Journal of Health

Vol. 13, No. 2, Summer 2022, Pages 213-222

Methods for Removal of Radioactive Compounds from Aqueous Solution: a Review

Saadati M[1], Poureshgh Y *[1,2]

1. Supreme National Defense University
2. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Ardabil University of Medical Sciences, Ardabil, Iran.

**** Corresponding author.*** Tel: +989148092356, Fax: +984533512004, E-mail: yusef.poureshg@gmail.com

Received: Oct 16, 2021 Acccepted: Dec 27, 2021

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]

[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]

[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]

ABSTRACT

Background & objectives: Radioactive compounds in water and wastewater have raised global concerns. Numerous epidemiological studies have shown that these substances can endanger the health of humans and animals. These contaminants must be removed before entering the natural cycle due to their carcinogenic properties. This study investigated the processes of removing radioactive compounds from water and wastewater.

Methods: For this purpose, related articles were selected from Scopus, PubMed, and Web of Science databases. Overall, 89 articles were retrieved, and ultimately 11 articles were reviewed after removing duplicates and deleting unrelated studies. Experimental conditions, including pH, temperature, initial concentration, adsorbent dose, ionic strength, and contact time, as well as adsorbent regeneration and adsorption/recovery capacity, were extracted from these studies.

Results: Almost all adsorption experiments were performed at room temperature and showed that higher temperature leads to higher adsorption rates. More than 45% of studies determined the optimum pH at the 6-7 range. In addition, increasing the initial concentration improves the adsorption capacity while reducing metal ion recovery. Most articles (44%) used of Langmuir equation to model isotherm studies. In addition, about 41% of them described the adsorption kinetics with a pseudo-second-order model and suggested chemical adsorption as a velocity-limiting step.

Conclusion: As discussed in this review, decontamination of such wastewater is much more challenging than handling conventional industrial and municipal wastewater. However, further studies concerning well-designed large-scale studies are needed to strengthen the evidence.

Keywords: Removal Methods; Radioactive Compounds; Aqueous Solution

مروری بر روش‌های حذف ترکیبات رادیو اکتیو از محلول‌های آبی

مجتبی سعادتی[1]، یوسف پورعشق[1،2*]

۱. پژوهشکده آماد، دانشگاه و پژوهشگاه عالی دفاع ملی و تحقیقات راهبردی
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اردبیل، اردبیل، ایران
* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۹۱٤۸۰۹۲۳۵۶ فکس: ۰٤۵۳۳۵۱۲۰۰٤ ایمیل: yusef.poureshg@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: ترکیبات رادیواکتیو در آب و پساب باعث نگرانی‌های جهانی شده است. مطالعات اپیدمیولوژیکی متعددی نشان داده‌اند که این مواد سلامت انسان‌ها و حیوانات را به خطر می‌اندازد. بدلیل خاصیت سرطانزایی، این آلاینده ها قبل از ورود به چرخه طبیعت باید حذف شوند. بنابراین در این مطالعه به بررسی فرآیندهای حذف این دسته از آلاینده ها از آب و پساب پرداخته شد.

روش کار: مقالات مربوط به این مطالعه از تحقیقات پایگاه های اطلاعاتی Scopus، PubMed و Web of Science انتخاب شده اند. در مجموع ۸۹ مقاله بازیابی شد و ۱۱ مقاله پس از حذف موارد تکراری و حذف مطالعات غیر مرتبط بررسی شد. شرایط تجربی شامل pH، دما، غلظت اولیه، دوز جاذب، قدرت یونی و زمان تماس و همچنین بازسازی جاذب و ظرفیت جذب/ بازیابی در این مطالعات استخراج شد.

یافته ها: تقریباً همه مقالات شامل آزمایش‌های جذب در دمای اتاق بودند و نشان دادند که دمای بالاتر منجر به نرخ جذب بالاتری می‌شود. بیش از ٤۵ درصد از مطالعات pH مطلوب را در ۷-۶ تعیین کردند. علاوه بر این، افزایش غلظت اولیه ظرفیت جذب را بهبود می‌بخشد در حالی که منجر به کاهش بازیابی یون فلز می‌شود. اکثر مقالات (٤٤٪) از مدل ایزوترم لانگمویر استفاده کردند. علاوه بر این، حدود ٤۱ درصد از مطالعات شامل سینتیک جذب را با مدل شبه درجه دوم توصیف کرده و جذب شیمیایی را به عنوان مرحله محدودکننده سرعت پیشنهاد کرده اند.

نتیجه گیری: اگرچه در حال حاضر بسیاری از فناوری‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی در دسترس است، اما تعداد کمی از آنها در مقیاس بزرگ نشان داده شده است. بنابراین برای تقویت شواهد، مطالعات بیشتر طراحی شده در مقیاس بزرگ مورد نیاز است.

واژه های کلیدی: روش‌های حذف، ترکیبات رادیواکتیو، محلول‌های آبی

دریافت: ۱٤۰۰/۷/۲٤ **پذیرش:** ۱٤۰۰/۱۰/۶

مقدمه

جمعیت جهان در حال افزایش و منابع آب آشامیدنی رو به کاهش است. بنابراین ممکن است جهان در آینده با مشکلات بیشتری در زمینه کمبود آب مواجه شود (۱). افزایش مصرف آب و کمبود حاصل از آن که بر اثر آلودگی نیز تشدید می‌شود سبب شده است تا تامین آب بهداشتی به یکی از دغدغه‌های اساسی جامعه جهانی تبدیل شود. فرآیند توسعه کشورها مسائل گسترده آلودگی آب را ایجاد کرده است و این آلودگی نه تنها ممکن است با تغییرات فیزیکی و بیولوژیکی همراه باشد بلکه به‌دلیل حل‌شدن فرآیند مواد سمی و نامطلوب در آب، آلودگی شیمیایی نیز ممکن است ایجاد کند (۲). آلودگی‌ها با ایجاد تغییرات مذکور کیفیت آب را کاهش می‌دهند و

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]
[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]

در مراحلی آب را برای اغلب مصارف غیرقابل استفاده می‌کنند. برخی از آلودگی‌ها زوال‌پذیرند و به آسانی تجزیه شده یا تقلیل داده می‌شوند مانند مواد زائد کشاورزی، ولی بعضی از آلاینده‌ها زوال‌ناپذیرند مانند مواد رادیواکتیوی از قبیل کبالت، سزیم، ید و غیره. انسان‌ها به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در معرض آلاینده‌های رادیواکتیو قرار می‌گیرند. منابع مختلفی برای انتشار این دسته از آلاینده‌ها در محیط زیست وجود دارد اما مهمترین آنها فعالیت‌های ناشی از نیروگاه‌های هسته‌ای و استفاده از رادیونوکلئوتیدها در پزشکی هسته‌ای می‌باشد که باعث ایجاد رادیونکلوئیدهای مصنوعی در آب‌های سطحی می‌شود که به تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی و فاضلاب می‌رسند (۳). غلظت آلاینده‌های رادیواکتیو در اثر آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در محیط زیاد شده و در نتیجه پس از واردشدن به زنجیره غذایی انسان‌ها اثرات سمی حاد و مزمنی برای بدن ایجاد می‌کنند. یکی از اساسی‌ترین مسائل و مشکلات در ارتباط با مواد رادیواکتیو، عدم متابولیزه‌شدن آنها در بدن می‌باشد. همچنین مواد رادیواکتیو می‌تواند جایگزین دیگر املاح و مواد معدنی مورد نیاز در بدن گردد (٤). به‌طور کلی اختلالات عصبی، پارکینسون، آلزایمر، افسردگی، اسکیزوفرنی، انواع سرطان، فقر مواد مغذی، برهم‌خوردن تعادل هورمون‌ها، چاقی، سقط جنین، اختلالات تنفسی و قلبی، عروقی، آسیب به کبد، کلیه‌ها و مغز، بی‌اشتهایی، التهاب مفاصل، ریزش مو، پوکی استخوان و در موارد حاد مرگ از نتایج حاصل از ورود مواد رادیواکتیو به بدن انسان‌ها است (۵). بنابراین آلودگی‌های زیست‌محیطی موثر بر سلامت انسان یکی از نگرانی‌های عمده در رابطه با فعالیت صنایع فراوری مواد رادیواکتیو می‌باشد و از جمله جدی‌ترین این نگرانی‌ها آلودگی آب می‌باشد (۶).

در دهه‌های گذشته تاکید مدیران محیط زیست و بهداشت محیط در تامین شرایط در نقطه خروجی سیستم چون کاستن از سطح آلاینده خروجی بوده، حال آنکه امروزه بحث برخورد سیستمی است که در آن حداقل‌کردن فاضلاب، حذف آلاینده‌ها، حداقل انرژی در کل دوره تولید موضوع بحث است. بنابراین باید به امر ۱) کنترل و محدود کردن آلاینده‌ها و ۲) سیاست‌های زیست محیطی و استفاده از تکنولوژی‌های جدید توجه بیشتری شود (۷). حذف مواد رادیواکتیو از مواد غذایی و آب باعث افزایش سلامت و ایمنی مواد غذایی حاوی این سموم می‌باشد. همچنین تصفیه فیزیکی و شیمیایی آب، روش‌هایی چون اسمز معکوس، تبادل یونی و نانوفیلتراسیون توانسته‌اند مواد رادیواکتیو را از آب حذف نمایند (۸). با این حال تحقیقات بیشتری در این زمینه، مورد نیاز می‌باشند. از طرف دیگر آب‌های زیرزمینی خصوصاً آب‌های نواحی صخره‌ای ممکن است حاوی مقادیر بالای رادیونوکلئیدهای طبیعی باشد. سطوح بالای این مواد در آب‌های زیرزمینی در رابطه با خاک‌ها و سنگ‌های غنی از اورانیوم و توریم می‌باشد (۹). بالاترین مقادیر مواد رادیواکتیو در آب نواحی با ساختمان کریستالی (شامل نواحی با سنگ‌های دگرگونی و آذرین، خصوصاً گرانیتی) است. در مجموع غلظت این مواد در آب هر منطقه تابع سه فاکتور کلی: خصوصاً زمین‌شناختی، شرایط هیدرولیکی و خصوصیات شیمیایی آب می‌باشد (۱۰).

آب‌های سطحی آلوده به مواد رادیواکتیو، معضلی برای بسیاری از کشورهای جهان بوده است (۱۱). وجود مواد رادیواکتیو در محیط‌های آبی اثرات مضر بر سلامت انسان، رشد گیاهان و زیستگاه حیوانات دارد (۱۲). تاکنون روش‌های متعددی برای حذف مواد رادیواکتیو از محیط آبزی به کار گرفته شده است. روش‌های متداول برای حذف مواد رادیواکتیو از فاضلاب شامل جذب، رسوب شیمیایی، فیلتراسیون، اسمز معکوس و فناوری‌های تبادل یونی است. در میان آنها، جذب به دلیل سادگی، مقرون به‌صرفه‌بودن و

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]
[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]

کارایی بالا در حذف یون‌های فلزی از آب و پساب‌های مختلف محبوبیت زیادی دارد. در سال‌های اخیر، این فناوری برای حذف بسیاری از مواد رادیواکتیو مانند کبالت، سرب، استرانسیوم، اورانیوم و غیره از محلول‌های آبی مورد توجه محققان قرار گرفته است. بسیاری از مواد مختلف مانند مواد کربنی، زیست‌توده دانه‌ای، ذغال سنگ نارس، کیتوزان اصلاح شده، زئولیت، مواد زیستی، و رزین‌ها به عنوان جاذب یا جاذب زیستی در فرایند جذب استفاده می‌شوند. با این حال، به دلیل ظرفیت جذب پایین، کاربرد این جاذب‌ها محدود است (۱۳). فعالیت‌های صنعتی مانند آبکاری، جوشکاری، دباغی چرم، معدن، رنگرزی، کود، و فرایندهای رنگ‌آمیزی کرومات، مواد رادیواکتیوی مانند سزیم و اورانیوم را از طریق پساب‌های خود به محیط تخلیه می‌کند. از طرفی دیگر تخلیه مواد پزشکی و پساب‌های رادیواکتیو به تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب باعث افزایش غلظت آنها می‌شوند بنابراین کاهش و حذف این دسته از آلاینده‌ها در آب و فاضلاب اهمیت زیادی دارد (۱۴،۱۱).

با این حال، تحقیقات زیادی برای بررسی روش های حذف ترکیبات رادیو اکتیو از محلول های آبی در سراسر جهان انجام شده است. اما مطالعه مروری جامعی در ایران صورت نگرفته است. لذا در این مطالعه به بررسی فرآیندهای حذف ترکیبات رادیواکتیوی از آب و پساب پرداخته شده است. بدین منظور با جستجو در پایگاه‌های داده‌ای ۸۹ مطالعه در ابتدا انتخاب شد و در نهایت بعد از فیلترکردن مقالات، ۱۱ مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

روش کار

منابع داده واستراتژی جستجو

در این مطالعه مروری به بررسی فرآیندهای حذف مواد رادیواکتیو در آب و فاضلاب پرداخته شده است. مقالات مربوط به این مطالعه از طریق جستجو در پایگاه‌های داده متعدد از جمله Scopus، PubMed و Web of Science به دست آمد. کلمات و عبارات جستجوشده در پایگاه داده‌ها و استراتژی‌های جستجو در بخش زیر توضیح داده شده است:

کلمات جستجوشده به شکل زیر بود:

آب، فاضلاب، پساب، فاضلاب صنعتی، فاضلاب صنایع، آب‌های سطحی، آب‌های زیر زمینی، فاضلاب بیمارستانی؛ فلزات سنگین، مواد رادیواکتیو، مواد سرطانزا.

برای جستجوی کلمات بالا از ترکیب کلمات با نشانه‌های "AND"، "OR"، "&" استفاده شد.

معیارهای ورود

آنچه در این مطالعه مروری مورد بررسی قرار گرفت به شکل زیر می‌باشد:

بررسی فرآیندهای حذف مواد رادیواکتیو (مواد سرطانزا، مواد رادیواکتیو) در آب و فاضلاب (پساب، آب، فاضلاب، پساب، فاضلاب صنعتی، فاضلاب صنایع، آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، فاضلاب بیمارستانی) بود که باید حداقل یکی از موارد موجود در فاضلاب (مواد سرطانزا، مواد رادیواکتیو) به روش‌های مختلف از فاضلاب حذف شده باشد. مقاله‌های اصلی در این مطالعه استفاده شده جزو مقالات مروری و مقالات بدون متن کامل بودند. همچنین تمامی مقالات زبان انگلیسی و فارسی جستجوشده در پایگاه‌های مختلف بودند که شرایط بالا را برای ورود به مطالعه داشتند.

اطلاعات استخراج شده از مقالات

آنچه در این مطالعه بررسی و از مقالات جستجوشده استخراج شدند شامل موارد زیر بودند: نوع فاضلاب یا آب، نوع آلاینده‌های موجود در آب یا فاضلاب، روش‌های مورد استفاده در حذف آلاینده مورد نظر، سال مطالعه و اسم نویسندگان.

یافته ها و بحث

با جستجو در پایگاه‌های داده‌ای در ابتدا ۸۹ مقاله در مورد حذف ترکیبات رادیواکتیو در آب و فاضلاب

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]
[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]

انتخاب شد. پس از حذف موارد تکراری در نهایت ۱۱ مقاله جهت بررسی دقیق‌تر روش‌های حذف این دسته از آلاینده‌ها در آب و پساب انتخاب شدند.

روش‌ها و فرآیندهای متفاوتی برای کاهش یا حذف آلاینده‌های رادیواکتیو در آب و فاضلاب وجود دارد. روش‌های اسمز معکوس، فیلتراسیون و نانوفیلتراسیون که روش‌های قدیمی‌تری می‌باشند، میزان کارایی حذف و کاهش آلاینده‌های رادیواکتیو کمتری در آب و فاضلاب دارند (۱۵). در جدول ۱ به برخی از نتایج مطالعات انجام شده اشاره شده است.

جدول ۱. فرآیندها و عملیات‌های مختلف در جهت کاهش مواد رادیواکتیو

فرآیند	عناصر هدف	نتایج	منبع
اسمز معکوس	استرانسوم و سزیوم	به مقدار نسبتاً قابل توجهی کاهش یافتند.	(۱۶)
اسمز معکوس/ اولترافیلتراسیون	ید- ۱۲۵	اسمز ٦٤٪ و اولترافیلتراسیون ۵۰ درصد در در کاهش ید-۱۲۵ موثر بودند	(۱۷)
نانوفیلتراسیون (EDTA)	کبالت (III)	به میزان ۵۹ درصد در کاهش ان موثر بود	(۱۸)
میکرو و اولترافیلتراسیون (با زئولیت طبیعی)	سزیوم ۱۳۷ و کبالت ۵۷	به میزان ۵۳ درصد در کاهش آین دسته از آلاینده‌ها موثر بود	(۱۹)
اسمز معکوس با نانوفیلتراسیون	سزیم ۱۳۷- کبالت ۶۰	میزان حذف پایین بود. پیشنهاد شد که از روش‌های ترکیبی RO/UF/MF/MD استفاده شود.	(۲۰)
اسمز معکوس	اورانیوم	به مقدار قابل توجهی کاهش یافت	(۲۱)
اولترافیلتراسیون	اکثر آلاینده‌های رادیواکتیو	چندان در کاهش این آلاینده‌ها موثر نبود	(۲۲)
اسمز معکوس/ الترافیلتراسیون	سزیوم ۱۳۷	۶۰-۵۰ ٪ در حذف این دسته از مواد رادیواکتیو موثر بود.	(۲۳)

در اکثر مطالعات انجام‌شده روش‌های پیشنهادی میزان کارایی کمتری دارند. اما در این مطالعه مروری که به بررسی فرآیندها و روش‌های دقیق‌تر و به‌روزتر حذف این دسته از آلایندها در آب و فاضلاب پرداخته شد، استفاده از نانوکامپوزیت‌ها، فرآیندهای جذب، فرآیندهای ایزوترمی، استفاده از رزین‌های تجاری برای حذف این دسته از آلاینده‌ها در آب و فاضلاب توصیه شد. همانطوری که در مطالعات انجام‌شده مشخص شده است که عدم حذف مواد رادیواکتیو به دلیل ورود به مواد غذایی اثرات جبران‌ناپذیری بر روی انسان‌ها می‌گذارد. مواد رادیواکتیو هم در فاضلاب‌های صنعتی و هم در فاضلاب‌های شهری با توجه به نوع فاضلاب ماهیت و کیفیت متفاوتی دارند. بنابراین روش‌های حذف و یا به حداقل رساندن این دسته از آلاینده‌ها هم متفاوت خواهد بود. در همین راستا فقیهیان و همکاران فلزات رادیواکتیو باریم، کادمیوم، نیکل و سرب را در فاضلاب صنعتی و فاضلاب شهری مورد بررسی قرار دادند. آنها از زئولیت کلینوپتیلولیت و شکل سدیم آن برای حذف این دسته از آلاینده‌ها استفاده کردند. در نهایت مشخص شد که استفاده از کلینوپتیلولیت برای حذف Cs^{+}، Ni^{2+}، Sr^{2+} و Ba^{2+} در فاضلاب‌های شهری موثر بوده است ولی برای فاضلاب‌های صنعتی به‌دلیل غلظت بالای آنها جوابگو نبود. لازم به ذکر است که از زئولیت‌ها در تصفیه فاضلاب برای حذف عناصر سمی و رادیواکتیو استفاده شده است. همچنین سزیم و استرانسیم بیشترین فراوانی را در محصولات شکافت هسته‌ای دارند که در فاضلاب آزاد می‌شوند بنابراین توجه به این دسته از آلاینده‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد (۲٤). با توسعه علم و پیشرفت در بخش مواد نانوئی، استفاده از نانوذرات جایگزین مناسبی برای حذف مواد سمی و رادیواکتیو در آب نسبت به روش‌های قدیمی بود. به همین جهت مطالعه ای روی حذف کبالت (II) و روی (II) به عنوان فلزات رادیواکتیویته انجام شد. استفاده از نانوذرات اکسید فلز، نانواکسید تیتانیوم و نانواکسید نقره برای حذف این دسته از مواد رادیواکتیو در فاضلاب شهری استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از نانواکسید نقره (Ag_2O N) در

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]
[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]

pH:7 و زمان تماس ۶۰ دقیقه راندامان بالایی در حذف روی و کبالت دارد. همچنین این روش برای حذف Co-60 و Co-60 از آب‌های لوله‌کشی نیز موثر بود. فاضلاب رادیواکتیو به عنوان یک ماده بسیار خطرناک در دسته مواد سمی قرار دارد. که منبع اصلی آنها ایزوتوپ‌های رادیواکتیو هستند. علاوه بر آنها غلظت بالای کبالت (II) و روی (II) به عنوان ماده سمی و سرطانزای انسانی معرفی شده است که می‌تواند باعث تحریک پذیری، حالت تهوع، سفتی عضلات و کم اشتهایی شود. همچنین به دلیل تجمع زیستی در گیاهان می‌تواند به عنوان یک مشکل زیست‌محیطی مطرح باشد (۲۵). بحث آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین و رادیواکتیو به قدری جدی است که به عنوان یکی از مسائل مهم جهانی مطرح است. به دنبال آن با توسعه علم روش‌های حذف آنها نیز گسترش پیدا کرده است. از طرف دیگر علاوه بر حذف این مواد در آب و فاضلاب، بازیابی و غنی‌سازی آنها نیز می‌تواند مهم باشد. بر همین جهت فناوری نانو نقش اساسی در جهت حذف این مواد ایفا می‌کند. همانطوری که در مطالعه جیانگ[1] و همکاران نیز از فرآیند نانو برای حذف مواد رادیواکتیو استفاده کردند. آنها نشان دادند که نانولوله‌های کربنی (CNTs) و کامپوزیت‌های آن عملکرد بالایی برای جذب مواد رادیواکتیو در فاضلاب ایفا می‌کند، به‌طوری که میزان حذف آنها تا ۸۰ درصد هم گزارش شد (۲۶). برای بهبود کیفیت آب پساب‌های تصفیه فاضلاب و تاسیسات صنعتی، بهبود عملکرد فناوری‌های موجود اهمیت دارد. روش‌های مختلفی برای حذف یون‌های فلزی از محلول‌های آبی وجود دارد، اما جذب بسیار گسترده و پرکاربرد است. مطالعه کوماردس[2] و همکاران بر روی حذف یون‌های Cd (II) و Pb (II) در فاضلاب انجام شد. آنها نشان دادند که پارامترهای مختلفی از جمله pH، غلظت اولیه یون فلز، سطح دوز جاذب و زمان تماس در میزان حذف آنها موثر است. بر همین اساس آنها از آلومینای فعال برای حذف این دسته از آلاینده‌ها استفاده کردند. مشخص شد که جذب برای جذب Cd(II) خود به خود و گرمازا و برای سرب (II) گرماگیر است. انرژی جذب محاسبه شده از ایزوترم Dubinin -Radushkevich برای جذب Cd (II) و Pb (II) به ترتیب ۱۱/۸۵ kJ/mol و ۱۱/۸ kJ/mol بود که نشان داد که هر دو فرآیند جذب از نظر شیمیایی طبیعی هستند. در این مطالعه مشخص شد که آلومینای فعال برای حذف این دسته از آلاینده‌ها در عملیات تصفیه‌خانه فاضلاب مهم و موثر است (۲۷). سزیم و کبالت یکی از رادیونوکلوئیدها است که اثرات جدی بر روی سلامتی انسان و حیوانات دارد. بر همین اساس در مطالعه گالامبوس[3] و همکاران نشان دادند که فروسیانیدهای نامحلول نیکل، جاذب‌های بسیار گزینشی و بنابراین می‌توان از آنها برای جداسازی سزیم از ضایعات رادیواکتیو مایع استفاده کرد. جاذب‌های سیلیس اصلاح شده با ایمیدازول را می‌توان برای جداسازی یون‌های کبالت از محلول آبی استفاده کرد (۲۸).

مواد رادیواکتیویته موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، به دلیل استفاده از مواد رادیواکتیو در زمینه‌های مختلف مانند صنایع هسته‌ای، تولید انرژی و توسعه پزشکی می‌باشد. بنابراین برای انسان‌ها و محیط زیست خطر جدی هستند. به دنبال آن دفع آنها هم امروزه بسیار مهم است. روش‌های مختلفی مانند فیلتراسیون، اسمز معکوس، جذب، تبادل یونی و جداسازی غشائی برای حذف این مواد وجود دارد، اما روش جذب کارایی بالایی نسبت به سایر فرآیندها دارد. به همین جهت در مطالعه ایشیک[4] از روش جاذب‌های کامپوزیتی جدید از جمله پودر کیتوزاین، اکسید پودر- استخوان کیتوزاین- استخوان استفاده

[1] Jiang
[2] KumarDas
[3] Galambos
[4] Işık

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]
[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]

کردند و مشخص شد که استفاده از هر دو جاذب راندمان بالایی در حذف یون سزیم رادیواکتیو در فاضلاب را دارند و سنتیک جذب به خوبی با مدل درجه دو تفسیر شد (۲۹). در مطالعه‌ای که برای اولین بار در سال ۲۰۲۰ برای حذف فلز سنگین رادیواکتیو استرانسیوم از فاضلاب انجام شد مشخص گردید که حذف این آلاینده با استفاده از جاذب وانادوسیلیکات سدیم لایه‌ای با ظرفیت جذب و انتخاب پذیری بالا حدود ۹۹٪ می‌باشد. بنابراین راندمان آن قابل قبول می‌باشد و به عنوان یک جاذب برای حذف و کاهش آلاینده استرانسیوم در فاضلاب موثر می‌باشد (۳۰). یکی دیگر از مواد رادیواکتیو دیگر آب و فاضلاب، ید رادیواکتیو می‌باشد. پس از وقوع فواجع هسته‌ای یا استفاده از سوخت در موشک‌ها به دلیل وجود رادیونکلوتید ید، پاکسازی و حذف این آلاینده از آب و فاضلاب مهم و موثر می‌باشد. روش‌های زیادی برای حذف این آلاینده در محیط‌های آبی گزارش شده است. لازم به ذکر است که روش‌های گفته شده برای حذف این آلاینده اکثراً به دلیل هزینه‌های بالا، میزان حذف و کاهش کمتر و همچنین ظرفیت جذبی پایین، ارزش خود را از دست داده‌اند. بر همین اساس در یک مطالعه کاملاً تخصصی توسط ضیا و همکاران به حذف رادیوکتو ید در محیط‌های آبی پرداخته شد. آنها از نانوکامپوزیت‌های نقره/ اکسید آهن (Ag/Fe_3O_4) برای حذف ید استفاده کردند. راندمان حذف به طور قابل توجهی در pH و زمان‌های تماس متفاوتی بدست آمد که راندمان همه آنها در حذف ید بالا بود. بنابراین استفاده از این روش هم مقرون به صرفه و هم راندمان بالایی دارد (۳۱). اورانیوم نیز یکی دیگر از مواد رادیواکتو حاصل از فروریزه‌های هسته‌ای است که در آب‌های سطحی و زیرزمینی وجود دارند. همانطور که توضیح داده شد روش‌های نانو و جذب به دلیل بازدهی و راندمان حذف بالا برای حذف اکثر مواد رادیواکتیو در آب و فاضلاب استفاده می‌شودند. به همین جهت در مطالعه شارما و همکاران به حذف اورانیوم از محیط‌های آبی پرداخته شده است. آنها از نانوذرات نانوهماتیت دارای سطح مهندسی شده ($F\text{-}\alpha\text{-}Fe_2O_3$) استفاده کردند. مشخص شد که راندمان حذف تابعی از زمان تماس، میزان pH و غلظت اولیه اورانیوم می‌باشد. بالاترین راندمان برای حذف اورانیوم در pH=5 با زمان تماس ۶۰ دقیقه بود. بنابراین استفاده از این نانوذرات از نظر ظرفیت جذب دارای راندمان بالا و قابل قبولی می‌باشد (۳۲). علاوه بر مواد رادیواکتیو در آب و فاضلاب، وجود آنها در لجن نیز می‌تواند اکوسیستم محیط زیستی را به خطر بیاندازد. بر همین اساس در مطالعه آگیلار[1] و همکاران به شناسایی مواد رادیواکتیو در آب و لجن پرداختند. آنها I 131، Co 60 و Cs 137 را در لجن آبگیری شده و Ga 67، Tc 99، In 111 را در نمونه‌های لجن تصفیه خانه فاضلاب شناسایی کردند (۳۳). همانطور که مشخص است مواد رادیواکتیو در محیط‌ها به دلیل تجمع زیستی، خاصیت تجزیه‌ناپذیر و سمی‌بودن حتی در غلظت‌های پایین، تهدیدی جدی برای گیاهان، حیوانات و حتی انسان‌ها هستند. بنابراین آلودگی ناشی از این دسته از آلاینده‌ها اثرات مخربی بر محیط زیست دارد. علاوه بر این، در محیط زیست بوم‌شناسی، به ویژه در خاک، پدیده آلودگی با این دسته از آلاینده‌ها در حال حاضر کاملاً متداول است (۳٤). زئولیت‌ها به عنوان الک‌های مولکولی، کاتالیزورها، مبدل‌های یونی، جاذب‌ها، نرم‌کننده‌های آب، در تصفیه فاضلاب، در صنایع شیمیایی، ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. هیدروکسی آپاتیت به دلیل حلالیت کم در آب، پایداری بالا در شرایط کاهش و اکسیداسیون، سطح ویژه بالا و خواص بافر خوب، جاذب مناسبی برای فلزات سنگین و رادیونوکلئیدها است (۳۵). کادمیموم باعث تهوع، استفراغ، اسهال، گرفتگی عضلات، ترشح بزاق، از دست‌دادن کلسیم از استخوان‌ها، کاهش گلبول‌های قرمز خون، آسیب مغز استخوان، فشار خون بالا،

[1] Aguilar

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]
[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]

نارسایی کلیه به دنبال خوراکی، تحریک ریه، درد قفسه سینه و از دست دادن حس بویایی پس از استنشاق می‌شود (۲۷). مسمومیت مزمن کادمیوم باعث ایجاد پروتئینوری می‌شود و لوله‌های پروگزیمال کلیه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث تشکیل سنگ کلیه می‌شود. سرب یک ماده بسیار سمی است که قرارگرفتن در معرض آن می‌تواند طیف وسیعی از آثار سوءِ بر سلامت را برای بزرگسالان و کودکان ایجاد کند. در مطالعه متفاوتی از ناماسیوایام[1] از مغز دانه نارگیل برای حذف کروم از پساب صنعت آبکاری پس از اصلاح با سورفکتانت کاتیونی، برمید هگزادسیل تری متیل آمونیوم استفاده کرد. آنها استفاده از این روش را مقرون به صرفه توصیف کردند. آنها نشان دادند که کربن پوسته نارگیل توسط کیتوسان و یا عوامل اکسیدکننده (اسید فسفوریک) به منظور تولید جذب‌کننده تغییر یافته‌اند. نتایج آنها نشان داد که کاهش سمیت کروم در pH=۲ رخ می‌دهد و همچنین فرآیند جذب گرماگیر بوده است. در نهایت مشخص شد که حذف کروم در پساب آبکاری با استفاده از این جاذب در حد قابل قبولی بوده است (۳۶).

[1] Namasivayam

نتیجه گیری

شهرنشینی سریع و صنعتی‌شدن کشورهای در حال توسعه سطوح بالایی از آلودگی آب را به دلیل اثرات مضر صنعتی و تخلیه فاضلاب ایجاد می‌کنند. ویژگی‌های پساب‌های صنعتی از نظر ماهیت آلاینده‌ها، غلظت آنها، تکنیک تصفیه و روش دفع مورد نیاز بسته به نوع صنعت متفاوت است. علاوه بر این، انتخاب یک روش تصفیه پساب توسط پارامترهای مختلفی مانند آلاینده‌ها، غلظت آنها، حجم تصفیه شده و سمیت میکروب‌ها تعیین می‌شود. بنابراین باید روش‌های حذف مناسبی برای آلاینده‌های مضر و سرطانزا در آب و فاضلاب انتخاب کرد. قابل ذکر است که این فناوری‌ها اغلب گران هستند. همچنین وجود مواد آلی، یون‌های رقیب، جامدات محلول و سایر فلزات یا متالوئیدها در آب، میزان تصفیه به دست آمده را مختل می‌کند. در چنین شرایطی، توصیه می‌شود که یک فرآیند ترکیبی یا دو مرحله‌ای اجرا شود.

اگرچه در حال حاضر بسیاری از فناوری‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی جهت حذف ترکیبات رادیواکتیو در دسترس است، اما تعداد کمی از آنها در مقیاس بزرگ نشان داده شده است. بنابراین برای تقویت شواهد، مطالعات بیشتر طراحی شده در مقیاس بزرگ مورد نیاز است.

References

1- Hou C, Wen Y, Liu X, Dong M. Impacts of regional water shortage information disclosure on public acceptance of recycled water-evidences from China's urban residents. Journal of Cleaner Production. 2021;278:123965.
2- Devane ML, Moriarty EM, Robson B, Lin S, Wood D, Webster-Brown J, et al. Relationships between chemical and microbial faecal source tracking markers in urban river water and sediments during and post-discharge of human sewage. Science of the Total Environment. 2019;651:1588-604.
3- Fonollosa E, Nieto A, Peñalver A, Aguilar C, Borrull F. Presence of radionuclides in sludge from conventional drinking water treatment plants. A review. Journal of Environmental Radioactivity. 2015;141:24-31.
4- Fang F, Kong L, Huang J, Wu S, Zhang K, Wang X, et al. Removal of cobalt ions from aqueous solution by an amination graphene oxide nanocomposite. Journal of hazardous materials. 2014;270:1-10.
5- Eren E, Afsin B. An investigation of Cu (II) adsorption by raw and acid-activated bentonite: A combined potentiometric, thermodynamic, XRD, IR, DTA study. Journal of Hazardous materials. 2008;151(2-3):682-91.

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]
[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]

6- Yantasee W, Warner CL, Sangvanich T, Addleman RS, Carter TG, Wiacek RJ, et al. Removal of heavy metals from aqueous systems with thiol functionalized superparamagnetic nanoparticles. Environmental science & technology. 2007;41(14):5114-9.
7- Massoud MA, Tarhini A, Nasr JA. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. Journal of environmental management. 2009;90(1):652-9.
8- Jablonovská K, Štyriaková I, editors. Application possibility of bentonite and zeolite in bioremediation. Advanced Materials Research; 2007: Trans Tech Publ.
9- Namasivayam C, Kumar M. Surfactant modified coir pith, an agricultural solid waste as adsorbent for phosphate removal and fertilizer carrier to control phosphate release. Journal of environmental science & engineering. 2005;47(4):256-65.
10- Vereš J, Orolínová Z. Study of the treated and magnetically modified bentonite as possible sorbents of heavy metals. Acta Montanistica Slovaca. 2009;14(2):152-5.
11- Cosenza A, Rizzo S, Santamaria AS, Viviani G. Radionuclides in wastewater treatment plants: monitoring of Sicilian plants Water Science and technology. 2014;71(2):252.۸-
12- Mance G. Pollution threat of heavy metals in aquatic environments: Springer Science & Business Media; 2012.
13- Feng Y, Gong J-L, Zeng G-M, Niu Q-Y, Zhang H-Y, Niu C-G, et al. Adsorption of Cd (II) and Zn (II) from aqueous solutions using magnetic hydroxyapatite nanoparticles as adsorbents. Chemical Engineering Journal. 2010;162(2):487-94.
14- Peng H, Guo J. Removal of chromium from wastewater by membrane filtration, chemical precipitation, ion exchange, adsorption electrocoagulation, electrochemical reduction, electrodialysis, electrodeionization, photocatalysis and nanotechnology: a review. Environmental Chemistry Letters. 2020:1-14.
15- Rana D, Matsuura T, Kassim M, Ismail A. Radioactive decontamination of water by membrane processes-a review. Desalination. 2013;321:77-92.
16- Prabhakar S, Panicker ST, Misra B, Ramani M. Studies on the reverse osmosis treatment of uranyl nitrate solution. Separation science and technology. 1992;27(3):349-59.
17- Arnal JA, Esteban JC, García JL, Fernandez MS, Clar II, Miranda IA. Declassification of radioactive waste solutions of iodine (I125) from radioimmune analysis (RIA) using membrane techniques. Desalination. 2000;129(2):101-5.
18- Szöke S, Pátzay G, Weiser L. Cobalt (III) EDTA complex removal from aqueous alkaline borate solutions by nanofiltration. Desalination. 2005;175(2):179-85.
19- Cao J-G, Gu P, Zhao J, Zhang D, Deng Y. Removal of strontium from an aqueous solution using co-precipitation followed by microfiltration (CPMF). Journal of radioanalytical and nuclear chemistry. 2010;285(3):539-46.
20- Zakrzewska-Trznadel G, Harasimowicz M, Miskiewicz A, Jaworska-Sobczak A. Liquid low-level radioactive waste treatment by membrane processes. MRS Online Proceedings Library (OPL). 2012;1475.
21- Hsiue G-H, Pung L-S, Chu M-L, Shieh M-C. Treatment of uranium effluent by reverse osmosis membrane. Desalination. 1989;71(1):35-44.
22- Zakrzewska-Trznadel G. Radioactive solutions treatment by hybrid complexation–UF/NF process. Journal of membrane science. 2003;225(1-2):25-39.
23- Sancho M, Arnal J, Verdú G, Lora J, Villaescusa J. Ultrafiltration and reverse osmosis performance in the treatment of radioimmunoassay liquid wastes. Desalination. 2006;201(1-3):207-15.
24- Faghihian H, Marageh MG, Kazemian H. The use of clinoptilolite and its sodium form for removal of radioactive cesium, and strontium from nuclear wastewater and Pb2+, Ni2+, Cd2+, Ba2+ from municipal wastewater. Applied radiation and isotopes. 1999;50(4):655-60.
25- Mahmoud ME, Saad EA, El-Khatib AM, Soliman MA, Allam EA. Adsorptive removal of radioactive isotopes of cobalt and zinc from water and radioactive wastewater using TiO2/Ag2O nanoadsorbents. Progress in nuclear energy. 2018;106:51-63.

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]
[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]

26- Yu J-G, Zhao X-H, Yu L-Y, Jiao F-P, Jiang J-H, Chen X-Q. Removal, recovery and enrichment of metals from aqueous solutions using carbon nanotubes. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2014;299(3):1155-63.
27- Naiya TK, Bhattacharya AK, Das SK. Adsorption of Cd (II) and Pb (II) from aqueous solutions on activated alumina. Journal of colloid and interface science. 2009;333(1):14-26.
28- Galamboš M, Suchánek P, Rosskopfová O. Sorption of anthropogenic radionuclides on natural and synthetic inorganic sorbents. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2012;293(2):613-33.
29- Işık B, Kurtoğlu AE, Gürdağ G, Keçeli G. Radioactive cesium ion removal from wastewater using polymer metal oxide composites. Journal of Hazardous Materials. 2021;403:123652.
30- Zhang X, Liu Y. Ultrafast removal of radioactive strontium ions from contaminated water by nanostructured layered sodium vanadosilicate with high adsorption capacity and selectivity. Journal of Hazardous Materials. 2020;398:122907.
31- Zia MR, Raza MA, Park SH, Irfan N, Ahmed R, Park JE, et al. Removal of Radioactive Iodine Using Silver/Iron Oxide Composite Nanoadsorbents. Nanomaterials. 2021;11(3):588.
32- Janu VC, Meena R, Kumar N, Sharma RK. Surface fluorinated hematite for uranium removal from radioactive effluent. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2020;8(5):104218.
33- Martínez J, Peñalver A, Baciu T, Artigues M, Danús M, Aguilar C, et al. Presence of artificial radionuclides in samples from potable water and wastewater treatment plants. Journal of environmental radioactivity. 2018;192:187-93.
34- Smičiklas I, Dimović S, Plećaš I, Mitrić M. Removal of Co2+ from aqueous solutions by hydroxyapatite. Water research. 2006;40(12):2267-74.
35- Elouear Z, Bouzid J, Boujelben N, Feki M, Jamoussi F, Montiel A. Heavy metal removal from aqueous solutions by activated phosphate rock. Journal of hazardous materials. 2008;156(1-3):412-20.
36- Namasivayam C, Sureshkumar M. Removal of chromium (VI) from water and wastewater using surfactant modified coconut coir pith as a biosorbent. Bioresource technology. 2008;99(7):2218-25.

[Downloaded from healthjournal.arums.ac.ir on 2024-12-29]
[DOR: 20.1001.1.23829710.1401.13.2.6.6]
[DOI: 10.52547/j.health.13.2.213]