

1221P-NWWCE

بررسی روش‌های نوین تصفیه فاضلاب در کشتارگاه‌های دام و طیور

علی اکبر پناهی^۱، علیرضا پنداشته^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران محیط‌زیست جهاد دانشگاهی رشت، معاون تضمین کیفیت

کارخانجات کشتی‌سازی شهدای هفتم آذر بندر انزلی

۲- استادیار، عضو هیات علمی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان

panahi.ak@gmail.com

خلاصه

فاضلاب کشتارگاه‌ها همواره جزء فاضلاب‌های با بار آلی بسیار زیاد بوده که این بار ناشی از وجود ترکیباتی چون خون، چربی و پروتئین می‌باشد. لذا با توجه به شرایط ویژه این نوع فاضلاب نمی‌توان آن را بدون هیچ‌گونه تصفیه به آب‌های سطحی و یا حتی شبکه‌ای جمع‌آوری فاضلاب شهری تخلیه نمود. همگام با توسعه فرآیندهای تصفیه فاضلاب، غشاء، اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) و ترکیبی در سالیان اخیر مورد توجه خاص در تصفیه فاضلاب کشتارگاه‌ها قرار گرفته است. در این مقاله یک بازبینی کامل در مورد معرفی و پیشرفت‌های حاصل‌شده در تصفیه فاضلاب کشتارگاهی با استفاده از فرآیندهای غشاء، (AOPs) و ترکیبی قرار خواهد گرفت که فهم بهتری از مدیریت فاضلاب کشتارگاهی با روش‌های نوین تصفیه فاضلاب را فراهم می‌سازد. همچنین قوانین، مشخصات و روش‌های دیگر تصفیه فاضلاب به‌صورت اجمالی پرداخته می‌شود. با این وجود، انتخاب فناوری مورد استفاده بستگی به مشخصات فاضلاب، در دسترس بودن فناوری و تطبیق با قوانین موجود می‌باشد.

کلمات کلیدی: فاضلاب کشتارگاه‌های دام و طیور، غشاء، اکسیداسیون پیشرفته (AOPs)، ترکیبی

۱. مقدمه

اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی توسعه‌ی منابع آب در گذشته از یک طرف و پیش‌بینی حتمی کمبود آب از سوی دیگر، از عوامل ایجاد و توسعه‌ی الگوی جدید برای مدیریت منابع آب محسوب می‌شوند. استانداردهای محدودکننده که در سرتاسر دنیا برای خروجی فاضلاب‌ها در حال اجرا هستند، توسعه تکنولوژی‌های تصفیه فاضلاب را امری واجب ساخته است. همچنین ادامه کاهش دسترسی به منابع آب شیرین، اهداف تصفیه فاضلاب را از دفع به استفاده مجدد و بازیافت تغییر داده و در نتیجه باید به بازدهی بالایی از تصفیه دست یافت. مقدار فاضلاب در کشتارگاه‌های مختلف تابعی از نحوه‌ی کشتار و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌باشد [1]. فاضلاب تولیدی در این واحدها حاوی مقادیر بالایی از مواد آلی قابل تجزیه می‌باشند. بخش فرآوری گوشتی عبارتند از:

آب شستشوی دام قبل از کشتار

آب شستشوی امحا و احشاء، قسمت‌های داخلی و گوشت سلاخی

آب شستشوی زمین و تجهیزات

آب شستشوی محل نگهداری دام

فاضلاب بهداشتی کارکنان کشتارگاه

بیشترین فاضلاب تولید شده در کشتارگاه‌های صنعتی دام ناشی از شستشوی قطعات گوشت، تخلیه و شستشوی قسمت‌های داخلی دام، شستشوی خون‌های باقیمانده هنگام بسته‌بندی، شستشوی مخازن و ماشین‌آلات قطعه‌بندی و بسته‌بندی، ریزش خونابه از نوار نقاله‌های حامل لاشه، شستشوی سالن و ضدعفونی کردن ماشین‌آلات و سالن تولید می‌باشد [2]. مابقی فاضلاب تولید شده نیز در اثر دورریزی محصول غیر کیفی می‌باشد. به هنگام شستشوی

مخازن و کف سالن تولید معمولاً از اسید و سود استفاده می‌گردد که شوک‌های زیادی را به سیستم فاضلاب وارد می‌کند. فاضلاب کشتارگاه‌ها به دلیل دارا بودن ترکیباتی از چربی، پروتئین و فیبر، در دنیا به‌عنوان مواد آلی تلقی می‌گردد. بخش اصلی آلودگی به دلیل وجود خون و مخاط روده و معده می‌باشد [2]. علاوه بر این فاضلاب کشتارگاه شامل میزان زیادی از مواد آلی، میکروارگانیسم‌های پاتوژنیک (بیماری‌زا) و غیر پاتوژنیک و شونده‌ها و ضدعفونی‌کننده‌های مصرفی در پاکسازی کشتارگاه‌ها می‌باشد. مشخصات عمومی کشتارگاه‌ها در جدول ۱ به‌صورت خلاصه بیان گردیده است. آلانده‌های فاضلاب کشتارگاه‌ها عبارتند از: فسفر کل (TP)، نیتروژن کل (TN)، کربن طبیعی کل (TOC)³، اکسیژن شیمیایی درخواستی (COD)⁴، مقدار کل جامدات معلق (TSS)⁵ و اکسیژن زیستی درخواستی (BOD)⁶ [3], [4].

جدول ۱- مشخصات عمومی کشتارگاه

پارامتر	محدوده	میانگین
TOC (mg/l)	۷۰-۱۲۰۰	۵۴۶
BOD ₅ (mg/l)	۱۵۰-۴۶۳۵	۱۲۰۹
COD (mg/l)	۵۰۰-۱۵۹۰۰	۴۲۲۱
TN (mg/l)	۵۰-۸۴۱	۴۲۷
TSS (mg/l)	۲۷۰-۶۴۰۰	۱۱۶۴
PH	۴/۹۰-۸/۱۰	۶/۹۵
TP (mg/l)	۲۵-۲۰۰	۵۰

۲. تصفیه فاضلاب کشتارگاه‌های دام و طیور

فاضلاب کشتارگاه‌ها از طرف سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (US EPA) جزء فاضلاب‌های صنعتی در صنایع کشاورزی و غذایی و یکی از مضرترین آنها در طبیعت تلقی می‌گردد. تخلیه فاضلاب کشتارگاه‌ها ممکن است موجب کاهش اکسیژن رودخانه‌ها و آلودگی آب‌های زیرزمینی گردد (US EPA 2004). جدول ۲ مقادیر استاندارد و حدود تجمع و غلظت مواد طبیعی قابل دفع در آب‌ها بر اساس توصیه‌های سازمان‌های مختلف همچون شورای حفاظت از محیط‌زیست ایران، شورای مجمع اروپا (CEC)، US EPA و دیگر مجامع را بیان می‌دارد. در حالی که انتخاب فناوری تصفیه به مشخصات فاضلاب کشتارگاه‌ها، فناوری‌های در دسترس و انطباق بر قوانین موجود بستگی دارد. برای نمونه برخی از صنایع فرآوری گوشت اجازه تخلیه فاضلاب خود را در فاضلاب‌های شهری دارند در صورتی که BOD آن‌ها به وسیله تصفیه اولیه به میزان کافی کاهش دهند. تخلیه مستقیم فاضلاب خام به داخل آب به دلیل قدرت بالای مواد آلی آن‌ها عملی نیست؛ بنابراین دفع مناسب، تصفیه اولیه و یا تصفیه‌های نهایی فاضلاب باید صورت گیرد. اولین قدم در مدیریت فاضلاب کشتارگاه‌ها کاهش تولید فاضلاب است. معمولاً اولویت بر شناسایی و کاهش تولید فاضلاب از ابتدا می‌باشد. اگرچه در صنایع فرآوری گوشت مصرف آب بسیار متفاوت است و کشتارگاه‌ها مقادیر بسیار زیادی فاضلاب تولید کرده و معمولاً مصرف بی‌رویه‌ای در آب دارند [5].

تصفیه فاضلاب کشتارگاه‌ها مشابه فناوری‌های موجود در فاضلاب شهری بوده و می‌تواند شامل تصفیه‌های ابتدایی، اولیه، ثانویه و نهایی نیز گردد؛ بنابراین، روش‌های مدیریت فاضلاب پیش از تصفیه ابتدایی متفاوت است اما می‌توان آن‌ها را به پنج دسته تقسیم بندی کرد: مصارف زمینی^۱، تصفیه فیزیکی شیمیایی^۲، تصفیه بیولوژیکی^۳، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته AOPs^۴ و فرایندهای ترکیبی^۵.

- 1- Total Phosphor
- 2- Total Nitrogen
- 3- Total Organic Carbon
- 4- Chemical Oxygen Demand
- 5- Total Suspended Solids
- 6- Biochemical Oxygen Demand
- 1- Land Application
- 2- Physic o Chemical Treatment
- 3- Biological Treatment

مصارف زمینی معمولاً شامل استفاده مستقیم فاضلاب کشتارگاهی در زمین های کشاورزی می باشد. تصفیه فیزیکی شیمیایی شامل جداسازی تجزیه فاضلاب به اجزای مختلف، عموماً با جداسازی اجزای جامد از مایع با ته نشین شدن یا انعقاد و لخته سازی و حذف آلاینده ها بوسیله انعقاد الکتریکی (EC)^۶ و فناوری های غشایی می باشد. تصفیه بیولوژیکی به سیستم های تصفیه هوازی، بی هوازی و نزارهای مصنوعی (CWS)^۷ تقسیم می گردد. سیستم های هوازی بدلیل سرعت عملیاتی بالاتر نسبت به سیستم های بی هوازی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. در حالیکه سیستم های بی هوازی بدلیل عدم نیاز به سیستم های هوادهی ساختار ساده تری دارند. هرچند که هر دوی این سیستم ها می توانند خود به شاخه های دیگری تقسیم

جدول ۲- مقایسه محدوده مجاز استاندارد های متفاوت برای فاضلاب خروجی کشتارگاه ها

پارامتر	بانک استاندارد جهانی	استاندارد ایران
BOD (mg/l)	۲۵	۵۰-۳۰
COD (mg/l)	۱۲۵	۱۰۰-۶۰
TSS (mg/l)	۳۵	۶۰-۴۰
TN (mg/l)	۱۰	۱۰

گردند که مزایا و معایب خود را دارا باشند. AOPs ها متنوع هستند و شامل H_2O_2/UV و O_3/UV برای اکسیداسیون می شوند و تجزیه مواد آلی و معدنی موجود در فاضلاب کشتارگاه ها از طریق واکنش با رادیکال های هیدروکسیل ($OH^\cdot$) صورت می گیرد و در نهایت فرایندهای ترکیبی می باشد [4],[3],[10],[9],[8],[7],[6]. با توجه به ماهیت مقاله ارائه شده در ارتباط با غشاء^۸ و اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) بوده لذا این فرآیند ها مورد بررسی کامل قرار خواهد گرفت.

۲-۱ تصفیه ابتدایی^۹

در تصفیه ابتدایی تمامی اجزای جامد و بزرگ از فاضلاب جدا می گردند. عملیات رایج جهت حذف مواد جامد معلق در فاضلاب شامل تورهای معمولی، صافی ها یا الک ها می باشد. جامدات بزرگ موجود در فاضلاب ها با قطر بین ۱۰-۳۰ میلیمتر روی توری غربال ها بر جای می مانند. توری های چرخشی جهت جداسازی جامدات با قطر بالاتر از ۵/۰ میلیمتر جهت جلوگیری از خزه بستن، گرفتگی یا توقف کاری تجهیزات بکار می روند. توری های چرخنده و متراکم کننده جهت انتقال، آبگیری و متراکم کردن تمامی جامدات باقیمانده از توری های قبلی، کاهش رطوبت و حجم آن ها جهت دفع به عنوان ضایعات جامد بکار می رود.

انواع دیگر پیش تصفیه شامل چسب جاذب، هموژنیزه کردن یا یکسان سازی، معلق سازی و ته نشین سازی می گردد. علاوه بر این جداسازی با توری می تواند تا ۶۰٪ جامدات فاضلاب کشتارگاه ها و تا بیش از ۳۰٪ COD را حذف کند.

- 4- Advanced Oxidation Processes
- 5- Combination
- 6- Electrocoagulation
- 7- Constructed Wetlands
- 8- Membrane Technologies
- 9- Preliminary treatment

۲-۲ روش‌های فیزیکو شیمیایی^۱

پس از تصفیه ابتدایی پیشنهاد می‌شود براساس غلظت فاضلاب کشتارگاه، خروجی فاضلاب برای تصفیه اولیه یا ثانویه فرستاده شود. یکی از روش‌های متداول تصفیه اولیه مخصوصاً برای کاهش چربی، TSS و COD، فرآیند معلق سازی در هوا می‌باشد [11]. روش‌های تصفیه فیزیکی شیمیایی معمولاً شامل جداسازی جامدات از فاضلاب می‌شود. فناوری‌های مختلف تصفیه فیزیکی شیمیایی که در تصفیه کشتارگاهی استفاده می‌گردند عبارتند از: ۱- معلق سازی در هوا (DAF)^۲، ۲- انعقاد و لخته سازی^۳، ۳- لخته سازی الکتریکی (EC)^۴ - فناوری غشایی (MBR)

فناوری غشایی در حال تبدیل شدن به راه حلی جدید در تصفیه فاضلاب کشتارگاهی می‌باشد. غشاء مورد استفاده در تصفیه آب و فاضلاب، ماده ای است که به بعضی اجزاء فیزیکو شیمیایی اجازه می‌دهد سریعتر از اجزاء از آن عبور کنند. بنابراین غشاء دارای نفوذپذیری انتخابی است. نفوذپذیری انتخابی بدین معناست که غشاء به بعضی اجزاء بیشتر و به بعضی اجزاء دیگر کمتر اجازه عبور می‌دهد. درجه یا میزان نفوذپذیری به اندازه منافذ غشاء بستگی دارد. روش‌های اسمز معکوس (RO)^۴، نانوفیلتراسیون (NF)^۵، اولترافیلتراسیون (UF)^۶ و میکروفیلتراسیون (MF)^۷ بسته به اندازه منافذ قادر به حذف ذرات، کلوئیدها و مولکول‌های ریز می‌باشند، فرآیند غشایی برای دفع باکتری‌ها، میکرو اورگانیزم‌ها، مواد آلی و ذرات موجود در فاضلاب کشتارگاه‌ها به کار می‌رود [12].

[13] Bohdziewicz and Sroka عملکرد فرآیند عبور معکوس RO برای تصفیه ثانویه فاضلاب کشتارگاهی را مورد مطالعه قرار دادند. فاضلاب خام در ابتدا توسط لجن فعال شده (AS)^۸ پیش تصفیه شد. سپس مشخصات فاضلاب ورودی جهت تصفیه به روش RO به این ترتیب بود: ۷۶ میلی گرم بر لیتر COD، ۱۰ میلی گرم بر لیتر BOD، ۳/۶ میلی گرم بر لیتر فسفر، و ۱۳ میلی گرم بر لیتر نیتروژن. بنابراین، چنین استنباط می‌شود که روش RO فرایند مناسبی جهت تصفیه نهایی می‌باشد.

[14] Yordanov امکان استفاده از روش اولترافیلتراسیون (UF) را برای فاضلاب‌های کشتارگاهی را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که UF می‌تواند روشی مناسب برای تصفیه با در صد دفع ۹۸٪ و ۹۹٪ به ترتیب برای TSS و چربی‌ها باشد. بازده‌های تصفیه برای دفع COD و BOD به ترتیب بین ۹۴٪/۵۳ - ۹۴٪/۷۴ و ۹۴٪/۸۰ - ۹۷٪/۸۹ می‌باشد.

[15] Gürel and Büyükgüngör عملکرد بایورآکتورهای غشایی (MBRs) برای دفع مواد آلی و مغذی در فاضلاب‌های کشتارگاهی را مورد بررسی قرار دادند. میزان اولیه غلظت COD و فسفر و نیتروژن به ترتیب برابر ۵۷۱، ۱۶ و ۱۰۲ میلی گرم بر لیتر بود. از یک غشای UF در یک بایورآکتور غشایی استفاده گردید. میزان دفع نیتروژن، فسفر، کربن آلی (TOC) و COD به ترتیب برابر بود با ۴۴٪، ۶۵٪، ۹۶٪ و ۹۷٪. اگرچه مواد آلی با موفقیت دفع گردیدند اما مقدار زیادی نیترات در خروجی فاضلاب تصفیه شده باقی ماند. بنابراین نیترات زدایی برای ادامه تصفیه این خروجی لازم است.

[12] Almandoz et al. اثربخشی یک میکروفیلتراسیون غشایی کامپوزیت سرامیکی (CM) را بررسی کرد. نتایج نشان دهنده پس زدن صددرصدی دفع پسماندهای غیر محلول مثل دفع بالای باکتری‌ها (۸۷-۹۹٪)، TOC (۸۱٪/۴۴)، TN (۲۲٪/۴۵) و COD (۶۳٪/۹۰) می‌باشد. بنابراین ساخت غشای کامپوزیتی سرامیکی مناسب تصفیه فاضلاب کشتارگاهی به روش میکروفیلتراسیون می‌باشد.

اگرچه دفع مواد آلی به روش غشایی ممکن است، اما دفع مواد مغذی نیازمند تصفیه شدن فرآیند دیگری به این روش می‌باشد. علاوه بر این، روش غشایی می‌تواند با مشکلات جدی نظیر رسوب در حین فرآوری جریانات بالایی از فاضلاب کشتارگاهی روبرو گردد که زدودن آن‌ها بسیار دشوار بوده و می‌تواند نفوذپذیری غشایی را با تشکیل لایه ضخیمی از رسوبات بر روی سطح غشا مختل کند.

- 1- Physicochemical Treatment Methods
- 2- Dissolved Air Flotation
- 3- Coagulation and Flocculation
- 4- Reverse Osmosis
- 5- Nanofiltration
- 6- Ultrafiltration
- 7- Microfiltration
- 8- Activated Sludge

۲-۳ تصفیه بیولوژیکی

کاهش میزان BOD در فاضلاب کشتارگاهی با دفع مواد آلی محلول باقیمانده پس از تصفیه اولیه، موضوع اصلی تصفیه ثانویه می‌باشد [16]. تصفیه بیولوژیکی عموماً در صنایع فرآوری گوشت به عنوان تصفیه ثانویه بکار می‌رود که در آن هضم هوازی و بی‌هوازی به صورت جداگانه و یا ترکیبی بسته به نوع فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد [17].

این روش جهت از بین بردن مواد آلی و در نهایت پاتوژن‌ها از خروجی فاضلاب کشتارگاهی با استفاده از میکروارگانیسم‌ها به کار می‌رود. علاوه به این، این روش قادر به دفع ۹۰٪ از BOD موجود در فاضلاب کشتارگاهی توسط فرآیندهای هوازی و بی‌هوازی می‌باشد [6]. تصفیه بیولوژیکی می‌تواند شامل ترکیب‌های مختلفی از فرآیندهایی نظیر بی‌هوازی^۱، هوازی^۲، لاگون اختیاری^۳، لجن فعال شده و فیلترهای چکه‌ای^۴ باشد [18].

۲-۳-۱ تصفیه بی‌هوازی

هضم بی‌هوازی به جهت تأثیر مناسب بر تصفیه فاضلاب کشتارگاهی با قدرت بالا، به دیگر روش‌های تصفیه بیولوژیکی ترجیح داده می‌شود [9]. در طول تصفیه بی‌هوازی اجزای آلی فاضلاب توسط باکتری‌های مختلف در غیاب اکسیژن به CH_4 و CO_2 تجزیه می‌شوند. همچنین سیستم‌های بی‌هوازی مزایای متعددی نظیر دفع بالای COD، تولید پایین لجن (۵-۲۰٪) در مقایسه با روش‌های مشابه هوازی دارند و نیاز به انرژی کمتری با توجه به ذخیره مواد مغذی و بازیافت بیوگاز دارند. اگرچه این روش مزایای بسیاری دارد ولی تولید فاضلاب خروجی در این روش با حدود و استانداردهای تخلیه فاضلاب کنونی مطابقت چندانی ندارد (جدول ۲). به زبان ساده تر، اگر چه تصفیه بی‌هوازی روشی مؤثر می‌باشد ولی غلظت مواد آلی موجود در فاضلاب کشتارگاهی، از رسیدن به حالت تعادل پایدار، جلوگیری می‌نماید. بنابراین، فاضلاب‌های تصفیه شده به این روش عموماً نیاز به تصفیه نهایی دیگری نیز دارند تا دفع مواد آلی نظیر نیتروژن، فسفر و پاتوژن‌ها بطور کامل صورت پذیرد. پس ترکیب روش‌های هوازی و بی‌هوازی به عنوان گزینه‌ای مناسب محسوب می‌گردد تا استانداردهای تخلیه فاضلاب را رعایت نماید [4]، [5]. اجزای معمولی سیستم تصفیه بی‌هوازی فاضلاب کشتارگاهی عبارتند از: رآکتور با دیواره کنترل‌شده بی‌هوازی (ABR)^۵، فیلتر بی‌هوازی (AF)^۶، لاگون بی‌هوازی (AL)^۷، لایه لجن بی‌هوازی با جریان معکوس (UASB)^۸ و رآکتور منقطع متناوب بی‌هوازی (SBR)^۹.

۲-۳-۲ تصفیه هوازی

در سیستم‌های هوازی، از باکتری‌های هوازی برای دفع مواد آلی در حضور اکسیژن استفاده می‌شود. زمان تصفیه و میزان اکسیژن لازم برای تصفیه با افزایش قدرت فاضلاب افزایش می‌یابد. این روش معمولاً برای ضدعفونی کردن نهایی و حذف مواد مغذی پس از استفاده از روش‌های فیزیکی شیمیایی یا بی‌هوازی استفاده می‌شود [19]. رآکتورهای هوازی می‌توانند تقسیم‌بندی متفاوتی داشته باشند. در حالیکه فرآیند بیولوژیکی آن‌ها بسیار شبیه به یکدیگر است و بسیار ضروری می‌باشد که بدانیم آیا نیاز به دفع نیتروژن هست یا خیر. تقسیم‌بندی عمومی برای تصفیه هوازی فاضلاب کشتارگاهی شامل لجن فعال (AS)، اتصالگرهای بیولوژیکی چرخنده (RBC) و رآکتور منقطع متناوب (SBR) هوازی می‌باشد.

- 1- Anaerobic treatment
- 2- Aerobic treatment
- 3- Facultative lagoons
- 4- Trickling Filters
- 5- Anaerobic Baffled Reactor
- 6- Anaerobic Filter
- 7- Anaerobic lagoon
- 8- Up-flow Anaerobic Sludge Blanket
- 9- Anaerobic Sequencing Batch Reactor

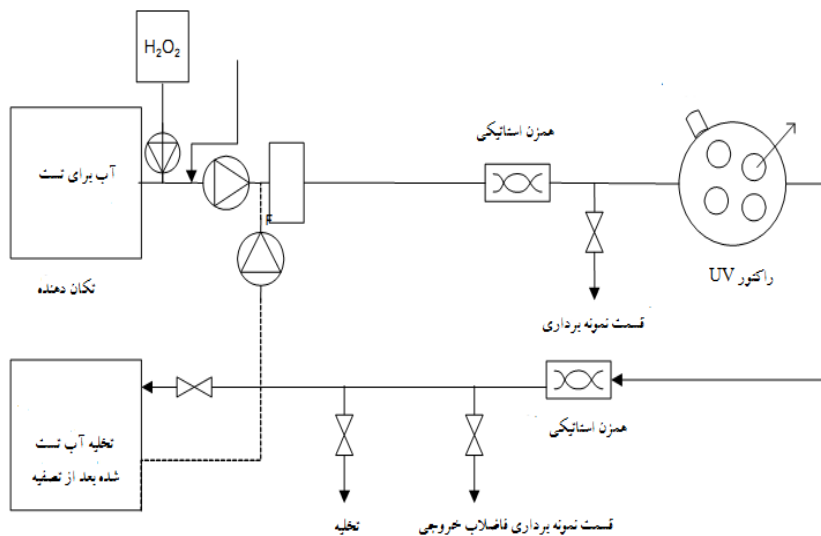
۴-۲ فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (AOPs)

فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs) در حال تبدیل شدن به گزینه ای مناسب به جای تصفیه مرسوم و متداول به عنوان پیش تصفیه یا تصفیه نهایی می باشد. سیستم های (AOPs) که از دهه ۱۹۷۰ شناخته شده اند به فرآیندهایی اطلاق می گردند که مکانیزم شیمیایی واکنش آنها بر پایه تولید ترکیب واسطه و بسیار واکنش پذیر رادیکال هیدروکسیل (OH) استوار است که به عنوان آغازگر واکنش های زنجیره ایی بیشترین کارایی را در اکسیداسیون ترکیبات آلی دارد. رادیکال های آزاد (O_2^-) و (HO_2^-) نیز در انجام اکسیداسیون دخالت دارند. ولی این رادیکال ها نسبت به رادیکال هیدروکسیل قدرت اکسید کنندگی ضعیف تری دارند. در فرآیند (AOPs)، امکان تولید رادیکال هیدروکسیل به روش های مختلف وجود دارد که می توان آنها را به دو گروه فتوشیمیایی و غیر فتوشیمیایی دسته بندی نمود. در روش غیر فتوشیمیایی چهار روش تولید رادیکال هیدروکسیل عبارتند از ۱- از ناسیون ۲- ترکیب ازن و پراکسید هیدروژن ($\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}_2$) ۳- ترکیب ازن و کاتالیزت (O_3-CAT) ۴- سیستم فنتون ($\text{H}_2\text{O}_2-\text{Fe}^{2+}$) [20]. رادیکال هیدروکسیل، ترکیبی ناپایدار، واکنش پذیر و غیر انتخابی است که سریعاً با ترکیبات آلی واکنش می دهد [21]. بنابراین، عمر رادیکال هیدروکسیل کم است و باید در محل مصرف تولید شود. عملکرد واکنش های اکسیداسیون همانند تخریب اکسایش ترکیبات آزاد منجر به تشکیل ازن غیریونندی یا پراکسید هیدروژن می شود که می تواند با تابش نور فرابنفش (UV) تکمیل شود ماکزیم تابش اثربخش لامپ های UV برای فتولیز ازن در حدود 254 nm است. بسیاری از آلاینده های آلی دارای قدرت جذب انرژی پرتو فرابنفش در محدوده $200 - 300 \text{ nm}$ هستند که این امر ناشی از فتولیز مستقیم می باشد. روش های فتوشیمیایی عبارتند از: ۱- (O_3-UV) ۲- ($\text{H}_2\text{O}_2-\text{UV}$) ۳- ($\text{H}_2\text{O}_2-\text{UV}$) ۴- سیستم های فتوفنتون / شبه فنتون ۵- ($\text{UV}-\text{TiO}_2$) [20]. علاوه بر این، AOPs ها می توانند بدون اضافه کردن مواد شیمیایی نظیر کلر که به عنوان ضد عفونی کننده آب استفاده می شود، موجب غیر فعال کردن میکروارگانیسم ها در مقایسه با روش های دیگر می گردد و باعث جلوگیری از تولید مواد سمی، تولید بو، و حذف رنگ می شود [22]. بنابراین فرآیند اکسیداسیون پیشرفته به عنوان روشی مناسب جهت تجزیه پیشرفته، بازیافت آب و فرآیندهای کنترل آلودگی با نتایجی بسیار قابل قبول شناخته می شود [3].

روش ازن دهی توسط [23] Millamena برای تصفیه فاضلاب کشتارگاهی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان دادند که استفاده از جریان ازن با غلظت پایین به میزان 110 میلی گرم برلیتر برای دفع اکثر مواد آلی از فاضلاب کشتارگاهی امکان پذیر نمی باشد. با تصفیه اولیه، بازده کلی ازن دهی از لحاظ دفع BOD، COD و TOC به ترتیب برابر بود با 42% ، 34% و 58% . همچنین ازن دهی توسط [24] Wu and Doan برای تصفیه فاضلاب کشتارگاهی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان دهنده مؤثر بودن این روش در ضد عفونی کردن فاضلاب پس از 8 دقیقه با استفاده از میزان ازن $23/09$ میلی گرم بر لیتر در دقیقه بود و تا 99% از میکروارگانیسم ها از بین رفتند. در حالی که میزان دفع COD و BOD به ترتیب برابر با $10/70\%$ و $23/60\%$ بود. اشعه دهی گاما (GR) توسط [7] Melo et al. برای تصفیه فاضلاب کشتارگاهی مورد استفاده قرار گرفت. با میزان اشعه دهی $0/9$ کیلو گری بر ساعت (kGy/h) درصد دفع پایینی برای COD، BOD و TSS بدست آمد. در حالی که میزان کاهش BOD در بازه بین $38/65-85/75\%$ با مقادیر اشعه دهی بالا (حدود 25 kGy/h) مشاهده گردید. اگرچه در مقادیر اشعه دهی بالا، هزینه های این فرآیند بالا بوده و از معایب این روش می باشد. فرآیند $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ یکی از فرآیندهای رایج استفاده شده در AOPs ها می باشد که در شکل ۱ به صورت شماتیک آورده شده است. $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ در تصفیه فاضلاب کشتارگاهی مؤثر می باشد. اکسیداسیون و تجزیه آلاینده ها توسط این روش توسط یون OH^- ، یونی بسیار فعال که در اثر واکنش بین نور ماوراء بنفش و مولکول H_2O_2 تولید می شود، صورت می پذیرد [22].

[8] Luiz et al. این فرآیند را برای تصفیه ثانویه یک فاضلاب کشتارگاهی آزمایش کرد. نتایج نشان دادند که این روش نسبت به استفاده از نور UV به تنهایی بازده بیشتری در دفع مواد آلی دارد. این روش 5 برابر سریع تر از استفاده از نور UV به تنهایی در تجزیه بوی نامطبوع بود که بازده دفع COD پس از 5 ساعت به 95% رسید.

[25] De Sena et al. اثر AOPs را با استفاده از روش $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ و فوتو فنتون برای تصفیه فاضلاب کشتارگاهی در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان دادند که میزان دفع مواد آلی از فاضلاب های پیش تصفیه شده افزایش یافت و درصد دفع COD و BOD برابر با $97/60$ و $95/70$ درصد بود. بنابراین فرآیند AOPs می تواند برای بهبود کیفیت خروجی تصفیه شده فاضلاب کشتارگاهی برای بازیافت آب استفاده شود.



شکل ۱ - شماتیک فرآیند UV/H₂O₂

[9] Cao and Mehrvar یک رآکتور UV/H₂O₂ را جهت تصفیه نهایی فاضلاب کشتارگاهی مصنوعی در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. ورودی فاضلاب با غلظت TOC ۱۵۷/۶ میلی گرم بر لیتر مورد استفاده قرار گرفت. با غلظت H₂O₂ ۵۲۹ میلی گرم بر لیتر و زمان HRT ۲/۵ ساعته میزان دفع BOD، COD و TOC به ترتیب برابر با ۸۴٪، ۶۴٪ و ۸۳٪ بود. میزان بهینه استفاده از H₂O₂ برای فرآیند UV/H₂O₂ برابر با ۳/۵ میلیگرم H₂O₂ بر ساعت برای هر میلی گرم TOC بود.

تجزیه TOC و ضد عفونی میکروارگانیسم ها از فاضلاب کشتارگاهی مصنوعی با استفاده از روشهای UV-C و VUV (ماوراء بنفش خلاء) توسط Barrera et al. [10] مورد آزمایش قرار گرفت. بازه حذف TOC برای UV-C/H₂O₂ و VUV/H₂O₂ بین ۵/۵ و ۱۲/۲ درصد بود. میزان بهینه نسبت مولار H₂O₂/TOC بین ۱/۵ تا ۲/۵ برای VUV و UV-C بدست آمد. علاوه بر این، مشخص شد که فرآیند نوری شیمیایی قادر به غیر فعال سازی باکتری در کمتر از ۳۰ ثانیه می باشد.

[3] Bustillo-Lecompte et al. عملکرد فرآیند UV/H₂O₂ را برای تصفیه فاضلاب کشتارگاهی مورد بررسی قراردادند. میزان غلظت TOC ۳۵۰ میلی گرم بر لیتر مورد استفاده قرار گرفت. میزان دفع بهینه TOC ۷۵٪ برای فاضلاب با غلظت ۶۵ میلی گرم کربن بر لیتر و زمان HRT ۱۸۰ دقیقه با میزان H₂O₂ ۹۰۰ میلی گرم بر لیتر بود. نسبت مولی بهینه H₂O₂ بر TOC در فرآیند UV/H₂O₂ بدست آمد.

روش UV/H₂O₂ با روش های دیگر تصفیه فاضلاب کشتارگاهی توسط Bustillo-Lecompte et al. [4] مورد قیاس قرار گرفت. روش UV/H₂O₂ کمترین میزان بازده در دفع TOC به میزان ۵۰٪ با هزینه ۶۷ دلار بر کیلوگرم را دارا بود. علاوه بر این میزان دفع TOC با افزایش زمان HRT افزایش قابل توجهی نداشت. بنابراین، اگرچه فرآیند UV/H₂O₂ برای تصفیه فاضلاب کشتارگاهی مؤثر است، ولی این روش در صورت استفاده شدن به تنهایی مقرون به صرفه نمی باشد. در نتیجه، تصفیه فاضلاب کشتارگاهی با ترکیب AOPs و فرآیندهای آلی در حالی که زمان باقی ماندن آن ها در هر یک از این فرایندها بهینه باشد، پیشنهاد می گردد.

۲-۵ فرآیندهای ترکیبی

خروجی فاضلاب کشتارگاهی بخشی از فاضلاب های صنایع غذایی و نوشیدنی می باشد. این فاضلاب ها یکی از نگرانی های اصلی در بخش کشاورزی و صنعتی می باشد زیرا میزان مصرف آب در فرآیند کشتار و شست و شوی تجهیزات و اماکن کشتارگاه ها بسیار زیاد است. می توان گفت که استفاده از فرآیندهای ترکیبی به جهت سود بردن از مزایای هریک از آن ها برای تصفیه فاضلاب کشتارگاهی سودمند می باشد. در اینجا به دو تا از کارهایی که انجام شده اشاره می شود.

[9] Cao and Mehrvar ترکیب روش های ABR و UV/H₂O₂ در مقیاس آزمایشگاهی برای فاضلاب کشتارگاهی مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده بازده بیشتر فرآیندهای ترکیبی نسبت به هر کدام از این فرآیندها به صورت جداگانه است. تا ۹۵٪، TOC، ۹۸٪، COD، و

BOD₅ از فاضلاب با غلظت ۹۷۳ میلی گرم بر لیتر با زمان HRT در حین فرآیند ABR ۳/۸ روزه و حین فرآیند UV/H₂O₂ ۳/۶ ساعت دفع شد.

Bustillo-Lecompte et al. [3],[4] عملکرد و هزینه های عملیاتی تصفیه فاضلاب کشتارگاهی با استفاده از فرآیندهای طبیعی و اکسیداسیون پیشرفته مورد تحقیق قرار دادند. مقایسه ای میان روش‌های مختلف شامل AS، ABR و UV/H₂O₂ از لحاظ توانایی تصفیه و هزینه نهایی صورت گرفت. بازده ۷۵٪/۲۲ برای UV/H₂O₂، ۸۹٪/۴۷ برای ABR، ۹۴٪/۵۳ برای AS، ۹۶٪/۱۰ برای ترکیب AS-ABR، ۹۶٪/۳۶ برای ABR-AS و ۹۹٪/۹۸ برای ABR-AS-UV/H₂O₂ بدست آمدند. تحلیل مقرون به صرفه بودن در شرایط بهینه برای تصفیه فاضلاب کشتارگاهی با بهینه سازی هزینه الکتریکی، مصرف H₂O₂ و زمان HRT صورت گرفت. فرآیند ترکیبی ABR-AS-UV/H₂O₂ به حداکثر بازده دفع TOC، ۹۹٪ در ۷/۵ ساعت با هزینه تقریبی ۶/۷۹ دلار بر مترمکعب در روز رسید.

ثابت گردید که فرآیند ترکیبی ABR-AS-UV/H₂O₂ مقرون به صرفه ترین راه حل در مقایسه با دیگر فرآیندها برای دفع TOC می‌باشد. در حالی که انتخاب روش تصفیه برای فاضلاب کشتارگاهی نیاز به تحلیل مشخصات این فاضلاب‌ها و بهترین روش در دسترس جهت انطباق با قوانین و مقررات کنونی در سطح جهانی دارد.

۳- خلاصه و نتیجه گیری

خلاصه ای از تکنولوژی های تصفیه نوین فاضلاب کشتارگاهی در طول ۱۰ سال اخیر با توجه به بازدهی، از لحاظ دفع مواد نظیر COD، BOD و TN در جدول ۳ بیان گردیده است. بازده تصفیه فاضلاب کشتارگاهی به شدت متفاوت است و بستگی به عوامل مختلفی دارد و محدود به مشخصات فاضلاب کشتارگاهی، زمان HRT، و غلظت آلاینده ها در ورودی فاضلاب‌ها نمی‌شود. فاضلاب‌های کشتارگاهی معمولاً با پیش تصفیه با استفاده از توری، ته نشینی، جمع آوری خون و جداسازی چربی، به همراه تصفیه فیزیکی شیمیایی شامل DAF، انعقاد و لخته سازی و یا تصفیه ثانویه بیولوژیکی، تصفیه می شوند. اگرچه دفع مواد آلی و مغذی می تواند به بازده های بالایی برسد ولی فاضلاب تصفیه شده نیاز به تصفیه بیشتر با تکنولوژی های غشایی AOPs، یا دیگر روش‌های مناسب تصفیه به‌عنوان فرآیندهای ترکیبی دارد.

فرآیند اکسیداسیون پیشرفته AOPs می تواند آب تصفیه شده با کیفیت بالایی تولید کند که موجب بازیافت آب در صنایع فرآوری گوشت شود. همچنین فرآیندهای ترکیبی به روشی قابل اطمینان تبدیل شده است که امروزه می توان با موفقیت برای تصفیه انواع مختلف فاضلاب کشتارگاهی مورد استفاده قرار می گیرد. به هر حال انتخاب نوع تصفیه اساساً به مشخصات فاضلاب مورد تصفیه، تکنولوژی در دسترس و تطبیق بر قوانین و مقررات در مناطق مختلف بستگی دارد.

جدول ۳- مقایسه تکنیک های متفاوت و ترکیبی برای تصفیه فاضلاب کشتارگاه

فرآیند	HRT(h)	COD _{in} (mg/L)	BOD _{in} (mg/L)	TN _{in} (mg/L)	COD Removal(%)	BOD Removal(%)	TN Removal(%)	Refrence
AeP-RO	8-36	5300	2900	557	99.80	99.83	99.77	Bohiewicz and sorka. (2005)
AOP	0.13	-	-	-	10.70	23.60	-	Wu And Doan. (2005)
GR	-	-	3860	-	-	38.65-85.75	-	Melo et al. (2008)
AOP	5	-	-	-	18.00-95.00	-	-	Luiz et al. (2009)
AeP-AOP	0.50	2800-3000	1400-1600	-	80.30-97.60	70.30-95.70	-	De Sena et al. (2009)
UF	-	3610-4180	1900-2200	-	94.52-94.74	97.80-97.89	-	Yordanov. (2010)
AnaP-AeP-UV	12	23-70	0.0-5.0	2.0-21	-	-	79.00	De Nardi et al. (2011)
UF	720-1344	114-1033	-	82-127	83.00-97.00	-	27.00-44.00	Gurel and Buyukungor. (2011)
AOP	2.5	-	-	-	-	-	-	Barrera et al. (2012)
AeP-UF	48	1764-2244	1529-1705	435-665	98.00	-	-	Keskes et al. (2012)
AnaP-AeP-AOP	75-168	-	630-650	254-428	-	99.70	76.40-81.60	Bustillo-Lecompte et al. (2013)
AOP	0.42	-	-	290	-	-	76.20	Khennoussi et al. (2013)
AnaP-AeP-AOP	41-76	-	610-4635	50-481	-	-	-	Bustillo-Lecompte et al. (2014)
AOP	0.04-1.0	3337-4150	1950-2640	-	76.70-90.70	-	-	Ozyonar and Karagozoglu. (2014)
MF	-	480	-	115	90.63	-	45.22	Almandoz et al. (2015)

AeP, aerobic process; AnaP, anaerobic process; AOP, advanced oxidation process; GR, gamma radiation; MF, microfiltration; RO, reverse osmosis; UF, ultrafiltration; UV, ultraviolet light
HRT, Hydraulic retention time.
COD_{in}: BOD_{in}; TN_{in}, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, and total nitrogen

۴- مراجع

- Daigger, G.T., 2009. Evolving urban water and residuals management paradigms: water reclamation and reuse, decentralization, and resource recovery. *Water Environ. Res.* 81 (8), 809-823.
- Tritt, W.P., Schuchardt, F., 1992. Materials flow and possibilities of treating liquid and solid wastes from slaughterhouses Germany. A review. *Bioresour. Technol.* 41 (3), 235-245.
- Bustillo-Lecompte, C.F., Mehrvar, M., Quinones-Bolanos E., 2013. Combined Anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater. *J. Environ. Sci. Health A* 48 (9), 1122-1135.
- Bustillo-Lecompte, C.F., Mehrvar, M., Quinones-Bolanos E., 2014. Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes. *J. Environ. Manag.* 134, 145-152.
- Chan, Y.J., Chong, M.F., Law, C.L., Hassell, D., 2009. A review on anaerobic-aerobic treatment Of industrial and municipal wastewater. *Chem. Eng. J.* 155 (1-2), 1-18.
- Mittal, G.S., 2006. Treatment of wastewater from abattoirs before land application a review. *Bioresour. Technol.* 97 (9), 1119-1135.
- Melo, R., Cabo Verde, S., Branco, J., Botelho, M.L., 2008. Gamma radiation induced effects on slaughterhouse wastewater treatment. *Radiat. Phys. Chem.* 77 (1), 98-100.
- Luiz, D.B., Genena, A.K., Jose, H.J., Moreira, R.F.P.M., Schroder, H.Fr, 2009. Tertiary treatment of slaughterhouse effluent: degradation kinetics applying UV radiation or H₂O₂/UV. *WaterSci. Technol.* 60 (7), 1869-1874.
- Cao, W., Mehrvar, M., 2011. Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H₂O₂ processes. *Chem. Eng. Res. Des.* 89 (7).
- Barrera, M., Mehrvar, M., Gilbride, K., McCarthy, L., Laursen, A., Bostan, V., Pushchak, R., 2012. Photolytic treatment of organic constituents and bacterial pathogens in secondary effluent of synthetic slaughterhouse wastewater. *Chem. Eng. Res. Des.* 90 (9), 1335-1350.
- De Nardi, I.R., Del Nery, V., Amorim, A.K.B., dos Santos, N.G., Chimenes, F., 2011. Performances of SBR, chemical DAF and UV disinfection for poultry slaughterhouse wastewater reclamation. *Desalination* 269 (1), 184-189.
- Almandoz, M.C., Pagliero, C.L., Ochoa, N.A., Marchese, J., 2015. Composite ceramic membranes from natural aluminosilicates for microfiltration applications. *Ceram. Int.* 41(4), 5621-5633.
- Bohdziewicz, J., Sroka, E., 2005. Integrated system of activated sludge-reverse osmosis in the treatment of the wastewater from the meat industry. *Process Biochem.* 40 (5), 1517-1523.
- Yordanov, D., 2010. Preliminary study of the efficiency of ultrafiltration treatment of poultry slaughterhouse wastewater. *Bulg. J. Agric. Sci.* 16 (6), 700-704.
- Gürel, L., Büyükgüngör, H., 2011. Treatment of slaughterhouse plant wastewater by using a membrane bioreactor. *Water Sci. Technol.* 64 (1), 214-219.
- Pierson, J.A., Pavlostathis, S.G., 2000. Real-time monitoring and control of sequencing batch reactors for secondary treatment of a poultry processing wastewater. *Water Environ. Res.* 72 (5), 585-592.
- Martínez, J., Borzacconi, L., Mallo, M., Galisteo, M., Vin~as, M., 1995. Treatment of slaughterhouse wastewater. *Water Sci. Technol.* 32 (12), 99-104.
- Masse, D.I., Masse, L., 2000. Characterization of wastewater from hog slaughter-houses in from hog slaughter-houses in Eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater treatment systems. *Can. Agric. Eng.* 42 (3), 139-146.
- Chernicharo, C., 2006. Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 5 (1), 73-92.
- Munter, R., 2001. Advanced oxidation processes: current status and prospects. *P. Estonian Acad. Sci. Chem.* Vol.55 (4), 59-80.
- Valta, K., Kosanovic, T., Malamis, D., Moustakas, K., Loizidou, M., 2015. Overview of water usage and wastewater management in the food and beverage industry. *Desalin. Water Treat.* 53 (12), 3335-3347.



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



22. Bustillo-Lecompte, C.F., Mehrvar, M., 2015. Assessing the performance of UV/H₂O₂ as a pretreatment process in TOC removal of an actual petroleum refinery wastewater and its inhibitory effects on activated sludge. Can. J. Chem. Eng. 93 (5), 798- 807.
23. Millamena, O.M., 1992. Ozone treatment of slaughterhouse and laboratory waste waters. Aquac. Eng. 11 (1), 23-31.
24. Wu, J., Doan, H., 2005. Disinfection of recycled red-meat-processing wastewater by ozone. J. Chem. Technol. Biotechnol. 80 (7), 828-833.
25. De Sena, R.F., Tambosi, J.L., Genena, A.K., Moreira, R.d.F.P.M., Schroder, H.Fr., Jose, H.J., 2009. Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced oxidation processes monitored by GC-MS and LC-MS. Chem. Eng. J. 152 (1), 151-157.