



The Effect of Chitosan and Okra Mucilage Edible Coatings on the Physico-chemical Properties of Fried Potato Strips

A. Farazmand¹, H. Jalali², A. Najafi^{3*}

Received: 2022.07.03

Revised: 2022.10.16

Accepted: 2022.10.25

Available Online: 2022.10.26

How to cite this article:

Farazmand, A., Jalali, H., & Najafi, A. (2023). The effect of chitosan and okra mucilage edible coatings on the physico-chemical properties of fried potato strips. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 19(4), 511-525. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.77486.1187>

Introduction

Potato strips are one of the most widely consumed products, and due to their high oil content, they have caused public health concerns. Therefore, efforts to reduce oil absorption can alleviate these concerns to some extent. Edible coating is an effective way to reduce oil uptake, because the oil absorption is a surface phenomenon. Edible coatings should adhere well to the surface of the product and provide a uniform and complete coverage for the product. Preventing the migration of oxygen, carbon dioxide, aromas, oils, moisture, improving the appearance of food and mechanical properties. In this study, the possibility of reducing oil absorption in French fries was investigated using okra mucilage and chitosan as edible coatings.

Material and Methods

The okra was washed and then cut into about 1 cm pieces and poured into containers with lids. Then water in a ratio of 2:1 weight of okra was added to the container and completely covered its surface. The okra were refrigerated for 72 hours until the mucilage was completely extracted. Then the mucilage was smoothed. This solution was considered as 100% mucilage solution. To prepare a 50% solution of okra mucilage, 100% solution was mixed with an equal amount of distilled water and filtered. To produce a solution of 0.75 and 1.5% of chitosan, 7.5 and 15 g of chitosan powder was dissolved in 1000 ml of 1% acetic acid and then adjusted to pH 5. Then 5 g of glycerol was added as a plasticizer. The potato slices were first blanched in 0.5% calcium chloride solution at 90°C for 5 minutes. Then, they were immersed in coating solutions at 60°C for 5 minutes. After coating, the potato strips were fried at 180°C using a fryer and then various characteristics including coating percentage, oil absorption, and moisture content, texture firmness, peroxide value, acid number, color indices and sensory properties were examined. Design Expert 8.0.7.1 software was used to analyze the results and to draw the curves.

Results and Discussion

The results showed that the increasing the amount of chitosan led to better coating formation in comparison with okra. The highest coverage was observed in the concentration of 1.2% chitosan and 0% okra mucilage (2.38%) and the lowest was observed in the control sample (0.11%). It was also observed that with increasing the concentration of chitosan and okra mucilage, the amount of oil absorption decreases. However, the amount of oil absorption in high concentrations of okra mucilage increased slightly. The highest oil uptake in the control sample was 20% and the lowest was observed

1, 2 and 3- M.Sc and Assistant Professors, Department of Food Science and Technology, Damghan branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: Ali.Najafi@iau.ac.ir)

DOI: [10.22067/ifstrj.2022.77486.1187](https://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.77486.1187)

in the sample of fried strips covered with 41% okra mucilage and 1.5% chitosan at 15.44%. The obtained model of oxidation index was not significant. The effect of okra mucilage and chitosan concentration on the texture of the samples ($p < 0.05$) and the color indices of a^* ($p < 0.01$) and L^* ($p < 0.05$) were significant. For sensory attributes, the highest and the lowest taste score was observed for samples coated with 100% okra mucilage and 0.75% chitosan and samples coated with 18% okra mucilage and 0% chitosan respectively.


Conclusion

The aim of this project was to reduce the oil absorption of fried potato strips by coating them with chitosan and okra mucilage. Optimization to minimize the consumption of okra and chitosan mucilage showed that coating with 74% okra and 0.89% chitosan is suitable for coating potato slices. The desirability of this optimization was 71%, which is a reasonable percentage.

Keywords: Chitosan, Edible coatings, Oil uptake, Okra mucilage, Potato

مقاله پژوهشی

اثر پوشش‌های خوراکی کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خلال‌های سیب‌زمینی سرخ شده

آزاده فرازمنند^۱ - حسین جلالی^۲ - علی نجفی^{۳*} 

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳

چکیده

سیب‌زمینی سرخ‌شده از محصولاتی است که مصرف بالایی دارد و به دلیل داشتن روغن زیاد نگرانی‌هایی را از لحاظ سلامت عمومی به وجود آورده است. در این تحقیق امکان کاهش جذب روغن در سیب‌زمینی سرخ‌شده با استفاده از موسیلاژ بامیه و کیتوزان به عنوان پوشش خوراکی بررسی شد. بدین منظور موسیلاژ بامیه با غلظت‌های ۰، ۵۰ و ۱۰۰ و کیتوزان با غلظت‌های ۰، ۰/۷۵ و ۱ درصد مورد استفاده قرار گرفت. غلظت‌های صفر به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. پس از پوشش‌دهی، خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده و درصد پوشش‌دهی، میزان جذب روغن، مقدار رطوبت، سفتی بافت، عدد پراکسید، عدد اسیدی، شاخص‌های رنگ و ویژگی‌های حسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کیتوزان باعث افزایش پوشش‌دهی و بامیه سبب کاهش آن گردید. بیشترین پوشش‌دهی در غلظت ۱/۲ درصد کیتوزان و صفر درصد موسیلاژ بامیه (۲/۳۸ درصد) و کمترین آن در نمونه شاهد (۰/۱۱ درصد) مشاهده گردید. همچنین مشاهده شد که با افزایش غلظت کیتوزان و موسیلاژ بامیه جذب روغن کاهش یافت، ولی جذب روغن در غلظت‌های بالای موسیلاژ بامیه کمی افزایش یافت. بیشترین و کمترین جذب روغن به ترتیب در نمونه شاهد (۲۰/۶ درصد) و نمونه پوشش‌دهی شده با ۴۱ درصد موسیلاژ بامیه و ۱/۵ درصد کیتوزان (۱۵/۴۴ درصد) مشاهده شد. در مورد عدد پراکسید و عدد اسیدی مدل‌های به دست آمده معنی‌دار نبودند. اثر غلظت موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر بافت نمونه‌ها و شاخص‌های رنگ معنی‌دار بود. در نهایت پس از بهینه‌یابی، غلظت ۷۴ درصد بامیه و ۰/۸۹ درصد کیتوزان به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌خوراکی، جذب روغن، کیتوزان، سیب‌زمینی، موسیلاژ بامیه

مقدمه

هایی است که به دلیل جذب زیاد روغن در حین فرآیند، کالری زیادی وارد بدن می‌کند. تمایل رو به افزایش مصرف کنندگان به میان‌وعده‌های غذایی کم‌کالری باعث رو آوردن به فرآیندهایی به منظور کاهش میزان جذب روغن ضمن حفظ کیفیت محصول شده است (Bouchon et al., 2015).

سرخ کردن عمیق یک روش قدیمی است که ماده غذایی با غوطه ور شدن در روغن داغ پخته می‌شود (Juaniz et al., 2016). طی سرخ کردن عمیق، استفاده از دمای بالا منجر به تبخیر آب و خارج شدن آن از سطح ماده غذایی می‌شود، در نتیجه روغن احاطه کننده ماده غذایی به داخل بافت آن نفوذ کرده و جایگزین آب تبخیر شده می‌گردد (Van Koerten et al., 2015). از مهمترین سازوکارهای مؤثر در جذب

امروزه تمایل جامعه به مصرف غذاهای آماده رو به افزایش است. از سوی دیگر افزایش بیماری‌هایی مانند چاقی، دیابت و بیماری‌های قلبی-عروقی، باعث ایجاد نگرانی‌هایی از لحاظ بهداشت و سلامت عمومی گردیده است. یکی از عوامل بروز این مشکلات و بیماری‌ها، بالا بودن مقدار چربی در رژیم غذایی افراد و خطرات ناشی از پلیمریزاسیون روغن‌ها در حین فرآیند است. بنابراین، خطمشی کلی صنعت غذا به سمت تولید محصولات عاری از چربی یا کم‌چربی با دارا بودن عطر و طعم مشابه با محصول طبیعی می‌باشد (Daraei Garmakhany et al., 2011). سیب‌زمینی سرخ شده یکی از فرآورده

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیاران گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: Ali.Najafi@iaau.ac.ir)

ویسکوز عصاره بامیه است و از لحاظ تکنولوژیکی اهمیت قابل توجه‌ای در مواد غذایی و دارویی دارد (Kpodo *et al.*, 2017).

کیتوزان یک پلی‌ساکارید با وزن مولکولی بالا و محصول دایستیل‌اسیون کیتین است. بسیاری از محققان به دلیل خواص ضد میکروبی، ضد قارچی، زیست‌سازگاری، خاصیت ژله‌ای شدن و قوام دهنده‌گی و غیرسمی بودن آن را در فرمولاسیون پوشش‌ها یا فیلم‌های خوراکی استفاده کرده‌اند (Kumar *et al.*, 2013; Ziaolhagh and Kanani, 2021). فیلم‌های کیتوزان نفوذپذیری کمی نسبت به اکسیژن و رطوبت دارند؛ بنابراین مانع بسیار خوبی برای گازها و بخار آب می‌باشند. از کاربردهای دیگر این ماده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی، اثر آنتی‌اکسیدانی آن است که با جذب فلزاتی که کاتالیزور واکنش اکسیداسیون چربی هستند مانع از اکسیداسیون می‌شوند (Li *et al.*, 1994; Darmadji and Izumimoto, 1996).

ملما (Mellema, 2003) نشان داد که پوشش‌های خوراکی روش مناسبی برای کاهش جذب روغن در هنگام سرخ کردن می‌باشند. از پوشش خوراکی کیتوزان برای کاهش جذب روغن در بادمجان سرخ شده استفاده شده است (Nasirvand and Javadi, 2018). از جمله هیدروکلوئیدهایی که به‌عنوان پوشش برای جذب کمتر روغن در سبب زمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، می‌توان به هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، متیل سلولز، پکتین‌ها، آلژینات‌ها، کاراگینان، صمغ دانه خرنوب^۲، و صمغ ژلان^۴ (Varela and Fiszman, 2013)، صمغ بادام کوهی^۵ و ژلاتین (Eslampour and Hosseini, 2017)، پکتین و کربوکسی-متیل سلولز (Daraei Garmakhany *et al.*, 2021)، موسیلاژ بامیه و صمغ کربوکسی‌متیل سلولز (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) اشاره کرد.

در این تحقیق برای کاهش میزان جذب روغن، از پوشش‌دهی سبب زمینی با موسیلاژ بامیه و کیتوزان قبل از سرخ کردن عمیق استفاده می‌شود. اهداف این تحقیق شامل تعیین ویژگی‌های حسی و فیزیکوشیمیایی خلال سبب زمینی سرخ شده پوشش‌دهی شده با درصدهای مختلف موسیلاژ بامیه و کیتوزان و تعیین فرمولاسیون مناسب پوشش حاوی هیدروکلوئید کیتوزان و موسیلاژ بامیه برای کاهش جذب روغن خلال سبب زمینی می‌باشند.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی موسیلاژ بامیه

روغن می‌تواند به جایگزینی آب، اثر فاز سرد شدن^۱ و عوامل فعال در سطح اشاره کرد (Sabbaghi *et al.*, 2015). در سازوکار اول حفره‌های نسبتاً بزرگی در اثر تبخیر آب در محصول سرخ شده ایجاد می‌شود که روغن جایگزین آب در این حفره‌ها می‌شود. سازوکار دوم مربوط به روغنی است که هنگام خارج کردن غذا از سرخ‌کن جذب غذا می‌شود. در این مرحله، ویژگی‌های سطح محصول و ویسکوزیته روغن نقش اساسی دارند. تشکیل عوامل فعال سطحی نقش زیادی در توجیه افزایش جذب روغن ندارد (Dana and Saguy, 2006). از ترکیبات هیدروکلوئیدی می‌توان در فرمولاسیون محصولات خمیری و همچنین به صورت پوشش خوراکی در سایر محصولات جهت کاهش جذب روغن استفاده کرد (Sabbaghi, 2021). برای تولید پوشش‌های خوراکی از پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، چربی‌ها و ترکیبی از این مواد استفاده می‌شود (Yadegari *et al.*, 2017). پوشش‌ها به صورت مستقیم روی غذا استفاده می‌شود و همان‌جا شکل خاص خود را می‌گیرد (Debeaufort and Voilley, 2009). پوشش‌های خوراکی بایستی به خوبی به سطح محصول مورد نظر چسبیده و پوشش یکنواخت و کاملی را برای محصول فراهم نمایند. جلوگیری از مهاجرت اکسیژن، دی‌اکسید کربن، آروماها، روغن، رطوبت، بهبود ظاهر ماده غذایی، بهبود ویژگی‌های مکانیکی، حامل مکمل‌های تغذیه‌ای و افزودنی‌های غذایی مورد نظر از جمله اهداف استفاده از این پوشش‌ها هستند (Zimoch-korzycka *et al.*, 2015).

بامیه با نام علمی *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench متعلق به خانواده مالوآسه^۲ است. این گیاه یک ساله بومی آفریقا است و در کشورهای مختلف جهان به ویژه در مناطق گرمسیری، نیمه گرمسیری، گرم و معتدل کشت می‌شود. بامیه منبع غنی از مواد معدنی، ویتامین‌ها، پروتئین، فیبرهای غذایی، کلسیم و مواد شیمیایی فعال زیستی است. بامیه با توجه به فعالیت‌های بیولوژیکی مختلف خود دارای سلامتی مختلفی است (Amirabbasi *et al.*, 2021). غلاف بدون دانه بامیه فاقد چربی است و حاوی مقادیر زیادی فیبر غذایی، عمدتاً شامل پلی‌ساکاریدهای پکتیکی و مقدار کمی پلی‌ساکاریدهای همی سلولزی از جمله زایلوگلوکان و گلوکوروئیکسیلان است. پلی‌ساکاریدهای غلاف بدون دانه بامیه یک بافت ویسکوز لزج ایجاد می‌کنند (Xu *et al.*, 2020). ظرفیت امولسیون‌ی بالایی عصاره بامیه به پروتئین‌ها (Alba *et al.*, 2013) و بافت غلیظ و لزج آن به پلی‌ساکاریدهای آن نسبت داده می‌شود (Georgiadis *et al.*, 2011; Kontogiorgos *et al.*, 2012). پکتین هیدروکلوئید مسئول بافت

4- Gellan gum

5- Bitter Almond Gum

1- phase-Cooling

2- Malvaceae

3- Locust bean gum

توجه به آزمایشات اولیه به دست آمدند. در دما و زمان بالاتر رنگ محصول تیره و در کمتر از این مقادیر سیب‌زمینی‌ها حالت خام داشتند. بعد از سرخ شدن، نمونه‌ها برای ۱۵ دقیقه روی صافی قرار داده شدند تا روغن اضافی آن‌ها جدا شود. پس از جدا شدن روغن اضافی و سرد شدن، نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایشات داخل کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی در حضور گاز ازت بسته‌بندی شدند (Taghavi et al., 2018).

تعیین مقدار رطوبت

برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت حدود ۵ گرم از نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتالی (Sartorius) با دقت ۰/۰۰۱ وزن شده و در آون (TakAzma، ایران) با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. هر نیم ساعت یکبار، نمونه‌ها از آون خارج شده و پس از سرد شدن در دسیکاتور، توزین شده و مجدداً در آون قرار داده شدند. این کار تا زمانی انجام گرفت، که وزن نمونه‌ها در دو توزین متوالی یکسان باقی ماند. مقدار رطوبت نمونه‌های سیب‌زمینی، بر حسب درصد، از طریق رابطه محاسبه گردید:

$$Moisture = \frac{M1 - M2}{M0} \quad (1)$$

که در آن، M1 وزن ظرف و نمونه قبل از خشک کردن (بر حسب گرم)، M2 وزن ظرف و نمونه بعد از خشک کردن (بر حسب گرم) و M0 وزن نمونه اولیه (بر حسب گرم) می‌باشند (Jafari et al., 2019).

مقدار جذب روغن

برای اندازه‌گیری مقدار جذب روغن یا میزان چربی از روش سوکسله (Jerhardt، آلمان) استفاده شد. به این منظور حدود ۵ گرم از نمونه را توزین نموده و چربی با استفاده از حلال ان-هگزان به مدت ۶ ساعت استخراج گردید (Shakouri et al., 2021).

عدد پراکسید و عدد اسیدی

عدد پراکسید به روش لی و عدد اسیدی به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (Parvneh, 2007).

آزمون حسی

برای انجام آزمون حسی از روش محصول‌گرا (امتیازدهی شدت یک ویژگی) و با امتیازبندی هدونیک پنج نقطه‌ای استفاده شد. برای این کار از ۱۵ نفر ارزیاب آموزش دیده استفاده شد. از ارزیاب‌ها خواسته شد تا نمونه‌های خلال سرخ‌شده سیب‌زمینی را مصرف کرده و از لحاظ رنگ، طعم و بو به آن‌ها امتیازی بین ۱ تا ۵ بدهند. امتیاز یک برای نمونه‌های بسیار نامطلوب و امتیاز ۵ برای نمونه‌های بسیار مطلوب در نظر گرفته شد (Sabbaghi et al., 2019).

بامیه (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) مورد استفاده از بازار محلی خریداری شدند. بامیه‌ها پس از خریداری شسته شده و سر و دم آن‌ها جدا گردید. سپس در اندازه‌های حدود یک سانتی‌متری برش زده شده و داخل ظروف درب‌دار ریخته شدند. آب به میزان حدود دو برابر وزن بامیه‌ها اضافه شد. مدت ۷۲ ساعت بامیه‌ها داخل یخچال نگهداری شدند تا موسیلاژ کاملاً استخراج شود. سپس موسیلاژ صاف شد. این محلول به عنوان محلول ۱۰۰ درصد موسیلاژ در نظر گرفته شد. برای تهیه محلول ۵۰ درصد موسیلاژ بامیه، محلول ۱۰۰ درصد با مقدار مساوی آب مقطر مخلوط و صاف گردید. موسیلاژ بامیه صاف شده تا زمان اعمال تیمارها داخل یخچال در دمای حدود ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

آماده‌سازی محلول کیتوزان

برای تولید محلول ۰/۷۵ و ۱/۵ درصد پوشش خوراکی کیتوزان، مقدار ۷/۵ و ۱۵ گرم پودر کیتوزان در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۱ درصد به کمک هم‌زن مغناطیسی (Karazma، ایران) در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به طور کامل حل شد و بعد از آن با سود ۱ نرمال تا pH برابر ۵ خنثی شد. سپس مقدار ۵ گرم گلیسرول به عنوان پلاستیسایزر اضافه شد و تا زمان اعمال تیمارها در یخچال نگهداری گردید (Nasirvand and Javadi, 2018).

روش پوشش‌دهی سیب‌زمینی‌ها

سیب‌زمینی رقم مجنی (*Solanum tuberosum*) از بازار محلی تهیه شد. سیب‌زمینی‌ها پس از پوست‌گیری به طول حدود ۳ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر با یک چاقوی تیز برش زده شدند. خلال‌های برش خورده تا قبل از اعمال تیمار پوشش‌دهی داخل آب سرد قرار داده شدند تا از تغییر رنگ آن‌ها جلوگیری شود. خلال‌ها ابتدا در محلول کلرید کلسیم ۰/۵ درصد با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه بلانچ شدند. سپس آبکش شده و پس از خشک شدن رطوبت سطحی، برای مدت ۵ دقیقه داخل محلول‌های پوششی با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019). نمونه‌ها به مدت سه دقیقه روی صافی قرار گرفتند تا محلول اضافی آن‌ها جدا شود. سپس جهت خشک شدن رطوبت سطحی، نمونه‌ها به مدت ۹۰ ثانیه داخل آون (Froilabo، فرانسه) با دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

روش سرخ کردن سیب‌زمینی‌های پوشش‌دهی شده

سیب‌زمینی‌ها پس از پوشش‌دهی با محلول‌های کیتوزان و موسیلاژ بامیه داخل سرخ‌کن خانگی (Tefal، فرانسه) به مدت ۷ دقیقه در دمای حدود ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد سرخ شدند. زمان و دمای سرخ کردن با

شاخص‌های رنگ

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ از تجزیه و تحلیل تصویر استفاده شد. بدین منظور با کمک یک اسکنر مدل ColorPage-HR7X Slim Genius تصاویر با وضوح ۳۰۰ dpi از نمونه‌ها تهیه شد. سپس تصاویر در داخل نرم افزار ImageJ نسخه ۱/۵۰ قرار گرفته و استفاده از پلاگین تبدیل فضای رنگ^۱ شاخص‌های قرمز-سبز، زرد-آبی و روشنایی محاسبه شدند (Sabbaghi et al., 2018). شاخص روشنایی (L^*) معرف میزان روشنی نمونه است و بین صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است. شاخص قرمز-سبز (a^*) میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز را نشان می‌دهد و در دامنه بین ۱۲۰- (سبز) و ۱۲۰+ (قرمز) قرار دارد. شاخص زرد-آبی (b^*) نیز میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد نشان داده و دامنه آن از ۱۲۰- (آبی) تا ۱۲۰+ (زرد) متغیر است (Ziaolhagh et al., 2017; Abramoff et al., 2005). میزان تغییرات کلی رنگ نسبت به سبب زمینی خام (E) از رابطه ۲ به دست آمد. b_0^* و a_0^* ، L_0^* به ترتیب میزان روشنایی، قرمزی و زردی سبب‌زمینی‌ها قبل از فرایند سرخ کردن می‌باشند.

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

تعیین سفتی

به منظور تعیین میزان سفتی هر نمونه از دستگاه پنترومتر دستی (مدل FT011 ساخت ایتالیا) که بر حسب کیلوگرم درجه‌بندی شده بود استفاده گردید. به این ترتیب که پروب دستگاه تا خط نشانه موجود بر روی آن (حدود ۵ میلی‌متر) داخل بافت خلال‌های سبب‌زمینی فرو برده شده و مقدار نیروی وارده (بر حسب گرم) در محل نشانه خوانده شد و میانگین ۶ تکرار به‌عنوان شاخصی از سفتی گزارش گردید (Sabbaghi et al., 2017).

درصد پوشش‌دهی

درصد پوشش‌دهی از اختلاف وزن بین نمونه‌های پوشش‌دهی شده و بدون پوشش مطابق با رابطه ۳ محاسبه شد.

$$Coverage = \frac{C-I}{I} \times 100 \quad (3)$$

که در این رابطه C وزن نمونه‌های خام پوشش‌دهی شده (گرم) و I وزن اولیه نمونه‌های بدون پوشش (گرم) است (Taghavi et al., 2018).

تیمارها و طرح آماری

تیمارهای مورد استفاده شامل موسیلاژ بامیه در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) و محلول کیتوزان در سه سطح (صفر، ۰/۷۵ و ۱/۵) درصد بود. سطح صفر پوشش‌ها به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد و سطح بالای پوشش‌ها با توجه به آزمایشات اولیه به دست آمد. برای تجزیه و تحلیل واریانس و تعیین بهترین شرایط پوشش‌دهی، از روش سطح پاسخ در قالب طرح آزمایشی مرکب مرکزی^۲ با ۵ تکرار در نقطه مرکزی با کمک نرم‌افزار Design Expert 8.0.7.1 استفاده شد. نمودارها نیز با کمک همین نرم‌افزار رسم شدند.

نتایج و بحث

درصد پوشش‌دهی

جدول ۱ مدل‌های ارائه شده برای ویژگی‌های مختلف خلال‌های سبب‌زمینی سرخ‌شده را بر حسب مقادیر واقعی نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است مدل پیش‌بینی شده برای درصد پوشش‌دهی کیتوزان و موسیلاژ بامیه مدل درجه سوم کاهش یافته با ضریب تبیین ۰/۹۲ بود ($p < 0.01$). اثر غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه و کیتوزان ($p < 0.01$) و همچنین اثر متقابل غلظت موسیلاژ بامیه در توان دوم غلظت کیتوزان ($p < 0.05$) معنی‌دار بود.

با افزایش غلظت موسیلاژ بامیه درصد پوشش‌دهی آن نیز کاهش یافت، به طوری که در غلظت ۱۰۰ درصد موسیلاژ بامیه میزان پوشش دهی تنها ۰/۵ درصد بود. در مورد کیتوزان با افزایش غلظت آن میزان پوشش‌دهی افزایش یافت و در غلظت ۱/۵ درصد کیتوزان میزان پوشش‌دهی ۱/۸۷ درصد بود. دلیل آن را می‌توان به افزایش ویسکوزیته محلول کیتوزان با افزایش غلظت نسبت داد. شکل ۱ اثر متقابل غلظت‌های مختلف بامیه و کیتوزان بر درصد پوشش‌دهی خلال‌های سبب‌زمینی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر یکدیگر اثر هم‌افزایی داشتند، به این معنی که بیشترین پوشش‌دهی در غلظت ۱/۲ درصد کیتوزان و صفر درصد موسیلاژ بامیه (۲/۳۸ درصد) و کمترین آن در نمونه شاهد یعنی غلظت صفر کیتوزان و موسیلاژ بامیه (۰/۱۱ درصد) مشاهده گردید. در مورد درصد پوشش دهی دو هیدروکلوئید CMC و موسیلاژ بامیه نیز، هم‌راستا با نتایج ما نشان داده شده است که درصد پوشش‌دهی ایجاد شده توسط موسیلاژ بامیه کمتر از پوشش‌دهی CMC بوده و این دو هیدروکلوئید نیز با یکدیگر اثر هم‌افزایی داشته‌اند (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019).

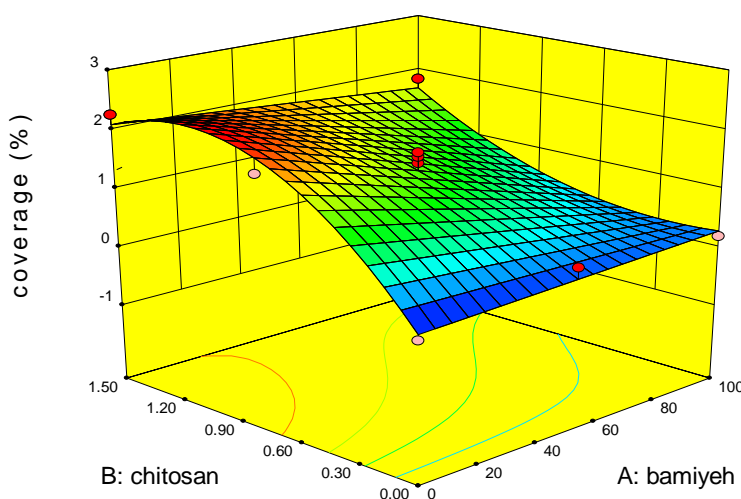
جدول ۱- مدل‌های به‌دست آمده برای ویژگی‌های مختلف خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده

Table 1- Obtained models for different characteristics of fried potato slices

مدل Model	ویژگی Property
$C=0.095+0.00202A+4.13B-0.045AB-1.86B^2+0.027AB^2$	پوشش‌دهی (%) Coating
$O=20.63-0.095A-1.549B+0.029AB+0.0006A^2-0.79B^2$	میزان جذب روغن (%) Oil Uptake
$M=56.63+0.082A+3.075B$	محتوی رطوبت (%) Moisture content
$S=1.82-0.00538A-0.04B+0.0052AB$	سفتی یافت Stiffness
$a=-3.29+0.02A+5.96B-0.2AB-0.000157A^2+0.00145A^2B$	a*
$L=68.69-0.18A-0.32B+0.23AB+0.00158A^2-0.00202A^2B$	L*
$\Delta E=15.38-0.21A+17.45B-0.33AB+0.00167A^2-11.84B^2+0.2AB^2$	شدت تغییرات رنگ ΔE
$F=3.82-0.00497A+2.56B-0.01AB+0.00014A^2-1.149B^2$	امتیاز طعم Flavor score
$T=4.83-0.024A+1.04B-0.0033AB+0.000251A^2-0.659B^2$	امتیاز بافت Texture score

در مدل‌های ارائه شده، A غلظت موسیلاژ بامیه و B غلظت کیتوزان بر حسب درصد می‌باشند.

In the presented models, A is the concentration of okra mucilage and B is the concentration of chitosan in percentage terms



شکل ۱- اثر متقابل غلظت‌های مختلف بامیه و کیتوزان بر درصد پوشش‌دهی خلال‌های سیب‌زمینی

Fig. 1- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the coating percentage of potato slices

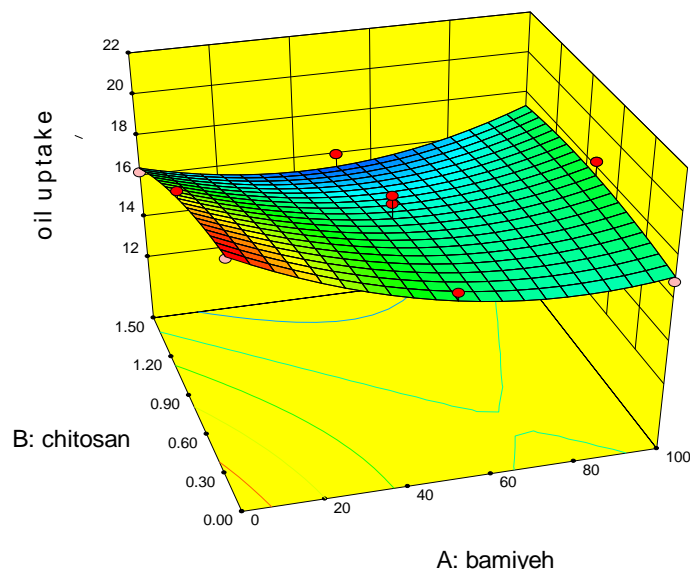
میزان جذب روغن

مدل پیش‌بینی شده برای درصد جذب روغن خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده پوشش‌دهی شده یک مدل درجه دوم با ضریب تبیین 0.74 بود (جدول ۱). با افزایش غلظت کیتوزان درصد جذب روغن خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی کاهش یافت به طوری که کمترین میزان جذب در غلظت $1/5$ درصد به مقدار $15/46$ درصد مشاهده شد، ولی در مورد موسیلاژ بامیه، با افزایش غلظت آن تا حدود 55 درصد میزان جذب روغن تا $16/81$ درصد کاهش و با افزایش بیشتر آن تا 100 درصد میزان جذب روغن خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی کمی افزایش یافت. شکل

۲ اثر متقابل غلظت موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر درصد جذب روغن خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود غلظت موسیلاژ بامیه و غلظت کیتوزان بر هم اثر هم افزایی داشته و بیشترین جذب روغن در نمونه شاهد ($20/6$ درصد) و کمترین آن در نمونه خلال سرخ‌شده سیب‌زمینی پوشش‌دهی شده با 41 درصد موسیلاژ بامیه و $1/5$ درصد کیتوزان ($15/44$ درصد) مشاهده گردید ($p < 0.05$). این امر به دلیل تأثیر پوشش‌دهی بر کاهش از دست رفتن آب و تأثیر بر مکانیسم جذب روغن در اثر جایگزینی آب می‌باشد. یکی دیگر از دلایل تأثیر پوشش‌دهی بر جذب روغن اثر آن بر لوله‌های

پوشش‌دهی بر خروج رطوبت و در نتیجه ضریب انتقال حرارت جابه-جایی مؤثر است که روی خصوصیات کیفی تأثیر می‌گذارد (Sabbaghi *et al.*, 2015).

مویینه سطح محصول و کاهش جذب روغن در مرحله فاز سرد شدن است. پوشش با انسداد منافذ سطحی موجب کاهش عمق نفوذ روغن در مرحله سرد شدن تحت تأثیر فشار موئینگی می‌گردد. همچنین



شکل ۲- اثر متقابل غلظت موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر درصد جذب روغن خلال‌های سرخ شده سیب‌زمینی
Fig. 2- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the oil absorption of potato slices

(2019) برخلاف نتایج تحقیق جاری نشان دادند که اثر موسیلاژ بامیه در جلوگیری از کاهش رطوبت خلال سیب‌زمینی سرخ شده کمتر از CMC از می‌باشد که آن را به کمتر بودن نفوذپذیری پوشش حاصل از CMC نسبت به موسیلاژ بامیه ربط دادند.

عدد پراکسید

مدل پیش‌بینی شده برای عدد پراکسید خلال‌های سیب‌زمینی سرخ شده پوشش‌دهی شده معنی‌دار نبود ولی اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه و اثر توان دوم غلظت کیتوزان در سطح آماری ۹۵ درصد ($p < 0.05$) معنی‌دار بود. شکل ۴ اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر عدد پراکسید خلال‌های سرخ شده سیب‌زمینی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین میزان عدد پراکسید در غلظت ۰/۳ درصد کیتوزان (۲۱/۱۸ میلی‌اکی‌والان بر گرم نمونه) و بیشترین عدد پراکسید در غلظت ۱/۵ درصد کیتوزان (۳۳/۸۱ میلی‌اکی‌والان بر گرم نمونه) بود. پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک سد از تماس هوا با روغن موجود در محصول سرخ شده جلوگیری کرده و لذا عدد پراکسید را کاهش می‌دهند. علاوه بر این باعث کاهش جذب روغن می‌شوند که خود می‌تواند موجب محدود شدن تغییرات عدد پراکسید شود. همچنین با وجود پوشش در سطح ماده غذایی سرخ شده خروج رطوبت به حداقل رسیده یا کنترل می‌شود

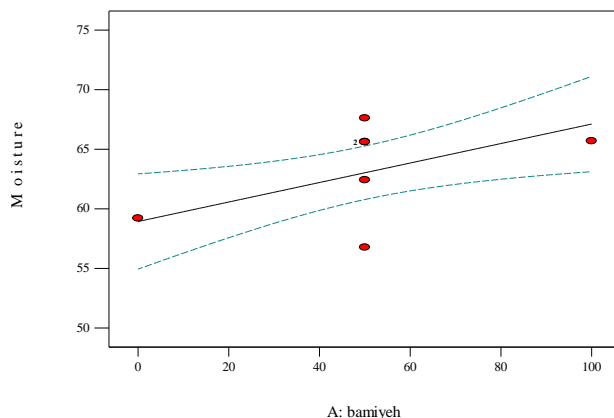
درصد رطوبت

مدل پیش‌بینی شده برای درصد رطوبت خلال‌های سیب‌زمینی سرخ شده پوشش‌دهی شده یک مدل خطی با ضریب تبیین ۰/۵ بود (جدول ۱). در این مورد تنها اثر غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه در سطح آماری ۹۵ درصد ($p < 0.05$) معنی‌دار بود. شکل ۳ اثر غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه بر مقدار رطوبت خلال‌های سرخ شده سیب‌زمینی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت موسیلاژ بامیه درصد رطوبت باقی‌مانده در خلال‌های سرخ شده سیب-زمینی نیز افزایش یافته است. به طوری که بیشترین مقدار رطوبت در غلظت ۱۰۰ درصد موسیلاژ بامیه به میزان ۶۷/۱۶ درصد بود. در طی فرایند سرخ کردن روغن جایگزین آب می‌شود. با افزایش غلظت پوشش خوراکی رطوبت کمتری از محصول خارج می‌شود که یک دلیل آن می‌تواند ایجاد پیوند بین هیدروکلئید و آب باشد (Karimi and Esmailzadeh Kenari, 2015). در اینجا اثر موسیلاژ بامیه نسبت به کیتوزان در جلوگیری از خروج رطوبت بیشتر بوده است که احتمالاً دلیل آن بیشتر بودن پیوندهای بین آب و صمغ در بامیه نسبت به کیتوزان است. خروج رطوبت کمتر از محصول به بستر سرخ کردن باعث می‌شود تا واکنش‌های هیدرولیز روغن که در حضور آب تشدید می‌یابند کمتر شود و این امر در افزایش عمر مفید روغن نیز مؤثر خواهد بود. اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi,)

عوامل اکسیداسیون طی نگهداری می‌گردد (Dana and Saguy, 2006).

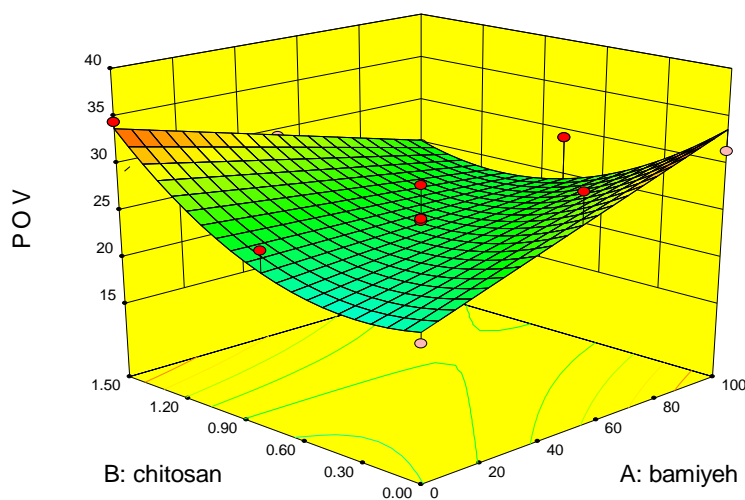
در همین راستا، نصیروند و جوادی (Nasirvand and Javadi, 2018) بیان کردند که پوشش‌دهی بادمجان با کیتوزان عدد پراکسید بادمجان‌های سرخ شده را کاهش می‌دهد. در بررسی آن‌ها اثر غلظت ۱ درصد کیتوزان بیشتر از اثر غلظت ۱/۵ درصد بود.

و این امر موجب کاهش واکنش‌های هیدرولیز و پلیمریزاسیون و جلوگیری از تولید عوامل فعال در سطح در روغن می‌گردد. در نتیجه از افزایش ویسکوزیته روغن جلوگیری می‌شود. عدم پلیمریزاسیون و جلوگیری از افزایش ویسکوزیته موجب افزایش زاویه تماسی شده و کشش بین سطحی (در سطح تماس روغن و هوا در محصول متخلخل) را کاهش داده و در نهایت با کاهش جذب روغن و حفظ کیفیت روغن موجب کاهش عوامل اکسیداسیون در محصول یا محدود شدن تولید



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه بر مقدار رطوبت خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی
خط‌چین‌های رنگی (---) نشان‌دهنده نوار اطمینان در سطح ۹۵ درصد می‌باشند.

Fig. 3- Effect of okra and chitosan concentrations on the moisture content of potato slices
The colored dashed lines (----) indicate the confidence bar at the 95 level



شکل ۴- اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر عدد پراکسید (میلی‌اکی‌والان بر گرم) خلال‌های سیب‌زمینی
Fig. 4- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the peroxide value (meq/g) of potato slices

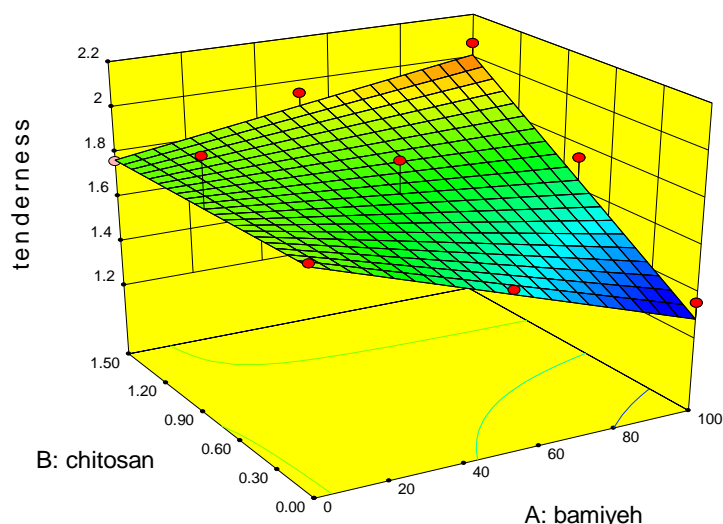
عدد اسیدی

اثر هیچ‌یک از عوامل بر مقدار عدد اسیدی خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی معنی‌دار نبود. برخلاف نتایج این تحقیق، نصیروند و جوادی (Nasirvand and Javadi, 2018) نشان دادند که پوشش‌دهی بادمجان با کیتوزان سبب افزایش اسیدیته بادمجان‌های سرخ‌شده می‌شود و دلیل آن را به بالاتر بودن رطوبت نمونه‌ها پوشش‌دهی شده نسبت دادند. در رطوبت بالاتر هیدرولیز تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها بیشتر شده و در نتیجه مقدار اسیدهای چرب آزاد افزایش می‌یابد.

سفتی بافت

مدل پیش‌بینی شده برای سفتی بافت خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی یک مدل خطی با اثرات متقابل و با ضریب تبیین ۰/۶۰ بود. شکل ۵ اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر میزان سفتی خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی را نشان می‌دهد در غلظت‌های

بالای بامیه و پایین کیتوزان سفتی بافت کم (ناحیه آبی در شکل ۵) و در غلظت‌های بالای کیتوزان و بامیه (ناحیه قرمز در شکل ۵) سفتی بافت زیاد بود، به طوری که کمترین سفتی در غلظت ۱۰۰ درصد بامیه و صفر درصد کیتوزان (۱/۲۹ کیلوگرم) و بیشترین آن در غلظت ۱۰۰ درصد بامیه و ۱/۵ درصد کیتوزان (۲/۰۱ کیلوگرم) مشاهده شد. افزایش سفتی بافت در حضور پوشش‌های خوراکی را می‌توان به ایجاد لایه مقاوم در سطح سیب‌زمینی توسط کیتوزان نسبت داد که سبب کاهش جذب روغن نیز می‌شود. همچنین اثر هم‌افزایی کیتوزان و موسیلاژ بامیه باعث ایجاد لایه مقاوم شده و در اثر ایجاد پیوند بین آن‌ها سفتی بافت بیشتر شد. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده توسط اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) که از صمغ CMC و موسیلاژ بامیه برای پوشش‌دهی خلال سیب‌زمینی استفاده کرده بودند و قلعه‌شاهی و همکاران (Ghaleshahi et al., 2015) که از صمغ CMC، زانتان و ریجان برای پوشش‌دهی سیب‌زمینی استفاده کرده بودند مطابقت دارد.



شکل ۵- اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر میزان سفتی (کیلوگرم) خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی
Fig. 5- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the stiffness (kg) of potato slices

شاخص‌های رنگ

شاخص‌های رنگ شامل شاخص زردی (b^*)، قرمزی (a^*)، روشنایی (L^*) و میزان تغییر رنگ خلال‌های سیب‌زمینی سرخ‌شده نسبت به خام (ΔE) می‌باشند. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه تأثیر معنی‌داری بر شاخص زردی نمونه‌ها نداشتند، ولی شاخص قرمزی و روشنایی و همچنین شدت تغییر

رنگ نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفتند. مدل‌های پیش‌بینی شده برای شاخص a^* ، L^* و ΔE بر حسب مقادیر واقعی جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

غلظت موسیلاژ بامیه و اثر متقابل غلظت موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر شاخص a^* نمونه‌ها در سطح آماری ۹۹ درصد معنی‌دار بودند. با افزایش غلظت موسیلاژ بامیه تا حدود ۶۰ درصد شاخص a^* یا میزان قرمزی نیز به تدریج کاهش یافت که می‌تواند به کاهش تولید رنگدانه‌های واکنش مایلارد ارتباط داده شود. وجود پوشش خوراکی

نمونه پوشش‌دهی شده با صفر درصد موسیلاژ بامیه و ۰/۷۵ درصد کیتوزان (۲۱/۸) و کمترین آن در نمونه پوشش‌دهی شده با ۱۰۰ درصد موسیلاژ بامیه و ۱/۵ درصد کیتوزان (۵/۷۵) مشاهده شد (شکل ۶-ج).

ویژگی‌های حسی

در مورد ویژگی‌های حسی اثر هیچ‌یک از عوامل بر امتیاز رنگ و امتیاز بوی نمونه‌ها معنی‌دار نبود. مدل پیش‌بینی شده برای امتیاز طعم نمونه‌ها یک مدل درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۷۸ بود (جدول ۱) و تنها اثر توان دوم کیتوزان ($p < 0.01$) و اثر متقابل غلظت‌های موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر امتیاز طعم معنی‌دار بود ($p < 0.05$).

امتیاز مربوط به طعم نمونه‌ها با افزایش غلظت کیتوزان تا ۰/۸۳ درصد افزایش یافت (امتیاز ۴/۸۵) و بعد از آن شروع به کاهش کرد. دلیل کاهش امتیاز طعم در غلظت‌های بالاتر کیتوزان این است که در این غلظت‌ها به علت جذب کمتر روغن، طعم و بوی روغنی که در طعم محصول تأثیر زیادی دارد کاهش می‌یابد. بیشترین امتیاز مربوط به طعم برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده با ۱۰۰ درصد موسیلاژ بامیه و ۰/۷۵ درصد کیتوزان (۵/۲۶) و کمترین آن مربوط به نمونه‌های پوشش‌دهی شده با ۱۸ درصد موسیلاژ بامیه و صفر درصد کیتوزان (۳/۷۹) بود (شکل ۷).

در مورد ارزیابی حسی بافت نیز مدل پیش‌بینی شده مدل درجه دوم با ضریب تبیین ۰/۷۶ بود (جدول ۱) که تنها اثر توان دوم غلظت موسیلاژ بامیه ($p < 0.05$) و اثر توان دوم غلظت کیتوزان ($p < 0.05$) معنی‌دار بودند. با افزایش غلظت موسیلاژ بامیه تا ۵۰ درصد امتیاز بافت نمونه‌ها کاهش یافته و بعد از آن افزایش یافت. امتیاز بافت نمونه‌ها با افزایش غلظت کیتوزان تا حدود ۰/۵۵ درصد افزایش و بعد از آن کاهش یافت.

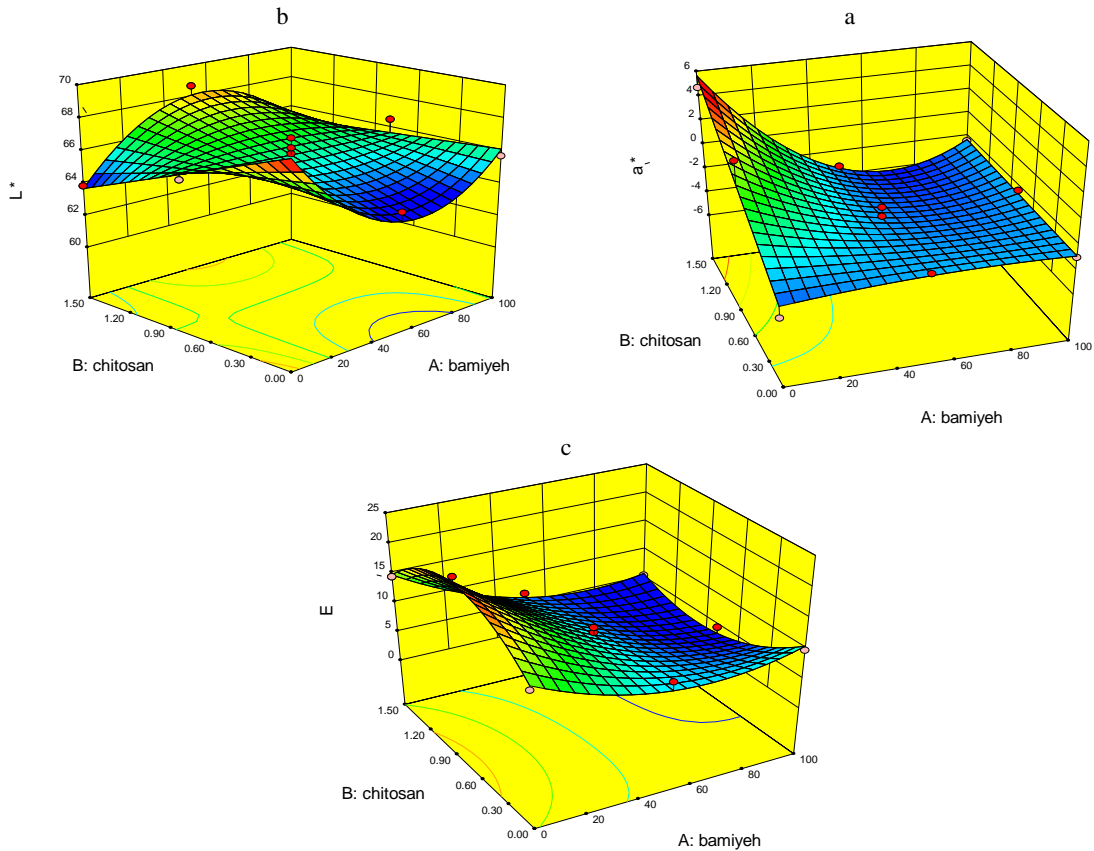
در مورد پذیرش کلی، مدل پیش‌بینی شده معنی‌دار نبود، ولی اثر توان دوم غلظت موسیلاژ و کیتوزان معنی‌دار بودند ($p < 0.05$). امتیاز مربوط به پذیرش کلی تا غلظت ۵۰ درصد موسیلاژ بامیه کاهش و بعد از آن افزایش یافت. با افزایش غلظت کیتوزان تا ۰/۷۵ درصد امتیاز پذیرش کلی افزایش و بعد از آن کاهش یافت.

باعث حفظ رطوبت محصول شده و واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد در محصول کم می‌شود که این امر منجر به کاهش شاخص قرمزی به دلیل کاهش تولید رنگدانه ملانوییدین می‌گردد (Sabbaghi et al., 2016). اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) نیز مطابق با نتایج ما نشان دادند که در غلظت بالای موسیلاژ بامیه طیف رنگ سبز نمونه‌های سیب‌زمینی افزایش می‌یابد و در CMC باعث افزایش طیف رنگ قرمز می‌شود. خضری پورعرب و همکاران (Khezripourarab et al., 2017) نیز نشان دادند که پوشش خوراکی مالتودکسترین سبب افزایش قرمزی خلال‌های سیب زمینی سرخ شده می‌شود.

در مورد اثر متقابل غلظت‌های مختلف موسیلاژ بامیه و کیتوزان بیشترین میزان a^* در غلظت‌های بالای کیتوزان و پایین موسیلاژ بامیه (ناحیه قرمز در شکل ۶-الف) و کمترین آن در ناحیه آبی شکل ۶-الف مشاهده شد، بیشترین a^* در غلظت ۱/۵ درصد کیتوزان و صفر درصد موسیلاژ بامیه (۵/۵۵) و کمترین آن در غلظت ۱/۵ درصد کیتوزان و ۷۱ درصد موسیلاژ بامیه (۴/۱۲-) مشاهده شد.

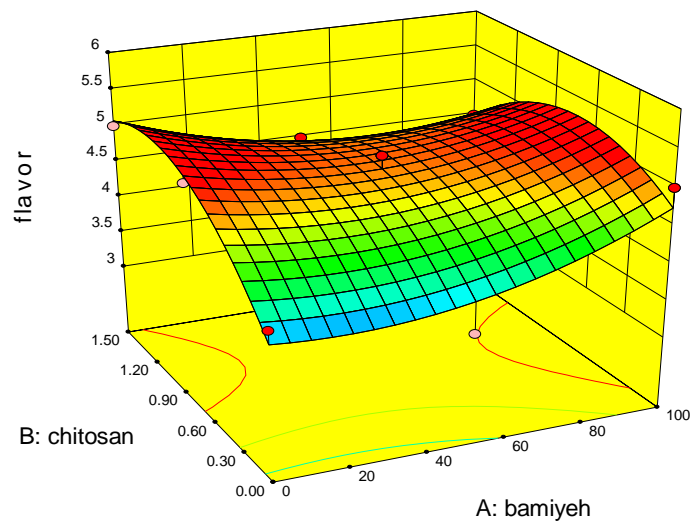
در تحقیق جاری اثر غلظت‌های بامیه و کیتوزان بر شاخص b^* (زردی) معنی‌دار نبود، ولی برخلاف نتایج این تحقیق، اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) نشان دادند که پوشش‌دهی خلال سیب‌زمینی با افزایش غلظت بامیه و CMC میزان زردی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. ترابی و همکاران (Torabi et al., 2017) نیز نشان دادند که با افزایش غلظت سویا و صمغ عربی پوشش دهی چیپس سیب‌زمینی بر میزان زردی نمونه‌ها افزوده می‌شود.

مدل به‌دست آمده برای میزان روشنایی (L^*) نمونه‌ها یک مدل درجه سوم کاهش یافته با ضریب تبیین ۰/۷۸ بود (جدول ۱). همان گونه که در شکل ۶-ب مشاهده می‌شود بیشترین روشنایی در نمونه‌ها مربوط به نمونه شاهد؛ یعنی صفر درصد کیتوزان و صفر درصد موسیلاژ بامیه (۶۸/۵۴) و کمترین روشنایی در نمونه‌های با صفر درصد کیتوزان و ۵۹ درصد موسیلاژ بامیه مشاهده شد (۶۳/۳۷). دلیل کاهش میزان روشنایی محصول با افزایش غلظت کیتوزان و بامیه می‌تواند با توجه به حرارت سرخ کردن و ماهیت کربوهیدراتی این دو صمغ، افزایش واکنش‌های مایلارد باشد. این نتایج با نتایج اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) در مورد صمغ‌های بامیه و CMC و اسماعیل‌پور و حسینی (Eslampour and Hosseini, 2017) در مورد صمغ بادام کوهی و ژلاتین مطابقت داشت. در مورد میزان تغییر رنگ (ΔE) خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی های پوشش‌دهی شده نسبت به خلال‌های سیب‌زمینی خام مشاهده شد که مدل درجه سوم کاهش یافته پیشنهادی با ضریب تبیین ۰/۹۵ معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی‌ها نشان داد که بیشترین تغییر رنگ در



شکل ۶- اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر (الف) شاخص قرمزی (a^*)، (ب) شاخص روشنایی (L^*) و (ج) شدت تغییر رنگ (ΔE) خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی

Fig. 6- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the (a) redness (a^*), (b) lightness (L^*) and color changes intensity (ΔE) of potato slices



شکل ۷- اثر متقابل غلظت‌های مختلف کیتوزان و موسیلاژ بامیه بر امتیاز طعم خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی

Fig. 7- Interaction effect of okra and chitosan concentrations on the taste (scores) of potato strips

به منظور مشخص کردن بهترین شرایط برای پوشش‌دهی خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی بهینه‌یابی عددی با کمک نرم‌افزار دیزاین اکسپرت صورت گرفت. بهینه‌یابی به‌منظور حداقل کردن مصرف موسیلاژ بامیه و کیتوزان صورت گرفت به‌طوری‌که خلال‌های سرخ‌شده سیب‌زمینی بیشترین پوشش را داشته و کمترین مقدار جذب روغن، عدد پراکسید، عدد اسیدی و تغییر رنگ و بیشترین مقدار رطوبت، امتیاز طعم و بافت را داشته باشند. بر این اساس پوشش‌دهی با ۷۴ درصد بامیه و ۰/۸۹ درصد کیتوزان به‌عنوان روش بهینه برای پوشش‌دهی خلال‌های سیب‌زمینی به‌دست آمد. درصد مطلوبیت این بهینه‌یابی ۷۱ درصد بود که درصد معقولی می‌باشد.

میزان جذب روغن توسط غذاهای سرخ‌شده مختلف یکی از موضوعات تغذیه‌ای جدی در سلامت انسان می‌باشد. در این پروژه اثر دو هیدروکلوئید موسیلاژ بامیه و کیتوزان بر میزان جذب روغن مورد بررسی قرار گرفت، درحالی‌که در کشور گیاهان مختلفی وجود دارند که اثرات صمغ یا موسیلاژ آن‌ها هنوز مورد بررسی قرار نگرفته است.

نصیروند و جوادی (Nasirvand and Javadi, 2018) در بررسی خود روی بادمجان سرخ شده نشان دادند که ویژگی‌های حسی بادمجان سرخ‌شده پوشش‌دهی شده با کیتوزان مشابه نمونه شاهد بوده و با نمونه فاقد پوشش اختلاف معنی‌داری ندارد. اشرفی یورقانلو و غیبی (Ashrafi Yorganloo and Gheybi, 2019) نیز تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های حسی نمونه‌های سیب‌زمینی پوشش‌دهی شده با بامیه و CMC پیدا نکردند. حجتی و همکاران (Hojjati et al., 2020) از هیدروکلوئیدهای مختلف برای پوشش‌دهی فلافل سرخ شده استفاده کردند و نشان دادند که با افزایش میزان صمغ از امتیاز طعم فلافل‌ها کاسته می‌شود. آن‌ها در مورد امتیاز بافت و پذیرش کلی فلافل‌های پوشش‌دهی شده نیز نشان دادند که با افزایش میزان هیدروکلوئیدها تردی بافت نمونه‌ها و پذیرش کلی آن‌ها بیشتر می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پروژه نشان داد که با استفاده از ترکیب مناسب هیدروکلوئیدهای کیتوزان و موسیلاژ بامیه می‌توان جذب روغن در خلال‌های سیب‌زمینی را کاهش داد.

منابع

1. Abramoff, M.D., Magalhães, P.J., & Ram, S.J. (2005). *Image processing with ImageJ Part II. Biophotonics International*, 11(7): 36-43.
2. Alba, K., Ritzoulis, C., Georgiadis, N., & Kontogiorgos, V. (2013). Okra extracts as emulsifiers for acidic emulsions. *Journal of Food Research International*, 54, 1730-1737. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.051>
3. Amirabbasi, S., Elhamirad, A.H., Saeediasl, M.R., Armin, M., & Ziaolhagh, S.H.R. (2021). Optimization of polyphenolic compounds extraction methods from Okra stem. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 717-734. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00641-8>
4. Ashrafi Yorganloo, R., & Gheybi, N. (2019). Effect of okra mucilage and cmc on the oil uptake and physicochemical properties of french fries during deep-fat frying. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(1), 203-211. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2018.263603.665083>
5. Bouchon, P., Aguilera, J.M., & Pyle, D.L. (2015). Structure oilabsorption relationships during deep-fat frying. *Journal of Food Science*, 68, 2711-2716. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05793.x>
6. Dana, D., & Saguy, I.S. (2006). Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*, 128, 267-27. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.11.013>
7. Daraei Garmakhany, A., Aghajani, N., & Kashiri, M. (2011). Use of hydrocolloids as edible covers to produce low fat French fries. *Latin American Applied Research*, 41, 211-216.
8. Daraei Garmakhany, A., Aghajani, N., & Dalvi-Isfahan, M. (2021). Optimization of the effect of pectin and carboxymethyl cellulose gums on oil uptake, textural properties and color changes of French fries using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 18(116), 39-53. <https://dx.doi.org/10.52547/fsct.18.116.39>
9. Darmadji, P., & Izumimoto, M. (1994). Effect of chitosan in meat preservation. *Meat Science*, 38, 243-254. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90114-7](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90114-7)
10. Debeaufort, F., & Voilley, A. (2009). Lipid-based edible films and coatings. *Edible Films and Coatings for Food Applications*. 135-168.
11. Eslampour, A., & Hosseini, E. (2017). The effects of coating with bitter almond gum and gelatin on the oil uptake reduction, physical and sensorial properties of deep-fried potato slices. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 12(4), 95-102.

12. Georgiadis, N., Ritzoulis, C., Sioura, G., Kornezou, P., Vasiliadou, C., & Tsiptsias, C. (2011). Contribution of okra extracts to the stability and rheology of oil-in-water emulsions. *Journal of Food Hydrocolloids*, 25, 991-999. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.014>
13. Ghaleshahi, A.Z., Farhoosh, R., & Razavi, S.M.A. (2015). Effect of Basil seed hydrocolloid on the oil uptake and physical properties of potato strips during deep-fat frying. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 11(4), 309-308. <https://doi.org/10.22067/IFSTRJ.V1394I11.38747>
14. Hojjati, M., Mehrnia, M.A., Kakaaghazadeh, A., & Feghhi, S. (2020). Effects of edible hydrocolloids on quality characteristics of the fried falafels emphasize on decreases in oil uptakes. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 14(4), 77-88.
15. Jafari, N., Ziaolhagh, S.H.R., & Nafchi, A.R.M. (2019). Study on the effect of osmotic pretreatment on the quality of air-dried potato sticks using response surface methodology. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, 15(2), 355-367.
16. Juaniz, I., Zocco, C., Mouro, V., Cid, C., & Pena, P. (2016). The Effect of frying process on furan content in foods and assessment of furan exposure of Spanish population. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 549-555. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.061>
17. Karimi, N., & Esmailzadeh Kenari, R. (2015). Functionality of Coatings with Salep and Basil Seed Gum for Deep Fried Potato Strips. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2762-9>
18. Khezripourarab, M., Hojjati, M., & Samavati, V. (2017). Effect of maltodextrin coating on properties of french fries using response surface methodology. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 13(60):25-36.
19. Kontogiorgos, V., Margelou, I., Georgiadis, N., & Ritzoulis, C. (2012). Rheological characterization of okra pectins. *Journal of Food Hydrocolloids*, 29, 356-362. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.04.003>
20. Kpodo, F.M., Agbenorhevi, J.K., Alba, K., Bingham, R.J., Oduro, I.N., Morris, G.A., & Kontogiorgos, V. (2017). Pectin isolation and characterization from six okra genotypes, *Food Hydrocolloids*, 72, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.014>
21. Kumar, D., Tony, D., Kumar, A., Kumar, K., Rao, B., & Nadendla, R. (2013). A review on *Abelmoschus esculentus* (Okra). *International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences*, 3, 120-132.
22. Li, X. (1996). The use of chitosan to increase the stability of calcium alginate beads with entrapped yeast cells. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 23, 269-272.
23. Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology*, 14(9), 364-373. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(03\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(03)00050-5)
24. Nasirvand, L., & Javadi, A. (2018). Effect of chitosan edible coatings on reduce oil uptake in fried eggplant. *Journal of Food Research*, 28(2), 59-68.
25. Sabbaghi, H., Ziaifar, A.M., Sadeghi Mahoonak, A., Kashani-Nejad, M., & Mirzaee, H. (2015). Estimation of convective heat transfer coefficient as function of the water loss rate during frying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 11(4), 473-484.
26. Sabbaghi, H., Ziaifar, A.M., Sadeghi, A.R., Kashaninejad, M., & Mirzaei, H. (2016). Kinetic modeling of color changes in french fries during frying process. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(1), 65-76.
27. Sabbaghi, H., Ziaifar, A.M., & Kashani-Nejad, M. (2017). Mechanical study for texture degradation of potato strip during frying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(1), 92-104.
28. Sabbaghi, H., Ziaifar, A.M., & Kashani-Nejad, M. (2018). Fractional conversion modeling of color changes in apple during simultaneous dry-blanching and dehydration process using intermittent infrared irradiation. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 14(2), 383-397.
29. Sabbaghi, H., Ziaifar, A.M., & Kashaninejad, M. (2019). Design of fuzzy system for sensory evaluation of dried apple slices using infrared radiation. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 50(1), 77-89.
30. Sabbaghi, H. (2021). Application of hydrocolloid compounds (xanthan and carboxymethylcellulose) in doughnut formulation for reducing oil uptake. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 17(5), 919-940.
31. Shakouri, S., Tavakolipour, H., Ziaolhagh, S.H.R., & Mortazavi, S.M. (2021). The effect of Blanching, packaging and storage period on moisture content and oil absorption in microwave-dried potato. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 15(81), 431-442.
32. Taghavi, N., Ziaifar, A.M., Mirzaee, H., Sadeghi Mahoonak, A., Ghorbani, M., & Sabbaghi, H. (2018). Investigation on effect of coating on the oil uptake during deep fat frying process of traditional sweet Pishmeh. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 14(4), 561-571. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v14i4.56899>
33. Torabi, R., Hojjati, M., Barzegar, M., & 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), 109-120.

34. Van Koerten, K.N., Schutyser, M.A., Somsen, D., & Boom, R.M. (2015). Crust morphology and crispness development during deep-fat frying of potato. *Food Research International*, 78, 336-332. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.022>
35. Varela, P., & Fiszman, S.M. (2013). Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocolloids*, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.01.016>
36. Xu, K., Guo, M., Roman, L., Pico, J., & Martinez, M.M. (2020). Okra seed and seedless pod: Comparative study of their phenolics and carbohydrate fractions and their impact on bread-making. *Food Chemistry*, 317, 126387. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126387>
37. Yadegari, M., Esmailzadeh Kenari, R., & Hashemi, S.J. (2017). Investigation of effects of lepidium sativum seed, alyssum homolocarpum and methyl cellulose gums and Compound them on oil uptake and qualitative properties of fried potato during deep frying process. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 69(14), 1-9. <http://fsct.modares.ac.ir/article-۲۴۸۳-۷-fa.html>
38. Ziaolhagh, S.H., & Kanani, S. (2021). Extending the shelf life of apricots by using gum tragacanth-chitosan edible coating. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(2), 319-331.
39. Ziaolhagh, S., Mazaheri Tehrani, M., Razavi, M., & Rashidi, H. (2017). Roasting process optimization of walnut kernels for the preparation of walnut cream using response surface methodology. *Journal of Nuts*, 8(1), 31-40. <https://doi.org/10.22034/JON.2017.530390>
40. Zimoch-korzycka, A., Ambrozik-Haba, J., Kulig, D., & Jarmoluk, A. (2015). Modification effect of cellulose on the physicochemical characteristic of polysaccharides edible films. *International Journal of Polymer Science*, 10, 265-273. <https://doi.org/10.1155/2015/184616>