مجله علمی پژوهان
مقاله پژوهشی
دوره ۱۴، شماره ۴، تابستان ۱۳۹۵
صفحات ۵۹ تا ۶۹

کارایی فرآیند الکتروکواگولاسیون در تصفیه فاضلاب صنعت فرآوری تخم مرغ

علیرضا رحمانی[۱]، زینب معصومی[۲]، زینب آتش زبان[۳]، قاسم آذریان[۴*]

۱. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۲. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران
۳. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز پژوهش دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۴. دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت محیط، مرکز پژوهش دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

مشخصات مقاله

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۵

واژگان کلیدی

تصفیه فاضلاب
حذف COD
صنایع فرآوری تخم مرغ
فرآیند الکتروکواگولاسیون

نویسنده مسئول

قاسم آذریان، دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت محیط، مرکز پژوهش دانشجویان، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

تلفن: ۰۹۱۸۳۱۱۷۷۵۷
ایمیل: Gh_azarian@Yahoo.com

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است

چکیده

مقدمه: با توجه به بار آلی بسیار بالای فاضلاب تولیدی توسط صنایع غذایی بخصوص صنایع فرآوری تخم مرغ، تصفیه فاضلاب این صنایع توسط روش های با کارایی و هزینه اثربخشی مناسب از ضروریات این صنایع می باشد لذا هدف از مطالعه حاضر بررسی کارایی روش الکتروکواگولاسیون در تصفیه فاضلاب صنایع فرآوری تخم مرغ می باشد.

روش کار: مطالعه تجربی_آزمایشگاهی حاضر در یک سیستم منقطع در ۳ فصل تابستان، پاییز و زمستان سال ۹۴ بر روی فاضلاب این صنایع انجام گردید. بدون اینکه pH فاضلاب تنظیم گردد اثر متغیرهای بهره برداری مانند شدت جریان الکتریکی، زمان ماند و جنس الکترود در مقدار کاهش COD مورد بررسی قرار گرفته و ارزیابی فنی و اقتصادی لازم از نظر میزان مصرف انرژی و الکترود بعمل آمد.

یافته ها: نتایج تحقیق نشان داد که راندمان حذف COD با افزایش شدت جریان الکتریکی و زمان ماند افزایش می یابد، البته تعیین نقطه بهینه برای کاهش هزینه های بهره برداری از قبیل هزینه مصرف انرژی و الکترود الزامی است. بالاترین میزان کاهش COD (۹۹ درصد) توسط الکترود آلومینیوم در زمان واکنش ۱۰دقیقه و شدت جریان الکتریکی ۷ mA/cm^2 حاصل شد. هم چنین الکترود آلومینیوم با مصرف انرژی به میزان ۹ kWh/m^3 و مقدار مصرف آند به میزان ۰/۵/mg/cm^2 در مقایسه با الکترود آهن به صرفه تر است.

نتیجه گیری: طبق نتایج این تحقیق تصفیه فاضلاب صنایع فرآوری تخم مرغ که با روش های متعارف به سختی صورت می گیرد با روش الکتروکواگولاسیون به راحتی صورت گرفته و هم از نظر راندمان تصفیه و هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد.

مقدمه

امروزه صنایع مایع تخم مرغ و محصولات آن مانند پودر تخم مرغ به طور گسترده ای در حال افزایش اند. محصولات مایع تخم مرغ از جمله مایع سفیده تخم مرغ، مایع زرده تخم مرغ و مخلوط آن، به عنوان مواد تشکیل دهنده در شیرینی پزی و صنایع غذایی مانند ماکارونی، سس مایونز، بستنی، املت ها و انواع دسر و هم چنین به عنوان طعم دهنده کاربرد دارند [۱-۳]. مطالعه مشخصات فاضلاب این صنعت نشان داده است که میزان COD تولیدی آن بیش از ۷۰۰۰ میلی گرم بر لیتر و میزان BOD آن برابر ۶۰ درصد COD می باشد. روش های بیولوژیکی هوازی که برای تصفیه این فاضلاب استفاده شده

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.21859/psj-140459]

است با هزینه ی بالای هوادهی و دفع لجن همراه است که به این صنایع هزینه ی سنگینی را تحمیل می کند و از طرف دیگر با توجه به خصوصیات این فاضلاب ها، وجود ترکیبات سمی و امکان نوسان بار، امکان اختلال در عملکرد سیستم های بیولوژیکی وجود دارد [۴, ۵]. روش های بی هوازی هرچند از لحاظ مالی ارزانتر به نظر می رسند ولی راندمان بالایی نداشته اند و حضورمقادیر بالای مواد مغذی در پساب آن ها گزارش شده است [۶, ۷]. در ضمن به دلیل حجم کم فاضلاب این صنایع عملاً راه اندازی سیستم های بیولوژیکی سخت و دشوار می باشد.

در سال های اخیر از روش های الکتروشیمیایی در کاربردهای مختلف تصفیه آب و فاضلاب و حفاظت محیط زیست استفاده شده است [۸-۱۱]. از بین روش های تصفیه الکتروشیمیایی، روش الکتروکواگولاسیون می تواند طیف گسترده ای از آلاینده های مختلف از قبیل؛ فلزات سنگین و آنیون های مختلف و قطرات روغنی معلق و ترکیبات آلی را حذف نماید. این روش بر پایه انحلال الکتروشیمیایی یک الکترود فلزی قربانی می باشد که طی یکسری واکنش های فیزیکی و شیمیایی، موجب انعقاد، جذب و ترسیب آلاینده محلول یا کلوییدی می گردد. در فرآیند الکتروکواگولاسیون، الکترود آند (آهن و آلومینیوم) یون های Al^{+3} و Fe^{+2} را به الکترولیت وارد می کنند. این یون ها به صورت فلزی دارای بار الکتریکی و خاصیت جذب بالا هستند که با تشکیل هیدروکسیدهای فلزی، پلیمرها و مونومرها با آلاینده تشکیل فلوک داده و آنها را به راحتی ته نشین یا شناور می نمایند [۱۲, ۱۳].

$$M \longrightarrow Mn^{+} + ne^{-} \quad (1)$$

$$2H_2O + 2e^{-} \longrightarrow 2OH^{-} + H_2 \quad (2)$$

$$Al^{+3} + OH^{-} \longrightarrow Al(OH)_3 \quad (3)$$

$$Fe^{2+} + 2OH^{-} \longrightarrow Fe(OH)_2 \quad (4)$$

در مقایسه با انعقاد معمولی الکتروکواگولاسیون دارای چندین مزیت است که می توان به بهره برداری ساده، مقدار کم لجن تولیدی و حذف سریع آلاینده های آلی از فاصلاب اشاره کرد [۱۴]. همچنین فلوک هایی که طی فرآیند الکتروکواگولاسیون تشکیل می شوند؛ نسبتاً بزرگتر، پایدارتر و حاوی مقدار آب کمتری می باشند و به آسانی حذف می شوند. از مزایای دیگر این روش می توان به بهره برداری آسان، سادگی تجهیزات مورد نیاز، عدم نیاز به کمک منعقدکننده، کاهش تولید آلاینده های ثانویه اشاره کرد [۱۵]. الکتروکواگولاسیون در واقع فرآیندی مبنتی بر ناپایداری سازی کلوئید ها، سوسپانسون ها و امولسیون ها تحت تاثیر بار الکتریکی است [۱۶، ۱۷].

با توجه به اینکه در سال های اخیر صنایع فرآوری تخم مرغ به عنوان صنایع نوپا، گسترش یافته اند مطالعات گسترده ای در خصوص تصفیه فاضلاب آن صورت نگرفته است. طبق بررسی متون انجام شده، تنها در یک مطالعه در سال ۲۰۰۲ توسط I.j.xu و همکارانش به منظور کاهش آلاینده ها و بازیابی محصولات جانبی از این صنعت، از فرایند الکتروکواگولاسیون توسط الکترود های آهن و آلومینیوم و استیل زنگ نزن استفاده شده است [۱۸]. علیرغم انجام مطالعات گسترده در زمینه کاربرد روش الکتروکواگولاسیون در حذف COD و BOD از انواع فاضلاب های صنعتی نظیر کشتارگاه که عموماً راندمان بالای (>۹۵ درصد) نیز حاصل گردیده است [۱۲]. این فرآیند می تواند در تصفیه فاضلاب صنایع فرآوری تخم مرغ نیز به کار رود، لذا با توجه به گسترش این صنعت و لزوم عملیاتی نمودن این سیستم در تصفیه فاضلاب واقعی، انجام مطالعات پایه جهت تعیین و بهینه سازی پارامترهای بهره برداری و عملیاتی الزامی است. مطالعه حاضر با هدف امکان سنجی تصفیه فاضلاب کارخانه تولید مایع تخم مرغ با استفاده از روش الکتروکواگولاسیون انجام گردیده است و به همین منظور اثر متغیرهای بهره برداری مانند شدت جریان الکتریکی، زمان ماند و جنس الکترود در تصفیه فاضلاب با تعیین مقدار کاهش COD مورد بررسی قرار گرفت هم چنین جهت تعیین میزان کارایی فرآیند از لحاظ اقتصادی میزان مصرف انرژی و الکترود محاسبه گردید.

روش کار

در مطالعه تجربی_آزمایشگاهی حاضر که فاضلاب واقعی یک صنعت تولید مایع تخم مرغ (شرکت نارین واقع در شهرک صنعتی بوعلی همدان) توسط فرآیند الکتروکواگولاسیون

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.21859/psj-140459]

مورد تصفیه قرار گرفته است از یک راکتور الکتروشیمیایی منقطع در مقیاس آزمایشگاهی با حجم موثر ۵۰۰ میلی لیتر استفاده گردید. شکل ۱ راکتور مورد استفاده را نشان می دهد. الکترودهای مورد استفاده در این فرایند آهن و آلومینیوم بود، ۲ عدد آند و ۲ عدد کاتد که با سطح موثر ۱۶۴ سانتی متر مربع و با فاصله یک سانتی متر از هم قرار گرفته بودند. الکترود ها با آرایش مونوپلار به مولد جریان الکتریسیته از نوع مستقیم (همدان کیت- مدل ۴ ۰۵_ Adak,ps) وصل شد که توانایی تامین جریان ۶ آمپر و میزان ولتاژ ۳۰ ولت را داشت. قبل از انجام هر آزمایش الکترودها ابتدا با محلول اسید کلریدریک ۱۵ درصد و سپس با آب مقطر شستشو شدند. کلیه مراحل انجام آزمایش در دمای اتاق انجام شد و میانگین ۳ بار آزمایش در هر مرحله گزارش گردید. در فرآیند الکتروکواگولاسیون یون های مسئول انعقاد در محل تولید می شوند و فرآیند شامل مراحل پشت سرهم زیر است:

۱- انحلال آند قربانی

۲- تشکیل یون OH^- و H_2 در کاتد

۳- انجام واکنش های الکترولیتیکی در سطوح الکترود

۴- تشکیل پلیمرها و مونومرهای مسئول ناپایدارسازی کلوئیدها

۵- حذف کلوئید توسط ترسیب و شناورسازی [۱۵].

جهت بررسی متغیرهای این مطالعه تعداد ۴۰ نمونه مرکب از فاضلاب کارخانه تولید مایع تخم مرغ نارین در بطری های پلی-اتیلن جمع آوری شد و سریعاً تحت دمای زیر ۱۰ درجه سانتی گراد به آزمایشگاه منتقل گردید. کلیه متغیرها این مطالعه به روش آماری یک متغیر در هر آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. فاضلاب خام مورد مطالعه دارای COD به میزان mg/L ۶۵۰±۸۸۰۰ و pH به مقدار ۰/۷±۷/۴ بود.

در مطالعه حاضر با توجه به اینکه فاضلاب خام حاوی یون های مختلف و pH آن در محدوده خنثی می باشد لذا برای فرآیند الکتروکواگولاسیون مناسب بوده و نیازی به تنظیم pH یا استفاده از الکترولیت حامل وجود نداشت. با توجه به مطالعات گذشته که بیشتر از سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه استفاده شده است. در این مطالعه از این سرعت اختلاط استفاده شد [۱۲-۱۵]. کارایی فرآیند الکتروکواگولاسیون جهت تصفیه فاضلاب مورد مطالعه در شرایط مختلف با بررسی متغیرهایی همچون جنس الکترود، زمان واکنش (۲۵-۰ دقیقه)، شدت جریان الکتریکی (۱-۱۲ $mA\ cm^{-2}$) مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرها در این مطالعه به روش یک متغیر در یک زمان بهینه سازی شدند و میزان مصرف آند و انرژی مصرفی محاسبه شدند [۱۹، ۲۰]. با توجه به وابستگی میزان مصرف الکترود به شدت جریان الکتریکی در شدت جریان های مختلف کاربردی میزان مصرف الکترود محاسبه گردید. میزان کارایی سیستم مورد مطالعه در تصفیه فاضلاب صنایع فرآوری تخم مرغ با میزان کاهش COD طبق معادله زیر مورد ارزیابی قرار گرفت:

$$\text{Removal efficiency } (\%) = (Co - C)/Co \times 100 \quad (5)$$

در اینجا Co و C به ترتیب COD ورودی و خروجی سیستم به راکتور الکتروشیمیایی می باشد.

اندازه گیری COD طبق روش استاندارد متد با شماره استاندارد ۵۲۲۰B انجام شد [۲۱]. برای اندازه گیری pH از pH متر پورتال شرکت Hach آلمان استفاده گردید. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت مرک آلمان با درصد خلوص ۹۹/۵ درصد خریداری گردید میزان انرژی مصرفی به ازای هر مترمکعب لجن تصفیه شده با معادله ۶ محاسبه گردید [۱۹]:

$$E = VIt/V_R \quad (6)$$

در اینجا V متوسط ولتاژ ورودی به سل الکتروشیمیایی بر حسب ولتاژ و t زمان ماند بر حسب دقیقه، VR حجم راکتور بر حسب متر مکعب است. میزان مصرف تئوریکی و آزمایشگاهی الکترود به ترتیب طبق معادلات ۷ و ۸ تعیین شد [۲۲, ۲۳]:

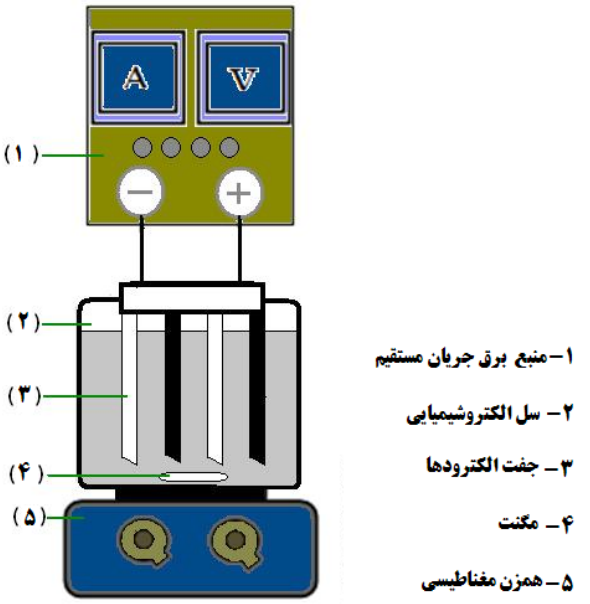
$$W_{theoretical} = (ItM)/(nF) \quad (7)$$

$$W_{experimental} = W_{before} - W_{after} \quad (8)$$

در اینجا Wمقدار ماده آند حل شده (۲mc/g)، A دانسیته جریان (۲mc/A)، t زمان بر حسب ثانیه،M جرم مولی نسبی الکترود، n تعداد الکترون ها در واکنش اکسیداسیون احیاء، W erofeb وزن الکترودهای آند قبل فرایند الکتروکواگولاسیون و W retfa وزن الکترودهای آند بعد فرایند الکتروکواگولاسیون می باشد.

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]

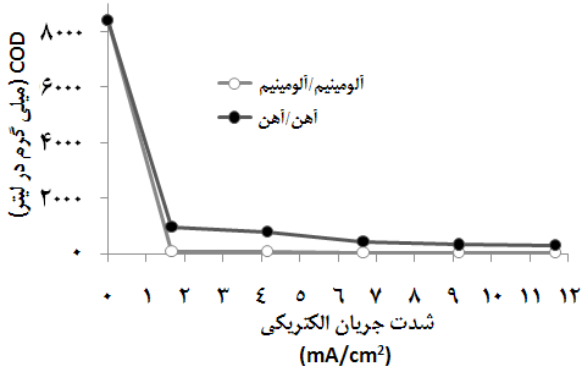
[DOI: 10.21859/psj-140459]



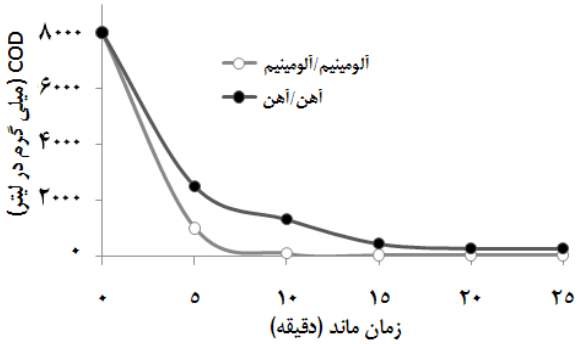
شکل ۱. شماتیک راکتور الکتروکواگولاسیون مورد استفاده در این مطالعه

نتایج

نتایج حاصل از تاثیر میزان جریان الکتریکی بر میزان کاهش COD فاضلاب صنایع فرآوری تخم مرغ طی فرآیند الکتروکواگولاسیون با کمک الکترودهای آهن و آلومینیوم در زمان ۱۵ دقیقه در شکل ۲ نشان داده شده است. در شرایط pH اولیه ۷/۵، و زمان واکنش ۱۵ دقیقه، بررسی متغیر شدت جریان الکتریکی نشان می دهد افزایش شدت جریان در هر دو جنس الکترود، راندمان حذف COD را افزایش می دهد. دانسیته جریان الکتریکی بهینه با الکترودهای آلومینیوم ۷mA/cm^2 و با الکترودهای آهن ۹mA/cm^2 بدست آمد راندمان حذف COD در شرایط مذکور به ترتیب بوسیله الکترودهای آلومینیوم و الکترودهای آهن برابر ۹۹ درصد و ۹۶ درصد حاصل گردید. با افزایش مقدار شدت جریان الکتریکی به بیشتر از این مقادیر تفاوت بسیار کمی در حذف COD مشاهده شد به طوری که شدت جریان های بالاتر فقط مصرف انرژی را افزایش می داد. در شکل ۳ تاثیرات زمان واکنش بر میزان حذف COD نشان داده شده است. بررسی متغیر زمان بهره برداری نشان می دهد که در مورد الکترود آلومینیوم قسمت اعظم COD در ۱۰ دقیقه اول حذف می گردد این در صورتی است که برای الکترود آهن قسمت اعظم COD در ۱۵ دقیقه اول حذف می شود لذا افزایش زمان ماند به بیشتر از این مقادیر در حذف بیشتر COD نقشی نداشته و روند حذف بسیار کند می باشد. لذا زمان بهینه واکنش با الکترود آلومینیوم و آهن به ترتیب در ۱۰ و ۱۵ دقیقه تعیین شد این امر نشان دهنده عملکرد مطلوب تر الکترود آلومینیوم در حذف COD است در مدت زمانهای یاد شده با کاربرد الکترود آلومینیوم و آهن میزان COD باقیمانده در پساب به ترتیب به میزان ۹۹ و ۴۵۶ میلی گرم در لیتر می باشد.



شکل ۲. تأثیر تغییرات شدت جریان الکتریکی در تصفیه فاضلاب صنایع فرآوری تخم مرغ در شرایط ثابت pH=۷/۵ و مدت زمان ماند ۱۰ دقیقه طی فرآیند الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکترودهای آلومینیوم و آهن



شکل ۳. تأثیر تغییرات مدت زمان ماند در تصفیه فاضلاب صنایع فرآوری تخم مرغ، در شرایط ثابت pH=۷/۵ و شدت جریان الکتریکی ۷ و ۹ mA/cm^2 به ترتیب برای الکترودهای آلومینیم و آهن

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.21859/psj-140459]

در زمان های مختلف بین ۵ تا ۳۰ دقیقه و در مقادیر بهینه سایر پارامترها، میزان انرژی مصرفی برای هر دو جنس الکترود بر اساس فرمول ۶ بدست آمد و در جدول ۱ ارائه گردید. یافته های تحقیق نشان میدهد که در زمانهای واکنش یکسان، الکتروکواگولاسیون با الکترود آلومینیوم از انرژی الکتریکی مصرفی بالاتری نسبت به الکترود آهن در حذف COD برخوردار است اما در مدت زمان بهینه واکنش با الکترود آلومینیوم (۱۰دقیقه) مقدار انرژی مصرفی برابر $9mA/cm^3$ است، در حالیکه در مدت زمان بهینه واکنش با الکترود آهن (۱۵ دقیقه)، مقدار انرژی مصرفی برابر $11mA/cm^3$ بود. در این تحقیق با افزایش زمان، انرژی مصرفی نیز افزایش یافت. به صورتی که بالاترین مصرف انرژی در زمان واکنش ۲۵ دقیقه تصفیه به دست آمد. با استفاده از معادله ۷ و ۸ میزان مصرف تئوریکی و آزمایشگاهی آند برای هر دو جنس الکترود در شدت جریان های مختلف و مقادیر بهینه سایر متغیرها محاسبه شد که نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق قانون فارادی با دانسیته جریان های کاربردی ۲/۸۵ تا $11/42\ mA/cm^2$ مقدار مصرف تئوریکی آند در الکترود آهن بین ۰/۸ تا $2/3\ g/cm^2$ و در الکترود آلومینیوم بین ۰/۴ تا $1/6\ g/cm^2$ است و مقدار مصرف آزمایشگاهی آند در الکترود آهن ۰/۲۱ تا $3/5\ g/cm^2$ و در الکترود آلومینیوم ۰/۳ تا $1/8\ g/cm^2$ می باشد. لذا با توجه به نتایج حالت تئوریکی و آزمایشگاهی، می توان گفت میزان مصرف الکترود آهن تقریباً دو برابر الکترود آلومینیوم می باشد. هر چند آلومینیوم تقریبا سه برابر از آهن گرانتر است ولی با در نظر گرفتن میزان مصرف کمتر آن و هم چنین کارایی بهتر الکترود آلومینیوم در همه متغیرهای مورد مطالعه، استفاده از الکترود آلومینیوم ارجعیت دارد. مقدار بهینه دانسیته جریان الکتریکی و زمان واکنش و مقدار مصرف انرژی و مصرف تئوریکی الکترود، نشان می دهد که جهت حذف COD عملکرد الکترود آلومینیوم بهتر از الکترود آهن می باشد. زیرا با تولید COD پایین (کمتر از ۵۰ میلیگرم در لیتر) پساب حاصل قابلیت استفاده مجدد را دارد اما پساب حاصل از تصفیه فاضلاب با استفاده از الکترودهای آهن به دلیل عدم برآورده ساختن استانداردهای زیست محیطی قابلیت استفاده مجدد را نداشته و نیازمند تصفیه تکمیلی می باشد. در شرایط بهینه کلیه متغیرها و با استفاده از الکترود آلومینیوم طبق جدول ۳ طی فرآیند الکتروکواگولاسیون پارامترهای TSS، BOD، COD و کدورت تا حد استانداردهای زیست محیطی کاهش می یابند.

جدول ۱. میزان انرژی الکتریکی مصرفی در فرآیند الکتروکواگولاسیون جهت تصفیه فاضلاب صنعت فرآوری مایع تخم مرغ در زمان های ماند مختلف در شرایط ثابت pH=۷/۵ و شدت جریان الکتریکی ۷ و ۹ mA/cm۲ به ترتیب برای الکترودهای آلومینیم و آهن

انرژی الکتریکی مصرفی (kWh/m^3)		زمان(دقیقه)
الکترود آهن/آهن	الکترود آلومینیم/آلومینیم	
۰	۰	۰
۳/۳	۴/۵	۵
۷/۳	۹/۳	۱۰
۱۱	۱۴/۲	۱۵
۱۵/۷	۱۸/۹۳	۲۰
۱۹/۸	۲۴/۱	۲۵

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.21859/psj-140459]

جدول ۲. میزان مصرف تئوریکی و آزمایشگاهی آند طی فرآیند الکتروکواگولاسیون جهت تصفیه فاضلاب صنعت فرآوری مایع تخم مرغ در شدت جریان های الکتریکی مختلف در شرایط ثابت pH=۷/۵ و زمان ماند ۱۰ و ۱۵ دقیقه به ترتیب برای الکترودهای آلومینیم و آهن

الکترود آهن/آهن (g/cm^2)		الکترود آلومینیم/آلومینیم (g/cm^2)		شدت جریان الکتریکی (mA/cm^2)
مصرف آزمایشگاهی	مصرف تئوریکی	مصرف آزمایشگاهی	مصرف تئوریکی	
۰/۲۱	۰/۸۲	۰/۲۱	۰/۴	۲/۸۴
۲/۲	۱/۶۵	۰/۸۷	۰/۷۹	۵/۷۱
۳	۲/۲۴	۱/۴	۱/۱۹	۸/۵۷
۳/۵	۲/۳۱	۱/۸	۱/۵۹	۱۱/۴۲

جدول ۳. مقایسه خصوصیات فاضلاب خام صنعت فرآوری تخم مرغ و فاضلاب تصفیه شده توسط فرآیند الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکترود آلومینیم در شرایط بهینه شدت جریان الکتریکی ۷ mA/cm^2 و زمان ماند ۱۰ دقیقه

پارامتر	فاضلاب خام	فاضلاب تصفیه
COD (میلی گرم در لیتر)	۹۴۵۰-۸۱۵۰	۹۹-۴۵
BOD (میلی گرم در لیتر)	۵۴۲۰-۴۶۰۰	۶۵-۴۰
TSS (میلی گرم در لیتر)	۱۰۲۰۰-۸۳۰۰	۸۰-۵۵
pH	۶/۷-۹/۸	۸-۷/۵
کدورت (NTU)	۱۵۰۰<	۵۰>

بحث

در مطالعات قبلی تأثیر دانستیه جریان الکتریکی، به عنوان یك عامل مهم در فرایند الکتروکواگولاسیون به اثبات رسیده است. به علاوه دانستیه جریان در میزان مصرف الکترود و تولید یون های مسئول انعقاد مؤثر است [۶، ۱۳]. در این مطالعه با افزایش دانسیته جریان الکتریکی، راندمان حذف COD افزایش یافته است (شکل۲) زیرا مقدار بیشتری یون طی فرآیند تولید می شود ولی استفاده از شدت جریان های الکتریکی بالاتر از شدت جریان بهینه باعث افزایش درصد حذف بسیار ناچیز می گردد و موجب اتلاف انرژی و کاهش طول عمر الکترودها می شود. از طرف دیگر با افزایش شدت جریان الکتریکی دمای سل نیز بالا رفته و باعث شکستن فلوک های تشکیل شده می شود. علاوه بر این با افزایش دما انتقال یون با سرعت بیشتری صورت گرفته لذا امکان تشکیل گونه های هیدروکسید کم می گردد [۲۳، ۲۴]. همانطوری که در شکل ۳ ملاحظه می شود افزایش زمان ماند با افزایش راندمان حذف COD همراه است که دلیل این امر تولید بیشتر یون های فلزی و متعاقب آن تولید هیدروکسیدهای فلزی با افزایش زمان الکترولیز می باشد. با توجه به ارتباط زمان ماند با هزینه های انرژی و با عنایت به اینکه زمان ماند بهینه برای الکترود آلومینیم کمتر از آهن می باشد (۱۰ دقیقه در برابر ۱۵ دقیقه) این امر نشان دهنده اقتصادی بودن الکترود آلومینیوم است. در ابتدا با افزایش زمان واکنش راندمان حذف با سرعت بیشتری افزایش می یابد، در حقیقت میزان کاهش COD با افزایش زمان واکنش به دلیل افزایش تولید لخته های هیدروکسید می باشد و زمانی که

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.21859/psj-140459]

تقریباً کل مواد جامد به لخته تبدیل می شوند بعد آن با کاهش نرخ حذف در زمان های پایانی فرایند نسبت به زمان های واکنش اولیه مواجه خواهیم شد [۲۲]. لذا با توجه به تفاوت ناچیز راندمان های حذف COD با بیشتر شدن زمان واکنش، استفاده از مدت زمان های بیشتر از زمان ماند بهینه فقط مصرف انرژی را بالا برده که از نظر اقتصادی نیز مقرن به صرفه نمی باشد. نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج مطالعات اخیر مطابقت داشته و نشان می دهند که دو پارامتر زمان ماند و شدت جریان الکتریکی از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر راندمان فرآیند الکتروکواگولاسیون می باشند، ولیکن مراتب برای جلوگیری از اتلاف انرژی الکتریکی و حصول راندمان بالا بهینه سازی آنها الزامی می باشد [۱۲-۱۵].

طبق جدول ۱ مشخصاً با افزایش شدت جریان الکتریکی و زمان ماند میزان مصرف انرژی نیز بالا می رود. عمده ترین هزینه در فرآیند الکتروشیمیایی مربوط به مصرف انرژی الکتریکی است که یکی از مهم ترین پارامترها در انتخاب روش تصفیه است. طبق قانون فارادی مصرف انرژی در شدت جریان الکتریکی و زمان ماند ثابت متناسب با ولتاژی است که بین دو الکترود اعمال می گردد [۲۵]. لذا با اعمال تدابیری همچون نظافت دائمی الکترودها، استفاده از فواصل کم الکترود و طراحی مناسب سل می-توان از ولتاژهای پایین تر استفاده نمود لذا هزینه های انرژی را کاهش داد. جنس الکترود در فرآیند الکتروکواگولاسیون بسیار مهم می باشد. در مطالعات گذشته استفاده از الکترود آهن و آلومینیوم به سه دلیل در دسترس بودن، ارزانی و نیز کارایی بالای آنها در فرآیند الکتروکواگولاسیون به وفور گزارش شده است [۲۶]. در هر صورت انتخاب جنس آند مناسب بستگی کامل به شرایط صنعت استفاده کننده داشته و در زمانی که فاضلاب نیازمند پیش تصفیه می باشد (مانند مواقعی که پساب وارد تصفیه خانه شهرک صنعتی می گردد و طبق ضوابط پساب خروجی از کارخانه باید COD کمتر از ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر داشته باشد) هزینه استفاده از الکترود آهن بسیار کمتر از الکترود آلومینیوم می باشد، بخاطر اینکه علیرغم مصرف بالای الکترود آهن نسبت به آلومینیم (هم از نظر تئوریکی و هم از نظر آزمایشگاهی) (جدول۲) به دلیل ارزان بودن الکترود آهن استفاده از این الکترود مقرون به صرفه تر می باشد. در مورد مقایسه روش الکتروکواگولاسیون با دیگر فرآیندها جهت تصفیه فاضلاب صنایع فرآوری تخم مرغ بیان این مطلب ضروری است که با توجه به نیاز به زمان ماند پایین در روش الکتروکواگولاسیون، هزینه های ساخت پایین بوده، و به طبع آن اندازه راکتور کوچک شده علاوه بر صرفه جویی در زمین مورد نیاز برای ساخت تاسیسات تصفیه خانه، هزینه های بهره برداری آن پایین می آید. به علاوه با توجه به حجم پایین و بار آلی بسیار بالای فاضلاب صنایع فرآوری تخم مرغ، راه اندازی سیستم های دیگر همچون سیستم های بیولوژیکی امکان پذیر نیست. عیب اصلی روش های الکتروشیمیایی عدم توجیه پذیری آن در مقیاس بزرگ از نظر مصرف انرژی می باشد منتهی مراتب تصمیم استفاده از این سیستم بستگی کامل به شرایط صنعت استفاده کننده داشته و مطمئناً در صنایع با حجم فاضلاب بالا سیستم های دیگر احتمالاً موفق تر از این سیستم ها می باشند. مطالعه اخیر در مورد استفاده از روش الکترواکسیداسیون در تصفیه فاضلاب های صنایع کشمش پاک کنی نشان می دهد استفاده از این روش به عنوان یک روش پیش تصفیه فاضلاب مناسب بوده و تصفیه کامل مستلزم استفاده از روش های تکمیلی دیگر است [۱۰] این در صورتی است که در صنایع فرآوری تخم مرغ استفاده از روش الکتروکواگولاسیون علاوه بر تصفیه کامل به مقدار انرژی الکتریکی کمتری نیاز دارد. نتایج مطالعه اخیر نیز نشان می دهد سیستم الکتروکواگولاسیون به دلیل راندمان مناسب، زمان ماند مورد نیاز پایین و هزینه های سرمایه-گذاری کم از روش های قابل قبول برای تصفیه فاضلابهای صنعتی می باشد [۱۳]. همانطوری که در جدول ۳ نشان داده شده است فرآیند الکتروکواگولاسیون پارامترهای TSS، BOD، COD و کدورت را تا حد استانداردهای زیست محیطی کاهش می دهند و نیازی به تصفیه تکمیلی نمی باشد. در مورد فلزات قربانی آهن و آلومینیوم با توجه به اینکه با عوامل ایجاد کننده قلیائیت موجود در آب مانند یونهای هیدروکسیل واکنش می دهند طی ته نشینی از محلول خارج شده و عوامل مضری در محلول باقی نمی گذارند. البته لازم به یادآوری است که نمکهای آلومینیوم و آهن از

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.21859/psj-140459]

ترکیبات طبیعی موجود در طبیعت بوده و مضر نمی باشند. طی فرآیند الکتروکواگولاسیون مقداری رسوب بر روی کاتد تشکیل می گردد که عمدتاً ترکیبات کلسیم و منیزیوم موجود در پساب می باشد که از دو روش مکانیکی یا استفاده از مواد شیمیایی طی فرآیند (با استفاده از نمکهای چون سدیم کلراید) می توان برای پاک کردن آن از سطح کاتد استفاده کرد [۲۶].

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که روش الکتروکواگولاسیون جهت تصفیه فاضلاب صنعت تولید مایع تخم مرغ از کارایی بسیار خوبی برخوردار بوده و راندمان حذف COD با افزایش شدت جریان الکتریکی و زمان ماند افزایش می یابد، در این فرآیند کارایی الکترودهای آلومینیوم نسبت به آهن بالاتر است. از مزایای این فرآیند می توان به عدم نیاز به ساپورتینگ الکترولیت و تعداد کم متغیرهای بهره برداری اشاره کرد. اما انتخاب دقیق پارامترهای بهره برداری بخصوص شدت جریان الکتریکی و زمان واکنش بسیار کلیدی بوده و باید به صورت دقیق انتخاب شود. در غیر این صورت کارایی فرآیند تصفیه کاهش یافته و هزینه-های انرژی به طور سرسام آوری افزایش می یابد. در کل جهت تصفیه فاضلاب این صنعت با توجه به راندمان بالاتر حذف COD انرژی مصرفی و مصرف آند کمتر در هنگام استفاده از الکترود آلومینیوم، این الکترود نسبت به الکترود آهن ارجحیت دارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب سپاس و تشکر فائقه خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی همدان جهت تامین اعتبار مالی پروژه ابراز می دارد.

تضاد منافع

این مطالعه برای نویسندگان هیچ گونه تضاد منافعی نداشته است.

References

1. Özlem Tol, Gustavo VB-C, Howard QZ. Improving liquid egg quality by pulsed electrical field processing. Improving food quality with novel food processing technologies. 1th ed. Florida:CRC Press;2014.

2. Jin Y, Yang N, Duan X, Wu F, Tong Q, Xu X. Determining total solids and fat content of liquid whole egg products via measurement of electrical parameters based on the transformer properties. Biosystems Engineering. 2015;129:70-77.

3. Unluturk S, Atılgan MR, Baysal AH, Tarı C. Use of UV-C radiation as a non-thermal process for liquid egg products (LEP). Journal of Food Engineering. 2008;85(4):561-568.

4. Vanerkar A P, Satyanarayan S, Satyanarayan S. Treatment of food processing industry wastewater by a coagulation/flocculation process. International Journal of Chemical and Physical Sciences. 2013;2(3):63-72

5. Heponiemi A, Lassi U. Advanced oxidation processes in food industry wastewater treatment-A review. INTECH Open Access Publisher;2012.

6. Del Agua I, Usack JG, Angenent LT. Comparison of semi-batch vs. continuously fed anaerobic bioreactors for the treatment of a high-strength, solids-rich pumpkin-processing wastewater. Environmental Technology. 2015;36(15):1974-1983.

7. Davis HR, Johndrew Jr OF, Loehr RC, Siderewicz W, Zall RR. Egg breaking and processing waste control and treatment. National Environmental Research Center, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency. 1975.

8. Rahmani AR, Nematollahi D, Azarian G, Godini K, Berizi Z. Activated sludge treatment by electro-Fenton process: Parameter optimization and degradation mechanism. Korean Journal of Chemical Engineering.

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.21859/psj-140459]

2015;32(8):1570-1577.

9. Rahmani AR, Godini K, Nematollahi D, Azarian G. Electrochemical oxidation of activated sludge by using direct and indirect anodic oxidation. Desalination and Water Treatment. 2015;56(8):2234-2245.

10. Rahmani A, Shanesaz S, Godini K, Azarian G. Electro-oxidation process performance in treatment of the effluent from a raisin cleaning factory in Malayer city. Pajouhan Scientific Journal. 2015;14(1):30-38. (Persian)

11. Rahmani AR, Godini K, Nematollahi D, Azarian G, Maleki S. Degradation of azo dye CI Acid Red 18 using an eco-friendly and continuous electrochemical process. Korean Journal of Chemical Engineering. 2016; 33(2):532-538.

12. Godini K, Azarian G, Nematollahi D, Rahmani AR, Zolghadrnasab H. Electrochemical treatment of poultry slaughterhouse wastewater using iron and aluminum electrodes. Research Journal of Chemistry and Environment. 2012;16(3):98-103.

13. Azarian G, Nematollahi D, Rahmani AR, Godini K, Bazdar M, Zolghadrnasab H. Monopolar electro-coagulation process for Azo Dye CI Acid Red 18 removal from aqueous solutions. Avicenna Journal of Environmental Health Engineering. 2014;1(1):33-38.

14. Amani-Ghadim A, Aber S, Olad A, Ashassi-Sorkhabi H. Optimization of electrocoagulation process for removal of an azo dye using response surface methodology and investigation on the occurrence of destructive side reactions. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 2013;64:68-78.

15. Khandegar V, Saroha AK. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent–A review. Journal of Environmental Management. 2013;128:949-63.

16. Isa MH, Ezechi EH, Ahmed Z, Magram SF, Kutty SRM. Boron removal by electrocoagulation and recovery. Water Research. 2014;51:113-123.

17. İrdemez Ş, Demircioğlu N, Yildiz YŞ. The effects of pH on phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with iron plate electrodes. Journal of Hazardous Materials. 2006;137(2):1231-1215.

18. Xu LJ, Sheldon BW, Larick DK, Carawan RE. Recovery and utilization of useful by-products from egg processing wastewater by electrocoagulation. poultry science. 2002;81(6):785-792.

19. Godini K, Masoumi Z, Baghi A, Atafar Z. Azarian G. Investigation of activated sludge sewage dewatering by electro-flotation:optimization of operating parameters and energy consumption. Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences. 2015;21(4):341-348. (Persian)

20. Asgari G, Mohammadi S, Motaleb A, Azarian G, Zivari Mehranfar M. Performance of granular zero-valent magnesium in simultaneous reduction of hexa-valent chromium and nitrate in aqueous solutions. Pajouhan Scientific Journal. 2015;13(4):9-18. (Persian)

21. Eaton A, Clesceri L, Greenberg A, Franson M. Standard methods for examination of water and wastewater (20th ed). Washington, DC:American Public Health Association;1998.

22. Karichappan T, Venkatachalam S, Jeganathan PM. Optimization of electrocoagulation process to treat grey wastewater in batch mode using response surface methodology. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2014;12(1):29-36.

23. Gatsios E, Hahladakis JN, Gidarakos E. Optimization of electrocoagulation (EC) process for the purification of a real industrial wastewater from toxic metals. Journal of Environmental Management. 2015;154:117-27.

24. Chafi M, Gourich B, Essadki A, Vial C, Fabregat A. Comparison of electrocoagulation using iron and aluminium electrodes with chemical coagulation for

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.21859/psj-140459]

the removal of a highly soluble acid dye. Desalination. 2011;281:285-292.

25. Brahmi K, Bouguerra W, Belhsan H, Elaloui E, Loungou M, Tlili Z, et al. Use of electrocoagulation with aluminum electrodes to reduce hardness in Tunisian phosphate mining process water. Mine Water and the Environment. 2015;35(3)310-317.

26. Azarian G, Mesdaghinia A, Vaezi F, Nabizadeh R, Nematollahi D. Algae removal by electro-coagulation process, application for treatment of the effluent from an industrial wastewater treatment plant. Iranian Journal of Public Health. 2007;36(4):57-64.

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.21859/psj-140459]

Pajouhan Scientific Journal
Research Article
Vol 14, No 4, Summer 2016

Electro-coagulation process performance in treatment of the effluent from egg processing industry

Alireza Rahmani[1], Zeynab Masoumi[2], Zeynab Atshban[3], Ghasem Azarian[4]

1. Professor of Environmental Health Engineering, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
2. MSc Student of Environmental Health Engineering, Ilam University of Medical Sciences, Ilam, Iran
3. MSc Student of Environmental Health Engineering, Students Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
4. Ph.D. Student of Environmental Health Engineering, Students Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Article Info

Recieved: 23 May 2016
Accepted: 26 Aug 2016

Keywords

Wastewater treatment
COD removal
Egg-processing industries
Electro coagulation process

Corresponding Author

Ghasem Azarian, Ph.D. Student of Environmental Health Engineering, Students Research Center, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Tel: +989183117757

Email: Gh_azarian@Yahoo.com

Citation

Rahmani A, Masoumi Z, Atshban Z, Azarian Gh. [Electro-coagulation process performance in treatment of the effluent from egg processing industry]. Pajouhan Scientific Journal. 2016;14(4):59-69

Abstract

Introduction: It is obvious that, the organic load of wastewaters produced by food industries, especially the egg processing industry, is very high, therefore, it is necessary to use a cost efficient method with high efficiency for the treatment of this kinds of wastewater. Thus, the aim of this study was to investigate the effect of the electro-coagulation process for the treatment of the wastewater of egg processing industries.

Methods: This experimental study was carried out on the wastewater of this industry in a batch system during three seasons (summer, autumn and winter) in 2015. Without pH adjustment, the effect of operating parameters including current density, retention time and electrode type, on COD reduction was investigated. Also, the technical and economic assessment in terms of energy and electrode consumption was studied.

Results: The results showed that, COD removal efficiency increased with increasing current density as well as increasing operating time; naturally, it is necessary to determine the optimum points in order to reduce operating costs including energy and electrode consumption. Maximum removal efficiency of COD (99%) was obtained using the aluminum electrode at contact time 10 min and current density of 7mA/cm^2. Also, aluminum electrode with energy consumption of 9kwh/m^3 and anode consumption of 0.5 mg/cm is more economical than iron electrode.

Conclusion: According to the results, in comparison to conventional methods, the treatment of the wastewater of egg processing industries using the electro-coagulation process is more effective and cost efficient.

© 2016 Pajouhan Scientific Journal. All right reserved

[Downloaded from psj.umsha.ac.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.21859/psj-140459]