علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره پنج، مرداد ماه ۹۹

تعیین شرایط بهینه ی حذف متیل ارانژ از محلول های آبی توسط نانو ذره $Ag, Co/TiO_2$ به روش طراحی آزمایش

نسیم ضیایی فر [۱*]
nasim.ziaiefar@gmail.com
صابر خدایی آشا ن [۲]
ژیلا طلعت مهر آباد [۳]
فرزاد ارجمندی راد [۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۸ **تاریخ پذیرش:۹۷/۶/۶**

چکیده

زمینه و هدف: در بررسی فعالیت فتو کاتالیزوری نانو ذره $Ag, Co/TiO_2$ فاکتورهایی مانند مقدار غلظت آلاینده، مقدار فوتوکاتالیست، pH و دمای کلسیناسیون از عوامل موثر در فرایند حذف آلاینده در محلول های آبی است. با استفاده از طراحی آزمایش امکان حذف فاکتورهای غیر ضروری و تعیین شرایط بهینه صورت میگیرد.

روش بررسی: نانو ذره $Ag, Co/TiO_2$ سنتز شده جهت حذف متیل ارانژ استفاده گردید. و چهار متغیر مؤثر در فرآیند حذف متیل ارانژ، شامل غلظت اولیه‌ی آلاینده، مقدارفتو کاتالیست، pH و دمای کلسیناسیون به عنوان متغیرهای اصلی در نظر گرفته شد و آرایه ای با ۴ فاکتور در ۳ سطح در نظر گرفته شد. و جمعاً ۹ آزمایش با در نظر گرفتن شرایط سطوح برای بهینه سازی و تعیین درجه‌ی تأثیر هریک از فاکتورها انجام گردید.

یافته ها: تاثیر پارامترهای عملیاتی شامل غلظت اولیه‌ی آلاینده، مقدار فوتوکاتالیست، pH و دمای کلسیناسیون به عنوان متغیرهای اصلی به روش طراحی آزمایش بهینه‌سازی گردید.

بحث و نتیجه گیری: نتایج آزمایشات بوسیله ی طراحی آزمایش, روش تاگوچی در تخریب فوتوشیمیایی متیل ارانژ نشان داد که مقدار غلظت متیل ارانژ و سپس مقدار کاتالیست بیش ترین تأثیر را در میان فاکتورهای انتخابی دارند.

واژه های کلیدی: فعالیت کاتالیزوری، تاگوچی، طراحی آزمایش، کودوپینگ، نانوذره .

۱- استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، ایران. *(مسوول مکاتبات)
۲- استادیار گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، ایران.
۳- استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.5, July, 2020

Evaluation of Optimization Removal of Methyl Orange from Aqueous Solutions with Ag, Co/TiO_2 Nano-Particles by Experimental Design

Nasim Ziaefar[1 *]
nasim.ziaiefar@gmail.com
Saber Khodaei [2]
Jila Talat-Mehrabad [3]
Farzad Arjomandi Rad[3]

Admission Date:August 28, 2017 Date Received: May 8, 2017

Abstract

Background and objective: Studying photocatalytic activities, some factors including the concentration of the pollutant, the amount of photo-catalyst, pH, and calcination temperature affect the process of eliminating the pollutant from aquatic solutions. Using an experimental design, it is possible to eliminate the unnecessary factors and determine the optimal conditions.

Method: The Ag, Co/TiO_2 Nano-particles for eliminating methyl orange has been evaluated. The four main variables involved in the process of elimination of methyl orange are the original concentration of the pollutant, the doges of photo-catalyst, pH, and calcination temperature. So arraying four factors changes at 3 levels. Therefore, considering the surface conditions for optimization and for determining the effect of each factor, totally 9 experiments are needed.

Findings: The effect of the operational parameters include the original concentration of the pollutant, the amount of the photo-catalyst, pH, and calcination temperature, was optimized through experimental design.

Discussion and Conclusion: The results of the experiments on photochemical degradation of Methyl Orange using Taguchi method showed that the greatest effect is related to original concentration of the MO and the amount of the Nano-catalyst.

Keywords: Photocatalyst activity, Taguchi, Experimental design, Co-doping, Nano-particles.

1- Assistant Professor, Department of Chemistry, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
*(Corresponding Authors)
2- Assistant Professor, Department of Statestics, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran
3- Departemant of Chemistry, Bonab Branch, Islamic Azad University, Bonab, Iran

مقدمه

آب به عنوان ترکیبی که سه چهارم از کل سطح کره زمین را پوشانیده، از عوامل ضروری برای ادامه حیات کلیه جانداران اعم از انسان، حیوان و گیاه محسوب می شود، پساب های صنعتی به عنوان یکی از مهم ترین آلاینده های محیط زیست به شمار می روند. نقش پساب تصفیه نشده در آلودگی آب های تازه به حدی زیاد است که هر متر مکعب پساب می تواند بیش از چهل مترمکعب آب را آلوده سازد مهم ترین عوامل آلوده کننده هایی که بر روی پساب ها تاثیر می گذارند عبارتند از مواد جامد معلق، عوامل بیماری زا، فلزات سنگین و انواع رنگ های نساجی و رنگ رزی که برای سلامت انسان بسیار مضرر هستند (۱). روش های زیادی مانند مبادله یون ، جذب و اکسیداسیون پیشرفته ، اسمز معکوس هم رسوبی، برای حذف آلاینده ها از محلول های آبی وجود دارد (۲). یکی از شاخه های فرایند اکسیداسیون پیشرفته که در سال های اخیر در زمینه تصفیه آب، پساب و هوا مورد مطالعه قرار گرفته است، فرایند اکسیداسیون فوتوکاتالیزوری می باشد(۲). این فرایند که ترکیبی از یک فوتوکاتالیزور و اشعه فرابنفش و یا نور طبیعی خورشید می باشد، از نوع واکنش های ناهمگن می باشد فوتوکاتالیز نیمه رسانای هتروژنی که از TiO_2 به عنوان فوتوکاتالیزور استفاده می شود(۳، ۴). در فرایند اکسیداسیون فوتوکاتالیزوری فاکتورهایی مانند مقدار غلظت آلاینده، مقدار فوتوکاتالیست، pH و دمای کلسیناسیون و..... در فرایند حذف آلاینده از محلول های آبی موثر می باشند. با استفاده از طراحی آزمایش امکان حذف فاکتورهای غیر ضروری، محاسبه درصد اهمیت هر متغییر، تعیین میزان خطا و تعیین شرایط بهینه صورت می گیرد. طراحی آزمایش ها شامل یک آزمایش یا یک سری از آزمایش‌هایی می‌شود که به طور آگاهانه در متغیرهای ورودی فرایند تغییراتی ایجاد می‌گردد تا از این طریق محققان با توجه به میزان تغییرات حاصل در پاسخ، برای شناخت پدیده‌ها، آزمایش‌هایی را انجام می‌دهند تا حقیقتی را در مورد سیستم واکنشی یا فرآیندی کشف کنند. انجام آزمایش همواره متضمن هزینه و زمان است. از این رو انجام آزمایش‌های مؤثر که با صرف حداقل هزینه و زمان بیش ترین اطلاعات را بدست بدهد آرمان هر مهندس یا محقق است و این هزینه و زمان هنگامی‌که تعداد عوامل افزایش پیدا کند به صورت صعودی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین به روشی نیاز است که در آن بتوان با صرف حداقل هزینه و زمان، به بیشترین اطلاعات در مورد فرآیند دست پیدا کرد، نتیجه‌گیری‌های منطقی ارایه کرد و مدارک مستند در خصوص فرآیند بدست آورد(۵). انواع روش‌های طراحی آزمایش را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

۱- یک فاکتور در یک زمان

۲- چند فاکتور در یک زمان

۳- طراحی فاکتوریل کامل

۴- طراحی فاکتوریل جزئی

برخی از زیر مجموعه‌های مورد چهارم عبارتند از:

۱- طراحی تاگوچی

۲- روش رویه پاسخ

۳- طراحی مخلوط (۶)

روش تاگوچی با استفاده از آرایه‌های متعامد تعداد آزمایش‌ها را بسیار کاهش می‌دهد. از مزایای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کاهش تعداد آزمایش‌ها و هزینه‌ها
- تعیین سهم هر فاکتور
- امکان تخمین نتایج در شرایط بهینه

آرایه‌های متعامد را به صورت $L_n(X_y)$ نشان می‌دهند. n تعداد آزمایش‌ها، X تعداد سطوح هر فاکتور و y تعداد فاکتورها را نشان می‌دهند. یک آرایه متعامد ماتریسی است که سطرهای آن سطح‌های فاکتورها در هر آزمایش و ستون‌های آن تعداد فاکتورها را نشان می‌دهد (۶،۷).

همچنین به منظور تجزیه و تحلیل آزمایش ها باید مراحل زیر صورت پذیرد:

محاسبه اثر اصلی فاکتورها: اثـر اصـلی فـاکتور A در سـطح L، برابر است با مجموع پاسخ‌ها در آن سطح تقسیم بر تعداد پاسخ-ها:

$$\overline{A_L} = \frac{\sum Yi}{N}$$

از اختلاف قدر مطلق کم ترین و بیش ترین تـأثیر هـر فـاکتور، فاکتوری که بیش ترین سهم را دارد مشخص می‌شود همچنـین سطح بهینه هر فاکتور نیز براساس نوع پاسخ مشخص می‌شود.

آنالیز واریانس (ANOVA) : در تحلیـل واریـانس از دو روش آنالیز استاندارد و آنالیز S/N استفاده می‌شود.

در روش آنالیز استاندارد میـزان انحـراف نتـایج ناشـی از تغییـر فاکتور A نسبت به میانگین از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S_T = \sum_{i=1}^{N} (Y_i - \overline{Y})^2 = \sum_{i=1}^{N} Y_i^2 - C.F.$$

ST = جمع کل مربعات C.F. = فاکتور تصحیح

ضریب یا فاکتور تصحیح از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C.F. = \frac{T^2}{N}$$

T = مجموع کل پاسخ‌ها N = تعداد کل پاسخ‌ها

از تقسیم مجموع مربعات هر فاکتور بر درجـه آزادی آن فـاکتور واریانس بدست می‌آید:

$$V_A = \frac{SS_A}{f_A}$$

از تقسیم واریانس هر فاکتور بـر واریـانس خطـا ضـریب فیشـر محاسبه می‌شود:

$$F_A = \frac{V_A}{V_e}$$

از این ضریب برای پی بردن بـه معنـی‌دار بـودن اثـر فاکتورهـا استفاده می‌گردد.

درصد سهم هر فاکتور از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$SS_A^{'} = SS_A - (V_e \times f_A)$$

$$P_A = \frac{SS_A^{'}}{S_T}$$

V_e واریانس خطا و f درجه آزادی فاکتور مربوطه است.

درصد سهم خطا از این رابطه بدست می‌آید:

$$P_e = 100 - (PA + PB + \ldots)$$

اگر سهم مربوط به خطا در آزمایشی کم تر از ۱۵ درصـد باشـد طراحی آزمایش قابل قبول است.

روش S/N (نسبت سیگنال به نویز) : در این روش برای بررسی پراکندگی پاسخ‌ها از تابع مربع انحراف اسـتاندارد (MSD) در قالب فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$\frac{S}{N} = -10 log MSD$$

عابرو همکارانش در مطالعه‌ی تجربی خود از مدل تاگوچی برای بهینه سازی شرایط تهیه‌ی رشته کربن فعال (ACF) از کنف با استفاده از K_2HPO_4 به عنوان فعال ساز استفاده کردند(۸).

بهنژادی و همکارانش در کار تحقیقی خود به بازیافـت سـرب از باطله ی فرآیند تولید هیدرومتالورژیکی روی در محیط Nail- H_2SO_4- $Ca(OH)_2$ پرداخته‌اند. آن ها بـه منظـور مطالعـه‌ی تأثیر پارامترهای عملیاتی مختلف مـؤثر بـر رانـدمان اسـتخراج، رسیدن به بیشترین میزان استخراج و همچنین تعیـین شـرایط بهینه از روش تـاگوچی بـر مبنـای آرایـه متعامـد L_8 اسـتفاده نمودند(۹).

الیزالده- گونزالز و همکارانش حذف اسید اورانژ ۷ را با اسـتفاده از کربن دانه‌ی گوآوا مورد مطالعه قرار دادند. نتـایج بـه دسـت امده نشان داده که با دست کاری اندازه‌ی ذره‌ی دانه‌هـا نمونـه-های کربن با ویژگـی هـای متفـاوت مورفولـوژیکی و بـافتی در 1000^0C می‌توانند به دست آیند. روش تاگوچی مورد اسـتفاده در این کار حـذف اسـید اورنـژ ۷ را بـیش تـر از ۹۹٪ تحـت ۳ شرایط آزمایشی نشان داد(۱۰).

در این کار تحقیقی تـاثیر پارامترهـای عملیـاتی شـامل غلظـت اولیه‌ی آلاینده، مقدار فوتوکاتالیست، pH و دمای کلسیناسیون به عنوان متغیرهای اصلی جهت حذف آلاینده متیل ارانژ توسط فوتوکاتالیزور دی اکسید تیتانیوم کـودپ شـده توسـط نقـره و کبالت تهیه شده به روش طراحی آزمـایش بـه روش تـاگوچی بهینه‌سازی گردید.

آزمایشات

مواد و روش ها

نانو ذره $Ag, Co/TiO_2$ سنتز شده، سدیم هیدروکسید، کلریدریک اسید برای تنظیم pH محیط و متیل ارانژ به عنوان آلاینده مورد استفاده قرار گرفته است. همه مواد شیمیایی مرک می باشند.

بررسی فوتوکاتالیکی کاتالیست

مقدار مشخصی از فوتوکاتالیزور $Ag,Co/TiO_2$ را به دقت وزن کرده و در یک بالن ریخته و آب مقطر به آن اضافه می شود. بالن محتوی فوتوکاتالیزورهای سنتزی (در دماهای کلسیناسیون مختلف) را به مدت min ۱۵ در حمام اولتراسونیک قرار داده تا ذرات کاتالیزور به طور کامل پخش شوند و سوسپانسیون همگنی را تشکیل بدهند. سپس مقدار مشخصی از محلول آلاینده متیل اورانژ با غلظت معین در داخل بالن حاوی فوتوکاتالیزور اضافه کرده و سوسپانسیون حاصل با آب مقطر به حجم رسانده می شود. همچنین pH محیط را تنظیم نموده سوسپانسیون حاصل را در داخل راکتور ریخته و برای برقراری تعادل جذب سطحی، در تاریکی گذاشته می شود. سپس لامپ را روشن کرده و عمل نمونه برداری، در یک زمان معینی انجام می شود. پس از اتمام نمونه برداری کلیه نمونه ها سانتریفیوژ شده و ذرات نامحلول فوتوکاتالیزور از محلول جدا می شود. سپس جذب محلول در طول موج ۴۶۳ نانو متر، به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر UV/Vis اندازه گیری می شود. سپس درصد حذف طبق معادله زیر محاسبه میگردد:

$$R\% = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100$$

طراحی آزمایش با روش تاگوچی

طراحی آزمایشات تاگوچی، یکی از روش های مورد استفاده در مبحث طراحی آزمایشات است که اجرای آن در صنایع مختلف با موفقیت های زیادی همراه بوده است. تا گوچی مجموعهٔ ویژه‌ای از طرح های کلی برای آزمایشات فاکتوریلی ایجاد کرده است که اغلب کاربردها را پوشش می‌دهد. آرایه‌های ارتوگونال، جزئی از این مجموعهٔ طراحی ها می‌باشد. استفاده از این آرایه‌ها ما را در تعیین کم ترین تعداد آزمایشات مورد نیاز برای مجموعه‌ای از فاکتورها یاری می‌کند. چهار متغیر مؤثر در فرآیند حذف متیل ارانژ، شامل غلظت اولیه‌ی آلاینده، مقدارفتو کاتالیست، pH و دمای کلسیناسیون به عنوان متغیرهای اصلی در نظر گرفته شد که این آرایه با ۴ فاکتور در ۳ سطح تغییر می‌کند. هر سطر از ماتریس نشان دهنده‌ی یک آزمایش می-باشد. در نتیجه جمعاً ۹ آزمایش با در نظر گرفتن شرایط سطوح برای بهینه سازی و تعیین درجه‌ی تأثیر هریک از فاکتورها لازم است. جهت کاهش خطا هر آزمایش۲ بارتکرار شده است.

نتایج و بحث

طراحی آزمایش حذف متیل ارانژ از محیط‌های آبی از طریق نانوذرات $Ag, Co/ TiO_2$ براساس خواص آرایه‌های متعامد به منظور کسب اطلاعات بیش تر در مورد بهینه سازی فرآیند حذف متیل ارانژ بوسیله ی نانوذرات $Ag, Co/ TiO_2$ و تعیین سهم هر یک از پارامترهای مؤثر در فرآیند جذب سطحی از طراحی آزمایش با استفاده از روش تاگوچی بهره برده شده است. برای بدست آوردن تعداد آزمایش‌های لازمه از خاصیت آرایه‌های متعامد استفاده می‌شود. چهار متغیر مؤثر در فرآیند حذف متیل ارانژ شامل pH، غلظت اولیه‌ی آلاینده، مقدار فوتوکاتالیست و دمای کلسیناسیون به عنوان متغیرهای اصلی در نظر گرفته شد. هر یک از این فاکتورها نیز در سطح مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته که فاکتورهای مورد استفاده و سطوح آن ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱- فاکتورها و سطوح آن ها برای طراحی آزمایش

Table 1. The Factors and their Levels for Designing the Experiment

فاکتور	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
غلظت اولیه (mgL^{-1})Ag, Co/ co-doped TiO_2	۲۰۰/۰۰	۴۰۰/۰۰	۵۰۰/۰۰
غلظت متیل ارانژ(mgL^{-1})	۱۵/۰۰	۲۰/۰۰	۲۵/۰۰
T °C	۴۰۰/۰۰	۴۵۰/۰۰	۵۵۰/۰۰
pH	۵/۵۰	۶/۵۰	۸/۵۰

با در نظر گرفتن ۴ فاکتور در ۳ سطح تغییر برای هر کدام، باید آرایه‌ی متعامد مناسب برای آن انتخاب گردد. از آنجایی که هر فاکتور دارای درجه‌ی آزادی ۲ می‌باشد، در نتیجه کل درجه‌ی آزادی برابر با ۸ خواهد شد، از این رو آرایه‌ی مناسب، آرایه‌یL_9 خواهد بود. آرایه‌ی L_9مورد نظر در جدول۲ قابل مشاهده است.

جدول۲-آرایه‌ی متعامد L_9 جهت طراحی آزمایش

Table 2. L_9 Orthogonal Array for Designing the Experiment

شماره آزمایش	سطوح فاکتورها			
	MO	Ag, Co/ TiO_2	T °C	pH
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۲	۲	۲
۳	۱	۳	۳	۳
۴	۲	۱	۲	۳
۵	۲	۲	۳	۱
۶	۲	۳	۱	۲
۷	۳	۱	۳	۲
۸	۳	۲	۱	۳
۹	۳	۳	۲	۱

به منظور تعیین شرایط بهینه و تعیین سهم هر یک از پارامترهای تأثیرگذار در فرآیند حذف، از روش S/N و رسم نمودارهای مربوط به آن استفاده شده است. مقدار نسبتS/N با استفاده از معادله زیر محاسبه شده و در جدول ۳ گزارش شده است.

$$\frac{S}{N} = -10\log\frac{1}{r}\sum_{i=1}^{r}\frac{1}{Y_i^2}$$

r: تعدادآزمایش Y_i: نتیجه‌ی آزمایش i ام برای هر یک از تعداد آزمایش

جدول ۳- مقدار S/N برای آزمایش‌های مختلف

Table 3. The Value of S/N for Different Experiment

شماره آزمایش	پاسخ S/N
۱	۳۶/۴۶
۲	۳۸/۰۳
۳	۳۳/۱۵
۴	۳۷/۴۳
۵	۳۸/۸۶
۶	۳۶/۳۲
۷	۳۴/۰۵
۸	۳۳/۱۳
۹	۳۲ /۱۵

متوسط مقدار S/N برای هرسطح از پارامترها به عنوانS/N

پاسخ درجدول ۴ گزارش شده است.

جدول۴- پاسخ آنالیز تاگوچی برای فرآیند جذب سطحی حذف متیل ارانژ از طریق نانوذره

Table 4. The Results of Taguchi Analysis for the Process of the Elimination of Methyl Orange by the Nano-particle

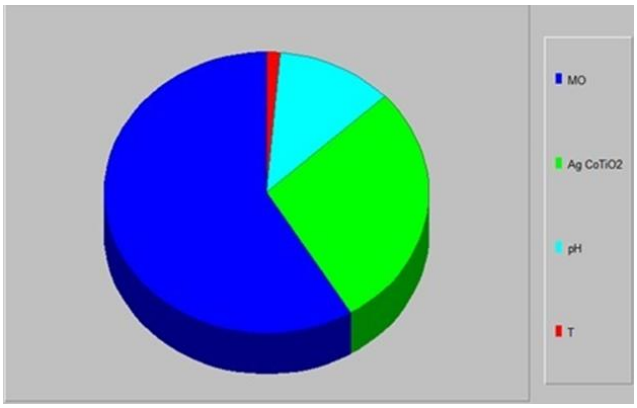
فاکتور	S/N متوسط		
	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
غلظت اولیه آلاینده (mgL^{-1})	۳۶/۶۱	۳۷/۵۴	۳۳/۱۱
مقدار فتو کاتالیست(mgL^{-1})	۳۶/۷۰	۳۶/۶۸	۳۳/۸۸
دما	۳۶/۰۳	۳۵/۸۷	۳۵/۳۶
pH	۳۶/۵۵	۳۶/۱۳	۳۴/۵۷

در روش تاگوچی برای تعیین اثر هر یک از پارامترهای ورودی و سهم هر کدام از فاکتورها در میزان پاسخ، از آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده می‌شود. نتایج آنالیز ANOVA در جدول ۵ گزارش شده است. همانطور که در این جدول و شکل ۱ مشخص است، مقدار غلظت متیل ارانژ و سپس مقدار کاتالیست بیشترین تأثیر را در میان فاکتورهای انتخابی دارند. و دمای کلسیناسیون نیز کم ترین تأثیر را در راندمان فرآیند حذف دارد.

جدول ۵- نتایج بدست آمده از تحلیل واریانس به منظور تعیین درصد تأثیر فاکتورهای مختلف در فرآیند حذف متیل ارانژ از محیط‌های آبی به وسیله ی نانوذره

Table 5.The Results of ANOVA for Determining the Effect of different Factors in the Process of Removal of Methyl Orange from the Aquatic Solution Using the Nano-particle

فاکتور	DOF (f)	Sum of Squares(S)	Variance (V)	F-Ratio (F)	Pure Sum (S^2)	Percent (P%)
غلظت اولیه (mgL^{-1}) متیل ارانژ	۲	۳۲/۷۶	۱۶/۳۸	-	۳۲/۷۶	۵۸/۶۴
مقدار کاتالیست	۲	۱۵/۸۴	۷/۹۲	-	۱۵/۸۴	۲۸/۳۶
دمای کلسیناسیون	۲	۰/۷۴	۰/۳۷	-	۰/۷۴	۱/۳۳
pH	۲	۶/۵۲	۳/۲۶	-	۶/۵۲	۱۱/۶۷
خطا	۰	-	-	-	-	-



شکل ۱- نمودار اهمیت فاکتورهای مؤثر در فرآیند حذف متیل ارانژ به وسیله ی نانو ذره

Figure 1. The Graph for the Significance of the Factors Affecting the Process of Methyl Orange with the Nano-particle

با توجه به این که مقدار S^2 برای پارامتر دمای کلسیناسیون کم می‌باشد، می‌توان از این پارامتر در تخمین شرایط بهینه چشم-پوشی کرد.

نتایج

نتایج بهینه سازی نانوذرات TiO_2 دوپه شده با دو فلز نقره و کبالت جهت حذف فتوکاتالیزوری متیل ارانژ به روش تاگوچی نشان می‌دهد که از پارامترهای موثر در راندمان حذف متیل ارانژ، بیش ترین تأثیر مربوط به مقدار نانو کاتالیست و کم ترین تأثیر مربوط به دمای کلسیناسیون می‌باشد. در واقع در روش تاگوچی برای تعیین اثر هر یک از پارامترهای ورودی و سهم هر کدام از فاکتورها در میزان پاسخ، از آنالیز واریانس(ANOVA) استفاده شده است بنابراین روش تاگوچی ابزاری قدرتمند در تعیین شرایط بهینه حذف می باشد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه به دلیل حمایت مالی و امکانات آزمایشگاه قدردانی می گردد.

Reference

1. daneshnameh.roshd.ir
2. Balan, DSL, Monteneiro RTR 2001. Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi, J biotechnol., 89,141-145.
3. Herrmann, J.M., 1999. Hetrogeneous phtocatalysis: Fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants, Catal. Today., 53, 115-129.
4. S.S. Hong, M.S. Lee, C.S. Ju, G.D. Lee, S.S. Park, K.T. Lim, Catal. Today 93–95 (2004) 871–876.
5. H.-Y. Chuang and D.-H. Chen, Nanotechnology 20, 105704 (2009).
6. R. Nouralensa, Design and analysis of experiments. Tehran: Iran University of Science & Technology, Sixth Edition (2014). (In Persian)
7. A. Zinali, Taguchi Test Design Using Qualitek Software, Tehran: Petrochemical Research and Technology Company, First Edition, pp. 86-10 (2014). (In Persian)
8. Aber, S., Khataee, A. and Sheydaei, M., 2009. Optimization of activated carbon fiber preparation from Kenaf using K_2HPO_4 as chemical activator for adsorption of phenolic compounds, Bioresour. Technol., 100, 6586-6591.
9. Behnajady, B., Moghaddam, J., Behnajady, M.A. and Rashchi, F., 2012. Determination of the optimum conditions for the leaching of lead from zinc plant residues in $NaCl–H_2SO_4–Ca(OH)_2$ media by the Taguchi method, Ind. Eng. Chem. Res., 51, 3887-3894.10.
10. Elizalde-Gonzalez, M.P. and Hernandez-Montoya, V., 2009. Removal of Acid Orange 7 by guava seed carbon: A four parameter optimization study, J. Hazard. Mater., 168, 515-522.