



## Pretreatment of Olive oil Wastewater by Coagulation-Flocculation Method and Xanthan Production

R. Hasani<sup>1\*</sup>, A. Hosseinejad<sup>2</sup>, H. Kariminia<sup>3</sup>

1- M. Sc. in Chemical Engineering, Tehran Sewage Company

2- Ph. D. in Energy Systems Engineering, Sharif University of Technology

3- Associate Professor of Chemical Engineering, Sharif University of Technology

Email: tshasani67@tpww.co.ir

### Abstract

*In this research, the production of xanthan biopolymer in two substrates of olive mill wastewater (OMW) and pre-treated OMW by coagulation-flocculation methods was investigated. Aluminum, iron ions, and lime have been used as coagulants. The use of 4 g/L FeCl<sub>3</sub> has caused the highest removal efficiency of COD and PPH about 24 and 31% respectively. Considering the reasonable price of lime and its effect in creating alkalinity the combination of various coagulants with lime was also investigated. The results show that the combination increases the pollutant removal efficiency by two folds and also reduces the amount of coagulant consumption. For example, the combination of 4 g/L of lime with 3 g/L of FeCl<sub>3</sub> removes 48 and 65 percent of COD and PPH, respectively. In order to investigate the effect of reducing the concentration of PPH on the xanthan production, the growth of the microorganism Xanthomonas campestris and the production of xanthan in different concentrations of raw OMW and pre-treated OMW were investigated. The results show that the pre-treatment process increases the xanthan production. So that the maximum amount of xanthan produced in raw OMW at the concentration of 40% is equal to 4 g/L, and this much in pre-treated OMW is 13 g/L at a concentration of 70%. Therefore, the use of pre-treatment methods and the reduction of toxic biological compounds in OMW, in addition to the significant increase in the amount of xanthan produced, also leads to a decrease in the dilution of the wastewater.*

Received: 25 January 2023

Accepted: 15 March 2023

Page Number: 126-139

### Keywords:

Olive Wastewater,  
Xanthan,  
Pretreatment,  
Xanthomonas Campestris,  
Coagulation and  
Flocculation

### Please Cite this Article Using:

Hasani, R., Hosseinejad, A., Kariminia, H. (2024). Pretreatment of Olive oil Wastewater by Coagulation-Flocculation Method and Xanthan Production. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 22(131), 126-139, [In Persian].



## پیش تصفیه پساب روغن زیتون با روش انعقاد و لخته‌سازی و تولید زانتان

ریحانه حسنی<sup>۱\*</sup>، احمد حسین نژاد<sup>۲</sup>، حمیدرضا کریمی نیا<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، شرکت فاضلاب تهران

۲- دکتری سیستم های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف

۳- دانشیار مهندسی شیمی، بیوتکنولوژی، دانشگاه صنعتی شریف

پیام نگار: tshasani67@tpww.co.ir

### چکیده

در این پژوهش تولید بیوپلیمر زانتان در دو سوبسترای پساب خام کارخانه‌های روغن زیتون و پساب پیش‌تصفیه‌شده با روش انعقاد و لخته‌سازی بررسی شد. یون‌های آلومینیوم و آهن و آهک به‌عنوان منعقدکننده کاهش بار آلاینده‌های موجود در این پساب به کار رفت. بیشترین میزان حذف COD و PPH به ترتیب ۲۴ و ۳۱ درصد در استفاده از ۴ گرم بر لیتر کلرورفریک حاصل شد. با توجه به قیمت مناسب آهک و تأثیر آن در ایجاد قلیائیت مورد نیاز سایر منعقدکننده‌ها، ترکیب منعقدکننده‌های مختلف با آهک نیز بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب آن‌ها با آهک علاوه بر افزایش ۲ برابری بازده حذف آلاینده‌ها، موجب کاهش میزان مصرف منعقدکننده نیز می‌شود. برای نمونه؛ ترکیب ۴ گرم بر لیتر آهک با ۳ گرم بر لیتر کلرورفریک موجب حذف ۴۸ و ۶۵ درصدی COD و PPH (به ترتیب) می‌شود. برای بررسی تأثیر کاهش غلظت PPH بر تولید زانتان، ابتدا رشد میکروب زانتوموناس کمپستریس و تولید زانتان در غلظت‌های مختلف پساب خام و سپس پساب پیش‌تصفیه شده بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که فرایند پیش‌تصفیه موجب افزایش تولید زانتان می‌شود؛ به طوری که بیشترین میزان زانتان تولیدی در پساب خام در غلظت ۴۰ درصد، معادل ۴ گرم در لیتر و در پساب تصفیه‌شده در غلظت ۷۰ درصدی و به میزان ۱۳ گرم در لیتر است. بنابراین استفاده از روش‌های پیش‌تصفیه و کاهش ترکیبات سمی زیستی پساب زیتون، علاوه بر افزایش چشم‌گیر میزان زانتان تولیدی، منجر به کاهش میزان رقیق‌سازی پساب نیز می‌شود.

### کلیدواژه‌ها:

پساب زیتون،  
زانتان،  
پیش‌تصفیه،  
زانتوموناس کمپستریس،  
انعقاد و لخته‌سازی

\* تهران، شرکت فاضلاب تهران، کارشناس حوزه معاونت فنی و توسعه

استناد به مقاله:

حسنى، ریحانه، حسین نژاد، احمد، و کریمی نیا حمیدرضا. (۱۴۰۲). پیش‌تصفیه پساب روغن زیتون با روش انعقاد و لخته‌سازی و تولید زانتان، نشریه مهندسی شیمی ایران، ۲۲(۱۳۱)، ۱۲۶-۱۳۹.

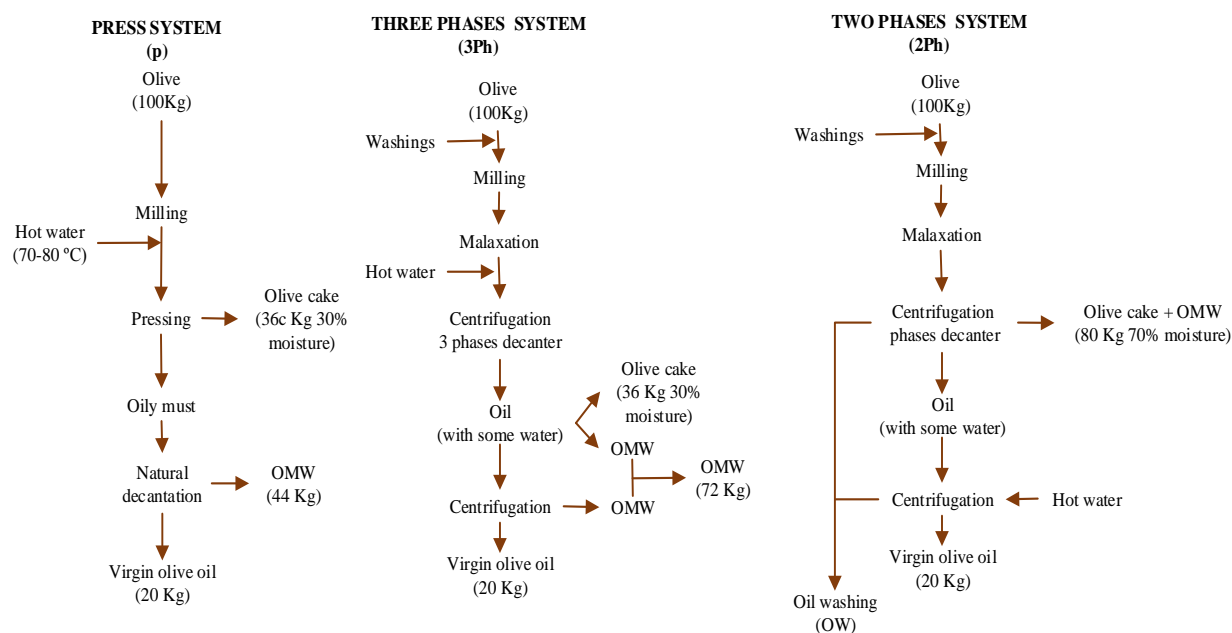
## ۱. مقدمه

پسماند کارخانه‌های تولید روغن زیتون، بسته به نوع فرایند روغن‌کشی، می‌تواند به دو صورت مایع و جامد تولید شود. بخش مایع آن شامل آب میوه زیتون، آب خنک‌کننده ماشین‌آلات، آب مورد نیاز در فرایند روغن‌کشی و شست‌وشوی میوه است [۱]. بخش جامد آن شامل گوشت، پوست و هسته زیتون به‌اضافه آب همراه با آن است [۲]. سه روش در استخراج روغن زیتون وجود دارد که برمبنای فرایندهای پرسشی و سانتریفوژی است. روش پرسشی قدیمی‌ترین روش و به‌صورت ناپیوسته<sup>۱</sup> است. روش سانتریفوژی برمبنای تعداد فاز محصولات تولیدی به دو دسته دوفازی و سه‌فازی تقسیم می‌شود. محصولات روش دوفازی، روغن و پسماند نیمه‌جامد و محصولات روش سه‌فازی، روغن، کیک جامد و پساب زیتون<sup>۲</sup> (OMW) است. شکل (۱) فرایند روغن‌کشی از هر یک از این روش‌ها را نشان می‌دهد. محصولات تولیدی هریک از این روش‌ها مقدار و کیفیت متفاوتی دارد [۳].

ترکیبات اصلی پسماند زیتون غیر از آب، شامل پلی‌فنل‌ها، قندها و اسیدهای آلی است. به‌علاوه در این پسماند مقادیر ناچیزی از پتاسیم، فسفر، سدیم، کلسیم و نمک‌های معدنی دیگر نیز وجود

دارد [۴]. کیفیت پسماندهای حاصل از روغن‌کشی به مشخصه‌های مختلفی از جمله نوع زیتون، میزان رسیدگی میوه، نحوه ذخیره‌سازی و نوع فرایند روغن‌کشی وابسته است، بنابراین مقادیر ترکیبات موجود در این پسماندها دامنه بسیار گسترده‌ای دارد [۳]. برای مثال اکسیژن‌خواهی زیستی<sup>۳</sup> (BOD) در برخی پساب‌ها به بالای ۱۰۰ گرم بر لیتر، اکسیژن‌خواهی شیمیایی<sup>۴</sup> (COD) به بالای ۲۰۰ گرم در لیتر و ترکیبات پلی‌فنلی<sup>۵</sup> (PPH) به بالای ۱۵ گرم لیتر می‌رسد [۵].

مدیریت پساب‌های خروجی از کارخانه‌های تولید روغن زیتون یکی از دغدغه‌های زیست‌محیطی مهم در کشورهای مدیترانه و برخی کشورهای اروپایی است که تولیدکنندگان اصلی روغن زیتون هستند. حجم بالای پساب تولیدی از این کارخانه‌ها، ترکیبات پیچیده موجود در پساب و تأثیرات سمی پساب تصفیه‌نشده بر محیط زیست (آب و خاک)، موجب اهمیت بیش‌ازپیش تصفیه و پیش‌تصفیه این پساب شده است [۶]. در ایران نیز گسترش کارخانه‌های روغن زیتون و به‌تبع آن گسترش میزان پساب تولیدی، موجب توجه به روش‌های تصفیه این پساب در دهه‌های اخیر شده است [۷].



شکل ۱. مراحل استخراج روغن زیتون [۲].

Figure 1. Steps of olive oil extraction [2].

1. Batch  
4. Chemical Oxygen Demand (COD)

2. Olive Mill Wastewater  
5. Polyphenolic (PPH)

3. Biological Oxygen Demand (BOD)

زانتان یک پلی‌ساکارید بسیار پرکاربرد در صنایع غذایی و دارویی است. گران‌روی بالای زانتان موجب استفاده از آن به‌عنوان پایدارکنندهٔ امولسیون‌ها و سوسپانسیون‌ها در صنایع غذایی و دارویی شده است. همچنین از آن در صنایع آرایشی، لعاب روی سرامیک، خمیر چاپ روی پارچه، پوشش‌های نسوز، تولید ضدزنگ و گل حفاری چاه نفت استفاده می‌شود. لازم به توضیح است که در گذشته زانتان از برخی گیاهان و جلبک‌ها استخراج می‌شد، ولی بعدها با موفقیت در استخراج زانتان تولیدی با گونه‌های مختلف ریزاندامگان زانتوموناس، این روش کاملاً جای‌گزین روش‌های قدیمی شده است. بخش چشم‌گیر هزینه‌های تولید زانتان به سوبسترای مصرفی آن وابسته است؛ لذا از برتری‌های استفاده از سوبستراهای حاصل از پسماندها (شامل پساب‌های صنایع غذایی، پسماندهای کشاورزی و غیره) می‌توان به کاهش قیمت تمام‌شدهٔ محصول اشاره کرد. لازم به ذکر است که بازده تولید زانتان از سوبستراهای سنتزی و گران‌قیمت، بیشتر است؛ لذا بررسی راهکارهای افزایش بازده تولید زانتان از سوبستراهای حاصل از پسماندها، سالیان متوالی زمینهٔ توجه محققان بوده است.

در مجموعهٔ تحقیق‌های لوپز، عوامل مختلفی همچون تأثیر ذخیره‌سازی پساب زیتون، استفاده از گونه‌های مختلف ریزاندامگان زانتوموناس و استفاده از منابع مختلف نیتروژنی، در میزان زانتان تولیدی بررسی شده است. نتایج این تحقیق‌ها حاکی از آن است که اضافه‌کردن منبع نیتروژنی مناسب، کاهش ترکیبات سمی زیستی مانند پلی‌فنل‌ها و حفظ pH مناسب در پساب زیتون، موجب افزایش رشد ریزاندامگان‌های زانتوموناس و افزایش تولید بیوپلیمر زانتان می‌شود. بیشترین میزان زانتان تولیدی در نمونهٔ پساب خام در غلظت ۳۰-۴۰ درصد (معادل ۳۰-۴۰ درصد پساب خام رقیق شده با ۶۰-۷۰ درصد آب رقیق‌ساز) و حدود ۴/۴ گرم بر لیتر گزارش شده است. مقایسهٔ رشد ریزاندامگان‌ها و زانتان تولیدی در نمونهٔ پساب خام و نمونهٔ پساب ذخیره‌شده نشان می‌دهد که با ذخیره‌سازی پساب زیتون قبل از استفاده، بخشی از ترکیبات موجود در آن دچار تخریب و تجزیهٔ زیستی می‌شود و ترکیبات یک نمونهٔ پساب ذخیره‌شده با پساب تازهٔ همان نمونه، متفاوت می‌شود. این فرایند زیستی خودبه‌خودی، از طرفی موجب کاهش برخی ترکیبات پلی‌فنلی می‌شود و شرایط رشد ریزاندامگان را در پساب

لازم به توضیح است که دلایلی از جمله، بار آلی بالا، تولید فصلی، پراکندگی زیاد محل‌های تولید، وجود ترکیبات پیچیده و سخت‌تجزیه‌پذیر (مانند اسیدهای چرب بلندزنجیره و پلی‌فنل‌ها)، سمیت زیستی برخی از این ترکیبات و تأثیر آن‌ها در کاهش سرعت رشد ریزاندامگان در فرایندهای بیولوژیک، تصفیهٔ پساب زیتون را دشوار می‌سازد [۸]. بنابراین تخلیهٔ پساب‌های تصفیه‌نشده به محیط زیست و یا ذخیرهٔ آن‌ها در استخرهای تبخیری از روش‌های معمول تولیدکنندگان، در مدیریت این نوع پساب است. در این روش‌ها گاهی از مواد منعقدکننده مانند آهک نیز استفاده می‌شود که علاوه بر افزایش هزینه‌ها، با بازده کم و مشکلات دفع لجن همراه است. همچنین در برخی شرایط آب و هوایی ممکن است تبخیر کافی صورت نپذیرد و فرایند تخمیر لایه‌های زیرین موجب تولید بیوگاز و انتشار بوی نامطبوع ناشی از ترکیبات آن در محیط شود [۹].

تا کنون روش‌های مختلفی برای کاهش بار آلی پساب زیتون بررسی شده است؛ از جمله حذف زیستی (فرایندهای هوازی و بی‌هوازی)، اکسایش پیشرفته (مانند اوزون زنی، اکسایش الکترو شیمیایی، اکسایش با معرف فنتون)، فرایندهای الکتروشیمیایی، فیلتراسیون، استفاده از جاذب‌ها (مانند خاک رس، کربن فعال) و انعقاد و لخته‌سازی [۹، ۱۰] در کنار روش‌های تصفیهٔ پساب و کاهش تأثیرات مخرب آن بر محیط زیست، استفاده از تنوع بالای ترکیبات آلی موجود در این پساب به‌عنوان سوبسترای جای‌گزین و ارزان‌قیمت، برای رشد ریزاندامگان مفید و تولید محصولات جانبی آن‌ها همچون آنزیم‌ها، ترکیبات فعال سطحی، پلیمرهای زیستی مختلف و غیره طرفدار پیدا کرده است. در سال‌های اخیر نیز تحقیقات بیشتر بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات پلی‌فنلی موجود در پساب و استخراج آن‌ها برای استفاده در صنایع مختلف از جمله صنایع دارویی متمرکز شده است. نکتهٔ قابل توجه این است که اکثر این تحقیقات در مرحلهٔ آزمایشگاهی است و به سطح صنعتی و تولیدی نرسیده است [۱۱-۱۴].

لوپز و همکاران<sup>۱</sup> تولید پلیمر زیستی زانتان حاصل از رشد و تکثیر ریزاندامگان زانتوموناس کمپستریس<sup>۲</sup> را در سوبسترای غلظت‌های گوناگون چند نمونهٔ مختلف از پساب زیتون بررسی کرده‌اند [۳].

1. Lopez et al.  
2. Xanthomonas Campestris

تسهیل می‌کند. از دیگر سو، موجب کاهش برخی ترکیبات آلی مفیدی که می‌توانند خوراک مناسبی برای ریزاندامگان باشند، می‌شود [۱،۳]. بدین ترتیب استفاده از روش‌های پیش‌تصفیه مناسب و کاهش ترکیبات پلی‌فنلی و بررسی تأثیر آن در رشد ریزاندامگان زانتوموناس و تولید بیوپلیمر زانتان، ایده اولیه این پژوهش شد. برای انتخاب روشی مناسب در پیش‌تصفیه پساب زیتون، نتایج مطالعات پیشین بررسی شد؛ این نتایج نشان می‌دهد که برخی از روش‌ها با کاهش ترکیبات آلی و مواد معلق پیچیده، موجب کاهش سمیت زیستی پساب می‌شود. برای نمونه جوآنی و همکاران<sup>۱</sup> فرایند تصفیه زیستی پساب را به‌همراه فرایند انعقاد و لخته‌سازی به‌وسیله آهک بررسی کردند [۵] و بکاری و همکاران<sup>۲</sup> تأثیر استفاده از آهک را به‌عنوان منعقدکننده، جذب به‌وسیله بنتونیت و درنهایت تصفیه بی‌هوازی پساب بررسی کردند [۱۵]. هم‌چنین آندرس و همکاران<sup>۳</sup> تأثیر آهک و یون‌های آلومینیوم، منیزیم و آهن و هم‌چنین پلی‌الکترولیت‌های کاتیونیک و آنیونیک را بر کاهش ترکیبات کربنی، مواد معلق و ترکیبات فنلی پساب زیتون بررسی کردند [۹].

در تحقیق‌های بالا، با آن‌که نمونه‌های پساب آزمایش‌شده، کیفیت‌های مختلفی داشته، کلیه روش‌های تصفیه‌ای مورد استفاده، موجب کاهش بار آلی و به‌تبع آن کاهش ترکیبات پلی‌فنلی موجود در نمونه‌های پساب شده است. از آنجایی که هدف از این پژوهش استفاده از روش‌های ارزان‌قیمت و در دسترس است، لذا فرایند انعقاد و لخته‌سازی به‌عنوان روش پیش‌تصفیه انتخاب شده است. چند ماده منعقدکننده مختلف و ترکیب آن‌ها، برای انتخاب مناسب‌ترین ترکیب منعقدکننده، بررسی شده و درنهایت تغییرات تولید زانتان در پساب تصفیه‌شده به‌وسیله منعقدکننده منتخب با زانتان تولیدی در پساب خام مقایسه شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱ ریزاندامگان و مواد شیمیایی

در این تحقیق باکتری *Zantomonas* کمپستریس با کد ۱۴۳۷ (Xanthomonas .Campestris NRRL 1437) از بانک میکروبی دانشگاه صنعتی شریف تهیه شده است. باکتری مورد نظر از بانک

نگهداری طولانی‌مدت تهیه و به‌صورت کوتاه‌مدت، درون لوله‌های شیشه‌ای حاوی واسط جامد (YMA<sup>۴</sup>) به‌مدت ۲۰-۱۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس کشت، سپس در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شده است. در این نوع نگهداری، برای جلوگیری از فساد، باکتری‌ها هر ۱۴ روز یک بار در محیط جدید کشت شده‌اند [۱۶].

مواد شیمیایی مصرفی در این تحقیق شامل کلسیم هیدروکسید (Ca(OH)<sub>2</sub>)، آلومینیوم سولفات (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>)، کلرید آهن (FeCl<sub>3</sub>)، سولفات آهن (FeSO<sub>4</sub>)، کلرید پتاسیم (KCl)، کلرید آمونیوم (NH<sub>4</sub>Cl)، ایزوپروپانول (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O)، فولین سئوکالتیو (C<sub>10</sub>H<sub>5</sub>NaO<sub>5</sub>S)، محیط کشت YMA<sup>۵</sup> و YMB، سود (NaOH)، هیدروکلریک اسید (HCl)، سولفوریک اسید (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ۹۷٪، دی‌کرومات پتاسیم (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)، پتاسیم هیدروژن فالات (C<sub>8</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>4</sub>)، دی‌اتیل اتر ((C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>O) و متانول (CH<sub>3</sub>OH) بوده است. کلیه نمک‌های مصرفی، محصول شرکت MERCK است.

### ۲-۲ مشخصات پساب

پساب مورد استفاده در این تحقیق از مخازن ذخیره پساب شرکت آریازیتون گیلان حدود ۵ ماه پس از تولید، دریافت شده است. فرایند روغن‌کشی در این کارخانه به‌صورت سانتریفوژی سه‌فازی است و پساب در مخازن به‌صورت کاملاً مخلوط‌شده و همگن نگهداری شده است. مقادیر متوسط COD و TSS و PPH موجود در این نمونه پساب به ترتیب معادل ۱۱۵۶۳ و ۱۶۹۰ و ۸۹۵ میلی‌گرم بر لیتر است. نمونه پساب همواره pH اسیدی معادل ۵ داشته است.

### ۲-۳ رشد میکروبی و آماده‌سازی مایع تلقیح

برای آماده‌سازی محیط کشت نگهداری کوتاه‌مدت میکروبی، ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت YMA که حاوی ۵ گرم پپتون، ۱۰ گرم گلوکوز، ۱۵ گرم آگار، ۳ گرم مخمر و ۳ گرم مالت در هر لیتر بوده، تهیه شد و تا رسیدن به نقطه جوش، حرارت داده شد و به لوله‌های آزمایش انتقال یافت. اسلنت‌ها پس از طی فرایند استریل در محیط اتوکلاو در دمای محیط خنک می‌شود و حالت جامد به‌خود می‌گیرد. برای رشد میکروبی، در شرایط استریل، یک لوپ از میکروبی به‌سطح سوبسترای آماده‌شده آغشته شد و به‌مدت

1. Jaouani et al.  
2. Beccari et al.  
3. Andreas et al.

4. Yeast Malt Agar  
5. Yeast Malt Broth

در بشرهای یک لیتری ریخته و مقادیر مختلفی از منعقدکننده‌ها به تنهایی و یا ترکیب آن‌ها با آهک، به آن اضافه شد. در هر بشر، زمان اختلاط سریع ۱ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه، زمان اختلاط کند ۳۰ دقیقه با سرعت ۸۰ دور در دقیقه و زمان استراحت نیز ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. در جدول (۱) نوع و غلظت منعقدکننده مورد استفاده در هر نمونه آزمایش ارائه شده است. پس از استفاده از مواد منعقدکننده مختلف و آنالیز مشخصات پساب‌های تصفیه شده، پساب‌هایی که کیفیت بهتری داشتند، برای رشد میکروب و تولید زانتان، انتخاب شدند. سپس پساب‌های منتخب با استفاده از سرم (آب مقطری که به اندازه ۰/۹ درصد نمک سدیم کلرید به آن اضافه شده است)، رقیق‌سازی شدند و غلظت‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد از پساب‌های تصفیه شده و هم‌چنین غلظت‌های ۱۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد از پساب خام، تهیه و آماده رشد میکروب شد.

۲۴ ساعت در دمای ۲۸ درجه سلسیوس در انکوباتور قرار گرفت. به منظور تهیه میکروب فعال در طول دوره آزمایش‌ها، این مراحل هر دو هفته، یک بار انجام و محیط جدید تهیه شد.

برای آماده‌سازی مایع تلقیح، ۱۰۰ میلی لیتر محیط مایع YMB حاوی ۵ گرم پپتون، ۱۰ گرم گلوکوز، ۳ گرم مخمر و ۳ گرم مالت در هر لیتر تهیه و در اتوکلاو استریل شد. هر بار از اسلنت میکروبی تهیه شده به اندازه یک لوپ، میکروب به محیط مایع منتقل و به مدت ۲۴ ساعت با سرعت ۲۰۰ دور در هر دقیقه در دمای ۳۰ درجه سلسیوس درون انکوباتور قرار داده شد.

## ۴-۲ روش آزمایش‌ها

### ۴-۲-۱ آزمایش‌های انعقاد و لخته‌سازی

از چهار ماده کلسیم هیدروکسید ( $\text{Ca(OH)}_2$ )، آلومینیوم سولفات ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )، کلرید آهن ( $\text{FeCl}_3$ ) و سولفات آهن ( $\text{FeSO}_4$ ) به عنوان مواد منعقدکننده استفاده شده است. در هر آزمایش، ۰/۵ لیتر پساب

جدول ۱. غلظت و نوع منعقدکننده مورد استفاده در نمونه‌های مختلف آزمایش شده.

Table 1. Concentration and type of coagulant used in different tested samples.

Test NO.	Coagulant NO. 1	Dose (g/L)	Coagulant NO. 2	Dose (g/L)
NO. (1)	$\text{FeSO}_4$	2	-	
NO. (2)	$\text{FeSO}_4$	4	-	
NO. (3)	$\text{FeSO}_4$	1	Lime	4
NO. (4)	$\text{FeSO}_4$	2	Lime	4
NO. (5)	$\text{FeSO}_4$	3	Lime	4
NO. (6)	$\text{FeCl}_3$	2	-	
NO. (7)	$\text{FeCl}_3$	4	-	
NO. (8)	$\text{FeCl}_3$	1	Lime	4
NO. (9)	$\text{FeCl}_3$	2	Lime	4
NO. (10)	$\text{FeCl}_3$	3	Lime	4
NO. (11)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	2	-	
NO. (12)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	4	-	
NO. (13)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1	Lime	4
NO. (14)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	2	Lime	4
NO. (15)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	3	Lime	4
NO. (16)	Lime	2	-	
NO. (17)	Lime	4	-	
NO. (18)	Lime	10	-	

و اندازه‌گیری زانتان تولیدی، مقداری از محلول بالای با دو برابر حجمی ایزوپروپانول و ۱ درصد وزنی حجمی پتاسیم کلرید، مخلوط و درون لوله‌های پلاستیکی وزن شده، در دمای ۴ درجه قرار داده شد. سپس به مدت ۵۰ دقیقه سانتریفوژ شد و مطابق با مراحل بالا جامدات خشک‌شده و وزن جدید لوله‌ها ثبت شد و از فرمول زیر مقدار سلول و زانتان تولیدی به دست آمد.

$$\text{Xanthan or Cell (g/L)} = (M_2 - M_1) / V \quad (1)$$

- $M_1$ : وزن لوله خالی (g)
- $M_2$ : وزن لوله حاوی جامد خشک‌شده (g)
- $V$ : حجمی از محلول که درون لوله ریخته شد (L)

#### ۴. بررسی و تحلیل نتایج

##### ۴-۱ پیش تصفیه پساب با روش انعقاد و لخته‌سازی

آزمایش‌های اولیه برای بررسی تأثیر منعقدکننده‌های مختلف در حذف ترکیبات پلی‌فنلی، COD و TS انجام شد. شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب تأثیر استفاده از ۲ گرم بر لیتر و ۴ گرم بر لیتر از منعقدکننده‌های مختلف را در حذف آلاینده‌های پساب زیتون و تغییرات pH پساب نشان می‌دهد.

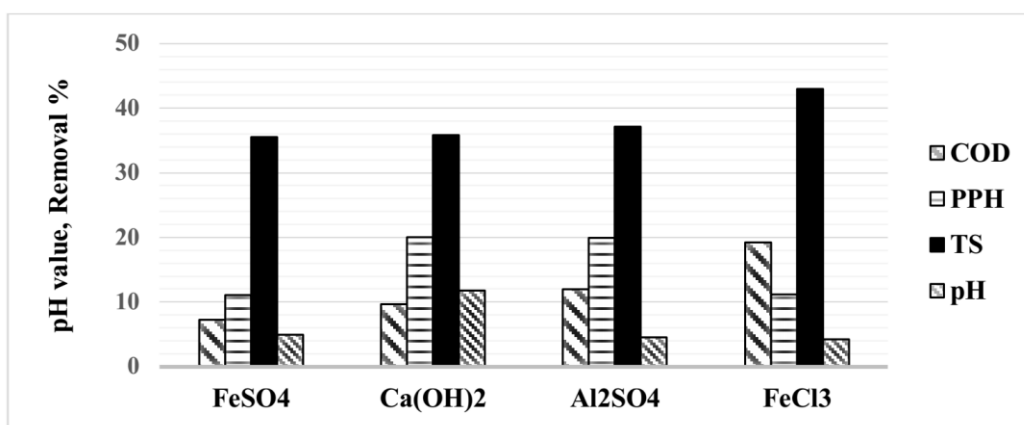
##### ۲-۴-۲ آزمایش تولید زانتان و رشد میکروبی در پساب

برای رشد میکروب به صورت هوازی، به ۹۰ میلی‌لیتر از هر یک از نمونه‌های مختلف پساب، ۰/۱۲۵ درصد وزنی/حجمی آمونیوم کلرید اضافه و به ارلن‌های ۵۰۰ میلی‌لیتری منتقل و سپس استریل شد. سپس به هر ارلن، ۱۰ میلی‌لیتر از مایع تلقیح، اضافه و به مدت ۶ روز به انکوباتور شیکردار با سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه و دمای ۳۰ درجه منتقل شد. پس از گذشت ۶ روز و طی کلیه مراحل اندازه‌گیری، ارلن‌ها در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد.

##### ۳. اندازه‌گیری‌ها

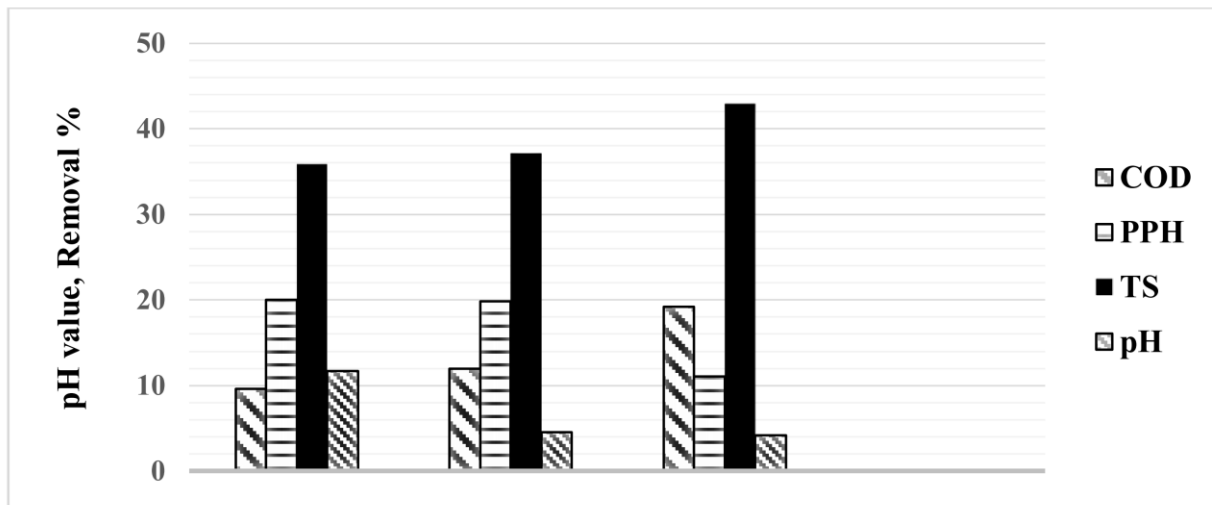
برای اندازه‌گیری COD, TSS, TS، نیترات و چربی کل از روش‌های استاندارد<sup>۱</sup> و برای اندازه‌گیری ترکیبات پلی‌فنل موجود در پساب از روش فولین سیوکالتیو استفاده شد [۱۷]. کمیت pH توسط pH متر (Metrohm pH meter) اندازه‌گیری شد.

زانتان به صورت محلول است؛ ولی میکروب‌ها به صورت جامد و معلق هستند. برای جداسازی و اندازه‌گیری جرم سلولی، نمونه مورد نظر به لوله‌های پلاستیکی درداری که استریل و وزن شده‌اند، منتقل و به مدت ۵۰ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ با سرعت حدود ۲۰۰۰ برابر گرانش، سانتریفوژ شد. سپس محلول بالای با پیپت جدا و محتویات جامد باقی‌مانده، همراه لوله‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس خشک و وزن لوله‌ها از نو اندازه‌گیری شد. برای جداسازی



شکل ۲. بازده حذف COD, PPH, TS پساب زیتون با استفاده از منعقدکننده‌های مختلف در غلظت ۲ گرم در لیتر.

Figure 2. Removal efficiency of various coagulants at concentration of 2 g/L for COD, PPH, TS and pH values after separation of OMW sample.



شکل ۳. بازده حذف COD، PPH، TS و تغییرات pH پساب زیتون با استفاده از منعقدکننده‌های مختلف در غلظت ۴ گرم در لیتر

Figure 3. Removal efficiency of various coagulants at concentration of 4 g/L for COD, PPH, TS and pH values after separation of OMW sample.

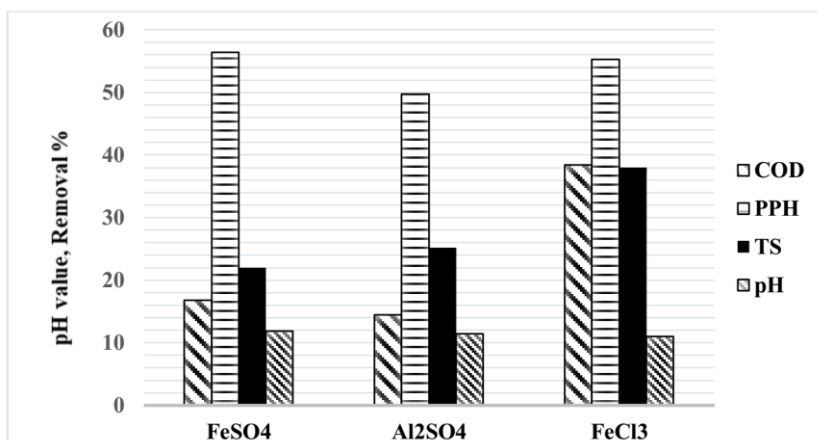
COD تا حدود ۲۰ درصد می‌شود و در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر آهک میزان حذف ترکیبات پلی‌فنل و COD به ترتیب حدود ۵۵ و ۲۴ درصد می‌شود. همان‌طور که مشخص است، در افزایش میزان آهک تا ۴ گرم بر لیتر، میزان افزایش بازده حذف آلاینده‌ها بالاست، ولی با وجود افزایش ۲/۵ برابری میزان آهک مصرفی در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر، تغییر چندانی در افزایش میزان حذف آلاینده‌های مورد نظر ایجاد نشده است. در این حال که میزان لجن ته‌نشین شده بیش از حد افزایش می‌یابد. بنابراین به نظر می‌رسد که غلظت بهینه آهک در حذف آلاینده‌های مورد نظر در این نمونه پساب زیتون، ۴ گرم بر لیتر است و استفاده بیش از این مقدار از آهک تنها موجب افزایش هزینه و لجن تولیدی می‌شود. جوانی و همکاران در پژوهش‌های خود گزارش کرده‌اند که مقادیر بهینه‌ای از غلظت منعقدکننده‌ها در حذف آلاینده‌ها وجود دارد و افزایش غلظت به بیش از این مقادیر، موجب توقف حذف آلاینده‌ها و یا کاهش سرعت آن‌ها به دلیل ایجاد کلوئیدهای تثبیت شده، می‌شود [۵].

باتوجه به نتایج مثبت استفاده از آهک در حذف آلاینده‌های پلی‌فنلی، در آزمایش‌های بعدی ترکیب غلظت‌های مختلف ۱ و ۲ و ۳ گرم بر لیتر از منعقدکننده‌های آلوم و ترکیبات آهن با ۴ گرم بر لیتر آهک، آزمایش شد که نتایج آن در شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است.

مطابق شکل (۲) بیشترین درصد حذف پلی‌فنل‌ها در استفاده از آهک و آلوم است که حدود ۲۰ درصد از این آلاینده را حذف می‌کند؛ اما در حذف COD، Fe(III) بیشترین بازده (حدود ۲۰ درصد) را دارد. با افزایش میزان منعقدکننده‌ها به دو برابر (۴ گرم بر لیتر)، هم‌چنان آهک موجب بالاترین میزان حذف پلی‌فنل (حدود ۴۸ درصد) و Fe(III) بیشترین حذف COD (حدود ۲۴ درصد) شده است. همین موضوع منجر به توجه به تأثیر آهک در حذف پلی‌فنل‌های پساب زیتون که عامل اصلی سمیت بیولوژیک این پساب هستند، شد.

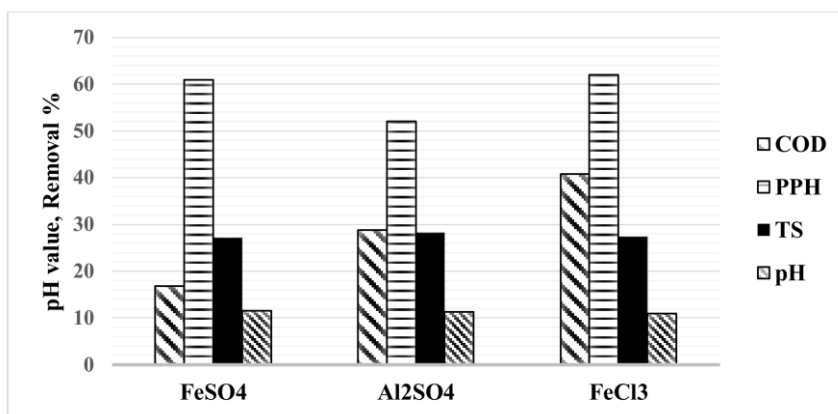
آهک نسبت به سایر منعقدکننده‌های استفاده شده در این آزمایش از قیمت مناسب‌تری برخوردار و همواره در دسترس است و باتوجه به یکی از اهداف این پژوهش که ارزان‌سازی فرایند تصفیه پساب و تولید زانتان است، از این منعقدکننده به‌طور ویژه استفاده شد. بنابراین میزان حذف COD و PPH در غلظت‌های مختلف ۲، ۴، ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر آهک، بررسی شد. لازم به توضیح است که غلظت‌های کمتر از ۲ میلی‌گرم بر لیتر تأثیر چندانی بر حذف ترکیبات آلاینده نداشته است. نتایج حاکی از آن است که استفاده از ۲ گرم بر لیتر آهک موجب حذف ۱۰ و ۲۰ درصدی COD و PPH (به ترتیب) می‌شود و افزایش میزان آهک مصرفی تا ۴ گرم بر لیتر موجب افزایش بازده حذف PPH تا حدود ۴۸ درصدی و حذف





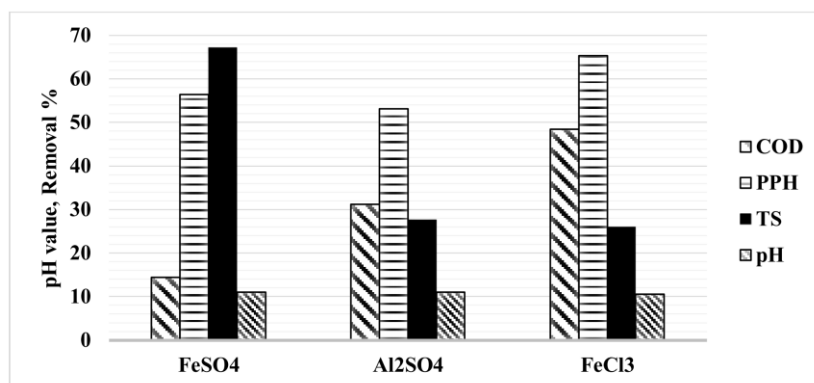
شکل ۴. بازده حذف COD, PPH, TS و تغییرات pH پساب زیتون با استفاده از ترکیب ۱ گرم در لیتر از منعقدکننده‌های مختلف با ۴ گرم در لیتر آهک.

Figure4. Removal efficiency of combined use of 4 g/L lime with various coagulants at concentration of 1 g/L for COD, PPH, TS and pH values after separation of OMW sample.



شکل ۵. بازده حذف COD, PPH, TS و تغییرات pH پساب زیتون با استفاده از ترکیب ۲ گرم در لیتر از منعقدکننده‌های مختلف با ۴ گرم در لیتر آهک.

Figure5. Removal efficiency of combined use of 4 g/L lime with various coagulants at concentration of 2 g/L for COD, PPH, TS and pH values after separation of OMW sample.



شکل ۶. بازده حذف COD, PPH, TS و تغییرات pH پساب زیتون با استفاده از ترکیب ۳ گرم در لیتر از منعقدکننده‌های مختلف با ۴ گرم در لیتر آهک.

Figure6. Removal efficiency of combined use of 4 g/L lime with various coagulants at concentration of 3 g/L for COD, PPH, TS and pH values after separation of OMW sample.

تغییرات pH دارند و یا در محیط‌های بازی عملکرد بهتری دارند، بیشتر خواهد بود.

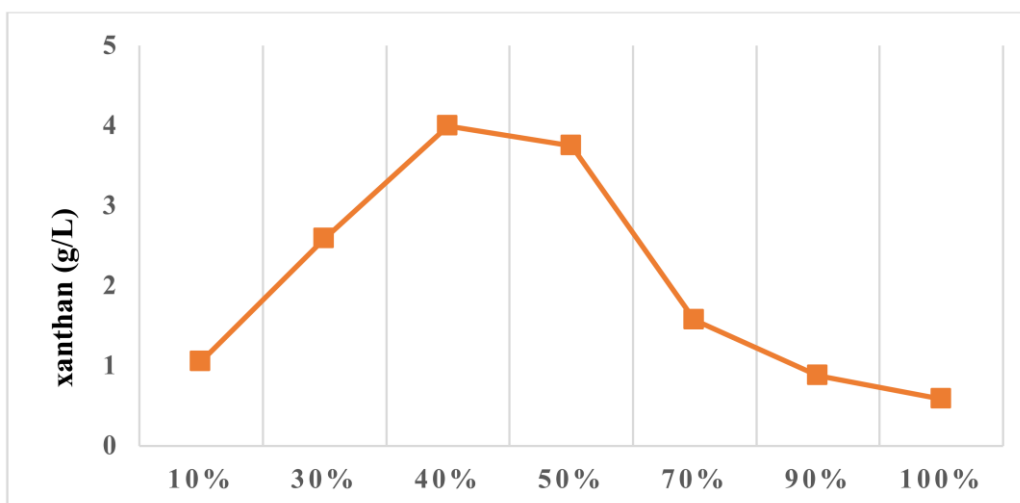
از آنجایی که گام بعدی این پژوهش، کشت ریزاندامگان زانتوموناس در پساب پیش تصفیه شده و تولید بیوپلیمر زانتان از آن است، لذا افزایش منعقدکننده‌های مصرفی بیش از حد مشخص، علاوه بر کاهش ترکیبات پلی‌فنلی موجب کاهش ترکیبات کربنی پساب که خوراک اصلی رشد ریزاندامگان مورد نظر است، نیز می‌شود. با وجود آن که ترکیب آهک با غلظت ۳ گرم بر لیتر Fe(III) درصدهای حذف بالاتری از آلاینده‌ها را نشان می‌دهد، به‌منظور ایجاد تعادل بین حذف ترکیبات سمی بیولوژیک و ترکیبات مفید بیولوژیک، پساب‌های تصفیه شده با استفاده از غلظت‌های ۱ و ۲ گرم بر لیتر Fe(III) و ۴ گرم بر لیتر آهک، به‌عنوان سوبسترای رشد ریزاندامگان در آزمایش‌های بعدی انتخاب شد.

#### ۲-۴ تولید بیوپلیمر زانتان

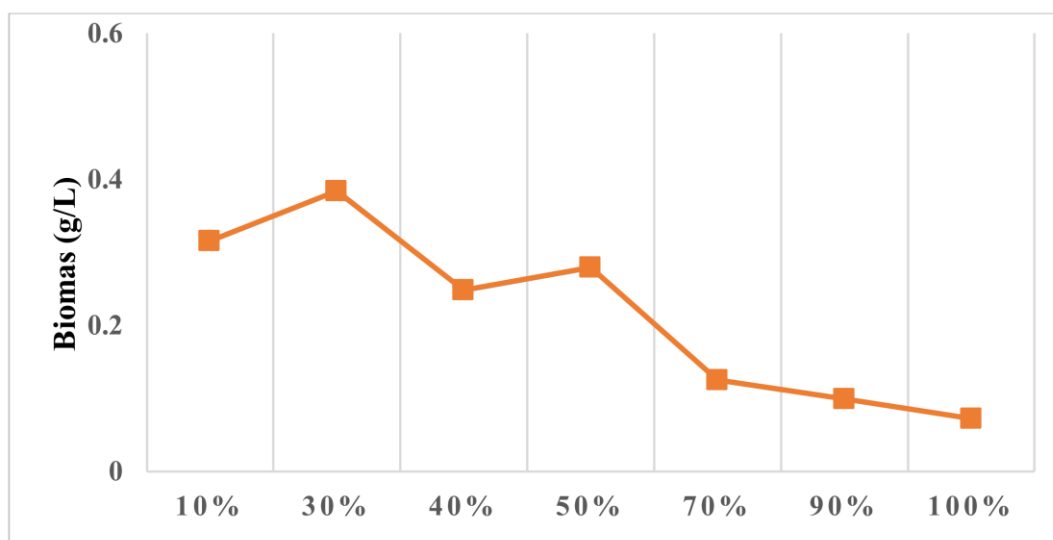
برای بررسی مقایسه میزان تولید زانتان در پساب خام و پساب پیش تصفیه شده، ابتدا رشد ریزاندامگان زانتوموناس کمپستریس و تولید زانتان، در غلظت‌های مختلف پساب خام بررسی شد. میزان رشد بیومس و زانتان در غلظت‌های مختلف پساب خام در شکل (۷) نشان داده شده است. هم‌انطور که از شکل پیداست، با افزایش غلظت پساب، در ابتدا میزان رشد بیومس افزایش و سپس کاهش می‌یابد و بیشترین میزان آن در رقت ۳۰ درصد و معادل ۰/۴ گرم بر لیتر است و در غلظت‌های بالاتر از ۷۰ درصد مقدار بیومس تولیدی ناچیز می‌شود. نمودار تولید زانتان حاکی از افزایش زانتان تولیدی با افزایش غلظت پساب تا غلظت ۴۰ درصد و کاهش میزان زانتان با افزایش بیشتر غلظت پساب است. بیشترین میزان تولید زانتان در غلظت ۴۰ درصد حدود ۴ گرم بر لیتر است.

روند تغییرات بیومس و زانتان تولیدی نسبت به تغییرات غلظت پساب، با نتایج تحقیقات لوپز و همکاران [۱۹] مطابقت دارد. طبق گزارش لوپز نیز با افزایش غلظت پساب، میزان زانتان و بیومس تولیدی با الگویی مشابه نمودارهای شکل (۷) کاهش می‌یابد. بیشترین میزان زانتان تولیدی در تحقیقات لوپز، در غلظت ۴۰-۳۰ درصدی پساب و بیشترین میزان تولید بیومس در غلظت ۲۰ درصدی پساب اتفاق رخ داده است. علت تفاوت نقطه بیشینه

مقایسه نمونه استفاده از ۲ گرم بر لیتر از هریک از منعقدکننده‌ها به‌تنهایی و نمونه ۲ گرم بر لیتر از منعقدکننده به‌اضافه ۴ گرم بر لیتر آهک نشان می‌دهد که ترکیب آهک با این منعقدکننده اهداف مورد نظر را که کاهش میزان مصرف منعقدکننده‌های گران‌قیمت و افزایش بازده حذف آلاینده‌هاست، تأمین کرده است. برای نمونه درصد حذف COD و PPH در استفاده از ۲ گرم بر لیتر Fe(II)، به ترتیب ۷ و ۱۱ درصد است در حالی که در نمونه ترکیب آن با آهک، این مقادیر به ۱۷ و ۵۶ درصد می‌رسد. هم‌چنین در استفاده از ۲ گرم بر لیتر آلوم به‌تنهایی، درصد حذف COD و PPH به ترتیب ۱۲ و ۲۰ درصد است و پس از ترکیب آن با آهک این ارقام به ۲۹ و ۵۲ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش منعقدکننده مصرفی به ۳ گرم بر لیتر هم‌چنان بازده حذف آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشخص است، بیشترین میزان حذف آلاینده‌ها در غلظت‌های مختلف مربوط به ترکیب منعقدکننده Fe(III) و آهک است و بیشترین میزان حذف COD (۴/۴ درصد) و PPH (۲/۶۵ درصد) در ترکیب آهک با ۳ گرم بر لیتر Fe(III) اتفاق افتاده است. نکته قابل توجه این است که در استفاده از منعقدکننده Fe(III) به‌تنهایی (با غلظت ۴ گرم بر لیتر)، بیشترین میزان حذف COD و PPH به ترتیب ۲۴ و ۳۱ درصد بوده است. بنابراین مقایسه نتایج در شکل‌های (۲) و (۵) نشان می‌دهد که ترکیب Fe(II) و Fe(III) با آهک موجب افزایش چشم‌گیر میزان حذف آلاینده‌ها نسبت به استفاده تنها از این مواد شده است؛ در حالی که این روند رشد در ترکیب آلوم و آهک مشاهده نشده است. این نتیجه می‌تواند حاکی از عملکرد بهتر منعقدکننده‌های یون آهن در محدوده وسیعی از pH باشد [۱۸]، چراکه افزایش آهک به منعقدکننده‌ها موجب افزایش pH پساب می‌شود. هم‌چنین در فرایند انعقاد و لخته‌سازی، منعقدکننده‌ها با قلیائیت موجود در محیط واکنش داده، بخشی از قلیائیت نمونه را مصرف می‌کنند و موجب کاهش pH پساب خروجی می‌شوند. برای نمونه، هر گرم بر لیتر آلوم حدود ۰/۵ گرم بر لیتر قلیائیت مصرف می‌کند و هر گرم بر لیتر Fe(III)، حدود یک گرم بر لیتر قلیائیت پساب را مصرف می‌کند؛ بنابراین افزودن آهک به‌عنوان ماده کمکی برای تأمین قلیائیت مورد نیاز سایر منعقدکننده‌ها موجب بهبود بازده عملکردی آنها می‌شود و از طرفی به علت افزایش pH، تأثیر آن برای منعقدکننده‌هایی که وابستگی کمتری به



(a)



(b)

شکل ۷. میزان زانتان تولیدی در غلظت‌های مختلف OMW (a) و میزان بیومس تولیدی در غلظت‌های مختلف OMW (b).

Figure 7. Effect of OMW concentration on (a) xanthan production, (b) biomass growth.

می‌رسد. هم‌چنین در ذخیره‌سازی پساب، مقداری از ترکیبات پلی‌فنلی نیز تجزیه می‌شود و غلظت آن‌ها در پساب کاهش می‌یابد. این موضوع از غلظت پلی‌فنل اندازه‌گیری شده در نمونه پساب مورد استفاده در این پژوهش مشهود است. بنابراین یک عامل بازدارنده، رشد ریزاندامگان در غلظت‌های بالای پساب کاهش می‌یابد. مجموع دلایل فوق موجب تغییر در نقاط بیشینه و کمینه نمودارها در پساب‌های مختلف زیتون می‌شود.

برای بررسی تأثیر فرایند پیش‌تصفیه در تولید ریزاندامگان و زانتان، میزان تولید آن‌ها در غلظت‌های ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصدی از پساب‌های پیش‌تصفیه شده با ترکیب آهک و ۱ و ۲ گرم بر لیتر

نمودارهای این پژوهش با تحقیقات لوپز را می‌توان با توجه به تفاوت ترکیبات نمونه پساب به کاررفته توضیح داد. پساب استفاده شده در تحقیقات لوپز، پساب تازه و نمونه پساب استفاده شده در این پژوهش، پساب غیر تازه است (پساب تولیدی چندماه پس از ذخیره‌سازی آزمایش شده است). با ذخیره‌سازی پساب، تجزیه زیستی ترکیبات تجزیه پذیر، به ویژه ترکیبات کربنی کوتاه‌زنجیره آغاز می‌شود و غلظت این ترکیبات در پساب کاهش می‌یابد. بنابراین در غلظت پایین پساب، غلظت ترکیبات کربنی ساده که اولین ترکیبات مورد استفاده ریزاندامگان است، کاهش یافته و رشد ریزاندامگان و تولید زانتان در غلظت‌های بالاتر پساب به بیشینه خود

پساب‌های تصفیه‌شده، این نکته را تأیید می‌کند که در صورت کاهش عامل پلی‌فنلی، با افزایش غلظت پساب نمودار تولید زانتان صعودی باقی می‌ماند تا جایی که غلظت پلی‌فنل در محیط به قدری افزایش می‌یابد که از افزایش سرعت رشد ریزاندامگان و تولید بیوپلیمر ممانعت می‌کند.

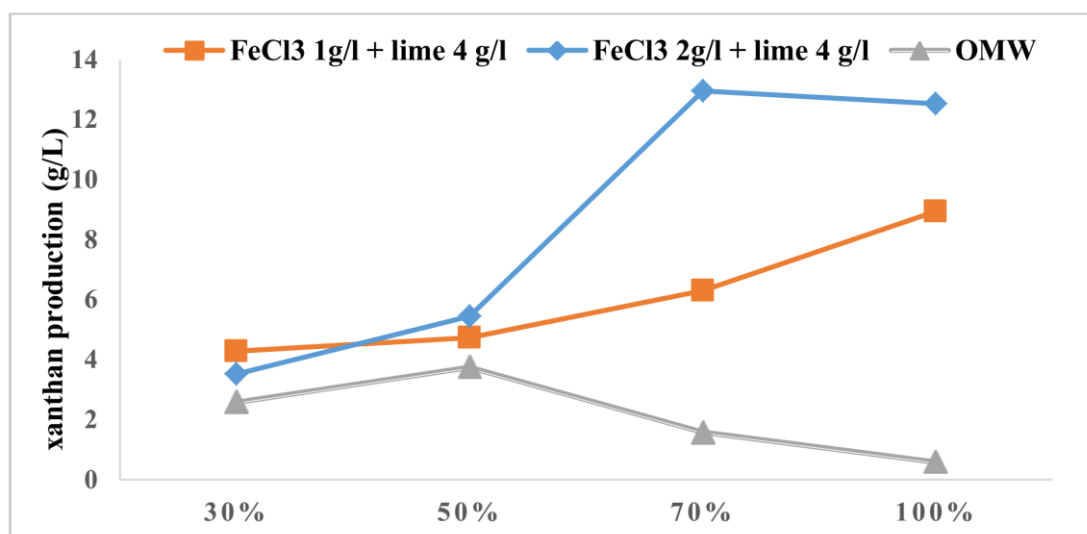
از آنجایی که با فرایند پیش‌تصفیه، برخی ترکیبات کربنی مورد نیاز ریزاندامگان‌ها نیز حذف می‌شود، لذا بیشترین میزان تولید زانتان در غلظت‌های بالاتر نسبت به پساب خام رخ می‌دهد که همین موضوع موجب کاهش قابل توجه آب مصرفی مورد نیاز برای رقیق‌سازی پساب می‌شود.

Fe(III) بررسی شد. مشخصات کیفی پساب استفاده‌شده و پساب خام در جدول (۲) ارائه شده است. شکل (۸) و (۹) میزان تولید زانتان و بیومس را در سه حالت پساب خالص، پساب تصفیه‌شده با ترکیب ۱ گرم بر لیتر Fe(III) و ۴ گرم بر لیتر آهک و پساب تصفیه‌شده با ترکیب ۲ گرم بر لیتر Fe(III) و ۴ گرم بر لیتر آهک نشان می‌دهد. بیشترین میزان تولید زانتان در غلظت ۷۰ درصدی پساب تصفیه‌شده با ترکیب ۲ گرم بر لیتر Fe(III) و حدود ۱۳ گرم بر لیتر است. همچنین بررسی سایر نمونه‌ها حاکی از آن است که استفاده از روش‌های پیش‌تصفیه و کاهش ترکیبات پلی‌فنلی موجب افزایش تولید بیومس و زانتان نسبت به حالت استفاده از سوبسترای پساب خالص می‌شود. مقایسه نمودار زانتان تولیدی از پساب خام و

جدول ۲. مشخصات پساب خام و پساب پیش‌تصفیه شده مورد استفاده به عنوان سوبسترای تولید زانتان.

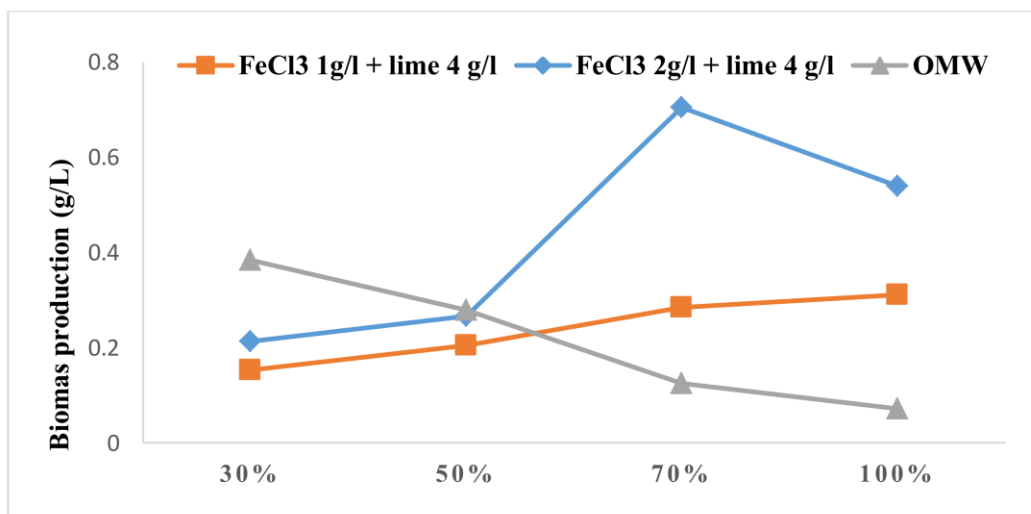
Table 2. Characteristics of raw wastewater and pre-treated wastewater used as a substrate for xanthan production.

Description	Raw wastewater	Pre-treated wastewater with 1 g/L Fe (III) + 4 g/L Lime	Pre-treated wastewater with 2 g/L Fe (III) + 4 g/L Lime	Unit
COD	11563	7126.3	6848.8	mg/l
PPH	895	400.15	340.82	mg/l



شکل ۸. زانتان تولیدی از پساب خام و پساب پیش‌تصفیه‌شده با ترکیبات کلرید آهن.

Figure 8. Xanthan production in pretreated OMW with various concentration of FeCl3 and raw OMW.



شکل ۹. بیومس تولیدی از پساب خام و پساب پیش تصفیه شده با ترکیبات کلرید آهن.

Figure 9. Biomass growth in pretreated OMW with various concentration of FeCl<sub>3</sub> and raw OMW.

این پساب، موجب افزایش تولید زانتان می‌شود. بنابراین راهکار افزایش بازده تولید زانتان از این پساب، کاهش ترکیبات پلی فنلی با حفظ میزان ترکیبات آلی مورد نیاز ریزاندامگان است.

#### مراجع

- [1] Lopez, M., Moreno, J., & Ramos-Cormenzana, A. (2001). Xanthomonas campestris strain selection for xanthan production from olive mill wastewaters. *Water Research*, 35(7), 1828-1830.
- [2] Dermeche, S., Nadour, M., Larroche, C., Moulti-Mati, F., & Michaud, P. (2013). Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies. *Process biochemistry*, 48(10), 1532-1552.
- [3] Lopez, M., Moreno, J., & Ramos-Cormenzana, A. (2001). The effect of olive mill wastewaters variability on xanthan production. *Journal of applied microbiology*, 90(5), 829-835.
- [4] Rodríguez, G., Lama, A., Rodríguez, R., Jiménez, A., Guillén, R., & Fernández-Bolanos, J. (2008). Olive stone an attractive source of bioactive and valuable compounds. *Bioresource technology*, 99(13), 5261-5269.
- [5] Jaouani, A., Vanthourhout, M., & Penninckx, M. (2005). Olive oil mill wastewater purification by combination of coagulation-flocculation and biological treatments. *Environmental technology*, 26(6), 633-642.
- [6] Perez, J., Ramos-Cormenzana, A., & Martinez, J. (1990). Bacteria degrading phenolic acids isolated on a polymeric phenolic pigment. *Journal of applied bacteriology*, 69(1), 38-42.

#### ۵. نتیجه‌گیری

به‌علت بار آلودگی بالای پساب زیتون و تأثیرات سوء تخلیه مستقیم آن به محیط زیست، بررسی روش‌های گوناگون تصفیه و در کنار آن استفاده از این پساب در تولید ترکیبات ارزشمند، سالیان دراز نظر محققان را جلب کرده‌است. در این تحقیق، تصفیه پساب زیتون به‌روش انعقاد و لخته‌سازی و استفاده از پساب تصفیه شده به‌عنوان سوبسترای رشد ریزاندامگان زانتوموناس و تولید بیوپلیمر زانتان بررسی شد. در ابتدا تأثیر استفاده از دوزهای مختلف منعقدکننده‌های آهن، آلومینیوم و آهک بر میزان حذف آلاینده‌های پساب بررسی شد. باتوجه به قیمت ارزان آهک نسبت به سایر ترکیبات مورد استفاده و هم چنین تأثیر آن در ایجاد قلیائیت مورد نیاز برای بهبود فرایند انعقاد، استفاده از ترکیب آهک با دوزهای مختلف منعقدکننده‌ها نیز آزمایش شد. نتایج نشان داد که استفاده از ترکیب منعقدکننده‌ها با مقادیر مشخصی آهک، با وجود کاهش مصرف منعقدکننده، موجب افزایش چشم‌گیر بازده حذف آلاینده‌ها می‌شود.

از آنجایی که هدف از پیش تصفیه این پساب، کاهش ترکیبات سمی زیستی از جمله ترکیبات پلی فنلی است، لذا برای ادامه کار، نمونه‌هایی که میزان پلی فنل حذف شده در آن‌ها نسبتاً بالا باشد، به‌عنوان سوبسترای رشد ریزاندامگان انتخاب شد. افزایش چشم‌گیر زانتان تولیدی در پساب تصفیه شده، نسبت به زانتان تولیدی از پساب خام نشان می‌دهد که کاهش ترکیبات سمی زیستی موجود در

- [7] Khani, M. R., Mahvi, A. H., Zazouli, M. A., Yousefi, Z., Dadban Shahamat, Y., (2019). Investigating the treatment and mineralization of olive oil mill wastewater by using electrocoagulation and novel various advanced oxidations: a kinetic study. *Iranian Health and Environment journal*. Vol. 12 - No.1, pp. 47-62. In Persian.
- [8] Mert, B. K., Yonar, T., Kiliç, M. Y., & Kestioğlu, K. (2010). Pre-treatment studies on olive oil mill effluent using physicochemical, Fenton and Fenton-like oxidations processes. *Journal of hazardous materials*, 174(1-3), 122-128.
- [9] Ginos, A., Manios, T., & Mantzavinos, D. (2006). Treatment of olive mill effluents by coagulation-flocculation-hydrogen peroxide oxidation and effect on phytotoxicity. *Journal of hazardous materials*, 133(1-3), 135-142.
- [10] Ochando-Pulido, J., Pimentel-Moral, S., Verardo, V., & Martinez-Ferez, A. (2017). A focus on advanced physico-chemical processes for olive mill wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 179, 161-174.
- [11] Galiatsatou, P., Metaxas, M., Arapoglou, D., & Kasselouri-Rigopoulou, V. (2002). Treatment of olive mill waste water with activated carbons from agricultural by-products. *Waste Management*, 22(7), 803-812.
- [12] Sarika, R., Kalogerakis, N., & Mantzavinos, D. (2005). Treatment of olive mill effluents: part II. Complete removal of solids by direct flocculation with poly-electrolytes. *Environment international*, 31(2), 297-304.
- [13] Live Lozada, G. S., García López, A. I., Martínez-Férez, A., & Ochando-Pulido, J. M. (2022). On the modeling and optimization of two-phase olive-oil washing wastewater treatment and polyphenols recovery by ceramic tubular microfiltration membranes. *Journal of environmental management*, 316, 115227. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115227>
- [14] Cifuentes-Cabezas, M., María Sanchez-Arévalo, C., Antonio Mendoza-Roca, J., Cinta Vincent-Vela, M., & Álvarez-Blanco, S. (2022). Recovery of phenolic compounds from olive oil washing wastewater by adsorption/desorption process. *Separation and Purification Technology*, 298, 121562. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121562>
- [15] Beccari, M., Majone, M., Riccardi, C., Savarese, F., & Torrisi, L. (1999). Integrated treatment of olive oil mill effluents: effect of chemical and physical pretreatment on anaerobic treatability. *Water Science and Technology*, 40(1), 347-355.
- [16] Salehin, H., Shah hosseini, Sh., (2005). Optimizing the conditions and culture media for xanthan production", *proceedings of the 10nd Int. Cong. on Chemical Engineering*, Zahedan, Iran, 9. [In persian].
- [17] Atanassova, D., Kefalas, P., & Psillakis, E. (2005). Measuring the antioxidant activity of olive oil mill wastewater using chemiluminescence. *Environment international*, 31(2), 275-280.
- [18] Davarpanah, L., (2018). A Comprehensive Review on Treatment Technologies for Tannery Wastewater Containing Chromium. *Iranian Chemical Engineering journal*. Vol. 17 - No.98, 19-31, In Persian.
- [19] Lopez, M., & Ramos-Cormenzana, A. (1996). Xanthan production from olive-mill wastewaters. *International biodeterioration & biodegradation*, 38(3-4), 263-270.