**مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران**
**سال چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۸۸-۷۷**

# تأثیر استفاده از برخی هیدروکلوئیدهای خوراکی بر ویژگی‌های کیفی فلافل سرخ شده با تأکید بر کاهش مقدار روغن جذب‌شده

محمد حجتی[۱]، محمد امین مهرنیا[۲]، آسیه کاکاآقازاده[۳]، سیمین فقهی[۳]

۱- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران، پست الکترونیک: hojjati@asnrukh.ac.ir
۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
۳- کارشناس معاونت غذا و دارو دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۴

## چکیده

**سابقه و هدف:** فلافل یکی از غذاهای آماده ارزانی است که مصرف آن رو به افزایش است. چون فلافل در دمای زیاد و در حضور اکسیژن سرخ می‌شود و مقدار زیادی روغن نیز به خود جذب می‌کند مصرف مداوم آن خطری بالقوه و تهدید کننده سلامت انسان است. باتوجه به رشد تقاضای غذاهای با میزان روغن کم‌تر توسط مصرف‌کنندگان، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر استفاده از صمغ عربی، گوار و زانتان به عنوان هیدروکلوئیدهای خوراکی بر ویژگی های فلافل سرخ شده بود.

**مواد و روش‌ها:** هیدروکلوئیدها در سه غلظت (۰/۵، ۱ و ۲ درصد) به فرمول فلافل اضافه و مقادیر رطوبت، جذب روغن، سفتی بافت، ویژگی-های رنگی (شاخص‌های $L^*a^*b^*$)، ویژگی‌های حسی (رنگ ظاهری، طعم، تردی، پذیرش کلی) و پروفایل اسیدچرب روغن جذب شده ارزیابی شدند.

**یافته‌ها:** افزودن هیدروکلوئیدها میزان رطوبت فلافل‌های سرخ‌شده را به‌طور معنی‌داری ($p<0/05$) افزایش داد. مقادیر روغن جذب شده و سفتی نمونه‌ها در اثر افزودن هیدروکلوئیدها کاهش معنی داری داشت به‌طوری که افزودن ۲ درصد صمغ عربی حدود ۴۰ درصد میزان جذب روغن فلافل‌ها را کاهش داد. همچنین افزودن هیدروکلوئیدها به فلافل موجب کاهش میزان روشنایی (L*) و افزایش قرمزی (a*) و زردی (b*) نمونه‌ها شد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که افزودن هیدروکلوئیدها رنگ ظاهری، تردی و پذیرش کلی نمونه‌های فلافل را افزایش داد در حالی که شدت طعم را اندکی کاهش داد. پروفایل اسیدهای چرب روغن جذب شده نمونه‌های فلافل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر افزودن هیدروکلوئیدها قرار نگرفت اگرچه مقدار اسیدهای چرب غیر اشباع آنها اندکی افزایش یافت.

**نتیجه‌گیری:** افزودن هیدروکلوئیدهای طبیعی به فلافل می‌تواند میزان جذب روغن آن‌را بدون تغییر معنی‌داری در ویژگی‌های حسی به مقدار زیادی کاهش دهد که این امر در سلامت مصرف‌کنندگان از اهمیت برخوردار است.

**واژگان کلیدی:** سرخ کردن عمیق، جذب روغن، صمغ، اسیدچرب، بافت

## • مقدمه

در سال‌های اخیر با گسترش زندگی صنعتی و تغییراتی که در روش زندگی و رژیم غذایی مردم صورت پذیرفته، مصرف انواع غذاهای آماده سرخ شده افزایش چشمگیری یافته است (۱). سرخ کردن عمیق در روغن یک فرایند پخت قدیمی و رایج است که جهت تهیه غذاهای خوش‌طعمی که بخش داخلی نرم و مرطوب همراه با پوسته ترد و شکننده دارد به‌کارگرفته می‌شود. این فرایند با غوطه‌وری قطعات و تکه‌های ماده غذایی در روغن گیاهی داغ همراه بوده که طی آن، حرارت از طریق روغنی که دمایی بالاتر از نقطه جوش آب دارد به ماده غذایی منتقل و سپس آب موجود در غذا تبخیر و روغن جذب ماده غذایی می‌گردد (۳، ۲). مقدار روغن از عوامل مهم کیفی این دسته از غذاها محسوب می‌گردد. با توجه به اینکه این فرآورده‌های غذایی در مقدار زیادی روغن با دمای بالا و در حضور اکسیژن سرخ می‌شوند، روغن فراوانی به خود جذب می‌کنند به‌طوری‌که غالبا تا حدود یک سوم وزن کل ماده غذایی سرخ شده را روغن تشکیل می‌دهد. مقدار روغن و

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

کالری بالای این غذاها بروز بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت، سرطان و چاقی را به دنبال دارند که مصرف مداوم آن‌ها می‌تواند به عنوان خطری بالقوه تهدید کننده سلامت انسان باشد. از طرفی تهیه این غذاها با روغن کم، بافتی سفت و نامطلوب ایجاد می‌کند که مورد پسند مصرف‌کننده نمی‌باشد (۶-۴). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی توسط تولیدکنندگان و پژوهش‌گران جهت تولید یک غذای سرخ شده با مقدار روغن کم‌تر انجام پذیرفته که یکی از آن‌ها استفاده از هیدروکلوئیدها و پلی‌ساکاریدها بوده است.

استفاده از انواع مختلف هیدروکلوئیدها و پلی‌ساکاریدهای خوراکی به‌صورت یک عامل پوشش دهنده (coating agent) در فرآورده‌های سرخ شده‌ای نظیر خلال سیب‌زمینی (۷)، چیپس سیب‌زمینی (۱)، ورقه‌های نازک موز (۸)، چیپس هویج (۹)، ناگت مرغ (۶) و میگو(۵) موجب کاهش جذب روغن در آن‌ها شده است. در این روش، با غوطه‌وری قطعات ماده غذایی در محلول حاوی هیدروکلوئید قبل از سرخ شدن، لایه فیلم مانند نازکی در اطراف ماده غذایی تشکیل می‌گردد که با توجه به قدرت بالای این ترکیبات در برقراری پیوند با ملکول‌های آب، مانع از جذب زیاد روغن شده و در عین حال مقدار آب بیشتری از محصول را حفظ می‌کند (۱۰).

تحقیقات نشان داده که افزودن هیدروکلوئیدها به عنوان یکی از اجزای تشکیل دهنده (ingredient) در کاهش میزان جذب روغن در برخی فرآورده‌های سرخ شده‌ای که ابتدا مواد اولیه به‌صورت خمیر آماده می‌گردند، نیز مؤثر است.

Bajaj و Singhal (۱۱) با افزودن ۰/۷۵-۰/۲۵ درصد ژلان در خمیر سِو (sev)، نوعی اسنک محلی هندی که از سرخ کردن ورمیشل حاصل از خمیر آرد نخود در روغن داغ تهیه می‌شود، ویژگی‌های محصول سرخ شده را بررسی و مشاهده کردند که با افزودن ۰/۲۵ درصد ژلان به خمیر سِو، بدون تغییر در هیچ یک از پارامترهای دیگر، حدود ده درصد از مقدار روغن جذب شده کاهش می‌یابد. Sakhale و همکاران (۳) نیز با اضافه کردن مقادیر مختلف زانتان، گوار، کربوکسی‌متیل‌سلولز و هیدروکسی‌پروپیل‌متیل‌سلولز به خمیر سمبوسه، کاهش جذب روغن در سمبوسه سرخ شده را گزارش کردند. هم‌چنین مشاهده شده که افزودن مخلوطی از فیبرهای یولاف و گندم به پوری (poori)، نان غیرتخمیری و نازک هندی که از سرخ کردن خمیر حاصل از مخلوط آرد گندم، آب و نمک در روغن داغ تهیه می‌شود، میزان جذب روغن را تا ۲۰ درصد کاهش داده است (۱۲).

فلافل از جمله غذاهای آماده‌ای است که از سرخ کردن عمیق گلوله تهیه شده از نخود پخته و ادویه‌جات و سبزیجات معطر در روغن داغ به‌دست می‌آید و در بین اقشار مختلف مردم خاورمیانه به‌ویژه افراد کم‌درآمد به خاطر قیمت پایین و طعم خوشمزه‌اش طرفداران زیادی دارد. البته در برخی از کشورها از باقلا نیز برای تهیه خمیر فلافل استفاده می‌شود و انواع مختلف فلافل هم‌چون فلافل نخود و باقلا، فلافل نخود با گوشت و فلافل نخود با سیب زمینی در مناطق مختلف تهیه می‌شود ولی فلافل حاصل از نخود و سبزیجات بیشتر رایج می‌باشد (۱۵-۱۳). از آنجایی‌که در سالیان اخیر مصرف فلافل در بین مردم ایران رو به افزایش بوده و از طرفی فلافل حاوی مقادیر زیادی روغن هست که از نظر سلامتی قابل اهمیت است، هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر افزودن صمغ عربی، گوار و زانتان به عنوان هیدروکلوئیدهای خوراکی به خمیر فلافل بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی فلافل سرخ شده با تاکید بر کاهش جذب روغن می‌باشد.

## • مواد و روش‌ها

**مواد شیمیایی و استانداردها:** صمغ‌های عربی، زانتان و گوار به عنوان هیدروکلوئیدهای خوراکی از شرکت سیگما (Sigma Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) تهیه شدند. از روغن مخصوص سرخ‌کردنی بهار (گروه صنعتی بهشهر، بهشهر، ایران) متشکل از روغن آفتابگردان، سویا ، آنتی‌اکسیدان TBHQ (۰/۰۰۷۵ ٪)، اسید سیتریک (۰/۰۱٪)، بتاکاروتن سنتزی (۰/۰۰۰۳٪) و آنتی‌فوم (۰/۰۰۰۶٪) برای سرخ کردن فلافل استفاده شد. نخود و سایر مواد اولیه جهت تهیه فلافل نظیر انواع ادویه‌جات از بازار محلی اهواز و سایر مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت مرک (Merck KgaA, Darmstadt, Germany) خریداری گردیدند.

**روش تهیه فلافل:** برای تهیه خمیر فلافل، ابتدا نخودی که یک شب قبل در آب خیسانده شده بود آسیاب و با پیاز، سیر، فلفل، ادویه مخصوص فلافل، نمک، بی‌کربنات سدیم و مقادیر ۰/۵، ۱ و ۲ درصد صمغ به‌همراه مقدار مناسبی آب با یک مخلوط‌کن برقی ( Model MHM-X3P, Myson, Beijing, China) با سرعت متوسط به مدت سه دقیقه مخلوط و گلوله‌های خمیر فلافل با استفاده از یک قالب زن فلزی دستی با قطر ۴ سانتی‌متر به اندازه‌های یکسان تهیه شدند. پس از آنکه خمیر آماده شده به‌مدت یک شب در یخچال قرار گرفت تا رطوبت در همه خمیر یکنواخت پخش شود و از طرفی در این مدت نیز صمغ‌ها هیدراته گردیدند. از یک سرخ‌کن خانگی با ظرفیت ۱/۲ لیتر (De Longhi RotoFry

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

F28533-W1, Treviso, Italy) و دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵ دقیقه جهت سرخ کردن نمونه‌های فلافل استفاده شد. در هر بار سرخ کردن ده گلوله فلافل سرخ گردید و با استفاده از یک الک فلزی اجازه داده شد تا روغن اضافی از آن‌ها خارج و به آرامی تا حدود ۵ دقیقه سرد شوند. لازم به ذکر است که روغن مصرفی برای هر تیمار تعویض می‌گردید.

**ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فلافل: میزان رطوبت و روغن:** محتوی رطوبت نمونه‌ها با استفاده از یک آون (Binder WTC, Tutlingen, Germany) و دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. میزان روغن نمونه‌ها با استفاده از یک سوکسله شش خانه (model 4X, Bakhshi, Tehran, Iran) و با حلال هگزان و بر اساس روش انجمن شیمی آمریکا اندازه‌گیری شدند (۱۶).

**میزان سفتی بافت:** آزمون شکست (A/WEG) برای بررسی میزان سفتی بافت نمونه‌های فلافل سرخ شده با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (TA-XT Plus texture analyzer, Stable Micro Systems, Surrey, UK) به‌کارگرفته شد. بدین منظور نمونه‌های فلافل بین دولبه تیغ مانند قرار گرفته و پروب با سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه و با اعمال نیروی ۱۰ کیلوگرم و تا عمق نفوذ ۱۰ میلی‌متر به درون فلافل فرو رفت. حداکثر نیروی لازم برای این شکست و فرو رفتن پروب برحسب نیوتن به‌عنوان سفتی بافت ثبت گردید.

**ویژگی‌های رنگی:** شاخصه‌های رنگی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ سنج (Konica Minolta مدل CR-400) ساخت کشور ژاپن بررسی شد. بدین منظور مولفه‌های $L^*$ به‌عنوان شاخص روشنایی (lightness)، $a^*$ شاخص قرمزی (redness) و $b^*$ شاخص زردی (yellowness) نمونه‌های فلافل در هر بار آزمون اندازه‌گیری شدند.

**ارزیابی حسی:** ویژگی‌های حسی فلافل‌های سرخ‌شده شامل رنگ‌ظاهری (یکنواخت سرخ شدن و عدم سوختگی)، تردی، طعم (وجود بوی خارجی) و پذیرش کلی در چهارچوب آزمون هدونیک ۹ نقطه‌ای توسط ۱۲ ارزیاب آموزش دیده شامل هفت زن و ۵ مرد در محدوده سنی ۲۵ تا ۴۳ سال مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمونه‌ها در شرایط یکسانی آماده، بطور تصادفی کدگذاری شده و جهت امتیاز دهی در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفتند. بدین ترتیب که نمره ۱ و ۹ به‌ترتیب به عنوان کمترین و بیشترین امتیاز برای هر یک از ویژگی های نمونه ثبت شد.

**ویژگی‌های روغن:** تأثیر افزودن هیدروکلوئیدها به فلافل بر روی خصوصیات روغن استحصالی از فلافل‌های سرخ شده شامل اندازه‌گیری ضریب شکست، عدد یدی، عدد پراکسید، عدد اسیدی، و پروفایل اسید چرب مورد بررسی قرار گرفت. ضریب شکست روغن با استفاده از رفرکتومتر (Atago, RX-7000 Alpha; Atago Industries, Tokyo, Japan) بررسی شد. اندیس یا عدد یدی نشان دهنده تعداد پیوند های دوگانه موجود در روغن بوده و درجه غیراشباعی روغن‌ها و چربی‌ها را نشان می‌دهد و به روش هانوس و مطابق دستورالعمل شماره ۹۲۰/۱۵۸ انجمن شیمی تجزیه آمریکا انجام شد. عدد پراکسید که شاخصی برای نشان دادن میزان فساد اکسیداتیو در روغن‌ها و چربی‌ها می‌باشد براساس دستورالعمل شماره ۸/۵۳ انجمن شیمی تجزیه آمریکا اندازه‌گیری شد. عدد یا اندیس اسیدی که نشان دهنده فاسد یا سالم بودن روغن مورد آزمایش می‌باشد طبق دستورالعمل شماره ۵a/۴۰ انجمن شیمی تجزیه آمریکا بررسی گردید(۱۶). جهت بررسی پروفایل اسیدهای چرب روغن نمونه‌های فلافل از روش گازکروماتوگرافی استفاده شد. بدین منظوراز یک دستگاه گاز کروماتوگرافی (Thermo Finnigan – Rodano, Italy) TRACE متصل به آشکارگر یونش شعله (FID) استفاده شد. در ابتدا براساس استاندارد شماره ۵۵۰۹ ایزو نمونه‌های روغن استری شدند. ابتدا حدود ۰/۱ گرم روغن در هپتان حل و سپس محلول متانولی هیدروکسید پتاسیم بدان اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط شدند و پس از دوفاز شدن، از لایه رویی جهت تزریق به دستگاه گازکروماتوگرافی استفاده شد. در این تحقیق از ستون CP Sil 88 به طول ۱۰۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲ میکرومتر (Chrompack, Middelburg, The Netherlands, and available from Varian Inc., Mississauga, Canada) با دمای ۲۷۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. دمای محفظه تزریق ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با انشعاب (split) ۵۰ به ۱ بود و گاز هلیوم با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. برنامه دمایی ستون بدین طریق بود که ابتدا دما ۱۴۰ درجه بود و ۵ دقیقه در این دما نگه‌داشته شد و سپس با سرعت ۳/۲ درجه در دقیقه به دمای ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد رسیده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در این دما نگه‌داشته شد. مقادیر اسیدهای چرب براساس سطح زیر منحنی و با استفاده از استانداردهای اسیدهای چرب شناسایی و اندازه‌گیری شدند (۱۷).

**تجزیه و تحلیل آماری:** این مطالعه در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام پذیرفت. هر آزمون در سه تکرار انجام و داده‌های به دست‌آمده با استفاده از نرم-

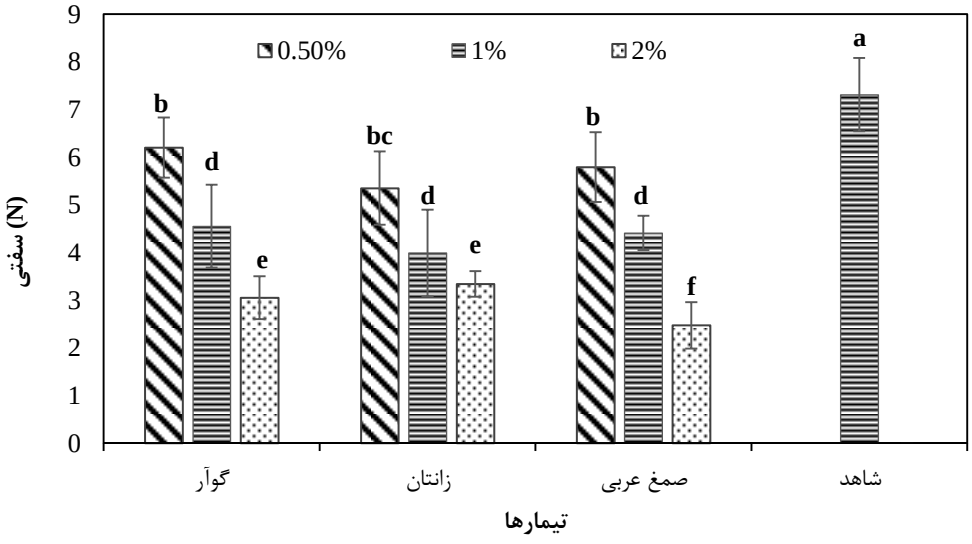
[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

افزار آماری SPSS نسخه ۲۱ تجزیه و تحلیل گردید. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد.

## • یافته‌ها

**میزان رطوبت و روغن نمونه‌های فلافل:** نتایج به دست آمده از تأثیر اضافه شدن هیدروکلوئیدها به خمیر فلافل بر میزان جذب روغن و رطوبت نمونه‌های فلافل سرخ شده در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد همه نمونه‌های فلافل حاوی هیدروکلوئیدها در مقایسه با نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری از میزان روغن کمتری برخوردار هستند ($p<۰/۰۵$). نمونه شاهد حاوی ۲۶/۱۴ ٪ روغن بود در حالی‌که کمترین مقدار روغن جذب شده در نمونه‌های فلافل حاوی ۲ ٪ صمغ عربی (۱۵/۸۱ ٪) و صمغ زانتان (۱۶/۵۵ ٪) مشاهده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار هر سه نوع صمغ، میزان جذب روغن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش میزان صمغ گوار از ۰/۵ به ۲ درصد، میزان جذب روغن از ۲۳/۴۹ ٪ به ۱۷/۷۸ ٪ کاهش یافت. با افزایش مقدار صمغ‌های عربی و زانتان از ۰/۵ به ۲ درصد به ترتیب میزان جذب روغن فلافل از ۲۲/۳۴ ٪ و ۲۲/۹۰ ٪ به ۱۵/۸۱ ٪ و ۱۶/۵۵ ٪ کاهش یافت. نتایج نشان از تأثیر مثبت اضافه کردن هیدروکلوئیدها به خمیر فلافل بر کاهش جذب روغن فلافل در طی فرایند سرخ کردن داشت. همچنین جدول ۱ نشان می‌دهد که افزودن هیدروکلوئیدها در هر مقداری و از هر نوعی در خمیر فلافل افزایش معنی‌داری در میزان رطوبت نمونه‌ها داشته است به‌طوری که کمترین مقدار رطوبت در نمونه شاهد (۳۶/۸۱ ٪) و بیشترین مقدار رطوبت در نمونه‌های فلافل حاوی مقادیر ۲ ٪ زانتان (۴۸/۰۶ ٪)، صمغ عربی (۴۸/۰۱ ٪) و صمغ گوار (۴۷/۸۷ ٪) مشاهده گردید.

**سفتی بافت نمونه‌های فلافل:** بافت از خصوصیات مهم یک محصول سرخ شده است و تردی و سفتی یک فرآورده سرخ شده تأثیر مهمی در پذیرش آن توسط مصرف کننده دارد. تأثیر افزودن نوع و مقدار هیدروکلوئیدها به خمیر فلافل بر میزان سفتی نمونه‌های فلافل سرخ شده در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج بررسی میزان سفتی بافت نمونه‌های فلافل با دستگاه بافت سنج نشان داد که افزودن هر یک از هیدروکلوئیدها در هر مقداری کاهش سفتی فلافل را به‌طور معنی‌داری به دنبال داشته است ($p<۰/۰۵$) به‌طوری که بیشترین میزان سفتی در نمونه شاهد (۷/۳۱N) مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار صمغ از ۰/۵ به ۲ درصد، میزان سفتی فلافل کاهش یافته و بیشترین کاهش در مقدار ۲٪ صمغ عربی (۲/۴۷N) و سپس ۲ ٪ صمغ گوار (۳/۰۵N) و ۲ ٪ زانتان (۳/۳۴N) مشاهده گردیده است به‌عبارتی دیگر با افزودن هیدروکلوئید به فرمول فلافل، محصول سرخ کرده با بافت نرمتری حاصل گردیده است.




**شکل ۱.** تأثیر افزودن هیدروکلوئید به خمیر فلال بر سفتی باقت فلافل سرخ شده

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول ۱.** تأثیر افزودن نوع و مقدار هیدروکلوئید به خمیر فلافل بر میزان جذب روغن و رطوبت فلافل سرخ شده

| تیمارها | میزان رطوبت (٪) | میزان روغن (٪) |
|---|---|---|
| صمغ گوار ۰/۵٪ | ۳۹/۷۵±۰/۹۴$^{d*}$ | ۲۳/۴۹±۰/۷۹$^{b}$ |
| صمغ گوار ۱٪ | ۴۵/۰۸±۰/۷۶$^{b}$ | ۲۱/۲۶±۱/۰۴$^{cd}$ |
| صمغ گوار ۲٪ | ۴۷/۸۷±۱/۱۱$^{a}$ | ۱۷/۷۸±۱/۲۳$^{e}$ |
| صمغ عربی ۰/۵٪ | ۴۲/۰۱±۱/۰۵$^{c}$ | ۲۲/۳۴±۱/۲۰$^{bc}$ |
| صمغ عربی ۱٪ | ۴۴/۸۲±۰/۷۳$^{b}$ | ۲۰/۹۸±۱/۱۱$^{cd}$ |
| صمغ عربی ۲٪ | ۴۸/۰۱±۱/۰۷$^{a}$ | ۱۵/۸۱±۱/۶۵$^{f}$ |
| صمغ زانتان ۰/۵٪ | ۳۸/۹۸±۰/۷۶$^{d}$ | ۲۲/۹۰±۰/۷۴$^{b}$ |
| صمغ زانتان ۱٪ | ۴۲/۳۰±۰/۵۸$^{c}$ | ۲۰/۶۹±۱/۰۳$^{d}$ |
| صمغ زانتان ۲٪ | ۴۸/۰۶±۰/۶۴$^{a}$ | ۱۶/۵۵±۰/۸۶$^{ef}$ |
| شاهد | ۳۶/۸۱±۰/۸۶$^{e}$ | ۲۶/۱۴±۱/۵۴$^{a}$ |

*میانگین‌هایی که با حروف کوچک متفاوت نشان داده شده اند نشان دهنده تفاوت معنی‌داری میان میانگین‌ها در ستون‌ها هستند (p<۰/۰۵)

**ویژگی‌های رنگی فلافل:** یکی از شاخص‌های مهم یک فرآورده غذایی سرخ شده رنگ ظاهری آن است که در جلب توجه مشتری نقش مهمی دارد. جدول ۲ تأثیر اضافه کردن نوع و مقدار هیدروکلوئید به خمیر فلافل بر ویژگی‌های رنگی فلافل سرخ شده که با دستگاه رنگ سنج اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که شدت روشنایی ($L^*$) فلافل-های سرخ شده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر افزودن نوع و مقدار هیدروکلوئیدها قرار گرفته است به‌طوری که با افزودن هیدروکلوئید شدت روشنایی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است (p<۰/۰۵). نمونه شاهد که فاقد هرگونه هیدروکلوئید در فرمولش بود بیشترین میزان روشنایی (۳۹/۴۰) را داشت و کمترین شدت روشنایی در نمونه حاوی ۲ ٪ صمغ گوار (۳۲/۲۱) مشاهده گردید. نتایج نشان داد که با افزایش میزان هیدروکلوئید از شدت روشنایی نمونه‌ها کاسته می‌شود به‌طوری که شدت روشنایی فلافل با افزودن مقدار ۰/۵ تا ۲ درصد صمغ عربی از ۳۸/۱۱ به ۳۳/۷۵ و شاخص روشنایی فلافل حاوی ۰/۵ تا ۲ درصد زانتان از ۳۸/۴۰ به ۳۵/۴۰ کاسته شد. همچنین نتایج نشان داد که شدت قرمزی ($a^*$) نمونه‌های فلافل حاوی هیدروکلوئید نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی‌داری داشتند (p<۰/۰۵) به‌طوری که نمونه شاهد (۸/۶۳) کمترین میزان قرمزی و فلافل حاوی ۲ ٪ صمغ گوار (۱۱/۲۴) بیشترین شدت قرمزی را از خود نشان دادند. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار هیدروکلوئید در فرمول فلافل بر میزان قرمزی نمونه‌های سرخ شده افزوده شده است. نتایج حاصل از افزودن هیدروکلوئیدها در فرمول فلافل موجب افزایش شاخص زردی ($b^*$) آن‌ها نیز گردید به‌طوریکه کمترین و بیشترین میزان زردی به‌ترتیب در نمونه شاهد (۳۳/۱۶) و نمونه حاوی ۲ ٪ زانتان (۳۹/۵۱) مشاهده گردید.

**ویژگی‌های حسی فلافل:** نتایج حاصل از ویژگی‌های حسی نمونه‌های فلافل سرخ شده تحت تأثیر افزودن هیدروکلوئیدها شامل رنگ ظاهری، تردی، طعم و پذیرش کلی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اضافه کردن هیدروکلوئید به فلافل رنگ ظاهر آن‌ها را از نظر ارزیاب‌ها بهبود بخشیده به‌طوریکه از نظر ارزیاب‌ها کمترین امتیاز رنگ ظاهری به فلافل نمونه شاهد تعلق گرفته است. همچنین از نظر ارزیاب‌ها افزودن هیدروکلوئیدها به فلافل طعم آن‌را به‌طور معنی‌داری کاهش داده‌اند به‌طوری که بیشترین امتیاز طعم را به نمونه شاهد (۸) داده‌اند و کمترین امتیاز به نمونه حاوی ۲ ٪ صمغ گوار است. نتایج نشان داد که با افزایش میزان صمغ از ۰/۵ به ۲ درصد در هر سه صمغ از میزان طعم فلافل‌ها کاسته شده است. همچنین استفاده از هیدروکلوئیدها افزایش معنی-داری در میزان تردی نمونه‌های فلافل سرخ شده داشته است به‌طوری‌که ارزیاب‌ها کمترین تردی را در نمونه شاهد (۵/۲۱) و بیشترین تردی را در نمونه‌های فلافل حاوی ۲ درصد از هر یک از هیدروکلوئیدها گزارش کردند. نتایج ارزیابی حسی فلافل‌های سرخ شده نشان داد که با افزایش مقدار هیدروکلوئید از ۰/۵ به ۲ درصد میزان تردی نمونه‌ها افزایش معنی‌داری داشته است.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول ۲.** تأثیر افزودن هیدروکلوئید به خمیر فلافل بر ویژگی‌های رنگی ($L^* a^* b^*$) فلافل سرخ شده

| تیمارها | $b^*$ | $a^*$ | $L^*$ |
|---|---|---|---|
| صمغ گوار ۰/۵٪ | ۳۴/۵۶±۰/۸۳$^{c*}$ | ۱۰/۳۲±۰/۵۳$^{b}$ | ۳۷/۱۳±۰/۹۵$^{c}$ |
| صمغ گوار ۱٪ | ۳۵/۰۱±۰/۶۷$^{c}$ | ۱۰/۵۸±۰/۶۶$^{b}$ | ۳۵/۴۴±۰/۸۰$^{d}$ |
| صمغ گوار ۲٪ | ۳۷/۵۹±۰/۹۹$^{b}$ | ۱۱/۲۴±۰/۵۴$^{a}$ | ۳۲/۲۱±۱/۱۲$^{f}$ |
| صمغ عربی ۰/۵٪ | ۳۳/۹۴±۰/۶۴$^{c}$ | ۹/۶۴±۰/۸۱$^{c}$ | ۳۸/۱۱±۰/۷۷$^{b}$ |
| صمغ عربی۱٪ | ۳۴/۳۱±۰/۹۰$^{c}$ | ۹/۹۲±۰/۹۰$^{c}$ | ۳۵/۵۱±۱/۰۷$^{d}$ |
| صمغ عربی ۲٪ | ۳۶/۱۸±۰/۶۲$^{bc}$ | ۱۰/۰۶±۱/۰۱$^{b}$ | ۳۳/۷۵±۰/۹۹$^{e}$ |
| صمغ زانتان ۰/۵٪ | ۳۷/۲۱±۰/۴۹$^{b}$ | ۹/۵۱±۰/۵۱$^{c}$ | ۳۸/۴۰±۰/۶۷$^{b}$ |
| صمغ زانتان ۱٪ | ۳۹/۲۴±۰/۹۳$^{a}$ | ۹/۸۷±۰/۹۶$^{c}$ | ۳۷/۰۳±۰/۴۳$^{c}$ |
| صمغ زانتان ۲٪ | ۳۹/۵۱±۰/۵۵$^{a}$ | ۱۰/۱۲±۰/۵۵$^{b}$ | ۳۵/۴۰±۰/۵۹$^{d}$ |
| شاهد | ۳۳/۱۶±۰/۸۴$^{cd}$ | ۸/۶۳±۰/۸۵$^{d}$ | ۳۹/۴۰±۰/۴۳$^{a}$ |

*میانگین‌هایی که با حروف کوچک متفاوت نشان داده شده اند نشان دهنده تفاوت معنی‌داری میان میانگین‌ها در ستون‌ها هستند ($p<۰/۰۵$)

**جدول ۳.** تأثیر افزودن هیدروکلوئیدها به خمیر فلافل بر ویژگی‌های حسی فلافل سرخ شده

| تیمارها | طعم | تردی | رنگ ظاهری | پذیرش کلی |
|---|---|---|---|---|
| صمغ گوار ۰/۵٪ | ۵/۵۵±۰/۹۰$^{e*}$ | ۶/۳۳±۱/۳۷$^{d}$ | ۷/۲۶±۱/۱۱$^{d}$ | ۶/۸۹±۱/۸۳$^{d}$ |
| صمغ گوار ۱٪ | ۴/۶۶±۱/۹۴$^{f}$ | ۶/۶۶±۱/۳۰$^{d}$ | ۷/۶۱±۱/۱۷$^{c}$ | ۷/۶۶±۱/۳۶$^{c}$ |
| صمغ گوار ۲٪ | ۴/۴۱±۱/۱۲$^{f}$ | ۸/۵۶±۱/۹۹$^{a}$ | ۷/۶۹±۱/۳۹$^{c}$ | ۸/۳۳±۰/۷۵$^{a}$ |
| صمغ عربی ۰/۵٪ | ۶/۸۹±۱/۴۴$^{c}$ | ۷/۶۶±۱/۲۰$^{c}$ | ۸/۳۳±۰/۴۴$^{b}$ | ۷/۹۶±۱/۳۶$^{c}$ |
| صمغ عربی۱٪ | ۶/۶۶±۰/۵۷$^{c}$ | ۸/۰۳±۰/۸۵$^{b}$ | ۸/۲۱±۰/۷۸$^{b}$ | ۸/۳۳±۱/۰۸$^{b}$ |
| صمغ عربی ۲٪ | ۶/۰۱±۱/۵۱$^{d}$ | ۸/۶۶±۱/۴۴$^{a}$ | ۸/۶۶±۱/۹۳$^{a}$ | ۸/۹۱±۱/۱۲$^{a}$ |
| صمغ زانتان ۰/۵٪ | ۷/۶۶±۱/۴۴$^{b}$ | ۷/۲۲±۰/۸۸$^{c}$ | ۸/۶۶±۱/۴۳$^{a}$ | ۷/۶۶±۱/۰۸$^{c}$ |
| صمغ زانتان ۱٪ | ۶/۳۳±۰/۷۲$^{c}$ | ۷/۹۶±۱/۰۲$^{b}$ | ۸/۳۳±۰/۴۹$^{b}$ | ۸/۳۶±۰/۷۶$^{b}$ |
| صمغ زانتان ۲٪ | ۶/۳۳±۱/۳۴$^{c}$ | ۸/۶۶±۱/۲۳$^{a}$ | ۸/۵۷±۰/۹۱$^{a}$ | ۹/۰۱±۱/۵۴$^{a}$ |
| شاهد | ۸/۰۰±۱/۵۰$^{a}$ | ۵/۲۱±۱/۰۱$^{e}$ | ۷/۲۳±۱/۰۶$^{d}$ | ۶/۳۳±۰/۸۱$^{e}$ |

*میانگین‌هایی که با حروف کوچک متفاوت نشان داده شده اند نشان دهنده تفاوت معنی‌داری میان میانگین‌ها در ستون‌ها هستند ($p<۰/۰۵$)

**ویژگی‌های روغن حاصل از فلافل سرخ شده:** تأثیر افزودن هیدروکلوئیدها به خمیر فلافل بر ویژگی‌های روغن حاصل از فلافل سرخ شده شامل ضریب شکست نوری، عدد اسیدی، عدد یدی و عدد پراکسید در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که ضریب شکست نوری روغن حاصل از فلافل‌های حاوی هیدروکلوئید نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری داشته است. بیشترین ضریب شکست نوری به مقدار ۱/۴۴۷۸در نمونه شاهد و کمترین آن در نمونه حاوی ۲ درصد صمغ گوار به مقدار ۱/۴۳۲۸ مشاهده شد. عدد اسیدی که نشان دهنده اسیدهای چرب آزاد موجود در روغن است در این تحقیق تحت تأثیر افزودن هیدروکلوئیدها به فرمول فلافل قرار نگرفت به‌طوری‌که عدد اسیدی نمونه‌ها از ۰/۰۳۹ تا ۰/۰۴۶ (میلی‌گرم پتاس در هر گرم) متغیر بود ولی از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری نبودند. نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی افزودن هیدروکلوئیدها موجب کاهش معنی‌داری در عدد یدی نمونه‌های روغن حاصل از فلافل گردید اگرچه این کاهش در انواع صمغ‌ها و مقادیر مختلف‌شان مشاهده شد، ولی از نظم مناسبی برخوردار نبود به‌طوری‌که کمترین عدد یدی در نمونه‌های فلافل حاوی ۱درصد زانتان (۶۶/۹۶) و ۲درصد صمغ عربی (۶۷/۴۱) مشاهده گردید در-حالی‌که نمونه شاهد (۸۷/۸۳) بیشترین میزان عدد یدی را نشان داد. نتایج بررسی میزان عدد پراکسید روغن حاصل از فلافل‌ها نشان داد که اضافه شدن هیدروکلوئیدها به فرمول فلافل کاهش عدد پراکسید را در پی داشته است به‌طوریکه بیشترین عدد پراکسید در نمونه شاهد به مقدار ۴/۸۳ میلی‌اکی والان‌گرم اکسیژن بر کیلوگرم بوده درحالی‌که در تمامی نمونه‌های حاوی هیدرکلوئید از مقدار کمتری برخوردار بود و از ۳/۲۹ تا ۳/۹۵ متغیر بود که نسبت به نمونه شاهد به-طور معنی‌داری کمتر بودند.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول ۴.** تأثیر افزودن هیدروکلوئید به خمیر فلافل بر ویژگی‌های روغن حاصل از فلافل سرخ شده

| تیمارها | ضریب شکست | عدد پراکسید (meq $O_2$/kg) | عدد یدی | عدد اسیدی (mg KOH/g) |
|---|---|---|---|---|
| صمغ گوار ۰/۵٪ | ۱/۴۳۸۸±۰/۰۰$^{g*}$ | ۳/۸۵±۰/۳۵$^{b}$ | ۸۴/۹۸±۰/۵۰$^{b}$ | ۰/۰۴۴±۰/۰۰۱$^{a}$ |
| صمغ گوار ۱٪ | ۱/۴۳۴۷±۰/۰۰$^{h}$ | ۳/۲۹±۰/۲۸$^{b}$ | ۶۹/۵۱±۰/۹۶$^{e}$ | ۰/۰۴۱±۰/۰۰۳$^{a}$ |
| صمغ گوار ۲٪ | ۱/۴۳۲۸±۰/۰۰$^{i}$ | ۳/۴۸±۰/۲۸$^{b}$ | ۸۰/۹۸±۰/۴۵$^{c}$ | ۰/۰۴۵±۰/۰۰۲$^{a}$ |
| صمغ عربی ۰/۵٪ | ۱/۴۴۶۶±۰/۰۰$^{b}$ | ۳/۷۸±۰/۰۲$^{b}$ | ۷۵/۹۵±۰/۲۶$^{d}$ | ۰/۰۴۴±۰/۰۰۳$^{a}$ |
| صمغ عربی۱٪ | ۱/۴۴۴۵±۰/۰۰$^{c}$ | ۳/۵۰±۰/۱۴$^{b}$ | ۸۳/۳۱±۰/۲۶$^{b}$ | ۰/۰۴۶±۰/۰۰۳$^{a}$ |
| صمغ عربی ۲٪ | ۱/۴۴۰۸±۰/۰۰$^{f}$ | ۳/۷۸±۰/۳۰$^{b}$ | ۶۷/۴۱±۰/۷۴$^{f}$ | ۰/۰۳۹±۰/۰۰۱$^{a}$ |
| صمغ زانتان ۰/۵٪ | ۱/۴۴۲۸±۰/۰۰$^{e}$ | ۳/۷۰±۰/۱۴$^{b}$ | ۶۹/۷۱±۰/۸۲$^{e}$ | ۰/۰۴۳±۰/۰۰۱$^{a}$ |
| صمغ زانتان ۱٪ | ۱/۴۴۴۷±۰/۰۰$^{c}$ | ۳/۹۰±۰/۲۳$^{b}$ | ۶۶/۹۶±۰/۴۸$^{f}$ | ۰/۰۴۵±۰/۰۰۲$^{a}$ |
| صمغ زانتان ۲٪ | ۱/۴۴۳۶$^{b}$±۰/۰۰$^{d}$ | ۳/۹۵±۰/۴۹$^{b}$ | ۸۳/۵۲±۰/۳۸$^{b}$ | ۰/۰۳۹±۰/۰۰۱$^{a}$ |
| شاهد | ۱/۴۴۷۸±۰/۰۰$^{a}$ | ۴/۸۳±۰/۵۹$^{a}$ | ۸۷/۸۳±۰/۲۴$^{a}$ | ۰/۰۳۹±۰/۰۰۱$^{a}$ |

*میانگین‌هایی که با حروف کوچک متفاوت نشان داده شده اند نشان دهنده تفاوت معنی‌داری میان میانگین‌ها در ستون‌ها هستند (p<۰/۰۵)

**پروفایل اسیدهای چرب روغن حاصل از فلافل سرخ شده:** جدول ۵ پروفایل اسیدهای چرب روغن استخراج شده از فلافل‌های سرخ شده حاوی هیدروکلوئید را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که افزودن برخی هیدروکلوئیدها و در برخی مقادیر بر پروفایل اسیدهای چرب روغن مستخرج از فلافل‌ها تأثیرگذار بوده است به‌طوری که مجموع میزان اسیدهای چرب اشباع در روغن نمونه شاهد ۱۷/۰۳ درصد بود و در روغن استخراج شده از فلافل‌های حاوی هیدروکلوئیدها ۱۵/۶۲-۱۶/۷۹ درصد بود که کمترین و بیشترین مقدار اسیدهای چرب اشباع فلافل‌های حاوی هیدروکلوئید به‌ترتیب در نمونه‌های حاوی مقادیر ۰/۵ و ۲ درصد هیدروکلوئید گوار مشاهده شد. همچنین میزان اسیدهای چرب غیراشباع در نمونه شاهد ۸۱/۹۷ درصد بود که در روغن نمونه‌های فلافل حاوی هیدروکلوئیدها افزایش داشت و از ۸۲/۳۳ تا۸۳/۹۰ درصد متغیر بود که این افزایش معنی‌دار بود. اسیدپالمیتیک (۸۶/۷۹-۹٪/۱۰) و اسیداستئاریک (۴/۹۲-۴/۴۴٪) اسیدهای چرب اشباع غالب در روغن‌های استخراج شده از همه نمونه‌های فلافل بودند که مقادیرشان تغییرات چندانی با نمونه شاهد نداشت. اسیدهای لینولئیک (۵۲/۸۵-۵۰/۳۶٪)، اولئیک (۲۷/۰۵-۲۵/۱٪) و آلفالینولنیک (۴/۴۵-۳/۹۱٪) به‌ترتیب اسیدهای چرب غیر اشباع غالب در همه نمونه‌های روغن حاصل از فلافل بودند. نتایج نشان داد که نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع در روغن حاصل از همه نمونه‌های فلافل حاوی صمغ در محدوده ۵/۲۴-۴/۹۲ بود که نسبت به نمونه شاهد (۴/۸۱) افزایش معنی‌داری یافته بود (p<۰/۰۵).

## • بحث

**میزان رطوبت و روغن نمونه‌های فلافل**: میزان رطوبت و روغن فلافل به عواملی از جمله ترکیبات تشکیل دهنده خمیر، اندازه گلوله خمیر فلافل و شرایط سرخ کردن هم‌چون دما و مدت زمان سرخ کردن بستگی دارد (۱۸). به‌طوری که میزان روغن فلافل گزارش شده در منابع مختلف از ۲۱/۸ تا ۵۸ درصد متغیر بوده است (۱۹, ۱۸) که در تحقیق حاضر اندازه گلوله‌های خمیر و شرایط سرخ کردن همه نمونه‌ها یکسان بود تا تأثیر هیدروکلوئیدها بهتر نشان داده شود. هیدروکلوئیدها به دلیل ظرفیت بالای اتصال با آب و خاصیت سدکنندگی خود در برابر خروج رطوبت در حین سرخ شدن ماده‌ی غذایی مانع خروج رطوبت بافت از سطح ماده غذایی بر اثر حرارت شده و مقدار رطوبت بیشتری را در ماده غذایی حفظ می‌کنند (۲۰). توانایی مواد هیدروکلوئیدی در نگهداری آب ناشی از ایجاد پیوند هیدروژنی بین مولکول‌های آب و هیدروکلوئیدها می‌باشد که هرچه مقدار هیدروکلوئید بیشتر باشد تعداد پیوندهای بیشتری ایجاد می‌شود (۲۱).

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

**جدول ۵.** تأثیر افزودن هیدروکلوئید به خمیر فلافل بر پروفایل اسیدهای چرب روغن حاصل از فلافل سرخ شده

| اسید چرب | شاهد | صمغ عربی ۲٪ | صمغ عربی ۱٪ | صمغ عربی ۰/۵٪ | زانتان ۲٪ | زانتان ۱٪ | زانتان ۰/۵٪ | گوار ۲٪ | گوار ۱٪ | گوار ۰/۵٪ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بوتیریک اسید | ۰/۶۴ | t | t | ۰/۳۹ | ۰/۴ | ۰/۲۷ | ۰/۴۳ | ۰/۳۶ | ۰/۲۲ | t* |
| کاپروئیک اسید | ۰/۱۴ | t | t | t | ۰/۱۳ | ۰/۰۵ | t | ۰/۱ | ۰/۰۲ | t |
| کاپریلیک اسید | ۰/۰۱ | t | t | t | ۰/۰۴ | ۰/۰۴ | t | ۰/۰۴ | ۰/۰۲ | t |
| کاپریک اسید | ۰/۰۱ | t | t | t | t | t | ۰/۰۱ | t | ۰/۰۱ | t |
| لوریک اسید | ۰/۰۷ | ۰/۰۸ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۸ | ۰/۰۷ | - | ۰/۰۸ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ |
| پالمیتیک اسید | ۱۰/۶۸ | ۱۰/۱ | ۱۰ | ۹/۹۲ | ۹/۸۶ | ۱۰/۷۹ | ۱۰/۲۸ | ۱۰/۳۵ | ۱۰/۰۸ | ۱۰/۱۸ |
| پالمیتولئیک اسید | ۰/۰۸ | - | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | - | - | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ | t |
| استئاریک اسید | ۴/۴۷ | ۴/۸۷ | ۴/۷۸ | ۴/۶۳ | ۴/۵۶ | ۴/۵۹ | ۴/۹۲ | ۴/۸۵ | ۴/۴۴ | ۴/۸ |
| اولئیک اسید | ۲۷/۰۲ | ۲۵/۱ | ۲۵/۲۴ | ۲۵/۱۷ | ۲۶/۶۵ | ۲۶/۵۲ | ۲۵/۳۴ | ۲۵/۸۴ | ۲۶/۰۴ | ۲۵/۴۴ |
| لینولئیک اسید | ۵۰/۲۳ | ۵۲/۸ | ۵۲/۷۸ | ۵۲/۸۵ | ۵۱/۳۶ | ۵۰/۷۴ | ۵۲/۱۶ | ۵۱/۵۸ | ۵۱/۸۲ | ۵۲/۵ |
| گامالینولنیک اسید | ۰/۵۹ | ۰/۶۵ | ۰/۶۳ | ۰/۶۱ | ۰/۵۸ | ۰/۶۲ | ۰/۶۴ | ۰/۶۳ | ۰/۵۸ | ۰/۶۳ |
| آلفالینولنیک اسید | ۳/۹۷ | ۴/۴۵ | ۴/۳۸ | ۴/۳۵ | ۳/۹۱ | ۳/۹۶ | ۴/۱۷ | ۴/۱۱ | ۳/۹۴ | ۴/۳۴ |
| آراشیدیک اسید | ۰/۴۳ | ۰/۴۲ | ۰/۴۴ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲ | ۰/۴۴ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲ | t |
| گادولئیک اسید | ۰/۰۸ | ۰/۸ | t | ۰/۸ | ۰/۷۶ | ۰/۷۹ | ۰/۸۳ | ۰/۸۱ | ۰/۷۹ | t |
| بهنیک اسید | ۰/۴۳ | ۰/۴۲ | ۰/۴۴ | ۰/۴۳ | ۰/۴ | ۰/۴۲ | ۰/۴۴ | ۰/۴۳ | ۰/۴۱ | ۰/۴۳ |
| لیگنوسریک اسید | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ | ۰/۱۴ |
| ΣSFA** | ۱۷/۰۳$^{a}$ | ۱۶/۰۴$^{b}$ | ۱۵/۸۷$^{b}$ | ۱۵/۹۸$^{b}$ | ۱۶/۰۲$^{b}$ | ۱۶/۷۹$^{ab}$ | ۱۶/۶۶$^{b}$ | ۱۶/۷۹$^{ab}$ | ۱۶/۶۲$^{b}$ | ۱۵/۶۲$^{c}$ |
| ΣUSFA | ۸۱/۹۷$^{c}$ | ۸۳/۹۰$^{a}$ | ۸۳/۱۰$^{a}$ | ۸۳/۸۵$^{a}$ | ۸۳/۳۳$^{a}$ | ۸۲/۶۳$^{b}$ | ۸۳/۱۴$^{a}$ | ۸۳/۰۵$^{ab}$ | ۸۳/۲۵$^{a}$ | ۸۲/۹۱$^{b}$ |
| ΣMUFA | ۲۷/۱۸$^{a}$ | ۲۵/۹$^{b}$ | ۲۵/۳۱$^{b}$ | ۲۶/۰۴$^{b}$ | ۲۷/۴۸$^{a}$ | ۲۷/۳۱$^{a}$ | ۲۶/۱۷$^{b}$ | ۲۶/۷۳$^{a}$ | ۲۶/۹۱$^{a}$ | ۲۵/۴۴$^{b}$ |
| ΣPUFA | ۵۴/۷۹$^{c}$ | ۵۷/۹۰$^{a}$ | ۵۷/۷۹$^{a}$ | ۵۷/۸۱$^{a}$ | ۵۵/۸۵$^{b}$ | ۵۵/۳۵$^{b}$ | ۵۶/۹۷$^{a}$ | ۵۶/۳۲$^{ab}$ | ۵۵/۷۴$^{b}$ | ۵۷/۴۱$^{a}$ |
| USFA/SFA | ۴/۸۱$^{b}$ | ۵/۱۸$^{a}$ | ۵/۲۳$^{a}$ | ۵/۲۴$^{a}$ | ۵/۲۰$^{a}$ | ۴/۹۲$^{a}$ | ۴/۹۹$^{a}$ | ۴/۹۴$^{a}$ | ۴/۹۵$^{a}$ | ۵/۳۱$^{a}$ |

*trace:t **SFA: اسیدچرب اشباع، USFA: اسیدچرب غیراشباع، MUFA: اسیدچرب غیراشباع تک پیوند دوگانه، PUFA: اسیدچرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه حروف کوچک یکسان در هر ردیف نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ ٪ می‌باشد.

نتایج حاصل از جدول ۱ نشان داد که استفاده از هیدروکلوئیدها سبب حفظ رطوبت فلافل در مقایسه با نمونه شاهد شد ($p<0/05$) و با افزایش مقدار هیدروکلوئیدها از ۰/۵ به ۲ درصد در خمیر، محتوی رطوبت افزایش یافت که مشابه نتایج سایر پژوهشگران در استفاده از هیدروکلوئیدهای مختلف در خمیر سایر فرآورده‌های سرخ کردنی مشابه نظیر سمبوسه و سو بود (۱۱, ۳). حفظ رطوبت محصولات طی سرخ شدن یک عامل کلیدی در کاهش جذب روغن می‌باشد به‌طوریکه فرآورده‌های سرخ شده با مقدار رطوبت بالا کمترین میزان جذب روغن را داشت و در این پژوهش نیز بر اساس جدول ۱ نمونه‌های فلافلی که رطوبت بیشتری داشتند میزان روغن کمتری جذب کرده بودند که با نتایج سایرین که از هیدروکلوئید به صورت پوشش در تولید فلافل استفاده کرده بودند نیز منطبق بود (۱۹, ۱۴). در فرآیند سرخ کردن آب از سطح ماده غذایی تبخیر و روغن از طریق منافذ بافت ماده غذایی به درون ماده غذایی راه پیدا کرده و جایگزین آن می‌شود به عبارت دیگر جذب روغن در فرآیند سرخ کردن یک پدیده سطحی است که هیدروکلوئیدها با کاهش تعداد و اندازه منافذ سبب کم کردن جذب روغن می‌شوند و در واقع هیدروکلوئیدها فرآیند انتقال جرم را محدودتر کرده و جذب روغن را کاهش می‌دهند (۲۲, ۱).

**سفتی بافت نمونه‌های فلافل**: نتایج نشان داد که با افزودن هیدروکلوئید به خمیر فلافل، محصول سرخ کرده با بافت نرمتری حاصل شده است و هر چه مقدار هیدروکلوئید به‌کار رفته بیشتر بوده، فلافل‌های سرخ شده‌ای با سفتی کمتر تولید شده است که با مشاهدات Bajaj و Singhal (۱۱) که از ژلان در تهیه سِو استفاده کرده بودند و محصول نرمتری را مشاهده کرده بودند، مطابقت داشت. هم‌چنین با نتایج حسن‌پور و همکاران (۱۴) که از متیل سلولز و پکتین جهت پوشش فلافل استفاده کرده بودند همسو بود. خضری‌پورعرب و همکاران (۷) نیز مشاهده کردند که با افزایش غلظت محلول‌های هیدروکلوئیدی، پوشش‌دهی کامل‌تر و یکنواخت‌تری در خلال-

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

های سیب‌زمینی طی سرخ کردن صورت می‌گیرد و هیدروکلوئیدها با خواص سدکنندگی خوبی که از خود نشان می‌دهند مانع خروج رطوبت از نمونه طی فرایند سرخ شدن گشته و میزان سفتی بافت محصول سرخ شده را کاهش می‌دهد، اگرچه عوامل دیگری نظیر زمان و دمای سرخ کردن بر میزان سفتی بافت محصول طی سرخ کردن نیز موثر است. در محصولات با نشاسته بالا قسمت عمده تغییرات بافتی مربوط به ژلاتینه شدن نشاسته در طی حرارت‌دهی می‌باشد که هیدروکلوئیدها به تشکیل شبکه ژلی و حفظ چسبندگی بین سلولی محصول و در نهایت به نرم بودن آن طی سرخ کردن کمک می‌کنند(۲۳).

**ویژگی‌های رنگی فلافل:** بررسی ویژگی‌های رنگی فلافل حاصل از اضافه کردن هیدروکلوئیدها نشان داد که افزودن هیدروکلوئیدها موجب کاهش فاکتور روشنایی گردید که با نتایج حسن‌پور و همکاران (۱۴) مطابقت داشت زیرا سرخ کردن در دمای بالا باعث ایجاد واکنش مایلارد و کاراملیزاسیون می‌شود و درنتیجه رنگ نمونه‌ها تیره می‌گردد و حضور هیدروکلوئیدها به این تغییر رنگ کمک می‌کند(۲۴). از طرفی نتایج نشان از افزایش رنگ قرمزی و زردی فلافل سرخ‌شده در اثر افزودن هیدروکلوئیدها داشت. از نظر ظاهری افزایش شدت قرمزی ($a^*$) و کاهش شدت روشنایی ($L^*$) رنگ طلایی مطلوبی را که نتیجه واکنش مایلارد است در فلافل سرخ شده به‌وجود می‌آورد(۱۴) که این امر در اثر افزودن هر یک از انواع هیدروکلوئیدها مشاهده گردید زیرا هیدروکلوئیدها حاوی انواع متفاوتی از قندهای کربونیلی هستند که در واکنش قهوه‌ای شدن میلارد شرکت می‌نمایند.

**ویژگی‌های حسی فلافل:** نتایج نشان داد که با افزایش میزان صمغ از میزان طعم فلافل‌ها کاسته شد که با نتایج Sakhale و همکاران (۳) و خضری‌پورعرب و همکاران (۷) که از هیدروکلوئیدها در سرخ کردن سمبوسه و خلال سیب‌زمینی استفاده کرده بودند مطابقت داشت. علت این امر می‌تواند کاهش طعم و بوی روغنی نمونه‌ها به علت جذب کمتر روغن در اثر حضور هیدروکلوئیدها باشد (۷). نتایج نشان داد که اضافه نمودن هیدروکلوئیدها به‌طور معنی‌داری میزان تردی نمونه‌ها را افزایش داد و با افزایش مقدار صمغ، میزان تردی فلافل‌ها افزایش پیدا کرد که با نتایج ترابی و همکاران (۱) که از هیدروکلوئیدها جهت پوشش چیپس سیب‌زمینی استفاده کرده و تردی بیشتر چیپس‌های حاوی هیدروکلوئید را مشاهده کرده بودند مطابقت داشت. نتایج ارزیابی حسی نشان از بهبود پذیرش‌کلی نمونه‌ها در اثر افزودن هیدروکلوئیدها داشت که با مشاهدات ساخاله و همکاران (۳) منطبق بود. آن‌ها گزارش کردند که با افزودن مقادیر زانتان و کربوکسی‌متیل‌سلولز به سمبوسه پذیرش‌کلی نمونه‌ها از نظر ارزیاب‌ها افزایش یافت درحالی‌که با افزایش مقدار گوار و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز در خمیر سمبوسه از امتیاز پذیرش کلی آن‌ها کاسته شد.

**ویژگی‌های روغن حاصل از فلافل:** نتایج بررسی ویژگی‌های روغن حاصل از فلافل نشان از کاهش ضریب شکست نوری، عدد پراکسید و عدد یدی روغن نمونه‌های فلافل سرخ شده در اثر افزودن هیدروکلوئیدها داشت در حالی‌که تغییری در عدد اسیدی مشاهده نشده بود. در صورت تداوم واکنش‌های پلیمری حاصل از حرارت، رنگ روغن کدر و مات می‌گردد که با افزایش ضریب شکست نوری روغن همراه است (۲۵) و نتایج این تحقیق نشان از اثر هیدروکلوئیدها بر کُند کردن واکنش‌های پلیمری و در نتیجه کاهش ضریب شکست نوری روغن حاصل از فلافل داشته است. از طرفی روغن‌هایی که تعداد بیشتری پیوند دوگانه یا چندگانه دارند، در شرایط یکسان سریعتر اکسید شده و نسبت به فساد اکسیژنی حساس‌تر هستند (۲۶) و نتایج جدول ۴ نشان داد که روغن‌های حاصل از فلافل‌های حاوی هیدروکلوئید از عدد یدی کم‌تری برخوردار بودند. تأثیر معنی‌دار افزودن هیدروکلوئیدها بر عدد پراکسید روغن حاصل از فلافل با مشاهدات جوکار و همکاران (۲۷) که از پوشش‌های پکتین، آلژینات سدیم و کربوکسی‌متیل‌سلولز جهت تولید چیپس کم‌چرب استفاده کرده بودند مطابقت داشت. آن‌ها گزارش کردند که هیدروکلوئیدها سرعت نفوذ اکسیژن و سرعت تشکیل ترکیبات پراکسیدی در فرآورده سرخ‌کردنی را به تعویق انداخته و موجب کاهش عدد پراکسید روغن می‌شوند.

**پروفایل اسیدهای چرب روغن حاصل از فلافل سرخ شده:** جدول ۵ نشان از بالا بودن مجموع اسیدهای چرب غیراشباع در روغن نمونه‌های فلافل حاوی هیدروکلوئید داشت. هم‌چنین مقدار اسیدهای چرب چندغیراشباع که غالباً از نظر تغذیه‌ای مفید هستند، در روغن نمونه‌های فلافل حاوی هیدروکلوئید به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه شاهد بود که با مشاهدات جرجانی و همکاران (۲۸) که از کربوکسی‌متیل‌سلولز در ترکیب لعاب پوشش‌دهنده میگوی سرخ‌کرده استفاده کرده بودند، مطابقت داشت. در زمان تماس حرارت با هیدروکلوئیدها، یک لایه مقاوم به نفوذ روغن تشکیل می‌شود که علاوه بر کاهش جذب روغن، اکسیداسیون حرارتی اسیدهای چرب مفید را نیز کاهش می‌-

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

دهد (۲۸) که همین امر می‌تواند موجب حفظ بیشتر اسیدهای چرب مفید حاوی پیوند دوگانه و چند غیراشباع در فلافل‌های حاوی هیدروکلوئید گردد.

به‌طور کلی با توجه به مصرف روز افزون فلافل در مناطق مختلف کشور، نتایج این تحقیق نشان داد که با افزودن هیدروکلوئیدهای طبیعی هم‌چون صمغ عربی، گوار و زانتان به خمیر فلافل می‌توان میزان جذب روغن را در فلافل‌های سرخ شده بدون تأثیر منفی بر ویژگی‌های حسی به مقدار زیادی کاهش داد. افزودن هیدروکلوئیدها به خمیر فلافل علاوه بر کاهش میزان جذب روغن که از نظر سلامتی و اقتصادی قابل اهمیت است موجب کاهش هدر رفتن میزان رطوبت و هم‌چنین کاهش سفتی فلافل نیز می‌گردد.

**سپاسگزاری**

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی کاربردی به شماره ۲/۴۱۱/۱۵۸ است که با حمایت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و مشارکت معاونت غذا و دارو دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز انجام پذیرفته است.

## • References

1. Torabi R, Hojjati M, Barzegar M, et al. Effect of Hydrocolloid Coatings in Preventing Acrylamide Formation and Reducing Oil Uptake in Potato Chips. Iranian J Nutr Sci Food Technol 2017;12:109-120. (Persian)
2. Paz-Gamboa E, Ramírez-Figueroa E, Vivar-Vera MA, et al. Study of oil uptake during deepfat frying of Taro (*Colocasia esculenta*) chips,. CyTA - J Food 2015;13:06-511.
3. Sakhale BK, Badgujar JB, Pawar VD, et al. Effect of hydrocolloids incorporation in casing of samosa on reduction of oil uptake. J Food Sci Technol 2011;48:769-772.
4. Daraei Garmakhany A, Mirzaei HO, Maghsudlo Y, et al. Production of low fat french-fries with single and multi-layer hydrocolloid coatings. J Food Sci Technol 2014;51:1334-1341.
5. Izadi S, Ojagh SM, Rahmanifarah K, et al. Production of low-fat shrimps by using hydrocolloid coatings. J Food Sci Technol 2015;52:6037-6042.
6. Martelli MDR, Carvalho RAD, Sobral PJDA, et al. Reduction of oil uptake in deep fat fried chicken nuggets using edible coatings based on cassava starch and methylcellulose. Italian J Food Sci 2008;20:111-117.
7. Khezripurarab M, Hojjati M, Samavati V. Effect of gum arabic and soybean soluble polysaccharide as coating agents on oil uptake and texture of French fries using Response Surface Methodology. J Food Res 2016;25:623-638 (Persian).
8. Singthong J, Thongkaew C. Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips. LWT - Food Sci Technol 2009;42:1199-1203.
9. Aghajani N, Gohari-Ardabili A, Daraei-Garmakhany A. 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 J Nutr Sci Food Technol 2018;13:67-79 (Persian).
10. Varela P, Fiszman SM. Hydrocolloids in fried foods. A review. Food Hydrocolloids 2011;25:1801-1812.
11. Bajaj I, Singhal R. Gellan gum for reducing oil uptake in sev, a legume based product during deep-fat frying. Food Chem 2007;104:1472-1477.
12. Yadav DN, Rajan A. Fibres as an additive for oil reduction in deep fat fried poori. J Food Sci Technol 2012;49:767–773.
13. Dashti B, Al-Awadi F, AlKandari R, et al. Macro-and microelements contents of 32 Kuwaiti composite dishes. Food chem 2004;85:331-337.
14. Hasanpour N, Mohebbi M, Varidi M. Evaluation of coating and frying conditions on physicochemical properties of deep fat fried Falafel. J Food Sci Technol 2014;47:53-63(Persian).
15. Janakat SM, Al-Khateeb MA. Effect of a popular Middle Eastern food (Falafel) on rat liver. Toxicol Environ Chem 2011;93:360-369.
16. AOAC. Official Methods of Analysis, 16th edition, Association of Official Analytical Chemists: Gaithersburg. MD, 1995.
17. ISO. Animal and Vegetable Fats and Oils–Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids. International Organization for Standardization.Geneva, Switzerland, 2000.
18. Abu-Alruz K. Effect of Frying Time and Falafel Ball Size on Fat Uptake During Deep Fat Frying. American-Eurasian JAgri Environ Sci 2015;15:648-1654.
19. Abdullah T. Reduction of oil uptake in deep fat fried Falafel. J Nutr Health Food Eng 2015;2:00059.
20. Annapure US, Singhal RS, Kulkarni PR. Screening of hydrocolloids for reduction in oil uptake of a model deep fat fried product. European J Lipid Sci Technol 1999;101:217-221.
21. Hua X, Wang K, Yang R, et al. Edible coatings from sunflower head pectin to reduce lipid uptake in fried potato chips. LWT - Food Sci Technol 2015;62:1220-1225.
22. Akdeniz N, Sain S, Sumnu G. Functionality of batters containing different gums for deep fat frying of carrot slices. J Food Eng 2006;75:522-526.
23. Khalil AH. Quality of french fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. Food Chem 1999;66:201-208.
24. Romani S, Rocculi P, Mendoza F, et al. Image characterization of potato chip appearance during frying. J Food Eng 2009;93:487–494.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

25. Kress-Rogers E, Gilat PN, Rosel JB. Development and evaluation of a novel sensor for the in situ assessment of frying oil quality. Food Control 1990;13:163-178.

26. Takeoka GR, Full GH, Dao LT. Effect of Heating on the Characteristics and Chemical Composition of Selected Frying Oils and Fats. J Agri Food Chem 1997;45:3244-3249.

27. Jokar M, Nikoopour H, Amin-Lari M, et al. Laboratory-scale production of low-fat potato chips by coating with hydrocolloids. Iranian J Nutr Sci Food Technol 2007;1:9-17 (Persian).

28. Jorjani S, Hosseini- Jebeli ZS, Ghilichi A. Effects of different levels of Carboxymethyl Cellulose (CMC) gum added to batter of breaded shrimp on oil uptake, sensory characteristics and fatty acid profile during deep-oil frying. J Food Sci Technol 2018;78:301-311(Persian).

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]

# Effects of Edible Hydrocolloids on Quality Characteristics of the Fried Falafels Emphasize on Decreases in Oil Uptakes

*Hojjati M[1*], Mehrnia MA[2],Kakaaghazadeh A[3], Feghhi S[3]*

*1- *Corresponding author: Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran. E-mail:* hojjati@asnrukh.ac.ir

*2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran*

*3- Food and Drugs Affairs of Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahwaz, Iran*

**Received 7 May, 2019** **Accepted 26 Aug, 2019**

**Background and Objectives:** Falafel is a cheap fast food with increasing consumptions. Since falafel is fried at high temperatures at the presence of oxygen and absorbs a large quantity of oil, its routine consumption is a potential risk to human health. Due to the increasing public demands for low-oil foods, the aim of this study was to investigate effects of Arabic, guar and xanthan gums as edible hydrocolloids on qualitative characteristics of fried falafels.

**Materials & Methods:** Hydrocolloids were added to the falafel formula at three levels (0.5, 1 and 2%); then, moisture content, oil uptake, texture hardness, color properties ($L^*$ $a^*$ $b^*$ indices), sensory attributes and adsorbed oil fatty acid profile were assessed.

**Results:** Addition of hydrocolloids significantly increased moisture contents of the fried falafels. Quantity of the oil uptake and hardness of the samples significantly decreased by the addition of hydrocolloids since adding 2% of Arabic gum decreased the oil uptake of falafel by about 40%. Furthermore, addition of hydrocolloids decreased brightness ($L^*$) and increased redness ($a^*$) and yellowness ($b^*$) of the samples. Sensory evaluation results showed that addition of hydrocolloids increased the appearance color, crispness and overall acceptability of the falafel samples, while mildly decreased the intensity of taste. Fatty acid profile of the absorbed oil by fried falafels was not significantly affected by the addition of hydrocolloids; however only quantity of unsaturated fatty acids increased.

**Conclusion:** Addition of natural hydrocolloids to falafels can greatly decrease oil uptake with no significant changes in organoleptic properties, which is important for the health of consumers.

**Keywords:** Deep fat frying, Oil uptake, Falafel, Gum, Fatty acid, Texture

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-11 ]