

# بهینه‌سازی تصفیه پساب آب صابون با استفاده از کلرور فریک با بکارگیری روش سطح پاسخ

دکتر حمزه‌علی جمالی<sup>۱</sup>، دکتر کاووس دیندارلو<sup>۲</sup>، دکتر احمد نیک‌پی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار بهداشت محیط، <sup>۲</sup> دانشیار بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی قزوین <sup>۳</sup> استادیار بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان

مجله طب پیشگیری سال دوم شماره اول بهار ۹۴ صفحات ۲۰-۱۰

## چکیده

**مقدمه:** در فرآیندهای ماشین‌کاری فلزات، جهت کاهش گرما و روان‌کاری در نقطه تماس تیغه با قطعه کاری، استفاده از مایع خنک‌کننده، معروف به آب صابون صنعتی نیاز است. در اثر استفاده طولانی مدت از آب صابون، ساختار شیمیایی آنها تخریب شده و قابلیت مصرف خود را از دست می‌دهند. بنابراین بایستی با به کارگیری یک روش ایمن آنها را دفع نمود. یکی از روش‌های تصفیه این گونه پساب‌ها انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از مواد منعقدکننده شیمیایی است. در این تحقیق از منعقدکننده کلرور فریک برای تصفیه این گونه پساب‌ها و جهت بهینه‌سازی فرآیند انعقاد از طرح مرکب مرکزی و روش سطح پاسخ استفاده گردید.

**روش‌ها:** با استفاده از کلرور فریک و به کارگیری یک دستگاه جار شش خانه‌ای راندمان حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، کدورت و میزان آزاد شدن روغن بدست آمد. برای بهینه‌سازی پارامترهای بهره‌بردار از فرآیند، شامل pH و مقدار مواد منعقدکننده از طرح مرکب مرکزی و روش سطح پاسخ استفاده شد. برای محاسبه سه متغیر پاسخ، شامل COD، کدورت و روغن آزاد شده از مدل درجه دوم استفاده شد.

**نتایج:** نتایج این تحقیق نشان داد، شرایط بهینه برای استفاده از کلرور فریک برابر با غلظت  $2/16 \text{ gr/L}$  و در  $2/52 \text{ pH}$  که میزان حذف COD برابر با  $54/4\%$ ، حذف کدورت  $84/8\%$  و میزان روغن آزاد شده  $15/9$  میلی‌لیتر بود. میزان مطلوبیت در این شرایط برابر با  $85/9\%$  بود. مقادیر پاسخ‌های بدست آمده از مطالعه آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده توسط مدل دارای تطابق خوبی بودند.

**نتیجه‌گیری:** استفاده از منعقدکننده کلرور فریک در تصفیه آب صابون صنعتی، دارای راندمان حذف خوبی در حذف شاخص‌های آلاینده‌ی مورد بررسی داشته و در مقایسه با یک منعقدکننده متداول مثل آلوم، مقدار مصرف منعقدکننده تقریباً برابر اما در خصوص راندمان حذف آلاینده‌ها دارای راندمان بالاتری است. همین‌طور از طرح مرکب مرکزی و روش سطح پاسخ می‌توان برای بهینه‌سازی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی استفاده نمود.

**کلیدواژه‌ها:** تصفیه آب صابون صنعتی، انعقاد و لخته‌سازی، کلرور فریک، بهینه‌سازی، روش سطح پاسخ

نویسنده مسئول:  
دکتر کاووس دیندارلو  
مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در  
ارتقای سلامت، دانشگاه علوم پزشکی  
هرمزگان  
بفرع‌بای - ایران  
تلفن: ۹۸۷۶۳۳۳۳۸۵۳  
پست الکترونیکی:  
kdindarloo@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۱۷ اصلاح نهایی: ۹۴/۲/۸ پذیرش مقاله: ۹۴/۲/۱۵

می‌روند. این مواد دارای خواص خنک‌کنندگی و روان‌کنندگی هستند. این محصولات ترکیبی از عوامل نگهدارنده، مواد امولسیون‌کننده، انواع عوامل ضد باکتریایی و افزودنی‌های ضد خوردگی هستند که باعث امولسیون شدن روغن‌های معدنی

**مقدمه:** آب صابون‌های صنعتی (MWFs) که به روغن‌های برش کاری نیز معروف هستند، در بهره‌بردار از دستگاه‌های خاص مکانیکی مثل دستگاه‌های برش کاری و شکل‌دهی فلزات به کار

دکانتاسیون، شناورسازی، سانتریفیوژ یا فیلتراسیون می‌توان روغن جدا شده را حذف نمود.

در روش‌های شیمیایی از منعقدکننده‌های مختلفی برای تصفیه این گونه پساب‌ها استفاده شده است (۱۵-۱۳)، اما در هیچ کدام از این روش‌های از طرح مرکب مرکزی و روش سطح پاسخ برای بهینه‌سازی استفاده نشده است. طرح مرکب مرکزی یکی از متداول‌ترین روش‌های خانواده سطح پاسخ است که به طور گسترده‌ای در مدل‌های سطح پاسخ به کار می‌رود و یک روش مفید و کاربردی برای طراحی و مطالعه فضای آزمایش است. در این روش، هر فاکتور در پنج سطح تعریف می‌شود و در مقایسه با سایر روش‌های طراحی آزمایش‌ها توانایی بالاتری در پیش‌بینی پاسخ‌ها و بهینه‌سازی آنها دارد. روش سطح پاسخ با هدف انجام کمترین تعداد آزمایش و صرفه‌جویی در زمان و هزینه، مورد توجه محققین قرار می‌گیرد.

هدف از این تحقیق، بهینه‌سازی مصرف کلور فریک در تصفیه مایع آب صابون صنعتی با استفاده از طرح مرکب مرکزی و روش سطح پاسخ است.

### روش کار:

این مطالعه به منظور بهینه‌سازی فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از منعقدکننده کلور فریک و طرح مرکب مرکزی (CCD) برای مقادیر ماده منعقدکننده و pH با حدود مشخص بالا و پایین و روش سطح پاسخ (RSM) انجام شد. در این تحقیق متغیرهای مستقل شامل pH و مقدار ماده منعقدکننده در سطوح مختلف و متغیرهای وابسته (پاسخ) شامل سه متغیر COD، کورت و مقدار روغن آزاد شده بودند. با نتایج بدست آمده، مدل‌سازی انجام شده و سپس نقاط بهینه برای این منعقدکننده استخراج گردید.

کلیه مواد شیمیایی به کار رفته در این مطالعه از محصولات شرکت Merck بودند. ابتدا محلول نخیره این منعقدکننده شیمیایی تهیه شده و در تحقیق از این محلول استفاده شد. فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با استفاده از یک دستگاه جارست شش خانه‌ای ساخت ایران، دارای تیغه‌های همزن مستطیلی با ابعاد ۱/۰cm\*۳/۰cm انجام شد. زمان‌های اختلاط سریع و کند به طور اتوماتیک تنظیم شده بود. سرعت چرخش تیغه‌ها در دور

در آب می‌گردند. این مایعات در طی ماه‌ها استفاده، در اثر تجزیه حرارتی و آلودگی توسط ذرات معلق و روغن‌های آزاد روان‌کننده، خاصیت خود را از دست می‌دهند (۱). بنابراین تعویض دوره‌ای آنها ضروری است. ورود این ترکیبات به محیط زیست یک تهدید زیست محیطی است. زیرا این پساب حاوی غلظت‌های بالایی از آلاینده‌های آلی (حاوی کربن آلی با غلظت‌های ۲۰۰-۳۰۰ gr/L هستند) (۲). از طرفی چون این ترکیبات دارای قدرت نفوذ بالایی در خاک هستند، یک تهدید جدی برای منابع آب زیرزمینی محسوب می‌گردند. مایع‌های آب صابون دارای دو نوع اصلی شامل با پایه آب و با پایه روغن هستند. آب صابون‌های با پایه روغن شامل دو گروه "روغن‌های غیرقابل انحلال" و روغن‌های انحلال‌پذیر می‌باشند. آب صابون‌های مایع با پایه آب نیز به دو گروه سنتتیک و نیمه سنتتیک طبقه‌بندی می‌گردند (۴،۳). گروه آب صابون‌های با پایه آب در حال حاضر بیشترین کاربرد را در مهندسی دارند و در نتیجه منجر به رهاسازی مقادیر زیادی از ترکیبات آلی موجود در این دسته از آب صابون‌ها به داخل فاضلاب‌ها شده است. توسعه قابل توجه فرمولاسیون این مایعات روان‌کننده، همچنین تولید امولسیون‌های سنتتیک و نیمه سنتتیک، تصفیه این گونه فاضلاب‌ها پیچیده‌تر کرده است (۶،۵).

وضع قوانین سخت‌گیرانه در مورد دفع پساب‌های ناشی از آب صابون در کشورهای صنعتی باعث توجه محققین به روش‌های تصفیه این گونه پساب‌ها شده است. از جمله روش‌های پیشنهادی می‌توان به روش‌های مختلف تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی اشاره نمود (۷،۸). از فرآیندهای تصفیه شیمیایی و فیزیکی می‌توان به اضافه کردن مواد شیمیایی (از قبیل آهک، آلوم، آلومینات سدیم و غیره) یا پلیمرها، اولترافیلتراسیون و تبخیر اشاره نمود (۹). اما روش‌های تصفیه بیولوژیکی محدودی نیز برای تصفیه این گونه فاضلاب‌ها به کار رفته‌اند. تصفیه‌خانه‌های هیبریدی که ترکیبی از یک فرآیند بیولوژیکی و یک مرحله فیزیکی یا شیمیایی هستند، برای تصفیه این گونه پساب‌ها پیشنهاد شده است (۱۲-۱۰). اضافه کردن مواد شیمیایی منعقدکننده باعث تجمع قطرات خنثی شده به کمک انعقاد یا لخته‌سازی می‌گردد که با جداسازی فاز روغنی با

گردید و معناداری آماری آن نیز توسط آزمون فیشتر (F-test) و در همان برنامه مورد کنترل قرار گرفت. عوامل مدل در سطح اطمینان ۹۵٪، توسط P-value مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمودار خطوط تراز برای این منعقدکننده بر پایه اثرات دو فاکتور (مقدار ماده منعقدکننده و pH) در پنج سطح رسم گردید. علاوه بر این بر پایه پارامترهای اصلی، ناحیه بهینه در نمودار روی هم گذاری شده (Overlay plot) مشخص شد.

در انتخاب مدل مناسب برای نتایج حاصل از داده‌های آزمایش‌ها با استفاده از این نرم‌افزار، داده‌ها مورد آنالیز قرار گرفتند که نتایج این آنالیزها در جدول شماره ۲ ارائه شده‌اند.

در مدل مرتبه دوم آماری، برای بدست آوردن یک برآزش خوب در مدل، معنی‌دار بودن اجزاء آن مدل لازم است. طرح مرکب مرکزی نشان داده شده در جدول شماره ۱، امکان توسعه معادلات ریاضی همانند معادله (۱) برای پیش‌بینی نتایج (Y) به عنوان تابعی از مقدار ماده منعقدکننده (A)، pH (B) و یک مقدار ثابت، دو اثر درجه اول (اجزاء A و B)، یک اثر متقابل (AB)، دو اثر درجه دوم (A<sup>2</sup> و B<sup>2</sup>) را می‌دهد. برای تعیین نیکویی برآزش، داده‌های بدست آمده مورد تحلیل واریانس قرار گرفتند. معادلات بدست آمده از اولین تحلیل واریانس در جدول شماره ۳ ارائه شده اند. با حذف اجزایی که از لحاظ آماری معنی‌دار نیستند، معادلات مورد اصلاح قرار گرفتند. نتایج آنالیز رگرسیون سطح پاسخ مدل‌های درجه ۲ اصلاحی با متغیرهای مستقل کگذارای شده همراه با سایر پارامترهای آماری در معادلات ۳-۵ ارائه شده است.

### نتایج:

طراحی تحقیق که بر اساس طرح مرکب مرکزی و روش سطح پاسخ انجام شده است، همراه با نتایج حاصل از آزمایشات تجربی در جدول شماره ۱ ارائه شده‌اند. همچنین خلاصه‌ای از مشخصات آماری مدل‌های مختلف در حذف آلاینده‌ها و آزاد شدن روغن از آب صابون با استفاده از کلور فریک که بر اساس آنها می‌توان در مورد انتخاب مدل تصمیم‌گیری کرد، در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

سریع و کند به ترتیب ۹۰rpm و ۳۰rpm بوده و زمان ماند هر کدام از این دو مرحله به ترتیب ۱min و ۲۰min بود. زمان ته‌نشینی نیز ۳۰min در نظر گرفته شد.

برای طراحی آماری آزمایشات و آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار Design Expert7 استفاده شد. جهت بهینه‌سازی دو متغیر مهم بهره‌برداری شامل مقدار مصرف ماده منعقدکننده و pH از طرح مرکب مرکزی و روش سطح پاسخ استفاده شد. قبل از طراحی تحقیق، با انجام آزمایشات مقدماتی، دامنه محدودی از مقادیر مصرف ماده منعقدکننده و pH بدست آمد. بدین ترتیب مقدار ماده منعقدکننده از ۰/۱ gr/L شروع شد و مقدار آن تا حد رسیدن به راندمان کاهش مناسب در مورد COD و کورت و افزایش مقدار روغن آزاد شده ادامه یافت. به همین ترتیب، برای یافتن محدوده مؤثری از pH، دامنه وسیعی بین ۱۲-۲ مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت. در نتیجه برای این منعقدکننده مقدار ۶-۲ gr/L و pH واقع در دامنه ۶-۲ انتخاب گردید. با رسم جدول طرح مرکب مرکزی فاکتوریل کامل به صورت ۳<sup>۲</sup> به علاوه چهار آزمایش اضافه به عنوان تکرارهای نقطه مرکزی، آزمایشات انجام شد که نتایج هر آزمایش در جدول شماره ۱ همراه با سطوح متغیرهای مستقل به صورت سطوح واقعی و کگذارای شده ارائه شده است. مقادیر کگذارای شده منعقدکننده و pH در پنج سطح ۱- (حداقل)، ۰/۵-، ۰ (نقطه مرکزی)، ۰/۵+ و ۱+ (حداکثر) تنظیم شدند. برای بدست آوردن مقادیر بهینه pH و مواد منعقدکننده، سه متغیر وابسته، درصد حذف COD، کورت و مقدار آزاد شدن روغن به عنوان پاسخ مورد بررسی قرار گرفتند.

مدل معادله درجه دو آماری که می‌توان از آن برای پیش‌بینی شرایط بهینه استفاده کرد، به صورت معادله (۱) است:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} \cdot x_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \dots + e \quad (1)$$

که متغیر Y پاسخ، i ثابت خطی، j ثابت درجه دوم،  $\beta$  ثابت رگرسیون، k تعداد فاکتورهای مورد مطالعه و بهینه شده در آزمایشات و e خطای تصادفی هستند.

برای آنالیز گرافیکی داده‌ها و به دست آوردن واکنش متقابل بین متغیرهای مستقل فرآیند و پاسخ‌ها، آنالیز واریانس انجام شد. کیفیت برآزش مدل چندجمله‌ای با ضریب تعیین (R<sup>2</sup>) بیان

جدول شماره ۱- طرح مرکب مرکزی برای دو متغیر pH و مقدار منعقدکننده کلور فریک و نتایج حاصل از کاربرد آن

شماره آزمایش	شماره تصادفی	غلظت کلور فریک		pH		نتایج	
		gr/L	سطح	معیار	سطح	حذف کدورت (%)	روغن آزاد شده (mL)
۱	۵	۳	-۰/۵	۴	۰	۸۴/۴	۱۴/۵
۲	۱۳	۴	۰	۴	۰	۹۰	۱۴
۳	۲	۶	+۱	۲	-۱	۵۲/۵	۷
۴	۱۲	۴	۰	۴	۰	۹۴	۱۲
۵	۱	۲	-۱	۲	-۱	۵۰	۱۷/۲
۶	۳	۲	-۱	۶	+۱	۵۶	۳
۷	۱۰	۴	۰	۴	۰	۸۹	۱۳/۵
۸	۹	۴	۰	۴	۰	۸۸	۱۵
۹	۱۱	۴	۰	۴	۰	۹۸	۱۶
۱۰	۸	۴	۰	۵	+۰/۵	۸۵	۹/۸
۱۱	۷	۴	۰	۳	-۰/۵	۷۹	۱۵
۱۲	۴	۶	+۱	۶	+۱	۶۶/۱	۳
۱۳	۶	۵	+۰/۵	۴	۰	۸۶	۱۳

جدول شماره ۲- خلاصه‌ای از مشخصات آماری مدل‌های مختلف در حذف آلاینده‌ها و آزاد شدن روغن از آب صابون با استفاده از کلور فریک

مدل	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> تعدیل	R <sup>2</sup> پیش بینی	انحراف استاندارد	PRESS
<b>حذف COD</b>					
مرتبه دوم کامل	۰/۹۷۷۳	۰/۹۶۱۰	۰/۸۵۹۳	۲/۸۱	۳۴۰/۹۵
خطی	۰/۴۶۰۹	۰/۳۵۳۱	۰/۷۸۹۵	۱۱/۴۳	۴۳۳۵/۸۵
برهمکنش	۰/۵۳۰۷	۰/۳۷۴۲	۰/۷۹۵۷	۱۱/۳۶	۱۴۰۴۱/۱۲
مرتبه سوم	۰/۹۷۹۳	۰/۹۵۰۴	۰/۷۱۸۲۵	۳/۱۶	۴۴۰۵۲
<b>حذف کدورت</b>					
خطی	۰/۰۴۷۴	۰/۱۴۳۱	۰/۲۰۷۶	۱۷/۵۵	۹۹۴۹/۶
برهمکنش	۰/۰۵۱۹	۰/۲۶۴۱	۰/۱۱۰۲۱۹	۱۸/۴۶	۳۸۸۸۶
مرتبه دوم کامل	۰/۹۶۷۶	۰/۹۴۴۴	۰/۹۰۰۶	۳/۸۷	۳۲۱/۳۶
مرتبه سوم	۰/۹۶۸۱	۰/۹۳۳۴	۰/۷۰۵۸	۴/۵۴	۵۸۴۱۱/۸۸
<b>آزاد شدن روغن (mL)</b>					
خطی	۰/۴۶۲۱	۰/۳۵۴۶	۰/۸۰۵۳	۳/۷۸	۴۷۹/۶۵
برهمکنش	۰/۵۶	۰/۴۱۳۴	۰/۴۳۹۵	۳/۶	۱۴۱۸/۶۳
مرتبه دوم کامل	۰/۹۶۲۴	۰/۹۱۶۰	۰/۸۶۲۱	۱/۱۹	۳۷/۶۵
مرتبه سوم	۰/۹۶۵۰	۰/۹۱۶۰	۰/۲۸۸۵	۱/۳۶	۱۸۹/۰۲

PRESS; Predicted Residual Error Sum of Squares

جدول شماره ۳- نتایج آنالیز واریانس عوامل مدل مرتبه دوم پاسخ سطح در کاهش آلاینده‌های آب صابون با استفاده از کلرور فریک

منبع تغییرات	مجموع مربعات			میانگین مربعات			F-value	P-value	درجه آزادی	منبع تغییرات		
	COD	کلورت	روغن	COD	کلورت	روغن				COD	کلورت	روغن
مدل	۲۳۶۷/۶۵	۳۱۲۹/۸	۲۵۵/۷۱	۰	۴۷۳/۵	۶۲۶	۵۱/۱۴	۶-۰/۲	۴/۸	۳۵/۹	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
غلظت FeCl3	۲۷۶/۱۳	۳۹/۹۰	۲۶/۶۴	۱	۲۷۶/۱۳	۴/۹۰	۲۶/۶۴	۳۵/۱	۲/۶۶	۱۸/۷	۰/۰۰۰۲۵	۰/۱۴۶۶
pH	۸۴۰/۵	۱۱۳/۵۰	۹۶/۱۴	۱	۸۴۰/۵	۱۱۳	۹۶/۱۴	۱۰۷	۷/۵۸	۶۷/۴	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۸۵
*FeCl3 pH	۱۶۹	۱۴/۴۴	۲۶/۰۱	۱	۱۶۹	۱۴/۴	۲۶/۰۱	۲۱/۵	۰/۹۶	۱۸/۲	۰/۰۰۲۴	۰/۳۵۸۹
FeCl3 <sup>2</sup>	۵/۷۵	۲۸/۳۶	۰/۷۱	۱	۵/۷۵	۲۸/۳	۰/۷۱	۰/۷۳	۱/۸۹	۰/۰۵	۰/۴۲۰۹	۰/۲۱۱۹
pH <sup>2</sup>	۶۱/۳۲	۱۳۵/۴۴	۸/۶۰	۱	۶۱/۳۲	۱۳۵	۸/۶۰	۷/۷۹	۹/۰۴	۶/۰۳	۰/۰۳۶۸	۰/۰۱۹۷
باقیمانده	۵۵/۰۸	۱۰۴/۸	۹/۹۸	۷	۷/۸۷	۱۵	۱/۴۳	-	-	-	-	-
نقص برازش خطای خالص	۲۰/۹۹	۶۸/۸۰	۹/۲۰	۴	۱۰/۳۳	۱۲	۰/۲۶	۱/۳۷	۰/۷	۰/۱۱	۰/۳	۰/۶۰۰۱
کل	۲۴۲۲/۷۳	۳۲۳۴/۶	۳۶۵/۶۹	۱۲	۳۶۵/۶۹	۱۷/۲۰	۲/۳۰	-	-	-	-	-
حذف COD	A.P=۳۳/۵ PRESS=۳۴۱						R <sup>2</sup> =۰/۹۷ Adj.R2=۰/۹۶					
حذف کلورت	A.P=۱۵/۴ PRESS=۳۲۱/۶						R <sup>2</sup> =۰/۹۶ Adj.R2=۰/۹۴					
روغن	A.P=۱۷/۶۸ PRESS=۳۱۷						R <sup>2</sup> =۰/۹۶ Adj.R2=۰/۹۳					

PRESS: predicted residual error sum of squares

$$Y_1 = 48/96 - 7/83 (\text{FeCl}_3 \text{ dose}) - 13/67 (\text{pH}) + 7/5 (\text{FeCl}_3 \text{ dose} * \text{pH}) \quad (3)$$

$$Y_2 = 90/19 + 2/98 (\text{FeCl}_3 \text{ dose}) + 5/02 (\text{pH}) + 1/9 (\text{FeCl}_3 \text{ dose} * \text{pH}) - 10/76 (\text{FeCl}_3 \text{ dose}^2) \quad (4)$$

$$Y_3 = 14/01 - 2/43 (\text{FeCl}_3 \text{ dose}) - 4/62 (\text{pH}) + 2/55 (\text{FeCl}_3 \text{ dose} * \text{pH}) - 0/54 (\text{FeCl}_3 \text{ dose}^2) \quad (5)$$

همچنین پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به مقادیر برازش داده شده حاصل از کاربرد این منعقدکننده در شکل شماره ۱ و نتایج پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به ترتیب انجام آزمایش‌ها در شکل شماره ۲ ارائه شده است.

همچنین نمودارهای خطوط تراز سطح پاسخ عوامل مؤثر در حذف COD، کلورت و آزاد شدن روغن از آب صابون توسط این منعقد کننده در شکل شماره ۳ ارائه شده است.

پایین باشد. آزمون ضعف برازش (Lack of fit test)، تغییرات داده‌ها را حول مدل برازش شده توصیف می‌نماید. اگر مدل به خوبی برازش نشده باشد، این آزمون معنی‌دار است.

نتایج آنالیز واریانس عوامل مدل مرتبه دوم پاسخ سطح در کاهش COD، کلورت و میزان آزاد شدن روغن در اثر استفاده از هر یک از منعقدکننده کلرور فریک در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

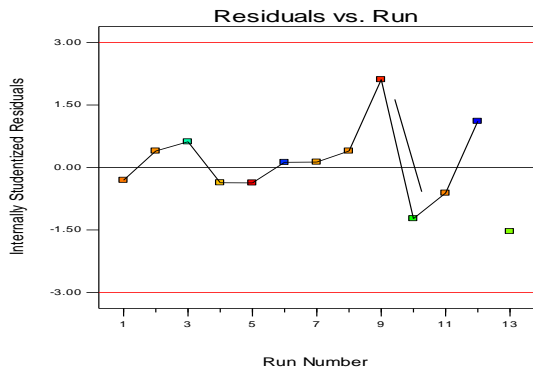
معادله کلی (۲) راندمان فرآیند انعقاد در حذف COD، کلورت و آزاد شدن روغن توسط کلرور فریک بر اساس مدل مرتبه دوم است.

$$Y = a_0 + a_1 (\text{Coagulant dose}) + a_2 (\text{pH}) + a_3 (\text{Coagulant dose} * \text{pH}) + a_4 (\text{Coagulant dose}^2) + a_5 (\text{pH}^2) \quad (2)$$

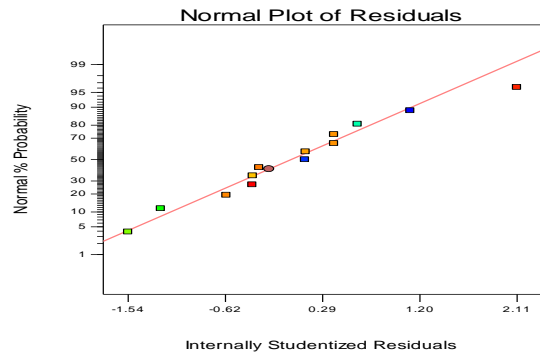
که مقدار ثابت  $a_0$  و مقادیر ضرایب  $a_1 - a_5$  پس از رگرسیون مدل سطح پاسخ برای حذف COD و کلورت و آزاد شدن روغن از آب صابون به ترتیب به صورت  $Y_1$ ،  $Y_2$  و  $Y_3$  نشان داده شده‌اند، پس از حذف عواملی که مطابق نتایج ارائه شده در جدول شماره ۲ از نظر آماری معنی‌دار نبودند، در معادلات ۳-۵ ارائه شده‌اند.

منعقدکننده با توجه به واژه‌های مؤثر در واکنش‌ها، در معادله (۲) ارائه شده است. با توجه به این معادله کلی، معادلات مربوط به حذف COD و کدورت و میزان آزاد شدن روغن توسط این منعقدکننده ارائه گردید که شامل معادلات ۳-۵ هستند. در این معادلات اصلاحی، واژه‌هایی که بر اساس نتایج آنالیز واریانس ارائه شده در جدول شماره ۳ از نظر آماری معنی‌دار نبودند، حذف گردیدند. با توجه به نتایج ارائه شده در این جدول شماره ۳، مقادیر بالای  $R^2$  و کفایت دقت (AP)، بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی میزان حذف COD، کدورت و میزان آزاد شدن روغن می‌باشد. کفایت دقت، محدوده مقادیر پیش‌بینی در نقاط طراحی را با میانگین خطای پیش‌بینی مقایسه می‌کند. نسبت‌های بالاتر از ۴ نشان‌دهنده کفایت مدل‌ها است (۱۷،۱۸).

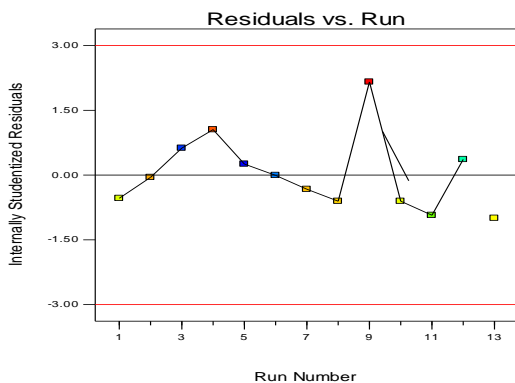
نتایج آنالیز آماری مدل‌ها با توجه به داده‌های مورد آزمایش کلور فریک در جدول شماره ۲ ارائه شده است، که مدل انتخابی مدل درجه دوم بود. نتایج آنالیز داده‌ها بر اساس مدل درجه دوم نیز در جدول شماره ۳ ارائه شده است. ضریب  $R^2$  نسبت کل تغییرات پاسخ پیش‌بینی شده توسط مدل را ارائه می‌دهد که نشان‌دهنده نسبت مجموع مربعات ناشی از رگرسیون (SSR) به کل مجموع مربعات (SST) است. بزرگ بودن  $R^2$  و نزدیک به ۱ بودن آن مطلوب بوده و یک توافق مطلوب با  $Adj. R^2$  ضروری است (۱۶). بزرگ بودن  $R^2$  تأیید کننده تطابق رضایت بخش داده‌های آزمایشات بر مدل درجه ۲ است. همچنین بر اساس نتایج ارائه شده در جدول شماره ۳، آزمون ضعیف برازش مربوط به مدل برازش یافته (چند جمله‌ای درجه دوم) برای پاسخ‌ها معنی‌دار نبود. همچنین بر اساس نتایج آنالیز واریانس نشان داده شده در این جدول، مدل درجه دوم برای راندمان حذف COD، کدورت و آزاد شدن روغن از آب صابون از نظر آماری معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). معادله کلی درجه دوم برای این



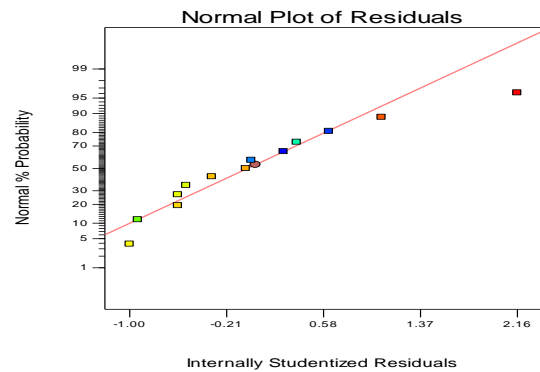
الف) COD



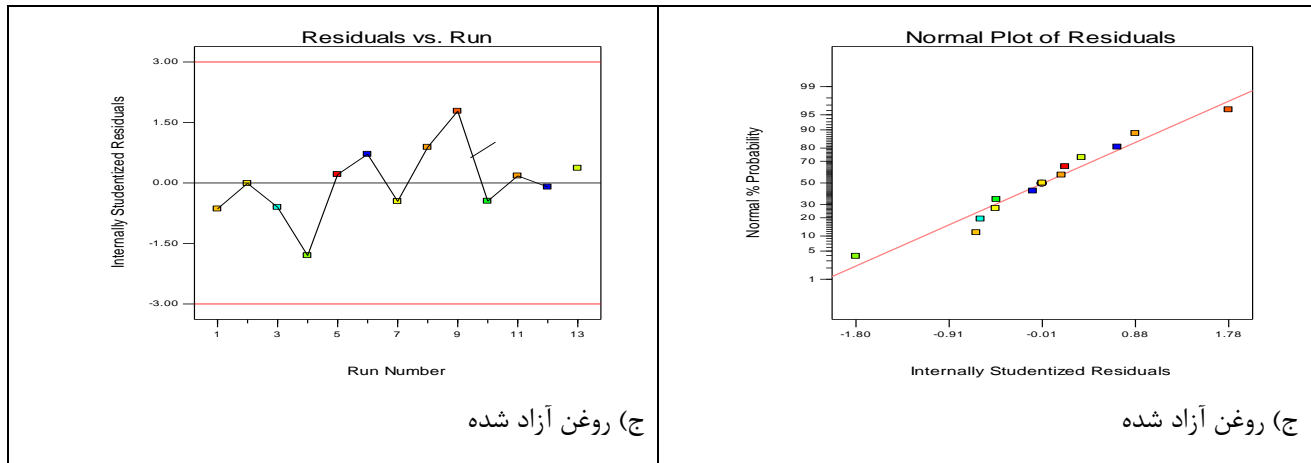
الف) COD



ب) کدورت

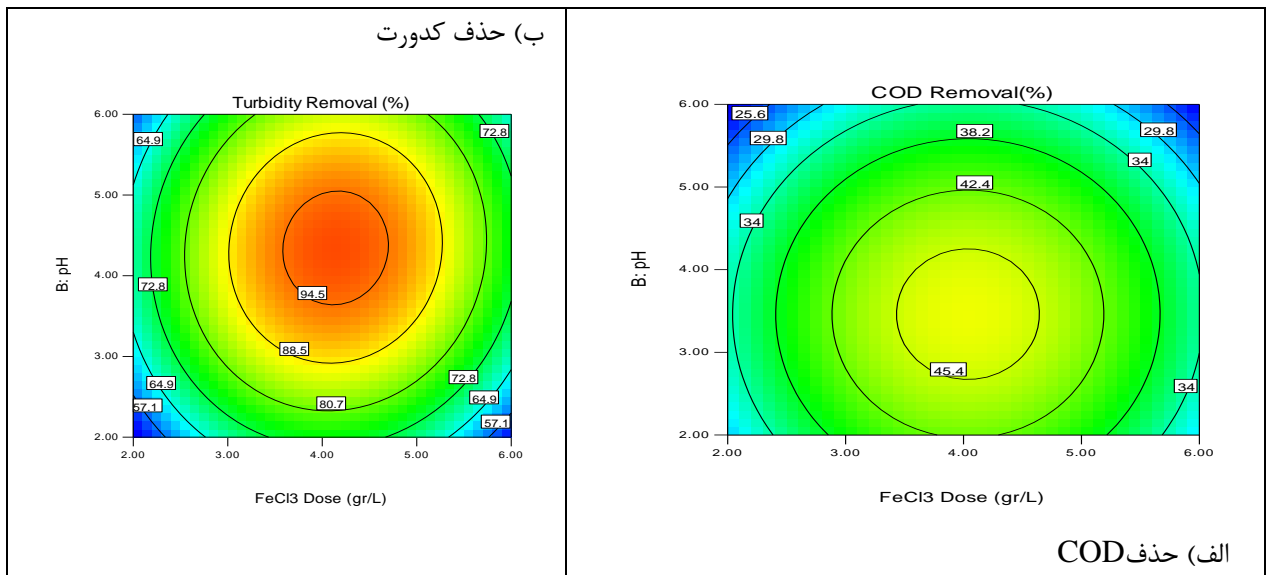


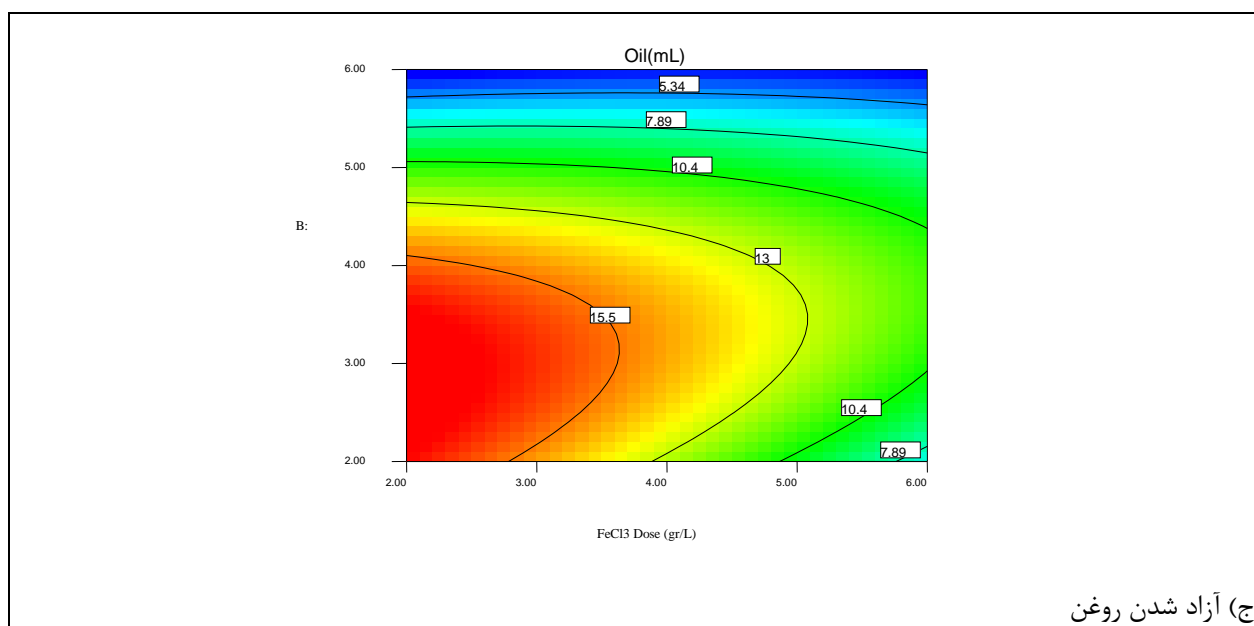
ب) کدورت



شکل ۱- پراکنش باقیمانده ها نسبت به مقادیر برازش داده شده

شکل ۲- پراکنش باقیمانده ها نسبت به ترتیب انجام آزمایش ها





ج) آزاد شدن روغن

شکل ۳- نمودارهای خطوط تراز سطح پاسخ عوامل موثر در حذف آلاینده‌ها از آب صابون توسط آلوم

نمودارهای خطوط تراز (شکل شماره ۳) که توسط نرم‌افزار رسم شده‌اند، یک نمای تراز از سطح حذف COD، کدورت و میزان آزاد شدن روغن در مورد کاربرد این منعقدکننده با ترکیب‌های مختلف از متغیرهای مستقل را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه در حذف COD، کدورت و آزاد شدن روغن، واکنش‌های متقابل متغیرها معنی‌دار بودند. بنابراین انحاء، در نمودارهای سطح پاسخ کاملاً واضح است.

هر یک از نمودارهای سطح پاسخ دارای یک نقطه اوج واضح هستند که نمایانگر اهمیت نقش متغیرهای مستقل از pH و غلظت ماده منعقدکننده در فراهم شدن حذف حداکثری متغیرهای پاسخ COD و کدورت و میزان آزاد شدن روغن است. با دور شدن از این نقاط اوج، کاهش راندمان COD و کدورت و افزایش میزان آزاد شدن روغن مشاهده می‌گردد، به طوری که افزایش یا کاهش هر یک از متغیرهای مورد آزمایش مطلوب نیست.

با بهینه‌سازی عددی (Numerical)، شرایط بهینه در زمان استفاده از کلرور فریک برابر است با غلظت  $3/16 \text{ gr/L}$  و در  $\text{pH} 7/02$  است که میزان حذف COD، کدورت و میزان روغن آزاد شده به ترتیب برابر با  $54/4\%$ ،  $84/8\%$  و  $15/9$  میلی‌لیتر بود. میزان مطلوبیت در این شرایط برابر با  $85/9\%$  بود.

شکل شماره ۱ پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به مقادیر برآزش داده شده را نشان می‌دهند. این نمودارها برای بررسی فرض ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها است. در صورتی که در این نمودار روند خاصی مشاهده نشود، فرض ثابت بودن واریانس پذیرفته می‌شود. در نمودارهای فوق روند خاصی که بیان‌کننده زیاد یا کم شدن واریانس باشد، دیده نمی‌شود. بنابراین فرض ثابت بودن واریانس پذیرفته می‌شود.

شکل شماره ۲ پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به ترتیب انجام آزمایشات و جمع‌آوری داده‌ها می‌باشند و برای بررسی استقلال بین باقیمانده‌ها به کار می‌رود. در صورت عدم مشاهده هر گونه روندی از قبیل تغییرات سینوسی، در این نمودارها فرض استقلال داده‌های بدست آمده پذیرفته می‌شود. در این نمودارها هیچ گونه روندی که بتوان فرض استقلال داده‌ها را رد کرد، مشاهده نمی‌شود. بنابراین با توجه به تحلیل نمودارهای فوق، مدل انتخاب شده برای تحلیل داده‌ها مناسب هستند.

برای تفسیر گرافیکی واکنش‌های متقابل، نمودارهای سه بعدی مدل رگرسیون به کار می‌رود. نمودارهای خطوط تراز واکنش‌های متقابل عوامل معنی‌دار به لحاظ آماری که از معادله درجه دوم بدست آمده‌اند، در شکل شماره ۳ شان داده شده‌اند.



خصوص این منعقدکننده محدوده غلظت  $4-5 \text{ gr/L}$  و محدوده pH بین  $3-4.5$  محدوده بهینه می‌باشد.

به منظور بررسی و تأیید توافق داده‌های بدست آمده از مدل و داده‌های تجربی در شرایط بهینه ( $2/52 \text{ pH}$  و مقدار  $3/16 \text{ gr/L}$ ) برای این منعقدکننده دو آزمایش اضافی انجام شد که نتایج نشان داد که میزان خطا در پاسخ‌های COD، کورت و آزاد شدن روغن به ترتیب  $1/05 \pm 0/05$ ،  $1/01 \pm 0/08$  و  $1/65 \pm 0/11$  با میزان انحراف معیار به ترتیب بودند. بنابراین تمامی پاسخ‌های پیش‌بینی شده توسط مدل و حاصل از آزمایشات بسیار به هم نزدیک هستند.

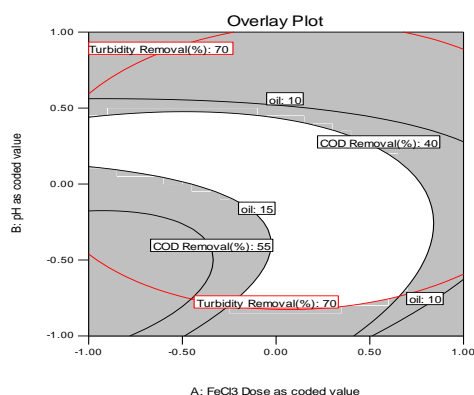
روش‌های فیزیکوشیمیایی که انعقاد و لخته‌سازی یکی از آنهاست، برای تصفیه آب صابون صنعتی توصیه می‌گردند. هر چند انواع مختلفی از منعقدکننده در امور تصفیه فاضلاب‌های صنعتی استفاده می‌شوند، انتخاب مؤثرترین منعقدکننده برای هر فاضلابی تا حدود زیادی به نتایج آزمایش جار بستگی دارد.

منعقدکننده کلرور فریک که در تصفیه آب و فاضلاب کاربرد متداول دارد، در تصفیه آب صابون مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که شرایط بهینه در مورد استفاده از این ترکیب شیمیایی عبارت از  $2/52 \text{ pH}$  و غلظت  $3/16 \text{ gr/L}$  بود. در این شرایط میزان حذف COD، کورت و روغن آزاد شده به ترتیب برابر با  $4/4\%$ ،  $8/8\%$  و  $9/15$  میلی‌لیتر بود. میزان مطلوبیت در این شرایط برابر با  $85/9\%$  بود.

نتایج نشان داد که بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با نتایج حاصل از آزمایشات تطابق خوبی وجود دارد. لذا با توجه به این نتایج می‌توان از کلرور فریک جهت تصفیه اولیه آب صابون استفاده کرد. همچنین روش سطح پاسخ به عنوان روشی مناسب برای بهینه‌سازی و پیش‌بینی نتایج فرآیند انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه آب صابون صنعتی پیشنهاد می‌گردد.

وقتی که چندین نمودار پاسخ وجود دارد، برای نشان دادن شرایط بهینه‌ای که همه پارامترها به طور همزمان به میزان مطلوبی حذف گردند، به صورت گرافیکی امکان‌پذیر است. این کار، با قرار دادن چندین نمودار تراز سطح پاسخ در یک نمودار و به صورت روی هم‌گذاری شده انجام می‌شود. بهینه‌سازی گرافیکی، مقادیر ممکن از سطح پاسخ در فضای عامل را نمایش می‌دهد، به طوری که نواحی دارای برآزش با معیارهای بهینه‌سازی، به صورت سایه‌دار قابل مشاهده است (۱۷).

شکل شماره ۴، نمودار روی هم‌گذاری برای تعیین ناحیه بهینه در استفاده از کلرور فریک را نشان می‌دهد. حدود پاسخ انتخابی برای هر پارامتر به عنوان حداقل مقادیر قابل حذف هر پاسخ، به طوری که یک ناحیه هم‌پوشانی با سایر پاسخ‌ها داشته باشد، برای متغیرهای پاسخ COD، کورت و میزان آزاد شدن روغن به ترتیب  $55-40-70$ ،  $95-70$  و  $15-10$  میلی‌لیتر انتخاب گردید. این محدوده‌ها، نسبتاً نزدیک به نقاط دارای راندمان حذف حداکثر مربوط به هر پاسخ انتخاب شده‌اند، به طوری که بتوان به یک ناحیه بهینه نسبتاً کوچک نائل شد.



شکل شماره ۴- نمودار روی هم‌گذاری برای تعیین ناحیه بهینه با استفاده از کلرور فریک به صورت مقادیر کد شده

در نمودار روی هم‌گذاری شده، همان گونه که قابل مشاهده است، با تغییر راندمان حذف COD، کورت و آزادسازی روغن در منطقه دارای برآزش، به یک ناحیه منتهی می‌گردد که راندمان هر سه پاسخ در حد بهینه است و می‌توان با تنظیم فاکتورهای غلظت منعقدکننده و pH به راندمان مدنظر دست یافت. در

## References

## منابع

1. Nidal Hilal, Gerald Busca, Federico Talens-Alesson, Brian P. Atkin. Treatment of waste coolants by coagulation and membrane filtration. *Chemical Engineering and Processing*. 2004; 43: 811-821.
2. Hu X, Bekassy-Molnar E, Vatai G. Study of ultrafiltration behavior of emulsified metalworking fluids. *Desalination*. 2002; 149: 191-7.
3. Benito J.M, Ebel S, Gutierrez B, Pazos C, Coca J. Ultrafiltration of waste emulsified cutting oil using organic membranes. *Water Air Soil Pollut*. 2001; 128: 181-95.
4. Sheeja Jagadevan, Nigel J. Graham, Ian P. Thompson. Treatment of waste metalworking fluid by a hybrid ozone-biological process. *Journal of Hazardous Materials*. 2013; 244–245: 394- 402.
5. Rabenstein A, Thomas K.T, Markko R, Ekkard B, Jan K. Microbial degradation of water miscible metal working fluids. *Int. Biodeterior. Biodegradation*. 2009; 63: 1023-1029.
6. Bensadok K, Belkacem M, Nezzal G . Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation. *Desalination*. 2007; 206: 440- 448.
7. M. Sandin and I. Mattsbybaltzer, Control of microbial-growth in toilets-based metal-working fluids, *Int. Biodeterioration*. 1991; 27: 61-74.
8. Sokovic M and Mijanovic K. Ecological aspects of cutting fluids and to their quantifiable influence one parameters of the cutting processes. *J. Mater. Process. Technol*. 2001; 109: 181-189.
9. Bataller H, Lamaalam S, Lachaise J, Graciaa A, Dicharry C. Fluid Cutting millings produced by dilution of cutting fluid concentrate containing have cationic/nonionic surfactant mixture. *J. Mater. Process. Technol*. 2004; 152: 215–220.
10. S. Lamaallam, H. Bataller, C. Dicharry and J. Lachaise. Formation and stability of miniemulsions produced by dispersion of water/oil/surfactants concentrates in a broad amount of toilets. *Colloid Surf*. 2005; 270-271: 44-51.
11. Busca G.H, Hankins N, Mohammad A.W. The use of ultra filtration and nanofiltration membranes in the treatment of metal-working fluids, *Desalination*. 2004; 167: 227-238.
12. Moosai R, Dawe R.A. Gas attachment of oil droplets for gas flotation for oily wastewater cleanup, *Sep. Purific. Technol*. 2003; 33: 303-314.
13. B. Meyssami and A.B. Kasaeian. Use treatment of coagulants in of olive oil wastewater model solutions by induced air flotation, *Bioresour. Technol*. 2005; 96: 303-307.
14. Milacron. Treatment and Disposal of Used Metalworking Fluids. Consumable Products Division15- Lin, C.S., Kemflo Internaitonal Reverse Osmosis Application.Pingtung, 2004.Taiwan.
15. Nordin M.Y, Venkatesh V.C, Sharif S, Elting S, Abdullah A. Application of response surface methodology in describing the performance of coated carbide tools when turning AISI 10 4 steel, *J. Mater. Process. Technol*. 2004; 145: 46-58.
16. Mason R.L, Gunst, R.F, Hess J.L. Statistical Design and Analysis of Experiments, Eighth Applications to Engineering and Science, 2<sup>nd</sup> edition, Wiley, New York, 2003.
17. Beg Q, Sahai V, Gupta R. Statistical me dia optimization and alkaline protease production from *Bacillus mojavensis* in a bioreactor, *Process Biochem*. 2003; 39: 203-209.

## Optimization of metal working fluids treatment using Ferric chloride by application of response surface methodology (RSM)

H.A. Jamali, PhD<sup>1</sup> K. Dindarloo, PhD<sup>2</sup> A. Nikpay, PhD<sup>3</sup>

Assistant Professor Department of Environmental Health<sup>1</sup>, Associate Professor Department of Occupational Health<sup>3</sup>, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran. Assistant Professor Department of Environmental Health<sup>2</sup>, Social Promotion Research center, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.

(Received 7 Jan, 2015 Accepted 5 May, 2015)

### ABSTRACT

**Introduction:** In metal machining processes, the regulation of heat generation and lubrication at the contact point are achieved by application of a fluid referred to as metalworking fluid (MWF). MWFs inevitably become operationally exhausted with age and intensive use, which leads to compromised properties, there by necessitating their safe disposal. Disposal of this waste through Coagulation-flocculation process is an increasingly attractive option. However, successful chemical coagulation depends on optimization of process. In this study, response surface methodology was used to optimization of process.

**Methods:** The removal efficiencies for chemical oxygen demand (COD), turbidity and amount of oil released obtained using ferric chloride were compared with those was predicted using quadratic models. Central composite design (CCD) and response surface method (RSM) were applied to optimize the operating variables including coagulant dosage and pH. Quadratic models were developed for the three responses (COD, turbidity, oil released from metal working fluid).

**Results:** The results of this study indicated that the optimum conditions were ferric chloride dosage of 3.16 g/L at pH 3.52. The COD and turbidity removal efficiency and oil released from metal working fluid were 54.4%, 84.8% and 15.9 ml respectively. The experimental data and model predictions were agreed.

**Conclusion:** Coagulation - Flocculation process using ferric chloride compared with conventional coagulants such as Alum was very effective on pollution indices such as COD and turbidity in treatment of metal working fluid. Response surface methodology and central composite design is a successful method for optimization of coagulation-flocculation using ferric chloride.

**Key words:** Metal Working Fluid Treatment, Coagulation- Flocculation, Ferric Chloride, Optimization, Response Surface Methodology (RSM)

Correspondence:  
K. Dindarloo, PhD.  
Social Determinat in Health  
Promotion Research Center,  
Hormozgan University of  
Medical Sciences.  
Bandar Abbas, Iran  
Tel: +98 76 33338583  
Email:  
kdindarloo@yahoo.com