Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 9, No. 3, PP. 42-50, Autumn 2024
DOI: 10.22112/jwwse.2024.422486.1379

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال نهم، شماره ۳، صفحات ۴۲-۵۰، پاییز ۱۴۰۳

Research Paper

The Effect of Pulsed Electric Field (PEF) in Deactivating Biological Factors in the Wastewater Process of Conventional Water Treatment Plants

Noushin Osouleddini[*1], Mohammad Ali[2] and Mohammad Abdollahzadeh[3]

1- Assistant Professor, Department of Pharmaceutical Chemistry, Faculty of Pharmaceutical Chemistry, Islamic Azad University of Tehran Medical Sciences, Tehran, Iran.
2- M.Sc. Student, Department of Applied Chemistry, Faculty of Pharmaceutical Chemistry, Islamic Azad University of Tehran Medical Sciences, Tehran, Iran.
3- Managing Director and Chairman of the Board of Directors of Aria Mehrgan Medical Equipment Company (METASU), Tehran, Iran.
* Corresponding Author, Email: osouleddini.n@gmail.com

Received: 30/10/2023
Revised: 30/12/2023
Accepted: 22/01/2024
© IWWA

Abstract

In this article, the biological factors present in the purification process, as well as the formation of side compounds such as trihalomethanes, are examined. Chlorine together with organic substances in wastewater creates side compounds such as trihalomethanes. By using pulsed electric field (PEF) technology, the inactivation of biological load such as nematodes, diatoms, cyanophyces and chlorophyces was investigated in these wastewaters, which is economical in the long term and also prevents the production of side compounds. In this biological investigation, the effluent from washing the filters of the drinking water treatment plant qualitatively with different voltages in the range of 1 to 13 kV with an interval of 1 kV with a constant frequency of 500 Hz at different times (10, 20, 30, 40, 50 and 60 min) exposed to contact and then qualitatively evaluated under the microscope. This qualitative study showed that the range of 1 to 6 kV has no effect on the biological agents in the wastewater, including nematodes, and the effect of the deactivation of the pulsed electric field (PEF) on the biological agents occurs in the range of 13-6 kV. This research showed that in the PEF system, the type of biological agents, the amount of voltage, contact time and the percentage of inactivation of biological agents in rotifers; 13 kV with a contact time of 60 min, maximum 20%, nematodes; 13 kV with a contact time of 60 min, maximum 25%, diatoms; 11 kV and contact time of 60 min, maximum 75%, chlorophytes; 10 kV and contact time of 60 min, maximum 90% and cyanophyces; 10 kV and a contact time of 60 minutes were effective in inactivating them up to 90%.

Keywords: Removal of biological pollutants, Pulsed Electric Field (PEF), Chlorophytes, Nematodes, Diatoms, Cyanophytes, Wastewater treatment plant.

مقاله پژوهشی

تاثیر میدان الکتریکی پالسی (PEF) در غیرفعال‌نمودن عوامل بیولوژیکی در فرآیند تصفیه پساب تصفیه‌خانه‌های متداول آب

نوشین اصول‌دینی[*1]، محمد علی[2] و محمد عبدالله‌زاده[3]

۱- استادیار گروه شیمی دارویی، دانشکده شیمی دارویی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی دارویی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران.
۳- مدیر عامل و رئیس هیات مدیره شرکت مهرگان طب تجهیز آریا (METASU)، تهران، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: osouleddini.n@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

در این مقاله، عوامل بیولوژیکی موجود در فرآیند تصفیه و همچنین تشکیل ترکیبات جانبی نظیر تری‌هالومتان‌ها در آن مورد بررسی قرارگرفته است. با استفاده از تکنولوژی میدان الکتریکی پالسی (PEF) غیرفعال نمودن بار بیولوژیکی از جمله نماتدها، دیاتومه‌ها، سیانوفیسه‌ها و کلروفیسه‌ها در این پساب‌ها بررسی شد، که هم از نظر اقتصادی در درازمدت مقرون به‌صرفه بوده و هم از تولید ترکیبات جانبی جلوگیری به‌عمل می‌آید. در این بررسی بیولوژیکی پساب حاصل از شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب شرب به‌صورت کیفی با ولتاژهای متفاوت در دامنه ۱ تا ۱۳ کیلوولت با بازه ۱ کیلوولت با فرکانس ثابت ۵۰۰ هرتز در زمان‌های متفاوت (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه) در معرض تماس قرارگرفته و سپس در زیر میکروسکوپ مورد ارزیابی کیفی قرارگرفت. این بررسی کیفی نشان داد محدوده ۱ تا ۶ کیلوولت هیچ‌گونه تاثیری روی عوامل بیولوژیکی موجود در پساب از جمله نماتدها را نداشته و تاثیر غیرفعال‌سازی میدان الکتریکی پالسی بر روی عوامل بیولوژیکی در محدوده ۶ -۱۳ کیلوولت اتفاق می‌افتد. این تحقیق نشان داد که در سیستم میدان‌الکتریکی پالسی، نوع عوامل بیولوژی، مقدار ولتاژ، زمان تماس و درصد غیرفعال‌سازی عوامل بیولوژی در روتیفرها؛ ۱۳ کیلوولت با زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۲۰ درصد، نماتدها؛ ۱۳ کیلوولت با زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۲۵ درصد، دیاتومه‌ها؛ ۱۱ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۷۵ درصد، کلروفیسه‌ها؛ ۱۰ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۹۰ درصد و سیانوفیسه‌ها؛ ۱۰ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۹۰ درصد در غیرفعال‌سازی آن‌ها موثر بوده است.

کلمات کلیدی: حذف آلاینده‌های بیولوژیکی، میدان الکتریکی پالسی (PEF)، کلروفیسه‌ها، نماتدها، دیاتومه‌ها، سیانوفیسه‌ها، پساب تصفیه‌خانه.

۱- مقدمه

کشور ایران فقط ۰/۳۴ درصد از آب‌های موجود در کل جهان را با وجود داشتن ۱/۱ درصد از مساحت کل خشکی جهان در اختیار دارد. مجموع بارندگی سالیانه در ایران حدود ۴۰۰ میلیارد مترمکعب است که ۲۸۴ میلیارد مترمکعب آن به‌طور مستقیم تبخیر می‌شود و تنها بخش کمی از آن به‌صورت آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی تأمین‌کننده منابع آبی کشور است. در حال‌حاضر مجموع کل آب در دسترس کشور ۹۰ میلیارد مترمکعب است. بنابراین از حداکثر پتانسیل لازم برای تغذیه از منابع آب‌های زیرزمینی و بازچرخانی پساب در صنایع استفاده می‌شود. با توجه به افزایش روز افزون جمعیت و ازدیاد صنایع، اهمیت کیفیت آب به لحاظ آلودگی از اهمیت بالایی برخوردار است. اگر آب دستخوش آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی شود، مشکلات بسیاری بر محیط‌زیست و به جامعه انسانی وارد خواهد کرد که جبران آن شامل هزینه‌های بسیار گزافی است (Shirkavand et al., 2023; Karandish and Mousavi, 2018).

آزمایش بیولوژی آب به‌منظور تشخیص ساختار توده بیولوژیکی موجود در پساب شستشوی تصفیه‌خانه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمون‌ها شامل شمارش و اندازه‌گیری فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها است. پلانکتون‌ها به موجودات زنده ریز و معلق در اقیانوس‌ها، دریاها و منابع آب شیرین گفته می‌شود که قادر به مقاومت در مقابل جریان آب و شناکردن نیستند و جابه‌جایی افقی آن‌ها توسط جریان آب صورت می‌گیرد. اندازه پلانکتون‌ها از کمتر از ۱ میکرومتر تا بیش از ۲۰ سانتی‌متر متغیر است (عروجی و همکاران، ۱۳۹۷).

فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) بخش خودپرورد پلانکتون‌ها (دروایان) عمدتاً شامل جلبک‌های معلق هستند که معمولا نزدیک سطح آب در منطقه نورزی زندگی می‌کنند. زئوپلانکتون‌ها (جانوردرویان) بخش دگرپروردگی پلانکتون‌ها عمدتاً شامل تک‌یاختگان و پریاختگان کوچک معلق‌اند. در اکوسیستم‌های آبی، فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) از نظر زیست‌شناختی فعال‌تر و از نظر کیفیت آب تاثیرگذارتر از گیاهان آب‌رست هستند. در منابع آب سطحی، گیادروایان به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بر pH، غلظت اکسیژن محلول و غلظت دی‌اکسیدکربن تاثیر گذارند (Wang et al., 2024). فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) برای رشد در منابع آب نیاز به نور خورشید دارند و در تاریکی رشد آن‌ها متوقف می‌شود. هر عاملی که مانع نفوذ نور در آب شود (مثل کدورت آب) باعث کاهش رشد فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) می‌شود. دمای آب نیز روی رشد فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) تاثیرگذار است، به‌طوری‌که آهنگ رشد فیتوپلاکتون‌ها (گیادروایان) در بهار و تابستان افزایش و در فصول سرد کاهش می‌یابد. کلروفیسه‌ها از عوامل بیولوژیکی هستند که شاخه گیاهی دارند و جزء پلانکتون‌های گیاهی هستند، بیماری‌زا نیستند ولی باعث طعم و بو در آب می‌شوند و هم‌چنین باعث انسداد صافی‌ها می‌شوند. کلروفیسه‌ها را جلبک سبز می‌خوانند، برخی تاژک‌دار و برخی به شکل نوار هستند (Alavian et al., 2024; Yadav et al., 2023).

نماتدها به گروهی از جانوران پرسلولی، کرمی یا نخی شکل گفته می‌شود که دارای ساختمان غیر بندبند هستند و در یک یا دو انتها ممکن است باریک‌تر شده باشد. جزء بی‌مهرگان و به‌صورت رشته‌ای، متورم و یا کروی شکل هستند. اندازه آن‌ها بین ۱-۱۰ میلی‌متر متغیر است. باریک و نیمه‌شفاف بوده و حدود ۱۵۰۰ گونه نماتد شناخته شده است که تنها ۱۰٪ انگل گیاهی است. تقریبا در هر ۱ گرم خاک مرطوب ۵-۱۰۰ نماتد وجود دارد. نماتدها فاقد دستگاه گردش خون و تنفس هستند و اکسیژن لازم را از طریق نفوذ به دیواره بدن به‌دست می‌آورند. نماتدها به تنهایی بیماری‌زا نیستند، اما غذاهایی که مصرف می‌کنند باعث ایجاد بیماری می‌شوند. در واقع روده و شکم این موجودات، محل برای رشد و نمو بعضی از میکروب‌های بیماری‌زا است (فریدی راد و همکاران، ۱۴۰۰). به‌عبارتی، نماتدها که نقش واسط دارند و موجودات بیماری‌زا را به‌طور غیرمستقیم با نقش کپسول حفاظتی عمل نموده وارد بدن انسان می‌کنند (Poniewozik and Lenard, 2022).

دیاتومه‌ها شاخه‌ای از آغازیان هستند که فتوسنتز کننده‌اند و در گروه جلبک‌ها قرار می‌گیرند. آن‌ها بخش مهمی از پلانکتون‌ها را که پایه اساسی زنجیره غذایی و در سطح دریاها و آب‌های شیرین شناور هستند را تشکیل می‌دهند. دیاتومه‌ها در بدن انسان باعث تخریب کلیه و همچنین به‌دلیل پوسته سیلیسی، باعث گرفتگی صافی‌های شنی در تصفیه‌خانه‌های متداول آب می‌شوند. بعضی از دیاتومه‌ها ایجاد رنگ و بوی نامطبوع می‌کنند، مثل آستریونلا[1] که اگر تعداد آن به بیش از ۱۰۰۰ عدد در ۱ میلی‌لیتر آب باشد بویی شبیه شمعدانی ایجاد می‌کند و رنگ آب را زرد مایل به قهوه‌ای می‌کند (Sournia, 1982).

در مطالعه Singh et al. (2016) خود تخریبی در باکتری‌هایی مانند اشریشیاکلی[2] در آب بدون تغییر دما و تأثیر میدان الکتریکی پالسی بر روی ویروس‌ها بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده این بود که باکتری‌ها (E.Coli) به تعداد زیاد در 110 kV/cm از بین رفته‌اند. در تحقیقی دیگر با استفاده از فناوری میدان الکتریکی

پالسی فشارقوی در تصفیه فاضلاب و استریلیزاسیون، دریافت شد که مقدار pH فاضلاب، شدت جریان، ولتاژ و زمان انجام، همگی بر اثر استریلیزاسیون تأثیر بالایی داشته‌اند. در این آزمایش مقدار pH اسیدی باعث افزایش کشندگی اشرشیاکلی و سالمونلا شده است (El-Hag et al., 2006). هنگامی‌که شدت میدان الکتریکی زیاد است و زمان به ۱۲۰ ثانیه برسد، تاثیر میدان الکتریکی پالسی با ولتاژ بالا بهترین اثر کشنده را بر روی اشرشیاکلی و سالمونلا داشته است (Ma, 2022).

یکی از روش‌هایی که برای حذف عوامل بیولوژیکی در گذشته انجام شده، روش ازناسیون برای تصفیه آب‌های معدنی است. براساس نتایج حاصل از تحقیق ژیان و همکاران (۱۳۸۷)، در دوز ppm ۵/۱ ازن، راندمان حذف دیاتومه‌ها ۹۳/۸۴٪ گزارش شده و تأثیر ازن بر روی دیاتومه‌ها به‌دلیل پوسته سیلیسی آن‌ها به سختی انجام گرفته است. معمارزاده و همکاران (۱۳۸۸) با کانی گارنت سه‌لایه‌ای اقدام به بررسی راندمان حذف عوامل بیولوژیکی در تصفیه‌خانه اصفهان کردند. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان داد که میانگین درصد حذف دیاتومه‌ها، روتیفر و نماتد به ترتیب ۹۷/۸٪، ۹۷/۶٪، ۹۶/۵٪ است. (Dehghani et al., 2013) تاثیرات اشعه ماوراء بنفش (UV) را روی نماتدها بررسی کردند. این روش دارای محدودیت‌هایی از قبیل کدورت و دما دارد؛ به این‌صورت که با افزایش کدورت از NTU ۹ به NTU ۲۵ راندمان حذف نماتدها از ۱۰۰٪ به ۶۶٪ رسیده است و هم‌چنین با افزایش دما از ۲۵ به ۴۵ سانتیگراد راندمان حذف از ۱۸/۵٪ به ۸۹ ٪ می‌رسد.

در مطالعه دیگری که درخصوص حذف نماتدها به‌روش فیلترهای شنی نوع تند انجام شد، اندازه منافذ موثر فیلتر بین ۰/۴۵ و ۰/۷۵ بود که باعث حذف نماتد بین ۵۵ تا ۶۰٪ شد (Seth et al., 1968). در مطالعه Sournia (1982) غیرفعال شدن یک پروتئاز به‌دست آمده از سودوموناس فلورسنس بررسی شد. پروتئاز پس از ۲۰ پالس و در میدان‌الکتریکی با شدت kV/cm ۱۸ و عصاره مخمر تا ۸۰٪ غیرفعال شد. البته، سرعت غیرفعال شدن پس از ۹۸ پالس و شدت میدان الکتریکی kV/cm ۱۴در شیر ۶۰٪ بود. نتایج نشان داد که فعالیت فسفاتاز قلیایی با استفاده از ۷۰ پالس با شدت میدان‌الکتریکی kV/cm ۱۸/۸ به‌میزان ۶۰٪ در شیر خام و شیر ۲٪ چربی و به‌میزان ۶۵ ٪ در شیر بدون چربی کاهش می‌یابد.

Ferrer (2007) از PEF به‌عنوان شبیه‌سازی برای تصفیه نوشیدنی‌های حاوی آب پرتقال و هویج در غلظت‌های مختلف استفاده کردند. نتایج نشان داد که در شدت میدان کم درآب هویج، سطح آلودگی اولیه بر تعداد نهایی از میکروارگانیسم‌ها، مهم‌ترین پارامتر مؤثر است. برای شدت میدان متوسط یا بالاتر، مهم‌ترین عامل تعیین تعداد نهایی از میکروارگانیسم‌ها بود که در شدت میدان (۲۰ کیلو ولت) درصد زیادی میکروارگانیسم‌های آب‌هویج از بین رفتند.

در تحقیقی باکتری‌های کشنده گرم مثبت (مونوسیتوژنز، استافیلوکوکوس اورئوس و لیستریا) و یک گرم منفی (اشرشیاکلی) باکتری در شیر توسط میدان‌های الکتریکی پالسی (PEF) ازمایش شدند و با استفاده از رسانه‌های غیرانتخابی و گزینشی و سینتیکی و PEF کشندگی آن‌ها مورد مطالعه قرارگرفت. نتایج تحقیق دیگری نشان‌داد که میدان الکتریکی پالسی یک‌روش نوین غیرحرارتی برای حفظ مواد غذایی است (Ji et al., 2022; Anderson et al., 2021).

Karandish et al. (2018) فاضلاب بیمارستانی را با فناوری PEF تصفیه کردند. راندمان غیرفعال‌سازی باکتری‌ها با موفقیت با واکنش زنجیره‌ای پلیمراز بلادرنگ (PCR) بررسی شد. نتایج نشان داد که بخش عمده‌ای از جمعیت باکتریایی را می‌توان به‌طور موثر با درمان PEF غیرفعال کرد. علاوه‌بر این نتایج نشان‌داد که فعالیت‌های نوکلئاز طبیعی برخلاف درمان حرارتی تحت‌تاثیر PEF قرار نمی‌گیرد.

در یکی از مطالعات اخیر آب آلوده به باکتری اشریشیاکلی (E.coli) و حذف این میکروارگانیزم به‌عنوان شاخص آلودگی آب‌های آشامیدنی و درجه تصفیه پساب فاضلاب بهداشتی با استفاده از ایجاد میدان الکتریکی پالسی بررسی شد (Ji et al., 2022). در این تحقیق با استفاده از دستگاه PEF در محدوده ۱ تا ۱۳ کیلو ولت (Kv/Cm) با فرکانس ۵۰۰ هرتز در بازه زمانی ۳ تا ۶۰ دقیقه با استفاده از آزمایش MPN/100 ml (محتمل‌ترین تعداد کلی فرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) به‌صورت ۹ لوله‌ای بررسی شد. نتایج این بررسی در دمای ^{o}C ۲۰ نشان داد که کمترین راندمان حذف آلودگی باکتری‌های کلیفرمی، مربوط به ولتاژ kV ۱ با زمان تماس ۱ دقیقه با راندمان صفر درصد و بیشترین راندمان حذف، مربوط به ولتاژkV ۱۳ زمان تماس ۳۰ دقیقه با راندمان ۹۹/۸٪ است.

روش‌های زیادی در زمینه تصفیه بیولوژیکی آب انجام گرفته است و با توجه به معایب این فرآیندها مانند استفاده از مواد شیمیایی، زمان ماند بالا و غیره، در حال‌حاضر بیشتر توجهات به‌سمت فرآیندهای نوین تصفیه بیولوژیکی معطوف شده است. استفاده از پالس الکتریکی نه تنها روشی نو و جدید بوده بلکه باعث کاهش استفاده از مواد شیمیایی و منعقدکننده‌ها می‌شود.

هدف از مطالعه حاضر بررسی و از بین‌بردن عوامل بیولوژیکی از قبیل دیاتومه‌ها، کلروفیسه، نماتد و غیره است. در این راستا با طراحی و ساخت یک دستگاه پایلوت میدان الکتریکی پالسی مطابق شکل ۱ این موضوع بررسی می‌شود، به این‌صورت که پساب حاصل از شستشوی معکوس فیلترها (Waste Filter Backwash) با جریان الکتریکی متفاوت از ۱ تا ۱۳ kV از پایلوت ساخته شده به شکل لوله، به قطر ۳ اینچ عبور داده شده و در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری انجام و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌های انجام کار در آزمایشگاه بیولوژیکی

۲-۱- نحوه جمع‌آوری و انتقال نمونه به آزمایشگاه

تمامی نمونه‌های زئوپلانکتون و فیتوپلانکتون توسط نمونه‌بردار مجرب آزمایشگاه بیولوژیکی به‌روش نمونه‌برداری ساده در ظرف پلاستیکی یا پلی‌اتیلنی ۱۰ لیتری که قبلا شستشو داده و آماده نمونه‌برداری شد، از خروجی پساب شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه آب (طبق قانون نمونه باید جزئی از کل باشد)، جمع‌آوری و اطلاعات اولیه خواص فیزیکی و شیمیائی نمونه پساب شامل pH، EC، دمای نمونه، عمق نمونه‌برداری، زمان نمونه‌برداری، کدورت نمونه، فصل نمونه‌برداری و تاریخ نمونه‌برداری بر روی برچسب مخصوص ضدآب ثبت و بلافاصله برای بررسی بیولوژیکی به آزمایشگاه منتقل شد. کار نمونه‌برداری مهم بوده و باید توسط نمونه‌بردار ماهر انجام شود. نمونه‌برداری در فصل بهار به‌مدت سه ماه با رعایت تواتر نمونه‌برداری، به‌صورت روزانه نمونه‌برداری و مورد بررسی و آزمایش قرارگرفت (Osouleddini et al., 2019).

۲-۱-۱- نکات ضروری در نمونه برداری

رعایت نکات زیر در نمونه برداری ضروری است:

الف) نمونه باید جزئی از کل باشد؛

ب) چنان‌چه نمونه پساب حاوی کلر آزاد باقی‌مانده یا دیگر هالوژن‌ها باشد، باید یک ماده احیاکننده تیوسولفات سدیم ($Na_2S_2O_3$) اضافه شود. تیوسولفات سدیم ماده کلرزدای مناسبی است که می‌تواند تمام هالوژن‌های باقی‌مانده را خنثی کرده و از اثر باکتری‌کشی کلر در طول تحقیق (Bactercidal) جلوگیری کند. درصورت وجود کلر در پساب باید از تیوسولفات در ظرف نمونه‌برداری به حجم ۱۲۰ میلی‌لیتری و یا معادل آن برای حجم‌های مختلف استفاده نمود. ۱۰ میلی‌لیتر از محلول ۱۰ درصد تیوسولفات می‌تواند نمونه‌ای حاوی ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کلر آزاد باقی‌مانده به حجم ۱۰ لیتر را خنثی نماید؛

پ) جنس ظرف نمونه‌برداری پلاستیکی یا پلی‌اتیلنی باشد؛

ت) ظرف نمونه‌برداری پس از شستشو با درجنت و آب‌کشی با آب شهری، در پایان با آب مقطر آب‌کشی می‌شوند (Karimnezhad et al., 2023)؛

ث) پس از نمونه‌برداری، فضای خالی در بالای ظرف (حداقل ۲/۵ سانتی‌متر) برای هم‌زدن و مخلوط‌کردن باید درنظر گرفته‌شود؛

ج) برای پیش‌گیری از آلودگی با نمونه‌های حاوی عوامل بیماری‌زا، موارد بهداشتی و گندزدائی توسط نمونه‌بردار باید رعایت شود؛

چ) ظروف نمونه‌برداری نیازی به آب‌کشی اولیه با نمونه نداشته و مستقیما از نمونه پر می‌شود؛

ح) حجم نمونه‌ای که بتوان تمام آزمایش‌های بیولوژیکی را بر روی آن انجام داد نباید از ۱۰ لیتر کمتر باشد؛

خ) آزمایش‌های میکروبیولوژیکی باید بلافاصله پس از نمونه‌برداری انجام شود. چنانچه نتوان نمونه‌ها را ظرف ۳ تا ۴ ساعت به آزمایشگاه تحویل داد، حتما در کول‌باکس در دمای ۴ تا ۸ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به آزمایشگاه نگهداری شود؛

د) دمای تمام نمونه‌های آب‌سطحی، آشامیدنی و فاضلاب‌ها باید طی حداکثر ۶ ساعت زمان انتقال به آزمایشگاه زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود. درصورت نیاز به نگهداری بیش از ۲۴ ساعت باید از محلول فرمالدئید یا لوگل استفاده نمود (Osouleddini et al., 2018).

۲-۲- ابزار و لوازم مورد نیاز آزمایش

دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل یک دستگاه Pulsed Electric Field (PEF) است که توسط محققین طراحی و ساخته شد و منبع تغذیه آن (kv ۱ تا ۱۳) با فرکانس ۵۰۰ Hz توسط شرکت متنا ساخته شد (شکل ۱). آب دیونایز برند متاسو، سیستم وکیوم فیلتر هولدر برند SHIN SAENG برای صاف‌سازی و آماده‌سازی نمونه، یک دستگاه میکروسکوپ نوری مدل BA Motic 300، لام سدویک رافتر S52 کد ۰۲ B00417 کمپانی Graticules Opticsانگلیس ابعاد سل ۵۰mm×۲۰×۱ در خط‌کشی‌های ۱ میلی‌متری مدرج شده که هر ۱ میلی‌لیتر آن معادل ۱۰۰۰ میکرولیتر برای شمارش تعداد عوامل بیولوژیکی است و ابعاد کلی آن 76×40 mm و ضخامت ۲ mm است، استفاده شدند. هم‌چنین از کاغذ صافی مارک MN آلمان با پو سایز ۰/۸ میکرون برای شمارش عوامل بیولوژیکی و پورسایز ۳ میکرون برای شمارش نماتدها، پنس برای جابجائی فیلترهای کاغذی، پیپت ۱ میلی‌لیتری برای برداشت آب مقطر و شستن سطح فیلتر کاغذی

استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغلیظ و شمارش نمونه‌ها در آزمایشگاه و شناسائی آن

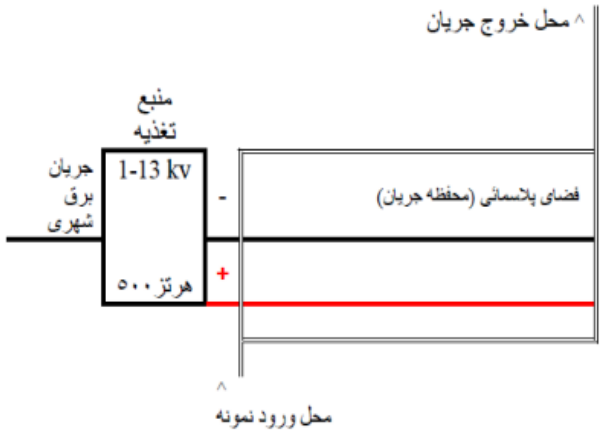
یک لیتر از نمونه همگن تحت‌تاثیر قرار داده‌شده در میدان الکتریکی از محفظه پلاسما سیستم PEF به‌منظور بررسی عوامل بیولوژیکی برداشته شده و با سیستم تغلیظ‌کننده عوامل بیولوژیکی به‌روش فیلتر غشائی تحت خلاء (دستگاه وکیوم فیلتر هولدر) تغلیظ شد. برای بررسی فیتوپلانکتون‌ها ۱ لیتر از نمونه از صافی واتمن مش ۰/۸ و زئوپلانکتون‌ها از صافی واتمن مش ۳ میکرون در مرحله صاف‌سازی استفاده شد، تا یک‌سری میکروارگانیزم‌ها روی آن جمع‌آوری شود. نمونه‌ها قبل از وارد شدن به چمبر فیلتراسیون، باید خوب به‌هم‌زده تا همگن شود. سپس به‌کمک پنس گوشه کاغذ صافی را گرفته و آن‌را از سطح فیلتراسیون برداشته و به جدار داخلی بشر ۵۰ میلی‌لیتری که قبلا شسته شده و با آب مقطر آبکشی و خشک شده است، چسبانده می‌شود. از یک سمپلر یا پیپت استاندارد ۱/۲ میلی‌لیتر، آب مقطر با فشار روی کاغذ ریخته و سطح فیلتر شستشو داده شد، سپس آرام‌آرام با حرکت رفت و برگشتی با نوک پیپت سطح فیلتر ساب شد. ۱ میلی‌لیتر از آب را کشیده در یک گوشه لام سدویک رافتر که قبلا با شوینده شستشوی و خشک شده، انتقال داده شد. لامل روی لام را یک چرخش ۴۵ درجه داده شد که این امر باعث پخش یکنواخت آب در داخل لام می‌شود و اجازه نمی‌دهد حباب در داخل لام تشکیل و حضور داشته باشد. لام بیولوژیکی دارای ۱۰۰۰ خانه یک میلی مترمکعب در ردیف‌های ۵۰ در ۲۰ میلی‌متر تقسیم شده شد. لام تهیه شده به‌مدت ۱۵ دقیقه زمان ماند برای ته‌نشین شدن فیتوپلاکتون‌ها (شکل ۲) و زئوپلانکتون‌ها که حتما حضوردارند کنار گذاشته شده و بعد مورد ارزیابی قرارگرفت. سپس با میکروسکوب نوری و بعد با عدسی شماره ۴، لام اسکن و بعد با عدسی شیئی ۱۰ لام ملاحظه و بررسی کیفی انجام شد. درصورت نیاز به بررسی دقیق‌تر از عدسی ۱۰۰ با روغن امرسیون (Oil immersion) استفاده می‌شود. جدول ۱ پارامترهای مورد بررسی و واحد گزارش‌دهی تعداد عوامل بیولوژی در حجم نمونه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- پارامترهای مورد بررسی و واحد گزارش‌دهی هرکدام از عوامل بیولوژیکی

ردیف	پارامترهای بیولوژیک پساب تصفیه‌خانه آب		
	عنوان آزمایش		واحد
۱	شمارش دیاتومه‌ها	فیتوپلانکتون‌ها	۱۰۰ cc
۲	شمارش کلروفیسه‌ها		۱۰۰ cc
۳	شمارش سیانوفیسه‌ها		۱۰۰ cc
۴	شمارش پروتوزوآ	زئوپلانکتون‌ها	۱۰۰۰ cc
۵	شمارش روتیفرها		۱۰۰۰ cc
۶	شمارش کرستاسه‌ها		۱۰۰۰ cc
۷	شمارش نماتد		۱۰۰۰ cc
۸	شمارش سایر موجودات زنده		۱۰۰۰ cc

۳-۲- فرآیند میدان الکتریکی پالسی (PEF)

اجزای تشکیل‌دهنده این دستگاه شامل: مخزن اولیه؛ پمپ تغذیه؛ منبع تغذیه ولتاژ بالا (High voltagh) در محدوده ۱ تا ۱۳ کیلوولت بر سانتی‌متر با فرکانس ۵۰۰ هرتز و محفظه واکنش متحدالمحور اعمال جریان High voltagh بود، که دارای محل ورود و خروج جریان پساب است. داخل محفظه واکنش PEF که یک محیط پلاسما و متشکل از الکترودهائی از جنس تیتانیوم با قطب مثبت و منفی با فاصله معین از هم‌دیگر در داخل لوله‌ای از جنس PVC با قطر ۳ اینچ تعبیه شد. ترتیب قرارگرفتن الکترود نیز در نابودی میکروارگانیسم‌ها مؤثر است (Ferrer et al., 2007). هم‌چنین در این دستگاه نکات ایمنی لازم از جمله آب‌بند نمودن محفظه جریان پلاسما و عایق‌کاری جریان الکتریکی و برقراری سیم ارت[۳] نیز رعایت شد. شمای کلی دستگاه PEF در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- شمای کلی دستگاه PEF

در این تحقیق پساب نمونه‌برداری شده بلافاصله به مخزن اولیه مجهز به‌هم‌زن با حجم ۵۰ لیتر به‌عنوان مخزن همگن‌ساز

وارد شده، پس از یکنواخت‌سازی نمونه، توسط پمپ به محفظه پلاسمائی منتقل شد. سپس به‌ترتیب از محدوده ۱ تا ۱۳ کیلوولت با دامنه ۱ کیلوولت با فرکانس ثابت ۵۰۰ Hz در زمان‌های متفاوت (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه) به‌صورت جریان قالبی، در محیط پلاسمائی اعمال جریان شده و نمونه‌های مطابق برنامه پس از اعمال جریان خاص به‌ترتیب مثلا ۱ کیلوولت و زمان تماس ۱۰ دقیقه، و ۱ کیلوولت و زمان تماس ۲۰ دقیقه و غیره اقدام شد. پس از سپری شدن ولتاژ و مدت زمان موردنظر، مقدار ۱ لیتر از حجم نمونه به‌دست آمده برداشته شد و به‌داخل چمبر سیستم وکیوم فیلتر هولدر خالی شده و عمل صاف‌سازی توسط فیلتر خاص موردنظر انجام شد. اجرام ته‌نشین شده در سطح فیلتر به حجم ۱ میلی‌لیتر تغلیظ شده و به‌داخل لام بیولوژیک منتقل شده، در زیر میکروسکوپ روند تغییرات موجودات بیولوژیکی، قبل و بعد از اعمال جریان PEF در ولتاژ و زمان‌های متعدد زیر میکروسکوپ تحرکات و تاثیرات مورد بررسی و پایش قرارگرفت. نتایج براساس تغییر ولتاژ و مدت زمان آن‌ها ثبت شد. پس از هر بار آزمایش، محیط داخلی پلاسما با دترجنت شستشوی و آبکشی می‌شد. این سیستم با تخریب دیواره سلولی[۴] و انعقاد پروتئین موجب از بین‌رفتن عوامل بیولوژیکی شد.

شکل ۲- فیتوپلانکتون‌ها (بخش خودپرورد پلانکتون‌ها عمدتاً شامل جلبک‌های معلق‌اند که معمولا نزدیک سطح آب در منطقه نورزی، زندگی می‌کنند)

بدین‌ترتیب کمترین راندمان حذف برای روتیفر ۱ تا ۱۰ کیلو ولت (kV)، برای نماتد ولتاژهای ۱ تا ۸کیلو ولت (kV)، برای دیاتومه‌ها ۱ تا ۴ کیلوولت، برای کلروفیسه ۱ تا ۳ کیلوولت و برای سیانوفیسه‌ها ۱ تا ۵ کیلوولت که برابر صفر است و بیشترین راندمان حذف روتیفر در ولتاژ ۱۳ تا ۱۱ کیلوولت با متوسط راندمان ۲۰ درصد، نماتد در ولتاژ ۱۳ تا۹ کیلوولت با متوسط راندمان ۲۵ درصد، دیاتومه با توجه به طیف گستردگی در ولتاژ بین ۱۳ تا ۵ کیلو ولت با متوسط راندمان ۸۵ درصد، کلروفیسه در ولتاژ ۱۳ تا ۹ کیلو ولت با راندمان ۹۰ درصد و سیانوفیسه ۱۳ تا ۶ کیلو ولت با راندمان ۹۰ درصد به‌دست آمد (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۲- ولتاژ موثر بر عوامل بیولوژیکی با عبور از ولتاژ ۱ تا ۱۳ کیلوولت و بازه زمانی ۱۰ تا ۶۰ دقیقه

عامل بیولوژیکی	سیانوفیسه	کلروفیسه	دیاتومه	نماتد	روتیفر
ولتاژ برحسب (kV)	۱۲	۱۲	۱۲	۱۳	۱۳
زمان تماس (Min)	۳۰ تا ۶۰	۳۰ تا ۶۰	۳۰ تا ۶۰	۶۰	۶۰
اثرات (٪) متوسط (Ave)	۸۰ تا ۹۰ (۸۵)	۸۰ تا ۹۰ (۸۵)	۷۰ تا ۸۰ (۷۵)	۲۰ تا ۳۰ (۲۵)	۲۰

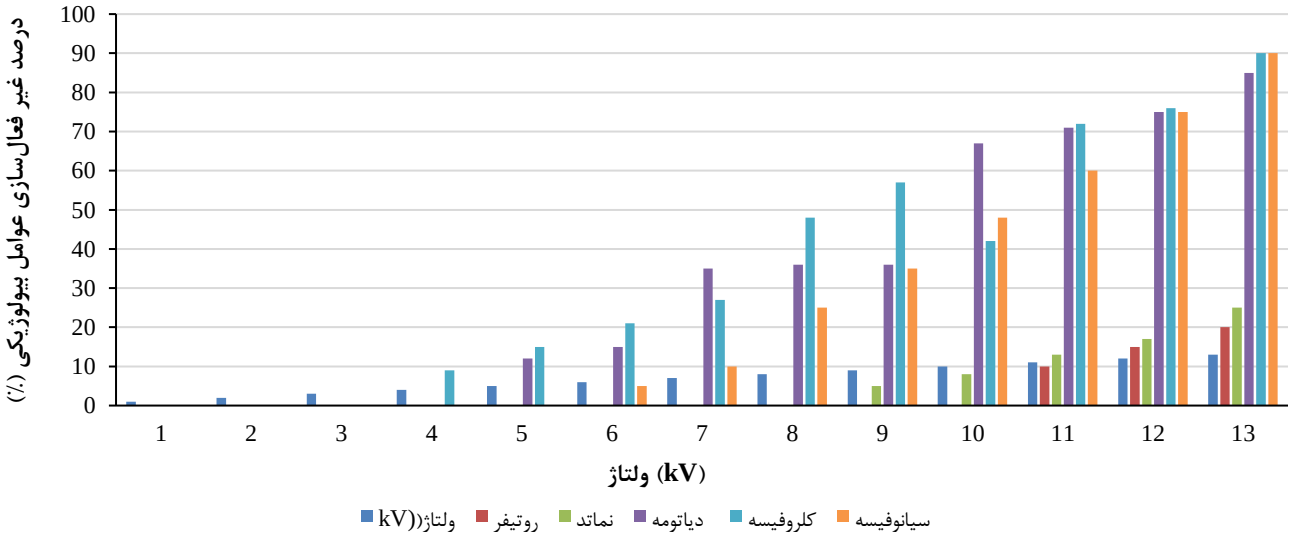
جدول ۳- راندمان حذف آلودگی بیولوژیکی در ولتاژهای ۱ تا ۱۳ کیلوولت

ولتاژ (کیلوولت)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
درصد غیرفعال‌سازی روتیفر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰	۱۵	۲۰
درصد غیرفعال‌سازی نماتد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۸	۱۳	۱۷	۲۵
درصد غیرفعال‌سازی دیاتومه	۰	۰	۰	۰	۱۲	۱۵	۳۵	۳۶	۳۶	۶۷	۷۱	۷۵	۸۵
درصد غیرفعال‌سازی کلروفیسه	۰	۰	۰	۹	۱۵	۲۱	۲۷	۴۸	۵۷	۴۲	۷۲	۷۶	۹۰
درصد غیرفعال‌سازی سیانوفیسه	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۱۰	۲۵	۳۵	۴۸	۶۰	۷۵	۹۰

جدول ۲ این اثرات را در ولتاژهای ۱۲ و ۱۳ نشان می‌دهد. میزان ولتاژ PEF به بزرگی و کوچکی احجام عوامل بیولوژیکی و گیاهی و جانوری بستگی دارد. تاثیرات کلی دستگاه PEF بر روی عوامل بیولوژیکی قابل‌قبول است، به‌طوری‌که عوامل کلروفیسه و دیاتومه‌ها در ولتاژ پایین‌تری نسبت به سایر عوامل بیولوژیکی موجود در منابع آب از قبیل نماتدها، کروستاسه‌آ و روتیفرها در برابر میدان الکتریکی دستگاه تضعیف یا حتی غیرمتحرک می‌شود و هم‌چنین نماتدها که دارای بافت سلولی است پس از ورود به ولتاژ ۹ تا ۱۳ کیلوولت تحت‌تاثیر PEF قرارگرفته و غیرفعال و غیرمتحرک می‌شوند.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این بررسی بیولوژیکی پساب حاصل از شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه به‌صورت کیفی با ولتاژهای متفاوت در دامنه ۱ تا ۱۳ کیلوولت با بازه ۱ کیلوولت با فرکانس ثابت ۵۰۰ هرتز در زمان‌های متفاوت ، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه) در معرض تماس PEF قرارگرفته و سپس در زیر میکروسکوپ اثرات آن بررسی و ارزیابی کیفی شد. این بررسی کیفی نشان داد محدوده ۱ تا ۶ کیلوولت در زمان‌های مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه، تاثیر خیلی کمی روی عوامل بیولوژیکی موجود در پساب از جمله کلروفیسه و دیاتومه داشته و تاثیر غیرفعال‌سازی PEF بر روی عوامل بیولوژیکی از قبیل نماتدها و روتیفرها در محدوده ۱۰-۱۳ کیلوولت اتفاق می‌افتد. این تحقیق نشان‌داد که در سیستم PEF، نوع عوامل بیولوژی، مقدار ولتاژ، زمان تماس و درصد غیر فعال‌سازی عوامل بیولوژی در روتیفرها؛ ۱۳ کیلوولت با زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۲۰ درصد، نماتدها؛ ۱۳ کیلوولت با زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۲۵ درصد، دیاتومه‌ها؛ ۱۱ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۷۵ درصد، کلروفیسه‌ها؛ ۱۰ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۹۰ درصد و سیانوفیسه‌ها؛ ۱۰ کیلوولت و زمان تماس ۶۰ دقیقه حداکثر ۹۰ درصد در غیر فعال‌سازی آن‌ها موثر بوده است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که عمده این تاثیرات کیفی توسط دستگاه PEF در زمان بالای ۵۰ دقیقه و در ولتاژ بالای۶ کیلوولت اتفاق می‌افتد. در کل از نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که این روش برای غیر فعال‌سازی کامل نماتدها و سایر موجودات آزادزی به ادامه آزمایش با ولتاژهای بالای ۱۳ کیلوولت نیاز دارد (شکل ۳).



شکل ۳- راندمان غیرفعال‌سازی عوامل بیولوژیکی (٪) در ولتاژهای ۱ تا ۱۳ کیلو ولت (kV)

از مزایای روش PEF می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاهش هزینه‌های مربوط به خرید (انبارش، تهیه و تزریق) مواد گندزدایی برای آب؛
- تهیه و نصب و بهره‌برداری از آن آسان است؛
- عدم ایجاد محصولات جانبی حاصل[5] از این روش برای آب آشامیدنی؛
- این روش کم هزینه‌تر از سایر روش‌های گندزدائی نهایی است (درصورت رسیدن به مرحله بهره‌برداری)؛
- صرفه‌جویی در حوزه اقتصاد، گرما، انرژی و زمان.

در این تحقیق، هدف از اعمال PEF در فرایند تصفیه پساب، حذف این عوامل بیولوژیکی نبوده، بلکه هدف اصلی غیرفعال نمودن بار بیولوژیکی است تا این عوامل مهم بیولوژیکی از قبیل

نماتدها و روتیفرها غیرفعال شده در سایر فرایند تصفیه از قبیل فرایند انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی از آب یا پساب جدا شوند. این روش با توجه به میزان کارائی بالا، به‌عنوان بهترین روش برای کاهش آلودگی میکروبی پساب‌های شهری برای دفع در آب‌های پذیرنده و آبیاری زمین‌های کشاورزی پیشنهاد می‌شود.

۵- پی‌نوشت‌ها

1- Asterionella
2- Escherichia coli (E-coli)
3- Earth cable
4- Cellwall
5- By product

۶- مراجع

عروجی، ن.، تکدستان، ا.، عظیمی، ع ا.، و کریمی، ف.، (۱۳۹۷)، "اثرغلظت پارانیتروفنل موجود در فاضلاب بر کارایی فرایند تصفیه بیولوژیکی هوازی و میزان لجن مازاد دفعی"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۳(۳)، ۱۷-۲۸، https://doi.org/10.22112/jwwse.2018.122189.1075.

فریدی راد، ف.، قلی‌نژاد، م.، تبریزی، ف.، و سلابرزی، ن.، (۱۴۰۰)، "بررسی حذف نماتد توسط واحدها و یکان‌های تصفیه‌خانه آب شرب پردیس"، *علوم و مهندسی آب و فاضلاب*، ۶(۲)، ۲۷-۳۷، https://doi.org/10.22112/jwwse.2021.242138.1218.

ژیان، ح.، (۱۳۸۷)، " استفاده از روش ازناسیون برای تصفیه آب‌های معدنی"، *انسان و محیط زیست*، ۷(۲۰)، ۱-۵۳، https://civilica.com/doc/1965686.

معمارزاده، م.، نجفی، پ.، و افیونی، م.، (۱۳۸۸)، "بررسی راندمان استفاده از کانی گارنتدرصافی سه لایه‌ای در تصفیه‌خانه آب اصفهان"، *سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست*، تهران، ایران، https://civilica.com/doc/68347.

Alavian, A., Osouleddini, N., and Hakimi, L., (2024), "Biochar and vermicompost modulated Pb toxicity in summer savory (Satureja Hortensis L.) plants through inducing physiological and biochemical changes", *Arabian Journal of Chemistry*, 17(2), 105547, https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105547.

Anderson, S., Barton, A., Clayton, S., Dutkiewicz, S., and Rynearson, T., (2021), "Marine phytoplankton functional types exhibit diverse responses to thermal change", *Nature Communications*, 12(1), 6413, https://doi.org/10.1038/s41467-021-26651-8.

Dehghani, M.H., Jahed, G.-R., and Zarei, A., (2013), "Investigation of low-pressure ultraviolet radiation on inactivation of Rhabitidae Nematode from water", *Iranian Journal of Public Health*, 42(3), 314.

El-Hag, A.H., Jayaram, S.H., and Griffiths, M.W., (2006), "Inactivation of naturally grown microorganisms in orange juice using pulsed electric fields", *IEEE Transactions on Plasma Science*, 34(4), 1412-1415, https://doi.org/10.1109/TPS.2006.878382.

Ferrer, C., Rodrigo, D., Pina, M., Klein, G., Rodrigo, M., and Martínez, A., (2007), "The Monte Carlo simulation is used to establish the most influential parameters on the final load of pulsed electric fields E. coli cells", *Food Control*, 18(8), 934-938, https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.05.009.

Ji, F., Sun, J., Sui, Y., Qi, X., and Mao, X., (2022), "Microbial inactivation of milk by low intensity direct current electric field: Inactivation kinetics model and milk characterization", *Current Research in Food Science*, 5 1906-1915, https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.10.015.

Karandish, F., and Mousavi, S.-S., (2018), "Climate change uncertainty and risk assessment in Iran during twenty-first century: evapotranspiration and green water deficit analysis", *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1), 777-791, https://doi.org/10.1007/s00704-016-2008-2.

Karimnezhad, K., Moghimi, A., Adnan, R., and Abniki, M., (2023), "An alternative method of dispersive solid-phase extracting Hg (II) from environmental aqueous solutions using carboxylic functionalized carbon nanotubes", *Micro & Nano Letters*, 18(1), e12150, https://doi.org/https://doi.org/10.1049/mna2.12150.

Ma, L., (2022), "High voltage pulsed electric field technology to kill bacteria or pathogens in sewage", *Academic Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), 13-25, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127382.

Osouleddini, N., Moradi, M., Khosravi, T., Khamotian, R., and Hooshmand, Sh., (2018), "The iron modification effect on performance of natural adsorbent scoria for malachite green dye removal from aquatic environments: modeling, optimization, isotherms, and kinetic evaluation", *Desalination and Water Treatment*, 123, 348-357, https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22658.

Osouleddini, N., Tajik, L., and Moradi, M., "Degradation of amoxicillin by persulfate activated with Fe_3O_4/GO nanocomposite in aqueous solution" *Desalination and Water Treatment*, 153, 392-401, https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23970.

Poniewozik, M., and Lenard, T., (2022), "Phytoplankton composition and ecological status of lakes with cyanobacteria dominance", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 3832, https://doi.org/10.3390/ijerph19073832.

Seth, A., George, M., Bewtra, J., and Sharma, V., (1968), "Nematode removal by rapid sand filtration", *Journal-American Water Works Association*, 60(8), 962-968, https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1968.tb03629.x.

Shirkavand, B., Abniki, M., Rahmani, Z., Esmaili Salmi,

R., and Rezaei Behbahani, P., (2023), “The process of removing paratoleic acid by advanced oxidation process from the effluent of terephthalic acid production in textile fiber production industries”, *Journal of Textile Science and Technology*, 12(1), 17-26, https://doi.org/20.1001.1.21517162.1402.12.1.2.1.

Singh, G.L., Dudheria, G., Kumar, H.A., Kruthika, S., Palati, M., and Banerjee, S., (2016), “Application of pulsed electric field for food preservation”, *International Conference on Circuits, Controls, Communications and Computing (I4C)*, Kollam, India, IEEE, (pp. 1-4).

Sournia, A., (1982), “Form and function in marine phytoplankton”, *Biological Reviews*, 57(3), 347-394, https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1982.tb00702.x.

Wang, B., Luo, L., Mei, L., and Zeng, H., (2024), “Temporal and spatial distribution of Phytoplankton and role of environment factors in the Shending River backwater in the Danjiangkou reservoir area”, *Water*, 16(2), 326, https://doi.org/10.3390/w16020326.

Yadav, K., Bharti, L., and Chaubey, A.K., (2023), “Role of Entomopathogenic nematodes in organic farming and sustainable development”, In: K. Rehman Hakeem (Ed.), *Organic Fertilizers - New Advances and Applications*, (pp. 358), Rijeka, Croatia, https://doi.org/intechopen.1001578.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.