

الفرز الحجمي لثمار البرتقال عبر منظومة رؤية

م. رامي عمار*

(تاريخ الإيداع 23 / 9 / 2020 . قُبل للنشر 22 / 11 / 2020)

□ الملخص □

يطرح هذا البحث طريقة آلية في الحصول على حجم ثمرة البرتقال وما يشابهها من الثمار الأخرى كالليمون والبطيخ أو المنتجات الأخرى كالبيض مثلاً، تركز هذه الطريقة على تقنية معالجة الصورة وتحليلها عبر الماتلاب. يتميز البرتقال بأنه ذو شكل متناظر هندسياً بالنسبة لمحاوره. نسبة التكور هي معيار التمييز بين أنواع البرتقال المختلفة، تم تحديد الحجم بالاعتماد على الصورة الرقمية الملتقطة بواسطة كاميرا بدقة 5 MP (ميغابكسل). أظهرت هذه الطريقة نتائج جيدة جداً عند مقارنتها بالنتائج التي تم الحصول عليها من خلال طرق القياس اليدوية المتبعة، حيث لم تتجاوز نسبة الخطأ 5%.

كلمات مفتاحية: فرز، تناظر، حجم، معايرة، نسبة التكور، معالجة الصورة

Volumetric sorting for orange fruits by a vision system

Eng. Rami Ammar*

(Received 23 / 9 / 2020 . Accepted 22 / 11 / 2020)

□ ABSTRACT □

This research presents a technical method to get the the volume of orange fruit and similar fruits like lemon, watermelon and other products such as eggs. This method is based on image processing and analysis by Matlab software. Orange is symmetrical for its axes, roundness ratio is the criterion for distinguishing between different orange types. The volume was determined based on the digital image captured by a 5MP (Mega Pixel) camera. This method showed a very good result when compared to the results obtained through traditional measurement where the error occurred did not exceed 5%.

Key word: sorting, symmetry, volume, calibration, roundness ratio, image processing.

1- مقدمة

لو تم تخيير أي شخص بين ثمرة برتقال كبيرة الحجم وزاهية اللون وبين ثمرة برتقال أخرى أصغر حجماً وذات لون باهت، فأى واحدة سيختار ياترى؟! بالطبع سيختار الثمرة الأولى. إن الحجم يعتبر من أهم المتغيرات التي لا بد من معرفتها وتحديدتها لما له من أثر كبير في عمليات التصنيع، التخزين والتصنيف. وبما أن أي جسم يمكن أن يتم وصفه اعتماداً على أبعاده كونها تصف الحالة الهندسية لهذا يمكن من خلال تحديدها الوصول إلى متغيرات أخرى كالمساحة والحجم والتكور و... الخ، يتم قياس الحجم عادةً باستخدام طريقة الماء المزاح حيث يغمر الجسم المراد معرفة حجمه في أنبوب مدرج يحوي على الماء، ومقدار انزياح السائل عن وضعه الابتدائي يُعبر عن حجم الجسم المغمور. لقد قام العديد من الباحثين بدراسة الخصائص الفيزيائية والهندسية للثمار بأنواعها لأغراضٍ مختلفة، فقد تم تحديد عدة متغيرات لأربع أنواع من البرتقال اعتماداً على طول العينة (L) وقطرها (D) بوصفهما من الخصائص الفيزيائية فكانت هذه المتغيرات حسب (Topuz et al 2005) تعطى وفق العلاقات :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Mohsenin 1980} \\ S = \pi * D_g^2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{القطر الهندسي المكافئ: } D_g = (L * D^2)^{1/3} \\ \text{التكور: } \phi = D_g / L \\ \text{مساحة السطح: } \\ \text{الحجم: } V = \frac{\pi}{6} * L * D^2 \end{array}$$

كما تم تطوير نظام لتقدير حجم الليمون بغية تحديد حجم الضرر الناجم عن التجمد في ولاية فلوريدا بأمريكا (Miller et al 1988)، هذا النظام قام بتحديد قطر الثمرة اعتماداً على الخط الخارجي للعينة ومن ثم وضع معادلة رياضية لتقدير حجم الليمون فكانت هذه المعادلة وفق الشكل :

$$V \approx \frac{\pi d^3}{6} \quad (\text{Miller et al 1988})$$

كان التوجه الأول نحو الاعتماد على الصورة في مجال القياسات عندما ظهر التصوير الفوتوغرافي وبعد عدة محاولات على أنواع مختلفة من المواد تم استخدامها لتقدير المساحة الجانبية والحجم للبيض، حيث تم اعتبار قمتي البيضة قطبا كرة والمقطع فيما بينهما مؤلف من عدة عناصر أولية اسطوانية الشكل، وقد أثبت هذا النظام نجاحاً في مهمته إضافةً إلى سهولة استخدامه (Hughes 1984).

مع تطور البرمجيات المتعلقة بمعالجة الصورة أصبحت مهمة إيجاد القياسات الهندسية للمنتجات الزراعية أمراً ممكناً جداً، فمن خلال صورة ثنائية البعد يمكن استخراج عدة متغيرات هامة كتلك التي أجريت على ثمرة الإجاص بأخذ صورة رقمية لها وحساب عدد البكسلات فيها لتحديد مساحة السطح الجانبية (Babic et al 2012)، تم أيضاً اقتراح نظام يعمل بكاميرتين لتقدير حجم عينة يوسفحيث يتم أخذ صورتين جانبيتين لكل عينة ومن ثم دمج النتائج للوصول إلى القطر النهائي و تطبيقه في معادلة الحجم حيث تم اعتبار عينة اليوسفي كروية الشكل (Omid et al 2010)، في نظام آخر تم استبدال الكاميرتين بكاميرا واحدة و مرآتين متوضعيتين في غرفة ضوئية تتيح هاتين المرآتين إمكانية رؤية الكاميرا لثلاث جوانب من العينة، لكن المشكلة أن الأبعاد في المرايا غير حقيقية (Koc et al 2007)، تم تطوير نظام الكتروني لفرز البندورة تبعاً لدرجة النضج

يتكون من كاميرا ديجيتال وحاسوب شخصي يعتمد في الفرز على قيم (RGB(Lino etal 2008)، في دراسة أخرى تم الاعتماد على قيم RGB (R: اللون الأحمر، G: اللون الأخضر، B: اللون الأزرق) لكل بكسل ثم استخدام خوارزمية Bayesian لتحديد ما اذا كان البكسل تابع للثمرة او للخلفية وقد أظهرت هذه الدراسة أن أكثر من 75% من البكسلات قد تم تصنيفها (Slaughter etal 1989)، قام (Joko et al 2014) بدراسة الثمار المنتظمة وغير المنتظمة الشكل حيث قام بتحديد العلاقات التي تصف شكلها الخارجي. أيضاً قام (Selman et al 2018) بتحديد التغيرات اللونية والحجم للثمرة باستخدام معالجة الصورة. إن أغلب الباحثين رغم قلة المراجع اقترح تقريب شكل البرتقال الى شكل الكرة وبالتالي ينطبق عليه ما ينطبق على الكرة من علاقات هندسية.

2- أهمية البحث وأهدافه

نظراً لوجود تصنيفات متعددة للجودة فإن الطريقة اليدوية في الفرز لا تعطي النتائج المطلوبة إذ نجد تداخلاً بين الأصناف ضمن العبوة الواحدة وبالتالي سوء بالموصفات المطلوبة ما يخلق خسائر اقتصادية في حال التصدير أو حدوث مشكلات صحية في حال التصنيع الغذائي أو حالات من عدم الرضا والتأفف عند المستهلك. من هنا تبرز أهمية استخدام وسائل أخرى لإجراء عملية الفرز، وليس هنالك ما هو أفضل من الفرز الآلي القائم على الدراسات والاستخدام الصحيح للتكنولوجيا، وهنا يأتي الفرز الآلي بواسطة معالجة الصورة في الصدارة لما يحققه من نتائج جيدة في هذا المجال. يهدف هذا البحث إلى:

1- تصميم منظومة رؤية تساعد في فرز الثمار للحد من المشكلات الناجمة عن مزاجية اليد العاملة في التصنيف.

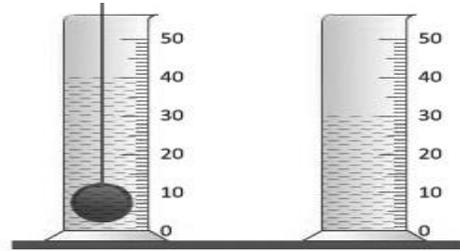
2- الحصول على منتج عالي الجودة ووفق المعايير العلمية.

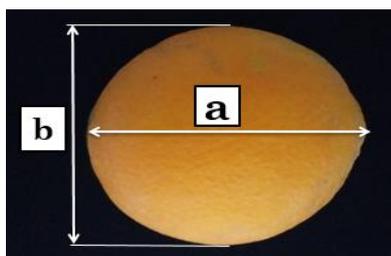
3- طرائق البحث و مواد

إن المادة الزراعية التي تم هذا البحث عليها هي مادة البرتقال (فالنسيا، أبو سره) و التي تم تحديد حجمها باستخدام معالجة الصورة وفق عدة مراحل: (1) تحضير العينات وقياسها، (2) تصميم المنظومة ومعايرة الكاميرا، (3) معالجة الصورة عبر الماتلاب، (4) حساب الحجم. كما تم مقارنة النتائج المستخلصة بالنتائج التجريبية. تم إجراء الاختبارات والتجارب وتصميم الجهاز في مدينة بانياس خلال الفترة الممتدة من 5/12/2019 حتى 13/4/2020.

1- تحضير العينات وقياسها

تم قياس أبعاد عينات البرتقال بواسطة بياكوليس رقمي ذو دقة 0.01mm، كما تم قياس حجم هذه العينات بواسطة طريقة الماء المزاح الشكل (1).





الشكل (1): طرق القياس التقليدية

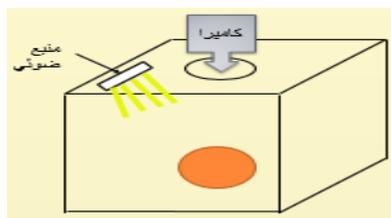
إن ما يميز هذين النوعين من البرتقال عن بعضهما من ناحية الشكل هو ما يدعى بنسبة التكور \emptyset . تعطى نسبة التكور بالعلاقة:

$$\emptyset = \frac{\text{قطر الثمرة}}{\text{طول الثمرة}} = \frac{D(cm)}{L(cm)} \quad (\text{Mohsenin 1986})$$

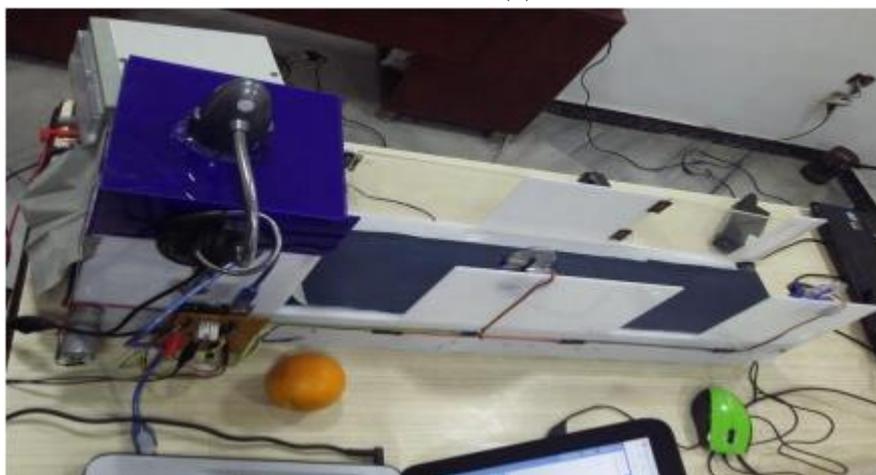
تم حساب هذه النسبة لكل نوع فكانت (0.89, 0.98) لأبو سرة والفالنسيا على الترتيب. مما يعني من خلال هذه النسبة أن ثمرة أبو سرة بيضوية الشكل، الفالنسيا كروية تماماً.

2- تصميم المنظومة ومعايرة الكاميرا

تم تصميم منظومة الفرز والتي تتألف من المكونات التالية: سير ناقل مزود بفتحات على جانبيه لفرز الثمار، كاميرا رقمية بدقة 5ميغا بكسل تتوضع فوق السير الناقل، غرفة ضوئية تكون عبارة عن علبة مستطيلة الشكل تحوي القاعدة العليا في منتصفها على فتحة تتناسب مع فتحة عدسة الكاميرا، منبع ضوئي 1 W، الشكل (2) والشكل (3)



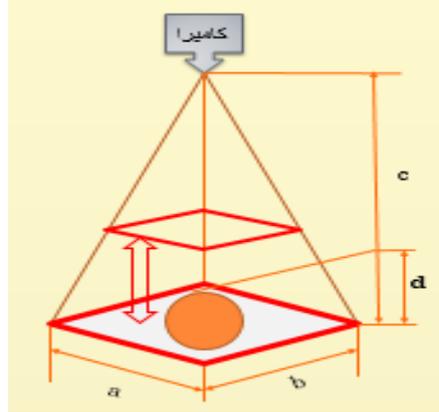
الشكل (2): مكونات الغرفة الضوئية



الشكل (3) جهاز الفرز الذي تم تصميمه

تم التقاط صورة واحدة لكل عينة من مجموع العينات المدروسة والبالغ عددها 164 عينة برتقال أبو سرّة و 150 عينة برتقال فالنسيا مختلفة الأحجام (عدد العينات مختلف بين الصنفين لأن 1 كغ أبو سرّة كان يحوي 6-4 حبات في حين كان يحوي 8-6 حبات فالنسيا). تم أخذ هذه العينات (30 كغ أبو سرّة، 20 كغ فالنسيا) من مزرعة البيلسان في منطقة حريصون-بانياس.

ترى الكاميرا الأجسام بشكل هرمي حيث تُشكل قاعدة الهرم أبعاد الصورة الحقيقية. إن أبعاد الصور الملتقطة بواسطة الكاميرا المستخدمة في هذا البحث هي (640×480) pixel.



الشكل (4) الرؤية الهرمية للكاميرا حسب (Forbs 2000)

تم قياس أبعاد قاعدة الهرم وذلك بوضع مسطرة تحت مجال رؤية الكاميرا فوجد أن كل 13 cm تقابل 640 pixel

إن الصورة تتكلم بلغة البيكسل ولكي نفهم النتائج الظاهرة يجب التحويل الى إحدى الواحدات المترية. يعطى عامل المعايرة بالعلاقة:

$$C_f = \frac{\text{الطول بالسنتيمتر}}{\text{الطول بالبيكسل}} = \frac{13}{640} \quad (\text{Russ 1999})$$

كان من المفترض عند تطبيق هذا العامل في العمليات الحسابية للحجم أن يعطي النتائج الصحيحة إلا أنه أعطى نتائج حجم أكبر بكثير من النتائج الحقيقية لذا كان من الضروري إيجاد عامل تصحيح.

إن القطر الأعظمي للعينة يوجد في مستوي يوازي مستوي قاعدة الهرم ويرتفع عنه بمقدار d وهذا الارتفاع يتغير تبعاً للعينة، لكن البرنامج المكتوب بلغة الماتلاب لحساب الحجم سوف يقرأ الصورة ويعتبر أن القطر الأعظمي يوجد عند قاعدة الهرم وبالتالي إعطاء نتائج خاطئة- لأنه كلما اقتربنا باتجاه عدسة الكاميرا يقل عدد البكسلات في وحدة الطول- ولما كان من الصعب تحديد هذا الارتفاع رياضياً كونه متغير تم اللجوء الى الطريقة التجريبية لتحديد عامل التصحيح.

بعد إجراء أكثر من 160 تجربة تم التوصل الى عامل التصحيح التالي $C_c = 1.35$ فيصبح عامل المعايرة يعطى بالعلاقة:

$$C_f = \frac{13}{640} - 1.35$$

يختلف عامل التصحيح باختلاف نوع الكاميرا ودقتها وارتفاعها، وهذا العامل ليس له واحدة وهو قيمة تجريبية تم تطبيقها على العينات المدروسة البالغ عددها 160. كما تم تطبيقه على عينات إضافية أخرى بلغ عددها 36 عينة، فكانت هذه القيمة تعطي أقرب نتيجة صحيحة وقريبة للواقع.

3- معالجة الصورة عبر الماتلاب

تم استخدام الماتلاب لشهرته الواسعة في مجال معالجة الصور حيث تم كتابة برنامج يتم فيه تحويل الصورة الملونة للعينة الملتقطة الى صورة ذات تدرج رمادي باستخدام التعليمة $rgb2gray(a)$ ، ثم تعزيز حواف صورة العينة باستخدام فلتر لابلاس الذي يعمل وفق المعادلة التالية:

$$I \sim = I - W. (H * I) \quad (\text{Rafael et al 1979})$$

حيث:

$I \sim$: صورة التحسين I : صورة الدخل

H : مرشح لابلاس w : نسبة المكون اللابلاسي في الصورة (درجة الوضوح)

ثم تُحوّل هذه الصورة الرمادية معززة الحواف إلى صورة ثنائية باستخدام نظرية الاختيار التكراري للعتبة والتي تنص على:

- اختيار قيمة ابتدائية للعتبة T تساوي المتوسط الحسابي لبكسلات الصورة
 - تحسب قيمتي المتوسط الحسابي $U1$ و $U2$ لمجموعتي البكسلات التي قسمتتهما العتبة T
 - تحسب القيمة الجديدة للعتبة بالعلاقة :
- $$T_{\text{new}} = \frac{U1+U2}{2} \quad (\text{Rafael 1979})$$

- اذا كانت قيمة العتبة الجديدة قريبة من العتبة السابقة $|\Delta T| < T - T_{\text{new}}$ تكون عندها

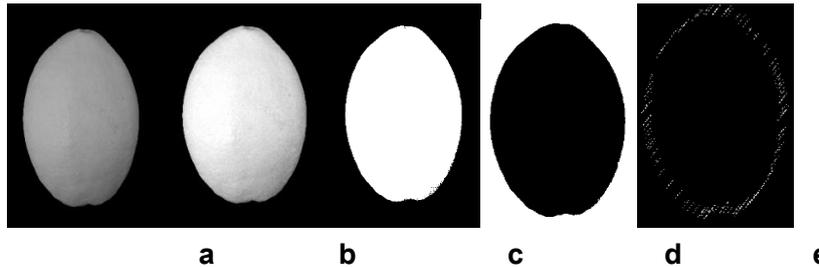
هي العتبة المختارة وإلا يتم العودة إلى الخطوة الثانية.

بعد تطبيق العتبة تتحول جميع البكسلات الرمادية التي تحمل قيمة العتبة وما فوق الى اللون الأسود (القيمة 1 في الصورة الثنائية)، والبكسلات التي تكون أدنى من قيمة العتبة تتحول الى اللون الأبيض (القيمة 0 في الصورة الثنائية).

يتم إجراء العمليات المورفولوجية على الصورة الثنائية وهذه العمليات تشمل التآكل (Erosion)، التمدد (Dilation) وذلك لفك ارتباط بعض العناصر غير المرغوبة في الصورة.

عند طرح ناتج تطبيق العمليات المورفولوجية من الصورة الثنائية الأصلية نحصل على حدود العينة فقط والعلاقة التالية تعبر رياضياً عن هذه العملية

$$\beta(A) = A - (A \ominus B) \quad (\text{Russ 1999})$$

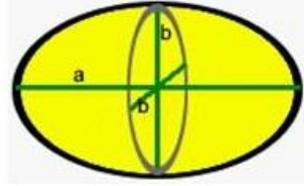


الشكل (5) العينة خلال المعالجة عبر برنامج الماتلاب الذي تم تنفيذه

بعد الحصول على خط العينة الخارجي يتم حساب القطر لاستخدامه لاحقاً في معادلات حساب الحجم.

4- حساب الحجم

أولاً: أبو سرّة:



الشكل (6) ثمرة أبو سرّة فراغياً حسب (Joko et al 2014)

تأخذ معادلة الحجم بالنسبة لهذا النوع الشكل التالي:

$$V = \frac{1}{6} \pi a b^2 \quad (Joko et al 2014)$$

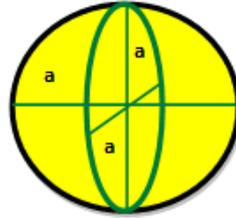
تم تصنيف العينات وفق تصنيف منظمة الأغذية والزراعة (FAO) إلى (صغير، متوسط، كبير) الحجم كما

في الجدول (1)

الجدول (1) تصنيف برتقال أبو سرّة حسب الحجم

النوع	صغير الحجم [cm ³]	متوسط الحجم [cm ³]	كبير الحجم [cm ³]
أبو سرّة	170 >	170~220	220 <

ثانياً: الفالانسيا:



الشكل (7) ثمرة فالانسيا فراغياً حسب (Joko et al 2014)

تأخذ معادلة الحجم لهذا النوع الشكل التالي:

$$V = \frac{1}{6} \pi a^3 \quad (Joko et al 2014)$$

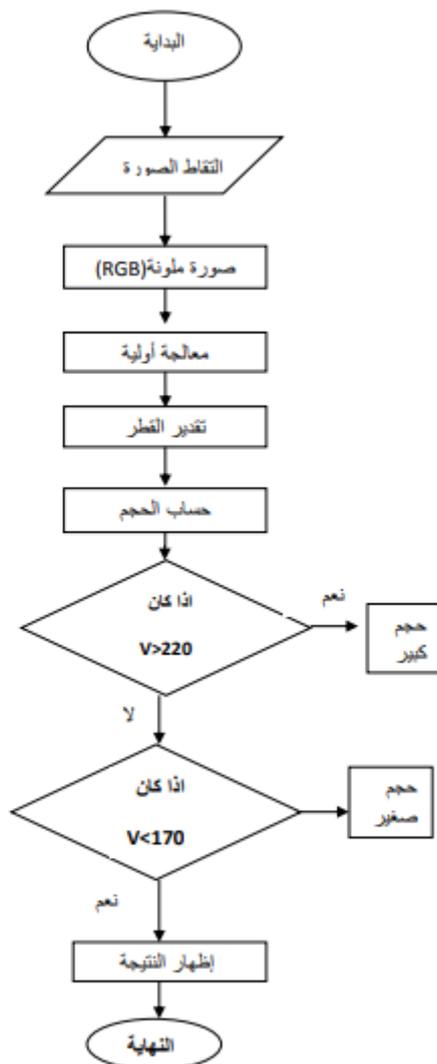
صُنفت عينات الفالانسيا أيضاً وفق تصنيف منظمة الأغذية والزراعة (FAO) إلى (صغير، متوسط، كبير)

الحجم كما هو موضح بالجدول (2)

الجدول (2) تصنيف برتقال فالانسيا حسب الحجم

النوع	صغير الحجم [cm ³]	متوسط الحجم [cm ³]	كبير الحجم [cm ³]
فالانسيا	150 >	150~190	190 <

تم حساب الحجم لجميع العينات والبالغ عددها (164,150) لكل من الفالانسيا وأبو سرة على الترتيب. فيما يلي المخطط الانسيابي لتتالي العمليات التي قمنا بها حتى الوصول الى حساب الحجم.



الشكل (8) المخطط الانسيابي للعمليات حتى الوصول الى حجم العينة

4- النتائج والمناقشة

للتحقق من صحة هذه الطريقة تم مقارنة نتائجها مع النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة طريقة الماء المزاح، كما تم حساب النسبة المئوية للخطأ فتبين أن مقدار الخطأ في النوعين لا يتجاوز 5%.

$$E \% = \frac{|V1 - V2|}{V1} \times 100 \quad (Topuz et al 2005)$$

حيث:

V1: الحجم من خلال الماء المزاح.

V2: الحجم من خلال الصورة.

القيمة المطلقة من أجل القيم السالبة لأنه في بعض العينات كان $v2 > v1$.

أولاً: برتقال أبو سرّة:

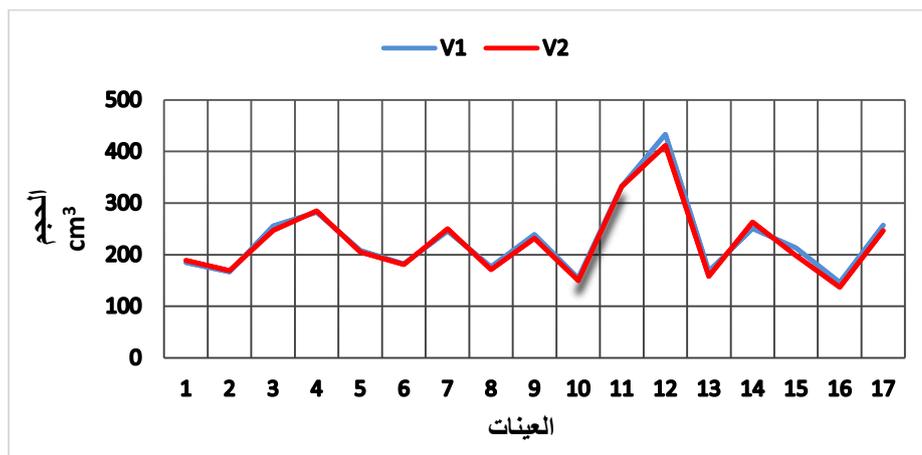
يعرض الجدول (3) مقارنة بين نتائج الحجم المستخلصة من كل من طريقة البحث المدروسة وطريقة الماء المزاح بالنسبة ل 16 عينة فقط من عينات ثمار برتقال أبو سرّة متفاوتة الأبعاد والنسبة المئوية للخطأ بين الطريقتين.

الجدول (3) مقارنة نتائج الحجم عبر الطريقتين والنسبة المئوية للخطأ

رقم العينة	الحجم من خلال طريقة الماء المزاح (V1) Cm ³	الحجم من خلال الصورة المعالجة (V2) Cm ³	$E \% = \frac{ V1-V2 }{V1} \times 100$
1	184.61	188.8	2.24%
2	166.46	169.3	1.73%
3	255.73	247.3	3.31%
4	282.2	284.7	0.88%
5	208.34	205.1	1.53%
6	182.4	180.9	0.83%
7	245.86	250.2	1.77%
8	176.5	171.0	3.13%
9	239	231.5	3.15%
10	154.16	150.1	2.67%
11	332.54	331.7	0.26%
12	433.22	412.0	4.91%
13	168	157.9	6.04%
14	251	263.0	4.77%
15	213	198.4	6.84%
16	214	246.5	4.10%

تم ملاحظة ظهور نسبة خطأ أعلى من 5% لبعض العينات وعند الرجوع لهذه العينات تم ملاحظة وجود تشوه في شكل السرة مما أعطى العينة شكلاً غير منتظم وبالتالي تنتج زيادة في نسبة الخطأ ورغم ذلك فقد كانت نسبة الخطأ لما يزيد عن 85% من عدد العينات المدروسة تتراوح بين (2.9-3.6%) وهذا ما لم يستطع تحقيقه كل من الباحثين (lino,omid) حيث كانت نسبة الخطأ عندهم (5%, 6%).

تم إنشاء مخطط خطي من نوع (خطي بعلاجات) لمقارنة قيم البيانات الناتجة من طريقتي القياس، حيث نلاحظ جلياً مدى التقارب في النتائج.



الشكل (9) مخطط التقارب في نقاط بيانات الحجم الناتج من طريقتي القياس من نوع (خطي بعلامات).

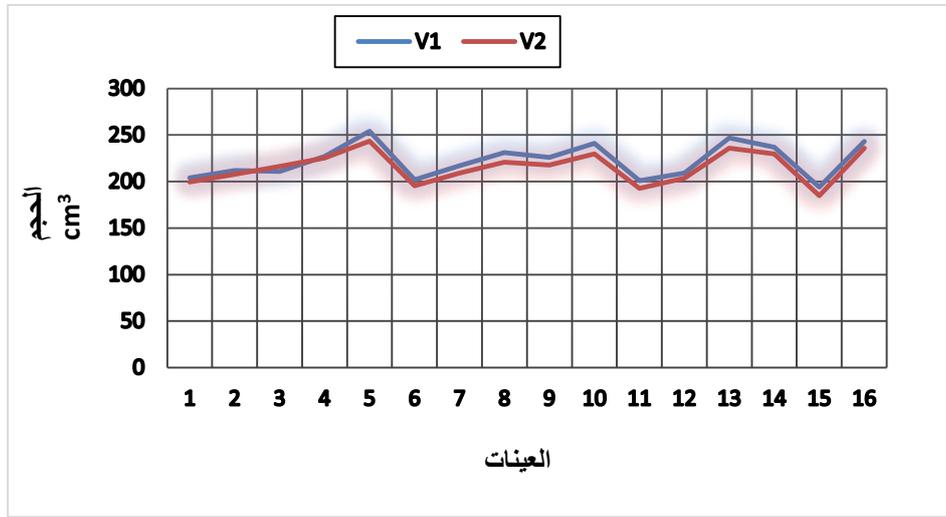
ثانياً: برتقال فالنسيا:

يعرض الجدول (4) مقارنة بين نتائج الحجم المستخلصة من كل من طريقة البحث المدروسة وطريقة الماء المزاح بالنسبة ل 16 عينة فقط من عينات ثمار برتقال فالنسيا متفاوتة الأبعاد والنسبة المئوية للخطأ بين الطريقتين.

الجدول (4) مقارنة نتائج الحجم عبر الطريقتين والنسبة المئوية للخطأ

رقم العينة	الحجم عبر الماء المزاح (V1)	الحجم من خلال الصورة (V2)	$E \% = \frac{ V1 - V2 }{V1}$
	204		
1	212	199.5	2.2%
2	211	207.8	2.0%
3	227	216.4	2.6%
4	254	225.2	0.8%
5	202	243.4	4.2%
6	217	195.3	3.3%
7	231	209.2	3.6%
8	226	220.8	4.4%
9	241	217.8	3.6%
10	201	229.7	4.7%
11	209	192.6	4.2%
12	247	203.6	2.6%
13	237	235.8	4.5%
14	194	229.7	3.1%
15	243	184.7	4.8%
16		235.8	3.0%

تم إنشاء مخطط خطي من نوع (خطي بعلامات) لمقارنة قيم البيانات الناتجة من طريقتي القياس، حيث نلاحظ جلياً مدى التقارب في النتائج.



الشكل (10) مخطط التقارب في نقاط بيانات الحجم الناتج من طريقتي القياس

بالنسبة لـ 16 عينة متفاوتة الأبعاد من برتقال فالنسيا كانت النتائج متقاربة بل ومنطقة تقريباً حيث لم تتجاوز نسبة الخطأ 5% لبعض العينات ولكن في الحقيقة كانت نسبة الخطأ تتراوح بين (1.5% - 2.7%) وذلك لأكثر من 80% من العينات المدروسة، وهذه النتيجة لم يصل لها أي من الباحثين (Topuz, miller, omid, lino, selman) حيث بلغت نسبة الخطأ عندهم على التوالي (9%, 12%, 6%, 5%, 7%).

يُعزى ذلك إلى التناظر الكبير في شكل الثمرة حيث أنها تكاد تكون كروية تماماً حيث نسبة التكرور لها بلغت

0.98

5- الخاتمة والتوصيات

تم تحديد الحجم باستخدام معالجة الصورة لنوعين من البرتقال (فالنسيا، أبو سره) وفي هذه الطريقة تم الوصول إلى نتائج مقارنة جداً للنتائج التي تم الحصول عليها من طريقة الماء المزاح وبنسبة خطأ لا تتجاوز 4% ما يعني فعالية هذه الطريقة وصلاحيتها للاستخدام في فرز جميع أنواع الثمار التي تُبدي تناظراً في شكلها كالبندورة، التفاح، الخوخ، والمشمش.... الخ.

تم ملاحظة أن نسبة الخطأ في ثمار أبو سرّة أعلى مما هي عليه في ثمار فالنسيا ويرجع ذلك الى أن نسبة التكور في فالنسيا أكبر منها في أبو سرّة. إذ أن نسبة التكور تلعب الدور الرئيسي في تحديد الحجم، فكلما زادت هذه النسبة زادت دقة القياس وكانت النتائج أكثر مطابقة للواقع وانخفضت نسبة الخطأ. تعد هذه الطريقة ناجحة للاستخدام ولا تتطلب العنصر البشري كما أنها آمنة للثمار إذ أنها لا تعرضها للكدمات أو الجروح.

يُنصح بإيجاد عامل التصحيح لكاميرا مختلفة وإيجاد العلاقات التي تربطه ببعد الكاميرا عن العينة ونوع الكاميرا ودقتها.

المراجع

- 1-Topuz A., Topakci M., Canakci M., Akinci I., and Ozdemir F. *Physical and nutritional properties of four orange varieties*. J. Food Eng. Res., 66,2005, 519-523.
- 2-William M. Miller, Kalman Peleg, and Patrick Briggs. *Automatic density separation for freeze-damaged citrus*. Applied Engineering in Agriculture, 4(4):344-348, December 1988.
- 3-Hughes, R.J. *Estimation of Shell Surface Area from measurements of Length, Breadth, and Weight of Hen Eggs*. Poultry Science 1984, 63, 2471-2474.
- 4-Babic, L.; Matic-Kekic, S.; Dedovic, N.; Babic, M.; Pavkov, I. *Surface area and volume modeling of the Williams pear (Pyrus Communis)*. International Journal of Food Properties 2012, 15 (4), 880-890.
- 5-Khojastehnazhand, M.; Omid, M.; Tabatabaeefar, A. *Determination of tangerine volume using image processing methods*. International Journal of Food Properties 2010, 13 (4), 760-770.
- 6-Koc, A.B. *Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing*. Postharvest Biology & Technology 2007, 45(3): 366-371.
- 7- Lino, Antonio Carlos Loureiro; Juliana Sanches; Inacio Maria Dal Fabbro. *Image processing techniques for lemons and tomatoes classification*. Bragantia, 2008, 67, no.3: 785-789.
- 8-Slaughter, D.; Harrel, R.C. *Discriminating fruit for robotic harvest using colour in natural outdoor scenes*. Transactions of the ASAE 1989, Vol.32 (2), 757-763.
- 9- Joko Siswantoro, Anton Satria Prabuwono, Azizi Abdullah, Bahari Idrus, *Monte Carlo Method with Heuristic Adjustment for Irregularly Shaped Food Product Volume Measurement*, The Scientific World Journal, pp.1-10, Hindawi Publishing Corporation (2014).
- 10-Mohsenin, N. N. *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Science Publishers. (1980).
- 11- Forbes, K.A, *Estimating fruit volume from digital images*. Africon, 2000. IEEE 1,107-112.
- 12-Russ, J. *The Image Processing Handbook, 3rd Ed.*; CRC Press & IEEE Press: Boca Raton, FL, 1999.
- 13-Rafael C. Gonzalez and Paul Wintz. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1979.
- 14- Food and Agriculture Organization (FAO), Statistics, Available Online: <http://www.fao.org/statistics/en>, March 2018.
- 15-Selman.U, Fekrat.Y, Ahmet.T.O. *Image Processing Based Machine Vision System for Tomato Volume Estimation*. IEEE 2018, 978-1-5386-5136-0.