



مقایسه اثر پوشش پروتئینی ایزوله سویا و پوشش‌های پلی‌ساکاریدی آلزینات سدیم و کلسیم بر میزان

جذب روغن برش‌های بادمجان در طول فرایند سرخ کردن

فرود باقری^{۱*}، صدیقه امیری^{۲*}، محسن رادی^{۲*}

۱ گروه علوم و صنایع غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.

۲ گروه کشاورزی پایدار و امنیت غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

در طی سال‌های اخیر، تقاضا برای مصرف محصولات غذایی سرخ‌شده کم‌چرب افزایش یافته است. به‌همین دلیل، در این بررسی اثر پیش‌تیمارهای مختلف شامل پوشش‌دهی قطعات بادمجان با آلزینات سدیم (۰/۵۰ و ۱/۰۰ درصد)، آلزینات کلسیم (۰/۵۰ و ۱/۰۰ درصد) و پروتئین ایزوله سویا (۴/۰۰ و ۵/۰۰ درصد) بر میزان جذب روغن و ویژگی‌های کیفی بادمجان سرخ شده در زمان‌های مختلف سرخ کردن (۰، ۹۰، ۱۸۰، ۲۰۰ و ۳۶۰ ثانیه) در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نمونه‌های پیش‌تیمار شده با هیدروکلوئیدها نسبت به نمونه کنترل، مقدار افت رطوبت و میزان جذب روغن کمتری داشتند که از این نظر از بین هیدروکلوئیدها، آلزینات کلسیم (۱ درصد) با مقدار افت رطوبت ۱۶/۶۶ درصد و مقدار جذب روغن (گرم/گرم) ۰/۱۱، بهترین عملکرد و پروتئین ایزوله سویا (۵/۰۰ درصد) با مقدار افت رطوبت ۳۳/۶۶ درصد و مقدار جذب روغن (گرم/گرم) ۰/۲۶، ضعیف‌ترین کارکرد را داشت. با افزایش زمان سرخ کردن، محتوای رطوبت نمونه‌های سرخ شده کاهش یافت. بیشترین و کمترین میزان پوشش‌دهی به ترتیب مربوط به نمونه‌های پیش‌تیمار شده با پروتئین ایزوله سویا ۱ درصد (۳۳/۱۴ درصد) و آلزینات سدیم ۰/۵ و ۱ درصد (۱۱/۳۲ درصد) بودند. هم‌چنین، راندمان سرخ کردن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آلزینات کلسیم بیشتر از سایر تیمارها بود که در این رابطه، زمان ۹۰ ثانیه بالاترین مقدار (۹۳/۱۲ درصد) را نشان داد و کمترین راندمان مربوط به نمونه‌ی کنترل در زمان ۳۶۰ ثانیه (۴۹/۵۱ درصد) بود. مقدار شاخص L^* در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با پروتئین ایزوله سویا نسبت به سایر نمونه‌ها کمتر بود که می‌تواند به دلیل افزایش نرخ واکنش میلارد باشد. نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آلزینات کلسیم و سدیم در زمان ۹۰ ثانیه بیشترین امتیاز پارامترهای حسی را کسب کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پوشش آلزینات کلسیم (۱ درصد) می‌تواند منجر به تولید بادمجان سرخ شده کم‌چرب بدون تأثیر نامطلوب بر خواص حسی و کیفی محصول شود.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱

کلمات کلیدی:

آلزینات سدیم،

آلزینات کلسیم،

بادمجان،

پروتئین ایزوله سویا،

سرخ کردن.

DOI: 10.52547/fsct.19.122.83

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.122.15.8

* مسئول مکاتبات:

s.amiri@iauyasooj.ac.ir

m.radi@iauyasooj.ac.ir

۱- مقدمه

تشکیل می‌شود که منجر به کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش جذب روغن می‌گردد [۱ و ۴].

در این راستا تحقیقات فراوانی صورت گرفته است؛ به‌عنوان مثال آزادفر و همکاران (۲۰۱۶) تاثیر دو هیدروکلونید پکتین^۵ (۲٪ و ۴٪) و کربوکسی‌متیل سلولز^۶ (۲٪ و ۴٪) را بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی بادمجان سرخ‌شده در دمای ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس بررسی کردند و نتایج بررسی این محققین نشان داد که نوع پیش‌ تیمار بر مقدار رطوبت، جذب روغن، تغییرات نسبی جذب روغن، راندمان سرخ‌کردن و درصد پوشش‌دهی برش‌های بادمجان بعد از سرخ کردن تاثیر معنی‌دار دارد؛ هم‌چنین بیشینه‌ی مقدار راندمان سرخ‌کردن در برش‌های سرخ شده در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس مشاهده شد [۱۴]. جرجانی و همکاران (۲۰۱۵) تاثیر هیدروکلونیدهای گوار^۷ و زانتان^۸ را بر کاهش جذب روغن بادمجان طی فرایند سرخ‌کردن بررسی کردند که نتایج نشان داد پوشش‌دهی بادمجان با مواد هیدروکلونیدی باعث کاهش جذب روغن گردید که بیشینه‌ی مقدار کاهش چربی به ترتیب در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با زانتان ۱ و ۰/۵ درصد و کمینه‌ی مقدار کاهش چربی در گوار ۰/۵ درصد مشاهده شد؛ هم‌چنین نمونه‌های پوشش‌دهی شده در مقایسه با نمونه‌ی شاهد دارای میزان رطوبت بالاتری بودند که به خاصیت ممانعت‌کنندگی صمغ‌ها نسبت داده شد [۶]. اجاق و همکاران (۲۰۱۶) تاثیر هیدروکلونیدهای کربوکسی‌متیل سلولز، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز^۹ و زانتان را در مقادیر ۰/۵۰، ۱/۰۰ و ۱/۵۰ درصد بر میزان جذب روغن میگوی سرخ‌شده بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پوشش‌های هیدروکلونیدی منجر به کاهش جذب روغن و افزایش میزان رطوبت می‌گردد. هم‌چنین، پوشش‌های هیدروکلونیدی منجر به نرم شدن بافت و کدر شدن رنگ میگوها گردید. در همین راستا، نتایج ارزیابی حسی نشان داد که همه نمونه‌ها قابل قبول بودند و به‌طور کلی نمونه‌های پوشش‌دهی شده با کربوکسی‌متیل سلولز در غلظت ۱ درصد بیشترین پذیرش کلی را داشتند [۵]. خزاعی و همکاران (۲۰۱۶) تاثیر صمغ دانه

بادمجان (با نام علمی سولانوم ملونگنا^۱) گیاهی است از خانواده سولاناسه^۲ و جنس سولانوم^۳ که خاستگاه آن آسیای جنوب شرقی می‌باشد و استفاده از آن به‌صورت سرخ‌شده مورد توجه مصرف کنندگان بسیاری است. یکی از روش‌های تهیه و مصرف بادمجان به شکل سرخ کردن عمیق می‌باشد. سرخ کردن عمیق یک روش رایج برای تهیه‌ی سریع مواد غذایی است که در این فرایند انتقال جرم و حرارت به‌طور هم‌زمان صورت می‌گیرد، به گونه‌ای که با انتقال گرمای روغن به ماده‌ی غذایی در حال سرخ شدن، رطوبت آن خارج و روغن جایگزین آن می‌شود و به همین دلیل فرایند سرخ‌کردن در روغن داغ با دمای ۱۶۰-۱۸۰ درجه سلسیوس نوعی فرایند خشک‌کردن سریع محسوب می‌شود [۱]. بنابراین سرخ کردن بادمجان منجر به جذب روغن بسیاری می‌شود که از جنبه توصیه‌های سلامتی بخش مبنی بر مصرف غذاهای کم‌چرب و کم‌کالری، امکان ایجاد بیماری‌های قلبی-عروقی و نیز از نظر اقتصادی مناسب نمی‌باشد و بنابراین نیاز است که با استفاده از راه‌کارهایی میزان جذب روغن را کاهش داد، ضمن این‌که کیفیت محصول آسیب نبیند [۲، ۳ و ۴]. روش‌های مختلفی برای کاهش جذب روغن ارائه شده است که پوشش‌دهی، تیمار اسمزی، خشک کردن به کمک هوا و بلانچینگ^۴ برخی از این روش‌ها می‌باشند [۵]. هیدروکلونیدها گروهی از پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها می‌باشند که عملکرد مثبت آن‌ها در زمینه‌های مختلف (مانند افزایش ویسکوزیته در محلول‌های آبی، پایداری کف‌ها و امولسیون‌ها، پوشش‌دهی میوه‌جات، شرکت در ساخت میکروامولسیون-نانوکپسول‌های غذایی، و ایجاد حالت خامه‌ای و چربی در محصولات) که چربی آن‌ها کاهش یافته است) باعث استفاده فراوان آن‌ها در صنایع غذایی شده است [۶-۱۳]. پوشش‌دهی با استفاده از هیدروکلونیدها یک روش متداول در کاهش جذب روغن است؛ زیرا با پوشانیدن سطح ماده غذایی لایه‌ای یک‌شکل و یکنواخت در اطراف ماده‌ی غذایی

5. Pectin
6. Hydroxypropyl methyl cellulose
7. Guar
8. Xanthan
9. Hydroxypropyl methyl cellulose

1. *Solanum melongena*
2. *Solanaceae*
3. *Solanum*
4. Blanching

توانست به‌طور معنی‌داری میزان جذب روغن را در چپس‌های سیب‌زمینی سرخ شده کاهش دهد و به این ترتیب میزان تولید آکریل‌آمید را به میزان ۷۹/۵۹ درصد کاهش دهد [۲۱]. هم‌چنین، جوکار و همکاران (۲۰۰۶) از پکتین، آلژینات سدیم و کربوکسی‌متیل سلولز در تولید آزمایشگاهی چپس سیب‌زمینی کم‌چرب استفاده کردند [۲۲]. این درحالی است که عملکرد آلژینات کلسیم در کاهش جذب روغن تاکنون بررسی نشده است؛ به‌این ترتیب در این تحقیق از آلژینات کلسیم استفاده گردید و عملکرد آن با آلژینات سدیم مقایسه شد.

ایزوله پروتئین سویا، هیدروکلوئید دیگری است که جنس پروتئینی دارد و حداقل ۹۰ درصد آن از پروتئین تشکیل شده است؛ این ترکیب از کنجاله سویا و با حذف چربی و کربوهیدرات‌ها استحصال می‌شود؛ استفاده از ایزوله سویا در صنایع غذایی به دلیل بالا بردن محتوای پروتئین محصول و هم‌چنین خصوصیات چون جذب بالای آب و خواص امولسیفایری مطلوب، صورت می‌گیرد؛ این محصول فاقد مزه و طعم می‌باشد و به‌راحتی در صنایع غذایی استفاده می‌گردد. پوشش‌های پروتئینی، تاکنون به‌منظور کاهش جذب روغن کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند، این در حالی است که بررسی‌ها نشان می‌دهد که فیلم‌های پروتئین آب پنیر خاصیت ممانعتی در برابر روغن، اکسیژن و مواد آروماتیک را به‌صورت عالی و خیلی بهتر از فیلم‌های خوراکی لیپیدی و یا پلی‌ساکاریدی، دارا هستند [۲۳]. عجم و همکاران (۲۰۱۶) اثربخشی ایزوله پروتئینی سویا را در کاهش جذب روغن دونات نشان دادند [۲۴]. در تحقیقات انجام شده تاکنون عملکرد پوشش‌های پلی‌ساکاریدی و پروتئینی با همدیگر مقایسه نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش، مقایسه اثر پوشش پروتئینی ایزوله سویا (۴ و ۵٪) به‌عنوان یک پوشش پروتئینی با پوشش پلی‌ساکاریدی آلژینات سدیم و کلسیم (۵/۰٪ و ۱٪) بر میزان پوشش‌دهی، جذب روغن، خروج رطوبت و راندمان سرخ کردن برش‌های بادمجان طی فرایند سرخ کردن بود.

ریحان^۱ و تیمول^۲ را بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی میگوی سرخ شده بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پوشش‌دهی میگو منجر به کاهش ۳۴/۵۰ درصد جذب روغن و ۱۳/۹۰ درصد خروج رطوبت گردید. هم‌چنین نمونه‌ی پوشش داده شده با ۱۰ درصد تیمول کمترین میزان اکسیداسیون چربی را داشت و نمونه‌های پوشش داده شده در کل، نسبت به نمونه کنترل سفتی کمتری داشتند [۱۵]. موسی (۲۰۱۸) میزان آکریل‌آمید تولید شده در حین فرایند سرخ کردن و هم‌چنین میزان جذب روغن را در میگوی پوشش داده شده با صمغ عربی^۳ حاوی چند ادویه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در نمونه‌های پوشش داده به‌طور قابل توجهی میزان جذب روغن کاهش یافته بود. این محققین هم‌چنین اظهار داشتند که استفاده از ترکیب چند ادویه در ترکیب با صمغ عربی به‌میزان زیادی منجر به کاهش آکریل‌آمید می‌شود؛ هم‌چنین پوشش با صمغ عربی پذیرش کلی محصول را حفظ کرد [۱۶].

آلژینات یک پلی‌ساکارید خطی محلول در آب است که به‌دلیل زیست تخریب پذیری، غیرسمی بودن و قیمت ارزان، در فرایندهای غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آلژینات سدیم نمک آلژینیک اسید است که از جلبک قهوه‌ای استخراج می‌شود و هم‌چنین توسط میکروارگانیسم‌ها قابلیت تولید دارد [۱۷ و ۱۸]. زمانی که یون‌های دو و چندظرفیتی و به‌طور معمول Ca^{2+} با انتهای گلوکورونیک‌اسید آلژینات تعامل برقرار می‌کنند، منجر به تشکیل یک شبکه سه‌بعدی می‌شوند که به‌دنبال آن حلالیت فیلم تشکیل شده کاهش می‌یابد [۱۹ و ۲۰]. با توجه به خصوصیات ویژه آلژینات، در این تحقیق تصمیم گرفته شد که از آلژینات کلسیم برای پوشش‌دهی بادمجان و بررسی تاثیر آن در کاهش جذب روغن در بادمجان استفاده شود. آلژینات پلی‌ساکاریدی است که علی‌رغم خصوصیات بیان شده برای آن، کمتر برای پوشش‌دهی به منظور کاهش جذب روغن مورد توجه قرار گرفته است. در معدود تحقیقات یافت شده توسط نویسندگان، لیو و همکاران (۲۰۲۰) اظهار داشتند که استفاده از آلژینات سدیم

1. Basil seed gum
2. Thymol
3. Arabic gum

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

بادمجان‌های تازه، رسیده و سالم از یک تولید کننده محلی در شهر یاسوج خریداری و به منظور کاهش فعالیت‌های تنفسی و بیولوژیکی در دمای 1 ± 4 درجه سلسیوس نگهداری شدند. روغن مایع مخصوص سرخ‌کردنی آفتابگردان ساخت شرکت بهار (تهران، ایران) از فروشگاه‌های در شهر یاسوج تهیه شد. آلزینات سدیم و کلرید کلسیم از شرکت سیگما آلدریچ و پروتئین ایزوله سویا از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

۲-۲- آماده سازی نمونه

بادمجان‌ها پس از خروج از یخچال، ابتدا غربال و سپس نمونه‌های بادمجان با پوست براق و ارغوانی تیره و دارای اندازه یکنواخت جهت آزمایش‌ها انتخاب شدند. نمونه‌های منتخب شستشو و مواد خارجی روی پوست بادمجان‌ها جدا شدند. سپس بادمجان‌ها توسط یک چاقوی تیز پوست‌گیری شدند و در ادامه، توسط دستگاه برش‌زن صنعتی، بادمجان‌ها به برش‌های حلقوی با ضخامت ۵ میلی‌متر و میانگین قطر خارجی ۳۰ میلی‌متر تقسیم شدند. جهت یکسان‌تر بودن برش‌ها، قطر و ضخامت برش‌ها توسط کولیس (Vertex M502, Taiwan) کنترل شد [۲۵].

۲-۳- روش تهیه‌ی محلول‌های آلزینات سدیم و

کلسیم و پوشش دهی قطعات بادمجان

برای تولید محلول پوشش خوراکی آلزینات سدیم از روش باقری و همکاران (۲۰۱۹) با کمی تغییر استفاده شد [۱۷]. برای این منظور، محلول ۰/۵ و ۱ درصد (وزنی/حجمی) آلزینات سدیم در دمای ۷۰ درجه سلسیوس با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه توسط دستگاه هموژنایزر (آیکا مدل T18B، آلمان) هم‌زده شد تا محلولی شفاف به دست آید. برای تهیه محلول آلزینات کلسیم ۰/۵ و ۱ درصد، کلرید کلسیم به نسبت ۱ به ۰/۰۵ به آلزینات سدیم اضافه گردید. بعد از تهیه محلول‌های آلزینات سدیم و کلسیم، قطعات آماده شده بادمجان به مدت دو دقیقه در دمای اتاق در محلول‌ها غوطه‌ور شدند و به منظور حذف پوشش‌های اضافی، برش‌ها بعد از خروج از محلول بر روی یک سینی مشبک قرار گرفتند. در نهایت برای تثبیت پوشش، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه

در دمای ۳۵ درجه سلسیوس در یک آون خشک و سپس تحت فرآیند سرخ کردن عمیق قرار گرفتند [۲۶].

۲-۴- روش تهیه محلول‌های پروتئین ایزوله

سویا و پوشش دهی قطعات بادمجان

محلول‌های پروتئین ایزوله سویا در دو سطح ۴ و ۵ درصد (وزنی/حجمی) تهیه گردیدند. سپس پلاستی سایزر سوربیتول به مقدار ۳۰ درصد وزنی پروتئین به محلول افزوده شد. مخلوط حاصل با استفاده از دستگاه هموژنایزر با دور بالا توسط دستگاه هموژنایزر (آیکا مدل T18B، آلمان) به مدت ۲ دقیقه مخلوط شد. سپس محلول روی گرم‌کن همزن‌دار (آیکا مدل RW2، آلمان) در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و مدت زمان ۲۰ دقیقه قرار گرفت و با سود ۰/۱ نرمال pH آن به ۱۰ رسانده شد. بعد از آماده‌سازی محلول‌های پوشش دهی، برش‌های بادمجان در محلول‌های تهیه شده پروتئینی به مدت ۲ دقیقه غوطه‌ور شدند و سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۳۷-۳۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه خشک و برای سرخ کردن آماده شدند [۲۵].

۲-۵- شرایط سرخ کردن

عملیات سرخ کردن عمیق در یک سرخ‌کن خانگی (سرخ‌کن الکتریکی Ultra Europe Classic 2000) انجام گرفت. روغن تازه حدوداً نیم ساعت قبل از سرخ کردن تحت فرآیند پیش‌گرمایش قرار گرفت. بعد از تنظیم دمای محیط سرخ‌کن در ۱۵۰ درجه سلسیوس، نمونه‌ها در داخل سبد سیمی قرار گرفته و سپس در محیط سرخ‌کننده غوطه‌ور شدند. برش‌های بادمجان پیش‌تیمار شده در زمان‌های ۰، ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه تحت فرآیند سرخ کردن عمیق قرار گرفتند. بعد از گذشت مدت زمان‌های مربوطه، نمونه‌ها از روغن خارج و روغن اضافی سطحی توسط کاغذ صافی حذف شد. نمونه‌ها قبل از انجام آزمون‌های بعدی تا دمای اتاق سرد شدند [۲۵].

۲-۶- تعیین مقدار رطوبت

محتوای رطوبت نمونه‌های سرخ شده به روش آون‌گذاری در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت انجام گرفت [۲۷]. برای تعیین میزان افت رطوبت از فرمول زیر استفاده شد [۲۸].

در این حالت با توجه به این که محصول ورودی به سرخ کن و آب تبخیر شده از محصول هیچ روغنی ندارند، پس این دو از معادله حذف می‌شوند (معادله ۵):

$$O \cdot x_{oo} = P \cdot x_{op} \quad (\text{معادله ۵})$$

موازنه اجزاء روی رطوبت:

در این حالت با توجه به این که روغن موجود در سیستم، هیچ رطوبتی ندارد، بنابراین از معادله حذف می‌شود (معادله ۶):

$$F \cdot x_{wf} = (W \times 1) + P \cdot x_{wp} \quad (\text{معادله ۶})$$

با انجام محاسبات فوق مقدار روغن جذب شده در زمان t قابل محاسبه می‌باشد [۲۹].

۹-۲ درصد پوشش دهی

درصد پوشش دهی به کمک رابطه‌ی ۷ محاسبه گردید:

$$CP (\%) = \frac{C - I}{I} \times 100 \quad (\text{معادله ۷})$$

در این معادلات، CP (%)، C و I به ترتیب درصد پوشش دهی (درصد)، وزن برش‌های اولیه پوشش دهی شده (بر حسب گرم) و وزن برش‌های اولیه بدون پوشش (بر حسب گرم) می‌باشد [۳۰].

۱۰-۲ راندمان سرخ کردن

راندمان سرخ کردن به کمک رابطه‌ی ۸ محاسبه شد:

$$Y (\%) = \frac{F}{NF} \times 100 \quad (\text{معادله ۸})$$

در این معادله، Y (%)، F و NF به ترتیب راندمان سرخ کردن (درصد)، وزن برش‌های پوشش‌دار سرخ شده (بر حسب گرم) و وزن برش‌های پوشش‌دار سرخ نشده (بر حسب گرم) می‌باشد [۳۰].

۱۱-۲ تعیین رنگ

رنگ فیلم‌های نشاسته با استفاده از رنگ‌سنج (کونیکا مینولتا مدل CR400، ژاپن) تعیین شد. نمونه‌های فیلم روی یک صفحه‌ی سفید استاندارد ($L^* = 95.44$, $a^* = -0.47$, $b^* = 2.51$) قرار داده شدند. پارامترهای L^* از سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، a^* از

(۱)

= رطوبت: معادله

مقدار رطوبت بعد از سرخ کردن - مقدار رطوبت اولیه
مقدار رطوبت اولیه

۷-۲ تغییرات نسبی جذب روغن

تغییرات نسبی جذب روغن طبق معادله ۲ محاسبه شد؛ برای هر یک از زمان‌های سرخ کردن و پیش فرایندها مقدار تغییرات نسبی جذب روغن محاسبه شد [۲۹].

معادله (۲)

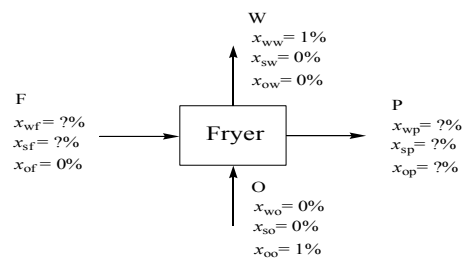
= تغییرات نسبی جذب روغن

$100 \times \frac{\text{جذب روغن تیمار شده} - \text{جذب روغن تیمار نشده}}{\text{جذب روغن تیمار نشده}}$

۸-۲ اندازه گیری جذب روغن

جذب روغن محصول سرخ شده توسط موازنه جرم تعیین شد.

فرمول‌ها و معادلات مربوطه به صورت زیر می‌باشند:



با فرض این که مقدار روغن محصول ورودی به سرخ کن صفر ($x_{of} = 0\%$) باشد محاسبات به صورت زیر (معادله ۳) است:

موازنه جرم کلی روی سرخ کن:

$$F + O = W + P \quad (\text{معادله ۳})$$

در این معادله، F ، O ، W و P به ترتیب نشان‌دهنده‌ی محصول ورودی به سرخ کن، جریان روغن ورودی به سرخ کن، آب تبخیر شده از محصول و محصول نهایی سرخ کن (فراورده) می‌باشند.

موازنه اجزاء روی مواد جامد:

در این حالت با توجه به اینکه جریان‌های روغن ورودی به سرخ کن و آب تبخیر شده از محصول هیچ ماده‌ی جامدی ندارند، پس این دو از معادله حذف می‌شوند (معادله ۴):

$$F \cdot x_{sf} = P \cdot x_{sp} \quad (\text{معادله ۴})$$

موازنه اجزاء روی روغن:

می‌شود و چون دوباره بازآرایی می‌شوند، استحکام پیوند افزایش می‌یابد [۳۲] که ممکن است این امر دلیل افزایش درصد پوشش‌دهی باشد.

اجاق و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که بیشترین و کمترین میزان پوشش‌دهی به ترتیب در تیمار زانتان ۱/۵۰ درصد و زدو ۰/۵۰ درصد، در پوشش‌دهی میگوی خام با کربوکسی‌متیل سلولوز، هیدروکسی‌متیل سلولوز، زانتان و زدو در غلظت‌های ۰/۵۰، ۱/۰۰ و ۱/۵۰ درصد مشاهده شد [۵]. نتایج این تحقیق با نتایج به دست آمده توسط گرمه‌خانی و همکاران (۲۰۱۱) و آمبون و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت [۳۰ و ۳۳].

جذب روغن و کاهش رطوبت دو فاکتور اصلی در پدیده انتقال جرم طی سرخ‌کردن عمیق می‌باشند. دمای بالای روغن منجر به تغییرات ساختاری ماده غذایی و به دنبال آن تبخیر تدریجی آب از ماده غذایی به بیرون می‌شود که این کاهش رطوبت باعث افزایش میزان تخلخل ماده غذایی می‌گردد و در حین سرخ کردن، روغن در حفره‌های ریز و درشت ایجاد شده قرار می‌گیرد و جایگزین رطوبت خارج شده از ماده غذایی می‌شود و در نتیجه منجر به جذب روغن توسط ماده غذایی می‌گردد. به دلیل این‌که در جایی که آب تبخیر می‌شود، روغن می‌تواند نفوذ کند، بنابراین کاهش رطوبت و جذب روغن وابسته به هم می‌باشند و مواد غذایی که اتلاف رطوبت بیشتری را دارا هستند، جذب روغن بالاتری دارند. در این باره، نظریه‌های مختلفی مبنی بر اینکه مقدار روغن جذب شده برابر مقدار کل رطوبت از دست رفته است، وجود دارد [۱ و ۵]. هیدروکلوئیدها با کاهش تعداد و اندازه منافذ سطحی، سبب کاهش جذب روغن می‌شوند. در حقیقت، هیدروکلوئیدها در سطح ماده غذایی منجر به ایجاد پوسته‌ای متراکم‌تر با منافذ کوچک‌تر می‌شوند که همین عامل، فرایند انتقال جرم را محدود می‌کند و اتلاف رطوبت و جذب روغن را کاهش می‌دهد [۳۴]. همان‌طور که در جدول ۱ و ۳ مشاهده می‌شود، پیش‌تیمارهای استفاده شده اثر آماری معنی‌داری بر محتوای رطوبت و جذب روغن نمونه‌ها بعد از سرخ کردن داشتند ($P \leq 0/05$). به‌طور کلی نمونه‌های پیش‌تیمار شده با هیدروکلوئیدها نسبت به نمونه‌ی کنترل، دارای محتوای رطوبت بیشتر و جذب روغن کمتری بعد از سرخ‌کردن بودند که می‌تواند به دلیل وجود خاصیت سدکنندگی در برابر گاز و رطوبت باشد که

سبز (-) تا قرمز (+) و b^* از آبی (-) تا سبز (+) را نشان می‌دهند [۱۸].

۲-۱۲ آزمون‌های حسی

آزمون‌های حسی - چشایی شامل طعم، بافت، حالت خامه‌ای و پذیرش کلی توسط یک گروه دوازده نفره و به روش آزمون لذت بخشی در ۶ سطح از بسیار بد (عدد ۱)، بد (عدد ۲)، متوسط (عدد ۳)، خوب (عدد ۴)، خیلی خوب (عدد ۵)، و عالی (عدد ۶) انجام گرفت. از ارزیاب‌ها خواسته شد که در صورت وجود هرگونه عیب آن را گزارش کنند [۳].

۲-۱۳ تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) تجزیه و تحلیل شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ رسم گردیدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- درصد پوشش‌دهی، تغییرات رطوبت و

میزان جذب روغن نمونه‌ها

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت در هر نوع هیدروکلوئید، درصد پوشش‌دهی نمونه‌ها افزایش یافت ($P \leq 0/05$). میزان پوشش‌دهی در حقیقت مقدار محلول هیدروکلوئیدی است که به نمونه مورد نظر می‌چسبد [۳۱]. بیشترین میزان پوشش‌دهی توسط پروتئین ایزوله سویا صورت گرفت و بعد از آن آلژینات کلسیم و سپس آلژینات سدیم قرار گرفتند. به این ترتیب بیشترین و کمترین میزان پوشش‌دهی به ترتیب مربوط به نمونه‌های پیش‌تیمار شده با پروتئین ایزوله سویا در سطح ۱ درصد (۳۳/۱۴ درصد) و آلژینات سدیم در سطح ۰/۵ درصد (۱۱/۳۲ درصد) بود ($P \leq 0/05$). به‌طور کلی پروتئین ایزوله سویا به‌عنوان بافت دهنده مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ یکی از متغیرهای موثر بر عمل‌کرد چسبندگی پروتئین ایزوله سویا، دما است که با افزایش دما، گران‌روی و چسبندگی آن افزایش می‌یابد؛ افزایش دما در ابتدا منجر به دناتوره شدن شدن پروتئین‌ها

(۲۰۱۶) با استفاده از صمغ دانه ریحان، میگو را پوشش‌دهی کردند و سپس تحت فرایند سرخ کردن عمیق قرار دادند. این محققین گزارش کردند که پوشش‌دهی بوسیله صمغ موجب کاهش افت رطوبت و جذب روغن گردید، به طوری که بالاترین میزان جذب روغن و افت رطوبت در نمونه‌های پوشش داده شده به ترتیب ۳۴۲/۱۰ (درصد وزن خشک) و ۵۱/۳۴ (درصد وزن مرطوب) بود؛ در حالی که این اعداد در نمونه کنترل به ترتیب ۳۷۵/۴۰ و ۶۲/۸۳ درصد بود [۱۵]. اجاق و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که پوشش‌دهی میگو با کربوکسی‌متیل سلولز، هیدروکسی‌پروپیل‌متیل سلولز، زانتان و زود توانست میزان جذب روغن میگو را در طی فرایند سرخ کردن عمیق بطور معنی‌داری کاهش دهد [۵]. ترابی و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که پلی‌ساکارید محلول در آب سویا و صمغ عربی می‌تواند جذب روغن را در چپس سیب‌زمینی کاهش دهد [۳۴].

عملکرد ضعیف‌تر پوشش‌های آلژینات‌سدیم و پروتئین ایزوله سویا نسبت به آلژینات‌کلسیم می‌تواند به این دلیل باشد که طی زمان سرخ کردن و با خروج رطوبت از ماده غذایی، میزان آب پوشش، بیشتر می‌شود و چون آب می‌تواند به‌عنوان یک پلاستی‌سایزر عمل کند، بنابراین موجب کاهش پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره‌های پلیمری پوشش و افزایش فضاها بین مولکولی آن می‌شود و در نتیجه خاصیت ممانعت‌کنندگی پوشش در برابر آب کاهش می‌یابد، اما در پوشش آلژینات‌کلسیم چون کلسیم در پوشش اتصالات‌عرضی ایجاد می‌کند، موجب افزایش استحکام و کاهش حلالیت پوشش می‌شود و در نتیجه احتمال ایجاد ترک و نازک شدن پوشش در آلژینات‌کلسیم کمتر می‌شود؛ درحالی‌که احتمال ایجاد ترک و نازک شدن در بخش‌هایی از پوشش در هیدروکلئیدهای دیگر وجود دارد و بنابراین پوشش‌های آلژینات‌کلسیم خاصیت ممانعت‌کنندگی خود در برابر خروج رطوبت را طی زمان سرخ کردن بهتر حفظ می‌کنند، ضمن اینکه قدرت تشکیل ژل در آلژینات‌کلسیم نسبت به آلژینات‌سدیم نیز یکی از عوامل مهم در حفظ رطوبت و در نتیجه جذب کمتر روغن است [۱۷ و ۳۶].

توسط هیدروکلئیدها ایجاد می‌شود و مانع افت رطوبت در حین سرخ کردن می‌گردد [۳۵]. بررسی‌های دیگر نیز نشان می‌دهند پوشش‌دهی با هیدروکلئیدها منجر به کاهش افت رطوبت و به دنبال آن کاهش جذب روغن طی سرخ کردن می‌شود [۴ و ۱۶]. کمترین مقدار افت رطوبت (۰/۰۳ درصد بر اساس وزن خشک) و کمترین مقدار جذب روغن (۰/۱۱ گرم بر گرم ماده غذایی) در نمونه‌ی پوشش‌داده شده با آلژینات‌کلسیم ۱ درصد بعد از ۹۰ ثانیه سرخ کردن مشاهده شد و بیشترین مقدار افت رطوبت (۰/۵۷ درصد بر حسب وزن خشک) و بیشترین مقدار جذب روغن (۱/۴۰ گرم بر گرم ماده غذایی) مربوط به نمونه‌ی کنترل در زمان ۳۶۰ ثانیه بود. در این راستا، از نظر مقدار افت رطوبت، نمونه‌های پوشش‌داده شده با آلژینات‌کلسیم ۰/۵ و ۱ درصد، کمترین مقدار را در همه‌ی زمان‌ها داشتند و بیشترین مقدار افت رطوبت مربوط به نمونه‌های کنترل بود. از این حیث، تفاوت آماری معنی‌داری بین نمونه‌های آلژینات‌سدیم ۰/۵ و ۱ درصد هم در ارتباط با مقدار افت رطوبت و هم درباره مقدار جذب روغن مشاهده نشد ($P > 0.05$). بررسی‌های زیادی نشان داده‌اند که پوشش‌دهی با هیدروکلئیدها منجر به افزایش محتوای رطوبت و کاهش جذب روغن ماده غذایی در طول فرایند سرخ کردن می‌شود. نصیروند و همکاران (۲۰۱۸) اثر پوشش خوراکی کیتوزان را در سه سطح ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ درصد بر کاهش جذب روغن در بادمجان سرخ شده بررسی کردند و نتیجه گرفتند که پوشش‌دهی منجر به کاهش جذب روغن می‌شود، به طوری که بیشترین میزان جذب روغن مربوط به نمونه کنترل بود و با افزایش غلظت کیتوزان، جذب چربی کمتر شده بود [۴]. مطالعات بسیار دیگری وجود دارند که کاهش جذب روغن در محصولات غذایی مختلف با استفاده از هیدروکلئیدها را تایید می‌کنند. به‌عنوان مثال، موسی (۲۰۱۸) چپس سیب‌زمینی را با صمغ عربی پوشش‌دهی کرد و نتایج این تحقیق نشان داد که بعد از سرخ کردن میزان کاهش رطوبت و جذب روغن در نمونه پوشش داده شده به ترتیب ۲۰ و ۳۸ درصد بود؛ درحالی‌که این اعداد در نمونه کنترل به ترتیب ۴۴ و ۷۱ درصد بود [۱۶]. خزاعی و همکاران

Table 1 Effect of different hydrocolloid coatings on moisture content (g/g dry matter) and coating percentage of eggplant slices during different times of deep-frying process at 150 °C.

Samples	Coating percentage	Time of frying (S)				
		0	90	180	270	360
T ₀	0	21.37 ^{Ac} ±1.87	13.12 ^{Bc} ±1.47	12.14 ^{Cf} ±1.12	9.31 ^{Df} ±0.83	9.32 ^{Dg} ±0.81
T ₁	11.32 ^e ±0.74	23.25 ^{Ad} ±1.54	15.57 ^{Bd} ±1.25	14.25 ^{Cde} ±1.17	12.50 ^{Dde} ±0.92	12.10 ^{Df} ±0.93
T ₂	12.15 ^e ±0.87	36.15 ^{Ac} ±1.24	24.85 ^{Bc} ±1.24	21.88 ^{BCd} ±1.27	18.50 ^{Cd} ±1.05	18.55 ^{Ce} ±1.22
T ₃	20.18 ^d ±0.56	29.21 ^{Ac} ±1.76	23.85 ^{Bc} ±1.56	213.54 ^{Cc} ±1.43	19.79 ^{Dc} ±1.37	19.40 ^{Dd} ±1.35
T ₄	25.54 ^e ±0.45	34.11 ^{Ab} ±1.62	28.20 ^{Bb} ±1.45	26.04 ^{Cb} ±1.37	23.66 ^{Db} ±1.27	23.12 ^{Dc} ±1.23
T ₅	31.12 ^b ±0.76	43.23 ^{Aa} ±1.51	32.15 ^{Ba} ±1.76	30.10 ^{BCab} ±1.49	26.92 ^{Cab} ±1.29	26.87 ^{Cb} ±1.32
T ₆	33.14 ^a ±0.97	41.50 ^{Aa} ±1.41	31.28 ^{Ba} ±1.62	28.44 ^{Ca} ±1.52	26.50 ^{Da} ±1.47	26.30 ^{Da} ±1.38

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

Table 2 Moisture loss of eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings at various deep-frying times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)			
	90	180	270	360
T ₀	0.39 ^{Ca} ±0.03	0.43 ^{Ba} ±0.02	0.56 ^{Aa} ±0.04	0.56 ^{Aa} ±0.05
T ₁	0.33 ^{Cb} ±0.02	0.38 ^{Bb} ±0.01	0.46 ^{Ab} ±0.02	0.47 ^{Ab} ±0.02
T ₂	0.31 ^{Cb} ±0.04	0.39 ^{Bb} ±0.03	0.48 ^{Ab} ±0.03	0.48 ^{Ab} ±0.03
T ₃	0.18 ^{Cd} ±0.01	0.26 ^{Bd} ±0.02	0.32 ^{Ad} ±0.01	0.33 ^{Ad} ±0.02
T ₄	0.17 ^{Cd} ±0.04	0.23 ^{Bd} ±0.01	0.30 ^{Ad} ±0.02	0.32 ^{Ad} ±0.01
T ₅	0.25 ^{Cc} ±0.03	0.30 ^{Bc} ±0.03	0.37 ^{Ac} ±0.02	0.37 ^{Ac} ±0.02
T ₆	0.24 ^{Cc} ±0.02	0.31 ^{Bc} ±0.02	0.36 ^{Ac} ±0.03	0.36 ^{Ac} ±0.03

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

Table 3 The oil absorption (g/g sample) amount and relative variations of oil uptake (%) in eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings at various deep-frying times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)							
	90	180	270	360	90	180	270	360
Oil absorption (g/g)	Relative variation of oil uptake (%)	Oil absorption (g/g)	Relative variation of oil uptake (%)	Oil absorption (g/g)	Relative variation of oil uptake (%)	Oil absorption (g/g)	Relative variation of oil uptake (%)	
T ₀	1.03 ^{Ca} ±.51	-	1.23 ^{Ba} ±0.045	-	1.38 ^{Aa} ±0.051	-	1.40 ^{Aa} ±0.038	-
T ₁	0.80 ^{Cb} ±.23	22.33 ^{ef} ±1.45	0.96 ^{Bb} ±0.023	21.95 ^{ef} ±1.12	1.04 ^{ABb} ±0.042	22.63 ^e ±1.16	1.08 ^{Ab} ±0.041	22.85 ^f ±1.18
T ₂	0.77 ^{Cb} ±.31	25.24 ^e ±1.67	0.92 ^{Bb} ±0.074	25.20 ^e ±1.45	1.02 ^{Ab} ±0.037	26.08 ^e ±1.11	1.04 ^{Ab} ±0.051	30.00 ^c ±1.16
T ₃	0.20 ^{Cc} ±.47	80.58 ^{ab} ±3.57	0.31 ^{ABe} ±0.021	74.79 ^b ±1.44	0.36 ^{Ac} ±0.024	73.91 ^b ±1.52	0.39 ^{Ac} ±0.021	72.14 ^b ±1.61
T ₄	0.11 ^{Cf} ±.21	89.32 ^a ±3.21	0.20 ^{Bf} ±0.041	83.73 ^a ±3.45	0.25 ^{Af} ±0.018	81.88 ^a ±2.43	0.26 ^{Af} ±0.019	84.28 ^a ±1.87
T ₅	0.54 ^{Cc} ±.41	47.57 ^d ±2.84	0.66 ^{Bc} ±0.064	46.34 ^d ±2.47	0.74 ^{ABc} ±0.031	46.37 ^d ±1.17	0.77 ^{Ac} ±0.031	45.00 ^d ±1.11
T ₆	0.37 ^{Cd} ±.37	64.07 ^c ±1.87	0.47 ^{ABd} ±0.031	61.78 ^c ±1.46	0.55 ^{Ad} ±0.0	60.14 ^c ±1.48	0.50 ^{Ad} ±0.023	64.28 ^c ±1.76

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

نسبت به سطح ۴ درصد و هم‌چنین در هر دو سطح پروتئین ایزوله سویا نسبت به آلژینات سدیم، می‌تواند به دنا توره شدن

بالاتر بودن میزان رطوبت و کمتر بودن میزان جذب روغن در نمونه پیش‌تیمار شده با پروتئین ایزوله سویا در سطح ۵ درصد

همچنین در بررسی تاثیر زمان سرخ کردن (در دمای ثابت ۱۵۰ درجه سلسیوس) بر میزان رطوبت (جدول ۱) و جذب روغن (جدول ۳) نمونه‌ها، نتایج نشان داد که با افزایش زمان سرخ کردن تا ۲۷۰ ثانیه، محتوای رطوبت کاهش و جذب روغن نمونه‌های سرخ شده افزایش یافت؛ اما با تداوم زمان سرخ کردن به بالاتر از آن (یعنی از ۲۷۰ به ۳۶۰ ثانیه)، تغییر معنی‌داری در محتوای رطوبت و جذب روغن نمونه‌ها در تمامی تیمارها مشاهده نشد و بین محتوای رطوبت و جذب روغن نمونه‌های سرخ شده در ۲۷۰ ثانیه با نمونه‌های سرخ شده در ۳۶۰ ثانیه تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). در بررسی که آقاجانی و همکاران (۲۰۱۸) بر تاثیر ژل آلئوئورا در جذب روغن چپیس هویج سرخ شده انجام دادند، نتایج نشان داد که با افزایش زمان سرخ کردن اتلاف رطوبت کمتر شد. این محققین، این پدیده را به دلیل خشک شدن سطح نمونه‌ها و تشکیل پوسته‌ی سخت^۱ بر سطح نمونه‌ها طی افزایش زمان سرخ کردن نسبت دادند که مانع خروج رطوبت و برقراری جریان موئینگی می‌شود [۱].

۲-۴- تغییرات نسبی جذب روغن

نتایج تغییرات نسبی جذب روغن در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که نوع پیش‌تیمار تاثیر آماری معنی‌داری بر تغییرات نسبی جذب روغن نسبت به کنترل داشت ($P \leq 0.05$). همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده است، در هر زمان، نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آلزینات‌کلسیم و آلزینات‌سدیم به ترتیب بالاترین و کمترین میزان درصد تغییرات نسبی را نشان دادند؛ به طوری که در هر زمان، نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آلزینات‌کلسیم ۱ درصد، بالاترین میزان تغییرات نسبی جذب روغن را داشتند. در مجموع، تغییرات نسبی جذب روغن در نمونه‌های آلزینات‌کلسیم بیشترین بود و بعد از آن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با پروتئین‌ایزوله‌سویا و آلزینات‌سدیم به ترتیب قرار داشتند. استفاده از غلظت‌های بالاتر در هر هیدروکلئید، تغییرات نسبی جذب روغن بالاتری را نسبت به غلظت کمتر نشان داد. هم‌چنین با افزایش زمان، تغییرات نسبی جذب روغن به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طور کلی، بالاتر بودن تغییرات نسبی جذب روغن نشان‌دهنده‌ی کاهش میزان جذب روغن محصول بعد از سرخ کردن است

پروتئین‌ایزوله سویا تحت تاثیر حرارت مربوط شود. وقتی پروتئین‌ایزوله‌سویا در معرض حرارت قرار می‌گیرد، پیوندهای ویژه درون و بین ملکولی (هیدروژنی، الکتروستاتیک و هیدروفوب) بین واحدهای تشکیل دهنده آن ایجاد می‌شوند. همچنین، گلايسين که در ساختار آن فراوان است، دچار تغییر در ساختار درجه دو می‌شود و هیدروفوبیسیته سطحی آن افزایش می‌یابد و در نهایت پروتئین دناتوره می‌شود و گروه‌های هیدروفوبی مثل گروه‌های سولفیدریلی در سطح پروتئین قرار می‌گیرند؛ به این ترتیب، خصوصیت مقاومت به آب پوشش پروتئینی افزایش می‌یابد و از خروج آب می‌تواند به شکل بهتری ممانعت کند [۳۷]. هم‌چنین، قابلیت پوشش‌دهی بیشتر پروتئین‌ایزوله سویا (جدول ۱) نسبت به آلزینات‌سدیم می‌تواند دلیل دیگری باشد که منجر به افت کمتر رطوبت و جذب کمتر روغن آن در مقایسه با آلزینات‌سدیم می‌شود [۵ و ۳۵].

آزادفر و همکاران (۲۰۱۶) تاثیر دو هیدروکلئید پکتین و کربوکسی متیل سلولز را بر میزان جذب روغن برش‌های بادمجان بررسی کردند. نتایج بررسی این محققین نشان داد که نمونه‌های تیمار شده با پکتین، میزان رطوبت بالا و جذب روغن کمتری داشتند؛ ضمن این‌که همین نمونه‌ها بالاترین درصد پوشش‌دهی را داشتند. این محققین علت این پدیده را به قدرت بالای تشکیل ژل پکتین نسبت دادند [۱۴]. هم‌چنین گرمه‌خانی و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر سه هیدروکلئید زانتان، پکتین و کربوکسی متیل سلولز را بررسی کردند و بیان کردند که نمونه‌ای که بالاترین میزان پوشش‌دهی را داشت، طی سرخ کردن کمترین میزان افت رطوبت را نشان داد [۳۰]. البته باید خاطر نشان کرد که میزان پوشش‌دهی بیشتر هر چند یک عامل موثر است، اما همیشه عاملی تعیین‌کننده نیست و ساختار پوشش استفاده شده می‌تواند بسیار اثرگذار باشد؛ همان‌طور که در نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آلزینات‌کلسیم علی‌رغم این‌که میزان پوشش‌دهی کمتری نسبت به پروتئین‌ایزوله سویا داشتند، اما افت رطوبت و میزان جذب روغن کمتری داشتند (که دلیل آن مورد بحث قرار گرفت). بنابراین می‌توان بیان کرد که نسبت پوشش با میزان جذب روغن همیشه رابطه‌ای مستقیم و وابسته ندارد و نمی‌توان انتظار داشت نمونه‌هایی که میزان پوشش بیشتری در آنها ایجاد شده است، الزاماً میزان جذب روغن کمتری داشته باشند [۳۸].

1 Case hardening

که راندمان سرخ کردن نمونه‌های پیش‌تیمار شده اختلاف آماری معنی‌داری با نمونه‌ی کنترل داشتند ($P \leq 0/05$)، به طوری که بالاترین راندمان سرخ کردن مربوط به نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آلژینات کلسیم بود و بعد از آن نمونه‌های پیش‌تیمار شده با ایزوله سویا قرار داشتند. بین نمونه‌های پیش‌تیمار شده با آلژینات سدیم و کنترل در هر زمان اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0/05$). در این رابطه، استفاده از غلظت بیشتر هر هیدروکلوئید منجر به راندمان بیشتر آن هیدروکلوئید نسبت به غلظت کمتر گردید ($P \leq 0/05$). همچنین با افزایش زمان فرایند، راندمان سرخ کردن کاهش یافت که البته بین نتایج سرخ کردن در زمان ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد ($P > 0/05$). بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت که به طور کلی پوشش دهی با هیدروکلوئیدهای مورد استفاده در زمان‌های سرخ کردن پایین‌تر، توانست راندمان سرخ کردن را افزایش دهد، چرا که رطوبت محصول بهتر حفظ شد و از اتلاف بیشتر رطوبت محصول جلوگیری شد که البته عملکرد هر کدام از هیدروکلوئیدها نسبت به یکدیگر نیز متفاوت بود. نتایج این بررسی با نتایج جرجانی و همراهی (۲۰۱۵) در استفاده از هیدروکلوئیدهای گوار و زانتان [۶]، آزادفر و شریفی در استفاده از پوشش مالتودکسترین و کلرید سدیم [۱۴]، و رشیدزاده و مقصدلو (۲۰۱۲) در استفاده از هیدروکلوئیدهای گوار و ژلان [۲۸]، به ترتیب در بادمجان، بادمجان و چیپس سیب‌زمینی هم‌خوانی داشت.

[۱۴]. بنابراین با گذشت زمان، محصول، میزان روغن کمتری را جذب می‌کند. نتایج تغییرات نسبی جذب روغن با نتایج میزان رطوبت و میزان جذب روغن که در جدول ۱ و ۳ نشان داده شده است، تطابق دارد، به طوری که در نمونه‌هایی که میزان جذب روغن کمتری داشتند، تغییرات نسبی جذب روغن بیشتری مشاهده شد. مختاریان و همکاران (۲۰۱۴) چیپس کیوی را با ژل آلونئورا پوشش دادند و پروفایل انتقال جرم آن را طی سرخ کردن عمیق بررسی کردند. نتایج این محققین نشان داد که پیش‌تیمار انجام شده موجب کاهش اتلاف رطوبت و جذب روغن محصول شد؛ ضمن این‌که تغییرات نسبی جذب روغن را کاهش داد [۳۹]. همچنین، نصیری و همکاران (۲۰۱۲) ماتریس انتقال جرم ناگت میگو پوشش داده شده را مورد بررسی قرار دادند و نتایج این بررسی نشان داد که نمونه پوشش‌دهی شده با ۱۰٪ آرد سویا و سرخ شده در دمای ۱۹۰ درجه سلسیوس، کمترین جذب روغن و بیشترین تغییرات نسبی جذب روغن را داشت [۲۷]. نتایج مشابه توسط عیسی و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شده است [۲۹].

۳-۳- راندمان سرخ کردن

نتایج تاثیر نوع پیش‌تیمار بر راندمان سرخ کردن عمیق در جدول ۴ نشان داده شده است. راندمان سرخ کردن نشان دهنده‌ی مقدار وزن محصول نهایی است و هرچه قدر راندمان بیشتر باشد، وزن محصول فرایند شده بیشتر است [۶]. نتایج این پژوهش نشان داد

Table 4 The frying efficiency of eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings at various deep frying times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)				
	0	90	180	270	360
T ₀	-	62.12 ^{Ac} ±2.55	56.12 ^{Be} ±1.75	50.14 ^{Ce} ±1.23	49.51 ^{Cc} ±1.75
T ₁	-	62.23 ^{Ac} ±2.12	55.55 ^{Be} ±2.31	51.65 ^{Bc} ±1.27	50.30 ^{Cc} ±2.31
T ₂	-	70.76 ^{Ad} ±3.17	64.75 ^{Bd} ±2.41	60.68 ^{Cd} ±2.51	61.47 ^{Bcd} ±2.41
T ₃	-	85.65 ^{Ab} ±3.21	82.87 ^{ABab} ±2.67	74.40 ^{Bb} ±2.12	76.49 ^{Bab} ±2.67
T ₄	-	93.12 ^{Aa} ±2.75	87.11 ^{ABa} ±1.73	82.74 ^{Ba} ±1.15	83.56 ^{Ba} ±1.73
T ₅	-	75.12 ^{Ac} ±2.45	75.12 ^{ABc} ±3.45	65.54 ^{Bc} ±2.25	62.62 ^{Bd} ±3.45
T ₆	-	83.54 ^{Ab} ±3.56	83.54 ^{Bb} ±2.52	74.23 ^{Bcb} ±2.64	71.82 ^{Cc} ±2.52

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference ($P \leq 0/05$).

۳-۴- رنگ سنجی

رنگ، فاکتور کیفی مهمی در محصولات سرخ شده محسوب می‌شود. تغییرات رنگ در ضمن سرخ کردن، تحت تاثیر فرایند قهوه‌ای شدن میلارد و واکنش بین قندهای احیاکننده با پروتئین‌ها اتفاق می‌افتد [۴۰]. نتایج رنگ‌سنجی در جداول ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. مقدار شاخص L^* در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با پروتئین ایزوله سویا نسبت به سایر نمونه‌ها کمتر بود که می‌تواند به دلیل افزایش نرخ واکنش میلارد باشد [۵]. بالاترین میزان شاخص L^* در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با آلژینات کلسیم مشاهده شد که برخی محققین علت آن را به محتوای رطوبت بیشتر نمونه‌ها نسبت داده‌اند [۴۰]. بعد از نمونه‌های آلژینات کلسیم، بالاترین میزان شاخص L^* به ترتیب مربوط به نمونه‌های آلژینات سدیم و شاهد بود. همچنین، با

افزایش زمان سرخ کردن، میزان شاخص L^* کاهش یافت که می‌تواند به دلیل افزایش نرخ واکنش میلارد و تشکیل ملانوییدین‌های قهوه‌ای خصوصاً در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با پروتئین ایزوله سویا باشد [۴۱]. شاخص‌های رنگی a^* و b^* در غالب موارد تا زمان ۲۷۰ ثانیه ثابت بودند و بعد از آن تا زمان ۳۶۰ ثانیه افزایش نشان دادند. در نمونه‌های آلژینات کلسیم تغییر فاکتور رنگی a^* در طول فرایند سرخ کردن مشاهده نشد. استفاده از صمغ‌های زانتان و کربوکسی‌متیل سلولوز نیز پارامترهای L^* و b^* (زردی) را در نمونه‌های سویا برگر افزایش داد [۴۱]. نتایجی مشابه نیز توسط سایر محققین ذکر شده است [۵]. بالاترین میزان شاخص a^* در مدت زمان ۹۰ ثانیه و در نمونه‌ی آلژینات سدیم ۱٪ مشاهده شد و کمترین آن در نمونه آلژینات کلسیم ۱٪ در مدت زمان ۳۶۰ ثانیه مشاهده شد.

Table 5 The L^* values of eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings at various deep frying times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)				
	0	90	180	270	360
T ₀	51.45 ^{Ac} ±3.12	40.34 ^{Bc} ±2.31	35.56 ^{Bc} ±2.63	31.78 ^{Bc} ±1.45	29.45 ^{Bc} ±2.46
T ₁	60.54 ^{Ab} ±2.25	50.45 ^{Bb} ±1.43	44.56 ^{Bb} ±2.34	39.34 ^{Ab} ±2.61	37.56 ^{Bb} ±3.14
T ₂	67.34 ^{Ab} ±1.52	55.67 ^{Ab} ±2.76	49.67 ^{Ab} ±2.17	42.87 ^{Ab} ±1.78	43.11 ^{Ab} ±2.47
T ₃	72.87 ^{Aa} ±3.54	66.23 ^{Aa} ±3.12	60.23 ^{Aa} ±1.34	56.12 ^{Aa} ±2.48	55.17 ^{Aa} ±3.52
T ₄	73.11 ^{Aa} ±2.59	68.23 ^{Aa} ±1.63	62.67 ^{Aa} ±2.64	57.67 ^{Aa} ±3.12	58.25 ^{Aa} ±2.15
T ₅	40.78 ^{Ad} ±2.34	34.67 ^{Ad} ±2.76	31.65 ^{Ad} ±3.11	27.45 ^{Ad} ±1.15	25.40 ^{Ad} ±1.18
T ₆	41.16 ^{Ad} ±1.78	33.12 ^{Ad} ±2.53	29.67 ^{Ad} ±1.24	23.87 ^{Ad} ±2.65	21.44 ^{Ad} ±2.12

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

Table 6 The a^* values of eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings at various deep frying times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)				
	0	90	180	270	360
T ₀	12.45 ^{Aa} ±1.64	12.12 ^{Aa} ±2.31	12.91 ^{Aa} ±1.24	12.33 ^{Aa} ±1.73	14.46 ^{Bb} ±1.34
T ₁	12.46 ^{Aa} ±1.48	12.33 ^{Aa} ±1.43	12.88 ^{Aa} ±0.84	12.12 ^{Aa} ±0.64	16.35 ^{Bc} ±1.37
T ₂	12.65 ^{Aa} ±1.53	12.65 ^{Aa} ±1.71	12.50 ^{Aa} ±0.63	12.28 ^{Aa} ±0.28	16.25 ^{Bbc} ±1.72
T ₃	12.65 ^{Aa} ±1.41	12.17 ^{Aa} ±1.36	12.14 ^{Aa} ±0.61	12.25 ^{Aa} ±0.87	13.92 ^{Bab} ±1.36
T ₄	12.23 ^{Aa} ±1.71	12.64 ^{Aa} ±0.83	13.82 ^{Aa} ±1.23	12.93 ^{Aa} ±0.62	12.48 ^{Aa} ±0.53
T ₅	12.87 ^{Aa} ±0.58	12.67 ^{Aa} ±0.84	10.74 ^{Aa} ±1.45	12.46 ^{Aa} ±1.48	16.46 ^{Aa} ±1.16
T ₆	12.84 ^{Aa} ±0.52	12.34 ^{Aa} ±1.35	12.08 ^{Aa} ±1.82	16.35 ^{Bb} ±1.83	16.35 ^{Bc} ±1.52

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

Table 7 The b^* values of eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings at various deep frying times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)				
	0	90	180	270	360
T ₀	16.74 ^{Aa} ±0.85	16.16 ^{Aa} ±1.65	16.05 ^{Aa} ±1.72	17.64 ^{Ba} ±0.26	18.74 ^{Ba} ±0.26
T ₁	16.64 ^{Aa} ±1.73	16.74 ^{Aa} ±1.34	17.07 ^{Aa} ±1.26	17.73 ^{ABa} ±0.34	18.64 ^{Ca} ±0.34
T ₂	16.34 ^{Aa} ±1.32	16.36 ^{Aa} ±2.12	16.83 ^{Aa} ±1.47	17.35 ^{Aa} ±0.67	19.34 ^{Ba} ±1.27
T ₃	16.24 ^{Aa} ±1.65	16.35 ^{Aa} ±1.89	16.72 ^{Aa} ±0.87	18.45 ^{ABa} ±1.41	19.17 ^{BCa} ±1.41
T ₄	16.49 ^{Aa} ±1.12	16.24 ^{Aa} ±1.21	16.42 ^{Aa} ±1.12	18.89 ^{Bb} ±0.54	19.32 ^{BCa} ±1.54
T ₅	16.32 ^{Aa} ±1.23	16.17 ^{Aa} ±1.43	16.38 ^{Aa} ±1.74	18.74 ^{Bb} ±0.44	19.64 ^{Ca} ±0.64
T ₆	16.74 ^{Aa} ±0.63	16.10 ^{Aa} ±1.87	17.89 ^{Aa} ±1.34	17.64 ^{Aa} ±1.92	19.74 ^{Ba} ±1.92

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

کمترین امتیاز را کسب کردند که می‌تواند به دلیل واکنش میلارد در این نمونه‌ها و تیره شدن رنگ آن‌ها باشد، ضمن این‌که در نتایج ارزیابی رنگ هم این دو تیمار کمترین میزان روشنایی (شاخص L^*) را داشتند. بیشترین امتیاز مربوط به رنگ، در سایر نمونه‌های پوشش داده شده مشاهده شد و در این رابطه، تفاوت آماری معنی‌داری بین این نمونه‌ها مشاهده نشد.

در جدول ۱۰ نتایج ارزیابی بافت آورده شده است. بالاترین امتیاز را نمونه‌های سرخ شده در زمان‌های ۹۰ و ۱۸۰ ثانیه کسب کردند و بین نمونه‌های سرخ شده در زمان‌های ۹۰ و ۱۸۰ ثانیه اختلاف آماری معناداری مشاهده نشد. با افزایش زمان، امتیاز بافت نمونه‌ها کاهش یافت. داشتن رطوبت بیشتر در نمونه‌های سرخ شده در زمان‌های کمتر می‌تواند دلیل بافت قابل قبول‌تر در این نمونه‌ها از نظر ارزیاب‌ها بوده باشد. همچنین، در بین تیمارها بالاترین امتیاز بافتی را نمونه‌های پوشش داده شده با آلژینات کلسیم و سدیم داشتند و بعد از آن نمونه کنترل قرار داشت. کمترین امتیاز بافت، مربوط به نمونه‌های پوشش داده شده با پروتئین ایزوله سویا بود.

در جدول ۱۱ نتایج پذیرش کلی آورده شده است. از نظر مدت زمان سرخ‌کردن، نمونه‌های سرخ شده طی ۹۰ ثانیه و بعد از آن در ۱۸۰ ثانیه، بالاترین امتیاز را کسب کردند و با افزایش زمان سرخ‌کردن، امتیازهای مربوط به پذیرش کلی نمونه‌ها، کاهش یافت. از نظر نمونه‌های پوشش داده شده، نمونه‌هایی که با آلژینات کلسیم و آلژینات سدیم پوشش داده شده بودند، بالاترین امتیاز را کسب کردند و سپس نمونه‌های کنترل و در آخر، نمونه‌های پوشش داده شده با پروتئین ایزوله سویا قرار گرفت که

بیشترین و کمترین مقدار شاخص b^* به ترتیب برای نمونه‌های آلژینات کلسیم ۰/۵٪ در مدت زمان ۳۶۰ ثانیه سرخ کردن و پروتئین ایزوله سویا ۱٪ در مدت زمان ۳۶۰ ثانیه سرخ کردن مشاهده شد. به طور کلی تفاوت آماری معنی‌داری بین داده‌های a^* و b^* تیمارها مشاهده نشد.

۳-۵- نتایج ارزیابی حسی

نتایج ارزیابی حسی در جداول ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش زمان سرخ کردن، امتیاز طعم و مزه (جدول ۸) در همه نمونه‌های بادمجان افزایش یافت و بنابراین بالاترین امتیاز طعم را نمونه‌های سرخ شده در مدت زمان‌های ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه کسب کردند. در این رابطه، تفاوت آماری معناداری بین نمونه‌های سرخ شده در زمان ۲۷۰ و ۳۶۰ ثانیه مشاهده نشد ($P>0/05$). همچنین، بالاترین امتیازهای طعم و مزه در طول زمان متعلق به نمونه‌های آلژینات کلسیم و آلژینات سدیم بود و تفاوت آماری معنی‌داری بین این نمونه‌ها مشاهده نشد ($P>0/05$). کمترین امتیاز متعلق به نمونه‌های پوشش داده شده با پروتئین ایزوله سویا بود که ممکن است به دلیل تیرگی رنگ و افزایش نرخ واکنش میلارد در این تیمارها باشد.

در جدول ۹ نتایج ارزیابی رنگ ظاهری آورده شده است. بررسی نتایج نشان داد که با افزایش زمان، ارزیاب‌ها امتیاز رنگی کمتری به نمونه‌های سرخ شده دادند. به این ترتیب، نمونه‌های سرخ شده در ۳۶۰ ثانیه کمترین امتیاز را کسب کردند و نمونه‌های سرخ شده در ۹۰ ثانیه بالاترین امتیاز را از نظر رنگ ظاهری کسب کردند (بدون در نظر گرفتن نمونه‌ی سرخ نشده). همچنین، در بین تیمارها، نمونه‌های پوشش داده شده با پروتئین ایزوله سویا

ارزیاب‌ها فاکتور رنگ را که در پروتئین ایزوله سویا کمترین امتیاز را آورده بود، برای پذیرش کلی تاثیر داده بودند. نتایج ارزیابی حسی این تحقیق با نتایج تحقیق نصیرون و همکاران (۲۰۱۸) که بادمجان پوشش داده شده با کیتوزان را تحت فرایند سرخ کردن قرار داده بودند، مشابه بود.

ارزیابی حسی این تحقیق با نتایج تحقیق نصیرون و همکاران (۲۰۱۸) که بادمجان پوشش داده شده با کیتوزان را تحت فرایند سرخ کردن قرار داده بودند، مشابه بود.

Table 8 The taste scores of eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings obtained in sensory evaluation at various deep-frying times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)			
	90	180	270	360
T ₀	3.12 ^{Cb} ±0.18	3.90 ^{Bb} ±0.21	5.10 ^{Ab} ±0.25	4.84 ^{Ab} ±0.26
T ₁	3.70 ^{Ca} ±0.10	4.21 ^{Ba} ±0.13	4.90 ^{Aa} ±0.27	4.75 ^{Aa} ±0.23
T ₂	3.66 ^{Ca} ±0.12	4.18 ^{Ba} ±0.22	5.15 ^{Aa} ±0.20	5.28 ^{Aa} ±0.20
T ₃	3.61 ^{Ca} ±0.12	4.15 ^{Ba} ±0.12	5.52 ^{Aa} ±0.11	4.90 ^{Aa} ±0.19
T ₄	3.43 ^{Ca} ±0.17	4.20 ^{Ba} ±0.16	5.17 ^{Aa} ±0.17	5.10 ^{Aa} ±0.11
T ₅	2.30 ^{Cc} ±0.15	2.95 ^{Bc} ±0.14	4.12 ^{Ac} ±0.25	3.61 ^{Ac} ±0.11
T ₆	2.25 ^{Cc} ±0.19	2.85 ^{Bc} ±0.17	4.18 ^{Ac} ±0.27	3.55 ^{Ac} ±0.13

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

Table 9 The color scores of eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings obtained in sensory evaluation at various deep frying times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)			
	90	180	270	360
T ₀	4.97 ^{Ab} ±0.27	4.45 ^{Bb} ±0.15	4.11 ^{Cab} ±0.23	3.50 ^{Da} ±0.16
T ₁	5.31 ^{Aa} ±0.21	4.82 ^{Ba} ±0.22	4.25 ^{Ca} ±0.28	3.65 ^{Da} ±0.26
T ₂	5.28 ^{Aa} ±0.29	4.70 ^{Ba} ±0.26	4.30 ^{Ca} ±0.26	3.50 ^{Da} ±0.25
T ₃	5.28 ^{Aa} ±0.32	4.88 ^{Ba} ±0.28	4.30 ^{Ca} ±0.34	3.60 ^{Da} ±0.29
T ₄	5.54 ^{Aa} ±0.27	4.71 ^{Ba} ±0.30	4.25 ^{Ca} ±0.27	3.70 ^{Da} ±0.21
T ₅	3.95 ^{Ac} ±0.19	3.11 ^{Bc} ±0.17	2.60 ^{Cc} ±0.17	1.14 ^{Db} ±0.18
T ₆	3.85 ^{Ac} ±0.21	3.15 ^{Bc} ±0.19	2.76 ^{Cc} ±0.18	1.87 ^{Db} ±0.14

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

Table 10 The texture scores of eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings obtained in sensory evaluation at various deep-frying times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)			
	90	180	270	360
T ₀	4.97 ^{Ab} ±0.28	4.41 ^{Bb} ±0.27	3.11 ^{Cb} ±0.23	2.50 ^{Db} ±0.16
T ₁	5.50 ^{Aa} ±0.30	5.31 ^{Aa} ±0.21	4.25 ^{Ba} ±0.28	3.65 ^{Ca} ±0.26
T ₂	5.67 ^{Aa} ±0.25	5.28 ^{Aa} ±0.29	4.30 ^{Ba} ±0.26	3.50 ^{Ca} ±0.25
T ₃	5.41 ^{Aa} ±0.23	5.28 ^{Aa} ±0.32	4.30 ^{Ba} ±0.34	3.60 ^{Ca} ±0.29
T ₄	5.65 ^{Aa} ±0.28	5.54 ^{Aa} ±0.27	4.35 ^{Ba} ±0.27	3.40 ^{Ca} ±0.31
T ₅	4.20 ^{Bc} ±0.20	4.95 ^{Ac} ±0.19	2.60 ^{Cc} ±0.17	2.14 ^{CDc} ±0.18
T ₆	4.30 ^{Bc} ±0.18	4.85 ^{Ac} ±0.21	2.76 ^{Cc} ±0.18	1.87 ^{DC} ±0.14

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

Table 11 The overall acceptance values of eggplant slices coated with different hydrocolloid coatings obtained in sensory evaluation at various deep frying-times at 150 °C.

Samples	Time of frying (S)			
	90	180	270	360
T ₀	4.75 ^{Aa} ±0.27	4.45 ^{Aa} ±0.28	2.85 ^{Bb} ±0.23	2.15 ^{Cb} ±0.16
T ₁	5.10 ^{Aa} ±0.21	4.80 ^{Aa} ±0.30	3.35 ^{Ba} ±0.28	2.60 ^{Ca} ±0.26
T ₂	5.15 ^{Aa} ±0.29	4.85 ^{Aa} ±0.25	3.30 ^{Ba} ±0.26	2.50 ^{Ca} ±0.25
T ₃	4.95 ^{Aa} ±0.32	4.75 ^{Aa} ±0.23	3.40 ^{Ba} ±0.34	2.60 ^{Ca} ±0.29
T ₄	5.10 ^{Aa} ±0.27	4.84 ^{Aa} ±0.28	3.45 ^{Ba} ±0.27	2.55 ^{Ca} ±0.21
T ₅	3.75 ^{Ab} ±0.19	3.45 ^{Ab} ±0.20	2.50 ^{Bc} ±0.17	1.85 ^{Cc} ±0.18
T ₆	3.80 ^{Ab} ±0.21	3.25 ^{Bb} ±0.18	2.45 ^{Cc} ±0.18	1.75 ^{Dc} ±0.14

* Control (T₀), Sodium Alginate 0.5% (T₁), Sodium Alginate 1% (T₂), Calcium Alginate 0.5% (T₃), Calcium Alginate 1% (T₄), Soy Protein Isolate 4% (T₅), Soy Protein Isolate 5% (T₆). Similar small letters in each column and similar large letters in each row show no significant difference (P≤0/05).

پوشش آلژینات کلسیم توانست از لحاظ ویژگی‌های حسی، امتیازاتی قابل مقایسه با کنترل و در برخی مواقع بهتر از کنترل را بدست آورد.

۵- منابع

- [1] Aghajani, N., and Daraei Garmakhani, A. 2018. Response Surface Optimization of the Oil Absorption and Sensory Attributes of Fried Carrot Chips Under the Effect of Aleo Vera Gel concentration, Frying Time and Temperature. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 13(3): p. 67-79 [in Persian].
- [2] Bagheri, F., Radi, M., and Amiri, S. 2018. Evaluating the function of cross-linked rice starch as a fat replacer in low fat cream. *International Journal of Dairy Technology*, 71(4): p. 981-991.
- [3] Bagheri, F., Radi, M., and Amiri, S. 2014. Use of sweetener stevioside for produce dietary breakfast cream. *Agriculture Science Developments*, 3(9): p. 284-291.
- [4] Nasirvand, L., and Javadi, A. 2018. Effect of chitosan edible coatings on reduce oil uptake in fried eggplant. *Journal of Food Research*, 28(2): p. 59-68 [in Persian].
- [5] Ojagh, S. M., S., Rahmani Farah, K., Izadi, S., and Shabanpour, B. 2017. Effect of hydrocolloid coating on reduction of oil absorption and quality parameters of fried shrimp. *Quarterly iranian journal of food science and technology*, 61 (13): p. 185-194 [in Persian].

این محققین گزارش کردند که پوشش‌های هیدروکلوئیدی با حفظ خواص حسی محصول باعث حفظ روغن و کاهش جذب روغن می‌شوند و همچنین از نظر خواص حسی محصولی مشابه نمونه سرخ شده بدون پوشش به دست می‌آید [۴]. همچنین اجاق و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که پوشش‌دهی میگو قبل سرخ کردن توسط کربوکسی متیل سلولز، هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، زانتان و زردو خواص حسی قابل قبولی را ایجاد کرد و در مجموع نمونه‌های پوشش‌دهی شده با محلول کربوکسی متیل سلولز با غلظت ۱ درصد بیشترین پذیرش کلی را داشتند [۵]. آقاجانی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که پوشش‌دهی هویج سرخ شده با ژل آلونورا پارامترهای حسی و کیفی چپیس هویج سرخ شده به صورت بهینه حفظ کرد [۱].

۴- نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که تمامی پوشش‌های هیدروکلوئیدی مورد استفاده، توانستند میزان جذب روغن را در قطعات بادمجان سرخ شده کاهش دهند و زمان ۹۰ ثانیه بهترین زمان سرخ کردن است. با این وجود، کارکرد و راندمان عملکرد پوشش‌ها بسیار با همدیگر متفاوت بود، به گونه‌ای که استفاده از پوشش آلژینات کلسیم توانست بالاترین درصد کاهش جذب روغن را نشان دهد. نتایج ارزیابی رنگ و ارزیابی حسی نشان داد که استفاده از پروتئین ایزوله سویا نمی‌تواند برای کاهش جذب روغن در بادمجان گزینه‌ای جذاب باشد، چرا که امتیازی کمتر از کنترل را در بسیاری از پارامترهای ارزیابی رنگ بدست آورد، اما

- a snack bar. *Journal of texture studies*, 51(3), pp.501-510.
- [14] Azadfar, E., Elhami Rad, A., and Sharifi, A. 2016. Investigation of the effect of coating eggplant slices on reducing oil absorption during the process frying. *Innovation in Food Science and Technology*, 8(4): P. 1-13 [in Persian].
- [15] Khazaei, N., Esmaili, M., and Emam-Djomeh, Z. 2016. Effect of active edible coatings made by basil seed gum and thymol on oil uptake and oxidation in shrimp during deep-fat frying. *Carbohydrate polymers*, 137: p. 249-254
- [16] Mousa, R. M. A. 2018. Simultaneous inhibition of acrylamide and oil uptake in deep fat fried potato strips using gum Arabic-based coating incorporated with antioxidants extracted from spices. *Food Hydrocolloids*, 83: p. 265-274.
- [17] Bagheri, F., Radi, M., and Amiri, S. 2019. Drying conditions highly influence the characteristics of glycerol-plasticized alginate films. *Food hydrocolloids*. 90: p. 162-171.
- [18] Bagheri, F., Radi, M., and Amiri, S. 2019. Evaluating the physical, mechanical and morphological properties of sodium alginate nanocomposite film containing solid lipid nano-particles. *Food Science and Technology International*, 16(86): p. 263-271.
- [19] Khorrami, N.K., Radi, M., and Amiri, S. 20121. Fabrication and characterization of alginate-based films functionalized with nanostructured lipid carriers. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182: p. 373-384.
- [20] Nehchiri, N., Amiri, S., and Radi, M. 2021. Improving the water barrier properties of alginate packaging films by submicron coating with drying linseed oil. *Packaging Technology and Science*, 34(5): p. 283-295.
- [21] Liu, H., Li, X., and Yuan, Y. 2020. Mitigation effect of sodium alginate on acrylamide formation in fried potato chips system based on response surface methodology. *Journal of Food Science*, 85(8) : p. 2615-2621.
- [6] Jorjani, S., and Hamrahi, V. 2015. Effect of Guar and xanthan hydrocolloids on uptake of oil in eggplant rings during deep frying. *Food Research*, 25 (2): p. 231-238 [in Persian].
- [7] Radi, M. and Amiri, S., 2013. Comparison of the rheological behavior of solutions and formulated oil-in-water emulsions containing carboxymethylcellulose (CMC). *Journal of dispersion science and technology*, 34(4), pp.582-589.
- [8] Radi, M., Amiri, S. and Bagheri, F., 2020. Modeling the Rheological Properties of Carboxymethylcellulose Stabilized O/W Emulsions Based on Sunflower Oil and Tallow Fat. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 10(2), pp.49-62.
- [9] Amiri, S., Nicknam, Z., Radi, M., Sayadi, M., Bagheri, F., Khorrami, N.K. and Abedi, E., 2021. Postharvest quality of orange fruit as influenced by salicylic acid, acetic acid, and carboxymethyl cellulose coating. *Journal of Food Measurement and Characterization*, pp.1-19.
- [10] Hosseini-Farahi, M.E.H.D.I., Kohvare, M.M., Rezaee, T.A.L.A., Alahdadi, F.A.T.A.N.E.H. and Bagheri, F.O.R.U.D., 2016. The influence of chitosan edible coatings and calcium treatments on quality indices of peach fruit cv.'Alberta'during cold storage. *Agricultural Communications*, 4(2), pp.7-13.
- [11] Hosseinifarahi, M. and Radi, M., 2018. Evaluation of postharvest quality and organoleptic characteristics of strawberry with application of aloe vera gel, acetic acid and UV-B irradiation. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 19(1), pp.99-114.
- [12] Hosseinifarahi, M., Jamshidi, E., Amiri, S., Kamyab, F. and Radi, M., 2020. Quality, phenolic content, antioxidant activity, and the degradation kinetic of some quality parameters in strawberry fruit coated with salicylic acid and Aloe vera gel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9), p.e14647.
- [13] Baqeri, F., Nejatian, M., Abbaszadeh, S. and Taghdir, M., 2020. The effect of gelatin and thymol-loaded nanostructured lipid carrier on physicochemical, rheological, and sensory properties of sesame paste/date syrup blends as

- [31] Albert, S. and Mittal, G.S., 2002. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *Food Research International*, 35(5), pp.445-458.
- [32] Podlena, M., Böhm, M., Saloni, D., Velarde, G. and Salas, C., 2021. Tuning the Adhesive Properties of Soy Protein Wood Adhesives with Different Coadjutant Polymers, Nanocellulose and Lignin. *Polymers*, 13(12), p.1972.
- [33] Amboon, W., Tulyathan, V. and Tattiyakul, J., 2012. Effect of hydroxypropyl methylcellulose on rheological properties, coating pickup, and oil content of rice flour-based batters. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), pp.601-608.
- [34] Torabi, R., Hojjati, M., Barzegar, M. and Jooyandeh, H., 2017. Effect of hydrocolloid coatings in preventing acrylamide formation and reducing oil uptake in potato chips. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 12(1), pp.109-120.
- [35] Omrani Khiabani, N., and Safari, A. 2016. Effect of pretreatments and different frying temperatures on oil absorption and quality of deep fried eggplant. *Journal of Food Processing and Production*, 6 (3): p. 67-84.
- [36] Berenji, A.S., Azizi, M.H., Zohourian, G., Hadian, Z., and Amiri, Z., 2011. Evaluation of Mechanical and Physical Properties of Calcium-Alginate Edible Films. *Quarterly iranian journal of food science and technology*, 7 (4): p. 55-64.
- [37] Wang, Z., Li, Y., Jiang, L., Qi, B., and Zhou, L., 2014. Relationship between secondary structure and surface hydrophobicity of soybean protein isolate subjected to heat treatment. *Journal of Chemistry*, 35: p. 51-58.
- [38] Daraei Garmakhani, A., Mirzaiy, H., Maghsoudlo, Y., and Kashaninejad, M. 2009. Effect of Hydrocolloids on Oil Absorption and Quality Properties of Semi-Roasted Potato Slices. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16 (3): P. 1-13 [in Persian].
- [39] Mokhtarian, M., and Tavakolipour, H. 2014. Production of low-fat kiwi chips with aloe vera gel and determination of the mass transfer profile in deep fat frying. *Iranian*
- [22] Jokar, M., Nikoupour, H., Aminlari, M., Ramazani, R., and Mazloumi, M. 2006. Laboratory production of low-fat potato chips using From the hydrocolloid coating *Nutrition Science and Food Technology*, 1(3): p. 9-17.
- [23] Prince, C. D. M., and Welschenbach, L. M. A. 1998. Olestra: a new food additive. *Journal of the American Dietetic Association*, 98(5): p. 565-569.
- [24] Ajam, M., Niazmand, R., and Gohari Ardabili, A. 2016. The effect of replacing the isolated soy protein and temperature frying on reduction of donuts oil absorption. *Food Science and Technology International*, 13(54): p. 145-153.
- [25] Stadler, R.H., Robert, F., Riediker, S., Varga, N., Davidek, T., Devaud, S., Goldmann, T., Hau, J. and Blank, I., 2004. In-depth mechanistic study on the formation of acrylamide and other vinylogous compounds by the Maillard reaction. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(17), pp.5550-5558.
- [26] Jonnalagadda, P.R., Bhat, R.V., Sudershan, R.V. and Naidu, A.N., 2001. Suitability of chemical parameters in setting quality standards for deep-fried snacks. *Food Quality and Preference*, 12(4), pp.223-228.
- [27] Nasiri, F.D., Mohebbi, M., Yazdi, F.T. and Khodaparast, M.H.H., 2012. Effects of soy and corn flour addition on batter rheology and quality of deep fat-fried shrimp nuggets. *Food and Bioprocess Technology*, 5(4), pp.1238-1245.
- [28] Rashidzadeh, S. H., Mirzaiy, H., Maghsoudlou, Y. 2012. The effect of hydrocolloid-based edible coatings on oil absorption and quality properties of fried potato slices. *Journal of Packaging Science and Technology*. 3(12): p. 72-79.
- [29] Eissa, H.A., Ramadan, M.T., Ali, H.S. and Ragab, G.H., 2013. Optimizing oil reduction in fried eggplant rings. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(6), pp.3708-3717.
- [30] Garmakhany, A.D., Aghajani, N. and Kashiri, M., 2011. Use of hydrocolloids as edible covers to produce low fat French fries. *Latin American applied research*, 41(3), pp.211-216.

- strips. *Food Science and Technology International*, 16 (94): p. 177-185 [in Persian].
- [41] Basati, A., Hoseini, S., and Esfahanimehr, A. 2018. Effect of xanthan and carboxymethyl cellulose on textural, color and oil absorption characteristics of soyburger. *Food Research*, 28(3): p. 57-67.
- Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 9(2): p. 10-95 [in Persian].
- [40] Kenari, F., Esmailzadeh, K. R., and Khademi, S. D. 2019. The effects of locast bean and Avicennia marina seed gums on oil uptake and physicochemical of fried potato



Comparing the effect of soy protein isolate coating and sodium and calcium alginate polysaccharide coatings on the oil absorption of eggplant slices during frying

Bagheri, F.^{1,2}, Radi, M.^{1,2*}, Amiri, S.^{1,2*}

1. Department of Food Science and Technology, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran.
2. Sustainable Agriculture and Food Security Research Group, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2021/09/10
Accepted 2022/01/017

Keywords:

Sodium Alginate,
Calcium Alginate,
Eggplant,
Isolated Soy Protein,
Frying.

DOI: 10.52547/fsct.19.122.83

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.122.15.8

*Corresponding Author E-Mail:
sedighehamiri@gmail.com
msnradi@gmail.com

ABSTRACT

In recent years, the demand for fried products with lower oil content has increased. Therefore, in this study, the effect of different hydrocolloid coatings including sodium alginate (0.50 and 1.00%), calcium alginate (0.50 and 1.00%), and soy protein isolate (4.00 and 5.00%) on oil absorption and quality properties of eggplant slices during different frying times [0, 90, 180, 270, and 360 seconds] were evaluated. The results showed that the samples pretreated with hydrocolloids had lower moisture loss and oil absorption than the control sample. In this regard, among the treatments, calcium alginate (1.00%, with a moisture content of 16.66% based on dry weight and the oil absorption of 0.11 g/g food) and soy protein isolate (5.00%, with the moisture content of 33.66% based on dry weight and the oil absorption of 0.26 g/g food) had the highest and lowest function, respectively. The moisture content of the fried samples decreased with the frying time increase from 90 to 270 s. Meanwhile, the frying efficiency of calcium alginate coated samples, in all four examined times, was higher than the other treatments, which showed the highest value in 90 s (93.12%). The lowest efficiency was observed in the control sample at 360 s (49.51%). The L^* values in the samples coated with soy protein isolate were lower than the other samples, which could be due to the increase in Millard reaction. Coating the eggplant samples with calcium and sodium alginate resulted in desirable sensory parameters for 90 s. Overall, the results of this study showed that the use of calcium alginate coating (1%) could lead to the production of low-fat fried eggplant without adversely affecting the sensory and qualitative properties of the product.