

## کارایی روش نوین انعقاد الکتریکی پالسی در شفاف‌سازی آب‌سیب

رامیار قوامی<sup>۱</sup>، افشین ملکی<sup>۲</sup>، هیوا دارایی<sup>۳\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم تحقیقات کردستان - واحد سنندج، ایران  
۲- استاد، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران  
۳- مربی، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران  
\* نویسنده مسئول (Hiua.Daraei@muk.ac.ir & Hiua.Daraei@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۹

### چکیده

در این مطالعه فرایند انعقاد الکتریکی پالسی (PEC) در شفاف‌سازی آبمیوه بررسی شد. در ادامه اثر ۳ متغیر زمان پالس دهی (۱، ۳ و ۵ دقیقه)، زمان فرایند (۵، ۱۰، ۳۰ و ۴۵ دقیقه) و شدت جریان الکتریکی (۰/۳، ۰/۱ و ۰/۵ آمپر) هرکدام در ۳ تکرار بر کارایی فرایند بررسی شد. مطالعه تأثیر پارامترهای عملیاتی نشان داد در فرایند PEC، بهترین کدورت برابر با ۵ NTU، در شدت جریان الکتریکی ۰/۳ آمپر، زمان پالس ۵ دقیقه، زمان فرایند ۳۰ دقیقه و بدون تغییر pH آبمیوه طبیعی (pH=۳/۵) حاصل می‌شود. سپس، جهت رسیدن به سطح استاندارد کدورت آب‌سیب از اثر هم‌افزایی مقادیر اندک آنزیم‌های پکتیناز و آمیلاز و عامل شفاف‌کننده ژلاتین به‌عنوان کمک منعقدکننده استفاده شد. این روش کدورت را به کدورت استاندارد (۲ NTU) نزدیک کرد. این مطالعه نشان داد روش PEC به‌دلیل کاهش قابل توجه کدورت بدون نیاز به آنزیم‌ها و مواد کمکی و با کاهش چشمگیر زمان فرایند می‌تواند به‌عنوان روشی جایگزین و یا کمکی در صنعت آبمیوه‌سازی مورد استفاده قرار گیرد.

### واژه‌های کلیدی

آب‌سیب  
انعقاد الکتریکی پالسی  
شفاف‌سازی  
کدورت

### مقدمه

توسط مواد کمکی، جداسازی و صاف کردن است (پیروزی‌فر، ۱۳۷۹). به‌طور متوسط، این فرایند به ۱۵ الی ۲۰ ساعت زمان نیاز دارد. همچنین هزینه بالای این فرایند به علت مصرف مقادیر زیاد آنزیم‌هایی مانند پکتیناز و آمیلاز و مواد شفاف‌کننده از قبیل ژلاتین و گرم نگه‌داشتن تانک‌های فرایند است (Araya-Farias et al., 2008). این محدودیت‌ها تلاش محققین جهت دستیابی به فرایندهای سریع‌تر و ارزان‌تر جهت شفاف‌سازی آبمیوه‌ها را به دنبال داشته است. در سال‌های اخیر فرایندهای جایگزین زیادی توسط محققین ارائه شده‌اند که از جمله آنها می‌توان از روش گرمایی، استفاده از مخلوط ژلاتین-کازئین-اسید-پروتئین، استفاده از مخلوط ژلاتین-کازئین، استفاده از مخلوط تانیک-اسید-پروتئین-عسل (William et al., 1996) و

آبمیوه سامانه‌ای است که در آن مواد جامد در محیط مایع به‌صورت محلول یا کلوئیدی حضور دارند. کدورت<sup>۱</sup> پدیده‌ای است که در سامانه‌های کلوئیدی به علت پراکندگی نور<sup>۲</sup> ایجاد می‌شود (پیروزی‌فر، ۱۳۷۹). در آبمیوه‌ها انواع کدورت از قبیل کدورت اولیه (Singh et al., 2003)، کدورت ثانویه و کدورت ناشی از آلودگی میکروبی (McLellan et al., 2005) وجود دارد. کاهش کدورت آبمیوه‌ها به‌دلیل بازارپسندی و سلیقه مصرف‌کننده از اهمیت زیادی در صنایع مرتبط برخوردار است (فاطمی، ۱۳۸۶). روش رایج شفاف‌سازی آبمیوه در صنعت شامل ۴ مرحله کلی تجزیه آنزیمی، تشکیل لخته

<sup>1</sup> Turbidity

<sup>2</sup> Lightscattering

میکروارگانسیم‌ها (Boudjema *et al.*, 2014) و پاتولین (Sant'Ana *et al.*, 2008) نیز مؤثر باشد. در سیستم جریان‌های الکتریکی پالسی سازوکار به این صورت است که در هر پالس روشن و خاموش شدن مدار، جریان را از حالت مثبت به منفی درمی‌آورد و برعکس. مثلاً، وقتی که مدار در یک سیستم دو الکترودی روشن است، الکترود اسمی ۱ به صورت آند و الکترود اسمی ۲ به صورت کاتد درمی‌آید در پالس بعدی الکترود ۱ به صورت کاتد و الکترود ۲ به صورت آند درمی‌آید (شکل ۱). جهت مقایسه بهتر، نمودار جریان الکتریکی در حالت متناوب شهری در شکل (۱-۲) و نمودار جریان الکتریکی در حالت جریان مستقیم پالسی در شکل (۲-۲) نشان داده شده است (Xuhui *et al.*, 2008). در مقایسه با سایر روش‌های انعقاد الکتریکی در این روش مشکلات فنی مانند مصرف بالای الکترودهای فلزی، ایجاد لایه اکسیدشده روی سطح الکترود و مصرف بالای جریان برق تا حدود زیادی برطرف شده است (Onianwa *et al.*, 2008).

به دلایل الکتروشیمیایی، فلزاتی مانند آهن، آلومینیوم و روی به عنوان آند در انعقاد الکتریکی کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند. فلز روی یکی از مهم‌ترین فلزات مورد نیاز بدن است. این فلز در بدن هر فرد بالغ به طور میانگین به میزان ۳۳ میلی‌گرم بر گرم وجود دارد (Onianwa *et al.*, 2008). روی در فعالیت‌های کاتالیتیکی بیش از ۱۰۰ نوع آنزیم نیز شرکت دارد (Lab Clin *et al.*, 1994). مقدار مجاز روی در آب‌سیب ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است (Codex standard, 1981) که ممکن است محدودیت‌هایی جهت استفاده از فلز روی ایجاد نماید. هدف در این مطالعه، بررسی کارایی روش انعقاد الکتریکی پالسی به تنهایی و به همراه آنزیم‌ها و مواد کمک منعقدکننده و پارامترهای عملیاتی مؤثر بر فرایند شفاف‌سازی آبمیوه بود.

تثبیت آنزیمی اشاره نمود (Wang *et al.*, 2013)؛ اما این روش‌ها نیز معایبی از قبیل تغییر رنگ و طعم، غیرفعال‌سازی ترکیبات زیست‌فعال، کاهش مواد مغذی در محصول نهایی و صرفه اقتصادی پایین را دارند (Ibrahim *et al.*, 2011).

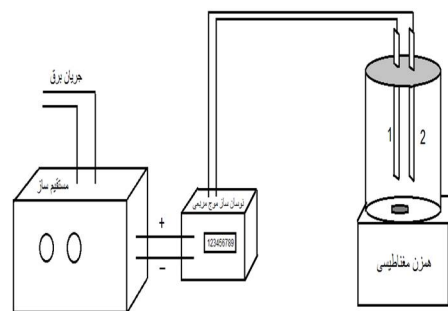
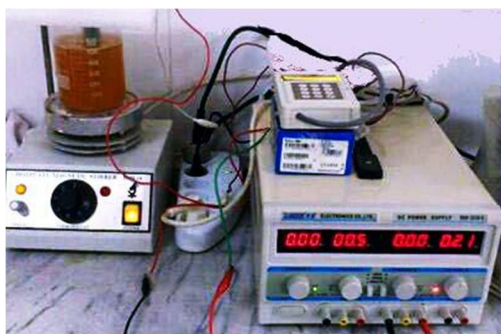
با وجود کارایی بالای روش‌های انعقاد الکتریکی در حذف ذرات معلق موجود در محیط‌های مایع، تاکنون مطالعه‌های کمی در زمینه استفاده از این فرایند در صنایع غذایی انجام شده است. در این فرایند حذف ذرات معلق می‌تواند به کمک دو مکانیسم شناورسازی الکتریکی<sup>۱</sup> (EF) و انعقاد الکتریکی<sup>۲</sup> (EC) به صورت هم‌زمان انجام شود.

در شناورسازی الکتریکی حذف ذرات معلق از طریق چسبیدن حباب‌های ریز اکسیژن و هیدروژن تولیدشده در فرایندهای الکترودی انجام می‌شود (Holt *et al.*, 1999). در مقایسه با سایر روش‌های شناورسازی، EF به علت تولید گاز در سطح مولکولی، توانایی تولید حباب‌هایی با اندازه کوچک‌تر در نتیجه سطح ویژه بزرگ‌تر را دارد که منجر به افزایش در کارایی فرایند خواهد شد (Araya-Farias *et al.*, 2008).

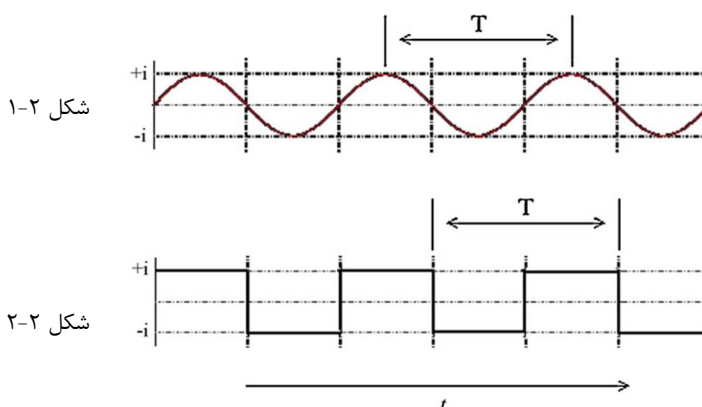
انعقاد الکتریکی روش دیگری است که با تولید عوامل انعقادی در آند و گاز هیدروژن در کاتد به وسیله جریان مستقیم، به حذف مواد باردار و غیرباردار در محیط می‌پردازد. بیشتر کلوئیدها در طی فرایند، با تولید ذرات باردار مثبتی که با تلاشی الکتریکی آند به وجود می‌آیند، خنثی و ته‌نشین می‌گردند و بقیه ذرات هم روی سطح مایع معلق می‌مانند (Gomes *et al.*, 2007). انعقاد الکتریکی پالسی از آخرین روش‌های انعقاد الکتریکی است که در آن از جریان مستقیم در زمان‌ها و جریان‌های قابل تنظیم استفاده می‌گردد. در این روش جریان پالسی توسط یک مدار تغییردهنده جریان که توسط منبع جریان مستقیم تأمین می‌گردد، تولید می‌شود. این فرایند می‌تواند روی

<sup>1</sup> Electroflotation

<sup>2</sup> Electrocoagulation



شکل ۱ - تصویر شماتیک و تصویر واقعی منبع تغذیه، پالسی‌کننده جریان و رآکتور انعقاد الکتریکی



شکل ۲ - جریان متناوب برق شهر به صورت امواج سینوسی (۱-۲)، جریان مستقیم پالسی (۲-۲)

شد. کدورت توسط کدورت‌سنج<sup>۴</sup> (AQUALYTIC) مدل AL 450T-IR مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری رنگ از دستگاه اسپکتروفوتومتر<sup>۵</sup> مدل T80 uv/vis, PG Instrument LTD در طول موج ۴۴۰ نانومتر درصد نور عبوری استفاده گردید (Araya-Farias *et al.*, 2008). غلظت یون‌های هیدرونیوم نمونه‌ها توسط pH متر مدل jenway3510 اندازه‌گیری گردید. در طول فرایند، آبمیوه توسط هم‌زن مغناطیسی مدل Stirrer magnetic HMS هم‌زده می‌شد.

#### منبع تغذیه و پالسی‌کننده جریان

سیستم الکتریکی از دو بخش مولد جریان مستقیم و تولیدکننده جریان پالسی تشکیل شده است که در شکل (۱) به‌طور شماتیک نمایش داده شده است. در قسمت اول، جریان متناوب برق شهر با نمودار سینوسی نسبت به زمان (شکل ۱-۲) به‌صورت جریان قابل تنظیم مستقیم با نمودار خطی نسبت به زمان درمی‌آید. در قسمت دوم، جریان که به‌صورت خطی درآمده است به

#### مواد و روش‌ها

این مطالعه یک مطالعه بنیادی-کاربردی در مقیاس آزمایشگاهی است که در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کردستان انجام شده است. در این تحقیق از سیب‌های واریته مک اینتاش<sup>۱</sup> که در یک روز کاری و از یک باغ مشخص چیده شده بودند، استفاده گردید. در هرروز، به‌طور تقریبی از ۱/۵ کیلوگرم سیب به‌منظور تولید آبمیوه استفاده گردید. به‌منظور جلوگیری از افت کیفیت سیب‌ها، آزمایش‌ها از لحاظ زمانی تا حد ممکن نزدیک به هم انجام گرفتند. الکترودهای روی استفاده‌شده در این مطالعه از روی با درصد خلوص بالا تهیه شدند. در این آزمایش‌ها از آمیلاز ساخت شرکت Crosby and Baker و پکتیناز ساخت شرکت LD Carlson استفاده گردید.

برای جداسازی لخته از دستگاه سانتریفیوژ<sup>۲</sup> مدل kn-70 ساخت شرکت Kubota استفاده گردید. رسانایی به‌وسیله رسانایی‌سنج<sup>۳</sup> مدل jenway-4510 اندازه‌گیری

<sup>1</sup> McIntosh

<sup>2</sup> Centrifuge

<sup>3</sup> Conductivity meter

<sup>4</sup> Conductivity meter

<sup>5</sup> Spectrophotometer

کمکی بر محصول فرایند انعقاد الکتریکی پالسی پرداخته شد. بدین منظور، نمونه آبمیوه شفاف‌سازی شده در شرایط بهینه عملیاتی تحت شرایط شفاف‌سازی آنزیمی با مقادیر کم قرار گرفت. شایان ذکر است که مقادیر استفاده شده آنزیمی در این مطالعه به صورت غیربهینه و صرفاً به منظور بررسی اثر مقادیر کم این مواد بر محصول فرایند انعقاد الکتریکی بوده است.

در این فرایند، پس از تهیه آبمیوه خام، محصول به دست آمده در دمای ۹۰ تا ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷ دقیقه پاستوریزه شد (پیروزی‌فر، ۱۳۷۹). سپس به منظور بررسی اثر فرایندهای آنزیمی بر محصول فرایند انعقاد الکتریکی، پکتیناز به میزان ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به آبمیوه افزوده گردید و بعد از ۳ دقیقه هم‌زدن ۱۰ دقیقه به محلول استراحت داده شد. در ادامه به آبمیوه به میزان ۱۸ میلی‌گرم در لیتر آمیلاز افزوده شد (Tajchakavit *et al.*, 2001) و پس از ۳ دقیقه هم‌زدن، آبمیوه به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به منظور تأثیر آنزیم‌ها نگهداشته شد. در مرحله بعد به محلول به میزان ۲/۵ گرم در لیتر بنتونیت (Savaş Bahçeci *et al.*, 2003) اضافه شد. در ادامه از ۸۰ میلی‌گرم در لیتر ژلاتین استفاده گردید (Araya-Farias *et al.*, 2008).

#### آنالیز محصولات فرایند

پس از هر نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها با سانتریفیوژ، پارامترهای زمان، هدایت الکتریکی، pH، رنگ و کدورت با دستور کارهای استاندارد و دستگاه‌های مربوطه در مورد هر نمونه مورد آنالیز قرار گرفت. در نهایت کارایی حذف کدورت با فرمول ریاضی تعیین گردید. تغییرات پارامترهای رنگ، pH و هدایت الکتریکی جهت تفسیر فرایند مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه، حذف کدورت برابر است با میزان تغییر کدورت در زمانی مشخص پس از شروع فرایند نسبت به حالت اولیه (رابطه ۱):

#### رابطه (۱)

$$\text{Turbidity Removal} = T - T_0$$

در این رابطه T کدورت در زمانی مشخص پس از شروع واکنش و  $T_0$  کدورت اولیه است.

امواج مستطیلی قابل تنظیم از لحاظ زمان پالس و تعداد پالس در حالت مثبت یا منفی تبدیل می‌شود (شکل ۲-۲).

#### فرایند انعقاد الکتریکی

به منظور انجام آزمایش‌ها انعقاد الکتریکی، یک ظرف استوانه‌شیشه‌ای (بشر) با ارتفاع ۱۴ سانتی‌متر و قطر حدود ۱۲ سانتی‌متر (حجم تقریبی ۱/۵ لیتر) طراحی و ساخته شد. الکترودها از جنس روی با خلوص بالا و ابعاد ۲/۵×۱۵ سانتی‌متر به شکل مستطیل بودند. مکان و فاصله الکترودها از همدیگر با استفاده از درپوش ظرف تثبیت گردید. در طول فرایند، نمونه‌های آبمیوه با سرعت ۳۰۰ rpm هم‌زده می‌شد (شکل ۱).

در هر آزمایش، پس از تهیه آبمیوه خام، یک نمونه ۱۰ میلی‌لیتری از آن به عنوان نمونه شاهد جهت آزمایش‌های بعدی کنار گذاشته می‌شد. سپس، ۱ لیتر آبمیوه در ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه پاستوریزه گردید (Carrin *et al.*, 2004) که در فرایند انعقاد الکتریکی برای ته‌نشین شدن ذرات، ضروری است تمامی نمونه‌ها در دور ۳۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. شایان ذکر است که در هر مرحله به منظور بررسی اثر فرایند سانتریفیوژ بر حذف کدورت، نمونه‌ها ۲ بار تحت عمل سانتریفیوژ قرار گرفتند در بار اول فقط کدورت اندازه‌گیری شد و در بار دوم علاوه بر کدورت، پارامترهای رنگ، رسانایی و pH نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. در هر مرحله اندازه‌گیری‌های کمی در ۳ تکرار انجام پذیرفتند و میانگین آنها گزارش گردید.

فرایند انعقاد الکتریکی پالسی در زمان‌های پالس ۱، ۳ و ۵ دقیقه، در مدت زمان فرایند ۴۵ دقیقه و در سه سطح جریان الکتریکی ۰/۰۳، ۰/۱ و ۰/۵ انجام پذیرفتند. پس از آغاز آزمایش در زمان‌های مشخص ۵، ۱۰، ۳۰ و ۴۵ دقیقه، به منظور انجام ارزیابی‌های مورد نظر از محصول نمونه‌گیری انجام شد.

#### فرایند آنزیمی

پس از اتمام تمامی آزمایش‌های فوق و بهینه‌سازی پارامترهای عملیاتی فرایند انعقاد الکتریکی پالسی، به بررسی تأثیر هم‌افزایی آنزیم‌های شفاف‌کننده و مواد

### آنالیزهای آماری داده‌ها

داده‌های مربوط به آزمایش پس از وارد کردن آنها در محیط نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶ مورد بررسی آماری قرار گرفتند. روش رگرسیون چندخطی چندمرحله‌ای جهت تعیین پارامترهای مؤثر در سطح  $0/05$  و شدت تأثیر هر پارامتر مورد استفاده قرار گرفت. روش رگرسیون چندخطی جهت ایجاد مدل با استفاده از پارامترهای مؤثر به‌کارگرفته شد. از آنالیزهای آماری چندمتغیره جهت بررسی تأثیر برهمکنش پارامترها استفاده شد. درنهایت با استفاده از گراف‌های سه‌بعدی اثر پارامترها و برهمکنش آنها به نمایش درآمد (Daraei et al., 2012).

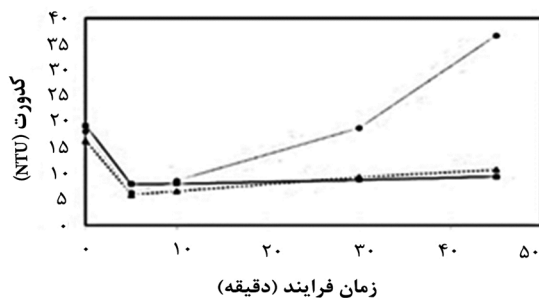
### نتایج و بحث

پس از انجام پیش‌آزمایش‌های مربوط به تعیین رنج پارامترهای عملیاتی، اثر هرکدام از پارامترهای مورد مطالعه بر کارایی فرایند انعقاد الکتریکی مورد آزمایش قرار گرفت. این نتایج درنهایت جهت ایجاد یک مدل مربوط به فرایند انعقاد الکتریکی استفاده شدند. مدل

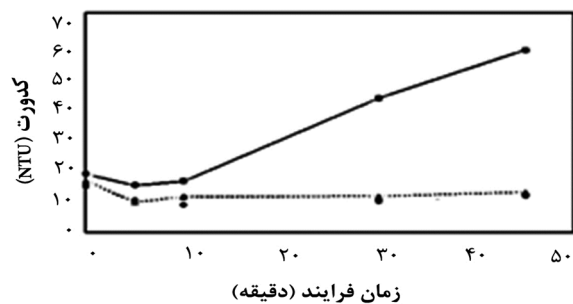
ایجادشده خود اساس انجام محاسبه‌های مربوط به بهینه‌سازی شرایط عملیاتی براساس الگوریتم‌های تعبیه‌شده در نرم‌افزار مینی‌تب قرار گرفت. در ادامه نمودارها و جداول مربوط به نتایج آزمایش‌های انجام‌شده و خروجی مدل‌های ایجادشده ارائه خواهد شد.

### بررسی اثر زمان فرایند بر انعقاد الکتریکی

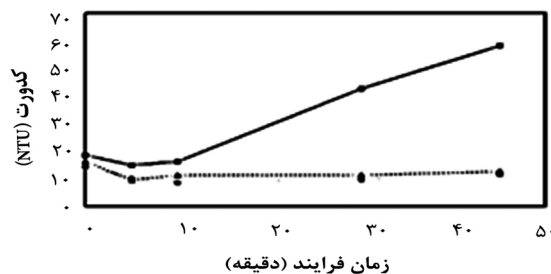
بررسی نمودارهای شکل (۳) نشان می‌دهد که با گذشت زمان، کدورت تا مقدار مشخصی کاهش یافته (کمینه کدورت) در ادامه و با شیئی تند میزان کدورت روبه‌افزایش می‌گذارد که چنین الگویی به‌خاطر مکانیسم‌های برگشتی انعقاد در حضور مقدار مازاد منعقدکننده تولیدشده قبلاً به دفعات گزارش شده است و لزوم بهینه‌سازی را در فرایند انعقاد تأیید می‌کند. آزمایش جار در کاربرد انعقاد در تصفیه آب‌وفاضلاب نمونه‌ای از راه‌حل بهینه‌سازی برای این فرایند است (دربندسری و همکاران ۱۳۹۲).



آزمایش ۴- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰/۰۳ آمپر  
 آزمایش ۵- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰/۰۱ آمپر  
 آزمایش ۶- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰/۰۵ آمپر



آزمایش ۱- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰/۰۳ آمپر  
 آزمایش ۲- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰/۰۱ آمپر  
 آزمایش ۳- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰/۰۵ آمپر

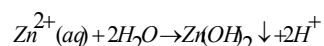
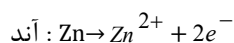
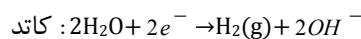


آزمایش ۷- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰/۰۳ آمپر  
 آزمایش ۸- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰/۰۱ آمپر  
 آزمایش ۹- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰/۰۵ آمپر

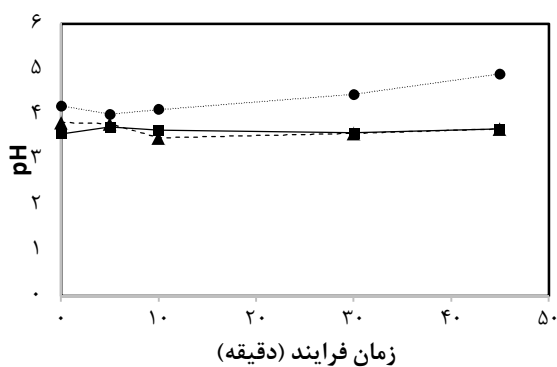
شکل ۳- تأثیر زمان فرایند، زمان پالسی و شدت جریان الکتریکی بر کدورت آب‌میوه

(*et al.*, 2013)

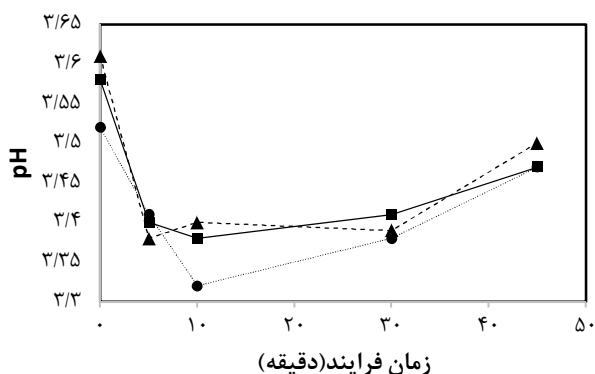
رابطه (۲)



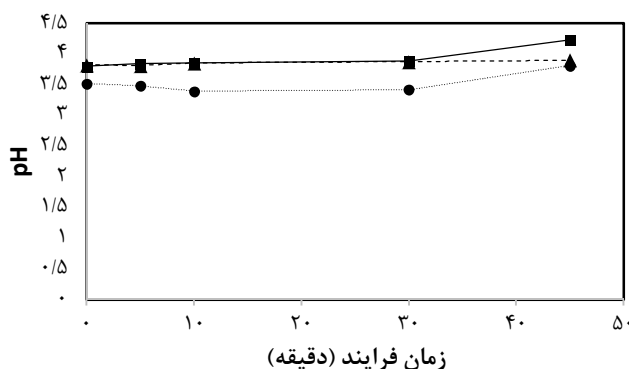
هرچند که تغییرات pH در محیط به دلیل بافری بودن محیط جزئی است (Wang *et al.*, 2016) اما به طور کلی pH در ابتدای واکنش کاهش و در ادامه افزایش می یابد (شکل ۴). طبق رابطه (۲) کاهش نسبی pH را می توان به افزایش یون های  $Zn^{2+}$  و در نتیجه افزایش یون های  $H^+$  در آبمیوه نسبت داد (Vasudevan)



آزمایش ۴- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
 "آزمایش ۵- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۱ آمپر  
 آزمایش ۶- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۵ آمپر



آزمایش ۱- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
 "آزمایش ۲- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۱ آمپر  
 آزمایش ۳- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۵ آمپر



آزمایش ۷- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
 "آزمایش ۸- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۱ آمپر  
 آزمایش ۹- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۵ آمپر

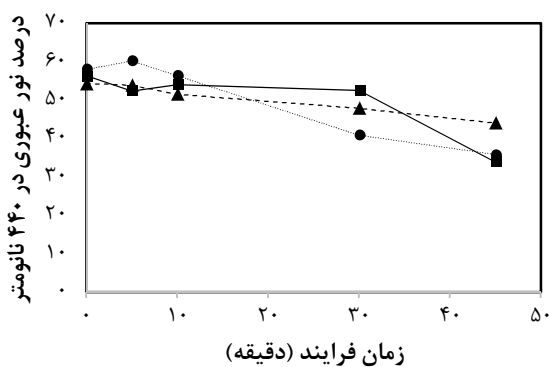
شکل ۴- تأثیر زمان فرایند، زمان پالس دهی و شدت جریان الکتریکی بر pH آبمیوه

پدیده به دلیل شکستن مجدد لخته های تشکیل شده و نیز تشکیل کمپلکس های دیگر در اثر واکنش منعقدکننده مازاد (روی) با تعدادی از مواد موجود در محیط می باشد (Vasudevan *et al.*, 2013) (شکل ۵). مشاهده ها نشان دادند که در مراحل از آزمایش که شدت جریان الکتریکی بیشتر و زمان پالس کمتر می باشد سرعت این فرایند برگشت هم بیشتر می گردد. پس می توان نتیجه گرفت که در شدت جریان های

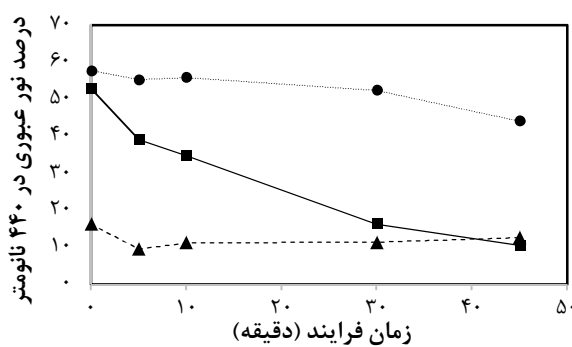
طبق مشاهده ها ثابت گردید هرگاه  $Zn(OH)_2$  به صورت یکنواخت در محیط مصرف گردد pH تغییرات زیادی نخواهد داشت و نمودار تغییرات به صورت خط مستقیم درمی آید. رنگ آبمیوه که بیشتر ناشی از رنگدانه ها و مواد پلی آروماتیک موجود می باشد (پیروزی فر، ۱۳۷۹) با گذشت زمان فرایند و وقوع مکانیسم های کدورت مجدد پس از زمان بهینه، مجدداً روبه افزایش می گذارد. این

می‌دهد. پس برای جلوگیری از تغییر رنگ محیط در فرایند بهینه‌سازی، به محض کاهش کدورت به مقدار مورد نظر باید فرایند را متوقف نمود تا یون‌های موجود در محیط با واکنش با ترکیبات طبیعی موجود در آبمیوه موجب تغییر رنگ نامطلوب نگردند.

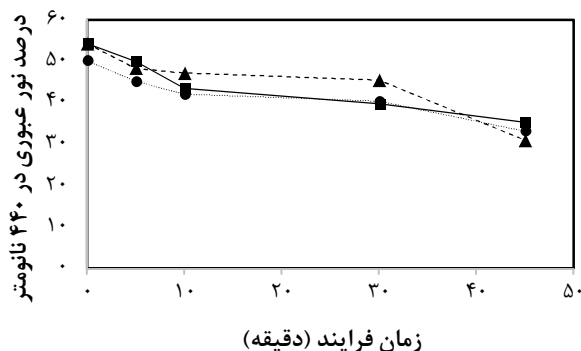
پایین‌تر و پالس‌های طولانی‌تر مشکل افزایش رنگ کمتری ایجاد می‌شود. همچنین مشاهده گردید که هرگاه کاهش کدورت از سرعت کمتری برخوردار باشد، افزایش رنگ هم با آهنگ کندتری صورت می‌گیرد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در فرایند PEC تغییر رنگ با سرعت کندتری نسبت به تغییر کدورت رخ



آزمایش ۴- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
 "آزمایش ۵- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۱ آمپر  
 آزمایش ۶- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۵ آمپر



آزمایش ۱- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
 "آزمایش ۲- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۱ آمپر  
 آزمایش ۳- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۵ آمپر



آزمایش ۷- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
 "آزمایش ۸- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۱ آمپر  
 آزمایش ۹- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۵ آمپر

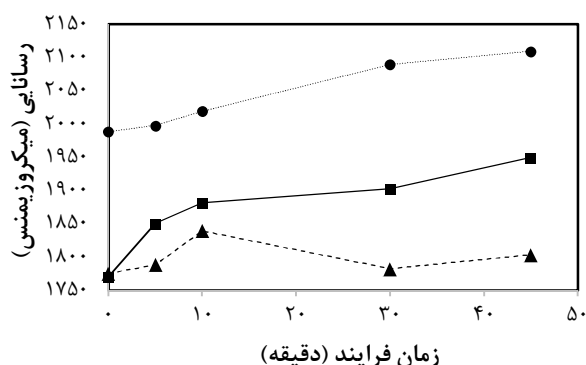
شکل ۵- تأثیر زمان فرایند، زمان پالس‌دهی و شدت جریان الکتریکی بر رنگ آبمیوه

بررسی اثر زمان پالس بر انعقاد الکتریکی مشاهده اثر زمان پالس و به تبع آن زمان استراحت در شکل (۶) نشان داد که با کاهش این زمان میزان یون‌های روی و در نتیجه رسانایی در محیط هم افزایش می‌یابد که این خود به دلیل کاهش زمان استراحت لازم جهت واکنش میان یون‌های روی و ذرات موجود در محیط است؛ بنابراین افزایش زمان پالس و استراحت با افزایش کارایی منعقد کننده‌های تولید شده می‌تواند تأثیر بسزایی در صرفه‌جویی در مقدار روی مصرف‌شده،

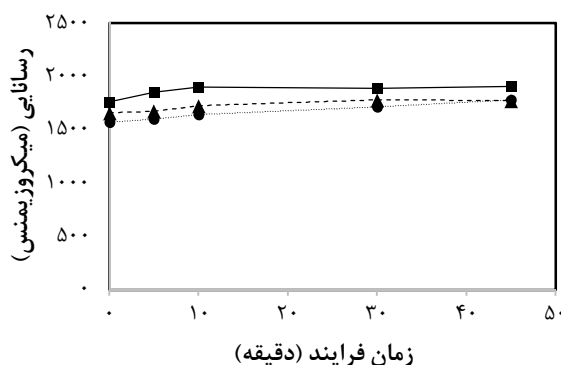
از نقطه نظر تأثیر زمان فرایند بر هدایت الکتریکی محیط، در ابتدای فرایند به دلیل آزاد شدن کاتیون روی و عدم زمان کافی برای واکنش، فلز روی در محیط روبه افزایش می‌گذارد تا اینکه هدایت به یک نقطه بیشینه می‌رسد. از این نقطه به بعد میان میزان روی وارد شده به محیط و میزان مصرف آن تعادلی ایجاد می‌شود که موجب خنثی شدن نمودار افزایش رسانایی نسبت به گذشت زمان می‌گردد.

(Eyvaz et al., 2009)

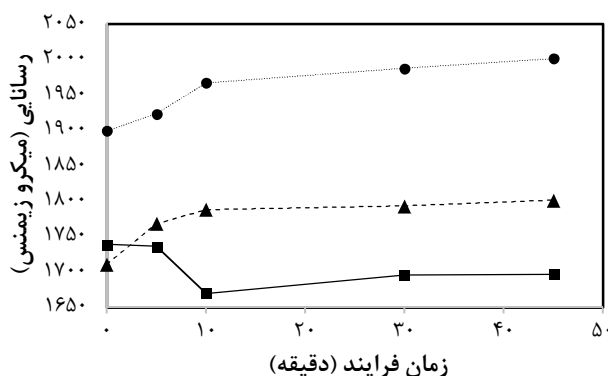
هزینه انرژی و جلوگیری از آلودگی ثانویه فلز روی کند



■ آزمایش ۴- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
 ▲ آزمایش ۵- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۱ آمپر  
 ● آزمایش ۶- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۵ آمپر



■ آزمایش ۱- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
 ▲ آزمایش ۲- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۱ آمپر  
 ● آزمایش ۳- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۵ آمپر



■ آزمایش ۷- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
 ▲ آزمایش ۸- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۱ آمپر  
 ● آزمایش ۹- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۵ آمپر

شکل ۶- تأثیر زمان فرایند، زمان پالس دهی و شدت جریان الکتریکی بر رسائایی آبمیوه

- مرحله فعال که در آن حذف کدورت آغاز می‌گردد.
- مرحله تثبیت که در آن حذف کدورت به حدی ثابت می‌رسد.

استفاده از شدت جریان الکتریکی بالاتر همان‌گونه‌که انتظار می‌رود موجب بهبود سرعت حذف در فرایند انعقاد الکتریکی می‌گردد، اما این امر موجب کاهش و یا حذف مرحله سکون می‌گردد (William et al., 1996).

#### تأثیر فرایند آنزیمی بر نمونه حاصل از فرایند PEC در شرایط بهینه عملیاتی

در این مرحله به بررسی تأثیر آنزیم‌های آمیلاز و پکتیناز و مواد کمکی بنتونیت و ژلاتین بر نمونه حاصل از شرایط بهینه PEC می‌پردازیم. به این منظور و به منظور مطالعه اثربخشی فرایند PEC بر محصول، از مقادیر

بررسی اثر شدت جریان الکتریکی بر انعقاد الکتریکی تغییرات کمتر کدورت در ابتدای واکنش می‌تواند به‌خاطر آزاد شدن میزان کمتری از مواد منعقدکننده در محیط در جریان‌های الکتریکی پایین‌تر و در مراحل آغازین واکنش باشد به‌همین دلیل کاهش کدورت هم کمتر است. در ادامه واکنش رفته‌رفته با افزایش شدت جریان الکتریکی اعمال‌شده به الکترودها، میزان حذف کدورت افزایش می‌یابد پس می‌توان اظهار نمود که تأثیر فرایند PEC افزایش می‌یابد تا اینکه کدورت به حد کمینه خود می‌رسد در ادامه کدورت در محیط دوباره افزایش یابد. شایان ذکر است که به‌طور کلی فرایند حذف کدورت در آبمیوه شامل سه مرحله است:

- مرحله تأخیر که در آن کدورت یا افزایش می‌یابد و یا اینکه ثابت می‌ماند.



پالسی مقادیری فلز روی در محیط آزاد می‌گردد که این مقدار می‌تواند از حد استاندارد فراتر رود. باید توجه داشت باوجوداینکه در این تحقیق هدف، بهینه‌سازی و یا کمینه‌سازی مقادیر روی موجود در محیط نیست اما چند پیشنهاد جهت کاهش میزان روی اضافی احتمالی، در آبمیوه ارائه می‌گردد: ۱- استفاده از مواد شلاته‌کننده قوی و سازگار با محیط آب‌سیب مانند سیتریک‌اسید (Tan *et al.*, 2004)، ۲- استفاده از روش هیبرید فلوتاسیون-میکروفلوتاسیون که می‌تواند تا ۱۰۰ درصد روی موجود در محیط را نیز حذف نماید (Peleka *et al.*, 2006)، ۳- بهینه‌سازی شرایط واکنش، ۴- استفاده از آلیاژهای دیگر به‌عنوان الکتروُد مانند کاربرد الکترودهای قلع که تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر از آن توسط استاندارد کدکس در آبمیوه اجازه داده شده است (Standard Codex, 1981). ۵- استفاده از کربن فعال در فرایند آنزیمی (پیروزی‌فر، ۱۳۷۹).

#### بررسی تأثیر هم‌زمان پارامترهای عملیاتی بر فرایند انعقاد الکتریکی

در این بخش سعی بر آن شده که اثرات متقابل پارامترهای عملیاتی توسط نرم‌افزار Minitab 16 مورد ارزیابی قرار گیرد. باتوجه‌به شکل (۷) می‌توان مشاهده کرد که سانتریفیوژ بار اول مؤثرتر از سانتریفیوژ بار دوم در حذف کدورت عمل کرده است. همچنین شکل (۷) نشان می‌دهد که حذف کدورت با افزایش هم‌زمان تعداد دفعات سانتریفیوژ و زمان پالس افزایش می‌یابد.

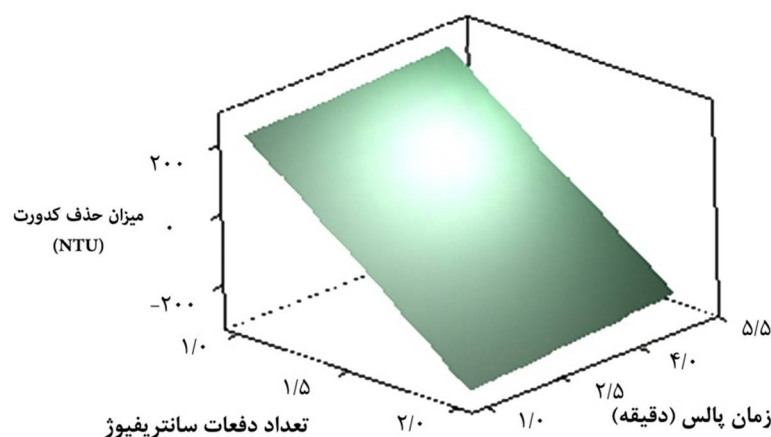
بسیار کمتر ژلاتین نسبت به مطالعه‌های مشابه پیشین (Araya-Farias *et al.*, 2008) استفاده گردید. به‌این‌منظور، میزان کدورت در آبمیوه خام، آبمیوه حاصل از شرایط بهینه PEC، آبمیوه حاصل از فرایندهای PEC و مرحله آنزیمی، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از آن را می‌توان در جدول (۱) مشاهده نمود.

جدول ۱ - نتایج حاصل از اندازه‌گیری کدورت در مراحل مختلف آزمایش

مرحله	کدورت (NTU)
آبمیوه خام	۱۸۷۲
آبمیوه حاصل از شرایط بهینه PEC	۶/۲۳
آبمیوه حاصل بعد از مرحله آنزیمی	۳/۰۹

بهترین کدورتی که در پایان عملیات آنزیمی به‌دست آمد برابر با ۳/۰۹ NTU بود که بسیار به مقدار ۲ NTU که میزان کدورت هدف در صنعت است نزدیک بود. شایان ذکر است که این میزان کدورت بدون کاربرد فیلترهای مکانیکی و یا خلأ مورد استفاده در صنعت و در شرایط غیربهینه آنزیمی و ژلاتینی به‌دست‌آمده و می‌توان با مطالعه‌های بعدی بهینه‌سازی آن را به مقدار زیادی بهبود داد.

فلز روی آزادشده در طی فرایند انعقاد الکتریکی به‌صورت اجتناب‌ناپذیری در فرایند انعقاد الکتریکی

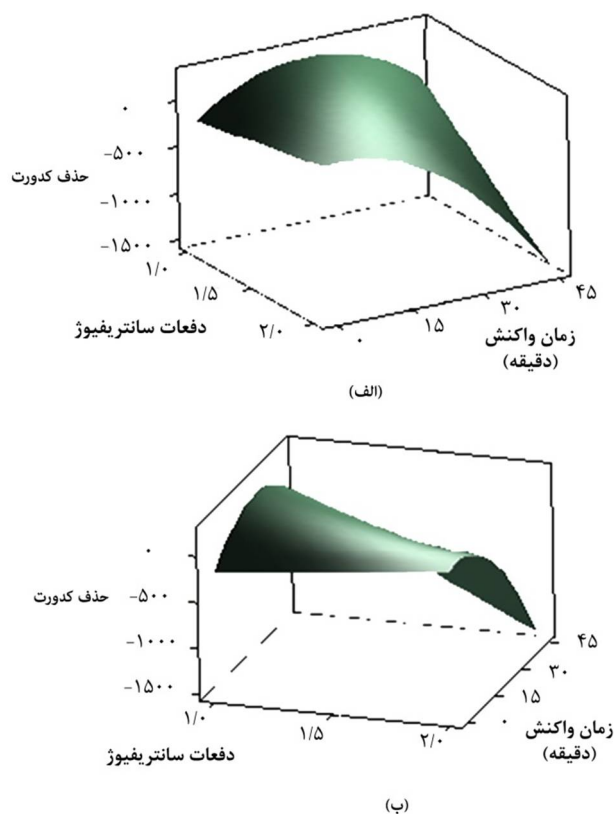


شکل ۷ - تأثیر زمان فرایند و دفعات سانتریفیوژ بر حذف کدورت

گذشت زمان سانتریفیوژ بار اول مؤثرتر می‌گردد تا اینکه در زمان بهینه واکنش، تأثیر سانتریفیوژ بار اول به نقطه بهینه خود رسیده و در ادامه این تأثیر کاهش می‌یابد. همان‌گونه که از شکل (۸-ب) قابل استنباط است تأثیر سانتریفیوژ کردن بر حذف کدورت به تدریج و با گذشت زمان کاهش یافته و در زمان‌های پایانی واکنش این تأثیر قابل چشم‌پوشی است.

باتوجه به شکل (۸) می‌توان دریافت که در شدت جریان الکتریکی ثابت، با گذشت زمان، حذف کدورت ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همچنین این نمودار نشان می‌دهد که گذشت زمان و افزایش شدت جریان الکتریکی تأثیری مثبت بر حذف کدورت در آبمیوه دارند.

شکل (۸-الف) نشان می‌دهد که در ابتدای واکنش سانتریفیوژ بار دوم مؤثرتر از سانتریفیوژ بار اول است. با



شکل ۸ - چگونگی تأثیر زمان واکنش و تعداد دفعات واکنش بر حذف کدورت

در طی فرایند، سانتریفیوژ اول مؤثرتر از سانتریفیوژ دوم است اما باید اظهار داشت که افزایش تعداد دفعات سانتریفیوژ موجب بهبود کدورت در محیط می‌گردد. البته این نیروی فیزیکی فقط بر ذرات با دانسیته بیشتر در محیط مؤثر است و بر ذرات باردار به دلیل نیروی دافعه بارهای هم‌نام تأثیر چندانی نمی‌تواند داشته باشد. پس می‌توان پیش‌بینی نمود که افزایش دفعات سانتریفیوژ تا حدی مشخص بر فرایند مؤثر است. همچنین، شکل (۷) نشان می‌دهد که در شدت جریانی ثابت، حذف کدورت در نقطه‌ای مشخص با گذشت زمان

اطلاعات تحلیلی Minitab نشان می‌دهند که بیشترین میزان حذف کدورت در شرایط ۲ بار سانتریفیوژ، زمان پالس ۵ دقیقه و شدت جریان الکتریکی ۰/۵ آمپر و ۳/۶ دقیقه پس از آغاز واکنش حاصل می‌گردد. خاطر نشان می‌شود که در این شرایط واکنش بسیار سریع است. همان‌طور که قبلاً هم گفته شد، تغییر رنگ دیرتر از تغییر کدورت اتفاق می‌افتد پس می‌توان با اجرای فرایند در شرایط عملیاتی فوق مشکل تغییر رنگ را نیز حل نمود. باتوجه به تغییرات کدورت در شکل (۷) باوجود اینکه

بسیار کمتر از مقادیر استفاده‌شده در مطالعه‌های مشابه است. بر طبق اطلاعات حاصل از نمودارهای برنامه Minintab 16 بهترین کدورت بعد از ۲ بار سانتریفیوژ کردن، زمان پالس ۵ دقیقه، شدت جریان ۰/۵ آمپر و زمان فرایند ۳/۶ دقیقه به دست می‌آید. در این مطالعه مشاهده گردید که با طولانی‌تر شدن زمان پالس، فرایند PEC مؤثرتر می‌شود. علاوه‌براین در این شرایط، یون‌های روی آزادشده در محیط کمتر و رنگ آبمیوه نیز بهتر است. همچنین مطالعه نشان داد در طول فرایند pH تغییر چشمگیری نداشت.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله در قالب پایان‌نامه دانشجویی کارشناسی ارشد انجام پذیرفته است و نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از رئیس محترم دانشگاه علوم پزشکی کردستان و رئیس و کارکنان دانشکده بهداشت این دانشگاه و همچنین کارکنان و اساتید گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم و تحقیقات واحد سنندج، اعلام می‌دارند.

#### نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که روش PEC روشی مؤثر برای حذف ذرات کلوئیدی موجود در غذا است. بهترین کدورت به دست‌آمده در آبمیوه مورد آزمایش به وسیله این روش، ۵ NTU بود که در شرایط زمان پالس ۵ دقیقه، زمان فرایند ۴۵ دقیقه و جریان ۰/۰۳ آمپر به دست آمد. در مرحله دوم مطالعه، کدورت ۳/۰۹ NTU با استفاده از عملیات آنزیم‌زنی با مقادیر کم و غیربیهینه روی محصول مرحله اول فرایند حاصل شد. در این حالت از ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر پکتیناز استفاده شد که

#### منابع

- ۱- پیروزی‌فر، خ. ۱۳۷۹. شفاف‌سازی آبمیوه. جهاد دانشگاهی، صفحات ۱-۶.
- ۲- دربندسریری، ف.، حسنی، ا.، برقی، م. و منشوری، م. ۱۳۹۲. بررسی اثر ازن‌زنی قبل و بعد از فرایند انعقاد و لخته‌سازی در کاهش بار آلودگی شیرابه زباله. شانزهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، ۹-۱۱ مهر ماه، تبریز.
- ۳- فاطمی، س.ح. ۱۳۸۶. شیمی مواد غذایی. شرکت سهامی انتشار، صفحات ۲۳۰-۲۳۵.
- 4- Araya-Farias, M., Mondor, M., Lamarche, F., Tajchakavit, S., & Makhoulf, J. 2008. Clarification of apple juice by electroflotation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(3):320-327.
- 5- Boudjema, N., Drouiche, N., Abdi, N., Grib, H., Lounici, H., Paus, A., & Mameri, N. 2014. Treatment of oued el harrach river water by electrocoagulation noting the effect of the electric field on microorganisms. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(4):1564-1570.
- 6- Carrin, M.E., Ceci, N.L., & Lozano, E.J. 2004. Characterization of starch in apple juice and its degradation by amylases. *Food Chemistry*, 87(2):173-178.
- 7- Codex standard for apple juice preserved by physical means 1Codex Stan 48-1981 (World-wide Standard).

- 8- Daraei, H., Irandoust, M.B., Ghasemi, J., & Kurdian, A. 2012. QSPR probing of Na<sup>+</sup> complexation with 15-crown-5 ethers derivatives using artificial neural network and multiple linear regression. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 72(3):423-435.
- 9- Eyvaz, M., Kirlaroglu, M., Aktas, T., & Yuksel, E. 2009 The effects of alternating current electrocoagulation on dye removal from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 153(1):16-22.
- 10- Gomes Jewel, A., Daida, P., Kesmez, M., Weir, M., Moreno, H., Parga, J.R., Irwin, G., McWhinney, H., Grady, T., Peterson, E., & Cocke, D. 2007. Arsenic removal by electrocoagulation using combined Al-Fe electrode system and characterization of products. *Journal of Hazardous Materials*, 139(2):220-231.
- 11- Holt, P., Barton, G., & Mitchel, C. 1999 Electrocoagulation as a wastewater treatment. The third annual australian environmental engineering research event, 100:41-46
- 12- Ibrahim, G.E., Hassan, I.M., Abd-Elrashid, A.M., El- Massry, K.F., Eh-Ghorab, A.H., Ramadan, M., & Osman, F. 2011. Effect of clouding agents on the quality of apple juice during storage. *Food Hydrocolloids*, 25(1):91-97.
- 13- Lab Clin, J. 1994. Understanding zinc: recent observations and interpretations. dietary reference intakes for vitamin a, vitamin k, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. institute of medicine, food and nutrition board. Washington, DC. 322-327.
- 14- McLellan Mark, R., & Padilla-Zakour Olga, I. 2005. Juice processing. fruit and vegetable processing improving quality. USA. Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC. 9.
- 15- Onianwa, P., Adeyemo, A., Idowu, O., & Ogabiela, E. 2001. Copper and zinc contents of Nigerian foods and estimates of the adult dietary intakes. *Food Chem*, 72(1):8995.
- 16- Peleka, E., Lazaridis, N., Mavros, P.M., & Kostas, A. 2006 New hybrid flotation microfiltration cell. *Separation Science and Technology*, 41(14): 3229-3243.
- 17- Sant'Ana, A.S, Rosenthal, A., & de Massaguer, P.R. 2008. The fate of patulin in apple juice processing: a review. *Food Research International*. 41(5):441-453.
- 18- Savaş Bahçeci, K., Gökmen, V.S., & Arda, A. 2003. Jale . The effects of different technologies on *alicyclobacillus acidoterrestris* during apple juice production. *European Food Research and Technology*, 217(3):249-252.
- 19- Singh, S., & Reena, G. 2003. Apple juice clarification using fungal PECTinolytic enzyme and gelatin. *Indian journal of biotechnology*..13:573-576.
- 20- Tajchakavit, S., Boye, J.I., & Couture, R. 2001. Effect of processing on post-bottling haze formation in apple juice. *Food Research International*. 34(5):415-424.
- 21- Tan Ch,T. 2004. Food emulsions. Fourth Edition chapter 12 Beverage Emulsions. U.S.A.. 1-40.
- 22- Vasudevan, S., Lakshmi, J., & Sozhan, G. 2013 Removal of boron from seawater, geothermal water and wastewater electrochemically assisted coagulation for the removal of boron from water using zinc anode . *Desalination*, 310:122-129.

- 
- 23- Wang, B., Cheng, F., Lu, Y., Ge, W., Zhang, M., & Yue, B. 2013. immobilization of pectinase from *penicillium oxalicum* f67 onto magnetic cornstarch microspheres: characterization and application in juice production. *Journal of Molecular Catalysis*.97:137-143.
- 24- Wang, H., Hu, Z., Long, F., Guo, C., Niu, C., Yuan, Y., & Yue, T. 2016. Combined effect of sugar content and ph on the growth of a wild strain of *zygosaccharomyces rouxii* and time for spoilage in concentrated apple juice. *Food Control*, 59:298-305.
- 25- William, R., & Barrett, D. 1996. Processing fruits. Major processed products processing. Second edition. USA. crc press.
- 26- Xuhui, M., Hong, S., Zhu, H., Lin, H., Wei, L., & Gan, F. 2008. Alternating pulse current in electrocoagulation for wastewater treatment to prevent the passivation of al electrode. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater*, 23(2):239-241.

## Novel Method Efficiency of Puls Electrocoagulation (PEC) in Apple Juice Clarification

Ramyar Qavami<sup>1</sup>, Afshin Maleki<sup>2</sup>, Hiua Daraei<sup>3\*</sup>

- 1- M.Sc. student, Science and Research University, Sanandaj Branch, Sanandaj, Iran
  - 2- Professor, Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
  - 3- Lecturer, Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran
- \* Corresponding authore (Hiua.Daraei@gmail.com;Hiua.Daraei@muk.ac.ir)

### Abstract

In this study, the effects of pulse electrocoagulation (PEC) process on apple juice clarification was investigated. Influences of three variables of pulse time (1, 3 and 5 seconds), process time (5, 10, 30 and 45 minutes), and electrical current (0.03, 0.1 and 0.5 Ampere) on process efficiency were studied in three repeats. The results revealed that the minimal turbidity 5 NTU was achieved at 0.03 ampere of electrical current, 5 minutes of pulse time, process time 30 minutes, and natural juice pH (pH=3.5). In order to attain apple juice turbidity standard level, the synergistic effect of low amounts of pectinase, amylase, and gelatine fining agents were used as co-coagulant. Using this method reached turbidity up to 3 NTU which is very close to industrial standard turbidity (2 NTU) and this level is generally required to produce stable clarified juice. This study showed that PEC can successfully be used as an alternative or an auxiliary method for juice clarification because of high turbidity removal potential in noticeable lower process time and lower amounts clarifying agents.

**Keyword:** Apple Juice, Clarification, Pulse Electrocoagulation, Turbidity