

# بررسی امکان کاربرد روش های الکتروشیمیایی در تصفیه شیرابه حاصل از پسماند شهری

علی نجفی، محمدحسین حدادخداپرست، محمد سهرابی، محمدرضا آریین نژاد،

مدیرعامل سازمان بازیافت مشهد

[Najafi7@gmail.com](mailto:Najafi7@gmail.com)

عضوهیئت علمی دانشگاه فردوسی

کارشناسان سازمان بازیافت مشهد

## چکیده:

طبق بررسی های انجام شده شیرابه زباله علاوه بر غلظت بالای مواد آلی حاوی عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین فلزات سنگین و دارای بار بالای COD می باشد. هدف از انجام این تحقیق بررسی تصفیه پذیری شیرابه با استفاده از روشهای الکتروشیمیایی بوده است، بدین منظور کاهش پارامترهای کیفی COD و BOD به عنوان شاخص های آلودگی و همچنین حذف مواد معلق تحت تاثیر این روش مورد بررسی قرار گرفت.

این بررسی یک مطالعه تجربی در مقیاس آزمایشگاهی است که به صورت پایلوت بر روی شیرابه زباله سالن شماره ۲ کارخانه کمپوست مشهد اجرا گردیده است. الکترودها از جنس آهن و آلومینیوم انتخاب و به یک مبدل جریان الکتریسته (جهت تبدیل برق متناوب به مستقیم) متصل شدند. اندازه گیری کاهش بار COD و BOD حذف مواد معلق شیرابه و کنترل فاکتورهای pH و EC در فرآیند تصفیه به روش الکتروکواگولاسیون انجام شد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که این روش بدون استفاده از مواد افزودنی فرآیند الکتروشیمیایی می تواند آلاینده های مختلف را از شیرابه حذف نماید و در مجموع می توان با استفاده از این فرآیند روشی مناسب جهت تصفیه شیرابه زباله طراحی و اجرا نمود.

**کلمات کلیدی:** شیرابه زباله، الکتروکواگولاسیون، COD، مواد معلق، کمپوست

## مقدمه

شیرابه زباله حاوی غلظت بالای آلاینده ها و دارای ساختاری پیچیده است. شاید بدلیل همین ساختار پیچیده روشهای متداول تصفیه پساب از جمله اکسیداسیون بیولوژیکی، جذب، شناورسازی، انعقاد، تجزیه شیمیایی و روشهای مردابی و باتلاقی نمی توانند راه حل قطعی برای تصفیه شیرابه به حد معارف کشاورزی باشند.

از جمله روشهای رو به پیشرفت که طی سالیان اخیر در تصفیه فاضلابهای صنعتی و پسابهای حاوی آلاینده های آلی مورد توجه قرار گرفته است، روشهای الکتروشیمیایی می باشند. [۱۰ و ۲] روشهای الکتروشیمیایی بدلیل سازگاری با محیط و امکان تصفیه مایعات، گازها و جامدات مورد توجه می باشند. در این روشها عامل اصلی تصفیه انتقال الکترون است. با عبور جریان الکتریسته واکنش های اکسیداسیون و احیاء در داخل سل های الکتروشیمیایی انجام می گیرند. کاربرد آسان، تجهیزات ساده، سرعت بالا، کاهش تجهیزات افزودن مواد شیمیایی و تقلیل مقدار لجن از ویژگیهای روش الکتروشیمیایی می باشد [۸]

ویژگی دیگر این روش انجام فرآیند در pH خنثی است و به خروجی سیستم هیچگونه افزودنی دیگر اضافه نمی‌شود بنابراین فرآیند می‌تواند بوسیله جریان الکتریسته کنترل شود [۱۶]

اصول کلی این روش بدین صورت است که جریان الکتریسته مستقیم از طریق آند و کاتد به درون مایع وارد می‌شود. مکانیسم اصلی حذف در فرآیند الکتروشیمیایی شامل الکتروکواگولاسیون<sup>۱</sup>، الکتروفلوتاسیون و الکترواکسیداسیون است [۱۴].

الکتروکواگولاسیون یا به اختصار EC یک فرآیند الکتروشیمیایی است که از جریان مستقیم برق (DC) بمنظور حذف آلاینده‌ها از محلول استفاده می‌کند [۱۲].

در فرآیند EC، انعقاد از طریق اکسیداسیون الکترولیتی یک آند از جنس مناسب تولید می‌شود سپس گونه‌های یونی باردار، فلزات سنگین یا مواد دیگر از طریق فراهم نمودن امکان واکنش با یک یون دارای بار الکتریکی مخالف یا با هیدروکسیدهای فلزی تولیدی درون پساب حذف می‌شود [۳]

نخستین بار استفاده از روش الکتروشیمیایی بمنظور تصفیه فاضلاب در سال ۱۸۸۰ در لندن گزارش شده است. امروزه این روش در تصفیه فاضلابهای حاوی فنل [۱۵]، آب شستشوی آبکاری [۶]، حذف کروم و روی از آب برج خنک کننده [۱۱]، حذف ذرات کلوئیدی موجود در فاضلاب [۷]، حذف مواد معلق، COD از پساب [۱۷، ۱۸]، حذف باکتریها کلیفرمی از آب [۱۹]، حذف کادمیوم از محیطهای آبی [۲۰] و حذف فسفر از پساب تصفیه شده خروجی از سیستم لجن فعال [۲۱] موفقیت آمیز بوده است. این تحقیق با هدف بررسی امکان تصفیه شیرابه با استفاده از روش الکتروشیمیایی و با بکارگیری الکترودهای آهن و آلومینیوم بر روی شیرابه زباله شهر مشهد در راستای استفاده در مصارف کشاورزی صورت پذیرفته است.

## مواد و روشها

در این تحقیق روش تصفیه الکتروشیمیایی بر روی شیرابه زباله کارخانه کمیوست شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفت. عمل پیش تصفیه توسط صافی‌های آشغال گیر جهت حذف ذرات و جامدات بزرگ که امکان ایجاد اختلال در روند آزمایش را داشتند، انجام گرفت. سپس شیرابه به نسبت حجمی/حجمی 1:6 با آب مقطر رقت سازی شد. جهت انجام آزمایش‌ها از ظروف ۵ لیتری استفاده و بعد از اضافه نمودن شیرابه رقیق شده با استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیوم موازی متصل به دستگاه مبدل جریان برق شهری به متناوب جریان الکتریسته درون محلول برقرار گردید. جهت تمیز کردن الکترودها قبل از شروع آزمایش از اسید کلریدریک (15%Wt) استفاده شد. آزمایشهای تصفیه به روش الکتروکواگولاسیون در ولتاژ ۳۰ ولت در زمانهای مختلف ۰ تا ۱۲۰ دقیقه انجام شد. در پایان هر یک از آزمایش‌ها یک محلول چند لایه حاصل گردید که پس از گذشت حدود ۶۰ دقیقه رسوبات آن ته نشین و در نهایت دو فاز کاملاً مشخص و مجزا تشکیل شد. قسمت زیرین حاوی لجن و بخش رویی کاملاً زلال و شفاف بود. آزمایش‌ها سه بار تکرار شدند و وزن و حجم لجن باقیمانده تعیین و به صورت درصد وزنی به کل محلول محاسبه شد.

اندازه گیری فاکتورهای pH، EC و پارامترهای کیفی COD و BOD در فرآیند تصفیه بر اساس روشهای ارائه شده در کتاب استاندارد متد انجام گرفت [۱۳].

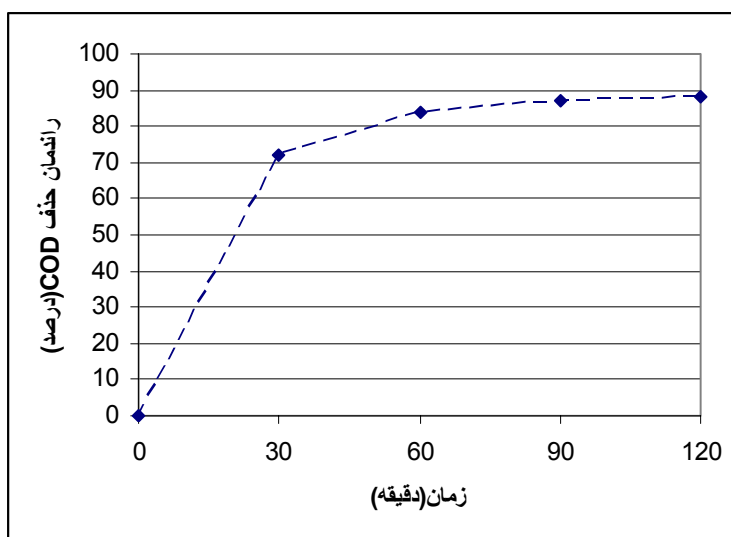
لازم بذکر است کلیه آزمایش‌ها در محدوده درجه حرارت آزمایشگاه (حدود ۲۲ درجه سانتیگراد) انجام گرفت.

## نتایج

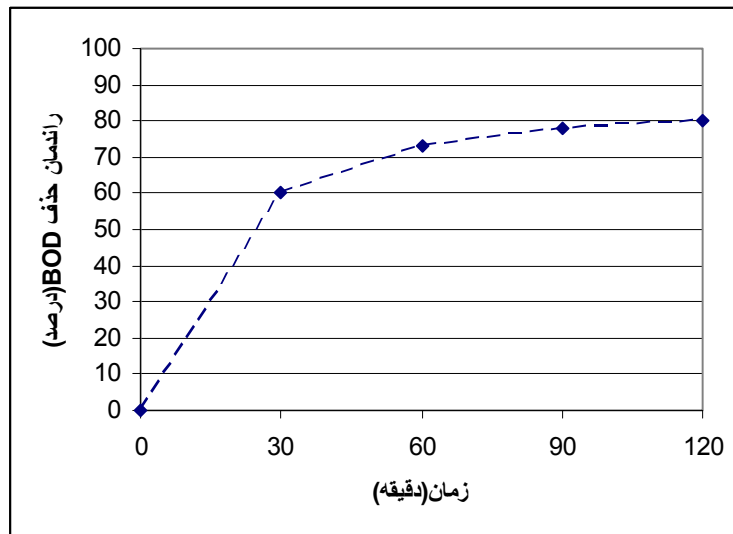
بررسی نتایج به دست آمده کاهش قابل ملاحظه میزان COD و BOD را در طول فرآیند نشان می‌دهد. این نتایج در جدول ۱ و همچنین نمودارهای ۱ و ۲ بیان گردیده است.

جدول ۱- نتایج اندازه گیری مقدار COD و BOD شیرابه زباله

مقدار BOD	مقدار COD	نوع شیرابه
۲۸۲۵۷	۵۶۷۰۰	شیرابه خام
۱۲۴۶۵	۲۴۹۶۶	شیرابه رقیق شده ۱ به ۶ مورد آزمون
۵۰۰۵	۸۹۹۸	شیرابه تصفیه شده (فاز شفاف و زلال) بعد از ۳۰ دقیقه
۳۷۴۰	۳۹۹۵	شیرابه تصفیه شده (فاز شفاف و زلال) بعد از ۶۰ دقیقه
۲۶۱۸	۳۲۴۶	شیرابه تصفیه شده (فاز شفاف و زلال) بعد از ۹۰ دقیقه
۲۴۹۳	۲۷۴۶	شیرابه تصفیه شده (فاز شفاف و زلال) بعد از ۱۲۰ دقیقه



نمودار ۱- راندمان حذف COD (درصد)



نمودار ۲- راندمان حذف BOD (درصد)

در تمامی مراحل فرآیند، میزان pH، EC شیرابه ورودی و خروجی ظرف الکتروکواگولاسیون سنجش و تغییرات آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله در جدول شماره ۲ ارائه گردیده است. تغییرات pH در طول فرآیند جزئی و با افزایش در حدود ۰/۲ همراه بود و نیازی به تنظیمات pH فرآیند نمی‌باشد. اگر چه با استفاده از الکتروکواگولاسیون به محلول یون آلومینیوم اضافه می‌شود، اما بدلیل انجام واکنش در pH خنثی و تغییرات جزئی آن آلومینیوم در آب محلول نمی‌باشد. تغییرات EC نیز جزئی و حدود ۰/۰۷ ms/cm می‌باشد.

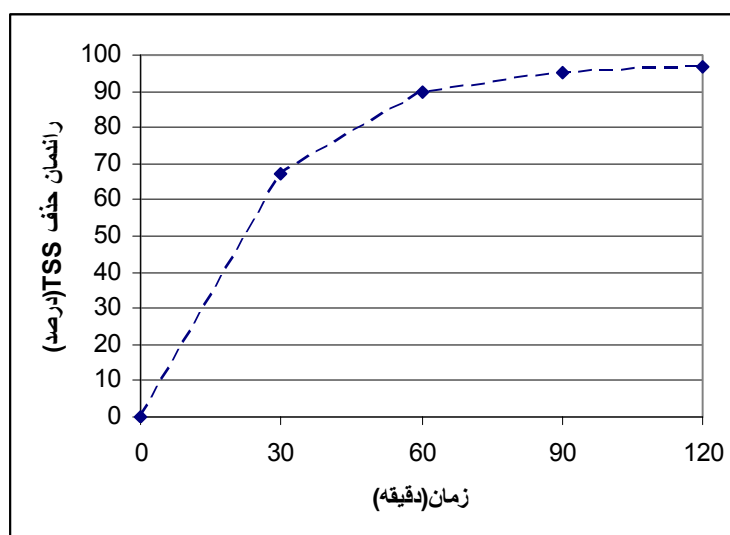
جدول ۲- نتایج اندازه گیری pH و EC

EC	pH	نوع شیرابه
۱۲/۴۵	۶/۳۲	شیرابه خام
۲/۳۴	۶/۸۵	شیرابه رقیق شده ۱ به ۶
۲/۲۷	۷/۰۵	شیرابه تصفیه شده (فاز شفاف و زلال)

بر اساس نتایج وزنی بدست آمده از آزمایش‌ها مقدار و درصد رسوبات ته نشین شده (لجن) حاصل از فرآیند تصفیه محاسبه شد. این نتایج در جدول شماره ۳ بیان گردیده است. همچنین نمودار ۳ در صد راندمان حذف TSS در زمانهای متفاوت فرآیند را بیان می‌کند.

جدول ۳- نتایج حاصل از توزین و محاسبه درصد وزنی

درصد وزنی	وزن بر حسب گرم	نوع ماده
۱۰۰	۱۴۵۹/۴	شیرابه مورد آزمایش با رقت ۱ به ۶
۹۴/۱	۱۳۷۳/۶	شیرابه تصفیه شده (فاز شفاف و زلال)
۵/۷	۸۳/۵	رسوبات ته نشین شده (لجن) حاصل از فرآیند



نمودار ۳- راندمان حذف TSS در شیرابه در زمانهای متفاوت فرآیند

## بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از تصفیه شیرابه با استفاده از روش الکتروشیمیایی بوسیله الکترودهای آهن و آلومینیم در مطالعه حاضر، بیانگر حذف موثر آلاینده‌های معلق و کاهش قابل ملاحظه پارامترهای COD و BOD است.

طبق تحقیقات انجام شده محصولات ناشی از هیدرولیز از جمله  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Cl^-$  در فرایند تشکیل خاک و حذف نقش دارند. امکان تشکیل ترکیبات متنوعی از محصولات هیدرولیز نیز وجود دارد که ممکن است یک یا تعدادی از آنها در انجام فرایند دخالت داشته باشند. به دلیل تشکیل هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم امکان جذب عوامل تولید COD در فلاکهای شکل گرفته فراهم می‌گردد. درصد حذف برای الکترودهای آهن و آلومینیم بعد از ۶۰ دقیقه ثابت و در حدود ۸۴٪ می‌باشد [۱].

نتایج حاصله از مطالعه دیگری که در مراحل جداگانه با استفاده از آند های آهن و آلومینیم انجام شده راندمان حذف COD برابر ۷۴٪ بدست آمده است [۱۸].

در این تحقیق بدلیل غلظت بالای آلاینده ها در شیرابه، اقدام به تهیه رقت ۱ به ۶ شد. این امر با نتایج پژوهشهای قبلی مطابقت دارد به طوری که دانشور و همکارش در مطالعه ای که به بررسی کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون در حذف رنگ پرداختند مشاهده نمودند که نرخ حذف رنگ با افزایش غلظت آن به طور قابل ملاحظه ای کاهش می‌یابد [۵].

از طرفی نتایج ارائه شده توسط Chaudary و همکارانش نیز این مساله را تایید می‌نماید که راندمان حذف با افزایش غلظت اولیه آلاینده کاهش می‌یابد [۹].

با توجه به نتایج بدست آمده کارایی حذف COD در ولتاژ ۳۰ ولت و با استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیم در فاصله زمانی ۳۰ دقیقه فرایند حدود ۷۴٪ است و در نهایت در ۱۲۰ دقیقه حدود ۸۷٪ می‌رسد.

بررسی ها در این پژوهش نشان دهنده افزایش ناچیزی در pH نهایی است که این امر می‌تواند ناشی از متصاعد شدن گاز هیدروژن در کاتدها باشد. این افزایش pH توسط برخی از محققین بصورت آزاد سازی گاز  $Co_2$  از محلول و نیز تاثیر گذاری بر توزیع حبابهای گاز  $H_2$  تشریح شده است [۴].

نتایج حاصل از مطالعه اخیر با پژوهش های منتشر شده قبلی منطبق بوده و این نکته را متذکر می‌شود که فرایند الکتروکواگولاسیون می‌تواند به عنوان یک تنظیم کننده pH عمل کند.

با استفاده از این فرآیند می‌توان آلاینده های موجود در شیرابه را بدون نیاز به تنظیم pH، دما و هدایت الکتریکی اولیه نمونه حذف نمود.

روش الکتروشیمیایی به عنوان یک روش سازگار با محیط زیست و پاک می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. نتایج حاصل از این مطالعه و پژوهش های مشابه نشان می‌دهد که امکان استفاده از روش های الکتروشیمیایی در مقیاس واقعی وجود دارد و می‌توان با استفاده از آن نسبت به طراحی سیستم های تصفیه شیرابه اقدام نمود.

## منابع

- 1-Daneshvar N., Ashassi-Sorkhabi H. and Tizpar A., (2003). "Decolorization of orange by Electrocoagulation method", Separation and purification Tech., 31:153-162
- 2- Tsai, C.T., Lin, S.T., Shue, Y.C. and Su, P.L., (1997). "Electrolysis of Soluble organic matter in leachate from landfills". Water Res, 31:3073-3081
- 3- Yousuf M, Mollah A, Schennach R, et al. "ElectroCoagulation (Ec)- Science and Applications". Journal of Hazardous Materials 2004; B84:29-41.
- 4- Chene, Chen G, Po L.Y. "Separation of Pollutants from restaurant waste water by electrocoagulation". Sep. Purif. Technol 2000; 19:65-76
- 5- Daneshvar N., Ashassi-sorkhabi H., kasiri M.B. "Decolorization of dye solution containing Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connection". Journal of Hazardous Materials 2004; 112:55-62.
- 6- Poon CPC. "Electrochemical treatment of printing rinse water effluent." Water treat J 1979; 19(7): 351-55
- 7- Tunturi pj. "Electrochemical treatment of process water containing colloidal particles." Int chem Eng 1976; 16(2):222-28.

- 8- Weerachai Phuttha wong , Sombat Chowanapoom pohm and Duang Buddhasukh , (2000). " Electrocoagulation and Subsequent recovery of phenolic compounds". *Analifical sciences*, 16:1083-1084
- 9- Chaudhary A.J ,Goswami N.C , Grimes S.M. " Electrolytic removal of chemical Technology and Biotechnology 2003; 78:877-883.
- 10- Pamzzo, M.Bocca , C. and Cerisola , G. , (2000) . " Electrochemical treatment of wastewater Containing Polyaronatic organic Pollutants". *Water Res.* , 34(9): 2601-2605
- 11- Shmitt CR . , Demonbrun JR. " Electro chmical destruction of chromate and Zinc from cooling-tower water". Oake Ridge. Y-12 plant , Y-DA , 1975.
- 12- Jiantuan G. , Jiuhui Q . , Pengju l, et al. " New bipolar electrocoagulation- electro flotation process for treatment of laundry waste water " *Separation and purification technology* (2004)., 36:33-39.
- 13- Glesceria, L.A.E. Greanberg and A.D. Eton., (1998). "Standard Method for examination of Water and Wastewater", APHA, WEF.20 th Edn.
- 14- Sheng H. , Lin Peng, Chif. "Treatment of textile Wastewater by electrochemical Method". *Water Res* (1994) ; 28(2) : 277-82.
- 15- Comininllis ac. "Electro chemical treatment of Wastewater containing phenol, trans". *Ichem E*, pt. B, process saf, *Environ prot* (1992); 70(84): 219-24.
- 16- Peter H. , Geoffrey B. , and Cynth;a M. , (online 2006). "Electrocoagulation as a Wastewater treatment". The third annual Australian Environmental Engineering Research Event. 23-26.

۱۷- آذریان. قاسم، کیمیایی طلب.علیرضا، مصداقی نیا. علیرضا، واعظی . فروغ، بینواپور. محمد، (۱۳۸۶) و " بررسی حذف مواد معلق و COD از پساب توسط فرآیند الکترولیز". دهمین همایش ملی بهداشت محیط.

۱۸- رحمانی. علیرضا، سمرقندی. محمدرضا، (۱۳۸۶) و " بررسی کارآیی روش الکتروشیمیایی در حذف COD از پساب". دهمین همایش ملی بهداشت محیط.

۱۹- رحمانی. علیرضا، سمرقندی. محمدرضا، (۱۳۸۷) و " بررسی کارآیی حذف باکتری‌های کلیفرمی از آب آشامیدنی به روش الکترولیز". مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، دوره پانزدهم، شماره ۲.

۲۰- بذرافشان. ادریس، محوی.امیرحسین، (۱۳۸۶) و " کاربرد فرآیند الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکترودهای آلومینیومی در حذف فلز سنگین کادمیوم از محیط‌های آبی". مجله طبیب شرق، سال نهم، شماره ۱.

۲۱- ربانی. داورخواه، مصداقی نیا. علیرضا، ناصری. سیمین، ندافی. کاظم (۱۳۸۲) و " بررسی اثر فرآیند الکتروشیمیایی در حذف فسفر از پساب تصفیه شده خروجی از سیستم لجن فعال". فصلنامه علمی، پژوهشی فیض، شماره ۲۷.