Archive of SID

پژوهش و فناوری محیط زیست، دوره اول، شماره یک، پاییز و زمستان ۹۵، صفحه‌ی ۴۷-۵۷

# تعیین منعقد کننده بهینه جهت تصفیه شیمیایی فاضلاب الیاف‌دار خروجی کارخانجات چوب و کاغذ

**هانیه میربلوکی** [۱*]
h.mirbolooki@gmail.com
**شمیم مقدمی** [۱]
**فریبا استوار** [۱]

**چکیده**
صنایع کاغذسازی به‌علت مصرف بالای آب طی فرآیند تولید و وجود الیاف و آلودگی‌های سلولزی جز صنایع بزرگ تولید کننده پساب محسوب می‌شود. به‌علت وجود ناخالصی‌های معلق و کلوئیدی و همچنین رنگ و بوی زیاد در این نوع فاضلاب‌ها، فرآیند تصفیه‌ی آن را با پیچیدگی همراه کرده است که بر این اساس، استفاده از منعقد کننده‌های شیمیایی به روش تست جار جهت حذف آلودگی‌های موجود گزینه‌ی مناسبی می‌تواند باشد؛ در این تحقیق غلظت‌های مختلف از ۳ منعقد کننده‌ی آلوم، PAC و $FeCl_3$ برای کاهش بار آلودگی فاضلاب خروجی از ۳ واحد عمده تولید کننده فاضلاب الیاف دار در کارخانه‌ی چوب و کاغذ چوکا مورد بررسی قرار گرفتند که با توجه به نتایج به‌دست آمده، منعقد کننده $FeCl_3$، به‌عنوان بهترین منعقد کننده‌ی شیمیایی به‌ترتیب با درصدهای حذف COD ۶۱٪، ۷۴/۰۵٪ و ۵۸٪ از فاضلاب ۳ واحد نامبرده شناخته شده است. بنابراین روش تصفیه شیمیایی با استفاده از منعقد کننده‌ی مناسب با غلظت بهینه در کاهش بار آلودگی فاضلاب نقش موثری خواهد داشت.

**واژگان کلیدی:** صنایع کاغذسازی، تصفیه شیمیایی، منعقد کننده، COD

## Determining the Optimum Coagulant for Chemical Treatment of Fiber Wastewater from Pulp and Paper Mills

**Hanieh Mirbolooki[1]*, Shamim Moghadami[1], Fariba Ostovar[1]**

1- Research Expert of Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Rasht, Iran

**Abstract**
Pulp and paper mills consider as a major wastewater producer industries in order to cellulosic pollution and also consuming high amount of water during the process.The wastewater treatment process is complicated because these kinds of effluents contain suspended & colloidal impurities and color & odor; so using chemical coagulants via the Jar test can be an appropriate alternative to remove the contaminants. In this research, different concentrations of Alum, PAC and $FeCl_3$ coagulants were tested to reduce the contamination load of the effluent from three important major parts of fiber wastewater producers; that, according to the results $FeCl_3$ was reported as the best chemical coagulants which removed 61%, 74/05 % and 58% of the COD from the three mentioned parts effluent. Therefore, chemical treatment by using of an appropriate coagulant with the optimum concentration can perform an important role in reducing the effluent contamination load.

**Keyword**: Coagulant, Chemical Treatment, COD, Pulp and Paper Mills

۱- کارشناس پژوهشی، پژوهشکده محیط زیست جهاددانشگاهی ، رشت



www.SID.ir

Archive of SID



## ۱- مقدمه

تنوع در مراحل تولید کاغذ و استفاده زیاد از آب طی فرآیند باعث شده که صنایع تولید کاغذ در کنار صنایع خودروسازی، نفت و پتروشیمی و صنایع فولادسازی به‌عنوان بزرگترین صنایع مصرف کننده آب و طبعاً تولیدکننده پساب در بین صنایع موجود در جهان باشد. این پساب‌ها در کنار حجم زیاد آنها، دارای غلظت بالایی از BOD (اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی)، COD (اکسیژن خواهی شیمیایی)، PH، مواد معلق، رنگ و کدورت می‌باشند [۱]. ترکیبات کلردار و مواد رنگ زا به عنوان نگرانی‌های اصلی در تصفیه این پساب‌ها است. همچنین تاثیر سوء تخلیه این پساب‌ها بر زیبایی و مسائل زیست محیطی را هم باید در نظر داشت. مجموع این عوامل باعث شده تا پساب صنایع کاغذسازی یکی از مشکل‌ترین تصفیه‌های صنعتی را داشته باشد که با پیچیدگی در فرایندهای مربوطه همراه است [۲]. مواد آلی طبیعی مهم‌ترین بخش مواد آلی موجود در پساب هستند که براثر واکنش با کلر در طی فرایندهای تولید، تری هالومتان و دیگر ترکیبات آلکیل هالید تولید می‌کنند که سمیت زیادی داشته و برای محیط زیست خطرناک هستند. حذف این بخش از پساب‌های صنعتی، علاوه بر کنترل ترکیبات آلاینده و رنگ‌زای موجود در پساب‌ها و نیز کنترل مسائل خوردگی ناشی از این مواد، در کاهش بار آلودگی نیز بسیار مؤثر است [۳].

بررسی سوابق تحقیق نشان می‌دهد روش های متعددی تاکنون برای تصفیه پساب کارخانه‌های خمیر و کاغذ مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به روش‌های تصفیه فیزیکو-شیمیایی (شامل ته‌نشینی/شناورسازی، انعقاد/ ته‌نشینی، جذب سطحی، اکسیداسیون شیمیایی، فیلتراسیون غشایی و ازناسیون)؛ تصفیه بیولوژیکی (شامل لجن فعال، لاگون های هوادهی، راکتور بیولوژیک هوازی (SBR) و روش تصفیه بی‌هوازی (UASB)، تصفیه قارچی و فرآیندهای تصفیه ترکیبی [۵،۴] اشاره کرد که حجم زیاد پساب خروجی از کارخانه‌های کاغذسازی و نیز وجود بعضی از ترکیبات ویژه در آن‌ها، کاربرد بعضی از این روش‌ها را در تصفیه و رنگ‌زدایی این نوع پساب‌ها در مقیاس بزرگ با مشکل مواجه می‌کند [۶].

انعقاد و لخته‌سازی فرآیندهایی هستند که طی آن بار ذرات کلوئیدی موجود در فاضلاب خنثی شده و با نزدیک شدن به هم ذرات درشت دانه و سنگین‌تری ایجاد می‌کنند و به کمک نیروی وزن خود ته‌نشین می‌شوند که حذف آن‌ها در نهایت بصورت فیزیکی (ته نشینی، فیلتراسیون یا هردو) انجام می‌گیرد. به علت وجود ناخالصی‌های معلق و کلوئیدی در فاضلاب حاصل از کاغذسازی و همچنین رنگ و بوی زیاد آن، استفاده از روش انعقاد و لخته‌سازی برای حذف آلودگی‌های موجود گزینه‌ی مناسبی می‌باشد؛ در این تحقیق پس از بررسی نوع و میزان مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده مختلف با استفاده از تست جار، تعیین منعقد کننده بهینه که منجربه بالاترین میزان حذف COD در شرایط میزان بهینه مصرف ماده منعقد کننده می‌شود، مورد نظر است [۷].

## ۲- روش تحقیق

در فرایند تصفیه شیمیایی به روش انعقاد، تغییراتی در مرحله اختلاط ایجاد می‌شود تا لخته‌های تشکیل شده راحت‌تر در مرحله ته‌نشینی و صاف‌سازی (فیلتراسیون) قابل جدا شدن باشند، بدین منظور مطالعات پایلوتی با استفاده از تست جار برای تعیین شرایط بهینه اختلاط، با اضافه کردن مواد شیمیایی، باید انجام گیرد.

جارتست یک عملیات آزمایشگاهی به منظور تعیین اپتیمم مقدار ماده منعقد کننده و pH در آب می‌باشد. آزمایش جار برای نشان دادن طبیعت و انعطاف‌پذیری تصفیه شیمیایی طراحی شده و هدف آزمایش بازدهی واحدهای تصفیه‌خانه است. بسیاری از مواد شیمیایی مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب در مقیاس آزمایشگاهی با آزمایش جار قابل اندازه‌گیری است. منعقد کننده‌ها و کمک منعقد کننده‌ها از جمله مهمترین این مواد شیمیایی می‌باشند [۸-۱۰].

نمونه فاضلاب جهت بررسی‌های آزمایشگاهی از کارخانه‌ی چوب و کاغذ چوکا واقع در استان گیلان برداشت شد.

آزمایش‌ها در یک سری ظرف مشابه که به‌صورت قابل کنترل به هم زده می‌شوند اجرا شد. همچنین ارتباط بین عملیات آزمایشگاهی و پایلوتی به‌طور منظم کنترل شده و به‌منظور تعیین مقدار بهینه تزریق و pH چندین سری آزمایش اجرا گردید؛ به این صورت که برای یک دز مشخص منعقد کننده، pH تغییر داده شد و برعکس.

## ۳- مواد و دستگاه‌های آزمایشگاهی

مواد منعقد کننده شامل سولفات آلومینیم ( $AL_2(SO_4)_3, n H_2O$ ) با نام تجاری آلوم یا زاج سفید، پلی آلومینیم کلراید (PAC) و کلرور فریک ($FeCl_3$)؛ مواد کمک منعقد کننده شامل پلی الکترولیت و کربنات کلسیم که همگی از شرکت مرک آلمان خریداری شدند؛ دستگاه جارتست مدل ۹۰ JTR از شرکت زاگ شیمی ساخت ایران، راکتور COD مدل Aqualitic ساخت آلمان، COD متر، دستگاه هدایت الکتریکی و pH متر پرتابل مدل Aqualitic AL15.

مهمترین منابع تولید فاضلاب الیاف دار در کارخانه چوب و کاغذ چوکا که حدود ۷۰ درصد از کل فاضلاب کارخانه را تشکیل می‌دهد، مربوط به واحد OCC (واحدی که در آن با استفاده از کاغذها و کارتن‌های بازیافتی، کارتن‌های جدید تولید



www.SID.ir

Archive of SID



می‌شود)، واحد کلودی (Cloudy) (که در این واحد در نهایت از خمیر چوب، کاغذ تولید می‌شود) و خروجی کلاریفایر (جائی‌که نمونه‌های فاضلاب واحدها با هم مخلوط می‌شوند) می‌باشد.

پس از نمونه‌برداری از واحدهای مذکور، نمونه های فاضلاب به روش شیمیایی تصفیه شدند؛ سپس پارامترهای COD، pH و EC نمونه‌های خام و تصفیه شده سنجش گردید. جهت بررسی میزان بهینه از منعقد کننده مصرفی با توجه به میزان COD فاضلاب تصفیه شده و همچنین مقایسه نتایج تصفیه جهت تعیین بهترین ماده منعقدکننده مورد استفاده، نمودارهای اکسل ارائه شده است.

همانطور که اشاره گردید ۳ نوع ماده منعقد کننده ای که در جارتست استفاده شد شامل آلوم (Alum (آلومینیوم سولفات))، PAC (پلی آلومینیوم کلراید) و $FeCl_3$ (آهن (III) کلرید) می باشند. آزمایش COD به روش رفلاکس بسته (closeReflux) و کلیه تست‌های نام برده براساس کتاب استاندارد متد ۲۰۰۵ انجام شد.

## ۴- یافته ها

### ۴-۱- آنالیز فاضلاب الیاف دار واحد OCC

براساس نتایج آنالیز فاضلاب الیاف‌دار مربوط به واحد OCC، مشخصات فاضلاب خام این واحد در جدول (۱) آورده شده است.

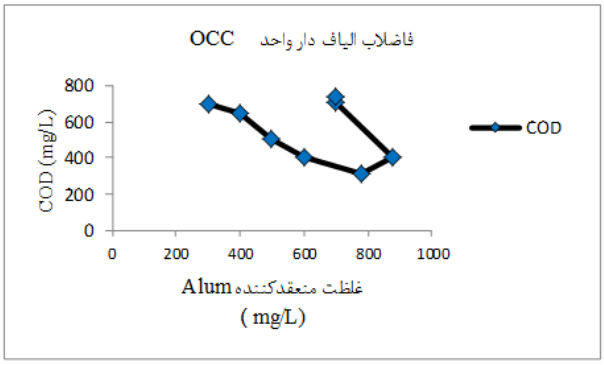
**جدول ۱: مشخصات فاضلاب الیاف دار خام واحد OCC**

| COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|
| ۷۹۲ | ۶/۵۹ | ۰/۷۲ |

در جداول (۲)، (۳) و (۴)، غلظت‌های مختلف ۳۰۰ mg/L تا ۱۲۰۰ mg/L از منعقد کننده‌های Alum، PAC و $FeCl_3$ جهت تصفیه شیمیایی نمونه ها به روش جارتست مورد استفاده قرار گرفتند.

**جدول ۲: نتایج تصفیه فاضلاب الیاف دار واحد OCC ، توسط منعقد کننده آلوم (Alum)**

| غلظت منعقد کننده Alum (mg/L) | غلظت کمک منعقد کننده (mg/L) | | COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|---|---|---|
| | آهک | پلی الکترولیت | | | |
| ۳۰۰ | - | ۱ | ۶۹۹/۹۳ | ۶/۵۱ | ۰/۸۰۸ |
| ۴۰۰ | - | ۱ | ۶۴۵/۷۹ | ۶/۳۸ | ۰/۸۱۲ |
| ۵۰۰ | - | ۱ | ۵۰۸/۶۳ | ۶/۲۳ | ۰/۸۱۶ |
| ۶۰۰ | - | ۱ | ۴۰۰/۴۸ | ۶/۲۸ | ۰/۸۲۴ |
| ۷۸۰ | - | ۱ | ۳۱۶/۳۹ | ۶/۲۰ | ۱/۳۰ |
| ۸۸۰ | - | ۱ | ۴۰۰/۲۳ | ۶/۱۳ | ۱/۴۸ |
| ۷۰۰ | ۲۰۰ | ۲ | ۷۰۷/۲۱ | ۷/۴۰ | ۲/۲۴ |
| ۷۰۰ | ۳۰۰ | ۲ | ۷۴۳/۳۶ | ۱۱/۶۰ | ۲/۸۰ |




**شکل ۱: نمودار میزان بهینه منعقد کننده Alum مورد استفاده بر اساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده**

در آزمایشات مربوط به منعقد کننده Alum (جدول (۲) و شکل (۱)) غلظت 780 mg/L به‌عنوان غلظت بهینه شناخته شد زیرا در این غلظت میزان COD فاضلاب از ۷۹۲ mg/L به ۳۱۶/۳۹ mg/L کاهش یافت و حذف ۶۱ درصدی COD بدست آمد.

سپس مقادیر ۲۰۰mg/L و ۳۰۰mg/L از آهک همراه با غلظت بهینه Alum، به‌عنوان کمک منعقد کننده مورد استفاده قرار



www.SID.ir

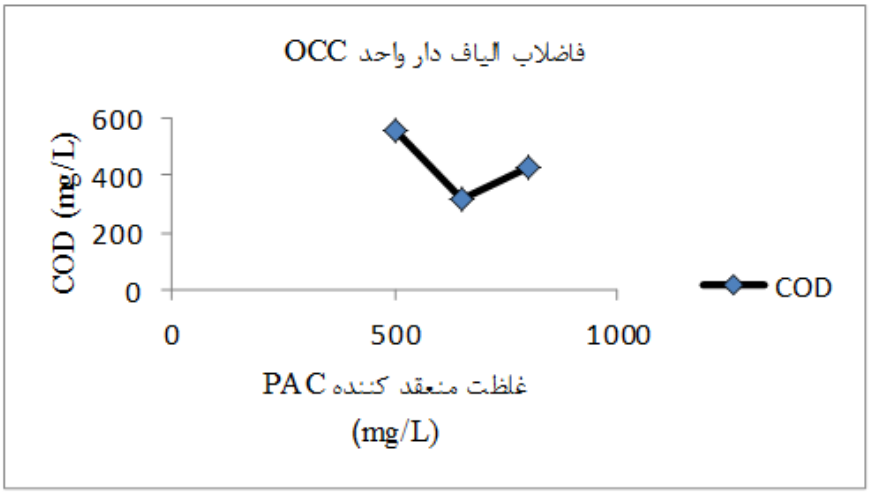
Archive of SID



گرفت که نتیجه آن افزایش چشمگیر میزان COD، pH و EC در مقایسه با نتیجه تصفیه ی همین غلظت از منعقد کننده بدون حضور آهک بود.

**جدول ۳ : نتایج تصفیه فاضلاب الیاف دار واحد OCC توسط منعقد کننده PAC**

| غلظت منعقد کننده PAC (mg/L) | غلظت کمک منعقد کننده (mg/L) | | COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|---|---|---|
| | آهک | پلی الکترولیت | | | |
| ۵۰۰ | - | ۱ | ۵۵۳/۸۶ | ۶/۵۹ | ۰/۸۸۶ |
| ۶۵۰ | - | ۱ | ۳۲۰/۲۵ | ۶/۵۸ | ۰/۹۸۵ |
| ۸۰۰ | - | ۱ | ۴۳۰/۵۳ | ۶/۵۸ | ۱/۰۱ |
| ۹۰۰ | - | ۱ | ۴۸۰/۲۳ | ۶/۵۵ | ۱/۲۳ |
| ۱۰۰۰ | - | ۱ | ۵۳۰/۴۸ | ۶/۶۴ | ۱/۲۸ |




**شکل ۲: نمودار میزان بهینه منعقد کننده PAC مورد استفاده براساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده**

در جدول (۳) و شکل (۲)، راندمان بهینه تصفیه با توجه به میزان منعقد کننده و کاهش COD، در غلظت ۶۵۰ mg/L از PAC و میزان COD ۳۲۰/۲۵ mg/L با ۵۹/۵۷ درصد حذف COD محسوب می شود .

**جدول ۴ : نتایج تصفیه فاضلاب الیاف دار واحد OCC با لجن، توسط منعقد کننده $FeCl_3$**

| غلظت منعقد کننده $FeCl_3$(mg/L) | غلظت کمک منعقد کننده (mg/L) | | COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|---|---|---|
| | آهک | پلی الکترولیت | | | |
| 700 | - | ۱ | 698/۲۷ | ۶/۵۷ | ۰/۹۶۶ |
| 800 | - | ۱ | ۶۱۶/۴۲ | ۶/۵۳ | ۱/۰۴ |
| 900 | - | ۱ | ۵۶۹/۲۶ | ۶/۴۹ | ۱/۱۶۳ |
| 1000 | - | ۱ | ۴۷۸/۷۵ | ۶/۴۲ | ۱/۱۸۸ |
| 1100 | - | ۱ | ۳۰۴/۱۱ | ۶/۳۰ | ۱/۱۹۵ |
| 1200 | - | ۱ | ۲۹۸/۰۳ | ۶/۲۹ | ۱/۱۹۸ |

غلظت بهینه مورد استفاده از منعقد کننده $FeCl_3$ با توجه به میزان کاهش COD، 1100 mg/L در نظر گرفته شده است که براساس جدول (۴) و شکل (۳) حذف 61 درصدی COD را نشان می‌دهد.

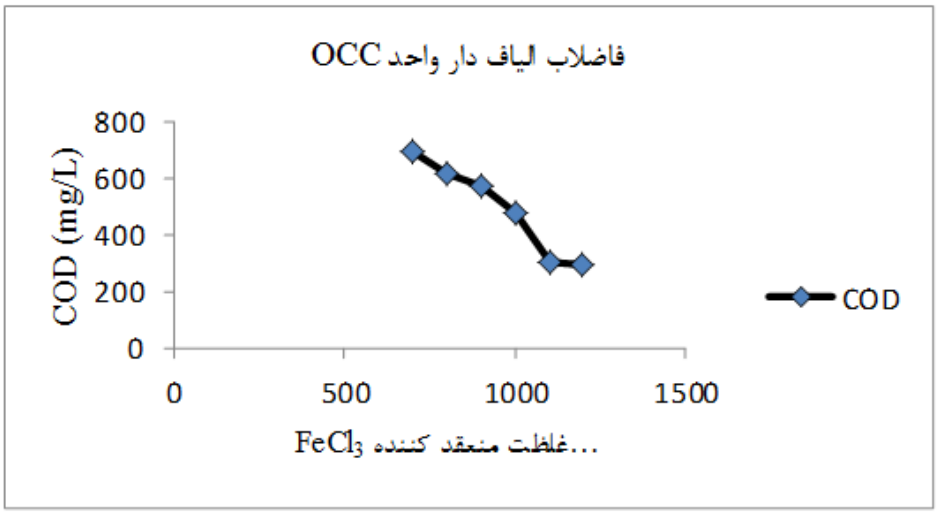
در زمانی که غلظت ۱۲۰۰ mg/L از $FeCl_3$ جهت تصفیه فاضلاب استفاده شد کاهش میزان COD نسبت به غلظت ۱۱۰۰ mg/L فقط اندکی مشهود بود که با توجه به نسبت افزایش ۱۰۰ mg/L از $FeCl_3$ وافزایش بار شیمیایی، این دوز از منعقد کننده، بهینه در نظر گرفته نشده است.



www.SID.ir

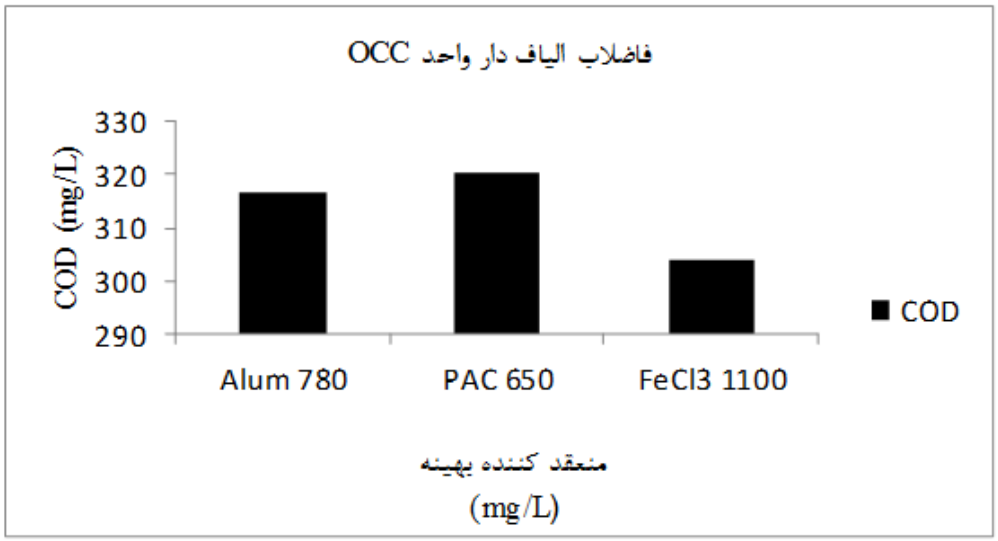
Archive of SID






شکل ۳: نمودار میزان بهینه منعقد کننده مورد استفاده براساس میزان **COD** فاضلاب تصفیه شده

### ۴-۲- مقایسه نتایج تصفیه بر اساس نوع ماده منعقد کننده مورد استفاده




شکل ۴: نمودار مقایسه‌ای منعقد کننده ها براساس میزان **COD** فاضلاب تصفیه شده

همانطور که ذکر گردید از ۳ منعقد کننده Alum، PAC و $FeCl_3$ جهت تصفیه فاضلاب واحد OCC استفاده شد که براساس میزان کاهش COD در غلظت های بهینه، از ۳ منعقد کننده مقایسه ای در شکل (۴) صورت گرفت که بهترین منعقد کننده، $FeCl_3$ با غلظت ۱۱۰۰ mg/L جهت تصفیه فاضلاب الیاف‌دار واحد OCC می‌باشد که میزان COD فاضلاب را از ۷۹۲ mg/L در فاضلاب خام به ۳۰۴/۱۱ mg/L در فاضلاب تصفیه شده کاهش داد.

EC یا هدایت الکتریکی در فاضلاب خام تمام نمونه‌های مورد آزمایش پایین‌تر از میزان EC در نمونه‌های تصفیه شده است که علت آن افزایش یون‌های آنیونی و کاتیونی فاضلاب پس از اعمال تصفیه شیمیایی یعنی افزودن منعقد کننده و کمک منعقد کننده‌ها است که افزایش بار الکتریکی و در نتیجه افزایش میزان EC نمونه‌های تصفیه شده را بدنبال دارد.

دامنه استاندارد pH فاضلاب های تصفیه شده ۶/۵ تا ۸/۵ است که pH تمام نمونه های تصفیه شده در این بخش مورد تائید می‌باشد بجز یکی از نمونه هایی که با منعقد کننده Alum تصفیه شد و به‌علت استفاده از ۳۰۰ mg/L آهک در روند تصفیه، pH نمونه به ۱۱/۶ رسید که البته این مورد جزء تصفیه تائید شده نهائی نبوده است.

### ۴-۳- آنالیز فاضلاب الیاف دار واحد کلودی (Cloudy)

جهت تصفیه فاضلاب این واحد نیز از ۳ منعقد کننده Alum، PAC و $FeCl_3$ استفاده شد که نتایج آنالیز در جداول (۶)، (۷) و (۸) آورده شده است.



www.SID.ir

Archive of SID

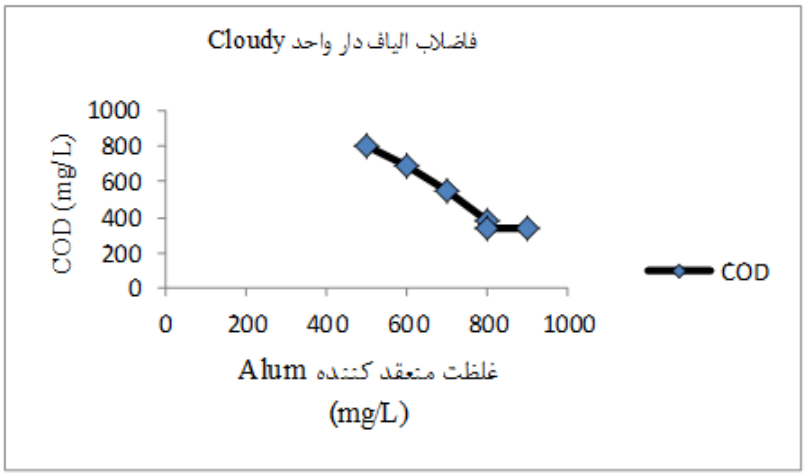


جدول ۵: مشخصات فاضلاب الیاف دار خام واحد کلودی

| EC (mS) | pH | COD (mg/L) |
|---|---|---|
| ۲/۳۸ | ۶/۷ | ۱۲۶۹/۰۴ |

جدول ۶: نتایج تصفیه فاضلاب الیاف دار واحد کلودی توسط منعقد کننده آلوم (Alum)

| غلظت منعقد کننده Alum(mg/L) | غلظت کمک منعقد کننده (mg/L) | | COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|---|---|---|
| | آهک | پلی الکترولیت | | | |
| ۵۰۰ | - | ۲ | ۸۰۲/۸۲ | ۶/۶ | ۲/۶۵ |
| ۶۰۰ | - | ۲ | ۶۹۲/۵۷ | ۶/۴۶ | ۲/۷۲ |
| ۷۰۰ | - | ۲ | ۵۵۲/۸۶ | ۶/۴۳ | ۲/۹۲ |
| ۸۰۰ | - | ۱ | ۳۷۶/۹۶ | ۶/۱۸ | ۳/۲۵ |
| ۸۰۰ | - | ۲ | ۳۳۸/۷۰ | ۶/۱۰ | ۳/۲۷ |
| ۹۰۰ | - | ۲ | ۳۳۳/۴۸ | ۶/۰۶ | ۳/۳۴ |




شکل ۵: نمودار میزان بهینه منعقد کننده Alum مورد استفاده براساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده

براساس جدول (۶) و شکل (۵)، با افزایش غلظت منعقد کننده از ۵۰۰ mg/L تا ۸۰۰ mg/L، میزان COD بصورت منظم کاهش یافت؛ غلظت ۸۰۰mg/L از منعقد کننده Alum یک بار با کمک منعقد کننده پلی الکترولیت ۱ mg/L و بار دیگر با پلی الکترولیت ۲ mg/L جهت تصفیه بررسی گردید که در مورد اول میزان COD به ۳۷۶/۹۶ mg/L و در مورد دوم به mg/L ۳۳۸/۷۰ رسید؛ اما چون نمونه دوم دارای شفافیت بیشتری بود به‌عنوان راندمان بهینه تصفیه با حذف حدود ۳۷ درصد از COD در نظر گرفته شد. غلظت ۹۰۰mg/L از منعقد کننده Alum نیز میزان COD را از ۱۲۶۹/۰۴ به 333/48 (پایین تر از میزان بهینه ) کاهش داد اما چون میزان ۱۰۰ mg/L افزایش غلظت منعقد کننده به نسبت تفاوت اندک میزان COD در نظر گرفته شده از لحاظ اقتصادی و محیط زیستی (افزایش بار شیمیایی فاضلاب) مقرون به صرفه نمی باشد، این غلظت از Alum مصرفی جهت تصفیه فاضلاب این بخش توصیه نمی‌شود.

جدول ۷ : نتایج تصفیه فاضلاب الیاف دار واحد کلودی توسط منعقد کننده PAC

| غلظت منعقد کننده PAC(mg/L) | غلظت کمک منعقد کننده (mg/L) | | COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|---|---|---|
| | آهک | پلی الکترولیت | | | |
| 300 | - | ۲ | ۸۰۰/۷ | ۶/۷۰ | ۲/۷۷ |
| ۴۰۰ | - | ۲ | ۶۲۶/۷۳ | ۶/۶۰ | ۲/۸۴ |
| ۵۰۰ | - | ۲ | ۴۸۲/۶۳ | ۶/۴۳ | ۲/۹۰ |
| ۶۵۰ | - | ۲ | ۳۴۷/۰۶ | ۶/۳۰ | ۲/۹۶ |
| ۷۵۰ | - | ۲ | ۳۸۰/۱۵ | ۶/۲۴ | ۳/۰۴ |
| ۸۵۰ | - | ۲ | ۴۵۸/۲۰ | ۶/۱۳ | ۳/۱۱ |

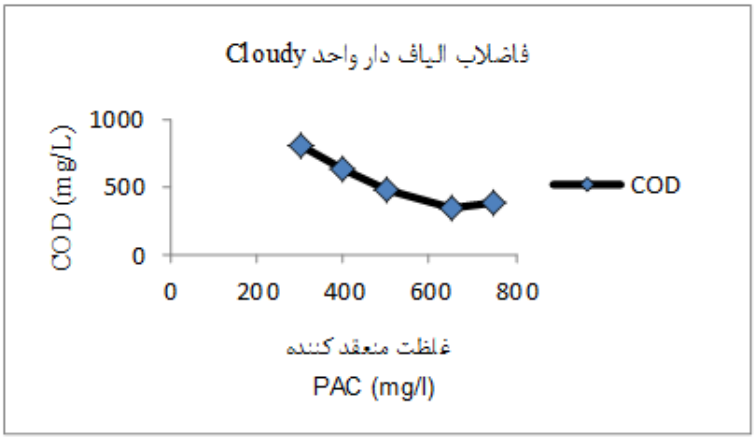


www.SID.ir

Archive of SID



منعقد کننده PAC نیز در غلظتهای ۳۰۰ mg/L تا ۸۵۰ mg/L با غلظت ۲ mg/L از پلی الکترولیت به‌عنوان کمک منعقد کننده جهت تصفیه مورد استفاده قرار گرفت که با توجه به جدول (۷) و شکل (۶)، بهترین نمونه تصفیه شده این بخش توسط ۶۵۰ mg/L PAC تصفیه گردید که حذف ۷۲/۷ درصدی COD با pH برابر با ۶/۳ (که در دامنه استاندارد) می‌باشد را نشان می‌دهد.




**شکل ۶: نمودار میزان بهینه منعقد کننده PAC مورد استفاده بر اساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده**

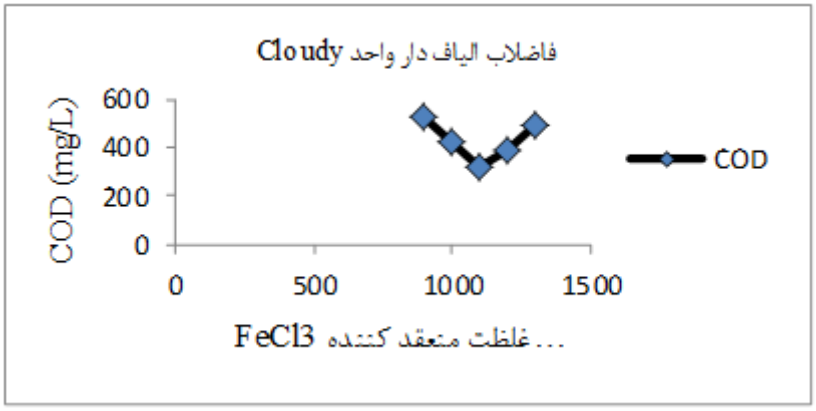
**جدول ۸ : نتایج تصفیه فاضلاب الیاف دار واحد کلودی توسط منعقد کننده $FeCl_3$**

| غلظت منعقد کننده $FeCl_3$(mg/L) | غلظت کمک منعقد کننده (mg/L) | | COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|---|---|---|
| | آهک | پلی الکترولیت | | | |
| ۹۰۰ | - | ۲ | ۵۲۶/۹۶ | ۷/۱۵ | ۲/۶۲ |
| ۱۰۰۰ | - | ۲ | ۴۱۹/۸۵ | ۷/۱۲ | ۲/۷۰ |
| ۱۱۰۰ | - | ۲ | ۳۲۴/۷۹ | ۷/۰۵ | ۲/۷۷ |
| ۱۲۰۰ | - | ۲ | ۳۹۰/۰۱ | ۶/۹۳ | ۲/۸۵ |
| ۱۳۰۰ | - | ۲ | ۴۸۸/۴۶ | ۶/۸۸ | ۲/۹۳ |
| ۱۴۰۰ | | ۲ | ۵۳۵/۰۱ | ۶/۸۳ | ۳/۰۱ |

در جدول (۸) و شکل (۷)، غلظت ۱۱۰۰mg/L از منعقد کننده $FeCl_3$، COD فاضلاب خام را از ۱۲۶۹/۰۴ mg/L به ۳۲۴/۷۹ mg/L در فاضلاب تصفیه شده کاهش داده و به‌عنوان غلظت بهینه از منعقد کننده با راندمان حذف ۷۴/۰۵درصدی COD گزارش می‌شود.

همانطور که در شکل (۸) مشاهده می شود، منعقد کننده $FeCl_3$ ۱۱۰۰ mg/L به‌عنوان بهترین منعقد کننده جهت تصفیه فاضلاب الیاف دار واحد کلودی (Cloudy) با بیشترین کاهش COD نسبت به Alum و PAC محسوب می گردد.

### ۴-۴- مقایسه نتایج تصفیه بر اساس نوع ماده منعقد کننده مورد استفاده



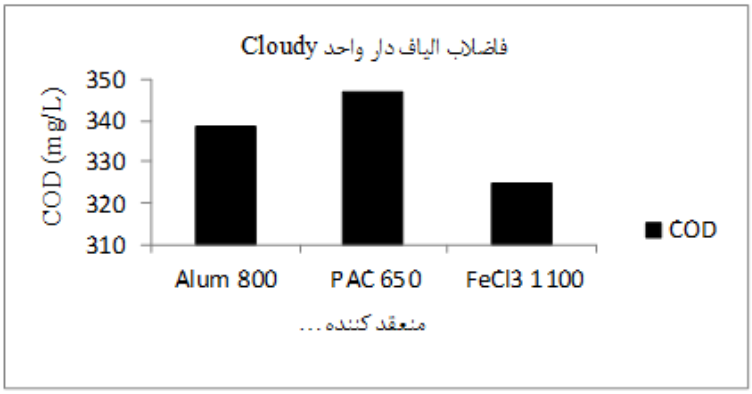

**شکل ۷: نمودار میزان بهینه منعقد کننده $FeCl_3$ مورد استفاده براساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده**



www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۸: نمودار مقایسه ای منعقد کننده ها براساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده**

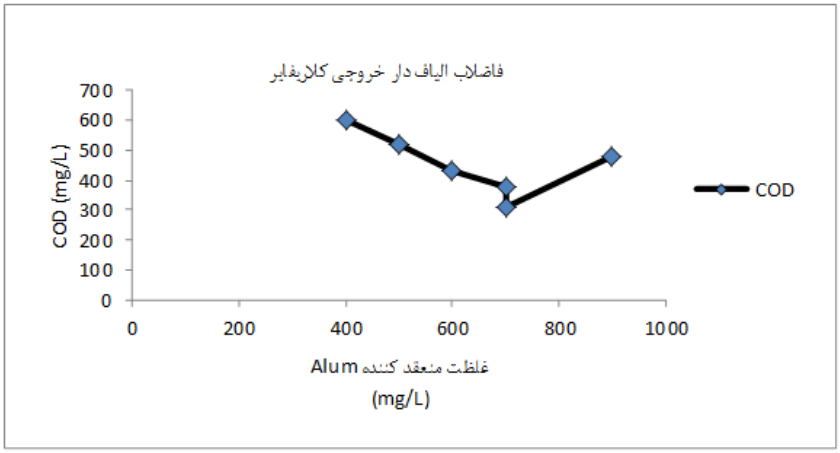
**۴-۵- آنالیز فاضلاب الیاف دار از خروجی کلاریفایر** (جایی‌که نمونه های فاضلاب واحدها با هم مخلوط می شوند)

**جدول۹: مشخصات فاضلاب الیاف دار خام بعد از کلاریفایر**

| EC | pH | COD (mg/L) |
|---|---|---|
| ۱/۲۱ | ۷/۵ | ۷۵۹/۴۱ |

**جدول ۱۰: نتایج تصفیه فاضلاب الیاف دار بعد از کلاریفایر، توسط منعقد کننده آلوم (Alum)**

| غلظت منعقد کننده Alum(mg/L) | غلظت کمک منعقد کننده (mg/L) | | COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|---|---|---|
| | آهک | پلی الکترولیت | | | |
| ۴۰۰ | - | ۲ | ۶۰۱/۳۲ | ۷/۳۰ | ۱/۳۴ |
| ۵۰۰ | - | ۲ | ۵۲۲/۵۸ | ۷/۱۲ | ۱/۳۹ |
| ۶۰۰ | - | ۳ | ۴۳۲/۰۰ | ۷/۰۶ | ۱/۴۵ |
| ۷۰۰ | - | ۳ | ۳۸۰/۲۰ | ۶/۹۲ | ۱/۵۰ |
| ۷۰۰ | ۱۰۰ | ۳ | ۳۰۷/۸۲ | ۸/۸۲ | ۱/۶۳ |
| ۹۰۰ | - | ۲ | ۴۷۸/۴۷ | ۶/۵۴ | ۱/۷۲ |




**شکل ۹: نمودار میزان بهینه منعقد کننده Alum مورد استفاده براساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده**

همانطور که در جدول (۱۰) و شکل (۹) مشاهده می‌شود، وقتی غلظت منعقد کننده آلوم ۷۰۰ mg/L است، غلظت ۳ mg/L پلی‌الکترولیت به همراه آهک ۱۰۰ mg/L بهترین نتیجه تصفیه را با میزان COD ۳۰۷/۸۲ mg/L (حذف ۶۰ درصدی از COD) نشان می‌دهد. با توجه به سایر غلظت‌های منعقد کننده و کمک منعقد کننده مورد استفاده، موثر بودن آهک به‌عنوان کمک منعقد کننده جهت تصفیه در این بخش مشهود می باشد.



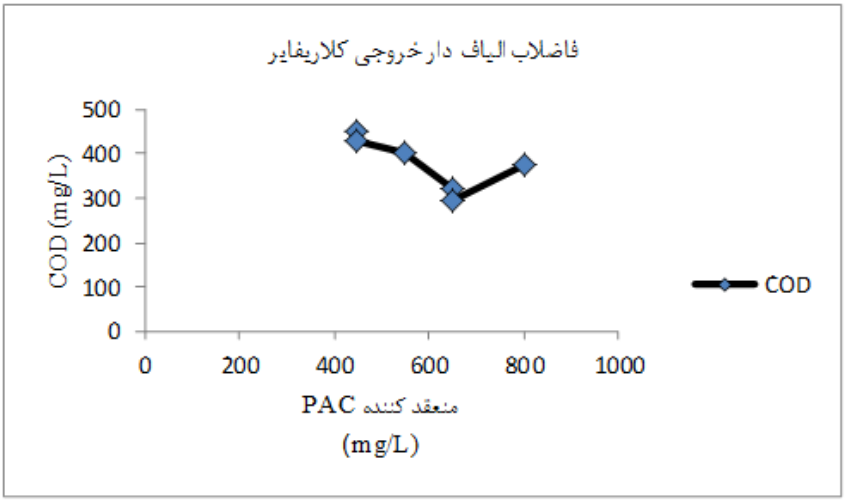
www.SID.ir

Archive of SID



جدول ۱۱: نتایج تصفیه فاضلاب الیاف دار بعد از کلاریفایر ، توسط منعقد کننده PAC

| غلظت منعقد کننده PAC(mg/L) | غلظت کمک منعقد کننده (mg/L) | | COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|---|---|---|
| | آهک | پلی الکترولیت | | | |
| ۴۵۰ | - | ۳ | ۴۵۰/۲۳ | ۷/۰۱ | ۱/۵۷ |
| ۴۵۰ | ۱۰۰ | ۳ | ۴۲۸/۷۸ | ۸/۰۵ | ۱/۵۷ |
| ۵۵۰ | ۲۰۰ | ۳ | ۴۰۱/۷۹ | ۸/۳۳ | ۱/۷۵ |
| ۶۵۰ | ۲۰۰ | ۳ | ۳۲۲/۱۶ | ۸/۳۰ | ۱/۷۱ |
| ۶۵۰ | - | ۳ | ۲۹۵/۱۲ | ۷/۶۹ | ۱/۶۶ |
| ۸۰۰ | ۲۰۰ | ۳ | ۳۷۵/۸۳ | ۸/۴۱ | ۳/۴۹ |




شکل ۱۰: نمودار میزان بهینه منعقد کننده PAC مورد استفاده براساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده

با توجه به جدول (۱۱) و شکل (۱۰)، ۶ غلظت مختلف از منعقد کننده PAC (۴۵۰ mg/L -۸۰۰ mg/L) جهت تصفیه‌ی فاضلاب الیاف‌دار بعد از کلاریفایر مورد بررسی قرار گرفتند که بهترین نتیجه در غلظت ۶۵۰ mg/L از PAC با میزان۳ mg/L کمک منعقد کننده پلی الکترولیت به‌دست آمد (حذف ۶۱ درصدی COD).

مقایسه غلظت‌های منعقد کننده مورد استفاده در جارتست با میزان COD به‌دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش غلظت منعقد کننده، میزان COD کاهش پیدا می‌کند تا جائی‌که عدد بهینه COD به‌دست آید چون تا دوز معینی از منعقد کننده، کاهش میزان COD به‌صورت منظم اتفاق می‌افتد و پس از آن، بالارفتن غلظت مواد منعقد کننده تاثیر معکوس بر نتیجه تصفیه گذاشته و میزان COD افزایش می‌یابد؛ دلیل این امر نیز افزایش بیش از حد مواد شیمیایی فاضلاب اشد.

جدول ۱۲: نتایج تصفیه فاضلاب الیاف دار بعد از کلاریفایر ، توسط منعقد کننده $FeCl_3$

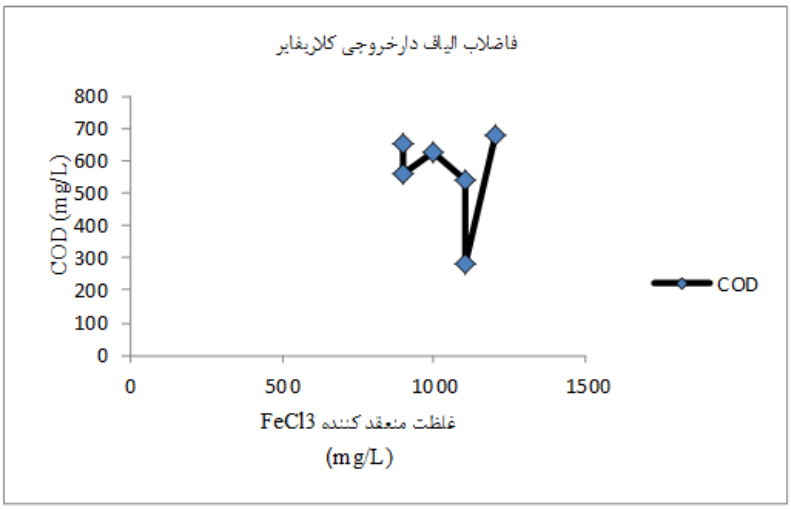
| غلظت منعقد کننده $FeCl_3$(mg/L) | غلظت کمک منعقد کننده (mg/L) | | COD (mg/L) | pH | EC (mS) |
|---|---|---|---|---|---|
| | آهک | پلی الکترولیت | | | |
| ۹۰۰ | - | ۳ | ۶۵۱/۷۹ | ۶/۷۲ | ۱/۹۴ |
| ۹۰۰ | ۱۰۰ | ۳ | ۵۹۵/۰۲ | ۷/۲۵ | ۱/۹۰ |
| ۱۰۰۰ | ۲۰۰ | ۳ | ۹۶۲/۶۶ | ۷/۸۳ | ۱/۸۵ |
| ۱۱۰۰ | - | ۳ | ۵۴۰/۳۰ | ۷/۳۴ | ۱/۸۲ |
| ۱۱۰۰ | ۲۰۰ | ۳ | ۲۸۵/۰۰ | ۷/۵۹ | ۱/۹۶ |
| ۱۲۰۰ | ۲۰۰ | ۳ | ۲۶۸/۵۲ | ۸/۶۴ | ۲/۱۳ |



www.SID.ir

Archive of SID



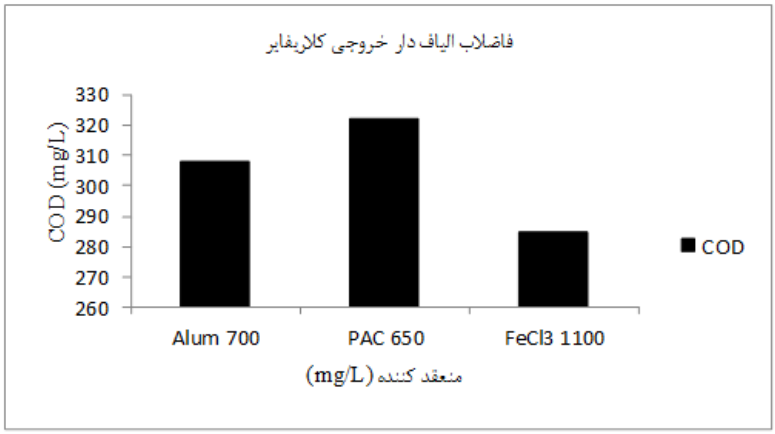



**شکل ۱۱: نمودار میزان بهینه منعقد کننده $FeCl_3$ مورد استفاده براساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده**

براساس جدول (۱۲) و شکل (۱۱)، وقتی از منعقد کننده $FeCl_3$ جهت تصفیه شیمیایی فاضلاب الیاف‌دار بعد از کلاریفایر استفاده می‌شود غلظت بهینه جهت تصفیه، ۱۱۰۰ mg/L است که در این غلظت منعقد کننده، از کمک منعقد کننده پلی الکترولیت ۳ mg/L و کمک منعقد کننده آهک ۲۰۰ mg/L هم در روند انعقاد استفاده شده و حذف ۵۸ درصدی COD حاصل شده است.

در همین غلظت از منعقد کننده وقتی از آهک استفاده نشده، میزان COD بیش از ۲ برابر میزان بهینه افزایش یافته است؛ در غلظت ۱۲۰۰ mg/L از منعقد کننده موردنظر با وجود آهک نیز همین اتفاق رخ داده است که علت مورد اول، عدم وجود آهک و مورد دوم، افزایش بار مواد شیمیایی فاضلاب است که راندمان تصفیه را پایین می‌آورد.

### ۴-۶- مقایسه نتایج تصفیه براساس نوع ماده منعقد کننده مورد استفاده




**شکل ۱۲: نمودار مقایسه‌ای منعقد کننده‌ها براساس میزان COD فاضلاب تصفیه شده**

براساس نتایج به‌دست آمده و شکل (۱۳)، بهترین منعقد کننده مورد استفاده جهت تصفیه فاضلاب الیاف‌دارخروجی از کلاریفایر، منعقدکننده $FeCl_3$ ۱۱۰۰ mg/L می‌باشد که میزان COD را به ۲۸۵ mg/L کاهش داده است.

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق غلظت‌های مختلف از ۳ منعقد کننده متداول برای فاضلاب خروجی از بخش های مختلف کارخانه‌ی چوب و کاغذ مورد بررسی قرار گرفتند و بعد از مقایسه‌ی راندمان منعقد کننده‌ها در هر مرحله، بهترین منعقد کننده (براساس خواص فاضلاب) در نهایت معرفی گردید؛ که همانطور که در یافته‌ها و نتایج آورده شده است، منعقدکننده $FeCl_3$ بعنوان بهترین منعقد کننده در هر ۳ واحد مورد بررسی از کارخانه چوب و کاغذ چوکا با غلظت ۱۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر معرفی شده است و به این ترتیب، این منعقد کننده به‌عنوان منعقد کننده‌ی بهینه جهت تصفیه‌ی فاضلاب الیاف‌دار که قسمت عمده‌ی فاضلاب



www.SID.ir

Archive of SID



خروجی این کارخانه را شامل می‌شود، شناخته شده است و بطور میانگین قابلیت حذف بیش از ۶۴ درصد از COD فاضلاب را دارا می‌باشد. اما در بررسی‌های مشابه جهت تصفیه پساب های خروجی کارخانجات چوب و کاغذ، بیشتر از یک یا دو نوع منعقد کننده استفاده شده است و درنهایت (بدون هدف مقایسه) بهترین غلظت منعقد کننده‌ها براساس بالاترین درصد حذف (بیرجندی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین در سال ۲۰۱۰ در مطالعه ای، چادهاری و همکاران با استفاده از منعقد کننده‌ی PAC با غلظت ۸ میلی‌لیتر بر لیتر، ۸۳ درصد از COD پساب ناشی از کارخانه سازی و با استفاده از منعقد کننده‌ی آلومنیوم کلراید با غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۷۲ درصد از COD فاضلاب را کاهش دادند [۱۱]. در بررسی دیگری نیز که در سال ۲۰۱۳ توسط محمد عرفان و همکاران به انجام رسید، با استفاده از ترکیبی از منعقد کننده‌های شیمیایی از جمله کلرید آهن و آلومنیوم کلراید، فاضلاب حاوی لیکور سیاه حاصل از کارخانجات چوب و کاغذ را با راندمان حذف ۷۶ درصد از COD در pH کمتر از ۳ مورد تصفیه قرار دادند [۱۲]

علاوه بر وجود آلاینده‌های مشترک در تمام انواع فاضلاب‌های ناشی از صنعت کاغذسازی، هر کارخانه‌ای نیز دارای فاضلاب با ویژگی‌های منحصر به فرد می‌باشد که برای رسیدن به نتیجه ی مطلوب، راهکارهایی سنجیده شده در تصفیه را می‌طلبد تا حداقل درجه آلایندگی برای محیط زیست را داشته باشد که دست یافتن به این مهم جز با بررسی کارایی منعقد کننده‌های مختلف شیمیایی (در تصفیه فاضلاب به روش شیمیایی) جهت تعیین غلظت‌های بهینه در دامنه‌ای که هم در راندمان کار خللی وارد نکند و هم در عین‌حال، کمترین میزان مواد شیمیایی را به پساب تصفیه شده و از آنجا به محیط وارد نماید.

## ۶- منابع


[1] Covinich, L. G., Bengoechea, D. I., Fenoglio, R. J., & Area, M. C. (2014). Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment in the Pulp and Paper Industry: A Review. American Journal of Environmental Engineering, 4(3), 56-70.

[2] Zahrim, A. Y., Gilbert, M. L., & Janaun, J. (2007). Treatment of Pulp and Paper MIII

COD معرفی می‌شود. به‌عنوان مثال، در تحقیقی که بیرجندی و همکاران اثر ماده منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید (PAC) را جهت کاهش غلظت آلاینده‌های زیست محیطی پساب کارخانه کاغذسازی با میزان COD ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مورد مطالعه قرار دادند، غلظت بهینه ماده منعقد کننده ۷۸۵PAC میلی‌گرم بر لیتر در pH برابر با ۷ به‌دست آمد

Effluent Using Photo-fenton's Process. Journal of Applied Sciences, 7(15), 2164-2167.

[3] Ginni, G., Adishkumar, S., Rajesh Banu, J., & Yogalakshmi, N. (2014). Treatment of pulp and paper mill wastewater by solar photo-Fenton process. Desalination and Water Treatment, 52(13-15), 2464-2457.

[4] Buyukkamaci, N., & Koken, E. (2010). Economic evaluation of alternative wastewater treatment plant options for pulp and paper industry. Science of the total environment, 408(24), 6070-6078.

[5] Kamali, M., & Khodaparast, Z. (2015). Review on recent developments on pulp and paper mill wastewater treatment. Ecotoxicology and environmental safety, 114, 326-342.

[۶] نوشین بیرجندی، حبیب‌الله یونسی، نادر بهرامی‌فر، مجتبی هادوی فر، کاربرد روش انعقاد شیمیایی در تصفیه پساب کارخانه بازیافت کاغذ، شماره ۴ سال ۱۳۹۰، آب و فاضلاب ۶۲-۵۶.

[7] Prakash, N. B., Sockan, V., & Jayakaran, P. (2014). Waste Water Treatment by Coagulation and Flocculation. Int. J. Eng. Sci. Innovat. Technol, 3(2), 479-484.

[8] PHIPPS & BIRD. (1995). "A Simplified Jar Test Procedure", Richmond, VA., January.

[9] Pask, David. "Jar Testing: Getting started on a low budget." On Tap 2.2 (1993): 4-6.

[10] Lafleur, T. (1997). Jar testing.

[11] Chaudhari, P. K., Majumdar, B., Choudhary, R., Yadav, D. K., & Chand, S. (2010). Treatment of paper and pulp mill effluent by coagulation. Environmental technology, 31(4), 357-363.

[12] Irfan, M., Butt, T., Imtiaz, N., Abbas, N., Khan, R. A., & Shafique, A. (2013). The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate. Arabian Journal of Chemistry.




www.SID.ir