

بررسی کاتالیزور پالادیم برای از بین بردن ترکیبات هالوژن دار در فاضلابهای صنعتی

علیرضا جناب¹، علی زادعلی شاه آبادی²، محمد ساریجلو³، امید بلواری زاده دشتستانی⁴

خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی شیمی

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رباط کریم، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی شیمی³

Mor_uni@yahoo.com

چکیده

کاتالیزگر پالادیم می تواند برای رفع ترکیبات هالوژن دار از آب های بی مصرف توسط واکنش های هیدروهالوژن در حضور همه ترکیبات آب ها ی هدر رفته صنعتی استفاده شود. دفع مسمومیت از آب ها و کاهش زیادی از مقدار AOX (که به مواد آلی قابل جذب است توسط هالوژن ها) می تواند باعث جلوگیری از تخلیه خاکستر گیاهان بدون مصرف به حالت سوخته به داخل آن باشد. اغلب آب ها می تواند به فاضلاب های شهری وارد شوند. در این مقاله ما مگنتیت های قابل استخراج را با مقیاس کم (pd/Fe_3O_4) که برای بکار بردن در فرآیندهای آب های بی مصرف توسعه کرده اند بررسی می کنیم. این بررسی ها نگاه دقیقی به عملکرد این کاتالیزگر دارد و اطلاعاتی درباره قابلیت های کلی آن تحت شرایط آب های بی مصرف و واکنش های از ساختار آب های بیپهوده در قالب ماتریس میدهد. آب های بی مصرف شامل یک سطح زیادی از مواد محلول آلی که می توانند از آلودگی هالوژن ها مشخص شده باشد. اگر چه آب هایی که شامل فلزهای سنگین سرب، جیوه و به مقدار کم سولفیدها که نیازمند عملکردهای خاص با کاتالیزگر پالادیم هیدروهالوژن می باشد. [1-6]

واژه های کلیدی: کاتالیزگر پالادیم، ترکیبات هالوژن دار،

مقدمه

کاتالیزگر پالادیم پتانسیل زیادی برای (hydrodehalogention) موثر از آلودگی آب ها را در بر دارد، در صنایع محیطی و یا شیمیایی پالادیم نقش های مهمی را به عنوان اجزای کاتالیزگرها برای ترکیب مواد شیمیایی خوب داشته اند. واکنش های hydrodehalogen یا برگرداندن کاتالیزگرها در صنایع به صورت اتوماتیک است، اگر چه بهترین دانش های ما، هنوز در واکنش های آب های بی مصرف بکار برده نشده اند. مخصوصاً برای آب های بی مصرف صنعتی که شامل $CHCl_3$ می باشند و pd که می تواند اختیار این را داشته باشند که رفع انتخابی بدون درگیر شدن با دیگر ترکیبات آب همانند مواد محلول non-halogenated باشند. [7] جای نوع تحویل پر هزینه و بدون انتخاب جذب و یا ترکیب اکسیژن آب و دیگر فرآیندهایی که غیر ضروری هستند، شامل انرژی مصرف شده می باشد. با تمرکز بر روی قابلیت کاتالیزگرهای pd برای آب های بی مصرف، ما اخیراً یک شکل قابل بازیافت آنرا یافته ایم که بصورت pd/Fe_3O_4 میباشد و برای اولین بار با بکار بردن pd بعنوان کاتالیزگر برای استفاده های تجاری در فرآیندهای آب های بی مصرف، نتایجی را بدست آوردیم. کاتالیزگر pd در مقابل تعدادی از نوع های شیمیایی خیلی حساس شناخته شده است، همانند فلزهای سنگین یا ترکیبات سولفار کم. [8-14]

آب های بی مصرف صنعتی شامل موادی هستند که قابل واکنش با ترکیبات کاتالیزگر pd میباشد. در مقابل سم های بازگشت ناپذیر و آن هایی که پدیده های غیرواکنشی کاتالیزگر هستند که ممکن است لحظه ای یا به وسیله ی فرآیندهای موثر تولید شوند همانند آشفنگی های درون آب. این پدیده ها علت های گوناگونی دارند، یعنی pd در سطح انسدادی برای جذب موادی همانند مواد معدنی نمکی، انباشتگی باقی مانده ها و مواد غ برآلی اکسیدها و بیوفیلیم ها و مواد آلی و یا مواد جذب شده از مواد طبیعی آلی می باشد. مونواکسید کربن نقش اصلی در سم های کاتالیزگر هستند و اسیدهای فرمیک به عنوان یک منبع متغیر هیدروژن در آب بکار برده می شوند. HDC فعال کاملاً با سطح هایی از Co همزیستی دارند. مطالعات نشان میدهد که مقدار کم کاتالیزگر فعال pd ، بدون NP_S می باشد که به وسیله ی Ostwald به عمل می آید، پدیده ای است که کمتر از NP_S می باشد و جمع شده یا غیرقابل حل می باشد و NP_S که به بزرگتر شدن خودش ادامه می دهد. انباشتگی اجزای کاتالیزگر، رشد مواد بلورین سنگ های محترقه و رسوب کردن پدیده هایی هستند که بیشترین علت ها برای کمتر شدن فعالیت ها می باشد، برای pd که آهن zero-valent، pd خروجی و ترکیبات اکسید آهن بر روی بخش های فعال که توصیف شده اند مورد حفاظت قرار می دهند: به ظاهر انتخاب کاتالیزگرهایی که نقش حفاظت مهمی بر کل عملکرد سیستم های کاتالیزگر دارد وجود دارند. این استراتژی اخیراً به شکل ترکیب hydrophobic مورد حفاظت و اکسیدهای اکسیژن در آب $KMnO_4$ گسترش یافته

است. برای آب های صنعتی و فرآیندهای موجود در آب که آن را به عنوان یک امتیاز در ترکیبات کلی آب و شرایط م اتریسی که شناخته شده و قابل پیشگویی هستند در نظر گرفته ایم، اکثر فرآیندهای زیست محیطی می تواند از مرحله پاکسازی اولیه جلوگیری کنند. به عبارت دیگر پیش بینی کردن عملکرد کاتالیزگرهای Pd تحت شرایط مختلف آب های بی مصرف می باشد. این مقاله که در حال حاضر ارائه داده شده است یک مطالعه منظم از بکارگیری $\text{Pd/Fe}_3\text{O}_4$ در حضور یون های مثبت مختلف و اینون ها و مواد آلی همانند ترکیبات آب نشان را می دهد. این دانش بر پایه بهینه سازی کاتالیزگرها شکل خواهد گرفت و کاتالیزگرهایی که برای حفاظت موثر و توسعه بنیاد Pd در فرآیندهای تکنولوژی آب های بی مصرف می باشد.

بحث

به منظور ارزیابی عملکرد کاتالیزور و کاربرد آن برای درمان پسابهای صنعتی، نمونه های مختلف آب از ترکیبات مختلف را به عنوان منشاء واکنش HDC مورد استفاده قرار دادیم. نانو ذرات $\text{Pd/Fe}_3\text{O}_4$ محافظت نشده به عنوان HDC کاتالیزور در دسته واکنش های پیوسته با استفاده از لوله راکتور توپل به کار گرفته شد.

برای کاهش TCH و سرعت واکنش بسیار بالا می توان به شرایط ایده آل رسید (مرتبه دوم نرخ ضریب $\text{KTCE}=10^6 \times 10^4 \text{ Lg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ یا نرخ فعالیت خالص $\text{A}_{\text{pd, TCE}}=2/3 \times 10^4 \text{ Lg}^{-10} \text{ min}^{-1}$ Pd بنابراین TCE به عنوان کاوشگر برای مطالعات اثرات آبی ماتریس بر عملکرد کاتالیزور در بکار گرفته شد. در مقایسه با TCE و CF در واکنش HDC کندتر واکنش نشان می دهد. لذا برای مشاهده اثر طولانی مدت از آن استفاده می شود. [15]

HCD در آب خالص

ردیابی نفوذ آب را در سطح ترکیبات بوسیله عمل کاتالیزور آب فوق العاده خالص، آب خالص و آب لوله کشی مورد مطالعه قرار دادیم. در دو حالت واکنش را انجام دادیم: (i) کاتالیت پیش از درمان در آب لوله کشی بود و واکنش بوسیله اضافه کردن TCE آغاز می شود. (ii) کاتالیت قبلاً در آب خالص بود و سپس به واکنش متوسط آب لوله کشی اضافه شد. برای مشخص شدن برخی ابهامات، چند طبقه ترکیبات برای تست کردن مورد توجه قرار گرفت. HDC بسیار کندتر در این سه سیستم مختلف آب مورد مطالعه قرار گرفت. فعالیتهای خاص کاتالیت در آب فوق العاده خالص و آب خالص دوباره یکسان هستند.

از آنجا که آب آشامیدنی یکی از خوراکیهای بسیار مؤثر و دارای قابلیت کنترل خوب است و نیازمندیهای خلوص سخت را انجام می دهد یک کاتالیت مؤثر غیرفعال انتظار نمی رود. هسته فلزات سنگین از طریق ICPMS [Fe, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn] قابل اندازه گیری اند. غلظت محدوده تشخیص نشان داده بجز برای Pd با $\text{C}_{\text{pd}} < 0.1 \text{ mgL}^{-1}$ اجزا تشکیل دهنده سخت آب مثل Ca^{2+} و Mg^{2+} قابل اندازه گیری بودند با اجزاء $\text{C}_{\text{Mg}^{2+}} = 11 \text{ mgL}^{-1}$ ، $\text{C}_{\text{Ca}^{2+}} = 78 \text{ mgL}^{-1}$ علاوه بر این برخی از اجزاء باریم (1 تا $\text{C}_{\text{Ba}^{2+}} = 8 \text{ mg}$) کشف شده این آب لوله کشی طبقه بندی شده به عنوان آب با سختی متوسط با توجه به تأمین کننده آب و فلزات نامنظم در برگیرنده قابل مشاهده بود. [16]

در آب فوق العاده خالص معمولاً دو فاز شناخته شده در روند واکنش TCE از همه آزمایشات در آب خالص قابل مشاهده بود. با این حال واکنش سریعتر فاز دوم، $\text{A}_{\text{pd, TCE, B}}$ زودتر شروع شد. این امر ممکن است بوسیله عدم وجود کل هیچ یک از اثرات وجود ماتریس بطوری که سطح بالا ریم مطلوب باشد. از بررسی آزمایشات مشخص می شود که غلظت NOM (ماده طبیعی آلی) مانع واکنش کاتالیزور Pd^- هالوژن آبدار شود. غلظت NOM در آب آشامیدنی بطور معمول در محدوده $< 2 \text{ mgL}^{-1}$ است.

مطالعات HDC در نفوذ فاضلاب مصنوعی در روند واکنش

فاضلابهای صنعتی می توانند مواد معدنی و آلی را چند برابر کنند. نفوذ آنها در عملکرد HDC کاتالیزورهای $\text{Pd/Fe}_3\text{O}_4$ مورد مطالعه قرار گرفته با استفاده از فاضلابهای مصنوعی این واکنش متوسط با رسانایی نزدیک با آب لوله کشی به منظور اجتناب از جریان PH در طی واکنش HDC انتخاب شدند.

تأثیر آنیونها و کاتیونها مختلف روی کاتالیزور $\text{Pd/Fe}_3\text{O}_4$ در محدوده غلظت گسترده مورد مطالعه قرار گرفت. علاوه بر این نفوذ دیگر ترکیبات آب مانند حلالها، ساختارهای آلوده کننده، و پلیمرهای طبیعی ارزیابی شدند. [17]

یک لیست از اطلاعات جمع آوری شده در جدول 1 نشان داده شده است. ما آگاهییم که فاضلابها با غلظتهای بسیار بالا ممکن است خطراتی از جمله:

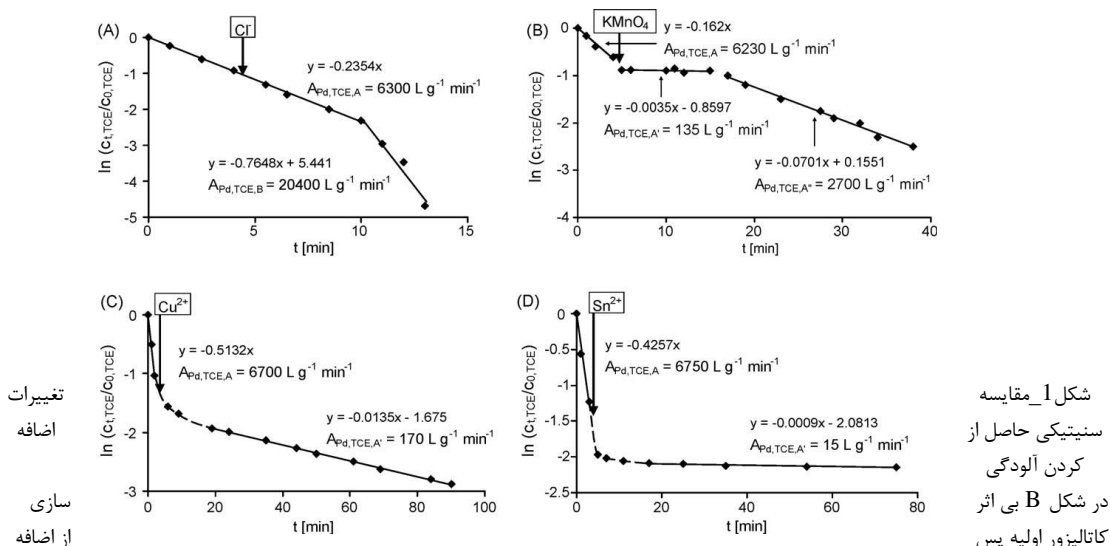
- حمله سموم کاتالیزور قوی مانند کاهش گوگرد ترکیبات سولفور یا یونهاهای فلزات سنگین
- حضور نمک هایی مانند کلرید ممکن است به فعالیت کمتر کاتالیزور منجر شود

این عمل در تبدیل فارگازی هیدروژن و واکنش هیدرو کلردار کردن زمانی که ماتریسهای حلال آب دوست کمتر باشد انجام می شود.

matrix constituent <i>i</i>	$C_{i,tap\ water}$ [mg L ⁻¹]	Discharge limit c_i [mg L ⁻¹]	$C_{i,tested}$ [mg L ⁻¹ , if not otherwise specified]	type of TCE HDC kinetics (see figure 2)	$A_{Pd,TCE,A}$ $A_{Pd,TCE,A}$	
Na ₂ SO ₄ / NaHCO ₃ standard reaction medium	-	-	5 mM/5 mM	A	1	
F ⁻	0.4	30 ^[38]	95	5 mM	A	1
Cl ⁻	40	1000 ^[39]	177		A	1
Br ⁻	<0.2	-	400		A	1
I ⁻	n.a.	-	635		C	0.03
NO ₃ ⁻	2	30 (N _{total}) ^[38]	310		A	1
SO ₄ ²⁻	130	2000 ^[39] /600 ^[39]	480		A	1
HS ⁻ (pH = 10)	n.a.	1 ^[38]	Pd:S = 30:1		C	0.11
HS ⁻ (pH = 10)	n.a.	1 ^[38]	Pd:S = 1:1		C	0.04
HS ⁻ (pH = 10)	n.a.	1 ^[38]	Pd:S = 1:2		D	<0.0001
H ₂ S (pH = 6)	n.a.	-	Pd:S = 30:1		C	0.16
SO ₃ ²⁻	n.a.	20 ^[38]	Pd:S = 1:1	A	1	
SO ₃ ²⁻	n.a.	20 ^[38]	Pd:S = 1:5	A	1	
SO ₃ ²⁻	n.a.	20 ^[38]	Pd:S = 1:150	C	0.02	
HPO ₄ ²⁻	0.1	2 ^[38] /50 ^[38] (P _{total})	5	A	1	
HPO ₄ ²⁻	0.1	2 ^[39] /50 ^[39] (P _{total})	50	A	1	
MnO ₄ ⁻	n.a.	-	0.01 mM	B	0.02/0.43	
NaHCO ₃ /CaCl ₂ ²⁾	n.a. ¹⁾	-	5 mM/5 mM ³⁾	zero order	1	
NaHCO ₃ /CaCl ₂ /MgCl ₂ ²⁾	n.a. ¹⁾	-	5 mM/5 mM/5 mM ⁴⁾	zero order	1	

جدول 1_ تأثیر آنیونها و کاتیونهای مختلف روی کاتالیزور Pd/Fe₃O₄

شکل 1 اثرات معمول در ستیک واکنش را نشان می دهد که در این مقاله بطور خیلی خ لاصه راجع به آن بحث کرده ایم و به نشان دادن نمودارهایی اکتفا میکنیم . هیچ اثر قابل توجهی در میزان HDC پس از اضافه کردن آلودگی مورد نظر نبود همانطور (مولار) 5mM کلرید اولیه یا یک اثر منفی یافت شد.



شکل 1_ مقایسه سنتتیکی حاصل از کردن آلودگی در شکل B بی اثر کاتالیزور اولیه پس

کردن 1m KMnO₄ % تقریباً پس از چند دقیقه نشان می دهد یکی دیگر از مشخصات بی اثر سازی نمونه در شکل C برای 8mM Cu²⁺ جایی که فعالیت کاتالیزور کاهش می یابد اما در سطح پایین تر پایدار می ماند را نشان می دهد. شکل D نمونه ایی کامل از کاتالیزو سمی غیر قابل برگشت اثر آنها می تواند درک شود به عنوان یک رقابت پویا برای کاتالیزورهای فعال برگشت ناپذیر است. بی اثر سازی با توجه به ستیک نوع C را می توان عمل کرد، زیرا واکنش HDC هنوز هم ممکن است در ادامه برخی نرخهای قبول وابسته به غلظت مهار شده باشد. [18]

HDC تأثیر طبقات مختلف ماده

کاهش گونه های گوگرد رایج ترین کاتالیزورهای سمی هستند و این میتواند یک مسئله عمده در تمام کاربردهای Pd تحت شرایط محیطی باشد : از آنجا که سولفات در محیط و در همه جا وجود دارد، کاهش سولفات میکروبی در حضور عوامل کاهش مانند هیدروژن القاء شده است. آنیونهای سولفیت به طور معمول به عنوان سموم کاتالیزور شناخته شده نیستند. سولفیت در فاضلاب ممکن است قابل تحمل باشد. اگر چه در سطوح بالاتر سولفیت کاتالیزور تاحدی غیرفعال است . ترکیبات آلی سولفور مانند thiophenes و mercaptan و dialkylsulphides رفتاری مشابه آنچه در سولفید معدنی است از خود نشان می دهند . گوگرد بالاترین حالت اکسیداسیون در حالت سولفات تأثیری کاتالیزور در محدوده غلظت بالای Csulphat=5mM نخواهد داشت.

در بسیاری از موارد فاضلابهای صنعتی حاوی قابل توجه ای حلال غیر کلر مانند الکلها است که ممکن است تغییر فعالیتهای شیمیایی ترکیبات هدف در واکنش متوسط یا هر مکانیزیم فعال داشته باشد.

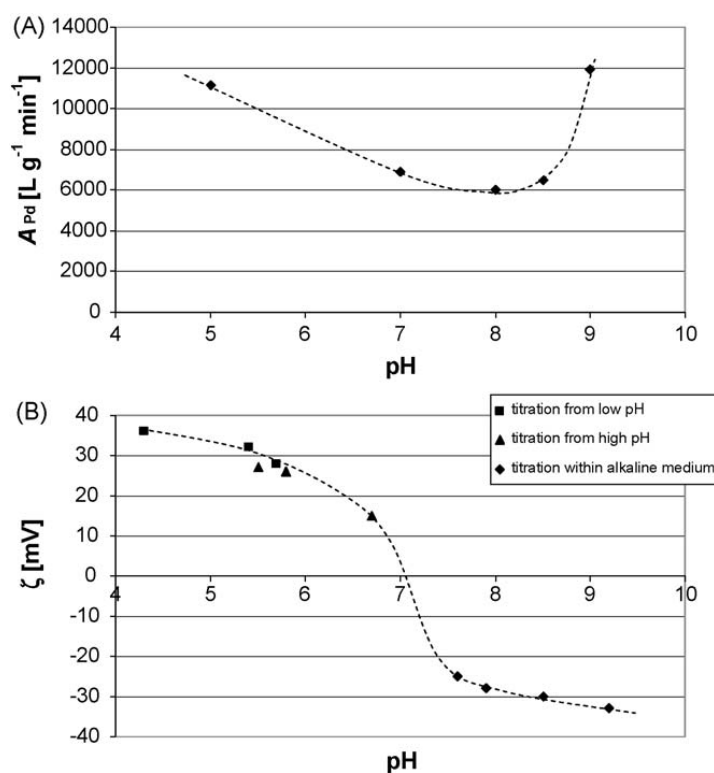
آزمون ها HDC بسته ایی در TCE در ماتریس 10٪ متانول و آب خالص به عنوان واکنش متوسط انجام شد. این غلظت حلال تأثیر معینی در نسبت HDC و سنتیکل نداشت.

بارهای بالای حلالهای آلی در فاضلابها کاهش فعالیت Pd خاص را ظاهر می کند اما کاتالیزورهای Pd/Fe₃O₄ هنوز می توانند عمل کنند وقتی که محتوای آب به اندازه کافی بالاباقی می ماند.

آب برای دفع سریع کلرید از سطح کاتالیزور به منظور جلوگیری از سمومیت کلرید به عنوان توصیف برای، HDC در حلالهای خالص آلی یا در فاز گازی ضروری شناخته شده است.

فعالیت کاتالیزور تحت تاثیر یک درجه ساده بوسیله تعویض ارزش PH متوسط واکنش است همانطور که در شکل 2 مشاهده میکنید از یک فاکتور بین کمترین و بیشترین ارزش فعالیت در حدود 600Lg⁻¹min⁻¹ در PH طبیعی یافت شد.

فعالیت آکین فعالیت کاتالیزوری بالاتر از 1100Lg⁻¹min⁻¹ الی 12000Lg⁻¹ min⁻¹ را اجازه می دهد اندازه گیری پتانسیل زتا به نقطه شارژ صفر 7 PH_{PZC} را نشان داد. در ارزش PH طبیعی تراکم و ازات نانو کاتالیز به تراکم تمایل دارند. یک قاعده تجربی تعریف می کند که تعلیق کلوئیدی با پتانسیل مطلق زتا $\Sigma \geq 30MV$ می تواند به عنوان سیستم های تعلیق پایدار به علت نیروهای دافعه قوی بین ذرات در نظر گرفته شود. [19]



شکل 2_ تغییرات فعالیت کاتالیزور بوسیله تعویض ارزش PH متوسط واکنش

فعالیت نسبتاً بالای Pd (پالادیم) در PH=5 و PH=9 و PH=7,8 قابل مقایسه است که می توان ثبات بالاتر توقف کاتالیزور و در نتیجه ذرات سطح بالاتر را توضیح داد. به نظر می رسد که کاتیونهای فلزی اثرات متفاوتی روی فعالیت کاتالیزور داشته باشند. فلزات قلیایی و آمونیوم تأثیری در برد محدوده غلظت را نشان نمی دهد در حالی که کاربردهای مشابه فلزات زمین فقط وقتی محلول نمک کم وجود ندارد شکل می گیرند.

سخت کننده های آب احتمالاً شروع به بستن سطح Pd در غلظت معمول برای آبهای بسیار سخت می کنند مس و قطع تمایل به بی اثر کردن کاتالیزور در غلظت پایین تر محدودیتهای تخلیه خود دارند در جائیکه نیکل و مس و آلومینوم و منیزیم این تأثیر را منفی را در غلظتهای مجاز قواعد نخلیه ندارند.

به منظور حفظ همه کاتیونهای محلول در شرح ارزش PH بین 6 کو6 برای این آزمایشات قابل تنظیم است. با این حال سیستم های غیر بافر (کور) ارزش قابل ملاحظه PH را در طی واکنش تفسیر نداد زیرا حالت مغناطیسی می تواند حالت قلیایی را مهیا کند. مناطق قلیایی در همسایگی نزدیک کاتالیزور پشتیبان هنوز ممکن است باعث تسریع (بارش) هیدروکسید فلز یا هیدروکسیدها در سطح شوند. بنابراین تعجب آور است که اضافه کردن Fe³⁺ و Fe²⁺ با کاهش در سطح پالادیم (Pd) با توجه به ساختارهای اکسید آهن بیش از حد از کاتالیزور پشتیبان توضیح داده شد.

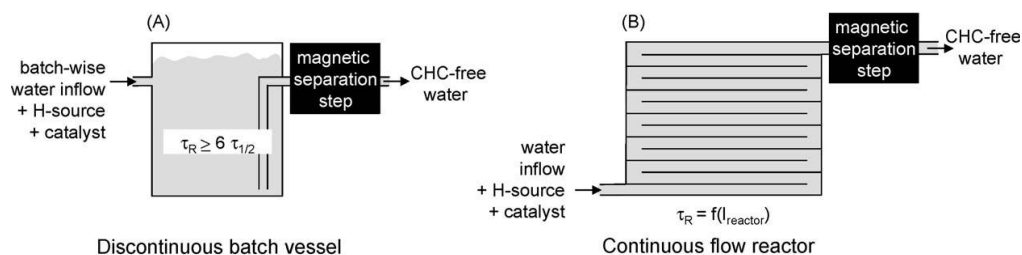
برای Pd/Fe₃O₄، اضافه کردن یونهای محلول Fe³⁺ و Fe²⁺ به طور بالقوه به عنوان رسوب آهن شسته شده بود و یا فرم آهن پوشش اکسید آهن در مکان Pd تحت غلظتهای واکنش انتخاب شده بودند.

فعالیت کاتالیزوری پس از اضافه کردن نمک آهن در HDC راه اندازه آزمایش استوار باقی می ماند بی اثرسازی بوسیله شناخت سموم کاتالیزوری مانند Pd^{2+} و Hg^{2+} در غلظتهای پایین تر و بالاتر از محدوده تخلیه آزموده شد. سنتیک HDC در حضور Pd^{2+} به اثر جابت توجه ایی را نشان داد. اگر چه اضافه کردن $1mgL^{-1}$ از Pd^{2+} به مسمومیت کامل کاتالیزور منجر می شوند، اضافه کردن $0/1mgL Pb^{2+}$ به یک سنتیک درجه اول فعالیت پالادیم به طرز شگفت انگیزی بالا منجر می شود. [20]

جریان کاتالیزور بطور مداوم

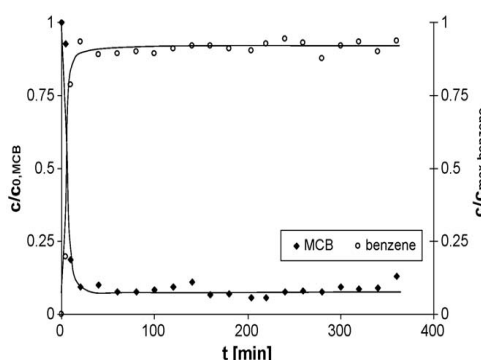
برای حجم های بزرگتر طرز عمل تولید مداوم فاضلاب، جریان از طریق راکتورها ممکن است که از عمل فاضلابها طی عبور جریان برق لوله پیچ در پیچ طولانی راکتور انجام می شود. آزمایشات با استفاده از یک لوله شیشه ایی حلقه ایی به عنوان جریان عبوری راکتور انجام شد. ذرات کاتالیزور و منبع هیدروژن در آب آلوده در ورودی راکتور تغذیه شدند و به جریان آب منتقل شدند. نانو کاتالیزورهای Pd/Fe_3O_4 یک مزیت داشتند که آسان و جداسازی اثر مغناطیسی بالا در خروجی راکتور داشتند. در آزمونهای این آزمایشگاه، MCB به عنوان ترکیبات پروب انتخاب شدند به این دلیل که خودش و محصولات واکنش بنزن آن به آسانی با رسم نمونه آب در یک ویال و تجزیه و تحلیل غلظت فضای فوقانی قابل کشف است زمان واکنش آب در لوله های حلقه ایی راکتور تنظیم شده همانطوری که حمل و نقل بهینه ذرات ناقص بود و تبدیل MCB ناقص بود. به منظور تعیین فعالیت کاتالیزوری. حمل و نقل نانو کاتالیزور از طریق راکتور در کل سیم پیچ یکسال بود. [21]

- پس از چند دقیقه درجه ثبات تبدیل در طول کل آزمایش پایدار باقی مانده مربوط به فعالیت کاتالیزور $APd.MBC=M.Lg-1min^{-1}$ این مقدار با 2 برابر بیشتر برای مقایسه MCB در واکنشهای دسته ایی بالاتر است اما با همان مقدار حجم. بازیابی ذرات مغناطیسی واکنش معلق با وسایل ساده تله مغناطیسی (که شکل از، یک آهنربای دائم در دیوار بیرونی راکتور با یک توپ از پشم فولادی در درون آن است (شکل 3 و 4).



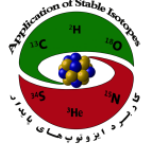
شکل 3_ شماتیک آزمایش انجام شده توسط راکتور به مدت 6 ساعت

شکل 4_ نمودار مقایسه تغییرات MCB و بنزن



نتیجه گیری

نانو کاتالیزورهای Pd/Fe_3O_4 برای واکنش های HDC در غلظت مختلف فاضلاب مورد آزمایش قرار گرفته شد. ثبات کاتالیزورها و کاربردشان در اصل مقاومت بالای غیر منتظره را در برابر نمکهای معمول در مقایسه با سایر سیستم های حاوی پالادیم (Pd) نشان می دهد. با این وجود تعدادی از سموم کاتالیزوری قوی شناخته شده باید توسط پیمایش زمینه های مناسب خودداری و حذف شوند. استراتژی های جدید برای محافظت کاتالیزورهای کارا مطلوبند. ناپیوستگی عمل ورودی راکتور به همان اندازه ادامه جریان راکتورها، مناسب انواع راکتور برای اجرای CHC فاضلاب آلوده با استفاده از $PdFe_3O_4$ نانو کاتالیزورها هنگامی که به واحد جداکننده مغناطیسی متصل هستند. فعالیتهای کاتالیزوری برجسته، ثبات سیستم Pd/Fe_3O_4 در گسترده PH محدود و بازیابی کاتالیزورها بوسیله جداکننده های مغناطیسی بسیار شرط امیدوار کننده برای یک کاربرد موفق سیستم نانو کاتالیزور در طرز عمل فاضلاب هستند.



مراجع

- [1] J.A. Eastman, S.U.S. Choi, S. Li, W. Yu, L.J. Thompson, Anomalous increase of effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Appl. Phys. Lett.* 78 (6) (2001) 718–720.
- [2] S. Lee, S.U.-S. Choi, S. Li, J.A. Eastman, Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *ASME J. Heat Transfer* 121 (1999) 280–289.
- [3] S.U.S. Choi, Z.G. Zhang, W. Yu, F.E. Lockwood, E.A. Grulke, Anomalous thermal conductivity enhancement in nanotube suspensions, *Appl. Phys. Lett.* 79 (14) (2001) 2252–2254.
- [4] Y. Xuan, Q. Li, Heat transfer enhancement of nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer* 21 (2000) 58–64.
- [5] J.C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd edition, Clarendon Press, 1954 reprint, Dover, New York, 1891, pp. 435–441.
- [6] R.L. Hamilton, O.K. Crosser, Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems, *I&EC Fund.* 1 (1962) 187–191.
- [7] D.J. Jeffrey, Conduction through a random suspension of spheres, *Proc. Royal Soc. Lond. A* 335 (1973) 355–367.
- [8] R.H. Davis, The effective thermal conductivity of a composite material with spherical inclusions, *Int. J. Thermophys.* 7 (1986) 609–620.
- [9] S. Lu, H. Lin, Effective conductivity of composites containing aligned spheroidal inclusions of finite conductivity, *J. Appl. Phys.* 79 (1996) 6761–6769.
- [10] R.T. Bonnecaze, J.F. Brady, A method for determining the effective conductivity of dispersions of particles, *Proc. Royal Soc. Lond. A* 430 (1990) 285–313.
- [11] R.T. Bonnecaze, J.F. Brady, The effective conductivity of random suspensions of spherical particles, *Proc. Royal Soc. Lond. A* 432 (1991) 445–465.
- [12] B.X. Wang, L.P. Zhou, X.F. Peng, A fractal model for predicting the effective thermal conductivity of liquid with suspension of nanoparticles, *Int. J. Heat Mass Transfer* 46 (2003) 2655–2672.
- [13] G. Chen, Nanolocal and nonequilibrium heat conduction in the vicinity of nanoparticles, *J. Heat Transfer* 118 (1996) 539–545. [14] G. Chen, Particularities of heat conduction in nanostructures, *J. Nanoparticle Res.* 2 (2000) 199–204.
- [15] P. Keblinski, S.R. Phillpot, S.U.S. Choi, J.A. Eastman, Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids), *Int. J. Heat Mass Transfer* 45 (2002) 855–863.
- [16] J. Kestin, W.A. Wakeham, A contribution to the theory of the transient hot-wire technique for thermal conductivity measurements, *Physica* 92A (1978) 102–116.
- [17] R.A. Perkins, M.L.V. Ramires, C.A. Nieto de Castro, Thermal conductivity of saturated liquid toluene by use of anodized tantalum hot wires at high temperatures, *J. Res. Natl. Inst. Standards Technol.* 105 (2000) 255–265.
- [18] L. Xue, P. Keblinski, S.R. Phillpot, S.U.-S. Choi, J.A. Eastman, Effect of fluid layering at the liquid-solid interface on thermal transport, *Int. J. Heat Mass Transfer* 47 (2004) 4277–4284.
- [19] M.C. Cattaneo, Sur une forme de l'équation de la chaleur éliminant le paradoxe d'une propagation instantanée, *Comptes Rendus Hebd. Seances Acad. Sci.* 247 (4) (1958) 431–433.