

## تصفیه فاضلاب آلوده و حاوی رنگ زیاد صنایع به روش تلفیقی الکتروشیمیایی – تابش اشعه گاما

سید محمد موسویان<sup>۱</sup>، عباس رضایی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط - دانشگاه تربیت مدرس، ۲- عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده

این تحقیق به منظور رسیدن به شرایط بهینه برای دو روش جدید تصفیه فاضلاب یعنی الکتروکواگولاسیون (ناپایدارسازی ذرات در فاضلاب صنایع) و الکتروشیمیایی (اکسیداسیون القایی توسط واکنشهای فنتون) و همچنین در مورد کارایی روش تلفیقی شامل تصفیه به روش الکتروشیمیایی و تابش اشعه گاما انجام گرفته است. ترکیب فاضلاب بکار رفته در این آزمایش دارای COD ۳۴۰۰ میلی گرم در لیتر، رنگی معادل ۳۷۵۰ واحد پلاتین/کبالت و کلیفرم مدفوعی  $MPN/ml$  ۲۱۰۰۰ می باشد. بهترین کارایی حذف، با روش اکسیداسیون الکتروشیمیایی بدست آمد که توانست حدود ۷۸ درصد COD، ۸۶ درصد رنگ و ۹۹/۹ درصد کلیفرمهای مدفوعی را حذف نماید. تابش اشعه گاما با دوزهای مختلف برای تکمیل فرایند تصفیه بعد از اکسیداسیون الکتروشیمیایی مورد استفاده قرار گرفت. منبع انتخاب شده برای این تابش کبالت ۶۰ بود که راندمان حذف COD ۹۵ درصد، ۹۰ درصد برای رنگ و ۹۹/۹ درصد برای کلیفرمهای مدفوعی بود.

**کلمات کلیدی:** تصفیه فاضلاب صنایع، الکتروکواگولاسیون، پرتودهی

### مقدمه

رنگ زدایی از فاضلاب یکی از مشکلات اصلی کارخانه‌ها محسوب می‌شود و تلاشهای بسیار زیادی برای حل این مسئله انجام و روشهای متنوعی برای رفع مشکل رنگ پیشنهاد شده است. رنگ تنها مشکل فاضلاب صنایع نساجی نبوده، بلکه صنایعی همچون روغن نباتی، چرمسازی و غیره را در بر می‌گیرد. هرچند که ممکن است که غلظت رنگ در این واحدها از ۱ ppm کمتر باشد اما با این حال با چشم قابل رویت بوده و درجه شفافیت جریان خروجی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. همچنین رنگ و کدورت بالا در فاضلاب خروجی باعث جذب نور خورشید شده که متعاقب آن گیاهان از بین خواهند رفت و اکوسیستم آبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تماس تدریجی با این عوامل سبب افزایش اثرات سرطان زایی خواهد شد.

رنگ زدایی از آب را می‌توان با چند روش فیزیکی-شیمیایی و بیولوژیکی انجام داد. روش اکسیداسیون پیشرفته<sup>۱</sup> نظیر  $TiO_2/H_2O_2$ ،  $UV/H_2O_2$ ، تابش آلفا و بتا و تابش صوتی<sup>۲</sup> از جمله این روشهاست که در سالهای اخیر برای رفع آلودگی از فاضلاب مور توجه قرار گرفته است. روشهای ازناسیون، تابش اشعه UV و کلراسیون برای تصفیه فاضلابهایی که دارای ناخالصی‌های زیادی نیستند بکار می‌روند.

بتازگی روشهای الکتروشیمیایی مطرح شده نه تنها رنگ بلکه همزمان COD، BOD، مواد معلق جامد و فلزات سنگین را از فاضلاب حذف می‌کنند. روشهای الکترو شیمیایی از فرایندهای انعقاد برای حذف رنگ و تیرگی استفاده می‌کنند. در این خصوص مشاهده شده است که فرایند الکتروشیمیایی لخته‌های سنگین را ایجاد

<sup>۱</sup> - advanced oxidation

<sup>۲</sup> - sonic radiation

می‌کند که این لخته‌ها براحتی ته نشین می‌شوند و در نتیجه راندمان بالایی را در زلالسازی فاضلاب خواهیم داشت. این روش به علت انعطاف‌پذیری و سازگاری با محیط امکان تصفیه مایعات، جامدات و گازها را فراهم می‌کند. استفاده از تابش گاما در تصفیه فاضلاب توجه زیادی در سراسر دنیا به خود جلب کرده است زیرا این روش را می‌توان برای تصفیه مواد آلی که به سختی با روش بیولوژیکی تجزیه می‌شوند بکار برد، و محصولات جانبی تولید نکرده و هیچگونه اثری از آلودگی بعد از تجزیه نهایی در فاضلاب بجای نمی‌گذارد و بعلاوه در از بین بردن باکتریها خیلی موثر عمل می‌کند. تلفیق روش های الکتروکواگولاسیون و الکترواکسیداسیون با تابش پرتو به عنوان مرحله زلالسازی یک روش مطمئن در تصفیه فاضلاب به نظر می‌رسد. امید آن می‌رود که در آینده بطور گسترده مورد استفاده قرار گیرد.

## روش ها

در این مطالعه از راکتور الکتروشیمیایی آهن استفاده شد که به شکل استوانه‌ای بوده و الکترودهایی با سطحی معادل  $461/82$  سانتی متر مربع در آن تعبیه شده بود. میزان حجم فاضلاب تصفیه شده در این راکتور در هر مرتبه آزمایش  $5 \text{ dm}^3$  و میزان جریان الکتریسته لازم  $9$  ولت و  $5$  آمپر بود. نمونه‌های فاضلاب با سه روش زیر مورد تصفیه قرار گرفتند:

۱- الکتروکواگولاسیون: در این نوع تصفیه، فاضلاب به مخزن راکتور اضافه شد و بعد از عمل الکترودها و طی شدن زمان مقتضی، نمونه‌هایی برای تعیین عملکرد الکتروکواگولاسیون برداشته شد و در نهایت pH با هیدروکسید کلسیم در  $10$  تنظیم گردید.

۲- الکترواکسیداسیون: مخزن راکتور با نمونه‌های معینی از فاضلاب صنایع پرگردیده و pH توسط اسید سولفوریک در  $3$  تنظیم و سپس  $1$  مول  $\text{H}_2\text{O}_2$  برای تولید عوامل الکتروفنتون اضافه می‌شد. شدت جریان در این مرحله  $5$  آمپر و اختلاف پتانسیل برابر  $7$  ولت بود. نمونه‌ها در رمانهای مشخص برای تعیین کارایی این روش برداشته شدند. در پایان کار تصفیه pH در محدوده  $8-7$  (با کاربرد هیدروکسید کلسیم) تنظیم می‌گردد.

۳- تابش اشعه گاما: در این روش اشعه گامای تولید شده از منبع کبالت با شدتهای مختلف وبا تلفیق روش الکتروشیمیایی به نمونه‌های خام فاضلاب تاباننده شد. طبق استانداردهای AWWA (APHA, AWWA, 1995) میزان COD، رنگ و کلیفرم مدفوعی در همه نمونه‌ها قبل و بعد از هر نوع تصفیه اندازه‌گیری گردید.

## نتایج

در نمونه فاضلابی که با روش الکتروشیمیایی تصفیه می‌شود کواگولانت‌هایی تولید می‌شود که ذرات کلوئیدی موجود در نمونه فاضلاب را ناپایدار می‌کند. شکل ۱ رابطه بین میزان حذف COD و مدت زمان الکترولیز را نشان می‌دهد. کاهش COD فاضلاب تابعی از زمان سپری شده خواهد بود. بعد از گذشت  $25$  دقیقه میزان COD به کمترین مقدار خود ( $68\%$  COD حذف می‌شود). می‌رسد. فرایند الکتروکواگولاسیون در محدوده pH  $10-8/5$  اتفاق می‌افتد.

۲- آهن محلول به عنوان عامل ناپایدارکننده ذرات عمل کرده و میزان حذف آلوده‌کننده‌ها را بهبود بخشیده و آنها را تبدیل به لجن کرده که به آسانی قابل جداسازی و جمع‌آوری هستند. واکنشهای کلی که انجام می‌گیرد:

در آند:



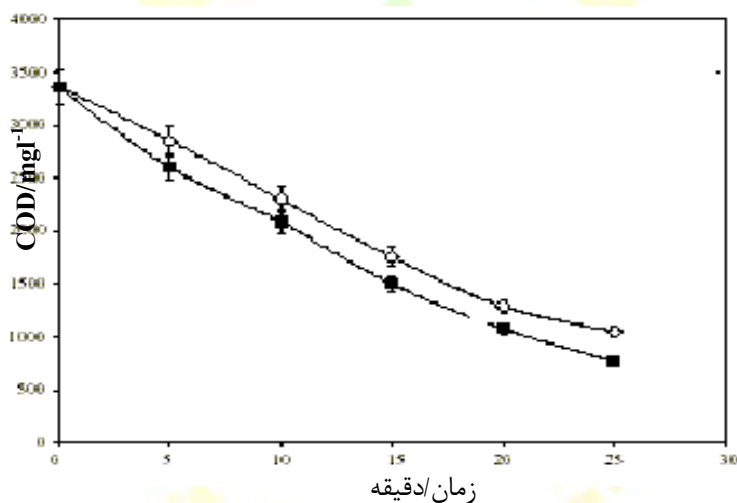
در کاتد :



در کل :

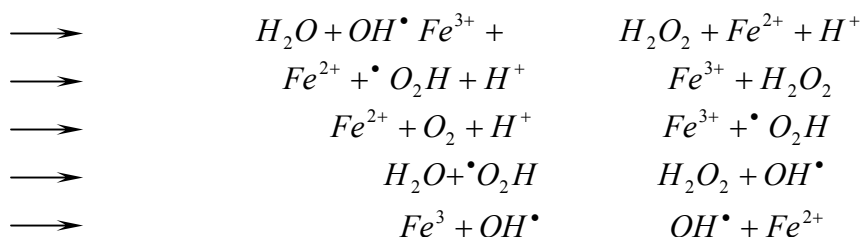


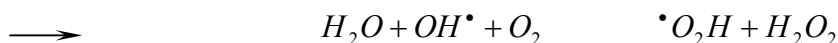
با تامین انرژی کافی، وبه حداقل رساندن تولید هیدروژن، کواگولانت به مقدار لازم به منظور بهبود ناپایداری ذرات و نهایتاً تجمع لخته در طی فرایند تولید کرد. شکل ۲ محدوده مناسب pH برای فرایند الکتروکواگولاسیون که آهن نقش عامل ناپایدارکننده ذرات کلوئیدی دارد و کمک به رسوب آنها می کند نشان می-دهد.



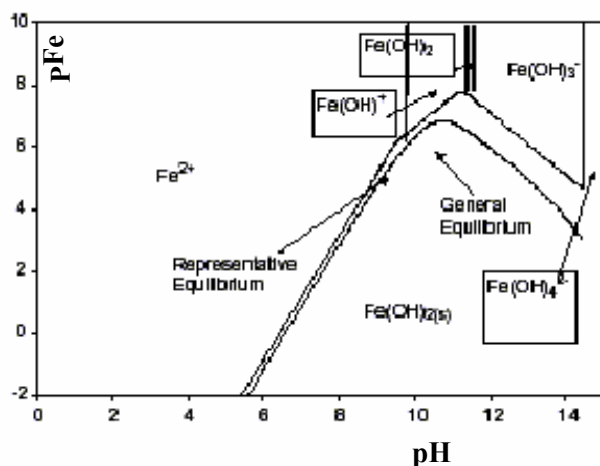
شکل (۱) - میزان حذف COD با استفاده از الکتروکواگولاسیون ( ) و با استفاده از الکتروفتون ( )

۲- در مورد تصفیه با روش الکترواکسیداسیون (عامل الکتروفتون)، نمونه‌هایی که با این روش تصفیه می‌شوند نیاز به ایجاد شدن عامل اکسیدکننده قوی (روش فنتون (Fe/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)) دارند که با تنظیم pH در ۳ و اضافه کردن ۵ میلی لیتر H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> امکانپذیر است. همانطور که در شکل ۱ می‌بینید COD با گذشت زمان کاهش می‌یابد و راندمان حذف COD به ۷۸٪ می‌رسد. واکنش‌ها انجام گرفته به صورت زیر است :





این روش در اکسیداسیون ترکیبات کلرینه هم بطور موفقیت آمیزی عمل می کند.



شکل (۲) - ممدوده مناسب pH برای فرایند الکتروکواگولاسیون را نشان می دهد.

۳- نتایج حاصله از تابش اشعه گاما با دزهای مختلف به نمونه های فاضلاب در شکل ۳ نشان داده شده است. نکته مهمی که در این شکل وجود دارد این است رابطه خطی بین دز تابش و مقدار COD وجود ندارد. میزان اثر تابش به علت حضور ذرات محلول که بعد از فرایند الکتروکواگولاسیون در آب باقی می ماند و در ایجاد رنگ نیز دخالت دارند کاهش می یابد، اما وقتی فرایند الکترو-اکسیداسیون قبل از تابش اشعه بکار گرفته شود بعلت حذف مواد آلوده کننده از محلول آبی اثر تابش افزایش می یابد. جدول ۱ خلاصه ای از عملکرد روشهای تصفیه الکتروکواگولاسیون، الکترواکسیداسیون و تابش گاما را نشان می دهد.

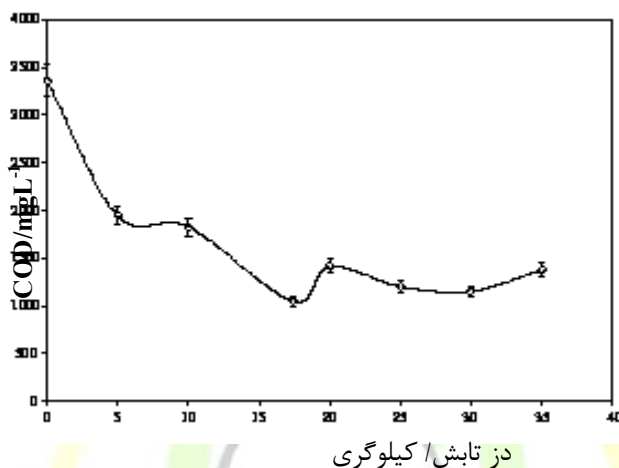
کلیفرم مدفوعی MPN/100ml	COD (mg/l)	کدورت (NFU)	رنگ (Pt-Co)	روش تصفیه
۲۱۰۰۰	۳۴۰۰	۱۴۰	۳۷۵۰	فاضلاب خام
کمتر از ۱۰	۱۰۵۰	۲۰	۵۰۰	الکتروکواگولاسیون
کمتر از ۳	۷۷۰	۱۴	۳۵۰	الکترواکسیداسیون
کمتر از ۳	۱۳۷۸	۴۶	۸۰۰	تابش گاما

جدول (۱) خلاصه ای از عملکرد سه روش تصفیه بروی رنگ، COD و کلیفرم مدفوعی

با توجه به جدول ۱ مشاهده می شود که روش الکترواکسیداسیون حدود ۹۰٪ رنگ، ۷۷٪ COD و ۹۹٪ کلیفرم مدفوعی و تابش گاما حدود ۷۶٪ رنگ، ۶۰٪ COD و ۹۹٪ کلیفرم مدفوعی را کاهش می دهند.

تصفیه به صورت تلفیقی

برای افزایش میزان حذف آلوده‌کننده‌ها از فاضلاب، از تلفیق چند روش تصفیه استفاده می‌شود. برای حصول نتیجه بهتر در حذف آلوده‌کننده‌ها، ابتدا روش الکتروشیمیایی و سپس پرتودهی گاما بکاربرده می‌شود. شکل ۴ حذف آلودگی در

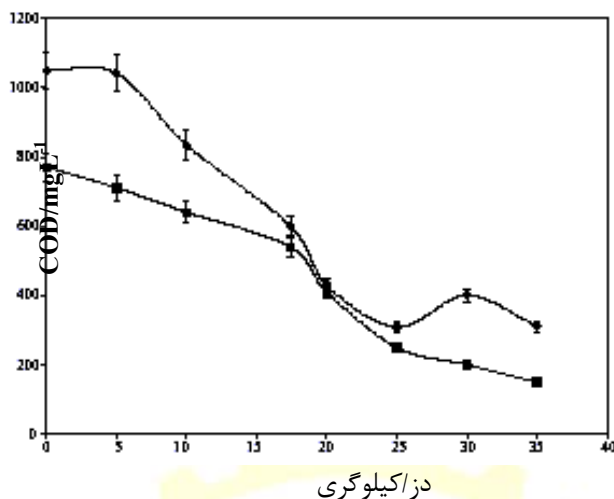


شکل (۳) - حذف آلوده‌کننده‌ها در دزهای مختلف تابش اشعه گاما

دزهای مختلف تابش که قبل از آن روشهای الکتروکواگولاسیون و الکترواکسیداسیون بکار رفته است، نشان می‌دهد. در صورتی بعد از روش الکتروکواگولاسیون بکار رود روند حذف COD خطی نخواهد بود. و این را به حضور ذرات محلول باقیمانده بعد از فرایند الکتروکواگولاسیون نسبت می‌دهند. از طرفی وقتی پرتودهی همراه الکترواکسیداسیون بکار برده می‌شود مشاهده می‌شود که در همه دزهای بکاررفته کاهش COD خواهیم داشت. در مورد روش الکتروکواگولاسیون در دز ۲۵ کیلوگری ۷۰٪ و در روش الکترواکسیداسیون در دز ۳۵ کیلوگری ۸۰٪ راندمان حذف COD خواهیم داشت. در کل راندمان کاهش برای الکتروکواگولاسیون ۹۱٪ و برای الکترو-اکسیداسیون ۹۵٪ است.

## بمات

استفاده از روشهای الکتروشیمیایی، برای کاهش میزان آلوده‌کننده‌های فاضلاب صنایعی که حاوی رنگ بالایی هستند مناسب می‌باشد. مکانیسم اصلی ناپایدار شدن ذرات را به آزاد شدن یونهای آهن به محلول و ایجاد هیدروکسیدهای کمپلکس‌هایی که قادر به دام انداختن مواد آلوده تحت شرایط pH مناسب نسبت می‌دهند. و در قدم بعدی تجمع ذرات و خروج آنها از فاز مایع (ته نشینی) مطرح است. تابش گاما مقدار COD را وقتی که مستقیماً بکار برده می‌شود را کاهش می‌دهد. کاهش COD با دز تابش رابطه خطی نخواهد داشت. بهترین نتیجه وقتی حاصل می‌شود که تابش اشعه بعد از فرایند الکترواکسیداسیون انجام شود. الکترواکسیداسیون تمام ذرات کلوئیدی را حذف، آلوده‌کننده را اکسید و رنگ اولیه موجود در محلول آبی را حذف می‌کند و تابش اشعه گاما مواد باقیمانده را تحت تاثیر قرار داده و از بین می‌برد. استفاده از فرایند الکتروشیمیایی همراه تابش گاما در تصفیه فاضلابهای صنعتی یک روش پیشرفته و کامل نسبت به تصفیه بیولوژیکی به تنهایی می‌باشد.



شکل (۱۴) - مذف COD به روش الکتروکواکولاسیون (○) و الکتروفنتون (●) در دزهای مختلف تابش

## منابع

- 1-APHA, AWWA, 1995. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19<sup>th</sup>, Edition.
- 2- Balanosky, E., Herrea, F., Lopez, A., Kiwi, J., 2000. Oxidative Degradation of Textile Wastewater, Modelling Reactor Performance. Waetr res. 34, pp. 582-596
- 3- Bao, H., Liu, Y., Jia, H., 2002. A Study of Irradiation in the Treatment of Wastewater. Radiat. Phys. Chem. 63, pp. 633-635
- 4- Gingerrich, L., Nuefeld, R.D., Tood, A.T., 1999. Electroosmotically Enhanced Sludge Pressure Filtration. Water Environ. Res. 77, pp. 267-276
- 5- Lin, S.H., Chen, M.L., 1997. Treatment Textile Wastewater by Chemical Methods for Reuse. Water Res. 31, pp. 868-876
- 6- Lin, S.H., Lai, C., 2000. Kenetic characteristics of Textile Wastewater Ozonation in the Fluidized and Fixed Activated Carbon Beds. Water Res. 34, 763-772
- 7- Riverio, A.B., Mateus, E.P., Ottosen, L.M., Bech-Nielsen, G., 2000. Electrodialytic Removal of Cu, Cr and As from Chromated Copper Arsenate-Treated Timber Waste. Environ. Sci. Technol. 34, 781-788
- 8- Gabe, D.R., Walsh, F.C., 1983. The Rotating Cylinder electrode- A Review of Developmnet. Appl. Electrochem. 13(1), pp. 3-22
- 9- Karmel, E., Guenduez, H., 1982. Review and Outlook on Continous Metal Electrowinning and Recovery Processes from Aqueous Solution, Metallurgical Society of AIME, Warrendale, PA. pp. 647-657
- 10- Sunderland, I.M., Dalrymple, 1997. Cell and Method for the Recovery of Metal from Dilute Solutions, Us Patent.
- 11- Zhaing, S., Rusing, J.F., 1993. Metal Ion Removal by Electrochemical Means. Environ. Sci. Technol. 27, pp. 1375-1382

- 
- 12- Panizza, M., Bocca, C., Cersola, G., 2000. Electrochemical Treatment of Wastewater Containing Polyaromatic Organic Pollutants. *Water Res.* 34, pp. 2601-2605
- 13- Rajeshwar, K., Ibanez, J.G., Swaine, G.M., 1994. *Electrochemistry and Environment.* Appl. Electrochem. 24, pp. 1077-1091
- 14- Pnilla, C.F., 1947. Possibilities of the Electronic Cougulator for Water Treatment, *Water Sewege*, 21,22,44,45.



