

استنباط نموذج رياضي للتنبؤ بأحجام كدمات التفاح باستخدام التحليل البعدي

أحمد عبود⁽¹⁾

الملخص

دُرِسَ في هذا البحث تأثير ارتفاع السقوط لصنف واحد من التفاح وهو "Golden delicious" وعلاقة كتلة الثمرة بحجم الكدمة الناتجة عن سقوط الثمار من ارتفاعات مختلفة بحيث تحاكي هذه الارتفاعات التي تتكرر في أثناء عملية تداول هذه الثمار وفرزها وتصنيعها بهدف استنباط نموذج رياضي للتنبؤ بأحجام هذه الكدمات تحت تأثير العوامل المختلفة باستخدام طريقة التحليل البعدي ومعرفة نسبة حجم هذه الكدمات إلى حجم الثمرة الكلي وذلك من أجل استخدام هذه النموذج الرياضي في تصميم أجهزة النقل والتداول بالشكل الصحيح الذي يقلل من التلف damage الناتج عن سقوط الثمار من الارتفاعات التي تتعرض لها في أثناء عمليات التداول. أظهرت نتائج الدراسة وجود تأثير معنوي كبير بين ارتفاع السقوط وكتلة الثمرة في أحجام الكدمات الناتجة، حيث بلغت نسبة حجم الكدمة إلى حجم الثمرة الكلي عند ارتفاع السقوط 60 سم 10.66%، وثبت ذلك رياضياً، إذ ازداد حجم الكدمة بازدياد الارتفاع حيث ازداد متوسط حجم الكدمة من 2.5 سم³ عند ارتفاع 15 سم إلى 4.87 سم³ عند ارتفاع 60 سم وازداد متوسط حجم الكدمة من 2.51 سم³ عند كتلة 182 غ إلى 4.33 سم³ عند كتلة 201 غ وكان الفرق بين متوسط حجم الكدمات معنوياً بالنسبة إلى الارتفاع والكتلة باستثناء الفرق بين ارتفاع 40 سم و60 سم والفرق بين كتلة 200 غ و210 غ. في حال سقوطها على أرضية محددة تمّ التوصل إلى وضع نموذج رياضي للتنبؤ بحجم الكدمة الناتجة وتبين من خلال النتائج أنّ النموذج الرياضي الذي تمّ استنباطه بطريقة التحليل البعدي أعطى نتائج أدق للتنبؤ بحجم الكدمة من طريقة التحليل الخطي العادي.

الكلمات المفتاحية: حجم الكدمة، التحليل البعدي، قطر الثمرة، كتلة الثمرة.

⁽¹⁾ قسم الهندسة الريفية، كلية الزراعة، ص.ب. 30621، جامعة دمشق، سورية.

Derive a Mathematical Model to Predict the Sizes of Apples Bruises Using Dimensional Analysis

Ahmad Aboud⁽¹⁾

ABSTRACT

Most fruits subjected to the damage during harvesting, handling, and transportation that cause bruising to the fruit and decreasing the product quality. Therefore, experiments were carried out to study the effect of drop height and apple mass on the bruise size of Golden Delicious Apples. Mathematical model was developed to use in design and constructed of handling, and transportation of fruit systems for minimizing the effects of the drop height and the apple mass on the apple bruise that affect on the apple quality. Results showed that the bruise size increased linearly with increasing of drop height and apple mass. In addition, results showed that the dimensional analysis was a power tool to develop an accurate prediction model to predict the fruit bruises to design and constructed handling, transportation and sorting systems of fruits like apples.

Key words: Bruise size, Dimensional analysis, Apples, Golden delicious.

⁽¹⁾ Dep. Rural. Eng., Fac. Agric., Damascus Univ, P.O.Box 30621, Syria.

المقدمة

يعدُّ التفاح من الثمار القابلة للتلف والتعفن بسرعة كبيرة highly susceptible بفعل القوى الخارجية المؤثرة فيها كقوى الصدم impact forces الناتجة عن عمليات سقوط الثمار من ارتفاعات متعددة على سطوح صلبة، أو نتيجة لوجود قوى ضغط ساكنة static forces في أثناء تعبئة الثمار في الصناديق لنقلها إلى الأسواق أو لتخزينها داخل غرف التبريد مما يؤدي إلى تهشم الأنسجة الطرية و حدوث ما يسمى بالكدمات bruises مما يجعل هذه المنطقة عرضة للإصابات الفطرية أو التحلل الذاتي الأنزيمي وعدم القدرة على تخزين هذه الثمار، وتتنخفض جودتها وتزداد نسبة الفاقد الكلي من الثمار مما يعني الخسارة الاقتصادية وعدم الصلاحية للتصدير.

ذكر Mohsenin (1986) أنه يوجد العديد من الاختبارات الخاصة بتجارب الصدم التي استخدمت من قبل الباحثين لبحث ظاهرة التلف الناتج عن صدم الثمار Fruit impact كما هو موضح في الشكل (1) والتي يمكن تقسيمها بشكل عام إلى:

1- إسقاط الثمار من ارتفاع معين

2- صدم الثمرة بكتلة صلبة

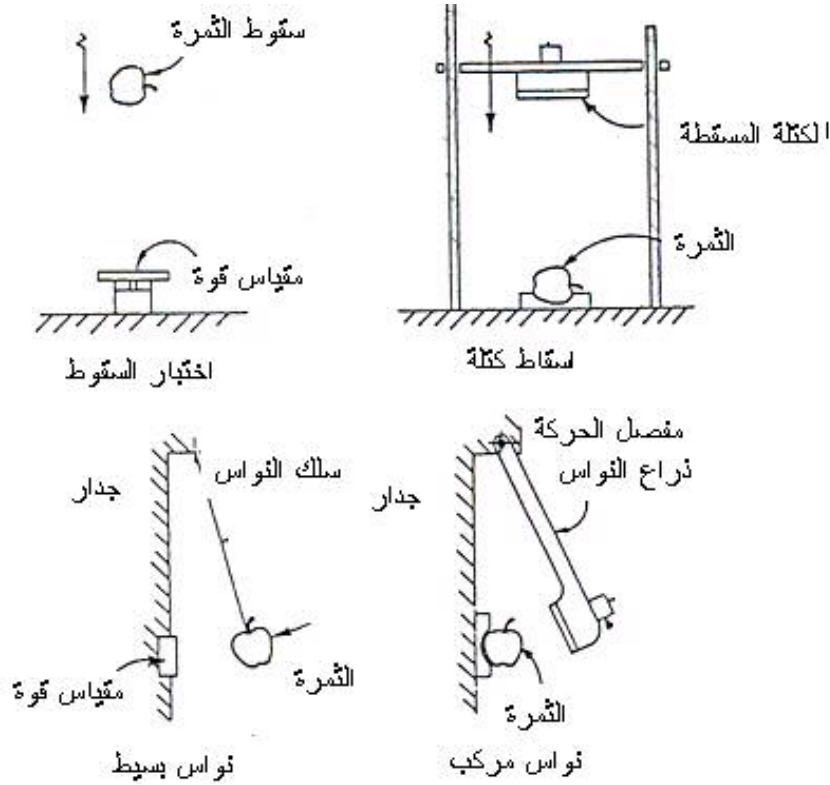
3- طريقتان للصدم باستخدام النواس impact with pendulum

4- طريقة الصدم باستخدام ذراع صدم impact ram

أشار Srivastva et al., (1992) إلى إمكانية حدوث الكدمات للثمار نتيجة لعمليات الانضغاط التي قد تحدث في أثناء عمليات النقل والتعبئة في العبوات والتخزين في المخازن المعدة للتصدير. وتسهم دراسة الكدمات في التفاح تحت تأثير القوى المختلفة في تصميم أنظمة ملائمة للنقل والتداول لهذه المواد ونقل من الكدمات التي تتعرض لها هذه المنتجات. كما أشار أيضاً إلى إمكانية تطوير نماذج رياضية للتنبؤ بهذا النوع من التلف بتأثير الأحمال المختلفة مثل الصدم والتحميل الساكن.

أشار Holmes et al., (1995) إلى إمكانية استخدام التقانات الحديثة للتنبؤ بالكدمات التي تحدث للثمار باستخدام طريقة التعليم الآلية أو ما يعرف بالرؤي الآلية machine vision من خلال برامج حاسوبية خاصة إذ تبين من نتائج مجموعة من البحوث نجاح هذه الطريقة من حيث الدقة والسرعة في تقدير أحجام هذه الكدمات.

طوّر Menesatti et al., (2002) معياراً لتقييم التلف الناتج عن سقوط الثمار مثل التفاح Drop Damage Index (DDI) باستخدام نموذج رياضي إحصائي بالاعتماد على تحليل الارتباط المتعدد multiple regression analysis حيث جُمعت البيانات اللازمة لاستنباط النموذج من خلال تجارب الصدم للعديد من الثمار وقورنت نسب الثمار التالفة بالسليمة وبلغت قيمة موثوقية هذا المؤشر 99.1%.



الشكل (1) يوضح بعض الطرائق المستخدمة في تجارب الصدم بشكل عام حسب Mohsenin (1986).

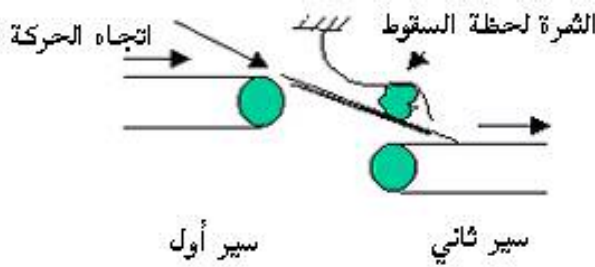
أشار Kupferman (2006) إلى وجود عاملين أساسيين يؤثران في الكدمات، هما الصدم والانضغاط وأن معظم الكدمات التي تحدث في التفاح تكون نتيجة للصدم الناتج عن سقوط الثمار على سطوح صلبة، ويتعلق حجم الكدمة بكل من زمن الصدم وسرعته، أما الكدمات الناتجة عن الانضغاط فتحدث في أثناء عمليات التعبئة والضغط الساكن نتيجة تحميل الثمار فوق بعضها بعضاً، وأوضح الباحث إمكانية التقليل من حجم الكدمات من خلال ما يأتي:

- إجراء عمليات الجني بعناية ودقة كبيرتين من قبل العمال لتجنب التلف الناتج عن سقوط الثمار في أثناء عملية الجني.
- نقل الثمار الموضوعة في عبوات داخل الحقل إلى المخازن بعناية وحرص دقيقين.
- إجراء عمليات التحضير المناسبة للثمار قبل عمليات التعبئة.

- مراقبة خطوط التعبئة والفرز بشكل جيد وتجنب ارتفاعات السقوط وعمليات الصدم المختلفة.
 - تصميم معدات نقل الثمار على خطوط الإنتاج بحيث تكون عمليات النقل بلطف وتجنب العمليات التي تسبب صدمة للثمار.
 - تجنب الثمار عمليات التسارع والتباطؤ المفاجئ في أثناء التداول.
- كما درس (Tahier 2006) العوامل المؤثرة في تحسين جودة ثمار التفاح وتبين من نتائج البحوث أن الإجراءات المتخذة قبل عمليات الجني وبعدها أسهمت في التقليل من الكدمات وتبين من خلال البحث أنه توجد علاقة خطية بين طاقة الصدم وحجم الكدمة الناتجة وأن عملية التبريد الأولي قد قللت من نسب حدوث الكدمات بشكل كبير.

مواد البحث وطرائقه

أجريت التجارب المخبرية لدراسة تأثير كتلة الثمرة وارتفاع السقوط في أحجام الكدمات الناتجة عن سقوط الثمار على سطح صلب، وذلك من أجل استنباط نموذج رياضي يعتمد على التحليل اللاعدي للتنبؤ بأحجام الكدمات عند ارتفاعات سقوط مختلفة وكتل مختلفة بهدف المساهمة في تصميم أنظمة نقل وتداول الثمار خلال العمليات المختلفة مثل الفرز والتدريج والتعبئة وعمليات التصنيع الموضح آلية حدوثها في الشكل (2)، ونفذ هذا البحث في مخابر كلية الزراعة - جامعة دمشق، 2008.



الشكل (2) يوضح آلية حدوث الكدمات في أثناء النقل والتداول

مواد البحث

1- ثمار التفاح: تم تأمين عينات البحث من السوق المحلية وأجريت التجارب على صنف "Golden Delicious" نتيجة لانتشار زراعته في سورية. الجدول (1) يوضح بعض مواصفات الثمار التي استخدمت في التجارب، وتم الحصول على هذه الخصائص من اثنتي عشرة مكررة لأحجام متقاربة.

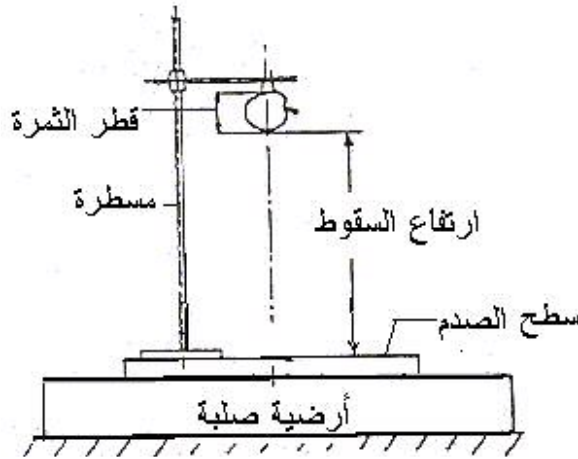
الجدول (1) يوضح متوسط كتل الثمار المستخدمة في التجارب وأقطارها مع الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف لقطر الثمرة.

كتلة الثمرة (غ)	متوسط القطر (سم)	الانحراف المعياري (سم)	معامل الاختلاف (%)	سطح الصدم
182	3.98	0.95	0.50	معدن صلب
189	4.16	1.02	0.55	-
195	4.22	0.92	0.48	-
200	4.27	0.89	0.43	-
210	4.32	0.82	0.410	-
219	4.42	0.89	0.62	-

2- ميزان كهربائي رقمي: استخدم ميزان كهربائي بدقة 0.1 غ.

3- مسطرة القياس الرقمية "بياكوليس" لقياس أبعاد الثمار المختلفة، وكذلك لقياس الأبعاد الضرورية لتحديد أحجام الكدمات الناتجة.

4- تجهيز التجربة: تمّ التجهيز وفقاً لـ (Mohsenin, 1986) كما هو مبين في الشكل (3)، ويتكون من سطح الصدم، ومسطرة رأسية لقياس ارتفاع السقوط، ومثبت الثمرة من أجل إسقاطها.



الشكل (3) يوضح مخطط تجهيز الاختبار وفق (Mohsenin, 1986).

طرائق البحث

1- العوامل المؤثرة في تشكل الكدمات، وتشمل هذه العوامل ما يأتي:

- ارتفاع السقوط: أسقطت الثمار من الارتفاعات الآتية: 15، 20، 25، 30، 40، و60

سم، وقد اختبرت هذه الأبعاد لتحاكي ارتفاعات السقوط خلال تداول الثمار في أثناء عمليات الفرز والتدريج أو التصنيع داخل المصانع، حيث تنقل هذه الثمار في أثناء المراحل السابقة بواسطة سيور، وخلال انتقالها من مرحلة إلى أخرى تتعرض لعمليات السقوط.

- كتل الثمار: كما هو مبين في الجدول (1).

2- العوامل المقيسة:

- متوسط قطر الثمرة وكتل الثمار المختلفة
- ارتفاع السقوط
- قطر الكدمة الناتجة وعمقها.

3- تحديد حجم الكدمة: بحسب (Barreiro (1999): تمّ بقياس عمق الكدمة وقطرها باستخدام العلاقة الآتية:

$$B.V = \pi \cdot d^2 \cdot h / 6 = 0.534 d^2 \cdot h$$

إذ: B.V: حجم الكدمة h: متوسط عمق الكدمة d: متوسط قطر الكدمة

نتائج حساب متوسط حجم الكدمة باستخدام العلاقة السابقة موضحة لاحقاً في الجدول (7).

4- أسلوب تحليل النتائج: سوف يتمّ استخدام طريقة تحليل الانحدار الخطي وتحليل التباين وإجراء اختبار (Tukey) للمقارنات اللابعدية (Post Hoc)، وتمثيل العلاقة بين حجم الكدمة وعوامل الدراسة بيانياً؛ وذلك من أجل الوصول إلى العلاقة الرياضية التي تربط بين جميع المتغيرات لابعدياً، وسوف يتمّ التأكيد من النتائج إحصائياً بإجراء تحليل التباين وذلك باستخدام برنامج SPSS15، وسوف يتمّ تحليل البيانات كتصميم عاملي (Factorial 2 x 6 x 3) كما يأتي:

- عوامل الدراسة (2) ارتفاع السقوط وكتلة الثمرة.
- عدد المستويات (6) ستة مستويات لكل من ارتفاع السقوط وكتلة الثمرة .
- عدد المكررات (3).

5- التحليل ثنائي الأبعاد: Dimensional analysis

إن الخطوة الأولى في إجراء التحليل اللابعدي هو التعريف بالكميات الفيزيائية المرتبطة بالنظام وباستخدام نظرية "باكنجهام" (Buckingham's Pi-Theorem) التي من خلالها يمكن إيجاد المجموعات اللابعدية التي تساوي إلى عدد الكميات الفيزيائية مطروحاً منها الواحدات الأساسية المعروفة كما هو مبين في الجدول (2)، وبفرض أن حجم الكدمة يرتبط بقطر الخضوع وإجهاده وطاقة الصدم (كتلة الثمرة وارتفاع السقوط) وبذلك تمّ ربط جميع المتغيرات بالعلاقة الآتية: $B.V = f(mg h, D, \sigma_v)$

الجدول (2) يوضح الكميات الأساسية المرتبطة بعملية الصدم والأبعاد الأساسية

رمز المتغير	المتغير	الرمز اللابعدي	وحدة البعد
D	قطر التفاحة	L	سم
B.V	حجم الكدمة	L ³	سم ³
mgh	طاقة الصدم	F.L	جول
σ_v	إجهاد الخضوع	F./L ²	نيوتن/سم ²

6- إجراءات التجربة:

أُجريت المرحلة الأولى بإسقاط الثمار المتجانسة من ارتفاعات مختلفة سقوطاً حراً وذلك على جانب الثمرة لأنه الجزء الأضعف، ولأن أغلب حالات السقوط الحر تتم على الجانب كما تؤكد المصادر المختلفة، أمّا المرحلة الثانية فتَمَّت بإسقاط الثمار المختلفة الكتل من الارتفاع نفسه وفي كلتا التجريبتين. جُمعت الثمار بعد السقوط وتركزت مدة 24 ساعة لظهور الكدمة، وحُدِّدت مساحة الكدمة من خلال رش كمية من المسحوق الأبيض مثل "الطبشور الناعم" (Chalk powder) ثم تمّت عملية القطع وقياس عمق الكدمة وقطرها.

النتائج والمناقشة

1- تأثير ارتفاع السقوط في حجم الكدمة

استُخدم برنامج SPSS15 (من أجل اختبار معنوية العلاقة بين الكتلة، والارتفاع وتأثيرهما في حجم الكدمة) وبرنامج excel (لتمثيل العلاقات بيانياً) لدقة ومرونة هذين البرنامجين في إنجاز التحليل المطلوب.

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي بعد حساب حجم الكدمة المبين نتائجها في الجدول (3) وجود تأثير معنوي بين ارتفاع السقوط وحجم الكدمة وثبت ذلك إحصائياً كما هو موضح في جدول تحليل التباين (الجدول 4).

الجدول (3) يوضح حجم الكدمة كتابع للارتفاع لثلاثة مكررات

الارتفاع (سم)	15	15	15	20	20	20	25	25	25
الحجم (سم ³)	2.50	2.30	2.35	3.14	2.95	3.20	3.35	3.67	3.60
الارتفاع	30	30	30	40	40	40	60	60	60
الحجم	4.28	4.40	4.25	4.55	4.70	4.65	4.70	4.86	4.87

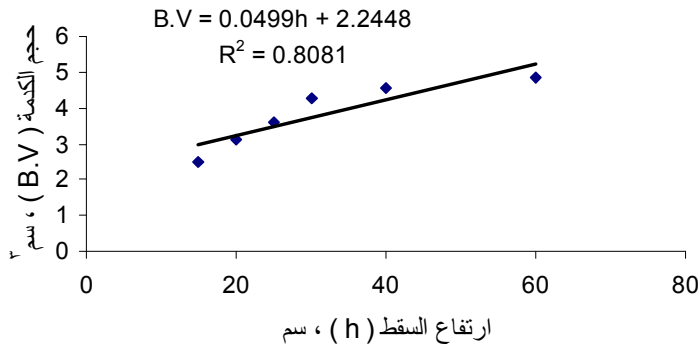
الجدول (4) يوضح نتائج تحليل التباين ANOVA لتأثير ارتفاع السقوط في حجم الكدمة

مصدر التباين	مجموع المربعات	متوسط المربعات	درجة الحرية	F	قيمة الاحتمالات الإحصائية لـ F
بين المجموعات	13.847	2.77	5	198.461	0.000
ضمن المجموعات	0.167	1.396×10^{-2}	12		
التباين الكلي	14.16		17		

ومثلت العلاقة بيانياً فكانت العلاقة طردية عالية الارتباط ($R^2=0.80$) (الشكل 4)، وأظهرت نتائج اختبار (Tukey) للمقارنات اللابعدية (Post Hoc) لتأثير الارتفاع في حجم الكدمة وجود فروق معنوية بين المجموعات ما عدا الفرق الناتج عن الارتفاعين 40 سم و60 سم (الجدول 5)، لذلك لتقليل أحجام الكدمات نتيجة سقوط الثمار شاقولياً يجب التقليل -قدر الإمكان- من ارتفاع سقوط الثمار خلال مراحل الجني أو النقل أو التداول داخل خطوط الإنتاج.

الجدول (5) يوضح نتائج الاختبار اللابعدى (Tukey) الذي يبين الفروق المعنوية لمتوسط حجم الكدمة عند ارتفاعات مختلفة.

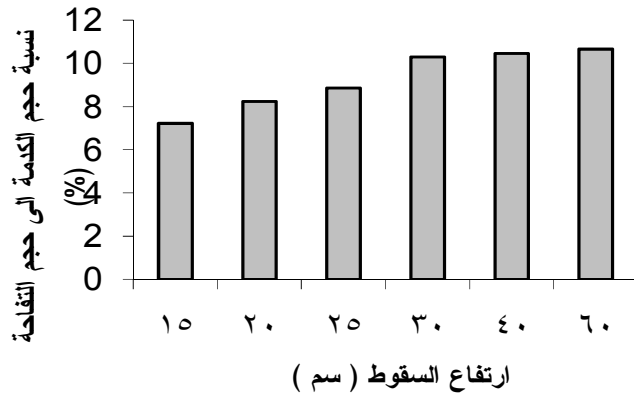
المجموعة					عدد المكررات	الارتفاع
5	4	3	2	1		
				2.3833	3	15
			3.0967		3	20
		3.5400			3	25
	4.3767				3	30
4.6333	4.6333				3	40
4.8100					3	60
.483	.155	1.000	1.000	1.000		المعنوية



الشكل (4) تأثير ارتفاع السقوط في حجم الكدمة

2- تأثير ارتفاع السقوط في نسبة حجم الكدمة إلى حجم الثمرة

قُدِّر حجم الكدمة (التلف) كنسبة من حجم الثمرة الكلي (الشكل 5)، وذلك تبعاً لارتفاع السقوط، ويعدُّ هذا التقدير مهماً من الناحية الاقتصادية، حيث ازدادت نسبة الجزء التالف إلى حجم الثمرة مع زيادة ارتفاع السقوط مما يؤثر بشكل مباشر في الفقد في الوزن الكلي للثمار وفي سرعة الإصابات المرضية المختلفة، وكانت هذه النتائج متطابقة مع Tahir (2006).



الشكل (5) يوضح تأثير ارتفاع السقوط في نسبة حجم الكدمة إلى حجم الثمرة الكلي

3- تأثير كتلة الثمرة في حجم الكدمة

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي كما هو موضح في الجدولين (6) و(7) وجود تأثير معنوي بين كتلة الثمرة وحجم الكدمة (الشكل 6)، وكذلك أظهرت نتائج اختبار (Tukey) للمقارنات اللابعدية (Post Hoc) لتأثير الارتفاع في حجم الكدمة وجود فروق معنوية بين المجموعات ماعدا الفرق الناتج عن الكتلتين 210 غ و 200 غ.

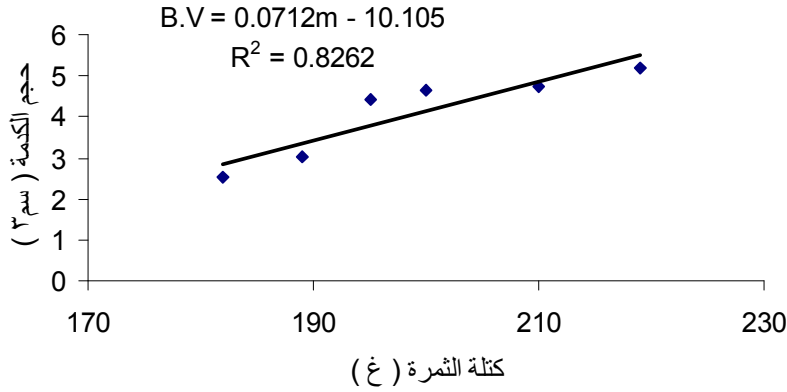
الجدول (6) يوضح نتائج تحليل التباين ANOVA لتأثير كتلة الثمرة في حجم الكدمة

مصدر التباين	مجموع المربعات	متوسط المربعات	درجة الحرية	F	قيمة الاحتمالات الإحصائية لـ F
بين المجموعات	15.501	3.100	5	301.314	0.000
ضمن المجموعات	.123	1.029 E-02	12		
التباين الكلي	15.624		17		

كما هو موضح في الشكل (6) فإنه توجد علاقة طردية قوية بين كتلة الثمرة وحجم الكدمة الناتجة عند ارتفاع سقوط ثابت، ويعود ذلك إلى زيادة طاقة الصدم مع زيادة كتلة الثمرة وعلى اعتبار أنه لا يمكن تغيير كتل الثمار خلال مراحل التداول والنقل لذلك يجب مراعاة ارتفاع السقوط بشكل أكبر.

الجدول (7) يوضح الاختبار اللايعدي (Tukey) الذي يبين الفروق المعنوية لمتوسط حجم الكدمة عند الكتل المختلفة للثمار.

المجموعة					عدد المكررات	الكتلة (غ)
5	4	3	2	1		
				2.5533	3	182
			2.9133		3	189
		4.1700			3	195
	4.5200				3	200
	4.6767				3	210
5.0667					3	219
1.000	.451	1.000	1.000	1.000		المعنوية



الشكل (6) يوضح تأثير كتلة الثمرة في حجم الكدمة عند ارتفاع سقوط ثابت

ويبين الجدول (8) نسبة الخطأ في تقدير حجم الكدمة باستخدام طريقة تحليل الانحدار.

الجدول (8) يوضح نتائج المقارنة بين حجم الكدمة المُقاس والحجم المحسوب ونسبة الخطأ باستخدام علاقة التنبؤ الخطية.

نسبة الخطأ في حساب حجم الكدمة (%)	حجم الكدمة المحسوب من العلاقة B.V = 0.0712 m- 10.105 (سم ³)	حجم الكدمة (سم ³)	كتلة الثمرة (غ)
1.4	2.85	2.5	182
6.68	3.35	3.14	189
5.55	3.8	3.6	195
3.50	4.13	4.28	200
6.37	4.84	4.55	210
10.88	5.4	4.87	219

4- استنباط معادلة التنبؤ بحجم الكدمة

تعدُّ طريقة التحليل اللابعدي للكميات الفيزيائية من الطرائق الهندسية المهمة في إيجاد النماذج الرياضية التي تربط بين المتغيرات (ارتفاع السقوط، وطاقة الصدم وإجهاد الخضوع) بشكل دقيق، ووفقاً لنظرية "باكنغهام" في التحليل البعدي فإنَّ حجم الكدمة يتبع المتغيرات التالية وفقاً للمعادلة:

$$B.V = f(D, mgh, \sigma_y)$$

وتنص النظرية السابقة على أنَّ عدد المجموعات البعدية يساوي إلى مجموع العوامل المؤثرة مطروحاً منها عدد الأبعاد الرئيسة، ومنه نجد عدد المجموعات البعدية كما يأتي:

$$P = m - n = 4 - 2 = 2$$

ومنه نستنتج المجموعات اللابعدية كما يأتي:

$$P_1 = B.V / D^3$$

$$P_2 = mgh / D^3 \cdot \sigma_y$$

وبذلك فإنَّ العلاقة العامة التي تربط بين المجموعتين تكون كما يأتي:

$$P_1 = f(P_2)$$

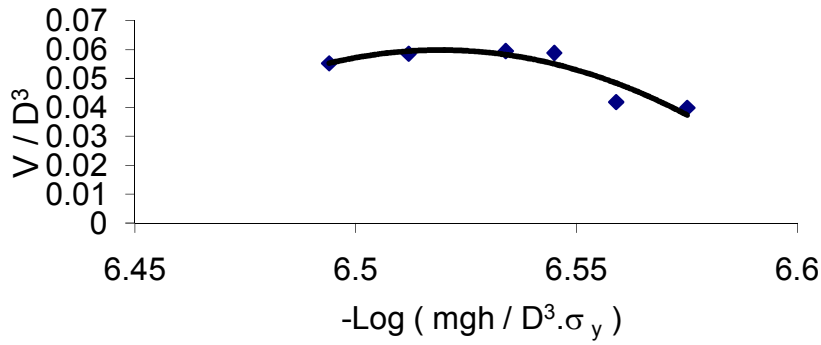
تعبّر المجموعة الأولى التي تسمى مجموعة الحجم $(B.V/D^3)$ عن نسبة حجم الكدمة إلى حجم الثمرة الكلي، وتعبّر المجموعة الثانية $(mgh/D^3 \cdot \sigma_y)$ التي تسمى بمجموعة طاقة الصدم عن مقدار طاقة الصدم وتأثيرها في التركيب الميكانيكي للثمرة الموضح قيمها في الجدول (9).

الجدول (9) يوضح القيم العددية اللازمة لإيجاد العلاقة الرياضية بين المجموعات اللابعدية

قطر الثمرة D	حجم الكدمة B.V	مجموعة الحجم $B.V / D^3$	مجموعة الطاقة $-\log (mgh / D^3 \cdot \sigma_y)$
3.98	2.51	0.039813	6.5751
4.16	3.01	0.041811	6.559
4.22	4.42	0.058815	6.545
4.27	4.63	0.06057	6.534
4.32	4.72	0.058545	6.512

ويمكن استنتاج العلاقة العامة بين المجموعتين من خلال التمثيل البياني الموضح في الشكل (7) كما يأتي:

$$B.V/D^3 = -7.1751[-\text{Log} (mgh/D^3 \cdot \sigma_y)]^2 - 93.552 \text{Log} (mgh/D^3 \cdot \sigma_y) - 304.88$$



الشكل (7) العلاقة بين المجموعات اللابعدية

يمكن من خلال العلاقة السابقة التنبؤ بأحجام الكدمات عند أي ارتفاع سقوط وعند أي كتلة للثمار، وبمقارنة نسبة الخطأ في حساب حجم الكدمة باستخدام العلاقة المشتقة من التحليل البعدي مع العلاقة المشتقة من تحليل الانحدار البسيط عند ارتفاع سقوط واحد كما هو مبين في الجدول (10) نجد أن دقة النموذج المستنتج من التحليل البعدي أكبر من تحليل الانحدار ويعلل السبب في ذلك بعدم تكرار الأخطاء مرات متعددة في التحليل البعدي خلافاً لما هو في تحليل الانحدار، حيث تكون العلاقة فقط بين متغيرين إذ يوجد خطأ في كل معادلة.

الجدول (10) يوضح نتائج مقارنة الخطأ بتقدير حجم الكدمة باستخدام التحليل البعدي وتحليل الانحدار.

الخطأ باستخدام تحليل الانحدار (%)	الخطأ باستخدام علاقة التحليل البعدي (%)	الحجم المقيس (سم ³)	كتلة الثمرة (غ)
14	1.53	2.5	182
6.68	2.69	3.14	189
5.55	3.1	3.6	195
3.50	4	4.28	200
6.37	4	4.55	210
10.88	4.47	4.87	219

الخلاصة والتوصيات

يعدُّ قياس حجم الكدمات الناتجة عن سقوط الثمار في أثناء عمليات الجني والنقل والتداول من التجارب المهمة للوصول إلى نماذج رياضية تسهم في تصميم الآلات والتجهيزات اللازمة لعمليات النقل والتداول.

في هذا البحث جرى قياس أحجام الكدمات الناتجة عن سقوط الثمار على سطح معدني لصنف واحد من التفاح وهو "Golden delicious" ومن ثم تمَّ استنتاج العلاقة الرياضية التي تربط بين العوامل المسببة للكدمات وحجم هذه الكدمة باستخدام طريقة التحليل البعدي.

بينت الدراسة وجود علاقة طردية بين كلِّ من ارتفاع السقوط، كتلة الثمرة وأحجام الكدمات ومن ثم نسبة التلف والفقد في الثمار وانعكاس ذلك على جودة الثمار مع ثبات كتلة الثمرة، حيث بلغ حجم الكدمة 2.5 سم³ عند ارتفاع سقوط 15 سم و4.87 سم³ عند ارتفاع سقوط 60 سم، وبلغ حجم الكدمة 3.14 سم³ عند كتلة للتفاحة 189 غ و4.87 سم³ عند كتلة 219 غ.

تمَّ استنباط نموذج رياضي باستخدام التحليل البعدي من أجل التنبؤ بأحجام الكدمات بحيث يمكن الاستفادة من هذه العلاقة في تصميم أجهزة نقل ثمار التفاح وتداولها والثمار المشابهة لها، وبمقارنة هذا النموذج بالنموذج المستنتج من تحليل الانحدار البسيط تبين أن دقة النموذج المستنتج باستخدام طريقة التحليل البعدي كانت أكبر حيث بلغت قيمة أصغر نسبة خطأ 1.5% وأكبر نسبة 4.47% مقارنة مع 3.5% و14% على التوالي في تحليل الانحدار، لذا تُوصي الدراسة باستخدام العلاقة الرياضية المشتقة بطريقة التحليل البعدي في تصميم أنظمة نقل التفاح وتداوله والثمار المشابهة له حيث أعطت تلك العلاقة دقة في تقدير حجم الكدمات.

المراجع REFERENCES

- Blahovec J. (1999). Bruise resistance coefficient and bruise sensitivity of apples and cherries. *Int. Agro physics*, 13: 313 - 321
- Holmes G Garner, S. R., McQueen R. J. & Witten I. H. (1995). Machine learning from agricultural databases: practice and experience *New Zealand J Computing* 6 (1a), 69-73, August.
- Kupferman, E. (2006) Minimizing bruising of apples, Washington State Univ. Tree Fruit Research and Extension Center.
- Menesatti, P. Paglia G, Solaini S., Zanella A., Stainer, R. (2002). Forecast of fruit impact bruising by linear, non-linear and logistic regression model, www.actahort.org/books/
- Mohsenin N. N. (1986). Physical properties of plant and animal Materials. Vol. 2. New York, Gordon and Breach Sci. Publ.: 530 – 531.
- Srivastava, A., Mandhar, S. C., Singh, M. D. (1992). Apple bruise prediction models and using dimensional analysis. *Agric. Eng. Journal*, Tokyo, Vol.1 (1): 35 – 52.
- Tahir, I. (2006). Control of pre–and post harvest factors to improve apple quality and storability. Doctorial thesis, Swedish of Agricultural and science, P. 27, 47.

Received	2009/09/27	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2010/05/10	قبول البحث للنشر