تعیین و بررسی اثر رطوبت برمهم‌ترین خواص مکانیکی خلال سیب زمینی رقم پشندی

حدیث مرامی[1*]، بهرام قمری[2]، علی کاظمی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ایلام

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ایلام

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه ایلام

* ایمیل نویسنده مسئول:h.marami@yahoo.com

چکیده

امروزه سیب زمینی به شکل‌های مختلفی در سرتاسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدت زمان، هزینه، شرایط انبار کردن سیب زمینی و تغییر عادات غذایی بشر، نیازمند یافتن روش‌هایی برای نگهداری این محصول حساس است. یکی از روشهای نگهداری سیب زمینی، خلال نیمه سرخ شده منجمد است. تعیین مشخصات مکانیکی خلال‌های سیب زمینی به منظور ارتقاع کیفی محصول از لحاظ میزان جذب روغن و حداکثر مجاز وزن بسته بندی حائز اهمیت است. در این تحقیق اثر میزان کاهش رطوبت بر خواص مکانیکی خلال‌های سیب زمینی شامل: حداکثر نیروی لهیدگی، مدول برشی، مقاومت برشی، تغییر شکل، مدول الاسیسیته، حداکثر نیروی برشی و کار انجام شده بررسی شد. بدین منظور خلال‌های سیب زمینی به ابعاد ۴۰×۷×۷ mm ایجاد شده و برای کاهش رطوبت آن‌ها از دستگاه آون در چهار سطح رطوبتی ۸۰، ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد بر مبنای تر استفاده شد. برای انجام تست‌های فشار و برش بر اساس استانداردهای ASTMD 790-03 و DIN 53294 و با سرعت ۲۰ میلی متر بر دقیقه از دستگاه تست یونیورسال Zwick/Roell استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که اثر کاهش رطوبت بر برخی از خواص مکانیکی خلال‌های سیب زمینی مانند حداکثر نیروی لهیدگی، مدول برشی، مقاومت برشی، تغییر شکل برشی و حداکثر نیروی برش معنی‌دار داشته به طوری که با کاهش میزان رطوبت نیروی لهیدگی کاهش یافت و بیشترین و کمترین نیروی لهیدگی به ترتیب مربوط به رطوبت‌های ۸۰ و ۵۰ درصد به میزان ۱۹۳/۵ و ۱۱۱/۳ نیوتن می‌باشد. بیشترین و کمترین نیروی برش در سطوح رطوبتی ۶۰ و ۸۰ درصد با مقادیر ۸/۵۱ و ۳/۵۳ نیوتن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیب زمینی، خواص مکانیکی، فشار و برش، میزان رطوبت.

مقدمه

سیب‌زمینی یکی از اعضای خانواده سولاناسه یا تاجریزان با نام علمی Solanum tubersum و یکی از مهم‌ترین محصولات دنیا است که منشاء آن آمریکای جنوبی و سلسله کوه‌های آند از جنوب پرو تا شمال بولیوی را شامل می‌شود[Sepahi, 1984]. این گیاه دارای ساقه‌های زیرزمینی خوراکی بوده که حاوی اندوخته نشاسته فراوان می‌باشد و بیش از ۱۰۰ واریته دارد. این گیاه در محدوده عرض جغرافیائی ۶۵ درجه شمالی تا ۴۵ درجه عرض جنوبی و تا ارتفاع ۳۵۰۰ متری از سطح دریا کشت می شود .

سیب زمینی از نظر مقدار تولید، چهارمین محصول جهان پس از گندم، برنج و ذرت می‌باشد و تقریباً در تمام جهان کشت می شود. بر اساس گزارش Fao ، سطح زیر کشت سیب زمینی در جهان طی سال ۲۰۱۳ حدود۳۶۸۰۹۶ تن بوده است[FAO ,(2015)]. سیب زمینی در قرن هفدهم وارد ایران شده است. در حال حاضر، کشت سیب زمینی در اکثر نقاط کشور متداول بوده و بر اساس آمار Fao در سال۲۰۰۷، سطح زیر کشت سیب زمینی بین ۲۱۰ هزار هکتار است که سالانه بیش از ۵ میلیون تن سیب زمینی تولید می‌شود[FAOSTAT (2007),].

سیب زمینی حاوی مقدار زیادی بتاکاروتن، پروتئین، ویتامین ب۶ و ث است و به عنوان یکی از منابع اصلی تامین کربوهیدرات و نشاسته مطرح می باشد لذا با توجه به تقاضای فراوان، تحقیقات بسیاری برای بهبود شرایط کاشت، داشت، برداشت، فرآوری و نگهداری آن صورت گرفته است[Woolfe, 1992]. از غدد سیب زمینی به صورت مستقیم برای تهیه غذاهای مختلف در منزل و به صورت غیرمستقیم در صنعت برای تهیه چیپس و نشاسته ، خلال نیمه سرخ شده منجمد و الکل استفاده می شود. از غددی که فاقد قابلیت برای مصارف بذری، خانگی و یا صنعتی می باشند برای تغذیه دام استفاده می شوند.

خشک کردن یکی از روش های نگهداری مواد غذایی است[Maskan, 2000]. افزایش زمان ماندگاری، تولید محصول با وزن و حجم کمتر و عدم نیاز به سردخانه و کاهش هزینه حمل و نقل و بسته بندی از مزایای فرایند خشک کردن می‌باشد[فرجی هارمی، ۱۳۷۱].

یکی از روشهای نگهداری سیب زمینی، خلال نیمه سرخ شده منجمد است. میزان جذب روغن در محصولات سرخ کردنی بسیار حائز اهمیت است. روش‌های مؤثر در کاهش جذب روغن در سیب زمینی شامل : اعمال پیش تیمارهایی مثل خشک کردن مقدماتی، آنزیم زدایی، کاهش میزان رطوبت اولیه خلال‌ها و ایجاد پوشش در سطح خلال‌ها قبل از سرخ کردن می‌باشند [Krokida, *et al*., 2000; Mellema, 2003; Krokida, *et al*., 2001] .

در فرآیند تولید خلال نیمه سرخ شده منجمد[1]، عملیات‌هایی از جمله آنزیم‌زدایی[2]، خشک کردن، نیمه سرخ کردن و انجماد صورت می‌گیرد و برای مصرف بایستی سرخ کردن نهایی انجام شود [جعفریان، ۱۳۸۰] . پیش فرآوری (خشک کردن) جذب روغن را کاهش داده و ویژگی‌های ارگانولپتیک[3] محصول از جمله بافت، عطر و طعم را بهبود می‌بخشد [Agblor and Sconlon, 2000] . اگر عملیات‌های تهیه‌ی خلال طبق شرایط بهینه صورت گیرد کیفیت نهایی محصول نیز ارتقاء خواهد یافت. به عنوان مثال در عملیات خشک کردن با ایجاد یک ماتریکس (شبکه) سفت و خشک در اطراف خلال سیب زمینی به سبب کاهش رطوبت باعث کاهش میزان روغن جذب شده در مراحل سرخ کردن می‌شود.

در تحقیقی از فاضلی دانش در سال ۱۳۹۱، اثر پیش تیمار خشک کردن و افزایش گرانروی و اسیدیته روغن بر میزان جذب روغن توسط ورقه‌های سیب زمینی مورد مطالعه قرار داده شد که طبق نتایج آن، نمونه‌های با پیش تیمار خشک کردن رطوبت کمتری داشتند و میزان روغن کمتری نیز جذب نمودند [فاضلی دانش و بیچرانلو، ۱۳۹۱]. همچنین اثر رطوبت بر خواص مکانیکی روی محصولات متعددی از جمله شلتوک[نصری و غیره، ۱۳۹۲]، لوبیا قرمز[راسخ و سیاه منصور خورین]، پسته[صبوری و غیره، ۱۳۹۱] در تحقیقات مختلف بررسی شده است.

ارتقاع کیفی خلال‌های سیب زمینی از لحاظ میزان جذب روغن و حداکثر مجاز وزن بسته بندی خلال‌ها و نیز طراحی فرآیندها و ماشین‌های کشاورزی[روغنی‌پور و گل محمدی، ۱۳۹۱] مستلزم دانستن اطلاعاتی از خواص مکانیکی خلال‌های سیب زمینی است. همچنین دانستن خواص مکانیکی محصولات کشاورزی در روش ذخیره سازی مناسب و طراحی، اندازه گیری، تولید و راه اندازی تجهیزات مختلف مورد استفاده در برداشت و عملیات فرآوری این محصولات از اهمیت خاصی برخوردار است[Corrêa,et al., 2007]. برخی از مهم‌ترین خواص مکانیکی سیب زمینی شامل: حداکثر نیروی لهیدگی، مدول برشی، مقاومت برشی، تغییر شکل، مدول الاسیسیته، حداکثر نیروی برشی و کار انجام شده می‌باشد که در این پژوهش میزان این خواص در دو تست فشار (لهیدگی) و برش اندازه‌گیری شدند.

مواد و روش‌ها

[1] French Frize
[2] blanching
[3] Organoleptic

به منظور انجام آزمون‌ها، نمونه‌های سیب زمینی رقم پشندی، به‌صورت کاملا تصادفی تهیه گردید. نمونه‌ها ابتدا شستشو و پوست‌گیری و سپس با استفاده از دستگاه خلال کن، به ابعاد ۴۰mm× ۷×۷ خلال شدند. به منظور جلوگیری از فعالیت آنزیم‌ها و سیاه شدن خلال‌ها، نمونه‌ها به مدت ۳ دقیقه در آب با دمای ۹۴/۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (آنزیم زدایی) [حسینی و غیره ۱۳۹۲]. میزان رطوبت اولیه نمونه‌ها به روش وزنی اندازه‌گیری شد. برای دست‌یابی به سایر رطوبت‌های مورد نظر و از پیش تعیین شده، نمونه‌ها در فواصل زمانی معین توزین شده و رطوبت آنها محاسبه گردید. در این تحقیق برای انجام آزمایش‌های مورد نظر، چهار سطح رطوبتی ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد مورد توجه قرار گرفت و در چهار تکرار انجام گردید. لازم به ذکر است که در تمام مراحل تولید سیب زمینی نیمه سرخ شده منجمد از میزان رطوبت خلال‌های سیب‌زمینی کاسته شده بطوری‌که رطوبت خلال‌ها از ۸۰ درصد در نهایت به ۶۰ درصد می‌رسد بنابراین رنج رطوبت خلال‌های سیب زمینی در آزمون‌های فشار و برش در این محدوده در نظر گرفته شده است.

برای محاسبه درصد رطوبت اولیه نمونه‌ها بر مبنای تر از فرمول (۱) استفاده می‌شود[Diamante and Munro, 1991]:

$$M_w = \frac{W_W - W_d}{W_w} \quad (۱)$$

Mw: مقدار رطوبت اولیه بر مبنای تر

Ww: وزن نمونه تر

Wd: وزن نمونه خشک

برای تعیین رسیدن به رطوبت مورد نظر نمونه‌ها نیز، معادله (۲) به کار می‌رود[Diamante and Munro, 1991]:

$$Mi = \frac{W2-W1}{W1}(100\text{-}80) \quad (2)$$

Mi : میزان رطوبت نهایی هر نمونه

W1: وزن هر نمونه قبل از کاهش رطوبت

W2: وزن نمونه در هر بار خارج کردن از آون

80 % میانگین درصد رطوبت اولیه کل نمونه‌ها

آزمون‌های مورد بررسی:

برای انجام آزمون‌های فشار و برش بر اساس استانداردهای ASTMD 790-03 و DIN 53294 و با سرعت ۲۰ میلی متر بر دقیقه از دستگاه تست یونیورسال Zwick/Roell با لودسل ۵۰۰ نیوتن مطابق شکل (۱) استفاده گردید. در دو آزمون فشار و برش، نمونه‌ها در چهار سطح رطوبتی قرار دارند و هر سطح دارای چهار تکرار می‌باشد که در مجموع ۳۲ آزمون انجام می‌شود.

شکل (۱)

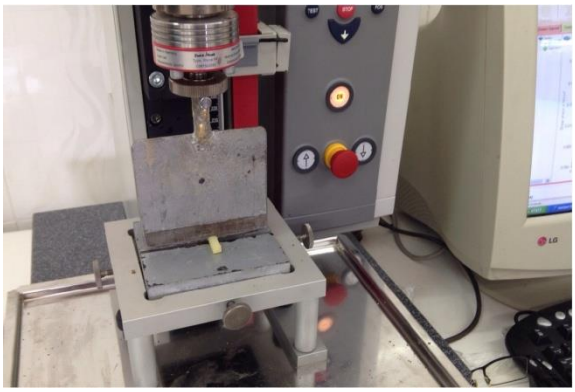
آزمون فشار(لهیدگی):

آزمایشات مربوط به تست فشار در چهار سطح رطوبتی ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد بر مبنای تر در قالب طرح کاملا تصادفی در چهار تکرار برای هر سطح صورت می‌گیرد که در مجموع برای تست فشار ۱۶ آزمون انجام می‌گیرد. برای انجام آزمون فشار از پراب مخصوص شکل (۲) استفاده می‌شود. با استفاده از آزمون فشار مقادیر مدول الاسیسیته، نیروی لهیدگی، تغییر شکل و کار انجام شده محاسبه گردید.

شکل(۲): آزمون فشار

آزمون برش:

آزمایشات مربوط به آزمون برش در ۴ سطح رطوبتی ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد بر مبنای تر در قالب طرح کاملا تصادفی در چهار تکرار برای هر سطح صورت می‌گیرد که در مجموع برای تست برش ۱۶ آزمون انجام می‌گیرد. نمونه های تست برش با تیغه لبه صاف و زاویه تیغه ۳۰ درجه و به ضخامت ۱/۴ میلی متر مورد آزمون قرار گرفتند شکل (۳). با استفاده از آزمون فشار مقادیر مدول برشی، نیروی برش، تغییر شکل و مقاومت برشی محاسبه گردید.



شکل (۳) آزمون برش

تجزیه و تحلیل آماری

تأثیر میزان کاهش رطوبت بر مدول الاسیسیته (Gpa) در آزمون فشار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول(۱) آورده شده است. طبق جدول مشاهده می گردد که کاهش رطوبت اثر معنی داری بر میزان مدول الاسیسیته ندارد. معادله میزان رطوبت بر حسب مدول الاسیسیته در شکل (۴) آورده شده است.

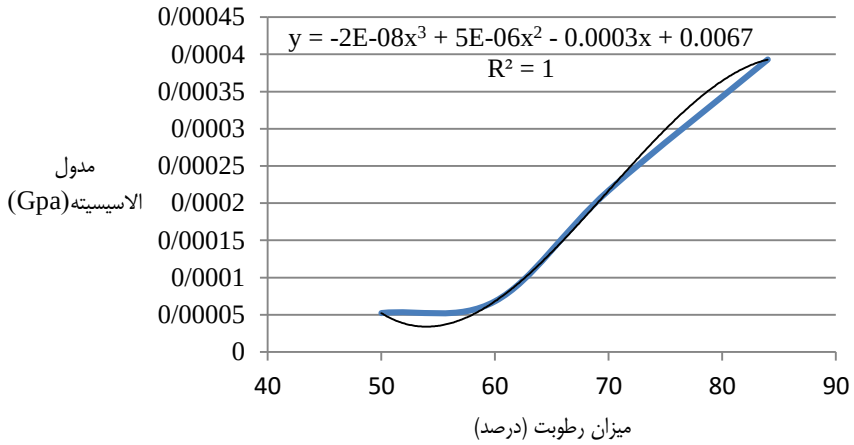
جدول ۱: تجزیه واریانس اثر کاهش رطوبت بر مدول الاسیسیته (Gpa) در آزمون فشار (لهیدگی)

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سطح رطوبتی	3	303636	101212	$\mathbf{2.25^{ns}}$
خطا	12	540889.56	45074.13	
مجموع	15	844525.55		

ns: عدم معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪

* : معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪

شکل(۴): تأثیر میزان رطوبت بر مدول الاسیسیته (Gpa) در آزمون فشار



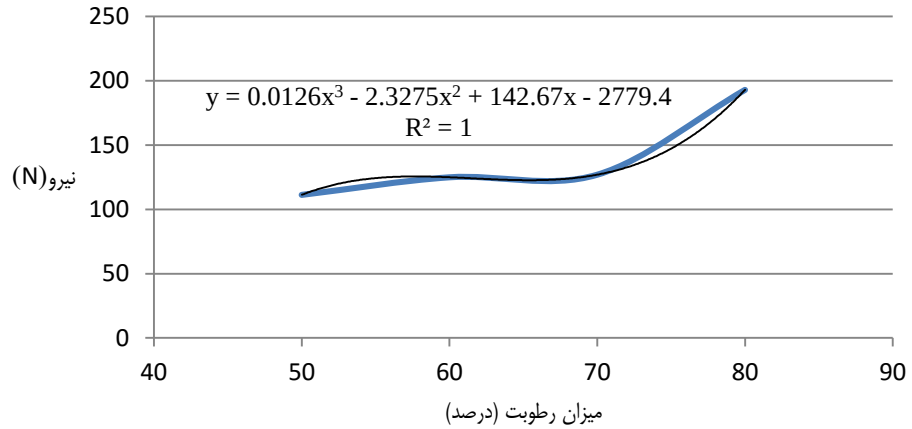
تأثیر میزان کاهش رطوبت بر حداکثر نیرو (N) در آزمون فشار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است. طبق جدول مشاهده می گردد که اثر کاهش رطوبت اثر معنی داری بر میزان حداکثر نیرو دارد.

جدول (۲): تجزیه واریانس اثر کاهش رطوبت بر حداکثر نیرو(N) در آزمون فشار (لهیدگی)

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سطح رطوبتی	3	16312.36	5437.45	**6.12***
خطا	12	10661.88	888.5	
مجموع	15	26974.25		

معادله میزان رطوبت بر حسب حداکثر نیرو در شکل (۲) آورده شده است. طبق این نمودار اختلاف معنا داری بر میزان حداکثر نیرو در سطوح رطوبتی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد وجود ندارد اما برای رطوبت‌های بیشتر از ۷۰ درصد، حداکثر نیرو روند افزایشی دارد. با کاهش میزان رطوبت، نیروی لهیدگی نیز کاهش پیدا می‌کند. طبق شکل ۵ بین تغییرات میزان رطوبت با نیرو معادله‌ای به صورت $y = 0.0126x^3 - 2.3275x^2 + 142.67x - 2779.4$ با در نظر گرفتن $R^2 = 1$ برقرار است.

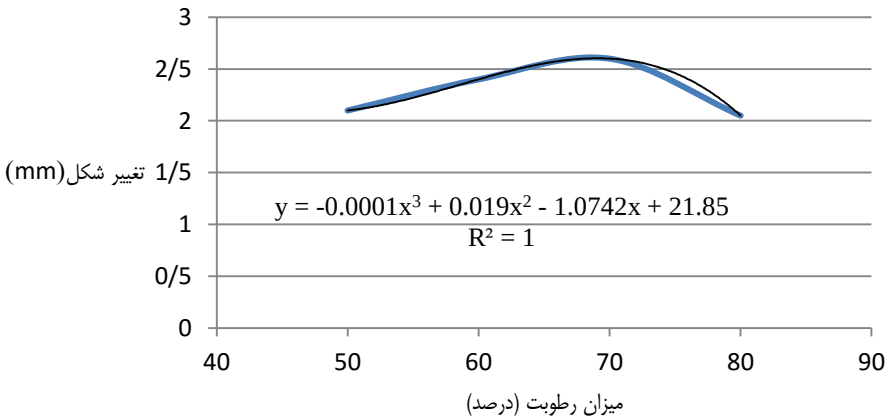
شکل (۵): تأثیر میزان رطوبت بر حداکثر نیرو در آزمون فشار



تأثیر میزان کاهش رطوبت بر تغییر شکل در آزمون فشار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۳) آورده شده است. طبق جدول مشاهده می گردد که کاهش رطوبت اثر معنا داری بر میزان تغییر شکل خلال ندارد. معادله میزان رطوبت بر حسب تغییر شکل در شکل (۶) آورده شده است.

جدول (۳): تجزیه واریانس اثر کاهش رطوبت بر تغییر شکل(mm) در آزمون فشار (لهیدگی)

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سطح رطوبتی	3	0.895	0.23	$\mathbf{2.3^{ns}}$
خطا	12	1.2	0.1	
مجموع	15	2.1		

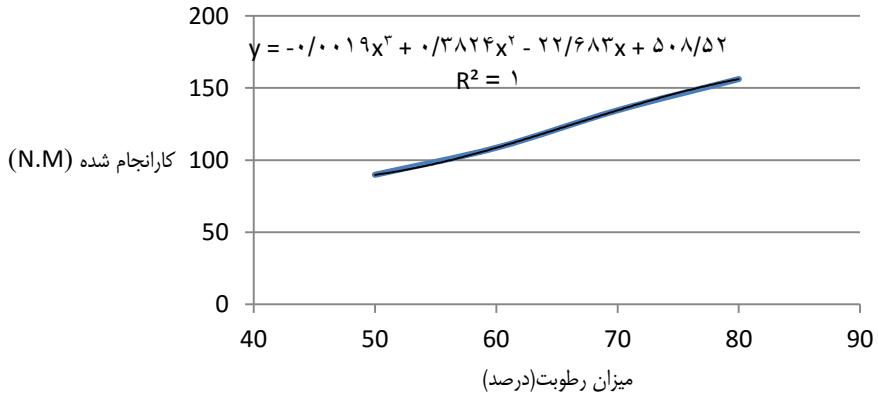


شکل (۶): تأثیر میزان رطوبت بر تغییر شکل در آزمون فشار

تأثیر میزان کاهش رطوبت بر کار انجام شده در آزمون فشار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است. طبق جدول مشاهده می گردد که کاهش رطوبت اثر معنا داری بر میزان کار انجام شده ندارد. معادله میزان رطوبت بر حسب کار انجام شده در شکل ۷ آورده شده است.

جدول (۴): تجزیه واریانس اثر کاهش رطوبت بر کار انجام شده(N.M) در آزمون فشار (لهیدگی)

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سطح رطوبتی	3	10158.22	3386.07	$\mathbf{1.86}^{ns}$
خطا	12	21797.83	1816.48	
مجموع	15	31956.05		

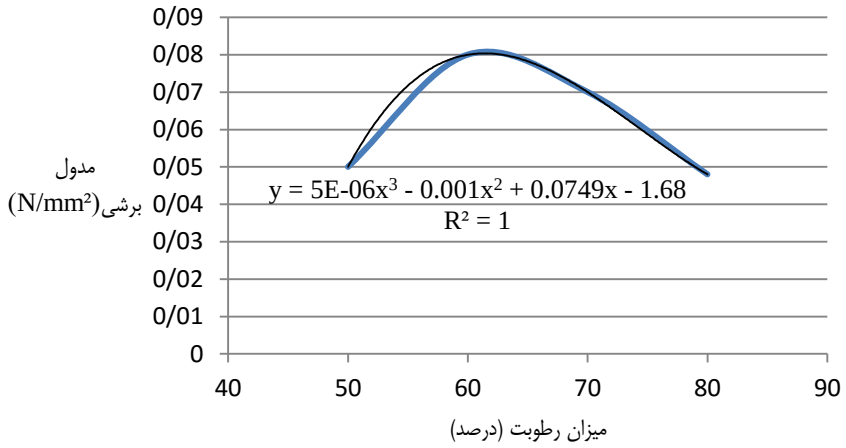


شکل (۷): تأثیر میزان رطوبت بر کار انجام شده در آزمون فشار

تأثیر میزان کاهش رطوبت بر مدول برشی در آزمون برش مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. طبق جدول مشاهده می‌گردد که کاهش رطوبت اثر معنا داری بر میزان مدول برشی دارد. معادله میزان رطوبت بر حسب مدول برشی درشکل ۸ آورده شده است. طبق شکل ۵ بین تغییرات میزان رطوبت با مدول برشی با در نظر گرفتن $R^2 = 1$ معادله‌ای به صورت $y = 5E\text{-}06x^3 - 0.001x^2 + 0.0749x - 1.68$ برقرار است.

جدول (۵): تجزیه واریانس اثر کاهش رطوبت بر مدول برشی(N/mm^2) درآزمون برش

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سطح رطوبتی	3	0.00264	0.00088	**3.66***
خطا	12	0.00289	0.00024	
مجموع	15	0.00553		



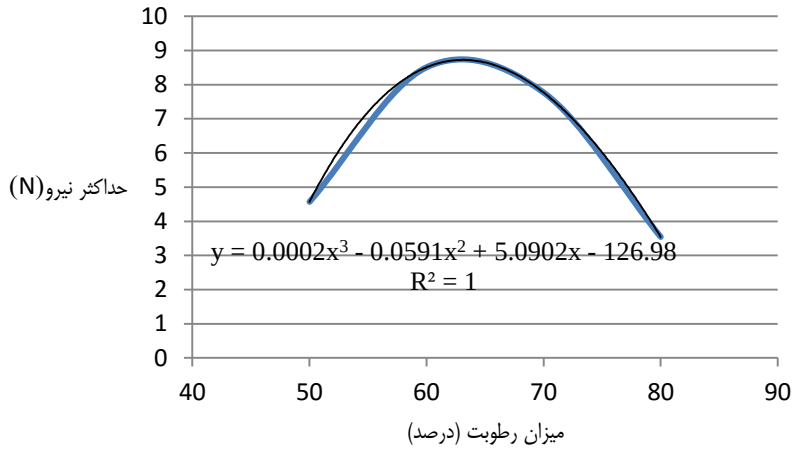
شکل (۸): تأثیر میزان رطوبت بر مدول برشی در آزمون برش

تأثیر میزان کاهش رطوبت بر حداکثر نیروی برش در آزمون برش مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۶) آورده شده است. طبق جدول مشاهده می گردد که کاهش رطوبت اثر معنا داری بر میزان حداکثر نیروی برش دارد. معادله میزان رطوبت بر حسب حداکثر نیروی برش در شکل (۶) آورده شده است. طبق شکل ۹ بین تغییرات میزان رطوبت با حداکثر نیروی برشی با در نظر گرفتن $R^2 = 1$ معادله‌ای به صورت $y = 0.0002x^3 - 0.0591x^2 + 5.0902x - 126.98$ برقرار است.

جدول (۶): تجزیه واریانس اثر کاهش رطوبت بر حداکثر نیرو (N) در آزمون برش

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سطح رطوبتی	3	70.06	23.35	**5.7***
خطا	12	49.3	0.00024	

مجموع	15	119.35	

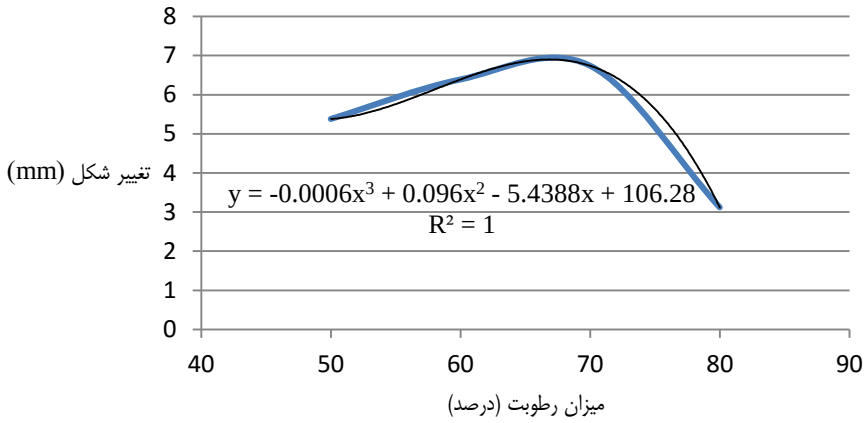


شکل (۹): تأثیر میزان رطوبت بر حداکثر نیروی برش در آزمون برش

تأثیر میزان کاهش رطوبت بر تغییر شکل در آزمون برش مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۷) آورده شده است. طبق جدول مشاهده می گردد که کاهش رطوبت اثر معنا داری بر میزان تغییر شکل دارد. معادله میزان رطوبت بر حسب تغییر شکل در شکل (۷) آورده شده است. طبق شکل ۱۰ بین تغییرات میزان رطوبت با تغییر شکل با در نظر گرفتن $R^2 = 1$ معادله‌ای به صورت $y = -0.0006x^3 + 0.096x^2 - 5.4388x + 106.28$ برقرار است.

جدول (۷): تجزیه واریانس اثر کاهش رطوبت بر تغییر شکل (mm) در آزمون برش

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سطح رطوبتی	3	31.9	10.64	**19.8***
خطا	12	6.45	0.54	
مجموع	15	38.36		

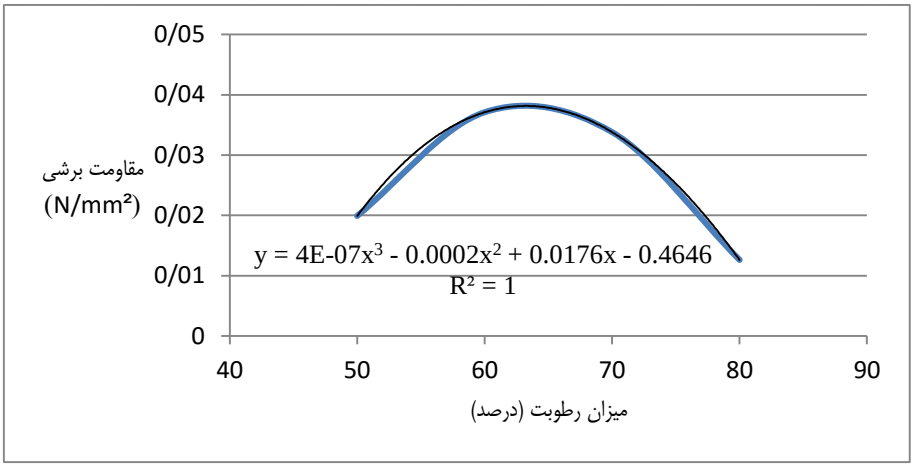


شکل (۱۰): تأثیر میزان رطوبت بر تغییر شکل در آزمون برش

تأثیر میزان کاهش رطوبت بر مقاومت برشی در آزمون برش مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۸) آورده شده است. طبق جدول مشاهده می گردد که کاهش رطوبت اثر معنا داری بر میزان مقاومت برشی دارد. معادله میزان رطوبت بر حسب مقاومت برشی درشکل (۱۱) آورده شده است. . طبق شکل ۸ بین تغییرات میزان رطوبت با مقاومت برشی با در نظر گرفتن $R^2 = 1$ معادله‌ای به صورت $y = 4E\text{-}07x^3 - 0.0002x^2 + 0.0176x - 0.4646$ برقرار است.

جدول (۸): تجزیه واریانس اثر کاهش رطوبت بر مقاومت برشی (N/mm^2) در آزمون برش

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سطح رطوبتی	3	0.0016	0.00053	**6.99***
خطا	12	0.00092	0.00008	
مجموع	15	0.00252		



شکل (۱۱): تأثیر میزان کاهش رطوبت بر مقاومت برشی در آزمون برش

به منظور مقایسه بین میانگین‌ها، نتایج آزمون چند دامنه‌ای دانکن (LSR) در جدول (۹) استفاده شده است.

جدول ۹ – نتایج مقایسه بین میانگین‌ها به روش دانکن

نوع خواص مکانیکی	مقادیر خواص مکانیکی در سطوح تیمار(۴ سطح رطوبت)			
	84	70	60	50
حداکثر نیروی لهیدگی N	193.5[a]	127[b]	125[b]	111.3[b]
مدول برشی N/m^2	0.048[b]	0.07[ab]	0.078[a]	0.052[b]
مقاومت برشی N/m^2	0.013[b]	0.034[a]	0.037[a]	0.012[b]
تغییر شکل برشی mm	3.12[c]	6.73[a]	6.39[ab]	5.38[b]
حداکثر نیروی برش N	3.53[b]	7.76[a]	8.51[a]	4.56[b]

حروف مشترک فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر در سطح احتمال ۵٪ هستند(حروف در هر ردیف با هم مقایسه می‌شوند).

نتیجه گیری و بحث

بررسی مشخصات مکانیکی خلال‌های سیب زمینی به منظور افزایش کیفیت محصول از لحاظ میزان جذب روغن و حداکثر مجاز وزن بسته بندی حائز اهمیت است. لذا در این پژوهش طی اجرای دو آزمون فشار و برش، نتایج برخی خواص مکانیکی خلال‌های سیب زمینی به شرح زیر حاصل گردید:

در آزمون فشار (لهیدگی) اثر عامل کاهش رطوبت در سطح ۵٪ تنها بر مقدار حداکثر نیروی لهیدگی به صورت معنی‌دار است. میزان حداکثر نیرو در سطوح رطوبتی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد اختلاف معنا داری وجود ندارد اما برای رطوبت‌های بیشتر از ۷۰ درصد، روند افزایشی دارد. با کاهش میزان رطوبت، نیروی لهیدگی نیز کاهش پیدا می‌کند. مقدار ماکزیمم و مینیمم نیرو با مقادیر ۱۹۳/۵ و ۱۱۱/۳ نیوتن به ترتیب مربوط به رطوبت ۸۰ و ۵۰ درصد است.

در تست برش اثر عامل کاهش رطوبت در سطح ۵٪ بر تمام مقادیر مدول برشی حداکثر نیروی برشی، تغییر شکل و مقاومت برشی به صورت معنی‌دار است. بیشترین و کمترین مقدار مدول برشی به ترتیب مربوط به رطوبت‌های ۶۰ و ۸۰ درصد به میزان ۰/۰۷۸ و ۰/۰۴۸ است. در مقاومت برشی بین رطوبت‌های ۸۰ و ۵۰ درصد و نیز بین رطوبت‌های ۶۰ و ۷۰ درصد با هم تفاوتی مشاهده نشد. کمترین مقدار مربوط به رطوبت ۵۰ درصد به میزان ۰/۰۱۲ و بیشترین مقدار برای رطوبت ۶۰ درصد با مقدار ۰/۰۳۷ است. بیشترین و کمترین میزان تغییر شکل در تست برش مربوط به رطوبت ۷۰ و ۸۰ درصد با مقادیر ۶/۷۳ و ۳/۱۲ می‌باشد. بیشترین و کمترین نیروی برش در سطوح رطوبتی ۶۰ و ۸۰ درصد با مقادیر ۸/۵۱ و ۳/۵۳ می‌باشد.

پیش بینی می‌شود کاهش رطوبت با ایجاد یک ماتریکس (شبکه) سفت و خشک در اطراف خلال سیب زمینی باعث کاهش میزان روغن جذب شده در مراحل سرخ کردن می‌شود. همچنین این کاهش رطوبت باعث افزایش سرعت سرخ کردن و افزایش سرعت انجماد در فرآیند فرنچ فرایز و در نتیجه کاهش مصرف انرژی می‌شود. نیروی لهیدگی در تست فشار با کاهش رطوبت، کاهش می‌یابد و این نتیجه می‌تواند در نحوه و میزان بسته بندی و نیز حمل و نقل خلال‌های سیب زمینی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

جعفریان، س. ۱۳۸۰. "تاثیر حرارت دهی مقدماتی سیب زمینی و استفاده از برخی هیدروکلوئیدها در کاهش جذب روغن و کیفیت فرنچ فرایز نیمه سرخ شده منجمد" .پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان صفحه ۹۱.

راسخ، م. سیاه منصور خورین، ی. " بررسی اثر محتوای رطوبتی بر رفتار مکانیکی و خواص آیرودینامیکی یک رقم لوبیا قرمز متداول ایرانی". اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های کشاورزی.

روغنی‌پور، ل. گل محمدی، ع. ۱۳۹۱ ." اثر رطوبت، سرعت و جهت بارگذاری بر روی خواص مکانیکی دانه نخود" . هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه شیراز.

فاضلی دانش، آ. بیچرانلو، ل.۱۳۹۱. "بررسی اثر رطوبت ورقه های سیب زمینی بر میزان جذب روغن و گذشت زمان بر اسیدیته و گرانوی روغن". چهاردهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

فرجی هارمی، ر . ۱۳۷۱ . "اصول نگهداری مواد غذایی" . چاپ اول، انتشارات دانشگاه شیراز، صفحه ۲۸۰.

صبوری، پ. گل محمدی، ع. مصری گندشمین، ت. ۱۳۹۱. "بررسی اثر رطوبت بر برخی خواص مکانیکی سه رقم پسته" هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه شیراز.

حسینی، م. گلمکانی، م. اسدی، س. ۱۳۹۲."تولید خلال سیب زمینی پیش سرخ شده و محصولات سیب‌زمینی پیش فرم داده شده و بررسی جذب روغن در آن" بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی ایران. دانشگاه شیراز.

نصری، م. همت، ع. زارعان، م.حاجی صادقیان، آ. ۱۳۹۲. " تاثیر رطوبت و سرعت بارگذاری بر خواص مکانیکی شلتوک تحت آزمون خمش سه نقطه ای" . هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. دانشگاه فردوسی مشهد.

Agblor A., Sconlon M. 2000. Processing Conditions Influencing the Physical Properties Of French Fried Potatoes. *American Journal of Potato Research*.43:163-178

Corrêa, P. C., F. Schwanz da Silva, C. Jaren, P. CAfonso Junior and I. Arana.
. 2007. Physical and mechanical properties in rice processing. Journal of Food Engineering ۷۹:
۱۳۷-۱٤۲.

Diamante, L.M. and Munro, P.A. 1991. Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato lices. Solar Energy, 51: 271–276.

FAO (2015), Statistical pocketbook world food and agriculcure. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAOSTAT (2007), Food and Agriculture Organization of the United Nations

Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. 2000. Water loss and oil uptake as a function of frying time. Journal of Food Engineering, 44: 39-46.

Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D. 2001. Effect of pre-drying on quality of french fries. Journal of Food Engineering, 49: 347-354.

16- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering., 44: 71-78

Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. Trends in Food Science and Technology, 14: 364-373. 17. Moyano, P.C., Rioseco, V.K., and Gonzalez, P.A. 2002. Kinetics of crust color changes during

Sepahi, A., 1984. Potato production with true seed(translated). Esfahan University Press. p 29.

Woolfe, J. A. 1992. Sweet potato- an untapped food resource. Published in collaboration with the international potato center, Peru. Cambridge university press, Cambridge, UK. Pp: 643.