

## 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- مریبی، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران  
\* نویسنده مسئول (Hiua.Daraei@gmail.com & Hiua.Daraei@muk.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۹

### چکیده

واژه‌های کلیدی  
آب‌سیب  
انعقاد الکتریکی پالسی  
شفافسازی  
کدورت

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 (۰/۰۱ و ۰/۰۵ 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 ۰/۰۳ آمپر، زمان پالس ۵ دقیقه، زمان فرایند ۳۰ دقیقه و بدون تغییر pH آبمیوه 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 به عنوان کمک منعقد کننده استفاده شد. این روش کدورت را به کدورت استاندارد (۲ NTU) نزدیک کرد. این مطالعه نشان داد روش PEC به دلیل کاهش قابل توجه کدورت بدون نیاز به آنزیمهای مواد کمکی و با کاهش چشمگیر زمان فرایند می‌تواند به عنوان روشی جایگزین و یا کمکی در صنعت آبمیوه‌سازی مورد استفاده قرار گیرد.

مقدمه  
توسط مواد کمکی، جداسازی و صاف کردن است (پیروزی‌فر، ۱۳۷۹). به طور 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 تانیک‌اسید-پروتئین-عسل (William *et al.*, 1996) و

آبمیوه سامانه‌ای است که در آن مواد جامد در محیط مایع به صورت محلول یا کلوبیدی حضور دارند. کدورت<sup>۱</sup> پدیده‌ای است که در سامانه‌های کلوبیدی 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 به دلیل بازارپسندی و سلیقۀ مصرف کننده 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

میکروارگانیسم‌ها (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 بر عکس. 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 تنها یی و به همراه آنزیم‌ها و مواد کمک منعقدکننده و پارامترهای عملیاتی مؤثر بر فرایند شفافسازی آبمیوه بود.

تبییت 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).

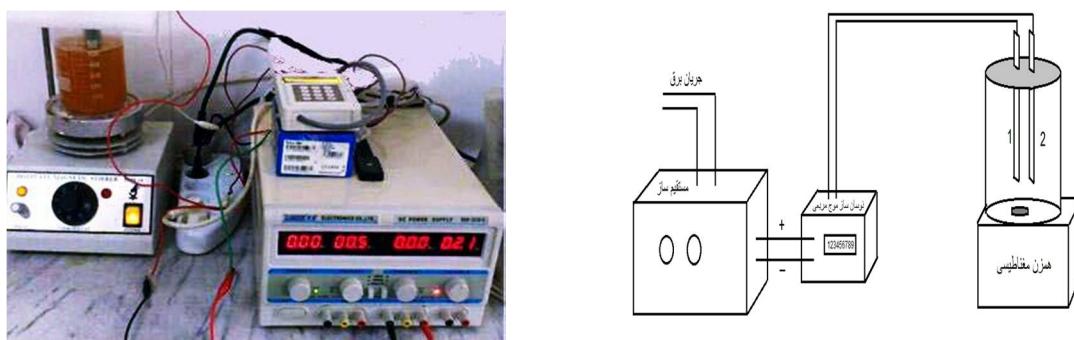
با وجود کارایی بالای روش‌های انعقاد الکتریکی در حذف ذرات معلق موجود در محیط‌های مایع، تاکنون مطالعه‌های کمی در زمینه استفاده از این فرایند در صنایع غذایی انجام شده است. در این فرایند حذف ذرات معلق می‌تواند به کمک دو مکانیسم شناورسازی الکتریکی<sup>۱</sup> (EF) و انعقاد الکتریکی<sup>۲</sup> (EC) به صورت 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 درنتیجه سطح ویژه بزرگ‌تر را دارد که منجر به افزایش در Araya-Farias *et al.*, (2008).

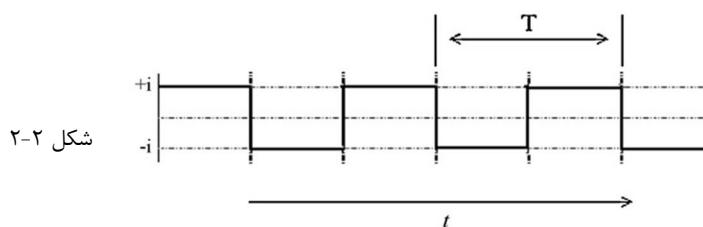
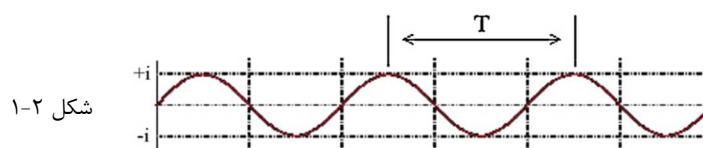
انعقاد الکتریکی روش دیگری است که با تولید عوامل انعقادی در آند و گاز هیدروژن در کاتد به‌وسیله جریان مستقیم، به حذف مواد باردار و غیرباردار در محیط می‌پردازد. بیشتر کلئیدها در طی فرایند، با تولید ذرات باردار مثبتی که با تلاشی الکتریکی آند به وجود می‌آیند، خنثی و تهشیش می‌گردند و بقیه ذرات هم روی سطح مایع 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>۱</sup>Electroflotation

<sup>۲</sup>Electrocoagulation



شکل ۱ - تصویر شماتیک و تصویر واقعی منبع تغذیه، پالسی کننده 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 کدورت سنج<sup>۴</sup> (AQUALYTIC) مدل AL 450T-IR مورد ارزیابی قرار گرفت. بهمنظور اندازه‌گیری رنگ از دستگاه اسپکتروفتومتر<sup>۵</sup> مدل T80 ۴۴۰ uv/vis, PG Instrument LTD نانومتر درصد نور عبوری استفاده گردید (Araya-Farias et al., 2008). غلاظت یون‌های هیدرونیوم نمونه‌ها توسط pH متر مدل 3510 jenway مدل 3510 اندازه‌گیری گردید. در طول فرایند، آبمیوه توسط همزن مغناطیسی مدل Stirrer HMS magnetic هم زده می‌شد.

**منبع تغذیه و پالسی کننده جریان**  
سیستم الکتریکی از دو بخش مولد جریان مستقیم و تولید کننده جریان پالسی تشکیل شده است که در شکل (۱) به طور شماتیک نمایش داده شده است. در قسمت اول، جریان متناوب برق شهر با نمودار سینوسی نسبت به زمان (شکل ۱-۲) به صورت جریان قبل تنظیم مستقیم با نمودار خطی نسبت به زمان درمی‌آید. در قسمت دوم، جریان که به صورت 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 هر روز، به طور 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 استفاده شده 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 به وسیله رسانایی سنج<sup>۳</sup> مدل jenway-4510 اندازه‌گیری

<sup>4</sup> Conductivity meter

<sup>5</sup> Spectrophotometer

<sup>1</sup> McIntosh

<sup>2</sup> Centrifuge

<sup>3</sup> Conductivity meter

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 بهصورت غیربهینه و صرفاً بهمنظور 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 سانتی گراد به مدت ۷ دقیقه پاستوریزه شد (پیروزی فر، ۱۳۷۹). سپس به منظور بررسی اثر فرایندهای آنزیمی بر محصول فرایند انعقاد الکتریکی، پکتیناز به میزان ۱۰ میلی گرم 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 میلی گرم در لیتر آمیلاز افزوده شد آبمیوه به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به منظور تأثیر آنزیمها نگهداشته شد. در مرحله بعد به محلول به میزان ۲/۵ گرم در لیتر بنتونیت (Savaş et al., 2003) و پس از ۳ دقیقه همزدن، آبمیوه در دور ۳۰۰۰ rpm تمامی نمونه‌ها در دور ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه پاستوریزه گردید (Carrín et al., 2004) که در فرایند انعقاد الکتریکی برای تهشیش 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.

**آنالیز محصولات فرایند**  
پس از هر نمونه‌داری و آماده سازی 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. درنهایت 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):

$$\text{رابطه (۱)}$$

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

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 استوانه شیشه‌ای (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  $2/5 \times 15$  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 سانتی گراد به مدت ۵ دقیقه پاستوریزه گردید (Bahçeceli et al., 2003) که در فرایند انعقاد الکتریکی برای تهشیش 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 حریان الکتریکی  $0/0/0^3$  و  $0/0/5$  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

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

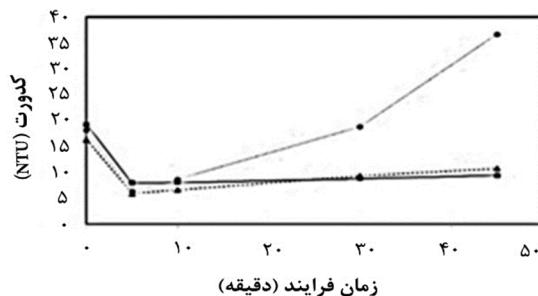
بررسی اثر زمان فرایند بر انعقاد الکتریکی بررسی نمودارهای شکل (۳) نشان می‌دهد که با گذشت زمان، کدورت تا مقدار مشخصی کاهش یافته (کمینه کدورت) در ادامه و با شیبی تندریز میزان کدورت روبه‌افزایش می‌گذارد که چنین الگویی به‌خاطر مکانیسم‌های برگشتی انعقاد در حضور مقدار مازاد منعقد کننده تولیدشده قبل از دفعات گزارش شده است و لزوم بهینه‌سازی را در فرایند انعقاد تأیید می‌کند. آزمایش جار در کاربرد انعقاد در تصفیه آب و فاضلاب نمونه‌ای از راه حل بهینه‌سازی برای این فرایند است (دریندرسی و همکاران ۱۳۹۲).

### آنالیزهای آماری داده‌ها

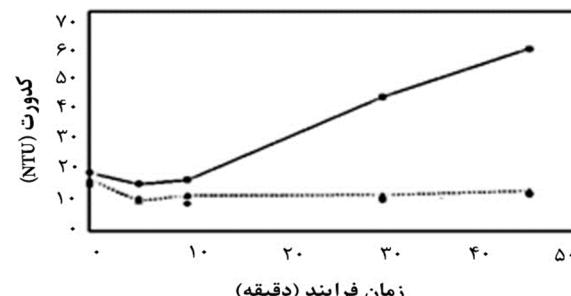
داده‌های مربوط به آزمایش پس از وارد کردن آنها در محیط نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶ مورد بررسی آماری قرار گرفتند. روش رگرسیون چندخطی چندمرحله‌ای جهت تعیین پارامترهای مؤثر در سطح  $0.05$  و شدت تأثیر هر پارامتر مورد استفاده قرار گرفت. روش رگرسیون چندخطی جهت ایجاد مدل با استفاده از پارامترهای مؤثر به کار گرفته شد. از آنالیزهای آماری چندمتغیره جهت بررسی تأثیر برهمنکنش پارامترها استفاده شد. درنهایت با استفاده از گراف‌های سه‌بعدی اثر پارامترها و برهمنکنش آنها به نمایش درآمد (Daraei et al., 2012).

### نتایج و بحث

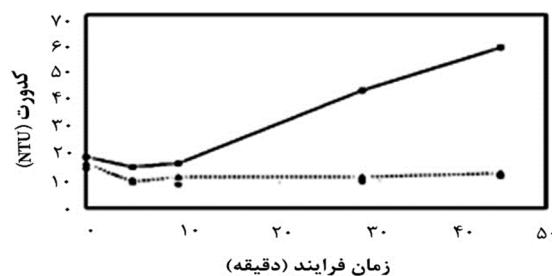
پس از انجام پیش‌آزمایش‌های مربوط به تعیین رنج پارامترهای عملیاتی، اثر هر کدام از پارامترهای مورد مطالعه بر کارایی فرایند انعقاد الکتریکی مورد آزمایش قرار گرفت. این نتایج درنهایت جهت ایجاد یک مدل مربوط به فرایند انعقاد الکتریکی استفاده شدند. مدل



آزمایش ۴- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی  $0.03$  آمپر  
آزمایش ۵- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی  $0.01$  آمپر  
آزمایش ۶- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی  $0.05$  آمپر



آزمایش ۱- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی  $0.03$  آمپر  
آزمایش ۲- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی  $0.01$  آمپر  
آزمایش ۳- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی  $0.05$  آمپر

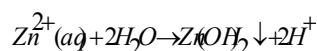
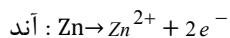
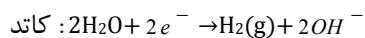


آزمایش ۷- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی  $0.03$  آمپر  
آزمایش ۸- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی  $0.01$  آمپر  
آزمایش ۹- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی  $0.05$  آمپر

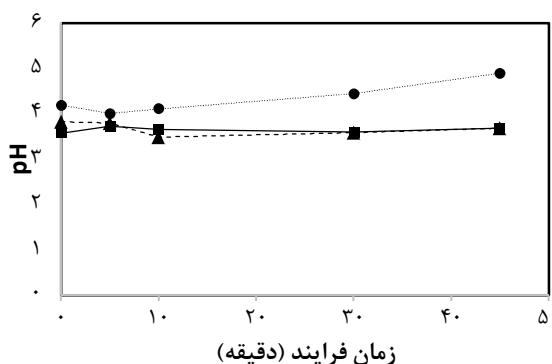
شکل ۳- تأثیر زمان فرایند، زمان پالس‌دهی و شدت جریان الکتریکی بر کدورت آبمیوه

(*et al.*, 2013

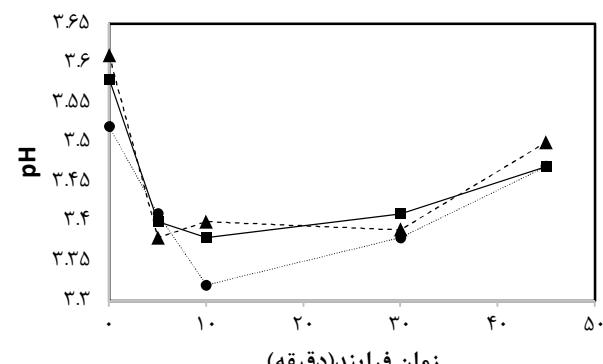
رابطه (۲)



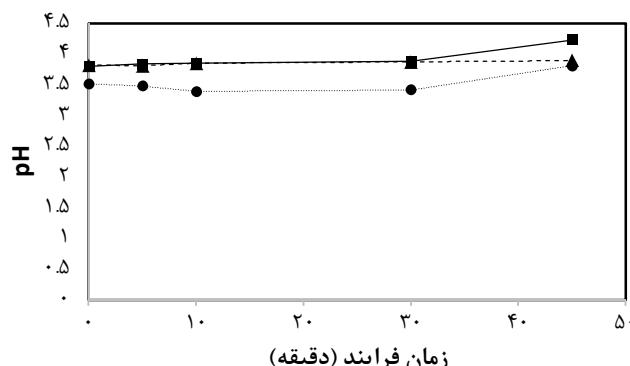
هرچند که تغییرات pH در محیط به دلیل بافری بودن محیط جزئی است (Wang *et al.*, 2016) اما به طور کلی pH در ابتدای واکنش کاهش و در ادامه افزایش می‌یابد (شکل ۴). طبق رابطه (۲) کاهش نسبی pH را می‌توان به افزایش یون‌های Zn<sup>2+</sup> و درنتیجه افزایش یون‌های H<sup>+</sup> در آبمیوه نسبت داد (Vasudevan



آزمایش ۴- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
آزمایش ۵- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۵ آمپر  
آزمایش ۶- زمان پالس ۳ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۷ آمپر



آزمایش ۱- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
آزمایش ۲- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۵ آمپر  
آزمایش ۳- زمان پالس ۱ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۷ آمپر



آزمایش ۷- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۳ آمپر  
آزمایش ۸- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۵ آمپر  
آزمایش ۹- زمان پالس ۵ ثانیه و شدت جریان الکتریکی ۰.۰۷ آمپر

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

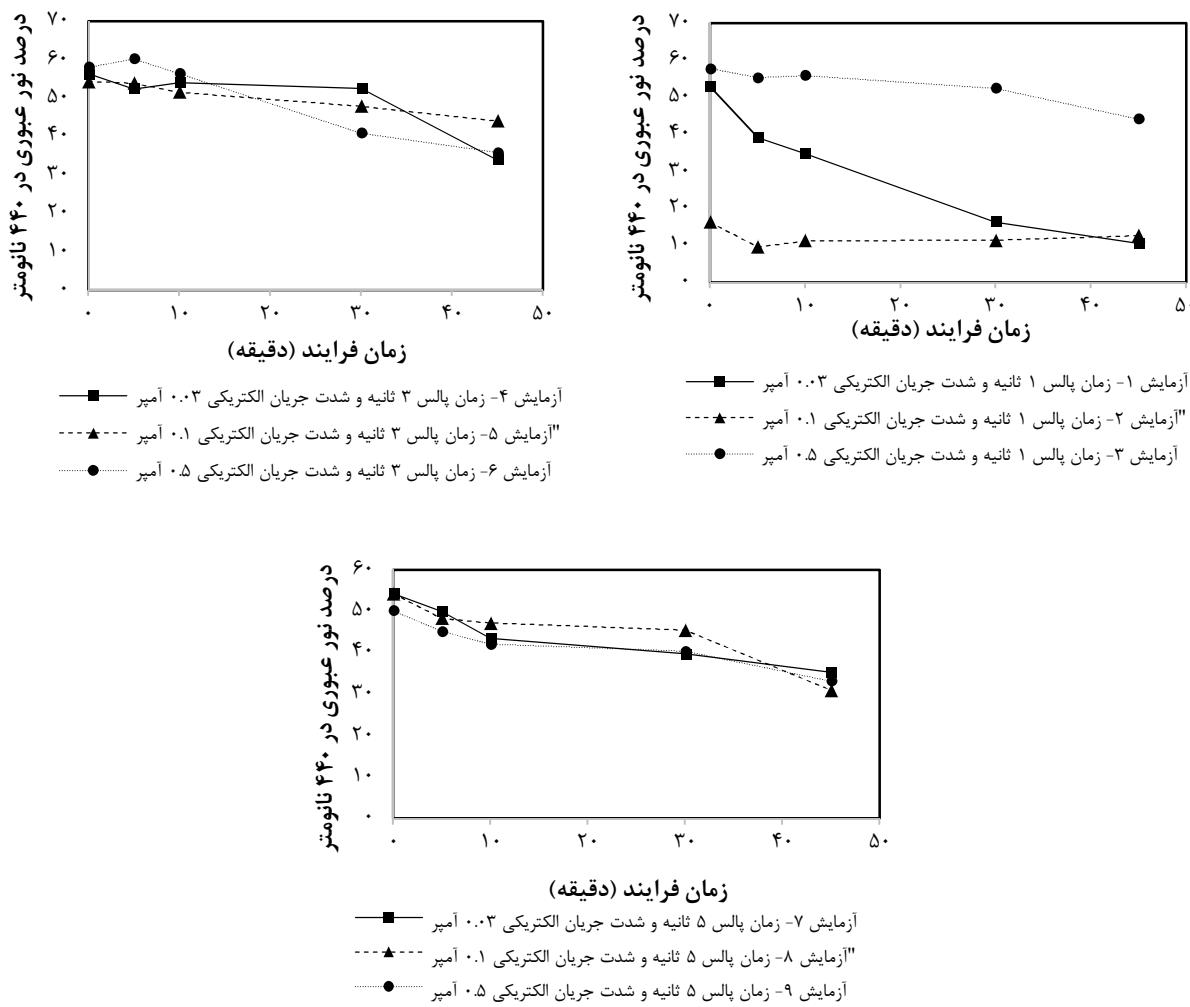
پدیده به دلیل شکستن مجدد لخته‌های تشکیل شده و نیز تشکیل کمپلکس‌های دیگر در اثر واکنش منعقد کننده مازاد (روی) با تعدادی از مواد موجود در محیط می‌باشد (Vasudevan *et al.*, 2013) (شکل ۵). مشاهده‌ها نشان دادند که در مراحلی از آزمایش که شدت جریان الکتریکی بیشتر و زمان پالس کمتر می‌باشد سرعت این فرایند برگشت هم بیشتر می‌گردد. پس می‌توان نتیجه گرفت که در شدت جریان‌های

طبق مشاهده‌ها ثابت گردید هرگاه Zn(OH)<sub>2</sub> به صورت یکنواخت در محیط مصرف گردد pH تغییرات زیادی نخواهد داشت و نمودار تغییرات به صورت خط مستقیم درمی‌آید.

رنگ آبمیوه که بیشتر ناشی از رنگدانه‌ها و مواد پلی‌آروماتیک موجود می‌باشد (پیروزی‌فر، ۱۳۷۹) با گذشت زمان فرایند و وقوع مکانیسم‌های کدورت مجدد پس از زمان بهینه، مجدداً روبه‌افزایش می‌گذارد. 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

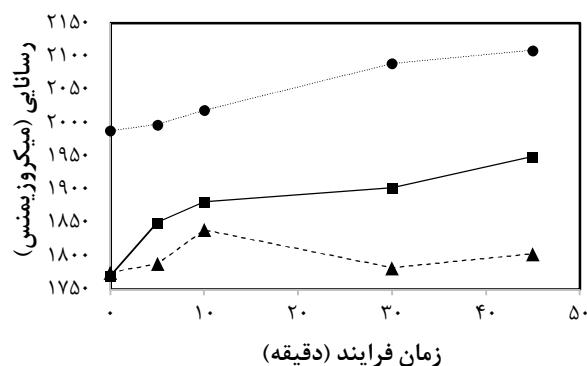


شکل ۵- تأثیر زمان فرایند، زمان پالس دهی و شدت جریان الکتریکی بر رنگ آبمیوه

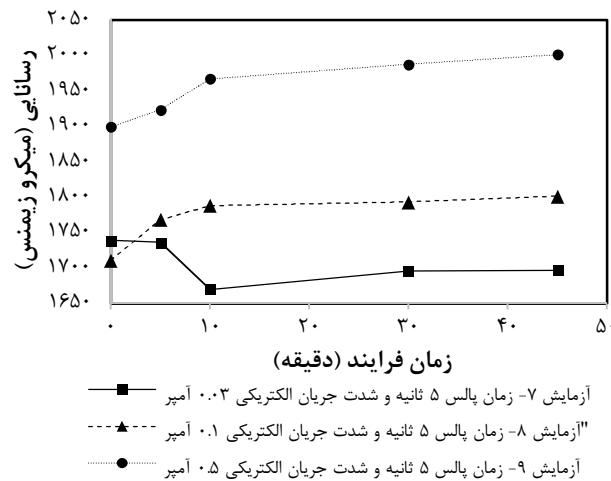
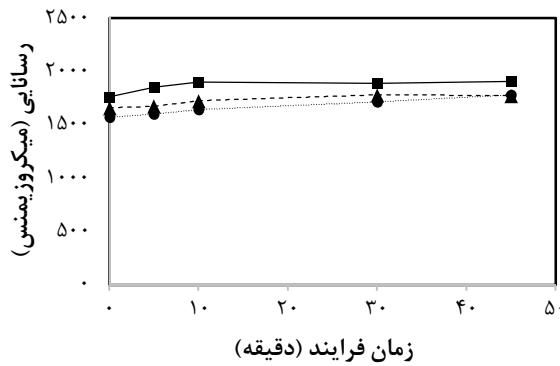
**بررسی اثر زمان پالس بر انعقاد الکتریکی**  
مشاهده اثر زمان پالس و به تبع آن زمان استراحت در شکل (۶) نشان داد که با کاهش این زمان میزان یون‌های روی و درنتیجه رسانایی در محیط هم افزایش می‌یابد که این خود بهدلیل کاهش زمان استراحت لازم جهت واکنش میان یون‌های روی و ذرات موجود در محیط است؛ بنابراین افزایش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

از نقطه‌نظر تأثیر زمان فرایند بر هدایت الکتریکی محیط، در ابتدای فرایند بهدلیل آزادشدن کاتیون روی و عدم زمان کافی برای واکنش، فلز روی در محیط روبه‌افزایش می‌گذارد تا اینکه هدایت به یک نقطه بیشینه می‌رسد. از این نقطه به بعد میان میزان روی واردشده 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



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

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

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

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

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

بررسی اثر شدت جریان الکتریکی بر انعقاد الکتریکی تغییرات کمتر کدورت در ابتدای واکنش می‌تواند به‌خاطر آزادشدن میزان کمتری از مواد منعقدکننده در محیط در جریان‌های الکتریکی پایین‌تر و در مراحل آغازین واکنش باشد به‌همین‌دلیل کاهش کدورت هم کمتر است. در ادامه واکنش رفتارهای با افزایش شدت جریان الکتریکی اعمال شده 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:

- مرحلهٔ 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 با وجود اینکه 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 شلاته کننده قوی و سازگار با محیط آب‌سیب مانند سیتریک اسید (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 آلیزهای دیگر به عنوان الکترود 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. با توجه به 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.

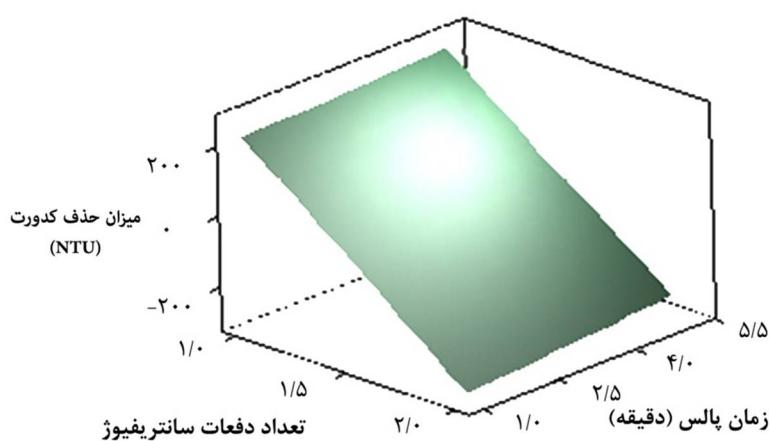
بسیار کمتر ژلاتین نسبت به مطالعه‌های مشابه پیشین (Araya-Farias *et al.*, 2008) استفاده گردید. به این‌منظور، میزان کدورت در آبمیوه خام، آبمیوه حاصل از شرایط بهینه PEC، آبمیوه حاصل از فرایندهای PEC و مرحله آنزیمی، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از آن را می‌توان در جدول (۱) مشاهده نمود.

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

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

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

**فلز روی آزادشده در طی فرایند انعقاد الکتریکی**  
به صورت اجتناب‌ناپذیری در فرایند انعقاد الکتریکی

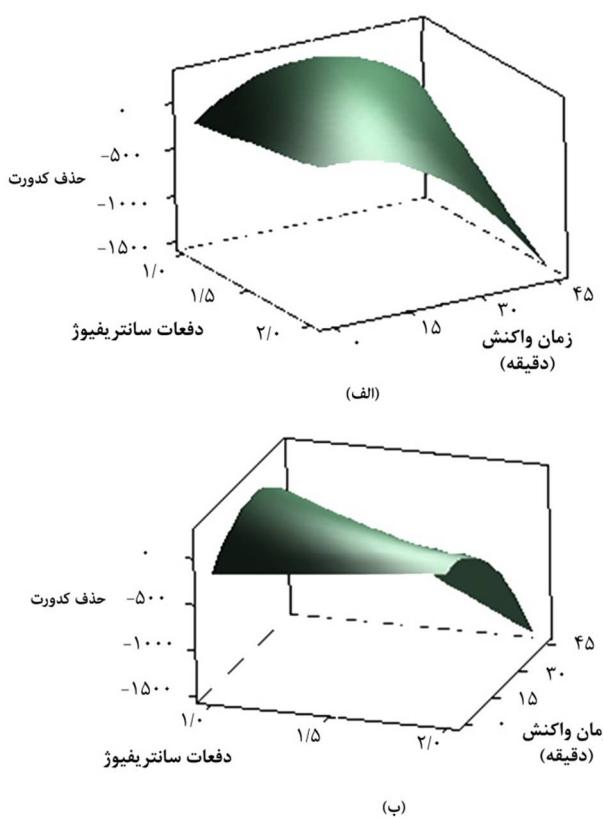


شکل ۷ - تأثیر زمان فرایند و دفعات سانتریفیوژ بر حذف کدورت

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. همان‌گونه‌که از شکل (۸-ب) قابل استنباط است تأثیر سانتریفیوژ‌کردن بر حذف کدورت به تدریج و با گذشت زمان کاهش یافته و در زمان‌های پایانی واکنش این تأثیر قابل چشم‌پوشی است.

با توجه 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 دفاتر واکنش بر حذف کدورت

در طی فرایند، سانتریفیوژ اول مؤثرتر از سانتریفیوژ دوم است اما باید اظهار داشت که افزایش تعداد دفاتر سانتریفیوژ موجب بهبود کدورت در محیط می‌گردد. البته این نیروی فیزیکی فقط بر ذرات با دانسیتی بیشتر در محیط مؤثر است و بر ذرات باردار بهدلیل نیروی دافعه بارهای همان تأثیر چندانی نمی‌تواند داشته باشد. پس می‌توان پیش‌بینی نمود که افزایش دفاتر 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 قبل از ۵ 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.

با توجه به تغییرات کدورت در شکل (۷) با وجود اینکه

بسیار کمتر از مقادیر استفاده شده در مطالعه های مشابه است. بر طبق اطلاعات حاصل از نمودارهای برنامه Minitab 16 بهترین کدورت بعد از ۲ بار سانتریفیوژ کردن، زمان پالس ۵ دقیقه، شدت جریان ۰/۰ آمپر و زمان فرایند ۳/۶ دقیقه به دست می آید. در این مطالعه مشاهده گردید که با طولانی تر شدن زمان پالس، فرایند PEC مؤثرتر می شود. علاوه بر این در این شرایط، یون های روی آزاد شده 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 پایان نامه دانشجویی کارشناسی ارشد انجام پذیرفته است و نویسندها این مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از رئیس محترم دانشگاه علوم پزشکی کرده اند و رئیس و کارکنان دانشگاه بهداشت این دانشگاه و همچنین کارکنان و استادی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم و تحقیقات واحد سنندج، اعلام می دارند.

به حدی بیشینه می رسد.

باتوجه به شکل های (۸-الف) و (۸-ب) می توان نتیجه گرفت که شرایط بینه حذف کدورت زمانی اتفاق می افتد که: ۱- مدت زیادی از آغاز واکنش نگذشته باشد؛ یعنی با افزایش سرعت واکنش از تولید موادی سرعت تشکیل کننده که عامل افزایش کدورت هستند جلوگیری گردد. ۲- زمان پالس طولانی تر باشد. این فاکتور زمان لازم برای واکنش یون های فلزی با مواد کلئیدی را فراهم می نماید.

#### نتیجه گیری

این مطالعه نشان داد که روش PEC روشی مؤثر برای حذف ذرات کلئیدی موجود در غذا است. بهترین کدورت به دست آمده در آبمیوه مورد آزمایش بوسیله این روش، ۵ NTU بود که در شرایط زمان پالس ۵ دقیقه، زمان فرایند ۴۵ دقیقه و جریان ۰/۰ آمپر NTU ۳/۰۹ به دست آمد. در مرحله دوم مطالعه، کدورت ۹ با استفاده از عملیات آنزیمزنی با مقادیر کم و غیر بینه روی محصول مرحله اول فرایند حاصل شد. در این حالت از ۸۰ میلی گرم بر لیتر پکتیناز استفاده شد که

#### منابع

- ۱- پیروزی فر، خ. ۱۳۷۹. شفافسازی آبمیوه. جهاد دانشگاهی، صفحات ۶-۱۳.
- ۲- دربندرسریری، ف.، حسنی، ا.، برقی، م. و منشوری. م. ۱۳۹۲. بررسی اثر ازن زنی قبل و بعد از فرایند انعقاد و لخته سازی در کاهش بار آلودگی شیرابه زیاله. شانزهاین همایش ملی بهداشت محیط ایران، ۱۱-۹ مهر ماه، تبریز.
- ۳- فاطمی. س.ج. ۱۳۸۶. شیمی مواد غذایی. شرکت سهامی انتشار، صفحات ۲۳۰-۲۳۵.
- 4- Araya-Farias, M., Mondor, M., Lamarche, F., Tajchakavit, S., & Makhlof, 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., Pauss, 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- Carrín, 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- Eyyaz, 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

\* Coresponding authore (Hiua.Daraei@gmail.com;Hiua.Daraei@muk.ac.ir)

### Abstract

In this study, the effects of pulse elecrocoagulation (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 attaint 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 turbididy removal potential in noticeable lower process time and lower amounts clarifying agents.

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