

تحسين لون زيت مخلفات أسماك الكارب *Cyprinus carpio*

المستخلص بالأشعة تحت الحمراء بطريقة سطح الاستجابة

صباح مالك حبيب الشطي^{*}، أسعد رحمان سعيد الحلبي، آثير عبد الامير عبد الجبار المطوري

قسم علوم الأغذية، كلية الزراعة، جامعة البصرة، البصرة، العراق

البريد الإلكتروني: sabahalshatty@yahoo.com

Optimization of Carp (*Cyprinus carpio*)

Fish Wastes Oil Color Extracted by Using Infra-red Ray with Response Surface Methodology

Sabah M. H. Al-Shatty^{*}, Asaad R.S. Al-Hilphy, and Atheer A.A. Al-Mtury

Department of Food Science, College of Agriculture, University of Basrah, Basrah, Iraq.

Received: 15 September 2019; Revised: 28 November 2019; Accepted: 12 December 2019

الملخص

تم استخلاص زيت مخلفات سمك الكارب (*Cyprinus carpio*) بواسطة جهاز يعمل بالأشعة تحت الحمراء وان الهدف من هذه الدراسة هو قياس احد الصفات الحسية المهمة وهي صفة اللون بطريقة معالجة الصور Image processing وتضمنت هذه الصفة المهمة دراسة عدة مؤشرات لها وهي درجة الوضوح L^* ، درجة الاحمرار/الاحضرار a^* ، درجة الاصفرار/الازرقاق b^* ، زاوية اللون h . أجريت عملية التحسين بطريقة سطح الاستجابة باستخدام التصميم المركب المركزي من أجل تحديد الظروف المثلى للحصول على أفضل صفات اللون للزيت المستخلص، واستخدمت معادلات الانحدار المتعدد اللاخطي إذ انه من خلالها يمكن التنبؤ بقيم صفات اللون. أظهرت النتائج أن أعلى قيم عملية ومتنبئ بها لدرجة الوضوح، درجة الاحمرار/الاحضرار، درجة الاصفرار/الزرقة، زاوية اللون هي 62.53، 39.15، 0.94، 1.12، 50.82، 33.89، 1.15، 0.096 على التوالي. أظهرت نتائج التحليل الاحصائي وجود تأثير معنوي ($P < 0.05$) لدرجة الحرارة، القدرة، المسافة والتداخلات فيما بينها في a^* ، بينما لم تتأثر معنويًا كل من L^* و b^* و h بتلك المعاملات. وقد أظهرت نتائج التحسين ان الظروف المثلى كانت 66.14 مئوي، 215.94 واط، 24.02 سم لكل من درجة الحرارة والقدرة والمسافة على التوالي.

الكلمات الدالة: زيت السمك، برنامج Image processing، مخلفات سمك الكارب، لون الزيت، الأشعة تحت الحمراء.

Abstract

Common carp (*Cyprinus carpio*) fish wastes oil was extracted by using infrared rays. The study aimed to measure one of the important sensory characteristics, which is the colour characteristic using the image processing method. The parameters of colour were lightness (L^*), redness/greenness (a^*), yellowness/blueness (b^*), and hue angle (h). The optimization process was carried out in a response surface methodology using the central composite design for determining the optimal conditions for obtaining the best colour components of the extracted oil. Quadratic polynomial regression models have been utilized to predict the colour properties values. The results showed that the highest values of practical and predictive to L^* , a^* , b^* , and h were 62.35, 39.15, 0.94, 1.12, 50.82, 33.89, 1.15, and 0.096 respectively. The statistical analysis results revealed that there is a significant effect ($P < 0.05$) for the temperature, power, distance, and interaction between them in a^* , while L^* , b^* , and h were not significantly affected by these treatments. Optimization results showed that the optimum conditions were 66.14 °C, 215.94 watts, and 24.02 cm of the temperature, power, and distance respectively to produce the best colour characteristics.

Keywords: Fish oil, Image processing, Carp fish waste, Oil color, Infrared.

1. المقدمة

يعتبر لون سطح الغذاء من العوامل المهمة في تحديد جودته ومدى تقبل المستهلك قبل دخوله الى الفم. ان لون السطح مهم جدا من قبل المستهلك ويستعمله كصفة لقبول او رفض الغذاء (Abdullah *et al.*, 2004; Hatcher *et al.*, 2004; Due and Sun, 2004 ;Pedreschi *et al.*, 2000).

بين (Costa *et al.*, 2011) ان اللون هو أحد اهم الصفات الحسية النوعية للغذاء الطازج أو المصنع ومنتجاته. وان اللون يعد صفة حسية تؤثر على رغبة المستهلك، خصائص الضوء من الممكن قياسها بمصطلح الشدة Intensity والطول الموجي Wave length وأن لون المادة يصبح مرئي فقط عندما ينبعث الضوء من مصدر الانارة (Sahin and Sumnu, 2006). يقاس لون الاغذية عادة في وحدات (L*, a*, b*) باستخدام جهاز قياس اللون او بيانات نوعية مكتسبة اضافة الى عملية التصوير. ترمز L*, a*, b* الى المواصفة الدولية لمقاييس اللون والتي تبنت بواسطة The Commission (CIE) International d'Eclairage في عام 1976. ان قيم L* تبين فيما اذا كان اللون غامق (قيمة L* منخفضة) او فاتح (قيمة L* عالية) اذ تبين مدى الوضوح للمنتج، اما قيمة a* تعني اللون المحمر reddish colors اذا كانت ذات قيمة موجبة (+)، اما اذا كانت ذات قيمة سالبة (-) فتعني اللون المخضر greenish. وان قيمة b* تعني اللون المصفر yellowish colors اذا كانت ذات قيمة موجبة (+)، اما اذا كانت ذات قيمة سالبة (-) فتعني اللون المزرقي bluish colors (Gulrajani, 2010; Pathare *et al.*, 2012). ونظرا لعدم وجود دراسات علمية حول الصفات الحسية (اللون) بطريقة Image processing فقد اجريت هذه الدراسة والتي تهدف لبيان قياس الصفات الحسية وتشمل درجة الوضوح، درجة الاحمرار/الاحضرار، درجة الاصفرار/الازرقاق، زاوية اللون للزيت المستخلص من مخلفات اسماك الكارب، وتحسين الصفات اللونية من خلال ايجاد الظروف المثلى لعوامل التجربة.

2. المواد وطرق العمل

تم استخلاص زيت مخلفات اسماك الكارب بواسطة جهاز لاستخلاص الزيوت يعمل بالأشعة تحت الحمراء والمصنع محليا من قبل المطوري (2019) الذي يتكون من مصدر للأشعة تحت الحمراء ويعمل بطول موجي 6 مايكرومتر (المطوري, 2018).

1.2. قياس اللون

استخدمت طريقة معالجة الصور Image processing method لتحليل صفات اللون للزيوت. تم التقاط صور للزيوت بكاميرا رقمية عالية الدقة (20.3 mega pixel) عند اضاءة مناسبة، واستخدم برنامج J image لحساب قيم a* و L* و b* و h وادخالها في معادلات رياضية خاصة لتصحيح قيم اللون حسب ما ذكره (Yam and Papadakis 2004). وتم قياس (L*) الوضوح lightness و (a*) الاحمرار/الاحضرار redness/greenish و (b*) الاصفرار/الزرق yellowness/bluish، وزاوية اللون (h) Hue angle لصفات لون الزيوت.

2.2. تصميم التجارب

استخدمت ثلاثة عوامل مستقلة هي درجة الحرارة والقدرة والمسافة بين مصدر الأشعة تحت الحمراء والمخلفات لتحسين صفات لون زيت مخلفات الأسماك باستخدام برنامج Design Expert v.7 بطريقة سطح الاستجابة Response Surface methodology باستخدام التصميم المركب المركزي Central composite design (CCD). يوضح الجدول (1) المديات التجريبية للعوامل المستقلة في الـ CCD. وهناك عشرون معاملة موزعة عشوائياً. استخدمت معادلة الأنحدار المتعدد اللاخطي Quadratic polynomial regression model للتنبؤ بصفات لون زيت مخلفات الأسماك (معادلة 1):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j \quad \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن:

Y : الاستجابة (a* و L* و b* و h*).

K : عوامل التجربة.

β_0 : ثابت

β_i : ثابت متعلق بالجزء الخطي بالمعادلة.

β_{ii} : ثابت متعلق بالجزء اللاخطي بالمعادلة.

β_{ij} : ثابت متعلق بالجزء الخاص بالتداخل في المعادلة.

جدول 1. المديات التجريبية للعوامل المستقلة في التصميم المركب المركزي CCD لصفات لون الزيت.

العوامل	الرمز	المستويات		
		1+	0	1-
درجة الحرارة (مئوي)	X ₁	70	60	50
القدرة (واط)	X ₂	250	190	130
المسافة (سم)	X ₃	30	15.50	1

3. النتائج والمناقشة

1.3. درجة الوضوح Lightness

اللون هو أحد أكثر الصفات النوعية التي تستخدم للمنتجات الغذائية والتي لها تأثيراً كبيراً على رغبة المستهلك والسعر النهائي للمنتج (Latscha, 1989). ان قيم L* تبين فيما إذا كان اللون غامق (قيمة L* منخفضة) او فاتح (قيمة L* عالية) اذ تبين مدى الوضوح للمنتج. يوضح الجدول (2) مصفوفة التصميم المركب المركزي للمسافة والقدرة ودرجة الحرارة واستجابة درجة الوضوح المنتبأ بها عن طريق التحسين ومطابقته مع درجة الوضوح العملية. تم الحصول على الظروف المتمثلة المسافة 15.5 سم والقدرة 190 واط ودرجة الحرارة 60 مئوي (التسلسل 2) اذ اعطت اعلى درجة وضوح للون الزيت حيث بلغت درجة الوضوح العملية 62.35 أما المنتبأ بها فكانت اعلى درجة وضوح 56.82 عند المسافة 30 سم والقدرة 190 واط ودرجة الحرارة 60

مئوي (التسلسل 6) وهذا يعود الى انخفاض درجة الحرارة اذ ان الزمن اللازم لتعرض المخلفات الى الاشعة تحت الحمراء يكون قليل على الرغم من زيادة القدرة وتقليل المسافة. ، وهذا يشير الى ان المسافة 15.5 سم والقدرة 190 واط ودرجة الحرارة 60 مئوي هم الافضل في درجة وضوح لون الزيت.

أشار (2017) Al-Hilphy إلى أن زيادة مدة التعرض للأشعة تحت الحمراء يؤدي إلى زيادة دكاعة او عتمة اللون. وأن الفروقات بين المعاملات سواء للقيم العملية فيما بينها أو المتنبئ بها فيما بينها وكذلك الفروقات بين القيم العملية والمتنبئ بها لم تكن معنوية إحصائياً.

جدول 2. مصفوفة التصميم المركب المركزي للمسافة والقدرة ودرجة الحرارة واستجابة درجة الوضوح L^*

التسلسل	المسافة (سم) X3	القدرة(واط) X2	درجة الحرارة (م°) X1	درجة الوضوح L^* العملية	درجة الوضوح L^* المتنبأ بها
1	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	51.37	50.6
2	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	62.35	50.6
3	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	46.86	50.6
4	1 (-1)	130 (-1)	50 (-1)	50.93	47.26
5	30 (+1)	130 (-1)	50 (-1)	54.70	55.41
6	30 (+1)	190 (0)	60 (0)	53.52	56.82
7	15.5 (0)	130 (-1)	60 (0)	50.19	50.5
8	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	44.50	50.6
9	15.5 (0)	190 (0)	70 (+1)	53.52	48.9
10	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	48.82	50.6
11	15.5 (0)	190 (0)	50 (-1)	38.43	45.05
12	30 (+1)	130 (-1)	70 (+1)	51.37	49.36
13	1 (-1)	250 (+1)	70 (+1)	54.11	52.9
14	30 (+1)	250 (+1)	70 (+1)	52.74	55.91
15	1 (+1)	250 (+1)	50 (-1)	37.64	39.15
16	15.5 (0)	250 (+1)	60 (0)	48.03	49.72
17	30 (+1)	250 (+1)	50 (-1)	55.29	50.12
18	1 (-1)	130 (-1)	70 (+1)	44.50	49.17
19	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	53.72	50.6
20	1 (-1)	190 (0)	60 (0)	52.54	51.24
	0.999 p-value بين القيم العملية والمتنبأ بها (الصفوف)				
	ns RLSD بين المعاملات لقيمة L^* العملية				
	ns RLSD بين المعاملات لقيمة L^* المتنبأ بها				

يوضح الجدول (3) تحليل التباين للعوامل المستقلة (المسافة والقدرة ودرجة الحرارة) المؤثرة على سطح الاستجابة (درجة الوضوح). حيث اظهرت نتائج التحليل الاحصائي أن الموديل الرياضي لم يكن تأثيره معنويا ($p < 0.05$) على الرغم من ان قيمة

Lack of Fit كانت غير معنوية ($p > 0.05$) وهذا يبين ان العوامل المستقلة لم تؤثر معنويا في صفة درجة الوضوح عند تطبيق الموديل للتنبؤ بدرجة الوضوح. المعادلة اللاخطية التالية تم الحصول عليها لتصف تأثير العوامل المستقلة في درجة الوضوح:

$$\begin{aligned} \text{Lightness}(L) = & +50.60 + 7.54X_1 - 1.08X_2 + 0.49X_3 + 2.96X_1X_2 - \\ & 1.99X_1X_3 + 0.70X_2X_3 - 3.63X_1^2 - 0.49X_2^2 + 3.43X_3^2 - 2.77X_1X_2X_3 + \\ & 0.87X_1^2X_2 + 2.87X_1^2X_3 - 7.02X_1X_2^2 \end{aligned} \quad \dots \quad (2)$$

حيث أن: X_1 : درجة الحرارة (مئوي)، X_2 : القدرة (واط)، X_3 : المسافة (سم).

وبلغت قيمة معامل التحديد (R^2) 0.6719 وقيمة الانحراف القياسي 5.91.

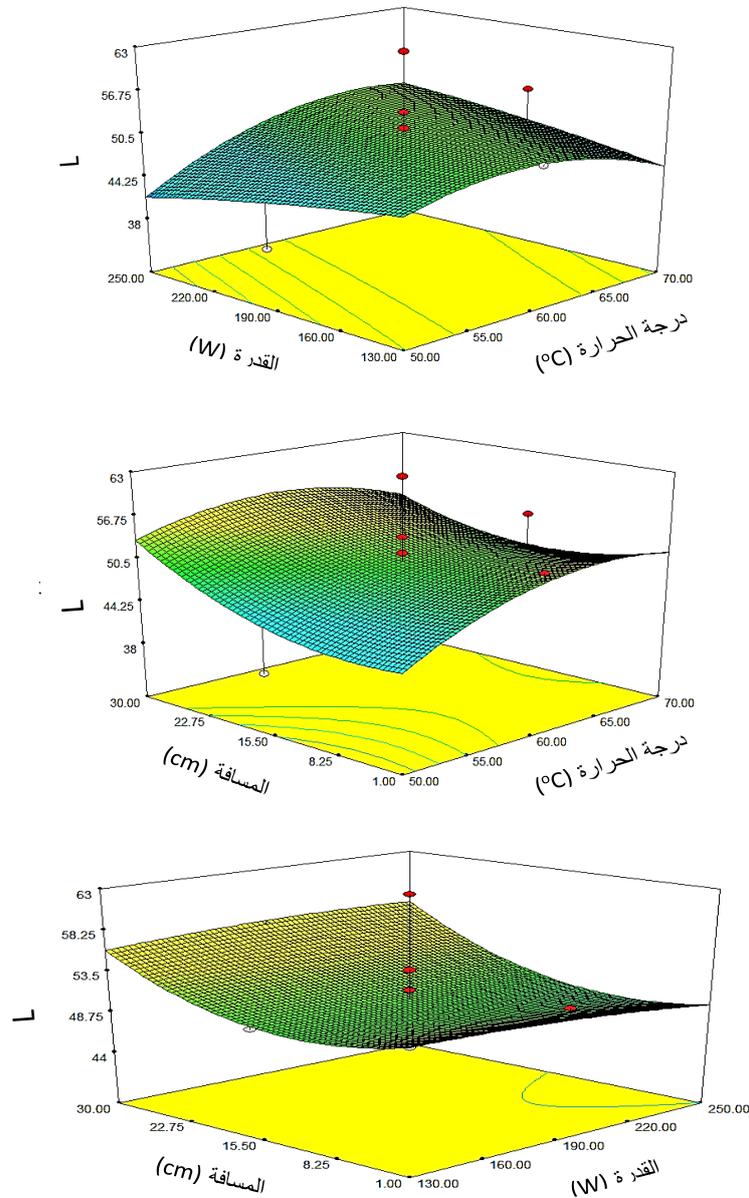
جدول (3): تحليل التباين لدرجة الوضوح L^*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	273.89	9	30.43	0.84	0.6008	not significant
X1	37.06	1	37.06	1.02	0.3366	
X2	1.51	1	1.51	0.041	0.8429	
X3	77.84	1	77.84	2.14	0.1742	
X1X2	70.09	1	70.09	1.93	0.1953	
X1X3	31.68	1	31.68	0.87	0.3727	
X2X3	3.98	1	3.98	0.11	0.7478	
X_1^2	36.19	1	36.19	0.99	0.3421	
X_2^2	0.67	1	0.67	0.018	0.8949	
X_3^2	32.3	1	32.3	0.89	0.3682	
Residual	363.78	10	36.38			
Lack of Fit	163.72	5	32.74	0.82	0.5844	not significant
Pure Error	200.06	5	40.01			
Cor Total	637.67	19				

1.1.3. تحليل سطح الاستجابة لدرجة الوضوح (L^*) *Response Surface Analysis for Lightness*

يوضح الشكل (1) الرسم الثلاثي الأبعاد والذي يعطي صورة واضحة حول العلاقة بين العوامل المستقلة (المسافة، القدرة، درجة الحرارة) والعامل التابع (درجة الوضوح). ازدادت قيمة L^* بصورة غير معنوية عند زيادة درجة الحرارة. فعندما كانت درجة الحرارة 50 مئوي والقدرة 190 واط والمسافة 15.5 سم بلغت قيمة L^* العملية والمتنبئ بها 38.43 و 45.05 على التوالي، وعندما ازدادت درجة الحرارة الى 70 مئوي عند نفس القدرة والمسافة بلغت قيمة L^* 53.52 و 48.90 على التوالي. أظهرت النتائج حصول انخفاض غير معنوي عند زيادة القدرة مع تثبيت النقاط المركزية من المسافة ودرجة الحرارة. بلغت قيمة L^* العملية والمتنبئ

بها 50.19 و 50.49 على التوالي عند القدرة 130 واط، وانخفضت إلى 48.03 و 49.72 واط على التوالي عند زيادة القدرة إلى 250 واط. أما بخصوص تأثير المسافة فان زيادتها سببت زيادة غير معنوية في قيمة L^* ، فمثلا عندما كانت المسافة 1 سم بلغت قيمة L^* العملية والمتنبئ بها 52.54 و 51.24 على التوالي، وعندما ازدادت المسافة إلى 30 سم ازدادت قيمة L^* إلى 53.52 و 56.82 على التوالي. وتعود الزيادة في قيمة L^* عند زيادة المسافة إلى تشتت جزء من الأشعاع تحت الحمراء وانعكاساته على الجدران الداخلية للأسطوانة وبالتالي تقل شدته على المخلفات وهذا يشير إلى ان زيادة المسافة يؤدي إلى صفاء لون الزيت.



شكل 1. تأثير القدرة ودرجة الحرارة والمسافة على درجة الوضوح L^*

أما بالنسبة للتداخل بين درجة الحرارة والقدرة فقد بينت النتائج انه عند درجة الحرارة 50 مئوي والقدرة 250 واط بلغت قيمة L^* 41.20 وعند درجة الحرارة 50 مئوي والقدرة 130 واط بلغت قيمة L^* 47.90 عند تثبيت المسافة عند النقطة المركزية البالغة 15.5 في كلتا الحالتين. عند درجة الحرارة 70 مئوي والقدرة 250 واط بلغت قيمة L^* 50.97 بينما انخفضت قيمة L^* الى 45.83 عند درجة الحرارة 70 مئوي والقدرة 130 واط. من ناحية التداخل بين درجة الحرارة والمسافة، فعند درجة الحرارة 50 مئوي والمسافة 30 سم عند القدرة المركزية 190 واط بلغت قيمة L^* 53.25 وعند درجة الحرارة 50 مئوي والمسافة 1 سم فقد بلغت 43.69 اما عند درجة الحرارة 70 مئوي والمسافة 30 سم ازدادت قيمة L^* الى 53.12. وفيما يتعلق بالتداخل بين القدرة والمسافة فعند القدرة 130 واط والمسافة 1 سم بلغت قيمة L^* 51.84 وعند القدرة 250 واط والمسافة 1 سم وعند درجة الحرارة المركزية (60 مئوي) بلغت 49.65. عند القدرة 130 واط والمسافة 30 سم بلغت 56.01 وازدادت الى 56.64 عند القدرة 250 واط والمسافة 30 سم. عند القدرة 130 واط والمسافة 30 سم بلغت 56.01.

2.3. الاحمرار/الاخضرار (a^*) Redness/greenness

إن قيمة a^* تعني اللون المحمر reddish colours إذا كانت ذات قيمة موجبة (+)، اما اذا كانت ذات قيمة سالبة (-) فتعني اللون المخضر greenish colours (Gulrajani, 2010; Pathare *et al.*, 2012) تتراوح قيمة a^* بين -120 و 120 (León *et al.*, 2006).

يوضح جدول (4) مصفوفة التصميم المركب المركزي للمسافة والقدرة ودرجة الحرارة واستجابة الاحمرار/الاخضرار المتنبأ بها عن طريق التحسين ومطابقتها مع درجة الاحمرار/الاخضرار العملية. تم الحصول على الظروف المتمثلة المسافة 15.5 سم والقدرة 190 واط ودرجة الحرارة 50 مئوي التسلسل 11 اذ اعطت اعلى درجة احمرار للزيت حيث بلغت درجة احمرار الزيت العملي 0.94، 1.12 على التوالي وهذا يعود الى انخفاض درجة الحرارة اذ ان الزمن اللازم لتعرض المخلفات الى الاشعة تحت الحمراء يكون قليل على الرغم من زيادة القدرة وتقليل المسافة. يميل لون الزيت للاخضرار بشكل أكبر عند الظروف 15.5 سم و 190 واط و 70 مئوي اذ بلغت قيمة a^* -8.47 و -8.29 على التوالي وكذلك اعطت الظروف 1 سم و 250 واط و 70 مئوي اذ بلغت قيمة a^* -8.47 و -8.52 على التوالي. المسافة 15.5 سم والقدرة 190 واط ودرجة الحرارة 50 مئوي هم الأفضل في درجة احمرار لون الزيت.

جدول 4. مصفوفة التصميم المركب المركزي للمسافة والقدرة ودرجة الحرارة واستجابة a^*

التسلسل	المسافة (سم) X3	القدرة (واط) X2	درجة الحرارة (م°) X1	a^* العملية	a^* المتنبأ بها
1	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	-5.67	-4.59
2	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	-3.29	-4.59
3	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	-2.82	-4.59
4	1 (-1)	130 (-1)	50 (-1)	-2.82	-2.87
5	30 (+1)	130 (-1)	50 (-1)	-5.17	-5.22
6	30 (+1)	190 (0)	60 (0)	-7.05	-6.87
7	15.5 (0)	130 (-1)	60 (0)	-1.47	-1.29
8	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	-4.23	-4.59
9	15.5 (0)	190 (0)	70 (+1)	-8.47	-8.29
10	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	-5.64	-4.59
11	15.5 (0)	190 (0)	50 (-1)	0.94	1.12
12	30 (+1)	130 (-1)	70 (+1)	-1.41	-1.46
13	1 (-1)	250 (+1)	70 (+1)	-8.47	-8.52
14	30 (+1)	250 (+1)	70 (+1)	-6.58	-6.63
15	1 (+1)	250 (+1)	50 (-1)	-1.88	-1.93
16	15.5 (0)	250 (+1)	60 (0)	-6.58	-6.4
17	30 (+1)	250 (+1)	50 (-1)	-8	-8.05
18	1 (-1)	130 (-1)	70 (+1)	-4.23	-4.28
19	15.5 (0)	190 (0)	60 (0)	-5.17	-4.59
20	1 (-1)	190 (0)	60 (0)	-6.58	-6.4
p-value بين القيم العملية والمتنبأ بها (الصفوف) 0.945					
RLSD بين المعاملات لقيمة a^* العملية 1.876					
RLSD بين المعاملات لقيمة a^* المتنبأ بها 1.984					

يوضح الجدول (5) تحليل التباين للعوامل المستقلة (المسافة والقدرة ودرجة الحرارة) المؤثرة على سطح الاستجابة (a^*). أظهرت النتائج ان الموديل الرياضي كان تأثيره معنويًا ($p < 0.05$) وقيمة Lack of Fit كانت غير معنوية ($p > 0.05$) وهذا يبين ان التطابق جيد للموديل الرياضي على البيانات. بلغت قيمة معامل التحديد (R^2) 0.9393 وقيمة الانحراف القياسي 1.14. ان العلاقة بين درجة الاحمرار والعوامل المستقلة التي تمثل المسافة والقدرة ودرجة الحرارة والتداخل بينهما تنطبق عليه معادلة الانحدار المتعدد اللاخطي والتي من خلالها يمكن التنبؤ بدرجة الاحمرار (معادلة 3).

$$\text{Redness } (a^*) = -4.59 - 4.70X1 - 2.56X2 - 0.23X3 - 0.94X1X2 + 1.56X1X3 - 0.59X2X3 + 1.01X1^2 + 0.75X2^2 - 2.04X3^2 + 0.36X1X2X3 + 1.14X1^2X2 - 0.24X1^2X3 + 4.35X1X2^2 \dots\dots\dots (3)$$

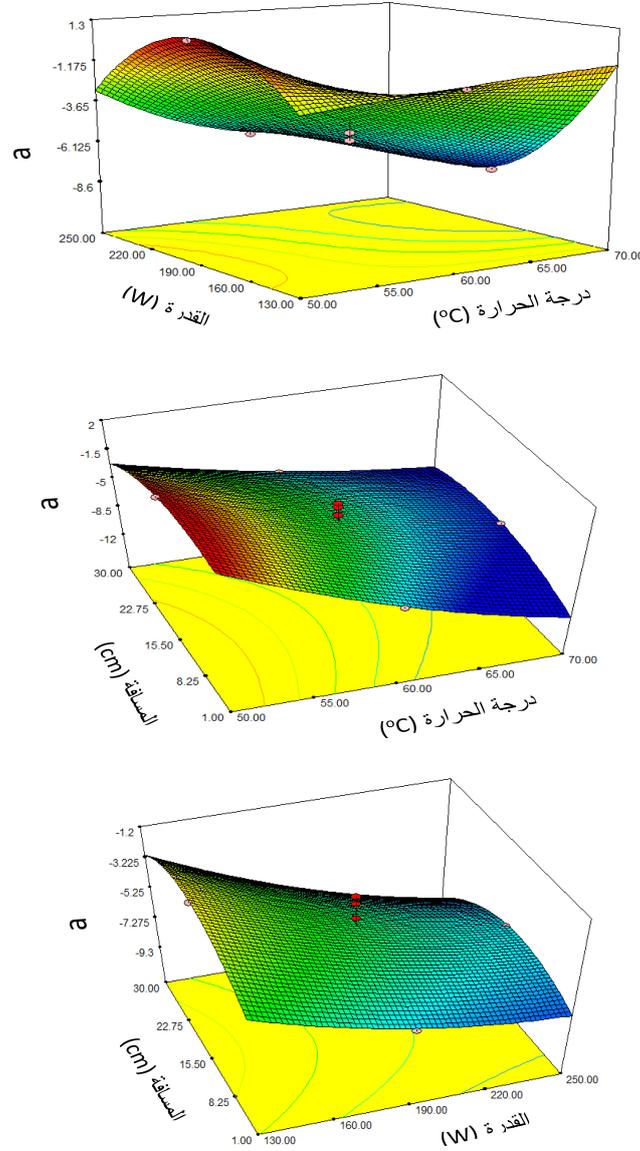
حيث أن: X1: درجة الحرارة (مئوي)، X2: القدرة (واط)، X3: المسافة (سم).

جدول 5. جدول تحليل التباين لدرجة الاحمرار/الاحضرار^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	Prob > F
Model	120.43	13	9.26	7.14	0.012	significant
X1	44.27	1	44.27	34.13	0.0011	
X2	13.06	1	13.06	10.07	0.0193	
X3	0.11	1	0.11	0.085	0.7803	
X1X2	7.07	1	7.07	5.45	0.0583	
X1X3	21.71	1	21.71	16.74	0.0064	
X2X3	2.76	1	2.76	2.13	0.1948	
X1 ²	2.82	1	2.82	2.17	0.1909	
X2 ²	1.56	1	1.56	1.2	0.3154	
X3 ²	11.42	1	11.42	8.8	0.0251	
X1X2X3	1.01	1	1.01	0.78	0.4119	
X2X1 ²	2.09	1	2.09	1.61	0.2515	
X3X1 ²	0.088	1	0.088	0.068	0.8028	
X1 X2 ²	30.31	1	30.31	23.37	0.0029	
Residual	7.78	6	1.3			
Lack of Fit	0.31	1	0.31	0.21	0.6671	not significant
Pure Error	7.47	5	1.49			
Cor Total	128.21	19				
R ²	0.9393					
SD	1.14					

1.2.3. تحليل سطح الاستجابة لدرجة الاحمرار/الاحضرار *Response Surface Analysis for Redness/greenish*

يوضح الشكل (2) الرسم الثلاثي الأبعاد والذي يعطي صورة واضحة عن العلاقة بين العوامل المستقلة (المسافة، القدرة، درجة الحرارة) والعامل التابع a^* . انخفضت قيمة a^* معنوياً مع زيادة درجة الحرارة. عندما كانت درجة الحرارة 50 مئوي بلغت قيمة a^* 1.12. وعندما ازدادت درجة الحرارة إلى 70 مئوي بلغت قيمة a^* -8.28، وهذا يعني تغير لون الزيت من اللون الأحمر إلى اللون المخضر عند زيادة درجة الحرارة حيث درجة الحرارة تؤثر على التفاعلات البايوكيميائية في الزيت مما يؤدي إلى تغير اللون. من ناحية تأثير القدرة فقد أظهرت النتائج ان زيادة القدرة أدت إلى انخفاض معنوي في قيمة a^* . فمثلاً عندما كانت القدرة 130 و 190 و 250 واط بلغت قيمة a^* -1.28 و -4.23 و -6.39 على التوالي وتمثل ان لون الزيت مخضراً، وهذا يعود إلى ان زيادة القدرة تؤدي إلى التسخين السريع ورفع درجة الحرارة بسرعة مما أثر على التفاعلات البايوكيميائية في الزيت. بالنسبة لتأثير المسافة فقد اوضحت النتائج ان المسافة لم تؤثر معنوياً في قيمة a^* بالرغم من حصول ارتفاع غير معنوي في قيمتها عند زيادة المسافة من 1 إلى 15.5 سم حيث ازدادت من -6.39 إلى -4.23 ثم انخفضت إلى -86.6 عند زيادة المسافة إلى 30 سم.



شكل 2. تأثير القدرة ودرجة الحرارة والمسافة على a^*

بالنسبة للتداخل بين درجة الحرارة والقدرة فقد بينت النتائج ان التداخل لم يكن معنويا في قيمة a^* ، وعلى الرغم من ذلك فعندما كانت القدرة 250 واط ودرجة الحرارة 50 مئوية بلغت قيمة a^* -2.94 وازدادت إلى -2 عند القدرة 130 واط ودرجة الحرارة 50 مئوية إذ لون الزيت يميل الى الاخضرار وازدادت إلى -0.82 عند القدرة 130 واط ودرجة الحرارة 70 مئوية، ولكنها انخفضت الى -5.53 عند القدرة 250 واط ودرجة الحرارة 70 مئوية مع ثبوت المسافة على 15.5 سم عند جميع الحالات وفيها لون الزيت يميل الى الاخضرار. في حالة التداخل بين درجة الحرارة والمسافة فقد اظهرت النتائج ان تأثير هذا التداخل كان معنويا فعند درجة الحرارة 50 مئوية والمسافة 30 سم بلغت قيمة a^* -3.03، وازدادت الى 1.20 عند درجة

الحرارة 50 مئوية والمسافة 1 سم وهنا لون الزيت كان محمرا، وانخفضت قيمتها بشدة الى -11.50 عند درجة الحرارة 70 مئوية والمسافة 1 سم عند القدرة المركزية (190 واط) اذ لون الزيت مخضرا. اظهرت النتائج انه لم يؤثر التداخل بين القدرة والمسافة معنويا في قيمة a^* ورغم ذلك حصل انخفاض في قيم a^* ، فمثلا عند القدرة 130 واط والمسافة 1 سم بلغت قيمة $a^* = 3.67$ وانخفضت الى -9.25 عند القدرة 250 واط والمسافة 30 سم.

3.3. الاصفرار/الزرقة (b^*) Yellowness /Blueness

ان قيمة b^* تعني اللون المصفر yellowish colours اذا كانت ذات قيمة موجبة (+)، اما اذا كانت ذات قيمة سالبة (-) فتعني اللون المزرق blueish (Gulrajani, 2010; Pathare et al., 2012). تتراوح قيمة b^* بين -120 و 120 عندما تكون قيمة b^* تساوي صفر فان هذا يعني لا يوجد لون (لون محايد) او اللون الرمادي.

يوضح جدول (6) مصفوفة التصميم المركب المركزي للمسافة والقدرة ودرجة الحرارة واستجابة درجة الاصفرار/الزرقة b^* المتنبأ بها عن طريق التحسين ومطابقتها مع قيمة b^* العملية. تم الحصول على الظروف المتمثلة بالمسافة 1 سم والقدرة 250 واط ودرجة الحرارة 50 مئوية (التسلسل 15) إذ اعطت أعلى قيمة لـ b^* للزيت حيث بلغت قيمة b^* العملية والمتنبأ بها للزيت 33.89، 38.11 على التوالي وهذا يعود إلى انخفاض درجة الحرارة إذ أن الزمن اللازم لتعرض المخلفات الى الأشعة تحت الحمراء يكون قليل على الرغم من زيادة القدرة وتقليل المسافة، وهذا يشير الى ان المسافة 1 سم والقدرة 250 واط ودرجة الحرارة 50 مئوية هم الافضل اذ يكون اللون مصفرا للزيت. وأشار (Al-Hilphy 2017) إلى أن زيادة مدة التعرض للأشعة تحت الحمراء يؤدي إلى زيادة دكانة أو عتمة اللون.

يوضح جدول (7) تحليل التباين للعوامل المستقلة (المسافة والقدرة ودرجة الحرارة) المؤثرة على سطح الاستجابة b^* . اظهرت النتائج ان الموديل الرياضي كان تأثيره غير معنويا ($p > 0.05$) وقيمة Lack of Fit كانت غير معنوية ($p > 0.05$) وهذا يبين ان العوامل المستقلة لم تؤثر معنويا في درجة الاصفرار عند تطبيق الموديل للتنبؤ بقيمة b^* . بلغت قيمة معامل التحديد (R^2) 0.7747 وقيمة معامل الاختلاف CV 25.73% وقيمة الانحراف القياسي 6.14.

إن العلاقة بين b^* والعوامل المستقلة التي تمثل المسافة والقدرة ودرجة الحرارة والتداخل بينهما تنطبق عليه معادلة الانحدار المتعدد اللاخطي والتي من خلالها يمكن التنبؤ بقيمة b^* وكما يلي:

$$\begin{aligned} \text{Yellowness}(b) = & +21.35 + 2.35X_1 + 8.71X_2 + 3.77X_3 - 0.11X_1X_2 + \\ & 1.65X_1X_3 + 1.76X_2X_3 - 3.25X_1^2 + 1.96X_2^2 + 6.63X_3^2 + 3.06X_1X_2X_3 - \\ & 8.24X_1^2X_2 - 8.12X_1^2X_3 - 6.23X_1X_2^2 \end{aligned} \quad \dots\dots (4)$$

حيث أن: X_1 : درجة الحرارة (مئوي)، X_2 : القدرة (واط)، X_3 : المسافة (سم).

جدول 6. مصفوفة التصميم المركب المركزي للمسافة والقدرة ودرجة الحرارة واستجابة قيمة b^*

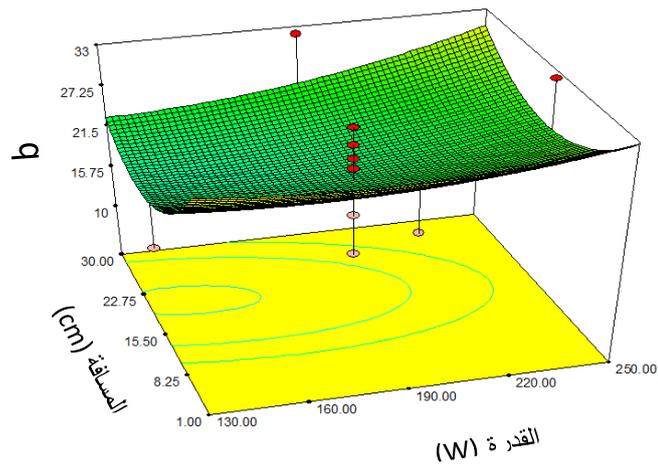
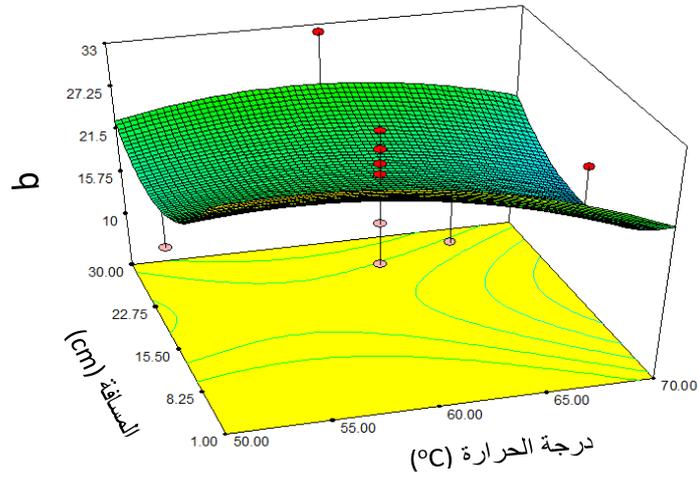
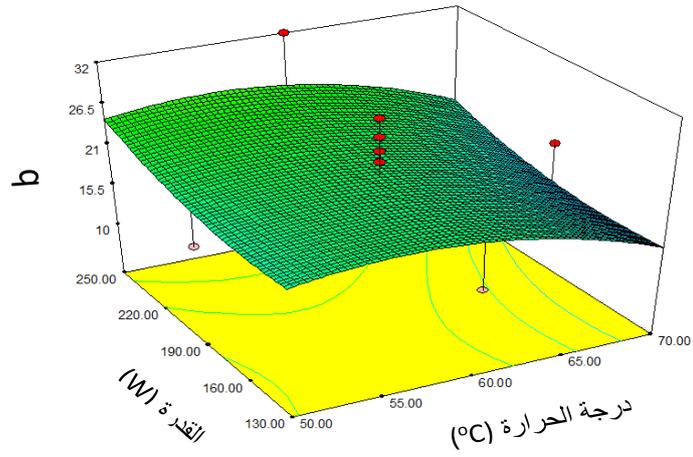
المتنبأ بها b^*	العملية b^*	درجة الحرارة (م°)	القدرة (واط)	المسافة (سم)	التسلسل
21.35	22.58	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	1
21.35	10.35	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	2
21.35	24	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	3
32.96	34.35	50 (-1)	130 (-1)	1 (-1)	4
20.67	24.94	50 (-1)	130 (-1)	30 (+1)	5
25.25	32	60 (0)	190 (0)	30 (+1)	6
20.91	14.58	60 (0)	130 (-1)	15.5 (0)	7
21.35	28.23	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	8
15.46	20.07	70 (+1)	190 (0)	15.5 (0)	9
20.35	16	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	10
20.73	16	50 (-1)	190 (0)	15.5 (0)	11
18.93	14.58	70 (+1)	130 (-1)	30 (+1)	12
25.1	20.07	70 (+1)	250 (+1)	1 (-1)	13
26.46	24.94	70 (+1)	250 (+1)	30 (+1)	14
33.89	38.11	50 (-1)	250 (+1)	1 (+1)	15
25.15	32	60 (0)	250 (+1)	15.5 (0)	16
28.67	23.52	50 (-1)	250 (+1)	30 (+1)	17
24.62	29.64	70 (+1)	130 (-1)	1 (-1)	18
21.35	25.88	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	19
30.71	24.47	60 (0)	190 (0)	1 (-1)	20
0.993	p-value بين القيم العملية والمتنبأ بها (الصفوف)				
ns	RLSD بين المعاملات لقيمة b^* العملية				
ns	RLSD بين المعاملات لقيمة b^* المتنبأ بها				

جدول 7. تحليل التباين لدرجة الاصفرار/الزرقة b^*

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value	Prob > F
Model	427.41	9	47.49	0.82	0.6107	not significant
X1	69.48	1	69.48	1.2	0.2984	
X2	44.86	1	44.86	0.78	0.3988	
X3	74.47	1	74.47	1.29	0.2826	
X1X2	0.11	1	0.11	1.83E-03	0.9667	
X1X3	21.71	1	21.71	0.38	0.5535	
X2X3	24.92	1	24.92	0.43	0.5261	
X1 ²	29.1	1	29.1	0.5	0.4941	
X2 ²	7.83	1	7.83	0.14	0.7204	
X3 ²	120.96	1	120.96	2.09	0.1785	
Residual	577.56	10	57.76			
Lack of Fit	351.73	5	70.35	1.56	0.3193	not significant
Pure Error	225.83	5	45.17			
Cor Total	1004.97	19				
R^2	0.7747					
SD	6.14					

1.3.3. تحليل سطح الاستجابة للاصفرار/الزرقة *Response Surface Analysis for Yellowness/blueness*

يوضح الشكل (3) الرسم الثلاثي الابعاد والذي يعطي صورة واضحة حول العلاقة بين العوامل المستقلة (المسافة، القدرة، درجة الحرارة) والعامل التابع b^* . عندما كانت درجة الحرارة 50 مئوي والقدرة 130 واط بلغت قيمة b^* 20.18 وانخفضت الى 14.15 عند درجة الحرارة 70 مئوي والقدرة 130 واط وازدادت بصورة غير معنوية الى 24.64 عند درجة الحرارة 50 مئوي والقدرة 250 واط وانخفضت بصورة غير معنوية الى 14.19 عند درجة الحرارة 70 مئوي والقدرة 250 واط. بالنسبة للتداخل بين درجة الحرارة والمسافة فعند درجة الحرارة 30 مئوي والمسافة 30 سم بلغت قيمة b^* 22.98 وبلغت 31.73 عند درجة الحرارة 50 مئوي والمسافة 1 سم وانخفضت الى 21 عند درجة الحرارة 70 والمسافة 30 سم واعطت درجة الحرارة 70 مئوي والمسافة 1 سم قيمة b^* تساوي 23.17. بالنسبة للقدرة والمسافة فقد كان تأثيرهما غير معنويا في قيمة b^* حيث بلغت قيمة b^* 23.05 عند القدرة 130 واط والمسافة 30 سم وبلغت 32.04 عند القدرة 130 واط والمسافة 1 سم وازدادت قليلا الى 32.47 عند القدرة 250 واط والمسافة 1 سم وكانت قيمة b^* عند الظروف 250 واط والمسافة 30 سم 30.81، وعند القدرة 190 واط والمسافة 1 سم بلغت 24.47. بما ان قيمة b^* موجبة فان لون الزيت يميل الى الاصفرار.



شكل 3. تأثير القدرة ودرجة الحرارة والمسافة على b^*

4.3. زاوية اللون (*h*) Hue angle

تعتبر زاوية اللون *h* او تدرج اللون وهي صفة نوعية للون. وهي تبين اللون المميز للمادة كالأحمر والاخضر والازرق، وتقاس *h* بالدرجة او rad. اضافة الى ذلك فإنها تشير الى اقل لون اصفر في التحليل الضوئي وتبين الاختلاف بالامتصاصية عند اطوال موجية مختلفة (Pathare et al., 2012). بين كل ——— (Ayala- Silva et Voss, 1992; McGuire, 1992) ان زاوية اللون تصف المقادير النسبية للاحمرار والاصفرار وتتراوح بين (0-360 درجة) حيث تمثل 0 درجة اللون الاحمر/اللون الارجواني وتمثل 90 درجة للون الاصفر و 180 درجة للون الاخضر و 270 درجة للون الازرق او الارجواني او الالوان الوسطية بين ازواج قريبة من تلك الالوان الاساسية. كما بينوا ان اقل قيمة لزاوية اللون تبين ان لون المنتج مائل للاحمرار.

يوضح الجدول (8) مصفوفة التصميم المركب المركزي للمسافة والقدرة ودرجة الحرارة واستجابة زاوية اللون *h* المتنبى بها عن طريق التحسين ومطابقتها مع زاوية اللون العملية. تم الحصول على الظروف المتمثلة المسافة 15.5 سم والقدرة 190 واط ودرجة الحرارة 50 مئوي (التسلسل 11) اذ اعطت اعلى زاوية لون حيث بلغت 1.51 و 0.096 rad على التوالي وهذا يعود الى انخفاض درجة الحرارة اذ ان الزمن اللازم لتعرض المخلفات الى الاشعة تحت الحمراء يكون قليل على الرغم من زيادة القدرة وتقليل المسافة. ان زيادة *h* ناتجة من زيادة *b** للزيت او نقصان قيمة *a** استنادا الى معادلة حساب *h*. اما بقيمة المعاملات فقد اعطت قيم سالبة لزاوية اللون *h*. وهذا يشير الى ان المسافة 15.5 سم والقدرة 190 واط ودرجة الحرارة 50 مئوي هم الافضل في درجة الزيت.

جدول 8. مصفوفة التصميم المركب المركزي للمسافة والقدرة ودرجة الحرارة واستجابة زاوية اللون.

المتنبأ بها h (rad)	العملية h (rad)	درجة الحرارة (م°) X1	القدرة (واط) X2	المسافة (سم) X3	التسلسل
-1.12	-1.32	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	1
-1.12	-1.19	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	2
-1.12	-1.44	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	3
-1.13	-1.46	50 (-1)	130 (-1)	1 (-1)	4
-1.4	-1.38	50 (-1)	130 (-1)	30 (+1)	5
-1.64	-1.36	60 (0)	190 (0)	30 (+1)	6
-1.79	-1.48	60 (0)	130 (-1)	15.5 (0)	7
-1.12	-1.41	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	8
-0.39	-1.18	70 (+1)	190 (0)	15.5 (0)	9
-1.12	-1.23	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	10
0.096	1.51	50 (-1)	190 (0)	15.5 (0)	11
-1.69	-1.45	70 (+1)	130 (-1)	30 (+1)	12
-1.41	-1.18	70 (+1)	250 (+1)	1 (-1)	13
-1.50	-1.33	70 (+1)	250 (+1)	30 (+1)	14
-1.13	-1.53	50 (-1)	250 (+1)	1 (+1)	15
-1.69	-1.38	60 (0)	250 (+1)	15.5 (0)	16
-0.98	-1.29	50 (-1)	250 (+1)	30 (+1)	17
-1.60	-1.45	70 (+1)	130 (-1)	1 (-1)	18
-1.12	-1.37	60 (0)	190 (0)	15.5 (0)	19
-1.66	-1.30	60 (0)	190 (0)	1 (-1)	20
0.963	p-value بين القيم العملية والمتنبأ بها (الصفوف)				
0.172	RLSD بين المعاملات لزاوية اللون h العملية				
0.161	RLSD بين المعاملات لزاوية اللون h المتنبأ بها				

يوضح الجدول (9) تحليل التباين للعوامل المستقلة (المسافة والقدرة ودرجة الحرارة) المؤثرة على زاوية اللون (Hue angle). حيث أظهرت نتائج التحليل الإحصائي إن الموديل الرياضي لم يكن تأثيره معنويًا ($p > 0.05$) وعلى الرغم من أن قيمة Lack of Fit كانت معنوية ($p < 0.05$) وهذا يبين أن العوامل المستقلة لم تؤثر معنويًا في زاوية اللون hue angle عند تطبيق الموديل للتنبؤ بزاوية اللون. المعادلة اللاخطية التالية تم الحصول عليها لتصف تأثير العوامل المستقلة في زاوية اللون:

$$\begin{aligned} \text{Hue angle} = & +28.63041 - 1.19356X1 + 0.06232X2 + 0.10199X3 + \\ & 0.00008X1X2 - 0.00040X1X3 + 0.00000X2X3 + 0.00967X1^2 - \\ & 0.00017X2^2 - 0.00252X3^2 \end{aligned} \quad (5)$$

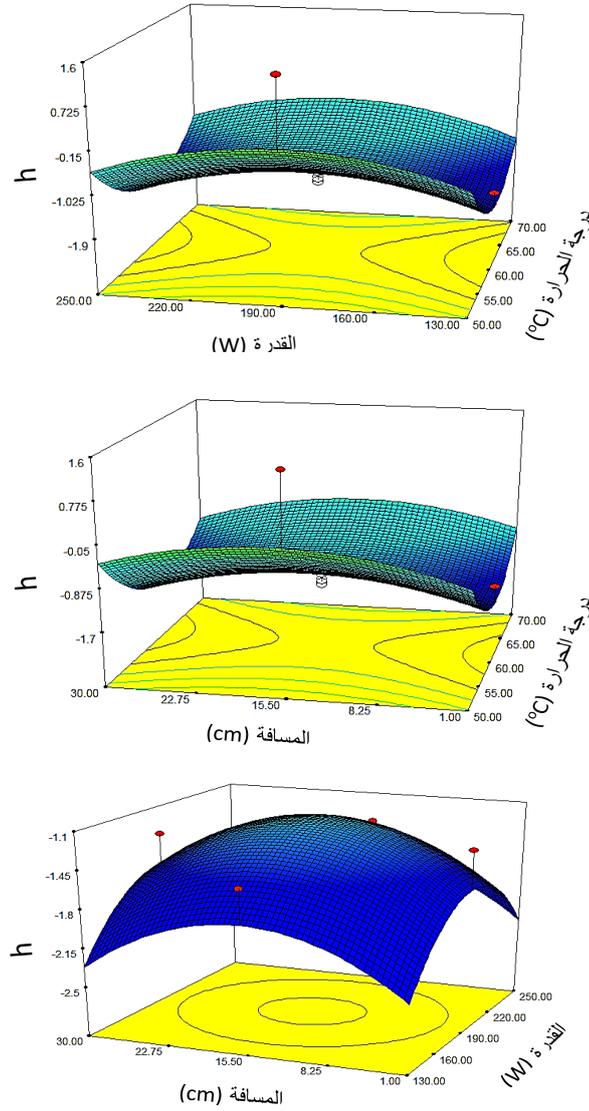
حيث X1: درجة الحرارة (مئوي)، X2 القدرة (واط)، X3: المسافة (سم).

جدول 9. جدول تحليل التباين لزواوية اللون h

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	3.99	9	0.44	1.1	0.4363	not significant
X1	0.6	1	0.6	1.5	0.2494	
X2	0.025	1	0.025	0.062	0.8085	
X3	1.10E-03	1	1.10E-03	2.73E-03	0.9593	
X1X2	0.017	1	0.017	0.041	0.8433	
X1X3	0.026	1	0.026	0.066	0.8028	
X2X3	4.91E-05	1	4.91E-05	1.22E-04	0.9914	
X1 ²	2.57	1	2.57	6.41	0.0298	
X2 ²	1.08	1	1.08	2.68	0.1324	
X3 ²	0.77	1	0.77	1.92	0.1961	
Residual	4.02	10	0.4			
Lack of Fit	3.97	5	0.79	80.68	< 0.0001	significant
Pure Error	0.049	5	9.83E-03			
Cor Total	8.01	19				

1.4.3. تحليل سطح الاستجابة لزواوية اللون (h*) Response Surface Analysis

يوضح الشكل (4) الرسم الثلاثي الابعاد والذي يعطي صورة واضحة حول العلاقة بين العوامل المستقلة (المسافة، القدرة، درجة الحرارة) والعامل التابع (زاوية اللون). اظهرت النتائج ان درجة الحرارة انخفضا غير معنويا في زاوية اللون اذ بلغت الاخيرة 0.096 rad عند درجة الحرارة 50 مئوي وعندما ازدادت درجة الحرارة الى 70 مئوي بلغت قيمة زاوية اللون -0.394 rad. بالنسبة الى تأثير القدرة في درجة اللون فقد اوضحت النتائج ان درجة اللون قد ازدادت بصورة غير معنوية من -1.79 الى -1.69 rad. كذلك ادت زيادة المسافة الى زيادة غير معنوية في درجة اللون فعندما كانت المسافة 1 و 30 سم ازدادت زاوية اللون الى -1.65 و -1.63 rad على التوالي. بالنسبة الى تأثير التداخل بين درجة الحرارة والقدرة في زاوية اللون فقد كان التأثير غير معنويا اذ عندما كانت درجة الحرارة 50 مئوي والقدرة 250 مئوي عند النقطة المركزية من المسافة بلغت قيمة زاوية اللون -0.525 rad وعند درجة الحرارة 70 والقدرة 130 واط بلغت قيمة زاوية اللون -115.1 rad. بلغت -0.924 rad عند درجة الحرارة 70 مئوي والقدرة 250 واط. لم يظهر تأثير معنوي للتداخل بين درجة الحرارة والمسافة في زاوية اللون، فعندما كانت درجة الحرارة 50 مئوي والمسافة 1 سم بلغت زاوية اللون -501.0 rad وانخفضت الى -0.876 rad عند درجة الحرارة 70 والمسافة 1 سم. ازدادت زاوية اللون بصورة بسيطة جدا من -329.2 rad إلى -2.234 rad عندما تغيرت القدرة والمسافة من 130 واط و 1 سم إلى 250 واط و 1 سم على التوالي.



شكل 4. تأثير القدرة ودرجة الحرارة والمسافة على سطح الاستجابة لزاوية اللون h

5.3. عملية التحسين

يوضح الجدول (10) الظروف المثالية لتحسين قيم صفات اللون (h, b^*, a^*, L^*) العملية والمتنبئ بها عن طريق عملية التحسين Optimization. اظهرت النتائج ان الظروف المثالية المتمثلة بدرجة الحرارة 66.14 مئوية و القدرة 215.94 واط والمسافة 24.02 سم قد اعطت قيم مثالية لصفات لون الزيت العملية والمتنبئ بها وكانت الفروقات بين القيم العملية والمتنبئ بها غير معنوية ($P > 0.05$) وهذا دليل على ان القيم العملية والنظرية متقاربة.

جدول 10. الظروف المثالية لتحسين قيم الصفات العملية والمتنبأ بها لزيت مخلفات الاسماك.

الظروف المثالية			القيم المتنبأ بها	القيم العملية	الصفات
المسافة (X3) (سم)	القدرة (X2) (واط)	درجة الحرارة (X1) (متوي)			
			^a 53.22±2.66	^a 53.43	L*
			^a -8.02±0.67	^a -8.11	a*
24.02	215.94	66.14	^a 21.43± 3.35	^a 20.67	b*
			^a -1.18±0.28	^a -1.23	h

4. الاستنتاجات

خلصت الدراسة الحالية الى ان ارتفاع درجة الحرارة له تأثير على درجة الوضوح حيث ان زيادة درجة الحرارة تؤدي الى زيادة دكارة اللون وزيادة المسافة تؤدي الى زيادة صفاء اللون نتيجة تشتت جزء من الأشعة تحت الحمراء وانعكاساته على الجدران الداخلية للأسطوانة. اما بالنسبة لدرجة الاحمرار/الاحضرار فان انخفاض درجة الحرارة يؤدي الى زيادة درجة الاحمرار بسبب ان الوقت اللازم لتعرض المخلفات الى الأشعة تحت الحمراء يكون كبير وكان لانخفاض درجة الحرارة دور في زيادة درجة الاصفرار/الازرقاق بسبب ان الزمن اللازم لتعرض المخلفات للأشعة تحت الحمراء يكون قليل بالرغم من زيادة شدة القدرة وتقليل المسافة.

المراجع

قائمة المراجع باللغة العربية:

- المطوري، أثير عبد الامير عبد الجبار (2019). دراسة كفاءة استخلاص زيت مخلفات الاسماك باستعمال جهاز مصمم محليا يعمل بالأشعة تحت الحمراء. رسالة ماجستير، قسم علوم الاغذية، كلية الزراعة، جامعة البصرة، العراق.
- المطوري، أثير عبد الامير عبد الجبار؛ الشطي، صباح مالك حبيب؛ والحلفي، أسعد رحمان سعيد (2018). تأثير نوع العبوة على بعض الدلائل الكيميائية لزيت مخلفات اسماك الكارب *Cyprinus carpio* المستخلص بالأشعة تحت الحمراء. مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية، 4(2): 1-16.

قائمة المراجع باللغة الإنجليزية:

- Al-Hilphy A.R.S. (2017). *Food processing engineering by using infrared ray*. Noor Publishing, Germany.
- Abdullah M.Z., Guan L.C., Lim K.C., and Karim A.A. (2004). The applications of computer vision and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Engineering*, 61(1): 125-135.

- Ayala- Silva T., Schnell R.J., Meerow A.W., Winterstein M., Cervantes C., and Brown J.S. (2005). Determination of color and fruit traits of half-sib families of mango (*Mangifera indica* L.). *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 118: 253-257.
- Costa C., Antonucci F., Pallottino F., Aguzzi J., Sun D., and Menesatti P. (2011). Shape analysis of agricultural products: A review of recent research advances and potential application to computer vision. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5): 673-692.
- Du C., and Sun D. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science and Technology*, 15(5): 230-249.
- Gulrajani M.L. (2010). *Color measurement principles advances and industrial applications*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
- Hatcher D.W., Symons S.J., and Manivannan U. (2004). Developments in the use of image analysis for the assessment of oriental noodle appearance and color. *Journal of Food Engineering*, 61(1): 109-117.
- Latscha T. (1989). The role of astaxanthin in shrimp pigmentation. *Advances in Tropical Aquaculture*, Workshop at Tahiti, French Polynesia, 20 Feb - 4 Mar 1989, *Actes de colloques Ifremer*, Tahiti, French Polynesia, 20 Feb-4 Mar 1989, n°9, chap. 31, pp: 319-325.
- Leon K., Mery D., Pedreschi F., and Leon J. (2006). Color measurement in L* a* b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10): 1084-1091.
- McGuire R.G. (1992). Reporting of objective colour measurements. *Horticultural Science*, 27(12): 1254-1255.
- Papadakis S.E., Abdul-Malek S., Kamdem R.E., and Yam K.L. (2000). A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods. *Food Technology*, 54(12): 48-51.
- Pathare P.B., Opara U.L., and Al-Said F.A. (2012). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1): 36-60.
- Pedusic S., Levaj B., Dragovic-Uzelac V., Skevin D., and Skendrovic-Babo M. (2009). Color parameters and total anthocyanins of sour cherries (*Prunus cerasus* L.) during ripening. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74 (3):259-262.
- Pedreschi F., Aguilera J.M., and Brown C.A. (2000). Characterization of food surfaces using scale-sensitive fractal analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 23(2): 127-143.
- Sahin S., and Sumnu S.G. (2006). *Physical properties of foods*. Springer Science Business Media, LLC. USA.
- Segnini S., Dejmek P., and Öste R. (1999). A low cost video technique for colour measurement of potato chips. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 32(4): 216-222.
- Voss D.H. (1992). Relating colorimeter measurement of plant color to the royal horticultural society colour chart. *Horticultural Science*, 27(12): 1256-1260.
- Yam K.L., and Papadakis S. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1): 137-142.