب نشان داد که دزهای ۲۵ و 33 kGy در عدد pH اکسیژن بیولوژیک مورد نیاز^(۱۹) و آمونیاک آن تغییری ایجاد نمی‌کند [۱۹].

۵.۳ تعیین تخم آسکاریس فاضلاب دو تصفیه‌خانه در سه نوبت نمونه‌برداری

تخم کرم آسکاریس از این نظر که سخت‌ترین تخم کرم‌های انگل است و حضور آن معادل حضور سایر تخم کرم‌ها از جمله Trichuris, Toxocara, Hymenolepsis است، بررسی شد. تعداد تخم‌های بارور آسکاریس در لجن حاصل از فاضلاب تصفیه‌خانه‌ی اکباتان با انجام تابش دهی از 81% به 1% (147 عدد در 4 g) رسید، ولی به علت زیاد بودن مقدار اولیه، تعداد تخم‌های زنده‌ی باقی‌مانده به زیر حد استاندارد نرسید و دز 10 kGy قادر به تبدیل این لجن به لجن کلاس A نبود. این لجن کلاس B فقط می‌تواند کاربردهای غیرخانگی داشته باشد. متأسفانه هم‌اکنون، از لجن آلوده‌ی این تصفیه‌خانه به صورت خشک شده برای کوددهی، و از پساب آن برای آبیاری فضای سبز داخل تصفیه‌خانه استفاده می‌شود. لازم است نحوه‌ی کاربری انبوه و محتاطانه‌ی آن از نظر حضور تخم کرم‌های انگل، به کارمندان و کارگران مربوطه اطلاع‌رسانی شود.

دز 10 kGy برای تبدیل لجن تصفیه‌خانه‌ی شهید محلاتی از کلاس B به کلاس A کافی بود. تعداد تخم‌های حاوی لارو زنده در این تصفیه‌خانه، تقریباً یک سوم تعداد تخم‌های مشابه از لجن اکباتان بود. از بین تخم‌های باقی‌مانده پس از تابش دهی، 29% عقیم، و حدود 71% پاره شده بودند (اعداد مربوط به تخم‌های پاره شده در نتایج مقاله ارائه نشده است) و تخم حاوی لارو زنده مشاهده نشد. این لجن، بدون محدودیت، دارای خاصیت بسته‌بندی، فروش، استفاده در باغچه‌ها و گلدان‌های خانگی است. در حال حاضر، پساب این فاضلاب با افزایش میزان بارندگی و تکمیل ظرفیت استخرهای تصفیه‌خانه، به داخل جوی‌های اطراف سرریز می‌شود که مغایر با ماده‌ی ۹ قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست مصوب $1353/3/28$ ، اصلاحیه $1371/8/24$ است.

این مسئله که شمارش تعداد کل دو نوع تخم کرم آسکاریس (زنده و عقیم) در نمونه‌های پرتو دیده، کم‌تر از نمونه‌های شاهد بود، می‌تواند به علت پاره و متلاشی شدن تخم‌ها در اثر تابش دهی باشد. پاره شدن دیواره‌ی تخم‌ها به جز چند مورد

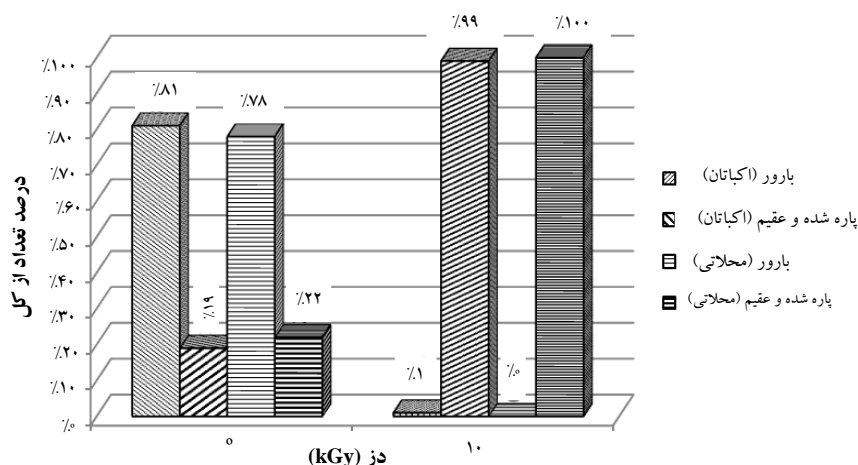
جدول ۳. تعداد میکروارگانسیم‌های مختلف شمارش شده از دو تصفیه‌خانه در سه نوبت نمونه‌برداری قبل و بعد از تابش دهی با دز ۱۰kGy

پارامتر	واحد	محلاتی		اکباتان	
		شاهد	پرتودیده	شاهد	پرتودیده
الزامات EPA	نمونه برداری اول	نمونه برداری اول	نمونه برداری اول	نمونه برداری اول	نمونه برداری اول
	نمونه برداری دوم	نمونه برداری دوم	نمونه برداری دوم	نمونه برداری دوم	نمونه برداری دوم
	نمونه برداری سوم	نمونه برداری سوم	نمونه برداری سوم	نمونه برداری سوم	نمونه برداری سوم
کلی فرم مدفوعی	mpn/g	۲±۳,۳	<۱	۲±۳,۳	<۱
		۴۳±۳,۳	<۱	۷۳±۳,۳	<۱
		۸±۳,۳	<۱	۶±۳,۳	<۱
سالمونلا		+	-	+	-
		-	-	-	-
		-	-	-	-
تخم انگل †	تعداد/۴g	**۳۸۵±۳,۳	**-	**۱۰۷۰۲±۳,۳	**۱۴۷±۳,۳
		*۱۱۰±۳,۳	*۳۰۳±۳,۳	*۲۴۷۰±۳,۳	*۱۱۶۱۳±۳,۳

* تخم بدون لارو زنده (عقیم)

** تخم حاوی لارو زنده (بارور)

† شمارش تخم انگل در یک نوبت نمونه‌برداری انجام شده است.


شکل ۱. کاهش تعداد تخم بارور آسکاریس در نمونه‌ی لجن دو تصفیه‌خانه در اثر تابش دهی با دز ۱۰kGy پرتو گاما.

۴. نتیجه‌گیری

از یافته‌های حاصل از این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که نمونه‌های لجن هر دو تصفیه‌خانه در ابتدای مطالعه، و با توجه به معیارهای ارائه شده‌ی استاندارد، از نوع لجن کلاس B بوده‌اند. در مورد لجن تصفیه‌خانه‌ی شهید محلاتی، پرتو گاما با دز ۱۰kGy قادر به ارتقاء کیفیت آن به کلاس A شد، طوری که لجن تابش‌دهی شده می‌تواند به طور ایمن، کاربرد مصارف خانگی داشته باشد. ولی در مورد لجن تصفیه‌خانه‌ی اکباتان، به دلیل بالا بودن میزان آلودگی انگلی، این دز قادر به ارتقاء کیفیت آن نبود.

به منظور اندازه‌گیری معیارهای کنترل فرایند در کاهش تجمع حشرات و سایر موجودات ناقل، روش‌های وقت‌گیر و پرهزینه‌ای وجود دارد. کاهش جذب ناقل برای هنگامی که لجن با پرتو تیمار شده است، می‌تواند با روش‌های تیمار با pH، خشکاندن با حرارت، تزریق، مخلوط کردن و یا پوشاندن روزانه انجام شود. برای لجن کلاس A، کاهش جذب ناقل باید هم‌زمان یا بعد از کاستن تعداد باکتری‌های بیماری‌زا انجام گیرد. از آنجا که تیمار لجن با پرتو باعث کاستن باکتری‌های بیماری‌زای نشان‌دهنده، و منجر به قرار گرفتن فاضلاب حاصل از تصفیه‌خانه شهید محلاتی در کلاس A شده است، پس نیازی به استفاده از سایر روش‌های هم‌تراز برای کاهش بیش‌تر میکروارگانسیم به نظر نمی‌رسد [۲].



مراجع

- [1] U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Environmental Regulations and Technology, Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. Cincinnati, OH (USA): Center for Environmental Research Information (2003).
- [2] H.W. McKinnon, Environmental Regulation and technology, control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (Including Domestic Septage), U.S. Environmental Protection Agency/625/R-92/013, USA (2003).
- [3] Board of Environmental Studies and Toxicology, Biosolids applied to land: Advancing standards and practices, National Academy Press-Washington, DC (2002).
- [4] J. Prasatsrisupab, V. Sabua, S. Tammarate, M. Pumklom, P. Chaiwanakupt, S. Srithongtim, The effects of irradiated wastewater sludge cake on maize and environment. 17th WCSS, 14-21, Symposium no.59, August 2002, Paper no.735, Thailand (2002).
- [5] I. Mohammed, AL-Ghoniaim, A.S.S. Ibrahimand, A.A. Al-Salamah, Application of Gamma irradiation in treatment of waste activated sludge to obtain class a biosolids. *Am. J. Env. Sci.* **6(6)** (2010) 500-504.
- [6] G. Yehia, M. Galal, Recycling of Treated Sewage Sludge in Sustainable Agriculture. *Arab J. Nuc. Sci. Appl.* **45(2)** (2012) 548-560.
- [7] M.D. Kumar, Environmental Pollution and waste Management. M D Publications PVT LTD. New Delhi. (1998).
- [8] ASTM, Standard practices for digestion of water samples for determination of metals by flame atomic absorption, graphite furnace atomic absorption, plasma emission spectroscopy or plasma mass spectrum, 11(1) (2007).
- [9] EURO CHLOR Analytical, Determination of Mercury in liquids (2009).
- [10] ISO 7251, Microbiology of food and animal feeding stuff- Detection and enumeration of presumptive *Escherichia coli*- Most probable number technique (2005).

در صورتی که استفاده از لجن پرتودیده‌ی تصفیه‌خانه‌ی شهید محلاتی با این دز، در هنگام استفاده با یکی از روش‌های کاهش تجمع حشرات و سایر موجودات ناقل همراه باشد، کیفیت لجن این تصفیه‌خانه، استثنائی قلمداد خواهد شد. از الزامات دیگر استاندارد بین‌المللی زیست محیطی، کاهش تعداد ویروس‌های روده‌ای^(۲۱) در لجن فاضلاب است، اما آزمون مزبور در این پژوهش میسر نشد و انجام آن در مطالعات بعدی توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از همکاری و مساعدت آقایان بهنام مصیبیان، حسن اکبری و اکبر سلیمانی در بخش نمونه‌برداری، تهیه و آماده‌سازی محیط‌های کشت، خرید و تدارکات و هم‌چنین پرسنل محترم هر دو تصفیه‌خانه که در جهت تسهیل نمونه‌برداری کمک و همکاری نمودند تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. Environmental Pollution Agency
2. Vector Attraction Reduction (VAR)
3. Exceptional Quality
4. Processes for Significantly Reduce Pathogens
5. Most Probable Number
6. Plaque Forming Unit
7. Processes for Further Reduce Pathogens
8. Injection
9. Incorporation
10. Bio-Fertilizer
11. Fricke
12. Lactose Broth (Merck)
13. *Escherichia Coli (EC)* (Merck)
14. MPN
15. Bismuth Sulfite Agar (Merck)
16. Triple Sugar Iron
17. Modified Bailenger
18. Sedgwick Rafter
19. Biological Oxygen Demand (BOD)
20. Enteric Viruses



- [11] ISO 4831, Microbiology of food and animal feeding stuff- Horizontal method for the detection and enumeration of coliforms Most probable number technique, (2006).
- [12] ISO 6579, Microbiology: General guidance on methods for the detection of Salmonella, (1993).
- [13] ISO 6340, Water quality- Detection and enumeration of Salmonella, (1995).
- [14] J.M. Solera, Manual of sampling and analysis of wastewater, GEA, University Miguel Hernandez, (2006).
- [15] M. Pirsahab, M.K. Sharifi, Survey of parasitic contamination of raw wastewater produced in Islamabad-e-Gharb and role of stabilization ponds in removing this contamination. *Zahedan J. Res. Med. Sci.* **13(5)** (2011) 51.
- [16] M.R. Ayres, M.D. Dunvan, Analysis of wastewater for use in agriculture- A lab manual of parasitological and bacteriological techniques, World Health Organization, Geneva, (1996).
- [17] A.S. Lepeuple, G. Garel, M. Jovic, M.R. Roubin, Literature review on levels of pathogens and their abatement in sludges, soil and treated biowaste, Horizontal, EU (2004).
- [18] M.J. Malakuti, Sustainable agriculture and increase performance by optimizing the use of fertilizers in Iran, Ministry of Agriculture, (2005).
- [19] A.J. Tree, R.M. Adams, D.N. Lees, Chlorination of indicator bacteria and viruses in primary sewage effluent. <http://aem.asm.org/cgi/content/full/69/4/2038> (Jan.2003).