نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۲۴ شماره ۱/ سال ۱۳۹۳

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سه واریته سیب‌زمینی برای تولید فرآورده‌های سرخ شده

اعظم طاهری[۱] و داود قنبریان[۲*]

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۱۸

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهرکرد

[۲] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهرکرد

*مسئول مکاتبه: Email: dghanbarian@yahoo.com

چکیده

سیب‌زمینی یکی از محصولات استراتژیک در بخش کشاورزی است و در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به عنوان غذای اصلی محسوب می‌شود. از مهم‌ترین فرآورده‌های صنعتی سیب‌زمینی، چیپس و خلال است. یکی از نقاط ضعف فرآیند تولید این محصولات در ایران، استفاده از واریته‌های نامناسب به عنوان ماده اولیه است. این پژوهش با هدف بررسی مشخصه‌های فیزیکی و مکانیکی سه واریته سیب‌زمینی (اگریا، آلمرا و مارفونا) و انتخاب مناسب‌ترین واریته برای تولید تنقلات سیب‌زمینی انجام گرفت. برای این منظور ابتدا خواص فیزیکی و سپس برخی از خواص مکانیکی این واریته‌ها شامل مدول الاستیسیته، انرژی لازم برای پانچ و نیز ضریب بازگشت، به عنوان یکی از مشخصه‌های تعیین کننده سختی بافت محصولات کشاورزی، تعیین و با هم مقایسه شد. قبل از تعیین خواص مکانیکی مذکور، به منظور ثابت بودن شرایط آزمایش برای هر سه واریته، برخی از عوامل موثر بر مدول الاستیسیته و ضریب بازگشت غده‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد که واریته‌های مورد آزمایش از نظر مشخصه‌های فیزیکی تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند. بنابراین، با توجه به مشخصه‌های فیزیکی نمی‌توان واریته برتر را انتخاب نمود. اما نتایج مقایسه مشخصه‌های مکانیکی سه واریته نشان داد که واریته اگریا دارای بالاترین مقادیر مشخصه‌های مکانیکی و در نتیجه دارای بافت سفت‌تری نسبت به دو واریته دیگر است. این مزیت واریته مذکور باعث می‌شود که در فرآیند سوخاری‌سازی، روغن کمتری جذب بافت سیب‌زمینی شود که این امر ضمن کاهش گریسی و چسبناکی بافت چیپس و خلال، هزینه‌های تولید را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد.

واژگان کلیدی: ارزیابی کیفی، چیپس، خواص مکانیکی، سیب‌زمینی

مقدمه

سیب‌زمینی و فرآورده‌های آن یکی از مهمترین محصولات کشاورزی و غذایی در دنیا محسوب می‌شوند. تقریباً کمتر از نیمی از کل سیب‌زمینی تولید شده به صورت تازه‌خوری و مابقی ذخیره و در صنایع تبدیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مهمترین

Archive of SID

www.SID.ir

فرآورده‌های صنعتی سیب‌زمینی، چیپس و خلال نیمه‌سرخ شده منجمد است. در حال حاضر در بازار ایران، چیپس کالایی رقابتی است. اما تولید محصولی با کیفیت قابل عرضه در بازارهای جهانی، مستلزم استفاده از مواد اولیه مرغوب و مناسب فرآوری، ماشین‌آلات و تکنولوژی پیشرفته به همراه رعایت کامل استانداردهای بین‌المللی است.

از مهمترین مواردی که در انتخاب سیب‌زمینی برای تولید چیپس و خلال نیمه‌سرخ شده منجمد باید مورد توجه قرار بگیرد، وزن مخصوص و شکل منظم غده‌ها است. علاوه بر شکل و اندازه غده، بافت نیز یک عامل مهم در صنعت چیپس و خلال نیمه‌سرخ شده منجمد و همچنین پخت سیب‌زمینی در منازل محسوب می‌شود (سادوسکا و همکاران ۲۰۰۸).

آزمون‌های مکانیکی به طور گسترده برای تعیین خواص مکانیکی و توصیف تغییر در بافت مواد غذایی استفاده می‌شوند (بورن ۲۰۰۲ و دبرازسیک و وینتن ۱۹۹۹). تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی غده‌های سیب‌زمینی نه تنها باعث بهبود در طراحی و ساخت تجهیزات برداشت و حمل و نقل می‌شود، بلکه زیان‌های اقتصادی ناشی از صدمات محصول را در طول انتقال و ذخیره‌سازی کاهش می‌دهد و امکان انتخاب واریته‌های مناسب برای مصارف خاص را نیز فراهم می‌نماید.

مطالعات مختلف نشان می‌دهد که ماهیت ویسکوالاستیک مواد غذایی و کشاورزی را می‌توان توسط مدل‌های رئولوژیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در پژوهش‌های مختلف تاثیر نوع واریته، اندازه نمونه، سرعت بارگذاری و سطح تراکم بر روی خواص مکانیکی سیب‌زمینی از جمله مدول الاستیسیته آن مورد مطالعه قرار گرفته است (دیویس و همکاران ۱۹۸۳، پرکایاستها و همکاران ۱۹۸۵، باگلی و کریستیانسن ۱۹۸۷، هامان ۱۹۹۲، بارگال و همکاران ۱۹۹٤ و پاپاس و همکاران ۱۹۸۸).

در مطالعات مختلفی به بررسی تاثیر نوع واریته سیب‌زمینی بر کیفیت چیپس و خلال تولیدی پرداخته شده است. از جمله در پژوهشی محققین به بررسی و مقایسه بافت، رنگ و مقدار پراکسید چیپس تولید شده از واریته‌های اگریا و مارفونا در زمان انبارداری پرداختند (زمین‌دار و شاهدی ۱۳۸۵). در پژوهشی دیگر تاثیر سه واریته سیب‌زمینی به نام‌های اگریا، سانته و امیدبخش بر مقدار آکریلامید (ترکیب سرطان‌زای احتمالی برای انسان) در چیپس تولید شده از این واریته‌ها، مورد مطالعه قرار گرفت (شجاعی علی‌آبادی و همکاران ۱۳۸۷). در پژوهشی نیز به بررسی عوامل موثر از جمله نوع واریته (اگریا و آئولا) بر میزان جذب روغن و بهبود ویژگی‌های ظاهری و حسی چیپس سیب‌زمینی پرداخته شد (فاضلی‌دانش و همکاران ۱۳۹۱). مطالعات مختلفی نیز به منظور بررسی میزان کاهش آکریلامید در چیپس سیب‌زمینی به کمک روش‌های مختلف و نیز استفاده از حرارت اشعه مادون قرمز (IR) به عنوان یک پیش‌تصفیه قبل از سرخ کردن مواد و توان بالقوه آن در کاهش جذب روغن در محصولات سرخ شده، انجام شده است (پدرسچیا و همکاران ۲۰۱۱ و بینگلا و همکاران ۲۰۱۲).

یکی از نقاط ضعف فرآیند تولید چیپس و خلال نیمه‌سرخ شده منجمد در ایران، استفاده از واریته‌های متفاوت سیب‌زمینی به عنوان ماده اولیه است. با توجه به اینکه برخی از واریته‌های سیب‌زمینی برای تولید محصولات سرخ شده مناسب نیستند، کیفیت محصولات تولیدی یک کارخانه به علت تغییر ماده اولیه، ممکن است در طول سال دائماً تغییر کند. این مسئله به جهت بازارپسندی نامطلوب است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه مشخصه‌های فیزیکی و مکانیکی سه واریته از متداول‌ترین واریته‌های سیب‌زمینی مرسوم در ایران و انتخاب مناسب‌ترین واریته برای تولید چیپس و خلال نیمه‌سرخ شده منجمد انجام گرفت.

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از سه واریته سیب‌زمینی به نام‌های اگریا[1]، مارفونا[2] و آلمرا[3] استفاده شد. واریته‌های مورد استفاده از یکی از مزارع نمونه سیب‌زمینی شهرستان بروجن از توابع استان چهارمحال و بختیاری، در اواخر تابستان سال ۱۳۹۰ جمع‌آوری و با انتقال مستقیم به سردخانه دانشگاه شهرکرد، در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای انجام آزمایشات، غده‌ها به مدت ٢٤ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند تا با محیط هم‌دما شوند. در برداشت نمونه‌ها حداکثر احتیاط به عمل آمد تا به نمونه‌ها نیروی نامتعارفی که منجر به ایجاد خطا در نتایج گردد، وارد نیاید.

نحوه تعیین مشخصه‌های فیزیکی

به منظور تعیین مشخصه‌های فیزیکی غده‌ها شامل جرم، ابعاد، قطر میانگین هندسی، ضریب کرویت، جرم مخصوص و حجم، به عنوان پارامترهای وابسته و سه واریته مورد نظر به عنوان پارامترهای مستقل، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۰ تکرار انجام شد. سه بعد اصلی هر غده شامل قطرهای بزرگ، متوسط و کوچک، به کمک یک کولیس دیجیتال با ماکزیمم دهانه ١٥٤/٥٦ میلی‌متر و دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، اندازه‌گیری شد. قطر میانگین هندسی و ضریب کرویت نمونه‌ها که بیان‌کننده میزان شباهت شکل هر نمونه به کره می‌باشد، به ترتیب به کمک روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (محسنین ١٩٨٦):

$$D_g = (abc)^{1/3} \qquad [۱]$$

$$\Phi = \frac{(abc)^{1/3}}{a} \qquad [۲]$$

در این روابط D_g قطر میانگین هندسی (میلی‌متر)، Φ ضریب کرویت نمونه‌ها (بدون بعد) و a، b و c به ترتیب قطرهای بزرگ، کوچک و متوسط (میلی‌متر) می‌باشند.

در این تحقیق، حجم غده‌ها بر اساس روش جابجایی سیال بدست آمد. بدین صورت که ابتدا ظرف مناسب محتوی آب مقطر روی ترازوی دیجیتالی قرار گرفته و عدد روی ترازو قرائت گردید (m_3). سپس غده‌ها تک تک به یک نخ نازک نایلونی بسته و به آرامی درون ظرف آب قرار می‌گرفتند. پس از به تعادل رسیدن آب درون ظرف، عدد ترازو قرائت و ثبت (m_4)، و حجم هر نمونه به کمک رابطه ۳ محاسبه شد (محسنین ١٩٨٦):

$$V = \frac{m_4 - m_3}{\rho_w} \qquad [۳]$$

با داشتن جرم و حجم غده جرم مخصوص آن از رابطه ٤ بدست‌آمد:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad [٤]$$

در این روابط، مقادیر جرم بر حسب گرم، حجم غده بر حسب سانتی‌متر مکعب، جرم مخصوص غده بر حسب گرم بر سانتی‌متر و جرم مخصوص آب (ρ_w) برابر با یک گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد.

نحوه تعیین مشخصه‌های مکانیکی

در این تحقیق، ابتدا برخی از عوامل موثر بر ضریب بازگشت[4]، به عنوان یکی از مشخصه‌های مهم در تعیین سختی بافت محصولات کشاورزی و مدول الاستیسیته[5] ظاهری غده‌ها، مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند. سپس از طرح کاملاً تصادفی با ۲۰ تکرار شامل سه واریته سیب‌زمینی، به عنوان پارامتر مستقل و ضریب بازگشت، مدول الاستیسیته ظاهری و انرژی لازم برای پانچ گوشت و پوست غده به عنوان پارامترهای وابسته، استفاده شد.

تعیین عوامل موثر بر ضریب بازگشت غده‌ها و نحوه محاسبه آن

یکی از روش‌هایی که برای تعیین سختی بافت اکثر محصولات کشاورزی بکار می‌رود، تست ضربه از طریق آزمون آونگی است. از تست ضربه پارامترهای مختلفی

[1] Agria
[2] Marfona
[3] Almera

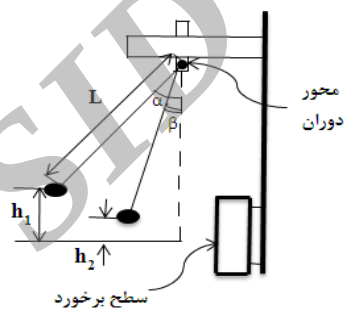
[4] Coefficient of Restitution
[2] Modulus of Elasticity

Archive of SID

www.SID.ir

را می‌توان استخراج نمود که یکی از آن‌ها ضریب بازگشت است (افشاری و همکاران ۱۳۸۷). برای محاسبه ضریب بازگشت، با توجه به شکل ۱، فرض می‌شود غده از ارتفاعی معادل h_1 و با زاویه α رها شود؛ پس از برخورد غده به صفحه مورد نظر، غده تا ارتفاعی معادل h_2، به اندازه زاویه β، بالا می‌آید. بنابراین مقدار ضریب بازگشت از رابطه ۵ محاسبه می‌شود (محسنین ۱۹۸۶):

$$e = \left(\frac{\sin^{\beta}/_{2}}{\sin^{\alpha}/_{2}}\right) \qquad [۵]$$



شکل ۱- شماتیک دستگاه تست ضربه

به منظور تعیین عوامل موثر بر ضریب بازگشت، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۷ تیمار در هر تکرار، شامل ترکیب سه عامل جرم، جنس سطح برخورد و سرعت برخورد در ۳ تکرار استفاده شد. عامل جرم در سه سطح (۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ گرم)، عامل جنس سطح برخورد در سه سطح (فولادی، چوبی و لاستیک فشرده) و عامل سرعت برخورد نیز در سه سطح (۰/۶۵، ۰/۹۷ و ۱/۲۹ متر بر ثانیه) و در مجموع ۸۱ عدد غده از بین کلیه نمونه‌ها انتخاب شد. واریته مورد استفاده در این طرح اگریا بود. سطوح برخورد انتخاب شده نیز دارای ابعاد یکسان با طول ۵۵ سانتی‌متر، عرض ۱۳/۵ سانتی‌متر و ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر بودند.

به منظور تعیین ضریب بازگشت غده‌ها، از دستگاه تست ضربه آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی دانشگاه شهرکرد استفاده شد. برای اندازه‌گیری زاویه بازگشت نمونه‌ها از یک دوربین دیجیتالی سونی مدل DSC-W530 استفاده و این دوربین بر روی سه‌پایه در فاصله مناسب از دستگاه نصب شد.

برای انجام آزمون، نمونه‌های مورد نظر پس از بسته شدن به نخ نایلونی، طبق زاویه مورد نظر به سمت سطح برخورد رها شدند؛ با استفاده از دوربین دیجیتالی از این عملیات تصویربرداری و بعد از انتقال این تصاویر به رایانه و با استفاده از دور آهسته نرم‌افزار مدیاپلیر[1]، زاویه بازگشتی نمونه‌ها استخراج و از طریق رابطه ۵ ضریب بازگشت هر کدام محاسبه شد.

به منظور مقایسه ضریب بازگشت سه واریته مورد آزمایش، از سطح لاستیک فشرده و زاویه رهاسازی ۳۰ درجه استفاده شد.

تعیین عوامل موثر بر مدول الاستیسیته غده‌ها و نحوه محاسبه آن

نسبت تنش به کرنش در محدوده الاستیک را مدول الاستیسیته گویند. از مدول الاستیسیته برای مقایسه سفتی یا سختی بافت استفاده می‌شود. بدیهی است هر چه مقدار این مدول بزرگتر باشد، بافت ماده سفت‌تر خواهد بود (محسنین ۱۹۸۶).

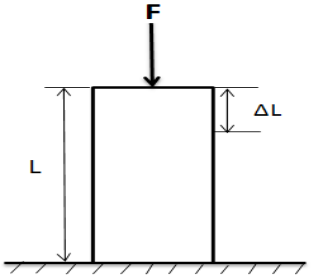
خواص مکانیکی همچون مدول الاستیسیته مواد غذایی جامد و نیمه‌جامد غالباً به وسیله تراکم محوری[2] نمونه مورد آزمایش تعیین می‌شود. در این روش، نمونه بین دو صفحه مسطح و موازی، تحت تراکم محوری قرار می‌گیرد (شکل ۲) و مدول الاستیسیته از رابطه ۶ محاسبه می‌شود (سولمان و جیندال ۲۰۰۶ و بنتینی و همکاران ۲۰۰۸):

$$E_a = \left[\frac{F/A}{\Delta L/L}\right] = \frac{dF}{d(\Delta L)}\Big|_{\%comp}\left(\frac{L}{A}\right) \qquad [۶]$$

در این رابطه F نیروی بارگذاری (نیوتن)، A سطح مقطع اولیه نمونه (میلی‌متر مربع)، ΔL تغییر طول نمونه در حد الاستیک (میلی‌متر)، L طول اولیه نمونه (میلی‌متر) و E_a مدول الاستیسیته ظاهری در حالت تراکم محوری (مگاپاسکال) می‌باشد.

[1] Media Player
[2] Axial Pressing

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲- نمونه تحت بارگذاری محوری

به منظور تعیین عوامل موثر بر مدول الاستیسیته ظاهری غده‌ها از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل ترکیب سه عامل واریته، سطح تراکم و سرعت بارگذاری با ۳ تکرار استفاده شد. عامل واریته در سه سطح (اگریا، آلمرا و مارفونا)، عامل سطح تراکم در سه سطح (۲/۵، ۵ و ۷ درصد طول اولیه نمونه) و عامل سرعت بارگذاری در سه سطح (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه) انتخاب شد.

برای بارگذاری غده‌های سیب‌زمینی از دستگاه اینسترون، مدل STM-20، با لودسل ۵۰۰ نیوتن استفاده شد (سولمان و جیندال ۲۰۰۷ و لازا و همکاران ۲۰۰۱). برای تهیه نمونه، از یک ابزار نمونه‌گیر استوانه‌ای شکل با قطر ۱۵ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ میلی‌متر استفاده شد. نمونه‌ها تحت بارگذاری محوری قرار گرفته و زمانی که تراکم به مقدار مورد نظر رسید، آزمون متوقف و همزمان برای هر نمونه نمودار نیرو _ تغییر شکل توسط نرم‌افزار مربوطه ترسیم و مدول الاستیسیته استخراج گردید.

در مرحله بعد به منظور مقایسه سه واریته مورد آزمایش از نظر مدول الاستیسیته، از سطح تراکم ۵ درصد و سرعت بارگذاری ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد.

تعیین انرژی لازم برای پانچ غده

به منظور تعیین انرژی لازم برای پانچ پوست و گوشت غده (بافت درونی غده)، ابتدا غده به دو نیم تقسیم شد. یکی از این نیمه‌ها برای تعیین انرژی لازم برای پانچ غده با پوست و نیمه دیگر برای تعیین انرژی لازم برای پانچ گوشت غده مورد استفاده قرار گرفت. اختلاف انرژی لازم برای پانچ این دو نمونه، برابر با انرژی لازم برای پانچ پوست غده است. همزمان با اعمال نیرو، نمودار نیرو _ تغییر شکل برای هر نمونه ترسیم شد. انرژی لازم برای پانچ نمونه‌ها برابر با سطح زیر نمودار نیرو _ تغییر شکل، از مبدأ مختصات تا نقطه تسلیم می‌باشد. به منظور حذف اختلاف‌های ناشی از اپراتور و اعمال بار یکسان به غده‌ها، از دستگاه اینسترون با لودسل ۵۰۰ نیوتن و سرعت بارگذاری ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و برای اعمال نیرو به نمونه‌ها نیز از یک پروب استوانه‌ای با سر مخروطی شکل و قطر ۱۱/۱ میلی‌متر استفاده شد (المصری و همکاران ۲۰۰۶).

عملیات آماده‌سازی داده‌ها و محاسبات مقدماتی با نرم‌افزار اکسل[1] و تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس[2] انجام شد. به منظور مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه مشخصه‌های فیزیکی

نتایج مربوط به مقایسه مشخصه‌های فیزیکی غده‌ها برای هر سه واریته مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

هر چه غده‌هایی که برای تهیه چیپس و خلال استفاده می‌شوند شکل منظم‌تری داشته باشند، تلفات در فرآیندهای پوست‌گیری و لکه‌گیری به حداقل می‌رسد. بنابراین مطابق جدول ۱، با توجه به اینکه واریته مارفونا دارای بالاترین درصد ضریب کرویت بوده و اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با دو واریته دیگر دارد، از نظر مشخصه شکل نسبت به دو واریته دیگر بهتر است. اما اندازه غده‌ها هم در میزان این تلفات نقش بسیار مهمی دارند. مطابق جدول مذکور، با توجه به اینکه سه واریته مورد آزمایش از نظر مشخصه قطر میانگین

[1] Excel ver.2010

[2] SPSS ver.17

Archive of SID

www.SID.ir

هندسی و حجم، به عنوان مشخصه‌های اندازه، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند، بنابراین نمی‌توان تنها از روی مشخصه شکل، واریته مارفونا را ارجح دانست.

جدول ۱- میانگین مشخصه‌های فیزیکی غده‌ها برای هر سه واریته

مشخصه فیزیکی	واریته		
	اگریا	آلمرا	مارفونا
قطر میانگین هندسی (میلی‌متر)	٦١/١٢[a]	٦٢/٧٢[a]	٦٧/٣٨[a]
ضریب کرویت (درصد)	٧٧/٨[b]	٧٥/٩[b]	٨٥/٥[a]
جرم (گرم)	١٥٢/٣٥[a]	١٥٤/٥٥[a]	١٥٨/٩٠[a]
حجم (سانتی‌متر مکعب)	١٥٢/٤٥[a]	١٥٤/٢٥[a]	١٥٩/١٠[a]
وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	٠/٩٩٩[a]	١/٠٠٠[a]	٠/٩٩٧[a]

میانگین‌های با علامت یکسان در هر سطر در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

از دیگر عوامل مهم در تولید فرآورده‌های سرخ شده، میزان جذب روغن است. عوامل زیادی میزان جذب روغن را تحت تأثیر قرار می‌دهند (گارسیا و همکاران ۲۰۰۲ و کروکیدا و همکاران ۲۰۰۱). یکی از مهم‌ترین پارامترهای موثر در جذب روغن، میزان ماده خشک است. بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش‌های سایر محققین از سیب‌زمینی‌های دارای وزن مخصوص بالاتر، خلال‌های با طعم بهتر، تردتر و کم چرب‌تر تولید می‌شود. یعنی هر چه میزان ماده خشک غده خام افزایش یابد، میزان جذب روغن در حین سرخ شدن کاهش یافته و محصول بافتی سفت پیدا می‌کند (ساندهو ۱۹۹۲، لاو و همکاران ۱۹۸۹ و دارائی گرمه‌خانی و همکاران ۱۳۸۸). بنابراین بازده فرآورده‌های سرخ شده علاوه بر شکل و اندازه، به وزن مخصوص غده‌ها نیز وابسته است. اما مطابق جدول ۱، سه واریته مورد آزمایش از نظر مشخصه وزن مخصوص تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند؛ بنابراین نمی‌توان تنها با توجه به مشخصه‌های فیزیکی غده‌ها، از بین سه واریته مورد آزمایش یکی را انتخاب نمود.

مشخصه‌های مکانیکی

بررسی عوامل موثر بر ضریب بازگشت غده

در جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به منظور بررسی عوامل موثر بر مشخصه ضریب بازگشت غده‌ها، آورده شده است. مطابق این جدول اثر نوع سطح، سرعت برخورد و جرم بر میزان ضریب بازگشت درسطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است؛ اما اثر متقابل جرم و نوع سطح، جرم و سرعت برخورد، نوع سطح و سرعت برخورد و نیز اثر متقابل جرم، سرعت برخورد و نوع سطح معنی‌دار نشده‌اند.

جدول ۲- تجزیه واریانس عوامل موثر بر روی ضریب بازگشت غده‌های سیب‌زمینی

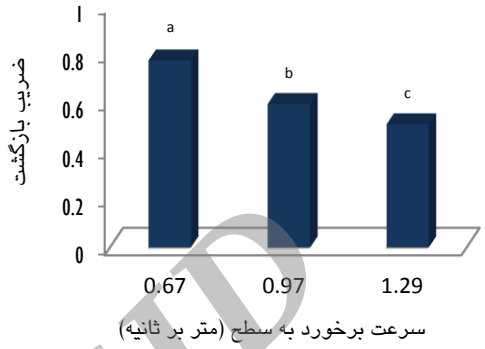
منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
نوع سطح	٢	٠/٣٤٢	٠/١٧١	١٥٥/٧٨٧*
سرعت برخورد	٢	٠/٩٧٩	٠/٤٨٩	٤٥٥/٣١٨*
جرم	٢	٠/٠٧٢	٠/٠٣٦	٣٢/٨٧١*
نوع سطح * جرم	٤	٠/٠٠١	٠/٠٠٠	٠/ ٢٥ ns
سرعت برخورد * جرم	٤	٠/٠٠٢	٠/٠٠١	٠/ ٤٨٦ ns
نوع سطح * سرعت برخورد	٤	٠/٠١٧	٠/٠٠٤	٣/٩١٤ ns
نوع سطح * سرعت برخورد * جرم	٨	./٠٠٥	٠/٠٠١	٠/٥٦ ns
خطا	٥٤	٠/٠٥٩	٠/٠٠١	

* معنی‌داری در سطح٪۵ ns: غیر معنی‌دار

شکل ۳ نمودار تاثیر سرعت برخورد غده را بر مقدار ضریب بازگشت آن نشان می‌دهد. مطابق این نمودار، با افزایش سرعت برخورد غده به سطح، ضریب بازگشت کاهش پیدا کرده است. هر چه اختلاف سرعت نسبی دو جسم کمتر باشد، ضریب بازگشت آن‌ها به عدد یک نزدیک‌تر خواهد بود؛ بنابراین با توجه به این امر، روند نمودار مذکور قابل توجیه است. در این پژوهش با توجه

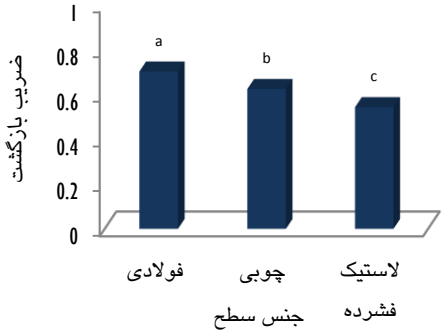
Archive of SID
www.SID.ir

به ثابت بودن دستگاه تست ضربه (سرعت صفر پیش و پس از برخورد)، هر چه سرعت برخورد غده کمتر بوده، ضریب بازگشت آن بیشتر شده است.



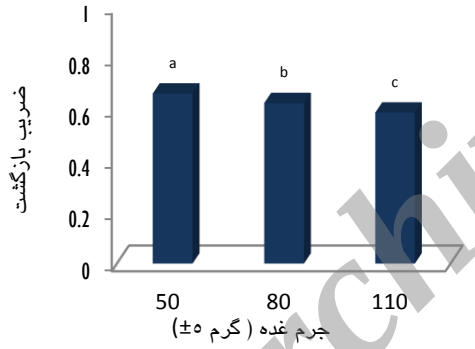
شکل ۳- میانگین ضریب بازگشت برای سرعت‌های مختلف برخورد

شکل ٤ نمودار تغییرات ضریب بازگشت را برای سطوح مختلف برخورد نشان می‌دهد. با توجه به شکل مذکور، مقدار ضریب بازگشت برای سطح فولادی بیشتر از سطوح چوبی و لاستیک فشرده می‌باشد که با توجه به بیشتر بودن مدول الاستیسیته فولاد در مقایسه با دو سطح دیگر، کاملاً منطقی است؛ به عبارت دیگر به دلیل بافت سفت‌تر فولاد، در حین برخورد غده به آن، سطح برخورد کمتر دچار تغییر شکل شده و انرژی کمتری از غده را جذب کرده است. بنابراین غده در برخورد با این صفحه نسبت به برخورد با صفحات دیگر، با انرژی بیشتری (زاویه بازگشتی بیشتر) برمی‌گردد.



شکل ۴- میانگین ضریب بازگشت برای سطوح مختلف برخورد

شکل ۵ نمودار تغییرات ضریب بازگشت را به ازای تغییر جرم غده نشان می‌دهد. مطابق شکل مذکور، با افزایش جرم غده، ضریب بازگشت کاهش پیدا کرده است. بنابراین تحت زاویه رهاسازی یکسان، غده‌های سنگین‌تر به دلیل اینرسی بیشتر، با زاویه کمتری نسبت به غده‌های سبک‌تر بازگشته‌اند. برای روشن شدن موضوع، می‌توان دو غده با جرم‌های متفاوت را که تحت یک زاویه مساوی در حال بازگشت هستند، در نظر گرفت. با توجه به اینکه مقدار نیروی بازگشتی اعمالی به غده‌ها که در خلاف جهت حرکت به آن‌ها وارد می‌شود، متناسب با جرم غده می‌باشد، مقدار نیرویی که به غده سنگین‌تر وارد می‌شود، بیشتر از غده سبک‌تر خواهد بود و همین امر باعث کمتر شدن زاویه بازگشتی غده‌هایی با جرم بیشتر می‌شود.



شکل ۵- میانگین ضریب بازگشت برای جرم‌های مختلف غده

بررسی عوامل موثر بر مدول الاستیسیته

در جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، به منظور بررسی عوامل موثر بر مدول الاستیسیته غده‌ها ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر واریته و درصد تراکم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر سرعت بارگذاری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است؛ اما اثرات متقابل واریته و درصد تراکم، واریته و سرعت بارگذاری، درصد تراکم و سرعت بارگذاری و نیز اثر متقابل واریته، درصد تراکم و سرعت بارگذاری معنی‌دار نشده‌اند.

Archive of SID

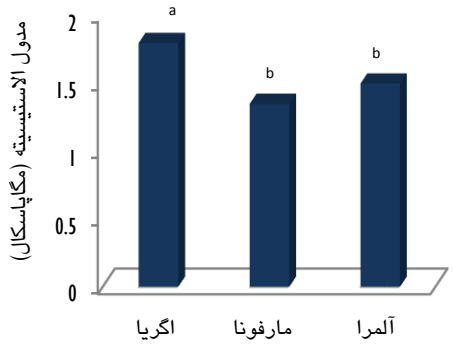
www.SID.ir

جدول ۳- تجزیه واریانس عوامل موثر بر روی مدول الاستیسیته غده‌های سیب‌زمینی

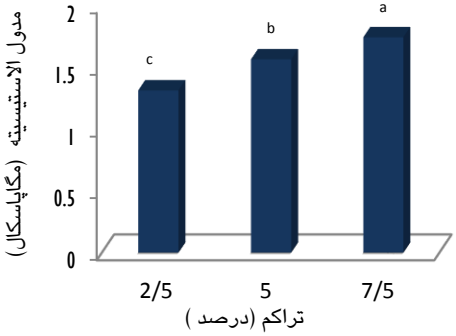
منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
واریته	۲	۲/۷۹۷	۱/۳۹۸	۱۵/۱۹۹**
درصد تراکم	۲	۲/۵۰۳	۱/۲۵۱	۱۳/۶۰۰**
سرعت بارگذاری	۲	۰/۸۱۹	۰/۴۰۹	۴/۴۴۸*
واریته * درصد تراکم	۴	۰/۵۳۴	۰/۱۳۳	۱/۴۵۱ ns
واریته * سرعت بارگذاری	۴	۰/۸۸۵	۰/۲۲۱	۲/۴۰۴ ns
درصد تراکم * سرعت بارگذاری	۴	۰/۲۷۱	۰/۰۶۸	۰/۷۳۵ ns
واریته * درصد تراکم * سرعت بارگذاری	۸	۱/۳۰۶	۰/۱۶۳	۱/۷۷۴ ns
خطا	۵۴	۴/۹۶۹	۰/۰۹۲	

** معنی‌داری در سطح ۱٪ * معنی‌داری در سطح ۵٪ ns: غیر معنی‌دار

شکل ۶ نمودار میانگین مدول الاستیسیته را برای سه واریته مورد آزمایش نشان می‌دهد. مطابق این نمودار، واریته اگریا دارای بیشترین مدول الاستیسیته (۱/۷۸۹ مگاپاسکال) و با اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، نسبت به دو واریته آلمرا و مارفونا است.



شکل ۶- میانگین مدول الاستیسیته برای سه واریته مورد آزمایش



شکل ۷- میانگین مدول الاستیسیته برای درصدهای مختلف تراکم

همچنین واریته مارفونا کمترین مقدار مدول الاستیسیته (۱/۳۴۲ مگاپاسکال) را دارد.

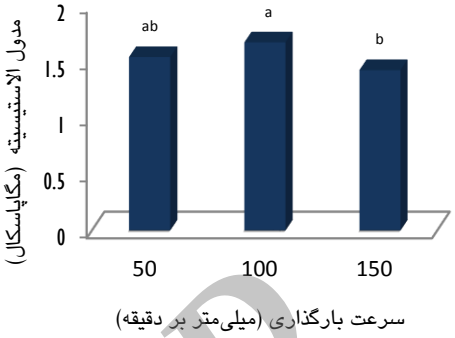
شکل ۷ نمودار میانگین مدول الاستیسیته را برای درصدهای مختلف تراکم نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش درصد تراکم، مدول الاستیسیته برای هر سه واریته افزایش پیدا می‌کند. این امر طبق رابطه ٦ قابل توجیه است؛ مطابق رابطه مذکور، درصد تراکم با مدول الاستیسیته رابطه مستقیم دارد. نتایج پژوهش‌های سایر محققین نیز نشان داد که با افزایش سطح تراکم از ۱۰ تا ۳۰ درصد، مدول الاستیسیته سیب‌زمینی از ۲/۱۷ تا ۵/۱۸ مگاپاسکال تغییر می‌کند (سولمان و جیندال ۲۰۰٦).

شکل ۸ نمودار میانگین مدول الاستیسیته را به ازای سرعت‌های بارگذاری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه نشان می‌دهد. مطابق این نمودار، بیشترین مدول الاستیسیته (۱/٦٦٦ مگاپاسکال) برای سرعت بارگذاری ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه بدست آمده است و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با سرعت بارگذاری ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه دارد. وابستگی خواص مکانیکی محصولات کشاورزی، از جمله مدول الاستیسیته، به سرعت بارگذاری به دلیل رفتار ویسکوالاستیک این مواد می‌باشد، که قبلا در تحقیقات سایر محققین نیز گزارش شده است (سولمان و جیندال ۲۰۰٦، زری‌فروش و

Archive of SID

www.SID.ir

همکاران ۲۰۱۰، کرمانی و همکاران ۱۳۸۵ و منصوری و مینایی ۱۳۸٤).



شکل ۸- میانگین مدول الاستیسیته برای سرعت‌های مختلف بارگذاری

مقایسه ویژگی‌های مکانیکی

جدول ٤ میانگین ویژگی‌های مکانیکی اندازه‌گیری شده را برای سه واریته اگریا، آلمرا و مارفونا نشان می‌دهد. مطابق جدول مذکور، واریته اگریا دارای بیشترین مدول الاستیسیته (۲/۱۹۷ مگاپاسکال)، بیشترین ضریب بازگشت (۰/٦۰۸)، بیشترین انرژی لازم برای پانچ غده با پوست (۹۸/۲۸۵ میلی‌ژول) و بیشترین انرژی لازم برای پانچ گوشت غده (۵۸/۰۹٤ میلی‌ژول) و با اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با دو واریته دیگر است. همچنین واریته‌های آلمرا و مارفونا از نظر ویژگی‌های مکانیکی اندازه‌گیری شده، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

نتیجه‌گیری

نتایج مقایسه میانگین مشخصه‌های فیزیکی سه واریته مورد آزمایش نشان داد که با توجه به عدم معنی‌داری مشخصه‌های فیزیکی این سه واریته، امکان انتخاب یک واریته خاص، تنها با توجه به مشخصه‌های فیزیکی غده‌ها وجود ندارد.

نتایج مقایسه میانگین مشخصه‌های مکانیکی واریته‌های مورد آزمایش، نشان داد که واریته اگریا در مقایسه با دو واریته آلمرا و مارفونا دارای بالاترین مقادیر مشخصه‌های مکانیکی و در نتیجه دارای بافت سفت‌تری نسبت به دو واریته دیگر است.

بافت سفت‌تر واریته اگریا باعث می‌شود که در فرآیند سوخاری‌سازی چیپس و خلال، روغن کمتری جذب سیب‌زمینی شود. با توجه به بالاتر بودن مقادیر مشخصه‌های مکانیکی و در نتیجه بافت سفت‌تر واریته اگریا نسبت به واریته‌های مارفونا و آلمرا، واریته اگریا برای تولید محصولات سرخ شده نظیر چیپس، واریته مناسبی است.

جدول ۴- میانگین ویژگی‌های مکانیکی برای سه واریته اگریا، آلمرا و مارفونا

مشخصه مکانیکی	واریته		
	اگریا	آلمرا	مارفونا
مدول الاستیسیته (مگاپاسکال)	۲/۱۹۷ a	۱/۸۳۹ b	۱/٦۱۲ ab
ضریب بازگشت	۰/ ٦۰۸ a	۰/٥٥٤ b	۰/٥٥۱ b
انرژی لازم برای پانچ غده با پوست (میلی‌ژول)	۹۸/۲۸٥ a	٥۸/٥٥۷ b	٥۷/۹٤۰ b
انرژی لازم برای پانچ گوشت غده (میلی‌ژول)	٥۸/۰۹٤ a	٤۰/۷۳۸ b	۳۹/ ٤۷۲ b

میانگین‌های با علامت یکسان در هر سطر در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

منابع مورد استفاده

افشاری ح، مینایی س، الماسی م و عبدالمالکی پ، ۱۳۸۷. میزان آسیب سیب‌زمینی تحت بارگذاری دینامیکی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، جلد پنجم، شماره سوم، صفحه‌های ٦۹ تا ۷۹.

Archive of SID

www.SID.ir

دارائی گرمه‌خانی ا، میرزایی ح، مقصودلو ی و کاشانی‌نژاد م، ۱۳۸۸. بررسی تأثیر خشک کردن مقدماتی بر میزان جذب روغن و خواص کیفی خلال نیمه‌سرخ شده سیب‌زمینی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد شانزدهم، شماره سوم، صفحه‌های ۱۱۲ تا ۱۲۲.

دخانی ش و ربیعی مطمئن ل، ۱۳۸۰. بررسی میزان تغییر قندها و اسیدهای آلی ارقام سیب‌زمینی (مورن، مارفونا و اگریا) استان اصفهان طی انبارداری، با روش کروماتوگرافی با کارایی زیاد، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پنجم، شماره اول، صفحه‌های ۱۶۱ تا ۱۷۲.

دخانی ش، جعفریان س، کبیر غ و مرتضوی‌بک ا، ۱۳۸۶. تاثیر حرارت‌دهی مقدماتی و رقم سیب‌زمینی بر خصوصیات کیفی فرنچ فرایز منجمد، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد یازدهم، شماره اول (ب)، صفحه‌های ۴۲۱ تا ۴۲۸.

زمین‌دار ن و شاهدی م، ۱۳۸۵. بررسی بافت، رنگ و مقدار پراکسید چیپس فرموله شده سیب‌زمینی از ارقام اگریا و مارفونا در زمان انبارداری، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد دهم، شماره سوم (الف)، صفحه‌های۲۴۹ تا ۲۵۵.

شجاعی علی‌آبادی س، نیکوپور ه، کبارفرد ف و پارساپور م م، ۱۳۸۷. تاثیر رقم (واریته) سیب‌زمینی بر مقدار تشکیل آکریلامید در چیپس سیب‌زمینی، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، سال سوم، شماره اول، صفحه‌های ۶۵ تا ۷۲.

فاضلی‌دانش آ، علم‌الهدی ن و بیچرانلو ل، ۱۳۹۱. بررسی عوامل موثر بر میزان جذب روغن و بهبود ویژگی‌های ظاهری و حسی چیپس سیبزمینی، مقاله‌های کلیدی چهاردهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، دانشگاه شریف، تهران.

کرمانی ع م، توکلی هشجین ت، مینایی س و خوش‌تقاضا م ه، ۱۳۸۵. تعیین خواص مکانیکی دانه برنج و بررسی اثر سرعت بارگذاری فشاری، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، جلد سوم، شماره چهارم، صفحه‌های ۱ تا ۸.

منصوری ی و مینایی س، ۱۳۸۴. اثر سرعت بارگذاری و اندازه میوه بر ویژگی‌های مکانیکی دو رقم میوه خرمای استان خوزستان (ارقام استعمران و زاهدی)، مجله علمی کشاورزی، جلد بیست و هشتم، شماره دوم، صفحه‌های ۱۱ تا ۲۳.

Bagley EB and Christianson DD, 1987. Measurement and interpretation of rheological properties of foods. Journal of Food Technology 41: 96-99.

Bargale PC, Irudayarat JM and Marquis B, 1994. Some mechanical and stress relaxation characteristics of lentils. International Journal of Canadian Agricultural Engineering 36: 247-254.

Bentini M, Caprara C and Martelli R, 2008. Evaluation of the physical-mechanical properties of potatoes during conservation. International Conference Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food System. Ragusa, Italy, pp. 247-254.

Bingola G, Zhangb A, Pana Z and Tara H, 2012. Producing lower-calorie deep fat fried French fries using infrared dry-blanching as pretreatment. Journal of Food Chemistry 132: 686-692.

Bourne MC, 2002. Food texture and viscosity: concept and measurement (2th ed). Academic Press, London.

Davis DC, Mcmahan PF and Leung KH, 1983. Rheological modeling of cooked potatoes. Journal of American Society of Agricultural Engineers 26: 630-634.

Dobraszczyk BJ and Vincent JFV, 1999. Measurement of mechanical properties of food materials in relation to texture: The materials approach. In: Rosenthal AJ (ed), Food Texture: Measurement and Perception. Aspen.

El-Masry GM, Molto E, Blasco J and El-Sayed A, 2006. Influence of hot water treatment on some chemical and mechanical properties of potato. Agricultural Engineering International: CIGR E-Journal 8: 1-10.

Garcia MA, Ferrero C, Bertola N, Martino M and Zaritzky N, 2002. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil up take in fried products. Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies 3: 391-397.

Hammann DD, 1992. Visco-elastic properties of surimi seafood products. In: Rao MA and Steffe JF (eds). Viscoelastic propem esoffoods. Barking Essex, UK: Elsevier Science Publishing Inc.

Kalita D, Holm DG and Sastry SJ, 2013. Role of polyphenols in acrylamide formation in the fried products of potato tubers with colored flesh. International Journal of Food Research 54: 753-759.

Archive of SID

www.SID.ir

Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB and Marinos-Kouris D, 2001. Effect of pre-drying on quality of french fries. Journal of Food Engineering 49: 347-354.

Laza M, Scanlon MG and Mazza G, 2001. The effect of tuber pre-heating temperature and storage time on the mechanical properties of potatoes. International Journal of Food Research 34: 659–667.

Low N, Joang Z, Ooraikul B, Dokhani S and Palic M, 1989. Reduction of glucose content in potato with lucose oxidase. International Journal of Food Sciences 54: 118-121.

Mohsenin NN, 1986. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties (2nd ed).Gordon Breach Science, New York.

Moreira RG, Castell-Perez ME and Barrufet MA, 1999. Deep-Fat frying fundamentals and applications. Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland.

Pappas G, Skinner G and Rao VNM, 1988. Effect of imposed strain and moisture content on some viscoelastic characteristics of cowpeas (*vigna unguiculata*). Journal of Agricultural Engineering Research 39: 209-219.

Pedreschia F, Salome M, Granbyb K and Risumc J, 2011. Acrylamide reduction in potato chips by using commercial asparaginase in combination with conventional blanching. International Journal of Food Science and Technology LWT 44: 1473-1476.

Pinheroa R, Pazhekattua R, Whitfielda K, Alejandro G. Marangonia, QLiub Q and Rickey Y, 2012. Effect of genetic modification and storage on the physico-chemical properties of potato dry matter and acrylamide content of potato chips. International Journal of Food Research 49: 7-14.

Purkayastha S, Peleg M, Johnson EA and Normand MD, 1985. A computer aided characterization of the compressive creep behavior of potato and cheddar cheese. International Journal of Food Science 50: 45-55.

Sadowska J, Fornal J and Zgorska k, 2008. The distribution of mechanical resistance in potato tuber tissues. Journal of Postharvest Biology and Technology 48: 70-76.

Sandhu KS, 1992. Effect of storage and pretreatment on potato chip color quality. International Journal of Food Science and Technology LWT 29: 112-114.

Solomon WK and Jindal VK, 2006. Comparison of axial and radial compression tests for determining elasticity modulus of potatoes. International Journal of Food Properties 9: 855-862.

Solomon WK and Jindal VK, 2007. Modeling changes in rheological properties of potatoes during storage under constant and variable conditions. International Journal of Food Science and Technology LWT 40: 170-178.

Zareiforoush H, Mohtasebi SS, Tavakoli H and Alizadeh MR, 2010. Effect of loading rate on mechanical properties of rice (Oryza sativa L.) straw. Australian Journal of Crop Science 4:190-195.

Archive of SID

www.SID.ir

Physical and mechanical properties of three varieties of potato for production of the fried products

A Taheri[1] and D Ghanbarian[2*]

Received: May 20, 2013 Accepted: December 09, 2013

[1]Graduated MSc, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[2]Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[*]Corresponding Author: Email: dghanbarian@yahoo.com

Abstract

Potato is one of the strategic agricultural products and is a main food in many of developing countries. Potato chips and slices are one of the most important industrial products. The use of inappropriate varieties as raw material in Iran is one of the challenges of processing. This study was conducted to evaluate and compare the physical and mechanical properties of three potato varieties (Agria, Almera and Marfona) in order to address the most suitable variety for the production of potato chips and slices. For this purpose, the physical and some mechanical properties of the varieties, including modulus of elasticity, coefficient of restitution and punching energy were determined and compared. Prior to determination of the mechanical properties, in order to provide the same experimental conditions for three varieties, some factors affecting on the modulus of elasticity and coefficient of restitution of tubers were evaluated. The results showed that three varieties were not significantly different for physical features. Therefore, one of the varieties can't be selected according to the physical features. But comparison of mechanical properties of three varieties showed that the Agria variety had the highest values of mechanical features, and its texture is more uniform compared to other two varieties. The advantage of this variety makes it to absorb less oil in their tissues in the process of frying. This reduces grease and sticky texture of the chips. Also, that would reduce the product cost remarkably**.**

Keywords: Chips, Mechanical properties, Potato, Qualitative evaluation

Archive of SID

www.SID.ir