



خشک کردن برگ چغندر به روش الکتروهیدرودینامیک (EHD)

فاطمه رضایی^۱، علی اسحق بیگی^۲ و محسن بصیری^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی و کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی

^۲ استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

esehaghbeygi@cc.iut.ac.ir

چکیده

به علت افزایش و بهبود جابجایی حرارت بوسیله میدان الکتریکی یکنواخت، کاربرد آن در کاهش رطوبت مواد بیولوژیکی نیز مورد توجه قرار گرفته است. در این روش با مصرف هزینه و انرژی کمتر می‌توان محصولی با کیفیت بالا از نظر رنگ، میزان چروکیدگی، طعم و محتوای بهتر ماده مغذی نسبت به روش‌های انتقال گرما، فریزری و اسمزی تولید کرد. علم ترمودینامیک تایید می‌کند که کمترین دمای خشک کردن الکتروهیدرودینامیک (EHD) همراه با نرخ بالای تبخیر آن حاصل از یک میدان الکتریکی قوی با ولتاژ بالای Ac یا Dc که جریان را بین دو صفحه، یکی ساده که ماده غذایی روی آن قرار گرفته و دیگری سوزنی با یک یا چندین نقطه الکتروود ایجاد می‌شود. تعداد، اندازه و میزان تیزی سوزن‌ها، مقدار فاصله آنها از صفحه ساده، قدرت میدان الکتریکی و سرعت جریان هوا از فاکتورهای مهم و تاثیر گذار بر سرعت و کیفیت فرایند می‌باشند. با توجه به پتانسیل بالای سیستم EHD به لحاظ طراحی ساده تر، هزینه کمتر و مهمتر از همه مصرف انرژی کم آن می‌تواند جایگزین مناسبی نسبت به روش‌های خشک کردن مرسوم غذایی باشد. در تحقیق حاضر، نرخ خشک شدن برگ چغندر در شدت‌های مختلف میدان الکتروستاتیکی به میزان قابل توجهی بیشتر از نمونه شاهد هوا خشک بود. نرخ خشک شدن با افزایش ولتاژ، افزایش و با گذشت زمان بعد از ۴ ساعت کاهش یافت. حداکثر مقدار جریان کمتر از ۷۰ mA بود. حداکثر توان مصرفی با وجود ولتاژ بسیار بالا، کمتر از ۱۴ watt بود.

واژه‌های کلیدی: الکتروهیدرودینامیک، خشک کردن، برگ چغندر

مقدمه

خشک کردن مرسوم به روش انتقال گرمای توام با دمای بالا از سه طریق رسانایی، تابش و یا گرم کردن به طور مستقیم انجام شده یا به روش فریزری با منجمد کردن ماده غذایی در لوله‌های خالی از هوا صورت می‌گیرد. خشک کردن مرسوم اغلب تغییرات نامطلوبی را در ویژگی‌های ظاهری و ذاتی ماده ایجاد کرده و از طرفی انرژی زیادی مصرف می‌کنند. از آبگیری اسمزی نیز برای خارج کردن آب موجود در بافت گیاهی از یک محلول هیپرتونیک (شامل ساکاریدها، کلرید سدیم، ...) که فشار اسمزی آن نیروی رانشی برای انتقال جرم را تامین می‌کند، استفاده می‌شود که بسیار زمان بر است. از این رو استفاده از خشک کن با دمای پایین همراه با ایجاد تغییرات موثر در ویژگی‌های فیزیکی،

شیمیایی و بیولوژیکی ماده غذایی و ایجاد محصولی با کیفیت بالا در مدت زمان کوتاه یعنی روش الکتروهدرودینامیک مورد توجه است. تیمارهای الکتریکی به منظور جداسازی سلول‌ها، افزایش قدرت جوانه‌نی، افزایش عمر انبارداری میوه‌ها، کاهش رطوبت مواد غذایی و نگهداری آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Jemai and Vorobiev, 2002). با این حال مطالعاتی نیز روی تاثیر میدان تخلیه الکتریکی بر خشک شدن خاک، غذاها و محصولات کشاورزی انجام گرفته است. خشک کردن با استفاده از میدان الکتروستاتیکی ولتاژ بالا در مقایسه با دیگر روش‌های خشک کردن که بر اساس هدایت، رسانایی، تابش و سایر روش‌ها کار می‌کنند، کمتر شناخته شده است. Isobe و همکاران (۱۹۹۹) گزارش دادند که خشک کردن با میدان الکتریکی ولتاژ بالا یک روش بدون تولید گرماسی و نرخ خشک شدن ژل آگار با استفاده از این روش نسبت به شاهد سه برابر افزایش یافت. درگیری میدانهای جریان سیال، جریان گرما و جریانهای الکتریکی با ولتاژ بالا با هدف خنک کاری سطوح، تحت جابجایی اجباری مسئله ای است که سبب توام شدن پدیده‌های انتقال با پدیده‌های الکتریکی شده و اصطلاحاً تحت عنوان الکتروهدرودینامیک شناخته می‌شود.

در خشک کن هایی که با انتقال گرما کار می‌کنند مانند ماکروبو، در طول فرایند گرمای زیاد با مصرف بالای انرژی همراه بوده و به لحاظ اقتصادی مناسب نمی‌باشد و محصول خشک شده از نظر کیفی نیز نامطلوب بوده زیرا دمای بالا رنگ ماده غذایی را به شدت تغییر داده و موجب کاهش رنگدانه‌های کلروفیل و کارتن شده و در نتیجه کمبود مواد *anthocyanin* و *carotenoid, lycopen* را به دنبال دارد که این مواد خاصیت آنتی اکسیدان داشته و در کاهش خطر سرطان موثر می‌باشند (Yi, 2005). این در حالی است که ویتامین C آن نیز به طور کامل از بین می‌رود. در خشک کن های فریزری محصولات با کیفیتی بالاتر تولید می‌شوند، اما انرژی زیادی در جداره های خشک کن و در پمپ های خلا و... تلف می‌شود و از طرف دیگر انرژی بالایی برای سرد کردن محیط سیستم و واحد های اصلی آن باید صرف نمود. استفاده از سوخت های فسیلی آلوده کردن محیط زیست با انتشار گاز های گلخانه ای ضمن مصرف انرژی بالا بایستی مورد توجه قرار گیرد (Baker, 2005). انرژی الکتریکی یک منبع انرژی پاک بوده و نیز کمترین اثرات مضر را روی کیفیت ذاتی ماده غذایی داراست (Bajgai et al., 2005).

فواید منحصر به فرد تیمار با میدان الکتریکی در مورد خشک کردن مواد حساس به حرارت مانند دانه‌ها، به خصوص به دلیل فاسد شدن سریع دانه‌ها پس از برداشت و در زمان انبارداری، مشخص است. اما تحقیقات بسیار کمی بر روی خشک کردن دانه‌ها با استفاده از میدان‌های الکتریکی صورت گرفته است (Jemai and Vorobiev, 2002). Cao و همکاران (۲۰۰۴) اثرات میدان الکتریکی ایجاد شده بین یک صفحه و چند الکتروود نقطه‌ای را بر خشک شدن گندم مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان رطوبت نمونه‌های تیمار شده نسبت به شاهد با افزایش ولتاژ به سرعت کاهش می‌یابد. بصیری و اسحق بیگی (۱۳۸۶) اثر میدان الکتریکی بر جوانه‌زنی بذر کلزا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده در این آزمایش نشان داد که تیمارهای اعمال شده اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر روی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه داشته است. اما روی سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر اثر معنی‌داری مشاهده نگردید. بصیری و

همکاران (۱۳۸۶) تاثیر میدان الکتریکی بر جوانه‌زنی بذر ماش سبز مورد مطالعه قرار دادند. شدت بالای میدان الکتریکی ($120\text{S} + 10\text{ kV/cm}$) بهترین نتیجه را نشان داد و تمام تیمارها اثر معنی‌داری بر روی طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و سرعت جوانه‌زنی بذر ماش سبز نشان دادند اما اثر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی مشاهده نشد.

در روش الکتروهیدرودینامیک با اعمال یک میدان الکتریکی ولتاژ بالا بین سیم الکتروود سوزنی و الکتروود صفحه جریان هوای موجود در سطح ماده غذایی یونیزه شده و این یون‌ها توسط نیروی کولمب رانده شده و اندازه حرکتی به مولکول‌های خنثی اعمال می‌کنند و در نتیجه یک جریان حجمی از هوا به وجود می‌آورند. این پدیده را باد یونی یا باد کرونا می‌نامند. باد یونی حاصله بر سطح ماده غذایی در حال خشک شدن پرتاب شده و موجب می‌شود مولکول‌های آب تحت نیرو در فضا با سرعت زیاد پخش شوند و یک جریان گردابی و متلاطمی ایجاد می‌شود که حاصل آن کاهش گرمای نهان بخارسازی و در نتیجه کاهش دمای سطح ماده غذایی می‌باشد. برای ایجاد تعادل دمایی آب موجود در ماده غذایی تبخیر شده و در نتیجه فرایند خشک شدن صورت می‌گیرد.

روش آزمایش

برای ایجاد فرایند EHD نیاز به یک دستگاه ترانسفورماتور (ولتاژ بالا) که قادر به ایجاد ولتاژهای بالا در حد کیلو ولت و نیز بدنه سیستم که مجموعه‌ای از پایه، گیره و دو دیسک ساده و سوزنی می‌باشد. صفحه ساده فلزی روی زمین ثابت شده و به قطب منفی دستگاه متصل می‌شود و نقاط الکتروود که قابل حرکت هم می‌باشند به قطب مثبت دستگاه وصل می‌شود. البته فاصله نقاط الکتروود (سر سوزن‌ها) تا دیسک ساده را گپ الکتروود گویند که با جابه‌جا کردن نقاط الکتروود می‌توان این فاصله را تنظیم نمود. از طرفی آزمایش برای سنجش متغیرهایی مانند دما و رطوبت، به ترتیب نیاز به دماسنج و رطوبت سنج هم دارد. برای آنکه رطوبت سنج، رطوبت حقیقی ماده غذایی را سنجش کند، لازم است که سیستم آزمایش در محیطی ایزوله قرار گیرد و در صورت نبودن چنین شرایطی می‌توان در یک توالی زمانی فرایند را متوقف کرده و وزن ماده غذایی را توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک صدم اندازه‌گیری نمود. پس از انجام فرایند، برای تعیین کیفیت رنگ ماده غذایی خشک شده از دستگاه رنگ سنج استفاده می‌شود. اساس کار این دستگاه آنالیز گرافیکی عکس ماده خشک از طریق سه پارامتر a, b, l می‌باشد که به ترتیب بیانگر میزان قرمزی، زردی و شفافیت نمونه مورد آزمایش است. برای تعیین اسیدهای آلی و مواد قندی موجود در ماده غذایی خشک شده نیز از دستگاه HPLC استفاده شد.

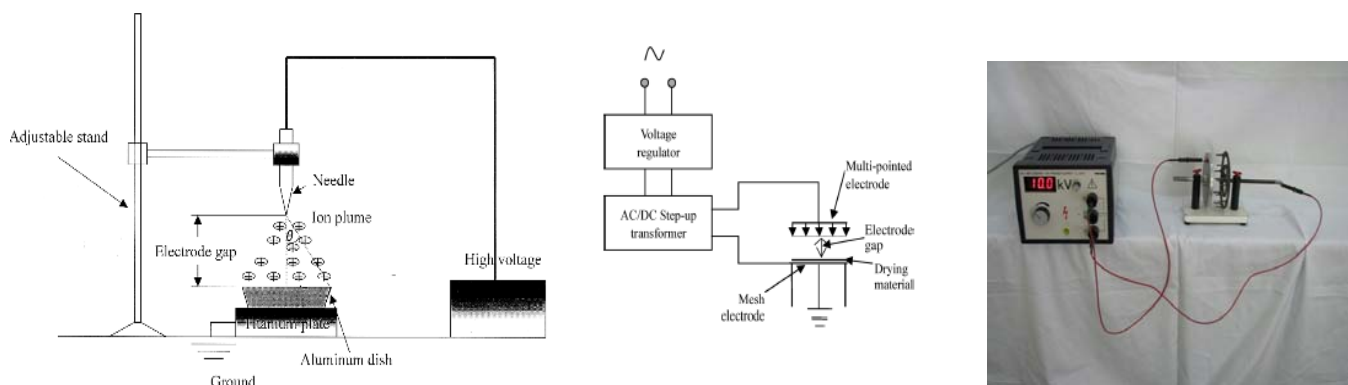


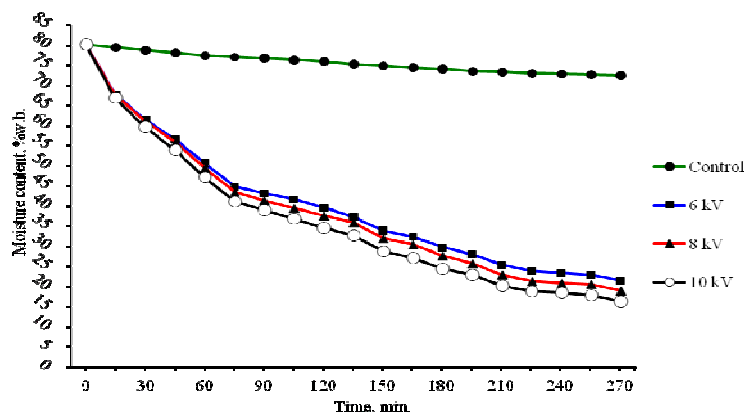
Figure 1. The electrohydrodynamic (EHD) system used in the experiments.

در تحقیق حاضر، فقط نرخ خشک شدن برگ چغندر در شدت‌های مختلف میدان الکتروستاتیکی اندازه گیری شد.

برای ایجاد میدان الکتروستاتیکی با تخلیه الکتریکی از یک منبع ولتاژ بالای DC (PHYVE- HV) با ماکزیمم ولتاژ اسمی ۱۰ کیلو ولت استفاده شد. بیشینه ولتاژ تولیدی این ترانسفورماتور ۱۱/۷ کیلو ولت، حداکثر جریان خروجی ۲/۵ میلی آمپر و ولتاژ ورودی آن ۲۲۰ ولت بود. میزان ولتاژ خروجی به صورت عددی روی صفحه نمایشگر دستگاه نشان داده می‌شد. خروجی منفی منبع ولتاژ بالا به یک حلقه فولادی به قطر ۱۲ سانتی‌متر متصل گردید. به منظور بهبود تخلیه الکتریکی، پیرامون این حلقه ۱۴ الکترودهای میله‌ای به قطر ۳ میلیمتر قرار گرفت. یک صفحه آلومینیومی مدور متصل به زمین به قطر ۱۲ سانتی‌متر نیز با فاصله ۲۰ میلی‌متر نسبت به نوک الکترودهای میله‌ای قرار داده شد و میدان الکتروستاتیکی بسیار قوی بین این صفحه و الکترودهای میله‌ای ایجاد شد. از یک ترازوی دیجیتال با ظرفیت ۲۰۰ و دقت ۰/۰۱ گرم به منظور اندازه گیری وزن نمونه‌ها استفاده شد. ۷۰ گرم برگ چغندر خرد شده بر روی یک صفحه آلومینیومی مدور به شکل یک لایه نازک به ضخامت ۱۰ mm به صورت یکسان پخش شد. یکی از آنها درون میدان الکتریکی و دیگری به منظور خشک شدن در هوا در شرایطی مشابه قرار داده شد. وزن هر دو نمونه در فواصل زمانی مساوی ۱۵ دقیقه به منظور تعیین نرخ خشک شدن، توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۴۵٪ و در ۳ سطح ولتاژ ۶، ۸ و ۱۰ کیلو ولت، به مدت ۲۴۰ دقیقه، انجام گرفت. فاصله بین الکترودها در تمام تیمارها ثابت و برابر با ۲۰ mm در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

مطابق نمودار زیر نمونه برگ چغندر قرار گرفته در هوای آزاد کمترین نرخ خشک شدن را داشت اما در نمونه قرار گرفته در ولتاژ ۱۰ کیلو ولت بیشترین نرخ خشک شدن مشاهده شد.



شکل ۱- تاثیر میدان الکتریکی بر کاهش رطوبت در ولتاژهای متفاوت

افزایش نرخ خشک شدن را می توان ناشی از بادهای الکتریکی ایجاد شده توسط میدان الکتریکی ولتاژ بالا دانست. تعداد زیادی از یون های هوا که توسط الکتروود تخلیه الکتریکی (الکترودهای نقطه ای) ایجاد شده اند، در اثر میدان الکتریکی شتابی بدست می آورند و در برخورد با مولکول های هوا مقداری از انرژی خود را صرف غلبه بر مقاومت اصطکاکی می کنند. مقدار انرژی جابجا شده از یون ها به مولکول های هوا باعث بوجود آمدن جریان هوا و در نتیجه تولید باد الکتریکی می شود. باد الکتریکی ایجاد شده به مواد مرطوب برخورد می کند، بنابراین جابجایی رطوبت را تسریع و در نتیجه نرخ خشک شدن را افزایش می دهد.

بطور کلی پارامترهای موثر بر سرعت و کیفیت فرایند خشک کردن الکتروود و هیدرودینامیکی مواد غذایی که از تحقیقات سایر محققین می تواند مورد بررسی قرار می گیرد، عبارتند از: ۱. قدرت میدان الکتریکی (نسبت ولتاژ اعمالی به گپ الکتروود) ۲. تعداد و سایز سوزن ها ۳. میزان تیزی سوزن ها ۴. گپ الکتروود ۵. سرعت جریان هوا

در آزمایشی که توسط Hashinga و همکاران (۱۹۹۹) بر روی برگه های سیب به ضخامت ۲-۳ cm و قطر متوسط ۸.۶cm از سه روش EHD و آون در دمای ۵۵°C و هوا خشک کنترل شده صورت گرفت (شکل ۲) نشان داد که مدت زمان فرایند در انتخاب قدرت میدان الکتریکی تاثیر ندارد و با تغییر ولتاژ اعمالی و گپ الکتروود تحت آزمایش بهترین قدرت میدان الکتریکی حاصل شد. در این آزمایش بهترین قدرت میدان الکتریکی در الکتروود سوزن ضخیم 4.4 kV.cm^{-1} و برای الکتروود سوزن نازک 4.7 kV.cm^{-1} بود. با مقایسه انحناهای نمودارهای شکل ۲ و شکل ۳ می توان تاثیر بیشتر نقاط الکتروود نازک نسبت به نقاط الکتروود ضخیم را در خشک کردن نتیجه گرفت.

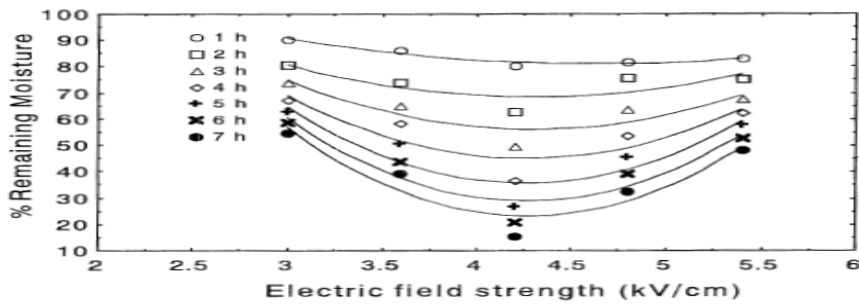


Figure 2 . Hourly remaining moisture percentages versus field strength for the thick copper point electrode. The points are experimental and the solid curves represent third degree polynomial regressions.

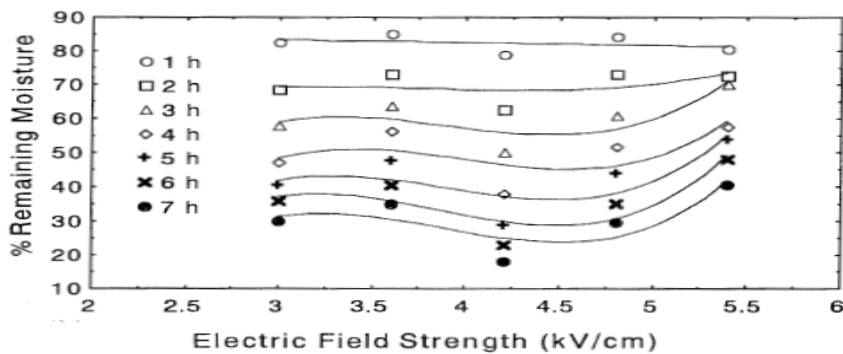


Figure 3 . Hourly remaining moisture percentages versus field strength for the thin sewing point electrode. The points are experimental and the solid curves represent third degree polynomial regressions

نمودار نسبت محتوای رطوبتی EHD به هوا خشک کنترل شده بر حسب گپ الکترود در شکل ۴ نشان داده شده است. تاثیر الکترود تیز نسبت به الکترود ضخیم در خشک کردن بیشتر می باشد .

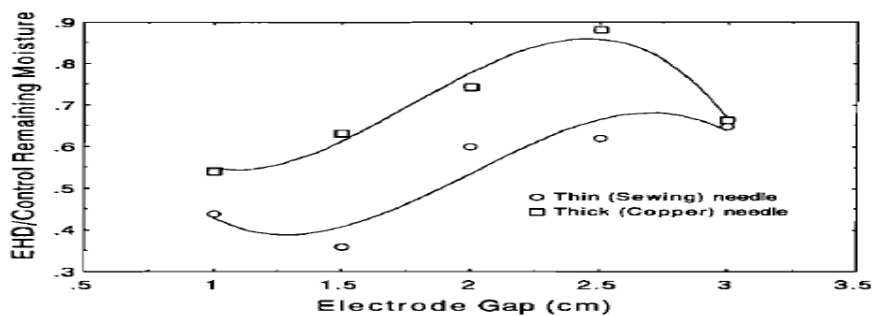


Figure 4. EHD drying as a function of electrode gap distance and the size of the point electrodes. The points are experimental and the solid curves are polynomial regressions.

از دیگر پارامترهایی که در آزمایش سیب درختی مورد بررسی قرار گرفت تاثیر تعداد سوزن مورد استفاده بود، که در شکل ۵ روند نسبت نرخ کاهش رطوبت EHD به هوا خشک کنترل شده بر حسب زمان نشان داده شده است. این نسبت برای دو و سه سوزنه در ابتدای آزمایش ۴.۵ برابر و برای تک سوزنه ۳ برابر بود.

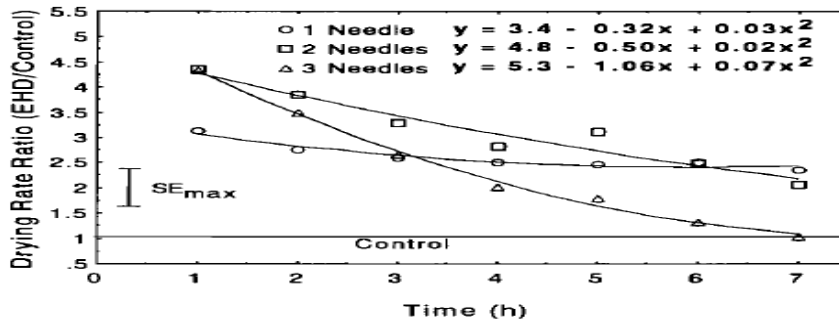


Figure 5 Drying kinetics of one and multiple point electrodes. The error bar shows the maximum standard error. The solid curves represent regressions.

در آزمایشی توسط Ahmadou و همکاران (۲۰۰۹) فرایند EHD بر روی نوعی گیاه قارچی به وزن ۳۰۰ g و حاوی ۹۸٪ آب صورت گرفت (شکل ۶). روند شدت جریان بر حسب ولتاژ برای سه وضعیت گپ الکترودی ۲، ۱ و ۳ سانتی متری و برای سه سرعت جریان هوای 0.5 m.s^{-1} ، 1.4 و 2.4 مشخص شده است. در واقع این ولتاژ، ولتاژ آغازین برای شروع فرایند یونیزه کردن می باشد و وقتی ولتاژ افزایش می یابد فرایند یونیزه کردن شدیدتر شده و موجب بیشتر شدن جریان الکتریسته می شود. این شکل به وضوح نشان می دهد که سرعت جریان هوا بر مقدار ولتاژ تاثیر نمی گذارد. در موقعیتی که ولتاژ برابر 20 kV و جریان برابر $186 \mu\text{A}$ است توان مصرف شده 3.7 watt می باشد که دلالت بر پایین بودن مصرف انرژی در این روش دارد.

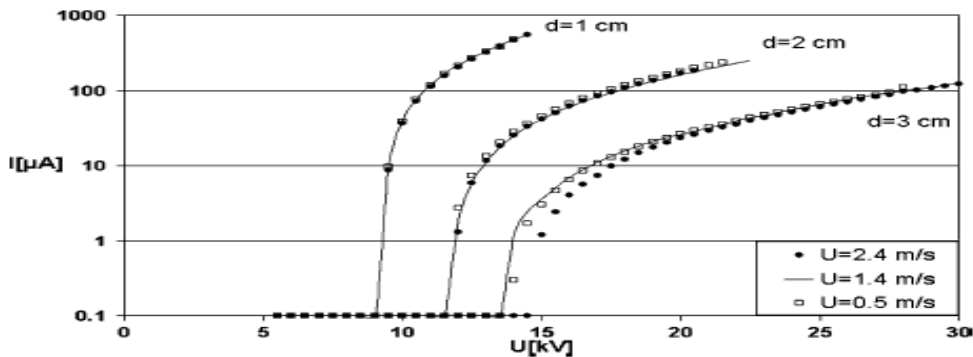


Figure 6. Current/voltage characteristics according to the air velocity U and the food surface-electrode gap d

با وجود اینکه سرعت جریان هوا بر مقدار ولتاژ تاثیرگذار نمی باشد اما بر مقدار کاهش وزن و در حقیقت بر نرخ خشک شدن تاثیر دارد (شکل ۷)، به طوری که وقتی سرعت جریان هوا و گپ الکتروود مقادیر کمینه ($U=0.5 \text{ m.s}^{-1}$ و $d=2 \text{ cm}$) خود را در آزمایش دارند به بیشینه مقدار کاهش وزن یعنی 13.5 g می توان دست یافت.

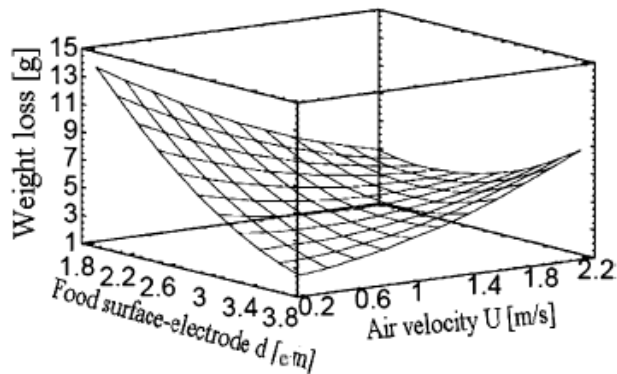


Figure. 7 Response surface for weight loss according to the air gap and air velocity

در شکل های ۷ و ۸ تمامی پارامترها برابرند و در یک گپ الکترودی 2 cm (شکل ۷) دارای سرعت 0.5 m.s^{-1} و (شکل ۸) دارای سرعت 2 m.s^{-1} می باشد. گردابی و متلاطم بودن جریان در شکل اول بیان می کند که اگر به طور همزمان گپ الکترود و سرعت کم باشد، بیشینه کاهش وزن را داریم. گردابی تر بودن جریان بر کاهش دمای سطح و در نتیجه سرعت فرایند و نرخ کاهش رطوبت می افزاید.

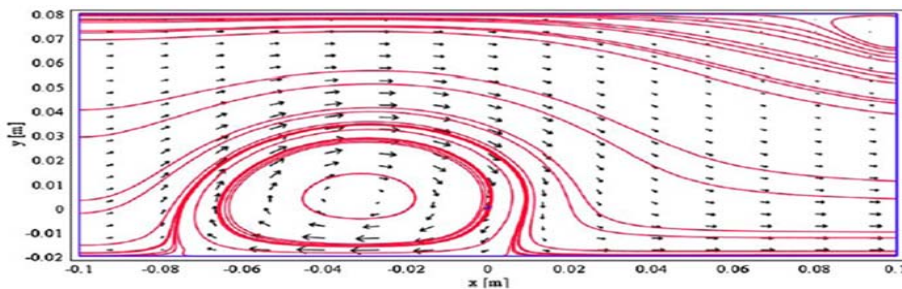


Figure. 8 Velocity field for $d=2 \text{ cm}$, $U_{\text{inlet}}=0.5 \text{ m s}^{-1}$, $V_{\text{wire}}=20 \text{ kV}$, $\rho_{\text{wire}}=476.61 \mu\text{C m}^{-3}$

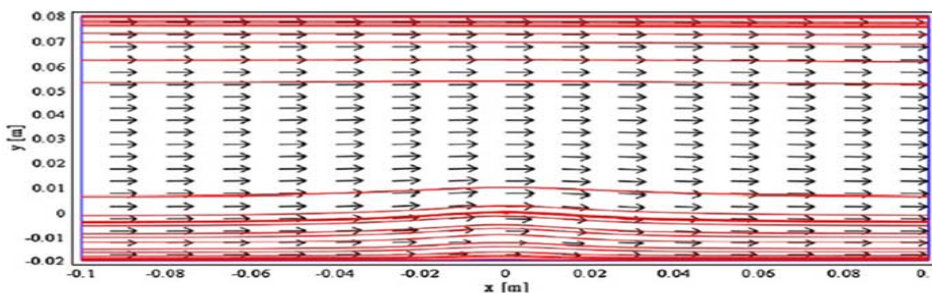


Figure 9 Velocity field for $d=2 \text{ cm}$, $U_{\text{inlet}}=2 \text{ m s}^{-1}$, $V_{\text{wire}}=20 \text{ kV}$, $\rho_{\text{wire}}=476.61 \mu\text{C m}^{-3}$

در آزمایش دیگری که توسط Xue و همکاران (۱۹۹۴) بر روی تریچه به سه روش EHD، آون با دمای 60°C و هوا خشک کنترل شده صورت گرفت نشان داد که نرخ خشک شدن در روش هوا خشک خیلی کمتر از دو روش دیگر است.

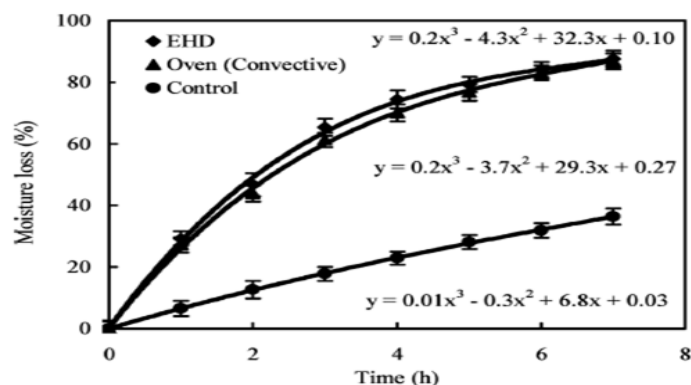


Figure 10 - EHD, oven (convective), and ambient drying pattern of radish slices.

در مقایسه بین دو روش EHD و آون درصد کاهش رطوبت در هر دو روش یکسان است اما مصرف انرژی در روش EHD کمتر و مقایسه کیفی محصول خشک شده در شکل ۱۱ نشان داده شده است. مطابق شکل ۱۱، میزان کاهش سطح رویه در روش آون بیشتر از روش EHD می باشد، به طوری که در آون و EHD بترتیب برابر ۸۰٪ و ۵۵٪ بود، که بیانگر بهتر بودن روش EHD نسبت به آون از نظر کیفی می باشد.

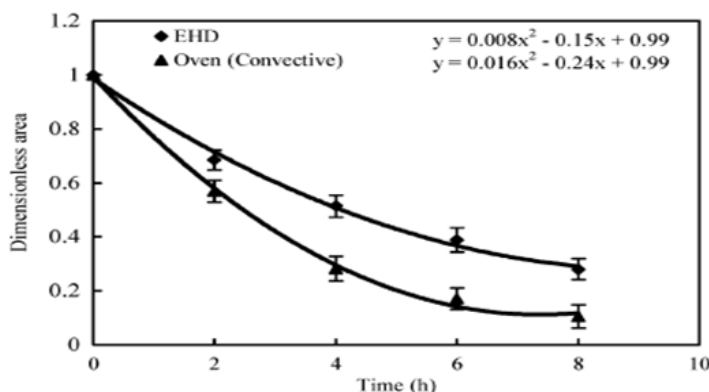


Figure 11 - Shrinkage pattern for EHD- and oven (convective)-dried radish slices.

در آزمایش سنجش رنگی Hashinga و همکاران (۱۹۹۹) بر روی برگه های سیب، با مقایسه نتایج آن برای EHD¹ و EHD² که تمامی شرایط یکسان و تنها تفاوت این است که EHD¹ از سوزن ضخیم و EHD² از سوزن نازک استفاده کرده است، می توان نتیجه گرفت که با استفاده از سوزن ضخیم می توان محصولی با کیفیت بالاتر تولید نمود. لازم به ذکر است که سوزن نازک بر سرعت فرایند موثرتر می باشد. در مقایسه EHD و آون می توان نتیجه گرفت که حتی میزان شفافیت در روش EHD افزایش یافته در حالی که از میزان شفافیت در روش آون تقریباً ۱۳ واحد کاسته شده است. آنچه برتری روش EHD را به روش آون بهتر بیان می کند تغییر پارامتر رنگ a از ۳.۴ به ۱۲.۸

در روش آون می باشد، که موجب تغییر رنگ برگه سیب قهوه‌ای سوخته شده و بسیار از بازار پسندی آن می‌کاهد. در مقایسه دو روش EHD و هوا خشک کنترل شده به لحاظ رنگ تفاوت چندانی مشاهده نشد.

Table 1. The Hunter Color Parameters of Drying Apple Slices

Hunter values	Drying method	Drying time (h) ± SE		
		0	3	7
L	EHD ¹	67.9 ± 1.0	66.4 ± 0.8	69.2 ± 0.9
	EHD ²	67.9 ± 1.0	64.2 ± 1.9	66.8 ± 1.4
	Oven (55°C)	67.9 ± 1.0	64.9 ± 1.3	53.8 ± 3.2
	Ambient air	67.9 ± 1.0	60.3 ± 1.1	61.7 ± 0.7
a	EHD ¹	3.4 ± 0.4	4.5 ± 0.4	5.0 ± 0.3
	EHD ²	3.4 ± 0.4	4.9 ± 0.6	7.0 ± 1.0
	Oven (55°C)	3.4 ± 0.4	5.5 ± 1.2	12.8 ± 2.0
	Ambient air	3.4 ± 0.4	5.3 ± 0.8	5.3 ± 0.4
b	EHD ¹	16.8 ± 0.7	15.4 ± 0.8	17.6 ± 0.7
	EHD ²	16.8 ± 0.7	14.4 ± 0.8	18.4 ± 0.7
	Oven (55°C)	16.8 ± 0.7	17.5 ± 0.9	17.8 ± 1.1
	Ambient air	16.8 ± 0.7	15.3 ± 0.6	15.5 ± 1.1

¹Thick copper needle; ²thin sewing needle

در آزمایش Bajgai و همکاران (۲۰۰۶) بر روی اسفناج به دو روش EHD و آون (جدول ۲) نزدیکی مقادیر اسیدهای آلی و مواد قندی پس از هر دو آزمایش تعیین گردید.

Table 2 - HPLC profile for organic acids and sugar for EHD and oven (convective)-dried spinach samples

Organic compounds	Retention time (min)		Peak area (relative)	
	EHD dried	Oven (convective) dried	EHD dried	Oven (convective) dried
Organic acids^a				
Citric	13.664	13.624	5472	1479
L:Malic	15.798	15.802	12,322	19,607
Succinic	18.676	18.638	3438	11,449
Fumaric	21.128	21.024	29,672	79,662
Propionic	25.275	25.244	17,671	29,913
Sugars^b				
Fructose	6.924	6.806	1,791,548	1,506,103

^a Shimadzu LC-10AS chromatograph equipped with a Shodex SC-125S column, size, 4.6 mm × 500 mm; mobile phase, 0.1% H₃PO₄, flow rate, 0.3 ml/min; column temperature, 55°C; detector, Shimadzu SPD-6A at 210 nm; recorder, Shimadzu Chromatopack C-R4A.

^b Shimadzu SCL-10 chromatograph equipped with a Shim-pack CLC-NH₂(M) column; size, 6.0 mm × 150 mm; mobile phase, 70% CH₃CN; flow rate, 0.3 ml/min; column temperature, 40°C, detector, Shimadzu SPD-6A at 192 nm; recorder, Shimadzu Chromatopack C-R8.*

در آزمایشی Coa و همکاران (۲۰۰۴) نیز برای خشک کردن ۱۰۰ g برنج توسط فرایند EHD و هوا خشک کنترل شده، تاثیر دو روش مزبور بر دو فاکتور نرخ خوردگی و جوانه زنی مورد بررسی قرار گرفت. نرخ ترک خوردگی همان طور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، تعداد ترک های درشت بعد از ۷۲ ساعت از اتمام آزمایش برای هر دو روش تقریباً یکسان بود اما تعداد ترک های ریز در روش EHD بیشتر از روش دیگر بود. با توجه به اینکه تعداد ترک های درشت در میزان کیفیت برنج تاثیر دارند، روش EHD تاثیری بر کاهش ظاهری کیفیت برنج نداشت. البته در هر دو روش با افزایش دما تعداد ترک ها افزایش یافت. تاثیر EHD بر روی نرخ جوانه زنی نیز همانند نتایجی که

Wheaton و همکاران (۱۹۷۱) و Murr (۱۹۶۶) در آزمایشات قبلی بر روی غلات بدست آورده بودند، یعنی بی تأثیری میدان بر کاهش نرخ جوانه زنی، حاصل شد.

Table 3 · Effect of high-voltage electric field treatment on the rough rice fissuring

Temperature, °C	Voltage, kV	Discharge gap, mm	Fissured kernels			
			Treated, %		Control, %	
			Heavy	Light	Heavy	Light
25	30	45	0	8	0	8
40	10	45	2	11	2	10
40	20	45	3	12	3	11
40	30	45	6	16	4	12
40	30	35	5	21	4	11
40	30	55	2	18	2	13
50	30	45	18	38	15	23

با بررسی نتایج فوق می توان برتری روش EHD را از نظر مصرف انرژی، کیفیت محصول نهایی، هزینه و زمان خشک کردن نسبت به سایر روش ها را مشاهده نمود. اگر چه تحقیقات بیشتری راجع به تأثیرات بدنه سامانه، به خصوص تعداد سوزن ها، وضعیت قرار گیری و منظم و غیر منظم بودن آن ها و نیز میزان اتلاف انرژی و ارزش تغذیه ای و... باید توسط محققین صورت گیرد. نرخ خشک شدن با میزان ولتاژ به کار رفته متناسب است و با افزایش ولتاژ نرخ خشک شدن نیز افزایش می یابد. آنچه در صنعت اهمیت دارد استفاده از انرژی متمرکز برای کاهش مصرف انرژی می باشد. در صنایع غذایی، روش هوا خشک یکی از فرایندهای زمان بر و انرژی بر می باشد. یکی از روش ها برای کاهش این انرژی روش الکترو هیدرودینامیک است که با کمترین حرارت و با پتانسیل بسیار بالا می تواند محصولی با کیفیت بهتر همراه با بهره انرژی بالا و سازگاری با محیط ارایه نماید.

منابع

- بصیری، م. و ع، اسحق بیگی. ۱۳۸۶. تأثیر میدان الکتریکی بر جوانه زنی بذر کلزا. مجموعه مقالات اولین سمپوزیم کلزا و روغن کانولا. دانشگاه آزاد اسلامی شهرکرد. ص: ۱۴۰-۱۴۳.
- بصیری، م.، و، باوی، ک، یوسفزاده و ع، اسحق بیگی. ۱۳۸۶. تأثیر میدان الکتریکی بر جوانه زنی بذر ماش سبز. چکیده مقالات دومین همایش ملی حبوبات ایران. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. تهران ص: ۱۳.
- Ahmedou, S.O., Rouaud, O. and Havet, M. 2009. Assessment of the electrohydrodynamic drying. Food Bioprocess Technol., 2, 240-247.
- Bajgai, T.R. and Hashinaga, F. 2001. Drying of spinach with a high electric field. Drying Technology 19(9): 2331-2341.
- Bajgai, T.R. Raghavan, V., Hashinaga, F. and Ngadi, M. 2006. Electrohydrodynamic drying a concise overview. Drying Technology 24(7): 905-910.
- Baker, C.G.J. 2005. Energy efficient dryer operation—An update on developments. Drying Technology 23(9-11): 2071-2087.
- Cao, W. Nishiyama, Y., Koide, S. and Lu, Z.H. 2004. Drying enhancement of rough rice by an electric field. Biosystems Engineering 87(4): 445-451.

Basiry, M. and Esehaghbeygi, A. 2010. Electrohydrodynamic (EHD) drying of rapeseed (*Brassica napus* L.). *J Electrostatic* 68(4):360-363.

Hashinaga, F., Bajgai, T.R., Isobe, S. and Barthakur, N.N. 1999. Electrohydrodynamic (EHD) drying of apple slices. *Drying Technology* 17(3): 479-495.

Isobe, S. Barthakur, N. Yoshino, T. Okushima, L. and Sase, S. 1999. Electrohydrodynamic drying characteristics of Agar gel. *Food Sci. Technol. Res.*, 5(2): 132-136.

Jemai A B., Vorobiev E. 2002. Effect of moderate electric field Pluses on the diffusion coefficient of soluble substances from apple slices. *International Journal of Food Science and Technology* 37, 73-86.

Murr, L.E. 1966. Plant physiology in simulated geo-electric and geo-magnetic fields. *Advancing Frontions of Plant Science* 15, 97-120.

Wheaton, F.W., Lovely, W.G. and Bockhop, C.W. 1971. Effects of static and 60-hertz electric fields on germination rate of corn and soybeans. *Transactions of the ASAE* 14, 339-342.

Xue, G.R., Uchino, T. and Mastsuo, M. 1994. Drying promotion of radish using corona discharge. *Nougyou Kishou Gakkai Si.*, 56(5): 35-42.

Yi,W., Joan, F. Gerad, K. and Casimir, C.A. 2005. Phenolic compounds from blueberries can inhibit colon cancer cell proliferation and induce apoptosis. *Journal of Agricultural and Chemistry* 53 (18): 7320-7329.

Electrohydrodynamic (EHD) Drying of Sugarbeet Leaf

Abstract

The electric field increases heat transfer. This is caused its application for decrease of biological material moisture content. This method by less cost and energy consumption can improve color, shrinkage degree, flavor and nutrients of food than those of heat transfer, freeze and osmotic drying. The thermodynamic considerations regarding the lowering of temperature under EHD drying include rapid rates of evaporation of the DC high voltage power that produced current between multiple pointed electrodes installed above a plate electrode upon which the food material was placed. The number and the size of needles, electrode gaps, electric field strength and the air velocity can increase drying rate and quality of foods. Simple design and low cost energy are caused EHD can tabernacle with common methods of food drying. The present study revealed that rate drying increased with enhance voltage and then after four hours decreased. Maximum current and power consumption in presence high voltage were 70 mA and about 14 W, respectively.