Archive of SID

12th July 2017
۲۱ تیرماه ۱۳۹۶
3rd. International Conference on
Agricultural Engineering and Natural Resources
سومین کنفرانس بین المللی
مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی

# مروری بر کاربرد میدان الکتریکی پالسی در فرایند خشک کردن و همچنین استخراج روغن از دانه‌های روغنی

زینب رستمی[۱]

[۱] مدرس دانشگاه فنی حرفه ای کوثر گنبدrostami434@gmail.com

**چکیده**

افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای دستیابی به محصولات با کیفیت بالاتر و با حداقل اتلاف مواد مغذی نسبت به روش‌های مرسوم حرارتی، استفاده از روش‌های غیرحرارتی از جمله استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی را افزایش داده است. نتایج مطالعات نشان داد که استفاده از میدان الکتریکی پالسی انتقال جرم را در طول خشک‌کردن افزایش می‌دهد و زمانی که به عنوان پیش تیمار استفاده می گردد، می تواند تقریبا ۲۵ درصد زمان خشک‌کردن و ۳ kJ/kg انرژی مصرفی را در واحد کیلوگرم در مقایسه با نمونه‌های شاهد کاهش دهد. از میدان الکتریکی پالسی نیز می توان به‌عنوان یک پیش‌تیمار برای تسریع انتقال جرم در فرایند آب‌گیری اسمزی نیز استفاده نمود. نتایج مطالعات همچنین نشان داد که تغییرات شدت میدان الکتریکی بر راندمان روغن‌کشی از دانه های روغنی و ترکیبات فنلی کل تأثیر معنی‌دار دارد به گونه‌ایی که با افزایش شدت میدان الکتریکی راندمان استخراج روغن و ترکیبات فنلی کل افزایش می یابد. در پایان می توان بیان داشت که استفاده از این فناوری با توجه به کاهش زمان خشک کردن و انرژی مصرفی در فرایندخشک کردن و همچنین به علت افزایش ترکیبات فنلی و راندمان استخراج در صنایع روغن کشی، بسیار می‌تواند مفید باشد.

**واژه‌های کلیدی :** میدان الکتریکی پالسی، راندمان استخراج روغن، خشک کردن، روش غیر حرارتی

## ۱- مقدمه

یکی دیگر از روش‌های غیر حرارتی نگهداری مواد غذایی، استفاده از میدان های الکتریکی پالسی (PEF)[۱] می‌باشد که از آن در غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها به گونه‌ای که کمترین آسیب بر خواص کیفی مواد غذایی ایجاد گردد، استفاده می‌نمایند. افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای دستیابی به محصولات با کیفیت بالاتر و با حداقل اتلاف مواد مغذی نسبت به روش‌های مرسوم حرارتی، استفاده از روش های غیرحرارتی از جمله استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی را افزایش داد [۱۰]. خواستگاه استفاده از این فرایند را می‌توان به تحقیقاتی که در آلمان صورت گرفته بود، نسبت داد. دئون اسپک[۲] در سال ۱۹۶۰ تجهیزات و روش‌های مختلف این فرایند را برای فراوری سوسیس شرح داد و بعد از آن سالیان درازی به منظور توسعه این تکنولوژی با کمک دیگر محققان آلمانی مطالعاتی صورت داد [۳]. سال‌ها بعد در دانشگاه‌های کالیفرنیا اختراعات متعددی پیرامون این فرایند ثبت گردید که این اختراعات دارای مکانیسم‌های مداوم و غیرمداوم بودند، که از ویژگی‌های آن‌ها می‌توان به گسترش شبکه‌های پالسی و تنظیماتی به منظور جلوگیری از رسوب بر روی الکترودهای آن نام برد [۷]. دانشگاه ایالت واشنگتن نیز برنامه‌ی مدون و جامعی پیرامون حفظ ترکیبات مواد غذایی با استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی با شدت بالا تدوین نمود و با استفاده از شبیه‌سازی عددی و مطالعات آزمایشگاهی تاثیرگذاری محفظه مورد استفاده بر کل فرایند را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها سیستمی را طراحی کردند که توانایی استفاده از منبع ذخیره انرژی ۴۰ کیلو ولتی را دارا بود که در این فرایند از محفظه‌های مداوم هم محور استفاده شده بود [۴]. یکی دیگر از گروه‌های پیش‌رو در ارتباط با تکنولوژی میدان‌های الکتریکی پالسی، دانشگاه اوهایو است که آن‌ها یک سیستم پایلوت که دارای بسته‌بندی اسپتیک بود، ایجاد کردند [۱۴]. اخیرا یک گروه تحقیقاتی در دانشگاه اوکلند سیستمی با استفاده از ترانزیستورهای مدرن دو قطبی (IGBT)[۳] طراحی نمودند که دارای محفظه‌ی جدیدی بود و با شدت‌های الکتریکی بالا فعالیت می‌کرد دمای محیط مایع و رسوب‌گذاری بر روی الکترودها را حد زیادی کاهش می‌داد [۱]. این تکنولوژی برای استفاده در صنایع غذایی باید دارای تجهیزاتی از قبیل ژنراتور پالسی با ولتاژ بالا، مخزن یا محفظه‌ی فرایند، سیستم کنترل و مانیتورینگ فرایند، سیستم خنک کننده و غیره باشد. در این فرایند اغلب از ژنراتورهای با ولتاژ بالا برای تولید جریان‌های پالسی که باعث مرگ و

[1] pulsed electric field

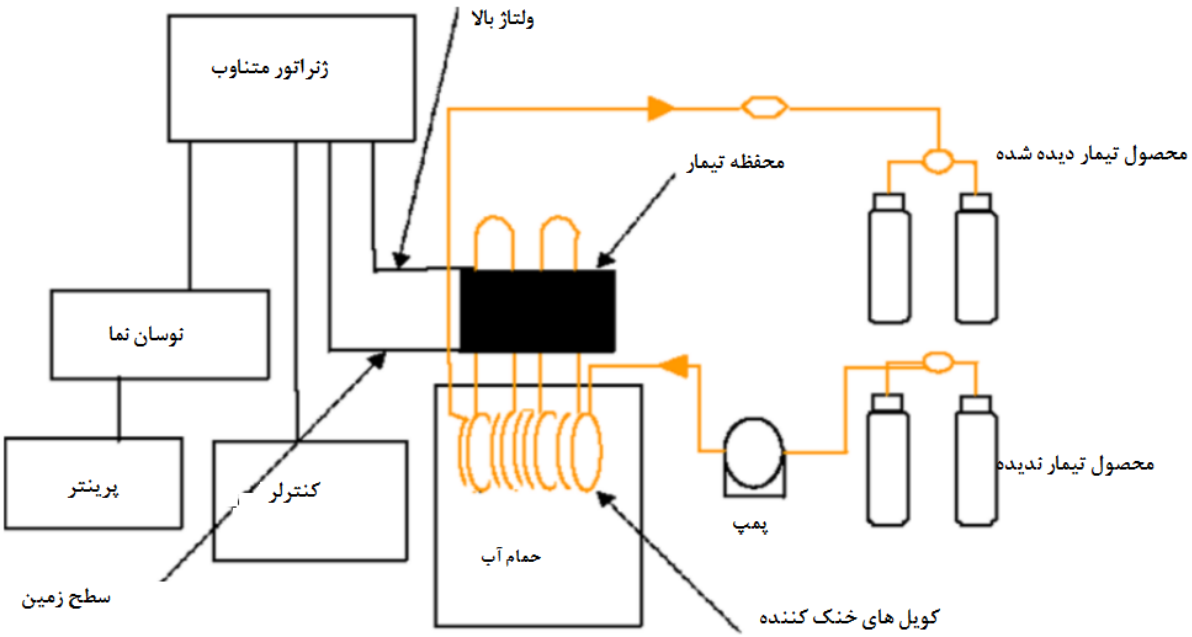
[2] Doevenspeck

[3] modern insulated gate bipolar transistors

www.SID.ir

Archive of SID

میر سلول‌های بیولوژیکی می‌شود، استفاده می‌گردد. این ژنراتورهای پالسی، ولتاژهای معمولی را به ولتاژهای با شدت بالا تبدیل می‌کنند. یک منبع تغذیه نیرو، برای شارژ خازن‌ها که مقدار زیادی انرژی را در خود ذخیره می‌کند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این دستگاه یک کلید برای تخلیه انرژی الکتریکی از خازن‌ها و مواد غذایی طراحی گردیده است. در شکل ۱ تصویر شماتیک فرایند میدان‌های الکتریکی پالسی به همراه تجهیزات مورد نیاز این فرایند آورده شده است [۵].




**شکل ۱- شماتیک تجهیزات مورد استفاده در فرایند میدان‌های الکتریکی پالسی**

## ۲- محاسن استفاده و مروری بر کاربردهای فرایند میدان‌های الکتریکی پالسی

فن آوری میدان‌های الکتریکی پالسی دارای مزیتهای بیشتری نسبت به استفاده از فرایندهای حرارتی مرسوم در مواد غذایی می‌باشد که علاوه بر نابودی میکروارگانیسم‌ها می‌توان به حفظ بیشتر رنگ اصلی، عطر وطعم، بافت و ارزش غذایی مواد غذایی اشاره نمود. همچنین حفظ قوام و ساختمان سلولی (با توجه به این‌که این فرایند فقط روی دیواره سلولی بر خلاف روش‌های حرارتی که آسیب کلی می‌زند، تاثیر دارد و افزایش سرعت و راندمان استخراج از دیگر مزیت‌های آن می‌باشد. از این فرایند می‌توان در غیر فعال کردن میکروارگانیسم‌ها در شیر، فراورده‌های شیری، تخم‌مرغ، آب و مواد غذایی دیگر استفاده نمود [۹]. استفاده از تکنولوژی میدان‌های الکتریکی پالسی با موفقیت برای پاستوریزاسیون مواد غذایی مانند آب میوه، شیر، ماست، سوپ، و تخم مرغ مایع به کار گرفته شده است. کاربرد این فرایند به محصولات غذایی عاری از حباب هوا و با هدایت الکتریکی کم محدود شده است. حداکثر اندازه ذرات نیز در مایع باید کوچکتر از فاصله منطقه تیمار در محفظه تیمار به منظور حصول اطمینان از تیمار مناسب باشد، هرچند این روش برای مواد غذایی جامد که قابلیت پمپ کردن نیستند مناسب نمی‌باشد. از این روش در استخراج شکر از چغندر قند نیز می‌شود استفاده نمود. از این فرایند می توان در فراوری آب میوه‌جات از قبیل عصاره پرتقال و عصاره سیب استفاده کرد. دان (۲۰۰۱) تحقیقات متعددی را به منظور صنعتی نمودن این فرایند به منظور عطر بهتر، طعم و بهبود ویژگی‌های عملکردی و بافت و عمر مفید بالاتر، محصولات تیمار دیده با این فرایند صورت داد [۶]. اخیرا از فرایند میدان الکتریکی پالسی در فراوری‌های خشک کردن، اصلاح فعالیت آنزیمی، حفظ مواد مغذی در مواد غذایی جامد و نیمه جامد، تصفیه فاضلاب استفاده می‌کنند در این قسمت به صورت خلاصه کاربرد میدان الکتریکی پالسی در خشک کردن مواد غذایی و استخراج روغن آورده شده است.

### ۲-۱- خشک کردن

#### ۲-۱-۱-تاثیر میدان الکتریکی پالسی بر انتقال جرم در طول خشک‌کردن با هوای داغ

از میدان‌های الکتریکی پالسی با شدت بالا می‌توان به عنوان یک پیش تیمار در بهبود انتقال جرم در طول خشک کردن میوه‌جات و سبزیجات استفاده نمود.

گروهی در سال ۱۹۹۷ نشان دادند که تیمار سیب‌زمینی با میدان الکتریکی پالسی قبل از خشک‌کردن با خشک‌کن بستر سیال با درجه حرارت °C ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و با جریان هوایی با سرعت m/s ۲ منجر به بهبود انتقال جرم در طول خشک‌کردن شد. در این تحقیق آن‌ها نمونه را بین

www.SID.ir

دو الکترود قرار می‌دادند و هوای محفظه با پر شدن کووت‌ها[4] توسط آبی که سطح الکترودها را می‌پوشاند، حذف می‌شد. آن‌ها تاثیر قدرت میدان الکتریکی را از ( kV/cm) ۳ تا ۰/۳۵، و تعداد پالس‌ها بین ۱-۷۰ را بر قابلیت نفوذپذیری قطعات سیب‌زمینی (با ابعاد $1 \times 1 \times 1$ cm) مورد مطالعه قرار دادند. شرایط بهینه با استفاده از میدانی با قدرت بین ( kV/cm) ۳ تا ۱/۵، و تعدا پالس‌هایی با ۳۰-۱۵ بدست آمد. در انرژی ویژه پایین[5] (۶/۴ تا ۱۶/۲ kJ/kg) حداکثر مایع جاری شده (۲۹٪)، مشاهده گردید در حالی‌که افزایش دمای محصول تیمار دیده فقط ۱/۸ °C تا ۴/۵ بود [۲].

Ade-Omowaye و همکاران (۲۰۰۱) تاثیر میدان الکتریکی پالسی را بر آب‌گیری فلفل قرمز در خشک‌کن با بستر سیال (دمای ۶۰ °C و با سرعت جریان هوایی ۱ m/s) مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از تیمارهای مختلفی از قبیل آنزیم بری با آب جوش (به مدت ۳ دقیقه) پوست‌کنی ( با محلول سود ۵٪ w/v در دمای ۲۵ °C یا ۳۵ برای ۲۰ دقیقه یا محلول ۵٪ v/v اسید کلریدریک در همان دماها برای ۲۰ دقیقه) فشار هیدرواستاتیک بالا (۴۰۰ مگاپاسکال برای ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ °C) و میدان الکتریکی پالسی (پالس‌های نمایی نزولی با قدرتی برابر ۲ kV/cm و مدت زمان پالسی ۳۰۰ µs، تعداد پالس‌ها ۱۰ تا) که آین محقیقن ضرایب انتقال جرم و حرارت را در طول خشک‌کردن مورد بررسی قرار دادند. ضرایب انتقال بدست آمده بعد از تیمار میدان الکتریکی مقایسه شده با حداکثر مقدار این ضرایب که زمانی از بلانچ کردن با آب جوش استفاده شده بود. آن‌ها بیان داشتند که استفاده از میدان الکتریکی پالسی انتقال جرم را در طول خشک‌کردن افزایش می‌دهد در حقیقت میدان الکتریکی پالسی به عنوان پیش تیمار نشان از کاهش تقریبا ۲۵ ٪ زمانی خشک‌کردن در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد و انرژی ویژه مجموع مصرف شده[6] ۳ kJ/kg و افزایش درجه حرارت نمونه‌های تیمار خورده حداکثر ۱ °C بود[۱۱].

**۲-۱-۲- تاثیر میدان الکتریکی پالسی بر آب‌گیری اسمزی**

استفاده از میدان الکتریکی به عنوان یک پیش‌تیمار برای تسریع انتقال جرم در فرایند آب‌گیری اسمزی نیز معرفی گردیده است.

روستاقی و همکاران در سال ۱۹۹۹ تاثیر میدان الکتریکی پالسی را بر آب‌گیری اسمزی هویج بررسی کردند. برش‌های هویج با قطر ۲ cm و با ضخامت ۱ cm در این آزمون مورد ارزیابی قرار گرفت. که برای این تحقیق از پیش تیمارهای میدان الکتریکی پالسی، با سطوح مختلف پالس‌های نمایی استفاده نمودند. محدوده‌ی قدرت میدان الکتریکی مورد استفاده ۰/۲۲ تا ۱/۶ kV/cm بود. درجه حرارت آزمایش در نمونه‌ها حداکثر تا ۱ °C افزایش یافت. مشخص شد که شاخص تخریب سلول‌ها با افزایش انرژی کل تا ۰/۸۶ kJ/kg – ۰/۸۴، در حدود ۰/۹ بود. لازم به ذکر است که در این آزمایشات محدوده‌ی انرژی ویژه کل مورد استفاده ۲/۲ kJ/kg – ۰/۴ بود. بالاتر از این مقدار فروپاشی غشای سلولی افزایش نیافت. هر دو نمونه شاهد و تیمار دیده شده در محلول ساکاروزی با بریکس ۵۰ و دمای ۴۰ °C برای ۵ ساعت آب‌گیری شدند.

در نمونه‌های تیمار دیده میزان رطوبت[7] و ماده جامد[8] به ترتیب کاهش و افزایش نشان داد همچنین نرخ نفوذ آب و املاح با افزایش قدرت میدان الکتریکی به‌کار گرفته شده افزایش یافت. ضرایب انتشار موثره برای آب و املاح توسط مدل دیفوزیون فیکان[9] تعیین می‌گردد که از معادله زیر بدست می‌آید.

$$D = A \exp -(\frac{B}{E})$$

که در رابطه فوق D ضریب انتشار A و B ضرایب ثابت و E قدرت میدان الکتریکی می‌باشد. پژوهشگران افزایش ضریب نفوذ موثره را به افزایش نفوذپذیری سلول نسبت داده‌اند. این نفوذپذیری ناشی از میدان الکتریکی پالسی منجربه نرم شدن بافت سلول‌ها گردید. نیروی فشار مورد نیاز برای پارگی سلول‌ها با دستگاه انالیز بافت اندازه‌گیری شد. نیروی فشاری به صورت نمایی با افزایش میدان الکتریکی کاهش یافت. با این حال در میدان‌هایی با قدرت بالاتر از ۱/۰۹ kV/cm افزایش میزان نرمی بسیار محدود بود [۱۱].

تاثیر میدان الکتریکی پالسی با شدت بالا[10] و پیش‌تیمارهای دیگر بر آب‌گیری اسمزی قطعات سیب توسط Teijo و همکاران (۲۰۰۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از قطعات سیبی به قطر ۳۸ mm و ضخامت ۸ mm استفاده گردیده بود. در این تحقیق از پیش‌تیمارهایی از قبیل بلانچ کردن با آب جوش، انجماد و رفع انجماد، استفاده از فناوری فشار بالا (۴۰۰ مگاپاسکال برای ۲۰ دقیقه در دمای ۲۵ °C) نیز استفاده گردیده بود.

---

[4] cuvette

[5] low specific energy

[6] total specific energy consumption

[7] moisture content

[8] Solid content

[9] Fickian

[10] high intensity electric field pulses

www.SID.ir

آن‌ها نشان دادند، که در همه‌ی نمونه‌ها با افزایش زمان آب‌گیری اسمزی میزان از دست دادن آب افزایش یافت و زمانی که از تیمار میدان الکتریکی پالسی استفاده شد، میزان از دست رفتن آب نسبت به نمونه‌های شاهد بیشتر بود. میزان کاهش آب[11] بعد از تیمار میدان الکتریکی پالسی پالسی با زمانی که از پیش‌تیمارهای دیگر برای مثال از فشار بالا و بلانچ کردن استفاده شده بود، قابل مقایسه بود. علت افزایش میزان از دست دادن آب بعد از اعمال تیمار را می‌توان به به نفوذپذیری بیشتر غشاء در مقایسه با نمونه‌های شاهد نسبت داد. استفاده از میدان‌های الکتریکی با شدت بالا تاثیر کمی بر میزان جذب مواد جامد داشت به‌گونه‌ای که این میزان در نمونه‌های شاهد و آن‌هایی که تحت تیمار میدان الکتریکی پالسی قرار گرفتند کمتر از سایر نمونه‌ها بود [۱۳]. محقیقنی در سال ۲۰۰۲ بیان داشتند که استفاده از فرایند ترکیبی اسمز و میدان الکتریکی پالسی قابلیت جذب مجدد آب[12]را در نمونه‌های آب‌گیری شده سیب بهبود می‌بخشد. ولی نمونه‌های که فقط تحت تاثیر تیمار میدان الکتریکی پالسی بودند به علت چروکیدگی ناشی از این تیمار و از دست دادن سریع آب در هوای خشک قابلیت جذب مجدد آب کمتری داشتند [۱۲]. محققینی با تحقیقی که روی تاثیر میدان‌های الکتریکی بر خصوصیات فیزیکی سیب و سیب‌زمینی انجام داد بیان داشت که شدت میدان الکتریکی و همچنین تعداد پالسها تاثیر معنی داری بر ماکسیمم لودینگ ندارد به گونه‌ایی که با افزایش تعداد پالس‌ها در زمانی که از شدت میدانی با ۰/۷۵ کیلوولت بر سانتی‌متر استفاده گردید میزان ماکسیمم لودینگ کاهش و زمانی که از میدانی با شدت ۱/۵کیلوولت بر سانتی‌متر استفاده شد میزان ماکسیمم لودینگ افزایش یافت. شکل ۲ نشان می‌دهد که استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی منجر به کاهش میزان چروکیدگی سیب‌زمینی در طول خشک کردن با آون می‌شود هرچند با افزایش تعداد پالسها میزان چروکیدگی افزایش می‌یابد. با توجه به این که چروکیدگی در این قبیل محصولات یک فاکتور منفی محسوب می‌شود می‌توان با استفاده از این تکنولوژی میزان آنرا کاهش داد.

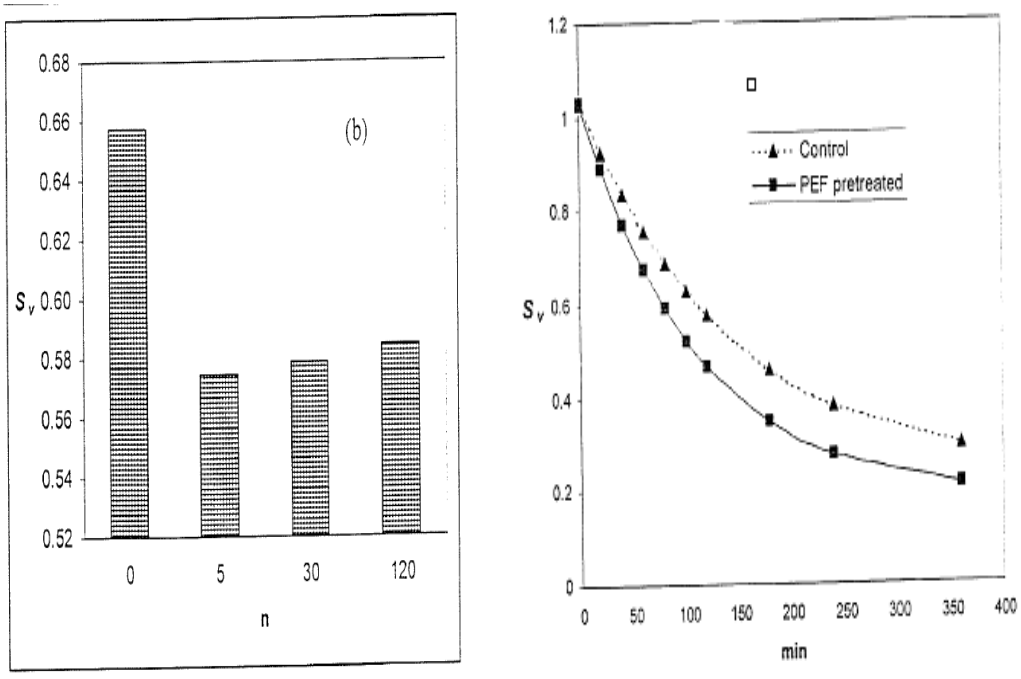
**جدول ۱-تاثیر شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس‌ها بر میزان ماکسیمم لودینگ بافت سیب‌زمینی در حین خشک‌کردن لایه نازک**

| نوع تیمار | ماکسیمم لودینگ (KN) | انحراف معیار |
|---|---|---|
| شاهد | ۱/۹۳۴ | ± ۰/۰۲۲ |
| ۱/۵kV/cm- n= ۵ | ۲/۰۷۰ | ± ۰/۰۹۵ |
| ۰/۷۵ kV/cm- n= ۵ | ۱/۹۵۱ | ± ۰/۱۵۶ |
| ۰/۷۵ kV/cm- n= ۶۰ | ۱/۸۶۶ | ± ۰/۱۶۴ |
| ۱/۵kV/cm- n= ۶۰ | ۲/۱۱۲ | ± ۰/۰۶۹ |

[11] Water loss
[12] Rehydration capacity

www.SID.ir

Archive of SID

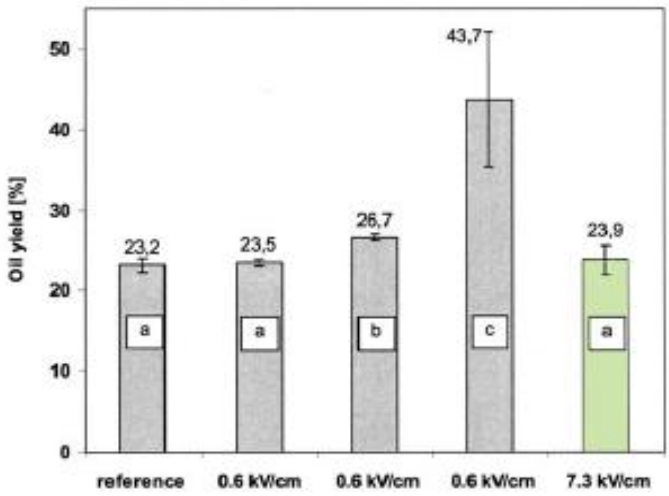



شکل ۲- تاثیر تیمار میدان الکتریکی پالسی بر میزان چروکیدگی بافت سیب‌زمینی

## ۲-۲- استخراج روغن

### ۲-۲-۱- تأثیر فرایند میدان الکتریکی پالسی بر راندمان استخراج روغن

نتایج مطالعات نشان داد که تغییرات شدت میدان الکتریکی بر راندمان روغن‌کشی تأثیر معنی‌دار داشت. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است با افزایش شدت میدان الکتریکی راندمان استخراج روغن به‌علت تجزیه‌شوندگی الکتریکی سلول‌ها و نفوذپذیری بیشتر آن‌ها افزایش یافت. اشکال به‌دست آمده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در رابطه با تأثیر میدان الکتریکی بر ساختار دانه‌ها نیز تأیید کننده این مطلب بود که استفاده از میدان الکتریکی پالسی به عنوان پیش‌تیمار فرایند استخراج منجر به ایجاد بیشتر روزنه‌ها و مجاری و در نتیجه خروج بهتر روغن از آن‌ها می‌گردد [۸].

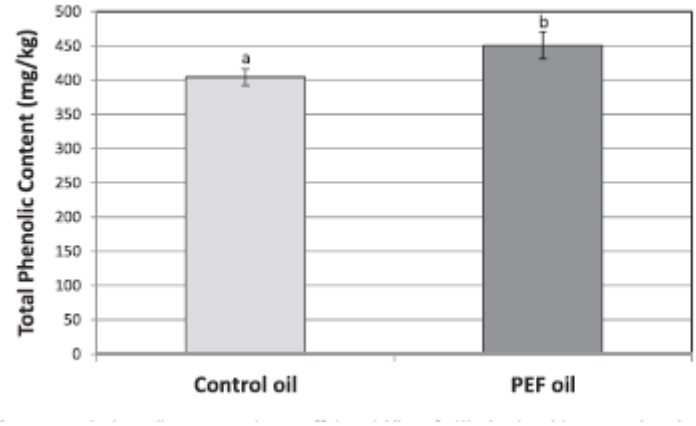



شکل ۳- تاثیر میدان الکتریکی بر راندمان استخراج روغن

### ۲-۲-۲- تأثیر فرایند میدان الکتریکی پالسی بر ترکیبات فنولی کل

www.SID.ir

عدم پذیرش افزودنی‌ها و نگهدارنده‌های شیمیایی از سوی مصرف‌کنندگان به دلیل سرطان‌زایی و سمیت احتمالی، منجر به پژوهش‌های گسترده در زمینه کشف ترکیبات فعال طبیعی با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی شده است. ترکیبات طبیعی قادر به افزایش عمر نگهداری مواد غذایی از طریق بازدارندگی رشد میکروارگانیسم‌های پاتوژن و فاسدکننده مواد غذایی و نیز حفاظت مواد غذایی از آسیب‌های ناشی از استرس اکسیداتیو می‌باشند. ترکیبات فنولی دسته بزرگی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی می‌باشند که توانایی آنتی‌اکسیدانی آن‌ها ناشی از حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختارشان است. توجه و کاربرد فنول‌های طبیعی در صنعت غذا رو به افزایش است. زیرا این ترکیبات تجزیه اکسیداتیو لیپیدها را به تأخیر انداخته و از این رو کیفیت و ارزش تغذیه‌ای مواد غذایی را بهبود می‌بخشند. همانطور که شکل ۴ نشان می‌دهد، با افزایش شدت میدان‌های الکتریکی منجر به افزایش این ترکیات شد. علت این افزایش را می‌توان آزادسازی بیشتر این ترکیبات بر اثر میدان الکتریکی نسبت داد [۸].




**شکل ۴- تاثیر میدان الکتریکی بر ترکیبات فنلی کل**

## ۳- نتیجه‌گیری

همانطور که بیان شد، تکنولوژی میدان الکتریکی پالسی دارای کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی به ویژه در خشک کردن مواد غذایی و استخراج روغن دارد که استفاده از این تکنولوژی منجر به کاهش زمان فرایند خشک کردن شده و از طرفی بافت محصول بهتر حفظ می شود و از طرفی استفاده از آن منجر به افزایش راندمان استخراج روغن و همچنین ترکیبات فنلی کل می شود.

## ۴- منابع

[1] Alkhafaji, S., and Farid, M. 2007. An investigation on pulsed electric fields technology using new treatment design. Innovative Food Science and Emerging Technologies 8 (2), 205-12.

[2]- Angersbach, A. and Knorr, D. 1997. Anwendung elektrischer Hochspannungsimpulse als Vorbehandlungsverfahren zur Beeinflussung der Trocknungscharakteristika und Rehydratation seigen schaften von Kartoffelwürfeln *Nahrung* 41 (4): 194-200.

[3]- Barbosa-Canovas, G. V., and Zhang, Q. H. 2001. In Pulsed Electric Fields in Food Processing. Washington, DC: Technomic.

[4] - Barbosa-Canovas, G. V., Gongora-Nieto, M. M., Pothakamury, U. R., and Swanson, B. G. 1999. In Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields, ed. Taylor, S. T. San Diego: Academic Press.

[5] - Barsotti,L., and Cheftel, 1. C. 1998. Traitementdes alimentspar champs electriques pulses. Sci. Aliment. 18: 584-601.

[6] - Dunn, J. 2001. Pulsed electric field processing: An overview, In: Pulsed Electric Fields in Food Processing, Fundamental Aspects and Applications (G. Barbosa-Cánovas and Q. H. Zhang, eds.), Technomic Press, Lancaster, PA, pp. 1-30.

[7] - Dunn, J. E., and Pearlman, J. S. 1987. Methods and apparatus for extending the shelf life of fluid food products. US Patent 4695472

[8] - Guderjan, M., Topfl, S., Angersbach, A. and Knorr, D. 2005. Impact of pulsed electric field treatment on the recovery and quality of plant oils. Journal of Food Engineering. 67 (3), 281–287.

[9] - Qin, B. L., Chang, F., Barbosa-Cfinovas, G.V., and Swanson, B. G. 1995. Nonthermal inactivation of Saccharomyces cerevisiae inapple juice using pulsed electric fields. Lebensm.-Wiss. Technol. 28, 564-568.

[10] -Quass, D. W. 1997. Pulsed electric field processing in the food industry. A status report on pulsed electric field. Palo Alto, CA. Electric Power Research Institute. CR- 109742. p.23-35.

www.SID.ir

Archive of SID

[11]- Rastogi, N. K., Eshtiaghi, M. N., and Knorr, D. 1999. Accelerated mass transfer during osmotic dehydration of high intensity electrical field pulse pretreated carrots *Journal of Food Science* 64: 1020-1023.

[12] - Taiwo, K. A., Angersbach, A., and Knorr, D. 2002. Influence of high intensity electric pulses and osmotic dehydration on the rehydration characteristics of apple slices at different temperatures. *Journal of Food Engi*73- *neering* 52: 185-192.

[13]- Teijo, W.; Taiwo, K. A., Eshtiaghi N., Knorr D. 2002. Comparison of pretreatment methods on water and solid diffusion kinetics of osmotically dehydrated mangos *J. Food Eng.* 53: 35-43.

[14] -Zhang, Q. H., Qui, X., and Sharma, S. K. 1997. Recent developments in pulsed electric processing. In New Technologies Yearbook, ed. Chandrana, D. I. Washington, DC: National Food Processors Association, 31‑42.

www.SID.ir