نشریه تابش وفناوری هسته ای ، سال دوم، شماره 3، پاییز 1394

بررسی امکان استفاده از لجن فاضلاب پرتوتابی شده با گاما در تولید گیاهان مختلف

حمایت عسگری لجایر[1*]، نصرت‌اله نجفی[2]، ابراهیم مقیسه[3]

[1] دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران

[2] دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران

[3] استادیار پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: 1394/3/10 - تاریخ پذیرش مقاله: 1394/5/18)

چکیده

لجن فاضلاب از جمله کودهای آلی است که علاوه‌بر عوامل بیماری‌زا، حاوی عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم و کم‌مصرف آهن، روی، مس، منگنز، مولیبدن و انواع فلزات سنگین از قبیل آرسنیک، کادمیم، کروم، سرب، جیوه، نیکل، سلنیم و غیره می‌باشد. استفاده از پرتوهای یونیزان از بهترین روش‌های گندزدایی لجن فاضلاب بوده که جذب انرژی آن به‌وسیله مولکول‌های آب لجن باعث یونیزه شدن مولکول آب و تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسنده و کاهنده می‌شود. گزارش جامعی در مورد اثر پرتوتابی یونیزان مانند پرتو گاما بر روند تغییرات ویژگی‌های شیمیایی لجن وجود ندارد؛ با این حال، با پرتوتابی لجن فاضلاب، می‌توان جانداران بیمارگر خطرناک و مواد بازدارنده رشد گیاه را در آنها حذف کرده و رشد و عملکرد گیاهان را افزایش داد. در ایران لجن فاضلاب عمدتاً به‌دلیل ارزانی قیمت این فرآورده در کشت گیاهان دارای خام‌خوری مخصوصاً سبزیجات استفاده می‌شود. وجود آلاینده‌های آلی و معدنی مختلف در لجن فاضلاب مصرف شده در کشت سبزیجات، خطر بروز انواع بیماری‌ها را در مصرف کننده‌ها به‌دلیل مصرف مستقیم آنها افزایش می‌دهد. لذا، در مورد محصولات کشاورزی و سبزیجاتی که در کشت آنها، کودهای آلی دارای مواد آلاینده مانند لجن فاضلاب مصرف شده است، استفاده از معادلات ارزیابی خطر برای به‌دست آوردن خطرات مصرف آنها توسط گروه‌های مختلف سنی مصرف کننده پیشنهاد شده است. نبود مطالعه در مورد مقایسه گیاهان کشت شده در شرایط مصرف لجن پرتوتابی شده و نشده با معادلات ارزیابی خطر، لزوم معرفی این معادلات و تشریح سازوکار آنها را آشکار می‌سازد. لذا، مقاله حاضر به بررسی تحقیقات انجام یافته در مورد اثر کاربرد لجن پرتوتابی شده بر رشد گیاهان و ارائه معادلات خطرپذیری مصرف محصولات کشاورزی برای استفاده در تحقیقات کشت و تولید گیاهان مختلف می‌پردازد. به‌طور کلی، انتخاب نوع گیاه برای کشت در شرایط مصرف لجن فاضلاب بر اساس متابولیسم، نیازهای تغذیه‌ای، تحمل آن به تنش ، تغییر غلظت آلاینده‌های آلی، معدنی و زیستی این فرآورده بسته به سطوح پرتوتابی و نوع مصرف گیاهان انجام می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، ارزیابی خطر، پرتوتابی، سبزیجات، لجن فاضلاب

[*] آذربایجان شرقی، تبریز، دانشگاه تبریز، گروه علوم و مهندسی خاک

پست الکترونیکی: h-asgari@tabrizu.ac.ir

1. مقدمه

با توجه به توصیه‌های وزارت جهادکشاورزی مبنی بر مصرف کم‌تر کودهای شیمیایی برای پیشگیری از آلودگی محیط زیست، بررسی کاربرد پسماندهای آلی به‌عنوان کود با در نظر گرفتن استانداردهای زیست محیطی، در مورد اکثر محصولات کشاورزی حائز اهمیت است. لجن فاضلاب از جمله کودهای آلی است که علاوه‌بر عناصر غذایی حاوی آلاینده‌های آلی، معدنی و میکروبی بوده و بر اثر افزودن این مواد به خاک، گیاه همراه با عناصر غذایی مورد نیاز، این آلاینده‌ها را جذب کرده و وارد زنجیره غذایی انسان می‌گردد . [1] در ایران لجن فاضلاب عمدتاً به‌دلیل ارزانی قیمت این فرآورده در کشت گیاهان دارای خام‌خوری مخصوصاً سبزیجات استفاده می‌شود . [2] سبزیجات به‌صورت مستقیم مورد استفاده انسان قرار گرفته و مصرف سبزیجات آلوده به آلاینده‌های آلی و معدنی، خطر بروز بیماری های قلبی و برخی از سرطان‌ها مانند سرطان‌های دستگاه گوارش را افزایش می‌دهد؛ [3] لذا، با توجه به اهمیت استفاده از سبزیجات سالم، کنترل غلظت آلاینده‌های مختلف برای حفظ سلامتی مصرف کننده حائز اهمیت می‌باشد. گزارش شده است که از بین روش‌های مختلف گندزدایی لجن فاضلاب بهترین روش برای حذف جانداران بیمارگر، استفاده از پرتوهای یونیزان می‌باشد؛ به‌طوری‌که، از بین پرتوهای یونیزان فقط پرتو گاما و بیم الکترون توانایی استفاده برای اهداف گندزدایی لجن را داشته و مزایای پرتو گاما نسبت به بیم الکترون باعث شده که پرتو گاما استفاده گسترده‌تری در گندزدایی لجن فاضلاب نسبت به بیم الکترون داشته باشد. سازوکار کلی پرتوهای یونیزان بر اساس رادیولیز یا یونیزه شدن مولکول‌های آب مواد تحت پرتوتابی و تشکیل مجموعه‌ای از رادیکال‌های آزاد اکسنده و کاهنده بر اثر جذب انرژی پرتو می‌باشد. [4] لجن علاوه‌بر عوامل بیماری‌زا، حاوی عناصر غذایی پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر غذایی کم‌مصرف آهن، روی، مس، منگنز، مولیبدن و انواع فلزات سنگین از قبیل آرسنیک، کادمیم، کروم، سرب، جیوه، نیکل، سلنیم و غیره می‌باشد. [5،6]گزارش جامعی در مورد اثر پرتوهای یونیزان بر روند تغییرات ویژگی‌های شیمیایی لجن وجود ندارد، با این حال گزارش‌های ضد و نقیضی در مورد تغییر برخی ویژگی‌های شیمیایی مانند غلظت عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف و فلزات سنگین در دزهای پرتوتابی استفاده شده برای گندزدایی لجن وجود دارد.

تاکنون گزارشهای مختلفی در مورد ارزیابی خطر مصرف محصولات کشاورزی تحت تأثیر پسماندهای آلی و پساب فاضلاب گزارش شده است، [9،10،11،12] ولی چنین گزارشی در مورد محصولات کشت شده در حضور لجن فاضلاب پرتوتابی شده وجود ندارد. لذا، برای مقایسه ارزیابی خطر مصرف محصولات کشاورزی کشت شده در حضور لجن فاضلاب پرتوتابی شده با پرتو گاما در مقایسه با پرتوتابی نشده برای سلامتی بشر، تعیین غلظت فلزات سنگین در آنها، مقایسه این مقادیر با استانداردهای بین‌المللی و سپس تخمین خطر سلامتی این فلزات با استفاده از معادلات ارائه شده ارزیابی خطر ضروری است. در واقع می‌توان با استفاده از معادله‌های ارائه شده تا حد زیادی میزان خطر ناشی از مصرف محصولات کشاورزی در *شرایط مصرف لجن پرتوتابی شده و نشده* با پرتو گاما را در گروه‌های مختلف سنی برآورد نموده و در جهت کاهش اینگونه خطرات توصیه و هشدارهایی را به مصرف کنندگان ارائه کرد.

بررسی منابع نشان داد که در ایران مطالعه‌ای در مورد ارزیابی خطر مصرف محصولات کشاورزی تحت تأثیر لجن فاضلاب پرتوتابی شده با پرتوهای یونیزان انجام نشده است.

لذا، در این بررسی سعی شد معادلات تخمین ارزیابی خطر محصولات کشاورزی و تأثیر لجن فاضلاب پرتوتابی شده بر رشد گیاهان مختلف بحث و بررسی شود.

2. بررسی پتانسیل خطر گیاهان کشت شده تحت تأثیر لجن فاضلاب پرتوتابی شده برای سلامتی انسان

به‌طور کلی، به‌دلیل استفاده از لجن فاضلاب در کشت گیاهان خام‌خوری مانند سبزیجات در ایران و عدم وجود استاندارد ملی غلظت فلزات در آنها، به برخی استانداردهای موجود ارائه شده توسط محققان مختلف برای مقایسه غلظت فلزات در سبزیجات کشت شده تحت تأثیر لجن فاضلاب پرتوتابی شده و نشده در جدول 1 اشاره شده است.

پس از تعیین غلظت فلزات مختلف در سبزیجات یا محصولات کشاورزی و مقایسه مقادیر آنها با استانداردهای ارائه شده، ارزیابی خطر سلامت محصولات کشاورزی برای مصرف کنندگان، با استفاده از شاخص خطر سلامتی[1] (HRI) و شاخص خطرپذیری بیماری‌های غیرسرطانی[2] (HI) مشخص می‌شود. برای تعیین HRI، ابتدا بایستی مصرف روزانه فلزات[3] (DIM) با استفاده از معادله 1 تعیین شود. در معادله DIM برای آلاینده‌های مختلف، DIM، Cvegetables، Cfactor، D_{food} intake و Baverage weight به‌ترتیب مقدار مصرف روزانه آلاینده بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن در روز (mg $(kg^{-1}\ day^{-1}bw$)، غلظت فلزات سنگین در سبزیجات یا محصولات کشاورزی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک، عامل تبدیل وزن سبزیجات یا محصولات کشاورزی تازه به خشک برابر0/085، مصرف روزانه سبزیجات یا محصولات کشاورزی تازه برای افراد بالغ و کودکان به‌ترتیب 0/345 و 0/232 کیلوگرم به ازای هر فرد در روز یا 0/2 کیلوگرم به‌طور میانگین به ازای هر فرد در روز و وزن بدن به‌طور میانگین برای افراد بالغ و کودکان به‌ترتیب 55/9 و 32/7 کیلوگرم می‌باشد. [12،13] پس از محاسبه DIM، HRI با استفاده از معادله 2 محاسبه می‌شود؛ به‌طوری‌که شاخص HRI کوچک‌تر از یک نشان دهنده عدم وجود خطر آشکار برای جمعیت در معرض و بزرگ‌تر از یک بودن آن، دلالت بر وجود خطر می‌باشد. در معادله HRI، R_{fd} یا دز مرجع جذب فلزات برای هر عنصر مقدار مشخصی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز بوده که با آزمایش روی حیوانات به‌دست آمده است و نشان دهنده حداکثر غلظتی از عنصر بوده که برای جانداران مشکلی ایجاد نمی‌کند. [7]. مقادیر آن برای فلزات مس، روی، کادمیم، سرب، جیوه و کروم به‌ترتیب 0/04، 0/3، 0/001، 0/004، 0/0005، 1/5 [14] و نیکل 0/02 میلی‌گرم در کیلوگرم در روز می‌باشد.[13،15]

هم‌چنین، برای محاسبه HI ابتدا بایستی میزان جذب روزانه آلاینده[4] (EDI) و پتانسیل خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی[5] (THQ) با استفاده از معادله‌های 3 و 4 محاسبه شود. در معادله EDI برای آلاینده‌های مختلف، EDI، C_F، F_{IR}، E_F، E_D، B_W، A_T به‌ترتیب تخمین جذب روزانه آلاینده بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم در روز، غلظت آلاینده در محصولات کشاورزی بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم، میزان مصرف محصولات کشاورزی در روز بر حسب گرم بر روز، تعداد در معرض قرار گرفتن یا دفعات مصرف در سال برابر 365 روز بر سال، زمان در معرض قرار گرفتن یا تعداد سال‌های

[1] - Health risk index
[2] - Hazard index
[3] - Daily intake of metals

[4]- Estimated daily intake
[5] - Target Hazard Quotient

استفاده از این محصول کشاورزی معادل متوسط عمر زندگی یعنی 70 سال، وزن بدن به‌طور متوسط برای افراد بالغ و کودکان به‌ترتیب برابر 55/9 و 32/7 کیلوگرم، متوسط زمان در معرض قرار گرفتن برای بیماری‌های غیرسرطانی و حاصل شدن از حاصلضرب E_D در تعداد روزهای سال بر حسب روز می‌باشد [11،14،16]. THQ نیز پتانسیل خطرپذیری به بیماری های غیرسرطانی برای یک عنصر را نشان می‌دهد. مقادیر THQ یک و بالای یک نشان دهنده وجود احتمال بیماری غیرسرطانی از مصرف یک عنصر می‌باشد. روش ارزیابی خطر مبتنی بر این روش، برآورد کمّی از احتمال وقوع خطر در طول عمر جمعیت انسانی، ناشی از در معرض قرار گرفتن آلاینده نبوده و فقط نشانه‌ای از سطح خطر می‌باشد [15].

شاخص خطرپذیری بیماری غیرسرطانی (HI) از حاصل جمع پتانسیل خطرپذیری تک تک عناصر برای هر گروه یعنی مردان، زنان و کودکان به‌دست می‌آید و مقادیر یک و یا بیش‌تر از یک آن نشان از احتمال بالای خطرپذیری به بیماری‌های غیرسرطانی است [16،17].

با توجه به این اینکه مقایسه خطر سلامتی مصرف محصولات کشاورزی کشت شده تحت تأثیر لجن فاضلاب پرتوتابی شده و نشده با شاخص‌های مذکور انجام نشده است، لذا، برای نمونه به برخی تحقیقات انجام یافته با شاخص‌های مذکور اشاره می‌شود.

صالحی‌پور و همکاران پتانسیل خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان در برخی محصولات شامل گندم، برنج، هویج، پیاز، سبزیجات برگی (شوید، تره، ریحان، کاهو) و سیب زمینی استان اصفهان را بررسی و گزارش کردند که میزان پتانسیل خطرپذیری عنصر آرسنیک برای مردان و زنان از مصرف گندم بیشتر از یک بود که احتمال بروز آثار سوء بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از این عنصر برای افراد مصرف کننده در استان اصفهان را افزایش می‌دهد ولی پتانسیل خطرپذیری سایر عناصر مورد مطالعه به‌تنهایی کم‌تر از یک بود. همچنین میزان شاخص خطرپذیری برای مردان و زنان به‌ترتیب 2/6 و 2/9 به‌دست آمد که نشان دهنده اثرهای سوء بیماری‌های غیرسرطانی ناشی از مصرف محصولات مورد مطالعه است [7].

چراغی و قبادی با ارزیابی خطر سلامتی فلزات سنگین (کادمیم، نیکل، سرب و روی) در سبزی جعفری برداشت شده از برخی مزارع شهر همدان گزارش کردند که میانگین غلظت فلزات کادمیم و سرب در گیاه بیش‌تر از حد استاندارد WHO/FAO و میانگین غلظت فلزات نیکل و روی کم‌تر از حد استاندارد WHO/FAO بود که حاکی از سهولت انتقال فلزات سرب و کادمیم از خاک به گیاه جعفری و متعاقباً ناسالم شدن آن برای مصرف روزانه می‌باشد. همچنین میزان شاخص خطر سلامتی (HRI) برای فلز سرب بیش از یک و برای سایر فلزات کم‌تر از یک به دست آمد که نشان دهنده خطر بالقوه بهداشتی این فلز در ارتباط با مصرف جعفری آلوده در رژیم غذایی روزانه انسان است [8].

هانگ و همکاران تحقیقی بر روی پتانسیل خطرپذیری (THQ) و شاخص خطرپذیری (HI) فلزات سنگین از طریق مصرف برنج کشت شده در خاک‌های آلوده ایالت چانگشو چین انجام و گزارش دادند که میزان پتانسیل خطرپذیری برای بزرگسالان و کودکان از مصرف برنج به‌ترتیب Cu > > As > Cr Zn > Pb > Hg > Cd و شاخص خطرپذیری برای کودکان و بزرگسالان به‌ترتیب 1/523 و 1/726 بود. نتایج مذکور نشان دهنده آن بود که هر دو گروه سنی برخی اثرهای نامطلوب فلزات سنگین را بر سلامتی خود تجربه می‌کنند. همچنین در

بین عناصر مورد مطالعه، سرب و روی بیشترین نقش را در احتمال خطرپذیری کل داشتند [17].

لیو و همکاران با ارزیابی انواع مختلف سبزیجات برگی (کرفس، کلزا و کلم برگ)، ریشه‌ای (هویج) و سبزیجات خانواده *سولوناسه* (فلفل قرمز و گوجه فرنگی) و سبزیجات خانواده لگوم (لوبیای چشم بلبلی) جمع آوری شده از استان زیجیانگ چین گزارش کردند که غلظت فلزات سنگین در تمام گیاهان مورد مطالعه به‌ترتیب سرب> کروم> آرسنیک> کادمیم> جیوه و مقدار آن‌ها در گیاهان به‌ترتیب سبزیجات برگی> سبزیجات ریشه‌ای> سبزیجات سولوناسه> سبزیجات لگوم بود. مصرف سبزیجات برگی و ریشه‌ای نسبت به سبزیجات سولوناسه و لگوم خطر بالایی برای بیماری‌های سرطانی و غیرسرطانی داشت. کروم بیشترین خطر بیماری‌های غیرسرطانی و کادمیم بیشترین خطر بیماری‌های سرطانی را ایجاد نمود و باید نسبت به کنترل کروم و کادمیم در منطقه آلوده اقدام نمود [18].

سین و همکاران با ارزیابی شاخص خطر سلامتی فلزات سنگین از مصرف سبزیجات محلی رشد کرده تحت آبیاری فاضلاب گزارش دادند که غلظت فلزات سنگین در سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب نسبت به آب معمولی پاک چندین برابر بیشتر بود، حتی غلظت کادمیم، سرب و نیکل بیشتر از استاندارد ملی و بین‌المللی (WHO) برای مصرف خوراکی این سبزیجات قرار داشت. بالا بودن شاخص خطر سلامتی و شاخص آلودگی فلزات سنگین برای سبزیجات آبیاری شده با فاضلاب نشان دهنده خطر جدی برای سلامتی انسان ناشی از مصرف این سبزیجات بود [10].

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان بیان نمود که هیچ گزارشی در ایران و جهان در زمینه مقایسه محصولات کشاورزی کشت شده تحت لجن پرتوتابی شده و نشده با معادلات ارزیابی خطر ارائه شده یا مقایسه غلظت فلزات آنها با استانداردهای ملی یا جهانی وجود ندارد، شاید یکی از دلایل این امر محدودیت دسترسی محققان به دستگاه‌های پرتوتابی مورد نیاز در کشور یا دیگر کشورها برای پرتوتابی لجن فاضلاب می‌باشد. امید است با رفع تحریم‌های مربوطه و خرید دستگاه‌های پرتوتابی مورد نیاز مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌های کشور، موانع دسترسی محققان رشته‌های مختلف به دستگاه‌های پرتوتابی برطرف شده و تحقیقات مربوط به کاربرد روش‌های پرتوتابی برای تصفیه و گندزدایی لجن فاضلاب برای حل مشکلات و معضلات کاربرد لجن به‌عنوان کود آلی در بخش کشاورزی انجام پذیرد.

$$DIM = \frac{C_{Vegetable} \times C_{factor} \times D_{food\ intake}}{B_{average\ weight}} \quad (1)$$

$$HRI = \frac{DIM}{R_{fd}} \quad (2)$$

$$EDI = \frac{C_F \times F_{IR} \times E_F \times E_D \times 10^{-3}}{B_W \times A_T} \quad (3)$$

$$THQ = \frac{EDI}{RfD} \quad (4)$$

$$HI = \sum_{n=1}^{i} THQ_n \quad (5)$$

جدول1. حداکثر غلظت مجاز فلزات در سبزیجات [11،19] و میزان جذب قابل تحمل روزانه در آنها [14،16]

فلز سنگین	حداکثر غلظت مجاز فلزات (میلی‌گرم در کیلوگرم)	میزان جذب قابل تحمل روزانه (میکروگرم در روز)
آرسنیک	0/05	
کادمیم	0/2	57-71
جیوه		40
کبالت	50	
کروم	2/3	
مس	9/4	6500
سرب	0/3	200
منگنز	500	
نیکل	67/9	
روی	73/3	3000
آهن	425/5	

3. بررسی تأثیر لجن پرتوتابی شده بر ویژگی‌های رشد گیاهان

بررسی منابع نشان داد که اگرچه مطالعاتی در مورد تأثیر لجن فاضلاب پرتوتابی شده بر ویژگی‌های رشد و جذب عناصر غذایی توسط غلات، لگوم‌ها و سایر گیاهان انجام شده است، اما چنین مطالعه‌ای در داخل کشور در مورد تأثیر لجن پرتوتابی شده بر رشد و عملکرد گیاهان و جذب عناصر غذایی و فلزات سنگین توسط آن‌ها انجام نشده است. بنابراین، شناخت تأثیر لجن پرتوتابی شده بر کمیت و کیفیت گیاهان نیازمند مطالعه و تحقیق بیشتری می‌باشد. الموتایم و ابوالسعید اثر سطوح صفر، 20، 40، 60 و 80 تن بر هکتار لجن فاضلاب پرتوتابی شده با دز 6 کیلوگری گاما و پرتوتابی نشده را بر تولید گیاه دارویی رازیانه در دو مرحله رویشی و گلدهی در خاک شنی بررسی و گزارش کردند که وزن خشک شاخساره در هر دو مرحله رشد و عملکرد دانه با کاربرد لجن پرتوتابی شده نسبت به پرتوتابی نشده به‌طور معناداری افزایش یافت. میزان انتقال فلزات سنگین (سرب و کادمیم) به بذرهای این گیاه دارویی ناچیز بوده و منجر به خطر سلامتی از نظر مصرف این بذرها نگردید. تی-آنتول و فنچون ترکیب‌های غالب اسانس بذر رازیانه بوده و مقدار تی-آنتول با کاربرد لجن فاضلاب پرتوتابی شده و نشده در تمام تیمارها به‌ترتیب کاهش و افزایش نشان داد؛ در حالی‌که تغییرات فنچون بر عکس تغییرات تی-آنتول بود. آنان تغییرات ترکیب‌های اسانس بذر را به تغییرات متابولیسمی و تأثیر لجن پرتوتابی شده و نشده

بر رشد، توسعه و رسیدگی بذر این گیاه نسبت دادند [20]. احمد و همکاران گزارش کردند که کاربرد لجن فاضلاب پرتوتابی شده با دز 5 کیلوگری اشعه گاما به‌دلیل غیرفعال‌سازی جانداران بیمارگر خطرناک و بازدارنده‌های رشد، عملکرد گیاه گندم را به‌طور میانگین 7 تا 20 درصد نسبت به لجن پرتوتابی نشده افزایش داد [21]. پاندیا و همکاران اثر لجن فاضلاب شهری مرطوب پرتوتابی شده با دز 5 کیلوگری اشعه گاما را بر رشد و عملکرد گیاه برنج در یک آزمایش گلدانی بررسی و گزارش کردند که وزن‌تر و خشک شاخساره گیاه برنج با کاربرد لجن پرتوتابی شده نسبت به پرتوتابی نشده، به‌طور معناداری افزایش یافت [22]. مگناواکا با بررسی کارایی مصرف نیتروژن و فسفر به کمک رادیوایزوتوپ ^{15}N و ^{32}P در لجن پرتوتابی شده و نشده بیان داشتند که فراهمی نیتروژن برای گیاه علف چاودار در لجن پرتوتابی شده، حدود 60 درصد بیش‌تر از لجن پرتوتابی نشده بود، ولی پرتوتابی تأثیری بر فراهمی فسفر نداشت. در گیاه نیشکر نیز لجن فاضلاب پرتوتابی شده در مقداری معادل با نیتروژن توصیه شده، باعث افزایش عملکرد گیاه شد، در حالی‌که لجن پرتوتابی نشده هیچ اثری نداشت. آنان دلیل آن را به تأثیر پرتوتابی بر مقدار نیتروژن لجن نسبت دادند. به‌طور کلی، کاربرد 7 تن بر هکتار لجن پرتوتابی نشده (به میزان 2 برابر نسبت نیتروژن توصیه شده) اثری مشابه با 3/5 تن بر هکتار لجن پرتوتابی شده (به میزان معادل با نیتروژن توصیه شده) داشت [23]. پاندیا و همکاران نشان دادند که لجن پرتوتابی نشده باعث کاهش معنادار طول ریشه و وزن‌تر و خشک گیاه نخود در مقایسه با شاهد شد، ولی با کاربرد لجن فاضلاب پرتوتابی شده، مواد سمی بازدارنده‌ی رشد در لجن حذف گردید. مقدار پروتئین در گیاهان رشد کرده تحت تأثیر لجن پرتوتابی شده به‌طور معناداری بیش‌تر از لجن پرتوتابی نشده بود، در حالی‌که کاربرد لجن فاضلاب پرتوتابی شده بر طول ساقه، قند محلول کل، مقدار نشاسته و عملکرد گیاهان نخود اثر معناداری نداشت [24]. با توجه به نتایج مگناواکا افزایش غلظت پروتئین گیاهان در تیمار لجن پرتوتابی شده را می‌توان به بهبود تغذیه نیتروژن گیاه نسبت داد [23]. زو و همکاران بیان کردند که مقدار نیتروژن معدنی شده در خاک‌های تحت تیمار لجن پرتوتابی شده با دز 5 کیلوگری در مقایسه با پرتوتابی نشده مخصوصاً در پنج هفته اول بعد از کاربرد بیشتر بود، زیرا پرتوتابی با تغییر شکل و احتمالاً به‌دلیل تخریب کمپلکس‌های پایدار ترکیب‌های نیتروژن آلی، باعث افزایش معدنی شدن و زیست فراهمی مواد غذایی و افزایش عملکرد محصولات می‌گردد. عملکرد گندم و برنج با مصرف لجن پرتوتابی شده به‌طور معناداری بیش‌تر از لجن پرتوتابی نشده (افزایش عملکرد 10 تا 30 درصد در گندم و کم‌تر از 10 درصد در برنج) و کم‌تر از کودهای معدنی بود. آنان افزایش عملکرد با لجن پرتوتاپی شده را به افزایش معدنی شدن نیتروژن آلی، تشکیل مقادیر بیشتری از مواد آلی محلول (DOM[1])، شکستن بخش‌های با وزن مولکولی زیاد مواد آلی محلول و افزایش فراهمی عناصر غذایی نسبت دادند [25]. ال-موتایم و بداوی نیز با بررسی قابلیت جذب نیتروژن از منابع کود سولفات آمونیوم، لجن و خاک نشان‌دار شده با ^{15}N در گیاه گوجه فرنگی بیان کردند که افزایش مقادیر ماده خشک، عملکرد و بازیابی نیتروژن با کاربرد لجن فاضلاب پرتوتابی شده بیشتر از لجن فاضلاب پرتوتابی نشده بود. مقدار بازیابی نیتروژن توسط گوجه فرنگی در عدم حضور لجن تنها 14 درصد، در حالی‌که در حضور

[1] Dissolved organic matter

لجن پرتوتابی نشده 17 تا 34 درصد و پرتوتابی شده 21 تا 39 درصد بود [26]. آژانس بین‌المللی انرژی اتمی گزارش کرد که بهتر است لجن به‌عنوان مکمل آلی برای کودهای شیمیایی توصیه شده و نه اینکه جایگزین کودهای شیمیایی گردد، زیرا کاربرد نسبت‌های سالانه بالا برای تأمین عناصر غذایی پرمصرف گیاهان، نگرانی‌های فلزات سنگین را ایجاد خواهد کرد [27]. احمد و همکاران نشان دادند که کاربرد لجن فاضلاب پرتو دیده معادل 400 کیلوگرم نیتروژن بر هکتار عملکرد مشابه 100 کیلوگرم اوره بر هکتار در گیاه گندم ایجاد نمود [21]. با استناد به مطالب ذکر شده می‌توان بیان نمود که لجن فاضلاب تولید شده در تصفیه‌خانه فاضلاب کشور دارای انواع آلاینده‌های آلی، معدنی و میکروبی بوده و با گندزدایی آن توسط پرتو یونیزان گاما، علاوه بر رفع مواد بازدارنده رشد گیاهی موجود در آنها و خطرات مربوط به مصرف گیاهان کشت شده در شرایط مصرف لجن فاضلاب، بلکه خاصیت کودی این فرآورده نیز بسته به سطوح پرتوتابی ممکن است بهبود یابد. لذا پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی دز بهینه و اقتصادی برای گندزدایی و بهبود خاصیت کودی این فرآورده تعیین گردد تا بتوان با تعبیه دستگاه‌های پرتو دهنده در تصفیه‌خانه‌ها در آینده گامی رو به جلو در جهت بهداشت و سلامت محیط زیست و عموم مردم برداشت.

4. نتیجه‌گیری کلی

لجن فاضلاب از جمله کودهای آلی است که علاوه‌بر عناصر غذایی حاوی آلاینده‌های آلی، معدنی و میکروبی بوده و بر اثر افزودن این مواد به خاک، گیاه همراه با عناصر غذایی مورد نیاز، این آلاینده‌ها را جذب کرده و وارد زنجیره غذایی می‌گردد (انسان و دام). از آنجایی‌که امروزه پیشرفت‌های چشم‌گیری در مورد حذف آلاینده‌های مختلف از لجن فاضلاب با پرتوهای یونیزان حاصل شده، ولی هنوز گزارش جامعی در مورد روند تغییرات ویژگی‌های شیمیایی لجن با پرتوتابی یونیزان مانند گاما وجود ندارد. پرتوتابی لجن فاضلاب باعث حذف بیمارگرهای خطرناک و مواد بازدارنده رشد گیاه موجود در آنها شده و رشد و عملکرد گیاهان را افزایش می‌یابد. در ایران لجن فاضلاب عمدتاً به‌دلیل ارزانی قیمت این فرآورده در کشت گیاهان دارای خام‌خوری مخصوصاً سبزیجات استفاده شده و به‌دلیل وجود آلاینده‌های آلی و معدنی مختلف در آنها، خطر بروز انواع بیماری‌ها در مصرف کننده‌ها افزایش می‌یابد. در مورد محصولات کشاورزی و سبزیجات تحت کشت کودهای دارای مواد آلاینده مانند لجن فاضلاب، استفاده از معادلات ارزیابی خطر برای به‌دست آوردن خطرات مصرف آنها توسط گروه‌های مختلف سنی مصرف کننده پیشنهاد شده است. لذا، معادلات ارزیابی خطر به‌دلیل نبود مطالعه در مورد مقایسه گیاهان کشت شده در شرایط مصرف لجن پرتوتابی شده و نشده در این مقاله تشریح گردید. با محاسبه شاخص‌های خطرپذیری مصرف کننده‌ها، میزان خطرپذیری گروه‌های مختلف سنی مصرف کننده ناشی از مصرف گیاهان کشت شده تحت لجن پرتوتابی شده و نشده به‌دست می‌آید. انتخاب نوع گیاهان برای کشت در شرایط مصرف لجن فاضلاب نیز بسته به *متابولیسم، نیازهای تغذیه‌ای، تحمل آن به تنش و تغییر خاصیت کودی و سلامتی این فرآورده با سطوح پرتوتابی می‌تواند انجام شود.*

مراجع

[1] ف. اکبرنژاد، ع. ر. آستارایی، ا. فتوت. م. نصیری محلاتی، تأثیر کمپوست پسماند شهری و لجن فاضلاب بر عملکرد و غلظت سرب، نیکل و کادمیم در خاک و گیاه دارویی سیاه دانه (Nigella sativa L.)، نشریه بوم شناسی کشاورزی، 2(4)، 608-600، 1389.

[2] ح. ر. بوستانی، ع. ب. رونقی، مقایسه اثر کاربرد لجن فاضلاب و کود شیمیایی بر عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه اسفناج (Spinosa olerace L.) در سه بافت یک خاک آهکی، مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، 2(6)، 73-65، 1390.

[3] س. ناظمی، ع. عسگری، م. راعی، بررسی مقدار فلزات سنگین در سبزیجات پرورشی حومه شهر شاهرود. مجله سلامت و محیط 3(2)، 202-195، 1389.

[4] ح. عسگری لجایر، ن. نجفی، ا. مقیسه، تحلیلی بر سازوکار پرتو گاما در تصفیه و گندزدایی لجن فاضلاب، مجله تابش و فناوری هسته ای، 2 (1)، 23-9، 1394.

[5] ب. بینا، ح. موحدیان عطار، ا.ع. امینی، بررسی کیفیت لجن خشک شده تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اصفهان و کاربرد آن برای مصارف مختلف. مجله آب و فاضلاب، 15(1)، 42-34، 1383.

[6] ش. شفیعی‌پور، ب. آیتی، ح. گنجی دوست، بررسی اثر کاربرد لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری در بهبود خاک کشاورزی (مطالعه موردی: جزیره کیش)، مجله آب و فاضلاب، 22 (2)، 93-85، 1390.

[7] م. صالحی‌پور باورصاد، ه. قربانی، م. افیونی، ح. خیرآبادی، بررسی پتانسیل خطر فلزات سنگین بر سلامت انسان در برخی محصولات کشاورزی استان اصفهان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، 18 (67)، 80-71، 1393.

[8] م. چراغی، آ. قبادی، ارزیابی خطر فلزات سنگین (کادمیم، نیکل، سرب و روی) در سبزی جعفری برداشت شده از برخی مزارع شهر همدان. مجله طلوع بهداشت، 13(4)، 143-129، 1393.

[9] S. Khan, Q. Cao, Y.M. Zheng, Y.Z. Huang, Y.G. Zhu, Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Bei jing, China. Environmental Pollution, 152, 686-692, 2008.

[10] A.Singh, R.K. Sharma, M. Agrawal, F.M. Marshall, Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. Food and Chemical Toxicology, 48, 611-619, 2010.

[11] Y. Wang, M. Qiao, Y. Liu, Y. Zhu, Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from wastewater irrigated area, Beijing-Tianjin city cluster, China. Journal of Environmental Sciences, 24, 690-698, 2012.

[12] Z.J. Xue, S.Q. Liu, Y.L. Liu, Y.L. Yan, Health risk assessment of heavy metals for edible parts of vegetables grown in sewage-irrigated soils in suburbs of Baoding City, China. Environmental monitoring and assessment, 184, 3503-3513, 2012.

[13] R. Rattan, S. Datta, P. Chhonkar, K. Suribabu, A. Singh, Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. Agriculture, Ecosystems & Environment, 109, 310-322, 2005.

[14] X. Wang, T. Sato, B. Xing, S. Tao, Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. Science of the Total Environment, 350, 28-37, 2005.

[15] N.S. Chary, C. Kamala, D.S.S. Raj, Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. Ecotoxicology and environmental safety, 69, 513-524, 2008.

[16] N. Zheng, Q. Wang, X. Zhang, D. Zheng, Z. Zhang, S. Zhang, Population health risk due to dietary intake of heavy metals in the industrial area of Huludao city, China. Science of the Total Environment, 387, 96-104, 2007.

[17] Hang, X., Wang, H., Zhou, J., Ma, C., Du, C. and Chen, X. 2009. Risk assessment of potentially toxic element pollution in soils and rice (Oryza sativa) in a typical area of the Yangtze River Delta. Environmental Pollution, 157: 2542-2549.

[18] X. Liu, Q. Song, Y. Tang, W. Li, J. Xu, J. Wu, F. Wang, P.C. Brookes, Human health risk assessment of heavy metals in soil–vegetable system: a multi-medium analysis. Science of the Total Environment, 463, 530-540, 2013.

[19] F. Itanna, Metals in leafy vegetables grown in Addis Ababa and toxicological implications. Ethiopian Journal of Health Development, 16, 295-302, 2002.

[20] R. El-Motaium, M.A. El-Seoud, Irradiated sewage sludge for production of fennel plants in sandy soil. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 78, 133-142, 2007.

[21] S. Ahmed, M. Hossain, S. Rahman, Isotope-aided studies on the effects of radiation processed sewage sludge on crop yields and bioavailability of heavy metals. Irradiated sewage sludge for application to cropland, 35, 2002,

[22] G.A. Pandya, L. Prakash, P. Devasia, V.V. Modi, Effect of gamma-irradiated sludge on the growth and yield of rice (Oryza sativa L. var. GR-3). Environmental Pollution, 51, 63-73, 1988.

[23] C. Magnavacca, Evaluation of irradiated sewage sludge as an industrial crop fertilizer using nuclear techniques. Irradiated sewage sludge for application to cropland, 5, 2002.

[24] G.A. Pandya, S. Sachidanand, V.V. Modi, Potential of recycling gamma-irradiated sewage sludge for use as a fertilizer: a study on chickpea (Cicer arietinum). Environmental Pollution, 56, 101-111, 1989.

[25] L. Zhou, Y. Xu, T. Jiang, S. Zheng, H. Wu, Characterization of irradiated sewage sludge and its effects on soil fertility, crop yields and nutrient bioavailability. Irradiated sewage sludge for application to cropland, 53. 2002.

[26] R. El-Motaium, S. Badawy, Irradiated sewage sludge for increased crop production–III. macronutrient availAability. Irradiated sewage sludge for application to cropland, 83, 2002.

[27] IAEA, Irradiated sewage sludge for application to cropland. Results of a co-ordinated research project. (Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture), International Atomic Energy Agency, Vienna (Austria), 2002.

Journal of Radiation and Nuclear Technology

JRNT
Journal of Radiation and Nuclear Technology

Journal of Radiation and Nuclear Technology / Vol. 2 / No. 3 /autumn 2015

Study of the possibility of using gamma - irradiated sewage sludge in different plants production

H. Asgari Lajayer[1*], N. Najafi[2], E. Moghiseh[3]

[1]Ph.D Student of Soil Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, East Azerbaijan, Iran.
[2] Associate Professor of Soil Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, East Azerbaijan, Iran.
[3]Assistant Professor of Soil Science, Department of Nuclear Agriculture, Atomic Energy Organization of Iran, Tehran
[*] Corresponding author 's Email: h-asgari@tabrizu.ac.ir

Received: 31/4/2015 - Accepted: 9/8/2015

ABSTRACT

sewage sludge is an organic fertilizer and in addition to pathogens, containing macronutrients (including nitrogen, phosphorus, potassium) and micronutrients (for example iron, zinc, copper, manganese, molybdenum) and heavy metals such as arsenic, cadmium, chromium, lead, mercury, nickel, selenium, and etc. Using ionizing radiation is the best way for disinfection of sewage sludge and absorption of radiation energy by water molecules of sewage sludge causes the ionization of their and formation of oxidizing and reducing free radicals. A comprehensive report does not exist on the effects of ionizing radiation such as gamma rays on the changes in chemical properties of sewage sludge; however, irradiation of sewage sludge could remove dangerous pathogenic organisms and plant growth inhibitors and could increase plants yield. In Iran due to the low cost of sewage sludge it was used in the cultivation of plants particularly fresh vegetables. The existence of various organic and inorganic pollutants in sewage sludge used in the cultivation of vegetables increased the risk of various diseases in consumers due to their direct consumption. Therefore, the use of risk assessment models have been suggested to predict the risks of crops consumption by various consumers and vegetables production with organic fertilizers containing pollutants such as sewage sludge. Lack of study about comparing plants grown in irradiated and non-irradiated sludge with risk assessment equations, reveals necessity of these equations and their mechanisms. Therefore, the present paper reviewed reports regarding to the effects of irradiated sludge application on plant growth and provided risk assessment equations for agricultural products using in plants production. Generally, the selection of plant type for cultivation under sewage sludge using depends on the metabolism, nutritional needs, and stress tolerance and the change in physical, chemical and biological properties products with radiation and type consumption of plants.

Keywords: Irradiation, Pollutants, Risk assessment, Sewage sludge, Vegetables