بررسی اثر تیمار میدان الکتریکی پالسی (PEF) بر کیفیت شربت خام استخراج شده از چغندر قند

کبری رضایی[۱*]، مصطفی شهیدی نوقابی[۲]، خلیل بهزاد[۳]، عبدالمجید مسکوکی[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۲- استادیار گروه شیمی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
٤- استادیار گروه فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۹٤/۰۸/۲٤ تاریخ پذیرش: ۹٤/۱۱/۱۲)

چکیده

روش متداول استخراج قند از چغندر در دمای بالا (۷۳-۷۰ درجه سانتی‌گراد) و مدت طولانی (۷۰ دقیقه) انجام می‌گیرد، که موجب حضور مقدار زیادی از ترکیبات ناخالص (مانند پکتین‌ها و ملانوئیدین‌ها) در شربت بدست آمده و مصرف بالای آب و انرژی می‌شود. در پژوهش حاضر، استخراج از خلال‌های چغندر قند که تحت پیش تیمار در میدان الکتریکی پالسی قرار گرفتند، بررسی شد. پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی در شدت میدان الکتریکی ۱/۵ کیلو ولت بر سانتی‌متر و تعداد پالس ۲۰ عدد اعمال گردید. دمای استخراج در محدوده ۲۰ تا ۷۳ درجه سانتی‌گراد بود. کیفیت شربت خام استخراج شده توسط تعیین میزان مواد جامد محلول (درجه بریکس)، مقدار سوکروز، خلوص شربت، غلظت ترکیبات کلوئیدی و میزان پروتئین تعیین گردید. نتایج نشان دادند که شربت خام استخراج شده از خلال‌هایی که تحت تیمار میدان الکتریکی پالسی قرار گرفته و در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به شربت استخراج شده در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد و بدون اعمال پیش تیمار، دارای خلوص بیشتر، غلظت ناخالصی‌های کلوئیدی کمتر، میزان ترکیبات رنگی کمتر و میزان کدورت کمتری بودند. نتایج بدست آمده ثابت می‌کنند که استخراج سرد با پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی امکان تولید شربت قند با خلوص بالا را فراهم می‌آورد. از سوی دیگر استفاده از تیمار میدان الکتریکی پالسی روشی غیر حرارتی برای افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی است که باعث بهبود راندمان استخراج قند از چغندر قند می‌گردد.

کلید واژگان: استخراج، شربت خام، میدان الکتریکی پالسی، کیفیت شربت

* مسئول مکاتبات: k_rezaee95@yahoo.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

۱- مقدمه

روش متداول استخراج قند از چغندر قند شامل مراحل: تیمار حرارتی و استخراج قند از خلال‌های چغندر در آب داغ (دمای ۷۳-۷۰ درجه سانتی‌گراد)، تصفیه شربت خام استخراج شده، تغلیظ شربت رقیق (شربت تصفیه شده) و کریستالیزاسیون، می‌باشد [۱و۲]. تیمار حرارتی خلال چغندر توسط آب با دمای C °۷۳-۷۰ باعث واسرشت سازی غشاء سلولی و تسریع استخراج قند از درون سلول‌های می‌شود. دیواره سلولی تحت تأثیر تیمار حرارتی غیر فعال شده و ترکیبات نامطلوب مانند پکتین وارد شربت خام می‌شود که برای جداسازی این ترکیبات از شربت خام نیاز به مراحل پیچیده و پر هزینه تصفیه وجود دارد [۱]. استفاده از دمای بالا در فرآیند استخراج همچنین موجب مصرف قابل توجه انرژی می شود، و شرایط مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌های گرمادوست ایجاد می‌نماید که باعث تجزیه سوکروز و کاهش راندمان می‌گردد. با توجه به مشکلات ذکر شده، محققان به دنبال سیستم‌های استخراج جدید می‌باشند که بتوان نفوذ پذیری غیر حرارتی را بر سلول‌ها اعمال نمود. در دو دهه اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در روش‌های غیر حرارتی نفوذپذیر نمودن غشاء سلولی بدست آمده است. یکی از مؤثرترین این روش‌ها، میدان‌های الکتریکی پالسی (PEF)[1] می‌باشد [۳-۶].

تکنولوژی میدان الکتریکی پالسی شامل استفاده از پالس‌هایی با مدت زمان کوتاه (میکروثانیه) در میدان الکتریکی با شدت بالا (۰/۱-۵۰kV/cm) برای محصولی که بین دو الکترود درون یک سل و در دمای اتاق قرار گرفته، می‌باشد. پالس‌های کوتاه در میدان‌های الکتریکی قوی باعث ایجاد منافذی در غشاء سلولی و افزایش نفوذپذیری غشاء می‌شود به این پدیده الکتروپوراسیون[2] می‌گویند [۷]. زمانیکه سلول بیولوژیکی در معرض میدان الکتریکی خارجی قرار بگیرد، اختلاف پتانسیل دو طرف غشاء در نتیجه باردار شدن سطح غشاء، افزایش می‌یابد. برای ایجاد اختلاف پتانسیل بین غشائی مقدار بحرانی شدت میدان الکتریکی (۱/۰-۰/۲ ولت) مورد نیاز است که باعث ایجاد منافذ برگشت پذیر و یا برگشت ناپذیر در غشاء می‌گردد [۸]. الکتروپوراسیون برگشت پذیر که حیات سلول را حفظ می‌کند، در تحقیقات بیولوژیکی کاربرد دارد در حالیکه غیر فعالسازی میکروارگانیسم‌ها و بهبود انتقال جرم در صنایع غذایی نیاز به الکتروپوراسیون برگشت ناپذیر دارد. زمانیکه شدت میدان خارجی کمتر از مقدار بحرانی باشد الکتروپوراسیون برگشت پذیر بوده و امکان بازسازی ساختار و عملکرد غشاء سلولی را فراهم می‌سازد. این روش غیر حرارتی برای افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی، اثر قابل توجهی در غیر فعال‌سازی میکروب‌ها، افزایش راندمان پرس یا افزایش استخراج عصاره از بافت گیاهی و تشدید خشک کردن محصولات غذایی را به دنبال داشته است [۹،۱۰،۱۱،۱۲]. طی سال‌های اخیر تحقیقاتی در مورد استخراج سوکروز با پیش تیمار PEF انجام گرفته است. نتایج این تحقیقات نشان داده‌اند که بعد از تیمار PEF انتشار قند از بافت چغندر قند افزایش می‌یابد[۱۱،۱۲،۱۳،۱٤،۱۵]. این روش برای فرآیند استخراج قند از چغندر بسیار کارآمد می‌باشد زیرا پیش تیمار PEF موجب افزایش نفوذ پذیری غشاء سلولی بدون تخریب دیواره سلولی می‌گردد. در طول تیمار PEF، غشاء سلولی به سرعت نفوذپذیر شده و بخشی از عصاره سلولی تحت نیروی تورژسانس درونی خارج می‌شود [۱۲]. El-Belghiti و همکاران (۲۰۰۵) سینتیک استخراج سوکروز از چغندر قند با پیش تیمار PEF را مدلسازی نموده و نیز نشان دادند که بهترین شرایط پیش تیمار تعداد ۲۵۰ پالس در شدت میدان ۰/٦۷ کیلوولت بر سانتی‌متر بوده است. به علاوه این محققان دریافتند که پیش تیمار PEF امکان تولید عصاره با کیفیت بهتر در مقایسه با تیمار حرارتی را فراهم می‌سازد. همچنین پیش تیمار PEF باعث کاهش دمای استخراج می‌شود [۱۳]. Lopez و همکاران (۲۰۰۹) اثر PEF (۷-۰ کیلوولت بر سانتی‌متر، ۰/۱۹-۰/۰۱ کیلوولت بر سانتی‌متر) و دمای استخراج (۷۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد)، برای استخراج شربت خام از چغندر قند را مورد بررسی قرار داده و دریافتند که برای دستیابی به راندمان استخراج معادل ۸۰ درصد می‌توان دمای استخراج را از ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا ٤۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داد، بدین منظور تعداد ۲۰ پالس در شدت میدان ۷ کیلوولت بر سانتی متر اعمال می‌گردد [۱٤]. نتایج پژوهش مسکوکی و اشتیاقی (۲۰۱۲) نشان داد که پس از تیمار در میدان‌های الکتریکی پالسی، خروج ترکیباتی مانند قند و یون‌ها از سلول سرعت می‌یابد و سرعت استخراج بطور مستقیم با

1. Pulsed electric field
2. Electroporation

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

شاخص نفوذپذیری سلول (d_i)[1] ارتباط دارد. همچنین نتایج این تحقیق مشخص کرد که استفاده از تیمار PEF امکان استخراج عصاره درون سلولی در دمای ملایم و با تخریب حرارتی کم را فراهم می‌نماید. این محققان اظهار داشتند که افزایش شدت میدان الکتریکی از ۱ به ۲ کیلو ولت بر سانتی‌متر موجب افزایش سریع میزان شاخص نفوذپذیری سلول می‌گردد ولی با افزایش شدت میدان تا ۳ کیلوولت بر سانتی‌متر روند افزایش شاخص نفوذپذیری سلول کاهش می‌یابد. با افزایش تعداد پالس از ۱۰ تا ۲۰ عدد، شاخص نفوذپذیری افزایش می‌یابد ولی افزایش تعداد پالس به بیشتر از آن تأثیر معنی‌داری بر شاخص نفوذپذیری نداشته است [۱۵]. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق و به منظور دستیابی به بیشترین شاخص نفوذپذیری سلولی خلال‌های چغندر در معرض شدت میدان ۱/۵ کیلوولت بر سانتی‌متر و تعداد ۲۰ پالس قرار گرفت. هدف از پژوهش پیش رو بررسی اثر پیش تیمار PEF و دمای استخراج بر راندمان استخراج شربت خام از چغندر قند و نیز کیفیت شربت خام تولید شده می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده سازی نمونه

خلال چغندر قند از کارخانه قند شیرین واقع در شهر مشهد تهیه شده و به آزمایشگاه پژوهشکده علوم و صنایع غذایی منتقل گردید. کیفیت چغندر قند تهیه شده با اندازه‌گیری میزان سوکروز تعیین شد. میانگین مقدار سوکروز ۱۵/٤ گرم در ۱۰۰ گرم خلال چغندر می‌باشد.

۲-۲- تجهیزات PEF

دستگاه PEF در آزمایشگاه فن‌آوریهای نوین در پژوهشکده علوم و صنایع غذایی طراحی و ساخته شد. در این دستگاه یک منبع تغذیه AC (برق معمولی۲٤۰-۲۲۰ ولت۵۰ 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 ذخیره شده در خازن ها با یک کلید پالسی توسط دو الکترود به محفظه تیمار تخلیه می‌شود. محفظه تخلیه از جنس پلکسی گلاس[2] بوده و فاصله میان دو الکترود ٤ سانتی متر بود.

برای حصول بیشترین ضریب نفوذپذیری در نمونه های پیش تیمار شده با PEF شدت میدان الکتریکی در این تحقیق ۱/۵ کیلو ولت بر سانتی متر و تعداد ۲۰ پالس بوده است.

۲-۳- استخراج شربت از چغندر قند

برای اینکه عمل دیفوزیون و استخراج قند بخوبی انجام شود سه عامل اختلاف غلظت داخل و خارج سلولهای خلال، حرارت و همزدن باید وجود داشته باشد. بدین منظور از یک دستگاه دیفوزیون آزمایشگاهی استفاده شد که دارای شافت متصل به موتور با دورهای متغییر بوده و عمل همزدن خلال ها به خوبی انجام گرفت. برای حفظ عمل اسمز آب در چند مرحله به دستگاه دیفوزیون اضافه شد. میزان کشش دیفوزیون معادل ۱۱۰ درصد درنظر گرفته شد [۲]. فرآیند دیفوزیون در دماهای ۲۰، ٤۰، ٦۰ و ۷۲ درجه سانتی گراد و برای مدت ۷۰ دقیقه انجام گرفت.

۲-٤- اندازه‌گیری مواد جامد محلول و میزان سوکروز

میزان کل مواد جامد محلول (°Brix) توسط رفرکتومتر (مدل Atago, RX5000-α ساخت کشور ژاپن) اندازه‌گیری شده‌است. میزان سوکروز (°S= g/100 g) با استفاده از دستگاه پلاریمتر (مدل Atago, AP-300 ساخت کشور ژاپن) و براساس روش هضم سرد [3] تعیین گردید [۱٦]. مطابق این روش ۸۰ گرم از خلال با ۳۲۵ میلی لیتر آب مقطر و ۵ میلی لیتر محلول سولفات آلومینیوم ($Al_2(SO_4)_3$+18 H_2O)، ۲۰۰ گرم در میلی‌لیتر) مخلوط شده و با استفاده از میکسر آسیاب شده است. مخلوط بدست آمده فیلتر شده و چرخش نوری مایع صاف شده تعیین گردید.

۲-۵- تعیین خلوص شربت

خلوص شربت خام (P) از طریق فرمول (۱) محاسبه می‌شود:

$$P=\frac{\text{مقدار سوکروز}}{\text{کل ماده جامد محلول}}\times 100 \quad (1)$$

۲-٦- غلظت ترکیبات کلوئیدی و پروتئین

غلظت کل کلوئیدها و پلیمرها در شربت خام براساس روش ترسیب در اتانول اندازه‌گیری می‌شود [۱۷]: ۵ گرم از شربت خام با ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹٦ درصد مخلوط شده و به مدت

1. Cell disintegration index
2. Plexiglas
3. Cold digestion method

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده می‌شود. محلول به همراه رسوبات تشکیل شده سرد می‌شود ، رسوبات توسط کاغذ صافی بدون خاکستر صاف می‌شوند و سطح کاغذ با استفاده از ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۰ درصد شسته شده و تا رسیدن به وزن ثابت خشک می‌شود. غلظت کلوئیدها و پلیمرها توسط روش وزن سنجی تعیین می‌گردد.

میزان پروتئین براساس روش بردفورد تعیین می‌شود [۱۸].

۲-۷- میزان ترکیبات رنگی و کدورت

میزان ترکیبات رنگی و کدورت شربت خام براساس روش ICUMSA و با دستگاه اسپکتوفتومتر (مدل Shimadzu, UV-160A ساخت کشور ژاپن) اندازه‌گیری می‌شود. کدورت شربت، میزان جذب اندازه‌گیری شده در طول موج ۵۶۰ نانومتر و در سل ۰/۴۵ میکرومتر می‌باشد. میزان ترکیبات رنگی شربت خام با استفاده از فرمول (۲) تعیین می‌گردد [۱۹]:

میزان ترکیبات رنگی (Coloration) =

درجه بریکس /(۱۰° × میزان جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر)

۲-۸- راندمان استخراج سوکروز

راندمان استخراج به عنوان شاخصی برای بررسی اثر تیمار بر استخراج سوکروز می‌باشد. راندمان استخراج در یک فرآیند از طریق فرمول ذیل محاسبه می‌گردد [۱۴]:

$$\text{راندمان استخراج } (Y_e) = \frac{\text{درجه بریکس شربت استخراج شده در دمای t}}{\text{حداکثر ترکیبات جامد قابل استخراج}} \times 100$$

۲-۹- تحلیل داده‌ها

همه آزمایشات در حداقل ۵ تکرار انجام گرفتند. میانگین و انحراف معیار محاسبه شده و در اشکال بصورت نوار خطا مشخص شده است. تفاوت آماری مشاهده شده میان مقادیر میانگین‌ها توسط آنالیز واریانس (ANOVA) بررسی می‌گردد. آنالیز واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS Version 19 (SAS Institute Inc., U.S.A) انجام گرفت.

۳- نتیجه گیری و بحث

۳-۱- بررسی کیفیت شربت خام

همانگونه که شکل (۱) نشان می‌دهد، اعمال پیش تیمار PEF بر روی خلال های چغندر، منجر به افزایش غلظت مواد جامد محلول در عصاره نهایی در دماهای پایین استخراج (۲۰ و ۴۰ درجه سانتی گراد) می شود. این نتایج ثابت می کنند که سینتیک استخراج از بافت چغندر بعد از تیمار PEF بطور چشمگیری افزایش می یابد. غلظت مواد جامد محلول (درجه بریکس) و سوکروز در عصاره استخراج شده با افزایش دمای دیفوزیون از ۲۰ درجه سانتی گراد به ۷۲ درجه سانتی گراد افزایش می یابد.

پیش تیمار PEF موجب افزایش میزان مواد جامد محلول (<۱۳/۵) در شربت خام تهیه شده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به نسبت افزایش در شربت استخراج شده در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد PEF می‌شود. همچنان بیشترین میزان مواد جامد محلول در شربت خام حاصل از استخراج در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد وجود دارد.

جمای و وروبیه (۲۰۰۳) نشان دادند که با بکارگیری MEF (Moderate electric field) پیش از استخراج نیمه پیوسته شربت قند، انتقال مواد جامد افزایش می یابد [٤].

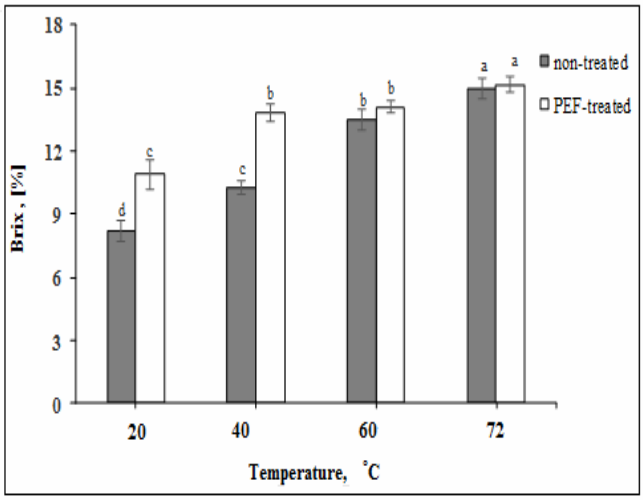

Fig1 Influence of PEF treatment and extraction temperature on the concentration of soluble solids in extracted juice

میزان سوکروز و خلوص شربت خام استخراج شده توسط دیفوزیون خلال چغندرقند بدون پیش تیمار و با پیش تیمار PEF به ترتیب در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است. شربت استخراج شده با روش متداول حرارتی (دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد) حدوداً حاوی ۱۳/۵ درصد سوکروز و خلوص شربت بیش از ۸۸ درصد بوده است. در مورد خلال‌هایی که تحت تیمار PEF قرار گرفته‌اند، میزان سوکروز استخراج شده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تقریباً ۱۲/۵ درصد و کمتر از روش حرارتی می‌باشد. هر چند، خلوص شربت استخراج شده تحت پیش تیمار PEF و دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، بیشتر از خلوص شربت خام بدست آمده از روش استخراج حرارتی و

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

در حدود ۹۰/٦ درصد است. در مورد خلال های تیمار نشده، میزان سوکروز در عصاره استخراج شده در دمای پایین بسیار کم می باشد (کمتر از ۷٪ در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد) و خلوص شربت کمتر از ۸۰ درصد می‌باشد، این نتایج اثبات می‌کند که برای استخراج میزان مناسبی از سوکروز نیاز به دیفوزیون حرارتی وجود دارد. اگر استخراج قند از خلال را با آبی که دمای معمولی دارد انجام دهیم تنها حدود ۳۰ تا ٤۰ درصد قند موجود در آن قابل استخراج است و بقیه در سلول‌های خلال باقی می‌ماند. زیرا سلول‌های زنده در برابر خروج مواد قندی مقاومت می‌کنند. درصورتی‌که برای استخراج قند از آب گرم استفاده شود و خلال‌ها به دمای حدود ۷۳-۷۰ درجه سانتی‌گراد برسند، عمل دیفوزیون قند بخوبی انجام می‌گیرید، زیرا دراثر حرارت غشای سلول‌ها مقاومت خود را در اثر خروج مواد قندی از دست داده و بعنوان مانعی دربرابر عبور ساکارز عمل نمی‌کند. در اثر حرارت سلول‌های چغندر غیر فعال شده و غشای آنها حالت فعال خود را از دست می‌دهد [۱].

در مورد خلال هایی که تحت PEF قرار گرفته اند، نیز میزان سوکروز در فرآیند استخراج سرد (در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد) به میزان معنی‌داری ($p<0.05$) کمتر از(حدود ۱۰٪) استخراج در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد و با پیش تیمار PEF می باشد.

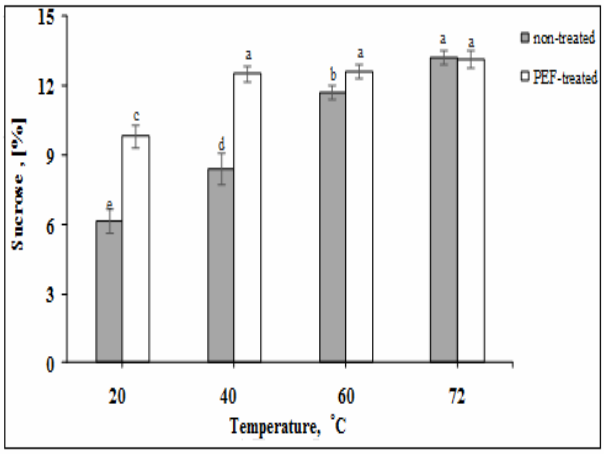

Fig2 Influence of PEF treatment and extraction temperature on the concentration of sucrose in extracted juice

در حالیکه درجه خلوص عصاره شربت خام تحت شرایط تیمار PEF در دماهای ٤۰، ٦۰ و ۷۲ درجه سانتی‌گراد تغییر معنی‌داری (p< ۰/۰۵) پیدا نمی کند. بالاتر بودن میزان خلوص شربت پس از تیمار PEF نشان دهنده استخراج انتخابی سوکروز می‌باشد. بافت گیاهی که تحت پیش تیمار PEF نفوذپذیری غشاء سلولی در آن افزایش یافته است، ولی انسجام شبکه دیواره سلولی حفظ شده است، می‌تواند به‌صورت انتخابی نفوذپذیر شده و مانعی در مقابل خروج برخی ترکیبات درون سلولی با وزن مولکولی بالا باشد [۲۰] .افزایش دمای دیفوزیون منجر به حل شدن وخروج برخی ترکیبات مانند پکتین از دیواره سلولی شده و ورود این ترکیبات با وزن مولکولی بالا به شربت را تسریع می‌نماید، که البته این ترکیبات اصلی‌ترین ترکیبات دیواره و غشاء سلولی می باشند. همچنین افزایش دما باعث افزایش سرعت واکنش های شیمیایی، تولید محصولات نامطلوب در نتیجه این واکنش ها و در نهایت کاهش کیفیت و خلوص عصاره می شود.

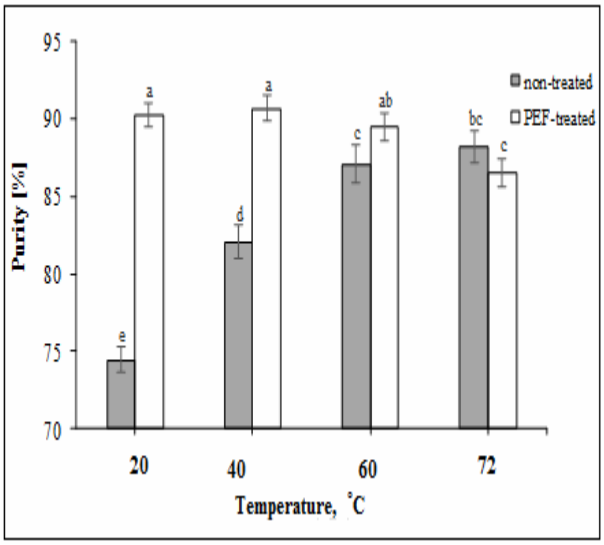

Fig3 Influence of PEF treatment and extraction temperature on the purity in extracted juice

۳-۲- غلظت ناخالصی های کلوئیدی و پروتئین‌ها

غلظت ناخالصی‌های کلوئیدی (ترکیبات پلیمری) در روش استخراج گرم (دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد) به طور معناداری بیشتر از مقدار آن در شربت خام استخراج شده در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد و با پیش تیمار PEF می‌باشد (شکل ٤). با توجه به این‌که پکتین‌ها و پروتئین‌ها اصلی‌ترین ناخالصی‌ها با وزن مولکولی بالا در شربت خام هستند بنابراین غلظت کل ترکیبات کلوئیدی تقریباً مطابق با مجموع غلظت پکتین و پروتئین می‌باشد. با افزایش دما به بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد پکتین موجود در دیواره سلولی به شکل کلوئیدهای محلول درآمده، وارد شربت خام شده و باعث کاهش خلوص شربت خام می‌شود [۲]. حضور پلیمرها در شربت خام باعث افزایش ویسکوزیته، کاهش سرعت کریستالیزاسیون، کاهش قابلیت

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

صاف کردن و بازیابی ترکیبات با ارزش (مانند سوکروز) می‌شود [۱].

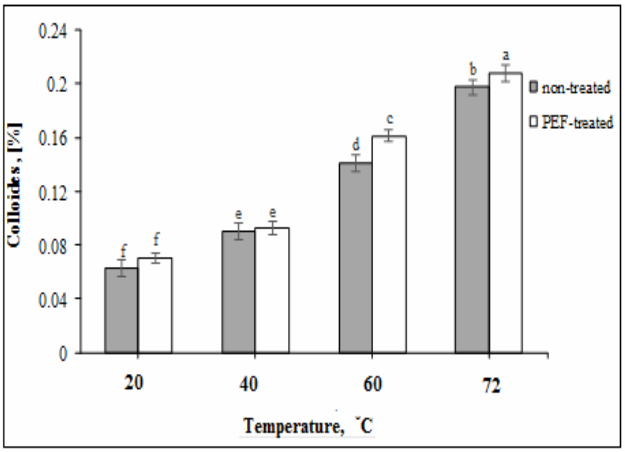

Fig4 Influence of PEF treatment and extraction temperature on the concentration of total colloidal compounds in extracted juice

مقدار پروتئین های اندازه‌گیری شده در شربت خام استخراج شده در همه شرایط بسیار کم بوده است (۰/۰۵۵-۰/۰۴۳ درصد). با توجه به اینکه ۳۰٪ از سلول ها در اثر برش و تبدیل شدن به خلال دچار پارگی می شوند لذا شربت درون سلولی سطح خلال بدون عمل اسمز و مستقیماً وارد شربت شده و بنابراین بخشی از پروتئین و پکتین این سلولها نیز به درون عصاره راه می یابند، به همین دلیل مقدار پروتئین موجود در شربت خام چندان وابسته به دمای استخراج نمی‌باشد [۲]. تیمار حرارتی سلول‌های بافت چغندر قند در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد موجب تجمع مولکول‌های پروتئین در شربت خام نمی‌شود زیرا در اثر افزایش دما پروتئین منعقد شده و درون سلول و در دیواره و غشاء تثبیت می شود و به این طریق از ورود آن به شربت جلوگیری می‌شود.

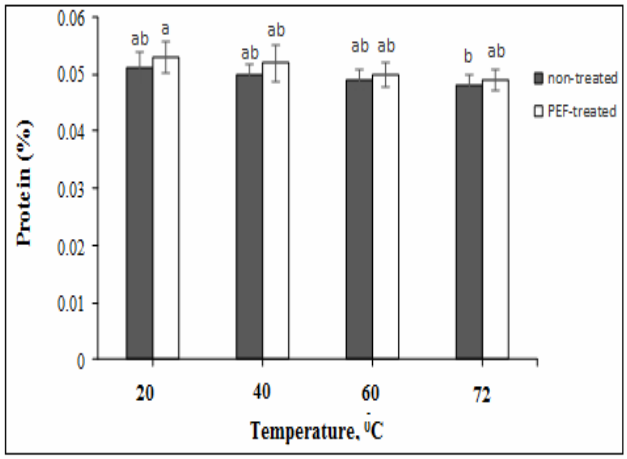

Fig5 Influence of PEF treatment and extraction temperature on the concentration of protein in extracted juice

۳-۳- میزان کدورت و ترکیبات رنگی شربت خام

تشکیل و پیشرفت میزان رنگ عصاره در طول فرآیند استخراج مکانیسم های متفاوتی دارد از جمله تشکیل رنگ خاکستری ناشی از واکنش آنزیمی (تشکیل ملانین ها) می باشد. همچنین افزایش دما باعث افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی مختلف (مانند تولید ترکیبات رنگی در نتیجه واکنش میلارد) میان ترکیبات استخراج شده در شربت خام می‌شود [۲۱] و [۲۲]. میزان ترکیبات رنگی و کدورت شربت خام در مقابل روش و دمای استخراج در شکل ٦ و ۷ نشان داده شده است. افزایش دمای استخراج از ۲۰ به ۷۲ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش معنادار ($p< 0.05$) ترکیبات رنگی و کدورت شربت خام می‌گردد. کاهش دمای استخراج از ۷۲ به ٤۰ درجه سانتی‌گراد باعث جلوگیری و یا به تأخیر افتادن تولید ملانوئیدین ها و در نتیجه کاهش میزان رنگ و افزایش کیفیت شربت خام استخراج شده می‌شود (شکل ۷).

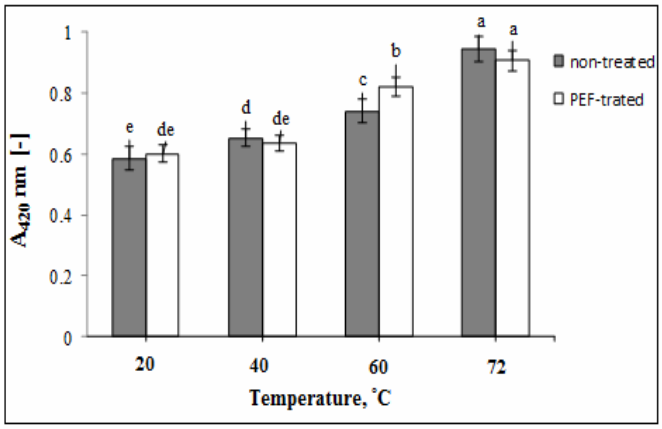

Fig6 Influence of PEF treatment and extraction temperature on the turbidity of extracted juices

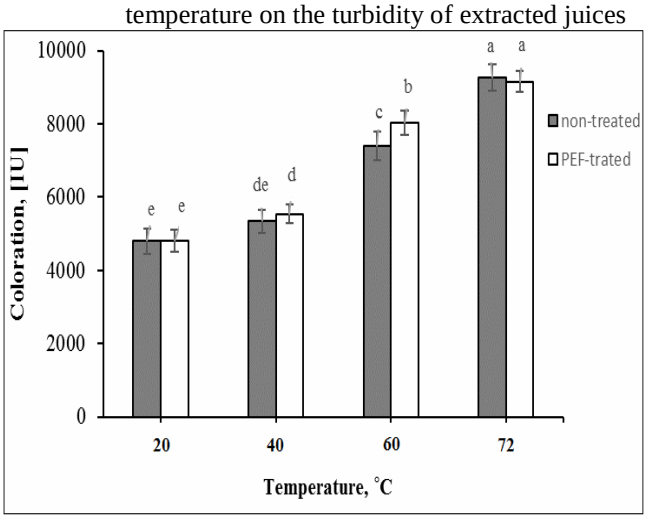

Fig7 Influence of PEF treatment and extraction temperature on the coloration of extracted juices

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

۳-٤- راندمان استخراج سوکروز

اثر پیش تیمار میدان الکتریکی بر راندمان استخراج سوکروز در شکل ۸ نشان داده شده است. همچنین در این شکل اثر دماهای مختلف (۲۰، ٤۰ ، ٦۰ و ۷۲ درجه سانتی‌گراد) بر راندمان استخراج نیز بررسی شده است. همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، بکارگیری پیش تیمار PEF راندمان استخراج سوکروز را نسبت به نمونه‌های شاهد (بدون پیش تیمار) افزایش می‌دهد. اثر پیش تیمار PEF بر راندمان استخراج سوکروز با افزایش دمای استخراج کاهش می‌یابد. در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد تفاوت معناداری ($p>0.05$) میان نمونه‌های شاهد و نمونه‌هایی که تحت پیش تیمار PEF قرار گرفتند مشاهده نمی‌شود. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که راندمان فرآیند استخراج در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد مستقل از پیش تیمار PEF می‌باشد. در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به دلیل حصول بیشترین درجه نفوذپذیری سلولی، بیشترین راندمان استخراج نیز حاصل می‌شود و در دمای ۲۰ و ٤۰ درجه سانتی‌گراد بکارگیری پیش تیمار PEF موجب افزایش راندمان استخراج سوکروز در مقایسه با نمونه‌های شاهد (بدون پیش تیمار) می‌گردد. نتایج مشابهی توسط Lopez و همکاران (۲۰۰۹) ارائه گردیده که بر اساس آن در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد و با اعمال پیش تیمار PEF (شدت میدان ۷ کیلوولت بر سانتی متر و تعداد ۲۰ عدد پالس) راندمان استخراج سوکروز پس از ٦۰ دقیقه، راندمان استخراج سوکروز به حدود ۸۵ درصد می‌رسد و بدین ترتیب دمای استخراج از ۷۰ درجه سانتی‌گراد به ٤۰ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد [۱]. دستیابی به بیشترین ضریب نفوذپذیری سلولی تحت پیش تیمار PEF، موجب دستیابی به بیشترین راندمان استخراج و کاهش زمان استخراج می‌شود.

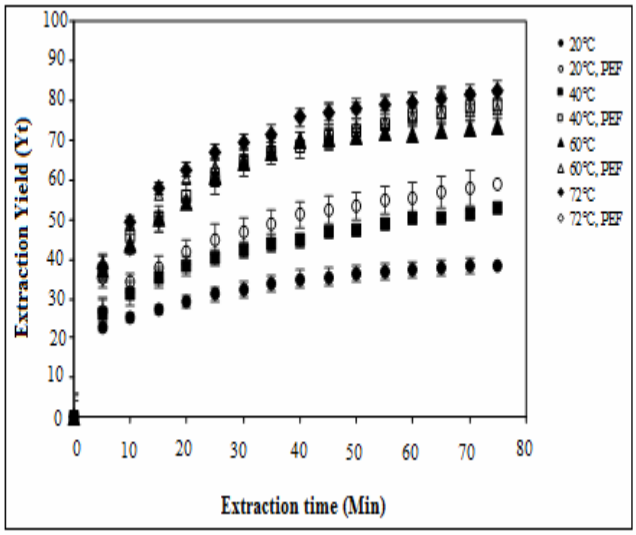

Fig 8 Influence of PEF treatment (E=1.5 Kv/cm, n=20) on the extraction yield at different extraction temperature

۳-۵- بررسی ویژگی‌های شیمیایی شربت خام

مشخصات شیمیایی شربت خام تهیه شده با روش حرارتی متداول (دمای ۷۲°C) با شربت خام حاصل از پیش تیمار PEF و استخراج در دمای ٤۰ درجه سانتی گراد در جدول (۱) آورده شده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهند، شربت بدست آمده از خلال‌های تیمار شده با PEF و پس از آن استخراج در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد دارای خلوص بالاتری ($p<0.05$) نسبت به شربت استخراج شده با روش حرارتی می باشد. میزان ترکیبات کلوئیدی شربت استخراج شده در دمای ٤۰ درجه سانتی گراد بطور معناداری ($p<0.05$) کمتر از شربت تهیه شده در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد است، از سوی دیگر کاهش دمای استخراج منجر به تولید شربتی با ترکیبات رنگی و کدورت کمتر و ظاهری شفاف‌تر می‌شود.

Table1 Properties of diffusion juices.

Diffusion juice type	Obtained at 72 ◦C without PEF-treatment	Obtained at 40 ◦C with PEF-treatment
Brix (%)	14.97±0.74[a]	13.83±0.81[a]
Sucrose content (%)	13.20±0.53[a]	12.54±0.67[a]
Purity (%)	88.17±1.15[b]	90.63±0.98[a]
Colloidal compound (%)	0.197±0.012[a]	0.092±0.009[b]
Protein content (%)	0.045±0.002[b]	0.052±0.004[a]
Turbidity	0.945±0.14[a]	0.637±0.10[b]
Coloration (IU[1])	9270±370[a]	5540±250[b]

Different letters indicate significant differences in rows (P≥0.05).

1. ICUMSA

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

٤- نتیجه گیری

پیش تیمار خلال های چغندر با PEF باعث کاهش دمای استخراج از ۷۲ به ٤۰ درجه سانتی گراد می شود. خلوص عصاره حاصله در دمای پایین (۲۰ و ٤۰ درجه سانتی گراد) بطور معناداری بیشتر از خلوص عصاره بدست آمده با روش حرارتی معمول (دمای ۷۲ درجه سانتی گراد) می‌باشد. بعلاوه دمای پایین عصاره گیری از اعمال آسیب حرارتی به سلول و تخریب پکتین و سایر پلیمرها جلوگیری می نماید. بنابراین غلظت ترکیبات کلوئیدی در روش استخراج سرد در دمای ٤۰ درجه سانتی گراد خیلی کمتر از عصاره بدست آمده در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد می باشد. استخراج سرد به همراه پیش تیمار PEF باعث کاهش غلظت ترکیبات رنگی نیز می شود. این ویژگی ها مزایایی برای تصفیه و خالص سازی عصاره چغندر قند به شمار رود. بطور خلاصه می توان گفت که جایگزین نمودن فرآیند غیر حرارتی PEF بجای فرآیند حرارتی برای افزایش نفوذپذیری بافت چغندر در خط تولید کارخانه های تولید شکر از چغندر قند دارای فواید بیشماری است. که از مهمترین آنها می توان به کاهش دمای استخراج برای دستیابی به درجه خلوص بالا معادل با استخراج در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد، اشاره نمود. از سوی دیگر کاهش میزان انحلال پکتین و عدم استخراج ترکیبات نامطلوب منجر به بهبود خصوصیات کاربردی شربت قند می شود. و بدین ترتیب مشکلات ناشی از افزایش ویسکوزیته شربت در صافی و دکانتور مرتفع خواهد شد.

٥- منابع

[1] Van der Poel, P. W., Schiweck, H., & Schwartz, T. (1998). Sugar Technology. Beet and Cane Sugar Manufacture. Berlin: Bartens, 88-107.

[2] Asadi, M. (2007). Beet-sugar handbook. John Wiley & Sons.

[3] Bazhal, M., & Vorobiev, E. (2000). Electrical treatment of apple cossettes for intensifying juice pressing. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(11), 1668-1674.

[4] Jemai, A. B., & Vorobiev, E. (2002). Effect of moderate electric field pulses on the diffusion coefficient of soluble substances from apple slices. International journal of food science & technology, 37(1), 73-86.

[5] Bouzrara, H., & Vorobiev, E. (2000). Beet juice extraction by pressing and pulsed electric fields. International Sugar Journal, 102(1216), 194-200.

[6] Angersbach, A., Heinz, V., & Knorr, D. (1999). Electrophysiological model of intact and processed plant tissues: cell disintegration criteria. Biotechnology Progress, 15(4), 753-762.

[7] Zimmermann, U. (1986). Electrical breakdown, electropermeabilization and electrofusion (pp. 175-256). Springer Berlin Heidelberg.

[8] Chalermchat, Y., Fincan, M., & Dejmek, P. (2004). Pulsed electric field treatment for solid–liquid extraction of red beetroot pigment: mathematical modelling of mass transfer. Journal of Food Engineering, 64(2), 229-236.

[9] Eshtiaghi, M. N., & Knorr, D. (2002). High electric field pulse pretreatment: potential for sugar beet processing. Journal of Food Engineering, 52(3), 265-272.

[10] Bazhal, M. I., Lebovka, N. I., & Vorobiev, E. (2001). Pulsed electric field treatment of apple tissue during compression for juice extraction. Journal of Food Engineering, 50(3), 129-139.

[11] Wouters, P. C., Bos, A. P., & Ueckert, J. (2001). Membrane permeabilization in relation to inactivation kinetics of Lactobacillus species due to pulsed electric fields. Applied and Environmental Microbiology, 67(7), 3092-3101.

[12] Lebovka, N. I., Shynkaryk, N. V., & Vorobiev, E. (2007). Pulsed electric field enhanced drying of potato tissue. Journal of Food Engineering, 78(2), 606-613.

[13] Lebovka, N. I., Shynkaryk, M. V., El-Belghiti, K., Benjelloun, H., & Vorobiev, E. (2007). Plasmolysis of sugarbeet: pulsed electric fields and thermal treatment. Journal of food engineering, 80(2), 639-644.

[14] Lopez, N., Puertolas, E., Condon, S., Raso, J., & Alvarez, I. (2009). Enhancement of the solid-liquid extraction of sucrose from sugar beet (Beta vulgaris) by pulsed electric fields. *LWT-Food Science and Technology*, *42*(10), 1674-1680.

[15] Maskooki, A., & Eshtiaghi, M. N. (2012). Impact of pulsed electric field on cell disintegration and mass transfer in sugar

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

beet. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(3), 377-384.
[16] Protocols of SNFS. (2001). SNFS – Societe Nationale des Fabricants de Sucre (National Society of Sugar Manufacturers), SNFS Ch 3–11, France.
[17] Cherniavskaia, L. I., Pustohod, A. P., & Ivolga, N. S. (1995). Technochemical control of granulated sugar and refined sugar. *Kolos, Moscow (in Russian)*.
[18] Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, *72*(1), 248-254.
[19] Coca, M., García, M. T., Mato, S., Cartón, Á., & González, G. (2008). Evolution of colorants in sugarbeet juices during decolorization using styrenic resins. Journal of food engineering, 89(4), 429-434.
[20] Praporscic, I., Lebovka, N., Vorobiev, E., & Mietton-Peuchot, M. (2007). Pulsed electric field enhanced expression and juice quality of white grapes. Separation and Purification Technology, 52(3), 520-526
[21] Coca, M., Garcí, M. T., González, G., Peña, M., & Garcí, J. A. (2004). Study of coloured components formed in sugar beet processing. *Food chemistry*, *86*(3), 421-433.
[22] Mersad, A., Lewandowski, R., Heyd, B., Decloux, M. 2003. Colorants in the Sugar Industry: Laboratory Preparation and Spectrometric Analysis. International Sugar Journal, 105, 269–281.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

Effect of Pulsed Electric Field treatment (PEF) on the quality of raw juice extracted from sugar beets

Rezaei , K. [1*], Shahidi Noghabi, M. [2], Behzad , Kh. [3], Maskooki, A. [4]

1. Ph D student of food processing department, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran.
2. Associate Professor of Food Chemistry department, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran.
3. Contribution from college of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
4. Associate Professor of food processing department, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran.

(Received: 2015/11/15 Accepted:2016/02/01)

The conventional sugar extraction from sugar beet was carried out at high temperature (70-73°C) and long time (70 min). It resulted in high content of impurities (such as pectins and melanoidins) in extracted juice and high water and energy consumption. This work investigates the sugar extraction from sugar beets pre-treated by pulsed electric field (PEF). The PEF pre-treatment was carried out at field strength of 1.5 kV/cm and 20 pulses. The extraction temperature varied from 20 to 72 °C. The quality of extracted juice was characterized by measuring the content of soluble solids (°Brix), sucrose content, juice purity, concentration of colloidal substances, and proteins. The result shows that juice obtained using mild thermal (40 °C) treatment has higher purity, lower concentration of colloidal impurities (especially, pectins) and lower coloration. The obtained data confirms that "cold" sugar extraction assisted by PEF treatment, permits obtaining of high quality juices. The application of pulsed electric field (PEF) ensures a non-thermal permeabilization of cellular membrane that improves the sucrose extraction yield.

Keywords: extraction, Sugar beet juice, Pulsed electric field, Juice quality.

*Corresponding Author E-Mail Address: k_rezaee95@yahoo.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]