Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
DOI: 10.22112/JWWSE.2024.422486.1379

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب

تاثیر میدان الکتریکی پالسی(PEF) در غیرفعال نمودن عوامل بیولوژیکی در فرآیند پساب تصفیه‌خانه‌های متداول آب

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

[1]گروه شیمی دارویی، دانشکده شیمی دارویی، دانشگاه علوم پزشکی آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران
[2]گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی دارویی، دانشگاه علوم پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی تهران، تهران، ایران
[3]مدیر عامل و رئیس هیات مدیره شرکت مهرگان طب تجهیز آریا(METASU)، تهران، ایران

*عهده‌دار مکاتبات و پست الکترونیک:osouleddini.n@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲

چکیده

در این مقاله نسبت به بررسی کیفی عوامل بیولوژیکی موجود در فرآیند تصفیه آب و پساب حاصل از شستشوی فیلترها و لجن تخلیه زلال‌سازها که عمدتاً دارای بار بیولوژیکی زیاد می‌باشند، جهت غیرفعال‌سازی آنها از مواد گندزدا عموماً کلر و مشتقات آن استفاده می‌شود، که این مشتقات کلر همراه با مواد آلی موجود در پساب‌ها، ترکیبات جانبی نظیر تری‌هالومتان‌ها را ایجاد می‌نمایند. حال با استفاده از تکنولوژی میدان الکتریکی پالسی(PEF) نسبت به بررسی غیرفعال نمودن بار بیولوژیکی از جمله نماتدها، دیاتومه‌ها، سیانوفیسه‌ها و کلروفیسه‌ها در این پساب‌ها اقدام گردید، که هم از نظر اقتصادی در دراز مدت مقرون به صرفه بوده و هم از تولید ترکیبات جانبی جلوگیری به‌عمل می‌آید. در این بررسی بیولوژیکی پساب حاصل از شستشوی فیلترهای تصفیه خانه آب شرب به صورت 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، ۶۰ دقیقه) در معرض تماس قرار گرفته سپس در زیر میکروسکوپ مورد ارزیابی کیفی قرار گرفته شد. 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 تماس۶۰ 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

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], Mohammad Abdollahzadeh [3]

1- Department of Pharmaceutical Chemistry, Faculty of Pharmaceutical Chemistry, Islamic Azad University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Department of Applied Chemistry, Faculty of Pharmaceutical Chemistry, Islamic Azad University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Managing Director and Chairman of the Board of Directors of Aria Mehrgan Medical Equipment Company (METASU), Tehran, Iran

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

Abstract

In this article, regarding the qualitative investigation of the biological agents present in the water treatment process and the wastewater resulting from the washing of filters and sludge from the clarifiers, which mainly have a high biological load, chlorine and its derivatives are generally used as disinfectants to deactivate them. Chlorine together with organic substances in wastewater creates side compounds such as trihalomethanes. Now, by using pulsed electric field (PEF) technology, we investigated the inactivation of biological load such as nematodes, diatoms, cyanophyces and chlorophyces in these wastewaters, which is economical in the long term and It 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, 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 pulsed electric field (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

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 متر مکعب است که ۲۸۴ میلیارد متر مکعب آن به طور مستقیم تبخیر می‌شود و تنها بخش کمی از آن به صورت آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی تأمین‌کننده منابع آبی کشور است. در حال حاضر مجموع کل آب در دسترس کشور ۹۰ میلیارد مترمکعب می‌باشد. بنابراین از حداکثر پتانسیل لازم جهت 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 محیط زیست 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 می‌باشد. پلانکتون‌ها به موجودات زنده‌ی 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 به طور قابل ملاحظه‌ای 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. به طوری که آهنگ

رشدفیتوپلاکتون‌ها (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 می‌باشند (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 بصورت رشته‌ای، متورم و یا کروی شکل هستند. اندازه آنها بین۱۰-۱ 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 ۱۰۰-۵ نماتد وجود دارد. نماتدها فاقد دستگاه گردش خون و تنفس هستند و اکسیژن لازم را از طریق نفوذ به دیواره بدن بدست 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 می‌باشد (فریدی راد و همکاران، ۱۴۰۰). به عبارتی، نماتدها که نقش واسط دارند، موجودات بیماری‌زا را به طور 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 به دلیل 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 مطالعه‌ای که توسط رنوکا و همکاران انجام شده است خود تخریبی در باکتری‌هایی مانند اشریشیاکلی[2] در آب را بدون تغییر دما و تأثیر میدان الکتریکی پالسی بر روی ویروس‌ها بررسی شده است. نتایج نشان‌دهنده این بود که باکتری‌ها (E.Coli) به تعداد زیاد در kV/cm 110 از بین رفته‌اند (Singh et al., 2016). در تحقیقی دیگر با استفاده از فناوری میدان الکتریکی پالسی فشارقوی در تصفیه فاضلاب و استریلیزاسیون، دریاف شد که مقدار pH فاضلاب، شدت جریان، ولتاژ و زمان انجام، همگی بر اثر استریلیزاسیون تأثیر بالایی داشته‌اند. در این آزمایش مقدارpH اسیدی باعث افزایش کشندگی اشرشیاکلی و سالمونلا شده است (El-Hag et al., 2006). هنگامی که 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 توسط آقای حسن ژیان و همکارانش انجام شده است، روش ازناسیون برای تصفیه آب‌های معدنی می‌باشد. نتایج حاصل از مقاله وی، در دوز ppm ۵/۱ ازن، راندمان حذف دیاتومه‌ها ۹۳/۸۴٪ گزارش شده و تأثیر ازن بر روی دیاتومه‌ها به دلیل پوسته سیلیسی آنها به سختی انجام گرفته است. مقاله دیگر مربوط به آقای محسن معمارزاده و همکارانش می‌باشد که با کانی گارنت سه‌لایه‌ای اقدام به بررسی راندمان حذف عوامل بیولوژیکی در تصفیه خانه اصفهان گرفته است. نتایج حاصل از تحقیقات وی نشان می‌دهد که میانگین درصد حذف دیاتومه‌ها، روتیفر و نماتد به ترتیب ۹۷/۸٪، ۹۷/۶٪، ۹۶/۵٪ می‌باشد. در سال ۲۰۱۳ آقای محمد هادی دهقانی و همکارانش تاثیرات اشعه ماوراء بنفش (UV) را روی نماتدها بررسی کردند. این روش دارای محدودیت‌هایی از قبیل کدورت و دما دارد؛ به این صورت 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 (Dehghani et al., 2013). مطالعه دیگری که توسط آقای جورج و همکارانش انجام گرفت، در خصوص حذف نماتدها به روش فیلترهای شنی نوع تند بوده است. 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 سال ۲۰۱۵ آقای محمد درویش متولی و همکارانش از روش اصلاح شده بالینجر برای حذف پروتوزوآ و نماتد (تخم‌مرغ کرمی) استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق منجر

به حذف ۹۷/۷٪-۱۰۰٪ پروتوزوآ و نماتد شد. والترو همکارانش غیرفعال شدن یک پروتئاز به دست‌آمده از سودوموناس فلورسنس را در سال ۲۰۰۹ مطالعه کردند. 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٪ بوده است. فعالیت فسفاتاز قلیایی با استفاده از ۷۰ پالس با شدت میدان‌الکتریکی kV/cm ۱۸/۸ به میزان ۶۰٪ در شیر خام و شیر ۲٪ چربی و به میزان ۶۵٪ در شیر بدون چربی کاهش می‌یابد (Sournia, 1982). مونت کارلو و همکاران در سال ۲۰۰۶ از PEF به عنوان شبیه‌سازی برای تصفیه نوشیدنی‌های حاوی آب پرتقال و هویج در غلظت‌های مختلف را انجام دادند. 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 (۲۰کیلو ولت) درصد زیادی میکروارگانیسم‌های آب‌هویج از بین رفتند. در تحقیقی توسط آقای ویژائو و همکاران در سال ۲۰۱۲ 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 قرار گرفت. نتایج تحقیق ماهندرا نشان می‌دهد که میدان الکتریکی پالسی یک روش نوین غیرحرارتی برای حفظ مواد غذایی است (Ji et al., 2022; Anderson et al., 2021).

ریدر و همکاران در سال ۲۰۰۸، 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 به طور موثر با درمان PEF غیرفعال کرد. علاوه بر این نتایج نشان داد که فعالیت‌های نوکلئاز طبیعی برخلاف درمان حرارتی تحت‌تاثیر PEF قرار نمی‌گیرد. در یکی از مطالعات اخیر به بررسی آب آلوده به باکتری اشریشیاکلی (E.coli) و حذف این میکروارگانیزم به عنوان شاخص آلودگی آب‌های آشامیدنی و درجه تصفیه پساب فاضلاب بهداشتی با استفاده از ایجاد میدان الکتریکی پالسی پرداخته شد. در این تحقیق با استفاده از دستگاه PEF در محدوده‌ی 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) به صورت ۹ لوله‌ای بررسی شد. نتایج این بررسی در دمای ۲۰°C نشان داد که کمترین راندمان حذف آلودگی باکتری‌های کلیفرمی، مربوط به ولتاژ ۱kV 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٪ می‌باشد. 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 ... در حال حاضر بیشتر توجهات به سمت 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 بین بردن عوامل بیولوژیکی از قبیل دیاتومه‌ها، کلروفیسه، نماتد و... می‌باشد. در این راستا با طراحی و ساخت یک دستگاه پایلوت میدان الکتریکی پالسی مطابق شکل شماره ۱ نسبت به بررسی این موضوع پرداخته شد، به این صورت 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 شد و در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری انجام و مورد بررسی قرار گرفته شد.

۲- مواد و روش‌های انجام کار در آزمایشگاه بیولوژیکی

۲-۱- نحوه جمع آوری و انتقال نمونه به آزمایشگاه

تمامی نمونه‌های زئوپلانکتون و فیتوپلانکتون توسط نمونه‌بردار مجرب آزمایشگاه بیولوژیکی به روش 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 جهت بررسی بیولوژیکی به آزمایشگاه منتقل شد. کار نمونه‌برداری مهم بوده و می‌بایست توسط نمونه‌بردار ماهر انجام گردد. نمونه‌برداری در فصل بهار به مدت سه ماه با رعایت تواتر نمونه‌برداری، بصورت روزانه نمونه‌برداری و مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت (Abniki and Moghimi, 2022).

۱-۱-۲- توجه به نکات زیر در نمونه برداری ضروری است:

۱- نمونه باید جزئی از کل باشد. ۲- چنانچه نمونه پساب حاوی کلر آزاد باقیمانده یا دیگر هالوژن‌ها باشد، می‌بایست یک ماده احیاءکننده 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. در صورت وجود کلر در پساب باید به اندازه‌ای تیوسولفات در ظرف نمونه‌برداری به حجم ۱۲۰ میلی‌لیتری و یا معادل آن برای حجم‌های مختلف استفاده نمود، ۱۰ میلی لیتر از محلول ۱۰ درصد تیوسولفات می‌تواند نمونه‌ای حاوی ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر کلر آزاد باقیمانده به حجم ۱۰ لیتر را خنثی نماید. ۳- جنس ظرف نمونه برداری پلاستیکی یا پلی‌اتیلنی باشد.۴- ظرف نمونه‌برداری پس از شستشو با دترجنت و آبکشی با آب شهری، در پایان با آب مقطر آبکشی می‌شوند (karimnezhad et al., 2023). ۵- پس از نمونه‌برداری، فضای خالی در بالای ظرف (حداقل ۲/۵ سانتیمتر) جهت همزدن و مخلوط‌کردن باید در نظر گرفته شود. ۶- جهت پیشگیری از آلودگی با نمونه‌های حاوی عوامل بیماریزا، موارد بهداشتی و گندزدائی توسط نمونه‌بردار می‌بایست رعایت شود. ۷- ظروف نمونه‌برداری نیازی به آبکشی اولیه با نمونه نداشته و مستقیما از نمونه پر می‌گردد. ۸- حجم نمونه‌ای که بتوان تمام آزمایش‌های بیولوژیکی را بر روی آن انجام داد نباید از ۱۰ لیتر کمتر باشد. ۹- آزمایش‌های میکروبیولوژیکی می‌بایست بلافاصله پس از نمونه‌برداری انجام شود. چنانچه نتوان نمونه‌ها را ظرف ۳ تا ۴ ساعت به آزمایشگاه تحویل داد، حتما از کول‌باکس در دمای ۴ تا ۸ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به آزمایشگاه نگهداری شود. ۱۰- دمای تمام نمونه‌های آب‌سطحی، آشامیدنی و فاضلاب‌ها باید طی حداکثر ۶ ساعت زمان انتقال به آزمایشگاه زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود. در صورت نیاز به نگهداری بیش از ۲۴ ساعت می‌بایست از محلول فرمالدئید یا لوگل استفاده نمود (Abniki and Moghimi, 2024).

۲-۲- ابزار و لوازم مورد نیاز آزمایش

دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل یک دستگاه Pulsed Electric Field (PEF) می‌باشد که توسط خودمان طراحی و ساخته شد و منبع تغذیه آن (۱۳ kv تا ۱) با فرکانس ۵۰۰ Hz توسط شرکت متنا ساخته شد (شکل شماره ۱ شماتیک آن را نشان می‌دهد). آب دیونایز برند متاسو، سیستم وکیوم فیلتر هولدر برند SHIN SAENG جهت صاف‌سازی و آماده‌سازی نمونه، یک دستگاه میکروسکوپ نوری مدل Motic BA 300، لام سدویک رافتر S52 کد ۰۲ B00417 کمپانی Graticules Optics انگلیس ابعاد سل ۵۰mm ×۲۰× ۱ در خط کشی‌های ۱ میلیمتری مدرج شده که هر ۱ میلی‌لیتر آن معادل ۱۰۰۰ میکرولیتر جهت شمارش تعداد عوامل بیولوژیکی می‌باشد و ابعاد کلی آن 76×40 mm و ضخامت ۲ mm می‌باشد، استفاده شد همچنین از کاغذ صافی مارک MN آلمان با پور سایز ۰/۸ میکرون برای شمارش عوامل بیولوژیکی و پورسایز ۳ میکرون برای شمارش نماتدها، پنس جهت جابجائی فیلترهای کاغذی، پیپت ۱ میلی‌لیتری جهت 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 تحت تاثیر قرار داده شده در میدان الکتریکی از محفظه پلاسما سیستم PEF به منظور بررسی عوامل بیولوژیکی برداشته، با سیستم تغلیظ‌کننده عوامل بیولوژیکی به روش فیلتر غشائی تحت خلاء (دستگاه وکیوم فیلتر هولدر) تغلیظ

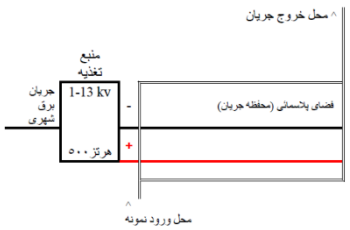
گردید. برای بررسی فیتوپلانکتون‌ها ۱ لیتر از نمونه از صافی واتمن مش ۰/۸و زئوپلانکتون‌ها از صافی واتمن مش ۳ میکرون در مرحله صافسازی استفاده شد. تا یکسری میکروارگانیزم‌ها روی آن جمع‌آوری شد. نمونه‌ها قبل از وارد شدن به چمبر فیلتراسیون، می‌بایست خوب بهم‌زده تا همگن شود. سپس به کمک پنس گوشه کاغذ صافی را گرفته و آنرا از سطح فیلتراسیون برداشته 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 میگردد، و اجازه نمی‌دهد حباب در داخل لام تشکیل و حضور داشته باشد. لام بیولوژیکی دارای ۱۰۰۰ خانه یک میلی متر مکعب در ردیف‌های ۵۰ در ۲۰ میلی‌متر تقسیم گردیده شد. لام تهیه شده را به مدت ۱۵ دقیقه زمان ماند جهت ته‌نشین شدن فیتوپلاکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها که حتما حضوردارند کنار گذاشته شد بعد مورد ارزیابی قرار داده شد. سپس با میکروسکوب نوری و سپس با عدسی شماره ۴ لام را اسکن و بعد با عدسی شیئی ۱۰ لام را ملاحظه و بررسی کیفی انجام شد. در صورت نیاز به بررسی دقیقتر از عدسی ۱۰۰ با روغن امرسیون (Oil immersion) استفاده می‌شود. در 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	فیتوپلانکتون‌ها	شمارش دیاتومه‌ها	۱۰۰ cc
۲		شمارش کلروفیسه‌ها	۱۰۰ cc
۳		شمارش سیانوفیسه‌ها	۱۰۰ cc
۴	رئوپلانکتون‌ها	شمارش پروتوزوآ	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 ۱- مخزن اولیه ۲- پمپ تغذیه ۳- منبع تغذیه ولتاژ بالا (High voltagh) در محدوده ۱ تا ۱۳ کیلوولت بر سانتی‌متر با فرکانس ۵۰۰ هرتز ۴- محفظه واکنش متحدالمحور اعمال جریان High voltagh صورت گرفته شد، که دارای محل ورود و خروج جریان پساب می‌باشد. 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 شده است. ترتیب قرار گرفتن 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 اقدام گردیده است. 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 به همزن با حجم ۵۰ لیتر به عنوان مخزن همگن‌ساز وارد شده، پس از یکنواخت‌سازی نمونه، توسط پمپ به محفظه پلاسمائی منتقل شد. سپس به ترتیب از محدوده ۱ تا ۱۳ کیلوولت با دامنه ۱ کیلوولت با فرکانس ثابت ۵۰۰ Hz در زمان‌های متفاوت (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ دقیقه) به صورت جریان قالبی، در محیط پلاسمائی اعمال جریان شده و نمونه‌های مطابق برنامه پس از اعمال جریان خاص به ترتیب مثلا ۱ کیلوولت و زمان تماس ۱۰ دقیقه، و ۱ کیلوولت و زمان تماس ۲۰ دقیقه و ... اقدام شد، پس از سپری شدن ولتاژ و مدت زمان مورد نظر مقدار ۱ لیتر از حجم نمونه بدست آمده برداشته شد، و به داخل چمبر سیستم وکیوم فیلتر هولدر خالی نموده و عمل صاف‌سازی توسط فیلتر خاص مورد نظر انجام گردید، اجرام ته‌نشین شده در سطح فیلتر به حجم ۱ میلی‌لیتر تغلیظ گردیده و به داخل لام بیولوژیک منتقل گردیده، در زیر میکروسکوپ نسبت به بررسی 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 قرار گرفت. نتایج براساس تغییر ولتاژ و مدت زمان آنها ثبت گردید. پس از هر بار آزمایش، محیط داخلی پلاسما با دترجنت شستشوی و آبکشی می‌گردید. این سیستم با تخریب دیواره سلولی[۴] و انعقاد پروتئین موجب از بین رفتن عوامل بیولوژیکی شده است.

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

جدول ۲- ولتاژ موثر بر عوامل بیولوژیکی با عبور از ولتاژ ۱ تا ۱۳ کیلوولت و بازه زمانی۱۰ 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)	۹۰ تا ۸۰ (۸۵)	۹۰ تا ۸۰ (۸۵)	۸۰ تا ۷۰ (۷۵)	۳۰ تا ۲۰ (۲۵)	۲۰

بدین ترتیب 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 می‌باشد 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 مطابق جدول ۲ و ۳ میتوان اشاره نمود. (جدول ۲ و ۳).

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

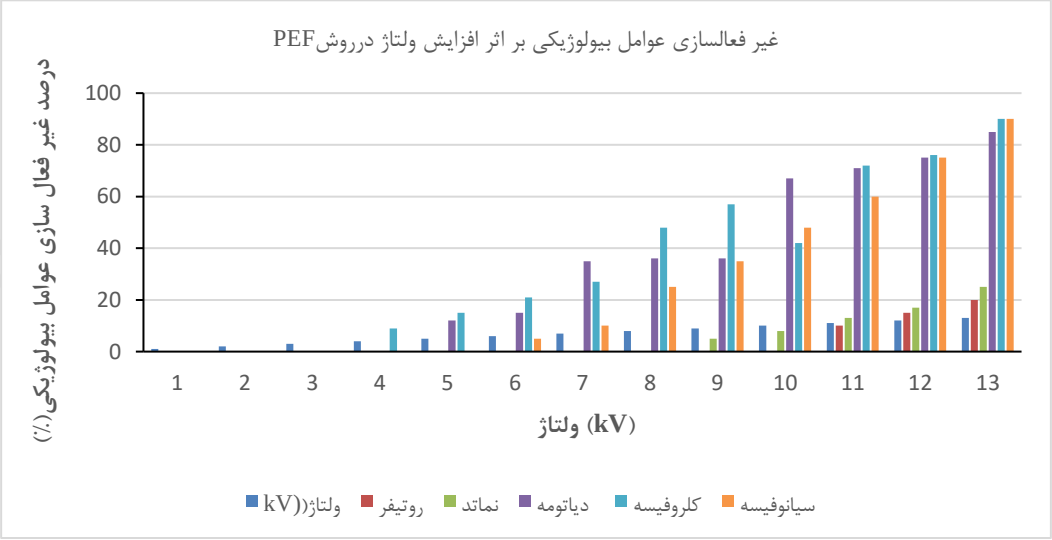
ولتاژ(کیلوولت)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
درصد غیرفعال‌سازی روتیفر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰	۱۵	۲۰
درصد غیرفعال‌سازی نماتد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵	۸	۱۳	۱۷	۲۵
درصد غیرفعال‌سازی دیاتومه	۰	۰	۰	۰	۱۲	۱۵	۳۵	۳۶	۳۶	۶۷	۷۱	۷۵	۸۵
درصد غیرفعال‌سازی کلروفیسه	۰	۰	۰	۹	۱۵	۲۱	۲۷	۴۸	۵۷	۴۲	۷۲	۷۶	۹۰
درصد غیرفعال‌سازی سیانوفیسه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

جدول ۲ این اثرات را در ولتاژهای ۱۲ و ۱۳ نشان داده است. میزان ولتاژ PEF بسته به بزرگی و کوچکی احجام عوامل بیولوژیکی و گیاهی و جانوری بستگی دارد. تاثیرات کلی دستگاه PEF بر روی عوامل بیولوژیکی قابل قبول می‌باشد به طوری که 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 هم چنین نماتدها که دارای بافت سلولی می‌باشد پس از ورود به ولتاژ ۹ تا ۱۳ کیلوولت تحت تاثیر PEF قرار گرفته و غیرفعال و غیرمتحرک می‌گردند.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این بررسی بیولوژیکی پساب حاصل از شستشوی فیلترهای تصفیه‌خانه به صورت 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، ۶۰ دقیقه) در معرض تماس PEF قرار گرفته سپس در زیر میکروسکوپ اثرات آن مورد بررسی و ارزیابی کیفی قرار گرفت. این بررسی کیفی نشان داد محدوده ۱ تا ۶ کیلوولت در زمان‌های مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ دقیقه، تاثیر خیلی کم روی عوامل بیولوژیکی موجود در پساب از جمله کلروفیسه و دیاتومه داشته و تاثیر غیرفعال‌سازی میدان الکتریکی پالسی(PEF) بر روی عوامل بیولوژیکی از قبیل نماتدها و روتیفرها در محدوده ۱۰ -۱۳ کیلوولت اتفاق می‌افتد. این تحقیق نشان داد که در سیستم میدان الکتریکی پالسی(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 بدست 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- راندمان غیرفعال‌سازی عوامل بیولوژیکی (٪) در ولتاژهای ۱ تا ۱۳ کیلو ولت (kV)

از مزایای روش PEF می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:۱- کاهش هزینه‌های مربوط به خرید (انبارش، تهیه و تزریق) مواد گندزدایی برای آب. ۲- تهیه و نصب و بهره‌برداری از آن آسان می‌باشد.۳- عدم ایجاد محصولات جانبی حاصل[5] از این روش برای آب آشامیدنی۴- این روش کم هزینه‌تر از سایر روش‌های گندزدائی نهایی می‌باشد (در صورت رسیدن به مرحله بهره‌برداری). ۵- صرفه‌جویی در حوزه اقتصاد، گرما، انرژی و زمان. نظر به اینکه در این تحقیق، هدف از اعمال PEF در فرایند تصفیه پساب، حذف این عوامل بیولوژیکی نبوده بلکه هدف اصلی غیرفعال نمودن بار بیولوژیکی می‌باشد 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 گردند. این روش با توجه به میزان کارائی بالا، بهترین روش برای کاهش آلودگی میکروبی پساب‌های شهری جهت دفع در آب‌های پذیرنده و آبیاری زمین‌های کشاورزی پیشنهاد می‌گردد.

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.، قلی نژاد، 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.

Abniki, M., and Moghimi, A., (2024), “Nanomagnetic chitosan/β-cyclodextrin for dispersive solid phase extraction of trace desipramine drug”, *Materials Chemistry and Physics*, 316 129117, https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.129117.

Abniki, M., and Moghimi, A., (2022), “Removal of Cd (II) ions from water solutions using dispersive solid-phase extraction method with 2-aminopyridine/graphene oxide nano-plates”, *Current Analytical Chemistry, 18(10), 1070-1085*, https://doi.org/10.2174/1573411018666220505000009.

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.

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”, *2016 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, *Organic Fertilizers - New Advances and Applications*, pp. 358, Rijeka, Croatia. https://doi.org/intechopen.1001578.

تایپ شده / ویرایش نشده