

روش های نوین بهینه سازی تصفیه پساب فاضلاب ها با استفاده از فرایند

اکسیداسیون پیشرفته

ابوالفضل احمدی¹، شهاب شغائیان²

1- دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، گروه مهندسی شیمی، امیدیه، ایران

2- کارشناسی ارشد مهندسی هسته ای-طراحی راکتور، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران واحد بوشهر

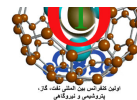
چکیده:

امروزه به کارگیری روش های بیولوژیکی در تصفیه فاضلاب های گوناگون، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یک عامل محدود کننده در راه اندازی این گونه سیستم ها تشکیل گرانول به عنوان یک عامل کلیدی و در عین حال زمان بر می باشد. لذا، در سال های اخیر تلاش های فراوانی به منظور کاهش زمان تشکیل گرانول و در نتیجه افزایش کارایی سیستم های تصفیه بیولوژیکی انجام شده است. در این مطالعه، کارائی فرایندهای اکسیداسیون با استفاده از فنتون، آب اکسیژنه و دی اکسید تیتانیوم در تصفیه فاضلاب بررسی می گردد. با توجه به اینکه، در این مطالعه کاربردهای متفاوتی از این فرایند در نظر گرفته شده است، از این طریق واکنش های اصلی و پارامترهای موثر بر این واکنش ها، نظیر غلظت آلاینده هدف در فاضلاب و میزان اکسیداسیون برای هر نوع کاتالیست بر فرایند های اکسیداسیون پیشرفته، مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین بوسیله تحلیل روشهای مختلف اکسیداسیون پیشرفته، مزایا و معایب هر یک از این روش ها مشخص می گردد.

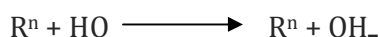
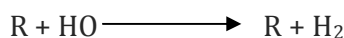
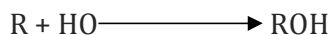
واژه های کلیدی: تصفیه بیولوژیکی، اکسیداسیون پیشرفته، آب اکسیژنه، دی اکسید تیتانیوم، فنتون، فاضلاب

1- مقدمه:

در دهه های اخیر نقش فرایندهای بیولوژیکی در تصفیه فاضلاب به صورت قابل توجهی افزایش یافته است. راندمان فرایندهای بیولوژیکی به ساختار راکتورها، شرایط عملکردی و ویژگی های فاضلاب مورد نظر بستگی دارد. به همین دلیل، تکنیک های مختلف تصفیه جهت تبدیل اینگونه مواد آلی به مواد غیرآلی و یا مواد آلی تجزیه پذیر، مطرح می باشد. یکی از انواع این تکنیک ها فرایند اکسیداسیون پیشرفته است در حال حاضر از این تکنیک جهت تصفیه ترکیبات آلی تجزیه ناپذیر، مانند آفت کشها، مواد رنگ آمیزی، مواد دارویی و ترکیبات شیمیایی آلی استفاده می شود. همچنین از این روش جهت پیش تصفیه مواد آلی سمی استفاده شده است و بدین ترتیب اثرات منفی مواد آلی سمی بر سیستم های تصفیه بیولوژیکی کاهش یافته است. مکانیزم اصلی در فرایند اکسیداسیون پیشرفته، تولید رادیکال های آزاد واکنش پذیر است. رادیکال های هیدروکسیل (HO) در تخریب ترکیبات آلی شیمیایی موثر هستند. این رادیکال های الکترون دوست به سرعت با (HO) هیدروکسیل نزدیکترین ترکیب آلی الکترون دار وارد واکنش می شوند. پتانسیل اکسیداسیون رادیکال های هیدروکسیل برابر 2.33 v می باشد. همچنین سرعت واکنش اکسیداسیون این رادیکال ها نسبت به اکسیدان های مرسوم (مانند: H_2O_2 و KMNO_4) بیشتر است. پس از قرارگیری رادیکالهای هیدروکسیل در مجاورت ترکیبات آلی شیمیایی این دو ترکیب وارد واکنش شده رابطه (1)، هیدروژن موجود در ترکیبات آلی شیمیایی جذب رادیکال



ها می شود رابطه (2) و در نهایت انتقال الکترون صورت می گیرد رابطه (3). در روابط 1-3, R نشان دهنده ترکیبات آلی شیمیایی می باشد.



چند روش مرسوم جهت اجرای فرایند اکسیداسیون پیشرفته در جدول 1 نمایش داده شده است. در اکثر این به همراه کاتالیست و (H₂O, O₃) روشها جهت اجرای فرایند اکسیداسیون، از یک عامل اکسیداسیون قوی مانند پرتوافکنی استفاده می شود. از بین روشهای تولید رادیکال های هیدروکسیل و اجرای فرایند اکسیداسیون پیشرفته، روش دی اکسید تیتانیوم / پرتوافرنش، پروکسید هیدروژن / پرتو فرابنفش و واکنشهای فنتونی متداولترین روش ها می باشند. در این مقاله این روش ها مورد مرور و بررسی قرار می گیرد. همچنین واکنش ها و پارامترهای موثر بر این روش ها تحلیل و بررسی می گردد.

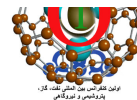
جدول 1 - روشهای مرسوم در اجرا فرایند اکسیداسیون پیشرفته

دی اکسید تیتانیوم / ازن	پروکسید هیدروژن / پرتو فرابنفش
واکنش های فنتونی (Fe ²⁺ / H ₂ O ₂ / Fe ²⁺ / Ur)	پروکسید هیدروژن / ازن
اکسیداسیون مجاورتی	دی اکسید تیتانیوم / پرتو فرابنفش

2- بررسی اثر شرایط محیطی

2.1 اثر دما:

عامل دما از جمله عوامل مهم محیطی تاثیرگذار در فرایندهای بیولوژیکی است. از این رو لازم است که برای هر سیستم بیولوژیکی متناسب با خصوصیات فرایندی، دمای بهینه جهت فرایندهای بیولوژیکی انتخاب شود. بهینه سازی دمایی فرایند باعث سرعت دهی به پیشروی فرایند در جهت مطلوب و در نتیجه کاهش زمان تکمیل شدن فرایند در سیستم بیولوژیکی متناسب با خصوصیات فرایندی، دمای بهینه جهت فرایندهای بیولوژیکی انتخاب شود. بهینه سازی دمایی فرایند باعث سرعت دهی به پیشروی فرایند در جهت مطلوب و در نتیجه کاهش زمان تکمیل شدن فرایند در سیستم بیولوژیکی می شود. محققان در سال های اخیر ضمن توجه به این نکته، آزمایشات مختلفی روی سیستم های مختلف جهت یافتن دمای بهینه واکنش

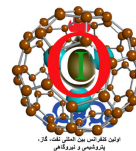


بیولوژیکی این سیستم ها انجام داده اند. تغییرات ناگهانی دما اعم از کاهش و افزایش، تاثیر معکوس در عملکرد هضم خواهد داشت. تغییر ناگهانی دما همچنین باعث افزایش همزمان اسیدهای چرب فرار می شود. دماهای بیش از دمای مربوط به بیشترین نرخ رشد باکتری ها موجب کاهش سرعت رشد باکتریها شده که آن منجر به کاهش فعالیت لجن و در نتیجه کاهش ظرفیت حذف راکتور می شود. نتایج آزمایشات تجربی انجام شده روی عملکرد فیلترهای بی دهنوازی سرما دوست و گرما دوست نشان داده است که افزایش و کاهش دما باعث برخی اثرات نامطلوب در عملکرد این سیستم ها می شود. اگر چه هر دو این راکتورها قادر به بهبود راندمان خود پس از تطابق مجدد شرایط دمایی حاضر با دمای بهینه آن ها هستند. همچنین نتایج این بررسی ها نشان داده است که افزایش دما اثر شدیدتری نسبت به کاهش دما روی میکروارگانیسم های سرما دوست دارد. میکروارگانیسم های گرمادوست در مقابل افزایش دما مقاوم تر از سرما دوست ها هستند. نشان دهنده تاثیر دما روی عوامل مختلف در تصفیه بیولوژیکی CAB همچنین تجربیات اخیر روی راکتور است. این تحقیقات نشان داده که کاهش دمای عملکردی سیستم با pH می باشد. از جمله این عوامل تاثیر دما روی این سیستم نیز با افزایش دما تا رسیدن به دمای بهینه افزایش COD همراه می باشد. راندمان حذف pH کاهش می یابد، و غلظت مواد جامد محلول و اسیدهای چرب فرار خروجی کاهش می یابد.

2.2 اثر PH:

PH از عوامل محیطی تاثیرگذار در تصفیه فاضلاب های مختلف می باشد که بخصوص در سیستم های جدید تصفیه فاضلاب، به دلیل تاثیرات مهم آن در کارایی این سیستم ها، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله تاثیرات کلیدی این عامل که در مطالعات اخیر مورد بررسی قرار گرفته است، اثر آن در بهبود حذف بیولوژیکی فسفر می باشد. طبق تحقیقات انجام شده در این زمینه، رهاسازی فسفات بی هوازی هنگامی که PH اولیه از 6.4 به 6.8 افزایش می یابد، کم می شود. اما رهاسازی فسفات هنگامی که pH از 6.8 به 8 می رسد، افزایش می یابد. یک توضیح این رویداد به دلیل سطح انرژی مورد نیاز بالاتر در pH های بالاتر است که موجب کاهش پلی فسفات برای تولید ATP بیشتر شده و در نتیجه فسفر آزاد می شود. در نتیجه توجه به اثرات غیرخطی PH در این سیستم ها به عنوان عامل تاثیرگذار و کنترلی در حذف بهتر فسفر ضروری می باشد.

اثر PH در فرایند بیولوژیکی حذف مواد رنگی از فاضلاب صنایع نساجی در سیستم های نوین تصفیه فاضلاب نیز مورد تحقیق واقع شده است و آزمایشات زیادی به منظور یافتن PH بهینه این گونه سیستم ها صورت پذیرفته است. اثر PH بهینه در راندمان حذف این گونه مواد رنگی بسیار قابل ملاحظه است به طوری که طبق یک تحقیق تجربی انجام شده توسط CHEN در سال 2010 بیشترین راندمان حذف یک ماده رنگی خاص 98% بود که این مقدار در PH=7.5 به 19% کاهش یافت. پیش از آن نتایج مشابهی در حذف دیگر مواد مانند (Fe III) نیز به دست آمده بود. در فرایندهای بیولوژیکی تعیین زمانی که فرایند بیش از حد بارگذاری شده و تعیین وضعیت فرایند در این زمان، عامل بسیار مهمی در روند پیشروی فرایند می باشد. به عنوان مثال تعیین اینکه در چه زمان و چگونه آشفستگی جریان ممکن است در راندمان فرایند تاثیر بگذارد. توجه به این نکته و تعیین بارگذاری بهینه از جمله عواملی است که در راندمان سیستم های بیولوژیکی اثر گذاشته و لذا در طراحی اینگونه سیستم ها به عنوان پارامتر مهم وارد می شود. Bermudez و همکاران هنگام استفاده از سیستم فیلتر چکنده بی هوازی AFT در تصفیه خروجی کارخانه آبمیوه گیری و پنیر غنی شده، در شرایط تغییر ماده آلی و بارگذاری بیش از حد، تنها



پس از گذشت زمان کافی و رسیدن به شرایط پایدار، توانستند به نتایج رضایت بخشی برسند در همه تحقیقاتی که در آنها عملکرد راکتور وابسته به قابلیت بیومس داخل آن بود، ضمن بارگذاری صحیح تا 60% بهبود در راندمان راکتور حاصل شد. طی یک آزمایش تجربی در سال 1991 به منظور بررسی اثر شوک ناشی از بارهای هیدرولیکی و آلی روی یک فیلتر بی هوازی به حجم

$m^3 528$ روی فاضلاب صنایع بستنی سازی، راندمان تولید متان از 81 به 67 درصد کاهش یافت. با توجه به اثرات قابل توجه، این پارامتر از سالها پیش تا کنون مورد بررسی و تحقیقات مختلفی واقع شده است،

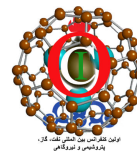
Mariana Bueno و همکاران اثر شوک ناشی از بارهای هیدرولیکی و آلی را روی سیستم بیوفیلیم متوالی بی هوازی ASBR مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده در این سیستم نیز نشانگر کاهش راندمان از

90 به 80 درصد بود. Mass و همکاران به بررسی اثر شوک ناشی از بارهای هیدرولیکی و آلی روی گونه دیگری از راکتور بی هوازی بیولوژیکی که در آن نرخ بار آلی با ضریبی از 1.5 تا 3.6 تغییر می کرد، پرداختند. COD و اسیدهای چرب فرار در اثر شوک ناشی از این بارگذاری افزایش یافته و پس از رسیدن به شرایط قبل از بارگذاری آلی مجدد تعدیل شد، بررسی های انجام شده روی سایر راکتورهای بی هوازی مانند راکتور UASB نیز نتایج مشابهی را نشان می دهد، در واقع میتوان گفت راکتورهای بیولوژیکی بی هوازی هنگامی که در معرض تغییرات ناگهانی قرار می گیرند عملکرد و فرایند مشابهی را دنبال می کنند. در نتیجه کنترل بارهای آلی و هیدرولیکی وارد به این سیستمها از جمله راه کارهای موثر در افزایش راندمان آنها می باشد.

3. کاربرد فرایند اکسیداسیون پیشرفته در تصفیه فاضلاب

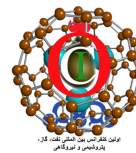
1.3 روش دی اکسید تیتانیم / پرتو فرابنفش 2 :

پرتو فرابنفش توسط یک نیمه هادی پروکسید تیتانیم (TiO_2/UV) در روش دی اکسید تیتانیم / پرتو فرابنفش نوارهای الکترون UV بوسیله TiO جذب و از این طریق رادیکال های هیدروکسیل تولید می شود. در حین پرتو دهی 2 و پروتن آزاد می گردند (رابطه 4) نوارهای الکترون از طریق جذب سطحی سبب تولید آنیون های سوپرکسید می گردند (رابطه 5) همچنین نوارهای پروتن در واکنش با آب سبب تولید رادیکال های هیدروکسیل می گردند (رابطه 4-6) $h\nu$ h^+ , e_{cb} به ترتیب نشان دهنده پرتوی فرابنفش، نوارهای الکترون و پروتن می باشند، در این واکنش ترکیبات آلی شیمیایی از طریق واکنش با نوار پروتن ها، رادیکال های هیدروکسیل و پروکسید در تصفیه فاضلاب بطور گسترده استفاده شده است. در این روش در TiO_2/UV تجزیه اکسایشی می گردند. در این روش در TiO_2/UV تجزیه اکسایشی می گردند. از روش صورت استفاده از نانو ذرات به عنوان منبع UV وجود دارد همچنین یکی دیگر از مزایای این روش دسترسی آسان به TiO_2 می باشد. این ماده قابلیت اکسیداسیون طیف گسترده ای از ترکیبات آلی و تبدیل این ترکیبات به ترکیبات بی ضرر مانند (H_2O و CO_2) را داراست. فاکتورهای موثر بر روش TiO_2/UV شامل: میزان ترکیبات آلی ورودی، میزان کاتالیزور، طرح راکتور، مدت زمان پرتو دهی با UV، دما، PH، محلول، شدت نور و وجود گونه های یونی می باشند. استفاده بیش از اندازه از کاتالیزور سبب افزایش کدورت

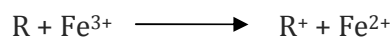
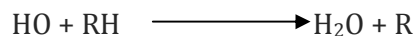
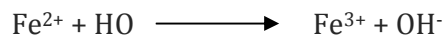
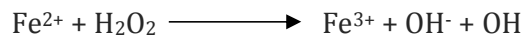


فاضلاب و کاهش نفوذ پرتوی فرابنفش می گردد. طراحی راکتورها در این روش باید به گونه ای باشد که پرتو دهی به سطح کاتالیزورها به طور یکسان انجام گیرد. در دمای بین 20 تا 80 درجه سانتیگراد میزان تاثیر دما بر فرایند بسیار ناچیز است. با افزایش دما به بیش از 80 درجه سانتیگراد، سرعت واکنش ها کاهش می یابد. میزان PH محلول بر روی سرعت اکسیداسیون فوتوکاتالیستیک موثر است. در آلودگی های اسیدی ضعیف، سرعت این نوع اکسیداسیون با کاهش pH افزایش می یابد. همچنین در حالت قلیایی با افزایش PH سرعت اکسیداسیون کاهش می یابد در نهایت وجود گونه های یونی از طریق جذب سطحی آلودگیها، جذب پرتوی ماوراء بنفش و ایجاد واکنش با رادیکال های هیدروکسیل، بر فرایند تجزیه موثر است. از روش TiO_2/UV جهت تصفیه پساب خروجی از کارخانه ساخت روغن زیتون، بطور گسترده استفاده شده است. در مطالعه ای جهت تصفیه فاضلاب کارخانه روغن زیتون از این روش استفاده شده است. در این مطالعه به ازای هر لیتر فاضلاب از یک گرم TiO_2 استفاده شده است. پس از گذشت 24 ساعت از فرایند تصفیه حدود 22% و 94% به ترتیب از COD و فنول موجود در فاضلاب، حذف شده است. طبق مطالعه انجام شده بر روی تصفیه پساب آغشته به روغن زیتون با استفاده از روش TiO_2/UV با کاهش غلظت COD ورودی، افزایش زمان ماند و غلظت کاتالیزور راندمان این روش افزایش می یابد. در مطالعه ای جهت اکسیداسیون فاضلاب آغشته به اسید فنیک از دی اکسید تیتانیم به همراه فوتوکاتالیزور استفاده شده است. همچنین در این مطالعه اثر غلظت اسید فنیک ورودی، میزان کاتالیزور PH محلول و شدت نور بر راندمان فرایند بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که 99% از اسید فنیک موجود در فاضلاب پس از 4 ساعت تصفیه می گردد. افزایش شدت نور از 15W به 400W و میزان TiO_2 از 0.1 به 1 گرم در لیتر، سبب افزایش تجزیه اسید فنیک می گردد. در مطالعه ای اثرات PH و میزان کاتالیزور بر راندمان فرایند TiO_2/UV بررسی و حالت بهینه جهت تجزیه حداکثر بدست آمده است.

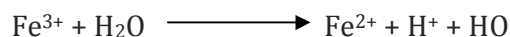
فاضلاب مورد بررسی در این مطالعه، شامل فاضلاب کارخانه رنگرزی الیاف بوده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد، حالت اسیدی سبب افزایش راندمان فرایند تصفیه در این نوع فاضلاب می گردد. سرعت تجزیه رنگ با افزایش غلظت TiO_2 به 4 گرم در لیتر، افزایش می یابد. در صورت افزایش TiO_2 به بیش از 4 گرم در لیتر به علت افزایش کدورت، سرعت تجزیه رنگ کاهش می یابد. در مطالعه ای دیگر جهت اجرا فرایند اکسیداسیون از TiO_2 به همراه پرتو خورشید استفاده شده است. استفاده از پرتوی خورشید، به جای منبع مصنوعی تولید کننده پرتوی فرابنفش سبب کاهش محسوس هزینه تصفیه خواهد شد. روش مرسوم در انجام فرایند اکسیداسیون خورشیدی، استفاده مستقیم از نور خورشید است. که در برخی موارد از متمرکز کننده ها سهمی وار استفاده می شود. در مطالعه ای جهت تصفیه فاضلاب نیروگاه برق حرارتی از TiO_2 به همراه پرتوی خورشید استفاده شده است. غلظت اولیه آلاینده ها در فاضلاب این نیروگاه به ترتیب برای 980 mgL^{-1} , 1240 mgL^{-1} , 150 CN^{-} , 10 mgL^{-1} , برابر mgL^{-1} NH_3 , COD, TOC, pH و 1 و 9.5 می باشد. در این مطالعه جهت تعیین راندمان فرایند اکسیداسیون، میزان تصفیه سیانید و فرماید بررسی شده است. تجزیه سیانید و فرماید با استفاده از TiO_2 و پرتوی خورشید، به علت عدم وجود عامل اکسیداسیون و رادیکالهای ($\text{HO}\cdot$) ناچیز می باشد. لذا در این مطالعه همزمان با TiO_2 و پرتوی خورشید، از H_2O_2 نیز استفاده شده است. استفاده از H_2O_2 سبب افزایش تجزیه سیانید و فرماید گردید. با توجه به نتایج، در شرایط بهینه (دما=45°C, $\text{H}_2\text{O}_2=6.5 \text{ gL}^{-1}$, $\text{pH}=6$, $\text{TiO}_2=1.5 \text{ gL}^{-1}$) میزان غلظت آلاینده های نیروگاه به ترتیب برای CN^{-} 0 mgL^{-1} , 22 mgL^{-1} , 50 mgL^{-1} , 14 mgL^{-1} به NH_3 , COD, TOC 1 کاهش می یابد. در مطالعه ای



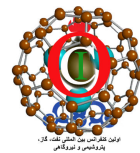
دیگر جهت تصفیه هورمن استروژن، از TiO_2 به همراه پرتوی خورشید و UV استفاده شده است. ثابت سرعت تجزیه این آلاینده با استفاده از پرتوی ماوراء بنفش 2.7 h^{-1} و با استفاده از پرتوی خورشید 0.01 h^{-1} ثبت شده است.



در برخی مواقع از H_2O_2 و یون آهن به همراه پرتوی ماوراء بنفش استفاده می شود. در این صورت، HO^- از طریق فتولیس پروکسید هیدروژن ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) و واکنش فنتون ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$) ایجاد خواهد شد. همچنین در حضور پرتوی ماوراء بنفش، یون های آهن سه ظرفیتی Fe^{3+} که در واکنش رابطه 13 تولید شده، به یونهای دو ظرفیتی Fe^{2+} تبدیل می شوند. این واکنش سبب تولید مقدار بیشتری از رادیکال های هیدروکسیل می گردد.



فرایند فنتون در معرض نور نسبت به فرایند فنتون با سرعت بیشتری ترکیبات آلی موجود در فاضلاب را تجزیه می کند با توجه به اینکه فرایند فنتونی جهت تجزیه ترکیبات آلی نیاز به انرژی کمی دارد، می توان از خورشید به جای UV به عنوان منبع نور استفاده کرد. پارامترهای موثر بر فرایند فنتون شامل میزان PH محلول، یون های آهن، پروکسید هیدروژن، غلظت آلاینده ورودی و میزان حضور یون های یکدیگر می باشد. میزان PH بهینه در فرایند فنتونی بین 2 تا 4 می باشد. در PH بیش از 4، یون های Fe^{2+} ناپایدار شده و به یون های Fe^{3+} تبدیل شده است. همچنین در حالت قلیایی قدرت اکسایشی پروکسید هیدروژن به علت تبدیل شدن به آب و اکسیژن کاهش می یابد. به همین علت در فرایندهای فنتونی تنظیم pH فاضلاب ضروری است. در فرایندهای فنتونی، افزایش یون های آهن و غلظت H_2O_2 سبب افزایش نرخ تجزیه آلاینده می شود. همچنین با توجه به سمیت H_2O_2 برای برخی از میکروارگانیسم ها، افزایش بیش از اندازه غلظت H_2O_2 سبب کاهش راندمان تجزیه خواهد شد. حضور یونهای فسفات، سولفات، فلوراید و کلراید در فاضلاب سبب عدم تجزیه ترکیبات آلی در فرایند فنتون می شود. یکی از انواع روشهای اجرای فرایندهای فنتونی روش های الکترو-فنتون می باشد. در این روش ها جهت تولید واکنشگرهای فرایند فنتونی از واکنش های الکترو شیمیایی استفاده می شود. در این روش ها، یون های آهن از طریق تجزیه اکسایشی آنودها نظیر (فلز آهن) و یا از طریق جذب یون های آهن از کاتدها (نظیر پلاتینیوم) تولید می گردد. همچنین H_2O_2 از طریق کاهش دی اکسیژن در کاتدها تولید می شود. یکی از مزایای روش های الکترو-فنتون امکان تصفیه در جای فاضلاب می باشد، به همین علت این روش ها از کارایی بالایی برخوردارند. در مطالعه ای از فرایندهای فنتونی جهت تصفیه COD از فاضلاب صنایع بازیافت روغن استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که راندمان حذف COD از این فاضلاب حدود 80% می



باشد. جهت دستیابی به این راندمان نسبت H_2O_2 به Fe^{2+} میزان زمان ماند و 88 برابر 8.6، 60 دقیقه و 3 در نظر گرفته شده است. در مطالعه دیگر کارائی روش های فنتون در حذف هیدروکربن ها از فاضلاب شور بررسی شده است. نتایج مطالعه نشان میدهد غلظت یون آهن و میزان شوری فاضلاب بر فرایند تجزیه تاثیرگذار است، در حالی که تاثیر غلظت پروکسید هیدروژن بر فرایند تصفیه نامحسوس است. میزان راندمان حذف هیدروکربن ها در این مطالعه برابر 81% ثبت شده است. همچنین از این فرایند به همراه تجزیه هوازی جهت تصفیه متیل فنیل گلسین از فاضلاب شور با راندمان بالا استفاده شده است.

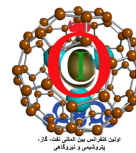
3- نتیجه گیری:

1- در راکتورهای بیولوژیکی تصفیه فاضلاب، کنترل شرایط محیطی PH و دما، نقش سازنده ای در افزایش راندمان حذف دارد. تعیین مقادیر بهینه این عوامل متناسب با نوع راکتور و ویژگی های بیولوژیکی سیستم می باشد؛ به طوری که مقادیر کمی، کمتر یا بیشتر از این مقادیر بهینه می تواند به شدت راندمان حذف را کاهش دهد.

2- اثر شوک ناشی از بارهای هیدرولیکی و دینامیکی نیز از جمله عوامل تعیین کننده و کنترلی راندمان سیستمهای بیولوژیکی می باشند. بارگذاری بیش از ظرفیت سیستم راندمان را به سرعت کاهش می دهد و تا زمان تطابق سیستم با شرایط جدید سیستم با راندمانی بسیار کمتر از راندمان بهینه عمل می کند.

3- علاوه بر کنترل شرایط محیطی و بارگذاری، افزودن برخی مواد از جمله مواد شیمیایی می تواند باعث بهبود عملکرد سیستم های بیولوژیکی شود. یون های فلزی مانند Ca^{+2} و Al^{+3} ، Fe^{+3} ، Mg^{+2} می توانند در فرایند گرانول سازی نقش داشته و باعث تسریع فرایند گرانول سازی، تشکیل گرانول های مقاوم تر و بزرگ تر و در نتیجه بهبود راندمان حذف سیستم شوند. در این مورد نیز توجه به دوز بهینه ضروری می باشد.

4- دیگر افزودنیهای موثر جهت بهبود در تسریع گرانول سازی و افزایش راندمان حذف در سیستمهای بیولوژیکی، پلیمرهای طبیعی و مصنوعی می باشند. مقایسه این روش با روش های قبلی نشان می دهد که افزودنیهای پلیمری بسیار موثرتر بوده و از بین آن ها پلیمرهای طبیعی نتایج بهتری را نشان می دهند. اما در بین روش های اکسیداسیون پیشرفته جهت تصفیه فاضلاب، روش های TiO_2/UV ، H_2O_2/UV و واکنش های فنتونی دارای کارائی بیشتری می باشند. از این جهت حذف TOD، COD، رنگ، فنلیک و سایر ترکیبات آلی تجزیه ناپذیر فاضلاب به طور گسترده استفاده شده است. پارامترهای موثر بر این فرایندها شامل غلظت آلاینده هدف، میزان عامل اکسیداسیون، کاتالیزور، پرتوی فرابنفش، زمان پرتو دهی و برخی از مشخصات فاضلاب می باشد. یکی از معایب این فرایندها، هزینه بالای اجرا و استفاده از ترکیبات گران قیمت است. همچنین در تمام این روش ها امکان هدر رفت رادیکال های هیدروکسیل بوسیله واکنش با ترکیبات غیر هدف وجود دارد. بنابراین مهمترین هدف در اجرای این نوع فرایندها، کاهش قیمت، انرژی مورد نیاز و افزایش راندمان فرایندها می باشد. در صورت استفاده از روش های اکسیداسیون پیشرفته به عنوان پیش تصفیه فاضلاب ورودی به فرایندهای بیولوژیکی، هزینه تصفیه کاهش و راندمان حذف



ترکیبات آلی افزایش می یابد. همچنین استفاده از پرتوی خورشید به عنوان منبع نور سبب کاهش هزینه های این فرایند می شود.

5- مراجع

1. Gogate P.R. and Pandit A.B. (2004a) A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions, Adv. Environ. Res., 8, 501-551.
2. SES (1994) The UV/Oxidation Handbook, Solarchem Environmental Systems, Markham, Ontario, Canada.
3. Crittenden J.C., Trussell R.R., Hand D.W., Howe K.J. and Tchobanoglous G. Water treatment: Principles and Design, second ed., Wiley, New Jersey, 2005.
4. Chatterjee D. and Dasgupta S. (2005) Visible light induced photocatalytic degradation of organic pollutants, J. Photochem. Photobiol., 6, 186-205.
5. Gogate P.R. and Pandit A.B. (2004a) A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions, Adv. Environ. Res., 8, 501-551.
6. Herrmann J.M. (1999) Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to removal of various types of aqueous pollutants, Catal. Today, 53, 115-129.
7. Andreozzi R., Caprio V., Insola A., Longo G. and Tufano V. (2000) Photocatalytic oxidation of 4-nitrophenol in aqueous TiO₂ slurries: an experimental validation of literature kinetic models, J. Chem. Tech. Biotech., 75, 131-136.
8. Choi W. and Hoffmann M.R. (1997) Novel photocatalytic mechanism for CHCl₃, CHBr₃ and CClCO₂ - degradation and the fate of photogenerated trihalomethyl radicals on TiO₂, Environ. Sci. Technol., 37, 89-95.