

## Evaluation of the effectiveness of electro-coagulation-flotation process for removal toxicity of olive oil mill wastewater

Ahmad Reza Yazdanbakhsh<sup>1</sup>, Mohammad Reza Massoudinejad<sup>1</sup>, Ehsan Aghayani<sup>\*2</sup>, Farshid Ghanbari<sup>3</sup>, Simindokht Mirshafiean<sup>2</sup>

1- Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Environmental health expert, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- PhD candidate in Environmental Health Engineering, Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

### ABSTRACT

**Background:** The olive oil mill wastewater is one of the contaminating food industrial wastewaters. Olive oil extraction process imports wastewater with high phenolic chemicals into the environment. In this study the toxicity of raw olive oil mill wastewater and the effluent of electro-coagulation have been investigated.

**Material & Methods:** Germination test was used for evaluating the toxicity of wastewater and effluent process. Electro-coagulation-flotation examinations performed in a plexiglas electrochemical reactor with 1750 ml practical volume. 4 blades of aluminum and titanium as anode and cathode electrodes with a gap of 2 cm were connected to DC power supply in monopolar parallel mode.

**Results:** Based on the information from this study, the pollution load of phenolic compounds in olive oil mill wastewater is 1000 times more than municipal wastewater. Also, the evaluation toxicity of effluent obtained from the process in natural pH of wastewater (pH=5.2), 117 mA/m<sup>2</sup> current density and 30 minutes time process, suggests that the effluent causes plant species growth, even without dilution.

**Conclusion:** The results obtained from this research can warn us to the risks of releasing these wastewaters without treatment and toxic effects on the different species of plants. Results demonstrated although using of electro-coagulation-flotation process removes high percent of pollutants of olive oil mill wastewater, but, it can't attain the discharge limitations, then it should be more treated with some other methods.

**Key words:** Toxicity, Electro-Coagulation-Flotation, Olive Wastewater

### \*Corresponding Author:

Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Fax:** +98 2122432043

**Email:** ehssanaghayani@gmail.com

**Received:** 3 Feb. 2013

**Accepted:** 1 May. 2013

## ارزیابی اثر بخشی فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی در کاهش سمیت از فاضلاب صنعت روغن کشی زیتون

احمد رضا یزدانبخش<sup>۱</sup>، محمد رضا مسعودی نژاد<sup>۱</sup>، احسان آقایی<sup>۲\*</sup>، فرشید قنبری<sup>۳</sup>، سیمیندخت میرشفیعیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی  
<sup>۲</sup> کارشناس آموزشی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی  
<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور

### چکیده

**زمینه و هدف:** فاضلاب صنعت استخراج روغن زیتون از آلوده کننده ترین فاضلاب های صنایع غذایی می باشند. فرایند استخراج روغن زیتون فاضلابی با بارآلودگی بالا از ترکیبات شیمیایی فنلی به محیط وارد می کند که دارای خاصیت ضدباکتریایی بوده و برای گیاهان نیز سمی است. در این مطالعه سمیت فاضلاب خام صنعت روغن زیتون و فاضلاب تصفیه شده با فرایند انعقاد و شناورسازی الکتریکی با انجام تست جوانه زنی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

**روش کار:** آزمایشات جهت انجام فرآیند انعقاد و شناورسازی در یک راکتور الکتروشیمیایی پلکسی گلاس به حجم مفید ۱۷۵۰ میلی لیتر انجام گرفت. به منظور ارزیابی سمیت فاضلاب و پساب حاصل از فرآیند نیز تست جوانه زنی مورد استفاده قرار گرفت. **یافته ها:** نتایج نشان داد که بار آلودگی ترکیبات فنلی فاضلاب صنعت روغن کشی زیتون ۱۰۰۰ برابر بیشتر از فاضلاب شهری است. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی سمیت پساب فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی در شرایط pH طبیعی فاضلاب (pH=۵/۲)، دانسیته جریان ۱۱۷ آمپر بر متر مربع و زمان فرآیند ۳۰ دقیقه حاکی از آن است که پساب حاصل از این فرآیند حتی بدون رقیق سازی رشد بذره های گونه های گیاهی را به دنبال دارد.

**نتیجه گیری:** نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده میزان خطرات ناشی از رهاسازی بدون تصفیه این فاضلاب و اثرات سمیتی آن بر گونه های مختلف گیاهی می باشد. با توجه به نتایج آزمایش های تعیین کیفیت پساب حاصل از فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی، اگرچه این فرآیند درصد بالایی از بار آلودگی موجود در فاضلاب را کاهش می دهد اما بر اساس استانداردهای تخلیه و همچنین استانداردهای آب کشاورزی، تصفیه بیشتر پساب حاصل از این فرآیند ضروری است.

**کلید واژه ها:** سمیت، فاضلاب صنعتی، زیتون، انعقاد و شناورسازی الکتریکی

\* آدرس نویسنده مسئول:

تهران - بزرگراه چمران - ولنجک - خیابان تابناک - بلوار دانشجو - دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی دانشکده بهداشت - تلفکس: ۰۲۱-۲۲۴۳۲۰۴۳

Email: ehssanaghayani@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۱۱

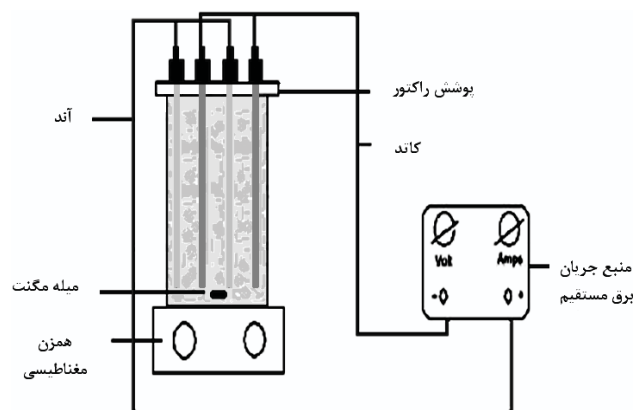
## مقدمه

منحصر به فردی که از لحاظ اقتصادی و راندمان قابل قبول باشد پیشنهاد نشده است [۱۲، ۱۳]. در دهه‌های اخیر تکنیک الکتروشیمیایی بطور موفقیت‌آمیزی در کشورهای توسعه یافته به محیط زیست کمک نموده است [۱۴]. از مهمترین عوامل موثر در کارایی این فرآیند می‌توان به نوع الکتروود، pH و شدت جریان الکتریکی و نوع آرایش الکتروودها اشاره کرد که هر یک به نوعی در جریان الکتریکی تولید شده به سطح الکتروود تاثیرگذار است [۱۵]. هدف از این مطالعه بررسی کیفیت فاضلاب خام تولیدی از صنعت روغن کشتی زیتون و ارزیابی سمیت این فاضلاب و سپس اثر بخشی فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی در کاهش سمیت از فاضلاب با استفاده از تست جوانه زنی است.

## مواد و روشها

به منظور تعیین کیفیت فاضلاب، از خروجی واحد یکنواخت‌سازی یک کارخانه روغن کشتی زیتون واقع در شهرستان طارم نمونه‌های مرکبی تهیه و به آزمایشگاه آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی منتقل و در آزمایشگاه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. ابتدا آزمایشات لازم جهت تعیین کیفیت فاضلاب خام انجام گردید. سپس به منظور ارزیابی سمیت فاضلاب خام و پساب حاصل از فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی از تست جوانه زنی استفاده گردید. به منظور بررسی کارایی فرآیند انعقاد و شناورسازی بر تصفیه فاضلاب صنعت روغن کشتی زیتون از راکتور الکتروشیمیایی روباز پلکسی گلاس استفاده شد که در آن ۴ تیغه الکتروود به ابعاد  $8 \times 8 \times 0.2$  سانتیمتر ضخامت، طول و عرض، شامل تیغه‌های آلومینیوم تجاری به عنوان آند و تیتانیوم به عنوان کاتد که به صورت یک درمیان، به فاصله معین و یکسانی (۲ سانتی‌متر) از هم قرار گرفته و به حالت تک قطبی موازی (مونوپولار) به منبع جریان برق مستقیم (DC Power) متصل بودند (شکل ۱).

فاضلاب صنعت استخراج روغن زیتون از آلوده کننده‌ترین فاضلاب‌های صنایع غذایی می‌باشد [۱]. فرآیند استخراج سه مرحله‌ای روغن زیتون فاضلابی با بارآلودگی بالا، ترکیبات شیمیایی و فنلی تولید می‌کند که خاصیت ضدباکتریایی و سمیتی برای گیاهان دارد [۲]. فاضلاب صنعت روغن زیتون از جمله فاضلاب‌های صنعتی در حجم بسیار زیاد است که به ازای هر تن میوه زیتون ۰/۵ تا ۰/۸ متر مکعب فاضلاب تولید می‌شود [۳]. از اثرات مهم تخلیه این فاضلاب در محیط می‌توان به تهدید اکوسیستم میکروبی محیط، آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی، تغییر کیفیت خاک و بوی آزار دهنده اشاره کرد [۴]. در استخراج روغن زیتون ۲۸-۳۰٪ روغن زیتون، ۳۵-۳۰٪ مواد زائد نیمه جامد، ۵۰-۴۰٪ مواد زائد مایع تولید می‌شود [۵]. منشا مواد زائد مایع، آب گیاه و بافت‌های نرم زیتون است که مقدار (OOMW) تولید شده به نوع فرآیند استخراج روغن زیتون بستگی دارد و این مقدار ۲-۰/۵۵ لیتر به ازای هر کیلوگرم زیتون است [۶]. به عبارت دیگر در استخراج هر لیتر روغن زیتون، ۲/۵۱ لیتر (OOMW) تولید می‌شود [۷]. سالانه ۱/۸ میلیون متر مکعب روغن زیتون در جهان تولید می‌شود در نتیجه ۳۰-۱۰ میلیون متر مکعب (OOMW) تولید می‌شود که بار آلودگی آن معادل با بار آلودگی فاضلاب شهری ۲۲-۲۰ میلیون نفر است [۸، ۹، ۱۰]. در چند سال اخیر توجه بیشتری به آزمون‌های سمیت گیاهان اختصاص یافته است. گونه‌های مختلف گیاهی و گزینه‌های متعدد ارزیابی سمیت به منظور تشخیص اثرات مواد سمی بر روی گیاهان به کار گرفته شده است. سمیت گیاهی می‌تواند به شکل جوانه‌زنی، افزایش طول ریشه و رشد جوانه تعیین گردد [۱۱]. روش‌های مختلفی جهت تصفیه فاضلاب زیتون مورد آزمایش قرار گرفته است ولی تاکنون هیچ روش



شکل ۱. شمای راکتور الکتروشیمیایی مورد استفاده جهت فرآیند انعقاد الکتریکی

تامین جریان الکتریکی سلول الکتروشیمیایی برای فرآیند بوسیله منبع جریان مستقیم ZhiAOXIN 5A-60V صورت گرفت. جهت برقراری اختلاط کامل درون راکتور در خلال انجام فرآیند از یک میله مگنت استفاده شد و راکتور بر روی یک همزن مغناطیسی با دور مشخص (۴۵ دور در دقیقه) قرار گرفت. سپس ۱۷۵۰ میلی لیتر از فاضلاب را به راکتور وارد کرده و با روشن نمودن منبع جریان برق مستقیم با دانسیته جریان ۱۱۷ آمپر بر مترمربع فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی در pH طبیعی فاضلاب (pH = ۵/۲) با مدت زمان واکنش ۳۰ دقیقه انجام گرفت. پساب حاصل از فرآیند بعد از ته نشینی به مدت ۳۰ دقیقه برای ارزیابی سمیت مورد آزمایش‌های جوانه زنی قرار گرفت.

$$GI = 100 \times \frac{G_s}{G_c} \times \frac{L_s}{L_c}$$

به منظور ارزیابی سمیت فاضلاب و پساب حاصل از فرآیند ابتدا ۳۰ بذر تربچه و شاهی را به طور جداگانه بر روی کاغذ صافی گذاشته و درون پتری‌دیش قرار گرفت. سپس فاضلاب روغن کشتی زیتون و پساب حاصل از فرآیند را با رقت‌های مختلف تهیه و ۱۰ میلی لیتر از هر رقت به داخل هر پتری‌دیش منتقل گردید و به منظور جلوگیری از هدر رفت رطوبت، پتری‌دیشها با سلفون پوشیده شده و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور قرار داده شد.

در هر مرحله برای بذرهای مورد آزمایش نمونه شاهد نیز با شرایط یکسان در نظر گرفته شد، با این تفاوت که در آبیاری آنها به جای افزودن رقت‌هایی از فاضلاب و یا پساب تصفیه شده، آب مقطر اضافه می‌گردید. پس از گذشت ۵ روز دوره انکوباسیون، درصد جوانه‌زنی بذرها و طول ریشه زنی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

### یافته‌ها

نتایج آزمایش‌های انجام شده جهت تعیین غلظت آلاینده‌های فاضلاب خام روغن زیتون و همچنین نتایج حاصل از پس آب فرآیند در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج مشخصات کیفی فاضلاب خام صنعت روغن کشتی زیتون و پس آب ناشی از فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی

پارامتر	فاضلاب خام صنعت *	روغن کشتی زیتون **	پس آب تصفیه شده فرآیند *
pH	۵/۲	۵/۰۷	۷/۳
کدورت (NTU)	۲۱۴۰۰	-	۴۲
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (میلی گرم بر لیتر)	۳۶۲۴۰	۵۸۸۰۰	۱۴۰۰
هدایت الکتریکی (میلی زیمنس بر سانتیمتر)	۱۰/۴	۱۰/۲۳	-
کل ترکیبات فنولیک (میلی گرم بر لیتر)	۲۹۹	۴۴۴	۲۱

\*: نتایج حاصل از این مطالعه.  
\*\*: نتایج رفرنس ۱۸

نتایج حاصل از آزمایش جوانه زنی بر روی فاضلاب خام صنعت روغن کشی زیتون در نسبتهای مختلف رقیق سازی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج شاخص جوانه زنی در نسبتهای مختلف رقیق سازی فاضلاب صنعت روغن کشی زیتون با آب مقطر

درصد رقیق سازی فاضلاب با آب مقطر					
نوع بذر	%۰	%۵۰	%۷۵	%۹۰	%۹۹
تربچه	۰	۰	<۱	۴۵/۶±۲/۶	۷۸/۱±۰/۹
شاهی	۰	۰	۰	۲۶/۷±۲/۲	۴۶/۶±۱/۵

نتایج حاصل از انجام آزمایشات ارزیابی سمیت پساب خروجی از فرآیند در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که پساب حاصل از فرآیند حتی بدون رقیق سازی رشد گونه‌های بذر مورد مطالعه را به دنبال داشته است.

همانطور که از نتایج ارائه شده در جدول ۲ مشاهده می‌شود حتی در در غلظت‌های رقیق سازی بالا (۷۵٪)، سمیت فاضلاب به گونه‌ای است که شاخص جوانه‌زنی تقریباً برابر صفر است. در نتیجه رقیق سازی را نمی‌توان به عنوان راه حلی مناسب برای استفاده جهت آبیاری مورد استفاده قرار داد.

جدول ۳. نتایج شاخص جوانه زنی در نسبت‌های مختلف رقیق سازی پساب حاصل از فرآیند

درصد رقیق سازی پساب حاصل از فرآیند با آب مقطر			
نوع بذر	%۰	%۵۰	%۷۵
تربچه	۴۳/۹±۱/۲	۶۸/۴±۲/۳	۷۷/۱±۲/۴
شاهی	۲۸/۷±۲/۵	۵۷/۵±۱/۹	۷۱/۵±۱/۹

به علت ناپایداری تمایل به پلیمرایز و متراکم شدن داشته و به پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا تبدیل می‌شود که سخت تجزیه پذیر هستند به همین دلیل دفع کنترل نشده (OOMW) در کشورهای تولید کننده زیتون مشکلاتی را بر روی خاک و محیط‌های آبی ایجاد کرده است [۲۱]. حنفی و همکاران نیز مهمترین عامل بازدارنده در تخلیه مستقیم (OOMW) جهت آبیاری و اهداف کشاورزی را غلظت بالای ترکیبات فنلی دانسته که مانع از رشد و جوانه زنی گیاه می‌شود [۲۲]. هدرامی و همکارانش نیز در ارزیابی اثرات مضر فاضلاب زیتون بر روی محصولات کشاورزی مدیترانه‌ای را به وجود ترکیبات فنلیک و مقاوم به تجزیه بیولوژیکی نسبت داده‌اند [۲۳].

اثرات مهم تخلیه (OOMW) در محیط شامل تهدید زندگی میکروبی، آلودگی آبهای سطحی ((تیره رنگ شدن به علت وجود پلی فنل‌ها)) که کدورت را افزایش داده، کاهش اکسیژن محلول و اختلال در عمل خود پالایی می‌باشد) و زیر زمینی، تغییر کیفیت خاک، بوی آزار دهنده است [۲۴]. در یک کارخانه محلی که از فرآیند نیمه مدرن جهت استخراج روغن زیتون استفاده می‌کرد مشاهده شد که تمامی درختان زیتون که بطور

## بحث

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، ویژگیهای فاضلاب صنعت روغن کشی زیتون شامل اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیوشیمیایی بالا، pH پائین، جامدات معلق و ترکیبات فنولی بالا است. نتایج این مطالعه نشان داد، بار آلودگی فاضلاب صنعت روغن کشی زیتون با در نظر گرفتن شاخص اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نسبت به فاضلاب‌های شهری بیش از ۷۰ برابر است. همچنین میزان فنل موجود در این فاضلاب ۱۰۰۰ برابر بیشتر از فاضلاب‌های شهری است.

ارزیابی سمیت فاضلاب خام این صنعت با استفاده از شاخص جوانه‌زنی موید وجود بار آلودگی بالا و ترکیبات سمی در این فاضلاب است، بطوری که با توجه به نتایج جدول ۲، آبیاری بذرها با فاضلاب حتی با ۷۵ درصد رقیق سازی، نشان داد سمیت فاضلاب به اندازه‌ای است که شاخص جوانه‌زنی تقریباً برابر صفر است.

گوهری و همکارانش و محققان دیگر اثرات محیطی (OOMW) را به محتویات شیمیایی و بار آلی مقاوم به تجزیه بیولوژیکی این فاضلاب نسبت داده‌اند [۲۰، ۱۹]. فنل موجود در (OOMW)

روغن کشی زیتون باعث کاهش سمیت پس آب برای استفاده در آبیاری می گردد، بطوریکه آبیاری بذرها بدون رقیق سازی پساب، باعث افزایش قابل توجه شاخص جوانه زنی شده است.

### نتیجه گیری

نتایج حاصل از ارزیابی سمیت فاضلاب ناشی از صنایع روغن کشی زیتون مؤید میزان خطرات ناشی از رهاسازی بدون تصفیه این فاضلاب و همچنین اثرات سمیت بر گونه های مختلف گیاهی می باشد. کارایی فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی در حذف آلاینده های فاضلاب، باعث کاهش اثرات زیست محیطی و بهداشتی ناشی از تخلیه پساب به محیط زیست خواهد شد. در پساب حاصل از فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی، اگرچه درصد بالای از بار آلودگی موجود در فاضلاب کاهش می یابد ولی براساس استانداردهای تخلیه و همچنین استانداردهای آب کشاورزی، تصفیه بیشتر پساب حاصل ضروری است.

تصادفی با فاضلاب خام زیتون آبیاری می شدند بعد از یک ماه به طور کامل خشک شدند؛ که این اثرات بطور عمده با اجزاء فاضلاب زیتون مثل اسیدهای چرب، آلدئیدها، الکلهای، محتویات غلظت فنل و سایر ترکیبات آلی که به عنوان اثرات فیتوتوکسیک و اکوتوکسیک مطرح هستند، ارتباط داشتند [۲۵،۲۶].

در مطالعات مختلف صورت گرفته به منظور ارزیابی سمیت فاضلاب روغن کشی زیتون بر جوانه زنی گونه های مختلف گیاهی وجود چهار ترکیب فنلی، Catechol, Methylcatechol, Tyrosol, Hydroxytyrosol علت اصلی بازدارندگی جوانه زنی گونه های گیاهی ذکر شده است [۲۷،۲۸]. البته علاوه بر ترکیبات فنل، این بازدارندگی به املاح، اسیدیته و مواد معلق موجود در فاضلاب صنعت روغن کشی زیتون نیز نسبت داده شده است [۲۹].

نتایج ارزیابی سمیت پساب فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی با استفاده از شاخص جوانه زنی ارائه شده در جدول ۳ نشان داد، این فرآیند با کاهش آلاینده های موجود در فاضلاب صنعت

### تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان بررسی کارایی فرآیند انعقاد و شناورسازی الکتریکی در تصفیه فاضلاب صنایع روغن کشی زیتون است. این مطالعه با استفاده از امکانات آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی به انجام رسیده است. از حمایت مسئولین و همکاران محترم دانشکده برای انجام این تحقیق، کمال تشکر و قدردانی می گردد.

### REFERENCES

1. Shayegan J, Afshari A. The treatment situation of municipal and industrial wastewater in Iran. *Journal of Water and Wastewater* 2004; 49:58-69. (In Persian)
2. Casa R, D'Annibale A, Pieruccetti F, Stazi SR, Giovannozzi Sermanni G, Lo Cascio B. Reduction of the phenolic components in olive-mill wastewater by an enzymatic treatment and its impact on durum wheat (*Triticum durum* Desf.) germinability. *Chemosphere Journal* 2003; 50(8):959-66.
3. Tezcan Ün Ü, Uğur S, Koparal A, Bakır Öğütveren Ü. Electrocoagulation of olive mill wastewaters. *Journal of Separation and purification technology* 2006; 52(1):136-41.
4. Sierra J, Marti E, Montserrat G, Cruanas R, Garau M. Characterisation and evolution of a soil affected by olive oil mill wastewater disposal. *Journal of the Science Total Environment* 2001; 279(1-3):207-14.
5. Morillo J, Antizar-Ladislao B, Monteoliva-Sánchez M, Ramos-Cormenzana A, Russell N. Bioremediation and biovalorisation of olive-mill wastes. *Journal of Applied microbiology and biotechnology* 2009; 82(1):25-39.
6. Niaounakis M, Halvadakis CP. Olive processing waste management: literature review and patent survey: *Journal of Pergamon* 2006; 23-65
7. Galiatsatou P, Metaxas M, Arapoglou D, Kasselouri-Rigopoulou V. Treatment of olive mill wastewater with activated carbons from agricultural by-products. *Journal of Waste Management* 2002; 22(7):803-12.

8. Khatib A, Aqra F, Yaghi N, Subuh Y, Hayeek B, Musa M, et al. Reducing the environmental impact of olive mill wastewater. *Journal of American Environmental Sciences* 2009; 5(1):1-6.
9. Aktas ES, Imre S, Ersoy L. Characterization and lime treatment of olive mill wastewater. *Journal of Water Research* 2001; 35(9):2336-40.
10. Aggelis G, Iconomou D, Christou M, Bokas D, Kotzailias S, Christou G, et al. Phenolic removal in a model olive oil mill wastewater using *Pleurotus ostreatus* in bioreactor cultures and biological evaluation of the process. *Journal of Water Research* 2003; 37(16):3897-904.
11. Wang L.K, Hung Y.T, Howard H. L, Yapijakis C. *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*, 2t. Marcel Dekker, Inc publication 2004; P: 15- 63.
12. Lucas MS, Peres JA. Removal of COD from olive mill wastewater by Fenton's reagent: Kinetic study. *Journal of hazardous materials* 2009; 168(2-3):1253-9.
13. Achak M, Mandi L, Ouazzani N. Removal of organic pollutants and nutrients from olive mill wastewater by a sand filter. *Journal of environmental management* 2009;90(8):2771-9.
14. Holt PK, Barton GW, Wark M, Mitchell CA. A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. *Journal of Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2002; 211(2-3):233-48.
15. El-Naas MH, Al-Zuhair S, Al-Lobaney A, Makhlof S. Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleum refinery wastewater. *Journal of environmental management* 2009; 91(1):180-5.
16. Mosse KP, Patti AF, Christen EW, Cavagnaro TR. Winery wastewater inhibits seed germination and vegetative growth of common crop species. *Journal of Hazardous Materials* 2010; 180 (1-3): 63–70.
17. Greenberg AE, Clesceri LS, Eaton AD. *Standard methods for the examination of water and wastewater: American Public Health Association*; 2005.
18. Yazdanbakhsh A.R, Eslami A, Ghanbari F, Mehdipoor F. Application of coagulation processes and improvement cracking acid biodegradation of olive oil mill wastewater. 14th National Conference on Environmental Health in Iran, Yazd 2011; 20. (In Persian)
19. El-Gohary F, Badawy M, El-Khateeb M, El-Kalliny A. Integrated treatment of olive mill wastewater (OMW) by the combination of Fenton's reaction and anaerobic treatment. *Journal of hazardous materials* 2009; 162(2-3):1536-41.
20. Olivieri G, Marzocchella A, Salatino P, Giardina P, Cennamo G, Sannia G. Olive mill wastewater remediation by means of *Pleurotus ostreatus*. *Journal of Biochemical engineering* 2006; 31(3):180-7.
21. Adhoum N, Monser L. Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation. *Journal of Chemical Engineering and Processing* 2004; 43:1281–1287.
22. Hanafi F, Assobhei O, Mountadar M. Detoxification and discoloration of Moroccan olive mill wastewater by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials* 2010; 174: 807–812.
23. El Hadrami A, Belaqziz M, El Hassni M, Hanifi S, Abbad A, Papasso R, et al. Physicochemical characterization and effect of olive oil mill wastewaters fertirrigation on the growth of some Mediterranean crops. *Jouranl of Agron* 2004; 3(4): 247–254.
24. Andreozzi R, Canterino M, Somma ID, Giudice RL, Marotta R, Pinto G, et al. Effect of combined physic-chemical processes on the phytotoxicity of olive mill wastewaters. *Journal of Water Research* 2008; 42:1684–1692.
25. Ginos A, Manios T, Mantzavinou D. Treatment of olive mill effluents by coagulation–flocculation–hydrogen peroxide oxidation and effect on phytotoxicity. *Journal of Hazardous Materials* 2006; 133. (1–3): 135–142.
26. Sassi AB, Boularbah A, Jaouad A, Walker G, Boussaid A. A comparison of Olive oil Mill Wastewaters (OMW) from three different processes in Morocco. *Journal of Process Biochemistry* 2006; 41: 74-78.

27. Aliotta G, Fiorentino A, Oliva A, Temussi F. Olive oil mill wastewater: Isolation of polyphenols and their phytotoxicity in vitro. *Journal of Allelopathy* 2002; 9(1):9-17.
28. Komilis DP, Karatzas E, Halvadakis C. The effect of olive mill wastewater on seed germination after various pretreatment techniques. *Journal of environmental management* 2005; 74(4):339-48.
29. Fiorentino A, Gentili A, Isidori M, Monaco P, Nardelli A, Parrella A, et al. Environmental effects caused by olive mill wastewaters: toxicity comparison of low-molecular-weight phenol components. *Journal of agricultural and food chemistry* 2003; 51(4):1005-9.