

تأثير درجات حرارة مختلفة للقلي العميق بزيت دوار الشمس في بعض خصائص أصابع البطاطا (صنف *S. Sponta*)

(1) خالد محمد (2) أنور الحاج علي (3) بسام العقلة

(الإيداع: 29 تشرين الأول 2023، القبول: 10 كانون الثاني 2023)

الملخص:

هدفت هذه الدراسة إلى معرفة تأثير درجات حرارة القلي (165، 175، 185 م°) في بعض خصائص جودة أصابع البطاطا (محتوى الماء، محتوى الدهون، مؤشرات اللون)، وتحديد ظروف القلي المثلى، بالإضافة إلى تقدير محتوى الاكريلاميد في العينات المدروسة، ودراسة المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس في نهاية عملية القلي العميق لأصابع البطاطا، وتحديد عدد ساعات القلي الأعظمي.

أظهرت النتائج أن درجة الحرارة هي أحد العوامل الرئيسية المؤثرة في جودة القلي لأصابع البطاطا، وأن درجة الحرارة المثلى لعملية القلي تقع عند 175 م°، ويكون عندها المحتوى من الماء 31.52%، ومحتوى الزيت الممتص 26.11%، بينما بلغت قيم المؤشرات اللونية لدرجة السطوع L^* 66.37، ومؤشر الاحمرار a^* 5.31، ومؤشر الاصفرار b^* 30.62، ودرجة تغير اللون ΔE 11.47، ومعامل الاسمرار BI 65.95، وبالنسبة للخصائص الحسية للأصابع فكانت النتائج 7.8، 7.6، 7.8، 7.8، 8.4، لاختبارات القبول العام، اللون، للنكهة، القوام، على الترتيب، فيما بلغت نسبة الاكريلاميد 902.64 ميكروغ/كغ، وبلغ عدد ساعات القلي الأعظمي عند الدرجة 175 م° 67 ساعة، مع مراعاة التجديد اليومي بنسبة الفقد.

الكلمات المفتاحية: أصابع البطاطا، القلي العميق، الظروف المثلى للقلي، محتوى الاكريلاميد.

(1) طالب دكتوراه- قسم علوم الأغذية - كلية الزراعة - جامعة دمشق.

(2) أستاذ في قسم علوم الأغذية- كلية الزراعة -جامعة دمشق

(3) باحث في الهيئة العامة للتقانات الحيوية- قسم التقانات الغذائية والصناعية

Effect of Deep Frying Different Temperatures with Sunflower Oil in some of Quality Characteristics of French fries (var. *S.Sponta*) and

Khaled Mohamed (2) Anwar AlHaj Ali (3) Bassam AlOkla(1)

(Received: 29 October 2023, Accepted: 10 December 2023)

Abstract:

This study aimed to investigate the effect of frying temperature (165, 175, 185°C) on some of quality characteristics of French fries (moisture content, fat content, color indices), determine optimal frying conditions, in addition to estimate the acrylamide content in the samples. The chemical indicators of sunflower oil at the end of the traditional frying process of French fries, and the maximum number of frying hours were determined also.

Results showed that temperatures is one of the main factors that affect the frying quality of French fries, and that the optimum temperature for the frying process is 175 °C, at which the moisture content is 31.52%, and the absorbed oil content is 26.11%, for the values of the color indices, the brightness L^* were 66.37, the redness index a^* was 5.31, and the yellowness index b^* was 30.62, while the color difference ΔE was 11.47, and the browning index BI was 65.95. The sensory properties of fried samples results were 7.8, 7.6, 7.8, and 8.4 for the tests of general acceptance, color, flavor, and texture, respectively, while the percentage of acrylamide reached 902.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$, in account to daily replenishment by loss ratio.

Keywords: French fries, deep frying, optimal frying conditions, acrylamide content.

(1) PhD student. Food science Department. Faculty of Agriculture. Damascus university.

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

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

المقدمة:

ازداد استهلاك البطاطا مع انتشار منتجات البطاطا المصنعة مثل البطاطا المقلية ورقائق البطاطا وكذلك منتجات البطاطا نصف المصنعة والبطاطا المقلية مسبقاً المجمدة، وتعد البطاطا من المواد الخام الأكثر شعبية في جميع أنحاء العالم، فهي متاحة بسهولة في معظم البلدان ويتم استهلاكها على نطاق واسع مقارنة بالخضروات الأخرى. يعد القلي العميق بالدهون ظاهرة معقدة لانتقال الحرارة والكتلة، إذ تنتقل الحرارة من وسط القلي إلى سطح المنتج عن طريق الحمل الحراري ومن السطح إلى داخل المنتج من خلال التوصيل، بينما تنتقل كتلة الزيت إلى داخل المنتج وكتلة الماء إلى خارجه أثناء القلي وهي ما يعرف بانتقال الحرارة والكتلة. يسبب ذلك العديد من التغيرات الفيزيائية والكيميائية والهيكليّة في الأغذية المقلية. يتم أثناء عملية القلي التقليدي غمر الطعام في الزيت الساخن (175-195 °م) مما يؤدي إلى تبخر الماء بسرعة وإحلال الزيت الممتص محل الماء، وتطور اللون الذهبي، إذ يعتبر امتصاص الزيت من أهم العوامل التي تتحكم في جودة وهشاشة ولون منتجات البطاطا المقلية لإيصال المنتج النهائي إلى السمات المرغوبة (Millin وزملاؤه، 2016؛ Vitrac وزملاؤه، 2002؛ Kochhar وGertz، 2004). تحدث تفاعلات التحلل المائي والأكسدة والبلمرة والانحلال الحراري في زيوت القلي بمعدلات سريعة نسبياً بسبب ارتفاع درجة الحرارة المستخدمة في القلي، ولذلك فمن الضروري مراقبة تشكل منتجات الأكسدة في زيوت القلي للحفاظ على جودة الأطعمة المقلية وحماية صحة المستهلكين، فمن المعروف أنّ الاستقرار التأكسدي في زيوت القلي يتأثر بالعديد من العوامل الناشئة عن زيوت القلي والأغذية المقلية وظروف القلي. إذ يمكن للمكونات الثانوية الموجودة في زيوت القلي مثل المعادن، والماء بنسبة ضئيلة جداً (200-900 ppm)، والأحماض الدهنية الحرة (FFAs) أن تؤثر في معدل أكسدة الزيوت وتسريع معدلات التحلل المائي، فيعمل الطعام كمحفز في سلسلة معقدة من التفاعلات التي تحدث في عملية القلي العميق بالدهون (Arslan وزملاؤه، 2018؛ Aladedunye، 2015؛ Kim وزملاؤه، 2014). وجد Kalogianni وزملاؤه (2010) في دراسة أجراها حول تأثير البطاطا في الزيت من حيث البلمرة، أن قلي البطاطا أدى إلى ارتفاع معدلات البلمرة في زيت القلي مقارنة بتلك الناتجة عن تسخين الزيت بمفرده. وكذلك فإن نسبة البطاطا إلى الزيت تؤثر على البلمرة بعد فترة قلي معينة (قلي دفعات متتالية)، وأشار إلى ندرة المعلومات عن تأثير وجود المادة الغذائية في التحلل الكيميائي للزيت أو الدهون أثناء القلي على الرغم من الدراسات المرجعية الواسعة المتخصصة بالقلي، ويعود ذلك إلى الصعوبات التجريبية وخاصة أن إضافة الطعام إلى المقلاة يسبب انخفاضاً كبيراً في درجة حرارة الزيت، وهو ما لا يمكن إحداثه بسهولة في غياب الطعام. إنّ البطاطا المخصصة للتصنيع الغذائي وخاصة أصابع ورقائق البطاطا المقلية تتمتع بصفات محددة من الناحية الشكلية والتركيبية، ففي حالة إنتاج أصابع البطاطا المقلية، فإن الدرنات ذات الشكل المستطيل والبيضاوي هي الأكثر رغبة، ويفضل أن تكون بقطر 40-75 ملم، بينما من الناحية التركيبية تستخدم الأصناف ذات التوزيع المتساوي للسكريات المرجعة على سطح الدرنّة المقطوعة لكونه أحد المعلمات المهمة بشكل خاص، أما بالنسبة للبطاطا التي تتراكم فيها السكريات حول الحزم الوعائية أو في الساق أو الجزء العلوي، فيجب عدم استخدامها في التصنيع وتحويلها إلى منتجات مشتقة. يجب أن تكون البطاطا المعدة للتصنيع قابلة للتخزين لفترة طويلة (Sawicka وزملاؤه، 2021). أظهرت الدراسات حول المتغيرات التصنيعية لعملية قلي البطاطا أن معدلات التبخر المختلفة للماء السطحي والماء الموجود في البنية الداخلية لمنتجات البطاطا أثناء القلي تجعل القشرة الخارجية صلبة والللب الداخلي ناعماً، وكذلك فإن ارتفاع تركيز محتوى الكربونيل على شكل الفركتوز مقارنةً بالجلوكوز من شأنه أن يسرع تفاعلات الاسمرار غير الإنزيمي ويتطلب طاقة أقل مما قد يؤدي إلى تغير اللون والرائحة والنكهة والقوام (Huang، 2020؛ Zamani-Ghalehshahi وFarzaneh، 2020). يجري القلي العميق لأصابع البطاطا على مرحلتين غمر وهما القلي الجزئي par-fried، والقلي النهائي فاصلاً بينهما خطوتي التجميد والتخزين المجمد. أثبتت الأبحاث الرائدة على القلي بمفرده أن امتصاص الزيت هو ظاهرة سطحية تحدث بشكل

رئيسي بمجرد إزالة المنتج من المقلاة، وبحث عدد قليل من الدراسات في آليات امتصاص الزيت أثناء مرحلة القلي الثانية عندما يتضرر النسيج البرانشيمي لأصابع البطاطا بسبب التجميد والذي يصبح طرياً بالزيت (Vauvre وزملاؤه، 2014). أشار Wang وزملاؤه (2019) 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 تدريجياً بشكل أكبر. تتشكل القشرة المقرمشة للبطاطا المقلية بسبب ارتفاع درجة حرارة القلي، وتتفصل 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 في مكونات الأغذية المقلية مثل الغلوسيدات الثلاثية والسكريات والبروتينات، وفي حالة القلي العميق لفترة طويلة يساهم تحلل الزيت في فقدان العناصر الغذائية الحيوية للبطاطا. يمكن أن تحفز هذه التفاعلات تشكل مركبات النكهة الطيارة، ومواد غير قابلة للذوبان وغير متطايرة تزيد من لزوجة الزيت وغمق اللون وتزيد الرغبة وتقلل نقطة التدخين، وتخفض التقييمات الحسية للمنتجات المقلية (Nayak وزملاؤه، 2015). يعد محتوى المركبات القطبية TPC (Total Polar Compounds) في كل من زيوت القلي والمنتجات المقلية مؤشراً دقيقاً وموثوقاً للتدهور التأكسدي لزيوت القلي، لذلك استخدم محتوى TPC لتقييم جودة أصابع البطاطا المقلية، حيث يزداد خطياً خلال عملية القلي بغض النظر عن نوع الزيت المستخدم، بينما يختلف محتوى TPC في البطاطا المقلية باختلاف نوع الزيت، وتكون هذه المركبات أعلى في الزيت، وقد ثبت أن تركيب الأحماض الدهنية يؤثر في تشكل المركبات القطبية خلال عملية القلي (Li وزملاؤه، 2017). وضع Ghaderi وزملاؤه (2018) أن زيادة درجة حرارة القلي من 150 إلى 190°م يخفض حوالي 35% من إجمالي محتوى الدهن حيث تعمل درجات الحرارة المرتفعة على تسريع تكوين القشرة مما يؤدي إلى انخفاض امتصاص الزيت مقارنة بالقلي في درجات حرارة منخفضة التي تتطلب زمن أطول لانتهاء عملية القلي، وعندما تكون درجة حرارة الزيت أعلى من 175°م تكون الطاقة الداخلة مرتفعة بدرجة كافية لزيادة درجة الحرارة وتبخر الماء خلال المدة نفسها مما يسرع تكون مادة الأكريلاميد. يرتبط ارتفاع محتوى الزيت في الأطعمة المقلية عن 30% بسلسلة من المشاكل الصحية، فقد أظهرت العديد من الدراسات أن الإفراط في تناول الأطعمة الغنية بالدهون يمكن أن يؤدي إلى السمنة وأمراض التنكس العصبي، ويمكن اعتبار ذلك من الصفات المؤثرة من الناحية الصحية في انتشار البطاطا، فيما يعد لون السطح صفة مهمة أخرى تشير إلى جودة البطاطا المقلية؛ إذ يفضل المستهلكون عادة البطاطا المقلية ذات السطوح والاصفرار العالي، والاحمرار المنخفض مع احتوائها على كمية قليلة من الدهون (Huang وزملاؤه، 2023). أثبتت الدراسات الصحية أن مادة الأكريلاميد المسببة للسرطان تتشكل في البطاطا المقلية عبر تفاعل ميلارد، ويعتمد تشكل الأكريلاميد على عدة عوامل منها درجة الحرارة والزمن ودرجة الحموضة ونسبة السطح إلى الحجم للمادة الغذائية، وأهم هذه العوامل هي كمية السكريات المختزلة والأسباراجين الحر، فعند تسخين الأسباراجين والسكريات المرجعة إلى درجة حرارة عالية يتشكل الأكريلاميد، وتحتوي البطاطا الطازجة على كميات كبيرة من هذين المكونين وبالتالي تحتوي منتجات البطاطا المقلية على مستويات عالية من مادة الأكريلاميد (Yassin وزملاؤه، 2022). أشارت الدراسات التي أجريت على لون البطاطا المقلية أنه يمكن أن يتأثر اللون البني غير الأنزيمي بمحتوى الأحماض الأمينية وحمض الأسكوربيك والأحماض الفينولية، إلى جانب محتوى السكريات المرجعة، وأن تقليل محتوى السكر وحده لا يفسر تغير اللون بالقلي، ولكن عندما يكون محتوى السكر منخفضاً في الدرنات تكون المركبات الأخرى متعلقة بتفسير تغير اللون بالقلي (Duarte-delgado وزملاؤه، 2016). يعد الزيت المتحلل سبباً لمخاوف صحية للمستهلكين، ومن المهم تحديد النقطة التي يجب التخلص من الزيت عندها، فالمنتجات المقلية تمتص الزيت أثناء القلي، فقد وجد Padovan وزملاؤه (2020) أن درجات الحرارة المستخدمة في القلي (160-180°م) تسبب تغيرات فيزيائية وكيميائية على الزيت المستخدم، وتعد التفاعلات الكيميائية مثل الأكسدة، والتحلل المائي، والبلمرة، والتماكبات Isomerization هي المسؤولة عن التحلل التدريجي للزيت أثناء استخدامه، وهو ما يشكل مصدر القلق من الناحية الصحية.

2- أهداف البحث:

- نظراً لانتشار أصابع البطاطا المقلية تجارياً في الأسواق المحلية، مع ما تحمله من أضرار صحية متمثلة بالدهون والاكريلاميد، والسعي الدائم من قبل المنظمات العالمية وخبراء التغذية في إنتاج منتجات آمنة صحياً، وندرة الدراسات المحلية حول تأثير ظروف القلي العميق في أصابع البطاطا المصنعة من صنف *S. Sponta* الشائع في سورية، فقد هدف هذا البحث إلى:
- معرفة تأثير درجات حرارة القلي (165، 175، 185 م°) في بعض مؤشرات جودة أصابع البطاطا.
 - تعيين ظروف القلي المثلى التي ينتج عنها أفضل القيم لمؤشرات الجودة المدروسة في أصابع البطاطا.
 - تعيين محتوى الأكريلاميد لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق.
 - تقييم المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس المستخدم في نهاية عملية القلي العميق لأصابع البطاطا.
 - تحديد عدد ساعات القلي الأعظمي لزيت دوار الشمس.

3- مواد وطرائق البحث:

3-1 مواد وتجهيزات البحث:

استُخدم في الدراسة بطاطا من صنف Sponta المحلي من العروة الصيفية خلال موسم 2022-2023، وقد تم الحصول عليها من أحد المزارعين في المنطقة الجنوبية (مدينة نوى) مع كامل البيانات الزراعية من حيث الاحتياجات وظروف الزراعة. استُخدم زيت دوار الشمس ماركة Parto المستورد والمتوفر ضمن أسواق مدينة دمشق والموافق للمواصفة القياسية السورية رقم (3770) تاريخ (2014)، وأجريت الدراسة في مخابر قسم علوم الأغذية والهيئة العامة للتقانة الحيوية في كلية الزراعة- جامعة دمشق.

3-2 طريقة القلي لأصابع البطاطا:

أجريت عملية القلي العميق تحت الضغط الجوي العادي بوساطة مقلاة كهربائية من ماركة star way ذات منشأ كوري ومزودة بمؤقت للحرارة والوقت، وضبطت درجة الحرارة المطلوبة (165، 175، 185 م°)، وقد قُليت أصابع البطاطا ضمن 3 لتر من زيت دوار الشمس وفقاً لطريقة Sayyad (2017) مع بعض التعديلات حيث قُطعت درنات البطاطا إلى أصابع (10 x 10 x 70 ملم) باستخدام قطاعة من الفولاذ المقاوم للصدأ، ثم غُسلت العينات المقطعة بالماء البارد عدة مرات لإزالة النشاء الملصق بسطحها الخارجي، ثم جففت بطريقة النشر على ورق ترشيح قبل البدء بعملية القلي. ثم أخذت عينات أصابع البطاطا (150 غ) وقلبت حتى الوصول إلى محتوى رطوبة أقل من 34%، وسُجل الزمن المستغرق.

3-3 الاختبارات الكيميائية:

3-3-1 تقدير محتوى الرطوبة لأصابع البطاطا:

قُدِّر المحتوى الرطوبي لعينات أصابع البطاطا المقلية وغير المقلية على أساس الوزن الرطب وفقاً للطريقة المتبعة في الجمعية الرسمية الدولية للكيميائيين (AOAC، 2005)، حيث تم تجفيف العينات في فرن كهربائي عادي عند درجة حرارة 105 م° (حتى ثبات الوزن). ثم تم حساب الرطوبة المفقودة وفقاً للمعادلة الآتية:

$$\text{النسبة المئوية للرطوبة} \% = \frac{\text{وزن الماء في العينة}}{\text{وزن العينة}} \times 100$$

3-3-2 تقدير المحتوى من الزيت لأصابع البطاطا:

قُدِّر محتوى أصابع البطاطا من الزيت بطريقة سوكسيلت باستخدام الهكسان كمذيب عضوي (AOAC، 2005)، وتم تقدير المحتوى من الزيت على أساس الوزن الرطب عن طريق المعادلة الآتية:

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

3-3-3- تقدير البروتين لأصابع البطاطا:

قدر البروتين في أصابع البطاطا الطازجة وفقاً للطريقة كداهل (AOAC، 2005).

3-3-4- تقدير السكريات المرعبة لأصابع البطاطا:

قدرت كمية السكريات المرعبة وفقاً للطريقة المتبعة من (AOAC، 2005).

3-3-5- تقدير الاكريلاميد لأصابع البطاطا:

قدرت محتويات العينات المدروسة من مادة الاكريلاميد باستخدام جهاز HPLC وفقاً لطريقة Muthaiah وزملاؤه (2019) مع بعض التعديلات، حيث طحنت العينات (أصابع البطاطا) باستخدام خلاط مولينكس فرنسي الصنع، ثم أخذ 10 غرام من العينة المطحونة وأضيف لها 50 مل من الايثريتولي، ثم 5 مل من الإيثانول، ثم أضيف 50 مل من الايثريتولي، ورج الخليط لمدة 2 ساعة على درجة حرارة الغرفة، ثم ثقلت العينة بسرعة 3500 دورة في الدقيقة لمدة 20 دقيقة عند درجة حرارة 15 °م، وتم التخلص من السائل الطافي المحتوي على الدهن، ثم جففت العينة منزوعة الدهن بواسطة فرن تجفيف تحت التفريغ عند درجة حرارة 40 °م. لاستخلاص مادة الاكريلاميد أضيف 40 مل من الأسيتون إلى العينة المجففة و 1 مل ماء مقطر منزوع الشوارد، ثم وضعت في جهاز رجاج لمدة 30 دقيقة، ثم وضعت العينة في حمام مائي ضمن جهاز الأمواج فوق الصوتية عند درجة حرارة 40 °م لمدة 20 دقيقة، وثقلت العينة بسرعة 3000 دورة في الدقيقة لمدة 25 دقيقة عند درجة حرارة 15 °م، وأخذ السائل الطافي وتمت فلترته بواسطة فلتر قطره 0.45 ميكروميتر. حملت العينة المفطرة على الطور الصلب ضمن مصيدة الاستخلاص المتكونة من 1 غرام من الكربون، ونشط الطور الصلب بإضافة 6 مل من الاسيتونتريل ثم 6 مل من الماء المقطر المنزوع الشوارد، وبعد تمرير العينة ضمن مصيدة الاستخلاص مرر 10 مل من الاسيتونتريل و 2 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 HPLC باستخدام عمود نوع ODSA (250 x 4.6 mm, 5µm) وطور متحرك مؤلف من 40% ماء مقطر منزوع الشوارد و 60% أسيتونتريل، بمعدل تدفق 0.8 مل/دقيقة، وكاشف UV-PDA بطول موجة 210 نانوميتر، وحجم الحقنة 20 ميكروليتر. حضرت سلسلة عيارية للاكريلاميد من مجموعة من المحاليل القياسية للاكريلاميد وفقاً للتركيز الآتية: 0.5، 1، 1.5، 2 و 2.5 ppm، ثم حدد التركيز الأدنى للاكريلاميد والذي يمكن الكشف عنه بواسطة جهاز HPLC من خلال أخذ 10 قراءات للتركيز 0.05 ppm، ثم تطبق المعادلة: الحد الأدنى للكشف = الانحراف المعياري * 3.3 (Verma و Yadav، 2022). تم قياس معدل الانخفاض في نسبة الاكريلاميد عن طريق المعادلة:

معدل الانخفاض = (متوسط كمية الاكريلاميد المتشكلة ضمن العينات المقالية بالطريقة العميقة - متوسط كمية الاكريلاميد المتشكلة ضمن العينات المقالية بطريقة الهواء الساخن) / كمية الاكريلاميد المتشكلة ضمن العينات المقالية بالطريقة العميقة * 100.

3-3-6- المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس في نهاية عملية القلي لأصابع البطاطا:

قدرت قرينة الحموضة الحرة ورقم البيروكسيد وفقاً للطريقة المتبعة في الجمعية الرسمية للكيميائيين (AOAC، 2005)، وحددت نسب الأحماض الدهنية للزيت بواسطة جهاز الكروماتوغرافيا الغازية GC حسب الطريقة الموصى بها في AOAC لتحليل استرات الميثيل 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 260 °م، حيث حُدّد زمن الاحتباس للأحماض الدهنية ضمن الشروط المذكورة التي ضبط عليها جهاز GC باستخدام تراكيب معيارية نقية للأحماض الدهنية Fatty Acids Methyl Esters (FAMES).

3-4- الاختبارات الفيزيائية:

3-4-1- قياس المؤشرات اللونية لأصابع البطاطا:

فُدرت المؤشرات اللونية لأصابع البطاطا باستخدام الجهاز اللوني 3nh Colorimeter من نوع NR-200 بعد المعايرة بالقرص الأبيض حيث وضعت العينات ضمن خلايا زجاجية بسماكة 1.5 سم وقيست القيم اللونية بالجهاز على ارتفاع 7.5 سم 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) (Boroujeni, Hojjatoleslami, 2018) كما يلي:

$$(1) \quad BI = [(100^*(X-0.31))/0.17] : X = (at^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a0^* - 3.012bt^*)$$

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

3-4-2- تقدير القوة المطبقة للقص لأصابع البطاطا:

أجري اختبار تقدير القوة المطبقة للقص بواسطة جهاز Brookfield CT3 Texture Analyzer وفق الطريقة الموصوفة من قبل Allan وزملاؤه (2021)، مع التعديل باستخدام مسبر متوفر من الستانلس ستيل P-SA/SD، ثم ثبتت أربعة أصابع من البطاطا لكل معاملة على حامل العينة، وأجري 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، وعُبر عن النتيجة بوحدة غرام وفقاً لدليل استخدام الجهاز (Allan وزملاؤه، 2021).

3-5- اختبار التقييم الحسي لأصابع البطاطا:

أجري التقييم الحسي لأصابع 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 والقرمشة crunching والقبول الكلي Overall acceptability وذلك من قبل لجنة مؤلفة من عشرة أشخاص ذوي خبرة متوسطة في عملية التقييم الحسي. واعتبرت الدرجة 5.5 فما فوق مقبولة (Biroi وزملاؤه، 2015).

3-6- التحليل الإحصائي:

أخضعت البيانات 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 $\pm X$ الانحراف المعياري SD باستخدام برنامج SPSS الإصدار 25.

4- النتائج والمناقشة:

4-1- المؤشرات الكيميائية ومؤشرات اللون لعينات أصابع البطاطا الطازجة:

يظهر الجدول (1) المؤشرات الكيميائية ومؤشرات اللون لعينات رقائق البطاطا الطازجة، حيث بلغت قيمة المحتوى المائي لرقائق البطاطا الطازجة والمعدة للقلي من صنف (*S.Sponta*) 78.46%، وقيمة المادة الجافة 21.54%، وكانت نسبة الدهن والسكريات المرجعة والبروتين 0.25، 0.98، 1.73% على التوالي، وتوافقت هذه النتائج مع ما توصل إليه Basuny (2009) الذي بين في دراسته لأصناف عديدة من البطاطا المعدة لصناعة الشيبس أن المحتوى المائي تراوحت قيمه ضمن الأصناف المدروسة ما بين 75.53-83.72%، والبروتين ما بين 1-2.73%، والدهن 0.25-0.39% والسكريات المرجعة 0.32-1.11%. بلغت قيمة مؤشرات اللون *L 72.11 و *b 23.12 و *a 1.2- وهي قريبة من نتائج Fradinho وزملاؤه (2020).

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

المؤشرات المدروسة	المحتوى المائي %	المادة الجافة %	الدهن %	السكريات المرجعة %	البروتين %	المؤشرات اللونية المدروسة		
						a*	b*	L*
أصابع البطاطا الطازجة	1.07±78.46	1.02±21.54	0.01±0.25	0.05±0.98	0.07±1.73	1.24±72.11	0.54±23.12	0.13±1.2-

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

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

4-2- نتائج محتوى الماء والزيت لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق:

يوضح الجدول (2) نتائج محتوى الماء والزيت لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق المختلفة (درجة الحرارة والزمن). بلغ محتوى الماء في أصابع البطاطا 33.49، 31.52، 30.57% بالقلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 °م على الترتيب، وكان المحتوى الأدنى عند الدرجة 185 °م. ويلاحظ من الجدول (2) انخفاض قيم محتوى الماء بصورة معنوية لأصابع البطاطا المقلية مع تغير درجة حرارة القلي وزمنه، ويفسر ذلك بآلية انتقال الحرارة والكتلة (امتصاص الزيت وفقدان الماء) (Millin وزملاؤه، 2016). ويتناقص تأثير الزمن عند درجات الحرارة المنخفضة، ويعد انخفاض نسبة الماء وامتصاص الزيت ظاهرتين مهمتين مترامنتين أثناء القلي، حيث تؤدي عملية القلي إلى تبخر الماء وتجلت النشاء وامتصاص الزيت، ومع ذلك فإن فقدان الماء بكمية أكبر لا يتوافق بالضرورة مع امتصاص أعلى من الزيت (Xu وزملاؤه، 2021؛ Yang وزملاؤه، 2020)، وتوافق ذلك مع ما أشار إليه Millin وزملاؤه (2016) باعتماد محتوى الماء في أصابع البطاطا بعد القلي النهائي على الصنف وخاصة محتوى السكريات، وبلغت نسبة الماء في دراسته 37.9، 27.9، 32.8% عند القلي على درجة حرارة 170، 180، 190 °م على الترتيب، ويحدد نضج أصابع البطاطا بوصولها إلى درجة اللون الاصفر الذهبي. وبالنسبة إلى محتوى الزيت الممتص فيظهر الجدول (2) ارتفاع محتوى الزيت لأصابع البطاطا بصورة معنوية مع زيادة زمن القلي عند درجات الحرارة الأدنى بسبب تبخر الماء من خلال القشرة الجافة واستبداله بالزيت، حيث بلغت قيم محتوى الزيت في أصابع البطاطا 27.74، 26.11، 25.36% بالقلي العميق عند درجات حرارة 165، 175، 185 °م على الترتيب، وتقاربت تلك النتائج مع دراسات سابقة (Al-Asmar وزملاؤه، 2018؛ Millin وزملاؤه، 2016). ويعتبر تناول الزيت في الأطعمة المقلية مصدر قلق صحي للمستهلكين وفقا لما ذكره Rommens وزملاؤه (2010)، وبالتالي فإن إطالة زمن القلي

لتعزيز الخصائص الحسية لأصابع البطاطا تسبب امتصاص كمية أكبر من الزيت، ويرتبط ذلك أيضاً بالجزء المأخوذ من الدرناات للقلي، فالأجزاء الداخلية تمتص كمية من الزيت أكبر من الخارجية، بينما أشار Wang وزملاؤه (2019) إلى ازدياد امتصاص الزيت خلال فترة القلي في بنية النشاء تدريجياً، ويتمتع الزيت بحركة أعلى من الماء عند احتجازه في بنية النشاء، مما أدى إلى حدوث تحول في النقطة الزمنية للفساد وتأخر تدهور الزيت، ويمكن تفسير هذا التغيير من خلال التوازن الديناميكي للزيت والماء في بنية أصابع البطاطا.

الجدول (2) نتائج محتوى الماء والزيت الممتص لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق

م [°] حرارة القلي	165	175	185
الزمن المستغرق في القلي د	15.13	12.31	11.44
محتوى الرطوبة %	^a 33.49 0.14±	^b 31.52 0.15±	^c 30.57 0.14±
محتوى الزيت الممتص %	^c 27.74 0.33±	^b 26.11 0.51±	^a 25.36 0.24±

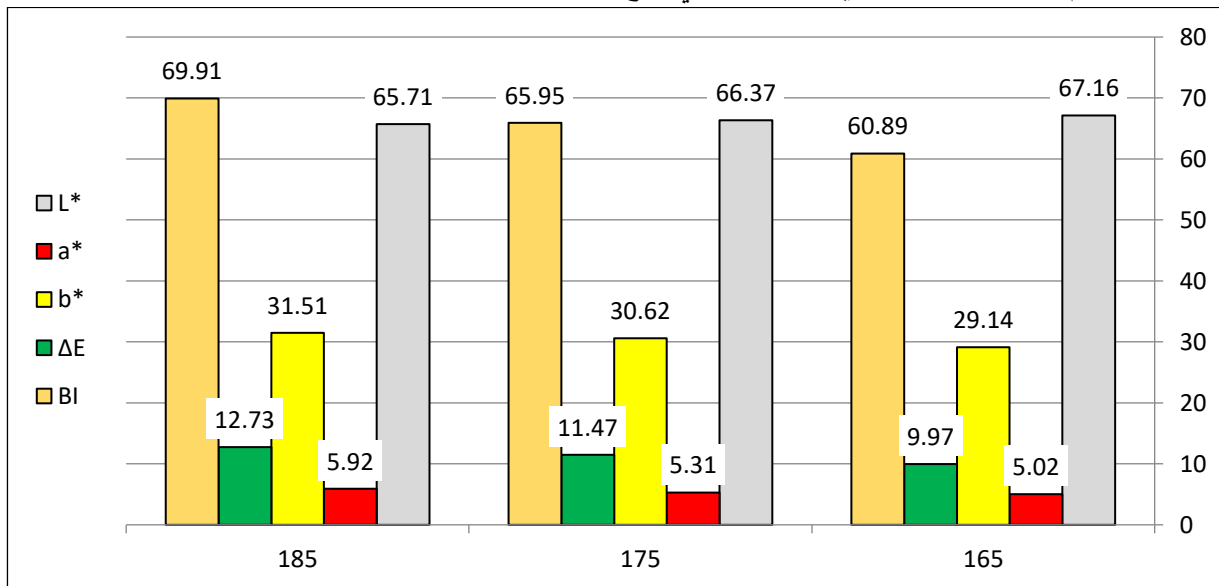
(N=3) - تمثل القيم في الجدول المتوسط الحسابي ± الانحراف المعياري لثلاثة مكررات

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

4-3- نتائج المؤشرات اللونية لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق:

يبين المخطط (1) نتائج تغير المؤشرات اللونية لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق المختلفة (درجة الحرارة والزمن)، ويلاحظ انخفاض درجة السطوع *L لأصابع البطاطا المقلية مع زيادة درجة حرارة القلي وزمنه بصورة معنوية، إذ بلغت درجة السطوع *L في أصابع البطاطا 67.16، 66.37، 65.71 بالقلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 م[°] على الترتيب، وتوقت العينات المقلية عند الدرجة 165 م[°] بأعلى قيمة لمؤشر السطوع، ويتوافق ذلك مع الدراسات المرجعية (Mba وزملاؤه، 2018؛ Kirmaci وزملاؤه، 2014)، وقد أشار Mesías وزملاؤه (2019) إلى أن الحصول على لون ذهبي متجانس لأصابع البطاطا يترافق مع درجة *L تبلغ 63.89 وسطياً. تعد الآلية الرئيسية الكامنة وراء اللون في البطاطا المقلية هي مدى حدوث تفاعل ميلارد الذي يتطلب وجود كلاً من السكريات المرجعة والأحماض الأمينية، وتعتمد هذه الآلية على زمن القلي ودرجة الحرارة، وازدياد تركيز مكونات المادة الجافة في أصابع البطاطا، مما قد يؤثر على قيم a و b أثناء القلي ويسبب ظاهرة الحواف الداكنة غير المرغوبة من قبل المستهلكين عموماً (Bingol وزملاؤه، 2014). يمكن اعتبار السكريات المرجعة هي السبب الرئيسي للتلون البني في المنتجات المقلية وفقاً لما أشير إليه من قبل Liu وزملاؤه (2021) في دراسة أجريت على التغيرات اللونية التي تطرأ على منتجات البطاطا المقلية، والانخفاض في قيمة *L يعود إلى أن الماء السطحي لأصابع البطاطا المقلية يخفف من انعكاس الضوء، مما يجعلها تبدو أكثر قتامة. ويرتبط القبول العام وصفة النوعية الجيدة مع درجة سطوع أعلى *L، بينما يؤثر تطبيق معاملات خاصة على أصابع البطاطا قبل القلي في اختلافات درجة السطوع خلال عملية القلي، إما سلبياً أو إيجابياً باختلاف الصنف المدروس. يظهر المخطط (1) أن درجة الاصفرار *b لأصابع البطاطا المقلية ازدادت بصورة معنوية مع زيادة درجة حرارة القلي وزمنه، وبلغت قيمة *b في أصابع البطاطا 29.14، 30.62، 31.51 بالقلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 م[°] على الترتيب، وبذلك تفوقت العينات المقلية عند 185 م[°] بقيم أعلى لمؤشر الاصفرار، وفسر زيادة الاصفرار بارتفاع الحرارة بأن وجود الماء في أصابع البطاطا يمكن أن يمنع التفاعل بين المجموعات الأمينية والسكريات، بينما عند ارتفاع الحرارة ينخفض المحتوى المائي مما يعطي لون السطح الذهبي الذي يظهر أثناء القلي والمرتبب بدرجة الاصفرار والسطوع (Johnson وزملاؤه، 2019؛ Mousa، 2018). تتوافق عينات أصابع البطاطا المقلية ذات المظهر الأفضل مع اللون الأصفر الذهبي المتجانس الذي يرتبط بارتفاع قيم *b و *L، وفي دراسة أجراها Abong وزملاؤه (2023) حول خصائص الجودة في أصابع البطاطا المقلية التجارية التي صنفتها وفقاً للقيمة ودرجة الإقبال تراوحت قيمة *b بين 19.70-38.35، وكانت العينات التي بلغت فيها قيمة *b

وسطياً 24-38 ذات قبول أعلى، وعادةً ما يكون اللون هو العامل المحدد عند اختيار نقطة انتهاء القلي لأصابع البطاطا في الأسواق التجارية. بينت النتائج في المخطط (1) حدوث زيادة معنوية في قيمة مؤشر الاحمرار a^* لأصابع البطاطا المقلية مع زيادة درجة حرارة القلي وزمنه، فكانت درجة الاحمرار a^* في أصابع البطاطا 5.02، 5.31، 5.92 بالقلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 °م على الترتيب، حيث تفوقت العينات المقلية عند الدرجة 165 °م بأدنى قيمة لمؤشر الاحمرار. وقد بلغت قيمة الاحمرار 7.81 في دراسات أخرى (Hornet وزملاؤه، 2021؛ Ngadi و Adedeji، 2017)، وأشار إلى أن ارتفاع قيمة الاحمرار يعبر عن لون غير مرغوب يرتبط بارتفاع محتوى الأكريلاميد. يعبر تغير اللون الكلي ΔE عن تغير اللون أثناء عملية القلي، وتترافق مع التغيرات التي تحدث في المؤشرات اللونية الأخرى بالمقارنة مع عينة البطاطا قبل القلي. بلغت قيمة ΔE في عينات أصابع البطاطا 9.97، 11.47، 12.73 بالقلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 °م على الترتيب، وتفوقت العينات المقلية عند 165 °م معنوياً بأدنى قيمة لتغير اللون الكلي، وتوافقت هذه النتائج مع نتائج سابقة (Ngadi و Adedeji، 2017؛ Mazi و Aydinkaptana، 2017) حيث أشاروا إلى وجود فرق معنوي في تغير اللون ΔE بين العينات المقلية، وتزداد قيمة هذا التغير خلال الزمن عند درجات حرارة القلي الأعلى. بلغت قيمة معامل الاسمرار المحسوبة BI في عينات أصابع البطاطا 60.89، 65.95، 69.91 عند القلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 °م على الترتيب، وتفوقت العينات المقلية عند 165 °م معنوياً بأدنى قيمة لمؤشر الاسمرار، فقد أشار Michalak وزملاؤه (2019) إلى وجود ارتباط نسبي بين الاسمرار ومحتوى مادة الأكريلاميد في أنظمة القلي النموذجية التي تكون عندها المكونات وظروف المعالجة الحرارية مضبوطة بشكل تام، لذلك يعد مؤشر الاسمرار من القرائن اللونية المهمة عند القلي، ووفقاً لما ذكره Verma و Yadav (2022) يمكن أن يكون BI مؤشراً فعالاً في الوجبات الخفيفة ذات اللون الداكن لتجنب استهلاك الأكريلاميد في هذه الأغذية لأنه اكتشف وجود علاقة قوية بين معامل الاسمرار وقيمة محتوى الأكريلاميد في العينات المدروسة، ولذلك فقد أوصى ألا تزيد درجة حرارة القلي عن 175 °م، وتخزين البطاطا الخام بدرجة حرارة 8-12 °م للحد من تشكل السكريات المرجعة التي ترفع معامل الاسمرار.



المخطط (1) نتائج المؤشرات اللونية لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق

4-4- نتائج القوة المطبقة للاختراق لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق:

يظهر في الجدول (3) نتائج القوة المطبقة للاختراق (القوام) لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق المختلفة (درجة الحرارة والزمن)، وقد بلغت نتائج تقدير القوام (بالنسبة لقوى القص في اختبارات الاختراق shear cutting force in puncture tests) في عينات أصابع البطاطا 190.68، 192.72، 196.80 غ بالقلي العميق عند درجة حرارة 165،

175، 185 °م على الترتيب، وتوقفت العينات المقلية عند 165 °م و175 °م معنوياً بأدنى قيمة للقوة المطبقة للاختراق. وتقاربت هذه النتائج مع ما وجدته Li وزملاؤه (2019) التي تراوحت فيها القوة المطبقة للاختراق بين 114.21 و231.47 غ باختلاف الصنف. أشار Millin وزملاؤه (2016) إلى وجود ارتباط معنوي بين قوى القص ومحتوى الماء، وأكد أن قص أصابع البطاطا يعتمد بشكل كبير على درجة حرارة القلي وزمنه. وتصبح البطاطا المقلية أكثر صلابة مع ارتفاع درجة حرارة القلي إلى حد معين، وتعد هذه البيانات مهمة من الناحية التصنيعية لتحقيق خصائص مختلفة للمنتج المرغوب فيه عن طريق تعديل ظروف القلي من حيث الحرارة والزمن ونوع الزيت المستخدم لتتناسب مع قوام المنتج النهائي ومحتوى الزيت فيه. يعد القوام أحد أهم سمات الجودة لدرنات وأصابع البطاطا، إذ لا يقتصر تأثيره فقط من ناحية قبول وعادات المستهلكين، ولكنه يؤثر أيضاً على إطلاق مكونات النكهة الطيارة أثناء المضغ. يرتبط القوام لأصابع البطاطا بالمادة الجافة ارتباطاً وثيقاً، فأصناف البطاطا الجافة والحبيبية في الحالة الطازجة تصبح هشّة بعد القلي، في حين أن الأصناف الشمعية تصبح رطبة ولزجة بعد القلي (Gupta وزملاؤه، 2015)، وقد يفسر ذلك أيضاً التغيرات التي تحدث في القوام عند زيادة درجة حرارة القلي أو زمنه أو تغير وسيط القلي. تشير نتائج محتوى المادة الجافة في البطاطا الطازجة في الجدول (1) إلى 21.54%، ووفق الدراسة التي أجراها Leong وزملاؤه (2022) وضح أن أصابع البطاطا المقلية المنتجة من أصناف البطاطا ذات محتوى المادة الجافة أكبر من 20% تتطلب قوة قص أعلى لاختراق القشرة الخارجية بعد القلي مقارنة بتلك المنتجة من أصناف البطاطا ذات محتوى المادة الجافة المتوسط ما بين 19-20%، ويعد محتوى السكريات غير النشوية مثل البكتين والسليولوز واللجنين في أنسجة البطاطا من الخصائص الحيوية الكيميائية والفيزيائية التي تحدد الخصائص التركيبية للبطاطا المقلية الناتجة، ومن المحتمل أن تؤثر خصائص طهي النشاء على خصائص القوام لأصابع البطاطا المقلية، إما من ناحية القشرة الخارجية أو من حيث البنية الداخلية للأصابع (Allan وزملاؤه، 2021).

الجدول (3) نتائج القوة المطبقة للاختراق (القوام) لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق

185	175	165	م° حرارة القلي
^b 2.09±196.8	^a 2.11±192.72	^a 2.02±190.68	القوة المطبقة (غ)

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

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

4-5- نتائج التقييم الحسي لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق:

يوضح الجدول (4) نتائج التقييم الحسي لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق المختلفة (درجة الحرارة والزمن). تشير نتائج التقييم الحسي إلى تفوق العينات المقلية عند الدرجة 175 °م بصورة معنوية بالمقارنة مع العينات المقلية عند الدرجة 185 °م، وذلك عند كل المؤشرات المدروسة بقيم بلغت 8.4، 7.8، 7.6 و 7.9 لكل من القوام، النكهة، اللون والقبول العام على الترتيب، كما تفوقت أيضاً على العينات المقلية عند 165 °م بالقوام والقبول العام. توافقت نتائج التقييم الحسي لعينات أصابع البطاطا المقلية عند الدرجة 175 °م مع النتائج التي أشار إليها Li وزملاؤه (2022)، والذي وجد أن الحصول على أفضل درجات التقييم الحسي عند القلي بدرجة حرارة 170 °م. يجب أن يؤخذ بالحسبان أن الانطباع الحسي للعينة لا يعتمد فقط على وجود وكمية مركبات النكهة المتطايرة النشطة، ولكن أيضاً على الحدود الدنيا لهذه المركبات، وكذلك على الفعل التآزري لمركبات النكهة، أو قوة الطعم لبعض المركبات التي تكون ذات الرائحة الأقوى عند تحليلها في خليط، مما يلعب دوراً في الخصائص الحسية للمنتجات المقلية (Petersen وزملاؤه، 2013). أما بالنسبة لعينات أصابع البطاطا المقلية عند الدرجة 165 °م، فقد انخفضت درجة القبول العام إلى 7.6، وكانت درجة التقييم الحسي للون 7.4، وبلغت 7.7 للنكهة، و7.6 للقوام، وفي دراسة أجراها Xu وزملاؤه (2021) لوحظ وجود اختلافات في شدة الرائحة الزيتية، وكذلك زيادة كبيرة في الرائحة المعدنية بزيادة الزمن الكلي للقلي في أصابع البطاطا المقلية بغض النظر عن نوع زيت القلي،

وهنا لا بد من الإشارة إلى أن القلي عند درجة حرارة منخفضة يترافق مع زمن أطول للوصول إلى محتوى الماء النهائي المطلوب، بينما في عينات أصابع البطاطا المقلية عند الدرجة 185 °م كانت درجة القبول العام 7.4، وبلغت درجة تفضيل اللون 7.1، بينما بلغت درجة التقييم الحسي للنكهة 7.3 والقوام 7.8، ووفقاً لما ذكره Meinhart وزملاؤه (2020)، فإن الاختلافات الملحوظة في اختبارات التقييم الحسي خلال 24 ساعة من القلي ترتبط بتفاعلات أكسدة الدهون، والتي تزداد شدة في الزيوت التي تحتوي على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية متعددة عدم الإشباع.

الجدول (4) نتائج التقييم الحسي لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق

م° حرارة القلي	165	175	185
القبول العام	0.1±7.6 ^b	0.2±7.9 ^a	0.1±7.4 ^c
اللون	0.2±7.4 ^a	0.1±7.6 ^a	0.2±7.1 ^c
النكهة	0.3±7.7 ^a	0.2±7.8 ^a	0.3±7.3 ^b
القوام	7.6 ^b 0.2±	8.4 ^a 0.4±	7.8 ^b 0.3±

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

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

4-6- نتائج محتوى الأكريلاميد لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق:

يبين الجدول (5) نتائج محتوى الأكريلاميد لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق، وقد بلغت نسبة الأكريلاميد في أصابع البطاطا 812.93، 902.64، 1253.22 ميكروغرام/كغ عند درجة حرارة 165، 175، 185 °م على الترتيب. تشير النتائج في الجدول (6) إلى حدوث انخفاض معنوي في قيمة الأكريلاميد عند القلي بدرجة حرارة منخفضة وبلغ معدل الانخفاض في محتوى الأكريلاميد ما بين 35.13، 27.97 % عند القلي على درجة حرارة 165، 175 °م على الترتيب، بالمقارنة مع محتوى الأكريلاميد عند استخدام درجات أعلى عند 185 °م، وتفوقت الدرجة 165 °م بأدنى قيمة لمحتوى الأكريلاميد. أشار Liyanage وزملاؤه (2020) إلى تشكل مادة الأكريلاميد بكفاءة عند درجات حرارة القلي أعلى من 160 °م، وتؤدي درجات حرارة الزيت المرتفعة نسبياً (180-190 °م) إلى درجات حرارة سطحية كافية لتبخر الماء وهما من العوامل التي تساعد على تشكل الأكريلاميد. أما عند القلي بدرجة حرارة قريبة من 160 °م انخفض تشكل الأكريلاميد في البطاطا المقلية بنسبة 64-90% بحسب الصنف.

الجدول (5) نتائج محتوى الأكريلاميد لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق

م° حرارة القلي	165	175	185
محتوى الأكريلاميد (ميكرو غرام/كغ)	5.56±812.93 ^a	5.43±902.64 ^b	5.11±1253.22 ^c

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

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

4-7- عدد ساعات القلي لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق:

يوضح الجدول (6) عدد ساعات القلي الإجمالي (القلي والتسخين) لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق، 64، 67، 58 ساعة بالقلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 °م على الترتيب، وذلك بالاعتماد على محتوى المركبات القطبية الكلي TPC، مع مراعاة تعويض الزيت بنسبة الفقد في نهاية كل يوم عمل، كما أشار إليه Kita وزملاؤه (2005). وربما يعود هذا التفاوت في عدد ساعات القلي الإجمالي إلى تأثير الزمن المستغرق لنضج كل دفعة قلي في معدل تشكل المركبات القطبية، حيث يعد التأثير المشترك لدرجة الحرارة ووجود الأوكسجين وخروج الماء من المنتجات المقلية هو السبب الأساسي في تشكل المركبات القطبية، ولذلك تعد عملية القلي متداخلة ومعقدة إذ لا يمكن فصل هذه العوامل عن بعضها

(Márquez–Ruiz، 2009). يعد تحديد TPC في زيوت القلي المقياس الأكثر موثوقية لمدى التحلل التأكسدي لأن المركبات القطبية غير متطايرة وتمثل التفاعلات الرئيسية التي تحدث أثناء القلي، ويزداد TPC خلال فترة القلي بمعدلات ترتبط بنوع الزيت المستخدم في القلي، وقد أشار Tarmizi وزملاؤه (2019) إلى إمكانية ارتباط تغيير تركيب الأحماض الدهنية بارتفاع محتوى TPC، وأكد أن المستويات الكبيرة من الأحماض الدهنية أحادية عدم الإشباع والأحماض الدهنية المشبعة (SFA و MUFA) في الزيت توفر شكلاً من أشكال التأثير المثبط بدرجات مختلفة لتوليد TPC مقارنة بتلك الزيوت التي تحتوي على الأحماض الدهنية متعددة عدم الإشباع PUFA. وقد حددت المواصفة السورية 2003/2745 نسبة المركبات القطبية 25% للتخلص من زيت القلي (المواصفة السورية 2745، 2003). بينما وجد Askın و Kaya (2020) أن المعدل الأكبر لتشكل الأحماض الدهنية الحرة FFA في عينات زيت دوار الشمس مرتفع الأوليك مقارنة بعينات زيت دوار الشمس العادية بعد 72 ساعة من القلي، مما يشير إلى تأثير نوع الزيت في سرعة تشكل FFA. وكانت قيم FFA أعلى في الزيوت المستخدمة في قلي المنتجات مقارنة مع قيم FFA في الزيوت التي تم تسخينها بدون منتج (Abd Razak و زملاؤه، 2021)، وهذا يعد مؤشر لعدم صلاحية الزيوت للقلي لفترات طويلة.

الجدول (6) عدد ساعات القلي الإجمالي (القلي والتسخين) لأصابع البطاطا المقليّة بظروف القلي العميق

م [°] حرارة القلي	165	175	185
عدد ساعات القلي (ساعة)	^b 0.01±64	^a 0.01±67	^c 0.01±58

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

- تشير الأحرف المختلفة إلى وجود فروق معنوية ضمن السطر الواحد.

4-8- نتائج المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس في نهاية عملية القلي العميق لأصابع البطاطا:

يشير الجدول (7) إلى نتائج المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس في نهاية عملية القلي العميق لأصابع البطاطا، وقد وصلت نتائج رقم الحموضة إلى 1.21، 1.96، 2.34 مغ KOH/غ زيت بالقلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 م[°] على الترتيب. ويلاحظ ازدياد محتوى الأحماض الدهنية الحرة FFA مع زيادة عدد دورات القلي والتسخين، ويكون التغيير في FFA بعد القلي أكبر بالمقارنة مع تسخين الزيت بدون منتج، وتحدث الزيادة في FFA بسبب أكسدة وتفكك الروابط المضاعفة لتكوين مركبات الكربونيل والأحماض الدهنية منخفضة الوزن الجزيئي أثناء القلي. توافقت النتائج مع ما أشارت إليه الدراسات المرجعية (Sohu و زملاؤه، 2020؛ Maszewska و زملاؤه، 2018؛ Aniołowska و Kita، 2016). بلغت قرينة البيروكسيد 8.46، 8.91، 10.34 ميلي مكافئ أوكسجين/كغ زيت، عند القلي العميق على درجة حرارة 165، 175، 185 م[°] على الترتيب، لتتفوق العينات المحضرة عند 165 م[°] بصورة معنوية من حيث أدنى قيمة لكل من FFA وقرينة البيروكسيد، وتوافقت نتائج قرينة البيروكسيد مع التي وجدها Kuek و زملاؤه (2020). تبين الدراسات أن قيمة البيروكسيد لزيت دوار الشمس تزداد تدريجياً مع زيادة عدد دورات القلي وزمنه، وقد تصل إلى قيم غير مقبولة عند استمرار القلي، مما يؤدي إلى تحلل الهيدروبيروكسيدات وتشكل مركبات الكربونيل كجزء من نواتج الأكسدة الثانوية التي يمكن أن تتفاعل مع الأسباراجين لتكوين مادة الأكريلاميد السامة حتى بحال عدم وجود السكريات المختزلة (Kuek و زملاؤه، 2020؛ Farag و زملاؤه، 2009). بلغت نسبة الأحماض الدهنية متعددة عدم الإشباع إلى الأحماض الدهنية المشبعة (PUFA/SFA) التي يطلق عليها مؤشر البوليين polyene index، 1.33، 1.14، 0.98 عند القلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 م[°] على الترتيب، وتوفقت العينات المقليّة عند 165 م[°] بصورة معنوية بأعلى قيمة لنسبة PUFA/SFA، ويتفق ذلك مع الدراسات المرجعية (Romano و زملاؤه، 2021؛ Sohu و زملاؤه، 2020)

الجدول (7) نتائج المؤشرات الكيميائية لزيت دوار الشمس في نهاية عملية القلي العميق لأصابع البطاطا

185	175	165	م° حرارة القلي بالهواء
0.2 ± 2.34	0.2 ± 1.96	0.1 ± 1.21	(غ/كOH رقم الحموضة (مغ
0.3 ± 10.34	0.2 ± 8.91	0.3 ± 8.46	قرينة البيروكسيد (ميلي مكافئ أوكسجين/كغ زيت)
0.01 ± 0.98	0.01 ± 1.14	0.02 ± 1.33	PUFA/SFA

(N=3) - تمثل القيم في الجدول المتوسط الحسابي \pm الانحراف المعياري لثلاثة مكررات

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

5- الاستنتاجات:

- أدت عملية القلي بدرجة حرارة 175 م° إلى تفوق عينات أصابع البطاطا من حيث الخصائص الحسية وتقاربها مع الدرجة 165 م° من حيث قوة الاختراق.
- بلغ محتوى الأكريلاميد لأصابع البطاطا المقلية بظروف القلي العميق 812.93، 902.64، 1253.22 ميكروغرام/كغ عند درجة حرارة 165، 175، 185 م° على الترتيب.
- بلغ عدد ساعات القلي الإجمالي (القلي والتسخين) لأصابع البطاطا 64، 62، 58 ساعة بالقلي العميق عند درجة حرارة 165، 175، 185 م° على الترتيب، وذلك بالاعتماد على محتوى المركبات القطبية الكلي TPC.
- تفوقت العينات المحضرة عند 165 م° بصورة معنوية من حيث أدنى قيمة لكل من FFA وقرينة البيروكسيد، لنسبة PUFA/SFA، كأهم المؤشرات الكيميائية للزيت المدروس.

6- التوصيات:

- 1- إجراء عملية قلي البطاطا عند درجة حرارة 175 م° لمدة 12.31 دقائق.
- 2- عدم استخدام زيت القلي لفترات تتجاوز 62 ساعة حتى مع التجديد بنسبة الفقد.
- 3- إجراء دراسات مستقبلية حول الحد من تشكل الاكريلاميد في منتجات البطاطا.

7- المراجع:

- المواصفة القياسية السورية (2003). نقطة التخلص من الزيوت المستعملة في القلي، رقم 2745، هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، وزارة الصناعة، دمشق، سوريا.
- 1- Abd Razak, R. A., Ahmad Tarmizi, A. H., Kuntom, A., Sanny, M., & Ismail, I. S. (2021). Intermittent frying effect on French fries in palm olein, sunflower, soybean and canola oils on quality indices, 3-monochloropropane-1,2-diol esters (3-MCPDE), glycidyl esters (GE) and acrylamide contents. *Food Control*, 124, 107887.
 - 2- Abong, G., Joy, M., Okoth, M., & Kabira, J. (2023). Quality characteristics and levels of acrylamide in commercial French fries consumed in Nairobi, Kenya. *East African Journal of Science Technology and Innovation*, 4(3).
 - 3- Adedeji, A. A., & Ngadi, M. (2017). Impact of freezing method, frying and storage on fat absorption kinetics and structural changes of parfried potato. *Journal of Food Engineering*, 218, 24-32.
 - 4- Aladedunye, F. A. (2015). Curbing thermo-oxidative degradation of frying oils: Current knowledge and challenges. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(11), 1867-1881.
 - 5- Al-Asmar, A., Naviglio, D., Giosafatto, C. V. L., & Mariniello, L. (2018). Hydrocolloid-Based Coatings are Effective at Reducing Acrylamide and Oil Content of French Fries. *Coatings*, 8(4).
 - 6- Allan, M. C., Marinos, N., Johanningsmeier, S. D., Sato, A., & Truong, V.-D. (2021). Relationships between isolated sweetpotato starch properties and textural attributes of sweetpotato French fries. *Journal of Food Science*, 86(5), 1819-1834.
 - 7- Aniolowska, M., & Kita, A. (2016). The effect of frying on glycidyl esters content in palm oil. *Food Chemistry*, 203, 95-103.
 - 8- AOAC. (2005). Official methods of analysis. AOAC International.
 - 9- Arslan, M., Xiaobo, Z., Shi, J., Rakha, A., Hu, X., Zareef, M., et al. (2018). Oil Uptake by Potato Chips or French Fries: A Review. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(10), 1800058.
 - 10- Askin, B., & Kaya, Y. (2020). Effect of deep frying process on the quality of the refined oleic/linoleic sunflower seed oil and olive oil. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4716-4725.
 - 11- Aydinkaptan, E., & Mazi, B. (2017). Monitoring the physicochemical features of sunflower oil and French fries during repeated microwave frying and deep-fat frying. *Grasas y Aceites*, 68, 202.

- 12– Basuny, A. M., Mostafa, D. 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 J. Dairy Food Sci*, 4(2), 193–200 ISSN 1817–308X.
- 13– Bingol, G., Wang, B., Zhang, A., Pan, Z., & McHugh, T. H. (2014). Comparison of water and infrared blanching methods for processing performance and final product quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 121, 135–142.
- 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.
- 15– Boroujeni, L., Hojjatoleslami, 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.
- 16– Duarte–Delgado, D., Nustez–Lupez, C.–E., Narvaez–Cuenca, C.–E., Restrepo–S.ánchez, L.–P., Melo, S. E., Sarmiento, F. (2016). Natural variation of sucrose, glucose and fructose contents in Colombian genotypes of *Solanum tuberosum* Group Phureja at harvest. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(12), 4288–4294.
- 17– Farag, R. S., Basuny, A. M. M., Arafat, S. M., & Arafa, S. A. (2009). Use of some agricultural waste hull ashes for the regeneration of fried sunflower oil. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(9), 1850–1856.
- 18– Fradinho, P., Oliveira, A., Domínguez, H., Torres, M. D., Sousa, I., & Raymundo, A. J. I. F. S. (2020). Improving the nutritional performance of gluten–free pasta with potato peel autohydrolysis extract. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 63, 102374.
- 19– Ghaderi, A., Dehghannya, J., & Ghanbarzadeh, B. (2018). Momentum, heat and mass transfer enhancement during deep–fat frying process of potato strips: Influence of convective oil temperature. *International Journal of Thermal Sciences*, 134, 485–499.
- 20– Gupta, V. K., Luthra, S. K., & Singh, B. P. (2014). Storage behaviour and cooking quality of Indian potato varieties. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 4863–4873.
- 21– Horneț, G. A., Negoită, M., Mihai, A. L., Adascălului, A. C., & Bălan, D. (2021). Influence of Potato Variety and Type of Oil Used in Frying Potatoes on Acrylamide Level. *Current Trends in Natural Sciences*, 10(19), 99–104.
- 22– Huang, H. (2020). Process Optimization: Analysis Of Sugars Movement In Potato Strips Under Different Blanching and Pef Treatment.

- 23– Huang, Y., Li, M., Lu, J., Hu, H., Wang, Y., Li, C., et al. (2023). Inhibitory effect of hydrocolloids and ultrasound treatments on acrylamide and 5–hydroxymethylfurfural formation in French fries. *Food Hydrocolloids*, 133, 107839.
- 24– 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.
- 25– Kalogianni, E. P., Karastogiannidou, C., & Karapantsios, T. D. (2010). Effect of potato presence on the degradation of extra virgin olive oil during frying. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(4), 765–775.
- 26– Kim, J. Y., Kim, M.–J., & Lee, J. (2014). Role of moisture on the lipid oxidation determined by D2O in a linoleic acid model system. *Food Chemistry*, 146, 134–140.
- 27– Kirmaci, B., Singh, R. K., & Shewfelt, R. L. (2014). Consumer Acceptability and Quality Evaluation of Potato Strips Baked in a Radiant Wall Oven. *International Journal of Food Properties*, 18(8), 1829–1836.
- 28– Kita, A., Lisiska, 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.
- 29– Kochhar Parkash, S., & Gertz, C. (2004). New theoretical and practical aspects of the frying process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106(11), 722–727.
- 30– Kuek, S. L., Ahmad Tarmizi, A. H., Abd Razak, R. A., Jinap, S., Norliza, S., & Sanny, M. (2020). Contribution of lipid towards acrylamide formation during intermittent frying of French fries. *Food Control*, 118, 107430.
- 31– Leong, S. Y., Roberts, R., Hu, Z., Bremer, P., Silcock, P., Toepfl, S., et al. (2022). Texture and in vitro starch digestion kinetics of French fries produced from potatoes (*Solanum tuberosum* L.) pre–treated with pulsed electric fields. *Applied Food Research*, 2(2), 100194.
- 32– Li, X., Li, J., Wang, Y., Cao, P., & Liu, Y. (2017). Effects of frying oils fatty acids profile on the formation of polar lipids components and their retention in French fries over deep–frying process. *Food Chemistry*, 237, 98–105.
- 33– 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).
- 34– Liu, L., Huang, P., Xie, W., Wang, J., Li, Y., Wang, H., et al. (2021). Effect of air fryer frying temperature on the quality attributes of sturgeon steak and comparison of its performance with traditional deep fat frying. *Food Science & Nutrition*, 10(2), 342–353.

- 35– Liyanage, D. W. K., Yevtushenko, D. P., Korschuh, 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.
- 36– Márquez–Ruiz, G. (2009). Determination of polar compounds in used frying oils and fats by adsorption chromatography. *AOCS lipid library*.
- 37– Maszewska, M., Florowska, A., Matysiak, K., Marciniak–ukasiak, K., & Dlużewska, E. (2018). The study of palm and rapeseed oil stability during frying. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91.
- 38– Mba, O. I., Dumont, M.–J. e., & Ngadi, M. (2018). Characterization of tocopherols, tocotrienols and total carotenoids in deep–fat fried French fries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 69, 78–86.
- 39– Meinhart, A. D., da Silveira, Y. F. F., De Moraes, M. R., Petrarca, M. H., Constant, L. d. S., Ballus, C. A., et al. (2019). 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.
- 40– Mesias, M., Delgado–Andrade, C., Holgado, F., & Morales, F. J. (2019). Acrylamide content in French fries prepared in food service establishments. *LWT*, 100, 83–91.
- 41– 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).
- 42– Millin, T. M., Medina–Meza, I. G., Walters, B. C., Huber, K. C., Rasco, B. A., & Ganjyal, G. M. (2016). Frying Oil Temperature: Impact on Physical and Structural Properties of French Fries During the Par and Finish Frying Processes. *Food and Bioprocess Technology*, 9(12), 2080–2091.
- 43– 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.
- 44– Muthaiah, P. M., Govindaswamy, A., Semwal, A. D., & Sharma, G. K. (2019). HPLC–UV quantitative analysis of acrylamide in snack foods of India. *Defence Life Science Journal*, 4(1), 45–54.
- 45– Nayak, P. K., Dash, U., Rayaguru, K., & Krishnan, K. R. (2015). Physio–Chemical Changes During Repeated Frying of Cooked Oil: A Review. *Journal of Food Biochemistry*, 40(3), 371–390.

- 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– Petersen, K. D., Jahreis, G., Busch–Stockfish, 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.
- 48– Romano, R., Filosa, G., Pizzolongo, F., Durazzo, A., Lucarini, M., Severino, P., et al. (2021). Oxidative stability of high oleic sunflower oil during deep–frying process of purple potato *Purple Majesty*. *Heliyon*, 7(3).
- 49– Rommens, C. M., Shakya, R., Heap, M., & Fessenden, K. (2010). Tastier and Healthier Alternatives to French Fries. *Journal of Food Science*, 75(4), H109–H115.
- 50– Sawicka, B., Pszczolkowski, P., Kieltyka–Dadasiewicz, A., Barbas, P., Cwintal, M., & Krochmal–Marczak, B. (2021). The Effect of Effective Microorganisms on the Quality of Potato Chips and French Fries. *Applied Sciences*, 11(4).
- 51– Sohu, S. (2020). Nutritional Changes in Commercial Oil Blend During Repetitive Deep Fat Frying of French Fries with Sensory Characteristic of Fried Food. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 21(2), 358–367.
- 52– Tarmizi, A., Haizam, A., Hishamuddin, E., & Abd Razak, R. A. (2019). Impartial assessment of oil degradation through partitioning of polar compounds in vegetable oils under simulated frying practice of fast food restaurants. *Food Control*, 96, 445–455.
- 53– Vauvre, J.–M., Kesteloot, R., Patsioura, A., & Vitrac, O. (2014). Microscopic oil uptake mechanisms in fried products*. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(6), 741–755.
- 54– 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.
- 55– Vitrac, O., Dufour, D., Trystram, G., & Raoult–Wack, A.–L. (2002). Characterization of heat and mass transfer during deep–fat frying and its effect on cassava chip quality. *Journal of Food Engineering*, 53(2), 161–176.
- 56– 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.
- 57– Xu, L., Chang, J., Mei, X., Zhang, Y., Wu, G., Jin, Q., Wang, X. (2021). Comparative analysis of aroma compounds in French fries and palm oil at three crucial stages by

- GC/MS–olfactometry, odor activity values, and aroma recombination. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(7), 2792–2804.
- 58– 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 GC–MS, GC–O, and Sensory Evaluation. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 98(6), 657–671.
- 59– Yang, D., Wu, G., Li, P., Qi, X., Zhang, H., Wang, X., Jin, Q. (2020). The effect of fatty acid composition on the oil absorption behavior and surface morphology of fried potato sticks via LF–NMR, MRI, and SEM. *Food Chemistry: X*, 7, 100095.
- 60– Yassin, M. A., Shindia, A., Labib, M., Soud, M., & El–Sayed, A. S. A. (2022). Thermostable Chitosan–L–Asparaginase conjugate from *Aspergillus fumigatus* is a novel structurally stable composite for abolishing acrylamide formation in French fried potatoes. *LWT*, 162, 113494.
- 61– Zamani–Ghalehshahi, A., & Farzaneh, P. (2020). Effect of hydrocolloid coatings (Basil seed gum, xanthan, and methyl cellulose) on the mass transfer kinetics and quality of fried potato strips. *Journal of Food Science*, 86(4), 1215–1227.