مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

ارزیابی دما و پارامترهای امواج میدان پالسی الکتریکی در استخراج قند از هویج

سامره داستانگو [۱]، محمدتقی حامد موسویان [۲*]، سمیرا یگانه زاد [۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- استاد، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳-دانشیار، گروه فرآوری مواد غذایی، موسسه علوم و صنایع غذایی

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸ /۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۳

کلمات کلیدی:

میدان پالسی الکتریکی،

قند،

استخراج،

سینتیک.

DOI: 10.52547/fsct.18.120.3

DOR:20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5

* مسئول مکاتبات:

mosavian@um.ac.ir

چکیده

غشاهای سلولی مانع اصلی استخراج ترکیبات درون‌سلولی هستند. متلاشی کردن مکانیکی و حرارت‌دهی جامدات بیولوژیکی از روشهای پیش‌تیمار معمول برای تخریب غشاهای سلولی و تسهیل رهاسازی حل‌شونده به حلال در طی استخراج هستند. با این حال، تخریب کلیت غشاها نیاز به حرارت‌دهی بیش از حد جامدات دارد که منجر به تغییر بافت گیاهی و عبور مواد نامطلوب (مثل پکتین در تولید قند) به حلال مجاور دارد که خود نیازمند هزینه های تغلیظ بعدی است. بکارگیری میدان الکتریکی پالسی (PEF)[۱] با حرارت‌دهی کم محصول، بطور قابل توجهی انتقال جرم را در بافت بیولوژیکی گیاهان مختلف غذایی، افزایش می‌دهد که علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی باعث صرفه‌جویی زیادی در زمان می‌شود. در این مطالعه، استخراج قند از هویج با تیمارهای مختلف میدان پالسی الکتریکی (شدت میدان ۲۵۰، ۷۵۰ و ۱۲۵۰ V/cm، تعداد پالس ۱۰، ۴۵ و ۸۰) و نیز بطور همزمان تیمارهای حرارتی مختلف (در دماهای ۲۰، ۴۵ و ۷۰°C) مطالعه شد. سپس مدل ریاضی بازده استخراج بر اساس طرح فاکتوریل کامل ارائه شد. قطعات تیمار شده با PEF در آب در دمای مورد نظر و نسبت وزنی مایع به جامد L/S =۲ غوطه‌ور شدند. افزایش قابل توجه سینتیک استخراج به علت نفوذپذیری غشای سلول بلافاصله بعد از تیمار PEF بعلت جابجایی حل شونده بر روی سطح بافت مشاهد شد.

1. Pulsed Electric Field

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]

[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

۱- مقدمه

استخراج اولین مرحله هر مطالعه در خصوص بافتهای گیاهی است و نقش ویژه و مهمی روی نتایج و خروجی نهایی دارد. رایج ترین عوامل موثر بر فرآیند استخراج، خواص ماتریکس بخش گیاهی، حلال، دما، فشار و زمان است [۱]. استخراج کامل ترکیبات درون سلولی در یک فرآیند استخراج جامد- مایع نیازمند دناتوراسیون غشاهای سلولی فاز جامد است. در این روش، دمای بالای فاز جامد باعث فروپاشی غشاهای سلولی می‌شود. اشکال چنین فرآیندهایی تجزیه حرارتی خواص محصول و تخریب کیفیت شربت است. بهترین رنج دما برای استخراج جامد-مایع ۷۰-۷٤°C است. اگر دما پایین‌تر از رنج پایینی باشد، مقدار اتلافات در خروجی پالپ افزایش خواهد یافت. با این حال اگر درجه حرارت از رنج بالایی بالاتر رود (۸۰≥°C) مقدار مواد کلوئیدی مثل پروتئین ها، مواد پکتین و سایر مواد غیرقندی که وارد شربت خام می‌شوند افزایش می‌یابد. این امر باعث خلوص کمتر شربت خام می‌شود که بخصوص در واحدهای تبخیر بسیار مضر است [۲، ۳]. تیمار PEF، یک روش مناسب برای بهبود تجزیه غیرحرارتی غشاء است که اجازه نفوذ آبی سرد (گرم) مواد ارزشمند گیاهی را می‌دهد. طی سالهای اخیر مطالعات متعددی در ارتباط با اثر PEF روی استخراج حل‌شدنی از بافت گیاه خوراکی انجام‌شده است [۳- ۹]. وقتی نمونه در معرض میدان الکتریکی به اندازه کافی با شدت بالا قرار می‌گیرد، غشاء سلولی می تواند بطور موقت ناپایدار شود یا بطور برگشت ناپذیر تخریب شود [۱۰]. تخریب یک سلول بیولوژیکی (گیاهی یا حیوانی) با یک میدان الکتریکی با شدت بالا در قالب پالس‌های بسیار کوتاه، باعث شکل‌گیری موقت یا دائمی منافذی روی غشاء سلول می‌شود. این پدیده الکتروپوریشن نامیده می‌شود که در واقع نفوذ پذیری سلول تحت تیمار را افزایش می‌دهد، سرانجام منجر به فروپاشی غشای سلولی می‌شود [۳]. سینتیک و بازده این فرآیندها بسته به پارامترهای PEF شامل شدت میدان [۵، ۱۱، ۱۲]، تعداد پالس‌ها [۱۰]، شکل پالس‌ها [۱۳]، فاصله بین پالس‌ها [۱٤]، مدت زمان پالس‌ها [۱۵]، پارامترهای فرایندی شامل دما [٦]، سرعت همزدن محلول [۱٦]، اندازه و نوع نمونه [۱۷]، نوع حلال [۱۸] و نسبت مایع به جامد مرتبط است.

به‌کارگیری جداگانه فرآوری PEF درشدت میدان الکتریکی متوسط (E<۱۰۰ V/cm) و دمای اتاق، یا فرآوری حرارتی در دمای میانگین (T<۵۰C°) بدون هیچ میدان الکتریکی، نیازمند زمان طولانی تیمار (PEF یا حرارتی)، و متعاقباً مصرف بالای انرژی است [۱۹، ۲۰]. به‌کارگیری هم‌زمان تیمار حرارتی، تأثیر قوی‌ای روی تخریب بافت دارد [۲۱، ۲۲]. این تأثیر می‌تواند باعث تغییرات ساختاری‌ای شود که در دماهای بسیار بالا در غشاهای داخلی امکان‌پذیر است [۲۳]. تیمار PEF هیچ اثر منفی روی خواص کیفی و حسی ماده استخراج شده نداشته [۸] و مشخصات کیفی ماده استخراج شده با تیمار PEF، مانند کدورت شربت، به مراتب بهتر از تیمار حرارتی بوده [۷، ۱۹] و ماده استخراج شده پایدارتر است [۹]. هدف این مطالعه، بررسی تاثیرات تیمار حرارتی و الکتریکی بطور همزمان بر روی بازده استخراج قند از بافت هویج با بکارگیری متدولوژی فکتوریل کامل و نیز مطالعه سینتیک استخراج می‌باشد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- دستگاه میدان پالسی الکتریکی (PEF)

به‌طور ساده تکنولوژی PEF بر پایه اعمال پالس‌های کوتاه میدان‌های الکتریکی در کسر بسیار کوچکی از ثانیه است، شدت این‌چنین پالس‌هایی در محدوده ۸۰-۱۰ kV/cm قرار می‌گیرد. نمونه تحت بررسی بین دو الکترود متحرک باقابلیت تنظیم فاصله قرار می‌گیرد. میدان الکتریکی اعمالی می‌تواند به شکل نمایی، موج مربعی، دوقطبی یا پالس نوسانی به نمونه اعمال شود. بخش مایع نمونه به‌واسطه حضور یون‌ها می‌تواند جریان الکتریکی را از خود عبور دهد [۲٤]. دستگاه PEF شامل اجزای زیر است:

۲-۱-۱- منبع تولید ولتاژ بالای پالسی

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

این بخش توان الکتریکی برق شهری را از ولتاژ AC کم، به میدان‌های الکتریکی پالسی با شدت ولتاژ DC بالا تبدیل می‌کند. میدان الکتریکی بین دو الکترود صفحه‌ای موازی با رابطه ۱ داده می‌شود:

$$E=U/D$$

که در آن U ولتاژ منبع تولید جریان برحسب (kV) و d فاصله بین دو الکترود (m) است. ولتاژ برای تیمار غذا معمولاً در محدوده ۱۰-۶۰kV اعمال می‌شود [۲۵].

۲-۱-۲- محفظه تیمار

محفظه تیمار محلی است که در آن غذا در معرض میدان الکتریکی پالسی قرار می‌گیرد. این بخش شامل حداقل دو الکترود موازی، یکی متصل به ولتاژ بالا و دیگری متصل به زمین است، که به‌وسیله ماده‌ای عایق در مقابل جریان الکتریکی، از هم جداشده‌اند. صفحات موازی می‌توانند به‌صورت تخت یا هم‌محور باشند [۲۵]. محفظه به یک حمام حرارتی متصل است تا بتوان دمای فرایند تیمار را در حین فرایند PEF ثابت نگه داشت [۲٤]. شکل ۱، محفظه تیمار مورداستفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

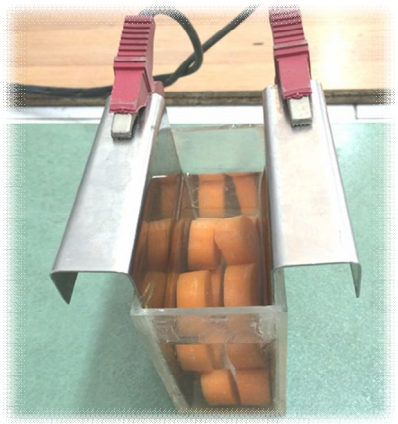


Fig 1 Treatment chamber for PEF treatment- Research Institute of Food Science and Technology

۲-۱-۳- تجهیزات نمایشگر

شامل کلیدزن‌های الکتریکی، سنسورهای دما و میدان الکتریکی، برنامه کنترل و سیستم جمع‌آوری اطلاعات است که برنامه کاربر را به‌طور دقیق و خودکار به دستگاه داده و اطلاعات لازم را جمع‌آوری و مانیتور می‌کند [۲٤]. در این پژوهش برای انجام تیمارهای میدان الکتریکی پالسی قوی از دستگاه طراحی و ساخته‌شده در آزمایشگاه پژوهشکده صنایع غذایی، واقع در پارک علم و فناوری خراسان استفاده شد. این دستگاه قابلیت ایجاد جریان الکتریکی تا ۲۰ کیلوولت را با ایجاد پالس‌های میرای لگاریتمی دارا است. یک منبع تغذیه AC(۲۲۰ -۲٤۰ ولت ۵۰ هرتز) برق را به یک منبع تغذیه DC منتقل کرده و در آنجا یک جریان خطی، انرژی الکتریکی را به یک سری خازن منتقل کرده و انرژی ذخیره‌شده در خازن‌ها با یک کلید پالسی توسط دو الکترود به محفظه تیمار تخلیه می‌گردید. این فعالیت به‌صورت دستی انجام می‌شود. شکل ۲، تصویری از دستگاه میدان پالسی الکتریکی مورداستفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

Fig 2 Pulsed electric field system- Research Institute of Food Science and Technology

۲-۲- آماده‌سازی نمونه

نمونه‌های هویج مورد استفاده در این آزمایش از مرکز معتبر خرید میوه شهر مشهد تهیه شد و در کیسه‌های دربسته، ۲ تا ۳ روز در دمای ٤°C تا زمان انجام آزمون نگهداری شدند. هویج‌ها با آب کاملاً شسته شدند و کلیه مواد زائد از سطح هویج پاک شد. قسمت فوقانی و تحتانی هر هویج (حدوداً ۲ cm) با استفاده از یک چاقوی استیل تیز حذف شد. سپس هویج‌ها برای انجام آزمون‌ها به قطعات استوانه‌ای به ضخامت ۱±۰/۱cm و قطر ۳±۰/۲cm و وزن ۱۰±۰/۵ gr برش داده شدند. برای انجام هر آزمون ۱۰ قطعه هویج با وزن کل ۱۰۰±۰/۵۰ گرم با ترازو (مدل FX3000، AND، ژاپن) وزن شد.

۲-۳- پیش‌تیمار الکتریکی

قطعات دیسکی هویج در یک اطاقک تیمار از جنس پلکسی‌گلس با ابعاد cm^3 ۱۰×۱۰×٤، بین دو الکترود استیل یک ژنراتور PEF با مساحت cm^2 ۱۰۰ که با فاصله ٤ cm از هم قرار داشتند، قرار گرفتند. سپس با نسبت مایع به جامد (L/S =۲)، آب شهری به سطح قطعات هویج اضافه شد به‌طوری‌که سطح قطعات هویج کاملاً با آب پوشانده شود. پارامترهای PEF مورد استفاده عبارتند از شدت‌های مختلف میدان الکتریکی ۲۵۰، ۷۵۰ و ۱۲۵۰V/cm، تعداد مختلف پالس های تک‌قطبی لگاریتمی (۱۰، ٤۵ و ۸۰)، مدت زمان هر پالس ۱ ثانیه و فاصله بین پالس‌ها نیز ۱ ثانیه در نظر گرفته شد. میران دمای افزایش‌یافته شربت بعد از تیمار الکتریکی بسیار ناچیز و حدود ۱°C بود. سپس بلافاصله قطعات هویج جهت آزمون اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بافت از شربت جدا شدند.

۲-٤- تیمار حرارتی

پس از تیمار الکتریکی، نمونه‌ها جهت پیشگیری از اثرات تبخیر بلافاصله به شربت که قبلاً بر اساس طراحی آزمایش به دمای موردنظر (۷۰°C-٤۵-۲۰) رسیده بود، اضافه شدند و در یک محفظه دربسته بر روی یک هیتر حرارتی همزن‌دار (۳۱۰°C-۰، ۱۵۰۰ rpm-، IKA، RCT basic، آلمان) به مدت ۲٤۰ دقیقه مورد تیمار حرارتی قرار گرفتند. دور همزن در کلیه تیمارها دقیقه/دور ۲۵۰ تنظیم شد. ظرف استوانه‌ای در طی کل فرآیند استخراج برای جلوگیری از تبخیر محلول بسته بود.

۲-۵- اندازه‌گیری بازده استخراج

به‌منظور بررسی سینتیک استخراج، هر ۱۵ دقیقه بریکس شربت با دستگاه رفرکتومتر دیجیتال (RX۵۰۰۰α، Atago، ژاپن) اندازه‌گیری شد. بعد از مدت زمان ۲٤۰ دقیقه از فرآیند استخراج، بریکس شربت نهایی برای اندازه‌گیری بازده استخراج، اندازه‌گیری شد. c^* بازده حل‌شونده به‌صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود [۱٦، ۱۷]:

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

$c^*=c/c_\infty$

که c غلظت واقعی حل‌شونده در محلول و غلظت تعادلی حل‌شونده می‌باشد.

C_0، غلظت شربت در بافت تازه گیاهی برحسب گرم حل‌شونده/ ۱۰۰ گرم شربت و n نسبت مایع به جامد می‌باشد؛ n نسبت L/S است، L حجم استخراج‌شده برحسب m^3 و S حجم جامد برحسب m^3. برای اندازه‌گیریC_0، بریکس شربت تازه هویج حاصل از فشرده شدن مکانیکی، اندازه‌گیری شد. n نسبت حجمی مایع به جامد (L/S)، با توجه به دانسیته بالک هویج قطعه‌شده در اینجا عبارت است از ۱/۳۴۶.

۲-۶- اندازه گیری درصد خلوص شربت

خلوص نسبت مقدار ساکاروز به مقدار ماده جامد حل‌شده در نمونه تعریف و با نماد "%" نشان داده می‌شود. به‌منظور مقایسه کیفیت شربت به‌دست‌آمده از نمونه‌های قندی تحت تیمار PEF و رشته‌ای شدن حرارتی یک مطالعه دیگر ترتیب داده شد. خلوص نمونه‌های تیمار شده با PEF در نقطه مرکزی (۷۵۰ V/cm و تعداد ۴۵ پالس) و ۳ دمای موردمطالعه ۲۰°C، ۴۵°C و ۷۰°C با نمونه‌های تیمار نشده در این دما باهم مقایسه شدند. به‌این‌ترتیب که بعد از مدت‌زمان ۲۴۰ دقیقه، شربت نهایی استخراج شد. شربت مذکور با حداکثر دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه، سانتریفیوژ شد و سپس نمونه شربت در سل ۱۰۰ میلی‌متری دستگاه پلاریمتر (مدل AP۳۰۰، ATAGO، ژاپن) قرار گرفت و سپس زاویه چرخش نور پلاریزه (α) قرائت شد. برای اندازه‌گیری درصد خلوص شربت قند، از روابط ۲ الی ۴ استفاده شد [۲۴، ۲۵]:

(۲) درصد قطبیت شربت = قرائت پلاریمتری/ ضریب قطبیت

(۳) فاکتور قطبیت = (۱۰۰×دانسیته ظاهری در ۲۰°C)/۲۶۰۰۰

(۴) درصد خلوص شربت = (درصد قطبیت شربت/ بریکس) × ۱۰۰

همچنین اندازه‌گیری رنگ شربت استخراج‌شده از هویج، با دستگاه اسپکتروفتومتر UNICO مدل S2100UV+، با دامنه طول موجی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ nm و عرض شکاف ۴ nm انجام شد.

۲-۷- طراحی آزمایش و آنالیز آماری

در این مطالعه برای طراحی آزمایش با طرح فاکتوریل کامل، تجزیه و تحلیل واریانس و به‌دست آوردن مدل مناسب بین پاسخ و متغیرها و ارزیابی مدل از نرم‌افزار طراحی آزمایش، استفاده شد. این طراحی با سه متغیر مستقل در سه سطح انجام شده است، به‌طوری‌که تعداد کل آزمایشات ۲۷ آزمایش می‌باشد. متغیرهای مستقل شامل شدت میدان الکتریکی (۱۲۵۰V/cm-۷۵۰-۲۵۰)، تعداد پالس‌ها (۸۰-۴۵-۱۰) و دما (۷۰°C-۴۵-۲۰) می‌باشد (جدول ۱).

Table 1 Levels of independent variables in FFD.

Range and level			Coded symbol	Independent variable
+1	0	-1		
1250	750	250	A	Electric field intensity (Vcm^{-1})
80	45	10	B	Number of pulses
70	45	20	C	Temperature

به‌منظور آنالیز سطوح و درک اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف از نرم‌افزار SAS JMP استفاده شده است و با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار، سطوح دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه شده و سطوحی که دارای اختلاف معنی‌دار هستند با حروف مشخص می‌شوند.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

حروف مشخص شده توسط نرم‌افزار بصورت دستی روی نمودارها نشان داده شد. سطوحی که دارای حروف مشابه نیستند با سطح اطمینان ۹۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند. به‌منظور مطالعه سینتیک انتقال جرم، در طول مدت زمان استخراج (۲۴۰ دقیقه) هر ۱۵ دقیقه بریکس شربت

اندازه گیری و بازده استخراج محاسبه و داده های بدست آمده در نرم افزار اکسل مطالعه شد.

در کلیه آزمایش‌ها، مدت‌زمان هر پالس ۱ ثانیه، فاصله بین پالس‌ها ۱ ثانیه، ضخامت نمونه‌ها ۱ cm، نسبت وزنی مایع به جامد L/S برابر ۲، دور همزن ۲۵۰ دور در دقیقه و مدت‌زمان استخراج ۲۴۰ دقیقه ثابت در نظر گرفته‌شده است. این مقادیر ثابت بر اساس بررسی منابع و آزمایش‌های اولیه، بهینه‌یابی و انتخاب‌شده است.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

همانطور که در قسمت ۲-۵ اشاره شد برای اندازه‌گیری بازده استخراج مواد قندی از رابطه ۲ و برای اندازه‌گیری غلظت‌های مذکور از رفرکتومتر استفاده می‌شود که به‌عنوان یکی از پاسخ‌های نرم‌افزار طراحی آزمایش است.

۳-۱- مدل بازده استخراج قند

به‌منظور بررسی اهمیت تأثیر پارامترهای شدت میدان الکتریکی، پالس و دما و همچنین اثرات متقابل آن‌ها، ابتدا همه پارامترها را در مدل فاکتوریل در دو سطح انتخاب می‌نماییم. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس به شرح جدول ۲ می‌باشد:

Table 2 Results of ANOVA for extraction yield.

Source	Sum of Squares	DF	Mean square	F-value	P-value
Model	6760.98	18	375.61	29.10	<0.0001
A	1283.90	2	641.95	49.73	<0.0001
B	31.38	2	15.69	1.21	0.3460
C	4701.85	2	2350.93	182.12	<0.0001
AB	62.72	4	15.68	1.21	0.3763
AC	671.96	4	167.99	13.01	0.0014
BC	9.18	4	2.29	0.18	0.9436
Residual	103.27	8	12.91		
Cor Total	6864.25	26			

با حذف جمله‌های غیرمهم، جدول تجزیه و تحلیل واریانس به‌صورت جدول ۳ اصلاح می‌شود:

Table 3 Refined results of ANOVA for solute extraction yield.

Source	Sum of Squares	DF	Mean square	F-value	P-value
Model	6657.71	8	832.21	72.53	<0.0001
A	1283.90	2	641.95	55.95	<0.0001
C	4701.85	2	2350.93	204.88	<0.0001
AC	671.96	4	167.99	14.64	<0.0001
Residual	206.54	18	11.47		
Cor Total	6864.25	26			

صحت مدل انتخابی توسط مقادیر R^2 و R^2_{adj} که به‌ترتیب ۰/۹۶۹۹ و ۰/۹۵۶۵ می‌باشد، تأیید می‌شود. مدل ارائه‌شده توسط نرم‌افزار با

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

توجه به مقادیر کد شده مطابق رابطه ٦ می‌باشد:

$$c^* = +54.99 - 9.75*A[1] + 5.09*A[2] - 17.97*C[1] + 4.64*C[2] - 9.56*A[1]C[1] + 2.43*A[2]C[1] + 4.40*A[1]C[2] - 0.41*A[2]C[2]$$

در استفاده از این معادلات باید توجه شود که روابط فوق تنها مربوط به محدوده آزمایش است و در بازه‌های متفاوت، به نتایج متفـاوتی خواهد رسید.

۳-۲- بررسی نرمال بودن مدل

با بررسی نمودار احتمال نرمال شکل ۳، نقاط به‌دست‌آمده از توزیع نرمالی پیروی می‌کنند و دارای انحراف خاصی نیستند. به‌ایـن‌ترتیـب صحت مدل مجدداً تائید می‌شود.

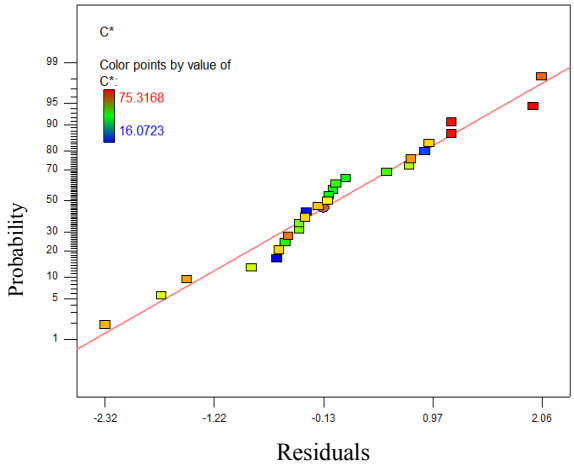


Fig 3 Normal probability plot of final sugar extraction yield from carrot.

۳-۳- اثر متقابل شدت میدان الکتریکی و دما بر بازده استخراج قند مایع

بر اساس جداول ۲ و ۳، با توجه به اینکه فاکتور پالس و اثر متقابل آن با فاکتورهای دما و شدت میدان الکتریکی غیرمهم است، تنها بـه بررسی اثر فاکتورهای دما و شدت میدان الکتریکی در تعداد پالس ثابت ٤٥ بر بازده استخراج پرداخته می‌شود. به‌منظور درک اختلاف بین سطوح مختلف شدت میدان الکتریکی و دما در شکل ۲ از آزمون مقایسه میانگین حداقل تفاوت معنی‌دار[1] با نرم‌افزار SPSS و جهـت علامت‌گذاری سطوح در شکل از آزمون t-تست با نرم‌افزار SAS JMP استفاده شد. نتایج حاصل از این نرم‌افزار بـه شـرح جـدول ٤ می‌باشد:

همان‌طور که در جدول ٤ مشاهده می‌شود، اختلاف سطوح شدت میدان الکتریکی V/cm ۷۵۰ و V/cm ۱۲۵۰ و نیز اخـتلاف سـطوح دمای ٤٥C° و ۷۰C° با سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد (P>۰/۰۵). شکل ٤، بازده استخراج حل‌شونده پس از استخراج از قطعات هویج پیش‌تیمار شده با PEF در تعداد پالس ٤٥ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در دمای ۲۰°C و شدت میـدان الکتریکـی V/cm ۲۵۰ فقط ۱۷٪ از مواد حل‌شونده استخراج می‌شوند. با افزایش انرژی فراهم‌شده طی پیش‌تیمار PEF و افزایش شدت میدان الکتریکی از V/cm ۲۵۰ به V/cm ۱۲۵۰، تعداد سلول‌های نفوذپذیر افزایش‌یافته و متعاقباً بازده استخراج قند تـا شـدت میـدان الکتریکـی V/cm ۷۵۰ افزایش می‌یابد ولیکن از شدت میدان الکتریکی V/cm ۷۵۰ به بعد، با سطح اطمینان ۹۵٪، اختلاف معنی‌داری در بـازده اسـتخراج

1. Least Significant Difference (LSD) Method

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

مشاهده نمی‌شود. می‌توان انتظار داشت که این مقدار انرژی برای نفوذپذیری حداکثر سلول‌ها کافی می‌باشد. همچنین با افـزایش دمـا در محدوده ۲۰C° تا ۷۰C° بازده استخراج افزایش می‌یابد.

Table 4 Results of Compare Means test of electric field intensity and temperature in different levels by LSD method.

confidence level of 95%		Sig.	Standard Error	Mean Difference (I-J)	Electric field intensity (J)	Electric field intensity (I)
High level	Low level					
-0.790	-30.287	0.040	7.146	-15.538*	750	250
-0.351	-29.848	0.045	7.146	-15.099*	1250	
30.287	0.790	0.040	7.146	-15.539*	250	750
15.187	-14.309	0.952	7.146	0.439	1250	
29.848	0.351	0.045	7.146	15.099*	250	1250
14.309	-15.187	0.952	7.146	-0.439	750	
High level	Low level	Sig.	Standard Error	Mean Difference (I-J)	Temperature (J)	Temperature (I)
-12.439	-31.393	0.000	4.592	-21.916*	45	20
-21.834	-40.787	0.000	4.592	-31.310*	70	
31.393	12.439	0.000	4.592	21.916*	20	45
0.0824	-18.871	0.052	4.592	-9.394	70	
40.787	21.834	0.000	4.592	31.310*	20	70
18.871	-0.824	0.052	4.592	9.394	45	

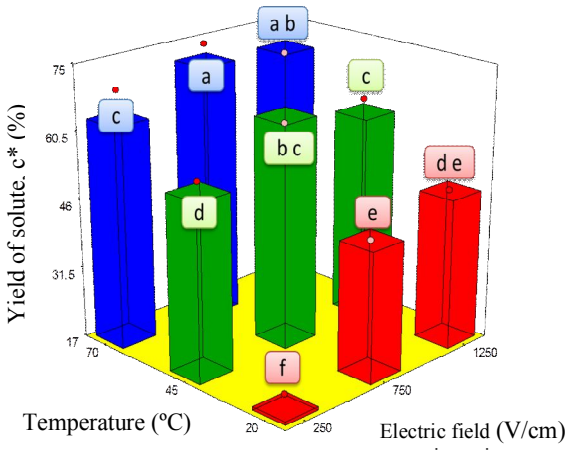


Fig 4 Interaction effects of electric field intensity and temperature on the solute extraction yield of carrot at n=45

وقتی‌که عرض پالس کـه در محـدوده چنـد میکروثانیـه اسـت چندین برابر بزرگ‌تر از زمان تخریب ویـژه τ باشـد، پتانـسیل بحرانی عبوری از غشاء که عامل اصلی تخریب غشاء است، به مدت‌زمان پالس وتعداد پالس وابسته نیست. (برای سلول‌هـای بافت سیب‌زمینی، τ=۰/۷ µs ؛ در بافت سیب، τ=۱/٤ µs و در سوسپانسیون سلول گیاهی τ=۰/٤٥ µs) [۲۸].

لبوکـا و همکـاران (۲۰۰۷)، اثرتیمـار الکتریکـی و حرارتـی را به‌طور همزمان بر روی بافت چغندرقند بررسی کردنـد. هـردو پیش‌تیمار الکتریکـی و حرارتـی، بـازده اسـتخراج و سـینتیک استخراج را افزایش دادند. تیمـار الکتریکـی در شـدت میـدان الکتریکـــی متوســـط (E≈۱۰۰ V/cm) و زمـــان (t≈ ۱ s) به‌صورت کارآمدی سلول‌های بیولوژیکی را تخریب می‌کنـد و دمای موردنیاز برای نفوذ را تا حـداکثر (٤۰ تـا ٥۰C°) بـدون کاهش خلوص محلول، کاهش می‌دهد [۷].

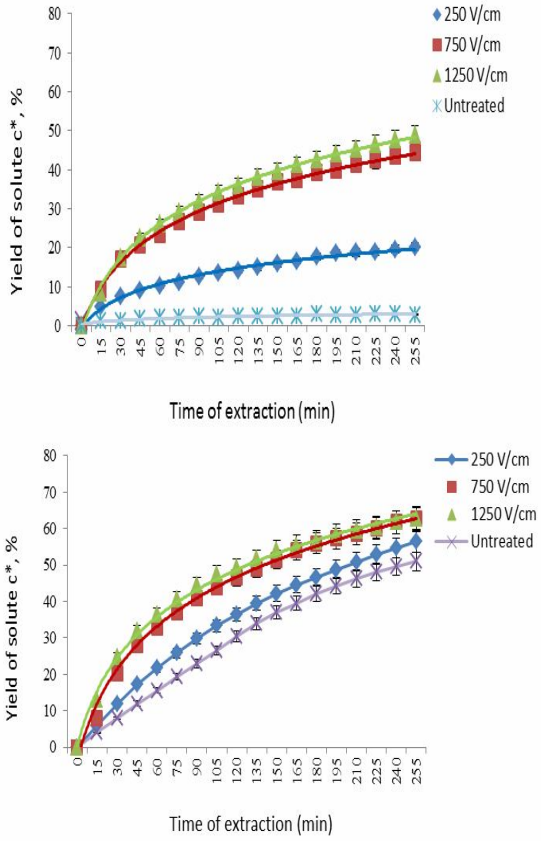
اگایو و همکـاران (۲۰۱٤)، تـأثیر شـدت میـدان الکتریکـی در شدت میدان الکتریکـی‌هـای ۰/۲٥ kV/cm تـا ۱ kV/cm را روی استخراج قندهای محلـول پـوره هـویج بررسـی کردنـد. حداقل مقدار انرژی ویژه ٦/٦۸ j/kg در شرایط تیمار kV/cm ۰/٥ برای افزایش ۵۳٪-۱۱ از کل غلظت قند موجـود در پـوره هویج تیمار نشده کافی است. هیچ افزایش معنی‌داری با افزایش شدت میدان الکتریکی و زمـان تیمـار بـه‌ترتیـب تـا بـالاتر از kV/cm ۱ و ms ٤۰ مـــشاهده نـــشد [٥]. ســـایر نتـــایج به‌دست‌آمده در خصوص بررسی تأثیر شدت میدان الکتریکـی در بافت هویج و چغندرقند نیز نشان می‌دهـد افـزایش انـرژی فراهم‌شده با PEF تـا آسـتانه kj/kg ۹ باعـث افـزایش بـازده

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

استخراج قند گردیده و پس‌ازآن هیچ افزایش معنی‌داری مشاهده نشد. این میزان انرژی در شدت میدان الکتریکی ۸۰۰ V/cm و در تعداد پالس N=۳۰۰ قابل‌دسترسی است [۱۶، ۱۷].

۳-٤- اثر دما و شدت میدان الکتریکی بر سینتیک استخراج حل شونده

شکل ۵ (a-c)، اثر شدت میدان الکتریکی در تعداد ٤٥ پالس، بر سینتیک استخراج حل‌شونده را در دماهای ۲۰°C، ٤٥°C و ۷۰°C نشان می‌دهد. افزایش دما و پیش تیمار PEF، هر دو باعث افزایش سینتیک استخراج می‌شوند. با مطالعه این نمودار، تأثیر دما بر سینتیک استخراج حل‌شونده مشخص می‌شود. به‌عنوان‌مثال برای رسیدن به بازده استخراج ٤٠٪، در دمای ۲۰°C و در شدت میدان الکتریکی ۷۵۰ V/cm، ۲۱۰ دقیقه زمان موردنیاز است درحالی‌که برای رسیدن به همین میزان بازده در دمای ٤٥°C، ۹۰ دقیقه زمان و در دمای ۷۰°C، ۷۵ دقیقه زمان موردنیاز است.



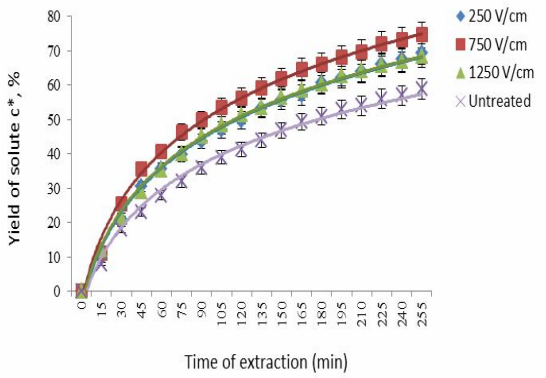


Fig 5 Yield of solute during extraction process under number of pulses n=45 from carrot slices treated with different electric field intensity at temperatures (a) T=20ºC, (b) T=45ºC, (c) T=70ºC.

با مقایسه نتایج نمونه‌های تیمار نشده در غیاب PEF و نمونه‌های پیش‌تیمارشده می‌توان نتیجه گرفت که در دمای ۲۰°C (شکل 5-a)، پس از گذشت زمان ۲۵۵ دقیقه در نمونه تیمار نشده الکتریکی، استخراج قابل‌توجهی اتفاق نیفتاده است و درصد استخراج ناچیز ۳٪ به علت تخریب مکانیکی سلول‌های بافت هویج است. با افزایش شدت میدان الکتریکی، بازده حل‌شونده به‌علت اثر تخریب غشاء سلولی، به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. در دماهای ٤٥°C و ۷۰°C، با سطح اطمینان ۹۵٪ بین نمونه‌های تیمار نشده و تیمار شده، اختلاف معنی‌دار وجود دارد (P<۰/۰۵). در دمای ٤٥°C (شکل 5-b)، با افزایش شدت میدان الکتریکی و افزایش اثر تخریب بافت، بازده استخراج به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد هرچند اختلاف در شدت‌های بالاتر میدان الکتریکی کمتر است. در دمای ۷۰°C (شکل 5-c)، با افزایش شدت میدان الکتریکی از ۷۵۰ V/cm به ۱۲۵۰ V/cm، بازده استخراج کاهش یافته است. این اثر را می‌توان به تجمع مواد حل‌شدنی در درون سلول‌های بزرگ متشکله در بافت تخریب‌شده درنتیجه شدت میدان الکتریکی بالا و دمای بالا نسبت داد.

این نتایج در انطباق با مطالعات انجام‌شده در خصوص بررسی اثر هم‌افزایی تیمارهای الکتریکی و حرارتی انجام‌شده بر روی بافت چغندرقند می باشد [۷، ۱۰، ۲۷].

نمودار سطح پاسخ بازده استخراج بر اساس طرح مرکب مرکزی (CCD)[1] که با سه تکرار در نقطه مرکزی انجام‌شده است نیز در شکل ٦ آورده شده است که مؤید مطالب

1.Central Composite Design

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

فوق‌الذکر می‌باشد.

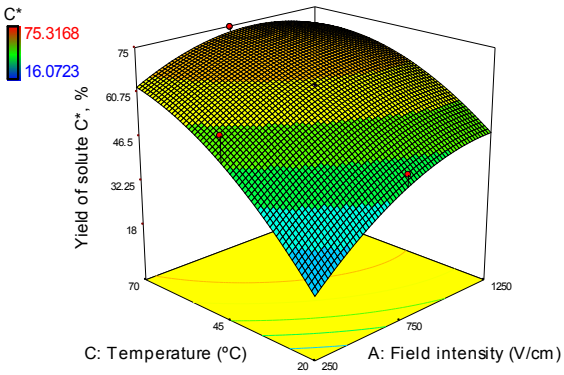


Fig 6 The interaction effect of electric field intensity and temperature on the final solute extraction yield based on CCD. (t = 255 min, n = 45)

۳-۵- اثر PEF بر خلوص و مشخصات کیفی ماده استخراج‌شده

رنگ و خلوص شربت استخراج‌شده بعد از تیمار PEF (۷۵۰ V/cm، تعداد ٤٥ پالس، دمای ۷۰°C) با شربت تیمار نشده در دمای ۷۰ °C مقایسه شد. جذب شربت در طول‌موج‌های مختلف در شکل ۷ نشان داده شده‌است. باوجودآنکه بازده ماده حل‌شدنی استخراج‌شده طی تیمار حرارتی در دمای ۷۰°C، ۵۹٪ و بازده تیمار PEF، ۷٤/٦٪ است ولیکن شربت حاصل از تیمار PEF در طول‌موج‌های مختلف کم‌رنگ‌تر است و بنابراین دارای کیفیت بالاتری نسبت به شربت حاصل از تیمار حرارتی است. مطالعات مشابه انجام‌شده بر روی بافت چغندرقند، رازیانه و قارچ نیز نشان داده است که استخراج‌شونده‌های به‌دست‌آمده با PEF عموماً خالص‌تر (زلال‌تر) و کم‌رنگ‌تر از مواد تیمار نشده هستند [۹، ۱۰، ۱۹].

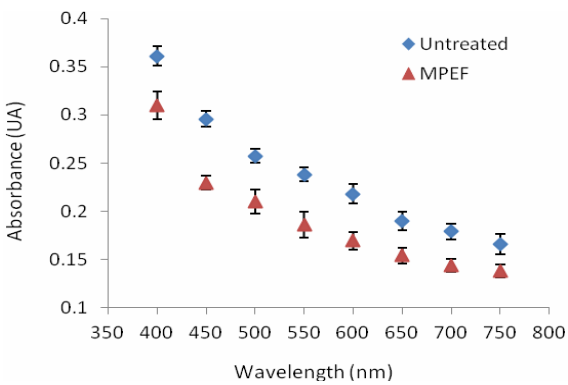


Fig 7 Extract absorbance at the end of extraction for the untreated and MPEF-pretreated slices.

MPEF, moderate pulsed electric field (750 V/cm, n=45)

شکل ۸ مقایسه درصد خلوص شربت‌های تیمار نشده و پیش‌تیمار شده با PEF را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. در دمای ۲۰°C، شربت پیش‌تیمار شده با PEF در شدت میدان الکتریکی ۷۵۰V/cm و تعداد ٤٥ پالس، دارای درصد خلوص قابل‌توجه کمتری نسبت به شربت تیمار نشده می‌باشد. این اختلاف به‌علت درصد بریکس ناچیز شربت تیمار نشده (۰,۱۲) در دمای محیط می‌باشد. اگرچه در یک موردمطالعه انجام‌شده بر روی بافت چغندرقند، درصد خلوص ۹۵٪ در شربت تیمار شده با PEF در دمای محیط مشاهده‌شده است [۷].

در دمای متوسط ٤٥°C، خلوص شربت پیش‌تیمار شده با PEF در شدت میدان الکتریکی ۷۵۰V/cm و تعداد ٤٥ پالس، با بریکس تقریباً برابر (۲,۳±۰,۳) بیشتر از شربت تیمار نشده است. به نظر می‌رسد تیمار PEF هیچ تأثیر قابل‌توجهی روی درصد خلوص در دمای ۷۰°C ندارد. به‌طورکلی دما بر روی درصد خلوص نمونه‌های تیمار شده با PEF، تأثیر کمتری دارد و به‌این‌ترتیب شربت یکنواخت‌تری تولید می‌شود. مقایسه درصد خلوص نمونه‌های مختلف پیش‌تیمار شده با PEF (شکل ۹)، نشان می‌دهد بالاترین درصد خلوص شربت، در تیمار بهینه به‌دست‌آمده است. به‌طورکلی به نظر می‌رسد نمونه‌های پیش‌تیمار شده تحت شرایط متوسط شدت میدان الکتریکی و یا مدت‌زمان تیمار و همچنین شرایط دمایی متوسط، دارای بالاترین درصد خلوص می‌باشند. در تیمارهای با شدت میدان الکتریکی، زمان تیمار و دمای افزایش‌یافته، تجزیه ساختار سلولی و ترکیبات درون‌سولی مشهودتر است و درصد خلوص کاهش می‌یابد.

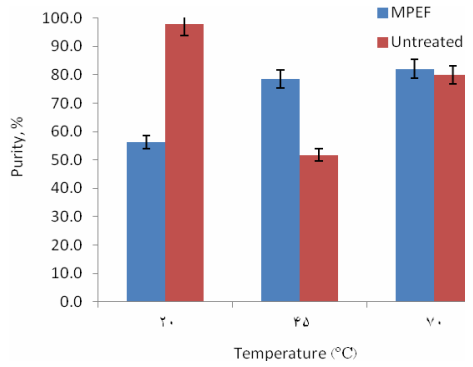


Fig 8 Purity of the final diffusion solutions at different temperatures for the untreated and MPEF-pretreated slices.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

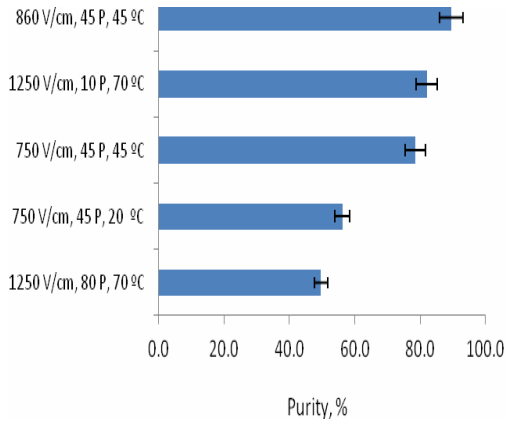


Fig 9 Purity of the final PEF-pretreated solusions in different conditions of field intensity and temperature.

٤- نتیجه گیری

در این تحقیق، از روش استخراج با امواج میدان‌های پالسی الکتریکی قوی برای استخراج قند از هویج استفاده‌شده است. برای به‌دست‌آوردن اثر متقابل فاکتورها (شدت میدان الکتریکی، تعداد پالس و دما) از نرم‌افزار طراحی آزمایش و طرح فاکتوریل کامل استفاده‌شده است. بازده استخراج قند از هویج، به‌عنوان پاسخ بررسی‌شده است. دما و شدت میدان الکتریکی دارای اهمیت تقریباً یکسان هستند. بنابراین می‌توان در یک دمای متوسط و با اعمال میدان الکتریکی متوسط روی بافت، به همان بازده استخراجی رسید که در دماهای بالا بدون پیش‌تیمار الکتریکی به‌دست می‌آید. همچنین کیفیت شربت به‌دست‌آمده با پیش‌تیمار الکتریکی با شربت تیمار نشده با اندازه‌گیری جذب و نیز درصد خلوص شربت در دماهای مختلف مقایسه شد. شربت پیش‌تیمارشده با PEF دارای درصد خلوص بالاتر و رنگ کمتری در مقایسه با شربت تیمار نشده می‌باشد که به علت تجزیه ساختار سلولی و ترکیبات درون‌سلولی در دماهای بالا در شربت تیمار نشده می‌باشد.

٥- منابع

[1] J. Azmir, I. S. M. Zaidul, M. M. Rahman, K. M. Sharif, A. Mohamed, F. Sahena, M. H. A. Jahurul, K. Ghafoor, N. A. N. Norulaini, and A. K. M. Omar, 2013, "Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review," *J. Food Eng.*, vol. 117, no. 4, pp. 426–436.

[2] P. W. Van der Poel, 1998, "Sugar Technology Beet and Cane Sugar Manufacture PW van der Poel, H. Schiweck, T. Schwartz," *Berlin Verlag Dr. Bartens KG*, pp. 479–563.

[3] A. K. Mandal, Subhash C.; Mandal, Vivekananda; Das, 2015, "Classification of Extraction Methods," in *Essentials of Botanical Extraction*, Elsevier, pp. 83–136.

[4] M. Corrales, S. Toepfl, P. Butz, D. Knorr, and B. Tauscher, 2008, "Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: a comparison," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 85–91.

[5] I. Aguiló-Aguayo, M. B. Hossain, N. Brunton, J. Lyng, J. Valverde, and D. K. Rai, 2014, "Pulsed electric fields pre-treatment of carrot purees to enhance their polyacetylene and sugar contents," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 23, pp. 79–86.

[6] K. V Loginova, E. Vorobiev, O. Bals, and N. I. Lebovka, 2011, "Pilot study of countercurrent cold and mild heat extraction of sugar from sugar beets, assisted by pulsed electric fields," *J. Food Eng.*, vol. 102, no. 4, pp. 340–347.

[7] N. I. Lebovka, M. V Shynkaryk, K. El-Belghiti, H. Benjelloun, and E. Vorobiev, 2007, "Plasmolysis of sugarbeet: pulsed electric fields and thermal treatment," *J. Food Eng.*, vol. 80, no. 2, pp. 639–644.

[8] E. Puértolas and I. Martínez de Marañón, 2015, "Olive oil pilot-production assisted by pulsed electric field: Impact on extraction yield, chemical parameters and sensory properties," *Food Chem.*, vol. 167, pp. 497–502.

[9] O. Parniakov, N. Lebovka, E. Van Hecke, and E. Vorobiev, 2013, "*Pulsed Electric Field Assisted Pressure Extraction and Solvent Extraction from Mushroom (Agaricus Bisporus)*, "*Food and Bioprocess Technology.*, vol. xx, pp. 1–10.

[10] K. El-Belghiti, Z. Rabhi, and E. Vorobiev, 2005, "Kinetic model of sugar diffusion from sugar beet tissue treated by pulsed electric field," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 85, no. 2, pp. 213–218.

[11] A. J. H. Sale and W. A. Hamilton, 1967, "Effects of high electric fields on microorganisms: I. Killing of bacteria and yeasts," *Biochim. Biophys. Acta (BBA)-General Subj.*, vol. 148, no. 3, pp. 781–788.

[12] P. J. Canatella, J. F. Karr, J. A. Petros,

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

and M. R. Prausnitz, 2001, "Quantitative study of electroporation-mediated molecular uptake and cell viability," *Biophys. J.*, vol. 80, no. 2, pp. 755–764.

[13] K. Aronsson, M. Lindgren, B. R. Johansson, and U. Rönner, 2001, "Inactivation of microorganisms using pulsed electric fields: the influence of process parameters on Escherichia coli, Listeria innocua, Leuconostoc mesenteroides and Saccharomyces cerevisiae," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 41–54.

[14] N. I. Lebovka, M. I. Bazhal, and E. Vorobiev, 2001, "Pulsed electric field breakage of cellular tissues: visualisation of percolative properties," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 113–125.

[15] F. De Vito, G. Ferrari, N. I. Lebovka, N. V Shynkaryk, and E. Vorobiev, 2008, "Pulse duration and efficiency of soft cellular tissue disintegration by pulsed electric fields," *Food Bioprocess Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 307–313.

[16] K. El Belghiti and E. Vorobiev, 2004, "Mass transfer of sugar from beets enhanced by pulsed electric field," *Food Bioprod. Process.*, vol. 82, no. 3, pp. 226–230.

[17] K. El-Belghiti and E. Vorobiev, 2005, "Modelling of solute aqueous extraction from carrots subjected to a pulsed electric field pre-treatment," *Biosyst. Eng.*, vol. 90, no. 3, pp. 289–294.

[18] E. Puértolas, O. Cregenzán, E. Luengo, I. Álvarez, and J. Raso, 2013, "Pulsed-electric-field-assisted extraction of anthocyanins from purple-fleshed potato," *Food Chem.*, vol. 136, no. 3, pp. 1330–1336.

[19] K. EL-BELGHITI, A. Moubarik, and E. Vorobiev, 2008, "Aqueous extraction of solutes from fennel (Foeniculum vulgare) assisted by pulsed electric field," *J. Food Process Eng.*, vol. 31, no. 4, pp. 548–563.

[20] A. Maskooki and M. N. Eshtiaghi, 2012, "Impact of pulsed electric field on cell disintegration and mass transfer in sugar beet," *Food Bioprod. Process.*, vol. 90, no. 3, pp. 377–384.

[21] N. I. Lebovka, I. Praporscic, S. Ghnimi, and E. Vorobiev, 2005, "Temperature enhanced electroporation under the pulsed electric field treatment of food tissue," *J. Food Eng.*, vol. 69, no. 2, pp. 177–184.

[22] P. R. Postma, G. Pataro, M. Capitoli, M. J. Barbosa, R. H. Wijffels, M. H. M. Eppink, G. Olivieri, and G. Ferrari, 2016, "Selective extraction of intracellular components from the microalga Chlorella vulgaris by combined pulsed electric field–temperature treatment," *Bioresour. Technol.*, vol. 203, pp. 80–88.

[23] U. Zimmermann,1986, *Electrical breakdown, electropermeabilization and electrofusion*. Springer.

[24] M. E. A. Mohamed, H. Ayman, and A. Eissa, 2012, *Pulsed electric fields for food processing technology*. INTECH Open Access Publisher.

[25] S. Toepfl, V. Heinz, and D. Knorr, 2005, "Overview of pulsed electric field processing for food," *Emerg. Technol. food Process.*, pp. 69–97.

[26] J. Masse, L. Shu, V. Jegatheesan, J.-B. Gros, and D. D. Phong, 2013, "Variations in the physical and biochemical properties of sugarcane juice before and after microfiltration," *Solut. to Environ. challenges through Innov. Res.*, pp. 121–142.

[27] F. J. B. Polarimetry, 1942, "Saccharimetry and the Sugars," *C440*, pp. 442–450.

[28] A. Angersbach, V. Heinz, and D. Knorr, 2000, "Effects of pulsed electric fields on cell membranes in real food systems," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 135–149.

[29] A. Maskooki and M. N. Eshtiaghi, 2012, "Impact of pulsed electric field on cell disintegration and mass transfer in sugar beet," *Food Bioprod. Process.*, vol. 90, no. 3, pp. 377–384.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Evaluation of temperature and pulsed electric field conditions on sugar extraction from carrots

Dastangoo, S. [1] , HamedMosavian, M. T. [2*], Yeganehzad, S. [3]

1. MSc student, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3. Associate Professor, Food Processing Department, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST)

ARTICIE INFO

Article History:

Received 2019/ 05/ 09
Accepted 2019/ 06/ 24

Keywords:

Pulsed electric field,
Sugar,
Extraction,
Kinetic.

DOI: **10.52547/fsct.18.120.3**

DOR:**20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5**

*Corresponding Author E-Mail:
mosavian@um.ac.ir

ABSTRACT

Cell membranes are the main preventive of intracellular solute extraction. Mechanical destruction and thermal treatment are pre-treatment methods commonly used to destroy cell membranes and facilitate the release of solute into the solvent during the extraction. However, the overall rupture of membranes requires excessive heating that leads to altering plant tissue, passing solid materials through membranes (such as pectin in sugar production) to the adjacent solvent which itself requires further purification cost. Applying a pulsed electric field (PEF) with low heat treatment of products significantly enhances mass transfer into the biological tissues of food crops, which leads to saving much time and energy. In this study, extraction of sugar from carrots under both different pulsed electric field conditions (including field strengths of 250, 750, and 1250 V/cm and number of 10, 45, and 80 pulses) and thermal treatments (20, 45, and 70ºC) was investigated based on full factorial design experiments. Carrot slices treated with PEF were suspended in water at the desired temperature and liquid to solid (L/S) weight ratio of 2. Immediately after the PEF treatment, a significant increase in the solute extraction was observed because of the cell membrane permeability, which led to the enhancement of solute convection on the surface of the tissue.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.3.5]
[DOI: 10.52547/fsct.18.120.3]