مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٥) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (5) 2026

تحديد الشروط المثلى لاستخلاص الاينولين من الخرشوف باستخدام منهجية سطح الاستجابة (RSM)

د. رامز محمد *
د. علي سلطانة **
م. داليا خضور ***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٨/٢٤ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٦/٣/٤)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى تحديد الشروط المثلى لاستخلاص الاينولين من الخرشوف باستخدام منهجية سطح الاستجابة (RSM) وفقاً لتصميم (BOX–Behnken) للتحقق من تأثير ثلاث متغيرات مستقلة هي درجة حرارة الاستخلاص ($60,70,75\ ^{\circ}c$) وزمن الاستخلاص (45,55,65 min)،نسبة المذيب (نسبة السائل على الصلب) (4,3,2)ml/gr على عامل الاستجابة وهو عائد الاينولين . تم تحليل البيانات باستخدام نموذج تربيعي، وتم تقييم كفاءة النموذج إحصائياً عبر تحليل التباين (ANOVA) عند مستوى ثقة ٩٥%، ودراسة التأثيرات المهمة للعوامل ولتفاعلاتها على كفاءة استخلاص الاينولين، وكانت الشروط المثلى لاستخلاص الاينولين تتحقق عند درجة حرارة استخلاص 70°C نسبة مذيب ٣ ml /gr، وزمن استخلاص 55 min، حيث تم تحقيق عائد استخلاص بلغ ٨٥,٦%. كما لوحظ أن القيم المتوقعة من النموذج تطابقت بشكل جيد مع القيم التجريبية، مما يؤكد كفاءة ودقة النموذج المستخدم لتحسين عملية الاستخلاص.

الكلمات المفتاحية: الخرشوف، الاينولين، العائد، الشروط المثلى، منهجية سطح الاستجابة(RSM)

*أستاذ في قسم علوم الأغذية من كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سوريا. Ramez.mohamad@tishreen.edu.sy

**أستاذ مساعد في قسم علوم الأغذية من كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، اللاذقية، سوريا. ali.sultaneh@tishreen,edu.sy.

***طالبة دكتوراه في قسم علوم الأغذية من كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، سوريا. daliakhadour871@gmail.com.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٥) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (5) 2026

Determination of optimum conditions for extracting inulin from artichoke using response surface methodology (RSM)

Dr. Ramez Mohammad*

Dr Ali Sultaneh**

Eng. Dalia Khaddour***

(Received 24/8/2025 . Accepted 4/3/2026)

□ ABSTRACT □

The optimum conditions for extracting inulin from artichoke were determined using response surface methodology (RSM) according to the BOX-Behnken design. To verify the effect of three independent variables, namely extraction temperature (60, 70, 75°C), extraction time (45, 55, 65 min), and solvent ratio (liquid to solid ratio) (4, 3, 2) ml/gr on the response factor, which is inulin yield. The data were analyzed using a quadratic model, and the model's efficiency was statistically evaluated via analysis of variance (ANOVA) at a 95% confidence level. Study of the important effects of factors and their interactions on the efficiency of inulin extraction The optimum conditions for inulin extraction were achieved at an extraction temperature of 70°C, a solvent ratio of 3 ml/gr, and an extraction time of 55 min. achieving an extraction yield of 85.6%. It was also noted that the predicted values from the model matched well with the experimental values, confirming the efficiency and accuracy of the model used to improve the extraction process.

K**eywords**: artichoke, inulin, yield, the optimal conditions, response surface methodology(RSM)

*Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria.

**Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria

***Doctoral Student, Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria

١ – المقدمة

الخرشوف (Cynara scolymus L.) نبات عشبي ومن الفصيلة النجمية قابل للأكل يستخدم كخضار وسلطات ، ويعد نبات معمر واسع الانتشار خاصة في منطقة حوض البحر المتوسط ومناطق من أوروبا ، عرف في سوريا منذ قديم الزمان (بوراس وآخرون ،٢٠٠٥)،يشكل حوض البحر المتوسط ما نسبته ٦٠% من الإنتاج العالمي للخرشوف (FAO,2005) وتقدر المساحة المزروعة في سوريا بحوالي ٢٠٠ هكتار موزعة حول المدن الكبرى، حيث تحتل دمشق وحلب المرتبة الأولى في الإنتاج (سمرة وجلول ،٢٠٠٣) يعد الخرشوف من الخضار الغنية بالقيمة الغذائية، حيث ينصح به لمرضى السكري ولغناه بالألياف ووجود مركب الاينولين الذي يحلل إلى سكر الفركتوز ويستخدم كغذاء ودواء لعلاج أمراض الكبد ،و يعد من الخضروات ذات المظهر المميز وهو من مجموعة النباتات المزهرة ويعتبر الجزء الصالح للأكل من الخرشوف هو قلب الخرشوف، وقد أشارت بعض الدراسات على امتلاكه أنشطة دوائية وهو غني بمضادات الأكسدة ومصدر جيد للحديد ويمنع فقر الدم ويخفض الكوليسترول ويحتوي على كربوهيدرات وبروتين ودهون وألياف وحمض الفوليك والبوتاسيوم والمغنيزيوم والحديد وبعض الفيتامينات(A,B,C,D) والكاروتينات وتعتبر مادة السينارين من أفضل العلاجات الطبيعية لإعادة الكوليسترول إلى المستوى الطبيعي الصحي وإضافة لاستخدامه في الطب التقليدي ، تعطي الجذور لمرضى السكري ولمعالجة ارتفاع الحموضة والاضطرابات الهضمية والكبدية وهي مادة فاتحة لشهية وتنشط إفرازات الصفراء وتستعمل لعلاج الأمراض الجلدية .(Salem et al.,2015)

يوجد الاينولين بشكل واسع في المصادر النباتية وتتضمن: الكراث والبصل والثوم والموز والهندباء والخرشوف وغيرها ،يحتوي الاينولين المستخلص من الخرشوف على مضادات أكسدة وله خصائص وظيفية وتكنولوجية مهمة ، وهو مركب حيوي بوليميري مكون من خليط من عديدات السكريات وبعض المعادن مثل الكالسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والنحاس ،وينتج بشكل طبيعي في دورة حياة النبات والمصدر الرئيس له في الجذور ولكنه موجود في الأزهار والأوراق والبذور والثمار، تحتوي هذا المستخلص الاينولين على مجموعات محبة للماء تعطي محالياً لزجة وله خصائص وظيفية (Drakos et al.,2021)، وتعد جذور الهندباء والخرشوف من النباتات التي تحتوي على أكبر كمية من الاينولين المستخلص(Srinameb et al.,2015)، ويتم الحصول على الاينولين بشكل رئيسي من جذور الهندباء والخرشوف بواسطة عملية الاستخلاص بالماء الساخن ومن ثم تنقيته وبلورته كيميائياً،والاينولين الطبيعي هو خليط من جزيئات فركتوز مرتبطة بالرابطة (2 → ١) β وعادة تتفرع جزيئة غلوكوز في نهاية السلسلة، وتختلف درجة البلمرة للسلاسل بين (٢–٦٠) وحدة (Mariona,2015)

ويعتبر الاينولين من الألياف الغذائية وهو عبارة عن سكر عديد غير قابل للهضم في القناة الهضمية للإنسان ولا يمتص من قبل الأمعاء الدقيقة ولكن يتم تخمره في القولون وله تأثير مهم على خفض الكوليسترول والغليسيريدات الثلاثية عند إضافته إلى المخبوزات لأن الاينولين يعمل على تقليل مستوى السكر الدم، وله دوراً مهماً في تحسين الصفات الحسية والنوعية للمخبوزات (li et al.,2018).

لذلك اتجهت الدراسات الحديثة إلى إيجاد بدائل محلية للمواد المضافة (صموغ –محسنات – قوام – مثبتات – بدائل دهون) المستوردة بأسعار مرتفعة ، ويعد الInulin النباتي أحد أهم المواد المنافسة لهذه المضافات أو البدائل نظراً لخصائصه الهامة حيث أشارت دراسات عدة إلى أهميته الطبية والتغذوية والتكنولوجية وله خصائص وظيفية مهمة تحتوي على مضادات أكسدة، مما يتطلب توصيف دقيق لظروف استخلاص للحصول على أعلى مردود بنقاوة عالية،

إذ إن لاختلاف ظروف الاستخلاص الاينولين تأثير بالغ الأهمية على مجمل الخصائص الحسية والنوعية للمستخلص الاينولين (Wang et al.,2021)،وقد توصلت الدراسات إلى تحديد الشروط المثلى للاستخلاص الاينولين، ودراسة تأثيرات العوامل على المردود باستخدام تقنيات حديثة مثل النمذجة ومحاكاة باستخدام برامج حاسوبية حديثة ومنها ماتلاب، تم استخدام منهجية سطح الاستجابة(RSM) وتصميم(BOX–Behnken)، للتنبؤ بأفضل ظروف استخلاص بهدف الحصول على أقصى عائد من الاينولين.

منهجية سطح الاستجابة (RSM)طريقة اقتصادية مستخدمة على نطاق واسع في السنوات الأخيرة، لتحسين ظروف العمليات في الصناعات الغذائية المختلفة، مثل: تحسين عملية الاستخلاص للحصول على أعلى مردود، والتجفيف، والتحلل المائي الأنزيمي، وإنتاج المستقلبات الميكروبية، والعديد من العمليات الكيميائية، والكيميائية الحيوية الأخرى. ويعد تصميم (BOX–Behnken) من التصاميم التجريبية الرئيسية المستخدمة في تحسين عملية الاستخلاص والإجراءات الكيميائية التحليلية (Yolmeh & Jafar, 2017).

يهدف استخدام تقنية RSM إلى تحسين كفاءة مردود الاستخلاص من خلال تعديل العوامل التشغيلية والتحكم بالظروف التفاعلية، مع ضرورة توافر شروط محددة لتطبيقها بنجاح مثل دقة القياسات وتوافق المادة الخام مع خصائص العملية.

٢- أهمية البحث وأهدافه:

نظراً لأهمية الاينولين في مجال الأغذية والتصنيع الغذائي، فقد اهتم باستخلاص وتنقية الاينولين من مصادرها الطبيعية ومنها الخرشوف، لذلك لابد من توصيف دقيق لظروف استخلاص للحصول على أعلى مردود بنقاوة عالية، حيث يعتبر التحليل الإحصائي من الأدوات المهمة في حل كثير من المشاكل ومنها منهجية سطح الاستجابة التي تساعد في كيفية الوصول إلى الاستجابة المثلى للمتغير الاستجابة.

بناءً على ما سبق تتلخص أهداف البحث في تحديد الشروط المثلى لاستخلاص الاينولين من الخرشوف باستخدام منهجية سطح الاستجابة وتحليل التباين في أمثلة عملية الاستخلاص.

٣- مواد وطرائق البحث:

مكان البحث: نفذ هذا البحث في مخابر كلية الهندسة الزراعية –قسم علوم الأغذية، خلال العامين 2025–2024

3-1- مواد البحث:

المادة النباتية: استخدم في التجربة نبات الخرشوف (Cynara scolymus L.) وهو وينتمي إلى الفصيلة النجمية (Asteraceae)، وتعتبر من النباتات المعروفة في منطقة البحر الأبيض المتوسط

الجدول (1): الوصف النباتي لنبات الخرشوف

النمو	نبات عشبي معمر يتراوح ارتفاعه بين ١–١,٥ م
الأزهار	لون الأزهار بنفسجية أرجواني قد تحمل أشواك حوافها مسننة وتظهر على شكل رؤوس ضخمة تظهر الأزهار في أواخر الصيف إلى بداية الخريف.
الأوراق	رمحية الشكل ذات حواف مسننة لونها أخضر رمادي ، أوراق الخرشوف يمكن أن تصل ٤٠–٨٣ سم
الجذور	تتميز بالجذور وتدي متعمق، تتفرع منه جذور جانبية قوية

الجدول (2): المواد الكيميائية Chemicals

المادة الكيميائية	الصيغة العامة	الشركة المصنعة
حمض الستريك	C6H8O7	KTCO,Syria
أسيتون ذو تركيز ٩٩,٩%	C3H6O	chem–lab NV,Belgium
ماءات الصوديوم	NaoH	Avonchem, Limited, UK

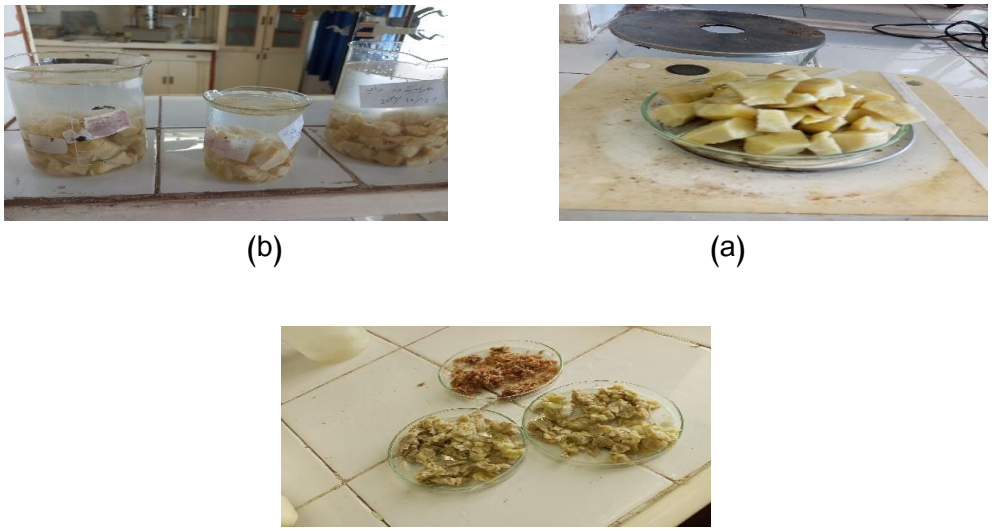
الأدوات والأجهزة المستخدمة: مجفف، صواني ستاتلس ستيل، حمام مائي، بياشر بأحجام مختلفة، ورق ترشيح (0.33mm)، قمع بوخنر، جهاز مقياس pH، خلاط، قوارير مخروطية، ميزان الحساس، منخل ذو اقطار (500 µm)

3-2-1جمع العينات النباتية:

تم جمع العينات الخرشوف من منطقة جغرافية واحدة/ريف حلب– منطقة أتارب/ وذلك للحصول على عينة إجمالية تمثل المنطقة، وأخذ العينات بترتيب الخطوات التي أقرها الاتحاد الدولي الكيمياء البحتة والتطبيقية وصولاً إلى العينة المخبرية أو عينة التحليل التي ستكون بالكمية الكافية في فترة زمنية واحدة لاستخلاص الاينولين لكل تجارب.

3-3-1تحضير العينات:

تم غسل الخرشوف بالماء وإزالة الأتربة والشوائب، ومن ثم تقطيع العينات إلى قطع صغيرة، ثم نقع العينات في محلول حمض الستريك (٠,٧٥%) بنسبة ml/gr (١/١٠) لمدة hour ٢٤ ودرجة حرارة $80^{\circ}c$ وهدف هذه الخطوة قبل عملية الاستخلاص لتحرير من مصفوفة جدار الخلية ويزداد عائد الاينولين، وثم غسلها جيداً، ومن ثم تجفيف هذه العينات في المجفف على درجة حرارة($40^{\circ}c$)، وغربلتها باستخدام منخل (٥٠٠µm) وتخزينها في أكياس من البولي ايتلين محكمة الإغلاق لحين بدء عملية الاستخلاص. كما يظهر بالشكل (١).



(b) (a)

(c)

الشكل (١): تحضير العينات لعملية الاستخلاص: (a): عملية غسيل وتقطيع العينات، (b) عملية نقع العينات يحمض الستريك، (c) عملية تجفيف العينات

3-4-1 استخلاص الاينولين: يؤخذ (١٠gr) من مسحوق العينات المجففة وثم إضافة ماء ساخن ml/g (4,3,2) عند درجة حرارة (60,70,75°C) لأزمنة مختلفة min(45,55,65) مع تحريك مستمر، ويتم التعديل pH باستخدام ماءات الصوديوم عندpH=٦,٨ وهدف الاستخلاص بالماء الساخن لأن الاينولين من ألياف ذوابة بالماء وهي مناسبة لتحلل الروابط الغليكوزيدية. كما يظهر بالشكل (٢).



(a)

الشكل (2): مرحلة استخلاص الاينولين: (a): عملية تسخين مسحوق العينات بحمام مائي مع تعديلpH باستخدام ماءات الصوديوم عندpH=٦,٨.

3-5-1 تنقية الاينولين:

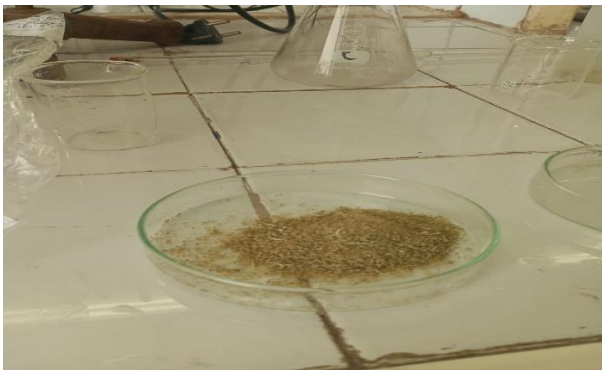
إضافة 10 ml من الأسيتون لإزالة أي بقايا قابلة للذوبان، وترك الرشاحة لمدة (٥ min) للسماح الاينولين لترسيب من المستخلص، ومن ثم الطفو على السطح ومن ثم الترشيح باستخدام قمع بوخنر، ومن ثم تجفيف الاينولين الناتج في المجفف على درجة حرارة ($45^{\circ}c$) حتى ثبات الوزن.



(a)



(b)



(c)

الشكل (٣): مرحلة تنقية الاينولين: (a): الاينولين المترسب بعد إضافة الأسيتون، (b) عملية ترشيح الاينولين المترسب، (c) عملية تجفيف العينات

3-6- 1تحديد العائد:

عائد الاينولين هو نسبة الوزن الجاف للاينولين إلى وزن مسحوق العينة الجافة ويحسب كنسبة مئوية (%) من العلاقة التالية:

$$Y\ (\%) = m\ /m_0 \times 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ (1)$$

حيث m_0: وزن العينة الجافة و m: وزن الاينولين الجاف الناتج

Y : عائد الاينولين(مردود).

4- تحديد الشروط المثلى لاستخلاص الاينولين من الخرشوف باستخدام (RSM):

4-1-تحديد الشروط المثلى لاستخلاص الاينولين:

تم في البداية تحديد وسط استخلاص الاينولين باستخدام ثلاث عوامل هي درجة الحرارة (**X1**)، وزمن استخلاص (**X2**)، نسبة سائل على صلب ml /g (**X3**)، ومستويات عدة لهذه العوامل، فقد استخدمت درجات الحرارة ضمن المجال(60,70,75 ºC) ، ولتحديد زمن استخلاص الأفضل ضمن المجال الزمني min (45,55,65) ، وكان المجال لنسبة السائل على الصلب ml /gr (4,3,2).

4-2- تصميم التجربة Experimental design:

تم إجراء التجارب الأولية لاختيار أفضل القيم الناتجة من أجل تحديد أفضل شروط الاستخلاص باستخدام التصميم (BOX–Behnken) (BBD) للتنبؤ بأفضل ظروف استخلاص بهدف الحصول على أقصى عائد الاينولين، الذي يتضمن إجراء13 تجربة تتوزع فيها العوامل بشكل عشوائي بمعدل ثلاثة مكررات للنقاط التجريبية ثم تصميم مصفوفة التجربة.

حيث يوضح الجدول (٣) مستويات العوامل المؤثرة في الاستخلاص، وإن المتغيرات الثلاث المدروسة هي العامل الأول درجة الحرارة **(X1)**، العامل الثاني زمن الاستخلاص **(X2)**، العامل الثالث نسبة السائل على الصلب **(X3)**، بينما عامل الاستجابة فهو عائد الاينولين(Y).

الجدول (3): مستويات العوامل المؤثرة في الاستخلاص

بارامترات الاستخلاص	الرمز	المستويات		
		−١	٠	+١
درجة الحرارة [ºC]	X1	60	70	75
زمن استخلاص[min]	X2	45	55	65
نسبة السائل على الصلب ml /g	X3	4	3	2

4-3- تحليل البيانات Date analysis:

تم استخدام تحليل الانحدار لسطوح الاستجابة برمجيات Design Expert ver.11. (Stat Ease, USA) لتحليل بيانات التجربة، إن مدى ملاءمة معادلة النموذج تظهر من خلال تحديد معامل التحديد R^2 وهو يمثل مربع معامل الارتباط ويشير إلى مدى تطابق البيانات بين النتائج الفعلية والقيم المحسوبة من خلال النموذج.

4-4- اختبار تحديد مستويات المثلى:

تم التحقق من البيانات التجريبية، ومن كفاية النموذج إحصائيا وفحص الأهمية الإحصائية للحدود في معادلة الانحدار باستخدام تحليل (ANOVA) للاستجابة، واستخدام برنامج (Design−Expert v11) و(R^2) في الأمثلة والتحليل الإحصائي، وتم دراسة التأثيرات المهمة للعوامل ولتفاعلاتها على كفاءة استخلاص الاينولين، تأثير العوامل الفردية على عائد استخلاص باستخدام المخططات الكنتورية ثنائية الأبعاد، وتأثير العوامل التفاعلية ، تأثير كل عاملين مع بعضهما على عائد استخلاص وذلك من خلال المخططات الكنتورية سطح ثلاثي الأبعاد والمخططات الكنتورية لعائد الاستخلاص.

5-النتائج والمناقشة:

5-1- تصميم النموذج:

بعد إجراء التجارب المختلفة والحصول على البيانات التجريبية تمّ معالجة البيانات بوساطة برنامج (Design-Expert v11)، والحصول على القيم المتوقعة وهذا موضح في الجدول (4).

الجدول **(4): تصميم التجربة ونتائج البيانات التجريبية والقيم المتوقعة لاستخلاص الاينولين من الخرشوف.**

رقم التجربة	درجة الحرارة (°C)	زمن استخلاص (min)	نسبة السائل على الصلب (ml /gr)	عائد الاستخلاص الاينولين من الخرشوف%	
				القيم المتوقعة	البيانات التجريبية
١	٦٠	٤٥	٣	٨٤,١	٨٣
٢	٦٠	٦٥	٣	٨٥,٣	٨٥
٣	٧٥	٤٥	٣	٨٥,٢	٨٥,٣
٤	٧٥	٦٥	٣	٨٥	٨٤
٥	٦٠	٥٥	٤	٨٤,٨	٨٣,٥
٦	٦٠	٥٥	٢	٨٥	٨٥
٧	٧٥	٥٥	٤	٨٥,١	٨٤,٥
٨	٧٥	٥٥	٢	٨٥,٣	٨٥
٩	٧٠	٤٥	٤	٨٥,٢	٨٤,٩
١٠	٧٠	٤٥	٢	٨٤,٨	٨٤
١١	٧٠	٦٥	٤	٨٥,١	٨٥,٣
١٢	٧٠	٦٥	٢	٨٥,٢	٨٥
١٣	٧٠	٥٥	٣	٨٥,٦	٨٥,٧

يعرض الجدول (4) العائد الذي تم الحصول عليه عند ظروف الاستخلاص المختلفة، تم الحصول على أعلى عائد عند ظروف استخلاص ($T=70^{\circ}c$ ، t=55min، 3 ml /gr=نسبة السائل إلى الصلب)، أما أقل عائد عند ظروف استخلاص ($T=60^{\circ}c$ ، t=45min، 3 ml /g=نسبة السائل إلى الصلب)، وهذا يبين أن استخلاص الاينولين من الخرشوف يتأثر بشكل أساسي بالعوامل الثلاث، وهنا يبرز دور درجة الحرارة حيث يعد تحلل الاينولين عند درجات الحرارة المنخفضة أقل فاعلية وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض عائد الاينولين ، أما زمن الاستخلاص فيؤثر على كفاءة الاستخلاص فبازدياد الزمن يصبح هناك زمن كافٍ لانتقال المذيب إلى داخل مصفوفة النبات مما يزيد من كمية الاينولين المتنقل إلى مذيب الاستخلاص و بالتالي زيادة عائد الاينولين وهذا يتفق مع دراسة (Kanakasabai et al.,2023).

ولوحظ أن الفرق بين $60^{\circ}c$ و $70^{\circ}c$ ليس كبيراً جداً من حيث إذابة الاينولين. فإن الاينولين يذوب بسهولة نسبياً في الماء عند هذه الدرجات، لذلك الزيادة ١٠ درجات لا تؤدي إلى فرق كبير في العائد.

بناءً على القيم التجريبية التي تم الحصول عليها وجد أن الفرق بين ٨٣,٥% و٨٥,٧%ليس غير منطقي فعليا بل هو طبيعي ضمن حدود الخطأ والتقلبات المعتادة للتجربة والنتيجة تشير إلى ثبات العملية تحت الظروف المختلفة (درجة الحرارة، زمن الاستخلاص، نسبة المذيب) والموضحة في الجدول (4) بني كثير حدود من الدرجة الثانية تمثل معادلة الانحدار المعبرة عن العملية على النحو الآتي:

$$Y = 24{,}215 + 1{,}0970X_1 + 0{,}7543X_2 + 1{,}5467X_3 + 0{,}0048X_1X_2 + 0{,}0037X_1X_3 - 0{,}0125X_2X_3 - 0{,}0061X_1^2 - 0{,}0034X_2^2 - 0{,}1875X_3^2$$

وتصف هذه المعادلة عائد الاينولين (%) كدالة للمتغيرات المشفرة وهي درجة الحرارة X_1، زمن استخلاص X_2 ، نسبة السائل على الصلب X_3 .

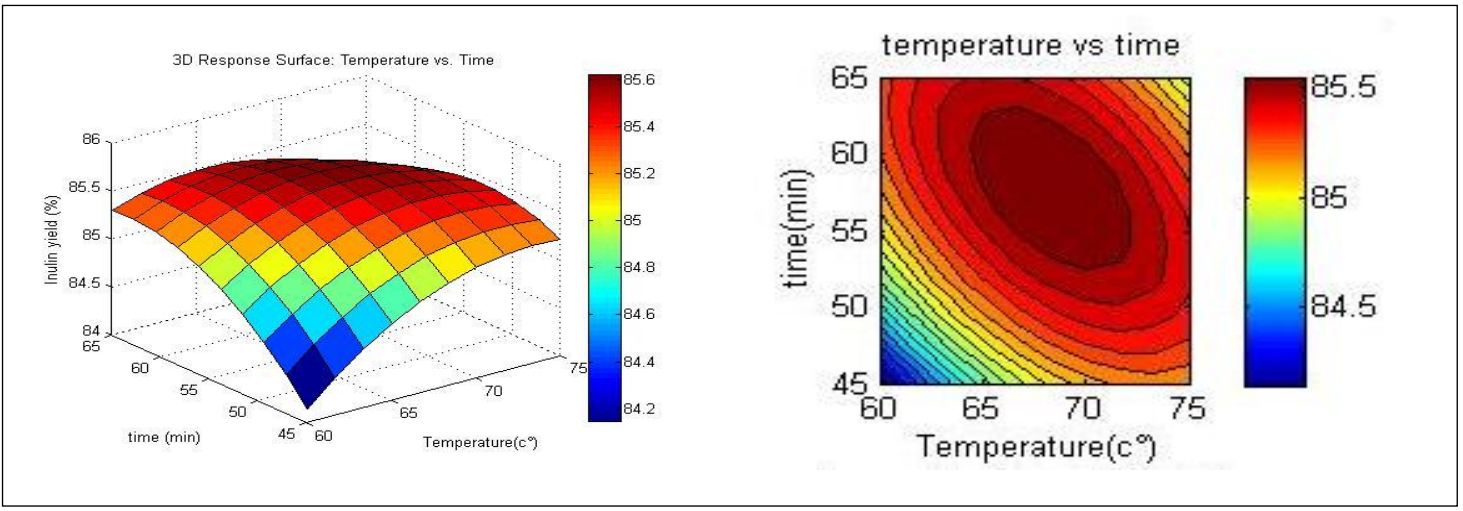
فقد أشار تقارب النتائج التجريبية للعائد بلغ ٨٥,٧% مع القيم النظرية المتوقعة ٨٥,٦%من خلال النموذج المستخدم على ملاءمة النموذج ونجاح منهجية سطوح الاستجابة في تحديد الشروط المثلى لاستخلاص الاينولين.

5-2 تحليل سطح الاستجابة

تمثل نتائج النماذج بيانياً باستخدام المخططات الكنتورية ثنائية الأبعاد، والمخططات السطحية ثلاثية الأبعاد لوصف التغيرات في الاستجابة (Y) من خلال التغيرات في قيم المتغيرات المستقلة ،حيث يمثل المخطط الكنتوري إسقاطاً للسطوح في المستوي ، وهو عبارة عن تمثيل ثنائي الأبعاد للمخطط للسطحي ويستخدم لبيان العلاقة بين استجابة محددة ومتغيرين مستقلين ،تعمل المخططات الكنتورية ثنائية الأبعاد على تحسين فهم المخططات السطحية ثلاثية الأبعاد للاستجابة ،حيث يتم رسم نطاقات ملونة من المتغيرات التابعة (الاستجابة) الثابتة في مستوى المتغيرات المستقلة (Sobie,2011).

٥-٢-١ – تأثير العوامل التفاعلية على عائد الاستخلاص:

إنّ العلاقة بين المتغيرات المستقلة والمرتبطة موضحة في تمثيل ثلاثي الأبعاد لسطح الاستجابة حيث يبين الشكل (٤) تأثير عاملين من المتغيرات هما درجة الحرارة وزمن الاستخلاص على عائد الاينولين

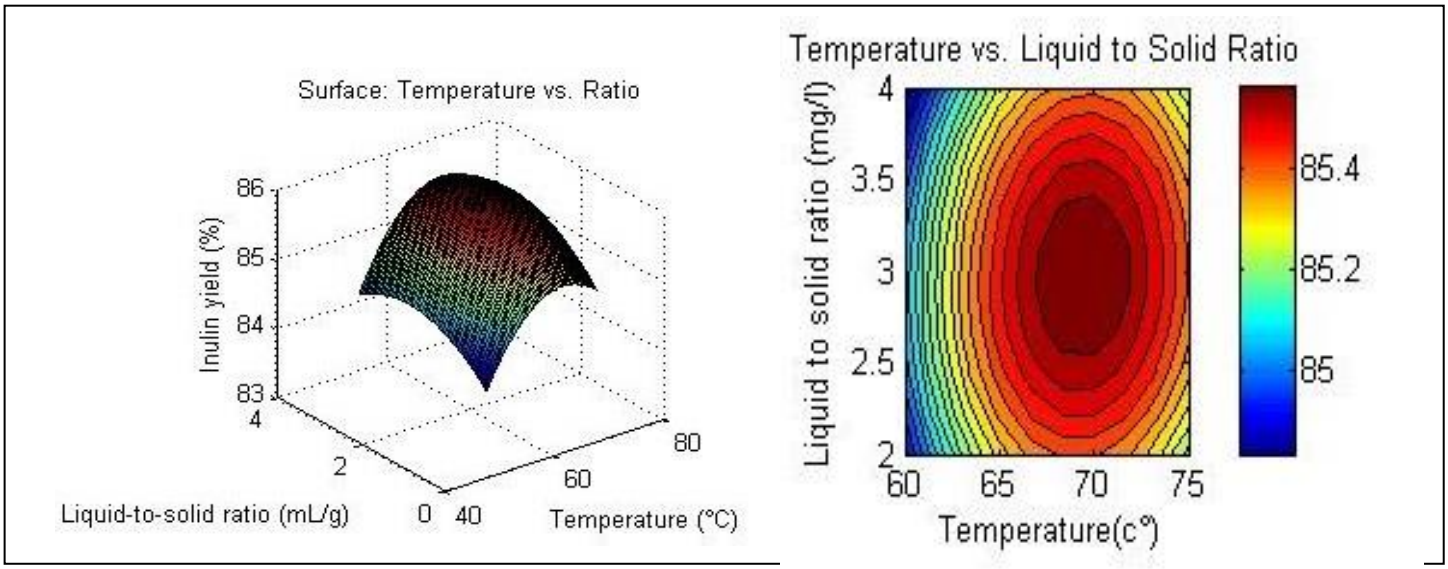


الشكل (٤) سطح الاستجابة ثلاثي الأبعاد والمخططات الكنتورية لعائد استخلاص الاينولين كدالة لدرجة الحرارة وزمن الاستخلاص

ويبرهن تأثير درجة الحرارة على الاستجابة ويلاحظ كما ارتفعت درجة الحرارة وانخفض زمن الاستخلاص كلما ارتفع عائد الاستخلاص، وعندا إبقاء الزمن على ٥٥ دقيقة وارتفاع درجة الحرارة عند $70^{\circ}c$ قد سبب ازدياد في الاستجابة حيث بلغت ٨٥,٦%، حيث يزداد الاستخلاص عند زيادة الزمن حتى حد معين ثم ينخفض نتيجة تفكك الاينولين بتأثير الحرارة المرتفعة وطول مدة الاستخلاص وهذا يتفق مع الدراسة (Kanakasabai et al.,2023) & (Cuenca et al.,2021).

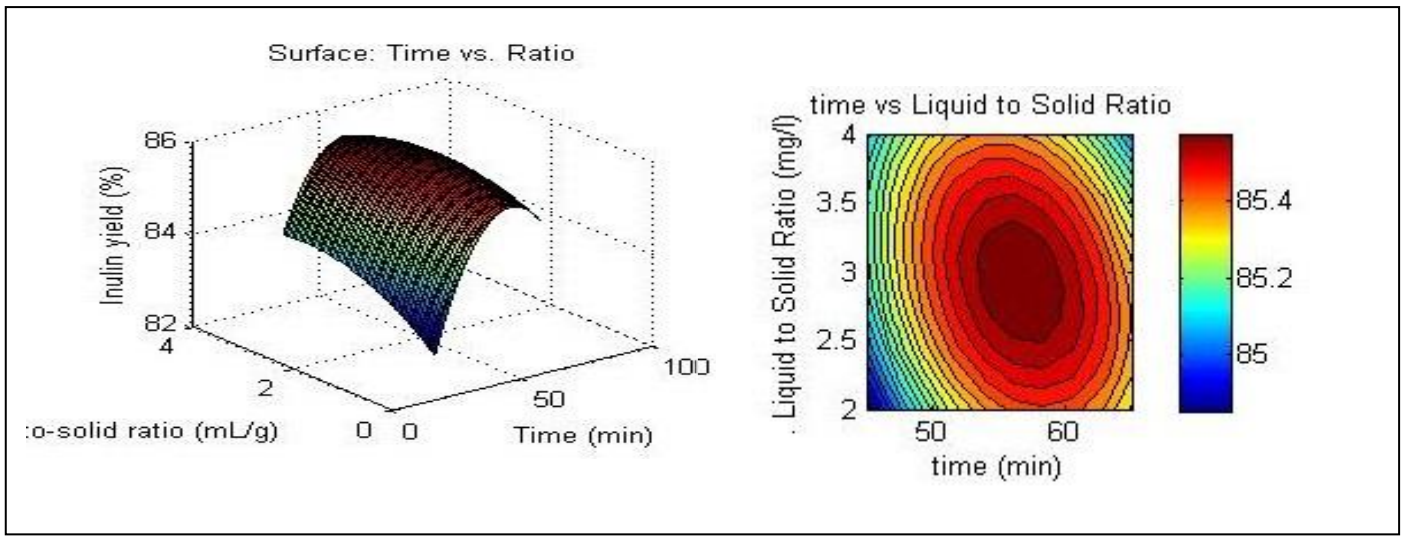
ويظهر بالشكل (٥) تأثير العاملين درجة الحرارة (X_1) و نسبة السائل إلى الصلب (X_3) على الاستجابة(Y)،كلما ازدياد عائد الاينولين ارتفعت درجة الحرارة حتى حد معين مع ملاحظة استخدام كمية كبيرة نسبياً من المذيب خوفاً من تبخره عند درجات حرارة

مرتفعة، كلما ارتفعت درجات الحرارة زادت اللزوجة وتحلل الاينولين وما أدى إلى تسريع حركة الحرارية الجزيئية وزيادة القوة الدافعة لنقل الكتلة في عملية الاستخلاص، وأقل من درجة $70^{\circ}c$ كانت عملية استخلاص بطيئة مما يأثر على عائد الاينولين.



ائد استخلاص الاينولين كدالة نسبة السائل على الصلب ودرجة الحرارة

ويبين الشكل (٦) تأثير العاملين زمن الاستخلاص(X_2) و نسبة السائل إلى الصلب (X_3) على الاستجابة(Y)، فقد لوحظ أن عائد الاينولين يزداد بزيادة زمن الاستخلاص حتى يصل إلى الزمن الأمثل ثم يسجل انخفاض طفيف بعد ذلك، لأن زيادة زمن الاستخلاص قد تسبب فقد في المذيب نتيجة التبخر لذلك يفضل استخدام كميات كبيرة نسبياً من المذيب خوفاً من تبخره عند درجات الحرارة العالية، أن طول مدة الاستخلاص يأثر على عائد الاينولين وهذا يتفق مع الدراسة (Ahmadi et al.,2022).



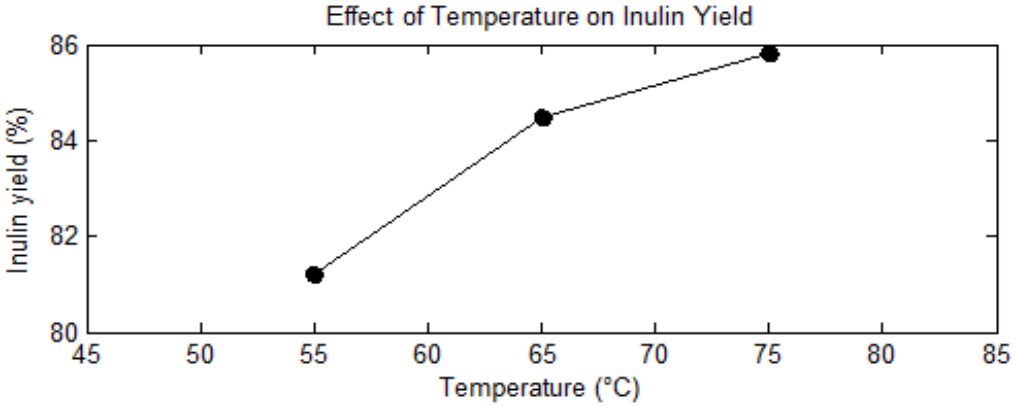
الشكل (٦) سطح الاستجابة ثلاثي الأبعاد والمخططات الكنتورية لعائد استخلاص الاينولين كدالة نسبة السائل على الصلب وزمن الاستخلاص.

وعندا إبقاء الزمن على ٥٥ دقيقة ونسبة السائل على الصلب بلغت ml /g ٣ قد سبب ازدياد في الاستجابة حيث بلغت ٨٥,٦%، ويلاحظ أن زيادة زمن الاستخلاص تحسن العائد حتى حد معين، ثم يبدأ بانخفاض نتيجة تفكك الاينولين تحت تأثير الحرارة المرتفعة وطول مدة الاستخلاص.

5-3-1 تأثير العوامل الفردية على عائد الاستخلاص:

يوضح هذا التأثير عند رسم مخططات التأثيرات الرئيسية التي تبين العلاقة بين كل متغير على حدة ويبين كل استجابة، كما يوضح الشكل (٧) أن عائد الاينولين يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة، إذ تُوفَّر الطاقة الحرارية اللازمة لتطريه أنسجة النبات مما يساعد على تحريك مركبات معينة ويعزيز ذوبان الاينولين بالمذيب.

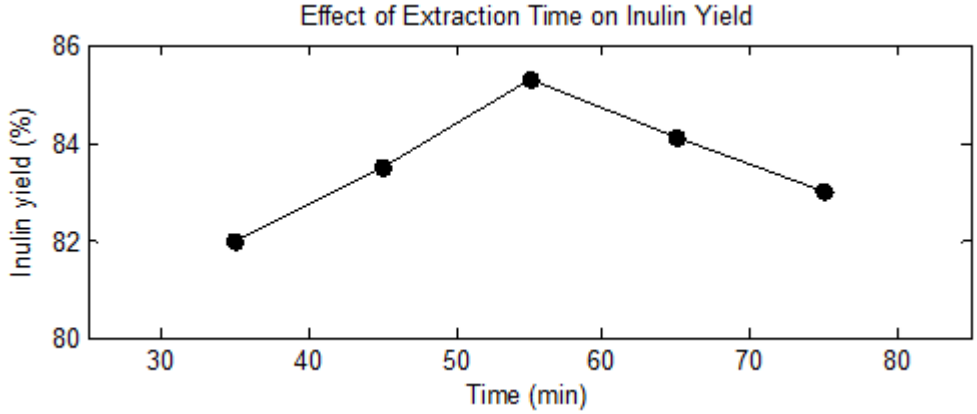
ولكن درجات الحرارة العالية جداً قد تؤدي إلى تدهور وتفكك الاينولين وتسبب التحلل المائي عند درجات حرارة عالية وهذا يتفق مع الدراسة (Kanakasabai et al.,2023)& (Castellino et al.,2020) .



الشكل (٧): تأثير درجة الحرارة (X_1) في عائد الاينولين(Y)

عند درجة $80^{\circ}c$ تحقق تحللات ملحوظة وبالاستمرار في التسخين $(100-230)^{\circ}c$ تتكاثف جزئيات الفركتوز إلى أنهدريدات ثنائية وعند درجات أعلى $(250-300)^{\circ}c$ يحدث تحلل عميق مع إطلاق غازات ومواد كربونية (Glibowski et al.,2011).

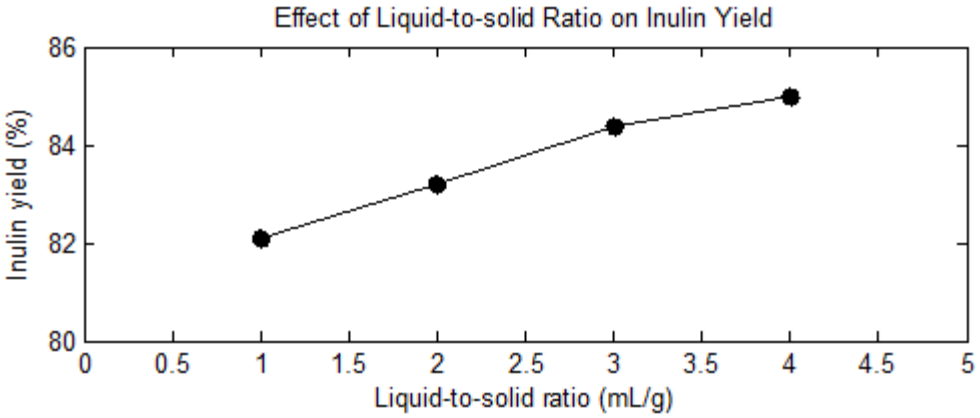
ويظهر الشكل (٨) تأثير العامل (X_2) على الاستجابة (Y)، بالنسبة لزمن الاستخلاص فقد زاد عائد الاينولين مع ازدياد زمن الاستخلاص حتى الزمن الأمثل ثم انخفض.



الشكل (٨): تأثير زمن الاستخلاص (X_2) في عائد الاينولين(Y).

فإن زمن الاستخلاص يشكل عاملاً أخراً مهما يؤثر على استخلاص الاينولين حيث أعطت أعلى عائد للاينولين عند زمن min ٥٥، وطول مدة الاستخلاص يؤثر سلباً على عائد الاينولين، لأن زيادة زمن الاستخلاص قد تسبب تبخر المذيب وتفكك الاينولين.

ويظهر الشكل (٩) تأثير العامل (X_3) على الاستجابة (Y) فقد زاد عائد الاينولين مع ارتفاع المذيب حتى نسبة المذيب الأمثل ثم انخفض قليلاً ويعود ذلك إلى اللزوجة المذيب قد تسبب انخفاض اللزوجة إلى تسريع عملية الاستخلاص .



الشكل (٩): تأثير نسبة السائل إلى الصلب(X_3) في عائد الاينولين(Y).

حيث تعكس لزوجة المذيب مقاومة السائل لحركة الجزيئات داخلة. فكلما ارتفعت اللزوجة انخفضت حركة الجزيئات الذائبة وصعب انتقالها من المصفوفة النباتية إلى الوسط السائل. هذا يعني أن المذيبات عالية اللزوجة تقلل من كفاءة عملية الاستخلاص، بينما المذيبات منخفضة اللزوجة تسهل الانتشار وتزيد معدل الاستخلاص الاينولين (Ahmadi et al.,2022).

5-2- نتائج التحليل الإحصائي:

تم استخدام تحليل التباين (ANOVA) للتحقق مما إذا كان النموذج الرياضي يصف الواقع التجريبي المدروس بشكل مرضٍ ، كما تم تقييم أهمية معاملات الانحدار باستخدام القيمة الإحصائية (P-Value) حيث إن القيم المنخفضة (P <٠,٠٥) تشير إلى أن المتغير ذو دلالة إحصائية. (Moler &Little,2020).

وقد تم تحديد كفاءة النموذج بواسطة معامل تحديد R^2 حيث بلغت 0,954، وهي قيمة قريبة من الواحد مما يدل على ارتفاع درجة ارتباط النموذج مع البيانات التجريبية وهذا يشير إلى كفاءة النموذج حيث يمثل العملية ويشير معامل التحديد إلى النسبة المئوية لتباين الاستجابة الذي ينسب إلى النموذج مقدار التغير في استخلاص الاينولين وعلاوة على ذلك يصف معامل الاختلاف (CV%) للاينولين كان ضمن الحد المقبول (0, 2046)، والتي يجب ألا تتجاوز ٢٠%، في حين كانت قيم P للعوامل المتداخلة الأخرى أكبر من ٠,٠٥ وهذا يشير إلى أن العلاقة بين هذه العوامل غير معنوية من حيث تأثيرها في استخلاص الاينولين.

الجدول (5): تحليل التباين (ANOVA) للنموذج المستخدم لعائد استخلاص الاينولين

Source	Sum of Squares	Degrees of Freedom (df)	Mean Square	F-value	p-value
Model	1.22	9	0. 36	٨.46	0.0١6
Linear	0.011	3	0.0036	0.091	0.964
Temperature	0.008	1	0.008	0.2	0.669
Time	0.003	1	0.003	0.077	0.792
Ratio	0.00052	1	0.00052	0.013	0.912
Quadratic	0.95	3	0.32	8.09	0.017
Temp²	0.45	1	0.45	11.29	0.015
Time²	0.4	1	0.4	9.98	0.019
Ratio²	0.09	1	0.09	2.2	0.192
2-Way Interaction	0.26	3	0.085	2.12	0.209
Temp × Time	0.026	1	0.026	0.66	0.448
Temp × Ratio	0.16	1	0.16	4.12	0.092
Time × Ratio	0.073	1	0.073	1.87	0.229
Residual	0.32	3	0.11	-	-
Lack of Fit	0.31	1	0.31	23.12	0.013
Pure Error	0.013	2	0.0065	-	-
Total	1.53	12	-	-	-
Std dev	0,1737		R^2	0,9546	
Mean	84.61		R^2_{adj}	0,9191	
CV%	0, 2046				

تشير القيمة (P< ٠,٠٥) إلى أن النموذج المطور مهم ومناسب جداً، وهذا يقابل قيمة (F-value)، أي أن النموذج ذو أهمية معنوية، كما تدل قيمة (P>٠,٠٥) لعدم الملائمة (Lack of Fit) من إمكانية استخدام النموذج للتنبؤ بالاستجابة بالنسبة لشروط الاستخلاص فنجد إن أكثر الحدود أهمية إحصائية هو درجة الحرارة حيث (٠,٠١٥> P)، يليه زمن الاستخلاص (P<٠,٠١٩) ويليه غير معنوي نسبة السائل إلى الصلب (P<٠,١٩٢).بناءً على القيم السابقة ،يظهر أن درجة الحرارة له أقوى تأثير على معدل الاستخلاص ثم زمن الاستخلاص ،بينما نسبة الصلب إلى السائل ليست ذات تأثير معنوي .

5-3- الاستنتاجات:

١-تم تحديد الشروط المثلى لاستخلاص الاينولين من الخرشوف باستخدام منهجية سطوح الاستجابة (RSM) من حيث درجة الحرارة التي بلغت $70^{\circ}c$ وزمن الاستخلاص بلغ 55min، ونسبة السائل إلى الصلب 3 ml/gr وعند تطبيق هذه الشروط بلغ عائد ٨٥,٦%

٢- لوحظ من نتائج أن درجة الحرارة له أقوى تأثير على معدل الاستخلاص ثم يليه زمن الاستخلاص، بينما نسبة الصلب إلى السائل ليست ذات تأثير معنوي.

٣–أظهرت القيم المتوقعة من النموذج تطابقاً جيداً مع القيم التجريبية، مما يؤكد كفاءة ودقة النموذج المستخدم في تحسين عملية الاستخلاص، ويمكن أن يستعمل نموذج كثير الحدود من الدرجة الثانية في الوصول إلى أفضل عائد استخلاص.

5–4–التوصيات:

١–دراسة تأثير العوامل المختلفة التي تؤثر على عائد استخلاص الاينولين باستخدام منهجية الاستجابة (RSM) لتحديد الشروط المثلى لاستخلاص أكبر عائد من الاينولين.

٢–استخدام منهجية سطح الاستجابة في العديد من التطبيقات التكنولوجية والتصنيعية المختلفة لتحسين ظروف العمليات مثل: الاستخلاص، والتجفيف، والتحلل المائي الأنزيمي، وإنتاج المستقلبات الميكروبية، والعديد من العمليات الكيميائية، والكيميائية الحيوية الأخرى.

المراجع العربية:

١. بوراس، ميتادي، أبو ترابي، بسام، البسيط إبراهيم. (٢٠٠٥). إنتاج محاصيل الخضار. الجزء النظري. منشورات جامعة دمشق.

٢. سمرة، محمد بديع وجلول أحمد. (٢٠٠٣). إنتاج الخضار الصيفية. منشورات جامعة تشرين.

–المراجع الأجنبية:

1. AHMADI, E. Farimani, M.M. Rezadoost, H ,2022. *Optimization of inulin extraction from Inula helenium L. Using response Surface methodology followed by its MALD –TOF and TLC- FLD based characterization.* Medicinal plants:21(82):43-55.

2. CASTELLINO, M. Renna.M. Leoni, B. Galasso, M. Difonzo, G.Caponio.F. 2020, *Conventional and un conventional recovery of inulin rich extracts for food use from the roots of globe artichoke.* Food Hydrcolloids, 107-105975.

3. CUENCA, R. A. Vazquez, H. E. Hoyos, C. L. Ordonez, G, E. Ruperez. 2021, *Inulin extraction from common inulin containing plant sources*. Industrial crops & products.113726.

4. DRAKOS, A. Tassioglou, E. Evageliou, V. Mandala, I**.** 2021**,** *The effect of Inulin on the Physical and Textural properties of Biscuits containing jet Milled Barleg flour*. Polysaccharides of food science and Human Nutrition, 1750-3841:15491.

5. FAO. 2005, *Amino acid content of foods biological data of proteins*.FAO.Nutr. Food and Agric.Organization of United Nation, 24.

6. GLIBOWSKI, P. Bukowski, A., 2011.The *effect of pH, Temperature and heating time on Inulin chemical stability*. Actascipol., Technol.Aliment,189-196.

7. KANAKASABAI, P. SIVAMANI, S.Banerjee.S.Vijay.P.Thirumavalvan.K. 2023, *Identification of optimal conditions for the extraction of inulin frim chicory*. Materials Today: Proceedings, 92:737-741.

8. MOLER, C. Little, J.A. 2020, *Hisrory of MATLAB.*HOLP. Article81 . 67.

9. MARIONA.G. 2015, *Study on Safety and efficacy of inulin and oligo fructose in neonates, Journal of functional foods in health and disease*, 5(6):209-223.

10. LI, S. Wu, Q. YIN, F. Zhu, Z.He.J.Barba.J. 2018, *Development of a combined Trfluoroacetic Acid Hydrolysis and HPLC –ElSD Method to Identify and Quantify Inulin Recovered from Jerusalem artichoke Assisted by Ultrasound Extraction*.APPL.SCI. 710:103390.

11. SALEM, B. M., Affes, H. Ksuoda, K. Dhouibi, R. Sahnoun.Z. Hammami, S. Zeghal, M, K. 2015, *Pharmacological Studies of Artichoke Leaf Extract and their Health Benefits*. Springer science. Nutr Plant foods, 70:441-453.

12. SRINAMEB, B. Nuchadomrong, S. Jogloy.S. Patnrotha.S. Srijaranai, 2015, *Preparation of Inulin Powder from Jerusalem Artichoke (Helianthus tuberosusl)*. Springer Science. 1130-015-0480.

13. SOBIE, A.E. 2011. *An Introduction to MATLAB.*Science Signaling. 4.191:7.

14. WANG, L. Li, Lianyn, Gao,J. Huangj.Yany,Y.YU,Y.Liu,SH.YU. W. 2021, *Characterization, antionidant and immanomodn effects of Selenized poly saccharides from latory dandelion roots***.** Carbohydrate polymers, 260:117796.

15. YOLMEH, M. Jafar, S.M. 2017.*Application of Response Surface Methodology in the food industry processes*. Food Bioproc Tech 10:413-433.