**مقاله پژوهشی**

**علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره نه، آذرماه ۱۴۰۱ (۱۵۱- ۱۳۹)**

# امکان سنجی تصفیه پساب کارخانه قارچ با استفاده از روش انعقاد شیمیایی و الکتریکی

**ابوالفضل رعنائی لسان**[۱]

**حسین زارع ولوکلائی** [*۲]

hv.zare@bzte.ac.ir

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۴** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹**

**چکیده**

**زمینه و هدف:** با توجه به قوانین سختگیرانه زیست محیطی و مشکل کمبود آب در سال‌های اخیر تصفیه پساب خروجی از صنایع جهت استفاده مجدد ضروری است. پساب صنعت قارچ به دلیل اسفاده از انواع کودها و سموم، مواد ضدعفونی کننده و شوینده‌ها حاوی آلاینده‌های آلی و معدنی مختلفی است که پارامترهای آلایندگی از قبیل دترجنت، کدورت، BOD و COD در آن بالاتر از حد مجاز استاندارد می‌باشد. در این تحقیق تصفیه پساب کارخانه قارچ جهت استفاده مجدد در بخش پرورش و کمپوست سازی بررسی شده است.

**روش بررسی:** در این پژوهش که در آزمایشگاه شرکت کشت و صنعت ملارد (سال ۱۳۹۹) انجام شد جهت تصفیه پساب و حذف پارامترهای BOD، COD، کدورت و دترجنت روش‌های انعقاد الکتریکی و شیمیایی مورد استفاده قرار گرفت. روش انعقاد الکتریکی در اختلاف پتانسیل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت و زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ دقیقه توسط الکترودهای آهن و آلومینیوم انجام شد. در روش انعقاد شیمیایی تاثیر دو منعقده کننده پلی آلومینیوم کلراید و سولفات آلومینیوم در حضور کمک منعقده کننده پلی الکترولیت آنیونی بر روی تصفیه پساب بررسی شد.

**یافته‌ها:** در روش انعقاد الکتریکی در اختلاف پتانسیل ۳۰ ولت به مدت ۶۰ دقیقه، راندمان حذف COD و BOD به ترتیب ۵۹/۱ و ۴۶ درصد حاصل شد. در روش انعقاد شیمیایی با میزان دوز منعقد کننده ۷۵ میلی گرم در هر لیتر از پساب و pH ۶ بیشترین راندمان حذف برای COD، BOD، کدورت و دترجنت به ترتیب ۶۱/۶، ۴۷/۶، ۸۲/۱ و ۷۵/۵ درصد به دست آمد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد راندمان حذف پارامترهای BOD، COD، دترجنت و کدورت توسط انعقاد شیمیایی کمی بالاتر از انعقاد الکتریکی است. همچنین در روش انعقاد شیمیایی منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید هم از سولفات آلومینیوم و هم از ترکیب هر دو منعقد کننده عملکرد بهتری دارد.

**واژه‌های کلیدی:** پساب، قارچ، تصفیه، انعقاد شیمیایی، انعقاد الکتریکی.

---

۱- گروه مهندسی شیمی، مواد و پلیمر، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، بوئین زهرا، قزوین، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی، مواد و پلیمر، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، بوئین زهرا، قزوین، ایران. *(مسوول مکاتبات)

*J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No.9, December, 2022*

# Feasibility Study of Mushroom Plant Effluent Treatment Using Chemical and Electrical Coagulation Methods

**Abolfazl Ranai Lessan** [1]
**Hossein Zare** [2*]
*hv.zare@bzte.ac.ir*

Admission Date:January 19, 2022 Date Received: September 26, 2021

**Abstract**

**Background and Objective:** Due to strict environmental laws and the problem of water shortage in recent years, industrial wastewater treatment is necessary for reuse. Mushroom industry effluents due to the use of fertilizers and pesticides, sanitizers and detergents contain various organic and inorganic pollutants, in which the pollution parameters such as detergent, turbidity, BOD and COD are higher than the standard limits. In this research, the effluent treatment of the mushroom factory has been investigated for reuse in for reuse in mushroom cultivation and composting.

**Material and Methodology:** In this study, electrical and chemical coagulation methods were used to treat the wastewater and remove the parameters of BOD, COD, turbidity and detergent. The electrocoagulation method was performed at potential differences of 10, 20 and 30 volts and at times of 15, 30, 45, 60 and 75 minutes with iron and aluminum electrodes. In the chemical coagulation method, the effect of two coagulants, poly aluminum chloride and aluminum sulfate, in the presence of anionic polyelectrolyte coagulant on the effluent treatment was investigated.

**Finding:** In the electrocoagulation method, at a potential difference of 30 volts for 60 minutes, the removal efficiencies of COD and BOD were 59.1% and 46%, respectively. In chemical coagulation method with coagulant dose of 75 mg/l at pH 6, the highest removal efficiencies for COD, BOD, turbidity and detergent were obtained 61.6, 47.6, 82.1 and 75.5%, respectively.

**Discussion & Conclusion:** The results showed that the removal efficiency of BOD, COD, detergent and turbidity parameters by chemical coagulation is slightly higher than electrocoagulation method. Also, in the chemical coagulation method, poly aluminum chloride coagulant has better performance than both aluminum sulfate and the combination of two coagulants.

**Keywords:** Effluent, Mushroom, Treatment, Chemical Coagulation, Electrocoagulation.

1- Department of Chemical, Materials and Polymer Engineering, Buein Zahra Technical University, Buein Zahra, Qazvin, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Chemical, Materials and Polymer Engineering, Buein Zahra Technical University, Buein Zahra, Qazvin, Iran. **(Corresponding Author)*

**مقدمه**

کاهش دسترسی به منابع آب قابل استفاده جهت مصارف شرب، کشاورزی و یا صنعتی از یک جهت و از جهت دیگر آلودگی آب‌ها لزوم تصفیه و پالایش آب به منظور استفاده مجدد را بیش از پیش حائز اهمیت نموده است. دفع پسابهای صنعتی به محیط زیست، اکوسیستم و آبهای سطحی و زیرزمینی را در معرض آلودگی قرار می‌دهد و موجب بروز مخاطرات زیست محیطی می‌شود (۱، ۲). با توجه به مشکلات زیست محیطی و بیمارهای‌های ناشی از آلودگی آب و همچنین وضع قوانین سختگیرانه از سوی سازمانهای بهداشتی، استفاده از یک فرایند تصفیه مطلوب، ایمن و اقتصادی ضروری به نظر می رسد (۳، ۴).

یکی از بیشترین میزان مصارف آب مربوط به بخش کشاورزی و صنایع غذایی می باشد، که صنعت قارچ نیز یکی از مهمترین آنها می‌باشد. بخش‌های مختلف در صنعت قارچ شامل پرورش قارچ و واحد عملیاتی و کنسروسازی با توجه به نوع فعالیت آلاینده‌های آلی و غیر آلی را به آب اضافه می‌کنند که باید قبل از تخلیه به محیط زیست تصفیه مناسبی بر روی آن صورت بگیرد (۵، ۶). عمده آب مصرفی در صنایع قارچ در آبیاری بسترهای کمپوست، شستشوی مخازن و قارچ‌های برداشت شده و واحد کنسروسازی می‌باشد. فعالیت واحدهای پرورش و کنسروسازی و استفاده از انواع آفت کش‌ها، کودها، میکروارگانیسم‌ها و مواد ضدعفونی کننده و شوینده حاوی دترجنت مانند جرمی ساید، منجر به آلوده شدن آب و تولید پساب می‌شوند. پساب خروجی از بخش کمپوست سازی بیشترین میزان BOD[1] (اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی) و COD[2] (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی) را دارد، و در بخش کنسرو سازی بیشترین تاثیر بر روی پارامترهای pH و دترجنت مشاهده می‌شود (۶، ۷).

امروزه انواع روشهای مختلف مانند فرآیندهای غشایی، روش‌های زیستی، اکسیداسیون، فیلتراسیون، تبادل یونی، جذب، رسوب دهی لخته سازی و انعقاد برای تصفیه آب و پساب به کار می‌روند که هر کدام از این روشها مزایا و معایب بخصوص دارند (۱۰-۸). در میان این روش‌ها، روش انعقاد یک روش اقتصادی و سازگار با محیط زیست است که به دلیل صرفه جویی در زمان، غیر فعال سازی گونه‌های میکروبی، کاهش موثر COD و BOD، و همچنین عملکرد ساده کاربرد گسترده‌ای در تصفیه پساب پیدا کرده است (۱۳-۱۱).

انعقاد فرآیندی است که در آن ذرات معلق در داخل محلول به هم چسبیده و ذرات درشتی ایجاد می کنند که این توده های بزرگ در داخل محلول ته نشین می‌شوند. در فرآیند انعقاد، ذرات کلوئیدی داخل محلول که در ابتدا دارای بارهای همنام هستند، در مدت زمانی کوتاه بی بار شده و به هم نزدیک می‌شوند. توده-های چسبیده به هم را می‌توان به راحتی توسط روش ته‌نشینی یا فیلتراسیون از محلول جدا کرد (۱۴، ۱۵). فرآیند انعقاد به صورت دو روش شیمیایی و الکتریکی در حالت مداوم و یا به صورت ناپیوسته انجام می‌شود. انعقاد الکتریکی متکی بر عبور جریان الکتریکی از داخل محلول با استفاده از اعمال اختلاف پتانسیل بین الکترودهای فلزی است (۱۶، ۱۷). روش انعقاد شیمیایی بر پایه استفاده از مواد منعقد کننده می‌باشد. در این روش افزودن آنیون‌ها و کاتیون‌ها قدرت یونی محلول را افزایش می‌دهد و باعث تغییر ضرایب فعالیت آبی و یونی، کاهش پتانسیل زتا و فشرده شدن لایه دوگانه الکتریکی در اطراف کلوئیدها می شود، به طوری که نیروهای جاذبه وان در والسی می‌توانند سبب چسبیدن ذرات به هم و ایجاد انعقاد شوند (۱۶، ۱۸).

استفاده مجدد از پساب‌های صنعتی در زمینه کشاورزی به علت کمبود آب مورد نیاز در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. آبیاری با استفاده از پساب علاوه بر صرفه جویی در مصرف آب به دلیل این‌که حاوی مواد مغذی است رشد محصول را تقویت کرده و سبب کاهش مصرف کود در کشاورزی می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد در مقایسه با آبیاری توسط آب تمیز، استفاده از پساب می‌تواند تا ۴۵ درصد از کود مصرفی در کشت محصولات کشاورزی را کاهش دهد (۱۹). برای این‌که بتوان از پساب در آبیاری و کشاورزی استفاده نمود لازم است که میزان آلاینده و شاخص‌های آلودگی در آب به میزان مجاز ارائه شده در

1- Biochemical Oxygen Demand

2- Chemical Oxygen Demand

استانداردهای زیست محیطی کاهش یابد. چنانچه پس از فرآیند تصفیه، کیفیت آب به حد استاندارد نرسد باید پساب تصفیه شده با آب مورد استفاده برای کشاورزی ترکیب شود تا برای مصارف آبیاری و کشاورزی قابل استفاده شود. روش تصفیه مناسب باعث کاهش حجم آب مصرفی و در نتیجه کاهش هزینه‌های تولید خواهد شد (۲۲-۲۰).

لین و همکاران (۲۰۰۰) تحقیقی بر روی تصفیه پساب شهرک صنعتی چانگلی واقع در تایوان جهت رسیدن به حد مجاز استاندارد و استفاده برای آبیاری در کشاورزی انجام دادند. در این مطالعه با استفاده از انعقاد شیمیایی توسط پلی آلومینیوم کلراید میزان ۵۰ درصد از COD موجود در پساب کاهش داده شد (۲۳). یانگ و همکاران (۲۰۱۴) تصفیه پساب کارخانه استخراج روغن پالم با استفاده از منعقد کننده نشاسته برنج و آلوم را بررسی کردند. در شرایط بهینه استفاده از میزان ۰/۳۸ گرم بر لیتر آلوم و ۰/۲۸ گرم بر لیتر نشاسته برنج میزان COD پساب را تا حد ۴۹/۲۳ درصد کاهش داد (۲۴). در تحقیق دیگری که توسط متئوس و همکاران (۲۰۲۱) بر روی پساب یک کارخانه تولید ساندویچ در کلمبیا انجام شد، از ترکیب سه فرآیند رسوب‌دهی، لخته سازی و انعقاد شیمیایی برای پیش تصفیه پساب جهت کاربری در آبیاری در کشاورزی استفاده شد. در این گزارش میزان کدورت پساب با استفاده از منعقد کننده شیمیایی سولفات آلومینیوم به میزان NTU ۱۸/۸ کاهش یافت (۲۵).

در این تحقیق تلاش شده است با استفاده از روش انعقاد شیمیایی و الکتریکی، آلودگی پساب حاصل از صنعت قارچ کاهش یابد تا در بخش‌هایی مثل کمپوست سازی و پرورش قارچ مورد استفاده مجدد قرار گیرد، و در نتیجه حجم آب خام مصرفی در این صنعت کاهش یابد.

## مواد و روشها

### مواد مورد استفاده

مواد مورد استفاده در این مطالعه آزمایشگاهی شامل سولفات آلومینیوم، پلی آلومینیوم کلراید و پلی الکترولیت آنیونی از شرکت گلکاه ایران تهیه شد. مواد مورد نیاز برای آنالیز COD و دترجنت شامل اسید سولفوریک، اگزالیک اسید، پتاسیم پرمنگنات، کلروفرم، هیدروکسید سدیم، متیلن بلو، ایزوپروپیل الکل و فنل فتالئین از شرکت مرک تهیه شد.

### مشخصات پساب

این مطالعه کاربردی در سال ۱۳۹۹ در مجموعه کشت و صنعت ملارد به منظور ارائه راهکاری برای تصفیه پساب جهت استفاده مجدد در بخش کشاورزی انجام شد. نمونه پساب برای انجام تمام آزمایش‌ها در یک نوبت از سپتیک اصلی کارخانه قارچ ملارد تهیه شد. با نمونه برداری از پساب خروجی و انجام آزمایش مشخصات اولیه پساب تعیین شد. در جدول ۱ مشخصات پساب و همچنین میزان مجاز هر کدام از پارامترها جهت مصارف کشاورزی و آبیاری ارائه شده است.

**جدول ۱- مشخصات پساب کارخانه قارچ ملارد**

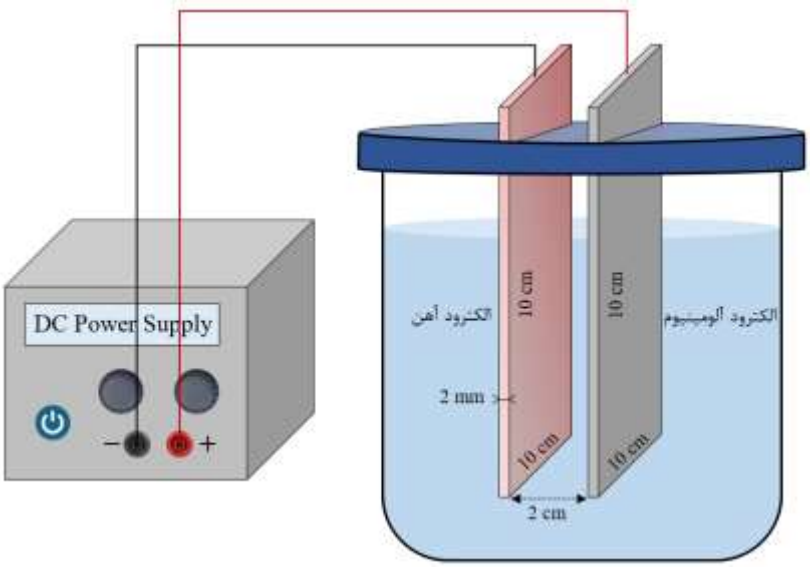
Table 1. Specifications of Mallard Mushroom Plant Effluent

| پارامتر | مقدار در پساب | مقدار استاندارد جهت مصارف کشاورزی و آبیاری |
|---|---|---|
| COD (mg/lit) | ۴۶۹ | ۲۰۰ |
| $BOD_5$ (mg/lit) | ۱۸۷ | ۱۰۰ |
| کدورت (NTU) | ۱۱۸/۲ | ۵۰ |
| دترجنت (mg/lit) | ۲/۱۲ | ۰/۵ |
| pH | ۶ | ۶ - ۸/۵ |

**روش آزمایش**

روش انعقاد به دو صورت الکتریکی و شیمیایی برای تصفیه پساب استفاده شد و تاثیر هر کدام از روش‌ها بر کاهش پارامترهای کدورت، دترجنت، COD و BOD بررسی و مقایسه شد. برای انعقاد شیمیایی تاثیر ۲ منعقده کننده سولفات آلومینیوم و پلی آلومینیوم کلراید مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا از جارتست برای تعیین میزان مناسب برای هر کدام ار مواد منعقد کننده استفاده شد. ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه ها در بشرهای ۲۵۰ میلی لیتر ریخته شد و از هر کدام از مواد منعقد کننده در دوزهای ۵۰ و ۷۵ میلی گرم بر لیتر به آن اضافه شد و با همزن مغناطیسی و دور ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت یک دقیقه عملیات اختلاط صورت گرفت. در روش انعقاد شیمیایی تاثیر افزودن کمک منعقد کننده، ترکیب دو منعقد کننده و همین‌طور تغییرات pH در بازه ۳ تا ۷ بررسی شد. برای بررسی تاثیر کمک منعقد کننده میزان ۷۵ میلی گرم بر لیتر محلول پلی الکترولیت آنیونی در آب مقطر تهیه شد و در هر ۱۰۰ میلی لیتر پساب ۱ میلی لیتر از این محلول استفاده شد.

در روش انعقاد الکتریکی از یک منبع تغذیه برای تامین اختلاف پتانسیل بین ۲ الکترود آلومینیوم و آهن استفاده شد. برای انجام فرآیند انعقاد به روش الکتریکی از دو الکترود با جنس های آلومینیوم و آهن با طول ۱۰ سانتی متر، عرض ۱۰ سانتی متر، مساحت سطح ۱۰۰ سانتی متر مربع و ضخامت ۲ میلی متر و یک منبع تغذیه با قابلیت تغییر ولتاژ استفاده شد. ۵۰۰ میلی لیتر نمونه پساب در مخزن ۱ لیتری ریخته شد و الکترودهای آلومینیوم و آهن با فاصله میانی ۲ سانتی متر در داخل محلول قرار گرفت و با اعمال ولتاژ های ۱۰، ۲۰ و ۳۰، در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ دقیقه، pH برابر ۶ و دمای محیط تاثیر انعقاد الکتریکی بر تصفیه پساب بررسی شد. تمام آزمایش‌های تصفیه به روش انعقاد الکتریکی و شیمیایی در دمای محیط انجام شد، و پس از آن با تعیین هر یک از پارامترهای آلایندگی BOD، COD، دترجنت و کدورت و درصد حذف آن‌ها اثربخشی هر یک از روش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل ۱ طرح شماتیک راکتور مورد استفاده برای انعقاد الکتریکی ارائه شده است.




**شکل ۱- طرح شماتیک راکتور انعقاد الکتریکی**

Figure 1. Schematic diagram of the electrocoagulation reactor

**روش‌های آنالیز**

۱۰۰ میلی لیتر از محلول تصفیه شده بعد از عمل انعقاد از فیلتر کاغذی واتمن با قطر منافذ ۴۲ نانومتر عبور داده شد تا آزمون‌های مربوط به تعیین شاخص‌های کیفیت آب بر روی آن انجام شود.

در این پژوهش برای اندازه گیری پارامترهای pH از دستگاه AZ مدل ۸۶۵۰۵ ساخت تایوان استفاده شد. برای تعیین BOD و اکسیژن محلول دستگاه HANNA مدل HI98186 ساخت

آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. COD به روش هضم برگشتی باز با شماره استاندارد 5220-B اندازه گیری شد (۲۶). همچنین پارامتر کدورت با استفاده از کدورت سنج Omega مدل TRB-3000 ساخت آمریکا اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار درجنت جذب نور نمونه نسبت به شاهد کلروفرم با دستگاه اسپکتروفتومتر Shimadzu مدل UV-1900 ساخت کشور ژاپن در طول موج ۶۵۲ نانومتر اندازه‌گیری شد.

## نتایج و بحث

### انعقاد الکتریکی

اصلی‌ترین عامل تاثیر گذار بر راندمان فرآیند انعقاد الکتریکی میزان اختلاف پتانسیل اعمال شده بین دو الکترود می‌باشد. تاثیر اختلاف پتانسیل بر میزان راندمان حذف BOD و COD در جدول ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش اختلاف پتانسیل بازده تصفیه به روش انعقاد الکتریکی افزایش می‌یابد.

**جدول ۲- تاثیر ولتاژ بر راندمان حذف BOD و COD در فرآیند انعقاد الکتریکی**

Table 2. The Effect of Voltage on the Removal Efficiency of BOD and COD in the Electrocoagulation Process

| اختلاف پتانسیل (ولت) | راندمان حذف BOD (درصد) | راندمان حذف COD (درصد) |
|---|---|---|
| ۱۰ | ۳۶/۹ | ۴۶/۳ |
| ۲۰ | ۴۳/۳ | ۵۶/۵ |
| ۳۰ | ۴۶ | ۵۹/۱ |

راندمان حذف BOD و COD در فرآیند انعقاد الکتریکی نسبت به زمان در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش زمان انعقاد تا ۶۰ دقیقه درصد حذف BOD و COD افزایش می‌یابد، اما با افزایش زمان به بیش از ۶۰ دقیقه تغییر قابل ملاحظه‌ای در راندمان حذف مشاهده نمی‌شود. در اختلاف پتانسیل ۳۰ ولت و مدت زمان ۶۰ دقیقه راندمان حذف BOD و COD به ترتیب برابر ۴۶ و ۵۹/۱ درصد به دست آمد.

**جدول ۳- تاثیر زمان بر راندمان حذف BOD و COD در فرآیند انعقاد الکتریکی در اختلاف پتانسیل ۳۰ ولت**

Table 3. The Effect of Time on the Removal Efficiency of BOD and COD in the Electrocoagulation Process

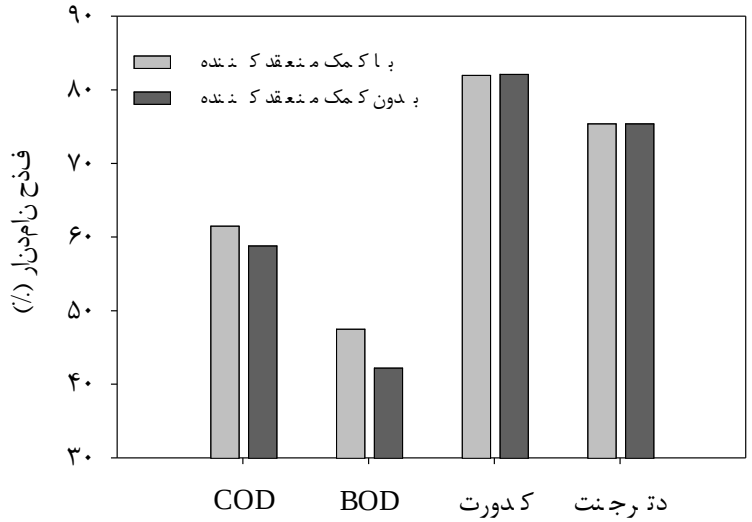
| زمان (دقیقه) | راندمان حذف BOD (درصد) | راندمان حذف COD (درصد) |
|---|---|---|
| ۱۵ | ۴۰/۶ | ۴۹/۳ |
| ۳۰ | ۴۲/۸ | ۵۳/۵ |
| ۴۵ | ۴۴/۴ | ۵۶/۵ |
| ۶۰ | ۴۶ | ۵۹/۱ |
| ۷۵ | ۴۶/۷ | ۶۰/۰ |

نتایج نشان داد با افزایش زمان و پتانسیل الکتریکی بازده انعقاد الکتریکی افزایش می‌یابد. مواد با بار الکتریکی منفی در پساب با تولید یون‌های فلزی مثبت آلومینیوم و آهن ایجاد شده در الکترودها خنثی می‌شود، و در نتیجه تولید این یون‌های مثبت فرآیند انعقاد صورت می‌گیرد (۱۴، ۲۷). در حین انجام فرآیند در کاتد گاز هیدروژن و در آند گاز اکسیژن آزاد می شود، لذا آلاینده ها از طریق حباب های اکسیژن و هیدروژن بر روی سطح شناور می‌مانند و با انجام عملیات فیلتراسیون می‌توان لخته ها را به

راحتی جدا نمود. افزایش زمان انعقاد موجب افزایش تولید یون-های مثبت و افزایش اختلاف پتانسیل سبب افزایش سرعت تشکیل یون‌های مثبت و حباب‌ها می‌شود، در نتیجه بازده فرآیند انعقاد افزایش می‌یابد.

**انعقاد شیمیایی**

در روش انعقاد شیمیایی ابتدا تاثیر استفاده از کمک منعقد کننده پلی الکترولیت آنیونی بر عملکرد تصفیه پساب مورد تحقیق قرار گرفت. شکل ۲ تاثیر استفاده از کمک منعقد کننده پلی الکترولیت آنیونی در حضور ۷۵ میلی گرم در لیتر منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید بر روی شاخص‌های آلودگی COD، BOD، کدورت و درجنت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است استفاده از کمک منعقد کننده در پارامترهای کدورت و درجنت تاثیری ندارد، اما کاهش در پارامترهای COD و BOD در حضور کمک منعقد کننده قابل مشاهده است. یکی از دغدغه‌های اصلی در فرآیند تصفیه پساب به روش انعقاد دفع لجن‌های حاصل می‌باشد، کمک منعقد کننده‌ها با اتصال بین ذرات منعقد شده لخته‌های درشت‌تر و سنگین‌تر ایجاد می‌کنند که به ته‌نشینی هر چه بهتر و جداسازی لخته‌ها و کاهش لجن کمک می‌کنند (۲۸). استفاده از کمک منعقد کننده باعث افزایش راندمان و همچنین کاهش مصرف منعقدکننده می‌شود.




**شکل ۲- تاثیر کمک منعقد کننده پلی الکترولیت آنیونی بر روی فرآیند انعقاد شیمیایی**

Figure 2. The Effect of Anionic Polyelectrolyte Coagulation Aid on the Chemical Coagulation Process

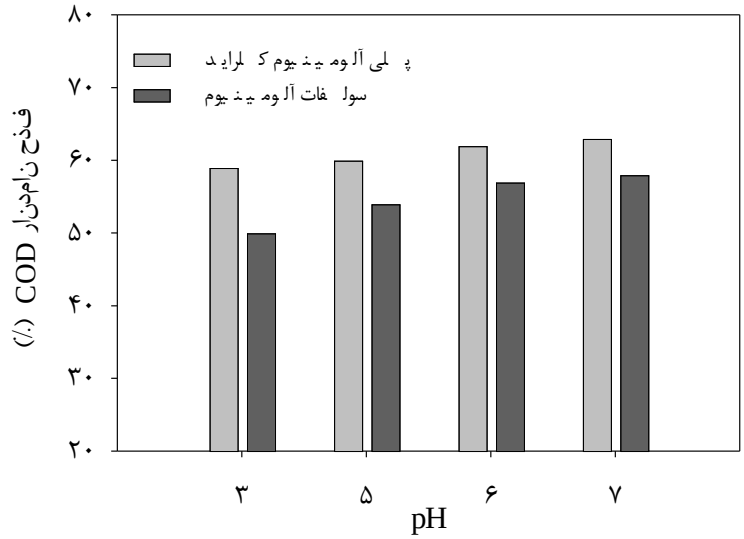
برای مقایسه دو منعقد کننده سولفات آلومینیوم و پلی آلومینیوم کلراید بر روی بازده تصفیه پساب، میزان دوز ۵۰ و ۷۵ میلی گرم بر لیتر از هر یک مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش حذف به صورت ناپیوسته در حضور کمک منعقد کننده پلی الکترولیت آنیونی و در pH اولیه ۶ و دمای محیط انجام شد. مقادیر پارامترهای BOD، COD، کدورت و درجنت در جدول ۴ گزارش شده است. نتایج نشان داد در هر دو منعقد کننده با افزایش دوز از ۵۰ به ۷۵ میلی گرم بر لیتر میزان پارامترهای آلودگی کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شد در دوزهای مشابه منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید توانایی بیشتری برای کاهش مقادیر COD، BOD، درجنت و کدورت دارد. با استفاده از منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید با میزان دوز ۷۵ میلی گرم بر لیتر بیشترین راندمان حذف برای COD، BOD، کدورت و درجنت به ترتیب ۶۱/۶، ۴۷/۶، ۸۲/۱ و ۷۵/۵ درصد حاصل شد.

**جدول ۴- مقایسه عملکرد منعقد کننده‌های سولفات آلومینیوم و پلی آلومینیوم کلراید در دوزهای ۵۰ و ۷۵ میلی گرم بر لیتر**

Table 4. Comparison of performance of aluminum sulfate and poly aluminum chloride coagulants at doses of 50 and 75 mg/l

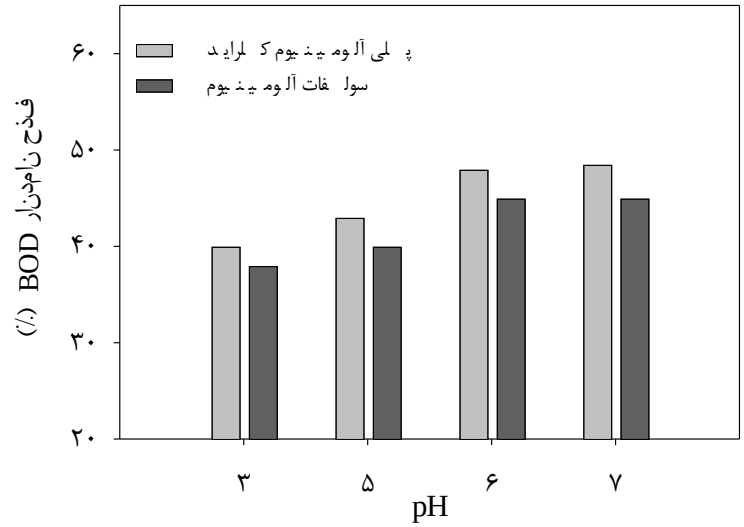
| منعقد کننده | غلظت (mg/l) | دترجنت (درصد) | کدورت (درصد) | BOD (درصد) | COD (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|
| سولفات آلومینیوم | ۵۰ | ۶۱/۸ | ۷۵/۵ | ۳۶/۴ | ۵۱ |
| | ۷۵ | ۶۷/۵ | ۷۸ | ۴۴/۹ | ۵۷/۴ |
| پلی آلومینیوم کلراید | ۵۰ | ۶۷ | ۷۶/۶ | ۴۱/۷ | ۵۴/۸ |
| | ۷۵ | ۷۵/۵ | ۸۲/۱ | ۴۷/۶ | ۶۱/۶ |

pH یکی از پارامترهای کلیدی و تاثیرگذار در فرآیند انعقاد و راندمان کاهش آلودگی است. در فرآیند انعقاد شیمیایی به علت هیدرولیز مواد منعقد کننده یون هیدروژن مثبت ایجاد می‌شود که منجر به کاهش pH در حین فرآیند خواهد شد (۲۹)، بنابراین باید به نحو مطلوب pH را در محدوده بهینه تنظیم نمود تا راندمان فرآیند حداکثر شود. برای بررسی تاثیر pH بر راندمان حذف COD و BOD توسط دو منعقد کننده سولفات آلومینیوم و پلی آلومینیوم کلراید، آزمایش انعقاد در میزان دوز ۷۵ میلی گرم بر لیتر از هر یک از منعقد کننده‌ها در حضور کمک منعقد کننده و در محدوده pH ۳ تا ۷ انجام شد. شکل ۳ و ۴ به ترتیب راندمان حذف COD و BOD در pHهای را مختلف نشان می دهد. نتایج نشان داد بالاترین راندمان حذف انعقاد شیمیایی توسط هر یک از منعقدکننده‌ها در محدوده ۶ تا ۷ می باشد که با توجه به این‌که افزایش pH نیازمند استفاده از مواد شیمیایی و صرف هزینه است، pH ۶ به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته شد.




**شکل ۳- راندمان حذف COD توسط سولفات آلومینیوم و پلی آلومینیوم کلراید در pH های مختلف**

Figure 3. COD removal efficiency by aluminum sulfate and poly aluminum chloride at different pH




**شکل ۴- راندمان حذف BOD توسط سولفات آلومینیوم و پلی آلومینیوم کلراید در pH های مختلف**

Figure 4. BOD removal efficiency by aluminum sulfate and poly aluminum chloride at different pH

در یک آزمایش دیگر برای مقایسه اثر هم‌افزایی دو منعقد کننده شیمیایی، پلی آلومینیوم کلراید و سولفات آلومینیوم به صورت ترکیبی در نسبت‌های برابر و با میزان دوز کل ۷۵ میلی گرم بر لیتر مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش حذف برای پارامترهای COD، BOD، دترجنت و کدورت در حضور کمک منعقد کننده پلی الکترولیت آنیونی و در pH ۶ و دمای محیط انجام شد. استفاده ترکیبی دو منعقدکننده نسبت به منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید عملکرد ضعیف‌تری در تصفیه پساب مورد نظر داشت. در جدول ۵ میزان پارامترهای شاخص آلودگی پساب در چهار روش تصفیه به کار رفته در این تحقیق ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود همه روش‌ها موفق به کاهش COD و کدورت در حد مجاز استاندارد شدند، ولی منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید با کاهش COD و کدورت به مقدار نهایی ۱۸۰ و ۲۱/۲ میلی گرم بر لیتر بیشترین کارایی را از خود نشان داد. در رابطه با پارامترهای BOD و دترجنت تنها منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید عملکرد موثری نشان داد، به طوری که میزان BOD به پایین تر از حد استاندارد یعنی ۹۸ و میزان دترجنت نزدیک به حد مجاز یعنی ۰/۵۲ میلی گرم بر لیتر کاهش یافت. با توجه به نتایج به دست آمده استفاده از منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید می‌تواند هدف اصلی از انجام این تحقیق یعنی رساندن پساب خروجی به محدوده مجاز برای آبیاری در کشاورزی و استفاده در بخش پرورش قارچ را تامین کند. استفاده از پساب تصفیه شده علاوه بر کاهش مصرف آب خام سبب کاهش مصرف کود می‌شود زیرا این پساب حاوی مقادیری مواد کودهای استفاده شده در مرحله کمپوست سازی و پروش قارچ می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط ریتیگالا و همکاران (۲۰۲۱) صورت گرفت پساب هاضم بیهوازی ضایعات غذایی با استفاده از روش انعقاد شیمیایی توسط نانوخوشه کگین آلومینیوم-۳۰ تصفیه شد. در این تحقیق با استفاده از میزان دوز ۴/۸۲ گرم بر لیتر از منعقد کننده راندمان حذف COD برابر با ۵۸/۲۸ درصد به دست آمد (۳۰). در تحقیقی دیگر که توسط طالبی و همکاران (۱۳۹۸) جهت تصفیه پساب صنایع غذایی به روش انعقاد شیمیایی انجام شد، راندمان حذف COD با استفاده از ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر پلی آلومینیوم کلراید به کمک ۵ میلی گرم بر لیتر پلی الکترولیت کاتیونی حدود ۸۲ درصد به دست آمد (۳۱). در مطالعه حاضر متناسب با شرایط شیمیایی و بیولوژیکی پساب با مصرف میزان بسیار کمتری از پلی آلومینیوم کلراید به غلظت ۷۵ میلی گرم بر لیتر، پساب به حد مجاز به منظور استفاده مجدد در بخش کشاورزی رسید. اضافه کردن مقادیر بیشتری منعقد کننده علاوه بر این‌که توجیه اقتصادی ندارد، می‌تواند باعث افزایش هدایت

الکتریکی شود و کیفیت پساب تصفیه شده را تحت تاثیر قرار داده و برای مصارف کشاورزی نامناسب کند.

**جدول ۵- میزان پارامترهای آلایندگی در پساب تصفیه شده توسط روش‌های مختلف**

Table 5. The amount of pollution parameters in the effluent treated by different methods

| روش | دترجنت (mg/lit) | کدورت (NTU) | BOD (mg/lit) | COD (mg/lit) |
|---|---|---|---|---|
| سولفات آلومینیوم | ۰/۶۹ | ۲۶ | ۱۰۳ | ۲۰۰ |
| پلی آلومینیوم کلراید | ۰/۵۲ | ۲۱/۲ | ۹۸ | ۱۸۰ |
| سولفات آلومینیوم+ پلی آلومینیوم کلراید | ۰/۶۱ | ۲۵/۵ | ۱۰۵ | ۱۹۱ |
| انعقاد الکتریکی | ۰/۸ | ۳۵ | ۱۰۱ | ۱۹۲ |

## نتیجه گیری

در این تحقیق روش انعقاد الکتریکی و شیمیایی برای تصفیه پساب حاصل از صنعت قارچ مورد استفاده قرار گرفت و تاثیر هر روش بر کاهش پارامترهای آلایندگی کدورت، دترجنت، COD و BOD بررسی و مقایسه شد.

در تصفیه به روش انعقاد الکتریکی، پارامترهای COD، BOD و کدورت در محدوده استاندارد قرار گرفت، اما میزان دترجنت در پساب به حد مجاز برای کشاورزی نرسید. در صورت استفاده از روش انعقاد الکتریکی نیاز است که آب خام به میزان مورد نیاز به پساب تصفیه شده اضافه شود تا مقدار دترجنت به حد استاندارد کاهش یابد، که این مستلزم صرف هزینه بیشتر برای تامین آب مورد نیاز است.

استفاده از روش انعقاد شیمیایی از نظر کاهش شاخص‌های آلودگی پساب عملکرد بهتری نسبت به انعقاد الکتریکی داشت. نتایج نشان داد در شرایط بهینه با استفاده از منعقد کننده پلی آلومینیوم کلراید و در حضور کمک منعقد کننده پلی الکترولیت آنیونی می‌توان پساب خروجی از کارخانه را به شرایط استاندارد مورد نیاز برای کشاورزی و آبیاری رساند. تصفیه موثر پساب و استفاده مجدد از آن در بخش پرورش قارچ و کمپوست سازی علاوه بر این‌که تا حد زیادی نیاز به آب خام ورودی را کاهش می‌دهد و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد، سبب رفع مشکلات ناشی از تخلیه پساب در محیط زیست نیز می‌شود.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از عوامل کارخانه کشت و صنعت ملارد به خصوص مرحوم دکتر حمید درخشانی، آقای مهندس میثم کیارش و سرکار خانم شهلا سلگی به خاطر همکاری و فراهم نمودن امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی قدردانی می‌نمایند.

## References

1. Bijari, M., Alimohammadi, Z., Younesi, H., Bahramifar, N., 2021, Investigation on the efficiency of activated carbon produced from grapes wood for the removal of reactive blue 19 and reactive red 198 dyes from aqueous solution- equilibrium and kinetic studies. Journal of Environmental Science and Technology, 23(1), pp. 129-143. (In Persian)
2. Katal, R., Zare, H., Rastegar, S.O., Mavaddat, P., Darzi, G.N., 2014, Removal of dye and chemical oxygen demand (COD) reduction from textile industrial wastewater using hybrid bioreactors. Environmental Engineering & Management Journal, 13(1), pp. 43-50.
3. Monazami Tehrani, G., Borgheipour, H., Nezampour, A., 2020, Reuse of varamin vegetable oils industry

wastewater by using IFAS method. Journal of Environmental Science and Technology, 22(3), pp. 119-132. (In Persian)

4. Katal, R., Zare, H., Rahmati, H.T., Darzi, G.N., 2012, Biosorption of zinc from aqueous solutions using dried activated sludge. Environmental Engineering and Management Journal, 11(4), pp. 857-865.
5. Falkenmark, M., 2013, Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 371(2002), pp. 1917-1920.
6. Miles, P.G., Chang, S.-T., 2004, Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. CRC press.
7. Atwater, J.W., Whalen, T., Dasika, R., 1998. Mushroom waste management project, liquid waste management. UBC Department of Civil Engineering.
8. Ghazouani, M., Akrout, H., Jellali, S., Bousselmi, L., 2019, Comparative study of electrochemical hybrid systems for the treatment of real wastewaters from agri-food activities. Science of the total environment, 647, pp. 1651-1664.
9. Teh, C.Y., Budiman, P.M., Shak, K.P.Y., Wu, T.Y., 2016, Recent advancement of coagulation–flocculation and its application in wastewater treatment. Industrial & Engineering Chemistry Research, 55(16), pp. 4363-4389.
10. Ziaefar, N., Khodaei, S., Talat-Mehrabad, J., Arjomandi Rad, F., 2020, Evaluation of optimization removal of methyl orange from aqueous solutions with Ag, $Co/TiO_2$ nano-particles by experimental design. Journal of Environmental Science and Technology, 22(5), pp. 303-311. (In Persian)
11. Taheriyoun, M., Memaripour, A., 2019, Evaluation of coagulation and flocculation process in removal of heavy metals from chemical wastewater of Mobarakeh Steel. Journal of Environmental Science and Technology, 21(6), pp. 46-60. (persian)
12. Bahrodin, M.B., Zaidi, N.S., Hussein, N., Sillanpää, M., Prasetyo, D.D., Syafiuddin, A., 2021, Recent advances on coagulation-based treatment of wastewater: Transition from chemical to natural coagulant. Current Pollution Reports, pp. 1-13.
13. Zhao, C., Zhou, J., Yan, Y., Yang, L., Xing, G., Li, H., Wu, P., Wang, M., Zheng, H., 2020, Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review. Science of The Total Environment, pp. 142795.
14. Hosseini, H., Azemati, A.-A., Mousavinia, M.R., 2019, Treatement of the wastewater from E-PVC unit in a petrochemical company using electrocoagulation method. Journal of Environmental Science and Technology, 21(1), pp. 57-69. (persian)
15. Jiang, J.-Q., 2015, The role of coagulation in water treatment. Current Opinion in Chemical Engineering, 8, pp. 36-44.
16. Chezeau, B., Boudriche, L., Vial, C., Boudjemaa, A., 2020, Treatment of dairy wastewater by electrocoagulation process: Advantages of combined iron/aluminum electrodes. Separation

Science and Technology, 55(14), pp. 2510-2527.

17. Martín-Domínguez, A., Rivera-Huerta, M.d.L., Pérez-Castrejón, S., Garrido-Hoyos, S.E., Villegas-Mendoza, I.E., Gelover-Santiago, S.L., Drogui, P., Buelna, G., 2018, Chromium removal from drinking water by redox-assisted coagulation: Chemical versus electrocoagulation. Separation and Purification Technology, 200, pp. 266-272.
18. Chao, H.J., Zhang, X., Wang, W., Li, D., Ren, Y., Kang, J., Liu, D., 2020, Evaluation of carboxymethylpullulan-$AlCl_3$ as a coagulant for water treatment: A case study with kaolin. Water Environment Research, 92(2), pp. 302-309.
19. Zhang, Y., Shen, Y., 2019, Wastewater irrigation: past, present, and future. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 6(3), pp. 1-6.
20. 20. Jaramillo, M.F., Restrepo, I., 2017, Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. Sustainability, 9(10), pp. 1734.
21. Jiménez, B., 2006, Irrigation in developing countries using wastewater. International Review for Environmental Strategies, 6(2), pp. 229-250.
22. Kashani, S.A., Ali, I., Hasni, M.S., Asrar, M., Ahmad, J., Shahzad, M.Z., The price to pay for treated wastewater: an evaluation of water pricing scenarios in the Jordan Valley. Environmental Sciences and Ecology: Current Research, 2(1), pp. 1-4.
23. Lin, S., Chan, H., Leu, H., 2000, Treatment of wastewater effluent from an industrial park for agricultural irrigation. Desalination, 128(3), pp. 257-267.
24. Teh, C.Y., Wu, T.Y., Juan, J.C., 2014, Optimization of agro-industrial wastewater treatment using unmodified rice starch as a natural coagulant. Industrial Crops and Products, 56, pp. 17-26.
25. Mateus, A., Torres, J., Marimon-Bolivar, W., Pulgarin, L., 2021, Implementation of magnetic bentonite in food industry wastewater treatment for reuse in agricultural irrigation. Water Resources and Industry, pp. 100154.
26. Baird, R.B., Eaton, A.D., Rice, E.W., Bridgewater, L., 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. American Public Health Association Washington, DC.
27. Hashemzadeh, F., Borghei, S.M., 2021, Study on application of electrocoagulation process to remove heavy metals lead, cadmium and chromium from water. Journal of Environmental Science and Technology, 23(4), pp. 213-224. (In Persian)
28. Bolto, B., Gregory, J., 2007, Organic polyelectrolytes in water treatment. Water research, 41(11), pp. 2301-2324.
29. Chalkesh Amiri, M., 1397. Principle of Water Treatment. 2nd ed. Arkan Danesh. (In Persian)
30. Ritigala, T., Demissie, H., Chen, Y., Zheng, J., Zheng, L., Zhu, J., Fan, H., Li, J., Wang, D., Weragoda, S.K., 2021, Optimized pre-treatment of high strength food waste digestate by high content aluminum-nanocluster based magnetic coagulation. Journal of Environmental Sciences, 104, pp. 430-443.

31. Zareimahmoudabady, T., Talebi, P., Ehrampoush, M.H., Jalili, M., 2019, Optimization of coagulation and flocculation process in wastewater treatment of the food industry: A laboratory study. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences, 18(7), pp. 623-636. (In Persian)