علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، ویژه نامه شماره۲، پاییز ۱۳۹۵

ارزیابی کارایی فرآیند الکترولیز در حذف پیراسنجه های اکسیژن خواهی شیمیایی و کل ذرات معلق از پساب کارخانجات کشمش پاک کنی

سهیل سبحان اردکانی [1]*

s_sobhan@iauh.ac.ir

سیدمیلاد جعفری [2]

مجید احتشامی [3]

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش:۹۳/۰۸/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: فرآیند الکتروشیمیایی در سال های اخیر به وفور برای تصفیه فاضلاب های صنعتی که دارای اکسیژن خواهی شیمیایی بالا می باشند، به کار گرفته شده است. بنابراین در این مطالعه کارایی فرآیند الکترولیز برای حذف پیراسنجه های اکسیژن خواهی شیمیایی و کل ذرات معلق از فاضلاب صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش بررسی: فاضلاب واحدهای کشمش پاک کنی شهرک صنعتی سهند ملایر با اکسیژن خواهی شیمیایی و کل جامدات معلق به ترتیب برابر با ۲۶۸۵۰ و ۲۳۲۵ میلی گرم در لیتر جمع آوری گردید. فرآیند الکترولیز شامل یک راکتور با حجم ۹ لیتر و متشکل از ۲ نوع الکترود آلومینیوم و استیل بود که بدون کاربرد هرگونه مواد افزودنی به منظور افزایش کارایی تصفیه فاضلاب در ۳ زمان ماند ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و ولتاژهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت انجام یافت. پس از انجام هر آزمایش، پساب خروجی راکتور بررسی و کارایی حذف پیراسنجه ها محاسبه شد.

یافته ها: نتایج بیانگر آن است که کارایی حذف COD و TSS توسط الکترود آلومینیوم به ترتیب برابر با ۸۸/۲۸ و ۹۵/۰۵٪ در زمان ماند ۳۰ دقیقه با ولتاژ ۳۰ ولت و توسط الکترود استیل به ترتیب برابر با ۷۶/۵۴٪ در زمان ماند ۳۰ دقیقه با ولتاژ ۳۰ ولت و ۶۷/۵۳٪ در زمان ماند ۱۰ دقیقه با ولتاژ ۳۰ ولت می باشد.

نتیجه گیری: با استناد به نتایج، تصفیه الکتروشیمیایی به همراه دیگر فرآیندها همچون افزودن الکترولیت ها، می تواند به عنوان ابزاری به منظور کاهش بار آلودگی پساب صنعتی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: صنایع کشمش پاک کنی، فاضلاب، فرآیند الکترو شیمیایی، اکسیژن خواهی شیمیایی، کل جامدات معلق.

۱- * (مسوول مکاتبات): دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران.

۲- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

J.Env. Sci. Tech., Vol 18, Special No.2, Autumn 2016

Evaluation of Efficiency of Electrochemical Process for COD and TSS Removal from Raisin Finishing Wastewater

Soheil Sobhanardakani [1]*
s_sobhan@iauh.ac.ir
Seyed Milad Jafari [2]
Majid Ehteshami [3]

Abstract

Background and Objective: In recent years, biological and chemical processes have been widely used in industrial and municipal wastewater treatment. Electrochemical process is a chemical process used for wastewater treatment. In recent years, this process has been increasingly employed for treatment of many wastewaters, especially for industrial wastewaters with high COD.

Method: The wastewater from raisin-finishing units in Sahand Industrial Town in Malayer with the COD of 26850 mg/L and TSS of 2325 mg/L was collected. Electrolysis process consisted of a reactor with 9 L volume containing two different types of electrodes (Al and stainless steel). The process was conducted without any additives for wastewater treatment enhancing, in three different retention times (10-20 and 30 min) and applied voltages (10, 20 and 30 V). After each experiment, the output wastewater was investigated and the COD removal efficiency was calculated.

Results: Results showed that in retention time of 30 min and applied voltage of 30V, removal efficiencies of COD and TSS using Al electrode were 88.28% and 95.05%, respectively. Moreover, the best removal efficiencies for COD and TSS were found to be 76.54% and 67.53%, which were obtained using stainless steel electrode in retention time of 30 min and applied voltage of 30V in 30 and 10 min respectively.

Conclusion: According to the results, electrochemical treatment along with other processes, such as adding electrolytes, can be used as a tool for reduction of industrial wastewater pollution.

Keywords: Raisin-finishing, wastewater, electrochemical process, COD, TSS

1- Associate Professor Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran. * *(Corresponding Author)*
2- Young Researchers and Elite Club, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.
3- Department of the Environmental Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

مقدمه

توسعه اقتصادی و صنعتی، رشد جمعیت و بالارفتن سطح رفاه عمومی سبب شده که ارکان مهم محیط زیست یعنی آب، خاک و هوا روز به روز با رشد فزاینده‌ای دچار تخریب و نابودی گردد. صنایع غذایی از جمله مهم‌ترین پیشرفت های صنعتی به شمار می‌آید که ارتباط مستقیمی با تهیه غذا و تامین سلامت جامعه دارد (۱). اهمیت و ضرورت تامین غذای سالم موجب می‌گردد تولیدکنندگان مواد غذایی در فرآیندهای تکمیل و بسته بندی محصولات خود از آب بیش‌تری استفاده نمایند و بر همین اساس صنایع غذایی یکی از صنایع با نیاز آبی زیاد تلقی می‌گردد. در نتیجه میزان تولید فاضلاب در این صنایع بالا می باشد (۲). تنوع صنایع غذایی به عنوان یکی دیگر از ویژگی های مهم این دسته از صنایع بوده و بر همین اساس کیفیت و کمیت فاضلاب این قبیل صنایع کاملاً متنوع و متفاوت است (۳). از مشخصات اصلی فاضلاب صنایع غذایی می‌توان به بالا بودن بار آلودگی، بالا بودن روغن و چربی، بالا بودن مواد معلق و نیز بالا بودن کدورت اشاره کرد (۲). کارخانجات صنایع غذایی به دو دسته کارخانجات فصلی و غیرفصلی طبقه‌بندی می‌شود. در کارخانجات فصلی، فرآیند تولید در ماه های خاصی از سال برقرار است، ولی در کارخانجات غیرفصلی فرآیند تولید در تمام فصول سال فعال بوده و تولید فاضلاب نیز تداوم دارد (۴). صنعت کشمش پاک کنی در زمره صنایع فصلی است که فاضلاب تولیدی آن ها دارای بار آلودگی زیاد می باشد. در استان همدان اغلب کارخانجات کشمش پاک کنی در شهرستان ملایر مستقر بوده و شش ماهه دوم سال فعال می باشند (۲). این صنایع عمدتاً فاقد سیستم تصفیه فاضلاب بوده و فاضلاب خام آن ها به طور مستقیم به محیط زیست تخلیه می گردد (۱).

فرآیند انعقاد الکتریکی به لحاظ داشتن ویژگی هایی همچون وسعت عمل برای تصفیه انواع پساب های صنعتی از جمله آب های حاوی زایدات مواد غذایی، زایدات نفتی، رنگ ها، مواد معلق، زایدات صیقل کاری مکانیکی و شیمیایی، شیرابه های لندفیل ها، زایدات معدن و محلول های حاوی فلزات سنگین، طراحی ساده سیستم، هزینه کم راه اندازی و بهره برداری و عدم نیاز به مواد شیمیایی خاص و تولید اندک لجن جانبی یکی از تاثیرگذارترین روش های تصفیه آب و پساب محسوب می شود (۵، ۶). انعقاد الکتریکی فرآیندی است که تغییرات شیمیایی در آن مستلزم اعمال پتانسیل الکتریکی مناسب بین دو یا چند الکترود و انتقال الکترون از میان سطح مشترک محلول و الکترود با استفاده از یک منبع الکتریکی می باشد (۷، ۸). در این فرآیند عامل حذف آلاینده ها با اعمال جریان الکتریکی به الکترودهای صفحه ای شناور در نمونه طی واکنش اکسایش – کاهش تولید می شود (۹).

در فرآیند الکترولیز فلزاتی از قبیل آهن و آلمینیوم معمولاً به عنوان آند استفاده می شوند که با اکسید شدن، هیدروکسیدها، اکسی هیدروکسیدها و هیدروکسیدهای پلیمریک را تولید می کنند (۶). هیدروکسیدهای فلزی شکل گرفته به عنوان منعقدکننده ناخالصی های مایع عمل کرده و حباب های هیدروژن شکل گرفته در سمت کاتد شکل گیری کف را فرآهم می سازد (۱۰). این مواد معمولاً بسیار موثرتر از مواد شیمیایی اضافه شده می باشند و قادر به ناپایدارسازی سوسپانسیون های کلوئیدی و امولوسیون ها هستند (۱۱). از جمله مطالعاتی که تاکنون در این زمینه انجام یافته است می توان به تحقیق مسعودی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) که به بررسی استفاده از فرآیند الکترولیز با جریان پیوسته در حذف کلی فرم های مدفوعی از آب آلوده پرداخته و نتیجه گرفتند که استفاده از فرآیند الکترولیز با جریان پیوسته به عنوان روشی مناسب و با کارایی و سازگاری بالای زیست محیطی می تواند در گندزدایی آب آلوده مورد استفاده قرار گیرد (۱۲)، پژوهش هاشمی و همکاران (۱۳۹۲) که طی آن به بررسی کارایی فرآیند الکترولیز در تصفیه شیرابه حاصل از کارخانه کمپوست اصفهان پرداخته و نتیجه گرفتند که با استفاده از الکترودهای آهن-آهن، آلومینیوم-آلومینیوم و آهن-آلومینیوم کارایی حذف COD در رقت ۰/۱ به ترتیب برابر با ۹۳/۳۶، ۹۵/۱۵ و ۹۴/۰۲٪ و کارایی حذف TSS به ترتیب برابر با ۴۷/۳۰، ۳۷/۴۳ و ۳۹/۸۶٪ و در رقت ۰/۰۱ کارایی حذف COD به ترتیب برابر با ۹۹/۲۸، ۹۹/۳۲ و ۹۹/۴۱٪ و کارایی حذف TSS به ترتیب برابر با ۷۴/۳۲، ۵۸/۷۸ و ۶۵/۹۴٪ می باشد (۱۳)، تحقیق جعفرزاده و دانشور (۱۳۸۵) که به بررسی تصفیه پساب صنایع نساجی حاوی مواد رنگزای بازیک به روش الکترولیز پرداخته و نتیجه گرفتند که با اعمال دانسیته جریان ۹۰-۸۰ آمپر بر مترمکعب و زمان ۸ دقیقه، از غلظت COD و رنگ پساب به ترتیب ۸۲ و ۹۴٪ کاسته می شود (۱۴)، مطالعه Yan و همکاران (۲۰۱۴) که به مطالعه مقایسه ای روش های مختلف الکترولیز به منظور تصفیه پساب پالایشگاه نفت پرداخته و نتیجه گرفتند که با استفاده از ذرات آهن و جریان هوا کارایی حذف COD برابر با ۸۹/۹۱٪ می باشد (۱۵)، پژوهش Bensadok و همکاران (۲۰۱۱) که به بررسی تصفیه پساب لبنی به روش الکترولیز با استفاده از ترکیب سیستم الکترودهای آلومینیوم و تیتانیوم پلاتین پرداخته و نتیجه گرفتند که با اعمال جریان ۰/۵ میلی آمپر بر سانتی متر مربع در مدت زمان ۲ دقیقه، نرخ حذف COD برابر با ۸۰٪ می باشد (۱۶) و تحقیق Avsar و همکاران (۲۰۰۷) که به مقایسه روش های شیمیایی رایج و فرآیند الکترولیز به منظور تصفیه پساب فرآوری گل سرخ پرداخته و نتیجه گرفتند که با استفاده از فرآیند الکترولیز COD و کدورت پساب به ترتیب ۷۹/۸۰ و ۸۱/۴۰٪ کاهش داشته است (۱۷) اشاره کرد (۱۷).

با توجه به اهمیت استفاده از فرآیندهای نوین و موثر در تصفیه فاضلاب های صنعتی، این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی فرآیند الکترولیز به منظور حذف پیراسنجه های COD و TSS از پساب خروجی کارخانجات کشمش پاک کنی انجام یافت.

روش بررسی

مواد و تجهیزات مورد استفاده:

– دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR2500 ساخت شرکت HACH

- دستگاه pH متر مدل SENCEION 1 ساخت شرکت HACH

- ترازوی دیجیتال سارتریوس سری BL210s با دقت ۰/۱ میلی گرم
- آون ۲۵ لیتری ساخت شرکت فاطر الکترونیک
- COD راکتور ساخت شرکت HACH
- پلیت مگنت دار
- کاغذ صافی واتمن ۴۰
- پساب صنایع کشمش پاک کنی به عنوان نمونه حقیقی
- دسیکاتور

روش اجرای فرآیند الکترولیز:

مطالعه حاضر یک مطالعه آزمایشگاهی- کاربردی می باشد که به منظور اجرای آن یک رآکتور آزمایشی در محل آزمایشگاه شهرک صنعتی بوعلی همدان با جریان پیوسته ۰/۳ لیتر در دقیقه احداث و به بررسی تاثیر جریان الکترسیته بر روی حذف آلاینده های پساب صنایع کشمش پاک کنی پرداخته شد. در این تحقیق تاثیر متغیرهای ولتاژ، جنس الکترود و زمان ماند بر کارایی حذف پیراسنجه های COD و TSS مورد بررسی قرار گرفت. در هر بار نمونه برداری با روش دستی میزان ۲۰۰ لیتر پساب با استفاده از بشکه های پلی اتیلنی تیره جمع آوری شد.

ظرفیت رآکتور آزمایشی طراحی شده به ابعاد ۴۰×۲۰×۲۰ سانتی متر از شیشه با ضخامت ۱۰ میلی متر به حجم ۱۶ لیتر در نظر گرفته شد، تا ضمن تامین زمان ماند هیدرولیکی در محفظه الکترولیز، زمان لازم برای جداسازی فازها (برای شناور سازی و ته نشینی) نیز تامین گردد. از کل محفظه رآکتور آزمایشی یک قسمت به عنوان محفظه الکترولیز به حجم ۹ لیتر تا زیر لبه سر ریز در نظر گرفته شد. خروجی سلول الکترولیز نیز به صورت سر ریز وارد محفظه شناورسازی و ته نشینی به حجم ۵ لیتر به شکل ۲ مرحله ای طراحی شد. در مرحله اول با استفاده از یک صفحه با افزایش ارتفاع از سطح ایستایی لخته های شناورشده جداسازی و در مرحله دوم با تعبیه شیر خروجی پایین تر از سطح ایستایی از لخته های ته نشین شده پساب عبوری از محفظه الکترولیز برای انجام آزمایش‌ها نمونه برداری شد (شکل ۱).

الکترودهای استیل و آلومینیوم (۱۸) با ابعاد ۱۵× ۱۵ سانتی متر به طور عمودی به تعداد ۸ عدد با فاصله ۲ سانتی متر از هم قرار داشته و انتهای هر یک به منبع تغذیه برق مستقیم DC با توان ۱۲۰۰۰ وات وصل شد. موقعیت الکترودها به منظور برقراری حداکثر سطح تماس با پساب و دستیابی به کارایی حذف بالاتر، به صورت کاملاً مستغرق در نظر گرفته شد. همچنین به منظور اختلاط فاضلاب از همزن مغناطیسی با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه استفاده شد.

شکل ۱- نمایی از راکتور الکترولیز

Figure 1- Image of the electrolysis reactor

در این پژوهش در مجموع ۴۰ آزمایش (یک آزمایش COD و یک آزمایش TSS قبل از انجام فرآیند الکترولیز و ۱۸ آزمایش بعد از انجام فرآیند به ازای هر جنس الکترود به صورت مجزا) در دامنه ولتاژهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت (۱۹، ۲۰) با آرایش AL-AL و ST-ST در مدت زمان تماس ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه (۲۱، ۲۲) انجام یافت. پس از انجام فرآیند الکترولیز، غلظت COD به روش بسته توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. به این صورت که پس از پایان هر بخش آزمایش، بعد از ۱۵ دقیقه ته نشینی، ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه برداشت و توسط مخلوط کن یکنواخت شد. سپس نمونه یکنواخت شده داخل بشر ۲۵۰ میلی لیتری تخلیه و به وسیله پلیت مگنت دار به سرعت مخلوط شد. در نهایت نیز راکتور COD تا دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد گرم شده و ۰/۲ میلی لیتر از نمونه به داخل ویال تخلیه شد. همچنین در ویال دوم نیز ۲ میلی لیتر آب مقطر به عنوان نمونه شاهد ریخته شد. ویال ها به مدت ۲ ساعت حرارت داده شدند و پس از خاموش کردن راکتور، به مدت ۲۰ دقیقه در دمای حداکثر ۱۲۰ درجه سانتی گراد خنک شدند. پس از سرد شدن ویال ها، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر کالیبره شده با نمونه شاهد، غلظت COD نمونه در طول موج ۴۳۵ نانومتر قرائت شد.

برای محاسبه غلظت TSS نیز از روش وزنی بر اساس الگوی ارایه شده در کتاب استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب استفاده شد (۲۳). بدین منظور کاغذ صافی واتمن شماره ۴۰ را در حرارت ۱۱۰ درجه سانتی گراد داخل آون قرار داده و پس از خنک شدن، وزن اولیه آن با ترازو محاسبه شد. سپس ۵۰ میلی لیتر از نمونه از کاغذ صافی عبور داده شد و کاغذ صافی حاوی مواد معلق مجدداً به مدت ۱۵ تا ۳۰ دقیقه داخل آون ۱۱۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. در نهایت نیز کاغذ صافی را داخل دسیکاتور قرار داده و پس از ۱۰ دقیقه غلظت کل جامدات معلق با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

(۱) =کل ذرات معلق (میلی گرم در لیتر) $[(a-b)\times 1000]/v$ در این رابطه:

a= وزن نهایی کاغذ صافی بر حسب میلی گرم

b= وزن ابتدایی

v= حجم نمونه پساب صاف شده بر حسب میلی لیتر می باشد.پردازش آماری نتایج با ویرایش ۱۸ نرم افزار SPSS انجام یافت. بدین ترتیب که مقایسه کارایی فرآیند در حذف پیراسنجه های مورد ارزیابی در ولتاژها و زمان های تماس مختلف، توسط آزمون تحلیل واریانس یک طرفه (چند دامنه ای دانکن) انجام گرفت.

یافته ها

نتایج اثر نوع الکترود بر کارایی حذف پیراسنجه ها:

بیش‌ترین کارایی حذف COD و TSS متعلق به الکترود آلومینیوم در زمان تماس ۳۰ دقیقه و با ولتاژ ۳۰ ولت به ترتیب برابر با ۸۸/۲۸ و ۹۵/۰۵٪ محاسبه شد. در حالی که کارایی حذف این پیراسنجه ها با تیغه استیل به ترتیب برابر با ۷۶/۵۴٪ در زمان ماند ۳۰ دقیقه با ولتاژ ۳۰ ولت و ۶۷/۵۳٪ در زمان ماند ۱۰ دقیقه با ولتاژ ۳۰ ولت تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج کارایی حذف پیراسنجه ها توسط تیغه های آلومینیوم و استیل

Table 1- The efficiency of aluminium and stainless steel electrodes for removal of COD and TSS from raisin-finishing wastewater

ردیف	زمان (دقیقه)	ولتاژ (ولت)	تیغه	کیفیت فاضلاب خام		نتایج		کارایی حذف پیراسنجه	
				COD (mg/l)	TSS (mg/l)	COD (mg/l)	TSS (mg/l)	COD (%)	TSS (%)
۱	۱۰	۱۰	آلومینیوم	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۵۴۳۰	۷۴۴	۴۲/۵۳	۶۷/۹۶
	۱۰	۲۰	آلومینیوم	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۴۰۲۹	۵۸۴	۴۷/۷۵	۷۴/۸۴
	۱۰	۳۰	آلومینیوم	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۷۷۸۶	۲۸۷	۷۱/۰۰	۸۷/۶۳
۲	۲۰	۱۰	آلومینیوم	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۴۸۱۰	۷۲۱	۴۴/۸۴	۶۸/۹۶
	۲۰	۲۰	آلومینیوم	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۲۲۳۰	۳۸۵	۵۴/۴۵	۸۳/۴۴
	۲۰	۳۰	آلومینیوم	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۶۱۰۳	۲۶۵	۷۷/۲۷	۸۸/۶۰
۳	۳۰	۱۰	آلومینیوم	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۲۲۳۲	۶۹۰	۵۴/۴۴	۷۰/۳۲
	۳۰	۲۰	آلومینیوم	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۵۹۲۰	۲۷۵	۷۷/۹۵	۸۸/۱۷
	۳۰	۳۰	آلومینیوم	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۳۱۴۶	۱۱۵	۸۸/۲۸	۹۵/۰۵
۱	۱۰	۱۰	استیل	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۵۳۳۴	۱۰۳۹	۴۲/۸۹	۵۵/۲۷
	۱۰	۲۰	استیل	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۳۹۰۰	۸۴۲	۴۸/۲۳	۶۳/۷۵
	۱۰	۳۰	استیل	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۸۶۲۹	۷۵۴	۶۷/۸۶	۶۷/۵۳
۲	۲۰	۱۰	استیل	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۵۱۷۰	۱۰۱۹	۴۳/۵۰	۵۶/۱۳
	۲۰	۲۰	استیل	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۱۱۵۰	۹۰۴	۵۸/۴۷	۶۱/۰۸
	۲۰	۳۰	استیل	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۸۵۴۹	۷۹۰	۶۸/۱۶	۶۶/۰۲
۳	۳۰	۱۰	استیل	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۲۰۹۸	۸۶۰	۵۴/۹۴	۶۳/۰۱
	۳۰	۲۰	استیل	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۱۰۰۴۹	۹۳۹	۶۲/۵۷	۵۹/۶۱
	۳۰	۳۰	استیل	۲۶۸۵۰	۲۳۲۵	۶۲۹۹	۹۹۹	۷۶/۵۴	۵۷/۰۳

نتایج اثر ولتاژ بر کارایی حذف پیراسنجه ها

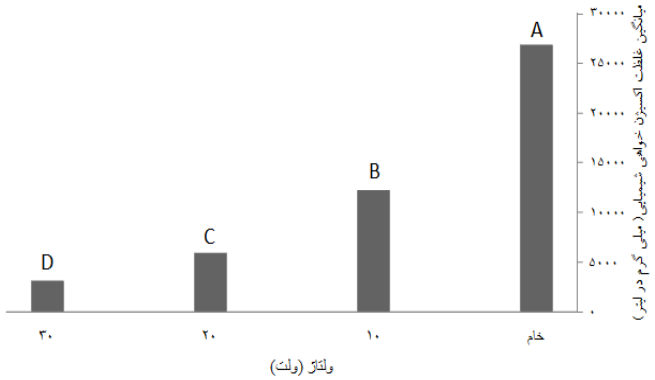
نتایج نشان داد که با افزایش ولتاژ فرآیند الکترولیز، کارایی حذف COD در رآکتور تیغه آلومینیوم، رآکتور تیغه استیل و TSS نمونه ها در رآکتور تیغه آلومینیوم افزایش یافته است. به طوری که کارایی فرآیند حذف این پیراسنجه ها در ولتاژ ۳۰ از نظر آماری بالاتر از ولتاژهای ۱۰ و ۲۰ بوده است (شکل‌های ۲ تا ۴). ولی کارایی حذف TSS در رآکتور تیغه استیل در ولتاژهای ۲۰ و ۳۰ از نظر آماری تفاوت معنی دار با هم نداشته و بالاتر از ولتاژ ۱۰ بوده است (شکل ۵).

نتایج اثر زمان بر کارایی حذف پیراسنجه ها

نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس فاضلاب با تیغه آلومینیوم در رآکتور، کارایی حذف COD و TSS نمونه افزایش یافته است. به طوری که کارایی فرآیند در حذف این پیراسنجه ها در زمان ۳۰ دقیقه بالاتر از زمان های تماس ۱۰ و ۲۰ دقیقه بوده است (شکل‌های ۶ و ۷). همچنین کارایی حذف COD در رآکتور تیغه استیل در زمان های تماس ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه از نظر آماری تفاوت معنی دار نداشته است (شکل ۸). کارایی حذف TSS نیز در رآکتور تیغه استیل در زمان های تماس ۱۰ و ۲۰ دقیقه از نظر آماری تفاوت معنی دار با هم نداشته و بالاتر از زمان تماس ۳۰ دقیقه بوده است (شکل ۹).

نتایج پردازش آماری داده ها

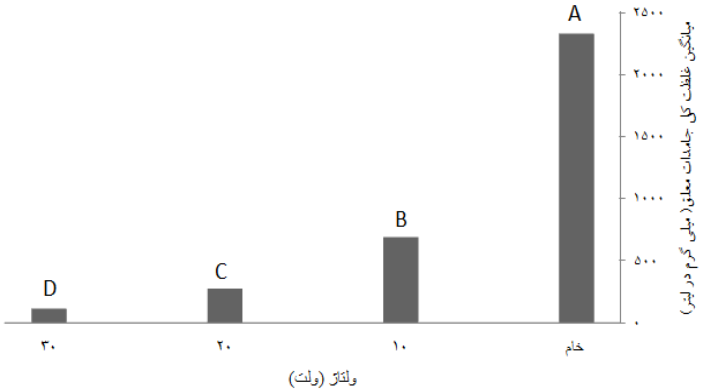
نتایج گروه بندی آماری کارایی فرآیند حذف پیراسنجه های COD و TSS نمونه ها در ولتاژها و زمان های تماس گوناگون با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در شکل‌های ۲ تا ۹ ارایه شده است.



* حروف ارایه شده در نمودار بیانگر وجود یا فقدان وجود اختلاف معنی دار آماری مقادیر پیراسنجه ها در نمونه های مورد مطالعه می باشد.

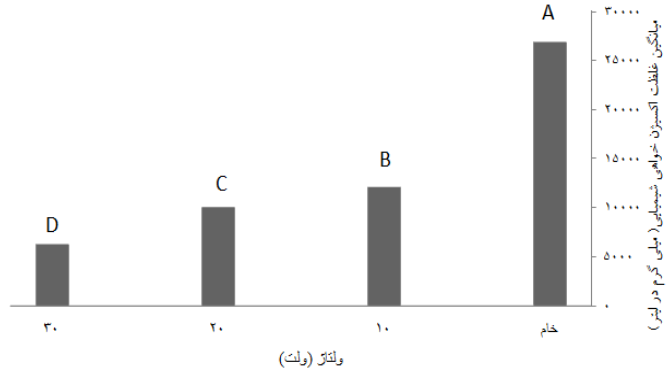
شکل ۲- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف اکسیژن خواهی شیمیایی نمونه مورد مطالعه در ولتاژهای مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه آلومینیوم در زمان تماس ۳۰ دقیقه

Figure 2- Statistical grouping of efficiency of electrolysis process for removal of COD from raisin-finishing wastewater in different voltages comparing with crude wastewater using aluminium electrode at 30 min electrolysis time



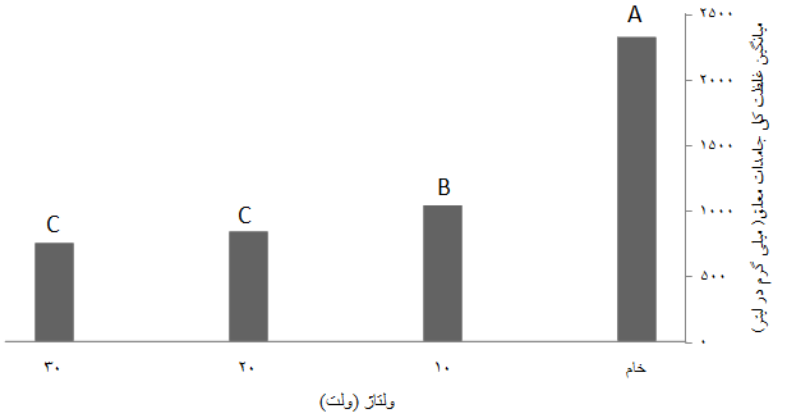
شکل ۳- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف کل جامدات معلق نمونه مورد مطالعه در ولتاژهای مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه آلومینیوم در زمان تماس ۳۰ دقیقه

Figure 3- Statistical grouping of efficiency of electrolysis process for removal of TSS from raisin-finishing wastewater in different voltages comparing with crude wastewater using aluminium electrode at 30 min electrolysis time



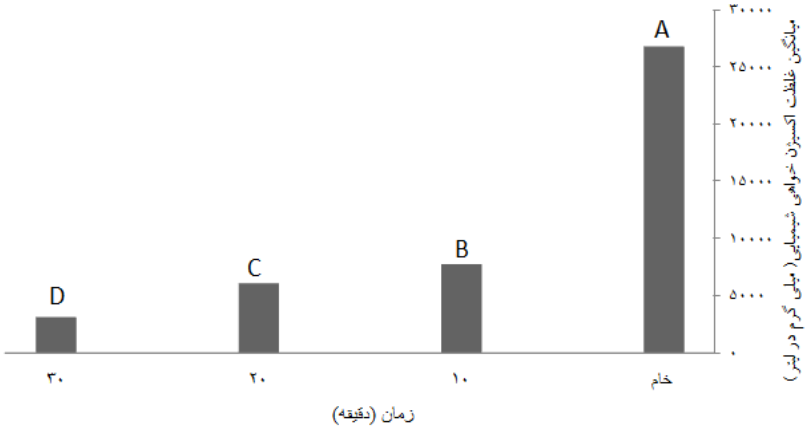
شکل ۴- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف اکسیژن خواهی شیمیایی نمونه مورد مطالعه در ولتاژهای مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه استیل در زمان تماس ۳۰ دقیقه

Figure 4- Statistical grouping of efficiency of electrolysis process for removal of COD from raisin-finishing wastewater in different voltages comparing with crude wastewater using stainless steel electrode at 30 min electrolysis time



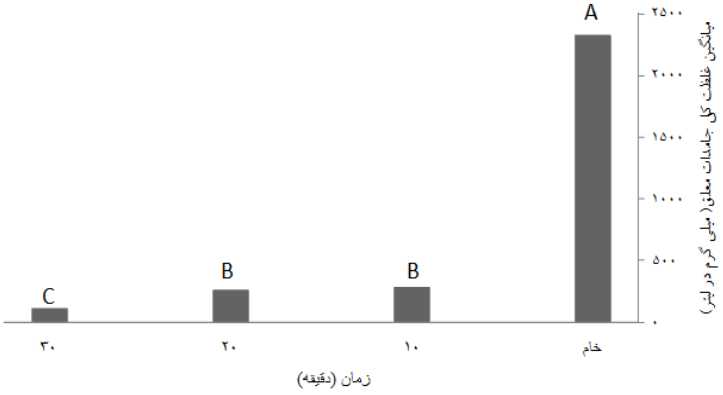
شکل ۵- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف کل جامدات معلق نمونه مورد مطالعه در ولتاژهای مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه استیل در زمان تماس ۱۰ دقیقه

Figure 5- Statistical grouping of efficiency of electrolysis process for removal of TSS from raisin-finishing wastewater in different voltages comparing with crude wastewater using stainless steel electrode at 10 min electrolysis time



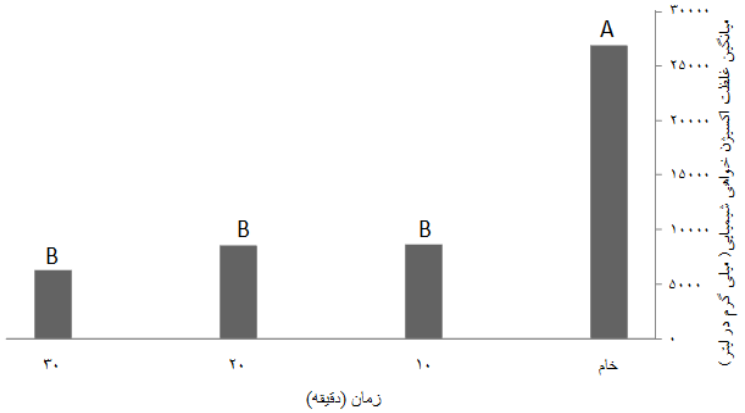
شکل ۶- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف اکسیژن خواهی شیمیایی نمونه مورد مطالعه در زمان های تماس مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه آلومینیوم در ولتاژ ۳۰ ولت

Figure 6- Statistical grouping of efficiency of electrolysis process for removal of COD from raisin-finishing wastewater in different electrolysis times comparing with crude wastewater using aluminium electrode at voltage 30V



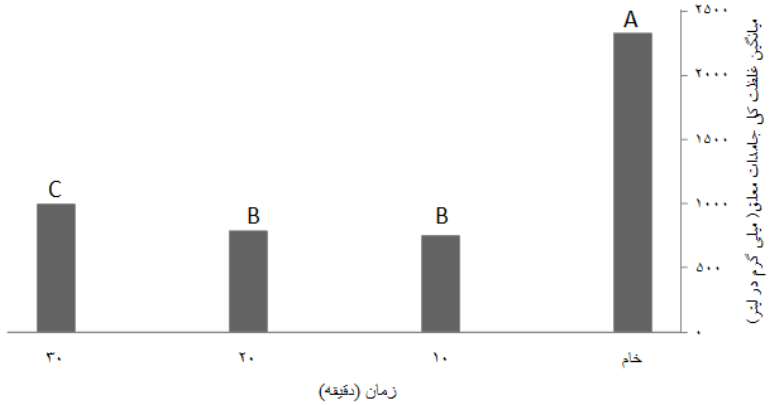
شکل ۷- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف کل جامدات معلق نمونه مورد مطالعه در زمان های تماس مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه آلومینیوم در ولتاژ ۳۰ ولت

Figure 7- Statistical grouping of efficiency of electrolysis process for removal of TSS from raisin-finishing wastewater in different electrolysis times comparing with crude wastewater using aluminium electrode at voltage 30V



شکل ۸- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف اکسیژن خواهی شیمیایی نمونه مورد مطالعه در زمان های تماس مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه استیل در ولتاژ ۳۰ ولت

Figure 8- Statistical grouping of efficiency of electrolysis process for removal of COD from raisin-finishing wastewater in different electrolysis times comparing with crude wastewater using stainless steel electrode at voltage 30V



شکل ۹- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف کل جامدات معلق نمونه مورد مطالعه در زمان های تماس مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه استیل در ولتاژ ۳۰ ولت

Figure 9- Statistical grouping of efficiency of electrolysis process for removal of TSS from raisin-finishing wastewater in different electrolysis times comparing with crude wastewater using stainless steel electrode at voltage 30V

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق کارایی حذف پیراسنجه های COD و TSS پساب کارخانجات کشمش پاک کنی با استفاده از فرآیند الکترولیز بدون هیچ گونه ماده افزودنی بررسی شد. با توجه به نتایج می توان بیان نمود که کارایی حذف پیراسنجه های مورد ارزیابی با نوع الکترود، ولتاژ فرآیند و زمان تماس پساب با تیغه های رآکتور، رابطه مستقیم دارد. به طوری که تیغه آلومینیوم به علت تشکیل کمپلکس هیدروکسید آلومینیوم طی فرآیند الکترولیز از کارایی بیش‌تری در حذف پیراسنجه ها در مقایسه با تیغه استیل برخوردار می باشد که این موضوع با یافته های پژوهش آذریان و همکاران (۱۳۸۶) که نسبت به بررسی حذف COD و TSS از پساب با استفاده از فرآیند الکترولیز توسط رآکتور آلومینیوم و استیل اقدام کردند (۲۴) و El-Nass و همکاران (۲۰۰۹) که با استفاده از رآکتورهای حاوی الکترودهای آهن، آلومینیوم و استیل به حذف آلاینده های پساب صنایع پتروشیمی اقدام کرده و عنوان نمودند که کارایی تیغه آلومینیوم ۲/۵ برابر سایر الکترودهای مورد ارزیابی می باشد (۲۵)، مطابقت دارد.

نتایج بیانگر آن بود که کارایی حذف پیراسنجه های مورد ارزیابی در هر یک از رآکتورهای تیغه آلومینیوم و استیل به دلیل احیای ترکیبات آلی در کاتد، اکسیدشدن و افزایش انحلال آن ها در آند که باعث افزایش ترکیبات کاتیونی هیدروکسی شده، خنثی سازی بار روی سطح آلودگی و افزایش نیروی جاذبه بین آن ها می شود و تبدیل این ترکیبات به مولکول های کوچک‌تر که منجر به افزایش سرعت لخته سازی می شود (۲۰، ۲۶، ۲۷)، با افزایش ولتاژ رابطه مستقیم دارد. این موضوع با یافته های پژوهش Drouichen و همکاران (۲۰۰۹) که به بررسی حذف فلوراید از فاضلاب با استفاده از الکترودهای آلومینیوم پرداختند (۲۸) و رحمانی و سمرقندی (۱۳۸۶) که به ارزیابی

کارایی روش الکترولیز در حذف COD از پساب اقدام نمودند، مطابقت دارد (۱۸).

نتایج نشان داد که زمان ماند از عوامل تاثیرگذار در کارایی فرآیند الکترولیز می باشد (۱۱). در طی فرآیند الکترولیز، یون های آزاد شده بار ذرات را خنثی نموده و به این ترتیب فرآیند انعقاد شکل می گیرد. بدین ترتیب با افزایش زمان الکترولیز، غلظت یون های تولیدی افزایش یافته و در نتیجه لخته های هیدروکسید افزایش می یابد. به بیان دیگر، کارایی حذف، ارتباطی مستقیم با غلظت یون های تولیدی در الکترودها دارد (۱۸، ۲۰، ۲۸). این موضوع با یافته های پژوهش تکدستان و همکاران (۱۳۹۰) که به بررسی کارایی فرآیند الکترولیز در حذف کدورت، COD و فسفات از پساب کارواش پرداختند، مطابقت دارد (۲۹). همچنین می توان به تشابه موجود بین یافته های این پژوهش با دستاورد سایر مطالعات نیز (۸، ۳۰، ۳۱) اشاره کرد.

با توجه به این که بالاترین کارایی حذف پیراسنجه های COD و TSS در ولتاژ ۳۰ در مدت زمان ۳۰ دقیقه در رآکتور تیغه آلومینیوم به ترتیب ۸۸/۲۸ و ۹۵/۰۵٪ گزارش شد، بنابراین می توان اذعان نمود که فرآیند الکترولیز علی رغم مصرف انرژی بیش‌تر در مقایسه با سایر فناوری ها، با در نظر گرفتن مزایایی از قبیل جنبه‌های بهداشتی و زیست محیطی مطلوب، کارایی بالا در حذف انواع آلاینده‌ها از آب و فاضلاب و سایر مزایای آن، به ویژه به منظور تصفیه فاضلاب هایی با غلظت بالای انواع آلاینده‌های شیمیایی، سنتتیک و سمی که دارای اثر بازدارندگی بر فعالیت زیستی میکروارگانیزم‌ها می‌باشد، و همچنین در محل‌هایی که عملاً کاربرد فرآیندهای تصفیه زیستی به لحاظ وجود این گونه آلاینده‌ها با محدودیت های زیادی روبه رو است، مطلوب و از درجه اهمیت بالایی برخوردار است.

تشکر و قدردانی

از مدیریت شرکت شهرک های صنعتی استان همدان بابت کمک های مالی و فراهم نمودن امکانات لازم به منظور انجام این تحقیق قدردانی می شود.

منابع

۱- اسدی، ایرج. "بررسی کمی و کیفی فاضلاب صنایع بسته بندی و کشمش پاک کنی (مطالعه موردی: شرکت شبنم صحرا)". پایان نامه کارشناسی ارشد علوم محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده محیط زیست و انرژی، ۱۳۸۷؛ ۱۲۱ صفحه.

۲- ریاحی خرم، مهدی.، نافع، مینو و هاشمی، مرضیه (۱۳۸۸). "بررسی کیفیت فاضلاب صنایع بسته بندی و کشمش پاک کنی در شهرستان ملایر". دوازدهمین همایش بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، ۱۰ صفحه.

۳- منزوی، محمد تقی (۱۳۷۶). "فاضلاب شهری: جمع آوری فاضلاب". جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۰۴ صفحه.

۴- مسافری، محمد (۱۳۸۲). "اصول مدیریت و تصفیه فاضلاب صنایع غذایی". انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۰۴ صفحه.

5- Mollah, M.Y., Schennach, R., Parga, J.R., Cocke, D.L., 2001. "Electrocoagulation (EC) – science and applications". Journal of Hazardous Materials, 84, 29-41.

6- Xu, X., Zhu, X., 2004. "Treatment of refectory oily wastewater by electro-coagulation process". Chemosphere, 56, 889-894.

7- Holt, P., Barton, G., Mitchell, C., 2005. "The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology". Chemosphere, 85, 355-367.

8- Daneshvar, N., Oladegaragoze, A., Jafarzadeh, N., 2006. "Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: Investigation of the effect of operational parameters". Journal of Hazardous Materials, 129, 116-122.

9- Parga, J.R., Cocke, J.L., Valenzuela, J.L., Gomes, J.A., Kesmez, M., Irvin, G., Moreno, H., Weir, M., 2005. "Arsenic removal via electrocoagulation from heavy metal contaminated groundwater in La Comarca Lagunera Mexico". Journal of Hazardous Materials, 124, 247-254.

10- Khemis, M., Tanguy, G., Leclerc, J.P, Valentin, G., Lapicque, F., 2005. "Electrocoagulation for the treatment of oil suspensions: relation between the rates of electrode reactions and the efficiency of waste removal". Process Safety Environmental Protection, 83, 50-57.

۱۱- موسوی، غلامرضا.، خسروی، رسول و فرزاد کیا، مهدی (۱۳۹۰). "بررسی اثر فرآیند انعقاد الکتریکی با الکترود های آهن و استیل بر روی حذف ترکیبات نفتی از آب های زیر زمینی". مجله سلامت و بهداشت اردبیل، دوره ۲، شماره ۳، صفحات ۳۳-۲۵.

۱۲- مسعودی نژاد، محمدرضا.، مظاهری تهرانی، اشرف.، قنبری، فرشید و میر شفیعیان، سیمین دخت (۱۳۹۳). "بررسی استفاده از فرآیند الکترولیز با جریان پیوسته در حذف کلی فرم های مدفوعی از آب آلوده". مجله دانشگاه علوم پزشکی اراک، دوره ۱۷، شماره ۳، صفحات ۶۴-۵۶.

۱۳- هاشمی، حسن.، علی پور سامانی، الهام.، امین، محمد مهدی و بینا، بیژن (۱۳۹۲). "بررسی کارایی فرآیند الکتروکوآگولاسیون در تصفیه شیرابه حاصل از کارخانه کمپوست اصفهان". تحقیقات نظام سلامت، دوره ۹، شماره ۹، صفحات ۹۷۸-۹۶۹.

۱۴- جعفر زاده، نادر و دانشور، نظام الـدین (۱۳۸۵). "تصـفیه پسـاب نساجی حاوی مواد رنگزای بازیک به روش انعقاد الکتریکی". آب و فاضلاب، دوره ۱۷، شماره ۵۷، صفحات ۲۹-۲۲.

15- Yan, L., Wang, Y., Li, J., Ma, H., Liu, H., Li, T., Zhang, Y., 2014. “Comparative study of different electrochemical methods for petroleum refinery wastewater treatment”. Desalination, 341, 87-93.

16- Bensadok, K., El Hanafi, N., Lapicque, F., 2011. “Electrochemical treatment of dairy effluent using combined Al and Ti/Pt electrodes system”. Desalination, 280, 244-251.

17- Avsar, Y., Kurt, U., Gonullu, T., 2007. “Comparison of classical chemical and electrochemical processes for treating rose processing wastewater”. Journal of Hazardous Materials, 148, 340-345.

۱۸- رحمـانی، علیرضـا و سـمرقندی، محمدرضـا (۱۳۸۶). "بررسـی کارآیی روش الکتروشیمیایی در حذف COD از پسـاب". آب و فاضلاب، دوره ۱۸، شماره ۶۴، صفحات ۱۵-۹.

19- Fytianos, K., Sakalis, A., Nickel, U., Voulgaropoulos, A., 2006. “A comparative study of platinised titanium and niobe/synthetic diamond as anodes in the electrochemical treatment of textile wastewater”. Chemical Engineering Journal, 119, 127-133.

۲۰- محوی، امیرحسین.، ابراهیمی، سید جمال الدین.، نوری، جعفـر.، واعظی، فروغ و ابراهیم زاده، لیلا (۱۳۸۶). "بررسی کـارایی روش الکترولیز در حذف فسفر از پساب تصـفیه خانـه‌هـای فاضـلاب". مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، دوره ۱۲، شماره ۲، صفحات ۴۵-۳۶.

21- Benhadji, A., Taleb Ahmed, M., Maachi, R., 2011. “Electrocoagulation and effect of cathode materials on the removal of pollutants from tannery wastewater of Rouïba”. Desalination, 277, 128-134.

22- Lafi, W.K., 2008. Electrocoagulation treatment of wastewater from paper industry, Recent Researches in Energy, Environment, Devices, Systems, Communications and Computers. Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering Technology, Al-Balqa Applied University., Jordan, 9 p.

23- American Public Health Association (APHA). , 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed. Washington, DC.

۲۴- آذریان، قاسم.، کیمیایی طلب، علیرضا.، مصـداقی نیـا، علیرضـا و واعظی، فروغ (۱۳۸۶). "بررسـی حـذف مـواد معلـق و COD از پساب توسط فرآیند الکترولیز". دهمین همـایش ملـی بهداشـت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ۸ صفحه.

25- El-Naas, M.H., Al-Zuhair, S., Al-Lobaney, A., Makhlouf, S., 2009. “Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleum refinery wastewater”. Journal of Environmental Management, 91, 180-5.

26- Parama, K.S., Balasubramanian, N., Srinivasakannan, C., 2009. “Decolorization and COD reduction of paper industrial effluent using electro-coagulation”. Chemical Engineering Journal, 151, 97-104.

۲۷- رحمانی، علیرضا و سمرقندی، محمدرضا (۱۳۸۸). "کارایی روش الکتروکواگولاسیون در حذف رنگ اریوکروم بلاک تی از پسـاب". آب و فاضلاب، دوره ۲۰، شماره ۱، صفحات ۵۷-۵۲.

28- Drouichen, N., Aoudj, S., Hecini, M., Ghaffour, N., Lounici, H., Mameri, N., 2009. “Study on the treatment of photovoltaic wastewater using electorcoagulation fluoride removal with aluminium electrodes characteristics of products”. Journal of Hazardous Materials, 169, 65-69.

۲۹- تکدستان، افشین.، عظیمی، علی اکبر و سـالاری، ژیـلا (۱۳۹۰). "بررسی کارایی اسـتفاده از فرآینـد انعقـاد الکتریکـی در حـذف کدورت، COD، دترجنت و فسـفات از پسـاب کـارواش". آب و فاضلاب، دوره ۲۲، شماره ۳، صفحات ۲۵-۱۹.

30- Daneshvar, N., AshassiSorkhabi, H., Tizpar, A., 2003. “Decolorization of orange II by electrocoagulation method”. Separation and Purification Technology, 31, 153-162.

31- 31. Kobya, M., Can, O.T., Bayramoglu, M., 2003. “Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes”. Journal of Hazardous Materials, 100, 163-178.