کوتاه‌ترین زمان خشک کردن پوست سیب‌زمینی با پیش‌تیمار میدان الکتریکی پالسی

محمد علی فلاحی[۱]، محمد هادی خوش‌تقاضا*[۲]، سعید مینائی[۳]، حسن احمدی گاولیقی[۴]، مهدی نوجوان[۵]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشدگروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس (f_mohammadali@modares.ac.ir)
۲. استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس (khoshtag@modares.ac.ir)
۳. استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس (minaee@modares.ac.ir)
۴. دانشیار گروه صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس (ahmadi_ha@modares.ac.ir)
۵- دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس (mehdi.nojavan@modares.ac.ir)

چکیده

سیب‌زمینی از پر مصرف‌ترین محصولات کشاورزی در جهان می‌باشد و حجم گسترده‌ای از ضایعات آن مربوط به پوست آن است، که منبعی سرشار از مواد موثره می‌باشد. در بسیاری از موارد برای استخراج آنتی‌اکسیدان و ترکیبات فنولی پوست، نیاز به خشک کردن و تولید پودر است. با توجه به حساسیت دمایی در مواد موثره، نیاز است که پوست سیب‌زمینی در دماهای پایین‌تر خشک شود. لذا، در این تحقیق به کمک پیش‌تیمار میدان الکتریکی پالسی، با بهره‌گیری از شدت میدان الکتریکی (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ کیلو ولت بر سانتی‌متر)، فرکانس (۵۰۰، ۱۰۰۰و ۱۵۰۰ هرتز) و تعداد پالس (۳۰۰، ۶۵۰ و ۱۰۰۰) متناسب، با دماهای (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس) حالت بهینه کمترین زمان خشک شدن با روش سطح پاسخ(RSM) پیدا شد. نتایج نشان داد که شدت میدان الکتریکی و دما بر مدت زمان خشک کردن پوست سیب‌زمینی تاثیر معنادار دارد ($P<0.05$). آنچنان که از نتایج برمی‌آید، شدت میدان الکتریکی ۰/۵۲ کیلوولت بر سانتی‌متر و دمای ۵۹ درجه سلسیوس حالتی بهینه را برای کوتاه‌ترین مدت زمان خشک کردن (۷۰ دقیقه) پوست سیب‌زمینی دارند، همچنین براساس نتایج، در همان حالت بهینه شدت میدان الکتریکی، مدت زمان خشک کردن برای دماهای نزدیک به ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۵۰ و ۲۰ دقیقه کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی:
روش سطح پاسخ، دما، فرکانس، میدان الکتریکی

***مسئول مقاله**

مقدمه:

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) **به عنوان یکی از پرکاربردترین محصولات کشاورزی در سرتاسر جهان می‌باشد، طبق اعلام سازمان غذا وکشاورزی سازمان ملل متحد**(FAO) **در سال ۲۰۱۹ میلادی بیش از سه میلیون و چهارصدهزار تن سیب‌زمینی در ایران تولید شده. پوست سیب‌زمینی منبعی سرشار از فیبر[1]های غذایی، آنتی اکسیدان[2]ها و ترکیبات فنولی[3]، گلیکوالکالوییدها[4] و ... می‌باشد که کاربردهای زیادی در صنایع غذایی و دارویی دارند و به عنوان افزودنی‌های طبیعی به کار برده می‌شوند، برخی از مواد موثره موجود در پوست سیب‌زمینی نظیر آنتی اکسیدان‌ها و ترکیبات فنولی برای انجام فرایندهای استخراجی نیاز به خشک و پودرشدن دارند**[4]–[1]. **یکی ازسخت‌ترین مسایلی که در صنعت خشک کردن وجود دارد مدت زمان خشک کردن می‌باشد و بحث مدت زمان باعث بروز مشکلاتی از قبیل افزایش هزینه انرژی برای تولید گرما و کوتاه کردن زمان خشک کردن به شرط آن که به کیفیت محصول خدشه وارد نگردد می‌باشد** [5]. **میدان الکتریکی پالسی[5] از فناوری‌های غیر حرارتی می‌باشد که برای کاهش مدت زمان خشک کردن و بالا رفتن کیفیت محصولات می‌توان به آن امید زیادی داشت و از طرفی دیگر به کار گرفته شدن این فناوری باعث انتقال جرم داخل سلولی به بیرون از آن می‌شود که علاوه بر کاهش زمان خشک شدن، موجب افزایش استخراج در فرایندهای استخراجی نیز می‌گردد و به واسطه آن حلال راحت‌تر با محصول ترکیب می شود و در سطوح صنعتی کمک زیادی به کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت و تولید می‌کند** [7]–[5].

خشک کردن به کمک پیش تیمار میدان الکتریکی پالسی دارای مزیت‌هایی می‌باشد و با توجه به غیرحرارتی بودن آن موجب می‌شود که انتشار میدان الکتریکی و پالس‌های الکتریکی در بافت سلولی باعث سست شدن و پارگی دیواره سلولی می‌گردد که به این پدیده الکتروپوراسیون[6] می‌گویند و این روش در مواد غذایی حساس به دما ، می‌توان با پایین نگه‌داشتن دما برای خشک کردن در مدت زمانی کمتر و محصول را تا حد مورد نظر خشک نمود. در تحقیق صورت گرفته برای خشک کردن حلقه‌های سیب‌زمینی که از جریان هوای همرفتی در بازه دمایی ۳۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس برای خشک کردن استفاده شد، در کنار آن میدان الکتریکی پالسی نیز استفاده گردید، مشاهده شد که در دمای بالا برای خشک کردن تاثیر چندانی ندارد اما در دماهای پایین تاثیر آن زیاد می‌باشد و باعث انتشار بهترگرما در سطح آن می‌شود و به طور تقریبی می‌توان دمای خشک کردن را تا ۲۰ درجه سلیسوس در سیب‌زمینی کاهش داد و نتیجه مشابه گرفت. اما این موضوع در شدت میدان الکتریکی ۳۰۰تا ٤۰۰ ولت بر سانتی‌متر در سیب‌زمینی صادق می‌باشد [8].

برای خشک کردن حلقه‌های سیب زمینی و سرخ کردن آن به ترتیب از جریان هوای همرفتی با دمای ۵۰ درجه سیلیسیوس وتنور با دمای ۱۳۰ درجه سلیسیوس استفاده گردید. با به کارگیری میدان الکتریکی پالسی در شدت میدان الکتریکی ٦۰۰ ولت بر سانتی‌متر، تعداد پالس ۱۰۰ و دوره پالس ۱۰۰ میکروثانیه مدت زمان خشک کردن بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ ثانیه کاهش یافت و علاوه بر این که مدت زمان سرخ کردن کاهشی تا ٦۰۰ ثانیه داشت میزان جذب روغن نیز کاهش یافت [9]. **هدف از این تحقیق دستیابی به حالت بهینه‌ای از شدت میدان الکتریکی، فرکانس و تعداد پالس اعمالی است، که بتوان پوست سیب‌زمینی را در کمترین زمان در بازه دمایی ٤۰ تا ٦۰ درجه سلسیوس خشک کرد.**

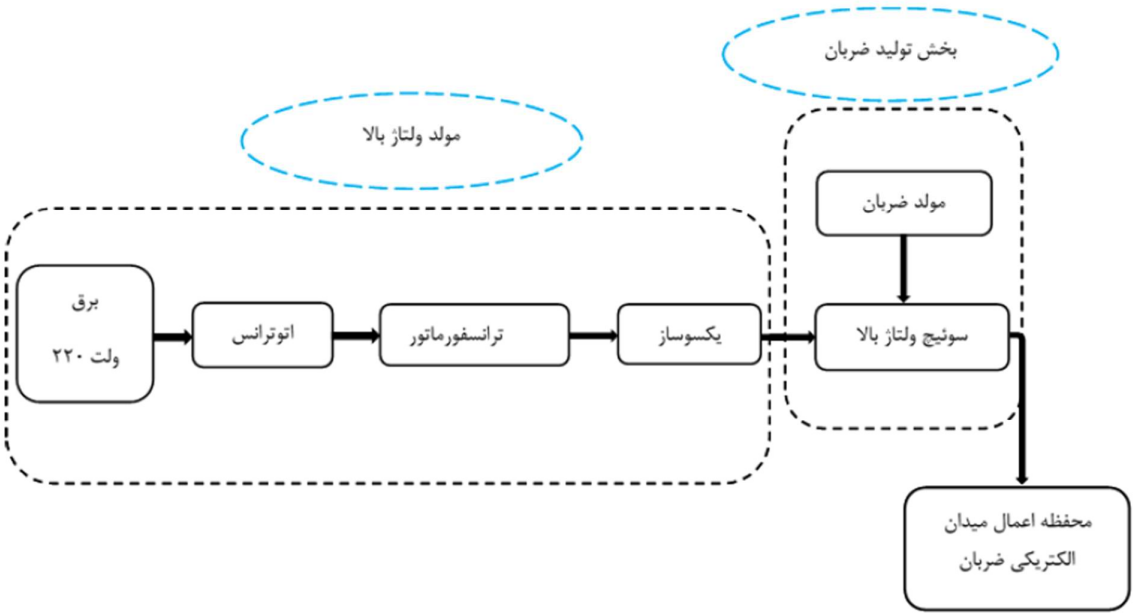
مواد و روش‌ها:

[1]-fiber
[2] -antioxidant
[3] Phenolic compounds
[4]- glycoalkaloid
[5] - pulse electric field
[6] - electroporation

برای انجام این پژوهش سیب‌زمینی تازه کشت شده در بندرعباس خریداری شد و نمونه‌ها برای پاکسازی گرد و غبار روی سطح آن، ابتدا شست‌وشو و پس از خشک شدن، پوست آن توسط پوست‌کن مکانیکی جدا گردید. پوست‌ها به طول یک سانتی‌متر، وارد دستگاه میدان الکتریکی پالسی جهت اعمال پالس . میدان الکتریکی منتقل گردید. پس از اعمال پالس در دستگاه، برای خشک شدن به خشک کن منتقل شد.

میدان الکتریکی پالسی:

در این پژوهش از سامانه میدان الکتریکی پالسی به عنوان پیش‌تیمار برای خشک کردن پوست سیب‌زمینی استفاده شد. دستگاه به کار برده شده در این پژوهش از سه بخش اصلی مولد تولید ولتاژ بالا، بخش تولید پالس و محفظه اعمال میدان الکتریکی که محل قرارگیری نمونه‌ها می‌باشد تشکیل شده است. این سامانه در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس طراحی و ساخته شده است و نمودار روند نمای آن در شکل شماره یک آمده است [10].



شکل شماره ۱- نمودار روند نمای سامانه میدان الکتریکی پالسی (10)

با بررسی پژوهشی که برای استخراج از پوست سیب‌زمینی انجام گرفته بود، در این پژوهش از ولتاژهای ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ ولت که توسط مولد ولتاژ بالا تولید شد استفاده گردید و همچنین تعداد پالس‌های ۳۰۰، ۶۵۰ و ۱۰۰۰ فرکانس‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰و ۱۵۰۰ هرتز مورد استفاده قرار گرفت[11]، تا بتوان بهترین نتیجه را مورد ارزیابی قرار داد. شدت میدان الکتریکی با توجه به فاصله الکترودها از یکدیگر که یک سانتی‌متر بود با توجه به فرمول (۱)به ترتیب ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ کیلوولت بر سانتی‌متر تعیین شد. در این فرمول E شدت میدان الکتریکی، V ولتاژ و d فاصله بین دو الکترود می‌باشد.

$$E = \frac{V}{d} \qquad (1)$$

خشک‌کن:

خشک‌کن به کار رفته در این پژوهش از نوع خشک‌کن‌های جریان هوای همرفتی بود که پوست سیب‌زمینی به صورت لایه نازک در مسیر جریان هوای گرم قرار گرفت. به دلیل حساسیت مواد موثره به دما، برای خشک کردن به ترتیب ۴۰، ۵۰و ۶۰ درجه سلیسیوس انتخاب گردید تا به ساختار و میزان مواد موثر آسیب کمتری وارد گردد و سرعت جریان عبوری در این آزمایش یک متر بر ثانیه در نظر گرفته شد که امکان غوطه‌وری و جابه جایی در جریان هوای

گرم با توجه به سبکی نمونه‌ها کاهش یابد. عمل خشک کردن تا زمانی ادامه پیدا کرد که میزان رطوبت محصول بر پایه تر(رابطه ۲) در محدوده ۳-۵ درصد قرار گرفت تا آسیاب پذیری محصول به حدی مطلوب باشد که نمونه قابلیت عبور از الک استاندارد ۱۵۰میکرومتر (شماره۱۰۰) را داشته باشد.

برای اندازه گیری میزان رطوبت موجود در پوست سیب‌زمینی نمونه‌ها به مدت ۲٤ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلیسیوس قرار گرفت که میزان ماده خشک خالص در محدوده ۱٤-۱٦ درصد از محصول را تشکیل می‌داد [12]. برای محاسبه درصد رطوبت بر پایه تر MC از رابطه (۲) استفاده گردید.

$$MC = \frac{m-md}{m} * 100 \qquad (۲)$$

در این رابطه، m جرم محصول قبل از خشک شدن می‌باشد (g) و md وزن خشک محصول (g) می‌باشد.

نتایج و بحث:

در این پژوهش برای تحلیل آماری از نرم افزار Design Expert و روش Bax-Behnken Design استفاده شد و متغیرها شدت میدان الکتریکی(A)، تعداد پالس اعمالی (B) ، فرکانس اعمالی (C) و دما(D) بود که همگی آن‌ها در سه سطح بررسی شد تا بتوان شرایط بهینه برای خشک کردن پوست سیب‌زمینی را مشخص نمود. نتایج آماری به شرح جدول یک می‌باشد.

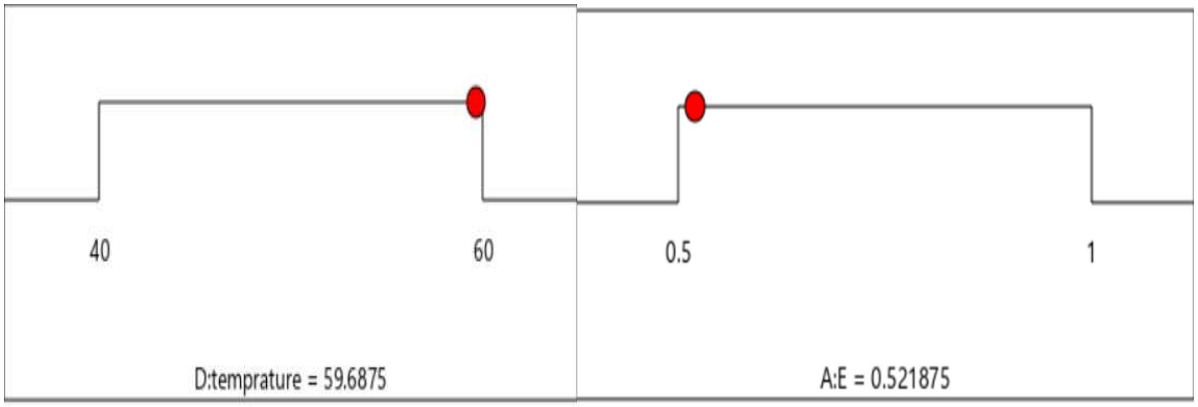
جدول۱- جدول تجزیه واریانس و مدل‌سازی اثر متغیرهای میدان الکتریکی پالسی بر زمان خشک شدن پوست سیب زمینی

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	Column1
Model	55181.77471	14	3941.555337	29.26690548	6.18574E-08	significant
A-E	816.75	1	816.75	6.064546355	0.027370248	
B-pulse number	60.75	1	60.75	0.45108196	0.512752475	
C-frequency	184.0833333	1	184.0833333	1.366858779	0.261873765	
D-temperature	47502.08333	1	47502.08333	352.7132982	2.51836E-11	
AB	6.25	1	6.25	0.046407609	0.832543359	
AC	156.25	1	156.25	1.160190227	0.299637031	
AD	210.25	1	210.25	1.561151969	0.231982725	
BC	12.25	1	12.25	0.090958914	0.767395006	
BD	90.25	1	90.25	0.670125875	0.426722789	
CD	380.25	1	380.25	2.823438936	0.115063529	
A^2	206.4545045	1	206.4545045	1.53296959	0.236028448	
B^2	0.832882883	1	0.832882883	0.006184337	0.938431499	
C^2	542.0761261	1	542.0761261	4.025033112	0.064548136	
D^2	4008.238288	1	4008.238288	29.76204089	8.47272E-05	
Residual	1885.466667	14	134.6761905			
Lack of Fit	1504.666667	10	150.4666667	1.580532213	0.349471335	not significant
Pure Error	380.8	4	95.2			
Cor Total	57067.24138	28				
C.V. %	9.245747438			R^2	0.966960613	

با توجه به تحلیل آماری صورت گرفته مدل به کار رفته در این پژوهش معنادار می‌باشد. همان‌طور که قابل مشاهده می‌باشد اثر شدت میدان الکتریکی، دما و اثر درجه دوم دما برای کاهش مدت زمان خشک کردن پوست

سیب‌زمینی در سطح احتمال پنج درصد (P<0.05) دارای معناداری می‌باشند. مطالعات قبلی نشان داده است که شدت میدان الکتریکی و مدت زمان پردازش دو عامل اصلی هستند که در شرایط دمایی یکسان می‌توانند به شکل بهتری ساختار بافت سلولی را تغییر دهند و موجب کاهش زمان خشک کردن شوند. کاربرد میدان الکتریکی پالسی باعث می‌شود که مواد داخل سلول های آسیب دیده خارج شوند و سطح تماس گرما با دیواره‌های سلولی آسیب ندیده افزایش یابد و از این طریق سلول‌ها با سرعت بیشتری از رطوبت خالی شوند [8]. با محاسبه تجزیه سلولی مشاهده شده است که شاخصی که باعث نفوذ سلول‌های یوکاریوتی[1] برای انتقال جرم می‌شود می‌تواند با میدان‌های الکتریکی کم تا متوسط حاصل گردد(۱/۱-۰ کیلو ولت بر سانتی‌متر) و در میدان‌های بالاتر این احتمال وجود دارد که نتیجه‌ای مثبت حاصل نشود و یا حتی در موارد استخراجی میزان استخراج کاهش داشته باشد [13], [11].

از جدول تجزیه واریانس دو مولفه‌ی دما و شدت میدان الکتریکی به عنوان عوامل تاثیر گذار بر مدت زمان خشک‌شدن پوست سیب‌زمینی که تاثیر معناداری در سطح پنج درصد داشتند (جدول ۱). در شکل ۲ حالت بهینه پیشنهادی برای این دو مولفه برای کوتاه‌ترین مدت زمان خشک کردن پوست سیب‌زمینی که ۷۰ دقیقه می باشد آمده است که برای شدت میدان الکتریکی ۰/۵۲۱۸۷۵ کیلوولت بر سانتی‌متر و برای دما ۵۹/۶۸۷۵ درجه سلسیوس می‌باشد.



شکل۲-میزان بهینه پیشنهادی برای شدت میدان الکتریکی (کیلوولت بر سانتی‌متر)و دما (درجه سلسیوس)

با توجه به مطالعات پیشین بهترین حالت برای شدت میدان الکتریکی که اثر گذاری بیشتری بر تخریب و نفوذ در ساختار سلولی وجود داشته است شدت‌های میدان الکتریکی متوسط بوده است [13], [11] که در این پژوهش نیز حالت بهینه شدت میدان الکتریکی برای بهینه سازی ارایه شده است۰/۵۲کیلوولت بر سانتی‌متر می‌باشد که با پژوهش‌های صورت گرفته قبلی مطابقت دارد و نشان دهنده قدرت بالاتر تخریب لایه‌های سلولی در شدت میدان الکتریکی متوسط در پوست سیب‌زمینی می‌باشد.

دما، سرعت جریان هوا و رطوبت محیط سه عامل اصلی در مدت زمان خشک کردن هر محصولی می‌باشد و طبیعی می‌باشد که با افزایش دما ساختار دیواره سلولی زودتر تخریب شده و رطوبت از آن خارج شود در این پژوهش نیز کمترین مدت زمان خشک کردن محصول در دمای نزدیک به ۶۰ درجه سلسیوس روی داد ولی با آسیب‌هایی که دمای بالا به مواد موثره حساس به دما وارد می‌کند همواره سعی بر این بوده که بتوان در دمای پایین‌تر و با مدت زمان کمتر محصولات را خشک نمود در اینجا با به کارگیری از میدان الکتریکی پالسی دمای بهینه انتخابی برای دو بازه دمایی ۴۰تا۵۰ درجه سلسیوس و ۵۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس که حد بالا و پایین دما هستند را مورد بررسی قرار می دهیم.

[1]- Eukaryote

برای بازه دمایی ۴۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس شدت میدان الکتریکی ۰/۵ کیلوولت بر سانتی‌متر حالت بهینه می‌باشد و مدت زمان پیشبینی شده برای رسیدن به ماده خشک شده در دمای ۴۳ درجه سلسیوس ۱۶۰ دقیقه می‌باشد که این مدت زمان نسبت به سایر شدت میدان‌های الکتریکی کاربرده شده در دمای ۴۰ درجه نزدیک به ۵۰ دقیقه می‌تواند زمان خشک کردن را کاهش دهد. در محدوده دمایی ۵۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس و محدوده نزدیک به دمای ۵۰ درجه سلسیوس نیز شدت میدان الکتریکی ۰/۵ بهینه ترین حالت کاربرد می‌باشد که مدت زمان خشک کردن ۱۰۶ دقیقه پیش‌بینی شده است که نسبت به شدت‌های دیگر به کاربرده شده می‌تواند مدت زمان خشک کردن را تا ۲۰ دقیقه کاهش دهد. دلیل کاهش بیشتر مدت زمان خشک کردن در دمای ۴۰ درجه سلسیوس، کم‌تر بودن توان تخریب دیواره سلول در این دماست که با به کارگیری میدان الکتریکی پالسی و تخریب دیواره سلولی به کمک این سامانه بیشترین اثر کاهش مدت زمان خشک کردن در نزدیکی این دما مشاهده می‌شود.

باتوجه به داده‌های به دست آمده مدل رگرسیونی برای کمترین زمان خشک کردن پوست سیب‌زمینی در رابطه (۳) آورده شده است. همانگونه که از ضرایب معادله مشخص است بیشترین تاثیر در مدت زمان خشک کردن پوست سیب‌زمینی را دو عامل شدت میدان الکتریکی و دما دارند. در این رابطه t مدت زمان خشک کردن بر حسب دقیقه می‌باشد.

$$t = +1075.20 + 33 * E - 33.13 * T + 0.26 * T^2 \quad (۳)$$

همچنین در این رابطه E شدت میدان الکتریکی بر حسب کیلوولت بر سانتی‌متر و T نیز دما بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد.

نتیجه گیری

با مشاهده نتایج تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر میدان الکتریکی پالسی بر کاهش مدت زمان خشک کردن پوست سیب‌زمینی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بوده است و میزان شدت میدان الکتریکی در اثر بخشی بسیار مهم‌تر از دو عامل فرکانس و تعداد پالس اعمالی بوده است. افزایش دمای جریان هوای خشک‌کن، از عوامل کاهنده مدت زمان خشک کردن پوست سیب‌زمینی بود اما در مواد خوراکی و حساس به دما به دلیل کاهش کیفیت در دماهای بالا، بهتر است برای کاهش مدت زمان خشک کردن از فناوری‌های غیر حرارتی استفاده کرد که در این پژوهش نیز با توجه به مدل رگرسیونی ارایه شده برای کاهش مدت خشک کردن، میدان الکتریکی پالسی نقش مهمی را ایفا می‌کند.

تشکر و قدردانی

در انجام این تحقیق آقای مهندس اکبر کولیوند کمک‌های شایانی نمودند که صمیمانه از ایشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

[1] M. E. Camire, D. Violette, M. P. Dougherty, and M. A. McLaughlin, “Potato Peel Dietary Fiber Composition: Effects of Peeling and Extrusion Cooking Processes,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 45, no. 4, pp. 1404–1408, 1997, doi: 10.1021/jf9604293.

[2] M. Friedman, N. Kozukue, H. J. Kim, S. H. Choi, and M. Mizuno, “Glycoalkaloid, phenolic, and flavonoid content and antioxidative activities of conventional nonorganic and organic potato peel powders from commercial gold, red, and Russet potatoes,” *J. Food Compos. Anal.*, vol. 62, no. December 2016, pp. 69–75, 2017, doi: 10.1016/j.jfca.2017.04.019.

[3] L. Reddivari, A. L. Hale, and J. C. Miller, “Determination of phenolic content, composition and their contribution to antioxidant activity in specialty potato selections,” *Am. J. Potato Res.*, vol. 84, no. 4, pp. 275–282, 2007, doi: 10.1007/BF02986239.

[4] A. Al-Weshahy and A. Venket Rao, "Isolation and characterization of functional components from peel samples of six potatoes varieties growing in Ontario," *Food Res. Int.*, vol. 42, no. 8, pp. 1062–1066, 2009, doi: 10.1016/j.foodres.2009.05.011.

[5] Stefan Toepfl and Dietrich Knorr, "Pulsed electric fields as a pretreatment technique in drying processes," *Stewart Postharvest Rev.*, vol. 2, no. 4, pp. 1–6, 2008, doi: 10.2212/spr.2006.4.3.

[6] M. Abenoza, M. Benito, G. Saldaña, I. Álvarez, J. Raso, and A. C. Sánchez-Gimeno, "Effects of Pulsed Electric Field on Yield Extraction and Quality of Olive Oil," *Food Bioprocess Technol.*, vol. 6, no. 6, pp. 1367–1373, 2013, doi: 10.1007/s11947-012-0817-6.

[7] M. R. Alam, J. G. Lyng, D. Frontuto, F. Marra, and L. Cinquanta, "Effect of Pulsed Electric Field Pretreatment on Drying Kinetics, Color, and Texture of Parsnip and Carrot," *J. Food Sci.*, vol. 83, no. 8, pp. 2159–2166, 2018, doi: 10.1111/1750-3841.14216.

[8] N. I. Lebovka, N. V. Shynkaryk, and E. Vorobiev, "Pulsed electric field enhanced drying of potato tissue," *J. Food Eng.*, vol. 78, no. 2, pp. 606–613, 2007, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.10.032.

[9] C. Liu, N. Grimi, N. Lebovka, and E. Vorobiev, "Effects of preliminary treatment by pulsed electric fields and convective air-drying on characteristics of fried potato," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 47, pp. 454–460, 2018, doi: 10.1016/j.ifset.2018.04.011.

[10] M. Nojavan, S. Minaei, and S. Sarami, "Design, fabrication and Evaluation of Pulsed Electric Field System for Food Processing," *Iran. J. Biosyst. Eng.*, 2020.

[11] M. B. Hossain, I. Aguiló-Aguayo, J. G. Lyng, N. P. Brunton, and D. K. Rai, "Effect of pulsed electric field and pulsed light pre-treatment on the extraction of steroidal alkaloids from potato peels," *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 29, pp. 9–14, 2015, doi: 10.1016/j.ifset.2014.10.014.

[12] Z. Wu, H. S. Wong, and N. R. Buenfeld, "Transport properties of concrete after drying-wetting regimes to elucidate the effects of moisture content, hysteresis and microcracking," *Cem. Concr. Res.*, vol. 98, no. April, pp. 136–154, 2017, doi: 10.1016/j.cemconres.2017.04.006.

[13] E. Puértolas, O. Cregenzán, E. Luengo, I. Álvarez, and J. Raso, "Pulsed-electric-field-assisted extraction of anthocyanins from purple-fleshed potato," *Food Chem.*, vol. 136, no. 3–4, pp. 1330–1336, 2013, doi: 10.1016/j.foodchem.2012.09.080.

Shortest Drying Time of Potato Peel by Pretreatment of Pulsed Electric Field

Mohammad Ali Fallahi[1], Mohammad Hadi Khoshtaghaza[1*], Saeid Minaei[1] and Hasan Ahmadi Gavlighi[2] ,Mehdi Nojavan[1]

1. Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2. Food Sciences Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

Potato is one of the most widely used agricultural products in the world and a large amount of its waste is related to its peel which is rich source of effective substance. There are many methods for antioxidant and phenolic compounds extraction which must be dried and powdered. Due to the temperature sensitivity of the effective substances, it is necessary to dry the potato peel at lower temperatures. Therefore, in this research, with the help of pulsed-electric-field pretreatment, an attempt was made to take advantage of electric field strength (0.5, 0.75 and 1 kV/cm) frequency (500, 1000 and 1500 Hz) and pulse number (300, 650 and 1000) proportional to temperatures (40, 50 and 60 °C) to find the optimal state ($P<0.05$) using the response surface method (RSM). Results of statistical analysis of the data showed that electric field strength of 0.52 kV/cm, and temperature of 59 °C are optimal for the shortest drying time (70 minute) of

potato peel. In addition, in the same optimal state of electric field strength, the drying time is reduced for temperatures close to 40 and 50 °C, by nearly 50 and 20 minutes, respectively.

Keywords: Response Surface Methodology (RSM), Temperature, Frequency, Electric Field

*Mohammad Hadi khoshtaghaza
E-mail: khoshtag@modares.ac.ir