بررسی تاثیر پوشش دهی برش های بادمجان در کاهش جذب روغن در طول فرآیند سرخ کردن

الهام آزادفر[1*]، امیرحسین الهامی راد[1]، اکرم شریفی[2]

[1] گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

[3] گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

تاریخ دریافت مقاله :۹۴/۴/۲ تاریخ پذیرش مقاله : ۹۴/۹/۱۱

چکیده

در این تحقیق بررسی تاثیر پیش تیمارهای مختلف (شیمیایی و پوشش دهی با ترکیبات هیدروکلوئیدی) بر سرخ کردن به عنوان یک راهکار برای کاهش جذب روغن و بهبود افزایش ماندگاری بادمجان سرخ شده مورد ارزیابی قرار گرفت . برای فرآیند پوشش دهی با ترکیبات هیدروکلوئیدی از دو ترکیب پکتین (۲٪ و۴٪) و کربوکسی متیل سلولز (۲٪ و۴٪) و تیمارهای آنزیم بری با آب داغ و بخاراستفاده شد . برای فرآیند شیمیایی از محلولهای نمک طعام۴٪ و متا بی سولفیت سدیم ۰٫۱٪ استفاده شد سپس عملیات سرخ کردن عمیق در دمای ۱۶۰ و۱۸۰ درجه سانتی گراد و در زمان ۲ و ۴ دقیقه انجام گرفت و خصوصیات فیزیکو شیمیایی همچون مقدار رطوبت ، تغییرات نسبی جذب روغن ، اندازه گیری جذب روغن ، راندمان سرخ کردن ، درصد پوشش دهی ، قهوه ای شدن غیر آنزیمی وتغییرات رنگ مورد بررسی قرار گرفت . نتایج نشان دادکه نوع پیش تیمار روی خصوصیات مقدار رطوبت ، جذب روغن ، تغییرات نسبی جذب روغن ، راندمان سرخ کردن ، درصد پوشش دهی برش های بادمجان بعد از سرخ کردن در سطح آماری یک درصد ، تأثیر معنی‌دار داشت. زمان و دمای سرخ کردن تاثیر معنی داری ($P<۰/۰۱$)بر روی راندمان سرخ کردن برش های بادمجان داشت . بطوریکه بیشینه مقدار راندمان سرخ کردن برش های بادمجان با اختلاف آماری معنی دار ($P<۰/۰۱$) در برش های سرخ شده در دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد مشاهده شد .

واژه های کلیدی: سرخ کردن عمیق، جذب روغن، بادمجان، پکتین، کربوکسی متیل سلولز.

* مسوول مکاتبات: Elham_az1313@yahoo.com

۱- مقدمه

سرخ کردن عمیق یکی از قدیمی ترین فرآیندهای آماده سازی مواد غذایی است. این فرآیند تحت عنوان غوطه ور کردن ماده غذایی در یک روغن خوراکی در دمایی بالاتر از نقطه جوش آب تعریف میگردد . در طول این فرآیند انتقال همزمان جرم وحرارت صورت می گیرد (۱۵) . در طی سرخ کردن عمیق مواد غذایی ، برخی از واکنش های بیوشیمیایی نظیر تغییرات رنگ پوسته ، دناتوراسیون پروتئین ها ، افُت ترکیبات فرار ، واکنش مایلارد و غیره ایجاد می شود. امروزه تشکیل آکریل آمیدها به عنوان عوامل بالقوه سرطانزا اهمیت کنترل دقیق فرآیند سرخ کردن عمیق را بیش از پیش ضروری نموده است. بنابراین این عوامل میتوانند کیفیت فرآورده نهایی را کاهش و مقبولیت پذیرش مصرف کننده را کم نمائید .از طرف دیگر ، علاوه بر موارد فوق ، کاهش جذب روغن یکی ازمهمترین فاکتورها در کنترل کیفی فرآیند نهایی می باشد . یکی از پیش فرآیندهای بکار رفته قبل از سرخ کردن پوشش دهی با ترکیبات هیدروکلوئیدی (نظیر کربوکسی متیل سلولز ، زانتان ، کاراگینان و تراگاکانت و غیره) می باشد (۲۲) . نظر به اینکه ویژگیهای سطحی مواد غذایی ، جذب روغن را طی سرخ کردن عمیق تحت تاثیر قرار می دهد ، اصلاح سطح توسط عوامل هیدروکلوئیدی می تواند موجب کاهش جذب روغن طی سرخ کردن عمیق گردد . از این رو ، مواد هیدروکلوئیدی مختلف به عنوان ترکیبات سدکننده در جذب روغن نظیرهیدروکسی پروپیل متیل سلولز[1] ، متیل سلولز[2] ، پکتین[3] ، آلژینات[4] ، کاراگینان[5] ، صمغ دانه خرنوب[6]و صمغ ژلان[7] مورد آزمون قرار گرفته است (۵،۱۳،۱۸و۲۴) . پوشش دهی سیب زمینی با هیدروکلوئیدها و یا نشاستهٔ اصلاح شده ، به عنوان یک روش ثانویه جهت کاهش جذب روغن طی سرخ کردن است . افزودن پودر سلولز یا مشتقات سلولز یا مخلوط دونات ، جذب روغن را به دلیل ویژگی های ژلاتیناسیون حرارتی و تشکیل فیلم ، کاهش می دهد . به علاوه ، تکنیک های سرخ کردن نظیر سرخ کردن در خلاء ، فشار و یا مایکروویو جهت کاهش جذب روغن در این محصولات موثر بوده است(۲۲) . پژوهش‌های مختلفی در زمینه سرخ کردن محصولات کشاورزی توسط محققین مختلف منتشر شده است . عیسی و همکاران(۲۰۱۳) بهینه سازی کاهش روغن در حلقه های بادمجان سرخ شده را مطالعه نمودند .آنها تاثیر پیش تیمار حرارتی با استفاده از آنزیم بری با آب و بخار و پیش تیمار شیمیایی توسط خیساندن در کیتوزان ، کربوکسی متیل سلولز یا کلرید سدیم را بر روی محتوای رطوبت ، جذب روغن ، ارزیابی حسی ، رنگ و خصوصیات کیفیت بادمجان سرخ کردن را بررسی نمودند . نتایج نشان داد که نمونه شاهد کمترین میزان جذب روغن را داشته و پس از آن نمونه تحت تیمار کلرید سدیم و در ادامه نمونه های پوشش یافته با کیتوزان و بخار جذب روغن کمتری نسبت به نمونه های پوشش یافته با کربوکسی متیل سلولز و آب داغ را داشته است(۱۲) . باربوت (۲۰۱۳) تاثیر پوشش دهی را روی ویژگیهای ریزساختاری ، رنگ و بافت تکه های گوشت کم چرب[8]را طی سرخ کردن مطالعه نمود . در این مطالعه فیله سینه جوجه بدون استخوان و بدون پوست ، به صورت عمیق در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد با و بدون شیرآبه و سیستم پوشش پخت برای مدت ۶ دقیقه سرخ شد . نمونه های بدون پوشش به محض اینکه در روغن قرار گرفتند سطح ماهیچه به صورت شکافدار شد(۷). یوسفی و همکاران (۲۰۱۲) سینتیک انتقال جرم در ورقه های گوشت شترمرغ سرخ شده همراه با پیش پخت با مایکروویو را بررسی نمودند . تاثیر سطح توان مایکروویو ، دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن بر روی ضریب انتقال جرم تعیین گردید . در میان کلیهٔ تیمارها ، نمونهٔ پیش پخت شده در توان مایکروویو ۵/۲۳ وات بر گرم و سپس سرخ شده در دمای ۱۳۵ درجه سانتیگراد کمترین محتوای روغن را داشت . دامنهٔ ضریب نفوذ موثر رطوبت $۱/۴۷\times۱۰^{۸}$ تا $۴/۱۷\times۱۰^{۸}$ بود . انرژی فعالسازی توسط رابطه آرنیوس در دامنهٔ انتشار رطوبت مؤثر بین ۳۸/۸۴ تا ۵۱/۰۷ kj/mol بدست آمد (۶). دیامنت و همکاران (۲۰۱۲) بهینه سازی فرایند سرخ کردن تحت خلاء برش های کیوی طلایی را توسط سطح پاسخ بررسی نمودند . نتایج نشان داد که با افزایش دما و زمان سرخ کردن مقدار رطوبت کاهش یافت .همچنین با افزایش دمای سرخ کردن تغییرات رنگ افزایش یافت . اندیس قهوه ای شدن نمونه ها نیز با افایش دما و زمان سرخ کردن افزایش یافت

[1] Hydroxypropyl methyl cellulose
[2] Methyl cellulose
[3] Pectins
[4] Alginate
[5] Carrageenan
[6] Locust bean gum
[7] Gellan gum

[8] Lean meat portions

(۱۰). دهقان نصیری و همکاران (۲۰۱۱) ، مدلسازی سینتیک انتقال جرم ناگت خرچنگ سرخ شده به روش عمیق در شرایط مختلف فرمولاسیون خمیرآبه مورد بررسی قرار دادند . آنها اظهار نمودند که بیشترین کاهش جذب روغن در نمونه پوشش دهی شده با ۱۰ ٪ آرد سویا و سرخ شده در ۱۹۰ درجه سانتیگراد مشاهده گردید (۹) . دارایی و همکاران (۲۰۱۱) ، بکارگیری پوشش های خوراکی و هیدروکلوئیدها را جهت تولید خلال سیب زمینی سرخ شده کم چرب[1] مورد بررسی قرار دادند . نتایج نشان داد که نمونه های پوشش دهی شده با صمغ زانتان و پکتین و مخلوط پکتین و کربوکسی متیل سلولز دارای بیشترین محتوای رطوبت بود (۸) . نیون کیم و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر پوشش های هیدروکلوئیدی را بر روی انتقال حرارت و جذب روغن طی سرخ کردن عمیق قطعات سیب زمینی را مطالعه نمودند . نتایج نشان داد که پوشش های خوراکی به طورمعنی داری ضرایب انتقال حرارت را کاهش داد ، همچنین پوششهای خوراکی جذب روغن را کاهش داده به طوری که افزایش غلظت پوشش تاثیر قابل ملاحظه ای بر این موضوع داشت (۲۱) . پارساپور و لامع (۱۳۸۳) امکان تولید چیپس سیب زمینی با روش خشک کردن را مورد مطالعه قرار دادند.برای این منظور برگه های سیب زمینی پس از خشک شدن به نسبتهای صفر ، ۵ و ۱۰ درصد روغن به حالت سرد وگرم (۸۰-۷۵ درجه سانتیگراد) روی آنها پاشیده شد . نتایج نشان داد که نمونهٔ آزمایشی تولید شده با ۱۰ % روغن ، از نظر ویژگی های منفی نظیر میزان نمک ، روغن و مقدار پراکسید ، کمتر از شاهد بود (۱) . جوکار و همکاران (۱۳۸۵) تولید آزمایشگاهی چیپس سیب زمینی کم چربی را با استفاده از پوشش هیدروکلوئیدی مختلف مورد بررسی قرار دادند . نتایج نشان داد که پوشش 5 درصد پکتین به دلیل بالاترین درصد کاهش جذب روغن و بالاترین پذیرش کلی و بالاترین کاهش در عدد پراکسید و افزایش عمرنگهداری ، مناسبترین پوشش تشخیص داده شد (۳) . در این تحقیق بررسی تاثیر پیش تیمارهای مختلف (شیمیایی و پوشش دهی با ترکیبات هیدروکلوئیدی) بر سرخ کردن به عنوان یک راهکار برای کاهش جذب روغن و بهبود افزایش ماندگاری بادمجان سرخ شده مورد ارزیابی قرار گرفت سپس به بررسی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی فراوردهٔ پرداخته شد .

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده‌سازی ماده اولیه

به منظور انجام این پژوهش بادمجان گلخانه ای واریته Solanom melogena به عنوان ماده خام اولیه از بازار محلی سبزوار بصورت فله خریداری گردید .

پکتین نارنگی وکربوکسی متیل سلولز ساخت شرکت سیگما آلدریچ استفاده شد. نمک طعام و متابی‌سولفیت سدیم ساخت شرکت مرک آلمان استفاده شد. آب مقطر بدون یون ساخت شرکت زیمنس واز روغن سرخ کردنی آفتابگردان ساخت شرکت بهاراستفاده شد .

۲-۲- پیش تیمارها وفرآیندسرخ کردن عمیق برش های بادمجان

پس از نمونه‌برداری به صورت تصادفی سرخ کردن بادمجان در مقیاس آزمایشگاهی به شرح ذیل صورت گرفت .

پس از خریداری بادمجان ، به منظور کاهش فعالیتهای تنفسی و بیولوژیکی تا زمان آزمایش در یخچال در 5-۴ درجه سانتیگراد نگهداری گردید . پس از خروج از یخچال نمونه های بادمجان با پوست براق و ارغوانی تیره و دارای اندازهٔ یکنواخت جهت آزمایشات انتخاب شدند . نمونه های منتخب شستشو و مواد خارجی روی پوست بادمجان ها جدا شدند . سپس پوست بادمجان ها توسط یک چاقوی تیز جدا گردید . در ادامه ، توسط دستگاه برش زن به برشهای حلقوی با ضخامت ۱۰ میلیمتر تقسیم گردید . جهت یکسانتر بودن برش ها ، قطر و ضخامت توسط کولیس (ورتکس مدل M502 ، ساخت چین با دقت ۰,۰۱ میلی متر) کنترل شد (۲) . پیش تیمارهای مورد استفاده جهت سرخ کردن عمیق برشهای بادمجان به صورت زیر انتخاب گردید :

- نمونه شاهد[2] : هیچگونه تیماری بر روی آنها انجام نگرفت .
- پوشش دهی با ترکیبات هیدروکلوئیدی : برای فرآیند پوشش دهی از پکتین (۲٪ و ۴٪) و کربوکسی متیل سلولز (۲٪ و ۴٪) استفاده شد . فرآیند پوشش دهی در دمای اتاق انجام گردید . فرآیند پوشش دهی به مدت ۲۰ دقیقه به طول انجامید . برش ها

[1] French fries

[2] Blank

بعد از خروج از محلول های هیدروکلوئیدی فوق الذکر ، به مدت ۵ دقیقه با کاغذ صافی خشک گردید . در نهایت برای تثبیت پوشش ، نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در یک آون خشک (Memmert, model UNE 400 PA, Scheabach, Germany) و سپس تحت فرآیند سرخ کردن عمیق قرار گرفتند (۲۳،۱۶،۱۴).

- آنزیم بری با آب داغ [1] و بخار [2]: نمونه ها در آب داغ و بخار به مدت ۳ دقیقه بلانچ شدند و سپس روی یک توری فلزی قرار گرفته تا آب اضافی آنها خارج شود (۱۴) .

- تیمار شیمیایی [3] : نمونه ها به طور جداگانه در محلول های نمک طعام (مرک [4] ، بادرجه خلوص٪۱۰۰ ، ساخت شرکت آلمان) ۴٪ و متابی سولفیت سدیم [5] (مرک ، آلمان ،) ۰/۱٪ به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق غوطه ور شدند (۱۴) . عملیات سرخ کردن عمیق در یک سرخ کن خانگی (Ultra Europe Classic2000) انجام گرفت . در عملیات سرخ کردن از روغن سرخ کردنی آفتابگردان استفاده گردید (۱۴) . روغن تازه حدوداً نیم ساعت قبل از سرخ کردن تحت فرآیند پیش گرمایش قرار گرفت . بعد از تنظیم دمای روغن سرخ کن در ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتیگراد نمونه ها در داخل سبد سیمی قرار گرفته و سپس در محیط سرخ کننده غوطه ور گردید . روغن سرخ کردنی پس از گذشت مدت ۲ ساعت سرخ کردن مداوم ، با روغن تازه جایگزین گردید . بعد از گذشت مدت زمان های مربوطه نمونه ها از روغن خارج و روغن اضافی سطحی توسط کاغذ صافی حذف شد . نمونه ها قبل از انجام آزمون های بعدی تا دمای اتاق سرد شد .فرآیند سرخ کردن در۳ تکرار انجام گردید (۱۴) .

در جدول ۱مشخصات تیمارهای بکار رفته در سرخ کردن برش های بادمجان نشان داده شده است .

جدول ۱-کد تیمارهای بکار رفته در سرخ کردن برش های بادمجان.

تیمار	کد
شاهد	To
۲٪کربوکسی متیل سلولز	T1
۴٪کربوکسی متیل سلولز	T2
پکتین۲٪	T3
پکتین۴٪	T4
تیمارشیمیایی	T5
آنزیم بری بابخارآب داغ	T6
آنزیم بری با آب داغ	T7

۲-۳- تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر درسرخ کردن بادمجان

۲-۳-۱-محتوای رطوبت

رطوبت نمونه‌های سرخ شده به روش استاندارد AOAC (۱۹۹۰) از طریق قرار دادن نمونه‌ها در آون (مدل Ksvoosh Mega)، در دمای ۰/۵±۱۰۵ درجه سانتیگراد تا دستیابی به وزن ثابت اندازه‌گیری شدند (۹) .

۲-۳-۲- تغییرات نسبی جذب روغن [6]

تغییرات نسبی جذب روغن به صورت زیر محاسبه شد .

(۱)

$$OUR= \frac{OU\ Untreated - OU\ treated}{OU\ Untreated} \times 100$$

برای هر یک از زمانهای سرخ کردن و پیش فرآیندها مقدار تغییرات نسبی جذب روغن محاسبه شد(۱۴) .

۲-۳-۳- اندازه گیری جذب روغن

جذب روغن محصول سرخ شده توسط موازنهٔ جرم تعیین شد . (۲)

۲-۳-۴- راندمان سرخ کردن

راندمان سرخ کردن به کمک رابطه ی زیر محاسبه شد :

(۲)

$$Y(\%)= \frac{F}{NF} \times 100$$

دراین معادله Y(%) ، F ، NF به ترتیب راندمان سرخ کردن بر حسب (٪)، وزن برش های پوشش دار (بدون پوشش یا شاهد)

[1] Water blanching
[2] Steam blanching
[3] Chemical treatment
[4] MERCK
[5] Sodium metabisulfite (So_2)
[6] Oil uptake relative variation % (OUR)

سرخ شده (g) و وزن برش های پوشش دارسرخ نشده (g) می باشد (۸) .

۲-۳-۵- درصدپوشش دهی

درصد پوشش دهی به کمک رابطه ی زیر محاسبه شد :

$$CP(\%) = \frac{C - I}{I} \times 100 \quad (۳)$$

دراین معادلات به ترتیب CP(%) ، C ، I درصد پوشش دهی (٪) ، وزن برش های اولیه پوشش دهی شده (g) و وزن برش های اولیه بدون پوشش (g) می باشد (۸) .

۲-۳-۶- شاخص قهوه ای شدن

قهوه ای شده غیر آنزیمی نمونه های بادمجان سرخ شده توسط روش اسپکتروفتومتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV VIS – مدل DR 5000 ، ساخت امریکا) و اتانول به عنوان نمونه شاهد در طول موج ۴۲۰ نانومتر تعیین شد (۱۴) .

۲-۳-۷- اندازه‌گیری رنگ

برای اندازه‌گیری میزان رنگ بادمجان سرخ شده از نرم افزار گرافیکی Image J استفاده گردید . برای اندازه‌گیری رنگ بادمجان سرخ شده ابتدا از بادمجان ها در شرایط استاندارد از لحاظ نوری ، عکس تهیه گردید . بعد از تهیه عکس‌های مورد نیاز ، عکس‌ها به کامپیوتر منتقل شده و در نرم‌افزار مربوطه جهت اندازه‌گیری تغییرات رنگ ، بارگذاری گردید (۴) . و پس از انتقال به نرم افزار مربوطه مقادیر L، a و b تعیین گردید . در این سیستم رنگ‌سنجی ، پارامتر L میزان روشنایی را در محدوده‌ی ۰ (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) اندازه‌گیری می‌نماید . همچنین دو پارامتر a و b به ترتیب نشان دهنده‌ی سبزی تا قرمزی و آبی تا زردی نمونه بوده که به ترتیب در محدوده‌ی ۱۲۰- (سبز) تا ۱۲۰+ (قرمز) و ۱۲۰- (آبی) تا ۱۲۰+ (زرد) قرار دارد . تغییرات کلی رنگ در برش های بادمجان (ΔE) توسط رابطه (۴) محاسبه گردید .

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (۴)$$

در این رابطه ، مقادیر L_0، a_0 و b_0 مقادیر نمونه قبل از سرخ کردن می‌باشند (۱۶)

به منظوراندازه‌گیری شاخص قهوه‌ای شدن[1] برش های بادمجان طی فرآیند سرخ کردن از روش پیشنهادی زیر استفاده گردید . شاخص قهوه‌ای شدن با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری شد (۱۶).

$$BI = \frac{(x - 0.31)}{0.17} \times 100 \quad (۵)$$

در این رابطه x به صورت زیر محاسبه می‌گردد :

$$x = \frac{(a + 1.75L)}{(5.645L + a - 3.012b)} \quad (۶)$$

۲-۳-۸- ارزیابی حسی

آزمون ارزیابی حسی به وسیله‌ی یک گروه ارزیاب حسی متشکل از ۱۰ نفر از متخصصان علوم و صنایع غذایی انجام پذیرفت . کلیه‌ی ارزیابی‌ها به روش آزمون حسی محصول‌گرا[2] (روش امتیازدهی[3] شدت یک ویژگی)[4] و با امتیازبندی هدونیک[5] پنج نقطه‌ای صورت گرفت . بدین ترتیب که پرسشنامه‌هایی تهیه شده و از هر فرد ۵ سؤال پرسیده شد و برای هر سؤال ۵ گزینه به عنوان پاسخ موجود بود . سؤالات مطرح شده عبارتند از رنگ ، طعم و مزه ، پذیرش آروما ، احساس دهانی و پذیرش کلی . همچنین لازم به ذکر است گروه سنی ارزیاب‌ها متشکل از مرد و زن با سن ۲۵ تا ۵۰ سال بود .

۲-۴- آنالیز آماری

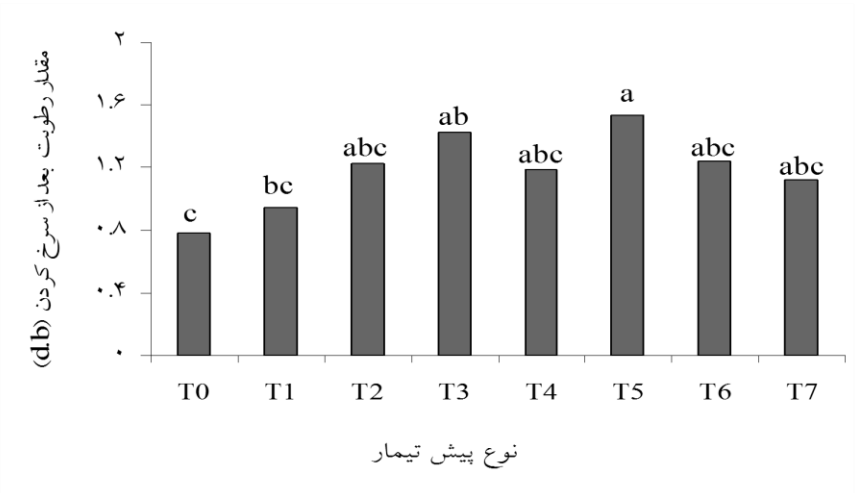
در این بررسی از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در 2 تکرار استفاده گردید . جهت مقایسه میانگین داده ها از آزمون حداقل اختلاف معنادار[6] (LSD) درسطح احتمال ۹۹٪ استفاده شد . کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم افزار Statistix نسخه ۸ صورت گرفت .

۳- نتایج و بحث

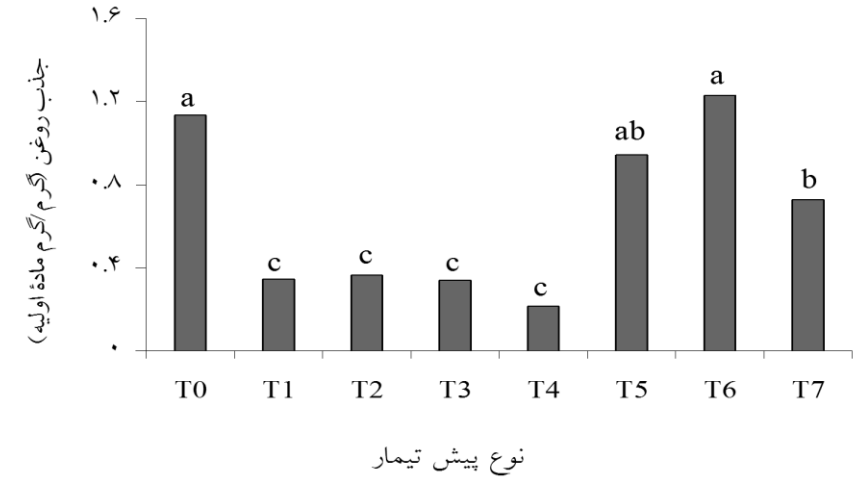
۳-۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

نتایج آنالیز واریانس تاثیر نوع پیش تیمار بر روی مقدار رطوبت برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق درشکل ۱ نشان داده شده است . نتایج نشان داد که نوع پیش تیمار تأثیر معنی دار

[1] Browning Index (BI)
[2] Product-Oriented Testing (POT)
[3] Scoring
[4] Single Stimulus
[5] Hedonic
[6] Least Significant Difference (LSD)



شکل ۱- تاثیر نوع پیش تیمار بر روی مقدار رطوبت برش های بادمجان بعد از سرخ کردن.



شکل ۲- تاثیر نوع پیش تیمار بر روی جذب روغن برش های بادمجان سرخ شده.

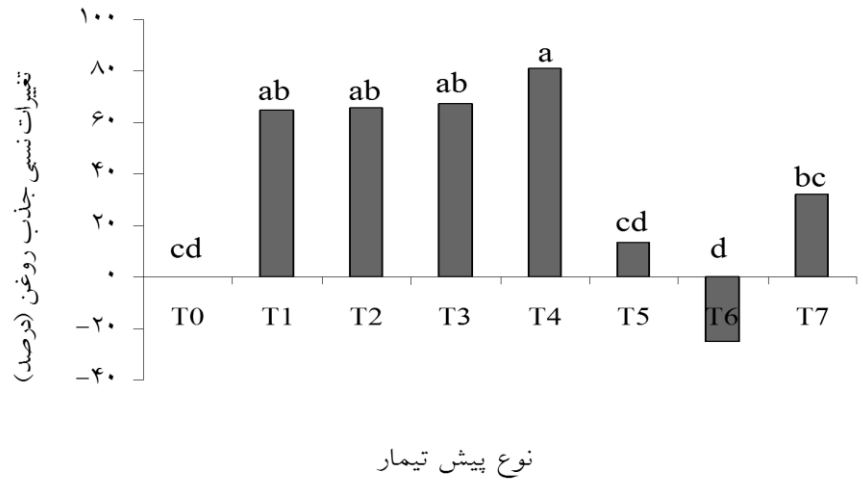
(p<۰/۰۱) بر روی مقدار رطوبت برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق داشت. به طوری که بیشینه مقدار رطوبت برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق با اختلاف معنی دار (P<۰/۰۱) در برش های تیمار شده به روش شیمیایی(T5) مشاهده شد(شکل ۱) . همچنین نتایج نشان داد که برش های بادمجان شاهد دارای کمترین مقدار رطوبت بعد از سرخ کردن عمیق بودند. نتایج آنالیز واریانس تاثیر نوع پیش تیمار بر روی مقدار جذب روغن برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق در شکل ۲ نشان داده شده است . نتایج نشان داد که نوع پیش تیمار تأثیر معنی دار (P<0/ 01) بر روی مقدار جذب روغن برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق داشت . به طوری که بیشینه مقدار جذب روغن برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق با اختلاف معنی دار(P<0/ 01) در برش های تیمار شده به روش آنزیم بری با بخار آب داغ (T_6) مشاهده شد (شکل ۲) . همچنین نتایج نشان داد که برش های بادمجان تیمار شده با ۴٪ پکتین (T_4) دارای کمترین مقدار جذب روغن بعد از سرخ کردن عمیق بود .

دارایی وهمکاران (۲۰۱۱) و Williams and Mittal(1999) بیان نمودند که پوشش دهی با مواد هیدروکلوئیدی منجر به افزایش مقدار رطوبت و کاهش جذب روغن فرآورده سرخ شده می گردد . این حالت به دلیل خاصیت سدکنندگی پوشش ها و ممانعت از خروج رطوبت در هنگام سرخ شدن می باشد(۸) . جذب روغن و افُت رطوبت دو فاکتور اصلی در پدیده انتقال جرم طی سرخ کردن عمیق می باشند(۸) . جذب روغن به طور مستقیم وابسته به زمان و دمای سرخ کردن می باشد(۲۲،۲۰) . دمای بالای روغن ، طی سرخ کردن عمیق منجر به تبخیر

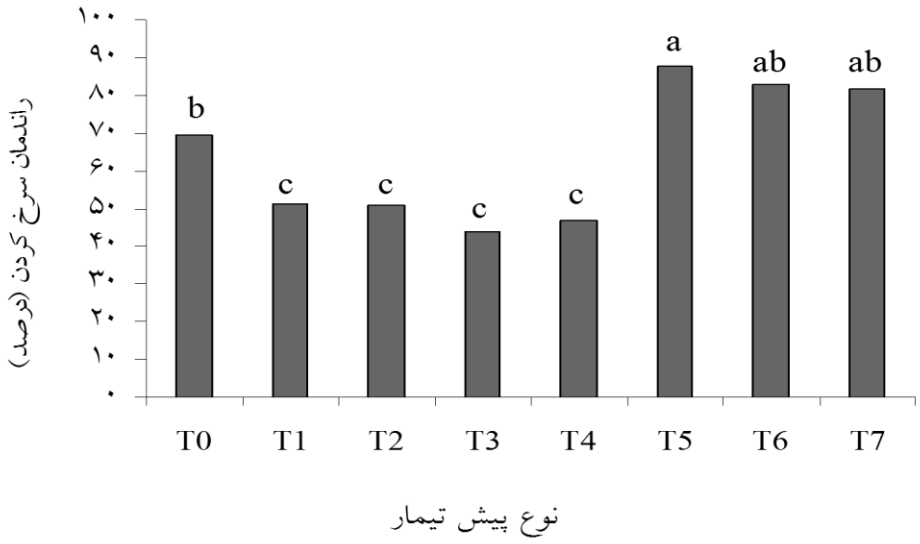
تدریجی آب از ماده غذایی به محیط سرخ کننده و در مقابل طبق مکانیسم انتقال جرم ، جذب روغن از طریق ماده غذایی میگردد (۲۰) . نظر به اینکه جذب روغن یک پدیده سطحی است و روغن میتواند در جایی که آب تبخیر میگردد ، نفوذ نماید (۱۹،۱۱) . بنابراین، افُت رطوبت و جذب روغن دو پدیده نا همسو و وابسته به هم می باشند .

نتایج آنالیز واریانس تاثیر نوع پیش تیمار بر روی تغییرات نسبی جذب روغن برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق در شکل ۳ نشان داده شده است . نتایج نشان داد که نوع پیش تیمار تأثیر معنی دار (P<0/ 01) بر روی تغییرات نسبی جذب روغن برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق داشت . به طوری که بیشینه مقدار تغییرات نسبی جذب روغن برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق با اختلاف معنی دار (P<0/ 01) در برش های تیمار شده با ۴٪ پکتین (T_4) مشاهده شد (شکل ۳) . همچنین نتایج نشان داد که برش های بادمجان شاهد (T_0) دارای کمترین مقدار تغییرات نسبی جذب روغن بعد از سرخ کردن عمیق بودند . به طور کلی بیشتر بودن تغییرات نسبی جذب روغن ، به معنای کاهش جذب روغن فراوردهٔ نهایی می باشد . نتایج مشابه توسط عیسی و همکاران مشاهده شد (۱۲) . نتایج آنالیز واریانس تاثیر نوع پیش تیمار بر روی راندمان سرخ کردن برش های بادمجان بعد از سرخ کردن عمیق در شکل ۴ نشان داده شده است . نتایج نشان داد که نوع پیش تیمار تأثیر معنی دار (P<0/ 01) بر روی راندمان سرخ کردن برش های بادمجان داشت .به طوری که بیشینه مقدار راندمان سرخ کردن برش های بادمجان با اختلاف معنی دار(P<0/ 01) در برش های تیمار شده به روش شیمیایی(T_5) مشاهده شد(شکل ۴) . همچنین نتایج نشان داد که برش های بادمجان تیمار شده با۲٪ پکتین(T_3) دارای کمترین مقدار راندمان سرخ کردن بودند. نتایج آنالیز واریانس تاثیر نوع پیش تیمار بر روی درصد پوشش دهی برش های بادمجان در شکل ۵ نشان داده شده است . نتایج نشان داد که نوع پیش تیمار تأثیر معنی دار (P<0/ 01) بر روی درصد پوشش دهی داشت. به طوری که بیشینه درصد پوشش دهی برش های بادمجان با اختلاف معنی دار (P<0/ 01) در برش های تیمار شده با ۲٪ پکتین (T_3) مشاهده شد (شکل ۵) .افزایش درصد پوشش دهی پکتین در مقایسه با سایر پوشش ها می تواند به دلیل قدرت بالای تشکیل ژل پکتین باشد (۸).

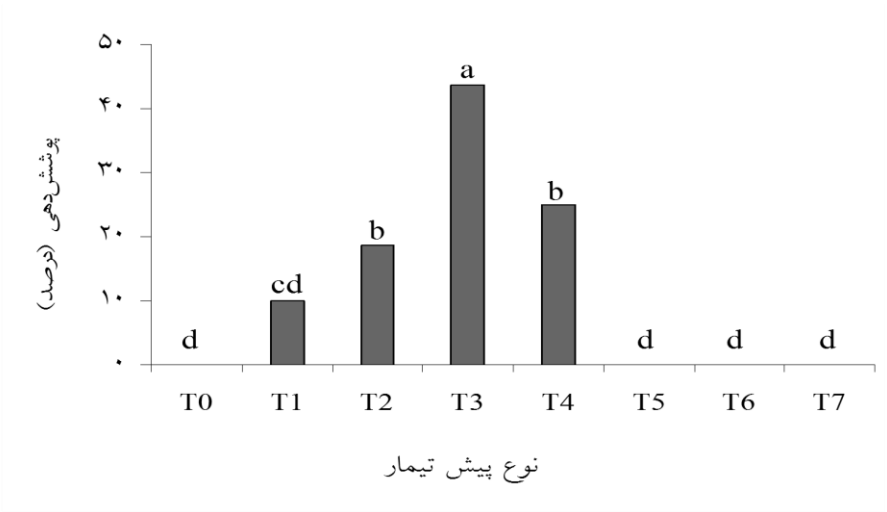
با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<۰/۰۱) دما وزمان سرخ کردن روی راندمان سرخ کردن ، بیشینه‌ی مقدار این پارامتر در دمای سرخ کردن ۱۶۰ درجه سانتیگراد وزمان ۲ دقیقه مشاهده گردید(شکل ۶و۷) . نتایج مشابه توسط دارایی و همکاران(۲۰۱۱)مشاهده شد(۸) .



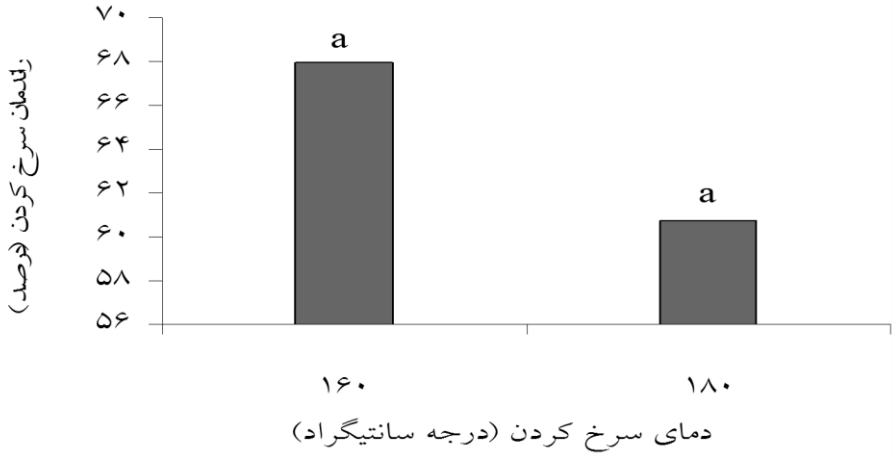
شکل ۳- تاثیر نوع پیش تیمار بر روی تغییرات نسبی جذب روغن برش های بادمجان سرخ شده.



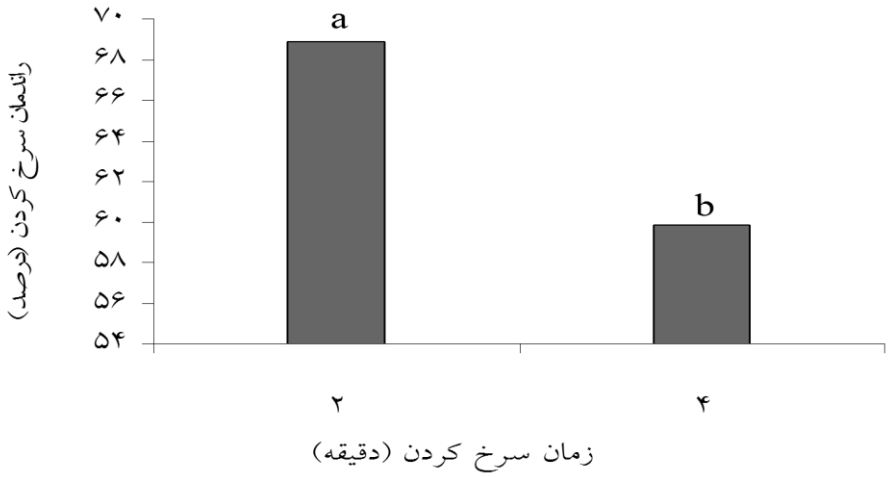
شکل۴ - تاثیر نوع پیش تیمار بر روی راندمان سرخ کردن برش های بادمجان سرخ شده.



شکل۵ - تاثیر نوع پیش تیمار بر روی درصد پوشش دهی برش های بادمجان سرخ شده.



شکل۶-تاثیر دمای سرخ کردن بر روی راندمان سرخ کردن برش های بادمجان سرخ شده.



شکل ۷- تاثیر زمان سرخ کردن بر روی راندمان سرخ کردن برش های بادمجان سرخ شده.

با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<۰/۰۱) اثرمتقابل نوع پیش تیمار × دمای سرخ کردن روی خصوصیات مقداررطوبت وجذب روغن،برش های بادمجان سرخ شده بیشینه‌ی مقادیر این خصوصیات به ترتیب متعلق به نمونه های در دمای ۱۶۰ درجه سانتیگراد تیمار شده باپکتین ۲٪نمونه های در دمای ۱۶۰ درجه سانتیگراد و افزودنی T_6 بود (جدول ۲). وهمچنین با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<۰/۰۱) اثرمتقابل نوع پیش تیمار × زمان سرخ کردن بر روی تغییرات نسبی جذب روغن بیشینه‌ی مقادیر این خصوصیت متعلق به نمونه های ۱۸۰درجه سانتی گراد در زمان ۲ دقیقه بود. نتایج مشابه توسط دارایی و همکاران(۲۰۱۱)مشاهده شد(۸) . نتایج مربوط به تجزیه‌ی واریانس شاخص‌های رنگ برش های بادمجان سرخ شده در جدول۳ آورده شده است. نتایج نشان داد که نوع پیش تیمار روی شاخص‌های رنگ L، a و ΔE وBI وهمچنین قهوه ای شدن غیرآنزیمی نمونه های سرخ شده در دمای سرخ کردن روی تمامی شاخص‌های برش های بادمجان به سطح آماری یک درصد، تأثیر معنی‌دار (P<۰/۰۱) داشت . تأثیر جز b در سطح آماری یک درصد معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود .

جدول ۲- مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی برش های بادمجان تحت تأثیر نوع پیش تیمار × دمای سرخ کردن و نوع پیش تیمار × زمان سرخ کردن با استفاده از آزمون LSD (P< ۰/۰۱).

منبع تغییر	میانگین مربعات		
	رطوبت	جذب روغن	تغییرات نسبی جذب روغن
نوع پیش تیمار × دمای سرخ کردن (A*C)	۰/۰۷۴۸۲۷**	۰/۲۳۰۴۵**	۲۲۰۹/۴
نوع پیش تیمار × زمان سرخ کردن (B*C)	۰/۳۵۴۹۸	۰/۰۳۸۵۳	۵۴۰۹/۴**

**: معنی‌دار در سطح یک درصد، بدون ستاره: معنی‌دار نیست.

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر نوع افزودنی و دمای سرخ کردن و زمان سرخ کردن بر شاخص‌های رنگ برش های بادمجان سرخ شده.

منبع تغییر	میانگین مربعات				
	L	A	ΔE	BI	قهوه ای شدن غیر آنزیمی
نوع پیش تیمار	۱/۰×۱۰^{۵**}	۶/۱×۱۰^{۳**}	۸/۶×۱۰^{۴**}	۱/۵×۱۰^{۴**}	۱/۸×۱۰^{۴**}
دمای سرخ کردن	۱/۱×۱۰^{۵**}	۲/۹×۱۰^{۴**}	۹/۸×۱۰^{۴**}	۵/۷×۱۰^{۴**}	۲/۵×۱۰^{۶**}
زمان سرخ کردن	۱/۷×۱۰^{۲**}	۱/۰×۱۰^{۴**}	۳/۲۲^{Ns}	۶/۴×۱۰^{۳**}	۳/۴×۱۰^{۵**}

**: معنی‌دار در سطح یک درصد، بدون ستاره: معنی‌دار نیست.

تأثیر زمان سرخ کردن روی تمامی شاخص‌های رنگ برش های بادمجان در سطح آماری یک درصدبه جز b معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود. با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<۰/۰۱) نوع پیش تیمار روی شاخص‌های رنگ L، a و ΔE وBI وهمچنین قهوه ای شدن غیرآنزیمی برش های بادمجان سرخ شده ، بیشینه‌ی مقادیر این شاخص‌های رنگ به ترتیب متعلق به افزودنی‌های آنزیم بری با آب داغ ، ۴٪ پکتین و۴٪کربوکسیل متیل سلولز و۲٪پکتین ونمونه شاهد بود . با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<۰/۰۱) دمای سرخ کردن روی شاخص‌های رنگ L، a و ΔE وBI وهمچنین قهوه ای شدن غیرآنزیمی برش های بادمجان سرخ شده ، بیشینه‌ی مقادیر این شاخص‌های رنگ به ترتیب متعلق به دمای ۱۶۰ ، ۱۸۰، ۱۸۰، ۱۸۰ ،۱۸۰ درجه سانتی گراد بود . همچنین با توجه به تأثیر معنی‌دار (P<۰/۰۱) زمان سرخ کردن روی شاخص‌های رنگ L، a و ΔE وBI وهمچنین قهوه ای شدن غیرآنزیمی برش های بادمجان سرخ شده ، بیشینه‌ی مقادیر این شاخص‌های رنگ به ترتیب متعلق به زمان ۲ ، ۴، ۴ ، ۴ ، ۴ دقیقه بود .

۳-۲- بهینه‌سازی فرآیند سرخ کردن عمیق

جهت تعیین شرایط بهینه (از لحاظ نوع پیش تیمار ، دما و زمان سرخ کردن) فرآیند سرخ کردن عمیق ، تیمارهای تحت بررسی با برخی از مهم ترین شاخص های کیفی فرآورده نهایی (نظیر جذب روغن و راندمان سرخ کردن) امتیازدهی گردید . شرایط بهینه کمترین جذب روغن و بیشترین راندمان سرخ کردن بود . به طوری که در مورد شاخص جذب روغن بیشترین امتیاز به تیمار باکمترین جذب روغن و در مورد راندمان سرخ کردن ، بالاترین امتیاز به تیمار با بیشترین راندمان سرخ کردن تعلق گرفت . حال با توجه به قیود فوق ، فرآیند امتیازدهی تیمارها مورد بررسی و نتایج در جدول ۴ ثبت گردید . بعد از فرآیند امتیازدهی ، شرایط بهینه مربوط به تیماری است که از لحاظ شاخص های کیفی مورد بررسی بیشترین امتیاز لازم را کسب نماید . در مجموع از بین 32 تیمار مورد بررسی تنها تیمارهای 4 امتیازی ، کلیهٔ امتیازات و قیود مربوطه را کسب و به عنوان بهترین تیمارها معرفی شدند .

۴- نتیجه گیری

نتایج نشان داد که نوع پیش تیمار روی خصوصیات مقداررطوبت ، جذب روغن ، تغییرات نسبی جذب روغن ، راندمان سرخ کردن ، درصدپوشش دهی برش های بادمجان بعداز سرخ کردن در سطح آماری یک درصد ، تأثیر معنی‌دار (P<۰/۰۱) داشت . بطوری که بیشینه مقدارآنها به ترتیب مربوط به T5، T6، T4 ، T3،T5 بود . همچنین نتایج نشان دادکه زمان سرخ کردن تاثیر معنی داری (P<۰/۰۱) بر روی راندمان سرخ کردن برش های بادمجان داشت . بطوری که بیشینه مقدار راندمان سرخ کردن برش های بادمجان با اختلاف آماری معنی دار (P<۰/۰۱) در برش های سرخ شده در زمان ۲ دقیقه مشاهده شد . همچنین نتایج نشان دادکه دمای سرخ کردن تاثیر معنی داری (P<۰/۰۱) بر روی راندمان سرخ کردن برش های بادمجان داشت . بطوریکه بیشینه مقدار راندمان سرخ کردن برش های بادمجان با اختلاف آماری معنی دار (P<۰/۰۱) در برش های سرخ شده در دمای ۱۶۰درجه سانتی گراد مشاهده شد . نتایج نشان دادکه بیشینه شاخصΔE با اختلاف معنی دار(P<۰/۰۱) درنمونه بادمجان سرخ شده در دمای ۱۸۰درجه سانتی گراد به مدت ۴ دقیقه همراه با پیش تیمار۴٪ کربوکسی متیل سلولز مشاهده شد . نتایج نشان داد که ، بیشینه ی شاخص قهوه ای شدن غیر آنزیمی با اختلاف معنی دار (P<۰/۰۱) درنمونه شاهد بادمجان سرخ شده در دمای ۱۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ دقیقه مشاهده شد .

جدول ۴- امتیازدهی فرآیند سرخ کردن بادمجان.

دما (°C)	زمان سرخ کردن	نوع پیش تیمار	جذب روغن	راندمان سرخ کردن	مجموع امتیازات
۱۶۰	۲	شاهد	–	**	۲
	۲	۲٪ کربوکسی متیل سلولز	*	–	۱
	۲	۴٪ کربوکسی متیل سلولز	**	–	۲
	۲	پکتین ۲٪	*	–	۱
	۲	پکتین ۴٪	****	–	۴
	۲	تیمارشیمیایی	–	****	۴
	۲	آنزیم بری بابخارآب داغ	–	***	۳
	۲	آنزیم بری باآب داغ	*	***	۴
	۴	شاهد	–	–	–
	۴	۲٪ کربوکسی متیل سلولز	**	–	۲
	۴	۴٪ کربوکسی متیل سلولز	****	–	۴
	۴	پکتین ۲٪	**	–	۲
	۴	پکتین ۴٪	***	–	۳
	۴	تیمارشیمیایی	–	***	۳
	۴	آنزیم بری بابخارآب داغ	–	–	–
	۴	آنزیم بری باآب داغ	*	*	۲
۱۸۰	۲	شاهد	–	–	–
	۲	۲٪ کربوکسی متیل سلولز	****	–	۴
	۲	۴٪ کربوکسی متیل سلولز	**	–	۲
	۲	پکتین ۲٪	***	–	۳
	۲	پکتین ۴٪	****	–	۴
	۲	تیمارشیمیایی	–	***	۳
	۲	آنزیم بری بابخارآب داغ	–	****	۴
	۲	آنزیم بری باآب داغ	–	**	۲
	۴	شاهد	–	–	–
	۴	۲٪ کربوکسی متیل سلولز	***	–	۳
	۴	۴٪ کربوکسی متیل سلولز	**	–	۲
	۴	پکتین ۲٪	****	–	۴
	۴	پکتین ۴٪	***	–	۳
	۴	تیمارشیمیایی	–	–	–
	۴	آنزیم بری بابخارآب داغ	–	–	–
	۴	آنزیم بری باآب داغ	–	**	۲
جمع امتیازات			۴۶	۲۷	۷۳

****؛ بالاترین امتیاز،*** ؛ امتیاز متوسط،** ؛ امتیاز کم،* ؛ امتیاز خیلی کم، بدون ستاره؛ مردود.

۵- منابع

۱- پارساپور، م.م .لامع، ح.۱۳۸۳. امکان تولید چیپس سیب زمینی با روش خشک کردن .فصلنامهٔ علوم و صنایع غذایی ایران(۲):۱۱۵-۲۲.

۲- توکلی پور، ح.۱۳۸۹. اصول مهندسی صنایع غذایی . انتشارات آییژ.

۳- جوکار، م .نیکوپور، ه .امین لاری، م .رمضانی، ر .مظلومی، م.ت.۱۳۸۵.تولید آزمایشگاهی چیپس سیب زمینی کم چربی با استفاده از پوشش هیدروکلوئیدی .فصلنامه علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران۱(۳): ۱۷-۹ .

۴- شهیدی، ف .محبی، م .احتیاطی، ا.۱۳۸۹.تحلیل تصاویر رقمی مغز نان بربری غنی شده با آرد سویا . نشریه پژوهش های صنایع غذایی ایران .جلد ۶ .شماره ۴ .صفحه۲۴۷-۲۵۳

۵. Albert, S., Mittal, G.S. 2002. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. Journal of Food Research International, 35 (5): 445-458.

۶. Amiryousefi, M.R., Mohebbi, M., Khodaiyan, F. 2012. Kinetics of Mass Transfer in Microwave Precooked and Deep-Fat Fried Ostrich Meat Plates. Food Bioprocess Technology, 5:939-946.

۷. Barbut, S. 2013. Frying-Effect of coating on crust microstructure, color, and texture of lean meat portions. Meat Science, 93: 269-274.

۸. Daraei Garmakhany, A., Aghajani, N., Kashiri, M. 2011. Use of hydrocolloids as edible covers to produce low fat French fries. Latin Ameri Appl Res, 41: 211-216.

۹. Dehghan Nasiri, F., Mohebbi, M., Tabatabaee, Y.F., Haddad, M.H.K. 2010. Effects of soy and corn flour addition on batter rheology and quality of deep fat-fried shrimp nuggets.Food Bioprocess Technology, doi:10.1007/s11947-010-0423-4.Dehghan Nasiri F, Mohebbi M, Tabatabaee Yazdi F, Haddad Khodaparast MH. Kinetic modeling of mass transfer during deep fat frying of fried shrimp nugget prepared without a pre-frying step. Food and Bioproducts Proce 2011; 89: 241-247.

۱۰. Diamante, L.M., Savage, G.P., Vanhanen, L. 2012. Optimization of vacuum frying of gold kiwifruit slices: application of response surface methodology. International Journal of Food Science and Technology, 47: 518-524.

۱۱. Duran, M., Pedreschi, F., Moyano, P., Troncoso, E. 2007. Oil partition in pre-treated potato slices during frying and cooling. Journal of Food Engineering, 81: 256-265.

۱۲. Eissa, H.A., Ramadan, M.T., Ali, H.S., Ragab, G.H. 2013.Optimizing Oil Reduction in Fried Eggplant Rings. Journal of Applied Sciences Research, 9(6): 3708-3717.

۱۳. García, M.A., Ferrero, C., Bértola, N., Martino, M., Zaritzky, N. 2002. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. Innova Journal of Food Sci Emer Tech, 3 (4): 391-397.

۱۴. Hesham, A.E., Mostafa, T.R., Hatem, S.A., Gamal, H.R. (2013). Optimizing Oil Reduction in Fried Eggplant Rings. Journal of Applied Sciences Research. 9(6): 3708-3717.

۱۵. Hubbard, L.J., Farkas, B.E. 2000. Influence of oil temperature on heat transfer during immersion frying. Food Process and Preservation, 24: 143-162.

۱۶. Jalaee. F., Fazeli, A., Fatemian, H., Tavakolipour, H., 2010. Mass transfer coefficient and the characteristics of coated apples in osmotic dehydrating. Journal of food and bioproducts processing, In Press.

۱۷. Lalam, S., Sandhu, J.S., Takhar, P.S., Thompson, L.D., Alvarado, C. 2013. Experimental study on transport mechanisms during deep fat frying of chicken nuggets. LWT-Food Science and Technology, 50: 110-119.

۱۸. Mallikarjunan, P., Chinnan, M.S., Balasubramaniam, V.M., Phillips, R.D. 1997. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. LWT, 30 (7): 709-714.

۱۹. Mellema, M. 2003. A review Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. Trends in Food Sci Tech, 14: 364-373.

۲۰. Moyano PC, Pedreschi F. 2006, Kinetics of oil uptake during frying of potato slices:Effect of pre-treatments. LWT-Food Science and Technology, 39: 285-291.

۲۱. Nyun Kim, D., Lim, J., Bae, I.Y., Gyu Lee, H., Lee, S. 2011. Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. Journal of Food Engineering, 102: 317-320.

۲۲. Sahin, S., Sumnu, S.G. 2009. Advances in Deep-Fat Frying of Foods. CRC press. New York.

۲۳. Tavakolipour, H., Fatemian, H., Jalaee, F., 2008. Studing of Edible coating application on productivity ratio in Osmotic dehydration on process of apple rings, 16th International Drying symposium. P.p. 1309-1312.

۲۴. Williams, R., Mittal, G.S. 1999. Water and fat transfer properties of polysaccharide films on fried pastry mix. LWT, 32 (7): 440-445