

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

سهیل سبحان اردکانی<sup>۱\*</sup>

[s\\_sobhan@iauh.ac.ir](mailto:s_sobhan@iauh.ac.ir)

سیدمیلاذ جعفری<sup>۲</sup>

مجید احتشامی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱۳

### 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 الکتروآلومینیوم 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 الکتروآلومینیوم به ترتیب برابر با ۸۸/۲۸ و ۹۵/۰۵٪ در زمان ماند ۳۰ دقیقه با ولتاژ ۳۰ ولت و توسط الکتروآلومینیوم 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.

**واژه های کلیدی:** صنایع کشمش پاک کنی، فاضلاب، فرآیند الکتروشیمیایی، اکسیژن خواهی شیمیایی، کل جامدات معلق.

۱- \* (مسئول 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.

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

**Soheil Sobhanardakani** <sup>1\*</sup>

*s\_sobhan@iauh.ac.ir*

**Seyed Milad Jafari** <sup>2</sup>

**Majid Ehteshami** <sup>3</sup>

### **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 بالا رفتن 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 پیشرفت‌های 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 می‌باشد (۲). تنوع صنایع غذایی به عنوان یکی دیگر از ویژگی‌های 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 (۴). کارخانجات صنایع غذایی به دو دسته کارخانجات فصلی و غیرفصلی طبقه‌بندی می‌شود. در کارخانجات فصلی، فرآیند تولید در ماه‌های 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 آن‌ها دارای بار آلودگی زیاد می‌باشد. در استان همدان اغلب کارخانجات کشمش پاک کنی در شهرستان ملایر مستقر بوده و شش ماهه دوم سال فعال می‌باشند (۲). این صنایع عمدتاً فاقد سیستم تصفیه فاضلاب بوده و فاضلاب خام آن‌ها به طور مستقیم به محیط زیست تخلیه می‌گردد (۱).

فرآیند انعقاد الکتریکی به لحاظ داشتن ویژگی‌هایی همچون وسعت عمل برای تصفیه انواع پساب‌های صنعتی از جمله آب‌های حاوی زایدات مواد غذایی، زایدات نفتی، رنگ‌ها، مواد معلق، زایدات صیقل کاری مکانیکی و شیمیایی، شیرابه‌های لندفیل‌ها، زایدات معدن و محلول‌های حاوی فلزات سنگین، طراحی ساده سیستم، هزینه کم راه‌اندازی و بهره‌برداری و عدم نیاز به مواد شیمیایی خاص و تولید اندک لجن جانبی یکی از تاثیرگذارترین روش‌های تصفیه آب و پساب محسوب می‌شود (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 می‌باشد (۷، ۸). در این فرآیند عامل حذف‌آلاینده‌ها با اعمال جریان الکتریکی به الکترودهای صفحه‌ای شناور در نمونه طی واکنش اکسایش - کاهش تولید می‌شود (۹).

در فرآیند الکترولیز فلزاتی از قبیل آهن و آلومینیوم معمولاً به عنوان آند استفاده می‌شوند که با اکسید شدن، هیدروکسیدها، اکسی هیدروکسیدها و هیدروکسیدهای پلیمریک را تولید می‌کنند (۶). هیدروکسیدهای فلزی شکل گرفته به عنوان منعقدکننده ناخالصی‌های مایع عمل کرده و حباب‌های هیدروژن شکل گرفته در سمت کاتد شکل‌گیری کف را فراهم می‌سازد (۱۰). این مواد معمولاً بسیار موثرتر از مواد شیمیایی اضافه شده می‌باشند و

قادر به ناپایداری‌سازی سوسپانسیون‌های کلونیدی و امولسیون‌ها هستند (۱۱). از جمله مطالعاتی که تاکنون در این زمینه انجام یافته است می‌توان به تحقیق مسعودی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) که به بررسی استفاده از فرآیند الکترولیز با جریان پیوسته در حذف کلی فرم‌های 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 زیست‌محیطی می‌تواند در گندزدایی آب آلوده مورد استفاده قرار گیرد (۱۲). پژوهش‌های 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 ۹۵/۱۵، ۹۳/۳۶ و ۹۴/۰۲٪ و کارایی حذف TSS به ترتیب برابر با ۴۷/۳۰، ۳۷/۴۳ و ۳۹/۸۶٪ و در رقت ۰/۱ کارایی حذف COD به ترتیب برابر با ۹۳/۲۸، ۹۳/۳۲ و ۹۹/۴۱٪ و کارایی حذف TSS به ترتیب برابر با ۷۴/۳۲، ۵۸/۷۸ و ۶۵/۹۴٪ می‌باشد (۱۳). تحقیق جعفرزاده و دانشور (۱۳۸۵) که به بررسی تصفیه پساب صنایع نساجی حاوی مواد رنگزای بازیگ 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 می‌شود (۱۴). مطالعه Yan و همکاران (۲۰۱۴) که به مطالعه مقایسه‌ای روش‌های 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٪ می‌باشد (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٪ می‌باشد (۱۶) و تحقیق Avsar و همکاران (۲۰۰۷) که به مقایسه روش‌های 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 فاضلاب‌های صنعتی، این پژوهش با هدف ارزیابی کارایی فرآیند الکترولیز به منظور حذف پیراسنجه‌های 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

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 راکتور 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 شناور سازی 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 شناور شده 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 آزمایش ها 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.

- 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 راکتور 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 الکترودها 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 راکتور آزمایشی طراحی شده به ابعاد ۴۰×۲۰×۲۰ سانتی متر از



شکل ۱- نمایشی از راکتور الکترولیز

Figure 1- Image of the electrolysis reactor

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 اسپکتروفوتومتر 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 آزمایش های 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.

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 الکترودها 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 اسپکتروفوتومتر 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

(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 و 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

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

نتایج اثر زمان بر کارایی حذف پیراسنجه ها

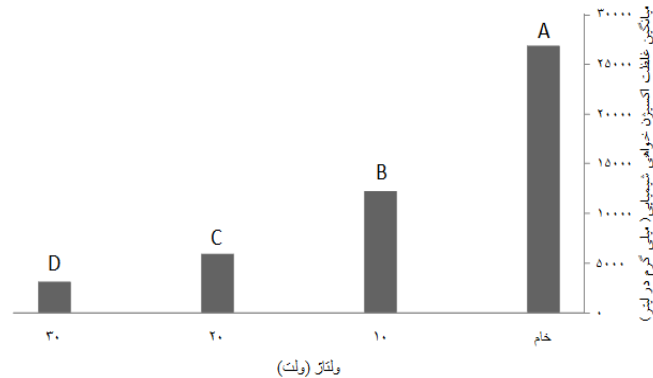
نتایج نشان داد که با افزایش زمان تماس فاضلاب با تیغه آلومینیوم در رآکتور، کارایی حذف COD و TSS نمونه افزایش یافته است. به طوری که کارایی فرآیند در حذف این پیراسنجه ها در زمان ۳۰ دقیقه بالاتر از زمان های تماس ۱۰ و ۲۰ دقیقه بوده است (شکل های ۶ و ۷). همچنین کارایی حذف COD در رآکتور تیغه استیل در زمان های 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 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 (شکل های 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 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 شکل های ۲ تا ۹ ارایه شده است.

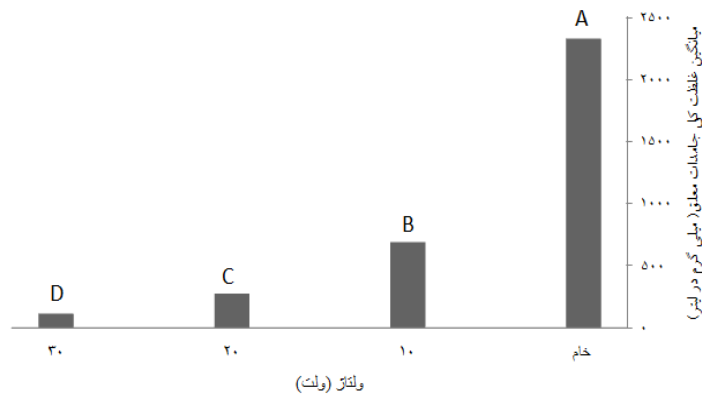
نتایج پردازش آماری داده ها



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

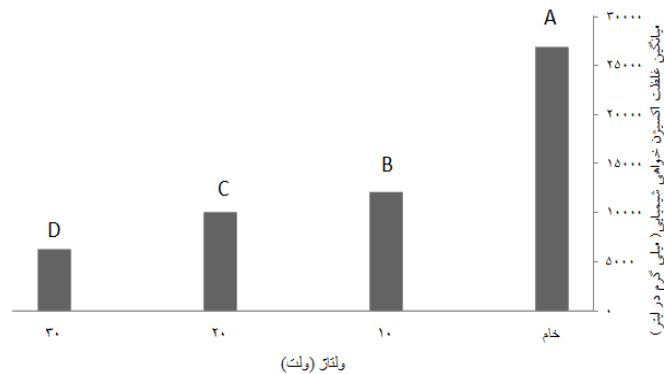
شکل ۲- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف اکسیژن خواهی شیمیایی نمونه مورد مطالعه در ولتاژهای مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه آلومینیوم در زمان تماس ۳۰ دقیقه

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



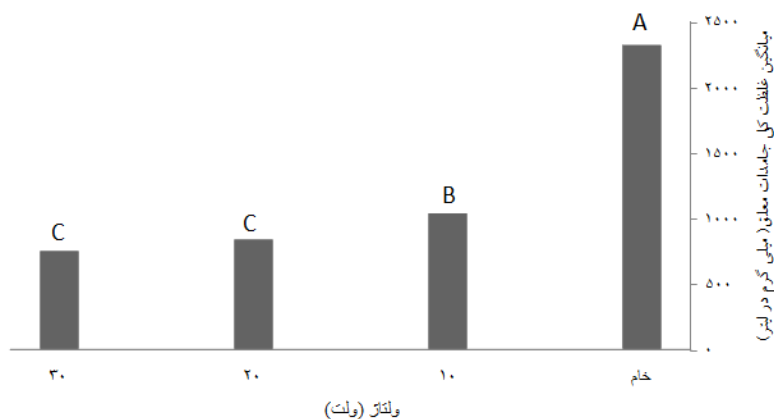
شکل ۳- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف کل جامدات معلق نمونه مورد مطالعه در ولتاژهای مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه آلومینیوم در زمان تماس ۳۰ دقیقه

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



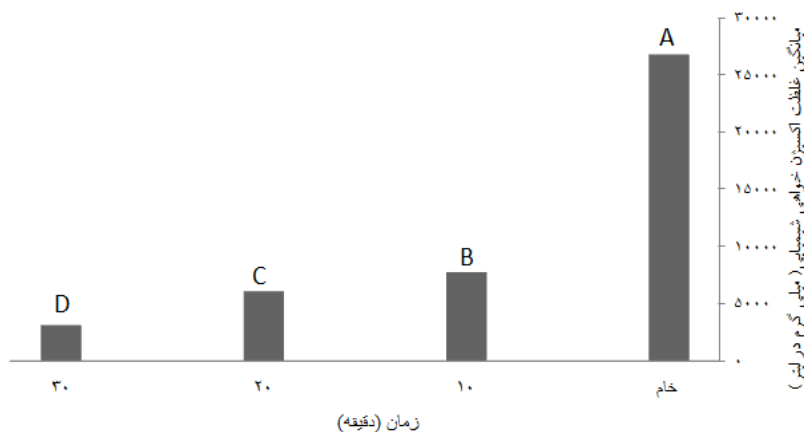
شکل ۴- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف اکسیژن خواهی شیمیایی نمونه مورد مطالعه در ولتاژهای مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه استیل در زمان تماس ۳۰ دقیقه

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



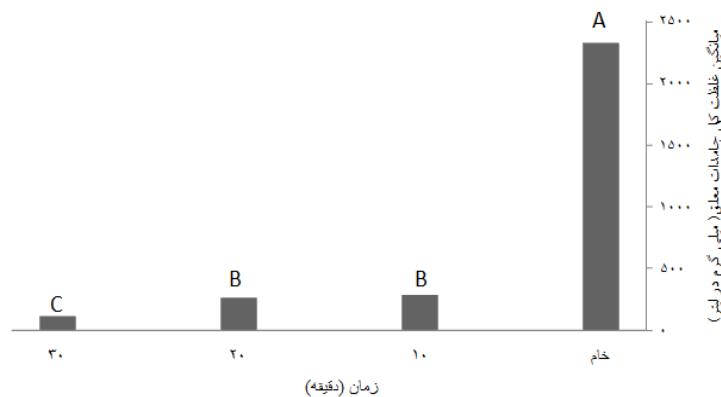
شکل ۵- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف کل جامدات معلق نمونه مورد مطالعه در ولتاژهای مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه استیل در زمان تماس ۱۰ دقیقه

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



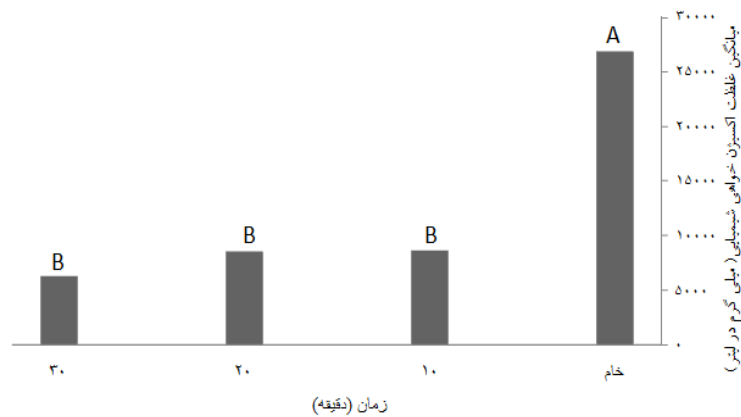
شکل ۶- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف اکسیژن خواهی شیمیایی نمونه مورد مطالعه در زمان های تماس مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه آلومینیوم در ولتاژ ۳۰ ولت

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



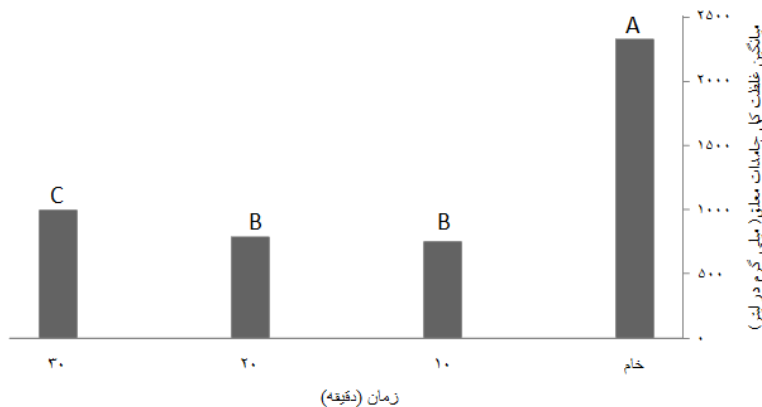
شکل ۷- گروه بندی آماری کارایی فرآیند الکترولیز در حذف کل جامدات معلق نمونه مورد مطالعه در زمان های تماس مختلف در مقایسه با فاضلاب خام توسط راکتور تیغه آلومینیوم در ولتاژ ۳۰ ولت

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

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 راکتورهای 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

در این تحقیق کارایی حذف پیراسنجه های COD و TSS پساب کارخانجات کاشمش 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 راکتور، رابطه مستقیم دارد. به طوری که تیغه آلومینیوم به علت تشکیل کمپلکس هیدروکسید آلومینیوم طی فرآیند الکترولیز از کارایی بیش تری 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 راکتور آلومینیوم و استیل اقدام کردند (۲۴) و El-Nass و همکاران (۲۰۰۹) که با استفاده از راکتورهای حاوی الکترودهای آهن، آلومینیوم و استیل به حذف آلاینده های پساب صنایع پتروشیمی اقدام کرده و عنوان نمودند که کارایی



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 refractory 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., Lopicque, 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 الکتروده 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 الکتروکواگولاسیون در تصفیه شیرابه حاصل از کارخانه کمپوست اصفهان". *تحقیقات نظام سلامت*، دوره ۹، شماره ۹، صفحات ۹۷۸-۹۶۹.

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 ادعا نمود که فرآیند الکترولیز علی رغم مصرف انرژی بیش تر در مقایسه با سایر فناوری ها، با در نظر گرفتن مزایایی از قبیل جنبه های بهداشتی و زیست محیطی مطلوب، کارایی بالا در حذف انواع آلاینده ها از آب و فاضلاب و سایر مزایای آن، به ویژه به منظور تصفیه فاضلاب هایی با غلظت بالای انواع آلاینده های شیمیایی، سنتتیک و سمی که دارای اثر بازدارندگی بر فعالیت زیستی میکروارگانیسم ها می باشد، و همچنین در محلهایی که عملاً کاربرد فرآیندهای تصفیه زیستی به لحاظ وجود این گونه آلاینده ها 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.

- 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، مصدافی نیا، علیرضا و واعظی، فروغ (۱۳۸۶). "بررسی حذف مواد معلق و COD از پساب توسط فرآیند الکترولیز". دهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، ۸ صفحه.
- 25- El-Naas, M.H., Al-Zuhair, S., Al-Lobaney, A., Makhlof, 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 پساب". 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- نکدستان، افشین، عظیمی، علی اکبر و سالاری، ژیل (۱۳۹۰). "بررسی کارایی استفاده از فرآیند انعقاد الکتریکی در حذف کدورت، COD، دترجنت و فسفات از پساب کارواش". 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.
- ۱۴- جعفر زاده، نادر و دانشور، نظام الدین (۱۳۸۵). "تصفیه پساب نساجی حاوی مواد رنگزای بازیگ 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., Lopicque, 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- رحمانی، علیرضا و سمرقندی، محمدرضا (۱۳۸۶). "بررسی کارایی روش الکتروشیمیایی در حذف COD از پساب". 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، جعفر، واعظی، فروغ و ابراهیم زاده، لیلیا (۱۳۸۶). "بررسی کارایی روش الکترولیز در حذف فسفر از پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب". 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.