

## تصفیه پساب خاکستری توسط انعقاد الکتریکی در مقیاس پایلوت برای حذف کدورت و استفاده مجدد برای آبیاری کشاورزی

محمد رضا موسی پور<sup>۱</sup>، سید مرتضی موسوی راد<sup>۳\*</sup>، سید ضیا محمدی مبارک<sup>۴</sup>

- ۱- گروه مهندسی معدن، پردیس علوم و تحقیقات سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران،
- ۲- گروه مهندسی معدن، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران
- ۳- عضو هیات علمی بخش مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرنند، دانشگاه شهید باهنر کرمان،
- ۴- عضو هیات علمی بخش شیمی، دانشگاه پیام نور کرمان،

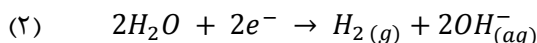
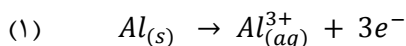
### چکیده

عملیات انعقاد شیمیایی از جمله فرآیندهای جدید و رو به رشدی است که به نحوه چشم گیری به منظور حذف آلایندها از آب فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته اند در این مطالعه از الکترو کوگولاسیون در مقیاس آزمایشگاهی به حجم ۳ لیتر و مجهز به ۶ الکتروود از جنس آهن ، استیل و آلومینیوم، که به صورت مجزا در هر یک از انواع الکتروود ، به منظور حذف کدورت از پساب خاکستری صورت گرفت. تا ثیر جنس الکتروود ، زمان تماس ۵ تا ۲۵ دقیقه و ولتاژ ۵ تا ۳۰ ولت مورد مطالعه قرار گرفت در رابطه با کدورت استفاده از الکتروود آهن نه تنها باعث کاهش کدورت نمی شود بلکه باعث افزایش آن می شود و الکتروود آلومینیوم و استیل در حالت بهینه یعنی ولتاژ ۳۰ ولت و زمان تماس ۱۰ دقیقه به ترتیب باعث کاهش کدورت از ۱۷,۱ به ۳,۵ و ۳,۹ می شود که زمان تماس، ولتاژ ورودی و نوع الکتروود تاثیر به سزایی در حذف کدورت دارند شاخص های کیفیت آب خروجی از این پایلوت، مناسب با استاندارد ایران جهت مصارف آب کشاورزی می باشد.

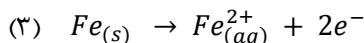
**کلمات کلیدی:** تصفیه، پساب خاکستری، الکترو کوگولاسیون، کدورت، مصارف آبیاری کشاورزی

## ۱- مقدمه

آب خاکستری به عنوان فاضلاب شهری تعریف شده است که شامل آب حمام - دوش - وان ها - حوضچه ها و ماشین های ظرفشویی و لباسشویی - سینک های آشپزخانه ، به جز آب مصرفی در توالت ها می باشند (Otto et al , 2003). بعضی از محققان فاضلاب آشپزخانه را از دیگر مواد تولیدی جدا کرده اند. ۵۰ تا ۸۰٪ از فاضلاب خانگی را آب خاکستری تشکیل می دهد (Eriksson, 2002). به خاطر میزان پائین عوامل بیماری زا و نیترژن ، استفاده مجدد و بازیافت آب خاکستری مورد توجه افراد زیادی قرار گرفته است (Li et al , 2003). که در آبیاری کشاورزی استفاده شود. الکتروکواگولاسیون (EC) شیوه ای کامل و چند منظوره برای تصفیه ی آب و پساب صنعتی است که متکی بر تجزیه ی الکتروشیمیایی الکترودهای فلزی (معمولاً آهن یا آلومینیوم) درون گونه های حلال یا غیر حلال می باشد که ظرفیت افزایش کواگولاسیون ، جذب و یا ته نشینی آلاینده های محلول و یا کلوییدی را دارد (P.K et al , 2005). هنگامی که کواگولاسیون کننده (یا منعقد کننده) در اثر جریان ثابت یا پتانسیل باتری به تدریج در محل شکل می گیرد، EC قویاً با کواگولاسیون شیمیایی معمولی که منعقد کننده در ابتدا اضافه می شود ، فرق می کند . واکنش های الکترولیتی EC با الکترودهای Al، انحلال فلز (آند)، معادله ۱ و کاهش آب (کاتد)، معادله ۲ هستند :



برای الکترودهای آهن ، معادله ۳ در کاتد چیره می شود و اغلب اکسید شدن Fe(s) محدود به کاتیون Fe(II) می شود :



سپس کاتیون های Fe(III) به نظر می رسد از اکسیداسیون Fe(II) در الکترودها یا در توده با اکسیژن یا آلاینده ها به وجود می آیند ؛ هم چنین مکانیزم های مشابه دیگری نیز مطرح می شوند (C.H.A et al , 2009). الکتروکواگولاسیون به خوبی در موارد صنعتی ، کشاورزی (Christova-Boal et al , 1996)، و فاضلاب های زیرزمینی (M. F et al , 1995) و حتی قابل شرب سازی استفاده می شود. EC در واقع قادر به حذف انواع آلاینده ها از جمله فلزات سنگین (I. Zongo et al , 2009) ، آنیون های مختلف و حتی قطرات و ذرات معلق روغن و ترکیبات آلی شامل رنگ ... می باشد . EC مزایای زیادی نسبت به روش های مشابه دارد از جمله بازدهی بالا ، سرمایه گذاری و هزینه ی عملیاتی پایین ، سادگی ، پایین بودن تعداد تجهیزات مورد نیاز و سادگی کنترل فرآیند ؛ که همگی تاییدی بر اعتبار این روش می باشند . به علاوه نیاز به مواد شیمیایی اضافی را کاهش داده و یا از بین می برد و به مقدار زیادی لجن تولید شده نسبت به CC را به وسیله فرونشاندن یا با شناورسازی توسط حباب های ریز تولید شده اطراف کاتد، کاهش می دهد. هم چنین با توجه به نیاز EC منابع برقی کم، استفاده از منابع انرژی بازگشت پذیر توصیه می شود (M.Y.A et al , 2004).

## ۲- منبع فاضلاب و ویژگیهای آن

فاضلاب مورد استفاده در این کار از لوله های جمع آوری پساب خاکستری در روستای فنود از توابع استان خراسان جنوبی با ظرفیت ۴۰ متر مکعب در روز، گرفته شد فاضلاب گرفته شده حاصل از سینک ظرفشویی ، حمام ، دستشویی و آشپزخانه می باشد. نمونه پساب گرفته شده برای انجام آزمایشات از یک مخزن معادل سازی جمع آوری شده بود که قبل از آن یک فیلتر شبکه ای برای حذف مو و جامدات وجود داشت نمونه خام گرفته شده از پساب خاکستری شامل چندین ترکیب ارگانیک از جمله روغن - گریس، کربو



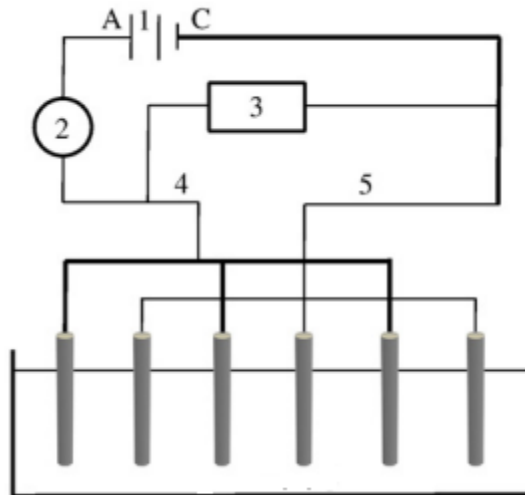
هیدرات ها، پروتئین ها، ذرات معلق و اجزای دیگر می باشد. ویژگیهای آب خاکستری ورودی عبارتند از:  $17.1 \text{ NTU}$  = کدورت ،  $\text{pH}=6.48$  ،  $\text{TSS}=59 \text{ mg/l}$  ،  $\text{BOD}=210 \text{ mg/l}$  ،  $\text{COD}=700 \text{ mg/l}$  ، هدایت الکتریکی  $=2700 \text{ } \mu\text{m/cm}^3$

### ۳- مواد و روش

در این روش پساب مورد نظر ابتدا به داخل مخزن پمپ شد. سپس الکترودها با استفاده از جریان برق فعال شده و در نتیجه عوامل منعقد کننده در آند و گاز هیدروژن در کاتد متصاعد می شود. عوامل منعقد کننده به مواد آلاینده چسبیده و باعث تشکیل لخته می شود و سپس گاز هیدروژن در حین بالا آمدن آنها را به سطح می آورد و پس از شناور شدن در سطح به حوض ته نشینی منتقل می شوند. معمولاً مقدار جریان خروجی همراه با مواد آلاینده از سطح، ۵٪ حجم کل جریان موجود در مخزن می باشد. در نهایت آب تمیز از سیستم به تانک ذخیره پمپ می شود. مدت زمان فرآیند به طبیعت مواد آلاینده و همچنین آهنگ مورد نیاز حذف مواد به آلاینده ها بستگی دارد، ولی به طور معمول این زمان تماس ، ۵ تا ۲۵ دقیقه می باشد..

مطالعه حاضر در یک راکتور با جریان ناپیوسته در آزمایشگاه انجام گردید. پیلوت مورد نظر که طرح شماتیک آن در شکل ۱ نشان داده شده از جنس شیشه به ابعاد  $100 \times 100 \times 300$  میلی متر به حجم ۳ لیتر مجهز به دستگاه مولد جریان الکتریسیته بود . تعداد ۶ الکترودها از جنس آلومینیوم در مرحله نخست و آهن در مرحله دوم و استیل در مرحله سوم هر یک به ابعاد  $100 \times 20 \times 20$  میلی متر به فاصله ۲ سانتی متر از یکدیگر و به صورت شناور در راکتور تعبیه شده بودند در هر مرحله الکترودها به صورت دو به دو آلومینیوم-آلومینیوم و آهن-آهن و استیل -استیل به مولد جریان الکتریسیته از نوع DC متصل یود و سه الکترودها نقشه کاتد و سه الکترودها نقش آند را داشتند. دستگاه مولد انرژی قابلیت تولید جریان الکتریسیته در مقادیر استفاده در جریان های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت را دارا بود .

شکل ۱ - شمای پیلوت واحد الکتروکوگولاسیون  
منبع تغذیه ۲- آمپر متر ۳- ولتاژ ۴- ورودی آند ۵- ورودی کاتد

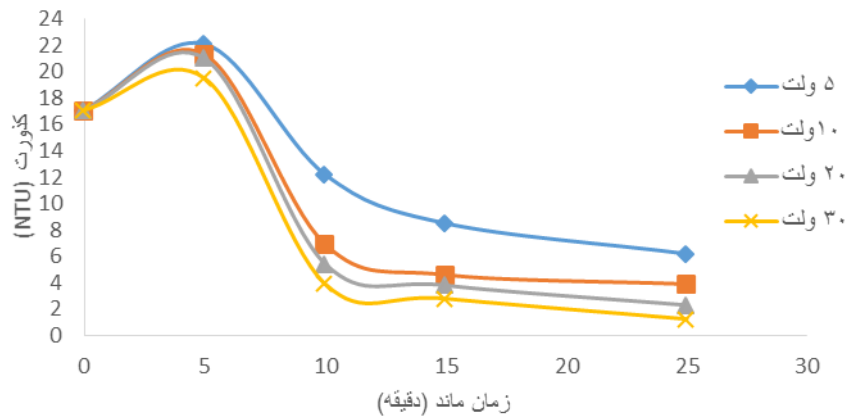


پس از آن متغیرات آزمایش که شامل تاثیر جنس الکترودها ، زمان تماس ۵ تا ۲۵ دقیقه و ولتاژ ۳۰ تا ۵ ولت بود مورد مطالعه قرار گرفت و سپس با استفاده از پمپ نمونه گیر از عمق ۷ سانتیمتری راکتور نمونه گیری به عمل آمد و به صورت برجها به آزمایشگاه جهت اندازه گیری کدورت فرستاده شد



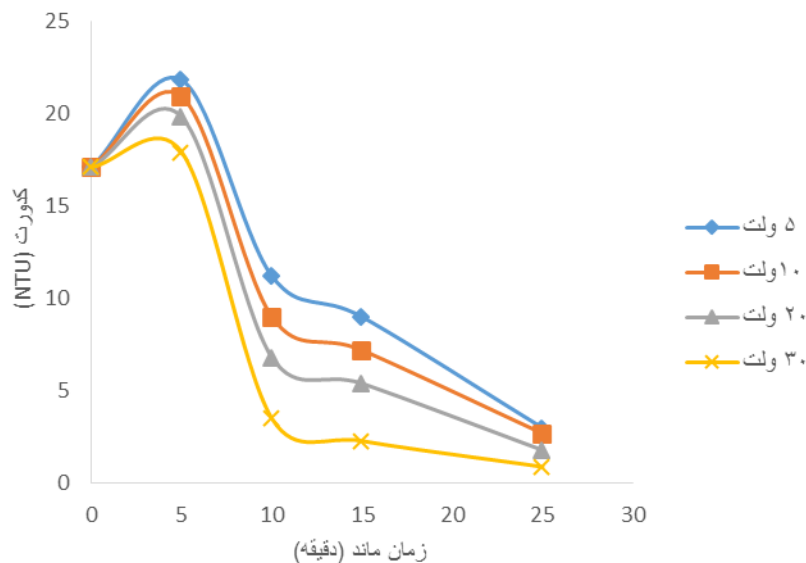
#### ۴- بحث و نتایج

در فرایند انعقاد شیمیایی فاکتورهای بسیار حائز اهمیت که می تواند نقش قابل توجهی در حذف آلاینده ها داشته باشد تاثیر تغییرات ولتاژ و زمان ماند و نوع الکتروتود است. این فاکتور ها از طریق تاثیر بر میزان یون های فلزی که از سطح الکتروتود کنده می شوند، بر سرعت انجام واکنشهای الکترو کوگولاسیون تاثیر گذار است (Malakootian et al , 2010). لذا مقدار بهینه ولتاژ و نوع الکتروتود و زمان ماند بهینه در هر فرایند الکترو شیمیایی باید تعیین گردد از این رو در این پژوهش پس از تعیین شرایط بهینه بهره برداری از نظر محیط کارایی فرایند های الکترو کوگولاسیون در پساب ورودی و مقادیر متفاوت ولتاژ و زمان ماند و نوع الکتروتود مورد مطالعه قرار گرفت. که نتایج آن در نمودار های ۱ و ۲ نشان داده شده است بر اساس نمودار های موجود پروفیل میزان کدورت در زمانهای مختلف را در فرایند الکترو کوگولاسیون در حین استفاده از الکتروتود های استیل و آلومینیوم در ولتاژ های متفاوت را نشان می دهد. نتایج این مرحله از انجام فرایند حاکی از آن است که در این فرایند و در بکار گیری الکتروتود های مختلف با افزایش ولتاژ جریان ، مقدار حذف کدورت افزایش یافته و از این حیث اختلاف معنی داری بین میزان حذف کدورت با تغییرات شدت ولتاژ در این فرایند مشاهده شد به نحوی که برای الکتروتود آلومینیوم در زمان ماند ۵ دقیقه کدورت از ۱۷٫۱ NTU به ۲۳ NTU افزایش یافته، و پس از آن با افزایش زمان ماند مقدار کدورت نیز به تدریج کاهش می یابد که در زمان ماند ۲۵ دقیقه توانسته است بالاترین مقدار از کدورت را حذف کند و همچنین با مقایسه ولتاژ ها می توان به این نتیجه رسید که در ولتاژ ۳۰ ولت مقدار بالاترین حذف برای کدورت بدست آمده است که برابر با ۱٫۲۵ NTU (۷۹٫۲٪) بدست آمده که با مقایسه با عملکرد سیوا کمار در سال ۲۰۰۴ که توانسته بود (Sivakumar et al, 2004) در استفاده از الکتروتود آلومینیوم به بالاترین درصد حذف کدورت (۸۸٪) برسد توانسته ایم درصد بیشتری از کدورت را حذف کنیم



نمودار ۱- تاثیر تغییرات زمان ماند و ولتاژ بر روی حذف کدورت در الکتروتود آلومینیوم

همچنین برای الکتروتود استیل در ۵ دقیقه اول افزایش کدورت تا مقدار ۲۱٫۸ NTU وجود داشته ، و پس از آن با افزایش زمان ماند تغییر محسوسی در حذف کدورت مشاهده شده و تا زمان ۲۵ دقیقه حذف کدورت ادامه دارد که در زمان ماند ۲۵ دقیقه و با ولتاژ ۵ مقدار کدورت برابر با ۳ NTU بدست آمد و با مقایسه ولتاژ ها می توان به این نتیجه رسید که در ولتاژ ۳۰ بالاترین مقدار حذف کدورت وجود دارد که برابر با ۰٫۹ NTU (۷۹٫۲٪) بدست آمد که با مقایسه با حالت و همکاران در سال ۲۰۰۴ که توانسته بودند (Holt et al , 2004) در ولتاژ ۲۴ مقدار ۹۰٪ از کدورت را حذف کند ، توانسته ایم مقدار بیشتری از کدورت را حذف کنیم



نمودار ۲- تاثیر تغییرات زمان ماند و ولتاژ بر روی حذف کدورت در الکتروود استیل

### ۵- نتیجه گیری

در این مطالعه از الکترودهای آهن، آلومینیوم، و استیل برای تصفیه پساب خاکستری به منظور استفاده مجدد در آبیاری کشاورزی استفاده شد. رابطه با کدورت مشاهده گردید که الکتروود آلومینیوم میزان کدورت را به ۱,۲۵ NTU و الکتروود استیل میزان کدورت را به ۰,۹ NTU کاهش داده است که هر دو الکتروود توانسته اند درصد بالایی از کدورت را حذف کنند اما الکتروود آهن در این امر ناتوان بوده است و با توجه به اینکه الکتروود استیل از مقاومت (هزینه های مصرفی الکتروود) و راندمان حذف کدورت بالاتری نسبت به آلومینیوم برخوردار می باشد استفاده از الکتروود استیل جهت حذف کدورت از پساب خاکستری در ولتاژهای ۳۰ و زمان ماند ۲۵ دقیقه منطقی تر می باشد.

### قدر دانی

مؤلفین این مقاله بر خود لازم می دانند از زحمات تمامی همکاران اداره آب و فاضلاب روستایی بیرجند و اساتید دانشکده بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، که در انجام این طرح یاریگر ما بودند کمال امتنان و تشکر را داریم.

### ۶-منابع

Ottoson J, Stenström TA. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Water Res* 2003;37(3):645-55.

Eriksson E., (2002). Potential and problems related to reuse of water in households. Ph.D. Thesis. Environment and Resources DTU, Technical University of Denmark, ISBN ۲۰۰۳-۶۹-۸۹۲۲۰-۹۲-۱۸۱:(۳-۱)۱۵۶;۸۷

Li Z, Gulyas H, Jahn M, Gajurel DR, Otterpohl R. Greywater treatment by constructed wetland in combination with TiO<sub>2</sub>-based photocatalytic oxidation for suburban and rural areas without sewer system. *Water Sci Technol* 2003;48(11):101-6.

P.K. Holt, G.W. Barton, C.A. Mitchell, The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology, *Chemosphere* 59 (2005) 355–367.

C.H.A. Moreno, D.L. Cocke, J.A.G. Gomes, P. Morkovsky, J.R. Parga, E. Peterson, C.Garcia, Electrochemical reactions for electrocoagulation using iron electrodes, *Ind. Eng. Chem. Res.* (2009) 2275–2282.

Christova-Boal D, Eden RE, McFarlane S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination* 1996;106:391–7.

M. F. Pouet, A. Grasmick, Urban wastewater treatment by electrocoagulation and flotation, *Water Sci. Technol.* 31 (1995) 275–283.

I. Zongo, J.-P. Leclerc, H. Amadou Maiga, J. Wéthé, F. Lapique, Removal of hexavalent chromium from industrial wastewater by electrocoagulation: a comprehensive comparison of aluminium and iron electrodes, *Sep. Purif. Technol.* 66 (2009) 159–166.

M.Y.A. Mollah, P. Morkovsky, J.A.G. Gomes, M. Kesmez, J. Parga, D.L. Cocke, Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation, *J. Hazard.Mater.* 114 (2004) 199–210

Malakootian, M., Mansoorian, H.J., and Moosazadeh, M. (2010).“Performance evaluation of electrocoagulation process using iron-rod electrodes for removing hardness.” *J. Desalination*, 255, 67-71.

Sivakumar, M., Emamjomeh, M.M., Chen, M. Use of electrocoagulation (EC) as an alternative method to chemical coagulation in water treatment. In: Eighth Annual Environmental Engineering Research Event (EERE) Conference, 6th–9<sup>th</sup> December, Wollongong, New South Wales, Australia, 2004, pp. 320–332.

Holt, P.K., Barton, G.W., Mitchell, C.A., Deciphering the science behind electrocoagulation to remove clay particles from water. *Water Sci. Technol.* 2004 . 50 (12).