



شرکت مهندسی آب و فاضلاب گنر

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



1253P-NWWCE

ارزیابی عملکرد روش الکتروفتون در تصفیه پساب صنعت تولید نشاسته از آرد گندم

احسان فولادگر^۱، مسعود طاهریون^۲، امیر تائبی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

e.fooladgar@cv.iut.ac.ir

خلاصه

به دلیل اثرات سو تخلیه فاضلاب‌های صنعتی بر محیط زیست، توجه به تصفیه این فاضلاب‌ها بسیار اهمیت دارد. در پژوهش حاضر تصفیه فاضلاب صنعت نشاسته سازی به روش الکتروفتون جهت حذف COD مورد بررسی قرار گرفته است. الکتروفتون عبارت است تولید رادیکال‌های هیدروکسیل از طریق واکنش بین یون هیدروژن پر اکسید و یون آهن و سپس تخریب مواد آلی توسط این رادیکال‌ها صورت می‌گیرد؛ که در آن متغیرهای pH، فاصله الکترود، زمان، چگالی جریان، دما و درصد حجمی آب اکسیژنه تأثیرگذار است. نتایج حاکی از عملکرد مناسب این روش در شرایط بهینه به صورت چگالی جریان 50 mA/cm^2 و pH طبیعی و در زمان ۴۵ دقیقه و با درصد حجمی ۱٪ آب اکسیژنه، راندمان حذف COD، ۹۳٪ است. با توجه به مزایای این روش از قبیل امکان بهره‌برداری کاملاً خودکار، کنترل آسان پارامترهای دخیل در فرآیند، شرایط ایمن بهره‌برداری و تحمل بسیار بالا در مقابل شوک‌های آلی، استفاده از این روش به عنوان پیش تصفیه نشاسته سازی پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: الکتروفتون، نشاسته، کاتد، آند

۱. مقدمه

همراه با افزایش جمعیت و تولید آلاینده‌های مختلف روند تخریب منابع زیست‌محیطی آهنگ فزاینده‌ای را به خود گرفته است و از سوی دیگر با توجه به اصل ۵۰ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، حفاظت از محیط زیست را به عنوان یک وظیفه عمومی تلقی می‌کند. به دلیل اهمیت فاضلاب‌های صنعتی و اثرات سوء آن‌ها بر محیط زیست توجه به تصفیه این فاضلاب‌ها و دفع بهداشتی آن بسیار مهم است، فاضلاب صنایع نشاسته سازی به علت میزان بالای COD از آن موارد است.

نشاسته یک فرآورده گیاهی است، گیاهان به کمک آفتاب و سبزینه خود می‌توانند آب را از خاک زمین جذب کرده با گاز کربنیک هوا ترکیب کنند و بدین گونه قند بسازند. سپس همین قند را به نشاسته تبدیل می‌کنند. نشاسته به صورت دانه‌های خرد در ریشه، ساقه، برگ، میوه و تخم درختان ذخیره می‌شود. برای مثال، سیب‌زمینی نشاسته فراوانی در بردارد. غلاتی همچون ذرت، برنج و گندم نیز مقدار زیادی نشاسته در خود ذخیره دارند. این نشاسته برای تغذیه نهال و جوانه‌های تازه روییده، لازم است. به کمک نشاسته آن‌ها رشد می‌کنند و به حدی می‌رسند که خود قادر به تهیه مواد لازم برای تغذیه‌شان می‌شوند. معروف‌ترین گیاهانی که منبع نشاسته هستند عبارت‌اند از: گندم، ذرت، برنج و غیره [۱]. برای استخراج این نشاسته از گیاه مجبور به شست‌وشو گیاهی مانند گندم شده که حاصل آن آبی با TDS زیاد و قابلیت هدایت الکتریکی بالا به علت مصرف نمک در حین تولید است.

فرایند فتون اولین بار در سال ۱۸۹۴ به وسیله کاشف آن H.J.H.Fenton مشاهده شد، ولی استفاده از آن تا دهه ۱۹۳۰ که مکانیسم آن شناخته شد به تأخیر افتاد [۲] و در اواخر دهه ۱۹۶۰ خاصیت گندزدایی آن مورد بررسی قرار گرفت [۳]. واکنشگر فتون محلولی از هیدروژن پر اکسید (H_2O_2) و یون‌های آهن (Fe^{2+}) است، واکنش بین H_2O_2 و Fe^{2+} رادیکال‌های هیدروکسیلی تولید می‌کند که باعث پیشرفت تخریب ترکیبات آلی و

گندزدایی میکروارگانیسم‌ها می‌شود [۴]. تحقیقات نشان می‌دهند که کارآمدی فرآیند فنتون در مدت‌زمان ماند کم بسیار محدود است و در عین حال به مصرف بیشتر مواد شیمیایی خصوصاً آهن نیاز دارد. از سوی دیگر باید به قابلیت محدود فرایند الکتروانقود در حذف بار مواد آلی بالا اشاره کرد، از این رو با ترکیب این دو فرایند، در جهت حذف یکدیگر فرایند الکتروفنتون به وجود آمد. دلیل ترکیب نمودن فرایند تولید الکتروشیمیایی و فرایند فنتون، افزایش ظرفیت اکسیداسیون هر کدام از این دو فرایند درون یک سیستم که اثر تشدیدکنندگی بر روی همدیگر دارند و همچنین رفع مشکلات فرایند فنتون متداول است. از جمله مزایای آن‌ها هزینه بهره‌برداری پایین، پتانسیل بالا در تخریب و حذف کامل آلاینده‌های آلی و تبدیل آن‌ها به ترکیبات بی‌ضرر مانند CO_2 ، آب و نمک‌های معدنی در مقایسه با فرایندهای شیمیایی و فتوشیمیایی است [۵].

فرایند الکتروفنتون بر مبنای تولید الکتروشیمیایی غیرمستقیم و در محل رادیکال‌های هیدروکسیل عمل می‌نماید. رادیکال‌های هیدروکسیل دومین اکسیدکننده قوی ($E^0 = 2.87 V$) بعد از یون‌های فلوراید ($E^0 = 3.06 V$) هستند [۶]. به‌طور کلی این مکانیسم در ابتدا به تولید رادیکال‌های هیدروکسیل از طریق واکنش بین هیدروژن پر اکسید و یون آهن خواهد پرداخت و سپس این رادیکال‌ها به تخریب مواد آلی می‌پردازند. لین و همکاران (۲۰۰۰) با مطالعه بر روی شیرابه بررسی میزان حذف COD به روش الکتروفنتون پرداختند آن‌ها دریافتند که با استفاده از الکترودهای آهن با سطح مؤثر $22/6 cm^2$ که در فاصله $1/5 cm$ از هم قرار دارند و با اضافه کردن مقادیر مختلف آب‌اکسیژنه طی زمان ۳۰ دقیقه COD ورودی را به $200 mg/L$ تا $350 mg/L$ کاهش می‌دهد که با یک روش ترکیبی می‌توان به حد استانداردهای محیط‌زیست کاهش داد [۷]. منصور و همکاران (۲۰۱۵) توسط فرآیندهای الکتروفنتون به تصفیه فاضلاب صنایع دارویی پرداختند نتایج حاکی از آن بود که با جریان $466 mA$ و مدت‌زمان ۳۰ دقیقه به راندمان حذف ۱۲٪ رسیده‌اند و علاوه بر آن طی این فرآیند BOD / COD را از $0/11$ به $0/52$ در مدت ۶۰ دقیقه برسانند که مناسب برای ورود به سیستم‌های بیولوژیکی است [۸].

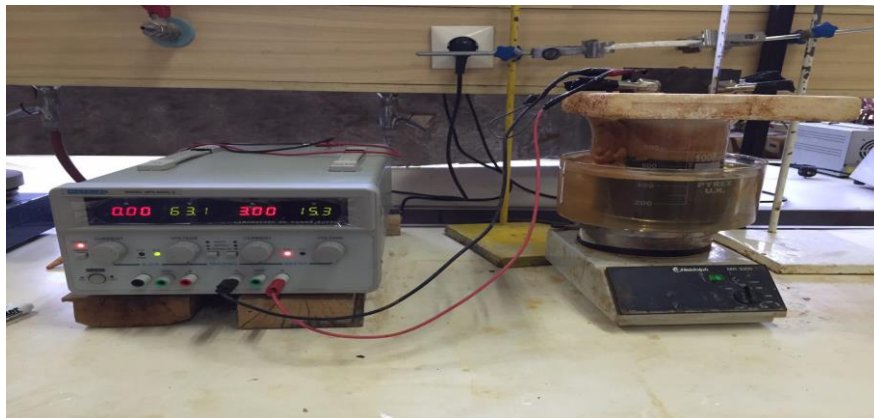
داور نژاد و همکاران (۲۰۱۴) به مطالعه‌ای بر روی اثر الکتروفنتون بر روی فاضلاب پتروشیمی پرداختند، آن‌ها حذف COD و رنگ را به‌عنوان شاخص کارایی فرایند در نظر گرفته و به بررسی عواملی از جمله جنس الکتروود، زمان واکنش، چگالی جریان، pH، نسبت حجمی H_2O_2 و نسبت H_2O_2/Fe^{2+} پرداختند. با الکتروود آلومینیوم در مدت ۷۹ دقیقه، چگالی جریان $68/5 mA/m^2$ در $pH 3/1$ با نسبت حجمی $2/14$ و با نسبت $4/9 H_2O_2/Fe^{2+}$ به راندمان ۵۱/۵٪ حذف COD و ۶۶/۷٪ حذف رنگ دست یافتند و الکتروود آهن در مدت‌زمان ۷۳ دقیقه، چگالی جریان $60 mA/m^2$ در $pH 2/6$ با نسبت حجمی $1/23$ به راندمان حذف ۶۶/۸٪ حذف COD و $69/9$ ٪ حذف رنگ خواهد رسید [۹].

آتماکا و همکاران (۲۰۰۹) روی تصفیه شیرابه لندفیل با روش الکتروفنتون مطالعه‌ای انجام دادند. تأثیر شرایط بهره‌برداری مانند زمان واکنش، فاصله بین الکتروودها، جریان الکتریکی و غلظت اولیه آب‌اکسیژنه مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین راندمان حذف در مدت ۲۰ دقیقه، در جریان ۳ آمپر، در غلظت $2000 mg/l H_2O_2$ و در pH اولیه برابر ۳ به حذف ۷۲٪ COD، اولیه در فاصله ۲ سانتی‌متری خواهد رسید [۱۰]. علاوه بر موارد فوق در حذف رنگ، آفت‌کش‌ها، ترکیبات فنولیک و غیره کاربرد دارد که حاکی از توانایی حذف بسیار بالای این روش در مواد تجزیه‌ناپذیر یا سخت تجزیه‌پذیر است

در این مطالعه به بررسی ۶ فاکتور pH، فاصله الکتروود، زمان، چگالی جریان، دما و درصد حجمی آب‌اکسیژنه بر کارایی حذف COD در فرآیند الکتروفنتون پرداخته می‌شود، همچنین در نهایت با به دست آوردن حالت بهینه فاکتورهای مذکور به بررسی تأثیر COD در راندمان حذف پرداخته می‌شود

۲. مواد و روش‌ها

مطالعه آزمایشگاهی حاضر توسط یک پایلوت که شامل یک راکتور به شکل دایره‌ای روباز به حجم $1000 cm^3$ از جنس پلکسی گلاس، منبع تغذیه جریان DC و همزن مغناطیسی جهت اختلاط بهتر محلول است. الکترودهای آهن به شکل تیغه‌هایی به ابعاد مفید $10 \times 8 \times 2$ سانتی‌متر است و سطح مؤثر غرق‌شده در پساب برای هر الکتروود ۶۰ سانتی‌متر مربع است. به‌منظور تأمین جریان الکتریکی مورد نیاز، از یک منبع تولید جریان DC با توانایی تولید جریان از ۰ تا ۵ آمپر، ولتاژ ۳۰ تا ۳۰ ولت استفاده شد. در شکل ۱ تصویر این پایلوت نشان داده شده است.



شکل ۱. تصویر پیلوت مورد استفاده در این تحقیق

برای کم کردن عوامل خطا ابتدا طی یک دوره ۲ ماهه فاضلاب کارخانه نشاسته سازی امین در اصفهان به صورت روزانه برداشت و مشخصات آن طی آنالیز انجام شده در جدول ۱ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج بست آمده به دست آمده جهت انجام آزمایش‌ها فاضلاب ورودی در طی تحقیق به روش مصنوعی و به صورت سعی و خطا با استفاده از آرد و آب و نمک طعام مشابه سازوکار تولید پساب در کارخانه گردید. در نهایت با انحلال میزان ۴۵ گرم از آرد گندم و اضافه کردن NaCl (مواد اولیه استفاده شده در کارخانه مذکور) به COD و هدایت الکتریکی مورد نظر دست یافتیم.

جدول ۱- گستره و میانگین مقادیر فاضلاب خام کارخانه نشاسته سازی

متغیرها	واحد	مقادیر	مقادیر پرتکرار
pH	-	۸-۶	۶/۷
COD	mg/lit	۴۰۰۰-۲۰۰۰	۳۰۰۰
BC	ms/cm	۳/۲۵-۵/۲	۴/۲

به منظور تنظیم pH دستگاه مولتی پارامتر HACH مدل Sens^{ion} 56 استاندارد متد (4500H) استفاده گردید، برای افزایش pH نمونه از NaOH ۳ نرمال و کاهش pH از HCL ۴ نرمال استفاده شد، جهت تهیه پساب و محلول‌ها از آب مقطر دو بار تقطیر و به منظور برقراری هدایت الکتریکی در محلول از NaCl استفاده شد و جهت اندازه‌گیری COD از دستگاه HACH DR/2010 و بر اساس استاندارد متد (5220C) صورت گرفت. کلیه آزمایش‌های دیگر اندازه‌گیری بر اساس استاندارد متد برای آزمایش‌های مذکور آماده و تعیین مقدار شدند.

فاکتورهای مؤثر در فرآیند الکتروفتون که در این تحقیق در نظر گرفته شد عبارت‌اند از متغیرهای pH، فاصله الکترود، زمان، چگالی جریان، درصد حجمی آب اکسیژنه و در نهایت دما. روش بررسی بر اساس روش یک عامل در هر بار (OFAT¹) است که در آن بررسی عوامل مختلف به صورت تغییر هر عامل در هر آزمایش با ثابت در نظر گرفتن بقیه عوامل انجام می‌شود. بر اساس نتایج و تجربیات به دست آمده از مطالعات مشابه سطوح و دامنه در نظر گرفته شده برای عوامل مؤثر در آزمایش به شرح جدول ۲ در نظر گرفته می‌شود.

¹ One Factor At a Time

جدول ۲ - عوامل مؤثر و دامنه آن

درصد حجمی آب اکسیژنه	چگالی جریان	دما	زمان	فاصله	pH	مقادیر پارامترها	شماره آزمایش
						فاکتور مورد بررسی	
%	mA/Cm ²	(°C)	(h)	(cm)			
۰	۵۰	۲۵	۰/۷۵	۴,۵-۱	۷	فاصله	۱
۰	۵۰	۲۵	۰/۷۵	مقادیر بهینه آزمایش ۱	۱۰-۳	pH	۲
۰	۵۰	۲۵	۲-۰/۵	مقادیر بهینه آزمایش ۱	مقادیر بهینه آزمایش ۲	زمان	۳
۰	۵۰-۱۶/۶	۲۵	مقادیر بهینه آزمایش ۳	مقادیر بهینه آزمایش ۱	مقادیر بهینه آزمایش ۲	چگالی جریان	۴
۱/۲۵-۰	مقدار بهینه آزمایش ۴	۲۵	مقدار بهینه آزمایش ۳	مقادیر بهینه آزمایش ۱	مقادیر بهینه آزمایش ۲	درصد حجمی آب اکسیژنه	۵
مقدار بهینه آزمایش ۵	مقدار بهینه آزمایش ۴	۴۰-۸	مقادیر بهینه آزمایش ۳	مقادیر بهینه آزمایش ۱	مقادیر بهینه آزمایش ۲	دما	۶

بررسی میزان اثرگذاری پارامترها بر اساس راندمان حذف COD از رابطه (۱) مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$\alpha = \frac{(\text{COD in} - \text{COD out})}{\text{COD in}} \times 100 \quad (1)$$

in COD: اکسیژن خواهی شیمیایی ورودی

out COD: اکسیژن خواهی شیمیایی خروجی

α : درصد حذف

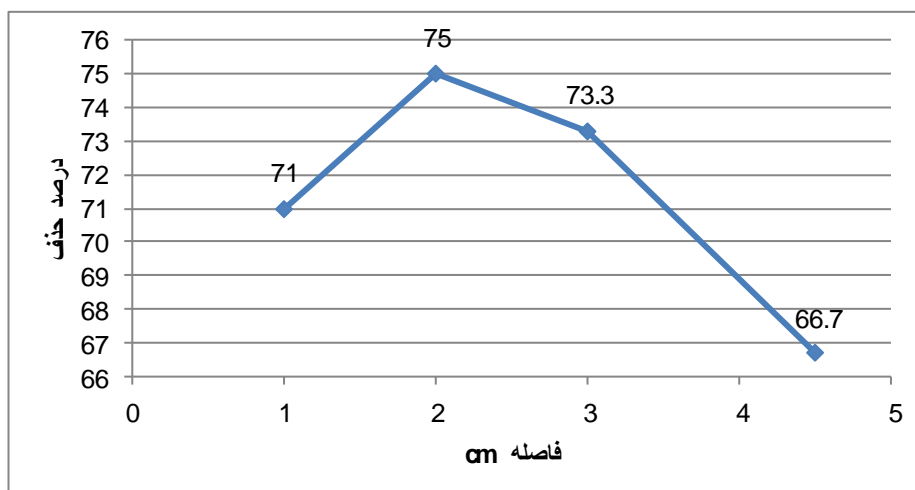
۳. نتایج و بحث

در ادامه به بررسی عوامل تأثیرگذار در فرایند الکتروفتون از جمله pH، فاصله الکتروود، زمان، چگالی جریان، درصد آب اکسیژنه و دما خواهیم پرداخت و سپس در شرایط بهینه تأثیر COD مختلف ورودی را بررسی و نتایج را باهم مقایسه خواهد شد.

۳-۱،۲- بررسی تأثیر فاصله الکتروود

فاصله الکتروود پارامتری مؤثر در طی فرایند الکتروفتون محسوب می‌شود [۱۱]، از این رو طی آزمایش فواصل ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتی متر مورد مطالعه قرار گرفت، همان گونه که در شکل ۲ می‌توان مشاهده کرد که تأثیر فاصله بین الکتروودها یک نقطه بهینه‌ای دارد، در فواصل خیلی نزدیک آند و کاتد، یون‌های آزاد شده از الکتروود توانایی ایجاد لخته‌های مناسب را ندارند و در نتیجه عملکرد مطلوب از خود نشان نمی‌دهند. از طرف دیگر در فواصل دور نیز قابلیت هدایت الکتریکی کم شده و توانایی آزاد کردن یون‌های منعقد کننده بیشتر را از دست می‌دهد. مطابق شکل ۲ در افزایش فاصله از ۱ به ۲ سانتی متر راندمان حذف افزایش فراوانی از خود نشان می‌دهد، افزایش این پارامتر به گونه‌ای عمل می‌کند که با افزایش فاصله از راندمان به شدت کاسته

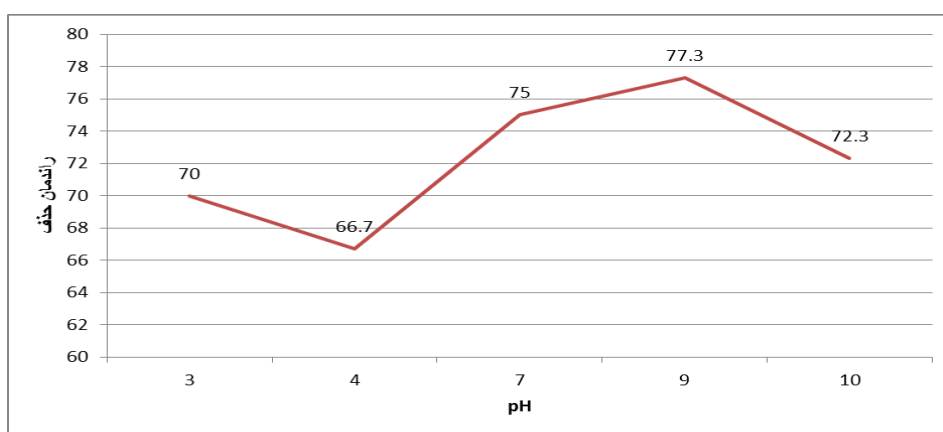
می شود و از طرف دیگر برق مصرفی را نیز افزایش می دهد تا حدی که در فاصله ۴/۵ سانتی متری با مصرف ۳ برابری برق مصرفی حالت بهینه راندمان ۱۰٪ کم می شود. از این رو در آزمایش های بعدی فاصله بین الکترود ۲ سانتی متر انتخاب شده که راندمان ۷۵٪ از خود نشان می دهد.



شکل ۲. تأثیر پارامتر فاصله الکترود بر راندمان حذف COD (در زمان ۴۵ دقیقه و چگالی جریان ۵۰ mA/cm² و pH خنثی)

۲،۳- بررسی تأثیر pH

در آزمایش های انجام شده ۵ نقطه ۳،۴،۷،۹،۱۰ را مبنای عملکرد پارامتر pH بر راندمان حذف قرار می دهیم، همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می شود با افزایش pH از حالت اسیدی به حالت خنثی راندمان افزایش یافته و با بازی شدن محیط دوباره کاهش می یابد، این بدان سبب است که با برقراری جریان، آهن یون Fe^{۲+} آزاد می کند و در شرایط اسیدی به Fe(OH)^{۲+}، Fe(OH)^{۳+} و در شرایط بازی به Fe^{۳+} و در محیط آبی به Fe(OH)_۴⁻، Fe(OH)_۶⁻ تبدیل می شود [۱۲] و از غلظت Fe که عامل انعقاد در محلول است، کاسته شده در نتیجه راندمان در حالت خنثی و تا pH:۹ در بهترین حالت قرارداد بدین جهت در آزمایش های بعدی به علت اینکه افزایش راندمان بین حالت خنثی و بهینه قابل اغماض است از pH خنثی باراندمان ۷۵٪ استفاده می کنیم.

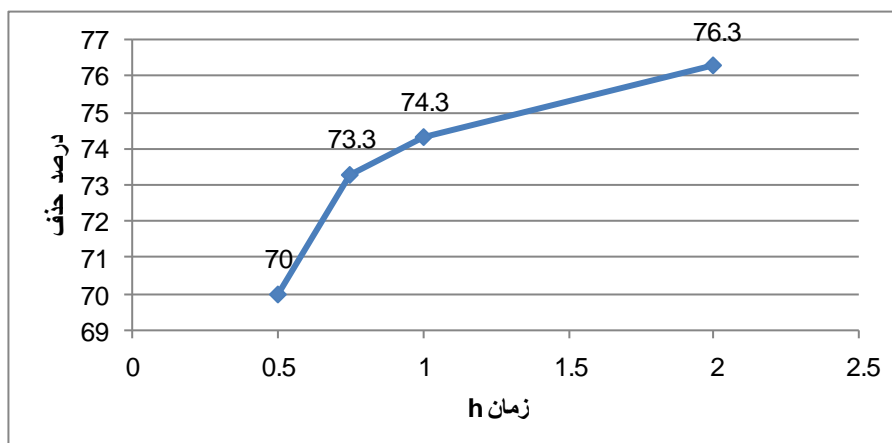


شکل ۳. تأثیر pH متفاوت (در زمان ۴۵ دقیقه و چگالی جریان ۵۰ mA/cm² و فاصله ۲ سانتی متر)

۳،۳- بررسی تأثیر زمان

در این قسمت زمان های ۰/۵، ۰/۷۵، ۱ و ۲ ساعت مورد آزمایش قرار گرفت است. همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می کنید با افزایش زمان راندمان

حذف افزایش می‌یابد و به گونه‌ای است که اگر فرصت بیشتری به فرایند دهیم، با افزایش غلظت منعقد کننده توانایی حذف را بالا برده‌ایم، اما در زمان‌های بیشتر دو مشکل ایجاد می‌شود: ۱- اگر این روش به‌عنوان یک پیش تصفیه باشد دمای محلول افزایش چشمگیری پیدا می‌کند که موجب اختلال در فرایندهای بعدی تصفیه به روش بیولوژیکی می‌شود. ۲- از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست. در شکل ۴ مشاهده می‌شود تقریباً با افزایش زمان الکترولیز از ۰/۷۵ ساعت بازده حذف افزایش چندانی نداشته، لذا در آزمایش‌های بعدی زمان حذف را ۰/۷۵ ساعت در نظر می‌گیریم که دارای راندمان ۷۳/۳٪ است.



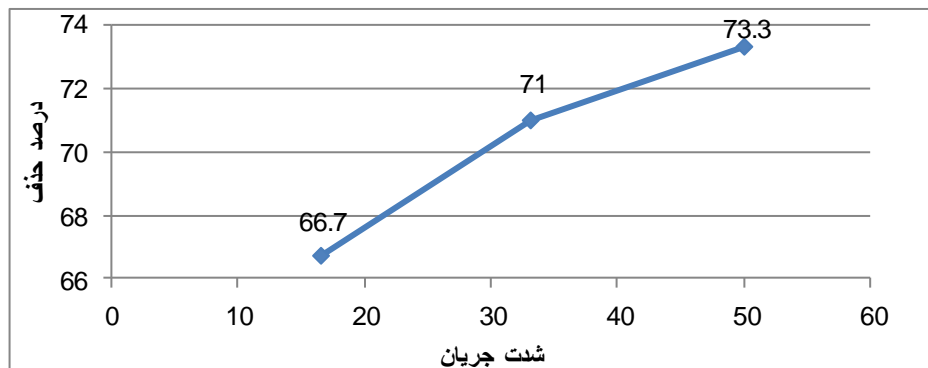
شکل ۴. تأثیر زمان متفاوت (در فاصله ۲ سانتی‌متر و چگالی جریان 50 mA/cm^2 و pH خنثی)

۴،۳- بررسی تأثیر چگالی جریان

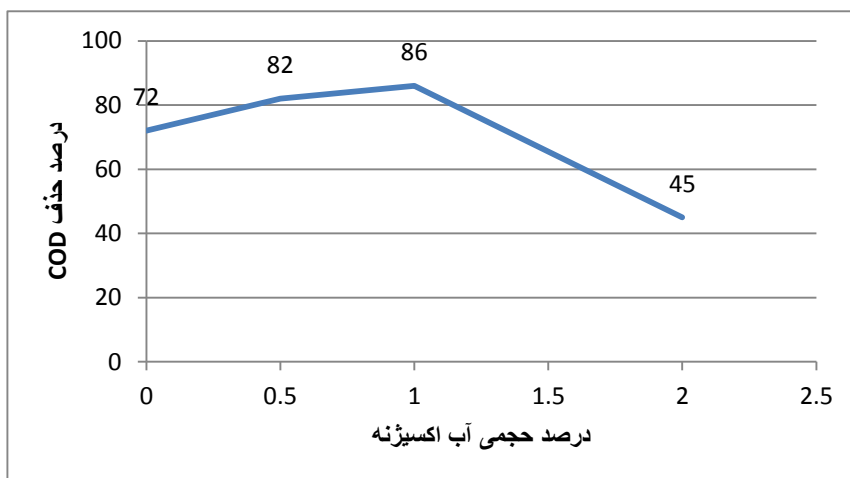
در پژوهش‌های پیشین نشان داده شده است که چگالی جریان علاوه بر افزایش میزان ماده منعقد کننده تولیدی، بر اندازه و حجم حباب‌های تولید شده در اطراف کاتد نیز اثر گذاشته و موجب رشد لخته‌های ته‌نشین شده می‌شود. بدین منظور در آزمایش آمپر ۱،۲ و ۳ را که بر سطح مستغرق $7/5 \times 8$ آند اعمال می‌کنیم که اعداد چگالی جریان ذکر شده را عبور می‌دهد، به علت مشکلات ذکر شده در قسمت قبل دمای محلول در هر سه حالت در طول فرایند مورد کنترل واقع می‌شود [۱۳]. بدیهی است که هر چه چگالی جریان بیشتر، راندمان حذف نیز بیشتر می‌شود اما با عبور جریان ۳ آمپر دمای محلول به ۴۲ درجه سانتی‌گراد از دمای ۲۵ درجه افزایش می‌یابد که بیشترین دمای قابل تحمل فرایندی مانند لجن فعال است، از این رو مجبور به انتخاب 50 mA/cm^2 به‌عنوان چگالی جریان می‌شویم (شکل ۵).

۵،۳- بررسی تأثیر درصد حجمی آب اکسیژنه

آب اکسیژنه منبع تولید رادیکال‌های هیدروکسیل است. به همین دلیل با افزایش غلظت آب اکسیژنه، درصد حذف COD به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد، اما طبق پژوهش‌های انجام شده حضور بیش از حد آب اکسیژنه باعث تبدیل شدن Fe^{3+} به یون Fe^{2+} که به‌مراتب قدرت اکسیدکنندگی کمتری دارد [۱۰]. از این رو درصد حجمی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ استفاده شده است که طبق شکل ۶ بعد از ۱٪ حجمی راندمان حذف به‌شدت کاهش می‌یابد، از این رو ۱٪ حجمی به‌عنوان حالت بهینه درصد حجمی آب اکسیژنه در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر برای رفع مزاحمت آب اکسیژنه باقی‌مانده در محلول برای آزمایش COD از 2 g/l آهک استفاده می‌شود.



شکل ۵. تأثیر چگالی جریان متفاوت (در زمان ۴۵ دقیقه و فاصله ۲ سانتی متر و pH خنثی)

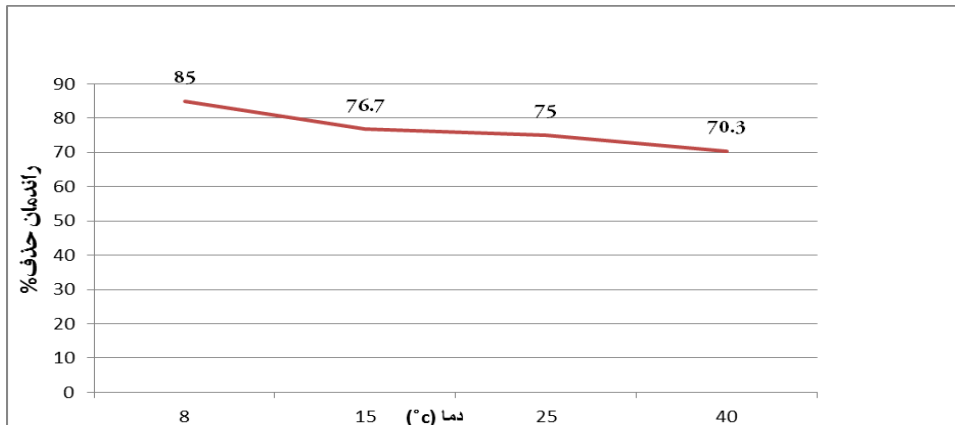


شکل ۶. تأثیر درصد حجمی آب اکسیژنه متفاوت (در زمان ۴۵ دقیقه و فاصله ۲ سانتی متر و pH خنثی)

۶،۳- بررسی تأثیر دما

عامل دما در واقع از نظر بررسی تأثیر شرایط مختلف زمانی و فرایندی در بهره‌برداری سیستم تصفیه به روش الکتروفنتون در نظر گرفته شده است. این آزمایش به گونه‌ای انجام شده است که محیط آزمایش نیز در دمای ثابت از ابتدا تا انتهای آزمایش قرار گیرد، از این رو دماهای ۸، ۱۵، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده و بر روی آن آزمایش انجام شده است همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید در دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهد.

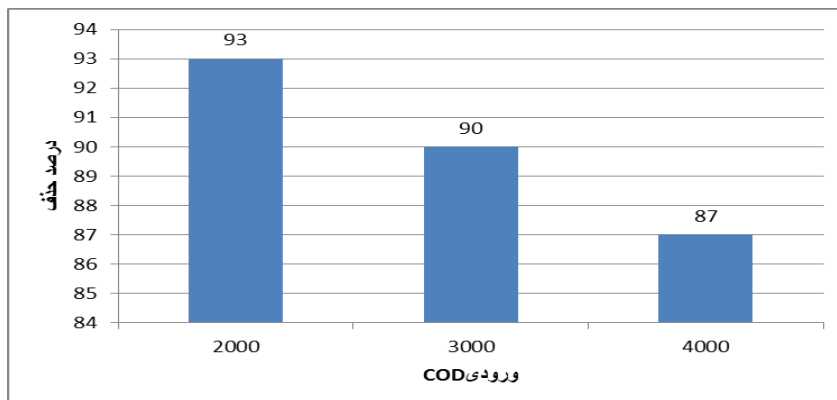
نتایج حاکی از آن است که هر چه دما کمتر باشد علیرغم کاهش قابلیت هدایت الکتریکی فرآیند راندمان بهتری از خود نشان می‌دهد که می‌توان به علت آن باشد که در دمای پایین نیروی جنبش ذرات از نیروی واندروالس بین ذرات کمتر بوده، از این رو حذف کمتر باشد و یا به علت اینکه در دمای پایین انحلال یون Fe^{2+} در محلول کمتر است و به صورت آزاد در محلول وجود دارد و باعث فرآیند انعقاد می‌شود. از این رو در فصول سردتر سال این فرایند با عملکرد ۸۵٪ حذف COD ورودی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.



شکل ۷. تأثیر دمای متفاوت (در زمان ۴۵ دقیقه و فاصله ۲ سانتی متر و pH خنثی و چگالی جریان ۵۰ mA/cm² و غلظت آب اکسیژنه ۱٪ حجمی)

۷،۳- بررسی تأثیر COD

عامل COD ورودی با استفاده از شرایط بهینه به دست آمده در قسمت قبل مورد مطالعه قرار می گیرد، نتایج حاکی از آن است که هر چه COD ورودی کمتر باشد، عملکرد فرایند نیز بهتر خواهد بود (شکل ۸).



شکل ۸. تأثیر COD متفاوت در شرایط بهینه

۸،۳- تعیین شرایط بهینه

نتایج به دست آمده در بررسی های فوق از عملکرد مناسب این روش در حالت بهینه جدول ۳ است، در این پژوهش به روش یک عامل در هر بار استفاده شده است که اثرات متقابل را در نظر نمی گیرد از این رو حالت بهینه ممکن است در مقادیر دیگر و با راندمان بالاتری اتفاق بیفتد.

جدول ۳. مقادیر بهینه بر اساس نتایج هر آزمایش

راندمان حذف (%)	COD (mg/l)	دما (°C)	غلظت حجمی آب اکسیژنه	چگالی جریان (mA/Cm ²)	زمان (min)	pH	فاصله (cm)
۹۳	۲۰۰۰	۸	٪۱	۵۰	۴۵	۷	۲



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



۳. نتیجه گیری

در این مطالعه قابلیت فرآیند الکتروفتون در تصفیه مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر پارامترهای متفاوت شامل، فاصله الکترود، زمان، چگالی جریان، درصد حجمی آب اکسیژنه و دما مورد بررسی قرار گرفت که بهترین عملکرد آن باراندامان ۹۳٪، COD خروجی را از ۲۰۰ mg/l به ۱۴۰ mg/l کاهش می دهد که مناسب برای یک ورودی به سیستم لجن فعال است، از طرف دیگر در این پژوهش به روش یک عامل در هر بار استفاده شده است که اثرات متقابل را در نظر نمی گیرد از این رو حالت بهینه ممکن است در مقادیر دیگر و یا راندامان بالاتری اتفاق بیفتد، لذا برای مطالعات بعدی پیشنهاد می شود با عوامل ذکر شده در مقاله، طراحی آزمایش به روش های معمول صورت گرفته و اثرات متقابل نیز در نظر گرفته شود. در شرایط بهینه تصفیه پساب، رنگ فاضلاب به رنگ قرمز با کدورت بالا تبدیل می شود که با یک ته نشینی ساده به کمک ۲ g/lit آهک، علاوه بر حذف آب اکسیژنه باقی مانده در محلول، فاضلاب کاملاً شفاف و لخته ها ته نشین می شود. از این رو می توان نتیجه گرفت که از فرایند الکتروفتون می توان به صورت پیوسته و در مقیاس صنعتی در کارخانه های نشاسته سازی بهره برد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که فرایند الکتروفتون در تصفیه پساب کارخانه جات نشاسته سازی به عنوان یک پیش تصفیه مناسب جایگزین سیستم هزینه بر تصفیه بی هوازی است.

۴. مراجع

- Sun, L., Wan, S., Yu, Z., Wang, Y. and Wang, S. (2012). "An aerobic biological treatment of high strength cassava starch waste water," *Bio source Technology*, vol. 104, pp. 280-288,.
- Umar, M., Aziz, H., and Yusoff, M. (2010). "Trends in use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate," *Waste Management*, vol. 30, pp. 2113-2121,.
- Nabizade, R., Alimohamadi, M., Aslani, H., Mesdaghinia, A., Naddafi, K., Nemati, R. and Ghani, M. (2012). "Comperative study of Fenton's reagent performance in disinfection of raw wastewater and activated sludge effluent," *Desalin. water treat.*, vol. 37, pp. 1-6,.
- مرادی, ب. س., روشن ضمیر, م. ح. و کاسه گری, ح. (۱۳۸۸). "بررسی فرایند الکتروفتون در حذف خواست اکسیژن خواهی پساب", دومین سمپوزیوم بین المللی مهندسی محیط زیست, تهران.
- Ozen, A., Sahin, Y., Koparal, A. and Oturan, M. (2009). "A comparative study on the efficiency electro-Fenton process in the removal of prophan from water. applied catalysis," *B: Environmental*, vol. 89, pp. 620-626,.
- Zhang, H., Fei, C., Zhang, D. and Tang, F. (2007). "Degradation of 4-nitrophenol in aqueous medium By electro-Fenton method," *Journal of Hazardous matherials*, vol 145, pp. 227-232,.
- Lin, S. H. and Chang, C. C. (2000). "Treatment of landfill leachate by combined electro-Fenton oxidation and sequencig batch reactor method", *Water Research*, Vol. 34, No. 17, pp. 4243-4249,.
- Mansour, D., Fourcade, F., Soutrel, I., Hauchard, D., Bellakhal, N. and Amrane, A. (2015). "Mineralization of synthetic and industrial pharmaceutical effluent containing trimethoprim by combining electro-Fenton and activated sludge treatment", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol. 53, pp. 58-67,.
- Davarnejad, R., Mohammadi, M., and Ismaili, A. (2014). "Petrochemical wastewater treatment by electro-Fenton process using aluminum and iron electrodes: Statistical comparison", *Journal of Water Process Engineering*, Vol. 3, pp. 18-25,.
- Atmaca, E. (2009). "Treatment of landfill leachate by using electro-Fenton methods", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 135, pp. 109-114,.
- هوشمند فر, امین, و آیتی, بیتا (۱۳۹۲). "بررسی کارایی انعقاد الکتریکی و شناورسازی الکتریکی در حذف اسید قرمز ۱۴ از محیط آبی با الکترودهای آلومینیومی", اولین همایش ملی برنامه ریزی حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار, همدان,.
- Mollah M, Y., Schennach, r., Parga J, R., and D L cocke. (2001) "Electrocoagulation (EC) – science and applications", *Journal of Hazardous Materials*,., vol. 84, pp. 29-41.
- Jiantuan Ge, Jiuhui Qu, G. and HuiJuan, L. (2004). "New bipolar electrocoagulation-electroflotatin process for the treatment of laundry wastewater," *Separation and Purification Technology*, pp. 33-39,