

# بهینه سازی پارامترهای عملیاتی فرایند انعقاد- لخته سازی جهت کاهش کدورت نمونه پساب صنعتی

تقی عبادی<sup>۱</sup>، احمد بهلکه<sup>۲</sup>، رضا دادالهی<sup>۳</sup>، عبدالعزیز ادیسی<sup>۴</sup>  
<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)  
ebadi.aut@gmail.com  
<sup>۲،۳</sup> دانشکده مهندسی پتروشیمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، پردیس ماهشهر  
<sup>۴</sup> دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)

## چکیده

در این بررسی هدف کاهش کدورت در یک نمونه از پساب صنعتی میباشد. در این تحقیق از روش انعقاد و لخته سازی جهت تصفیه این پساب استفاده شد. برای این منظور اثر پارامترهای غلظت منعقدکننده، غلظت لخته کننده و نیز اثر میزان pH پساب بر روی راندمان کاهش کدورت مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش ها در سه مقدار ۵، ۷ و ۸ برای pH انجام شد. پلی کلرید آلومینیوم ۱۸ درصد (وزنی) به عنوان ماده ی منعقدکننده در سه غلظت ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ mL/L و ماده ی Actipol A۴۰۱- به عنوان لخته کننده در غلظت های ۴، ۶ و ۸ mL/L استفاده شده است. برای یافتن بهترین حالت عملکرد سیستم از روش سطح پاسخ در طراحی آزمایش ها استفاده شد. همچنین تحلیل پایداری سیستم با استفاده از روش سطح پاسخ صورت گرفته و تاثیر تمامی عوامل خطی، توانی و تداخلی بررسی گردید. در نهایت مشخص شد که بهترین حالت عملکردی فرایند تصفیه انعقاد- لخته سازی مربوط به حالتی است که غلظت منعقدکننده mL/L ۰/۴، غلظت لخته ساز mL/L ۴ و میزان pH برابر با ۷ باشد که در این حالت عملکرد سیستم تا میزان ۱۰۰٪ نیز خواهد رسید.

واژه‌های کلیدی: انعقاد- لخته سازی، کدورت، سطح پاسخ، طراحی آزمایش.

## مقدمه

کدورت در آب به طور معمول توسط مواد معلق همچون خاک، گل ولای، مواد آلی و معدنی ریز، ترکیبات آلی رنگی محلول، پلانکتون ها و سایر میکرواورگانیزم ها ایجاد می شود. کدورت آب و پساب ها در فصول مختلف سال متفاوت است که این تغییر کدورت در آب ها و پساب های سطحی محسوس تر است. روش انعقاد-لخته سازی متداول ترین و موثرترین روش حذف کدورت در تصفیه خانه های بزرگ آب می باشد.

از این روش در حوضچه های اختلاط سریع مواد منعقدکننده ای مانند سولفات آلومینیم (آلوم)، پلی آلومینیم کلراید (PAC)، سولفات آهن (دو ظرفیتی و سه ظرفیتی) و در صورت نیاز کمک منعقدکننده هایی مانند خاک رس، سیلیکات سدیم استفاده می شود که به وسیله ی میکسرهایی به مدت ۳۰ تا ۶۰ ثانیه با آب مخلوط می گردند تا عمل انعقاد ذرات کلوئیدی صورت گیرد، سپس آب وارد حوضچه های اختلاط آرام (لخته ساز) شده که به مدت ۳۰ تا ۶۰ دقیقه آب منعقد شده، به آرامی هم زده شود تا لخته ها (فلوک ها) تشکیل گردند. از پلی آلومینیم کلرید معمولاً در حذف کدورت به وجود آمده ناشی از رنگ ها استفاده شده است [۱]. علاوه بر این تاثیر غلظت این ماده روی حذف رنگ از پساب مورد بررسی قرار گرفته است [۲].

چربی ها، روغن ها و گریس ها از عمده لیبید های خروجی از صنایع می باشند که در پساب خروجی از کارخانه ها به وفور دیده می شود که باعث اثرات زیست محیطی ناخواسته می گردند [۳، ۴]. در این میان کارخانجات تولید صنایع غذایی از اهمیت بالایی برخوردارند و بر اساس برآورد انجام شده تا سال ۲۰۱۵ موجب ایجاد مشکلات زیست محیطی بسیار آشکارتری خواهد شد [۵]. پساب ها شامل مقدار زیادی COD، ذرات معلق مواد آلی انحلال پذیر، میکرواورگانیزم ها و نمک های معدنی هستند [۶]. پساب های پالایشگاهی به علت داشتن ترکیبات نفتی مقاومت زیادی در مقابل نفوذ اکسیژن مورد نیاز اکوسیستم ها از خود نشان می دهند [۷]. تاکنون چندین روش فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای بررسی این نوع از پساب ها مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله این روش ها می توان به فرآیندهای غشایی، روش الکتروشیمیایی، لجن فعال و سایر روش های فیزیکی و شیمیایی یا ترکیبی از این روش ها اشاره کرد [۸، ۹].

روش انعقاد-لخته سازی پیش از رهاسازی پساب به محیط به عنوان یکی از موثرترین روش ها در تصفیه ی پساب های روغنی مورد استفاده قرار می گیرد [۱۰، ۱۱]. تاکنون از مواد مختلفی به عنوان منعقد کننده و یا ماده ی افزودنی در فرآیند انعقاد و لخته سازی استفاده شده است [۱۲]. این منعقدکننده ها می توانند مواد آلی (مانند سولفات آلومینیم یا کلرید پلی آلومینیم)، پلیمر های آلی مصنوعی (مانند مشتقات پلی اکریل آمید) یا لخته کننده ای طبیعی مانند لخته کننده های میکروبی باشند. مواد یاد شده برای اهداف مختلفی متناظر با ویژگی شیمیایی آن ها به کار می روند [۱۱-۱۳]. برخی از محققان تاثیر مواد کمکی را بر روی فرآیند لخته سازی و منعقد سازی بررسی کرده اند [۱۴، ۱۵].

نمک های فریک و آلومینیم بیش ترین کاربرد را در مراکز فرآیند انعقاد و لخته سازی دارند. اگرچه مواد دیگری نیز موجود است که دارای پتانسیل خوبی برای ایفای این نقش را دارند [۱۱، ۱۶-۲۰]. فاکتورهای بسیاری بر روی کارایی روش انعقاد و لخته سازی تاثیر گذارند که از جمله ی آن ها می توان به دما، pH، زمان اختلاط، غلظت منعقدکننده و غلظت لخته ساز اشاره کرد [۲۱]. بهینه سازی این فاکتور ها آن هم به صورت همزمان به طور قطع کارایی روش انعقاد و لخته سازی را بالاتر خواهد برد. روش سطح پاسخ در طراحی آزمایش ها روشی است که با به کارگیری تکنیک های آماری امکان یافتن رابطه ای بین پارامترهای تاثیرگذار بر روی فاکتور مورد نظر را فراهم می کند [۱۸-۲۲].

روش های قدیمی در بررسی و مطالعات بهینه سازی روش انعقاد-لخته سازی زمانبر بوده و باعث اتلاف سرمایه می گردد. روش طراحی آزمایش ها از حجم کار کاسته و باعث صرفه جویی در زمان و هزینه می گردد و مهم تر اینکه بهترین طرح را ارائه می کند. همچنین در طراحی آزمایش ها این قابلیت وجود دارد که در صورت گران قیمت بودن یک ماده یا دسترسی اندک به آن، آزمایش ها را طوری تقسیم بندی نمود که از آن ماده کمتر استفاده شود. هدف از این تحقیق بررسی اثر پارامتر

های غلظت منعقدکننده، غلظت لخته ساز و نیز pH بر روی راندمان حذف کدروت از یک نمونه پساب طی روش انعقاد-لخته سازی است.

## آزمایشات، مواد و روش کار

پساب مورد بررسی در این تحقیق نمونه ای از پساب یک کارخانه ی صنایع غذایی است. مقادیر هر کدام از مواد موجود در پساب در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): میزان مواد موجود در نمونه پساب

Variable	Value
pH	۷/۹
Conductivity (mS/cm)	۳/۰۱
Turbidity (NTU)	۳۲۵۰
CODtotal (mg O <sub>2</sub> /L)	۱۹۱۷۰
CODsoluble(mg O <sub>2</sub> /L)	۳۵۷۹
Fat (mg/L)	۶۳۸۱
TCsoluble (mg/L)	۱۴۹۳
TOCsoluble (mg/L)	۱۴۴۳
ICsoluble (mg/L)	۲۸
TSS (mg/L)	۷۸۶۵
VSS (mg/L)	۷۸۴۱
MSS (mg/L)	۹۸

همانگونه که مشاهده می شود مقادیر مواد آلی به علت وجود چربی، شکر و استیک اسید در فرآورده های تولیدی، تقریباً زیاد است. از آنجایی که محلول های آلکالینی برای شست و شوی خطوط تولید استفاده می شوند، pH پساب نزدیک به pH این محلول است. پلی کلرید آلومینیوم ۱۸ درصد (وزنی) با pH ۴ به عنوان ماده ی منعقدکننده و ماده ی Astipol A۴۰۱- با pH ۶ به عنوان ماده ی لخته کننده استفاده شده است.

آزمایش ها در مقیاس آزمایشگاهی از فرآیند انعقاد - لخته سازی شامل یه دستگاه جارتست انجام شد. این دستگاه قابل تنظیم بوده و به وسیله ی آن می توان حذف مواد معلق و آلی را بر اساس تابعی از پارامترهای مورد نظر بررسی کرد. آزمایش ها در سه pH مختلف ۵، ۷ و ۸ به ترتیب متناظر با pHهای اسیدی، خنثی و آلکالینی صورت گرفت. محدوده ی pH در این آزمایش ها با افزودن استیک اسید کنترل شد. به علت امکان بروز تغییرات بیولوژیکی در نمونه، افزایش یا کاهش بیش از حد pH پیشنهاد نمی شود. غلظت ماده ی منعقدکننده در سه سطح ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ mL/L و غلظت ماده ی لخته ساز در سه غلظت ۴، ۶ و ۸ mL/L مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از روش سطح پاسخ در طراحی آزمایش ها نیازمند کدبندی پارامترها می باشد. در جدول (۲) مقادیر هر کدام از پارامترهای کدبندی شده و مقدار متناظر با هر کد نمایش داده شده است.

جدول (۲): کد و مقادیر حقیقی متناظر با هر یک از پارامتر.

Wastewater pH	Code Value	-۱	۰	۱
	Real Value	۵	۷	۸
Coagulant dosage	Code Value	-۱	۰	۱
	Real Value	۰/۴	۰/۶	۰/۸

Flocculant dosage	Code Value	-۱	۰	۱
	Real Value	۴	۶	۸

طرح اولیه ی آزمایش ها در سه فاکتور و سه سطح برای هر فاکتور طراحی شده و آزمایش های متناظر با هر مورد انجام پذیرفت. طرح اولیه ی آزمایش ها و مقدار تجربی راندمان حذف بدست آمده در هر آزمایش، در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳): طرح اولیه آزمایش های طراحی شده توسط نرم افزار

Coagulant dosage Code	Flocculant dosage Code	pH Code	Turbidity Removal eff%
۱	-۱	۱	۱
۲	۱	۱	-۱
۳	۰	۰	۰
۴	۰	۰	۰
۵	۰	۰	-۱
۶	۱	-۱	-۱
۷	۱	-۱	۱
۸	۰	۰	۱
۹	-۱	۱	-۱
۱۰	۰	۰	۰
۱۱	۰	۰	۰
۱۲	۱	۰	۰
۱۳	۱	۱	۱
۱۴	۰	-۱	۰
۱۵	۰	۰	۰
۱۶	۰	۰	۰
۱۷	۰	۱	۰
۱۸	-۱	۰	۰
۱۹	-۱	-۱	۱
۲۰	-۱	-۱	-۱

نرم افزار مینیتب قابلیت تحلیل و طراحی آزمایش ها را داشته و می تواند رابطه ای میان پارامترها و تاثیرات خطی، توانی و تداخلی هر کدام را بر روی تابع هدف (درصد حذف) بیابد که رابطه ی (۱) از تحلیل نتایج آزمایشگاهی به دست آمده است.

$$Y = 87.3791$$

$$+ (-20.6000)P + (-14.4200)C + (0.0900)F$$

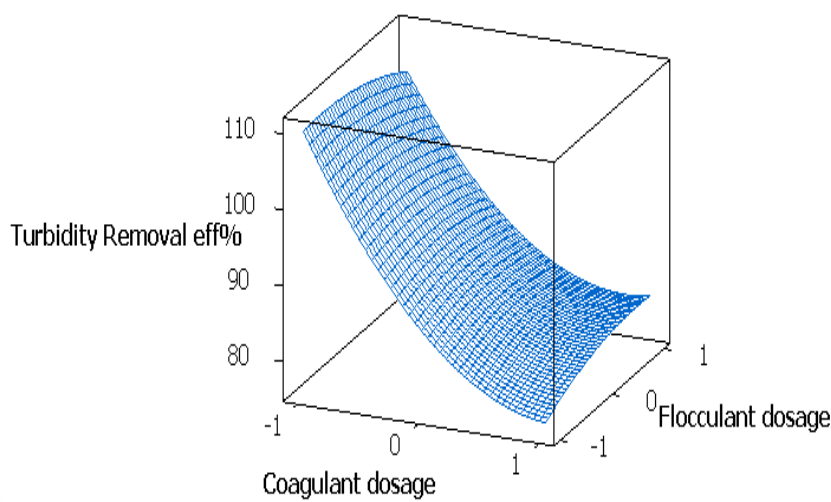
$$+ (-28.2227)PP + (7.5773)CC + (-1.5727)FF$$

$$+ (-18.1000)CP + (-4.7750)FP + (2.2000)FC$$

رابطه (۱)

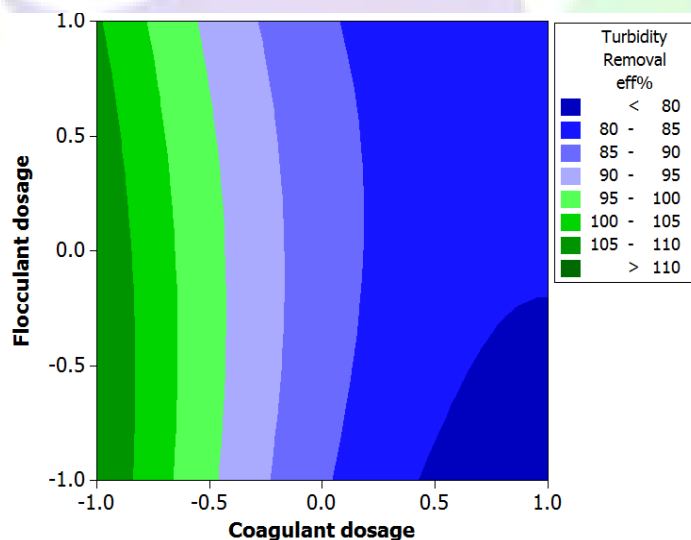
که در این رابطه  $Y$  درصد حذف کدورت (تابع هدف)،  $C$  غلظت منعقدکننده،  $F$  نماد غلظت لخته ساز و  $P$  نماد  $pH$  میباشد.  $F$ ،  $P$  و  $C$  فاکتورهای خطی،  $FF$ ،  $PP$  و  $CC$  فاکتورهای توانی و  $FP$ ،  $FC$  و  $CP$  فاکتورهای تداخلی موثر بر روی راندمان کاهش کدورت می‌باشند.

تاثیر پارامترهای توانی ناشی از تشدید عامل می باشد. برای مثال چنانچه در آزمایشی نیاز به صرف زمان زیادی باشد می توان زمان را به عنوان یکی از پارامترها در نظر گرفت تا با این روش در زمان های کوتاه بتوان تاثیر زمان های طولانی تری را بر روی تابع هدف بررسی کرد. پارامترهای تداخلی هنگامی پیش می آیند که فاکتورها همزمان با هم تغییر کنند. بررسی تغییرات توسط تحلیل گرافیکی این معادله میسر است. در اشکال گرافیکی زیر تاثیرات بر روی تابع هدف قابل آنالیز است.



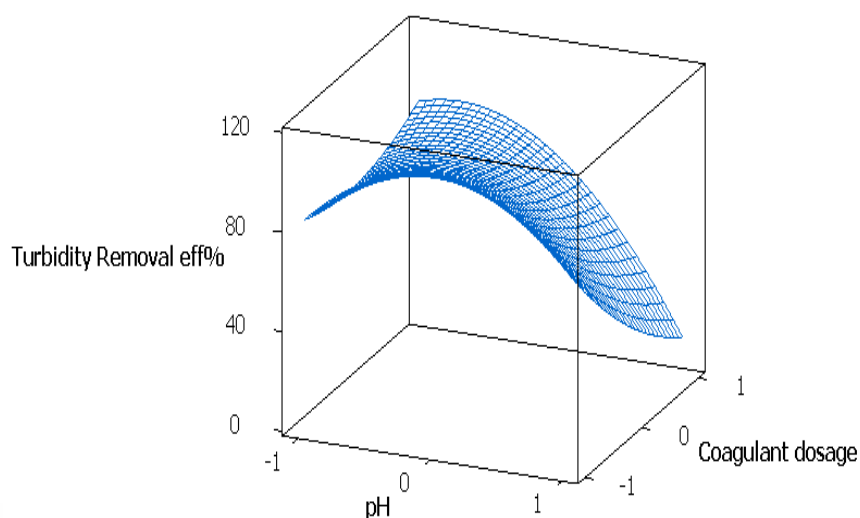
شکل (۱): نمودار سه بعدی تاثیر تغییر همزمان غلظت‌های منعقدکننده و لخته‌ساز بر روی راندمان حذف کدورت.

با توجه به این شکل، افزایش غلظت منعقدکننده میزان حذف را کاهش می‌دهد. این در حالی است که با افزایش غلظت لخته‌ساز میزان حذف کدورت تابعیت نامشخص دارد. تحلیل تاثیرات از نمودار دو-بعدی دقیق‌تر صورت خواهد گرفت.



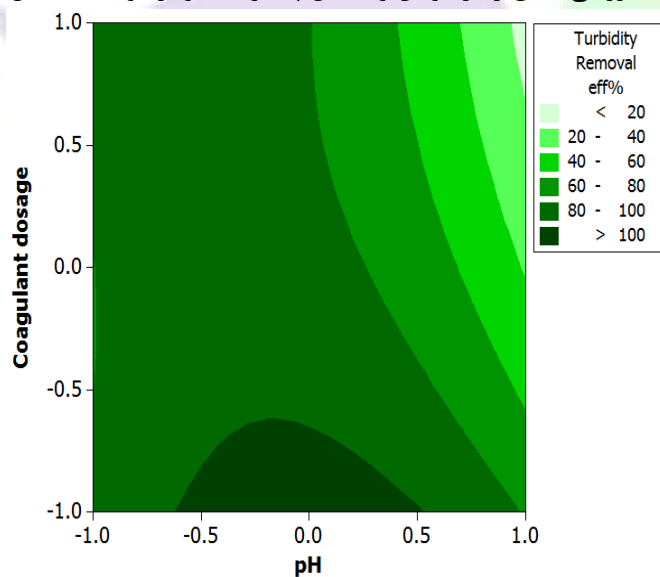
شکل (۲): تاثیر تغییر همزمان غلظت‌های منعقدکننده و لخته‌ساز بر میزان حذف کدورت.

بهترین حالت استاتیکی زمانی به دست می‌آید که غلظت منعقدکننده  $0.4 \text{ mL/L}$  و غلظت لخته‌ساز  $4 \text{ mL/L}$  باشد، در این صورت میزان حذف کدورت بالا خواهد رفت. البته زمانی که غلظت منعقدکننده  $0.4$  میلی لیتر بر لیتر و غلظت لخته‌ساز  $8$  میلی لیتر بر لیتر باشد، راندمان حذف مشابه خواهد بود، این در حالی است که حالت اخیر پایداری کمتری نسبت به حالت اول دارد زیرا محدودی رنگی با میزان حذف بالا در حالت دوم کمتر است و امکان انحراف ناخواسته‌ی سیستم بالا می‌رود. از آنجایی که متغیرهای خارجی قابل کنترل نبوده و امکان بروز خطا وجود دارد، باید از حالت مطمئن نخست استفاده کرد. تصمیم‌گیری در مورد طرح نهایی و آرایش بهترین طرح نیازمند بررسی همه‌ی پارامترها به صورت گرافیکی می‌باشد. در ادامه سایر پارامترها مورد بررسی قرار می‌گیرند.



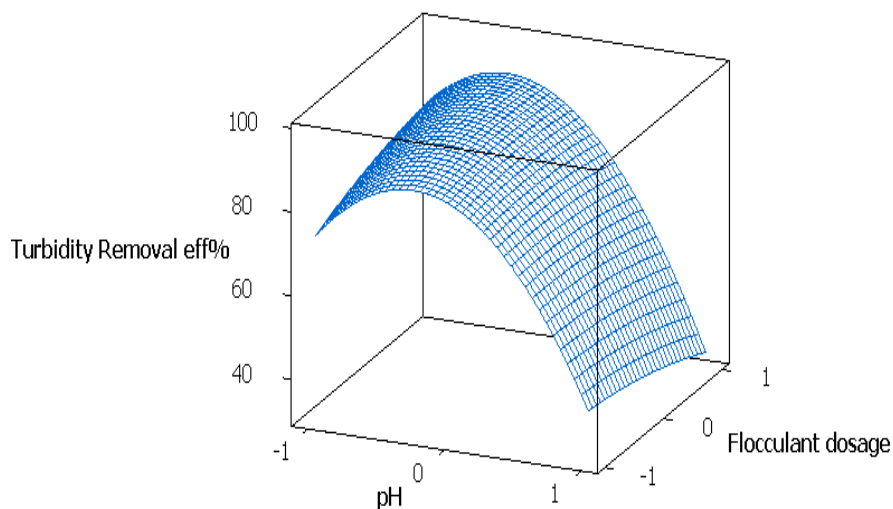
شکل (۳): نمودار سه بعدی تاثیر تغییر همزمان pH و غلظت منعقدکننده بر روی میزان حذف کدورت.

با توجه به شکل (۳)، اثر pH پساب دارای یک ماکزیمم است. پیچیدگی شکل گویای این نکته است که تاثیرات تداخلی این دو عامل پیچیده و زیاد است. جهت بررسی دقیق‌تر اثر عوامل و تحلیل پایداری، نمودار دو بعدی شکل (۳) در زیر رسم شده است.



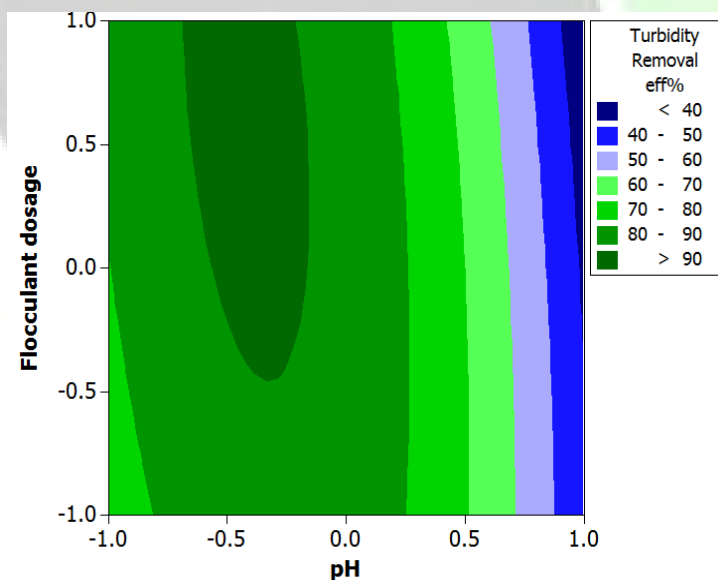
شکل (۴): تاثیر pH و منعقدکننده در شرایط مختلف بر روی میزان حذف کدورت.

مطابق شکل (۴)، تنها زمانی که میزان pH برابر ۷ و غلظت منعقدکننده ۰/۴ میلی لیتر بر لیتر باشد، میزان حذف کدورت مقدار بالایی دارد. کم بودن غلظت منعقدکننده در این حالت تأییدی بر نتایج به دست آمده از شکل (۲) می باشد. افزایش غلظت این ماده راندمان را کاهش خواهد داد و این کاهش در pH های بالاتر محسوس تر خواهد بود. بدین ترتیب حداقل امکان باید در غلظت های پایین منعقدکننده عمل کرد تا کدورت کاهش یابد.



شکل (۵): نمودار سه بعدی تأثیر تغییر همزمان غلظت لخته کننده و منعقد کننده بر روی میزان حذف کدورت.

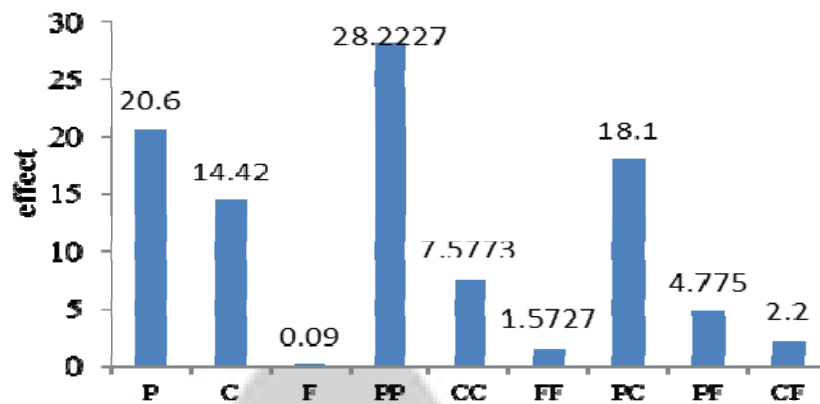
شکل (۵) تأثیر تغییر همزمان غلظت لخته ساز و منعقدکننده را نشان می دهد. مشابه شکل (۳) این نمودار نیز دارای یک ماکزیمم می باشد.



شکل (۶): تأثیر pH و لخته کننده در شرایط مختلف بر روی میزان حذف کدورت.

با توجه به حالت های استاتیکی آزمایش شده نمی توان حالتی را یافت که در محدوده ی بیشترین عملکرد حذف کدورت قرار گیرد و این امر موجب پیچیدگی سیستم می گردد. در چنین مواقعی باید موثر ترین حالت انتخاب شود. عملکرد سیستم در حالتی که pH خنثی باشد، تقریباً مستقل از غلظت لخته ساز خواهد بود. بنابراین با توجه به تحلیل های قبلی، باید از غلظت های

اندک لخته‌ساز استفاده کرد. به منظور درک بیش‌تر تاثیرات خطی، توانی و تداخلی عوامل، در شکل (۷) تاثیر قدرمطلق هر یک از عوامل بر روی میزان حذف کدورت قابل مشاهده است.



شکل (۷): قدر مطلق تاثیر عوامل خطی، توانی و تداخلی بر میزان حذف کدورت از نمونه پساب.

در شکل فوق، ضریب خطی مربوط به غلظت لخته‌ساز بسیار کوچک است در حالی که ضریب توانی آن بیشتر شده است. این نکته بیانگر این است که با تشدید غلظت این ماده تاثیر آن بر روی میزان حذف کدورت بیشتر می‌شود. با توجه به رابطه‌ی (۱)، از آنجایی که ضریب FF در معادله منفی است، یک اثر منفی به‌شمار می‌رود. این در حالی است که تاثیر F، یک تاثیر با ضریب مثبت است. بنابراین در تایید آنالیزهای قبلی می‌توان گفت که باید از غلظت‌های پایین لخته‌ساز استفاده شود و از تشدید غلظت آن خودداری گردد.

## نتیجه گیری

با توجه به تحلیل‌های انجام شده، به‌کارگیری میزان کمتری از لخته‌ساز Actipol راندمان حذف بیشتری را در پی خواهد داشت. pH پساب بهتر است در حالت خنثی یعنی مقدار ۷ قرار گیرد. غلظت منعقدکننده نیز در کمترین سطح یعنی mL/L ۰/۴ منجر به کارایی بهتری می‌گردد و حالت بهینه براساس آنالیز و تحلیل نتایج حاصل از نرم افزار به شرح زیر خواهد بود.

جدول (۴): حالت بهینه عملکرد سیستم انعقاد- لخته‌سازی برای حذف کدورت

Flacculant dosage	Coagulant dosage	pH	TOC Removal eff%
۴	۰/۴	۷	About 100

## مراجع

[<sup>۱</sup>] Zonoozi, M. H., Moghaddam, M. R. A., and Arami, M., 2008, "Removal of Acid Red 398 dye from aqueous solutions by coagulation/flocculation process," *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(6), pp. 695-699.

[<sup>۲</sup>] Klimiuk, E., Filipkowska, U., and Korzeniowska, A., 1999, "Effects of pH and coagulant dosage on effectiveness of coagulation of reactive dyes from model wastewater by polyaluminium chloride (PAC)," *Polish Journal of Environmental Studies*, 8, pp. 73-80.



- [٢٠]Okuda, S. I., Ito, K., Ozawa, H., and Izaki, K., 1991, "Treatment of lipid-containing wastewater using bacteria which assimilate lipids," *Journal of fermentation and bioengineering*, 71(6), pp. 424-429.
- [٢١]Yang, C. L., 2007, "Electrochemical coagulation for oily water demulsification," *Separation and purification technology*, 54(3), pp. 388-395.
- " [٢٢]New Report by Global Industry Analysts, Inc.," <http://www.prweb.com/releases/tomato/ketchup/prweb4259584.htm>.
- [٢٣]Zeng, Y., Yang, C., Zhang, J., and Pu, W., 2007, "Feasibility investigation of oily wastewater treatment by combination of zinc and PAM in coagulation/flocculation," *Journal of Hazardous materials*, 147(3), pp. 991-996.
- [٢٤]Mongkolthanaruk, W., and Dharmsthiti, S., 2002, "Biodegradation of lipid-rich wastewater by a mixed bacterial consortium," *International biodeterioration & biodegradation*, 50(2), pp. 101-105.
- [٢٥]Cañizares, P., Martínez, F., Jiménez, C., Sáez, C., and Rodrigo, M. A., 2008, "Coagulation and electrocoagulation of oil-in-water emulsions," *Journal of Hazardous materials*, 151(1), pp. 44-51.
- [٢٦]Fakhru'l-Razi, A., Pendashteh, A., Abdullah, L. C., Biak, D. R. A., Madaeni, S. S., and Abidin, Z. Z., 2009, "Review of technologies for oil and gas produced water treatment," *Journal of Hazardous materials*, 170(2), pp. ٥٥١-٥٢٠ .
- [٢٧]Boisvert, J. P., To, T. C., Berrak, A., and Jolicoeur, C., 1997, "Phosphate adsorption in flocculation processes of aluminium sulphate and poly-aluminium-silicate-sulphate," *Water research*, 31(8), pp. 1939-1946.
- [٢٨]Bhatia, S., Othman, Z., and Ahmad, A. L., 2007, "Coagulation–flocculation process for POME treatment using *Moringa oleifera* seeds extract: Optimization studies," *Chemical Engineering Journal*, 133(1), pp. 205-212.
- [٢٩]Eldemerdash, U., 2012, "Evaluation of Lime as an Aid for Coagulation–Flocculation Treatment of Textile Wastewater Effluent," *International Ceramic Review*, 61(1), pp. 12-15.
- [٣٠]Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., and Okada, M., 1999, "Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed," *Water research*, 33(15), pp. 3373-3378.
- [٣١]Harif, T., Khai, M., and Adin, A., 2012, "Electrocoagulation versus chemical coagulation: Coagulation/flocculation mechanisms and resulting floc characteristics," *Water research*.
- [٣٢]Zhao, Y., Wang, Y., Gao, B., Shon, H., Kim, J. H., and Yue, Q., 2012, "Coagulation performance evaluation of sodium alginate used as coagulant aid with aluminum sulfate, iron chloride and titanium tetrachloride," *Desalination*.
- [٣٣]Carvalho, G., Delée, W., Novais, J., and Pinheiro, H., 2002, "A factorially - designed study of physicochemical reactive dye colour removal from simulated cotton textile processing wastewaters," *Coloration technology*, 118(5), pp. 215-219.
- [٣٤]Franceschi, M., Girou, A., Carro-Diaz, A., Maurette, M., and Puech-Costes, E., 2002, "Optimisation of the coagulation–flocculation process of raw water by optimal design method," *Water research*, 36(14), pp. 3561-3572.
- [٣٥]Omar, F. M., Rahman, N. N. A., and Ahmad, A., 2008, "COD reduction in semiconductor wastewater by natural and commercialized coagulants using response surface methodology," *Water, Air, & Soil Pollution*, 195(1), pp. 345-352.
- [٣٦]Anouzla, A., Abrouki, Y., Souabi, S., Safi, M., and Rhabal, H., 2009, "Colour and COD removal of disperse dye solution by a novel coagulant: Application of statistical design for the optimization and regression analysis," *Journal of Hazardous materials*, 166(2), pp. 1302-1306.
- [٣٧]Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., and Gómez-Muñoz, M., 2010, "New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies," *Chemical Engineering Journal*, 162(3), pp. 1019-1025.
- [٣٨]Wang, J. P., Chen, Y. Z., Ge, X. W., and Yu, H. Q., 2007, "Optimization of coagulation–flocculation process for a paper-recycling wastewater treatment using response surface methodology," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 302(1), pp. 204-210.
- [٣٩]Tanyildizi, M. S., Özer, D., and Elibol, M., 2005, "Optimization of  $\alpha$ -amylase production by *Bacillus* sp. using response surface methodology," *Process Biochemistry*, 40(7), pp. 2291-2296.