

## Rheological Properties of Date Juice, Pomegranate Juice and their Concentrates: A Review

Ali Ibrahim Hobani, Moath Badr Othman Mahmoud Galal Elamshity  
Department of Agricultural Engineering, College of Food and Agricultural Sciences, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia

## الخواص الانسيابية لعصير الرمان والتمر ومركزاتهما: دراسة مرجعية

علي إبراهيم حوياني، معاذ بدر عثمان، محمود جلال الأمشيطي  
قسم الهندسة الزراعية، كلية علوم الأغذية والزراعة، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية



LINK الرابط	RECEIVED الاستقبال	ACCEPTED القبول	PUBLISHED ONLINE النشر الإلكتروني	ASSIGNED TO AN ISSUE الإهالة لعدد
<a href="https://doi.org/10.37575/b/agr/220004">https://doi.org/10.37575/b/agr/220004</a>	26/01/2022	14/04/2022	14/04/2022	01/06/2022
NO. OF WORDS عدد الكلمات	NO. OF PAGES عدد الصفحات	YEAR سنة العدد	VOLUME رقم المجلد	ISSUE رقم العدد
9216	9	2022	23	1

### ABSTRACT

This review aims to investigate the rheological properties of date juice, pomegranate juice and their concentrates and to identify their flow behaviour. There are many rheological properties that have been studied, including viscosity, coefficient of flow behaviour index, type, and cohesion coefficient. Knowing the rheological properties of date juice and pomegranate and their concentrates is of paramount importance in various food processing operations. The flow behaviour index, activation energy and cohesion coefficient of date and pomegranate juices ranged between 0.605–0.988 and 0.776–1.45 J/mol,  $1.9 \times 10^4$ – $3.3 \times 10^4$  and 32200–54430, 0.002–0.102 and 0.0013–0.075 Pa.s, respectively. Both date juice and pomegranate juice with their distinct concentrations, have a non-Newtonian, semi-plastic behaviour that varies according to the type and variety of the fruit. There are several models have been used to describe the flow behaviour of date and pomegranate juices. The most important factors that affect the rheological properties and flow behaviour of the date and pomegranate juices are the temperature and the concentration of dissolved solids in the juice. Arrhenius equation is used to express the effect of temperature on the rheological properties of date and pomegranate juice and their various concentrates. Also, the apparent viscosity increases with rising concentration of dissolved solids and decreasing temperature.

### المخلص

تهدف هذه الدراسة المرجعية إلى الاستقصاء عن خواص الانسيابية لكل من عصير التمر والرمان ومركزاتهما والتعرف على سلوك السريان لهما. تم تداول العديد من خواص الانسيابية، ومنها اللزوجة، ومعامل دليل سلوك السريان ونوعه، ومعامل التماسك؛ حيث تعد معرفة خواص الانسيابية لعصير التمر والرمان ومركزاتهما ذات أهمية قصوى في عمليات التصنيع الغذائي المختلفة. إن دليل سلوك السريان وطاقة التنشيط ومعامل التماسك لعصير التمر والرمان تراوحت بين 0.605–0.988 و 0.776–1.45 و  $1.9 \times 10^4$ – $3.3 \times 10^4$  و 32200–54430 و 0.002–0.102 و 0.0013–0.075 Pa.s، (باسكال، ثانية<sup>n</sup>)، على التوالي. إن كلاً من عصير التمر وعصير الرمان بمركزاتهما المختلفة لهما سلوك غير نيوتوني شبه بلاستيكي؛ إذ يختلف حسب نوع وصنف الفاكهة. توجد العديد من النماذج التي استطاعت وصف سلوك السريان لعصير التمر والرمان أهمها النموذج الأساسي  $T = k\dot{\gamma}^n$ . تُعد درجة الحرارة وتركيز المواد الصلبة الذائبة في عصير التمر والرمان من أهم العوامل المؤثرة على خواص الانسيابية وسلوك السريان. تستخدم معادلة أرهينياس للتعبير عن تأثير درجة الحرارة على الخواص الريولوجية لعصير التمر والرمان ومركزاتهما المختلفة. كما أن اللزوجة الظاهرية تزيد بزيادة تركيز المواد الصلبة الذائبة وانخفاض درجة الحرارة.

### KEYWORDS

#### الكلمات المفتاحية

Date juice, pomegranate juice, rheological properties, flow behaviour, cohesion coefficient

عصير التمر، عصير الرمان، خواص الريولوجية، سلوك السريان، معامل التماسك

### CITATION

#### الإهالة

Hobani, A.I., Othman, M.B. and Elamshity, M.G. (2022). Alkhwasa alriyulujat lieasir alrmaan waltamratihima: Dirasat marjieia 'Rheological properties of dates and pomegranate juices and their concentrates: A review'. *The Scientific Journal of King Faisal University: Basic and Applied Sciences*, 23(1), 85–93. DOI: 10.37575/b/agr/220004 [in Arabic]

حوياني، علي إبراهيم وعثمان، معاذ بدر والأمشيطي، محمود جلال، (2022). الخواص الريولوجية لعصير الرمان والتمر ومركزاتهما: دراسة مرجعية. *المجلة العلمية لجامعة الملك فيصل: العلوم الأساسية والتطبيقية*، 23(1)، 85-93.

## 1. المقدمة

(1999). كما أن معرفة خواص الانسيابية أساسية للتنبؤ بالمعاملات الهندسية مثل معاملات انتقال الكتلة والحرارة لتطوير المنتجات وتصميم وتقييم عمليات التصنيع المختلفة فضلاً عن عمليات التعبئة والتغليف والتخزين (Abdulagatov *et al.*, 2008; Dogan and Kokini 2007). وقد أجريت العديد من الدراسات لتحديد خواص الانسيابية لهريس الفواكه، وعصائر الفاكهة، وهريس الخضراوات (Krokida *et al.*, 2001; Steffe *et al.*, 1986)، إلا أن الدراسات المتعلقة بخواص الانسيابية لعصائر التمر والرمان قليلة جداً. وتهدف هذه الدراسة المرجعية إلى إعطاء نظرة عامة شاملة عن أحدث النتائج في خواص الانسيابية لعصائر التمر والرمان.

يتم إنتاج عصير التمر ومركزاته عن طريق إضافة المياه إلى التمر؛ لكي تذوب السكريات والمكونات الأخرى، ثم تلمها عملية الاستخلاص، وفيها يتم الحصول على أكبر قدر من المواد المذابة في التمر في صورة مستعلق، ثم عملية الترشيح، وفيها يتم فصل الشوائب في المستعلق للحصول على عصير صافٍ، ثم عملية التبخير للحصول على مركزات التمر، في حين أن عملية إنتاج عصير الرمان ومركزاته تتطلب هرس وترشيح بذور الرمان، وإنتاج عصير الرمان، ومن ثم تخضع لسلسلة من العمليات الصناعية لإنتاج

يُعرف علم مبحث انسياب الأغذية بأنه العلم الذي يدرس تشوه المادة الغذائية وانسيابها تحت فعل القوى المؤثرة عليها. كما عرف اليونانيون كلمة (Rheology) بأنها كلمة تعني علم السريان. ونظراً لأهمية خواص الانسيابية في وصف ظاهرة تدفق الموائع الغذائية؛ حيث تنقسم إلى موائع نيوتونية وموائع غير نيوتونية (شبه بلاستيكي، وديلاتيني، وبنجهايمي)؛ فإنه يمكن استخدام العديد من المفاهيم الخاصة بهذه الظاهرة منها اللزوجة، ومعامل دليل سلوك السريان ونوعه، ومعامل التماسك. يوجد العديد من العوامل المؤثرة على خواص الانسيابية في الأغذية السائلة وشبه السائلة أهمها مكونات المادة الغذائية، والطور الذي فيه، ودرجة الحرارة، وتركيز المواد الصلبة فيها، والمحتوى الرطوبي، والتفاعلات الكيميائية والميكروبية التي تحدث في المنتجات الغذائية (Kuria, 2020).

تعد دراسة خواص الانسيابية للمواد الغذائية، وبخاصة السائلة منها، مهمة جداً في مناولة وتصنيع ومراقبة الجودة والتقييم الحسي لها (Rao,

مركزاتها (El-Nagga and Abd El-Tawab, 2012; Sadeghi *et al.*, 2009).

### 3. الرمان

تنتشر زراعة فاكهة الرمان (*Punica granatum L.*) في المناطق الغربية والشمالية الغربية والجنوبية من المملكة؛ حيث يبلغ إنتاجها من الرمان حوالي 29 ألف طن على مساحة 1.6 ألف هكتار (وزارة البيئة والمياه والزراعة، 2020). وعالمياً في بلاد وسط آسيا إلى جبل الهمبلايا شمال الهند، وتُعد منطقة البحر الأبيض من أكثر المناطق زراعة لفاكهة الرمان (Bassiri- Jahromi, 2018). تتكون فاكهة الرمان من قشرة خارجية سميكة تختلف سمكها حسب نوع وصنف الرمان والظروف البيئية والمناخية؛ حيث تحتوي على 25%-28% مواد عضوية. كما يوجد في الثمرة مجموعة كبيرة من الحبوب موجودة في لب الرمان؛ حيث تحتوي الحبوب على مواد سكرية، وحض الستريك، وماء بنسبة 80%، وفيتامينات وعناصر معدنية مثل الفوسفور، والبيوتاسيوم، والكالسيوم، والحديد، ومواد دهنية (Humeida and Hobani, 1993; Cevik *et al.*, 2014).

يُعد استهلاك فاكهة الرمان على هيئة حبوب طازجة أو على صورة عصير طازج من خلال عمليات العصر لحبوب الرمان. يحتوي الجزء الصالح للأكل من فاكهة الرمان على نسبة عالية من الأحماض والسكريات والفيتامينات ومضادات الأكسدة، كما يُعد الرمان مصدراً غنياً بالمرمكبات الفبولينية التي ثبت أن لها نشاطاً مضاداً للأكسدة والالتهابات (Sadeghi *et al.*, 2009). عادة يتم استخدام مركز عصير الرمان على السلطات، وفي كثير من الأطباق (Maskan, 2006). زاد الاهتمام في الآونة الأخيرة بالعمليات التصنيعية للرمان؛ حيث جرى تصنيع العصائر ومركزاتها والمساحيق والمكملات الغذائية؛ ويعود السبب في ذلك إلى وجود العديد من التقارير حول الفوائد الصحية للرمان (Tzulker *et al.*, 2007; Altan and Maskan, 2005). كما يمكن استخدامه في إنتاج المربى والديس، ويدخل في صناعة بعض المشروبات، كما يستخدم كملون ومحسن نكهة لبعض المنتجات الغذائية. أظهرت الدراسات السابقة أنه تم قياس خواص الانسيابية لعصير الرمان بتركيزاته المختلفة في نطاق درجة حرارة تصل إلى 90°م، وتركيزات مواد صلبة ذائبة (17.5-70 بركس) عند الضغط الجوي (Altan and Maskan, 2005; Kamisli and Mohammed, 2019).

### 4. طريقة إنتاج عصير التمر ومركزاته

يُعرف عصير التمر بأنه عبارة عن سائل يحتوي على مواد ذائبة ناتجة من عملية الاستخلاص لثمار بعض أصناف التمر غير المستهلكة مباشرة، ويحتوي على نسب عالية من السكريات والفيتامينات والعناصر المعدنية (Alanazi, 2010).

يوجد العديد من العوامل المؤثرة على زيادة كفاءة استخلاص عصير التمر ومركزاته منها صنف ودرجة النضج للتمر ودرجة الحرارة المعامل بها (Al-Hilphy *et al.*, 2021). يمتاز عصير التمر ومركزاته بأنه يمكن إنتاجه بجودة عالية وتكلفة اقتصادية منافسة، فالعمليات الصناعية اللازمة لإنتاج عصير التمر بمركزاته متوفرة وتبقيت عالية (Ahdno and Jafarizadeh, 2017). عند صناعة عصير التمر ومركزاته المختلفة يفضل استخدام التمر الأقل سعراً من أصناف التمر المتميزة، بالإضافة إلى التمر التي من الدرجة الثانية؛ حيث يتم الحصول عليها من وحدات فرز التمر في مصانع التمر (حسن، 2008).

يُعد دبس التمر أحد المنتجات التحويلية المتميزة للتمر، ونظراً لعدم وجود أي تعقيدات تقنية لإنتاجه على المستوى الصناعي؛ فإن إنتاجه سيكون بجودة عالية وجدوى اقتصادية ناجحة للاستهلاك المحلي والتصدير، ويتطلب ذلك -بطبيعة الحال- الاهتمام باستخدام أفضل التقنيات المستخدمة في تصنيعه، وفي التعبئة والتغليف (حسن، 2008). تختلف مسميات عصير التمر بمركزاته من منطقة إلى أخرى في الوطن العربي؛ حيث يسمى مركز التمر في المملكة العربية السعودية والعراق بالديس، في حين يسمى عسل التمر في مصر، كما تختلف طرق إنتاج عصير التمر بمركزاته المختلفة (Al-Hilphy *et al.*, 2021).

يحتوي دبس التمر على السكريات المتحولة، وتشكل حوالي 80-90% من المواد الصلبة الذائبة، ونسبة ضئيلة من البروتينات، وعناصر معدنية مثل

تُعد درجة الحرارة وتركيز المواد الصلبة من أهم العوامل المؤثرة على اللزوجة وتدفق المنتجات الغذائية ومدى تأثيرها على خواص الانسيابية. يمكن التعبير عن تأثير درجة الحرارة على لزوجة عصير التمر والرمان ومركزاتها، وذلك باستخدام معادلة أرهينياس أو النماذج المشابهة. تعد معرفة معامل التماسك ودليل سلوك السريان وطاقة التنشيط من أهم خواص الانسيابية لعصائر التمر والرمان ومركزاتها، وإيجادها عن طريق النمذجة الريولوجية وتقدير اللزوجة الظاهرية عند درجات حرارة مختلفة (Bodbodak *et al.*, 2013; Kamisli and Mohammed, 2019).

تأتي أهمية دراسة خواص الانسيابية لعصير التمر والرمان ومركزاتها في التعرف على تأثيرها أثناء عملية نقل وتداول المواد الغذائية، وفهم هندسة التصنيع الغذائي؛ حيث تساعد هذه الخواص في التعرف على متطلبات الطاقة اللازمة لإتمام عملية التصنيع الغذائي وتحديد كمية الحرارة المتولدة أثناء عملية التسخين، كما أن هذه الخواص تستخدم في تطوير المنتجات الغذائية وإعطاء صفات مرغوبة في المنتج النهائي. سلوك السريان له أهمية لدى مهندسي التصنيع الغذائي؛ وذلك لتأثيره المباشر أثناء عمليات التصنيع مثل الاستخلاص، الترشيح، التبخير، الفصل، والغليان. يوجد العديد من العوامل المؤثرة على سلوك السريان أهمها تركيز المواد الصلبة ودرجة الحرارة (Hassan and Hobani, 2002).

### 2. تمر النخيل

تُعد أشجار نخيل التمر (*Phoenix dactylifera L.*) من أهم الأشجار الاقتصادية والصناعية والغذائية في الوطن العربي بعامه والمملكة العربية السعودية بخاصة. وتعد المملكة العربية السعودية من أهم الدول المنتجة للتمر في العالم، ويقدر إنتاجها بأكثر من 1.5 مليون طن، وتشغل مساحة حوالي 152 ألف هكتار. يوجد في المملكة العربية السعودية ما يزيد عن 450 صنفاً من التمر التي تنتشر في أرجاء المملكة (وزارة البيئة والمياه والزراعة، 2020).

تتميز معظم مناطق المملكة العربية السعودية بملائمة بيئتها الحارة لزراعة النخيل. تُعد التمر من أكثر أنواع الفاكهة انتشاراً؛ حيث تسهلك بصورة مباشرة أو منتجات ثانوية من خلال العمليات التصنيعية المختلفة (Vayalil, 2012). ذكر الحمدان (2008) بأن التمر كاملة النضج يتم تخزينها إما بواسطة المستهلكين أنفسهم أو بواسطة بعض بائعي ومنتجي التمر، أو يتم تصنيعها وتعبئتها في مصانع التمر الحديثة. أما التمر رديئة النوعية أو مغلفاتها فتستخدم كأعلاف للحيوانات. اتجهت بعض مصانع التمر حديثاً إلى إنتاج تجاري من الصناعات التحويلية المشتقة من التمر مثل الخل، والديس، ورحيق التمر، فضلاً عن معجون التمر.

تطورت صناعة التمر في المملكة العربية السعودية بشكل كبير من مرحلة الصناعة غير التحويلية إلى مرحلة الصناعات التحويلية مثل إنتاج دبس التمر وعصير التمر ومعجون التمر والخل والخميرة والسكر السائل. وعلى الرغم من التطورات الكبيرة في هذا المجال، فإن العمليات الأساسية مثل الفرز هي الأساسية لجميع العمليات الصناعية المختلفة (El-Nagga and Abd El-Tawab, 2012). تمتاز فاكهة التمر بأن السرعات الحرارية لديها تصل إلى 80 %، وتحتوي على نسبة عالية من الفيتامينات والعناصر المعدنية والألياف، وهي غنية بصورة استثنائية بالبيوتاسيوم ومنخفضة بالصوديوم (Habibi-Najafi and Alaei, 2006; El-Nagga and Abd El-Tawab, 2012). كما تمتاز بأن لها حلاوة طبيعية تستطيع استخدامها في العديد من التطبيقات الصناعية المختلفة. كما تحتوي فاكهة التمر على العديد من المركبات الغذائية التي تجعلها من المنتجات التي تستخدم في علاج العديد من الأمراض مثل السعال، والروماتزم، وأمراض الجهاز التنفسي، والحمى، وارتفاع الضغط. كما أثبتت بعض الدراسات تأثيرها في الحد من خطر الإصابة بالعديد من الأمراض العصبية (Bureau *et al.*, 2009; Gad *et al.*, 2010).



## 6. خواص الانسيابية

يعرف علم مبحث انسياب الأغذية بأنه العلم الذي يهتم بدراسة تشوه المواد الغذائية وانسيابها تحت تأثير القوى المؤثرة عليها؛ حيث تختلف خواص الانسيابية للمواد الغذائية السائلة بناءً على الصورة المتواجدة بها، فمنها المائع أو المستعلق (Ahmed *et al.*, 2016).

هناك العديد من الخواص الهندسية التي يجب أخذها بالحسبان عند دراسة خواص الانسيابية للمواد الغذائية منها اللزوجة واللزوجة الظاهرية؛ حيث تعد من أهم العوامل المؤثرة على العمليات التصنيعية للعصائر مثل التركيز، والتبخير، والضح، والتجانس للحصول على مركبات عالية الكثافة (Assiry and Elansari, 2002). تعرف اللزوجة بأنها عبارة مقاومة السائل لحركة الجزيئات ويمثلها معامل اللزوجة؛ حيث يستخدم مصطلح اللزوجة في التصنيع الغذائي كمعلم أساسي لقياس مدى تماسك المادة الغذائية تحت ظروف معينة. توجد العديد من المعادلات الرياضية المستخدمة في قياس لزوجة السوائل والمستعلقات. ففي حالات الموائع التي تحتوي على مواد صلبة غير ذائبة يمكن استخدام المعادلة التالية (Zhong and Daubert, 2013).

$$\mu = \mu_L(1 + 2.5X_C) \quad (1)$$

حيث

$X_C$  تركيز الجسيمات في صيغة عشرية.

$\mu_L$  لزوجة السائل.

في حين أن اللزوجة الظاهرية في حالة السوائل غير النيوتينية هي لزوجة السائل النيوتيني الذي يبدي نفس المقاومة للانسياب عند اجهاد القص أو معدل القص الذي يجري اختياره. يتم إيجادها عن طريق ميل الخط المستقيم الذي يصل النقطة الممتازة في المنحنى غير الخطي بنقطة الأصل. يوجد العديد من العوامل المؤثرة على اللزوجة منها الطور الذي فيه المادة الغذائية أثناء عملية التصنيع، وخصائص التدفق للمادة الغذائية، وتركيب الغذاء. أثناء عملية التصنيع الغذائي، تكون أغلب المنتجات الغذائية على هيئة مستعلقات أو محاليل مركزة عند نقطة معينة من عمليات التصنيع. عند دخول المنتج الغذائي في العملية التصنيعية يكون على صورة مستعلق، وبالتالي لايد من نقله على هذه الصورة. وتعد عملية نقله بهذه الصورة صعبة؛ وذلك لصعوبة نقلها بالسرمان الطبق، وبالتالي تتكون رواسب في جدران الأنايب وأجهزة النقل (Ahmed *et al.*, 2016).

كما يوجد العديد من الأجهزة التي يمكن استخدامها في قياس خواص الانسيابية للسوائل الخفيفة أو السوائل ذات التركيز المرتفع منها أجهزة قياس اللزوجة ذات السريان الشعري، وأجهزة قياس اللزوجة من النوع الفوهة وذات الكرة الساقطة، وأجهزة قياس اللزوجة الدورانية وذات الأسطوانة المتمركزة، وغيرها من الأجهزة (Sahin and Sumnu, 2006).

تكمُن أهمية دراسة خواص الانسيابية للأغذية في توفير معلومات تساعد في فهم عملية انتقال الحرارة والكتلة (Kaur *et al.*, 2002)، والتعرف على خواص الجودة للمنتجات الغذائية وتقييمها، وفهم سلوك السريان للأغذية، وفي إجراء الحسابات الهندسية للتصميم المناسب للوحدات التصنيعية عن طريق تقدير معدلات انتقال الحرارة والكتلة، وتحديد معدل الضخ في المضخة ومتطلبات الطاقة، والتعرف على النماذج الرياضية التجريبية التي يمكن استخدامها حسب نوع المنتج الغذائي، كما يمكن استخدامها في عمل اختبارات التقييم الحسي وخواص الجودة للغذاء (Sahin and Sumnu, 2006; Razavi *et al.*, 2007).

### 6.1. خواص الانسيابية لعصير التمر ومركزاته:

تعتمد خواص الانسيابية لعصير التمر على العديد من العوامل أهمها كمية المواد الصلبة الذائبة، وكمية الماء فيها، ودرجة الحرارة، ومكونات ثمرة التمر. وتوجد العديد من طرق القياس لهذه الخواص منها ملاحظة التشوه الناتج عن تسليط قوة في خلال زمن معين (Marcotte *et al.*, 2001).

لايد من معرفة خواص الانسيابية لعصائر التمور، وفهم خصائص التدفق

لها على درجات الحرارة والتركيزات المختلفة. جرى استخدام العديد من النماذج الرياضية لتمثيل سلوك السريان لعصير التمر ومركزاته وبعض المنتجات السائلة وشبه السائلة للتمور مثل نموذج (Power law)، ونموذج (Herschel-Bulkley)، ونموذج (Bingham)، ونموذج (Cross). درس (Razavi *et al.*, 2007) الخواص الريولوجية لمعجون السمسم وعصير التمر قليل المحتوى الدهني بدلالة التغير في المحتوى الدهني ودرجة الحرارة. ولاحظ أن معجون السمسم مع عصير التمر يسلك سلوكاً غير نيوتيني، وأن نموذج (Power law) مثلها بشكل صحيح. في حين قام (Ahmed *et al.*, 2005) بالتحقق من تأثير درجة الحرارة على خواص الانسيابية لعجينة التمر، وأظهرت النتائج أن لزوجة عجينة التمر تقل مع انخفاض درجة الحرارة.

توجد العديد من الدراسات التي قامت بقياس وتقدير خواص الانسيابية لعصير التمر بمركزاته المختلفة منها (Gabsi *et al.*, 2013). حيث قام بقياس وتقدير خواص الانسيابية لعصير التمر المركز. وذلك عند أربع درجات حرارة مختلفة (20، 40، 60، 80°م) على أربعة تراكيز مختلفة (17، 24، 31، 39 بركس) بمعدل إجهاد من 10-100 ثانية<sup>-1</sup>، كما تم استخدام النموذج الرياضي ليوضح العلاقة بين إجهاد القص ومعدل القص، وأظهرت النتائج أن معامل التماسك، ومعامل التدفق لهما تأثير كبير على التغيرات الناتجة من تأثير درجة الحرارة والتركيز. كما أظهرت النتائج أن اللزوجة الظاهرية تزيد بزيادة تركيز المواد الصلبة في عصير التمر، ومع انخفاض درجة الحرارة.

كما درس (Habibi-Najafi and Alaei, 2006) خواص الانسيابية لعصير التمر مع مزيج عجينة السمسم؛ حيث استخدم تراكيز مختلفة لعصير التمر من المواد الصلبة (60، 65 بركس)، كما تم خلط عجينة السمسم بمعدل (45، 50، 55 %). تم قياس اللزوجة للخليط على درجة حرارة (25، 35، 45°م). تم الحصول على اللزوجة الظاهرية، كما تم استخدام السرعة لوصف سلوك السريان باستخدام نموذج (power law). تم قياس دليل التماسك لجميع العينات، وقد لوحظ أنه ( $k > 1$ ) بمعدل 4.11-8.2 (باسكال. ثانية<sup>n</sup>).

كما قام (Kamisle and Mohammed, 2019) بدراسة خواص الانسيابية لدبس التمر المخلوط مع عجينة السمسم؛ حيث تمت معاملته على نسبة مواد صلبة (20-55%)، بدرجات حرارة (25-60°م)، باستخدام جهاز قياس لزوجة دوراني ذي أسطوانة متداخلة عند معدل قص في حدود (2.5-30 ثانية<sup>-1</sup>). وأظهرت النتائج أن جميع التراكيز المدروسة بين الدبس وعجينة السمسم سلكت السلوك الانسيابي عند جميع درجات الحرارة. تم إيجاد اللزوجة الظاهرية بالاعتماد على نموذج (Power-law)، ومعامل دليل سلوك السريان (n)، ودليل التماسك (k) بالاعتماد على البيانات التجريبية.

كما قام الأمشيطي (2017) بدراسة إنتاج دبس التمر من صنف تمر السكري والخلاص على المستوى المعمل التجريبي. واشتملت العمليات المتكاملة الرئيسية على إزالة النوى والفرم الميكانيكي لإنتاج عجينة التمر، والخلط والتسخين لعجينة التمر مع الماء المضاف لإنتاج مستعلق التمر المتجانس، ومن ثم ترشيح المستعلق لإنتاج عصير التمر الصافي، الذي جرى تركيزه تحت تفرغ لإنتاج دبس التمر عالي الجودة. وقد جرى قياس العديد من الخواص الهندسية من ضمنها خواص الانسيابية؛ إذ تم قياسها بجهاز لزوجة دوراني، وكانت حدود معدلات القص 0.000-200 ثانية<sup>-1</sup>، وحدود درجات الحرارة 5-80°م، وقد تمت مواءمة النتائج التجريبية للقياسات الانسيابية بنجاح كبير باستخدام معادلة قانون الأس. كما جرى قياس خواص الانسيابية الأساسية لمشروب الحليب المنكه بدبس التمر عند درجات الحرارة 5 و 10 و 25 و 40 و 60 و 80°م في حدود معدلات القص 0.00 - 200 ثانية<sup>-1</sup>. وكما هو متوقع فقد انخفضت قيم اللزوجة لجميع العينات بزيادة درجة الحرارة. وقد تمت مواءمة النتائج التجريبية للقياسات الانسيابية بنجاح كبير باستخدام معادلة قانون الأس. قدرت متوسطات اللزوجة الظاهرية لمشروب الحليب المنكه بدبس التمر على مدى معدلات القص التي تم تطبيقها (0.00-200 ثانية<sup>-1</sup>)، وتم حسابها بدلالة درجة الحرارة في الحدود 5-80°م؛ حيث قلت قيمها بارتفاع درجة الحرارة. وقد تفاوتت قيم اللزوجة المتوسطة في الحدود 1.350-5.750 و 1.080-4.230 و 1.500-5.790 و 0.970-3.800 مل. باسكال. ثانية لمشروب حليب البقر بدبس السكري (15%)، وحليب البقر بدبس الخلاص (10%)، وحليب النوق بدبس السكري (15%)، وحليب النوق بدبس الخلاص (10%) على الترتيب. كما تمت

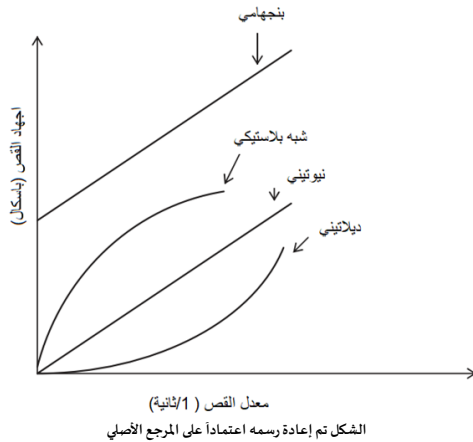
ديس الرمان مخلوط مع عجينة السمسم	30-25	55.40.30.20	60.50.40.30.25	أظهرت النتائج ان اللزوجة الظاهرية تزيد بزيادة تركيز المواد الصلبة وانخفاض درجة الحرارة، وأن (Power Law Model) وصف سلوك السريان لجميع التركيزات كان بشكل جيد. كما اقترحت هذه الدراسة استخدام أربع معادلات لوصف تأثير درجة الحرارة وتركيز المواد الصلبة، ولوحظ أن هذه المعادلات استطاعت التنبؤ بتقييم جودة المنتج.
----------------------------------	-------	-------------	----------------	--

## 7. سلوك السريان الانسيابي

تصنف المواد الغذائية السائلة وشبه السائلة من حيث سلوك السريان إلى مجموعتين هما: مجموعة ذات سلوك نيوتوني، ومجموعة ذات سلوك غير نيوتوني. يبين الشكل (3) رسم تخطيطي للعلاقة بين إجهاد القص ومعدل القص لمجموعة من الموائع النيوتونية وغير النيوتونية. توجد العديد من المعادلات المستخدمة لوصف سلوك سريان التدفق للمنتجات الغذائية منها الخطية، وهي تستخدم في حالة الموائع ذات السريان النيوتوني، ومنها الأسّي، وتستخدم في حالة سريان بنجهامي أو شبه البلاستيكي (Marcotte *et al.*, 2001).

تعرف المادة الغذائية السائلة ذات السلوك النيوتوني بأنها المادة التي تكون لزوجتها مستقلة عن معدل القص (Sahin and Sumnu, 2006). أما المواد الغذائية السائلة ذات السلوك غير النيوتوني فإن لزوجتها تعتمد على معدل القص، ويمكن تصنيفها إلى صنفين: مواد غذائية ذات السريان غير نيوتونية والمعتمدة على الزمن، وأخرى غير معتمدة على الزمن (Assiry and Elansar, 2002). كما تصنف المواد الغذائية ذات السلوك غير النيوتوني والمعتمدة على الزمن إلى سائل هلامي، وتتميز بأنها عند قياس اللزوجة عند مستوى منخفض فإنها تتناقص مع مرور الزمن، تفقد هذه السوائل لزوجتها عند معدل قص ثابت مثل معجون التمر. بينما السوائل غير النيوتونية وغير المعتمدة على الزمن فإن اللزوجة لا تتغير فيها مع الزمن. ويوجد ثلاثة أشكال منها السريان شبه البلاستيكي، وسريان بنجهامي (Sahin and Sumnu, 2006).

شكل (3): رسم تخطيطي تمثيلي يوضح العلاقة بين معدل القص وإجهاد القص للموائع النيوتونية وغير النيوتونية (Sahin and Sumnu, 2006).



الشكل تم إعادة رسمه اعتماداً على المرجع الأصلي

يوجد العديد من العوامل المؤثرة على سلوك السريان للمادة الغذائية منها تركيز المواد الصلبة في المادة الغذائية السائلة، ودرجة الحرارة، وبعض خواص الانسيابية مثل اللزوجة الظاهرية التي تعرف بأنها الخاصية المعبرة عن مقاومة السريان عند معدل قص محدد (Alanazi, 2010). بينت الدراسات السابقة أن اللزوجة الظاهرية تتناقص مع زيادة معدل القص بالنسبة للسوائل النيوتونية. أما بالنسبة للسوائل غير النيوتونية سواء المستعقات أو المركزات فإنه تحدث بعض التعقيدات في قياس اللزوجة الظاهرية لها، وقد تم اقتراح العديد من النماذج الرياضية لاستخدامها في قياس هذه الخاصية، ففي حالة السلوك نوع بنجهامي (Ahmed *et al.*, 2016).

$$\tau = k \left[ -\frac{dv}{dy} \right]^n \quad (2)$$

حيث

$k$  معامل القوام (باسكال. ثانية<sup>n</sup>)  
 $n$  مؤشر سلوك السريان.

أما بالنسبة للسوائل ذات السريان غير النيوتونية شبه البلاستيكي، والتي

موائمة النتائج التجريبية للزوجة المتوسطة لكل من العينات الأربعة لمشروب الحليب بالديس بمعادلة أسية تعبر عن اللزوجة المتوسطة بدلالة درجة الحرارة، وكانت الموائمة الرياضية ممتازة بقيم معاملات ارتباط ( $R^2$ ) في الحدود 0.937–0.969. الجدول (1) يوضح ملخص أهم الدراسات عن خواص الانسيابية لعصير التمر ومركزاته.

جدول (1): ملخص عن أهم الدراسات في خواص الانسيابية لعصير التمر ومركزاته

المرجع	النتائج	معدل القص (ثانية <sup>-1</sup> )	تركيز المواد الصلبة (بركس)	درجة الحرارة (°م)	المنتج
Gabsi <i>et al.</i> (2013)	أظهرت النتائج ان اللزوجة الظاهرية تزيد بزيادة تركيز المواد الصلبة وانخفاض درجة الحرارة في مركز عصير التمر، كما أن سلوك السريان لجميع التركيزات يكون استطاء (n<1) استطاع (Power Law Model) وصف سلوك السريان لجميع التركيزات.	100-10	39.31.24.17	80.60.40.20	مركز عصير التمر
Habibi-Najafi and Alaei (2006)	أظهرت النتائج أن معامل التماسك لجميع العينات المدروسة أكبر من 1. ومعامل التدفق (n) أقل من 1. كما أن معادلة أرهينياس وصفت تأثير درجة الحرارة والتركيز بشكل جيد.	100-10	60.65	25.35.45.55	عصير التمر/مزيج عجينة السمسم

## 6.2. خواص الانسيابية لعصير الرمان ومركزته:

تعتمد خواص الانسيابية لعصير الرمان على العديد من العوامل أهمها نوع الصنف، ومدى نضجه، والمكونات الكيميائية للرمان، وتركيز المواد الصلبة في العصير، ودرجة الحرارة. تعتمد قيم معامل سلوك السريان على العديد من العوامل أهمها معامل التماسك، وطاقة التنشيط، ودليل سلوك السريان (Cevik *et al.*, 2014). هناك العديد من الدراسات التي قامت بالتحقق من خواص الانسيابية لعصير الرمان ومركزاته، منها دراسة (Hobani 1994): حيث قام بدراسة خواص الانسيابية لعصير الرمان، ودراسة سلوك السريان لثلاثة أنواع من عصيرات الرمان (الطائفي، والبناتي، والمنفلوطي) باستخدام جهاز قياس لزوجة دوراني ذي أسطوانتين متداخلتين في حدود تركيزات مستخلصة (13.7–0.65 بركس)، وحدود معدلات قص (10–979 ثانية<sup>-1</sup>)، وحدود درجات حرارة (25–70°م). وأظهرت النتائج أن معادلة القانون الأسّي ( $\tau = k\dot{\gamma}^n$ ) مناسبة لوصف سلوك العصائر المختلفة، كما أظهرت النتائج أن قيم دليل سلوك السريان (n) في حدود أقل من 1، كما أن تأثير درجة الحرارة على اللزوجة الظاهرية لعصائر الرمان كان واضحاً في خفض اللزوجة مع ارتفاع درجة الحرارة، بينما كان دليل التماسك (k) مختلفاً اختلافاً معنوياً بالنسبة لأنواع الرمان الثلاثة. كما درس Cevik *et al.* (2014) التغيرات في خواص الانسيابية لعصير الرمان أثناء عملية التركيز، وفي هذه الدراسة، تم التحقق من التغيرات التي تحدث لخواص الانسيابية خلال عملية التبخير؛ ليبين تأثير العمليات الحرارية على المواد الصلبة في العصير؛ إذ تمت الدراسة عند تركيز مواد صلبة ذاتية (20، 30، 40، 50%)؛ حيث تم استخدام المبخر الدوار، وتم قياس خواص الانسيابية عند معدل قص (0–264 ثانية<sup>-1</sup>) باستخدام جهاز قياس اللزوجة الأسطواني الدوار. أظهرت النتائج أن اللزوجة الظاهرية تزداد مع زيادة تركيز المواد الصلبة؛ حيث بلغت اللزوجة الظاهرية 0.0024 باسكال. ثانية للعصير الطازج. في حين زادت القيمة مع زيادة تركيز المواد الصلبة؛ حيث بلغت عند زيادة تركيز المواد الصلبة 50% (0.01342) باسكال. ثانية. كما تم استخدام أربعة نماذج رياضية لملاحظة أفضل نموذج توائم مع النتائج التجريبية، وهي (Newton model – Bulkley model and Herschel – Power Law model)، وقد لوحظ أن نموذج (Power Law) أفضل نموذج لوصف النتائج التجريبية، كما أن بيانات خواص الانسيابية المتحصل عليها في هذه الدراسة يمكن أن تفيد عملية صناعية أخرى مثل نظم الضخ. الجدول (2) يوضح ملخص أهم الدراسات عن خواص الانسيابية لعصير الرمان ومركزاته.

الجدول (2): ملخص عن أهم الدراسات في خواص الانسيابية لعصير الرمان ومركزاته

المرجع	النتائج	معدل القص (ثانية <sup>-1</sup> )	الصلبة (بركس)	درجة الحرارة (°م)	المنتج
Hobani (1994)	أظهرت النتائج ان معادلة القانون الأسّي ( $\tau = k\dot{\gamma}^n$ ) مناسبة لوصف سلوك العصيرات المختلفة. كما أظهرت النتائج أن قيم دليل سلوك السريان (n) في حدود أقل من 1، وأن تأثير درجة الحرارة على اللزوجة الظاهرية لعصيرات الرمان كان واضحاً في خفض اللزوجة مع ارتفاع درجة الحرارة.	979-10	0.65-13.7	70-25	عصير الرمان
Cevik <i>et al.</i> (2014)	أظهرت النتائج ان قيمة اللزوجة الظاهرية تزداد مع زيادة تركيز المواد الصلبة؛ حيث بلغت اللزوجة الظاهرية.	264-0	20.30.40.50		عصير الرمان

في الحدود 0.032–6.06 باسكال. ثانية<sup>-n</sup> و 0.789–1.000. وكذلك ازدادت قيم معامل التماسك بصورة منتظمة مع انخفاض درجة الحرارة، في حين لم يتبع دليل سلوك السريان نمطاً منتظماً.

كما استنتج الأمشيطي (2014) أن مشروبي حليب البقر مع دبس السكري (15%) وحليب البقر مع دبس الخلاص (10%) يتبعان سلوكاً غير نيوتوني لمعظم درجات الحرارة التي جرى اختبارها. وقد تفاوتت قيم معامل التماسك وقيم دليل سلوك السريان لكلا المشروبين في الحدود 0.144–0.013 باسكال. ثانية<sup>-n</sup> و 0.672–1.000، ولم يتبع كلٌّ من معامل التماسك ودليل سلوك السريان نمطاً منتظماً مع تغير درجة الحرارة. أما مشروب حليب النوق مع دبس السكري (15%) فقد اتبع سلوكاً نيوتونياً (n=1.00) عند درجتي الحرارة 25 و 40 °م، وسلوكاً غير نيوتوني عند درجات الحرارة 5 و 10 و 60 و 80 °م، وتفاوتت قيم معامل التماسك ودليل سلوك السريان للمشروب في الحدود 0.017–0.086 باسكال. ثانية<sup>-n</sup> و 0.902–1.000 على التوالي. وأظهر مشروب حليب النوق مع دبس الخلاص (10%) أ سلوكاً نيوتونياً (n=1.00) عند درجات الحرارة 5 و 10 و 25 و 40 °م، وسلوكاً غير نيوتوني عند درجتي الحرارة 60 و 80 °م. وفي حدود درجات الحرارة 5–80 °م، تفاوتت قيم معامل التماسك ودليل سلوك السريان في الحدود 0.014–0.047 باسكال. ثانية<sup>-n</sup> و 0.681–1.000. يوضح الجدول (3) ملخصاً عن أهم الدراسات عن سلوك السريان الانسيابي لمركزاته.

الجدول (3): يوضح ملخصاً عن أهم الدراسات عن سلوك السريان الانسيابي لعصير التمر ومركزاته

المرجع	سلوك السريان	المنتج
Hobani (1998)	عند تركيز 20,30 بركس يسلك سلوكاً نيوتونياً، وفي باقي التراكيز يسلك سلوكاً غير نيوتوني شبه بلاستيكي.	عصير تمر (الخضري، السري، الصفري)
Hassan and Hobani (2002)	جميع الأصناف تسلك سلوكاً غير نيوتوني شبه بلاستيكي.	معجون تمر (صفري وسري)
Gabisi et al. (2013)	يسلك سلوكاً غير نيوتوني.	عصير المركز
Gadallah et al. (2015)	يسلك سلوكاً غير نيوتوني شبه بلاستيكي.	مربي تمر البرحي مع هريس الجوز والبقلطن
الجمدان (2000)	يسلك سلوكاً غير نيوتوني.	مشروب الحليب بدبس التمر (خلاص، نيوت سيف والسكري)

## 7.2. سلوك السريان لعصير الرمان ومركزاته:

إن معرفة سلوك السريان الانسيابي لعصير الرمان ومركزاته مهم للعديد من عمليات التصنيع الغذائي ومراقبة الجودة والتقييم الحسي والتطبيقات الهندسية أثناء تصميم المنشآت الصناعية، وأيضاً في تحديد متطلبات الطاقة اللازمة للضخ. توجد العديد من العوامل المؤثرة على سلوك السريان لعصير الرمان أهمها تركيز المواد الصلبة، ودرجة الحرارة، والتركيب الكيميائي له؛ حيث يتكون العصير من مواد صلبة ذائبة. كما أن المعاملات الحرارية تؤثر على سلوك السريان لعصير الرمان، بالتالي لا بد من دراسة الخواص الطبيعية والحرارية والديناميكية الانسيابية للعصير؛ من أجل فهم عمليات إنتاج عصير الرمان والتحكم به (Salehi, 2020).

يوجد العديد من الدراسات التي قامت بوصف سلوك السريان الانسيابي لعصير الرمان ومركزاته اعتماداً على مكونات العصائر، ونسبة المواد الصلبة الذائبة، وتأثير درجة الحرارة والضغط؛ حيث استخدم العديد من الباحثين النموذج النيوتوني لوصف سلوك السريان الانسيابي لعصير الرمان ومركزاته (Cevik et al., 2014; Altan and Maskan, 2004; Hobani, 1994). وتطرق هذه الدراسات لسلوك السريان الانسيابي لعصير الرمان بتركيزاته المختلفة في نطاق درجة حرارة 20–90 °م، وتركيزات 75–17.5 بركس. كما توجد العديد من الدراسات التي قامت بدراسة سلوك السريان الانسيابي لعصير الرمان منها دراسة (Hobani, 1994)، والتي كانت عن سلوك السريان لعصيرات الرمان، وأظهرت النتائج أن عصير الرمان يسلك سلوكاً غير نيوتوني شبه بلاستيكي؛ حيث تم استخدام ثلاثة أنواع من الرمان (الطائفي، والبناطي، والمنفلوطي) في حدود تركيزات مستخلصة 0.65–13.7 بركس، وحدود معدلات قص 10–979 ثانية<sup>-1</sup>، وحدود درجات حرارة 25–70 °م. كما قام Altan and Maskan (2005) بدراسة سلوك السريان الانسيابي لعصير الرمان في حدود تراكيز 17.5–75 بركس، وعلى حدود درجة حرارة 10–55 °م باستخدام طريقة التراكيز، وأظهرت النتائج أن طريقة التركيز لم تؤثر على سلوك التدفق عند مستوى معنوية (P > 0.05)، كما أن عصير الرمان يسلك سلوك النيوتوني. كما قام Sorror and Helmy (2016) بدراسة سلوك السريان لعصير الرمان أثناء عملية التبخير بتركيزات مواد صلبة ذائبة (23، 30، 40، 50، 60، 70%)، ودرجات حرارة مختلفة (30، 40، 50، 60، 70 °م)، ومعدلات قص تتراوح من 9.30 إلى 39 ثانية<sup>-1</sup>. وأظهرت النتائج أن عصير الرمان يسلك

تمثل أغلب السوائل مثل مستعلق التمر، ومركز الرمان، فإن الموائع بعد وصولها إلى نقطة الخضوع الابتدائية سيكون لها استجابة. يمكن وصف السوائل شبه البلاستيكية باستخدام المعادلة التالية (Sahin and Sumnu, 2006).

$$\tau = k \left[ -\frac{dv}{dy} \right]^n + \tau_y \quad (3)$$

تم تمثيل الأنواع المختلفة لأشكال سريان المواد الغذائية السائلة وشبه السائلة باستخدام نموذجين؛ الأول يكون مستقلاً لا يعتمد على الزمن، في حين يعتمد الآخر على الزمن. النماذج الرياضية المستقلة عن الزمن غالباً ما تستخدم لتحديد الخواص المميزة للسوائل مثل قانون نيوتن، والقانون الأسّي، وقانون هرشل-بلكي (Assiry and Elansari, 2002). تأتي أهمية معرفة سلوك السريان لعصائر الفاكهة؛ لأنه يلعب دوراً مهماً في التعرف على التغيرات التي تحصل للهيكل التركيبي لعصير المادة الغذائية أثناء تعرضها للحرارة (Ahmed et al., 2016).

## 7.1. سلوك السريان الانسيابي لعصير التمر:

يعد معرفة سلوك السريان لعصير التمر ومركزاته مهماً لدى مهندسي التصنيع الغذائي؛ وذلك لتأثيره المباشر على العديد من العمليات التصنيعية الغذائية مثل الترشيح، والتبخير، والفصل، والغليان. توجد العديد من المعادلات المستخدمة لوصف سلوك التدفق لعصير التمر ومركزاته منها النيوتوني أو الأسّي أو بنجهايمي (Marcotte et al., 2001).

يوجد العديد من العوامل المؤثرة على سلوك السريان لعصير التمر ومركزاته أهمها تركيز المواد الصلبة، ودرجة الحرارة، وتركيب المادة الغذائية، وكمية الماء فيه (Hassan et al., 2002). إن معرفة سلوك السريان الانسيابي لعصائر الفاكهة يساعد في فهم عمليات انتقال الحرارة والكتلة، كما أن المعلومات المتعلقة بسلوك السريان للأغذية تساعد في زيادة تطور عمليات التصنيع الغذائي (Hobani, 1998).

يوجد العديد من الدراسات التي قامت بدراسة سلوك السريان لعصير التمر ومركزاته المختلفة منها دراسة (Hobani, 1998)، والتي كانت عن سلوك السريان لمركز التمر- الماء لثلاثة أصناف من التمور (الخضري، صفري، وسري) بتركيز (20، 30، 40، 50، 60، 70 بركس). تم استخدام جهاز قياس اللزوجة الدوراني ذي الأسطوانات المتداخلة، وأظهرت النتائج أنه عند تركيز 20 و 30 بركس فإنه يسلك سلوكاً نيوتونياً عند درجة حرارة بحدود 25–85 °م، في حين عند تركيز (40، 50، 60، 70 بركس) فإن مركز التمر والماء سلك سلوكاً غير نيوتوني شبه بلاستيكي. كما درس Hassan and Hobani (2002) خصائص السريان لمستعلقات معاجين التمور؛ حيث قاموا بتقدير خصائص السريان لمستعلقات معاجين صنف (صفري، وسري) تجريبياً. في حدود معدلات القص من 50 إلى 500 (ثانية<sup>-1</sup>)، ودرجات الحرارة من 5 إلى 55 °م، وتراكيز من 22.34 إلى 29.79 مواد صلبة كلية %. وأظهرت النتائج أنه يسلك سلوكاً غير نيوتوني (شبه بلاستيكي) لجميع مستعلقات معاجين التمور، وأن قيم دليل سلوك السريان (n) تراوحت في الحدود من 0.266 إلى 0.445، ومعامل التماسك (k) ومن 0.949 إلى 7.302 باسكال. ثانية<sup>-n</sup>. كما قام Mohamed and Hassan (2016) بدراسة خواص الانسيابية لمركز التمر؛ حيث تم استخدام مركز تمر البرحي. أظهرت النتائج أن مركز التمر سلك سلوكاً غير نيوتوني (thixotropic) من الرتبة الأولى.

كما درس الأمشيطي (2014) سلوك السريان لعينات دبس التمر من صنف (السكري، والخلاص)؛ حيث تم قياسها بجهاز لزوجة دوراني، وكانت حدود معدلات القص 0.000–200 ثانية<sup>-1</sup>، وحدود درجات الحرارة 5–80 °م. وقد تمت موازنة النتائج التجريبية للقياسات الريولوجية بنجاح كبير باستخدام معادلة قانون الأس. وقد أوضحت النتائج أن دبس السكري يتبع سلوكاً غير نيوتوني تفاوتت فيه قيم معامل التماسك وقيم دليل سلوك السريان في الحدود 0.970–38.944 باسكال. ثانية<sup>-n</sup> و 0.759–0.922 على التوالي؛ حيث ازدادت قيم معامل التماسك بصورة منتظمة مع انخفاض درجة الحرارة، في حين لم يتبع دليل سلوك السريان نمطاً منتظماً مع تغير درجة الحرارة. أما دبس الخلاص فقد اتبع سلوكاً نيوتونياً عند درجات الحرارة العالية 40 و 60 و 80 °م، وسلوكاً غير نيوتوني عند درجات الحرارة 5 و 10 و 25 °م. وقد تفاوتت قيم معامل التماسك وقيم دليل سلوك السريان

تركيز المواد الصلبة وانخفاض درجة الحرارة. كما تم وصف العلاقة بين معامل التماسك والتركيز لجميع نسب الخلط باستخدام النموذج الآسي؛ حيث يستخدم النموذج لتوضيح تأثير درجة الحرارة والمواد الصلبة الذائبة في الدبس على اللزوجة الظاهرة. يبين الجدول (5) طاقة التنشيط ودليل سلوك السريان ومعامل التماسك لعصير التمر والرمان ومركزاتهما الدراسات.

الجدول (5): طاقة التنشيط ودليل سلوك السريان ومعامل التماسك لعصير التمر والرمان ومركزاتهما.

المرجع	معامل التماسك (باسكال. ثانية) <sup>n</sup>	دليل سلوك السريان	طاقة التنشيط (جول/مول)	المنتج
Hassan and Hobani (2002)	7.302-0.949	-0.266 0.445	16780-13701.5	معجون التمر لصنفي الصفري والسري
Habibi-Najafi and Alaei (2006)	8.2-4.11	0.7-0.34	29478-22366.32	عصير التمر/مزيج عجينة السمسم
Hobani (1998)	0.102-0.002	-0.605 0.988	33000-19000	عصير التمر (الخشري، صفري، سري)
Hobani (1994)	0.53-0.0032	-0.776 0.974	-	عصير الرمان (الطائفي، الباني والنفولطي)
Bodbodak et al.(2013)	0.075-0.0013	1.45-0.97	24.05-9.07	عصير الرمان الملبزي
Altan and Maskan (2003)	-	-	32.2-5.34	عصير الرمان

## 9. النمذجة الرياضية لخواص الانسيابية

تهدف النمذجة الرياضية إلى دراسة سلوك السريان لعصائر الفاكهة؛ مما يساعد في تطوير التقنيات المختلفة بشكل أسرع وأوفر من التجارب العملية المكلفة. يمكن وصف سلوك التدفق لعصائر الفواكه، وذلك باستخدام العديد من النماذج الرياضية بالاعتماد على طبيعة العصائر. النماذج الرياضية المستقلة عن الزمن غالبًا ما تستخدم لتحديد خواص الانسيابية المميزة للعصائر من هذه القوانين قانون نيوتن معادلة (6)، وقانون الأس معادلة رقم (7)، وقانون هرشل بلكي معادلة رقم (8).

$$\tau = \mu \gamma \quad (6)$$

$$\tau = K \gamma^n \quad (7)$$

$$\tau = \tau_0 + K \gamma^n \quad (8)$$

حيث

$\tau$  إجهاد القص (Pa)؛  $\gamma$  معدل القص 1/ثانية؛  $\mu$  اللزوجة (Pa.s)؛  $K$  معامل التماسك (باسكال. ثانية<sup>n</sup>)،  $n$  مؤشر سلوك التدفق،  $\tau_0$  الإجهاد العائد (Pa).

تم استخدام النماذج الرياضية السابقة على نطاق واسع من معدلات القص، وفي مجموعة كبيرة ومتنوعة من الأغذية السائلة وشبه السائلة، في حين تم استخدام النموذج الأخير (هرشل بلكي) ليناسب سلوك السريان الانسيابي للأغذية المختلفة. وبسبب تعرض عصائر الفاكهة لدرجات حرارة وضغوط وتركيزات مختلفة أثناء العمليات التصنيعية المختلفة مثل التخزين، والتركيز، والتبخير، والتسويق، والاستهلاك؛ لابد من دراسة تأثير اللزوجة كدالة لدرجة الحرارة والضغط والتركيز؛ حيث تختلف عصائر فاكهة التمر والرمان اختلافًا كبيرًا في سلوكها الريولوجي.

توجد العديد من الدراسات التي قامت بعمل نمذجة رياضية للخواص الانسيابية لعصير التمر والرمان ومركزاتهما منها دراسة الحمدان (2000)؛ إذ قام بعمل نمذجة رياضية تجريبية للخواص الانسيابية لمشروب الحليب بنكهة دبس التمر، وتمت دراسة السلوك الانسيابي لمشروب الحليب بالدبس؛ حيث أضيف الدبس لثلاثة أصناف من التمر (خلاص، ونبوت سيف، وسكري) بمعدل 2.5-15 مل/100 مل حليب باستخدام جهاز قياس لزوجة ذي محور دوراني مخروطي عند حدود درجات حرارة 5-65 م°، وعند معدل قص صفر-500 ثانية<sup>-1</sup>. تراوحت قيم اللزوجة الظاهرية بين 0.02 إلى 1.06 باسكال. تم استخدام نموذجين رياضيين (الآسي، وانحداري أو لوغاريثمي) للتعبير عن اللزوجة الظاهرية بدلالة كمية الدبس المضافة للحليب. ووجد أن النموذج الآسي يعبر عن بيانات اللزوجة الظاهرية بشكل أفضل، فقد تراوح معامل الارتباط ما بين 0.943 و 0.989. كما تم استخدام نموذجين رياضيين آخرين أكثر شمولًا؛ ليتضمنتا تأثير اللزوجة الظاهرية بكل من درجة الحرارة، ومعدل القص، وكذلك كمية الدبس المضافة للحليب. وقد أظهرت النتائج أن النموذجين يعبران عن البيانات التجريبية بشكل جيد. كما قام Hassan and Hobani (2002) بعمل نمذجة رياضية لمعجون التمر، وتم تقييم نموذجين رياضيين للتنبؤ باللزوجة الظاهرية لمستعلقات

سلوكًا غير نيوتوني شبه بلاستيكي. يوضح الجدول (4) ملخصًا عن أهم الدراسات عن سلوك السريان الانسيابي لعصير الرمان ومركزاته.

جدول (4): يوضح ملخصًا عن أهم الدراسات عن سلوك السريان الانسيابي لعصير الرمان ومركزاته

المرجع	سلوك السريان	المنتج
Hobani (1994)	يمسك سلوكًا غير نيوتوني شبه بلاستيكي.	عصير الرمان
Altan and Maskan (2005)	يمسك سلوكًا نيوتوني.	عصير الرمان
Sorror and Helmy (2016)	يمسك سلوكًا غير نيوتوني شبه بلاستيكي.	عصير الرمان المركز

## 8. تأثير درجة الحرارة والمواد الصلبة الذائبة على خواص الانسيابية لعصير التمر والرمان

تعدُّ درجة الحرارة وتركيز المواد الصلبة في عصائر الفاكهة من أهم العوامل المؤثرة على خواص الانسيابية وسلوك سريان التدفق للأغذية. يجب معرفة تأثير هذه العوامل على خواص الانسيابية للأغذية؛ حيث تتعرض معظم المواد الغذائية إلى درجة الحرارة أثناء عملية التصنيع الغذائي المختلفة مثل البسترة، والتعقيم، وغيرها من العمليات (El-Mansy et al., 2005). يمكن التعبير عن تأثير درجة الحرارة على خواص الانسيابية للسوائل النيوتونية وغير النيوتونية من خلال معادلة أرهينياس أو النماذج المشابهة له (El-Mansy et al., 2005). تستخدم معادلة أرهينياس معادلة رقم (4) عمومًا لربط درجة الحرارة مع خواص الانسيابية للأغذية (اللزوجة، واللزوجة الظاهرية، ومعامل القوام). توجد العديد من الدراسات التي استخدمت هذه المعادلة في التعرف على تأثير درجة الحرارة وتركيز المواد الصلبة على خواص الانسيابية لعصير التمر والرمان ومركزاتهما (Cevik et al., 2014; Hobani, 1998; Mohamed and Hassan, 2016).

$$\mu_a = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

حيث

$A$  ثابت،  $E_a$  طاقة التنشيط،  $R$  ثابت الغاز العام،  $T$  درجة الحرارة المطلقة. يمكن تحديد العوامل ( $A$ )، ( $E_a$ )، وذلك بقياس اللزوجة الظاهرية عند درجات حرارة مختلفة (Cevik et al., 2014).

تتعرض عصائر الفاكهة أثناء عملية التصنيع والتخزين لدرجة حرارة مرتفعة أو إضافة مكونات تزيد من تركيز المواد الصلبة في العصائر. يمكن معرفة تركيز المواد الصلبة الغذائية تقديريًا من خلال معرفة سلوك السريان، وذلك عن طريق معرفة دالة اللزوجة (Bodbodak et al., 2013).

يوجد العديد من النماذج الرياضية التي يمكن استخدامها لتعبير عن تأثير درجة الحرارة على لزوجة السوائل النيوتونية ومعامل القوام للسوائل غير النيوتونية. تم اقتراح نموذج متعدد الحدود، والذي يُعدُّ كدالة في المحتوى الكلي للمواد الصلبة ودرجة الحرارة (الحمدان، 2000م).

$$\text{Log} \mu = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + (B_0 + B_2 t^2) s + (C_0 + C_2 t^2) s^2 \quad (5)$$

من خلال البحث والاطلاع على الدراسات السابقة، لوحظ أن المعلومات عن تأثير درجة الحرارة وتركيز المواد الصلبة الذائبة على خواص الانسيابية لعصير التمر والرمان قليلة ونادرة؛ حيث قام (Ahmed et al., 2005) بالتحقق من تأثير درجة الحرارة على خواص اللزوجة وحركية التغير في اللون، كما تم تطوير نموذج للتنبؤ باللزوجة الظاهرية بالاعتماد على درجة الحرارة وتركيز المواد الصلبة. كما قام (Habibi-Najafi and Alaei (2006) في دراسته بوصف تأثير درجة الحرارة على اللزوجة لعصير التمر الممزوج بعجينة السمسم باستخدام معادلة أرهينياس؛ حيث بلغت طاقة التنشيط (22.366-29.478 كيلوجول/مول). أما بالنسبة لتأثير معدل القص على خواص التدفق فقد تبين أنه يكون من الرتبة الأولى، وبالتالي تم التنبؤ بسلوك السريان. كما بينت دراسة (Gabsi et al., 2013) أن تأثير تركيز المواد الصلبة ودرجة الحرارة على خواص الانسيابية لعصير التمر المركز يكون مختلفًا، وقد تم التعبير عنها باستخدام نموذج (Power Law)، وأن اللزوجة الظاهرية تزيد مع زيادة تركيز عصير التمر، وتتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة عند جميع مستويات التركيز بالنسب للعصير.

ذكر (Kamışle and Mohammed (2019) في دراسته لسلوك السريان الانسيابي لدبس التمر مع عجينة السمسم، أن قيمة اللزوجة الظاهرية تزيد مع زيادة

00966533130450, melamshity@ksu.edu.sa

م. الأمشيطي، مصري الجنسية، باحث مساعد بمعهد بحوث الهندسة الزراعية، ش نادي الصيد، الدقي، الجيزة، مركز البحوث الزراعية، وزارة الزراعة، جمهورية مصر العربية. حالياً طالب دكتوراة قسم الهندسة الزراعية، كلية علوم الأغذية والزراعة، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية. الاهتمامات البحثية مجالات هندسة التصنيع الغذائي المختلفة، ويشمل الخصائص الطبيعية والحرارية للمواد الغذائية، وتأثير ظروف التخزين على فترة صلاحية المنتجات الغذائية. والاهتمام بتقنيات وتصنيع التمر وخواصها المختلفة والصناعات التحويلية للتمر، والاهتمام بتطوير المنتجات الغذائية، واستخدام التقنيات الحديثة في مصانع الأغذية.

## المراجع

الأمشيطي، محمود جلال قطب. (2014). *تطوير مشروب مغذي من حليب البقر والنوق بديس التمر*. رسالة ماجستير، كلية علوم الأغذية والزراعة، جامعة الملك سعود، الرياض، السعودية.

الأمشيطي، محمود جلال قطب، حسن، بكري حسين، الخليفة، عبد الرحمن صالح، والحمدان، عبد الله محمد. (2017). الخصائص الفيزيوكيميائية والحسية للحليب المنكه بديس التمر. *مجلة الجمعية السعودية للغذاء والتغذية*. جامعة الملك سعود، الرياض، السعودية، 11(2.1)، 15-31.

حسن، بكري حسين. (2008). إنتاج دبس التمر وسكر التمر العالي الفركتوز على مستوى صناعي. في: *علي إبراهيم حوياني وعبد الرحمن عبد العزيز الجنوبي (محرران) تطبيقات هندسية في تصنيع التمر*. جامعة الملك سعود، الرياض: النشر العلمي والمطابع.

الحمدان، عبد الله محمد. (2000). نموذج رياضية تجريبية للخواص الانسيابية لمشروب الحليب بنكهة دبس التمر. *مجلة اتحاد الجامعات العربية للدراسات والبحوث الزراعية*. جامعة عين شمس، القاهرة، 19(1)، 35-55.

الحمدان، عبد الله محمد. (2008). صناعة التمر في المملكة بين الماضي والحاضر والمستقبل. في: *علي إبراهيم حوياني وعبد الرحمن عبد العزيز الجنوبي (محرران) تطبيقات هندسية في تصنيع التمر*. جامعة الملك سعود، الرياض: النشر العلمي والمطابع.

المركز الوطني للنخيل والتمر. (2020). *التقرير السنوي*. الرياض، المملكة العربية السعودية.

وزارة البيئة والمياه والزراعة. (2020). *الكتاب الإحصائي*. إدارة الدراسات الاقتصادية والإحصاء، الرياض.

Abdulagatov, A., Magerramov, M., Abdulagatov, I. and Azizov, N. (2008). Effect of temperature, pressure and concentration on the viscosity of fruit juice: Experimental and modeling. In: J. Cantor (ed.) *Progress in Food Engineering Research and Development*. New York, USA: Nova Science Publishers.

Ahdno, H. and Jafarizadeh-Malmiri, H. (2017). Development of a sequenced enzymatically pre-treatment and filter pre-coating process to clarify date syrup. *Food and Bioproducts Processing*, 101(n/a), 193-204.

Ahmed, J., Ptaszek, P. and Basu, S. (2016). *Advances in Food Rheology and its Applications*. USA: Woodhead Publishing.

Ahmed, J., Ramaswamy, H.S. and Khan, A.R. (2005). Effect of water activity on glass transitions of date pastes. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 253-58.

Al Hilfi, M.K., Al-Fekaiki, D.F. and Al-Hilphy, A.R. (2019). Identification and determination of metal elements of dates syrup extracted from various varieties using SEM-EDS technique. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 32(2), 126-34.

Alamshiti, M.J.Q. (2014). *Tatwir Mashrub Mughadhij min Halib Albaqar Walnuwq Bidibs Altamura* 'Development of a Nutritional Drink from Cow's and Camel's Milk with Date Syrup'. Master Thesis, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia. [in Arabic].

Alamshiti, M.J.Q., Hassan, B.H., Alkhalifah, A. and Al Hamdan, A.M. (2017). Al-khosais al-vizyukimiya walhasia lehlib monke bedbes al-tamar 'Physicochemical and sensory characteristics of milk flavored with date syrup (Dibbs)'. *Journal King Saud University*, 11(2.1), 15-31. [in Arabic].

Alanazi, F.K. (2010). Utilization of date syrup as a tablet binder, comparative study. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 18(2), 81-9.

Alhamdan, A.M. (2000). Namdhaja radiate tajriba of alkhawas alainsiabia of the mashrub alhalib binakhat dibs altamr 'Experimental mathematical modelling of the rheological properties of the milk drink flavored with dates dibs'. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 9(1), 35-55. [in Arabic].

Alhamdan, A.M. (2008). Sinaeat altamr in Saudi Arabia between almadi and alhadir and almustaqbal 'The date industry in the Kingdom between the past, the present and the future'. In: A.I. Hobani and A.A. Al Janobi (eds.) *Tatbiqat Handasia in Tasnie Altomooore* 'Engineering

معاجين التمر لكل صنف كدالة للتركيز، ودرجة الحرارة، ومعدل القص. وقد عبر النموذجان الرياضيان بدرجة عالية عن كل النتائج التجريبية التي تم قياسها. كما قام (Hobani 1998)، بعمل نمذجة رياضية لوصف سلوك السريان الانسيابي لمركز التمر- الماء عند حدود درجة حرارة (25-95 °م). وأظهرت النتائج أن النموذج الآسي استطاع توصيف مركز التمر والماء بشكل جيد. كما قام (Bodbodak et al., 2013) بعمل نمذجة رياضية للخواص الانسيابية لعصير الرمان الماليزي؛ حيث تم عمل مواءمة للنتائج التجريبية باستخدام نموذج هرشل-بلكي، وأظهرت النتائج أن قيم دليل سلوك السريان (n) بين 0.97 و 1.45 عند جميع درجات الحرارة والتركيز وحدود معدلات قص الطبيعية. تم تطوير نموذج رياضي لوصف تأثير درجة الحرارة وتركيز المواد الصلبة على معامل التماسك لعصير الرمان وفقاً لظروف الدراسة. كما أظهرت النتائج أن تأثير تركيز المواد الصلبة على اللزوجة يمكن وصفها باستخدام النموذج الآسي. كما قام (Magerramov 2007) في دراسته باستخدام العديد من النماذج الرياضية (نماذج الآسي، قانون القوة).

## 10. الاستنتاجات

تُعدُّ عصائر التمر والرمان ومركزتهما من المنتجات شائعة الاستهلاك؛ لصفاتهما الحسية والتغذوية. يوجد العديد من الخواص الريولوجية التي تم قياسها والتنبؤ بها باستخدام النماذج المختلفة. تبين من الدراسة أن سلوك السريان لعصير التمر والرمان يكون غير نيوتوني شبه بلاستيكي. كما تبين أنه مع زيادة تركيز المواد الصلبة وانخفاض درجة الحرارة تزيد اللزوجة الظاهرية. تم التعبير عن تأثير درجة الحرارة على اللزوجة الظاهرية بشكل عام من خلال علاقة أرهينياس. يوجد العديد من النماذج الرياضية التي يمكن استخدامها لوصف دليل السريان. يُعدُّ النموذج الآسي  $\tau = k\dot{\gamma}^n$  هو النموذج الذي وصف سلوك السريان لعصير التمر والرمان.

## نبذة عن المؤلفين

### علي إبراهيم حوياني

قسم الهندسة الزراعية، كلية علوم الأغذية والزراعة، جامعة الملك سعود، الرياض، السعودية. 00966505770696, hobani@ksu.edu.sa

أ.د. حوياني حصل على درجتي الماجستير والدكتوراه في تخصص هندسة تصنيع الأغذية من جامعة كرانفيلد بإنجلترا عامي 1985 و 1989، على التوالي، وتمت ترقيته إلى درجة أستاذ دكتور عام 2002م. أعد وترجم 7 كتب في مجال التخصص كما نشر أكثر من 30 بحثاً علمياً في مجلات محلية وعالمية باللغتين العربية والإنجليزية، وله أكثر من 12 بحثاً في مؤتمرات محلية وعالمية. أشرف على وناقش 15 رسالة ماجستير، ويشرف حالياً على رسالة دكتوراه، له اهتمامات بحثية في العمليات المتكاملة في هندسة التصنيع الغذائي، البثق الحراري للأغذية، والخواص الهندسية للمواد الغذائية.

### معاذ بدر عبده عثمان

قسم الهندسة الزراعية، كلية علوم الأغذية والزراعة، جامعة الملك سعود، الرياض، السعودية. 00966508290501, moath204@hotmail.com

م. عثمان يماني الجنسية، بكالوريوس في الهندسة الزراعية (جامعة صنعاء) وماجستير قسم الهندسة الزراعية، كلية علوم الأغذية والزراعة، جامعة الملك سعود. حالياً طالب دكتوراه قسم الهندسة الزراعية كلية علوم الأغذية والزراعة جامعة الملك سعود. يعمل محاضراً في قسم الهندسة الزراعية، كلية علوم الأغذية والزراعة والبيئة جامعة صنعاء، اليمن. الاهتمامات البحثية في المعاملات الحرارية المختلفة وتأثيرها على الخواص الطبيعية والحرارية والميكانيكية للمنتجات الغذائية، وخصوصاً للحوم والاهتمام بالتقنيات الحديثة في مجال هندسة تصنيع الغذائي، التسخين الأومي، والميكروويف، والمعاملات الحرارية المستمرة للأغذية مثل البسترة والتعقيم.

### محمود جلال الأمشيطي

قسم الهندسة الزراعية، كلية علوم الأغذية والزراعة، جامعة الملك سعود، الرياض، السعودية.



- fruits. *Journal of King Saud University Agricultural Science*, 5(2), 165–75.
- Kamişle, F. and Mohammed, D.A. (2019). Determination of rheological behavior of some molasses-sesame blends. *Turkish Journal of Science and Technology*, 14(1), 23–32.
- Krokida, M., Maroulis, Z., Saravacos, G. (2001). Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: Compilation of literature data. *International Journal of Food Properties*, 4(2), 179–200.
- Kuria, K.P. (2020). Food rheology using dynamic mechanical analysis; A short review. *International Journal of Research Publications*, 44(1), 1–4.
- Legua, P., Melgarejo, P., Martinez, M. and Hernández, F. (2000). Evolution of sugars and organic acid content in three pomegranate cultivars (*Punica granatum* L.). *Options Méditerranéennes. Série A, Séminaires Méditerranéens*, 42(n/a), 99–104.
- Magerramov, M.A., Abdulagatov, A. I., Azizov, N.D. and Abdulagatov, I.M. (2007). Effect of temperature, concentration, and pressure on the viscosity of pomegranate and pear juice concentrates. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 476–89.
- Marcotte, M., Hoshahili, A.R.T. and Ramaswamy, H.S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34(8), 695–703.
- Maskan, M. (2006). Production of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice concentrate by various heating methods: Colour degradation and kinetics. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 218–24.
- Ministry of Environment, Water and Agriculture. (2020). AL kitab Alihsay 'Statistical Book'. Riyadh: Department of Economic Studies and Statistics. [in Arabic]
- Mohamed, I.O. and Hassan, E. (2016). Time-dependent and time-independent rheological characterization of date syrup. *Journal of Food Research*, 5(2), 13–22.
- National Center for Palms and Dates. (2020). Altaqir Alsanawi 'Annual Report'. Riyadh, Saudi Arabia: NPCD. [in Arabic]
- Negi, P.S., Jayaprakasha, G.K. and Jena, B.S. (2003). Antioxidant and antimutagenic activities of pomegranate peel extracts. *Food Chemistry*, 80(3), 393–7.
- Rao, M. (1999). *Rheology of Fluid and Semisolid Foods*. USA: Aspen Publication.
- Razavi, S.M., Najafi, M.B.H. and Alaei, Z. (2007). The time independent rheological properties of low-fat sesame paste/date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 198–202.
- Sadeghi, N., Jannat, B., Oveisi, M., Hajimahmoodi, M. and Photovat, M. (2009). Antioxidant activity of Iranian pomegranate (*Punica granatum* L.) seed extracts. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11(5), 633–8.
- Sahin, S. and Sumnu, S.G. (2006). *Physical Properties of Foods*. USA: Springer Science and Business Media.
- Salehi, F. (2020). Physicochemical characteristics and rheological behavior of some fruit juices and their concentrates. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(5), 2472–88.
- Sorour, M.A. and Helmy, M.M. (2016). Effect of temperature on flow behavior during evaporation process of pomegranate concentrate (DIBS). *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 4(8), 745–53.
- Steffe, J.F., Mohamed, I.O. and Ford, E.W. (1986). Rheological properties of fluid foods: Data compilation. In: M. Okos (ed.) *Physical and Chemical Properties of Foods*. St. Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural Engineers.
- Tzulker, R., Glazer, I., Bar-Ilan, I., Holland, D., Aviram, M. and Amir, R. (2007). Antioxidant activity, polyphenol content, and related compounds in different fruit juices and homogenates prepared from 29 different pomegranate accessions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(23), 9559–70.
- Usman, S., Rahim, H., Ahmad, S., Khan, Z., Jan, I., Khan, M.A. and Haris, M. (2018). Physio chemical properties of pomegranate varieties collected from Peshawar local market. *Agri Res & Tech*, 14(1), 7–11.
- Vayalil, P.K. (2012). Date fruits (*Phoenix dactylifera* Linn): An emerging medicinal food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(3), 249–71.
- Vegara, S., Martí, N., Lorente, J., Coll, L., Streitenberger, S., Valero, M., and Saura, D. (2014). Chemical guide parameters for *Punica granatum* cv. 'Mollar' fruit juices processed at industrial scale. *Food Chemistry*, 147(n/a), 203–8.
- Zhong, Q. and Daubert, C.R. (2013). Food Rheology. In: M. Kutz (ed.) *Handbook of Farm, Dairy, and Food Machinery Engineering*. USA: Academic Press.
- Applications in Date Manufacturing'. King Saud University, Riyadh: Scientific Publishing and Printing Press. [in Arabic]
- Al-Hilphy, A.R., Al-Fekaiki, D.F., Al Hilfi, M.K., Lee, P.H., Mousavi Khaneghah, A. and Gavahian, M. (2021). Pilot-scale hydraulic-pressure extraction of sukari date honey (*Phoenix dactylifera* L.) to enhance resource efficiency: Effects of processing parameters on bioactive compounds and physicochemical quality. *Journal of Food Process Engineering*, 44(n/a), 1–14.
- Al-Maiman, S.A. and Ahmad, D. (2002). Changes in physical and chemical properties during pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit maturation. *Food Chemistry*, 76(4), 437–41.
- Alper, N. and Acar, J. (2004). Removal of phenolic compounds in pomegranate juices using ultrafiltration and laccase-ultrafiltration combinations. *Nahrung/Food*, 48(3), 184–7.
- Altan, A. and Maskan, M. (2005). Rheological behavior of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice and concentrate. *Journal of Texture Studies*, 36(1), 68–77.
- Assiry, A.M. and Elansari, (2002). Effect of temperature and concentration on rheological properties of camel milk. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 20(2), 268–84.
- Bassiri-Jahromi, S. (2018). *Punica granatum* (Pomegranate) activity in health promotion and cancer prevention. *Oncology Reviews*, 12(1), 345–52.
- Bodbodak, S., Kashaninejad, M., Hesari, J. and Razavi, S.M.A. (2013). Modeling of rheological characteristics of "Malas Yazdi" (*Punica granatum* L.) pomegranate juice. *J. Agr. Sci. Tech*. 15(5), 961–71.
- Bureau, S., Ruiz, D., Reich, M., Gouble, B., Bertrand, D., Audergon, J.M. and Renard, C.M. (2009). Rapid and non-destructive analysis of apricot fruit quality using FT-near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 113(4), 1323–8.
- Cevik, M., Sabanci, S., Icier, F. and Yildiz, H. (2014). Changes on rheological properties of pomegranate (*Punica granatum* L., cv. Hicaznar) juices during concentration process. *Bulgarian Chemical Communications*, 46(n/a), 87–91.
- Conidi, C., Drioli, E. and Cassano, A. (2020). Perspective of membrane technology in pomegranate juice processing: A review. *Foods*, 9(7), 889–914.
- Dogan, H., Kokini, J. (2007). Rheological properties of foods. In: D. Heldman and D. Lund (eds.) *Handbook of Food Engineering*. USA: CRC Press.
- El-Mansy, H.A., Sharoba, A.M., Bahlol, H.E.L. M. and El-Desouky, A.I. (2005). Rheological properties of mango and papaya nectar blends. *Annals of Agric. Sc.*, Moshtohor, 43(2), 665–86.
- El-Nagga, E.A. and Abd El-Tawab, Y.A. (2012). Compositional characteristics of date syrup extracted by different methods in some fermented dairy products. *Annals of Agricultural Sciences*, 57(1), 29–36.
- Eltawil, M.A., Algonai, A.A. and Amer, B.M. (2021). Innovative extraction process for date fruits syrup (Dibs) using electro-thermal solar energy. *Solar Energy*, 221(24), 521–35.
- Ewaidah, E.H. (1987). Nutrient composition of Taifi pomegranate (*Punica granatum* L.) fragments and their suitability for the production of jam. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 5(3), 367–78.
- Gabsi, K., Trigui, M., Barrington, S., Helal, A.N. and Taherian, A.R. (2013). Evaluation of rheological properties of date syrup. *Journal of Food Engineering*, 117(1), 165–172.
- Gad, A.S., Kholif, A.M. and Sayed, A.F. (2010). Evaluation of the nutritional value of functional yogurt resulting from combination of date palm syrup and skim milk. *American Journal of Food Technology*, 5(4), 250–9.
- Gadallah, M.G., Al-Hassan, A.A. and Abd El-Hady, E.S.A. (2016). Quality characteristics and rheological properties of barhi date (*Phoenix dactylifera* L.) jams with addition of carrot and pumpkin purees. *Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, 8(2), 113–26.
- Habibi-Najafi, M.B. and Alaei, Z. (2006). Rheological properties of date syrup/sesame paste blend. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 1(1), 1–5.
- Hassan, B.H. (2008). Intaj Dibs Altamr and Sukar Altamr Alea ALfructose on Mustawa Sinaeay 'Production of date molasses and high-fructose date sugar at an industrial level'. In: A.I. Hobani and A.A. Al Janobi (eds.) *Tatbiqat Handasia in Tasnie Atomoore 'Engineering Applications in Date Manufacturing'*. King Saud University, Riyadh: Scientific Publishing and Printing Press. [in Arabic]
- Hassan, B.H. and Hobani, A.I. (2002). Flow properties of date pastes suspensions. *Journal King Saud University*, 14(1), 43–54.
- Hobani, A.I. (1994). Rheological properties of pomegranate juices. *J. King Saud. Univ. Agric. Sci.*, 6(2), 203–18.
- Hobani, A.I. (1998). Rheological behaviour of date-water concentrates. *Journal of Food Engineering*, 36(3), 349–57.
- Humeida, M.A. and Hobani, A.I. (1993). Physical properties of pomegranate