مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية
مجلد 42 العدد 3(2026): 193-211

Damascus University Journal for Agricultural Sciences Vol 42-No.3 (2026): 193-211

تأثير قلي أصابع البطاطا صنف S. sponta بزيت دوار الشمس تحت التفريغ في خصائص جودتها ومحتواها من الأكريلاميد

خالد محمد محمد[1*]، أنور محمد الحاج علي[2]، بسام أحمد العقلة[3]

1- طالب دكتوراه، قسم علوم الأغذية، كلية الزراعة، جامعة دمشق.
Khaled.mohamad@damascusuniversity.edu.sy
2- أستاذ في قسم علوم الأغذية- كلية الزراعة -جامعة دمشق- تحليل وتصنيع غذائي.
3-باحث في الهيئة العامة للتقانات الحيوية- قسم التقانات الغذائية والصناعية- تقانات تحليل الأغذية.

الملخص:

أجريت هذه الدراسة في مخابر قسم علوم الأغذية- كلية الزراعة- جامعة دمشق والتقانة الحيوية- وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، بهدف تحديد تأثير درجات حرارة مختلفة للقلي تحت التفريغ (115، 125، 135 °م) في بعض مؤشرات جودة أصابع البطاطا، وتعيين ظروف القلي المثلى وكمية الأكريلاميد في أصابع البطاطا المقلية، وتقييم المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس المستخدم في نهاية عملية القلي تحت التفريغ لأصابع البطاطا لتحديد عدد ساعات القلي الأعظمي. أكدت النتائج أن درجة الحرارة هي أحد العوامل الرئيسية المؤثرة في جودة أصابع البطاطا. إذ بلغ محتوى الماء في أصابع البطاطا 32.41، 31.48، 30.24%، ومحتوى الزيت الممتص 24.82، 23.27، 22.76%، أما بالنسبة للمؤشرات اللونية، فبلغت درجة السطوع L* 71.47، 70.32، 69.80، ومؤشر الاحمرار a* 4.91، 5.07، 5.34، ومؤشر الاصفرار b* 29.57، 29.83، 30.71، بينما كانت درجة اللون ΔE 8.94، 9.38، 10.31، ومعامل الاسمرار BI 57.11، 59.08، 62.04، وبلغت نسبة الأكريلاميد 213.36، 224.63، 279.71 ميكروغ/كغ، عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب. بالنسبة لزيت القلي فكانت نتائج رقم الحموضة فكانت 1.82، 1.87، 1.94 مغ KOH/غ زيت وقرينة البيروكسيد 7.72، 8.13، 8.56 ميلي مكافئ أوكسجين/كغ زيت وعدد ساعات القلي الإجمالي 74، 70، 64 ساعة. وحددت درجة الحرارة المثلى لعملية القلي تحت التفريغ عند 125 °م بينما أثر القلي تحت التفريغ في الخصائص الحسية للأصابع، وكانت أفضل القيم عند الدرجة 125 °م وهي 8.1، 8.2، 7.9، 8.3 لاختبارات القبول العام، اللون، للنكهة، القوام، ولذلك فقد حددت الدرجة الأمثل في هذه الدراسة عند 125 °م تحت التفريغ 0.4 بار.

الكلمات المفتاحية: أصابع البطاطا، القلي تحت التفريغ، محتوى الاكريلاميد، عدد ساعات القلي الإجمالي.

تاريخ الإيداع: 2024/03/30
تاريخ القبول: 2024/05/15

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

Effect Of Vacuum Frying with Sunflower Oil On Quality Properties and Acrylamide Of S.Sponta French Fries.

Khaled Mohamad Mohamad[1], Anwar Mohamad Alhaj Ali[2], Bassam Ahmad Alokla[3]

1-PhD student. Food science Department. Faculty of Agriculture. Damascus university. Khaled.mohamad@damascusuniversity.edu.sy

2-Professor in Food science Department. Faculty of Agriculture. Damascus university.

3-Researcher at National Commission for Biotechnology - Department of Food and Industrial Technology.

Abstract:

This study was carried out at Food Sciences Department - Faculty of Agriculture - Damascus University and National Commission for Biotechnology– Ministry of Higher Education and Scientific Research – laboratories in aims to reveal effects of vacuum frying temperatures (115, 125, 135 °C) in French fries quality attributes, determine the optimal frying conditions and its acrylamide. In addition to evaluate chemical properties of used oil at the end of frying to determine maximum frying time. Results confirmed that temperature is one of the main factors affecting French fries quality. French fries water content was 32.41, 31.48, 30.24%, and oil content was 24.82, 23.27, 22.76%. As for the color indicators, brightness L* was 71.47, 70.32, 69.80, redness a* was 4.91, 5.07, 5.34, yellowness b* was 29. .57, 29.83, 30.71, color change ΔE was 8.94, 9.38, 10.31, and browning index BI was 57.11, 59.08, 62.04, Acrylamide content was 213.36, 229.63, 279.71 µg/kg, when vacuum fried at a temperature of 115, 125, 135 °C respectively. Results for frying oil acid value were 1.82, 1.87, 1.94 mg KOH/g oil, peroxide was 7.72, 8.13, 8.56 mEq/kg oil, and total frying time was 76, 69, 61 hours when vacuum frying at a temperature of 115, 125, 135 °C respectively. Vacuum frying affect sensory properties of French fries and the best values were at 125 °C, as which were 8.1, 8.2, 7.9, 8.3 for overall acceptance, color, flavor, and texture sensory tests. Therefore, the optimum temperature in this study was determined at 125 °C with vacuum 0.4 bar.

Received: 30/03/2024
Accepted: 15/05/2024

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Keywords: French Fries, Vacuum Frying, Acrylamide Content, Maximum Frying Time.

1- المقدمة والدراسة المرجعية:

يعد القلي تحت التفريغ بمرور الوقت أكثر شيوعاً مقارنة بالقلي التقليدي لما له من مزايا فقد أظهرت الدراسات أن القلي تحت التفريغ ينتج سلعاً قليلة الدهون مقارنة بالقلي التقليدي، وتحافظ أصناف الفاكهة والخضار التي يتم قليها تحت التفريغ على صفاتها التركيبية والحسية مثل اللون والنكهة والقوام. كما أتاح القلي تحت التفريغ الفرصة لإعداد وجبات خفيفة عالية الجودة، مع تقليل الفقد بالعناصر الغذائية وخفض تشكل المركبات الكيميائية الخطرة المرافقة لعملية القلي (Devseren et al., ;Gupta, 2023, 1583 2021, 26). تمتاز المنتجات المقلية تحت التفريغ بانخفاض محتواها من الزيت وانخفاض معدلات تحلل الزيت، وتحسين اللون بالإقلال من تفاعلات الأكسدة، فتحافظ منتجات البطاطا المقلية تحت التفريغ بعد القلي على لون أصفر ذهبي ومعدلات أكبر من الخصائص الفعالة حيوياً خاصة المركبات الفينولية والقدرة المضادة للأكسدة. يحدّ غياب الهواء أثناء القلي تفاعلات أكسدة الدهون ويقلل شدة الاسمرار الأنزيمي للمنتجات المقلية. توجه الاهتمام نحو استخدام القلي تحت التفريغ في إنتاج البطاطا المقلية ذات المحتوى المنخفض من الزيت وخصائص القوام والنكهة المرغوبة (Troncoso et al., 2009, 188 ;Moreira et al., 2009, 297). أشار (Belkova et al., 2018, 51) إلى أن القلي تحت التفريغ يعتبر نمط بديل للتحكم في المدخلات الحرارية يعمل على استخدام درجات حرارة منخفضة فيخفض شدة تفاعل ميلارد، وبالتالي يقل تشكّل الأكريلاميد بسبب انخفاض درجات الحرارة. وتركزت الدراسات المماثلة على إمكانية منع تدهور المكونات الطبيعية للمنتجات المقلية مثل الفيتامينات والصبغات وغيرها، للحفاظ على القيمة الغذائية والحسية وكذلك منع تشكّل المركبات السامة من خلال القلي عند درجات حرارة منخفضة. درس (Crosa et al., 2014, 604) تأثير القلي تحت التفريغ في تحلل الزيت وتركيبة الأحماض الدهنية ومحتوى الألفاتوكوفيرول وأشار إلى أن الخصائص الفيزيائية والكيميائية لزيوت القلي المختلفة تؤثر في درجة تفاعلات الأكسدة والتحلل المائي التي تحدث أثناء القلي، بينما يعتمد ثبات الزيوت على تركيبة الأحماض الدهنية ومضادات الأكسدة الموجودة أو المضافة إليها وكذلك على درجة حرارة القلي، ولاحظ زيادة في زمن استخدام الزيت بعملية القلي تحت التفريغ مقارنة بالقلي التقليدي. يُعرف القلي تحت التفريغ وفقاً لما وجده (Pandey et al., 2020, 1545) على أنه عملية تتم في نظام مغلق ترتبط بانخفاض الضغط إلى قيمة أقل من الضغط الجوي العادي، مما يؤدي إلى انخفاض نقطة غليان كل من الزيت والماء، ويفضل أن تتم العملية عند تفريغ أقل من 7 كيلو باسكال. يسخن الزيت في نظام القلي تحت التفريغ على دفعات من خلال موقد غاز أو سخان كهربائي أسفل حجرة القلي بينما تستخدم مضخة تفريغ عالية الكثافة لإحداث تفريغ مباشرةً قبل القلي، ويُحتفظ بقطع الطعام ضمن حجرة القلي داخل سلة يمكن غمرها في الزيت الساخن لبدء القلي. وضح (Diamante et al., 2015, 16) في دراسة أجراها حول القلي تحت التفريغ أن نظام القلي تحت التفريغ يتكون من ثلاث مكونات، وهي: حجرة القلي ومكثف تبريد ومضخة تفريغ، حجرة القلي عبارة عن وعاء محكم الإغلاق مزود بسخان زيت وسلة قلي، يتم رفع سلة القلي وإنزالها في الزيت الساخن بواسطة عمود رافع وربما يتم توصيل عمود الرفع بمحرك دوار يستخدم لإجراء طرد مركزي للمنتج للتخلص من الزيت السطحي بعد القلي بينما يعمل مكثف التبريد على احتجاز البخار المتصاعد أثناء القلي وتؤمن مضخة التفريغ الضغوط المنخفضة المطلوبة لعملية القلي والتخلص من الغازات غير القابلة للاحتجاز بواسطة المكثف. وقد أشار (Andres-Bello et al., 2011, 64) إلى أن هناك ثلاثة أنواع من الأنظمة المستخدمة في القلي تحت التفريغ من حيث الحجم: الأنظمة المخبرية، والأنظمة التجريبية، والأنظمة الصناعية. بالنسبة لعملية القلي تحت التفريغ المخبرية فيتم وضع المنتج داخل سلة ضمن حجرة القلي بعد تسخين الزيت إلى درجة حرارة محددة مسبقاً، ثم يتم إغلاق الغطاء وخفض الضغط في حجرة القلي، تغمر السلة بعد ذلك في الزيت حيث تبقى للمدة المطلوبة ثم ترفع ويتم استعادة ضغط الحجرة باستخدام صمام تحرير الضغط. وضّح (Ayustaningwarno, 2018, 155) في دراسة أجراها حول القلي تحت التفريغ أن الفوارق الرئيسة بين القلي تحت التفريغ والقلي التقليدي تتمثل بدرجات الحرارة المطبقة وآلية امتصاص الزيت، إذ تمكّن نقطة غليان

الماء وتسخين الزيت المنخفضة عند ضغوط منخفضة من إنضاج المنتجات المقلية عند درجات حرارة منخفضة، ولهذا السبب يتمتع القلي تحت التفريغ بالعديد من المزايا مقارنة بالقلي العادي من ناحية خصائص جودة المنتج. يحدث امتصاص الزيت بشكل رئيسي عند استخدام القلي تحت التفريغ في مرحلة ما بعد القلي بسبب الضغط المنخفض الذي يتولد في مسام المنتج المقلي خلال مرحلة التبريد اللاحقة لعملية القلي. بينما أشار (Tan and Mittal, 2006, 86) إلى أن محتوى الزيت النهائي في الدوناتس عند القلي تحت الضغط الجوي العادي أعلى بالمقارنة مع القلي تحت التفريغ، لأن تغيرات درجة حرارة الزيت ودرجة التفريغ تُحدث تأثيراً كبيراً في فقدان الرطوبة وامتصاص الزيت، كذلك فالرقائق المقلية عند تفريغ أقل ودرجة حرارة أعلى ذات انكماش حجمي أقل وقيمة الصلابة أعلى ولم يتأثر اللون بدرجة حرارة الزيت والتفريغ. ذكر (Wang et al., 2021, 3282) في دراسته أن البنية المجهرية لرقائق البطاطا المقلية تحت التفريغ تختلف عن تلك المقلية بالطريقة التقليدية في عدد وحجم المسام الموجودة في الأنسجة النباتية على سطح رقائق البطاطا، فهي تحتوي على عدد أقل من المسام المفتوحة مما يخفف كمية الماء المحتجزة ما بين المسام، وبما أن الماء يستبدل بالزيت أثناء القلي وأن درجات حرارة القلي تحت التفريغ المنخفضة تقصر زمن تبريد المنتج النهائي بعد القلي، فيقل دخول الزيت إلى المسام لاستبدال الماء وينخفض بالنتيجة محتوى الزيت الإجمالي أثناء القلي وبعد التبريد. درس بعض الباحثين أثر القلي تحت التفريغ في جودة الوجبات الخفيفة المحضرة من الفواكه والخضراوات التي تماثل البطاطا، وكذلك دُرست عمليات إنتاج رقائق الفاكهة المقلية باستخدام معاملات تعتمد على التفريغ وبدرجات حرارة أقل من تلك المستخدمة في القلي التقليدي، ووجد أن هذه الوجبات الخفيفة الجديدة تتمتع بصفات حسية وغذائية أفضل بكثير مقارنة بتلك الموجودة في المنتجات المقلية التقليدية (Wexler et al., 2016, 579). أشار (Wang et al., 2019, 2365) أن القلي عملية معقدة لا تتضمن نقل الحرارة من الزيت إلى اللب الداخلي للبطاطا المقلية فقط، بل تتضمن انتقال متزامن لبخار الماء من العينة إلى الزيت، ومع زيادة زمن القلي يصبح الهيكل الداخلي مفككاً غير مندمج، وتصبح المسام الداخلية ذات شكل أكبر تدريجياً. تتشكل القشرة المقرمشة للبطاطا المقلية بسبب ارتفاع درجة حرارة القلي، وتنفصل جزئياً عن الداخل مع بقائها ملتصقة كجزء من السطح لأصابع البطاطا. يخضع الزيت بدوره لسلسلة من التفاعلات الكيميائية المعقدة خلال عملية القلي، والتي تزيد التغيرات غير المرغوبة في مكونات الأغذية المقلية مثل الغلسريدات الثلاثية والسكريات والبروتينات، وفي حالة القلي العميق لفترة طويلة يساهم تحلل الزيت في فقدان العناصر الغذائية الحيوية للبطاطا. وجد (Padovan et al., 2020, 5) أن درجات الحرارة المستخدمة في القلي العميق التقليدي للبطاطا بزيت دوار الشمس تتراوح ما بين 160–180 °م وهذه الدرجة تسبب تغيرات فيزيائية وكيميائية على الزيت المستخدم تكون مرتبطة بالثبات التأكسدي للزيت، وترفع محتوى المركبات القطبية والبوليمرات في زيت القلي. ونظراً لانتشار أصابع البطاطا المقلية تجارياً بكثرة في الأسواق المحلية، وبسبب المخاطر الصحية التي يحملها زيت القلي، وعدم وجود دراسات حول تأثير ظروف القلي تحت التفريغ في أصابع البطاطا المحلية المصنعة من صنف S.Sponta الشائع في سورية، فقد هدف هذا البحث إلى:

- تحديد تأثير درجات حرارة القلي تحت التفريغ (115، 125، 135 °م) في بعض مؤشرات جودة أصابع البطاطا.
- تعيين ظروف القلي المثلى التي ينتج عنها أفضل القيم لمؤشرات الجودة المدروسة في أصابع البطاطا.
- تحديد عدد ساعات القلي الأعظمي.

2- مواد وطرائق البحث:

2-1- مواد البحث:

استُخدم في الدراسة بطاطا من صنف Sponta من العروة الصيفية، تم الحصول عليها من أحد المزارعين في المنطقة الجنوبية (مدينة نوى) مع كامل البيانات الزراعية، من حيث الاحتياجات وظروف الزراعة. واستُخدم زيت عبد الشمس المتوفر ضمن أسواق مدينة دمشق، والذي كان مطابقاً في خصائصه للمواصفة القياسية السورية رقم (3770) تاريخ 2014.

2-2- طريقة القلي لأصابع البطاطا:

أجريت عملية القلي العميق لعينة الشاهد تحت الضغط الجوي العادي بوساطة مقلاة كهربائية من ماركة star way ذات منشأ كوري ومزودة بمؤقت للحرارة والوقت، وضبطت درجة الحرارة عند 175 °م، ضمن 3 لتر من زيت دوار الشمس وفقاً لطريقة Sayyad (2017) مع بعض التعديلات حيث قُطعت درنات البطاطا إلى أصابع (0.85 x 0.85 x 60 ملم) باستخدام قطاعة من الفولاذ المقاوم للصدأ، ثم غُسلت العينات المقطعة بالماء البارد عدة مرات لإزالة النشاء الملتصق بسطحها الخارجي، ثم نشفت بطريقة النشر على ورق ترشيح قبل البدء بعملية القلي. ثم أخذت عينات أصابع البطاطا (150 غ أي بنسبة 20:1 البطاطا للزيت) وقليت حتى الوصول إلى محتوى رطوبة أقل من 34% وسُجل الزمن المستغرق، كما وقد قُليت أصابع البطاطا تحت التفريغ بواسطة مقلاة طورت مخبرياً وفق الطريقة الموضحة من قبل (Tomruk et al., 2016, 1477). حيث أُخذت طنجرة ضغط تجارية من الفولاذ المقاوم للصدأ، وأزيل المقبض من الغطاء وجميع ميزات الأمان الخاصة بالضغط، ثم ثُبتت قطعة (حلقة) مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ بشكل نابض ضغط معاكس، مهمتها تثبيت القفل الداخلي لغطاء طنجرة الضغط أثناء التفريغ بحيث يدفع النابض لإحكام الغلق من الداخل بواسطة الضغط، ثم وصلت بمضخة التفريغ الخاصة مع مقياس التفريغ ومكثف لمنع بخار الماء من المنتج من الاختلاط بزيت مضخة التفريغ وإتلافها. بينما يتم التحكم في مستوى الحرارة بواسطة سخان كهربائي، واستخدمت مضخة التفريغ من النوع الزيتي للوصول إلى الضغط المطلوب وهو 0.4 بار.، وفق الخطوات التي ذكرها (Devseren et al., 2021, 27؛ Mariotti-Celis et al., 2017, 2095)، وأجريت عليها بعض التعديلات، كما يلي:

1- تسخين الزيت لدرجات الحرارة المحددة (115، 125، 135 °م).

2- تحميل البطاطا المقلية في سلة مغطاة بشبكة لمنع طفوها.

2-تشغيل مضخة التفريغ وغمر البطاطا المقلية في الزيت الساخن واغلاق الغطاء لكي يسمح بتحقيق الضغط المطلوب 0.4 بار.

4- قلي عينات البطاطا لزمن حُدد بناء على نتائج نسبة الرطوبة (أقل من 34%) في العينات المقلية.

5- استعادة الضغط الجوي العادي.

6- رفع السلة من الزيت.

7- إزالة الزيت السطحي الزائد على رقائق البطاطا بورق ترشيح ماص.

2-3-الاختبارات الكيميائية لأصابع البطاطا:

2-3-1 تقدير المحتوى الرطوبي:

قُدر المحتوى الرطوبي لعينات البطاطا المقلية وغير المقلية على أساس الوزن الرطب وفقاً للطريقة المتبعة (AOAC, 2005, 925.10-1952)، حيث تم تجفيف العينات في فرن كهربائي عادي روسي المنشأ على درجة حرارة 105مْ (حتى ثبات الوزن). ثم تم حساب الرطوبة المفقودة وفقاً للمعادلة الاتية: $\textbf{النسبة المئوية للرطوبة\%} = \frac{\text{وزن الماء في العينة}}{\text{وزن العينة}} \times \mathbf{100}$

2-3-2 تقدير المحتوى من الزيت الممتص:

قُدر محتوى البطاطا من الزيت وفقا للطريقة المتبعة (AOAC, 2005, 945.16) بطريقة سوكسيلت باستخدام الهكسان كمذيب عضوي، وتم تقدير المحتوى من الزيت على أساس الوزن الرطب عن طريق المعادلة الاتية:

$$\textbf{النسبة المئوية لمحتوى من الزيت\%} = \frac{\text{وزن الزيت في العينة}}{\text{وزن العينة}} \times \mathbf{100}$$

2-3-3 تقدير البروتين:

قدرت البروتين في البطاطا الطازجة بطريقة كلداهل المتبعة من (AOAC, 2005, 979.09).

2-3-4 تقدير السكريات المرجعة:

قدرت كمية السكريات المرجعة وفقاً لطريقة فهلنغ المعتمدة من (AOAC, 2005, 945.66).

2-3-5- المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس في نهاية عملية القلي لأصابع البطاطا:

قدرت قرينة الحموضة ورقم البيروكسيد وفقاً للطريقة المتبعة في الجمعية الرسمية للكيميائيين (AOAC, 2005, 940.28, 965.33)، وحددت نسب الأحماض الدهنية للزيت بوساطة جهاز الكروماتوغرافيا الغازية Shimadzu 17-A GC ياباني المنشأ حسب الطريقة الموصى بها في AOAC لتحليل استرات الميتيل للأحماض الدهنية باستخدام عمود تحليل من نوع SGE BPX-70 (30 م × 0.25 ملم وسماكة الحشوة 0.25 ميكرون) وفق البرنامج الحراري: الحرارة الابتدائية 160 °م ثم 190 °م بمعدل 3 °م/د ثم 240 °م بمعدل 10 °م/د وحجزت عند 240 °م لمدة 3 دقائق، وحرارة الحاقن 250 °م والكاشف FID 260 °م، حيث حُدِّد زمن الاحتباس للأحماض الدهنية ضمن الشروط المذكورة التي ضبط عليها جهاز GC باستخدام تراكيب معيارية نقية للأحماض الدهنية Fatty acids Methyl Esters (FAMEs). وقيس محتوى المركبات القطبية باستخدام جهاز Oil Tester FOM 310 ألماني المنشأ واستخدمت النسبة 25% للدلالة على انتهاء عملية القلي الكلية.

2-4- تقدير الاكريلاميد:

قدر محتوى العينات المدروسة من مادة الاكريلاميد وفقاً لطريقة (Muthaiah et al., 2019, 46) مع بعض التعديلات، حيث طحنت العينات (أصابع البطاطا) باستخدام خلاط مولينكس فرنسي الصنع، ثم أخذ 10 غ من العينة المطحونة بواسطة ميزان حساس تايواني المنشأ وأضيف لها 50مل من الايتر بترولي، ثم 5مل من الإيتانول، ثم أضيف 50 مل من الايتر بترولي، ورج الخليط بواسطة رجاج مخبري Vortex ياباني المنشأ لمدة 2 ساعة على درجة حرارة الغرفة، ثفلت العينة بسرعة 3500 دورة في الدقيقة لمدة 20 دقيقة على درجة حرارة 15 °م باستخدام مثفلة heraeus ألمانية المنشأ، تم التخلص من السائل الطافي المحتوي على الدهن، ثم جففت العينة منزوعة الدهن بواسطة فرن تجفيف تحت التفريغ على درجة حرارة 40 °م باستخدام فرن Vision كوري المنشأ. لاستخلاص مادة الاكريلاميد أضيف 40 مل من الأسيتون إلى العينة المجففة و1 مل ماء مقطر منزوع الشوارد، ثم وضعت في جهاز رجاج أمريكي المنشأ لمدة 30 دقيقة، ثم وضعت العينة في حمام مائي ضمن جهاز الأمواج فوق الصوتية Utrasonic Bath صيني المنشأ على درجة حرارة 40 °م ولمدة 20 دقيقة، ثفلت العينة بسرعة 3000 دورة في الدقيقة لمدة 25 دقيقة على درجة حرارة 15 م° باستخدام مثفلة heraeus ألمانية المنشأ، أخذ السائل الطافي وتمت فلترته بواسطة فلتر قطره 0.45 ميكروميتر. حملت العينة المفلترة على الطور الصلب ضمن مصيدة الاستخلاص والمتكونة من 1غرام من الكربون، نشط الطور الصلب بإضافة 6 مل من الاسيتونتريل ثم 6 مل من الماء المقطر منزوع الشوارد، بعد تمرير العينة ضمن مصيدة الاستخلاص، مرر 10 مل من الاسيتونتريل و2 مل من الطور المتحرك (3:2 ماء منزوع الشوارد: أسيتونتريل) ضمن المصيدة، ثم بُخر الناتج لحجم 500 ميكروليتر، وحقن 20 ميكروليتر ضمن جهاز HPLC. كُشف عن الاكريلاميد باستخدام جهاز Young lin HPLC صيني الصنع باستخدام عمود نوع ODSA (250 x 4.6 mm, 5µm) وطور متحرك مؤلف من 40% ماء مقطر منزوع الشوارد و60% أسيتونتريل، بمعدل تدفق 0.8مل/دقيقة، وكاشف UV-PDA بطول موجة 210 نانوميتر، وحجم الحقنة 20 ميكروليتر. كما وحضرت سلسلة عيارية للاكريلاميد من مجموعة من المحاليل القياسية للاكريلاميد وفقاً للتراكيز التالية: 0.5، 1، 1.5، 2 و2.5 ppm، ثم حدد التركيز الأدنى للاكريلاميد والذي يمكن الكشف عنه بوساطة جهاز HPLC من خلال أخذ 10 قراءات للتركيز 0.05 ppm، ثم تطبق المعادلة: الحد الأدنى للكشف = الانحراف المعياري * 3.3 وفق (Verma and Yadav، 2022، 466). قيس معدل الانخفاض في نسبة الاكريلاميد عن طريق المعادلة التالية: معدل الانخفاض= (متوسط كمية الاكريلاميد المتشكلة

ضمن العينات المقلية بالطريقة التقليدية – متوسط كمية الاكريلاميد المتشكلة ضمن العينات المقلية بطريقة الهواء الساخن)/ كمية الاكريلاميد المتشكلة ضمن العينات المقلية بالطريقة التقليدية*100 (Fernández et al., 2022,3).

2-5- الاختبارات الفيزيائية لأصابع البطاطا المقلية:

2-5-1- قياس المؤشرات اللونية:

قُدرت المؤشرات اللونية لرقائق البطاطا باستخدام الجهاز اللوني 3nh Colorimeter من نوع NR-200 صيني المنشأ بعد المعايرة بالقرص الأبيض ووضعت العينات ضمن خلايا زجاجية بسماكة 1.5 سم وقيست القيم اللونية بالجهاز على ارتفاع 7.5سم وضبط الارتفاع بواسطة الفراغ الرأسي المضبوط وفق تصميم الجهاز. كررت عمليات القياس لكل عينة ثلاث مرات وأخذت القيم المتوسطة للقراءات، وعبر عن النتيجة وفق قيم L^*, a^*, b^* حيث يشير مكون L^* إلى درجة السطوع Lightness وتتراوح قيمته ما بين(0-100)، ويشير مكون a^* إلى الدرجة اللونية الواقعة ما بين اللونين الأخضر والأحمر، ويشير مكون b^* إلى الدرجة اللونية الواقعة ما بين اللونين الأزرق والأصفر وتتراوح قيمة كل من هذين المكونين اللونيين (- 120 ، +120). بينما قيست قيمة كل من تغير اللون ΔE ومعامل الاسمرار BI حسابياً وفق المعادلات (1) و(2) المقدمة من قبل (Boroujeni and Hojjatoleslamy, 2018, 1012) كما يلي:

$$(1) \quad BI=[(100*(X-0.31))/0.17): \ X=(a^*_t+1.75L^*_t)/(5.645L^*_t+a^*_0-3.012b^*_t)$$

$$(2) \quad \Delta E=[(L^*_0-L^*_t)^2+(a^*_0-a^*_t)^2+(b^*_0-b^*_t)^2]^{0.5}$$

حيث L_0، a_0، b_0 هي قياسات الألوان الأولية لأصابع البطاطا الخام وL_t، a_t، b_t هي قياسات الألوان بعد القلي.

2-5-2- تقدير قوة القص:

أجري اختبار تقدير القوة المطبقة للقص بواسطة جهاز Brookfield CT3 Texture Analyzer أمريكي المنشأ وفق الطريقة الموصوفة من قبل (Allan et al., 2021, 1821)، مع التعديل باستخدام مسبر متوفر من الستانلس ستيل P-SA/SD، ثم ثبتت أربعة أصابع من البطاطا لكل معاملة على حامل العينة، وأُجري اختبار طرق (puncture) ذو دورة واحدة، عن طريق تثبيت سرعة الاختبار عند 2 ملم/ثانية؛ والسماح للمسبر بالارتحال (travel) في العينات حتى اختراق السطح العلوي للأصابع، وعُبّر عن النتيجة بواحدة غرام وفقاً لدليل استخدام الجهاز والطريقة المذكورة أعلاه.

2-6- اختبار التقييم الحسي:

أجري التقييم الحسي لرقائق البطاطا المقلية وفق مقياس هيدونيك ذو التسع نقاط Hedonic-9-points scale مع بعض التعديل والذي يتراوح من (9 =أحب بشدة إلى 1=لا أحب بشدة) وذلك لصفات اللون Color والنكهة Flavor والقوام crunching ودرجة القبول الكلي Overall acceptability وذلك من قبل لجنة مؤلفة من عشرة أشخاص ذوي خبرة متوسطة في عملية التقييم الحسي، واعتبرت درجة قبول 5.5 فما فوق مقبولة وفق (Birol et al, 2015, 559).

2-7- التحليل الإحصائي:

أخضعت البيانات المتحصل عليها من التجارب لاختبار تحليل التباين ANOVA لتحديد الفروقات المعنوية وفق أقل فرق معنوي LSD عند مستوى 5% بين مؤشرات الجودة المختلفة تبعاً للمعاملات الأولية المطبقة، وعبر عن النتائج بالمتوسط الحسابي X ± الانحراف المعياري SD باستخدام برنامج SPSS الإصدار 25.

3- النتائج والمناقشة:

3-1- المؤشرات الكيميائية ومؤشرات اللون لعينات أصابع البطاطا الطازجة:

يظهر الجدول (1) المؤشرات الكيميائية ومؤشرات اللون لعينات أصابع البطاطا الطازجة، حيث بلغت قيمة المحتوى المائي لأصابع البطاطا الطازجة والمعدة للقلي من صنف (S.Sponta) 78.49%، وقيمة المادة الجافة 21.51%، وكانت نسبة الدهن والسكريات

المرجعة والبروتين 0.25، 0.98، 1.73% على التتالي، وتوافقت هذه النتائج مع ما توصل إليه (Basuny, 2009, 195) الذي بين في دراسته لأصناف عديدة من البطاطا أن المحتوى المائي يتراوح ضمن الأصناف المدروسة ما بين 83.72–75.53%، والبروتين 1–2.73%، والدهن 0.25–0.39% والسكريات المرجعة 0.32–1.11%. أما بالنسبة للمؤشرات اللونية، فإنها تختلف تبعاً للصنف المدروس ولتركيبه الكيميائي، بلغت قيمة مؤشرات اللون لصنف (S.Sponta) L* 72.11 و b* 23.12 و a* 1.2-، وقد وجد (Mesías et al., 2020, 262) نتائج مقاربة من حيث المؤشرات اللونية.

الجدول (1): المؤشرات الكيميائية ومؤشرات اللون لعينات أصابع البطاطا الطازجة

المؤشرات المدروسة	المحتوى المائي%	المادة الجافة%	الدهن%	السكريات المرجعة%	البروتين%	المؤشرات اللونية المدروسة		
						L*	b*	a*
أصابع البطاطا الطازجة	78.49±1.07	21.51±1.02	0.25±0.01	0.98±0.05	1.73±0.07	72.11±1.24	23.12±0.54	−1.2±0.13

* تمثل القيم في الجدول المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري لثلاثة مكررات (N=3).

* قدرت المؤشرات المدروسة (الرطوبة، المادة الجافة، الدهن، البروتين والسكريات المرجعة) على أساس الوزن الرطب.

3–2– محتوى الماء والزيت لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ:

يعد محتوى الرطوبة معياراً مهماً لجودة الأطعمة المقلية نظراً لتأثيرها على قوام المنتج النهائي والبنية المجهرية والقبول الحسي، ويوضح الجدول (2) نتائج محتوى الماء والزيت لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ. تنتقل الحرارة من الزيت الساخن إلى سطح العينة أثناء القلي مما يؤدي إلى تبخر رطوبة السطح ويجعله جافاً، ولكن بسبب جفاف سطح العينة يحدث انتشار الماء من اللب الداخلي إلى السطح، بينما تنتقل الحرارة إلى اللب وتتسبب في تبخر الماء وبالنتيجة تتشكل قشرة خارجية نتيجة جفاف السطح قبل اللب وتتميز هذه القشرة باحتوائها على المسام بسبب تبخر الماء منها، ويمكن استخدام ظاهرة انتقال الحرارة والكتلة في توزع تكوين المسام من السطح إلى نواة القطعة كدالة لزمن القلي (Alam and Takhar, 2016, 662). ويلاحظ من الجدول (2) انخفاض قيم محتوى الماء لأصابع البطاطا المقلية مع زيادة درجة حرارة القلي وزمنه، بلغ محتوى الماء في أصابع البطاطا 32.41، 31.48، 30.24% عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب وكانت 30.52% لعينة القلي العادي، وتفوقت الدرجة 135 °م معنوياً بمحتوى الماء. وتوافق ذلك مع ما أشار إليه (Devseren et al., 2021, 28). في دراسته التي تراوحت نتائج محتوى الماء فيها بين 16.28 و43.5 % عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 120–150 °م. وبالنسبة إلى محتوى الزيت الممتص، فيظهر الجدول (2) انخفاض محتوى الزيت في أصابع البطاطا مع زيادة درجة حرارة القلي، بلغت قيم محتوى الزيت في أصابع البطاطا 24.82، 23.27، 22.76% عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب بينما بلغت 26.11% لعينة الشاهد، وفسّر ذلك (Ravli et al., 2013, 35) بأنه ربما يعود إلى انخفاض لزوجة الزيت عند ارتفاع درجات الحرارة، مما يقلل محتوى الزيت الداخلي ويرفع محتوى الزيت السطحي الذي يسهل إزالته خلال فترة ما بعد القلي مقارنةً بالمنتجات المقلية في درجة حرارة أقل. تشير الدراسة الحالية أن محتوى الزيت النهائي للأصابع المقلية تحت التفريغ أقل من الموجود في أصابع البطاطا المقلية بالطريقة التقليدية. تحدث ظاهرة امتصاص الزيت في القلي تحت التفريغ بشكل رئيسي عند إخراج المنتج من المقلاة أثناء مرحلة التبريد، ويمكن أن يزيد أو يقل امتصاص الزيت في المنتج اعتماداً على كمية الزيت السطحي والماء الحر الموجود في المنتج، فكلما كان معدل فقد الماء أسرع زاد التصاق الزيت على سطح المنتج ومن ثم زاد امتصاص الزيت، وبالمقابل يلعب زمن خطوة استعادة الضغط دوراً مهماً في تقليل امتصاص الزيت أثناء القلي تحت التفريغ (Moreira et al., 2008, 298).

الجدول (2) محتوى الماء والزيت الممتص لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ

المؤشر المدروس	حرارة القلي °م			
	التقليدي 175	115	125	135
محتوى الرطوبة %	30.52^{b}±0.15	32.41^{d}±0.15	31.48^{c}±0.14	30.24^{a}±0.11
محتوى الزيت الممتص %	26.11^{d}±0.21	24.82^{c}±0.33	23.27^{b}±0.16	22.76^{a}±0.29

* تعبر النتائج عن المتوسط ± الانحراف المعياري لثلاثة مكررات.

* تشير الاحرف المختلفة الى وجود فروق معنوية ضمن السطر الواحد.

3-3- نتائج المؤشرات اللونية لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ:

يبين الجدول (3) نتائج المؤشرات اللونية لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ. انخفضت درجة السطوع *L لأصابع البطاطا المقلية تحت التفريغ مع زيادة درجة حرارة القلي وزمنه، إذ بلغت درجة السطوع *L في أصابع البطاطا 71.47، 70.32، 69.80 عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب، بينما بلغت 66.37 في عينة القلي التقليدي، أي تفوقت الدرجة 115 °م معنوياً بأعلى قيمة *L. وأشار (Moyano et al., 2002, 250) إلى أن تطور اللون في أصابع البطاطا هو ظاهرة سطحية وهذا يفسر تفاوت اللون بين السطح واللب في أصابع البطاطا لأن درجة حرارة السطح أكبر من درجة الحرارة المركزية بسبب اختلاف سماكة قطع البطاطا. أشار (Moreira and Da Silva, 2008, 1764) في الدراسة التي أجراها إلى أن رقائق البطاطا المقلية تحت التفريغ حصلت على قيم *L أعلى بكثير من القيم المقابلة لرقائق البطاطا المقلية بالقلي التقليدي، وأدت زيادة درجة حرارة القلي إلى انخفاض قيمة *L في الدراسة نفسها، وتشير قيمة *L الأعلى إلى لون أفتح وهي صفة مرغوبة في المنتجات المقلية. وكذلك فقد أثر زمن القلي في تغيرات لون الرقائق المقلية تحت التفريغ، إذ ذكر (Wanakamol and Poonlarp, 2018, 2685) أن زمن القلي تحت التفريغ الأطول أدى إلى ظهور لون أغمق. كما ولوحظ من الجدول (3) أن درجة الاصفرار *b لأصابع البطاطا المقلية تحت التفريغ ازدادت بزيادة درجة حرارة القلي، حيث بلغت قيمة *b في أصابع البطاطا 29.57، 29.83، 30.71 عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب وكانت 30.62 لعينة القلي التقليدي، وتفوقت الدرجة 135 °م بأعلى قيمة *b وهذا يتوافق مع ما أشار إليه (Mousa, 2018, 273 ;Johnson et al., 2019, 3723) حول زيادة الاصفرار بارتفاع حرارة القلي، وذكر (Tajner-Czopek et al., 2008, 763) أن التجفيف المسبق لأصابع البطاطا بطريقة التفريغ أدى إلى الحصول على قيم أعلى لـ *b بعد القلي، وفي دراسة أجراها (Troncoso et al., 2009, 190) أظهرت كل من شرائح ورقائق البطاطا المقلية تحت التفريغ لون أصفر ذهبي وتلون بني أقل مقارنة بالرقائق المقلية بظروف الضغط الجوي العادي. تبين النتائج في الجدول (3) ارتفاع قيمة مؤشر الاحمرار *a لأصابع البطاطا المقلية تحت التفريغ من صنف سبونتا مع زيادة درجة حرارة القلي وزمنه، فكانت درجة الاحمرار *a في أصابع البطاطا 4.91، 5.07، 5.34 عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب، وقد وصلت قيمة الاحمرار إلى 5.31 في عينة القلي التقليدي، وبذلك تفوقت الدرجة 115 °م بأدنى قيمة *a. أشارت الدراسات إلى أن ارتفاع قيمة الاحمرار خلال القلي يتعلق بتفاعل ميلارد كما ويرتبط بارتفاع محتوى الأكريلاميد، وكلاهما يعبر عن لون غير مرغوب من الناحية الصحية والحسية (Hariadi et al., 2018, 3423). ارتفعت قيمة تغير اللون الكلي ΔE المحسوبة أثناء عملية القلي تحت التفريغ مع ارتفاع درجة حرارة القلي، إذ بلغت قيمة ΔE في عينات أصابع البطاطا 8.94، 9.38، 10.31 عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب وكانت 11.47 في عينة القلي التقليدي وتفوقت الدرجة 115 °م بأدنى قيمة ΔE، وتوافقت هذه النتائج مع ما وجده (Su et al., 2016, 494) الذي فسر التغير الكلي للون ΔE بسبب تبخر الماء وتطور اللون البني غير الإنزيمي الذي يحدث بسبب تفاعلات ميلارد والكرملة وهذه

التفاعلات تحدث بسهولة أكبر عند معدلات الحرارة الأعلى، ونتيجة لذلك تزداد قيمة تغير اللون خلال الزمن عند درجات حرارة القلي الأعلى. بلغت قيمة معامل الاسمرار المحسوبة BI في عينات أصابع البطاطا 57.11، 59.08، 62.04 عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب حيث تفوقت الدرجة 115 °م بأدنى قيمة BI بين المعاملات وعينة القلي التقليدي التي كانت 65.95. أكد (Calder et al., 2011, 495) أن حساب مؤشر BI لتحديد الاختلافات في اللون البني بين المعاملات يعد مؤشراً مفيداً لتقييم شدة الاسمرار في عينات البطاطا لأنه يأخذ في الاعتبار قيم *L و*a و*b. تتوافق نتائج BI في دراستنا مع نتائج القيمة *L وغالباً ما تأخذ المعاملات ذات درجة السطوع الأدنى قيماً أعلى لمؤشر الاسمرار. أوصت الدراسات بضبط قيمة BI في البطاطا المقلية عند حدودها الدنيا نظراً لارتباطها بظروف القلي، من حيث درجة حرارة القلي وزمنه، ودرجة حرارة تخزين البطاطا الخام ومحتوى السكريات المرجعة فيها، ويعد ارتفاع قيمة BI أحد مؤشرات ارتفاع محتوى الأكريلاميد (Michalak et al., 2019, 5 ؛Verma and Yadav, 2022, 468).

الجدول (3) نتائج المؤشرات اللونية لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ

المؤشر المدروس	حرارة القلي °م			
	التقليدي 175	115	125	135
درجة السطوع *L	66.37^{d}±0.49	71.47^{a}±0.32	70.32^{b}±0.21	69.80^{c}±0.40
درجة الاحمرار *a	5.31^{c}±0.11	4.91^{a}±0.09	5.07^{b}±0.08	5.34^{c}±0.12
مؤشر الاصفرار *b	30.62^{a}±0.42	29.57^{b}±0.34	29.83^{b}±0.33	30.71^{a}±0.45
تغير اللون الكلي ΔE	11.47^{d}±0.21	8.94^{a}±0.29	9.38^{b}±0.30	10.31^{c}±0.32
مؤشر الاسمرار BI	65.95^{d}±0.24	57.11^{a}±0.33	59.08^{b}±0.32	62.04^{c}±0.44

* تعبر النتائج عن المتوسط ± الانحراف المعياري لثلاثة مكررات.

* تشير الاحرف المختلفة الى وجود فروق معنوية ضمن السطر الواحد.

3-4- نتائج القوة المطبقة للقص لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ:

تستخدم مجموعة من الاختبارات والمسابر لتقييم قوام المواد الغذائية، ويعد مؤشر قوة القص ضمن اختبار الاختراق من المؤشرات الهامة لتقييم الصلابة، وكذلك يرتبط اختبار القطع مع السمات الحسية للوجبات الخفيفة بمعاملات ارتباط مرتفعة (Sadeghi et al., 2021, 2). يبين الجدول (4) نتائج قوة القص المطبقة على أصابع البطاطا وبلغت 183.21، 172.94، 161.18 غ عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب، بينما كانت 192.72 غ في عينة القلي التقليدي، وتشير إلى تأثير درجة الحرارة بصورة معنوية. ولوحظ مثل هذا الانخفاض في النتائج التي وجدها (Torres et al., 2017, 689) عند القلي تحت تفريغ. بينما أشار (Li et al., 2019, 529) إلى أن القوة المطبقة للاختراق في أصابع البطاطا المقلية بالطريقة التقليدية تتراوح بين 114.21 و231.47 غ باختلاف الصنف، ولتفسير انخفاض قوة القص لا بد من العودة إلى تعريف القوام وفقاً لما ذكره (Miranda and Aguilera, 2006, 186) بأنه مجموعة من الخصائص الفيزيائية تنشأ من العناصر الهيكلية للغذاء ترتبط بالتشوه والتفكك تحت تأثير قوة معينة، ويتم الشعور بها عن طريق حواس الرؤية واللمس، فيمكن قياس القوام من خلال مؤشرات الكتلة والزمن والمسافة وكذلك يمكن وصف القوام في الدراسات الحديثة بدراسة صوت تكسر العينة. يؤدي القلي تحت التفريغ إلى حدوث انهيار للأنسجة الهيكلية للمنتجات المقلية مما يؤدي إلى زيادة الانكماش وتشكل المسام على سطح المنتج، وكذلك يمكن أن يعزز القلي تحت التفريغ تشكل انتفاخات داخل بنية البطاطا، وبالنتيجة يؤثر في الخصائص الفيزيائية المذكورة سابقاً بما يقلل قوة القص المطبقة للاختراق في المنتجات المقلية تحت التفريغ (Troncoso et al., 2009, 109). تزداد كل تلك التأثيرات عند زيادة درجة حرارة القلي أو زمنه، ووجد (Pan et al., 2015, 740) انخفاض صلابة العينات المقلية تحت التفريغ بالمقارنة مع العينات المقلية

بالطريقة التقليدية لفترة ثابتة بسبب احتفاظ العينات المقلية تحت التفريغ على محتوى مائي أعلى خلال عملية القلي عند الزمن نفسه. وهنا لابد من الإشارة أن النوعية الأعلى لقوام منتجات البطاطا المقلية تعود إلى التقييم الحسي وهذا ما لا يمكن قياسه بالأجهزة من جهة، بالإضافة إلى تداخل مؤشر النكهة مع نوعية القوام الأعلى من جهة أخرى، ويمكن اعتماد المقاربة بين هذه المؤشرات لتحديد المعاملة الأفضل وذلك من دوافع دراستنا.

الجدول (4) نتائج قوة القص لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ

	حرارة القلي °م			
	التقليدي 175	115	125	135
قوة القص(غ)	$192.72^{a}\pm2.11$	$183.21^{b}\pm2.10$	$172.94^{c}\pm2.12$	$161.18^{d}\pm2.11$

* تعبر النتائج عن المتوسط ± الانحراف المعياري لثلاثة مكررات.

* تشير الاحرف المختلفة الى وجود فروق معنوية ضمن السطر الواحد.

3-5- نتائج التقييم الحسي لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ:

يوضح الجدول (5) نتائج التقييم الحسي لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي بالتفريغ، والتي تشير إلى تفوق العينات المقلية عند الدرجة 125 °م معنوياً مقارنةً مع العينات المقلية عند درجتي الحرارة 115، 135 °م، وذلك بالنسبة لجميع المؤشرات الحسية المدروسة (اللون والنكهة والقوام والقبول العام). بلغت النتائج لعينات أصابع البطاطا المقلية بالتفريغ عند الدرجة 125 °م من حيث درجة القبول العام 8.1 وكانت درجة قبول اللون 8.2، وبلغت درجة التقييم الحسي للنكهة 7.9 وكانت درجة تقييم القوام8.3، بينما كانت درجات التقييم الحسي بالنسبة للعينة المقلية بالطريقة التقليدية عند الدرجة 175 °م للقبول العام 8.3، واللون 7.6، والنكهة 8.5، والقوام 8.8. فسر (Garayo and Moreira, 2002, 191) التغيرات في الخصائص الحسية من خلال الدور الذي يلعبه تهدم الأنسجة أثناء القلي في تعزيز تكامل النكهات وإدراكها، ولذلك يمكن اعتبار القلي تحت التفريغ خياراً قابلاً للتطبيق لتحسين أو تعزيز الخصائص الحسية للأغذية المقلية تحت التفريغ لكونها تعتمد بشكل كبير على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمنتج. أما بالنسبة لعينات أصابع البطاطا المقلية عند الدرجة 115 °م، انخفضت درجة القبول العام إلى 7.5، وكانت درجة التقييم الحسي اللون 8.2، و7.4 للنكهة، و6.9 للقوام، بينما في عينات أصابع البطاطا المقلية عند الدرجة 135 °م كانت درجة القبول العام 7.7، وبلغت درجة رغبة اللون 7.8، بينما بلغت درجة التقييم الحسي للنكهة 7.5 والقوام 7.9. وجد (Basuny and Al Oatibi, 2016, 106) في دراسته على رقائق البطاطا أن المظهر واللون والقبول العام في رقائق البطاطا المحضرة بالقلي العميق التقليدي كانت أعلى مقارنة مع القلي تحت التفريغ، وهذا يتوافق مع نتائج التقييم الحسي لعينة القلي التقليدي. فسرت دراسات التقييم الحسي لأصابع البطاطا المقلية الاختلافات في الانطباع الحسي للعينة بوجود وكمية مركبات النكهة المتطايرة النشطة ضمن الحدود اللازمة لإدراك النكهة، وكذلك على فعل التآزر أو قوة الطعم لبعض المركبات عند تحليلها في خليط، وكذلك أكدت حدوث زيادة كبيرة في الرائحة المعدنية بزيادة زمن القلي الكلي لأصابع البطاطا، وتصبح أكثر شدة في الزيوت التي تحتوي على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية متعددة عدم الإشباع، ونوهت أن العينات المقلية على درجة حرارة 170 °م كانت ذات تقييم حسي أعلى (Li et al., 2022, 11؛ Xu et al, 2021, 668؛ Meinhart et al., 2020, 180؛ Petersen et al., 2013, 942).

الجدول (5) نتائج التقييم الحسي لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي التقليدي

مؤشرات التقييم الحسي	م°حرارة القلي			
	التقليدي 175	115	125	135
القبول العام	$8.3^{a}\pm0.1$	$7.5^{d}\pm0.1$	$8.1^{b}\pm0.1$	$7.7^{c}\pm0.1$
اللون	$7.6^{b}\pm0.3$	$8.2^{a}\pm0.2$	$8.2^{a}\pm0.1$	$7.8^{b}\pm0.2$

النكهة	$8.5^{a}\pm0.2$	$7.4^{c}\pm0.1$	$7.9^{b}\pm0.2$	$7.5^{c}\pm0.1$
القوام	$8.8^{a}\pm0.4$	$6.9^{d}\pm0.3$	$8.3^{b}\pm0.3$	$7.9^{c}\pm0.2$

* تعبر النتائج عن المتوسط ± الانحراف المعياري لثلاثة مكررات.

* تشير الاحرف المختلفة الى وجود فروق معنوية ضمن السطر الواحد.

3-6- نتائج محتوى الأكريلاميد لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ:

يبين الجدول (6) نتائج محتوى الأكريلاميد لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ. كانت نسبة الأكريلاميد في أصابع البطاطا 213.36، 224.63، 279.71 ميكرو غرام/كغ عند القلي تحت التفريغ بدرجات الحرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب، وتشير النتائج إلى حدوث انخفاض في قيمة الأكريلاميد بمعدل 76.36، 75.11، 69.01 % عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب مقارنة مع القلي التقليدي عند 175 °م التي بلغت 902.64 ميكرو غرام/كغ، وتفوقت الدرجة 115، 125 °م بأدنى محتوى من الاكريلاميد. وضّح (Guo et al., 2021, 4). أن القلي تحت التفريغ يخفض محتوى الاكريلاميد في أصابع البطاطا بنسبة قد تصل إلى 98% بالمقارنة مع القلي التقليدي وذلك وفقاً للصنف وشروط عملية القلي، ويعود ذلك إلى المجال الحراري الأمثل لتشكل الاكريلاميد عند 160–180 °م، بينما تحدث عملية القلي تحت التفريغ عند درجات حرارة تصل إلى 140 °م، ويمثل الحفاظ على الخصائص الحسية للمنتجات المقلية تحت التفريغ تحدياً من ناحية قبول المستهلكين يمكن تجاوزه بالنظر إلى أثر التفريغ في تحسين جودة المنتجات وسلامتها الصحية لكن وفقاً لنتائج التقييم الحسي لم تكن هناك فروقاً كبيرة بين أصابع البطاطا المقلية بالطريقة التقليدية والمقلية بدرجة 125 °م تحت التفريغ. فسر (Sumnu and Sahin, 2009, 107) دور القلي تحت التفريغ أنه يسمح بتقليل محتوى الأكريلاميد في رقائق البطاطا لارتباطه بدرجة الحرارة، فكلما ارتفعت درجة حرارة القلي زاد تشكّل مادة الأكريلاميد في البطاطا المقلية، وذكر (Yang et al., 2016, 219). أنه يجب ضبط درجة حرارة القلي وزمنه لتجنب ارتفاع مستويات مادة الأكريلاميد، وتختلف مستويات مادة الأكريلاميد تبعاً لدرجة الحرارة والصنف المستخدم، إذ تزداد طرداً مع ارتفاع درجة حرارة القلي بمعدلات متفاوتة لأصناف البطاطا المختلفة. كذلك فقد بينت الدراسات وجود اختلافات واضحة في مستويات الأكريلاميد اعتماداً على زمن التسخين، ونوع وسط القلي المستخدم، ويمكن تفسير هذه الاختلافات باحتواء بعض أنواع زيت القلي بشكل طبيعي على نسب عالية من الأحماض الدهنية المتعددة عدم الإشباع التي تسهل توليد هيدروبيروكسيدات الأحماض الدهنية خلال زمن القلي، والتي تساهم بالإضافة إلى نواتج الأكسدة الأولية والثانوية الأخرى للدهون في تحويل الأسباراجين إلى مادة الأكريلاميد عند تطبيق الحرارة الكافية (Thurer and Granvogl, 2016, 9112 ؛Liyanage et al., 2020, 4).

الجدول (6) نتائج محتوى الاكريلاميد لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ

المؤشر المدروس	حرارة القلي °م			
	التقليدي 175	115	125	135
محتوى الأكريلاميد (ميكرو غرام/كغ)	$902.64^{d}\pm5.43$	$213.36^{a}\pm5.92$	$224.63^{a}\pm5.76$	$279.71^{c}\pm5.56$
معدل انخفاض الأكريلاميد %	-	76.36	75.11	69.01

* تعبر النتائج عن المتوسط ± الانحراف المعياري لثلاثة مكررات.

* تشير الاحرف المختلفة الى وجود فروق معنوية ضمن السطر الواحد.

3-7- المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس في نهاية عملية القلي تحت التفريغ لأصابع البطاطا:

يشير الجدول (7) إلى نتائج المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس في نهاية عملية القلي تحت التفريغ لأصابع البطاطا. عادة ما يتم اختبار قرينة الحموضة لتحديد التدهور الحاصل في زيت القلي، ووفق الجدول (7) فقد وصلت نتائج قرينة الحموضة إلى 1.82، 1.87، 1.94 مغ KOH/غ زيت عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب وكانت 1.96

مغ KOH/غ زيت في العينة المحضرة بالقلي التقليدي، وتفوقت العينات المقلية عند الدرجة 115 °م بأدنى قيمة لقرينة الحموضة. وفي دراسة أجراها (Basuny and Al Oatibi, 2016, 107) وجد أن إنتاج الأحماض الدهنية الحرة كان أفضل مؤشر على تدهور الزيوت أثناء القلي، وأشار (Segura et al., 2019, 6) إلى انخفاض محتوى الأحماض الدهنية الحرة الناتجة عن التحلل المائي والأكسدة في الزيت عند القلي تحت التفريغ، بينما وجد زيادة في محتوى البوليمرات الناتجة عن التدهور الحراري والأكسدة الثانوية خلال القلي. وبلغت قرينة البيروكسيد 7.72، 8.13، 8.56 ميلي مكافئ أوكسجين/كغ زيت عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب وكانت 8.91 ميلي مكافئ أوكسجين/كغ زيت في عينة القلي التقليدي، أي أن الدرجة 115 °م تفوقت بصورة معنوية بأدنى قيمة لقرينة البيروكسيد. وجد (Parzhanova et al., 2021, 417) في دراسته حول الثبات التأكسدي لزيت دوار الشمس أثناء المعالجة الحرارية أن قرينة البيروكسيد تزداد بزيادة زمن القلي، وهذا يتوافق مع المؤشرات التي تم الحصول عليها في الدراسة الحالية، وأظهرت النتائج التي ذكرها (Albertos et al., 2016, 340) أن القلي تحت التفريغ أدى إلى استقرار الدهون من ناحية الأكسدة، وربما يعود ذلك إلى انخفاض محتوى الأكسجين في مقلاة التفريغ، وانخفاض درجات الحرارة المطبقة، مما أدى إلى انخفاض معدلات الأكسدة في الزيوت وتشكل البيروكسيدات بنسبة منخفضة في القلي تحت التفريغ مقارنةً بالقلي العميق التقليدي. بلغت نسبة الأحماض الدهنية متعددة عدم الإشباع إلى الأحماض الدهنية المشبعة (PUFA/SFA) التي يطلق عليها مؤشر البوليين polyene index، 1.54، 1.32، 1.13 عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب، بينما كانت 1.14 في عينة القلي التقليدي، وقد أشار (Tarmizi et al., 2013, 906) إلى أن عملية التفريغ تقلل من التغيرات في تركيب الأحماض الدهنية وتسبب حمايتها من التحلل التأكسدي بالمقارنة مع القلي العميق التقليدي، مما يفسر تفوق العينات المقلية تحت التفريغ عند الدرجة 115 °م بصورة معنوية على جميع المعاملات الأخرى وعينة القلي التقليدي، على الرغم من وجود انخفاض في قيمة مؤشر البوليين خلال القلي بارتفاع درجة الحرارة.

الجدول (7) المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس في نهاية عملية القلي تحت التفريغ لأصابع البطاطا

المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس	حرارة القلي °م			
	التقليدي 175	115	125	135
قرينة الحموضة (مغ KOH/غ)	1.96^{c}±0.1	1.82^{a}±0.2	1.87^{b}±0.1	1.94^{c}±0.2
قرينة البيروكسيد (ميلي مكافئ أوكسجين/كغ زيت)	8.91^{c}±0.1	7.72^{a}±0.2	8.13^{b}±0.3	8.56^{c}±0.2
PUFA/SFA	1.14^{c}±0.01	1.54^{a}±0.02	1.32^{b}±0.02	1.13^{c}±0.01

* تعبر النتائج عن المتوسط ± الانحراف المعياري لثلاثة مكررات.

* تشير الاحرف المختلفة الى وجود فروق معنوية ضمن السطر الواحد.

3-8- عدد ساعات القلي لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي تحت التفريغ:

حدد عدد ساعات القلي الإجمالي (القلي والتسخين) اعتماداً على محتوى المركبات القطبية الكليTPC Total Polar Compounds 74، 70، 64 ساعة عند القلي تحت التفريغ على درجة حرارة 115، 125، 135 °م على الترتيب، مع مراعاة تعويض الزيت بنسبة الفقد في نهاية كل يوم عمل، بينما كانت 67 ساعة في عينة القلي التقليدي، وحددت المواصفة السورية 2745/2003 نسبة المركبات القطبية 25% للتخلص من زيت القلي (المواصفة السورية 2745، 2003، 2). ويوضح الجدول (8) عدد ساعات القلي الإجمالي (القلي والتسخين) في نهاية عملية القلي تحت التفريغ لأصابع البطاطا، حيث تفوقت الدرجة 115 °م بصورة معنوية على جميع المعاملات الأخرى. وصل عدد ساعات القلي تحت التفريغ بالنسبة لزيت دوار الشمس في دراسات سابقة إلى 56 ساعة على الدرجة 130 °م (Segura et al., 2019, 6؛ Crosa et al., 2014, 606؛ Kita et al, 2005, 1114)، وربما تعود الاختلافات الملحوظة في محتوى المركبات القطبية إلى نوع وسيط القلي أو المنتجات المقلية ونسبة المادة المقلية للزيت المستخدم، ولكن

بصـــورة عامة فإن القلي تحت التفريغ يزيد من عدد ســـاعات القلي الإجمالي (Aladedunye and Przybylski, 2009, 896؛ Kusucharid et al., 2009, 303). أكدت الدراسات الحديثة على أن سلامة زيت القلي تعتمد على محتوى TPC التي تتواجد على شكل أوليجومير ثلاثي الجليسريد، ومونومير ثلاثي جليسريد مؤكسد، وثنائي جليسريد، والأحماض الدهنية الحرة (Al Faruq et al., 2022, 4) وهذا ما دفع لاختيار TPC كمؤشر لتحديد عدد ساعات القلي.

الجدول (8) عدد ساعات القلي الإجمالي (القلي والتسخين) في نهاية عملية القلي تحت التفريغ لأصابع البطاطا

	حرارة القلي °م			
	التقليدي 175	115	125	135
عدد ساعات القلي (ساعة)	67^{c}±0.5	74^{a}±0.3	70^{b}±0.7	64^{d}±0.8

* تمثل القيم في الجدول المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري لثلاثة مكررات (N=3).

* تشير الاحرف المختلفة الى وجود فروق معنوية ضمن السطر الواحد.

4-الاستنتاجات والتوصيات:

4-1-الاستنتاجات:

- تفوقت الدرجة 115 °م معنوياً على جميع المعاملات المدروسة بمؤشرات السطوع والاحمرار وتغير اللون الكلي والاسمرار، بينما تفوقت الدرجة 135 °م بمؤشر الاصفرار بالنسبة لأصابع البطاطا.
- أثرت درجة حرارة القلي عكسياً بصورة معنوية في قوة القص المطبقة للاختراق وكانت القيمة المثلى عند الدرجة 125 °م التي تتوافق مع التقييم الحسي للقوام.
- أدى القلي تحت التفريغ إلى تفوق العينات المقلية عند الدرجة 125 °م معنوياً بجميع المؤشرات الحسية المدروسة باستثناء النكهة والقوام.
- بلغ محتوى الأكريلاميد في أصـــابع البطاطا المقلية تحت التفريغ عند الدرجة 115 °م 213.36 ميكروغرام/كغ، و224.63 ميكروغرام/كغ عند الدرجة 125 °م بمعدل انخفاض قدره 76.36، 75.11 % على الترتيب بالمقارنة مع القلي العميق التقليدي عند الدرجة 175 °م.
- أظهرت نتائج التحليل الكيميائي تفوق الدرجة 115 °م من حيث معظم المؤشرات المدروسة وبما أن العامل الحسي يلعب الدور الأكبر في تحديد الظروف الأمثل للقلي وعليه فقد حددت الدرجة 125 °م كأفضل درجة قلي تحت التفريغ لأصابع البطاطا.
- أبدت العينات المقلية تحت التفريغ نتائج سلبية بالنسبة لكل من القوام والنكهة وذلك مقارنةً مع العينات المقلية بالطريقة التقليدية بالنسبة للصنف المدروس.

4-2-التوصيات:

- دراسة إمكانية تحسين الخصائص الحسية لأصابع البطاطا المقلية تحت التفريغ وبيان مدى إمكانية تطبيقها صناعياً.
- دراسة تطبيق طريقة القلي تحت التفريغ على باقي أصناف البطاطا المزروعة محلياً، لبيان مدى نجاحها.
- دراسة مدى قابلية تطبيق طريقة القلي تحت التفريغ على باقي المنتجات المقلية محلياً.
- عدم استمرار القلي تحت التفريغ لفترات تتجاوز 74 ساعة مع التجديد لما يحمله من مخاطر صحية محتملة.

التمويل:

هذا البحث ممول من قبل جامعة دمشق وفق رقم الممول:(501100020595).

المراجع:

1. المواصفة القياسية السورية (2014). الزيوت النباتية المعدة للطعام، رقم 3770، هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، وزارة الصناعة، دمشق، سوريا.
2. المواصفة القياسية السورية (2003). نقطة التخلص من زيوت القلي المستعملة، رقم 2745، هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، وزارة الصناعة، دمشق، سوريا.
3. Al Faruq, A., Khatun, M. H. A., Azam, S. M. R., Sarker, M. S. H., Mahomud, M. S., & Jin, X. (2022). Recent advances in frying processes for plant-based foods. Food Chemistry Advances, 1, 100086. doi.org/10.1016/j.focha.2022.100086.
4. Aladedunye, A. F., & Przybylski, R. (2009). Protecting oil during frying: A comparative study. European Journal of Lipid Science and Technology, 111, 893-901. doi.org/10.1002/ejlt.200900020.
5. Alam, T., & Takhar, P. S. (2016). Microstructural Characterization of Fried Potato Disks Using X-Ray Micro Computed Tomography. Journal of Food Science, 81(3), E651-E664. doi.org/10.1111/1750-3841.13219.
6. Albertos, I., Martin-Diana, A. B., Jaime, I., Diez, A. M., & Rico, D. (2016). Protective role of vacuum vs. atmospheric frying on PUFA balance and lipid oxidation. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 36, 336-342. doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.006.
7. Amaral, R. D. A., Achaerandio, I., Benedetti, B. C., & Pujola, M. (2017). The influence of edible coatings, blanching and ultrasound treatments on quality attributes and shelf-life of vacuum packaged potato strips. LWT - Food Science and Technology, 85, 449-455. doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.062.
8. Andres-Bello, A., Garcia-Segovia, P., & Martinez-Monzo, J. (2011). Vacuum Frying: An Alternative to Obtain High-Quality Dried Products. Food Engineering Reviews, 3(2), 63-78. doi.org/10.1007/s12393-011-9037-5.
9. AOAC. (2005). Official methods of analysis. AOAC International.
10. Ayustaningwarno, F., Dekker, M., Fogliano, V., & Verkerk, R. (2018). Effect of Vacuum Frying on Quality Attributes of Fruits. Food Engineering Reviews, 10(3), 154-164. doi.org/10.1007/s12393-018-9178-x.
11. Basuny, A. M., Mostafa, D. M. M., & Shaker, A. M. (2009). Relationship Between Chemical Composition and Sensory Evaluation of Potato Chips Made from Six Potato Varieties with Emphasis on the Quality of Fried Sunflower Oil. World Journal of Dairy & Food Sciences, 4, 193-200. ISSN 1817-308X.
12. Basuny, A. M., & Oatibi, H. (2016). Effect Of A Novel Technology (Air And Vacuum Frying) On Sensory Evaluation And Acrylamide Generation In Fried Potato Chips. Banat's Journal of Biotechnology, VII, 101-112. doi.org/10.7904/2068-4738-vii(14)-101.
13. Belkova, B., Hradecky, J., Hurkova, K., Forstova, V., Vaclavik, L., & Hajslova, J. (2018). Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil. Food Chemistry, 241, 51-59. doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.062.
14. Birol, E., Meenakshi, J. V., Oparinde, A., Perez, S., & Tomlins, K. (2015). Developing country consumers acceptance of biofortified foods: a synthesis. Food Security, 7(3), 555-568. doi.org/10.1007/s12571-015-0464-7
15. Boroujeni, L. S., & Hojjatoleslamy, M. (2018). Using Thymus carmanicus and Myrtus communis essential oils to enhance the physicochemical properties of potato chips. Food Science & Nutrition, 6(4), 1006-1014. doi.org/10.1002/fsn3.597.
16. Bravo, J., Sanjuan, N., Ruales, J., & Mulet, A. (2009). Modeling the Dehydration of Apple Slices by Deep Fat Frying. Drying Technology, 27(6), 782-786. doi.org/10.1080/07373930902828187
17. Calder, B. L., Skonberg, D. I., Davis-Dentici, K., Hughes, B. H., & Bolton, J. C. (2011). The Effectiveness of Ozone and Acidulant Treatments in Extending the Refrigerated Shelf Life of Fresh-Cut Potatoes. Journal of Food Science, 76(8), S492-S498. doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02371.x.
18. Crosa, M. J., Skerl, V., Cadenazzi, M., Olazabal, L., Silva, R., Suburu, G., et al. (2014). Changes produced in oils during vacuum and traditional frying of potato chips. Food Chemistry, 146, 603-607. doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.132.
19. Da Silva, P. F., & Moreira, R. G. (2008). Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. LWT - Food Science and Technology, 41(10), 1758-1767. doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.016.

20. Devseren, E., Okut, D., Koc, M., Ocak, O., Karatas, H., & Kaymak-Ertekin, F. (2021). Effect of Vacuum Frying Conditions on Quality of French Fries and Frying Oil. Acta Chimica Slovenica, 68, 25-36. doi.org/10.17344/acsi.2020.5886.
21. Diamante, L. M., Shi, S., Hellmann, A., & Busch, J. (2015). Vacuum frying foods: products, process and optimization. International Food Research Journal, 22(1), 15. ISSN 1985-4668.
22. Fernández, A., Muñoz, J. M., Martín-Tornero, E., Martínez, M., & Martín-Vertedor, D. (2022). Acrylamide mitigation in Californian-style olives after thermal and baking treatments. Journal of Food Composition and Analysis, 108, 104423.
23. Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. Journal of Food Engineering, 55(2), 181-191. doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00062-6.
24. Guo, D., Wan, P., Liu, J., & Chen, D.-W. (2021). Use of egg yolk phospholipids to boost the generation of the key odorants as well as maintain a lower level of acrylamide for vacuum fried French fries. Food Control, 121, 107592. doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107592.
25. Gupta, P. (2023). Physico-chemical changes of fried products during oil and vacuum frying. The Pharma Innovation Journal doi.org/10.22271/tpi.2023.v12.i7Ss.21673.
26. Hariadi, H., Sunyoto, M., Nurhadi, B., & Karuniawan, A. (2018). Comparison of phytochemical characteristics pigmen extract (Antosianin) sweet purple potatoes powder (Ipomoea batatas L) and clitoria flower (Clitoria ternatea) as natural dye powder. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7(4), 3420-3429. ISSN 2349-8234.
27. Johnson, A. M., Porter, G., & Camire, M. E. (2019). Low-Acrylamide French Fry Acceptance: A Pilot Study. Journal of Food Science, 84(12), 3717-3725. doi.org/10.1111/1750-3841.14844.
28. Kita, A., Lisi¦,,ska, G. y., & Powolny, M. g. (2005). The influence of frying medium degradation on fat uptake and texture of French fries. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(7), 1113-1118. doi.org/10.1002/jsfa.2076.
29. Kusucharid, C., Jangchud, A., & Thamakorn, P. (2009). Changes in Characteristics of Palm Oil During Vacuum and Atmospheric Frying Conditions of Sweet Potato. Kasetsart Journal - Natural Science, 43. ISSN 2452-316X.
30. Li, P., Wu, G., Yang, D., Zhang, H., Qi, X., Jin, Q., et al. (2019). Applying sensory and instrumental techniques to evaluate the texture of French fries from fast food restaurant. Journal of Texture Studies, 51(3), 521-531. doi.org/10.1111/jtxs.12506.
31. Li, Y., Guo, Q., Wang, K., Nverjiang, M., Wu, K., Wang, X., et al. (2022). Monitoring the Changes in Heat Transfer and Water Evaporation of French Fries during Frying to Analyze Its Oil Uptake and Quality. Foods, 11(21). doi.org/10.3390/foods11213473.
32. Liyanage, D. W. K., Yevtushenko, D. P., Konschuh, M., Bizimungu, B. t., & Lu, Z.-X. (2020). Processing strategies to decrease acrylamide formation, reducing sugars and free asparagine content in potato chips from three commercial cultivars. Food Control, 119, 107452. doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107452
33. Mariotti-Celis, M. S., Cortes, P., Dueik, V., Bouchon, P., & Pedreschi, F. (2017). Application of Vacuum Frying as a Furan and Acrylamide Mitigation Technology in Potato Chips. Food and Bioprocess Technology, 10(11), 2092-2099. doi.org/10.1007/s11947-017-1981-5.
34. Meinhart, A. D., da Silveira, Y. F. F., De Moraes, M. R., Petrarca, M. H., Constant, L. d. S., Ballus, C. A., et al. (2020). French fries processed with a high content of linolenic acid, low n-6/n-3 ratio and good sensory acceptance after successive frying. Journal of Food and Nutrition Research, 59(2), 174-183. ISSN 1336-8672.
35. Mesias, M. A.-O., Delgado-Andrade, C. A.-O., Holgado, F., & Morales, F. A.-O. (2020). Impact of the consumer cooking practices on acrylamide formation during the preparation of French fries in Spanish households. Food Additives & Contaminants(1944-0057 (Electronic)). doi.org/10.1080/19440049.2019.1693637.
36. Michalak, J., Czarnowska-Kujawska, M., & Gujska, E. (2019). Acrylamide and Thermal-Processing Indexes in Market-Purchased Food. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(23). doi.org/10.3390/ijerph16234724.
37. Miranda, M. L., & Aguilera, J. M. (2006). Structure and Texture Properties of Fried Potato Products Food Reviews International, 22(2), 173-201. doi.org/10.1080/87559120600574584.

38. Moreira, R. G., Da Silva, P. F., & Gomes, C. (2008). The effect of a de-oiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips. Journal of Food Engineering, 92(3), 297-304. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.11.012.
39. Mousa, R. M. A. (2018). Simultaneous inhibition of acrylamide and oil uptake in deep fat fried potato strips using gum Arabic-based coating incorporated with antioxidants extracted from spices. Food Hydrocolloids, 83, 265-274. doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.007.
40. Moyano, P. C., Rioseco, V. K., & Gonzalez, P. A. (2002). Kinetics of crust color changes during deep-fat frying of impregnated french fries. Journal of Food Engineering, 54(3), 249-255. doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00211-4.
41. Muthaiah, P., Govindaswamy, A., Semwal, A., & Sharma, G. K. (2019). HPLC-UV Quantitative Analysis of Acrylamide in Snack Foods of India. Defence Life Science Journal, 4, 45-54. doi.org/10.14429/dlsj.4.12190.
42. Pan, G., Ji, H., Liu, S., & He, X. (2015). Vacuum frying of breaded shrimps. LWT - Food Science and Technology, 62(1, Part 2), 734-739. doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.007.
43. Pandey, A. K., Ravi, N., & Chauhan, O. P. (2020). Quality attributes of vacuum fried fruits and vegetables: a review. Journal of Food Measurement and Characterization, 14(3), 1543-1556. doi.org/10.1007/s11694-020-00403-6.
44. Parzhanova, A., Dimitrov, D., Ivanova, S., Perifanova, M., & Uzunova, G. (2021). Study on The Composition and Oxidation Stability of Sunflower Oil-Oleic Type During Heat Treatment. Annals: Food Science & Technology, 22(4). doi.org/10.1007/s11694-020-00403-6.
45. Petersen, K. D., Jahreis, G., Busch-Stockfisch, M., & Fritsche, J. (2013). Chemical and sensory assessment of deep-frying oil alternatives for the processing of French fries. European Journal of Lipid Science and Technology, 115(8), 935-945. doi.org/10.1002/ejlt.201200375.
46. Padovan, A., Moret, S., Bortolomeazzi, R., Moret, E., Conchione, C., Conte, L. S., et al. (2020). Formation of Alkylbenzenes and Tocochromanols Degradation in Sunflower Oil and in Fried Potatoes during Deep-Frying and Pan-Frying. European Journal of Lipid Science and Technology, 122(5), 1900296.
47. Ravli, Y., Da Silva, P., & Moreira, R. G. (2013). Two-stage frying process for high-quality sweet-potato chips. Journal of Food Engineering, 118(1), 31-40. doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.032.
48. Sadeghi, R., Lin, Y., Price, W. J., Thornton, M. K., & Hui-Mei Lin, A. (2021). Instrumental indicators of desirable texture attributes of French fries. LWT, 142, 110968. doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110968.
49. Sayyad, R. (2017). Effects of deep-fat frying process on the oil quality during French fries preparation. Journal of Food Science and Technology, 54(8), 2224-2229. doi.org/10.1007/s13197-017-2657-x.
50. Segura, N., Lazaro, J., & Irigaray, B. (2019). Effect of vacuum thermoxidation on sunflower oil. Heliyon, 5(3). doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01358.
51. Su, Y., Zhang, M., Zhang, W., Adhikari, B., & Yang, Z. (2016). Application of novel microwave-assisted vacuum frying to reduce the oil uptake and improve the quality of potato chips. LWT, 73, 490-497. doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.047.
52. Sumnu, S. G., & Sahin, S. (2008). Advances in deep-fat frying of foods: CRC press. ISBN 1420055593
53. Supmoon, N., & Noomhorm, A. (2013). Influence of Combined Hot Air Impingement and Infrared Drying on Drying Kinetics and Physical Properties of Potato Chips. Drying Technology, 31(1), 24-31. doi.org/10.1080/07373937.2012.711792.
54. Tajner-Czopek, A., Figiel, A., & Carbonell-Barrachina, A. A. (2008). Effects of potato strip size and pre-drying method on french fries quality. European Food Research and Technology, 227(3), 757-766. doi.org/10.1007/s00217-007-0784-8.
55. Tan, K. J., & Mittal, G. S. (2006). Physicochemical Properties Changes of Donuts During Vacuum Frying. International Journal of Food Properties, 9(1), 85-98. doi.org/10.1080/10942910500473947.
56. Tarmizi, A. H., Niranjan, K., & Gordon, M. (2013). Physico-chemical changes occurring in oil when atmospheric frying is combined with post-frying vacuum application. Food Chemistry, 136(2), 902-908. doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.001.
57. Thurer, A., & Granvogl, M. (2016). Generation of Desired Aroma-Active as Well as Undesired Toxicologically Relevant Compounds during Deep-Frying of Potatoes with Different Edible Vegetable Fats and Oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64(47), 9107-9115.

doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04749.
58. Tomruk, D., Devseren, E., Koc, M., Ocak, H., Karatas, H., & Kaymak-Ertekin, F. (2016). Developing a household vacuum cooking equipment, testing its performance on strawberry jam production and its comparison with atmospheric cooking Agronomic Research (Vol. 14, pp. 1475-1487). ISSN 1406-894X.
59. Torres, J., Alvis, A., Acevedo Correa, D., Montero, P., & Tirado, D. (2017). Optimization of vacuum frying conditions of eggplant (Solanum melongena L.) slices by response surface methodology. Interciencia, 42, 683-691. ISSN 0378-1844.
60. Troncoso, E., Pedreschi, F., & Zuniga, R. N. (2009). Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. LWT - Food Science and Technology, 42(1), 187-195. doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.013.
61. Verma, V., & Yadav, N. (2022). Acrylamide content in starch based commercial foods by using high performance liquid chromatography and its association with browning index. Current Research in Food Science, 5, 464-470. doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.010.
62. Wanakamol, W., & Poonlarp, P. (2018). Effects of frying temperature, frying time and cycles on physicochemical properties of vacuum fried pineapple chips and shelf life prediction. International Food Research Journal, 25, 2681-2688. ISSN 2231-7546.
63. Wang, Y., Wu, X., McClements, D. J., Chen, L., Miao, M., & Jin, Z. (2021). Effect of New Frying Technology on Starchy Food Quality. Foods, 10(8). doi.org/10.3390/foods10081852
64. Wang, C., Su, G., Wang, X., & Nie, S. (2019). Rapid Assessment of Deep Frying Oil Quality as Well as Water and Fat Contents in French Fries by Low-Field Nuclear Magnetic Resonance. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67(8), 2361-2368.
65. Wexler, L., Perez, A. M., Cubero-Castillo, E., & Vaillant, F. (2016). Use of response surface methodology to compare vacuum and atmospheric deep-fat frying of papaya chips impregnated with blackberry juice. CyTA - Journal of Food, 14(4), 578-586. doi.org/10.1080/19476337.2016.1180324.
66. Xu, L., Wu, G., Ji, X., Zhang, H., Jin, Q., & Wang, X. (2021). Influence of Prolonged Deep-Frying Using Various Oils on Volatile Compounds Formation of French Fries Using GCâ€“MS, GC-O, and Sensory Evaluation. Journal of the American Oil Chemists' Society, 98(6), 657-671. doi.org/10.1002/aocs.12489.
67. Yang, Y., Achaerandio, I., & Pujola, M. (2015). Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in French fries. Food Control, 62, 216-223. doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.10.028.