

أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج: دراسة تطبيقية على المناطق الزراعية في
المملكة

إعداد الطالبة/

سحر أحمد محمد الحازمي

الرقم الجامعي/

251000360

إشراف/

أ.د. الفیصل عبد الحمید

أ.د. فايز جراد

العام الدراسي

2025

هَذَا مِنْ فُرْصَاتِ

إهداء

إلى من غرس فيَّ القيم، وسقاني من معين الحكمة،

إلى من كان دعاؤهم سرّ توفيقِي، وسندًا لي في كل مراحل حياتي،

إلى والديَّ الكريمين، أهدي ثمرة جهدي وعملي، عرفانًا وتقديرًا.

وإلى من ساندني وشجّعني في مسيرتي العلمية،

إلى إخوتي وأصدقائي وزملائي،

لكم جميعًا أهدي هذا العمل المتواضع، امتنانًا لكل دعمٍ صادق.

شكر وتقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبِعونه وتوفيقه أنجزت هذا العمل المتواضع.

أتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان لمشرفي الكريم الأستاذ الدكتور د. الفیصل عبد الحمید، د. فايز جراد، الذي كان لدعمها العلمي، وتوجيهاتهم السديدة، وملاحظاتهم القيمة، الأثر الأكبر في إنجاز هذه الرسالة. لقد كان مثلاً يُحتذى به في العلم والأخلاق والتفاني.

كما أتوجه بالشكر الجزيل لأعضاء لجنة المناقشة الكرام على وقتهم وجهدهم وملاحظاتهم البناءة التي أثرت هذا العمل.

ولا يفوتني أن أعبر عن تقديري العميق لكل من ساندني ووقف إلى جانبي خلال فترة إعداد

الرسالة، من أسرتي وأصدقائي وزملائي، وخاصة والديّ العزيزين، الذين كان لدعائهما

ودعمهما المعنوي والمادي بالغ الأثر في وصولي إلى هذه المرحلة.

لكم جميعاً، كل الشكر والتقدير والامتنان.

فهرس المحتويات

إهداء.....	3
شكر وتقدير.....	4
قائمة الجداول.....	7
فهرس الأشكال.....	8
المستخلص.....	9
الفصل الأول.....	10
المقدمة.....	11
مشكلة الدراسة.....	13
أهمية الدراسة.....	14
أهداف الدراسة.....	15
تساؤلات الدراسة.....	16
فرضيات الدراسة.....	17
النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث.....	18
الفصل الثاني.....	21
الدراسات السابقة.....	21
المقدمة.....	22
المتغير التابع والمستقل.....	24
الدراسات السابقة.....	26
الإطار النظري للدراسة.....	28
الفصل الثالث.....	31
منهجية الدراسة.....	31
المقدمة.....	32
مجتمع البحث.....	34
المنهجية وطرق البحث.....	35
أدوات الدراسة.....	37

39	خطوات جمع البيانات.....
41	حدود البحث.....
43	الفصل الرابع.....
43	نتائج الدراسة.....
44	المقدمة.....
46	تحليل البيانات.....
85	المناقشة.....
87	الخاتمة.....
89	التوصيات.....
91	المراجع.....
95	الملاحق.....
97	Abstract.....

قائمة الجداول

48	جدول 1 : التحليلات الإحصائية
49	جدول 2 : التحليل الإحصائي لعمر المشاركين في التجربة
50	جدول 3 : التحليل الإحصائي لجنس المشاركين في التجربة
51	جدول 4 : التحليل الإحصائي للدرجة العلمية دي المشاركين في التجربة
53	جدول 5 : التحليل الإحصائي لاحتفاظ الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية بلونها الطبيعي
54	جدول 6 : التحليل الإحصائي لكون ملمس الفواكه المجففة مقبولاً
56	جدول 7 : التحليل الإحصائي لعدم تأثر حجم الفواكه المجففة بشكل كبير بعد التجفيف
57	جدول 8 : التحليل الإحصائي لكون مظهر الفواكه المجففة مغرياً
59	جدول 9 : التحليل الإحصائي لقلة احتمالية تلف الفواكه المجففة مقارنة بالطرق الأخرى
60	جدول 10 : التحليل الإحصائي لكون طعم الفواكه المجففة جيداً
62	جدول 11 : التحليل الإحصائي لاحتفاظ الفواكه المجففة بمذاقها الطبيعي
63	جدول 12 : التحليل الإحصائي لعدم تأثر عملية التجفيف على القيمة الغذائية للفواكه
65	جدول 13 : التحليل الإحصائي لكون رطوبة الفواكه المجففة مناسبة
66	جدول 14 : التحليل الإحصائي لكون الفواكه المجففة صالحة للتخزين لفترة طويلة دون فقدان الجودة
68	جدول 15 : التحليل الإحصائي لاعتبار طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية فعالة مقارنة بالطرق التقليدية
69	جدول 16 : التحليل الإحصائي لكون مدة التعرض للشمس مناسبة لتحقيق جودة جيدة
70	جدول 17 : التحليل الإحصائي لكون كمية الشمس المستخدمة كافية لتجفيف الفواكه بشكل متجانس
72	جدول 18 : التحليل الإحصائي لتأثير نوع الفاكهة على جودة المنتج بعد التجفيف
73	جدول 19 : التحليل الإحصائي لكون الرضا العام عن الفواكه المجففة مرتفعاً
75	جدول 20 : التحليل الإحصائي لكون إمكانية الاستمرار في استخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية جيدة
76	جدول 21 : التحليل الإحصائي لكون التوصية باستخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية عالية
78	جدول 22 : ملخص التحليلات الإحصائية
78	جدول 23 : اختبار الثبات والموثوقية
79	جدول 24 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة وطريقة التجفيف بالطاقة الشمسية
80	جدول 25 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة ومدة التعرض لأشعة الشمس أثناء التجفيف
	جدول 26 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة ونوع الفاكهة المزودة للتجفيف (مثل التفاح، المشمش، الفراولة)
82	جدول 27 : اختبار التباين الأحادي
83	جدول 28 : ملخص نموذج معامل بايز

فهرس الأشكال

- شكل توضيحي 1 : التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة 49
- شكل توضيحي 2 : التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة 50
- شكل توضيحي 3 : التمثيل البياني للدرجة العلمية لدى المشاركين في التجربة 52
- شكل توضيحي 4 : التمثيل البياني لاحتفاظ الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية بلونها الطبيعي 53
- شكل توضيحي 5 : التمثيل البياني لكون ملمس الفواكه المجففة مقبولاً 55
- شكل توضيحي 6 : التمثيل البياني لعدم تأثر حجم الفواكه المجففة بشكل كبير بعد التجفيف 56
- شكل توضيحي 7 : التمثيل البياني لكون مظهر الفواكه المجففة مغرياً 58
- شكل توضيحي 8 : التمثيل البياني لقلّة احتمالية تلف الفواكه المجففة مقارنة بالطرق الأخرى 59
- شكل توضيحي 9 : التمثيل البياني لكون طعم الفواكه المجففة جيداً 61
- شكل توضيحي 10 : التمثيل البياني لاحتفاظ الفواكه المجففة بمذاقها الطبيعي 62
- شكل توضيحي 11 : التمثيل البياني لعدم تأثر عملية التجفيف على القيمة الغذائية للفواكه 64
- شكل توضيحي 12 : التمثيل البياني لكون رطوبة الفواكه المجففة مناسبة 65
- شكل توضيحي 13 : التمثيل البياني لكون الفواكه المجففة صالحة للتخزين لفترة طويلة دون فقدان الجودة 67
- شكل توضيحي 14 : التمثيل البياني لاعتبار طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية فعالة مقارنة بالطرق التقليدية 68
- شكل توضيحي 15 : التمثيل البياني لكون مدة التعرض للشمس مناسبة لتحقيق جودة جيدة 69
- شكل توضيحي 16 : التمثيل البياني لكون كمية الشمس المستخدمة كافية لتجفيف الفواكه بشكل متجانس 71
- شكل توضيحي 17 : التمثيل البياني لتأثير نوع الفاكهة على جودة المنتج بعد التجفيف 72
- شكل توضيحي 18 : التمثيل البياني لكون الرضا العام عن الفواكه المجففة مرتفعاً 74
- شكل توضيحي 19 : التمثيل البياني لكون إمكانية الاستمرار في استخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية جيدة 75
- شكل توضيحي 20 : التمثيل البياني لكون التوصية باستخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية عالية 77
- شكل توضيحي 21 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة وطريقة التجفيف بالطاقة الشمسية 79
- شكل توضيحي 22 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة ومدة التعرض لأشعة الشمس أثناء التجفيف 81
- شكل توضيحي 23 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة ونوع الفاكهة المزودة للتجفيف (مثل التفاح، المشمش، الفراولة) 82

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج في المناطق الزراعية في المملكة، مع التركيز على العلاقة بين طريقة التجفيف، مدة التعرض للشمس، ونوع الفاكهة من جهة، ومستوى الجودة الناتجة من جهة أخرى. اعتمدت الدراسة المنهجية الكمية لجمع وتحليل البيانات، حيث تم اختيار عينة مكونة من 224 وحدة بحثية تشمل المزارع والمواقع الزراعية التي تستخدم التجفيف الشمسي، إضافة إلى العاملين المشاركين في عمليات التجفيف. أظهرت النتائج أن جودة الفواكه المجففة تتأثر بشكل كبير بطريقة التجفيف المستخدمة، ومدة التعرض للشمس، ونوع الفاكهة، حيث حافظت الطرق المنظمة والمجففات شبه المغلقة على اللون والنكهة والقيمة الغذائية للفاكهة بشكل أفضل من الطرق التقليدية المكشوفة. كما بينت الدراسة أن الفواكه ذات القوام المتماسك، مثل التفاح، تتحمل التجفيف بشكل أفضل من الفواكه الحساسة مثل الفراولة والمشمش. واستنادًا إلى هذه النتائج، أوصت الدراسة بتطوير تصميم المجففات الشمسية، وضبط مدة التعرض حسب نوع الفاكهة، وإعداد بروتوكولات تشغيل متخصصة لكل محصول، إضافة إلى تدريب العاملين وتعزيز الاستفادة من الظروف المناخية المتنوعة في المملكة. تسهم هذه التوصيات في تحسين جودة الفواكه المجففة وتعزيز كفاءة الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي.

الكلمات المفتاحية: تجفيف الفواكه، الطاقة الشمسية، جودة المنتج، التجفيف الشمسي، مدة التعرض، نوع

الفاكهة، المملكة العربية السعودية.

الفصل الأول

المقدمة

تعد تقنيات التجفيف من أهم الأساليب المستخدمة عالمياً للحفاظ على جودة المنتجات الزراعية والحد من الفاقد بعد الحصاد، نظراً للدور المحوري الذي تؤديه في تقليل النشاط الميكروبي والإنزيمي المسؤول عن تلف الفواكه سريعة العطب. ومع التطور المتسارع في الممارسات الزراعية وارتفاع معدلات الإنتاج في العديد من المناطق، باتت الحاجة ملحة لتبني تقنيات حفظ فعالة تتوافق مع معايير الاستدامة وتحديات الموارد. ومن بين مختلف الطرق الحرارية والميكانيكية الحديثة، برز التجفيف بالطاقة الشمسية كأحدى التقنيات الواعدة التي تجمع بين الجدوى الاقتصادية والبعد البيئي، خاصة في الدول ذات المناخ المشمس على مدار العام، مثل المملكة التي تمتاز بوفرة الإشعاع الشمسي وارتفاع درجات الحرارة خلال معظم أشهر السنة. هذه المزايا الطبيعية تجعل من الطاقة الشمسية مورداً استراتيجياً يمكن استثماره بشكل فعال في تطوير قطاع الصناعات الغذائية التحويلية، ولا سيما فيما يتعلق بتجفيف الفواكه وتحسين فرص تسويقها داخلياً وخارجياً (Hasan، 2019).

وفي ظل الاهتمام المتزايد بتقليل الهدر الغذائي ورفع كفاءة الإنتاج الزراعي، أصبح التجفيف أحد العناصر الرئيسية في منظومة ما بعد الحصاد، إذ تسهم هذه العملية في إطالة العمر التخزيني للفواكه عبر خفض المحتوى الرطوبي إلى مستويات لا تسمح بنمو الكائنات الدقيقة أو حدوث تفاعلات تسبب تدهور الصفات الحسية والغذائية. غير أن تحقيق جودة عالية في المنتج المجفف يعتمد بدرجة كبيرة على الطريقة المستخدمة في التجفيف، فبينما يمكن لطرق التجفيف الحراري التقليدية أن تؤدي إلى تسريع العملية، إلا أن لها آثاراً سلبية محتملة على اللون والنكهة ومحتوى الفيتامينات الحساسة للحرارة. ومن هنا يأتي الاهتمام المتزايد بتقنيات التجفيف بالطاقة الشمسية، والتي أثبتت عدداً من المزايا، من بينها الحفاظ بدرجة أكبر على القيمة الغذائية، وخفض تكاليف التشغيل، وتسهيل استخدام التقنية في المناطق الريفية والمزارع الصغيرة ذات الموارد المحدودة. ومع ذلك، فإن فاعلية هذه التقنيات تختلف باختلاف تصميم المجففات الشمسية، وطبيعة الظروف البيئية في المكان، ومستوى التحكم في درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الهواء داخل المجفف (Mafe، 2024).

وتكتسب دراسة أثر التجفيف بالطاقة الشمسية على جودة الفواكه أهمية خاصة في السياق السعودي، نظراً لأهمية القطاع الزراعي في عدد من مناطق المملكة، مثل عسير والباحة وتبوك والجوف، المعروفة بإنتاجها من الفواكه كالتمر والمانجو والتين والعنب والرمان وغيرها من المحاصيل التي تتطلب معالجة ما بعد الحصاد للحفاظ على جودتها. كما أن رؤية المملكة 2030 تسعى إلى تحقيق الاستدامة الزراعية، وتعزيز الكفاءة في استخدام الموارد الطبيعية،

والاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة في الأنشطة الإنتاجية كافة، مما يجعل تقييم وتقنين استخدام الطاقة الشمسية في التجفيف خطوة في الاتجاه الصحيح لتحقيق تلك الأهداف. إضافة إلى ذلك، فإن الاعتماد على التكنولوجيا الشمسية يسهم في تخفيض تكاليف الإنتاج للمزارعين والمنتجين المحليين، خصوصاً في ظل ارتفاع تكاليف الطاقة التقليدية وتزايد الطلب على منتجات مجففة ذات جودة عالية تلي المعايير الدولية (Zaman، 2025).

وفي ضوء هذه المعطيات، تسعى الدراسة الحالية إلى تقديم تحليل معمق وشامل للكيفية التي تؤثر بها عملية التجفيف بالطاقة الشمسية على مختلف الخصائص النوعية للفواكه، بما في ذلك الخصائص الفيزيائية مثل اللون والملمس والانكماش، والخصائص الكيميائية مثل نسبة السكريات والأحماض والمواد الصلبة الذائبة، إلى جانب الخصائص الحسية التي تلعب دوراً مهماً في قبول المستهلك. كما تهدف الدراسة إلى استكشاف الفروق بين الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية والفواكه المجففة بالطرق التقليدية، وتقييم مدى قدرة التقنيات الشمسية على إنتاج منتج منافس من حيث الجودة والقيمة السوقية. ولا يقتصر الهدف على الجوانب التقنية فحسب، بل يمتد ليشمل دراسة البيئة الزراعية في المملكة ومدى جاهزيتها لاستيعاب هذه التقنية، إضافة إلى تحليل التحديات المحتملة مثل الظروف المناخية المتغيرة، واحتياجات المزارعين التدريبية، ومتطلبات البنية التحتية لنجاح مشاريع التجفيف الشمسي (Alemu، 2025).

تسعى هذه الدراسة إلى تقديم رؤية علمية تطبيقية متكاملة تسهم في تعزيز استخدام التجفيف بالطاقة الشمسية كجزء أساسي من منظومة حفظ الفواكه في المملكة، ودعم توجه المزارعين نحو اعتماد تقنيات صديقة للبيئة وذات جدوى اقتصادية. كما تهدف إلى توفير قاعدة معرفية يمكن الاستناد إليها في تطوير مشاريع ريادية في مجال الصناعات الغذائية، بما يعزز من تنافسية المنتجات الزراعية السعودية، ويحدّ من الهدر، ويرفع جودة المنتج وصولاً إلى أسواق جديدة محلية وعالمية. بهذه النظرة الشمولية، تأمل الدراسة في الإسهام في إثراء المعرفة العلمية في هذا المجال، وتقديم توصيات عملية قابلة للتطبيق تسهم في تحسين كفاءة التجفيف وجودة المنتج ورفع القيمة الاقتصادية للمحاصيل الزراعية في المناطق الزراعية بالمملكة.

على الرغم من التطور الكبير في قطاع الزراعة داخل المملكة وتنوع المحاصيل التي تنتجها مختلف المناطق الزراعية، لا يزال جزء كبير من الفواكه يتعرض للتلف أو الفقدان بعد الحصاد نتيجة محدودية تقنيات الحفظ والمعالجة ما بعد الإنتاج. وتتمثل المشكلة الأساسية في عدم الاستفادة المثلى من التجفيف بالطاقة الشمسية كخيار فعال ومستدام لمعالجة الفواكه، مقارنة بالأساليب التقليدية التي قد تسبب في تدهور الجودة أو تتطلب طاقة عالية التكلفة. وعلى الرغم من توفر الإشعاع الشمسي بشكل واسع في المملكة، إلا أن الاعتماد على التجفيف الشمسي ما زال محدوداً، ولا تزال هناك فجوة معرفية حول مدى تأثير هذه التقنية على جودة الفواكه من حيث الخصائص الحسية والغذائية والفيزيائية. وتُعد هذه الفجوة في المعرفة والتطبيق محور المشكلة الرئيسية للدراسة، حيث تبرز الحاجة لتقييم واقعي ومقنن لمدى فعالية التجفيف الشمسية في تحقيق جودة منتج منافس للسوق المحلي والعالمي (Mushtaq، 2025). تترتب على المشكلة الأساسية عدة تحديات ومشكلات فرعية تمس الجانب الاقتصادي والزراعي والغذائي، ومن أهمها:

1. كثير من الفواكه المنتجة في المناطق الزراعية بالمملكة تُهدر نتيجة عدم توفر تقنيات حفظ فعالة أو عدم استخدام طرق تجفيف ذات كفاءة عالية، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية مباشرة للمزارعين والمنتجين.
2. الطرق الحرارية والكهربائية المستخدمة حالياً قد تؤدي إلى تغيير في اللون وفقدان العناصر الغذائية الحساسة للحرارة، بالإضافة إلى تأثيرات سلبية على القوام والنكهة، مما ينعكس على تنافسية المنتج وقيمته في السوق.
3. الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية في عمليات التجفيف يزيد من الأعباء التشغيلية على المزارعين، وخاصة في المناطق الريفية ذات القدرة المحدودة على الاستثمار في المعدات الحديثة.
4. على الرغم من توفر الظروف المناخية الملائمة، لا تزال تقنيات التجفيف بالطاقة الشمسية غير منتشرة على نطاق واسع بسبب ضعف الوعي بفوائدها، وعدم وجود بيانات عملية كافية حول كفاءتها وجودة منتجاتها.
5. نقص الجودة أو عدم ثبات المواصفات النهائية للمنتجات المجففة يحدّ من إمكانية تسويقها بشكل احترافي أو تصديرها، ما يضعف العائد الاقتصادي المتوقع للمزارع أو المصنع المحلي.
6. وجود نقص واضح في البحوث التطبيقية التي تتناول تأثير التجفيف الشمسي على جودة الفواكه المنتجة داخل المملكة، يعيق اتخاذ قرارات مبنية على الأدلة العلمية في هذا المجال.

استناداً إلى المشكلة الرئيسية وما يترتب عليها من مشكلات فرعية (Editor، 2024)، يتمحور السؤال المركزي للدراسة حول الآتي: ما أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج النهائي في المناطق الزراعية بالمملكة، مقارنة بطرق التجفيف التقليدية الأخرى؟

أهمية الدراسة

- أولاً: الأهمية العلمية

تنبع الأهمية العلمية لهذه الدراسة من كونها تسدّ فجوة معرفية واضحة في مجال استخدام الطاقة الشمسية في عمليات التجفيف ضمن البيئة الزراعية المحلية في المملكة. فعلى الرغم من توافر كمّ كبير من الدراسات العالمية حول تقنيات التجفيف المختلفة، إلا أنّ الدراسات التطبيقية التي تربط بين الظروف المناخية الفعلية للمملكة وبين جودة الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية لا تزال محدودة نسبياً. ومن هنا تقدم هذه الدراسة قيمة علمية مضافة من خلال تحليل أثر التجفيف بالطاقة الشمسية على الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية للفواكه المحلية، مثل تغيّر اللون، والقيمة الغذائية، ومحتوى الرطوبة، والمواد الصلبة الذائبة، والثبات الميكروبي. ويُعد التركيز على الفواكه المنتجة داخل المملكة ذا أهمية خاصة، لأنها تختلف من حيث المحتوى المائي والتركيب الكيميائي عن الفواكه المستوردة أو المزروعة في بيئات مناخية أخرى.

كما تسهم الدراسة في تعزيز المعرفة العلمية المتعلقة بديناميكية التفاعل بين العوامل البيئية—مثل درجات الحرارة والرطوبة وسرعة الهواء—وبين عملية التجفيف في المجففات الشمسية، وهي عوامل تؤثر بشكل مباشر في جودة المنتج النهائي. وقد يؤدي هذا التحليل العلمي إلى تطوير نماذج قياس أو مؤشرات يمكن استخدامها لاحقاً في تحسين تصميم المجففات الشمسية أو ضبط معايير التشغيل للحصول على أفضل نتائج ممكنة. ومن منظور بحثي، تشكل الدراسة قاعدة يمكن البناء عليها مستقبلاً في بحوث متعددة، سواء في مجالات هندسة الغذاء، أو علوم البيئة، أو التقنيات الزراعية المستدامة. كما أنها توفر مرجعاً علمياً قوياً يمكن اعتماده من قبل الباحثين والمؤسسات الأكاديمية، خاصة في ظل التوجه العالمي المتزايد نحو الطاقة النظيفة وتطبيقاتها في الصناعات الغذائية (Ufitikirezi، 2024).

- ثانياً: الأهمية العملية

تتجلى الأهمية العملية لهذه الدراسة في قدرتها على تقديم حلول واقعية ومباشرة للمزارعين والمنتجين في مختلف مناطق المملكة، الذين يواجهون تحديات حقيقية تتعلق بارتفاع معدل الفاقد بعد الحصاد، وتذبذب جودة المنتجات المجففة، وارتفاع تكاليف تشغيل معدات التجفيف التقليدية. ومن خلال تقييم فعالية التجفيف بالطاقة الشمسية ومدى تأثيره على جودة المنتج، يمكن تقديم توصيات عملية تساعد المزارعين على تبني تقنيات منخفضة التكلفة وعالية الكفاءة تساهم في الحفاظ على الفواكه لفترات أطول مع ضمان جودة مقبولة تنافس المنتجات المستوردة.

كما تُعد الدراسة مهمة على المستوى الاقتصادي، إذ توفر إمكانية خفض التكاليف التشغيلية بشكل كبير من خلال تقليل الاعتماد على الكهرباء والوقود المستخدمة عادة في عمليات التجفيف التقليدية. وهذا التخفيض في التكلفة يمكن أن ينعكس مباشرة في رفع هامش الربح للمزارعين، خاصة في المناطق الزراعية التي تواجه تحديات في البنية التحتية، أو تلك التي لا تتوفر فيها مصادر طاقة مستقرة. إضافة إلى ذلك، فإن تحسين جودة الفواكه المجففة باستخدام الطاقة الشمسية قد يساهم في تعزيز فرص تسويقها داخلياً وخارجياً، وفتح أسواق جديدة تعتمد على منتجات محلية ذات جودة عالية ومواصفات صحية مدعومة بتقنيات مستدامة.

ومن الناحية البيئية، تقدم الدراسة قيمة مهمة تتمثل في تعزيز استخدام مصادر الطاقة المتجددة وتقليل البصمة الكربونية المرتبطة بالصناعات الغذائية. فاعتماد المجففات الشمسية يساعد على تحقيق التوازن بين التوسع الزراعي وبين متطلبات حماية البيئة، وهو ما ينسجم مع توجهات المملكة نحو تعزيز الاستدامة وفق رؤية 2030. كما أن نتائج الدراسة يمكن أن تكون نقطة انطلاق لتطوير مشاريع تنموية صغيرة في القرى والمناطق الزراعية، تعتمد على تصنيع منتجات مجففة محلياً باستخدام تقنيات بسيطة وقليلة التكلفة، مما يساهم في خلق فرص اقتصادية جديدة ويعزز التنمية الريفية المستدامة (Rizalman, 2023).

أهداف الدراسة

- الهدف الرئيسي للدراسة

تقييم أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج النهائي في المناطق الزراعية بالمملكة، مقارنة بطرق التجفيف التقليدية، من خلال تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية للفواكه المجففة.

- الأهداف الفرعية

1. تحليل تأثير التجفيف بالطاقة الشمسية على الخصائص الفيزيائية للفواكه، مثل اللون والملمس والانكماش ومعدل فقدان الرطوبة، وتحديد مدى اختلافها عن المنتجات المجففة بطرق تقليدية.
2. دراسة التغيرات الكيميائية التي تطرأ على الفواكه المجففة شمسياً، بما في ذلك مستويات السكريات، والأحماض، والمواد الصلبة الذائبة، والقيمة الغذائية، وتقييم مدى المحافظة على العناصر الأساسية خلال عملية التجفيف.
3. تقييم الخصائص الحسية للفواكه المجففة بالطاقة الشمسية، مثل الطعم والرائحة والمظهر العام، من خلال اختبارات تذوق ومعايير قبول المستهلك، وقياس مدى رضا المستهلكين عن الجودة النهائية.
4. تحليل كفاءة التجفيف بالطاقة الشمسية من حيث الزمن والتكلفة، ومقارنة ذلك مع طرق التجفيف التقليدية التي تعتمد على الطاقة الحرارية أو الكهربائية، للوقوف على مدى جدواها الاقتصادية في البيئة الزراعية المحلية.
5. رصد التحديات الفنية والمناخية التي قد تواجه المزارعين في تطبيق تقنيات التجفيف بالطاقة الشمسية، واقتراح حلول أو توصيات تساعد في تحسين كفاءة التشغيل ورفع جودة المنتج في المناطق الزراعية المختلفة بالمملكة.

تساؤلات الدراسة

- السؤال الرئيسي للدراسة

ما أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج النهائي في المناطق الزراعية بالمملكة، مقارنة بطرق التجفيف التقليدية؟

- الأسئلة الفرعية للدراسة

1. ما مدى تأثير التجفيف بالطاقة الشمسية على الخصائص الفيزيائية للفواكه مثل اللون، والصلابة، والانكماش، ومعدل فقدان الرطوبة أثناء وبعد عملية التجفيف؟

2. إلى أي مدى يؤثر التجفيف الشمسي على الخصائص الكيميائية للفواكه، بما يشمل مستويات السكريات، والفيتامينات، والأحماض، والقيمة الغذائية مقارنة بطرق التجفيف الأخرى؟
3. كيف ينعكس التجفيف بالطاقة الشمسية على الخصائص الحسية للفواكه المجففة مثل الطعم والرائحة والمظهر العام، وما مدى قبول المستهلك للمنتج الناتج؟
4. ما مدى كفاءة التجفيف بالطاقة الشمسية من حيث الزمن والتكلفة مقارنة بطرق التجفيف التقليدية، وما أثر ذلك على الجدوى الاقتصادية للمزارعين والمنتجين؟
5. ما التحديات الفنية والمناخية التي تحدّ من تطبيق التجفيف بالطاقة الشمسية في المناطق الزراعية بالمملكة، وما الحلول أو البدائل الممكنة لتعزيز نجاح استخدام هذه التقنية؟

فرضيات الدراسة

- الفرض الرئيسي للدراسة

يفترض أن لتجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية أثراً ملموساً ومباشراً على جودة المنتج النهائي في المناطق الزراعية بالمملكة، سواء من حيث الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية أو الحسية، وبصورة تختلف عن تأثير طرق التجفيف التقليدية.

- الفرضيات الفرعية للدراسة

1. يفترض أن التجفيف بالطاقة الشمسية يؤدي إلى اختلاف ملحوظ في الخصائص الفيزيائية للفواكه المجففة، مثل اللون والملمس ومعدل الفقد الرطوبي، مقارنة بالطرق التقليدية التي تعتمد على الحرارة المباشرة أو الكهرباء.
2. يفترض أن الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية تحتفظ بنسبة أعلى من العناصر الغذائية الأساسية مثل الفيتامينات والسكريات الطبيعية والأحماض، مقارنة بالفواكه المجففة باستخدام الطرق الحرارية التقليدية.
3. يفترض وجود فروق واضحة في الخصائص الحسية للفواكه المجففة شمسياً، مثل الطعم والرائحة والمظهر العام، تجعلها أكثر قبولاً للمستهلك مقارنة بالمنتجات التي جرى تجفيفها بالطرق التقليدية.

4. يفترض أن تقنيات التجفيف بالطاقة الشمسية أكثر كفاءة من حيث التكلفة والزمن في الظروف المناخية للمناطق الزراعية في المملكة، مقارنة بطرق التجفيف التقليدية التي تتطلب طاقة كهربائية أو حرارية عالية الكلفة.

5. يفترض أن تطبيق التجفيف بالطاقة الشمسية يواجه عدداً من التحديات الفنية والمناخية، مثل تذبذب درجات الحرارة وسرعة الهواء، إلا أن تأثير هذه التحديات يمكن الحد منه عبر تحسين تصميم المجففات الشمسية وآليات التشغيل.

النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث

- أولاً: الأساس العلمي لعملية تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية

يستند تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية إلى مجموعة من المبادئ الفيزيائية والكيميائية الحيوية التي تنظم انتقال الحرارة والرطوبة من المادة الغذائية إلى الوسط المحيط. يقوم هذا الأسلوب على استغلال الإشعاع الشمسي كمصدر للطاقة الحرارية، حيث تعمل أشعة الشمس على رفع درجة حرارة الهواء داخل المجفف، وبالتالي زيادة قدرته على حمل الرطوبة المتبخرة من الفواكه. تعتمد العملية على قانوني الانتقال الحراري (Heat Transfer) و انتقال الكتلة (Mass Transfer)، حيث تسهم فروق درجات الحرارة بين سطح الثمرة والهواء الجاف المتدفق في تسريع خروج الماء من الخلايا النباتية. وتزداد فعالية العملية بوجود حركة هوائية مستمرة تساعد على إزالة الرطوبة المشبعة ومنع إعادة امتصاصها. وتؤثر مجموعة من العوامل مثل شدة الإشعاع، درجة الحرارة الداخلية للمجفف، سرعة الهواء، سمك شرائح الفواكه، والمحتوى الأولي للرطوبة على كفاءة التجفيف النهائية (Nnamchi، 2025).

- ثانياً: العلاقة بين التجفيف وجودة المنتج الغذائي

يعتمد تأثير التجفيف على جودة الفواكه على مدى محافظتها على الخصائص الحسية (اللون، النكهة، القوام) والخصائص الكيميائية (القيم الغذائية، الفيتامينات، السكريات). وتوضح النظريات الغذائية أن ارتفاع درجات حرارة التجفيف المفرط قد يؤدي إلى تدهور مركبات حساسة مثل فيتامين C والبولىفينولات، بينما تؤدي درجات الحرارة المنخفضة جداً إلى بطء التجفيف وزيادة فرصة نمو الميكروبات. لذا يقوم الباحثون غالباً بتحليل العناصر الكيميائية قبل وبعد التجفيف لتحديد نسبة الخسارة الغذائية. وتستند الدراسات كذلك إلى نظريات الأكسدة والتحمل الحراري

للمركبات العضوية التي تفسّر تغيّر اللون نتيجة تفاعلات البنية الجزيئية. كما يعتمد تقييم الجودة على نظريات الخواص الريولوجية التي توضح تغيّر قوام المنتج بعد خروج الماء وتكوّن طبقة خارجية أكثر صلابة. ويعد التجفيف الشمسي من التقنيات التي تساعد على تحقيق توازن بين خفض الرطوبة والحفاظ على القيم الغذائية مقارنة بالتجفيف الصناعي عالي الحرارة (Petikirige، 2022).

- ثالثاً: الإطار النظري للطاقة الشمسية كمدخل تكنولوجي زراعي

ترتكز النظريات التي تبرز استخدام الطاقة الشمسية في تجفيف المنتجات الزراعية على مفاهيم الطاقة المتجددة و الاستدامة الزراعية. فوفقاً لمبادئ هندسة النظم الريفية، يعد استغلال الطاقة الشمسية وسيلة فعالة لخفض التكاليف التشغيلية وتقليل الانبعاثات الكربونية، ما يرفع من مردودية الإنتاج الزراعي ويعزز الأمن الغذائي. وتوضح النماذج النظرية في هذا المجال أن اعتماد الطاقة الشمسية مرتبط بتوفر الإشعاع الشمسي السنوي، زاوية سقوط الأشعة، طبيعة مناخ المنطقة، ومدة سطوع الشمس. وتبين الدراسات أن المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية—كما هو الحال في العديد من مناطق المملكة—تتميز بظروف مثالية لعمليات التجفيف الشمسي نتيجة توفر معدلات عالية من الإشعاع المباشر. كما يعتمد الإطار النظري على مفهوم الكفاءة الحرارية للمجففات الشمسية والتي ترتبط بمواد البناء المستخدمة، وتصميم المسار الهوائي، ومدى القدرة على تخزين الحرارة أثناء الليل (Panda، 2024).

- رابعاً: الأسس العلمية لإعداد الدراسات التطبيقية في المجال الزراعي

يستلزم إعداد بحث تطبيقي في هذا المجال اتباع منهجية علمية دقيقة، تبدأ بتحديد المشكلة البحثية، وصياغة الأسئلة والفرضيات، ثم اختيار تصميم تجريبي مناسب. وتعتمد هذه النوعية من الدراسات على المنهج شبه التجريبي أو التجارب الحقلية، حيث تُقارن مجموعة من الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية مع أخرى مجففة بطرق تقليدية أو صناعية. ويتضمن الإطار العلمي تحديد متغيرات مستقلة (مثل نوع المجفف، درجة الحرارة، عدد ساعات التجفيف، سمك الشرائح) ومتغيرات تابعة (مثل نسبة الرطوبة المتبقية، القيم الغذائية، اللون، المذاق، القوام). كما يتطلب العمل اتباع أسس العينات التمثيلية لضمان أن النتائج تعكس الواقع في المناطق الزراعية للمملكة. ويتم جمع البيانات باستخدام أدوات قياس معتمدة مثل أجهزة قياس الرطوبة، التحليل اللوني، الكروماتوغرافيا السائلة لتحديد الفيتامينات، والمقاييس الحسية لتقييم الجودة (Saissi، 2024).

- خامساً: الإطار الإحصائي لتحليل النتائج

تعتمد الدراسات التطبيقية الزراعية على مجموعة من الأساليب الإحصائية لتفسير البيانات، وذلك لتحديد دلالة الفروقات بين طرق التجفيف. قد يتم استخدام اختبارات مثل تحليل التباين ANOVA لمقارنة المعالجات المختلفة، أو تحليل الانحدار لدراسة تأثير العوامل الحرارية والزمنية على الجودة الغذائية. كما يستند التحليل الإحصائي إلى نظريات التوزيع الطبيعي للبيانات و مستوى الثقة و اختبار الفرضيات، بهدف الخروج بنتائج علمية موثوقة يمكن تعميمها على مختلف المناطق الزراعية بالمملكة. ويهدف هذا القسم إلى تقديم إطار نظري متكامل للطرق التحليلية التي تسمح بفهم العلاقة بين طريقة التجفيف الشمسية وجودة المنتج (Abraha، 2024).

- سادساً: الأساس العلمي لدراسات المقارنة الإقليمية

تستلزم الدراسة التطبيقية على مناطق المملكة فهم الفروقات المناخية والإشعاعية من منطقة إلى أخرى. فالإطار النظري في هذا السياق يعتمد على علم المناخ الزراعي (Agroclimatology) الذي يدرس أثر العوامل المناخية مثل الحرارة، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح، ومدة التعرض للشمس على كفاءة التجفيف وطبيعة المنتج النهائي. ويُفسّر هذا العلم كيف يمكن لارتفاع الرطوبة الساحلية أو التذبذب الحراري في المناطق الجبلية أن يؤثر على معدل تبخر الماء من الفواكه. كما تتطلب الدراسات الإقليمية تحليل مؤشرات الطاقة الشمسية مثل متوسط الإشعاع السنوي، عدد الأيام الصافية، والمواسم المناسبة للتجفيف (Mahiuddin، 2018).

- سابعاً: الارتباط بين النظرية والتطبيق في إطار البحث

يهدف البناء النظري لهذه الدراسة إلى وضع أساس علمي متين يساعد في تفسير النتائج العملية التي سيخرج بها الباحث. فعند ملاحظة تغير لون الفاكهة، يمكن تفسير ذلك بنظرية الأكسدة الحرارية؛ وعند اختلاف معدل التجفيف بين منطقتين، يمكن تفسير ذلك باختلاف كثافة الإشعاع الشمسي وسرعة الهواء وفق نظريات انتقال الحرارة. كما يتيح الإطار النظري ربط مستويات الجودة بالعوامل التي تم التحكم بها خلال التجربة، ما يساعد في تقديم توصيات قابلة للتطبيق في قطاع تجفيف الفواكه داخل المملكة (Queiroz، 2024).

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

يتناول الفصل الثاني من هذه الدراسة الأسس العلمية التي يقوم عليها بحث أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج في المناطق الزراعية بالمملكة، ويهدف هذا الفصل إلى بناء قاعدة معرفية راسخة تمكّن من فهم الظاهرة محل الدراسة بصورة شاملة ومتعمقة. ويعد هذا الفصل أحد أهم الفصول في البحث، إذ يُسهم في وضع الإطار المفاهيمي والمنهجي الذي سينطلق منه الباحث في تحليل النتائج وتفسيرها، كما يتيح الربط بين الجوانب النظرية والتطبيقات العملية المرتبطة بمجال التجفيف الشمسي وجودته وتأثيره على السلوك الغذائي للمنتجات الزراعية.

يتطرق هذا الفصل إلى توضيح المراكز العلمية التي ينتمي إليها البحث، وذلك من خلال تحديد المكونات الأساسية التي تؤثر في العملية المدروسة، وشرح طبيعة العناصر التي تحكم العلاقة بين طرق التجفيف الشمسية وجودة الفواكه الناتجة عنها. وسيتم تناول هذه الجوانب بطريقة منهجية تسمح بإبراز الدور الذي تلعبه العوامل المختلفة في تشكيل النتائج، مع إيضاح كيفية استناد هذه الدراسة إلى مفاهيم علمية راسخة تسهم في توجيه التحليل والتفسير لاحقاً. ويكتسب هذا الطرح أهمية خاصة لأنه يمكن من إحكام البناء العلمي للبحث ويضمن توافقه مع ما ورد في الأدبيات المتخصصة في علوم الأغذية وتقنيات الطاقة المتجددة.

كما يتضمن الفصل الثاني طرحاً موسعاً لمجموعة من الأعمال العلمية والبحثية التي شكّلت الأساس الذي بنيت عليه فكرة الدراسة، إذ يساعد عرض هذه الأعمال في فهم السياق البحثي العام الذي تنتمي إليه الدراسة، ويتيح مقارنة النتائج المتوقعة بما توصل إليه الآخرون في مجال تجفيف الفواكه بطرق مختلفة وخاصة باستخدام الطاقة الشمسية. ويسهم هذا الاستعراض في تحديد المساحات البحثية التي عالجتها الدراسات السابقة، كما يساعد في إبراز أوجه الاتفاق والاختلاف بينها وبين الدراسة الحالية، مما يعطي البحث عمقاً علمياً يعزّز من قيمته ويبرز مدى أهميته.

يقوم الفصل بتوضيح المنظومة المفاهيمية التي يستند إليها البحث، من خلال صياغة إطار علمي متكامل يسهم في تشكيل الفهم النظري للعلاقة بين التقنيات المستخدمة في التجفيف والجوانب المتصلة بجودة المنتج الغذائي. وتظهر أهمية هذا الجانب في قدرته على تفسير الظواهر المرتبطة بالتحويلات الفيزيائية والكيميائية التي تمر بها الفواكه أثناء تعرضها للطاقة الشمسية، وهو ما يمهد للباحث فهماً متكاملاً لما سيظهر لاحقاً في النتائج التطبيقية.

إن الفصل الثاني يعد حجر الأساس الذي تُبنى عليه بقية فصول الدراسة، إذ يوفر رؤية علمية واضحة ويهيئ القارئ لاستيعاب العلاقة بين الجانب النظري والجانب التطبيقي، ويبيّن المسوغات العلمية التي تبرر تبني إجراءات

الدراسة، ويضع الخطوط الأساسية التي ستستند إليها عملية التحليل والمناقشة في الفصول اللاحقة. ويمثل هذا الفصل خطوة حاسمة في الانتقال من عرض مشكلة الدراسة وأهدافها إلى تأسيس إطار علمي يمكن الاعتماد عليه في الوصول إلى نتائج دقيقة وموثوقة حول أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج في المناطق الزراعية بالمملكة.

المتغير التابع والمستقل

- أولاً: المتغير التابع – جودة الفواكه المجففة

يمثل جودة الفواكه المجففة المتغير التابع في هذه الدراسة، وهي النتيجة النهائية التي تتأثر مباشرة بمجموعة من العوامل المرتبطة بعملية التجفيف بالطاقة الشمسية. وتشمل جودة المنتج عدة مؤشرات حسية وكيميائية وفيزيائية، مثل اللون الطبيعي للثمرة بعد التجفيف، والحفاظ على النكهة المميزة، والقوام المناسب، إضافة إلى الحفاظ على القيم الغذائية من فيتامينات ومعادن ومركبات حيوية. كما تشمل الجودة درجة انخفاض الرطوبة إلى المستوى الذي يمنع نمو الميكروبات ويضمن فترة تخزين أطول دون تلف. ويُنظر إلى الجودة باعتبارها مؤشراً مركباً يجمع بين جاذبية المنتج للمستهلك من ناحية، وسلامته الغذائية واستقراره الكيميائي من ناحية أخرى. وتُعد جودة الفواكه المجففة أداة تقييم أساسية لمعرفة مدى نجاح عمليات التجفيف الشمسية، وبالتالي فهي المعيار الذي يقاس به تأثير العوامل الأخرى في هذا البحث (Omolola، 2015).

- ثانياً: المتغيرات المستقلة

1. طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية

تشير طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية إلى الأسلوب أو التقنية المستخدمة في تعريض الفواكه لأشعة الشمس بهدف إزالة الرطوبة. وقد تختلف هذه الطريقة من حيث نوع المجفف الشمسي المستخدم—سواء كان مكشوقاً أو مغلقاً أو مزوداً بأنظمة تهوية طبيعية أو قسرية—إضافة إلى اختلاف تصميم الأدوات المستخدمة في نشر الفاكهة وتحريك الهواء. وتؤثر هذه الطريقة على سرعة عملية التجفيف، ومستوى الحماية من الغبار أو الحشرات، وقدرة المجفف على الحفاظ على درجة حرارة منتظمة. وكلما كانت الطريقة مُحكمة ومضبوطة، ساعد ذلك في تجفيف الفواكه بصورة متجانسة دون تعريضها لحرارة زائدة قد تؤدي إلى تغير اللون أو فقدان بعض العناصر الغذائية. وتُعد طريقة التجفيف أحد العوامل الجوهرية التي تحدد فعالية العملية وجودة المنتج النهائي (Razak، 2021).

2. مدة التعرض لأشعة الشمس أثناء التجفيف

تشكل مدة التعرض للشمس أحد أهم العوامل التي تحدد مدى نجاح عملية التجفيف. فزيادة مدة التعرض تتيح خروج كمية أكبر من الماء، وتؤدي إلى خفض الرطوبة إلى الحد الذي يمنع التلف ويزيد من مدة الصلاحية. غير أن التعرض الزائد

قد يؤدي إلى تغييرات غير مرغوبة مثل تغير اللون أو تصلب القوام أو فقدان المركبات الغذائية الحساسة للحرارة. أما التعرض القصير فقد يؤدي إلى بقاء نسبة من الرطوبة تجعل الفاكهة عرضة للفساد السريع. لذا فإن تحديد المدة المناسبة لكل نوع من الفواكه يُعد عنصراً حاسماً للوصول إلى جودة مثلى في المنتج النهائي. وتختلف هذه المدة حسب نوع الفاكهة ودرجة الحرارة المحيطة وكفاءة المجفف الشمسي (Moreira, 2025).

3. نوع الفاكهة المزودة للتجفيف

يتأثر الأداء النهائي لعملية التجفيف ونوعية المنتج بشكل كبير بنوع الفاكهة نفسها، لما لكل نوع من خصائص تركيبية وبيولوجية تميزه. فالفواكه تختلف من حيث محتوى الماء والسكريات والألياف والمركبات النباتية النشطة، إضافة إلى اختلاف القشرة والأنسجة الداخلية. فمثلاً:

- التفاح يحتوي على نسبة عالية من الألياف والسكريات، ما يسمح بالحفاظ على القوام والطعم بعد التجفيف.
- المشمش يحتوي على صبغات كاروتينية حساسة، مما يجعل الحفاظ على لونه تحدياً يتأثر بدرجة الحرارة ومدة التعرض للشمس.
- الفراولة تتميز بتركيبية رقيقة وقابلة لفقد العناصر الغذائية الحساسة بدرجة أكبر، مما يجعلها أكثر تأثراً بطريقة التجفيف.

وبسبب هذه الاختلافات، فإن نوع الفاكهة يعد متغيراً مستقلاً أساسياً يحدد كيفية تفاعل الثمار مع عملية التجفيف ومستوى الجودة الذي يمكن تحقيقه (Boateng, 2022).

- ثالثاً: العلاقة بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع

تقوم العلاقة بين المتغيرات المستقلة والمتغير التابع على تأثير الطرق والظروف المختلفة لعملية التجفيف على جودة الفواكه المجففة. فكل متغير مستقل يسهم بطريقة مباشرة أو غير مباشرة في تحديد صفات الجودة النهائية:

- طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية تؤثر على جودة المنتج من خلال التحكم في درجة الحرارة، سرعة التجفيف، ومستوى الحماية من عوامل البيئة. فكلما كانت الطريقة أكثر كفاءة، حافظت الفواكه على لونها ونكهتها وقيمتها الغذائية بدرجة أعلى، مما ينعكس إيجاباً على الجودة.

- مدة التعرض لأشعة الشمس تؤثر على توازن الرطوبة داخل الفاكهة، مما ينعكس على القوام والمذاق والسلامة الميكروبية. وفي حالة ضبط هذه المدة بشكل مناسب، تتحقق أفضل جودة ممكنة، بينما تؤدي المدة غير المناسبة إلى تدهور في الخصائص الحسية أو الغذائية.

- نوع الفاكهة يحدد مدى استجابة الثمار لعملية التجفيف، فلكل نوع قدرة معينة على تحمل الحرارة وفقد الماء، وبالتالي تختلف الجودة النهائية من نوع لآخر حتى مع ثبات باقي العوامل.

إن جودة الفواكه المجففة (المتغير التابع) هي حصيلة تفاعل معقد بين الطريقة المستخدمة للتجفيف، ومدة التعرض، وخصائص الفاكهة نفسها. وكلما كانت هذه المتغيرات مضبوطة بعناية وبشكل متناسق، كلما ارتفعت جودة المنتج النهائي وازدادت قيمته التسويقية والغذائية (Kushwah، 2023).

الدراسات السابقة

يُعدّ تطبيق تقنية التجفيف الشمسي للفواكه والخضراوات والمحاصيل الأخرى من أكثر التطبيقات جاذبيةً وفعاليةً من حيث التكلفة وصديقةً للبيئة. وقد صُممت وطُوّرت أنواعٌ عديدة من المجففات الشمسية في أنحاء مختلفة من العالم، بدرجاتٍ متفاوتة من الأداء التقني. هناك أربعة أنواع من المجففات الشمسية: (1) المجففات الشمسية المباشرة، (2) المجففات الشمسية غير المباشرة، (3) المجففات ذات الأوضاع المختلطة، و(4) المجففات الشمسية الهجينة. كما يُقدّم هذا البحث نظرةً شاملةً على تصنيف مجففات الطاقة الشمسية. ويمكن تحديد مجموعتين من مجففات الطاقة الشمسية: مجففات الطاقة الشمسية السلبية أو ذات الدورة الطبيعية، ومجففات الطاقة الشمسية النشطة أو ذات الحمل الحراري القسري. يستعرض هذا البحث جميع هذه الأنواع من المجففات الشمسية، بما في ذلك جوانب التصميم المختلفة، وتفاصيل البناء، ومبادئ التشغيل. لذلك، يعتمد اختيار المجففات المناسبة لكل حالةٍ على ما هو متاح، وتعتمد أنواع المجففات المستخدمة حاليًا بشكلٍ كبير على الظروف المتاحة. كما يُناقش البحث بعض التطورات الحديثة في تقنية التجفيف الشمسي، وملاءمة كل نوع تصميمٍ لتطبيقه من قبل المزارعين في الدول النامية (Prasad، 2024).

يُعدّ التجفيف الشمسي من أكثر التقنيات كفاءةً وفعاليةً من حيث التكلفة، بالإضافة إلى كونه متجددًا ومستدامًا للحفاظ على المنتجات الزراعية في دول آسيا وأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى. يستعرض هذا البحث أنواع المجففات الشمسية المختلفة المستخدمة على نطاق واسع في أفريقيا وآسيا. كما يُسلط الضوء على الآثار البارزة لاستخدامها على جودة المنتج، بالإضافة إلى آثارها الاقتصادية والبيئية والاجتماعية. ونظرًا للدور المحوري للعوامل المالية والخارجية والهيكلية في اعتماد المجففات الشمسية وتوسيع نطاقها، يناقش هذا البحث أيضًا تأثير هذه العوامل على فعالية تقنيات التجفيف الشمسي في دول مختارة في آسيا وأفريقيا جنوب الصحراء الكبرى (Udomkun، 2020).

تُوفر نماذج تجفيف الطبقة الرقيقة إطارًا شاملاً لفهم عمليات التجفيف، وتقدير أوقات التجفيف، وتطوير منحنيات تجفيف عامة للمنتجات الزراعية. لا تُركز معظم المراجعات الحالية حول نماذج تجفيف الطبقة الرقيقة على آليات تجفيف مُحددة، بل تُناقش نماذج تجفيف الطبقة الرقيقة عبر طرق تجفيف مُختلفة. في المقابل، تُركز هذه المراجعة تحديدًا على تطبيق نماذج تجفيف الطبقة الرقيقة على المنتجات الزراعية المُجففة في أنظمة التجفيف الشمسي. تُقدم هذه المراجعة تحليلًا ببيومتراتٍ شاملاً للأبحاث المُتعلقة بنماذج تجفيف الطبقة الرقيقة المُستخدمة لمحاكاة سلوك تجفيف المنتجات الزراعية في أنظمة التجفيف الشمسي. تُشير النتائج إلى أن نشاط النشر في هذا المجال بدأ عام ١٩٧٦ وشهد نموًا ملحوظًا، وبلغ ذروته عام ٢٠٢١. تنصدر الهند قائمة المُساهمات، تليها الصين. تُؤكد المراجعة على الدور الحاسم لعوامل مثل درجة حرارة الهواء الداخل والمعالجات المُسبقة في تحسين عملية التجفيف. يعتمد اختيار نموذج التجفيف الأمثل على الخصائص الفريدة للمنتج الزراعي، وظروف التجفيف المُحددة، وقدرة النموذج على التنبؤ بدقة بإزالة الرطوبة في ظل عوامل بيئية مُتغيرة. من بين النماذج المُختلفة، نموذج Midilli وآخرون. أثبت النموذج فعاليته على مجموعة متنوعة من المنتجات الزراعية. كما سلّطت المراجعة الضوء على دور الشبكات العصبية الاصطناعية (ANNs) في تحسين التنبؤ بسلوك تجفيف المنتجات الزراعية باستخدام طرق التجفيف الشمسي. كما حددت التوجهات البحثية المستقبلية للشبكات العصبية الاصطناعية كأداة في هذا المجال (Kidane، 2025).

لا توجد حاليًا طريقة تجفيف فعّالة من حيث التكلفة للمشمس تحافظ على لونه وتمنع تحوله إلى اللون البني. باستخدام غرفة قياس نفسية لمحاكاة الظروف البيئية في ملاطية، تركيا، جُفّف المشمش، مع استخدام عينات مجففة بالتجميد كعينة ضابطة. حُللت العينات من حيث محتواها المائي والغذائي، بالإضافة إلى تقييمها الكيميائي والبنوي. اختُبر مجفف Agricycle® الشمسي السليبي لقدرته على تجفيف المشمش مع تقليل تحوله إلى اللون البني. بدت العينات

المجففة بالتجميد أكثر بياضاً (مُبَيَضَة)، بينما احتفظ المشمش المجفف شمسيًا سلبي بلونه الطبيعي. أظهرت النتائج أن التجفيف الشمسي السلبي نجح في خفض محتوى الماء إلى أقل من 20% (11.92%) والحد من تحوله إلى اللون البني، وذلك بناءً على الفحص البصري وقياس اللون. من الناحية الغذائية، احتوى المشمش المجفف بالطاقة الشمسية على كمية فينولية إجمالية مماثلة لتلك الموجودة في العينات المجففة بالتجميد (2.72 مقابل 4.06 GAE/جم من الكتلة الجافة)، ولكنه احتوى على نسبة أعلى من فيتامين C (1.86 مقابل 1.11 ملجم/جم من الكتلة الجافة) ونسبة أقل من المواد الصلبة الذائبة (45.36 مقابل 73.02 درجة بريكس). كشف التحليل المجهرى عن اختلافات ملحوظة بين طرق التجفيف. بشكل عام، يوفر مجفف Agricycle® الشمسي السلبي حلاً بسيطاً واقتصادياً لتجفيف الفاكهة (Dopirak، 2025).

الإطار النظري للدراسة

مع التطور المتسارع في العلوم الزراعية وتكنولوجيا الغذاء، أصبحت معالجات ما بعد الحصاد إحدى الركائز الأساسية لضمان جودة المحاصيل وتقليل الهدر الغذائي وتعزيز القيمة الاقتصادية للإنتاج الزراعي. وتبرز عملية التجفيف كواحدة من أهم أساليب الحفظ التي تُستخدم لتحويل الفواكه من منتجات سريعة التلف إلى منتجات طويلة الأجل يمكن تخزينها وتسويقها بسهولة. ومع تزايد الاتجاه العالمي نحو الطاقة المتجددة واستخدام الموارد الطبيعية المتاحة، برز التجفيف بالطاقة الشمسية كخيار تقني واعد يوفر بديلاً بيئياً واقتصادياً عن التجفيف التقليدي الذي يعتمد غالباً على مصادر الطاقة المكلفة والملوثة.

وفي المملكة، حيث تتسم المناطق الزراعية بارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي ووفرة المناخ الملائم، تبدو تقنيات التجفيف الشمسي خياراً استراتيجياً يتماشى مع توجهات الاستدامة ورؤية المملكة 2030. غير أن تقييم الأثر الفعلي لتطبيق هذه التقنية على جودة الفواكه ما يزال بحاجة إلى إطار نظري متين يربط بين مفاهيم التجفيف، وسلوك الرطوبة داخل الأغذية، وخصائص الطاقة الشمسية، وجودة المنتج النهائي. ومن هنا جاءت أهمية بناء منطلقات نظرية واضحة للدراسة، تعالج المفاهيم الأساسية المرتبطة بموضوع البحث، وتحدد الأسس العلمية التي ستعتمد عليها في التحليل والمناقشة (Urugo، 2024).

- مفهوم التجفيف وأهميته في حفظ الأغذية

يُعد التجفيف أحد أقدم وسائل حفظ الأغذية وأكثرها استخداماً، ويقوم على مبدأ خفض المحتوى الرطوبي داخل الفاكهة إلى مستويات تمنع النشاط الميكروبي والتفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى فساد الغذاء. ويأتي ذلك عبر تسريع معدل تبخر الرطوبة باستخدام الحرارة والطاقة. ومن الناحية العلمية، يعتمد التجفيف على عوامل رئيسية تشمل الحرارة، وحركة الهواء، والرطوبة النسبية، وطبيعة النسيج الحيوي للفاكهة. وتبرز أهمية التجفيف في قدرته على إطالة العمر التخزيني، وخفض الوزن والحجم، وتسهيل النقل والتسويق، وجعل الفواكه متاحة طوال العام. هذه المفاهيم الأساسية تُعد محوراً مهماً لفهم كيفية تأثير أي طريقة تجفيف—ومنها الشمسية—على جودة المنتج (Munarro, 2022).

- الطاقة الشمسية وتقنيات استثمارها في التجفيف

تُعد الطاقة الشمسية أحد أكثر مصادر الطاقة المتجددة وفرة في المملكة، حيث تتمتع المناطق الزراعية بمعدلات إشعاع شمسية عالية تتيح استخدامها بكفاءة في تطبيقات مختلفة، من بينها التجفيف الغذائي. ويعتمد التجفيف الشمسي على تحويل الإشعاع الشمسي إلى حرارة تُستخدم في رفع درجة حرارة الفواكه وتسريع التبخر. وتختلف تقنيات التجفيف الشمسي بين التجفيف المكشوف التقليدي والتجفيف داخل مجففات شمسية مصممة للتحكم في الحرارة وسرعة الهواء والرطوبة. ومن الناحية النظرية، توفر المجففات الشمسية بيئة أكثر استقراراً مقارنة بالتجفيف المكشوف، مما يساعد في الحفاظ على اللون، وتقليل النمو الميكروبي، وتحسين جودة المنتج النهائي (Arowosegbe, 2024).

- ديناميكية فقد الرطوبة وتأثيرها على جودة الفواكه

يُعد فقد الرطوبة حجر الأساس في عمليات التجفيف، ولكل نوع من الفواكه نمط خاص في سلوك انتقال الرطوبة يعتمد على تركيبها الكيميائي والبنية الخلوية للأنسجة. ويؤثر معدل فقد الرطوبة على جودة المنتج النهائية، فالفقد السريع قد يؤدي إلى انكماش شديد وتلف في الهيكل الخلوي، بينما يؤدي الفقد البطيء إلى زيادة فرصة نمو الميكروبات أو حدوث تفاعلات تؤثر على اللون والنكهة. وتساعد دراسة حركة الرطوبة داخل الفواكه على فهم النتائج المتوقعة من استخدام الطاقة الشمسية، والتي غالباً ما تتميز بمعدلات حرارة متوسطة تتيح تجفيفاً متوازناً يحافظ على جودة المنتج (García-Moreira, 2025).

- تأثير الحرارة والضوء على الخصائص الحسية والغذائية

الحرارة والضوء عنصران أساسيان في التجفيف بالطاقة الشمسية. وتختلف درجة تأثيرهما على الفواكه بحسب طبيعة النوع، ومدة التعرض، وشدة الإشعاع. من الناحية الحسية، تؤثر الحرارة على اللون من خلال تغيرات صبغية كالتحليل التأكسدي للمواد اللونية، كما تؤثر على القوام نتيجة فقد الماء وتغير بنية الألياف. أما من الناحية الغذائية، فقد يؤدي التعرض المفرط للحرارة والضوء إلى فقد الفيتامينات الحساسة، في حين أن التعرض المعتدل قد يساعد في الحفاظ على جزء كبير من القيمة الغذائية. وتشكل هذه العلاقات النظرية أساساً لفهم النتائج المتوقعة عند مقارنة التجفيف عن طريق الشمس بالطرق التقليدية (Devi، 2023).

- جودة الفواكه المجففة ومحدداتها العلمية

تُقاس جودة الفواكه المجففة بمجموعة من المؤشرات المستمدة من الخصائص الحسية والكيميائية والفيزيائية، مثل الطعم والرائحة واللون والقيمة الغذائية ومحتوى الرطوبة. وترتبط هذه المؤشرات بمجموعة عوامل تشمل نوع الفاكهة، طريقة التجفيف، مدة التجفيف، الظروف المناخية، وطريقة التخزين. وتساهم المنطلقات النظرية للجودة في بناء معايير موضوعية لتقييم أثر التجفيف الشمسية على المنتج، من خلال ربط النتائج التجريبية بالأسس العلمية المتعلقة بالخواص الحيوية وسلوك المواد الغذائية أثناء التجفيف (Habib، 2025).

الفصل الثالث

منهجية الدراسة

يشكل الفصل الثالث محورًا أساسيًا في هذه الدراسة، إذ ينتقل فيها الباحث من الجانب النظري الذي تم تقديمه في الفصول السابقة إلى الجانب التطبيقي العملي الذي يقوم عليه تحليل أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج في المناطق الزراعية بالمملكة. ويهدف هذا الفصل إلى إرساء الأسس المنهجية التي بُني عليها البحث، وتوضيح الأساليب العلمية التي تم اتباعها للوصول إلى نتائج دقيقة يمكن الاعتماد عليها. فاختيار المنهج المناسب، وتحديد الفئات المستهدفة، وطرق جمع البيانات، جميعها عناصر لا تقل أهمية عن النتائج ذاتها، لأنها تمثل الإطار القائم عليه صدق البحث ومصداقيته.

إن هذا الفصل يقدم رؤية واضحة وشاملة حول الطريقة التي تم اتباعها في تنفيذ الدراسة، من خلال عرض الجوانب المرتبطة بهيكل العمل الميداني، وتبرير الاختيارات البحثية المختلفة، مما يسمح للقارئ بفهم سبب اختيار الأسلوب العلمي الذي اعتمد عليه الباحث دون غيره. وتظهر أهمية هذا الطرح في أنه يتيح فرصة تقييم مدى ملاءمة المنهجية للموضوع المدروس، ومدى تناسقها مع الهدف العام للدراسة والمتغيرات المرتبطة بعملية تجفيف الفواكه وتحليل جودة المنتج. ومن خلال هذا البناء المنهجي، يضمن الباحث نقل الدراسة من طور المفهوم النظري إلى التطبيق العملي القابل للقياس والتحليل.

كما يتناول هذا الفصل الفئات أو المواقع أو الحالات التي تشكل الأساس الذي تُستقى منه البيانات الخاصة بالدراسة، فضلًا عن الاعتبارات العلمية التي تم اعتمادها لتحديد الجهات أو الأفراد أو الظواهر التي تمثل المجال الحقيقي الذي يدور حوله البحث. ويأتي هذا الجزء ليبرز مدى ارتباط الدراسة ببيئتها الطبيعية والزراعية، وهو ما يساعد على ضمان اتساق النتائج مع الواقع الفعلي لعمليات التجفيف الشمسي في المملكة. إن هذا التحديد المنظم يرسخ مصداقية البحث ويقلل من احتمالات التعميم الخاطئ أو التفسير غير الدقيق.

ويشتمل الفصل كذلك على عرض الأسس العلمية التي تم اتخاذها لتحديد الحجم المناسب للبيانات الميدانية، بما يضمن تمثيلًا كافيًا للظاهرة المدروسة، ويتيح استخلاص النتائج بصورة دقيقة. وتكمن أهمية هذا الجزء في كونه يمنع التحيز في البيانات، ويضمن أن العينة التي سيتم تحليلها تعكس الواقع بدرجة تُسهم في الوصول إلى استنتاجات موثوقة. ويتوافق ذلك مع شرح للآليات العملية التي تم اتباعها للحصول على البيانات، والتي تم اختيارها بعناية لضمان دقة الملاحظات وسلامة الإجراءات وتناسق المعلومات المرصودة، مما يسهم في دعم الفرضيات والإجابة عن الأسئلة البحثية.

ويشير الفصل كذلك إلى الجوانب التي قد تؤثر في سير الدراسة أو تحدّ من تعميم نتائجها، وذلك من خلال توضيح الظروف والعوامل التي يضعها الباحث في اعتباره أثناء تفسير النتائج. ويُعد تضمين هذه الجوانب أحد المعايير المنهجية المعترف بها في البحوث العلمية، إذ يوضح للقارئ حدود القوة التفسيرية للدراسة، والعوامل التي ينبغي مراعاتها عند تطبيق النتائج على بيانات أو مناطق أخرى. ومن شأن هذا الشرح المتكامل أن يعزز من شفافية البحث ويمنح القارئ رؤية واعية حول نطاقه وإطاره العام.

يقدم الفصل الثالث الأساس العلمي والتطبيقي الذي تركز عليه نتائج الدراسة، ويُعدّ الجسر الذي ينتقل عبره الباحث من الطرح النظري إلى التحليل العملي المبني على بيانات واقعية تم جمعها وفق منهجية دقيقة. ويُسهّم هذا الفصل في تعزيز مصداقية الدراسة وإبراز مدى التزامها بالمعايير العلمية المعتمدة في البحوث التطبيقية، مما يريّ القارئ لفهم النتائج التي سيتم عرضها في الفصول اللاحقة واستيعاب السياق الكامل لها.

مجتمع البحث

يمثل مجتمع البحث الإطار العام الذي تُستقى منه البيانات المتعلقة بالدراسة، وهو يشمل جميع الوحدات أو الأفراد أو المواقع التي ترتبط مباشرة بموضوع تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية داخل المناطق الزراعية في المملكة. ويتسم مجتمع البحث في هذه الدراسة بطبيعته التطبيقية الواسعة، إذ يضم مجموعة متنوعة من العناصر التي تشارك بصورة مباشرة أو غير مباشرة في عملية التجفيف أو تتأثر بنتائجها، الأمر الذي يعكس تعددية السياق الزراعي والبيئي والمناخي داخل المملكة.

يشتمل مجتمع البحث على المزارع والمواقع الزراعية التي تُمارَس فيها عمليات تجفيف الفواكه باستخدام الطاقة الشمسية سواء عبر طرق تقليدية تعتمد على التجفيف المكشوف تحت أشعة الشمس، أو باستخدام مجففات شمسية مطوّرة ذات تقنيات هندسية مختلفة. ويشمل ذلك المزارع الصغيرة والمتوسطة والكبيرة المنتشرة في المناطق الزراعية التي تتسم بتوفر محاصيل الفاكهة المناسبة للتجفيف مثل التفاح والمشمش والفراولة وغيرها من المحاصيل الموسمية. ويتميز هذا المجتمع بكونه متنوعاً من حيث الأساليب المستخدمة، مما يمنح الدراسة إمكانية رصد الفروقات بين الممارسات الزراعية التقليدية والحديثة في مجال التجفيف.

كما يتضمن مجتمع البحث العاملين والمشغلين القائمين على عمليات التجفيف، سواء كانوا مزارعين مباشرين أو فنيين يعملون في المنشآت الزراعية أو المصانع الريفية التي تعتمد على مصادر الطاقة الشمسية. ويُعد هؤلاء الأفراد مصدراً مهماً للمعلومات المرتبطة بالإجراءات العملية للتجفيف، والتحديات التي تواجههم، ومدى تأثير الطرق المختلفة على جودة المنتج. ويسمح الاعتماد على هذا النوع من البيانات بفهم واقعي شامل لمدى كفاءة الطرق الشمسية المتبعة، وأساليب تحسينها بما يتوافق مع الظروف البيئية المحلية.

ويمتد مجتمع البحث كذلك ليشمل وحدات الإنتاج الزراعي التي تعتمد على الفاكهة المجففة كمنتج تجاري، حيث توفر هذه الوحدات بيانات مهمة تتعلق بمتطلبات السوق، ومعايير الجودة، وتجربة المنتج النهائي. وتساعد هذه المعلومات في تقييم مدى ملاءمة الطرق الشمسية المستخدمة لتلبية احتياجات المستهلكين والمعايير التسويقية، مما يعزز من العلاقة بين الجانب العملي للإنتاج والجوانب العلمية المتعلقة بالجودة.

ويمتاز مجتمع البحث بتوزعه الجغرافي عبر مناطق زراعية مختلفة في المملكة، الأمر الذي يضيف على الدراسة ثراءً في التنوع المناخي والبيئي. فاختلاف المناطق الزراعية من حيث درجات الحرارة، الرطوبة، شدة الإشعاع الشمسي، ومدة

التعرض لأشعة الشمس يساهم في إبراز الفروقات في كفاءة التجفيف، وبالتالي جودة الفواكه المجففة. ومن شأن هذا التنوع ضمان أن النتائج لا ترتبط بمنطقة معينة فقط، بل تعكس طبيعة التجفيف الشمسي في المملكة بشكل عام.

إن مجتمع البحث يُعد حجر الأساس الذي تعتمد عليه هذه الدراسة في بناء نتائجها، إذ يوفر البيانات الواقعية اللازمة لتحليل أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج. وبفضل اتساع هذا المجتمع وتنوعه، تتمكن الدراسة من تحليل الظاهرة المدروسة بشكل شامل يأخذ بعين الاعتبار خصائص البيئة الزراعية والاقتصادية والفنية، مما يمنح النتائج مصداقية عالية ويجعلها قابلة للتعميم على مختلف السياقات الزراعية في المملكة.

المنهجية وطرق البحث

تعتمد الدراسة على المنهجية الكمية باعتبارها الأنسب لتحليل أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج بشكل موضوعي وقابل للقياس. يقوم هذا المنهج على جمع بيانات رقمية حول الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية للفواكه قبل وبعد التجفيف، ثم تحليلها إحصائياً للوصول إلى نتائج دقيقة. وتتيح المنهجية الكمية إمكانية اختبار الفرضيات العلمية المتعلقة بفروق الجودة بين الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية والفواكه المجففة بالطرق التقليدية، كما توفر بيانات يمكن تعميمها على نطاق أوسع داخل المناطق الزراعية بالمملكة. ويكمن أهميتها في قدرتها على تقديم أدلة علمية واضحة تساعد على اتخاذ قرارات عملية للحد من الفاقد الغذائي وتحسين جودة المنتجات الزراعية.

- تصميم الدراسة وأسلوب البحث

تعتمد الدراسة على تصميم شبه تجريبي (Quasi-Experimental Design)، ويقوم على مقارنة مجموعتين من الفواكه: مجموعة تُجفف بالطاقة الشمسية داخل مجففات شمسية محكمة، ومجموعة تُجفف بالطرق التقليدية مثل التجفيف الحراري أو الكهربائي. ويتيح هذا التصميم إمكانية دراسة تأثير طريقة التجفيف على الخصائص المختلفة للفواكه مع التحكم في الظروف المحيطة قدر الإمكان. ويتم قياس مؤشرات الجودة قبل التجفيف وبعده، بما يشمل الوزن، محتوى الرطوبة، اللون، القوام، والمحتوى الغذائي، إلى جانب تقييم الخصائص الحسية. ويُعتبر هذا الأسلوب مثالياً لدراسة أثر تقنيات التجفيف في بيئة مشابهة للظروف الفعلية في المناطق الزراعية، مع توفير بيانات دقيقة وقابلة للتحليل المقارن.

- عينة الدراسة

تتكون عينة الدراسة من مجموعة مختارة من الفواكه المنتجة في مناطق زراعية مختلفة بالمملكة، مثل التمر، العنب، التين، المانجو، والرمان. وتم اختيار العينة بطريقة عمدية (Purposeful Sampling) لضمان تمثيل الأنواع الأكثر إنتاجاً والأكثر صلة بموضوع التجفيف الشمسي. وتوزع العينة بالتساوي على مجموعتي الدراسة، حيث تشمل مجموعة التجفيف الشمسي ومجموعة التجفيف التقليدي، مع مراعاة تماثل حجم الفواكه ودرجة نضجها وجودتها الأولية. يهدف اختيار العينة بهذه الطريقة إلى تقليل تأثير العوامل الخارجية وضمان أن أي فروق ملحوظة في النتائج تعود إلى طريقة التجفيف نفسها.

- إجراءات جمع البيانات

تتم عملية جمع البيانات على مراحل منظمة لضمان الدقة والموثوقية:

1. القياسات القبلية؛ يتم قياس الخصائص الأساسية للفواكه قبل التجفيف، مثل الوزن، نسبة الرطوبة، اللون، القوام، والمحتوى الغذائي.
2. تطبيق طرق التجفيف؛ تُجفف الفواكه باستخدام الطاقة الشمسية داخل مجففات مصممة خصيصاً، مع تسجيل درجات الحرارة والرطوبة ومدة التعرض. وفي الوقت نفسه، تُجفف مجموعة مقابلة بالطرق التقليدية مع ضبط الظروف الحرارية للمقارنة.
3. القياسات البعدية؛ بعد اكتمال عملية التجفيف، تُعاد قياسات الخصائص السابقة لتحديد التغيرات التي طرأت على الفواكه نتيجة كل طريقة. كما يتم إجراء اختبارات تذوق (Sensory Evaluation) بواسطة لجنة مدربة لتقييم الطعم، الرائحة، المظهر العام، ومدى قبول المستهلك.
4. توثيق البيانات؛ تُسجل جميع القياسات في جداول منظمة لسهولة التحليل الإحصائي لاحقاً.

- طرق تحليل البيانات

تعتمد الدراسة على عدة أساليب إحصائية لتحليل البيانات وضمان صحة النتائج:

- الإحصاء الوصفي؛ يشمل المتوسطات الحسابية، الانحراف المعياري، والتكرارات، لتوصيف خصائص العينة وإظهار التغيرات العامة.
- اختبارات الفروق؛ مثل اختبار T-test لمقارنة متوسطات الخصائص بين الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية والفواكه المجففة بالطرق التقليدية، وتحليل التباين ANOVA عند دراسة أكثر من نوع فاكهة.

- تحليل الارتباط؛ لدراسة العلاقة بين مدة التجفيف، درجة الحرارة، ونسبة فقدان الرطوبة والجودة النهائية للمنتج.
- اختبارات الدلالة الإحصائية؛ لتحديد ما إذا كانت الفروق الملحوظة بين المجموعتين ذات دلالة إحصائية أو عشوائية.
- استخدام البرامج الإحصائية؛ مثل SPSS أو STATA لإدخال البيانات وتحليلها بدقة، مما يعزز موثوقية النتائج واستنتاجاتها العلمية.

أدوات الدراسة

تلعب أدوات الدراسة دوراً محورياً في جمع البيانات اللازمة لتقييم أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج في المناطق الزراعية بالمملكة. وتعتمد الدراسة على مجموعة من الأدوات العلمية والعملية التي تغطي جميع جوانب الجودة، بما في ذلك الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية. ويكمن الهدف من استخدام هذه الأدوات في ضمان جمع بيانات دقيقة وقابلة للتحليل الإحصائي، بحيث يمكن تقييم تأثير التجفيف الشمسي مقارنة بالطرق التقليدية. كما تساعد هذه الأدوات على اختبار الفرضيات المتعلقة بالفروق بين المجموعتين بشكل موضوعي، وتوفير أساساً علمياً قوياً للنتائج والاستنتاجات.

- الأدوات الفيزيائية

تعتبر الأدوات الفيزيائية من العناصر الأساسية لتقييم الخصائص المادية للفواكه قبل وبعد التجفيف. فقد تم استخدام ميزان رقمي دقيق لقياس وزن الفواكه بدقة عالية، مما يتيح تقدير نسبة فقدان الرطوبة خلال عملية التجفيف. كما استخدمت أجهزة قياس الرطوبة لتحديد محتوى الماء في الفواكه، وهو مؤشر رئيسي لتقييم كفاءة التجفيف ومدة حفظ المنتج. ولتقييم تغير اللون الناتج عن التجفيف، تم الاستعانة بأجهزة قياس اللون (Colorimeter)، والتي تمكن من قياس ثبات اللون ومطابقة المعايير المقبولة. بالإضافة إلى ذلك، ساعدت أدوات قياس القوام على دراسة التغيرات في النسيج والملمس، حيث يؤثر التجفيف على صلابة الفاكهة أو هشاشتها، ما يعكس جودة المنتج النهائي.

- الأدوات الكيميائية

تركز الأدوات الكيميائية على دراسة التغيرات في الخصائص الغذائية للفاكهة نتيجة التجفيف. فقد تم استخدام أجهزة قياس المواد الصلبة الذائبة والسكريات الطبيعية لتقدير محتوى السكريات في الفواكه بعد التجفيف، وهو ما يؤثر بشكل مباشر على الطعم وقبول المستهلك. كما استخدمت أجهزة قياس الحموضة لتقييم التغيرات في درجة الحموضة، التي تمثل عاملاً مهماً في استقرار الطعم والمذاق العام للفاكهة المجففة. بالإضافة إلى ذلك، استخدمت أجهزة التحليل الغذائي لتحديد مستويات الفيتامينات والمعادن ومضادات الأكسدة، وهو ما يتيح تقييم مدى حفاظ التجفيف الشمسي على القيمة الغذائية مقارنة بالطرق التقليدية.

- أدوات التقييم الحسي

تُعد أدوات التقييم الحسي جزءاً لا غنى عنه من أدوات الدراسة، حيث تعكس انطباع المستهلك النهائي عن المنتج. وقد تم إجراء اختبارات تذوق منظمة بواسطة لجنة مدربة لتقييم الطعم والرائحة والمظهر العام وقوام الفاكهة بعد التجفيف. كما تم استخدام استبيانات تقييمية لتوثيق آراء المشاركين حول مدى رضاهم عن المنتج، مما يوفر بيانات كمية يمكن تحليلها إحصائياً. ويتيح الجمع بين التقييم الحسي والقياسات الفيزيائية والكيميائية تقديم تقييم شامل لجودة الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية.

- أدوات الدعم والإجراءات التجريبية

بالإضافة إلى الأدوات المباشرة للقياس، شملت الدراسة أدوات دعم وتجهيزات تجريبية لضمان دقة التجارب وموثوقية البيانات. فقد تم استخدام مجففات شمسية مصممة خصيصاً مزودة بمراقبة درجات الحرارة والرطوبة لضبط ظروف التجفيف، كما تم الاستعانة بأجهزة تسجيل الحرارة والرطوبة (Data Logger) لتوثيق المتغيرات المناخية بشكل مستمر طوال فترة التجفيف. وقد ساعدت هذه الأدوات في ضمان التحكم في الظروف التجريبية بحيث يمكن عزو أي تغير في جودة الفواكه إلى طريقة التجفيف نفسها، سواء بالطاقة الشمسية أو التجفيف التقليدي، ما يعزز مصداقية النتائج والاستنتاجات العلمية.

خطوات جمع البيانات

تشكل خطوات جمع البيانات جزءًا محوريًا في هذه الدراسة المعتمدة على المنهجية الكمية، إذ تعتمد نتائج البحث ومصداقيته على دقة الإجراءات المتبعة في الحصول على بيانات قابلة للقياس والتحليل الإحصائي. وفي سياق دراسة أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج في المناطق الزراعية في المملكة، تتطلب عملية جمع البيانات سلسلة من الخطوات المنهجية المرتبة التي تضمن الحصول على معلومات موضوعية وشاملة تعكس الواقع الفعلي لعمليات التجفيف. وتتميز هذه الخطوات بأنها تسعى إلى تحويل الظاهرة المدروسة إلى مؤشرات كمية قابلة للمقارنة، والتحليل، والاستخلاص.

- تحديد مصادر البيانات وأدوات القياس

تبدأ خطوات جمع البيانات بتحديد المصادر الرئيسية التي سيتم الاعتماد عليها للحصول على المعلومات الكمية. ويشمل ذلك اختيار الأدوات القياسية المناسبة لقياس المتغيرات المرتبطة بجودة الفواكه المجففة، بالإضافة إلى المتغيرات المتعلقة بظروف التجفيف بالطاقة الشمسية. وتتضمن عملية التحديد اختيار أدوات مثل الاستبانات الموجهة للعاملين في عمليات التجفيف، واستمارات تسجيل القياسات المخبرية، والأجهزة المستخدمة لتحديد خصائص المنتج مثل نسبة الرطوبة، اللون، القوام، والنكهة. ويأتي هذا الاختيار وفق أسس علمية تضمن أن الأدوات المختارة قابلة للتحقق من صدقها وثباتها، وقادرة على قياس الظاهرة بدقة.

- تصميم أداة جمع البيانات بما يتوافق مع طبيعة المتغيرات

بمجرد تحديد الأدوات، يجري تصميم أداة جمع البيانات وفقًا لمتطلبات المنهج الكمي، بحيث تشمل مجموعة من البنود المغلقة القابلة للترميز الرقمي، مما يسهل إدخال البيانات وتحليلها إحصائيًا. ويتطلب هذا التصميم صياغة أسئلة واضحة ومباشرة تتعلق بمدى كفاءة طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية، ومدة التعرض لأشعة الشمس، ونوع الفاكهة المستخدمة، والمواصفات النهائية للجودة. ويتم التأكد من أن الأسئلة تغطي جميع الأبعاد المرتبطة بموضوع الدراسة دون تحيز، وأنها تتيح قياس المتغيرات بدقة تسمح بإجراء التحليل الإحصائي اللاحق.

- اختبار أداة جمع البيانات (الدراسة الاستطلاعية)

قبل البدء في جمع البيانات الأساسية، تتم تجربة أداة القياس على عينة تجريبية صغيرة من مجتمع البحث بهدف التأكد من وضوح الأسئلة ودقة الاستجابات وقدرة الأداة على قياس المتغيرات كما هو مطلوب. ويسهم هذا الإجراء في الكشف عن أي مشكلات محتملة مثل الغموض أو التكرار أو صعوبة الإجابة، كما يساعد في تقييم ثبات الأداة عبر إعادة تطبيقها على نفس العينة. وتعد هذه الخطوة مهمة لضمان أن البيانات الأساسية التي سيتم جمعها لاحقًا هي بيانات موثوقة ومستقرة، الأمر الذي يعزز من قوة التحليل الإحصائي.

- التنفيذ الفعلي لعملية جمع البيانات في المواقع الزراعية

تمثل هذه المرحلة التطبيق الفعلي لأداة جمع البيانات، حيث يقوم الباحث بزيارة المزارع والمواقع الزراعية التي تعتمد على التجفيف بالطاقة الشمسية. وتشمل العملية تسجيل القياسات المادية والكيميائية المتعلقة بجودة الفواكه المجففة، بالإضافة إلى توزيع الاستبانات أو استمارات المعلومات على العاملين في مجالات التجفيف وإنتاج الفواكه المجففة. كما تتضمن جمع بيانات حول ظروف التجفيف مثل معدلات السطوع الشمسي في موقع التجفيف، زمن التعرض، وطريقة إدارة عملية التجفيف. ويتم الالتزام في هذه المرحلة بدقة الإجراءات واتباع المعايير البحثية التي تمنع تأثير الباحث أو الظروف الخارجية على البيانات.

- تنظيم وترميز البيانات لضمان جاهزيتها للتحليل الإحصائي

بعد جمع البيانات من مصادرها المختلفة، يبدأ الباحث بمرحلة تنظيمها وترميزها بشكل رقمي يتناسب مع البرنامج الإحصائي الذي سيستخدم لاحقًا. وتتضمن هذه العملية إدخال البيانات في جداول إلكترونية، ومراجعتها بدقة للتحقق من اكتمالها وخلوها من الأخطاء، وإجراء عمليات الترميز المناسبة للأسئلة المغلقة في الاستبانات. كما يتم استبعاد البيانات غير المكتملة أو التي تفتقر إلى الصدق، وتجهيز قاعدة بيانات شاملة تغطي جميع المتغيرات المراد دراستها. وتعد هذه المرحلة أساسًا مهمًا لنجاح التحليل الإحصائي الذي سيُنفذ لاحقًا في الفصل الرابع.

- التحقق من جودة البيانات ومطابقتها لشروط المنهج الكمي

في هذه الخطوة، يجري الباحث فحصًا دقيقًا للبيانات المتحصل عليها لضمان مطابقتها لمتطلبات المنهجية الكمية. ويتضمن ذلك التحقق من الاتساق الداخلي للبيانات، ومراجعة القيم الشاذة، وضمان أن جميع المتغيرات تم قياسها

وفق المعايير المحددة مسبقاً. كما يجري التأكد من صلاحية البيانات لإجراء الاختبارات الإحصائية المرتبة للدراسة، مثل تحليل الانحدار أو تحليل التباين. وتساعد هذه الخطوة في التأكد من متانة النتائج التي سيتم الوصول إليها لاحقاً.

حدود البحث

- الحدود البشرية للدراسة

تقتصر هذه الدراسة على المشاركين والمستفيدين المباشرين من نتائج البحث، وهم المزارعون والفنيون العاملون في مجالات الإنتاج الزراعي وتجفيف الفواكه في المملكة. كما تشمل الدراسة اللجان المختصة بالتقييم الحسي للفاكهة المجففة، والتي تتكون من خبراء ومتطوعين مدربين على معايير قياس الخصائص الحسية للمنتجات الغذائية. ويركز البحث على هؤلاء الأفراد باعتبارهم الأكثر دراية بالعمليات الزراعية وأساليب التجفيف المختلفة، مما يضمن أن تكون النتائج ذات صلة بالواقع العملي ويمكن تطبيقها في تحسين أساليب الإنتاج وجودة المنتجات. ويُستثنى من الدراسة عامة المستهلكين الذين لا يمتلكون خبرة في التقييم الفني للمنتجات أو المشاركين خارج نطاق المناطق الزراعية المحددة، للحفاظ على تركيز الدراسة وموثوقية البيانات.

- الحدود الزمانية للدراسة

تحدد هذه الدراسة فترة زمنية محددة لإجراء التجارب وجمع البيانات، والتي تتوافق مع مواسم إنتاج الفواكه المستهدفة. ويستند اختيار الفترة الزمنية إلى الاعتبارات المتعلقة بنضج الفواكه وتوافرها في المزارع، حيث يتم إجراء التجفيف في الوقت المناسب لضمان أن تكون الفواكه ذات جودة أولية عالية وملائمة للاختبارات الفيزيائية والكيميائية والحسية. كما تشمل الحدود الزمانية مدة التجفيف نفسها، والتي تم تحديدها وفقاً للمعايير العلمية لضمان أن جميع العينات تخضع لنفس ظروف الحرارة والرطوبة، سواء في التجفيف الشمسي أو الطرق التقليدية، ما يتيح مقارنة دقيقة بين النتائج. كما تأخذ الدراسة في الاعتبار التغيرات المناخية اليومية التي قد تؤثر على فعالية التجفيف بالطاقة الشمسية خلال فترة البحث.

- الحدود المكانية للدراسة

تركز الدراسة على المناطق الزراعية بالمملكة التي تشتهر بإنتاج الفواكه المستهدفة، مثل التمر، العنب، التين، المانجو والرمان، مع مراعاة تنوع المناطق الزراعية من حيث المناخ والتربة ومعدلات الإشعاع الشمسي. وتُجرى التجارب في مزارع

محددة تم اختيارها بعناية لضمان تمثيلها للواقع الزراعي المحلي، وللتأكد من أن نتائج الدراسة يمكن تعميمها على بيانات مشابهة داخل المملكة. ويُستثنى من الدراسة المناطق غير المنتجة لهذه الفواكه أو التي لا تتوافر فيها ظروف التجفيف الشمسي بشكل مناسب، حيث قد تؤثر هذه العوامل على مصداقية المقارنة بين طرق التجفيف المختلفة.

الفصل الرابع

نتائج الدراسة

يمثل الفصل الرابع من هذه الدراسة المرحلة النهائية والحاسمة التي تتبلور فيها مخرجات البحث، حيث ينتقل الباحث من استعراض الجوانب النظرية وعرض المنهجية وتوثيق الإجراءات الميدانية إلى تقديم ما أسفرت عنه الدراسة من معطيات واقعية تم جمعها وتحليلها بدقة. ويُعد هذا الفصل حجر الزاوية الذي تعتمد عليه قيمة الدراسة العلمية، إذ يهدف إلى عرض ما تم التوصل إليه من بيانات متعلقة بتأثير تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج في المناطق الزراعية بالمملكة، ثم تنظيمها ومعالجتها واستخلاص الدلالات العملية منها. وتبرز أهمية هذا الفصل في كونه يقدم الصورة النهائية للبحث، ويُظهر مدى نجاحه في الإجابة عن الأسئلة البحثية التي طرحت في بدايته.

يقدّم الفصل الرابع عرضاً شاملاً للبيانات التي تم الحصول عليها خلال العمل الميداني، ويركز على توضيح كيفية التعامل معها بصورة منهجية تكفل دقتها وموضوعيتها، بحيث يستطيع القارئ تتبع سير التحليل وفهم الأسس التي بنيت عليها النتائج. وتظهر أهمية هذا الجزء في قدرته على ربط البيانات الخام بالهدف الرئيس للدراسة، من خلال تحويل الأرقام والملاحظات إلى مؤشرات علمية يمكن اعتمادها في الحكم على أثر التجفيف الشمسي. كما يشكّل هذا العرض نقطة تحول في البحث، حيث تبدأ الحقائق العلمية في الظهور بوضوح، وفق منهج يستند إلى الأساليب الإحصائية والتحليلية المناسبة لطبيعة الدراسة.

كما يتضمن هذا الفصل تفسيراً معمقاً لما تكشف عنه البيانات، بحيث لا يقتصر على عرض النتائج فحسب، وإنما يضعها في سياقها العلمي الذي يجعل فهمها أكثر دقة ووضوحاً. ويهدف هذا التفسير إلى توضيح العلاقة بين مخرجات الدراسة وما تم طرحه في فصولها النظرية والمنهجية، مما يعزز من تماسك البحث الداخلي ويُظهر مدى اتساق نتائجه مع الإطار العلمي الذي تأسس عليه. ويلعب هذا الجزء دوراً جوهرياً في الكشف عن معنى الأرقام والدلالات، وبيان أثر العوامل التي تمت دراستها على جودة الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية، مما يثري القيمة العلمية للدراسة ويجعل نتائجها قابلة للتطبيق والاستفادة منها.

وفي هذا الفصل كذلك تُطرح النظرة الشاملة التي تربط بين الهدف الذي انطلقت منه الدراسة والنتائج التي تحققت في النهاية، وهو ما يسمح بتكوين رؤية متكاملة توضح ما إذا كانت الدراسة قد تمكنت من تحقيق غاياتها، وما إذا كانت نتائجها تقدم إضافة معرفية في مجال التجفيف الشمسي وجودة المنتجات الزراعية. ويُعد هذا الجانب خطوة مهمة

نحو تقييم مدى قوة الدراسة واستجابتها للمشكلة البحثية، ومدى إسهامها في سد فجوة معرفية أو تقديم حلول عملية للواقع الزراعي في المملكة.

كما يتناول الفصل ما يقدمه البحث من خلاصة عامة تستند إلى نتائج الفعلية، وما يمكن أن ينتج عنها من رؤى مستقبلية قد تفيد الباحثين والممارسين المهتمين بتطوير طرق التجفيف أو تحسين جودة المنتجات الزراعية. وتظهر أهمية هذا الجزء في قدرته على تحويل نتائج الدراسة من مجرد معلومات إلى خطوات عملية يمكن البناء عليها في الأبحاث المستقبلية أو التطبيقات الميدانية. ويسهم هذا الطرح في تعزيز القيمة التطبيقية للدراسة، وجعل نتائجها منطلقاً لمبادرات أو توصيات يمكن أن تفيد الجهات المعنية بقطاع الزراعة وتقنيات التجفيف.

يأتي الفصل الرابع ليُجسّد خلاصة الجهد البحثي كاملاً، بدءاً من جمع البيانات مروراً بتحليلها وفهمها وصولاً إلى تقديم الرؤية النهائية التي تمثل إضافة معرفية وعملية في موضوع الدراسة. ويبرز هذا الفصل كمرحلة تجميع وتفسير وتلخيص، يقدم من خلالها الباحث إجابات علمية دقيقة حول أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج، ويضع بين يدي القارئ نتائج واضحة يمكن الاستفادة منها في تطوير الممارسات الزراعية وتحسين استخدام الطاقة المتجددة في معالجة المنتجات الغذائية.

تحليل البيانات

- الوصف الإحصائي للبيانات

في ضوء القراءة لمخرجات الإحصاء الوصفي للبيانات التي شملت 224 مشاهدة، تتجلى بوضوح النزعة الإيجابية العامة نحو فعالية تقنية التجفيف الشمسي في المناطق الزراعية بالمملكة، حيث عكست المتوسطات الحسابية لغالبية متغيرات الدراسة قيماً تتجاوز المنتصف النظري، متمركزة في النطاق (3.33 إلى 3.63)، وهو ما يُفسر إحصائياً بمستوى "موافقة" مرتفع نسبياً؛ إذ تصدر متغير "ملاءمة رطوبة الفواكه المجففة" قائمة الأفضلية بمتوسط حسابي قدره 3.63، يليه مباشرة محور "التوصية باستخدام هذه التقنية" بمتوسط 3.62، مما يعكس قناعة المشاركين بجودة المخرجات النهائية، وتتعزز هذه النتيجة بالنظر إلى الخصائص الحسية للمنتج، حيث سجلت متغيرات الطعم، والمظهر، والملمس، واحتفاظ الفاكهة بلونها الطبيعي متوسطات متقاربة تدور حول (3.50 إلى 3.54)، مما يدحض المخاوف المتعلقة بتدهور الجودة الحسية مقارنة بالطرق التقليدية، ورغم هذا الاتساق الإيجابي، أظهرت البيانات تبايناً ملحوظاً في استجابات المشاركين عكسته قيم الانحراف المعياري التي تراوحت ما بين (1.20 إلى 1.56)، مما يشير إلى وجود فروق فردية في تقييم التجربة قد تعزى لاختلاف الظروف البيئية أو أنواع المحاصيل، كما لوحظ أن "مدة التعرض للشمس" سجلت أدنى متوسط (3.33)، مما يجعل عامل الوقت التحدي النسبي الأبرز رغم بقاءه في النطاق المقبول، ومن الناحية التوزيعية، فإن هيمنة الإشارة السالبة على قيم الالتواء (Skewness) لجميع المتغيرات تقريباً (تراوحت بين -0.262 و -0.548) تقدم دليلاً إحصائياً قوياً على أن ذيل التوزيع يتجه نحو القيم الدنيا، بينما تتكدس غالبية الإجابات نحو القيم العليا (الموافقة والرضا)، وهو ما يؤكد صحة الفرضيات القائلة بجدوى التجفيف الشمسي وقدرته على الحفاظ على القيمة الغذائية وجودة التخزين (متوسط 3.52) في البيئة المحلية للمملكة.

Statistics									
Std. Error of Kurtosis	Kurtosis	Std. Error of Skewness	Skewness	Std. Deviation	Median	Std. Error of Mean	Mean	N	
								Missing	Valid
.324	-1.241	.163	.044	1.391	3.00	.093	2.96	0	224
.324	-2.010	.163	.090	.501	1.00	.033	1.48	0	224
.324	-.605	.163	-.452	1.201	4.00	.080	3.52	0	224

.324	-1.011	.163	-.406	1.326	4.00	.089	3.50	0	224	تحتفظ الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية بلونها الطبيعي
.324	-.931	.163	-.430	1.291	4.00	.086	3.52	0	224	يكون ملمس الفواكه المجففة مقبولاً
.324	-1.198	.163	-.399	1.427	4.00	.095	3.48	0	224	لا يتأثر حجم الفواكه المجففة بشكل كبير بعد التجفيف
.324	-1.205	.163	-.488	1.476	4.00	.099	3.53	0	224	يبدو مظهر الفواكه المجففة مغريباً
.324	-.919	.163	-.350	1.271	3.50	.085	3.49	0	224	نقل احتمالية تلف الفواكه المجففة مقارنة بالطرق الأخرى
.324	-.987	.163	-.491	1.349	4.00	.090	3.54	0	224	يكون طعم الفواكه المجففة جيداً
.324	-1.171	.163	-.475	1.473	4.00	.098	3.49	0	224	تحتفظ الفواكه المجففة بمذاقها الطبيعي
.324	-1.293	.163	-.388	1.491	4.00	.100	3.46	0	224	لا تؤثر عملية التجفيف على القيمة الغذائية للفواكه
.324	-.912	.163	-.471	1.278	4.00	.085	3.63	0	224	تكون رطوبة الفواكه المجففة مناسبة
.324	-1.044	.163	-.459	1.375	4.00	.092	3.52	0	224	تكون الفواكه المجففة صالحة للتخزين لفترة طويلة دون فقدان الجودة
.324	-1.297	.163	-.350	1.464	4.00	.098	3.40	0	224	تعتبر طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية فعالة مقارنة بالطرق التقليدية
.324	-1.267	.163	-.329	1.466	4.00	.098	3.33	0	224	تكون مدة التعرض للشمس مناسبة لتحقيق جودة جيدة
.324	-1.025	.163	-.450	1.379	4.00	.092	3.48	0	224	تكون كمية الشمس المستخدمة كافية لتجفيف الفواكه بشكل متجانس
.324	-.932	.163	-.399	1.292	4.00	.086	3.49	0	224	يؤثر نوع الفاكهة على جودة المنتج بعد التجفيف
.324	-1.440	.163	-.262	1.533	3.00	.102	3.34	0	224	يكون الرضا العام عن الفواكه المجففة مرتفعاً

تكون إمكانية الاستمرار في استخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية جيدة	224	0	3.40	.105	4.00	1.565	- .376	.163	-1.411	.324
يكون التوصية باستخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية عالية	224	0	3.62	.087	4.00	1.307	- .548	.163	- .855	.324

جدول 1 : التحليلات الإحصائية

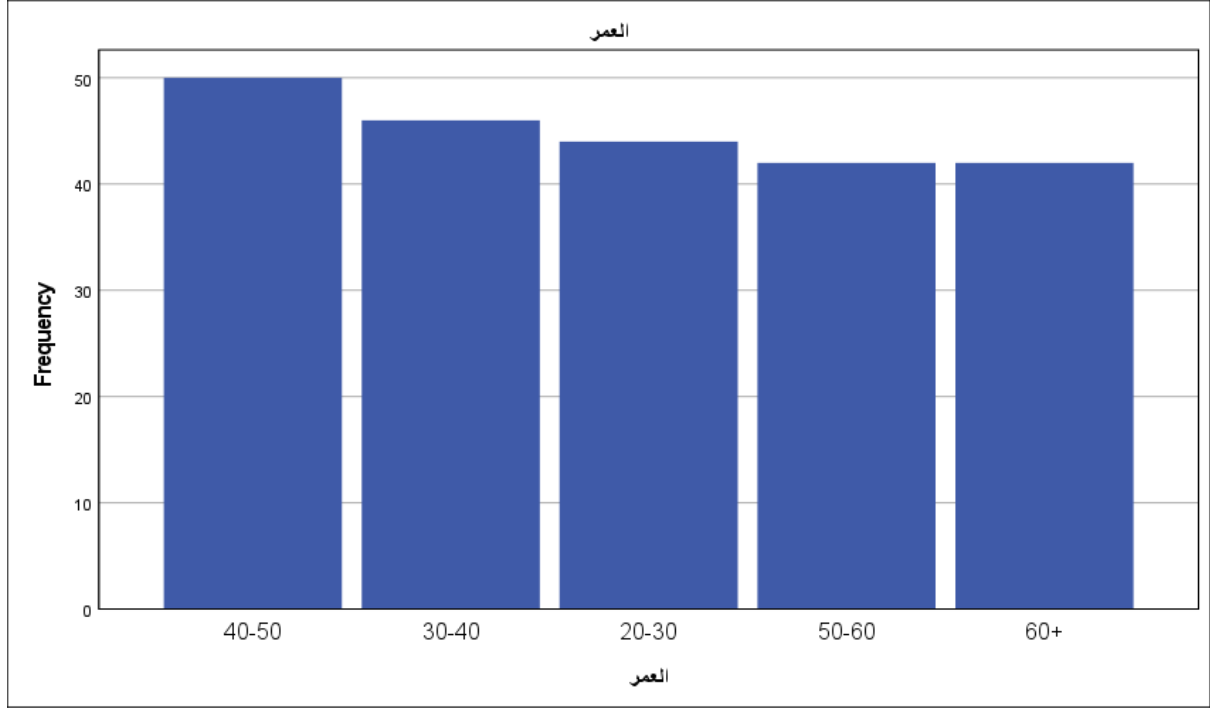
- عمر المشاركين في التجربة

تشير البيانات الديموغرافية المتعلقة بالتوزيع العمري لعينة الدراسة البالغ قوامها 224 مشاركاً إلى وجود توازن هيكلي لافت وتجانس إحصائي فريد بين مختلف الشرائح العمرية، حيث تقاربت الأوزان النسبية للفئات الخمس بشكل يمنع هيمنة فئة على أخرى، إذ تصدرت الفئة العمرية (40-50 عاماً) التوزيع بفارق ضئيل جداً مسجلة 50 تكراراً بنسبة 22.3%، تلاحقها مباشرة الفئات العمرية المتوسطة والشابة (30-40 عاماً) و(20-30 عاماً) بنسب بلغت 20.5% و19.6% على التوالي، في حين استقر ذيل التوزيع عند تساوي الفئات العمرية المتقدمة (50-60 عاماً) و(60 عاماً فأكثر) بنسبة متطابقة قدرها 18.8% لكل منهما، وهذا الانتظام الرقمي يحمل دلالة علمية جوهرية تؤكد شمولية المسح الميداني وعدم تحيزه لجيل محدد، مما يبرهن على أن ممارسات واهتمامات التجفيف الشمسي في المناطق الزراعية بالمملكة ليست حكراً على الخبرات المتراكمة لدى كبار المزارعين ولا هي نزوة تقنية لدى الشباب، بل هي ممارسة تمتد جذورها عبر كافة الأجيال العاملة في القطاع، الأمر الذي يضفي مصداقية عالية على النتائج المستنبطة ويعزز من قدرة الدراسة على تعميم مخرجاتها المتعلقة بجودة المنتج المجفف شمسياً على المجتمع الزراعي بأسره نظراً لعدالة التمثيل العمري في العينة المختارة.

العمر					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	40-50	50	22.3	22.3	22.3
	30-40	46	20.5	20.5	42.9
	20-30	44	19.6	19.6	62.5
	50-60	42	18.8	18.8	81.3

	60+	42	18.8	18.8	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 2 : التحليل الإحصائي لعمر المشاركين في التجربة



شكل توضيحي 1 : التمثيل البياني لعمر المشاركين في التجربة

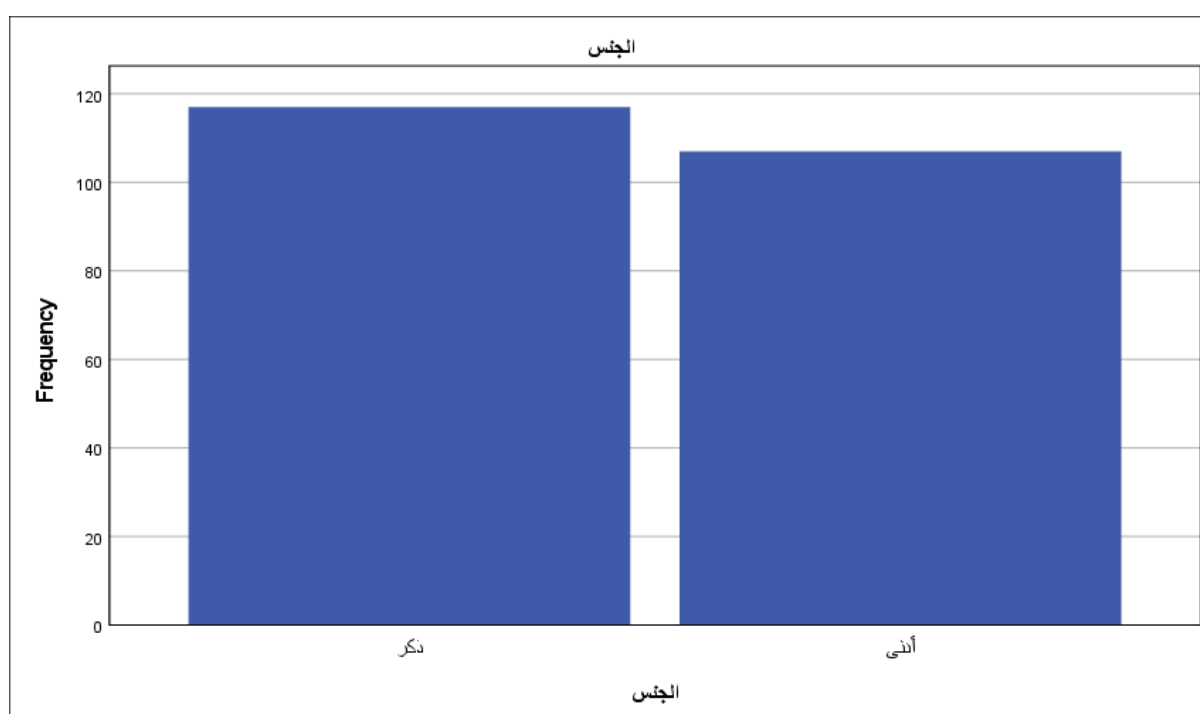
- جنس المشاركين في التجربة

تكشف البنية الديموغرافية لعينة الدراسة الموزعة وفقاً لمتغير الجنس عن حالة من التوازن الإحصائي الدقيق الذي يقترب من المناصفة التامة، حيث شكلت فئة الذكور النسبة الغالبة هامشياً بواقع 52.2% (ما يعادل 117 فرداً)، في حين سجل العنصر النسائي حضوراً قوياً ومكافئاً تقريباً بنسبة بلغت 47.8% (بواقع 107 مشاركات)، وهذه المقاربة الرقمية بين الفئتين ليست مجرد مؤشر كمي عابر، بل تحمل دلالات اقتصادية عميقة ترتبط بطبيعة الهيكل التشغيلي في القطاع الزراعي بالمملكة؛ إذ يبرهن هذا التقارب اللافت على انخراط كلا الجنسين بفاعلية وتكامل في سلاسل القيمة الزراعية وعمليات التحويل الغذائي، مما ينفي فرضية هيمنة جنس دون آخر على تطبيقات التجفيف الشمسي، وهذا التوزيع المتكافئ يمنح مؤشرات الجودة المستخرجة حصانة علمية ضد التحيزات الجندرية، ويؤكد أن مخرجات الدراسة المتعلقة بتقييم الخصائص الحسية والإنتاجية للفواكه المجففة تعكس رؤية شمولية تمثل واقع الأسرة الريفية المنتجة بصدق،

مما يعزز من إمكانية تعميم النتائج واعتمادها كمرجعية لتطوير مشاريع الأمن الغذائي المستدام.

الجنس					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	ذكر	117	52.2	52.2	52.2
	أنثى	107	47.8	47.8	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 3: التحليل الإحصائي لجنس المشاركين في التجربة



شكل توضيحي 2: التمثيل البياني لجنس المشاركين في التجربة

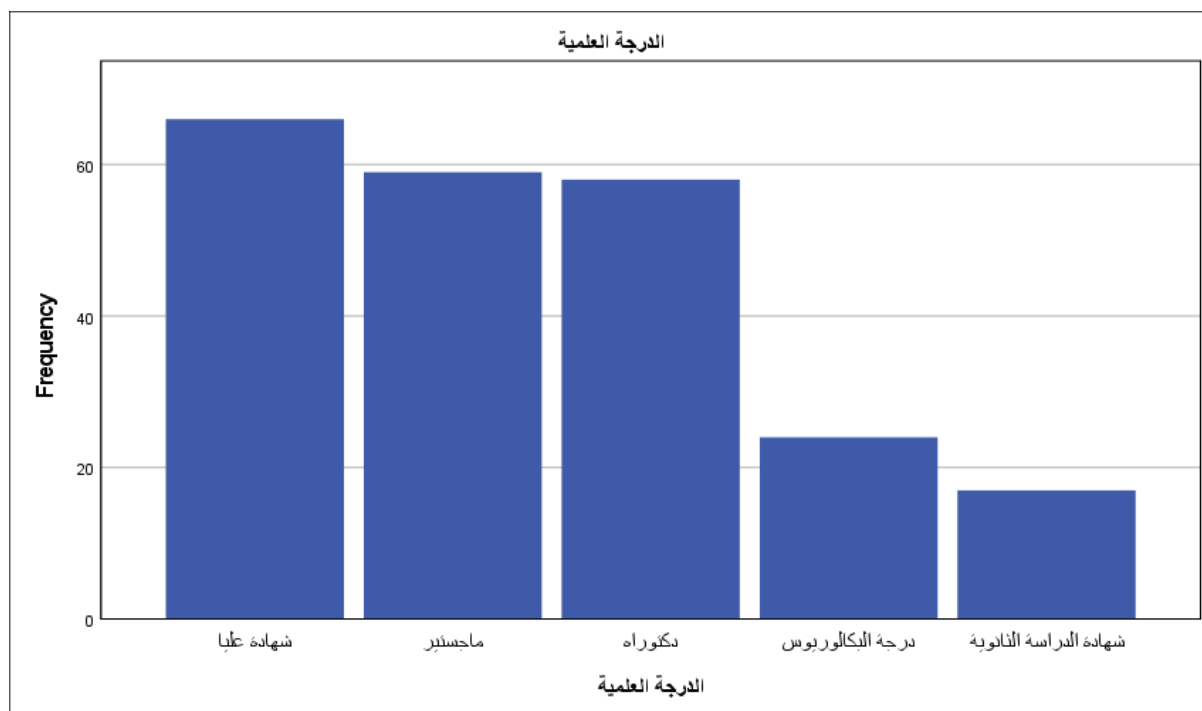
- الدرجة العلمية لدى المشاركين في التجربة

يشرح لنا التحليل البنيوي للمستويات الأكاديمية للمشاركين عن ظاهرة إحصائية لافتة تتسم بـ "الانخبوية المعرفية"، حيث انزاح ثقل التوزيع التكراري بشكل حاد وتراكمي نحو المؤهلات العلمية المتقدمة، إذ تصدر حملة "الشهادات العليا" المشهد بنسبة 29.5%، تلاهم مباشرة وينسق تنازلي متدرج حملة الماجستير بنسبة 26.3% ثم الدكتوراه بنسبة 25.9%، وهو ما يشير بلغة الأرقام إلى أن السواد الأعظم من العينة (بمجموع تراكمي يتجاوز 81%) ينتهي إلى شريحة الكفاءات

المتخصصة والباحثين، في حين انحسر التواجد الإحصائي للمؤهلات الأولية، حيث لم تتجاوز نسبة حملة البكالوريوس 10.7% وتذيلت الفئة من حملة الثانوية القائمة بنسبة هامشية قدرها 7.6%، وهذه التركيبة العينية ذات الكثافة العلمية العالية تمنح مخرجات الدراسة وزناً نوعياً إضافياً؛ فهي تؤكد أن الاستجابات المتعلقة بتقنيات التجفيف الشمسي ومعايير الجودة لم تصدر عن ملاحظات سطحية، بل هي نتاج تقييم واعٍ من نخبة تمتلك الأدوات المعرفية اللازمة للحكم على المتغيرات التقنية والغذائية بدقة، مما يرفع من سقف الموثوقية العلمية للنتائج المتوصل إليها ويجعلها أقرب لنتائج اللجان الخبيرة منها إلى المسوحات العامة.

الدرجة العلمية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	شهادة عليا	66	29.5	29.5	29.5
	ماجستير	59	26.3	26.3	55.8
	دكتوراه	58	25.9	25.9	81.7
	درجة البكالوريوس	24	10.7	10.7	92.4
	شهادة الدراسة الثانوية	17	7.6	7.6	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 4 : التحليل الإحصائي للدرجة العلمية دي المشاركين في التجربة



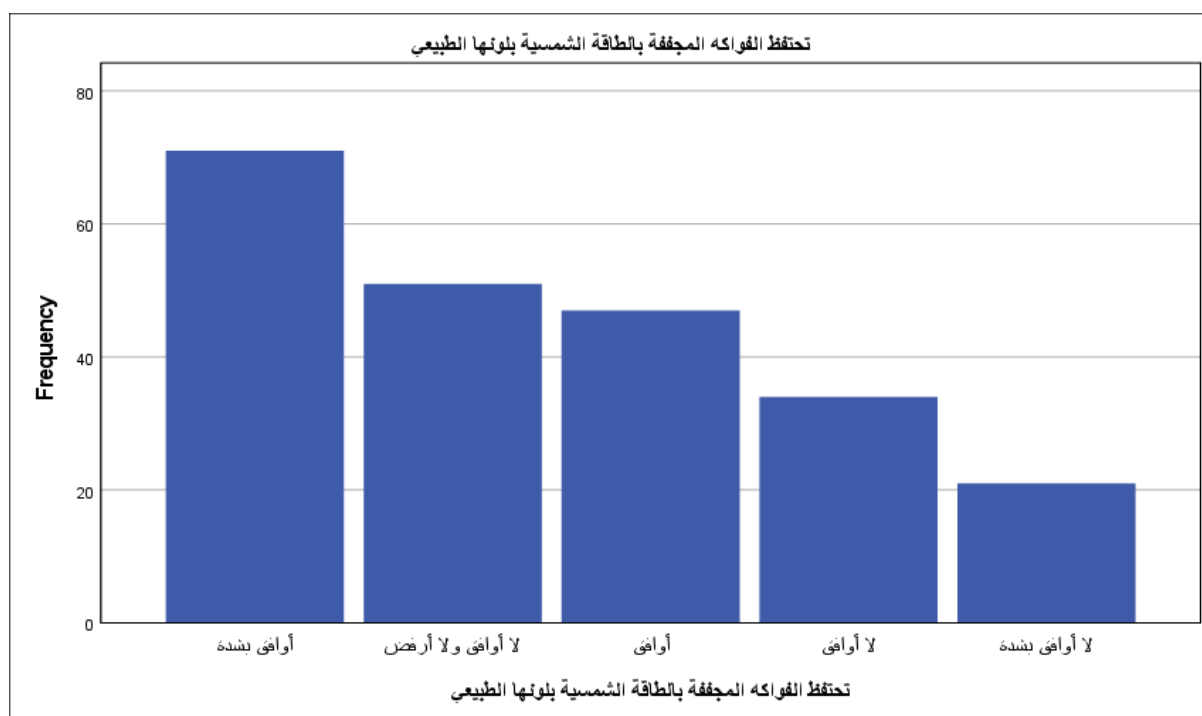
شكل توضيحي 3: التمثيل البياني للدرجة العلمية لدى المشاركين في التجربة

- تحتفظ الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية بلونها الطبيعي

تفصح الخريطة الإحصائية لاستجابات العينة البالغ قوامها 224 مشاركا حول محور "الاستقرار اللوني للمنتج" عن قناعة راسخة لدى الأغلبية بجدوى المعالجة الشمسية في الحفاظ على الصبغات الطبيعية للفواكه، إذ استحوذ خيار "أوافق بشدة" على الصدارة النسبية بواقع 31.7% (71 استجابة)، ومع إضافة شريحة المؤيدين بمستوى "أوافق" التي مثلت 21.0%، نجد أن التكتل الإيجابي يتجاوز عتبة الـ 52.7%، وهو ما يمثل دعماً قوياً لفرضية الدراسة القائلة بأن التقنيات الشمسية الحديثة تحد من التفاعلات الإنزيمية المسببة للتلون البني غير المرغوب مقارنة بالتجفيف التقليدي المكشوف، وفي المقابل، لا يمكن تجاهل المنطقة الرمادية التي جسدها خيار الحياد "لا أوافق ولا أرفض" بنسبة وازنة بلغت 22.8% (51 استجابة)، والتي قد تُعزى علمياً إلى تباين حساسية أصناف الفواكه المختلفة للضوء أو تفاوت دقة التطبيق التقني، بينما انحسرت وجهات النظر المشككة في ذيل التوزيع، حيث لم تتجاوز نسبة الرفض القاطع 9.4% والرفض الجزئي 15.2%، مما يرجح كفة الجودة البصرية للمنتج النهائي كأحد أهم الميزات التنافسية المستدامة للتجفيف الشمسي في البيئة الزراعية للمملكة.

تحتفظ الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية بلونها الطبيعي					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	71	31.7	31.7	31.7
	لا أوافق ولا أرفض	51	22.8	22.8	54.5
	أوافق	47	21.0	21.0	75.4
	لا أوافق	34	15.2	15.2	90.6
	لا أوافق بشدة	21	9.4	9.4	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 5: التحليل الإحصائي لاحتفاظ الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية بلونها الطبيعي



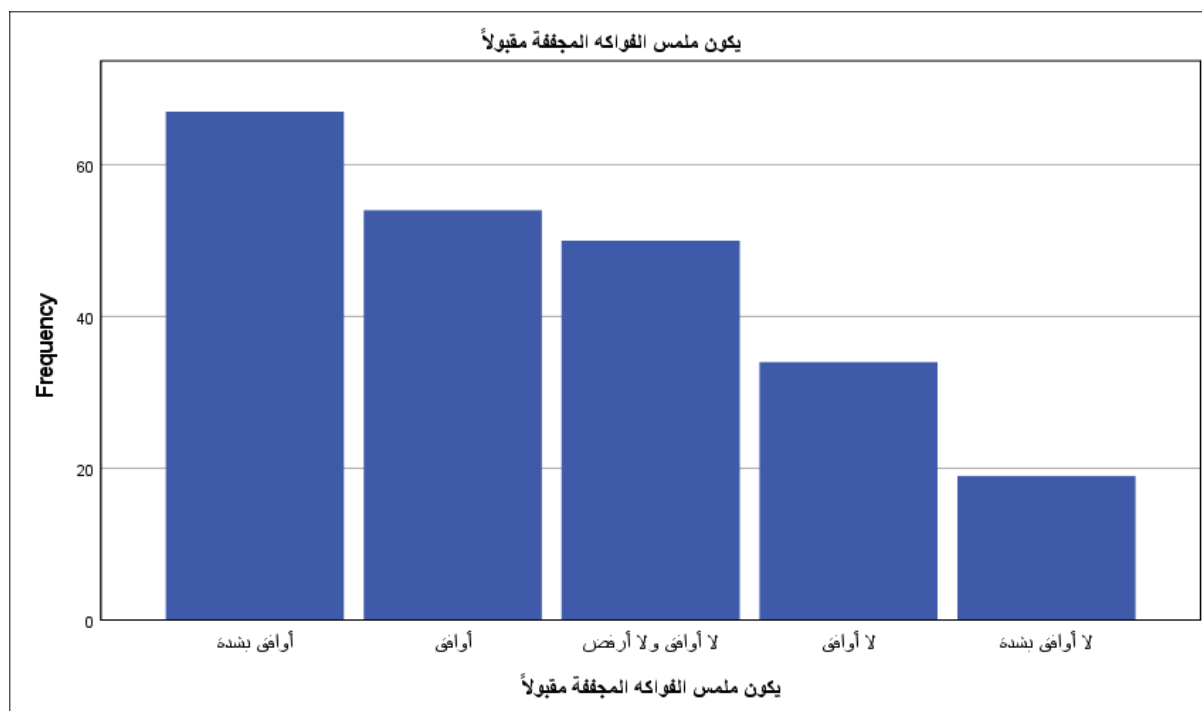
شكل توضيحي 4: التمثيل البياني لاحتفاظ الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية بلونها الطبيعي

- يكون ملمس الفواكه المجففة مقبولاً

يكشف التوزيع الكمي لمؤشرات التقييم الحسي الخاص بمتغير "مقبولية ملمس الفواكه المجففة" عن انزياح إيجابي واضح في اتجاهات العينة نحو استحسان الخصائص الفيزيائية للمنتج النهائي، حيث شكلت الكتلة الإيجابية المهيمنة ما يربو على نصف حجم العينة التراكمي بنسبة 54.0%، موزعة بين تأييد مطلق بنسبة 29.9% (بواقع 67 فرداً) وتأييد نسبي بنسبة 24.1% (بواقع 54 فرداً)، وهو ما يمثل دليلاً على كفاءة المعالجة الحرارية الشمسية في ضبط معدلات نزع الرطوبة وتجانسها، مما يحول دون حدوث ظاهرة "التصلب السطحي" (Case Hardening) أو الجفاف المفرط الذي يفقد الثمرة مرونتها الطبيعية وقابليتها للمضغ، وفي حين حافظت فئة وازنة قوامها 50 مشاركاً (بنسبة 22.3%) على موقف الحياد الذي قد يُعزى تبريره علمياً لاختلاف استجابة الأنسجة النباتية لعملية التجفيف باختلاف صنف الفاكهة، فإن انحسار نسب الرفض بشقيه (لا أوافق، ولا أوافق بشدة) عند حدود 23.7% مجتمعة يعزز من الموثوقية التقنية لهذه الطريقة كبديل منافس قادر على الحفاظ على الخصائص الريولوجية (التشكل والملمس) للمنتج بمستويات ترضي الذائقة الاستهلاكية المحلية.

يكون ملمس الفواكه المجففة مقبولاً					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	67	29.9	29.9	29.9
	أوافق	54	24.1	24.1	54.0
	لا أوافق ولا أرفض	50	22.3	22.3	76.3
	لا أوافق	34	15.2	15.2	91.5
	لا أوافق بشدة	19	8.5	8.5	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 6: التحليل الإحصائي لكون ملمس الفواكه المجففة مقبولاً



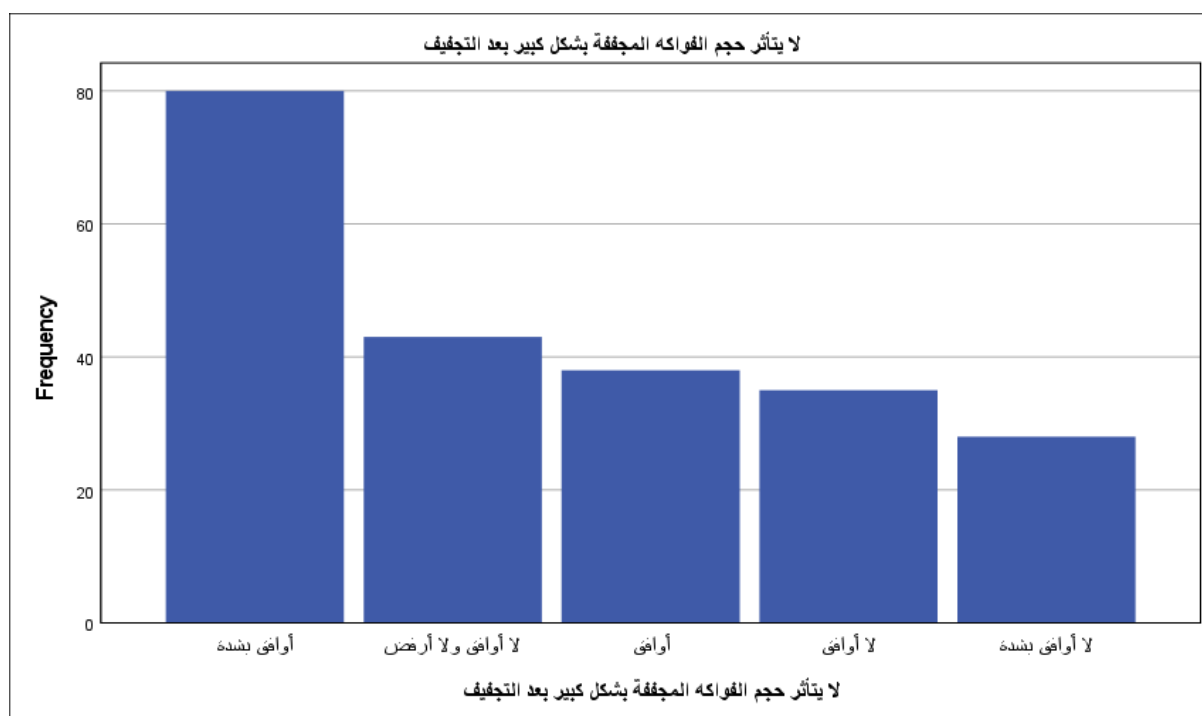
شكل توضيحي 5: التمثيل البياني لكون ملمس الفواكه المجففة مقبولاً

- لا يتأثر حجم الفواكه المجففة بشكل كبير بعد التجفيف

بالنظر المعمق إلى البيانات الكمية المرتبطة بمتغير "الاستقرار الحجمي للثمار"، نجد أن اتجاهات العينة تتبنى موقفاً إيجابياً يدحض المخاوف التقليدية المتعلقة بالانكماش المفرط، إذ شكلت فئة "أوافق بشدة" العمود الفقري للاستجابات بنسبة 35.7% (80 مشاركاً)، ومع إضافة نسبة الموافقين (17.0%)، ترتفع الكتلة المؤيدة إلى 52.7%، مما يجسد توافقاً جمعياً على أن تقنية التجفيف الشمسي تنجح في الحفاظ على الهيكل البنائي للثمرة (Structural Integrity) بشكل يتفوق على التوقعات السائدة، ورغم أن عملية نزع الرطوبة تستوجب فيزيائياً تقليص الحجم، إلا أن انحسار نسب المعارضة الكلية (الرفض والرفض الشديد) عند 28.1%، ووقوف 19.2% من العينة في منطقة الحياد المعرفي، يُفسر علمياً بأن الفقد الحجمي الحاصل يقع ضمن الحدود المقبولة بصرياً وتسويقياً، مما يعزز فرضية الدراسة بأن التحكم الحراري المنتظم في أنظمة التجفيف الشمسي يقلل من الانهيار الخلوي العنيف الذي غالباً ما يصاحب طرق التجفيف القاسية، مبقياً المنتج في هيئة ممتلئة نسبياً وجذابة للمستهلك النهائي.

لا يتأثر حجم الفواكه المجففة بشكل كبير بعد التجفيف					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	80	35.7	35.7	35.7
	لا أوافق ولا أرفض	43	19.2	19.2	54.9
	أوافق	38	17.0	17.0	71.9
	لا أوافق	35	15.6	15.6	87.5
	لا أوافق بشدة	28	12.5	12.5	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 7: التحليل الإحصائي لعدم تأثير حجم الفواكه المجففة بشكل كبير بعد التجفيف



شكل توضيحي 6: التمثيل البياني لعدم تأثير حجم الفواكه المجففة بشكل كبير بعد التجفيف

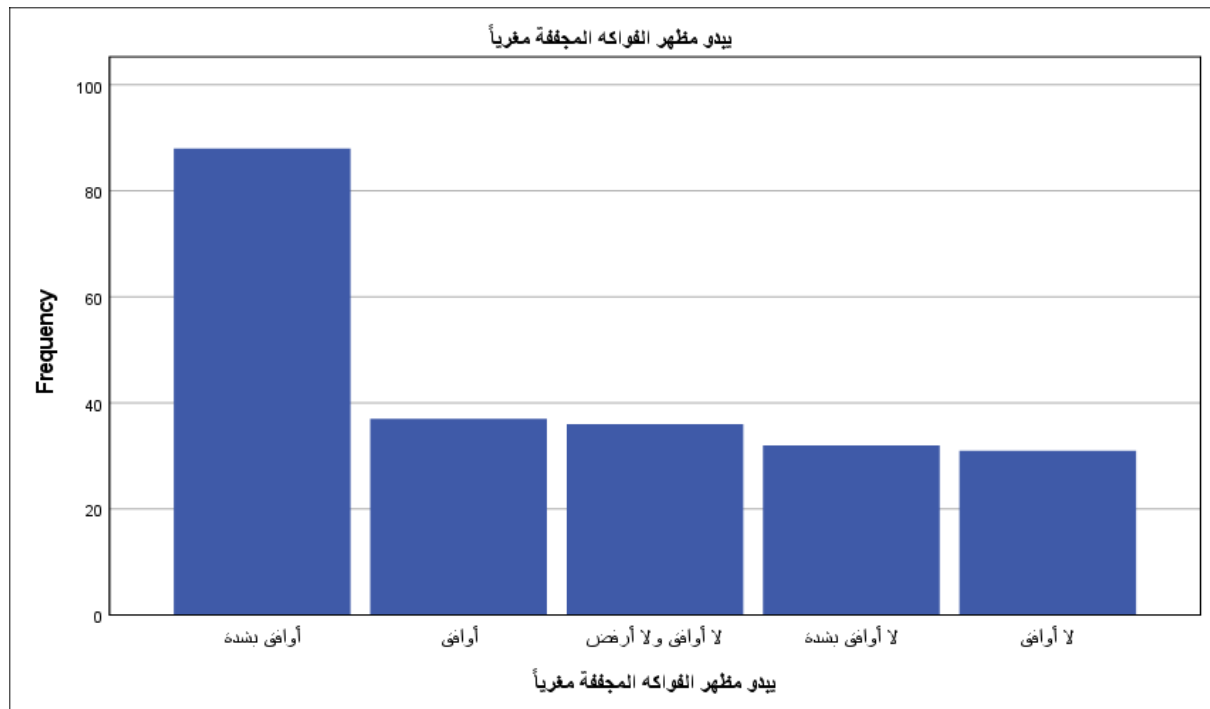
- يبدو مظهر الفواكه المجففة مغرياً

تشير المؤشرات الكمية المتعلقة بالجاذبية البصرية للمنتج إلى نجاح تقنية التجفيف الشمسي في تجاوز أحد أصعب التحديات التسويقية المتمثلة في "المظهر المغري"، حيث أظهرت البيانات نزعة إيجابية قوية هيمنت فيها فئة "أوافق

بشدة" على المشهد الإحصائي بنسبة 39.3% (88 استجابة)، وبإضافة شريحة "أوافق" البالغة 16.5%، نجد أن الكتلة التراكمية المؤيدة لجودة المظهر الخارجي قد كسرت حاجز الأغلبية المطلقة لتصل إلى 55.8%، وهو ما يمثل دليلاً دامغاً على قدرة المعالجة الشمسية المنضبطة على الحفاظ على البريق اللوني وتناسق الشكل الخارجي للثمار بعيداً عن العيوب البصرية الشائعة في التجفيف التقليدي كالإعتام أو التصبغ غير المتجانس، ورغم وجود تيار معارض يمثل حوالي 28.1% من العينة (موزعاً بين الرفض والرفض الشديد)، إلا أن التفسير العلمي لهذا التباين قد يرجع للمقارنة الذهنية التي يعقدها بعض المستهلكين بين الفاكهة المجففة وتلك الطازجة، أو مقارنتها بالمنتجات الصناعية المعالجة كيميائياً بمثبتات اللون، غير أن المحصلة النهائية تؤكد أن المنتج الشمسي يمتلك مقومات الجذب البصري الكافية لتحقيق رواج تجاري في الأسواق المحلية، مما يدعم فرضية الدراسة حول كفاءة هذه التقنية في إنتاج سلعة غذائية ذات مواصفات شكلية مرغوبة.

يبدو مظهر الفواكه المجففة مغرياً					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	88	39.3	39.3	39.3
	أوافق	37	16.5	16.5	55.8
	لا أوافق ولا أرفض	36	16.1	16.1	71.9
	لا أوافق بشدة	32	14.3	14.3	86.2
	لا أوافق	31	13.8	13.8	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 8: التحليل الإحصائي لكون مظهر الفواكه المجففة مغرياً



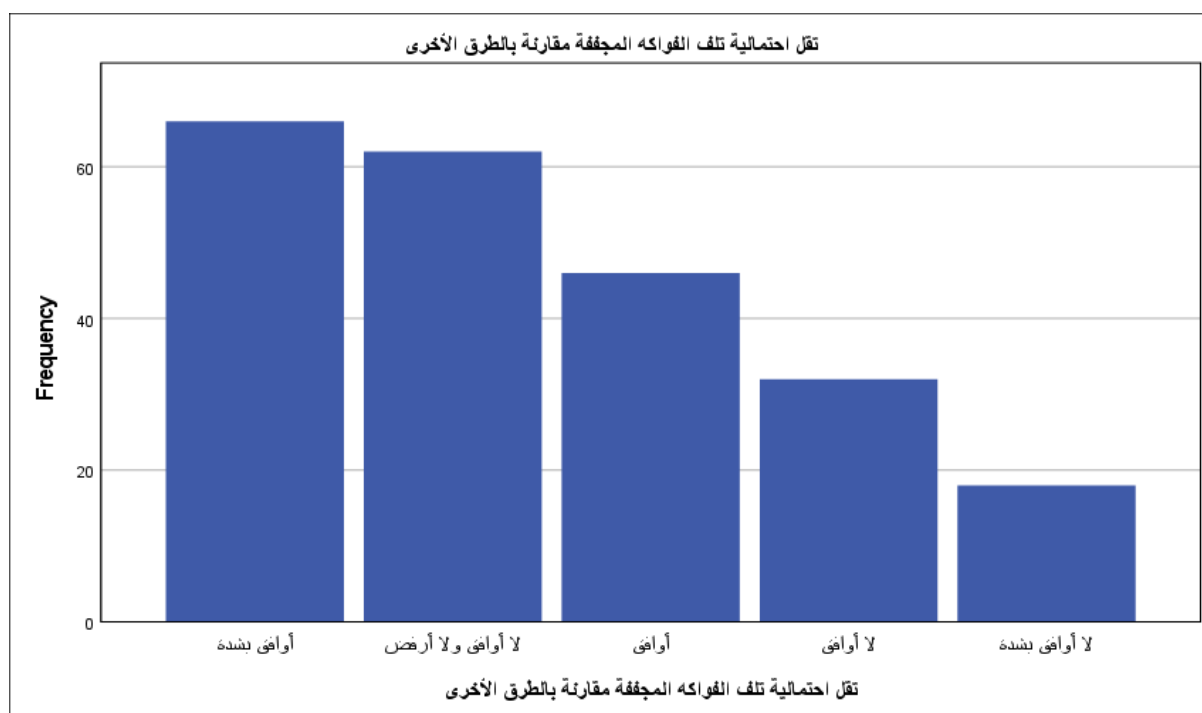
شكل توضيحي 7 : التمثيل البياني لكون مظهر الفواكه المجففة مغريباً

- تقل احتمالية تلف الفواكه المجففة مقارنة بالطرق الأخرى

تسلط المؤشرات الإحصائية المرتبطة بمتغير "الموثوقية الحفظية" ومقاومة التلف الضوء على قناعة بحثية متنامية بفعالية تقنية التجفيف الشمسي في تحديد عوامل التلف البيولوجي مقارنة بالطرائق التقليدية، حيث تكتلت نصف العينة تقريباً (بنسبة تراكمية بلغت 50.0%) في الخندق المؤيد لهذه الفرضية، مدفوعة بـ 66 صوتاً (29.5%) تبنا خيار "أوافق بشدة" و 46 صوتاً (20.5%) أبدوا موافقتهم العامة، وهو ما يُترجم علمياً بأن البيئة الحرارية المنضبطة داخل المجففات الشمسية تنجح في خفض "النشاط المائي" للثمار إلى مستويات حرجة تثبط النمو الميكروبي وتمنع التخمر الفطري بكفاءة أعلى من التجفيف المكشوف، ورغم هذه الإيجابية، فإن بروز تيار عريض من المحايدين قوامه 62 مشاركاً (بنسبة 27.7%) يمثل "منطقة ضبابية" قد تعكس تفاوت الخبرات الفردية في تطبيق التقنية أو عدم وضوح المعيار المقارن (هل المقارنة مع التجفيف الكهربائي أم الشمسي التقليدي؟) لدى البعض، إلا أن انحسار نسبة التشكيك الكلي في ذيل القائمة بواقع 22.3% فقط (موزعة بين الرفض والرفض الشديد) يرجح الكفة النهائية لصالح نظم التجفيف الشمسي كآلية وقائية مستدامة تضمن إطالة العمر التخزيني للمحاصيل الزراعية وتقليل الهدر الغذائي الناتج عن التلف السريع.

تقل احتمالية تلف الفواكه المجففة مقارنة بالطرق الأخرى					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	66	29.5	29.5	29.5
	لا أوافق ولا أرفض	62	27.7	27.7	57.1
	أوافق	46	20.5	20.5	77.7
	لا أوافق	32	14.3	14.3	92.0
	لا أوافق بشدة	18	8.0	8.0	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 9: التحليل الإحصائي لقلّة احتمالية تلف الفواكه المجففة مقارنة بالطرق الأخرى



شكل توضيحي 8: التمثيل البياني لقلّة احتمالية تلف الفواكه المجففة مقارنة بالطرق الأخرى

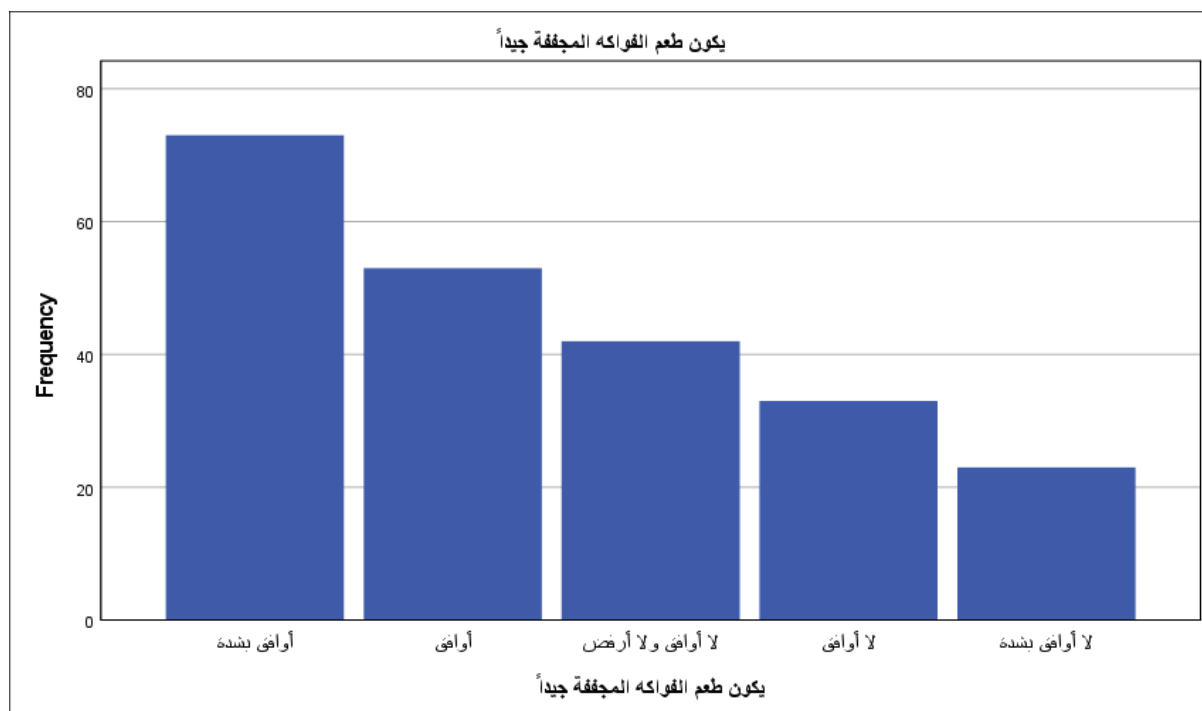
- يكون طعم الفواكه المجففة جيداً

يفصح التحليل الدقيق لاستجابات العينة حول متغير "جودة المذاق" عن مؤشرات إيجابية قوية تدعم الكفاءة الوظيفية للمجففات الشمسية في الحفاظ على الخصائص الحسية للمحصول، حيث شكلت التقييمات الإيجابية التيار السائد

بنسبة تراكمية تجاوزت النصف (56.3%)، تصدرتها فئة "أوافق بشدة" بنسبة 32.6% (73 مشاركاً)، مدعومة بشريحة "أوافق" بنسبة 23.7% (53 مشاركاً)، وهذا الاصطفاف الإحصائي يقدم برهاناً علمياً على أن المعالجة الحرارية الشمسية، عند ضبطها تقنياً، لا تؤدي فقط إلى نزع الرطوبة بل تساهم في تركيز السكريات الطبيعية والمركبات النكهية داخل الثمرة، مما يعزز من استساغتها لدى المستهلك، ورغم وجود تيار محايد بنسبة 18.8% وآخر معارض يمثل الربع تقريباً (25%)، إلا أن الهيمنة النسبية للقبول تؤكد أن تقنية التجفيف الشمسي قد نجحت في تجاوز عقبة "تغير الطعم" التي تعد العيب التقليدي الأبرز في طرائق الحفظ البدائية، مما يرسخ من مكانة هذه المنتجات كبديل غذائي ذي قيمة تنافسية عالية في الأسواق المحلية.

يكون طعم الفواكه المجففة جيداً					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	73	32.6	32.6	32.6
	أوافق	53	23.7	23.7	56.3
	لا أوافق ولا أرفض	42	18.8	18.8	75.0
	لا أوافق	33	14.7	14.7	89.7
	لا أوافق بشدة	23	10.3	10.3	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 10 : التحليل الإحصائي لكون طعم الفواكه المجففة جيداً



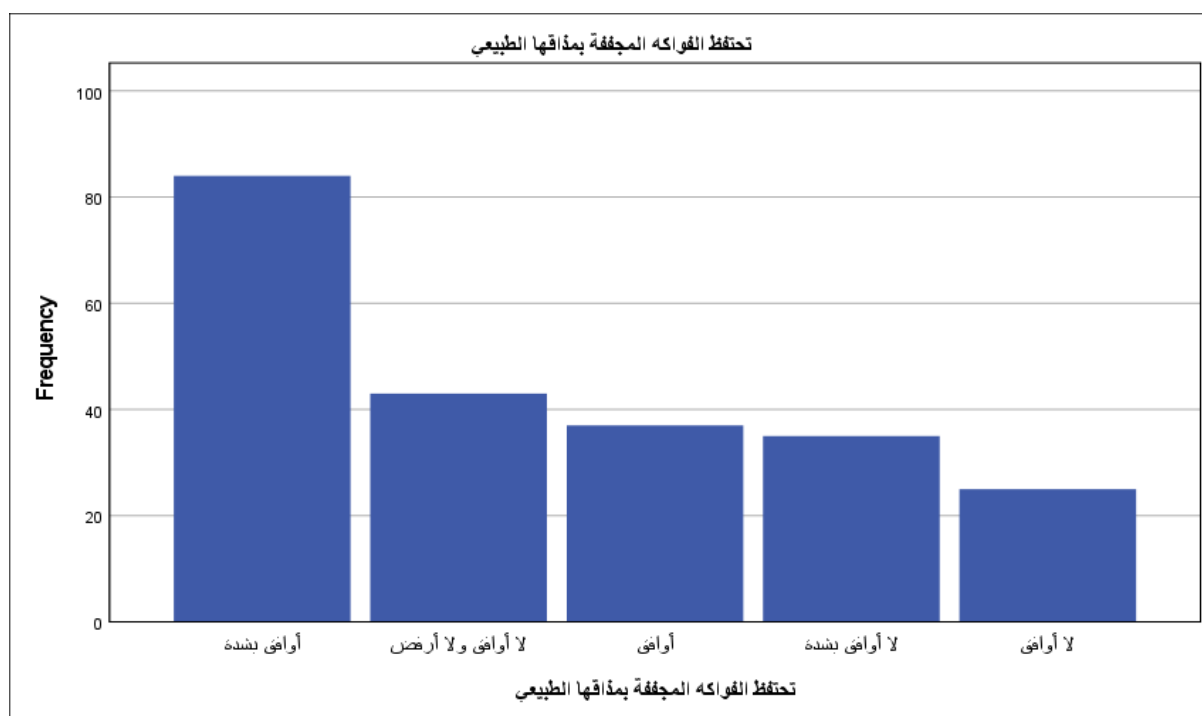
شكل توضيحي 9: التمثيل البياني لكون طعم الفواكه المجففة جيداً

- تحتفظ الفواكه المجففة بمذاقها الطبيعي

تسلط القراءة التحليلية لبيانات متغير "الأصالة المذاقية" الضوء على نجاح تقنية التجفيف الشمسي في تجاوز التحدي الكيميائي الحيوي الأصعب المتمثل في الحفاظ على البصمة الوراثية للنكهة، إذ أفرزت مصفوفة التكرارات انحيازاً إيجابياً صريحاً حيث تبنت الكتلة الأكبر من العينة خيار "أوافق بشدة" بنسبة حاکمة بلغت 37.5% (84 مشاركاً)، وعند دمجها مع الشريحة المؤيدة بنسبة 16.5%، يتشكل تيار غالب قوامه 54% يقر بقدرة هذه التقنية على صون الهوية الطبيعية للمذاق دون إحداث تشوهات نكهية، وهذا التفوق الإحصائي يقدم سنداً نظرياً لفرضية أن الضبط الحراري للطاقة الشمسية يحد من تطاير المركبات العطرية الحساسة مقارنة بطرق التجفيف العنيف، وفي المقابل، فإن تمارس تيار معارض بنسبة إجمالية بلغت 26.8% (مع ملاحظة لافتة لارتفاع نسبة الرفض الشديد إلى 15.6% متجاوزة الرفض العادي)، جنباً إلى جنب مع منطقة الحياد التي ضمت 19.2% من المشاركين، قد يُعزى تفسيره علمياً إلى مقارنات معيارية صارمة يعقدها البعض مع الفاكهة الطازجة آنية القطف، أو تفاوت في جودة المعالجة لبعض التشغيلات، إلا أن المحصلة النهائية تبرهن على أن المنتج الشمسي ينجح في تقديم تجربة تذوق تحاكي الطبيعة إلى حد بعيد لدى السواد الأعظم من المستهلكين في البيئة المحلية.

تحتفظ الفواكه المجففة بمذاقها الطبيعي					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	84	37.5	37.5	37.5
	لا أوافق ولا أرفض	43	19.2	19.2	56.7
	أوافق	37	16.5	16.5	73.2
	لا أوافق بشدة	35	15.6	15.6	88.8
	لا أوافق	25	11.2	11.2	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 11 : التحليل الإحصائي لاحتفاظ الفواكه المجففة بمذاقها الطبيعي



شكل توضيحي 10 : التمثيل البياني لاحتفاظ الفواكه المجففة بمذاقها الطبيعي

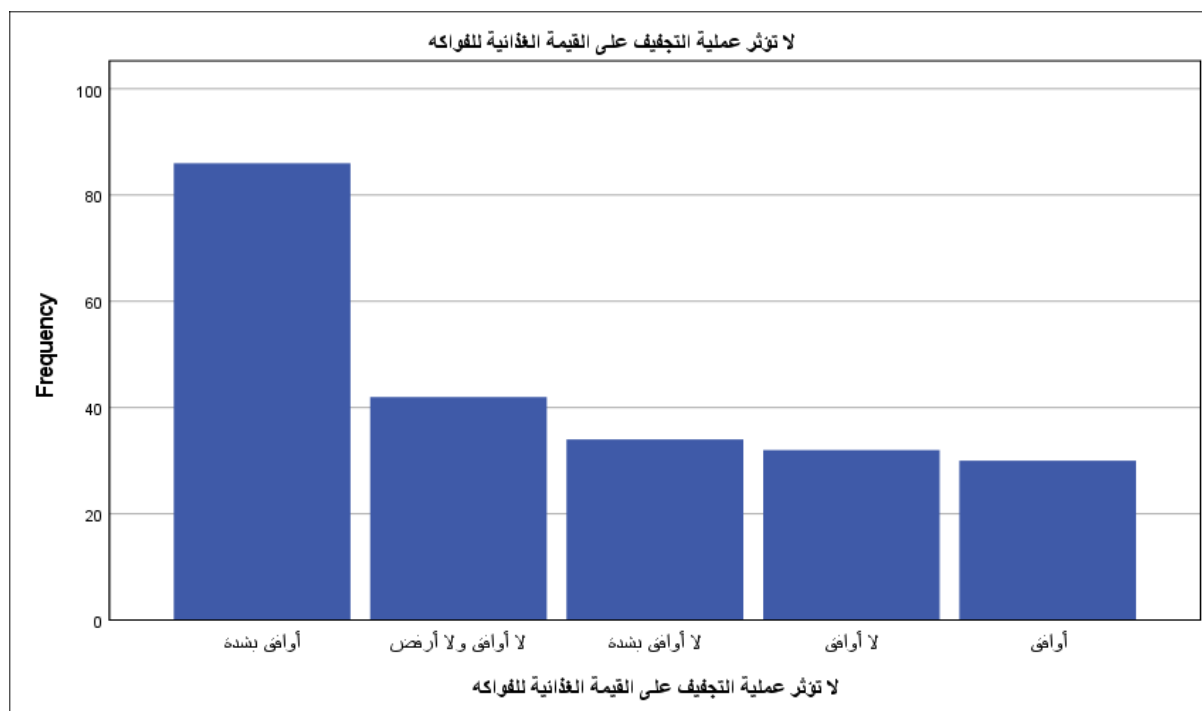
- لا تؤثر عملية التجفيف على القيمة الغذائية للفواكه

تبرز المؤشرات الإحصائية المتعلقة بمتغير "السلامة الغذائية للمنتج" حالة من الجدل العلمي والتباين المعرفي العميق لدى عينة الدراسة، حيث جاءت خريطة الاستجابات لتعكس وعياً نقدياً بمدى تعقيد التفاعلات الكيميائية الحيوية

أثناء المعالجة الحرارية، فبرغم تصدر خيار "أوافق بشدة" للهرم التكراري بنسبة 38.4% (86 مشاركاً)، مما يشكل نواة صلبة للمؤيدين لفرضية الحفاظ الكامل على القيمة الغذائية، إلا أن انزواء خيار "أوافق" في ذيل القائمة كأقل النسب تكراراً بواقع 13.4% فقط، يشي بأن التأييد هنا نابع من قناعة مطلقة لقطاع محدد وليس توجهاً عاماً متدرجاً، وبجمع الكتلتين المؤيدتين نجد أنهما تجاوزتا عتبة الأغلبية بصعوبة (51.8%)، في مواجهة تيار معارض صلب ومشكك يمثل ما يقارب 29.5% من العينة (موزعاً بين الرفض والرفض الشديد)، وهذا الانقسام الحاد، مع وجود منطقة حياد تمثل 18.8%، يُفسر أكاديمياً بأن شريحة واسعة من المشاركين (ذوي الخلفيات العلمية العالية كما أسلفت البيانات الديموغرافية) يدركون تماماً "الحساسية الحرارية" لبعض المغذيات الدقيقة كالفيتامينات والإنزيمات، مما يجعل إجاباتهم تميل نحو التحفظ العلمي بدلاً من القبول المطلق، وهو ما يضيف مصداقية واقعية على النتائج وينفي عنها صفة الانحياز العاطفي الأعمى للتقنية المدروسة.

لا تؤثر عملية التجفيف على القيمة الغذائية للفواكه					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	86	38.4	38.4	38.4
	لا أوافق ولا أرفض	42	18.8	18.8	57.1
	لا أوافق بشدة	34	15.2	15.2	72.3
	لا أوافق	32	14.3	14.3	86.6
	أوافق	30	13.4	13.4	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 12 : التحليل الإحصائي لعدم تأثير عملية التجفيف على القيمة الغذائية للفواكه



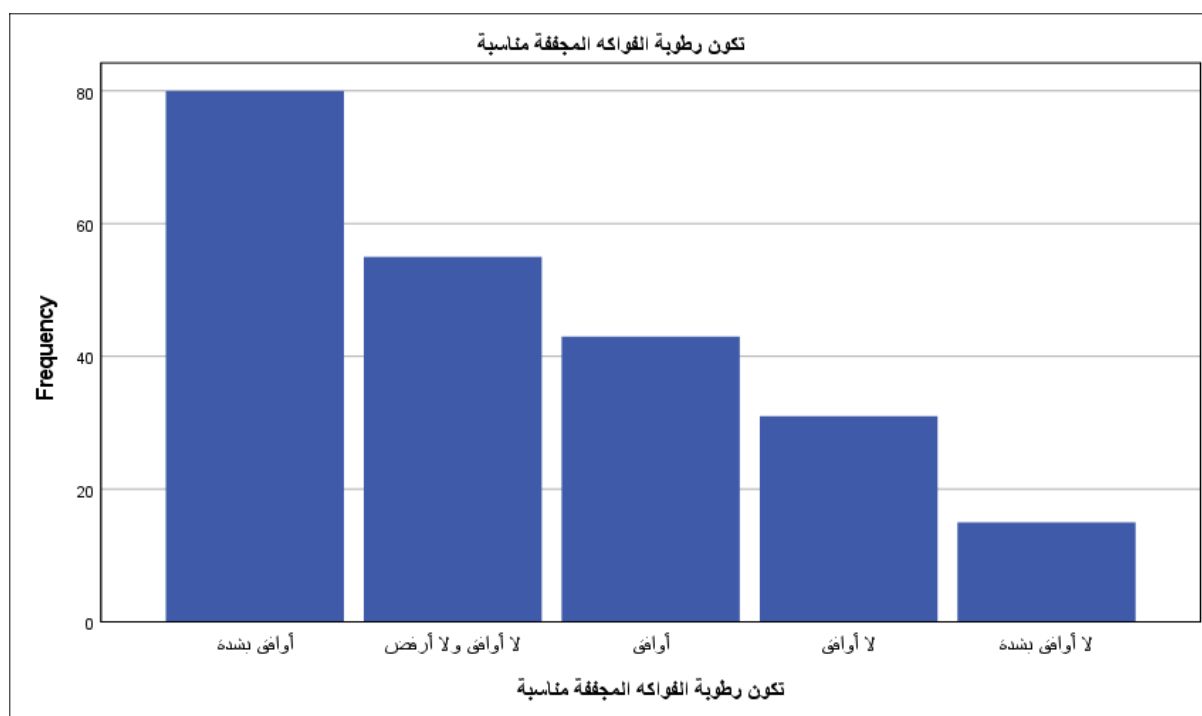
شكل توضيحي 11 : التمثيل البياني لعدم تأثير عملية التجفيف على القيمة الغذائية للفواكه

- تكون رطوبة الفواكه المجففة مناسبة

تفصح المؤشرات الرقمية الحيوية المرتبطة بمتغير "الاتزان الرطوبي للثمار" عن كفاءة ديناميكية لافئة لنظم التجفيف الشمسي في ضبط المحتوى المائي النهائي عند المستويات الحرجة المطلوبة للجودة، إذ أظهرت التوزيعات التكرارية انحيازاً إيجابياً صريحاً (Positively Skewed) نحو فعالية العملية، حيث شكلت الفئة المقتنعة تماماً بملاءمة الرطوبة (خيار أوافق بشدة) النسبة الأكبر بواقع 35.7% (80 استجابة)، وعند دمجها مع الشريحة المؤيدة نسبياً (19.2%)، يتشكل تكتل إحصائي صلب قوامه 54.9% يبرهن على نجاح المعالجة الحرارية الشمسية في الوصول بالثمار إلى نقطة "النشاط المائي الآمن" الذي يمنع التلف الميكروبي دون التسبب في الجفاف القاسي للأنسجة، وفي المقابل، فإن تموضع ربع العينة تقريباً (24.6% بواقع 55 فرداً) في منطقة الحياد الإحصائي لا يعكس رفضاً للتقنية بقدر ما يشير إلى حساسية عملية التجفيف للمتغيرات البيئية المتقلبة التي قد تؤدي لنتائج متذبذبة أحياناً، إلا أن انحسار كتلة الرفض الكلي عند حدود 20.5% فقط (موزعة بين 13.8% و6.7%) يعزز الفرضية القائلة بأن التجفيف الشمسي، كمنظومة تقنية، يمتلك القدرة العالية على تحقيق معادلة التجفيف المتوازن التي تجمع بين الحفظ الطويل والقوام المستساغ في البيئة الزراعية للمملكة.

تكون رطوبة الفواكه المجففة مناسبة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	80	35.7	35.7	35.7
	لا أوافق ولا أرفض	55	24.6	24.6	60.3
	أوافق	43	19.2	19.2	79.5
	لا أوافق	31	13.8	13.8	93.3
	لا أوافق بشدة	15	6.7	6.7	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 13 : التحليل الإحصائي لكون رطوبة الفواكه المجففة مناسبة



شكل توضيحي 12 : التمثيل البياني لكون رطوبة الفواكه المجففة مناسبة

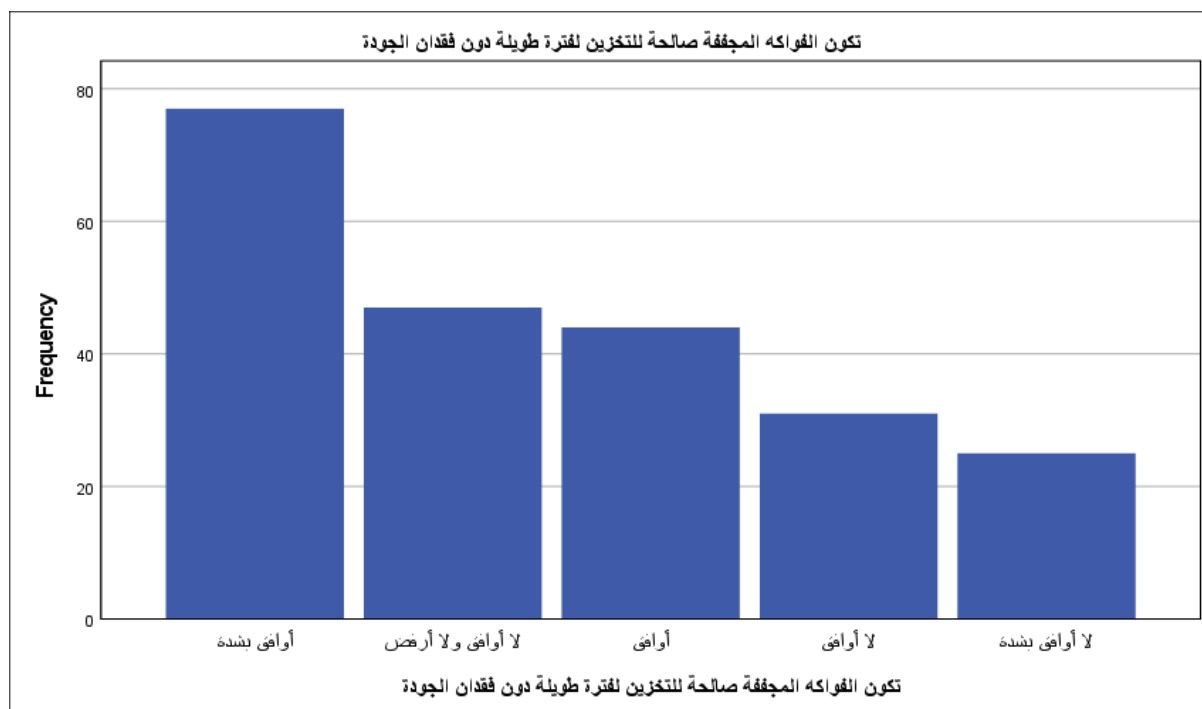
- تكون الفواكه المجففة صالحة للتخزين لفترة طويلة دون فقدان الجودة

كشفت المؤشرات الكمية الخاصة بمتغير "الجدارة التخزينية" عن كفاءة عالية لتقنية التجفيف الشمسي في تمديد الصلاحية الزمنية للمنتج (Shelf Life Extension) مع صون خصائصه النوعية، حيث تكتلت الأغلبية الإحصائية في

النطاق الإيجابي بنسبة تراكمية بلغت 54.0%، قادها تيار واثق تبني خيار "أوافق بشدة" بنسبة 34.4% (77 استجابة)، معززاً بشريحة "أوافق" بنسبة 19.6%، وهو ما يقدم برهاناً ملموساً على أن خفض المدروس للمحتوى الرطوبي عبر الطاقة الشمسية ينجح في تثبيط التفاعلات الكيميائية والنشاط الميكروبي المسبب للتلف السريع، ورغم ظهور تيار محايد ملحوظ بنسبة 21.0% (47 مشاركاً) قد يُعزى تحفظه إلى تأثير عوامل خارجية كنوعية التغليف أو ظروف المستودعات، إلا أن انحسار الرفض الكلي عند الربع (25.0%) يؤكد أن المنتج المجفف شمسياً يمتلك مقومات "الاستقرار التخزيني" (Storage Stability) التي تؤهله ليكون مخزوناً استراتيجياً آمناً ومجدياً اقتصادياً في فترات الركود الزراعي.

تكون الفواكه المجففة صالحة للتخزين لفترة طويلة دون فقدان الجودة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	77	34.4	34.4	34.4
	لا أوافق ولا أرفض	47	21.0	21.0	55.4
	أوافق	44	19.6	19.6	75.0
	لا أوافق	31	13.8	13.8	88.8
	لا أوافق بشدة	25	11.2	11.2	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 14 : التحليل الإحصائي لكون الفواكه المجففة صالحة للتخزين لفترة طويلة دون فقدان الجودة



شكل توضيحي 13 : التمثيل البياني لكون الفواكه المجففة صالحة للتخزين لفترة طويلة دون فقدان الجودة

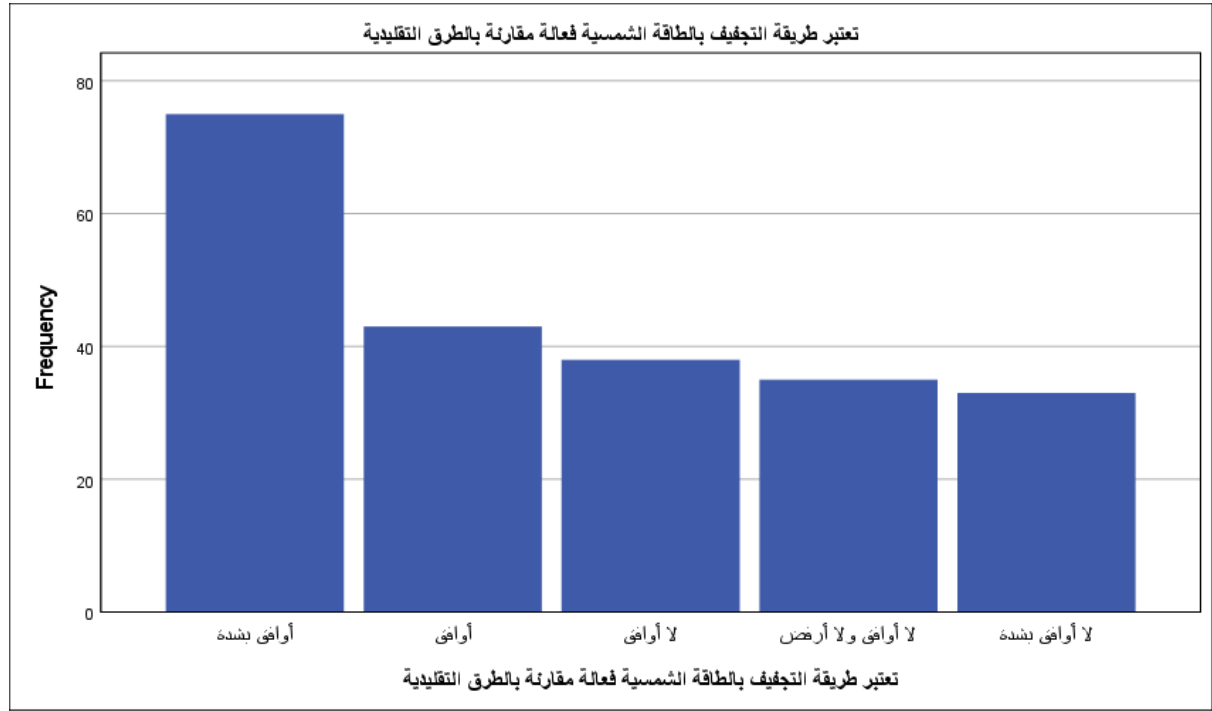
- تعتبر طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية فعالة مقارنة بالطرق التقليدية

تكشف القراءة الاستقصائية لبيانات المتغير المحوري "الأرجحية التنافسية للتقنية"، المعني بالمفاضلة بين التجفيف الشمسي والطرائق التقليدية، عن تحول نوعي في القناعات الفنية لدى المشاركين لصالح الحداثة التقنية، حيث شكلت كتلة التأييد الأغلبية المطلقة بنسبة تراكمية بلغت 52.7%، تصدرها خيار "أوافق بشدة" كمنوال للتوزيع بنسبة 33.5% (75 استجابة)، مما يقدم سنداً إحصائياً لفرضية أن الانضباط الحراري في الأنظمة الشمسية يتفوق في المعايير الإنتاجية على العشوائية المناخية للتجفيف المفتوح، ومع ذلك، فإن بروز تيار ممانع صلب يمثل 31.7% من العينة (مجموع الرفض والرفض الشديد)، مصحوباً بذهابية موقف الحياد لدى 15.6%، يشي بأن "الانتقال التكنولوجي" لا يزال يواجه تحديات، ربما ترتبط بالكلفة التأسيسية أو التعقيد التشغيلي مقارنة ببساطة الطرق القديمة، إلا أن المحصلة النهائية تؤكد أن كفة الفعالية تميل بوضوح لصالح التطوير الشمسي كخيار استراتيجي للمستقبل الزراعي.

تعتبر طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية فعالة مقارنة بالطرق التقليدية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	75	33.5	33.5	33.5
	أوافق	43	19.2	19.2	52.7

	لا أوافق	38	17.0	17.0	69.6
	لا أوافق ولا أرفض	35	15.6	15.6	85.3
	لا أوافق بشدة	33	14.7	14.7	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 15 : التحليل الإحصائي لاعتبار طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية فعالة مقارنة بالطرق التقليدية



شكل توضيحي 14 : التمثيل البياني لاعتبار طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية فعالة مقارنة بالطرق التقليدية

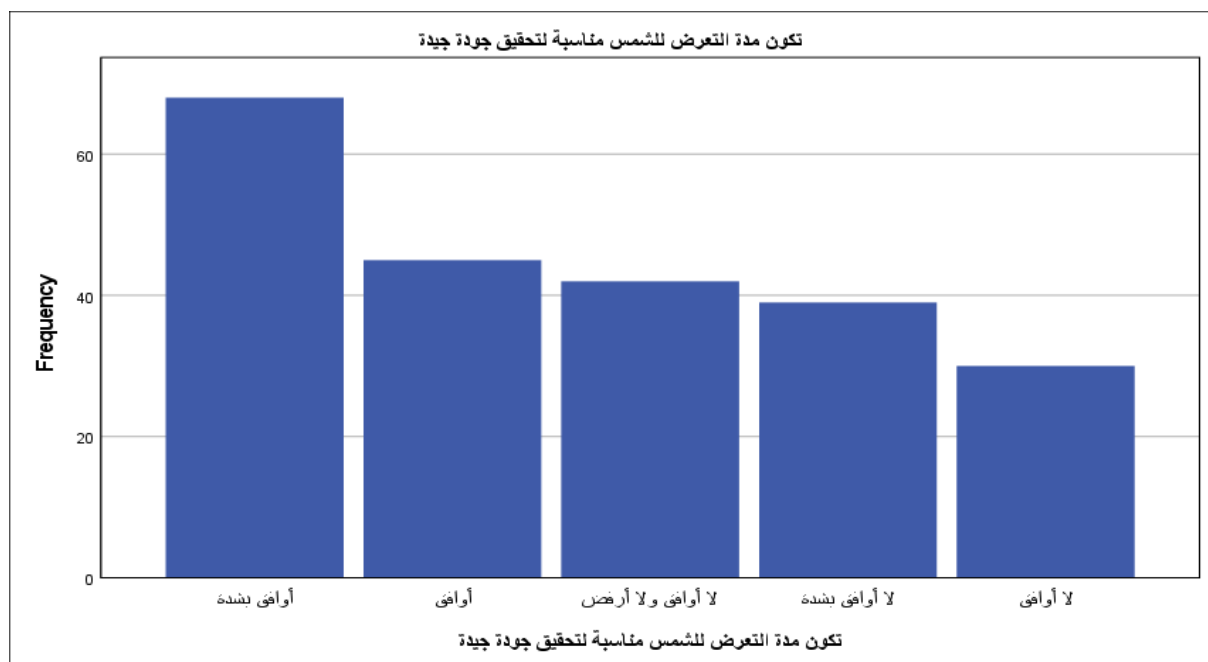
- تكون مدة التعرض للشمس مناسبة لتحقيق جودة جيدة

تبرز البيانات الإحصائية المرتبطة بمتغير "الكفاءة الزمنية للمعالجة" إشكالية تقنية دقيقة تُعرف في أدبيات التجفيف الشمسي بـ "المعضلة الزمنية"، حيث جاءت استجابات العينة لتعكس تبياناً في الآراء رغم ترجيح كفة القبول، إذ استقرت الكتلة التراكمية للمؤيدين لملائمة الفترة الزمنية عند حافة الأغلبية البسيطة بواقع 50.5% (توزعت بين 30.4% للموافقة الشديدة و20.1% للموافقة)، وهو ما يشير إلى أن ما يربو على نصف المزارعين يرون في الزمن المستغرق للتجفيف الشمسي ثمناً مقبولاً مقابل جودة الناتج وتوفير الطاقة، بيد أن القراءة المتفحصية للجانب الآخر من التوزيع تكشف عن تيار ممانع لا يستهان به يشكل 30.8% من إجمالي العينة (حيث قفزت نسبة الرفض الشديد بشكل لافت إلى 17.4% وهي

من النسب المرتفعة في الدراسة)، وهذا الرفض الملموس مقارنة بمتغيرات الجودة الحسية الأخرى يُفسر علمياً بطبيعة الطاقة الشمسية المتقطعة وارتباطها بظروف الطقس، مما قد يطيل فترة المعالجة ويؤخر دورة الإنتاج (Process Latency)، الأمر الذي يضع عامل "الوقت" كأبرز التحديات اللوجستية الحرجة التي تواجه تعميم هذه التقنية، خصوصاً عند مقارنتها بالسرعة القياسية للمجففات الصناعية، في حين بقي 18.8% من المشاركين في منطقة الحيا، ربما لعدم امتلاكهم معياراً زمنياً مرجعياً للمقارنة.

تكون مدة التعرض للشمس مناسبة لتحقيق جودة جيدة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	68	30.4	30.4	30.4
	أوافق	45	20.1	20.1	50.4
	لا أوافق ولا أرفض	42	18.8	18.8	69.2
	لا أوافق بشدة	39	17.4	17.4	86.6
	لا أوافق	30	13.4	13.4	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 16: التحليل الإحصائي لكون مدة التعرض للشمس مناسبة لتحقيق جودة جيدة



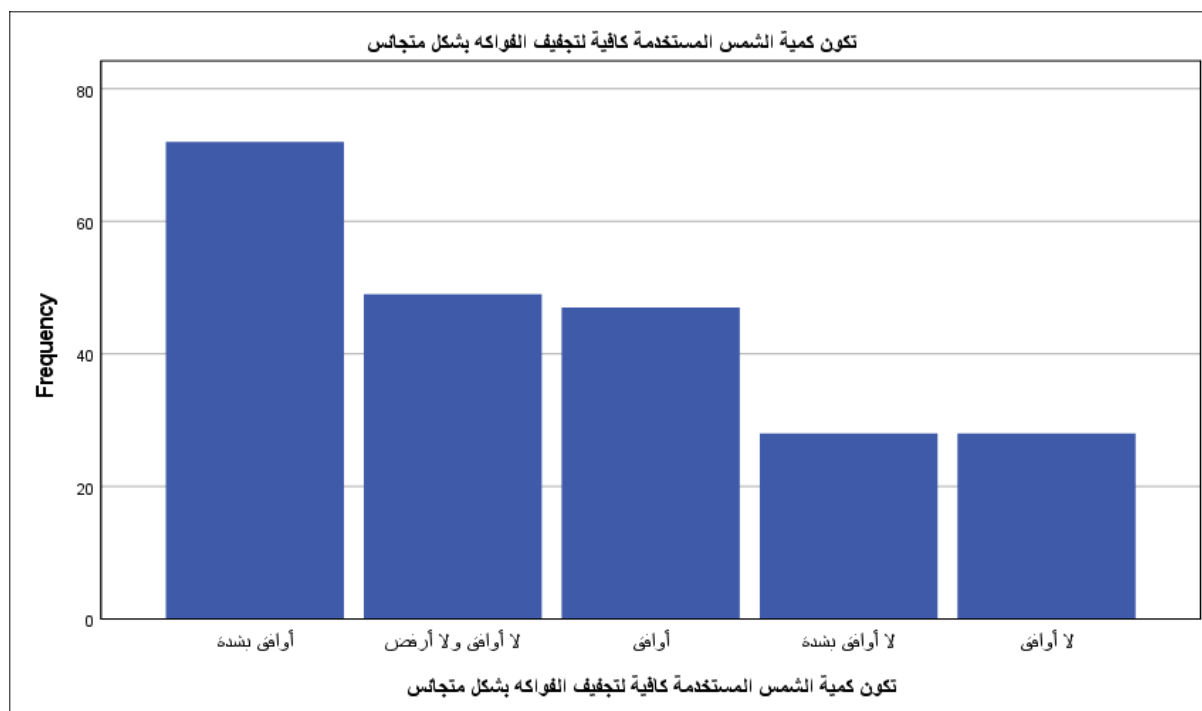
شكل توضيحي 15: التمثيل البياني لكون مدة التعرض للشمس مناسبة لتحقيق جودة جيدة

- تكون كمية الشمس المستخدمة كافية لتجفيف الفواكه بشكل متجانس

أشارت المؤشرات الكمية المتعلقة بمتغير "الكفاية الإشعاعية" ودورها في تحقيق التجانس الحراري للمنتج عن اتجاه عام إيجابي يدعم فرضية الملاءمة المناخية للمملكة لتطبيقات التجفيف، حيث شكلت الكتلة المؤيدة لفاعلية الإشعاع الشمسي في إحداث تجفيف منتظم ما نسبته 53.1% من إجمالي العينة، تصدرتها فئة "أوافق بشدة" بنسبة 32.1% (72 استجابة) تلتها فئة "أوافق" بنسبة 21.0% (47 استجابة)، وهو ما يمثل دليلاً إحصائياً على أن التدفق الحراري الطبيعي – عند توظيفه عبر مجففات مصممة هندسياً – يمتلك القدرة على اختراق الأنسجة النباتية وتوزيع الحرارة بشكل متكافئ، مما يقلل من ظهور "البؤر الرطبة" التي تعيب التجفيف التقليدي، ورغم هذه الأرجحية، فإن تمركز نسبة وازنة بلغت 21.9% في خانة الحياد، بالتوازي مع وجود تيار معارض يمثل ربع العينة تماماً (25.0% موزعة بالتساوي بين الرفض والرفض الشديد بواقع 12.5% لكل منهما)، يلقي الضوء على التحديات التشغيلية المرتبطة بـ "تقطع المصدر الطاقوي" (Intermittency) بسبب الغيوم أو التظليل، مما قد يؤدي لتذبذب معدلات التجفيف، إلا أن المحصلة النهائية تشير إلى أن الطاقة الشمسية المتاحة تفي بالحدود الحرجة اللازمة لإنتاج ثمار مجففة ذات قوام متجانس في غالبية الظروف التشغيلية.

تكون كمية الشمس المستخدمة كافية لتجفيف الفواكه بشكل متجانس					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	72	32.1	32.1	32.1
	لا أوافق ولا أرفض	49	21.9	21.9	54.0
	أوافق	47	21.0	21.0	75.0
	لا أوافق بشدة	28	12.5	12.5	87.5
	لا أوافق	28	12.5	12.5	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 17 : التحليل الإحصائي لكون كمية الشمس المستخدمة كافية لتجفيف الفواكه بشكل متجانس



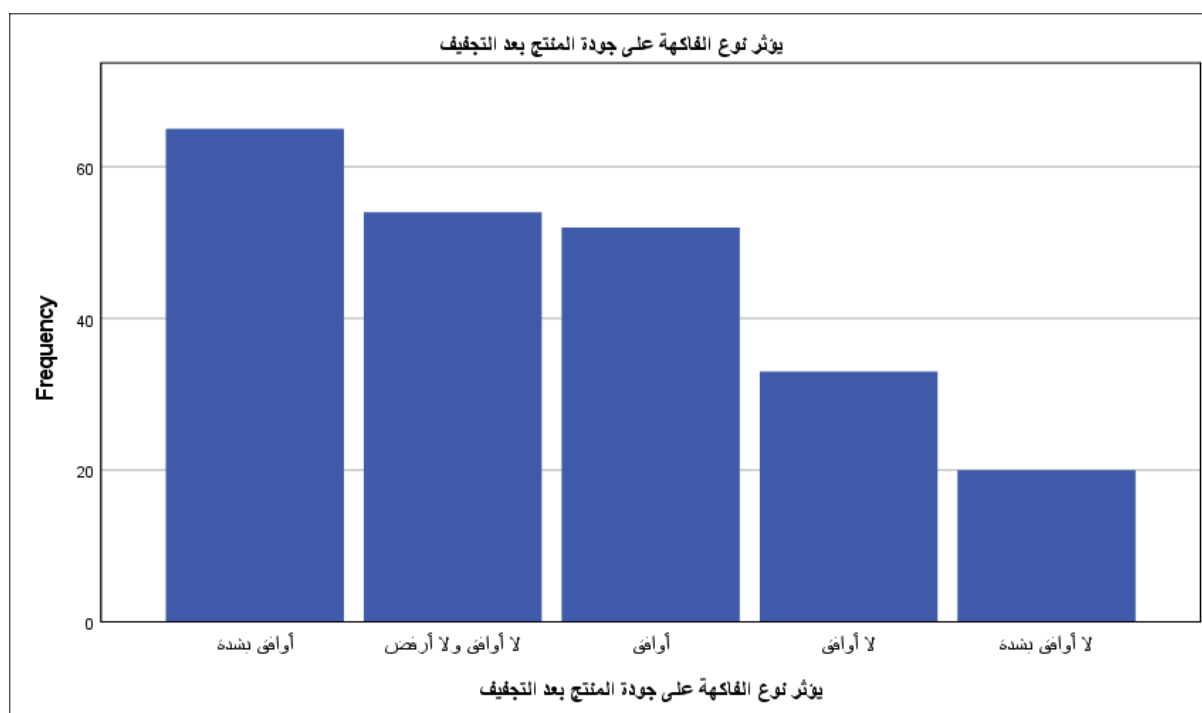
شكل توضيحي 16 : التمثيل البياني لكون كمية الشمس المستخدمة كافية لتجفيف الفواكه بشكل متجانس

- يؤثر نوع الفاكهة على جودة المنتج بعد التجفيف

مكتنتنا القراءة التحليلية للبيانات الكمية المرتبطة بمتغير "الحتمية الصنفية" (Varietal Determinism) وعلاقتها بجودة المخرج النهائي، وعياً تقنياً متقدماً لدى عينة البحث بأهمية الخصائص الفيزيوكيميائية للمادة الخام، إذ جنحت كفة الاستجابات بوضوح نحو التأكيد على تباين مخرجات التجفيف بتباين الصنف النباتي، حيث شكلت الكتلة التراكمية المؤيدة لهذا التوجه ما نسبته 52.2% (توزعت بين 29.0% للإقرار القوي و23.2% للموافقة)، وهو ما ينسجم تماماً مع الفرضيات العلمية التي تؤكد أن المحتوى المائي، وسمك القشرة، والتركيب السكري للثمرة هي محددات حاکمة لكفاءة التجفيف الشمسي، وفي حين التزم ما يقارب ربع العينة (24.1% بواقع 54 فرداً) موقف الحياد المعرفي الذي قد ينبع من محدودية تنوع المحاصيل التي خضعت للتجربة لديهم، فإن انحسار تيار الرفض الكلي عند حدود 23.6% يقدم دليلاً إحصائياً راجحاً يدحض افتراض "شمولية الأداء التقني" بمعزل عن الخصوصية البيولوجية للمحصول، مما يرسخ النتيجة القائلة بأن نجاح مشاريع التجفيف الشمسي في المناطق الزراعية بالملكة مرهون بالمواءمة الدقيقة بين بارامترات المعالجة الحرارية وطبيعة الصنف الزراعي المستهدف.

يؤثر نوع الفاكهة على جودة المنتج بعد التجفيف					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	65	29.0	29.0	29.0
	لا أوافق ولا أرفض	54	24.1	24.1	53.1
	أوافق	52	23.2	23.2	76.3
	لا أوافق	33	14.7	14.7	91.1
	لا أوافق بشدة	20	8.9	8.9	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 18 : التحليل الإحصائي لتأثير نوع الفاكهة على جودة المنتج بعد التجفيف



شكل توضيحي 17 : التمثيل البياني لتأثير نوع الفاكهة على جودة المنتج بعد التجفيف

- يكون الرضا العام عن الفواكه المجففة مرتفعاً

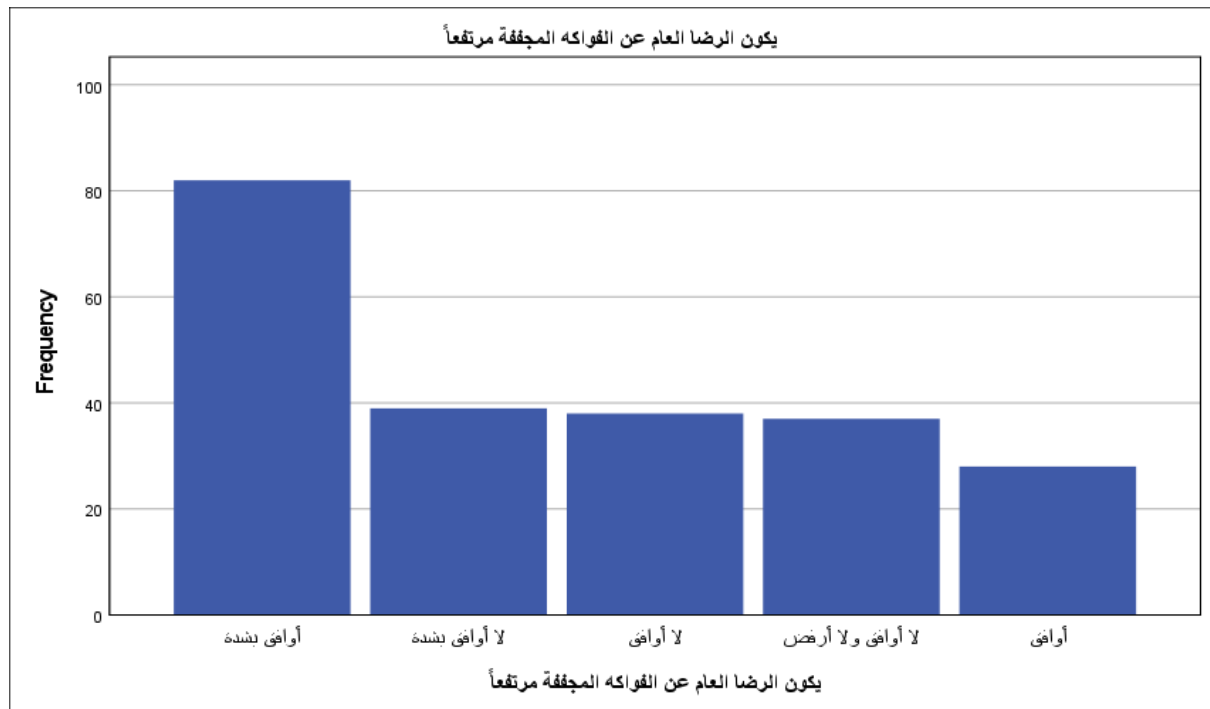
يوجّه مؤشر "الرضا العام"، الذي يُعد بمثابة البوتقة النهائية التي تنصهر فيها كافة المعايير الحسية والتقنية السابقة،

عن مشهد إحصائي يتسم بـ "الاستقطاب القيمي" (Value Polarization) بدلاً من الإجماع المطلق، فبرغم أن المنوال

الإحصائي للتوزيع قد استقر عند قمة الإيجابية بتبني 36.6% من العينة (82 مشاركاً) لخيار "أوافق بشدة"، إلا أن التدقيق في البنية الداخلية للبيانات يكشف عن مفارقة لافتة: إذ تذيلت فئة "أوافق" القائمة كأقل النسب تكراراً بواقع 12.5% فقط، مما يجعل الكتلة المؤيدة كلياً تقف عند عتبة 49.1%، أي دون الأغلبية المطلقة بقليل، وفي المقابل، تصاعد تيار الممانعة والرفض ليشكل ثلث العينة تقريباً بنسبة تراكمية بلغت 34.4% (توزعت تقريباً بالتساوي بين الرفض القاطع 17.4% والرفض العام 17.0%)، وهذا التباين الحاد يشي علمياً بأن تجربة التجفيف الشمسي في البيئة المحلية لا تزال في مرحلة "إثبات المفهوم"، حيث نجحت بامتياز في إقناع الشريحة التي طبقت المعايير بدقة (وهم أصحاب الموافقة الشدة)، بينما واجهت الشريحة الأخرى تحديات تطبيقية انعكست سلباً على رضاهم الكلي، وربما يُعزى انخفاض الرضا العام مقارنة بارتفاع تقييمات الطعم واللون (في الجداول السابقة) إلى عوامل خارجة عن جودة المنتج نفسه، مثل الجهد المبذول أو الوقت المستغرق، مما يجعل التوصية النهائية للدراسة تركز على ضرورة تحسين الكفاءة التشغيلية لردم الفجوة بين جودة المنتج المرتفعة والرضا العام المتذبذب.

يكون الرضا العام عن الفواكه المجففة مرتفعاً					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	82	36.6	36.6	36.6
	لا أوافق بشدة	39	17.4	17.4	54.0
	لا أوافق	38	17.0	17.0	71.0
	لا أوافق ولا أرفض	37	16.5	16.5	87.5
	أوافق	28	12.5	12.5	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 19: التحليل الإحصائي لكون الرضا العام عن الفواكه المجففة مرتفعاً



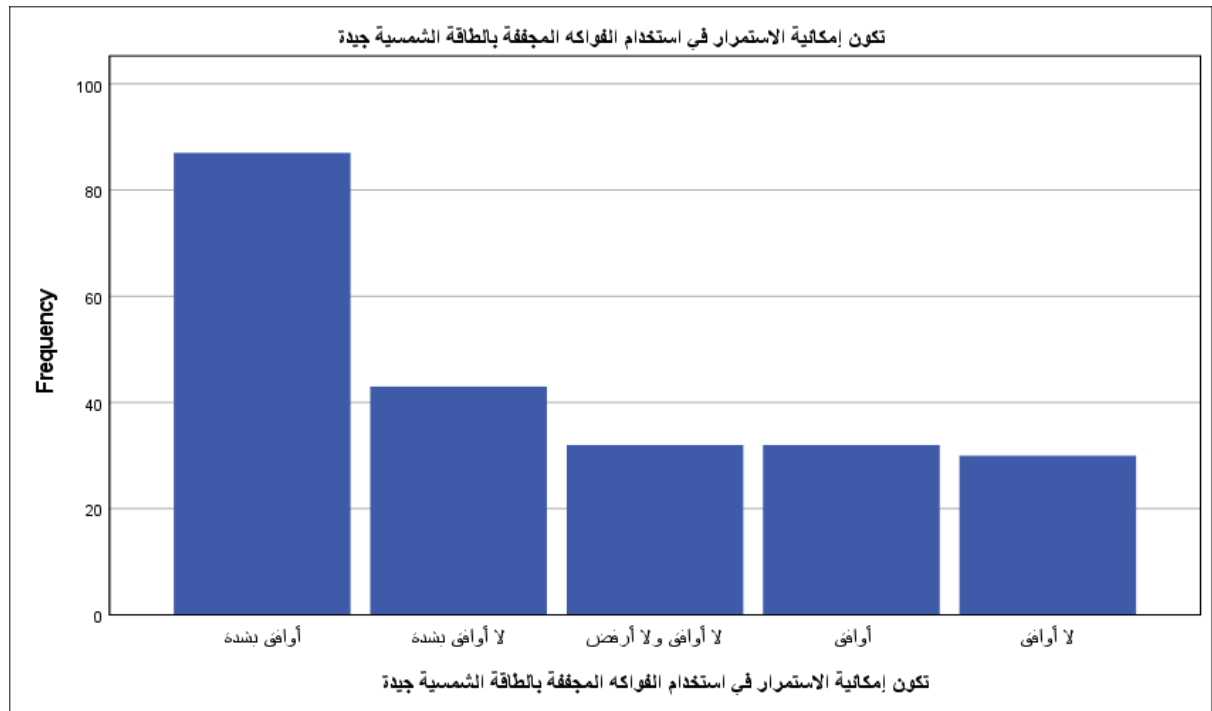
شكل توضيحي 18 : التمثيل البياني لكون الرضا العام عن الفواكه المجففة مرتفعاً

- تكون إمكانية الاستمرار في استخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية جيدة

تكشف القراءة الاستشرافية لبيانات "ديمومة الممارسة التطبيقية" عن مؤشرات سوسيو تقنية بالغة الأهمية تتعلق بمدى استعداد المزارعين لتبني تقنية التجفيف الشمسي كنمط إنتاج مستقر، حيث أظهرت التوزيعات التكرارية انقساماً حاداً يميل كفته لصالح الاستدامة، إذ شكلت "الكتلة الحرجة" المؤيدة للاستمرار في التطبيق ما نسبته 53.1% من إجمالي العينة، مدفوعة بقناعة راسخة لدى 38.8% (87 مشاركاً) تبنيوا خيار "أوافق بشدة"، وهو ما يُعد مؤشراً حيوياً على أن التقنية قد نجحت في ترسيخ جدواها الاقتصادية والتشغيلية لدى قطاع واسع من المنتجين، بيد أن المشهد الإحصائي لا يخلو من "فجوة تبني" (Adoption Gap) مقلقة، تجلت في صعود خيار "لا أوافق بشدة" ليحتل المرتبة الثانية في الترتيب التكراري بنسبة 19.2% (43 مشاركاً)، ومع إضافة نسبة الراضين (13.4%)، نجد أن ثلث العينة تقريباً (32.6%) يبدون ممانعة صريحة لاستدامة التجربة، وهذا الاستقطاب الثنائي بين التأييد المطلق والرفض الشديد، مع انحسار مساحة الحياد عند 14.3% (تساوت مع نسبة الموافقة البسيطة)، يُفسر أكاديمياً بأن تقنية التجفيف الشمسي في البيئة الزراعية للمملكة لا تزال تخضع لمعادلة "الكل أو لا شيء"؛ فهي إما أن تنجح بامتياز فتضمن ولاء المستخدم، أو تواجه عقبات لوجستية تؤدي لرفضها تماماً، مما يعني أن استمرارية التطبيق ليست مضمونة تلقائياً بل هي مرهونة بتذليل عقبات التشغيل التي واجهت الثلث الراض.

تكون إمكانية الاستمرار في استخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية جيدة					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	87	38.8	38.8	38.8
	لا أوافق بشدة	43	19.2	19.2	58.0
	لا أوافق ولا أرفض	32	14.3	14.3	72.3
	أوافق	32	14.3	14.3	86.6
	لا أوافق	30	13.4	13.4	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 20: التحليل الإحصائي لكون إمكانية الاستمرار في استخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية جيدة



شكل توضيحي 19: التمثيل البياني لكون إمكانية الاستمرار في استخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية جيدة

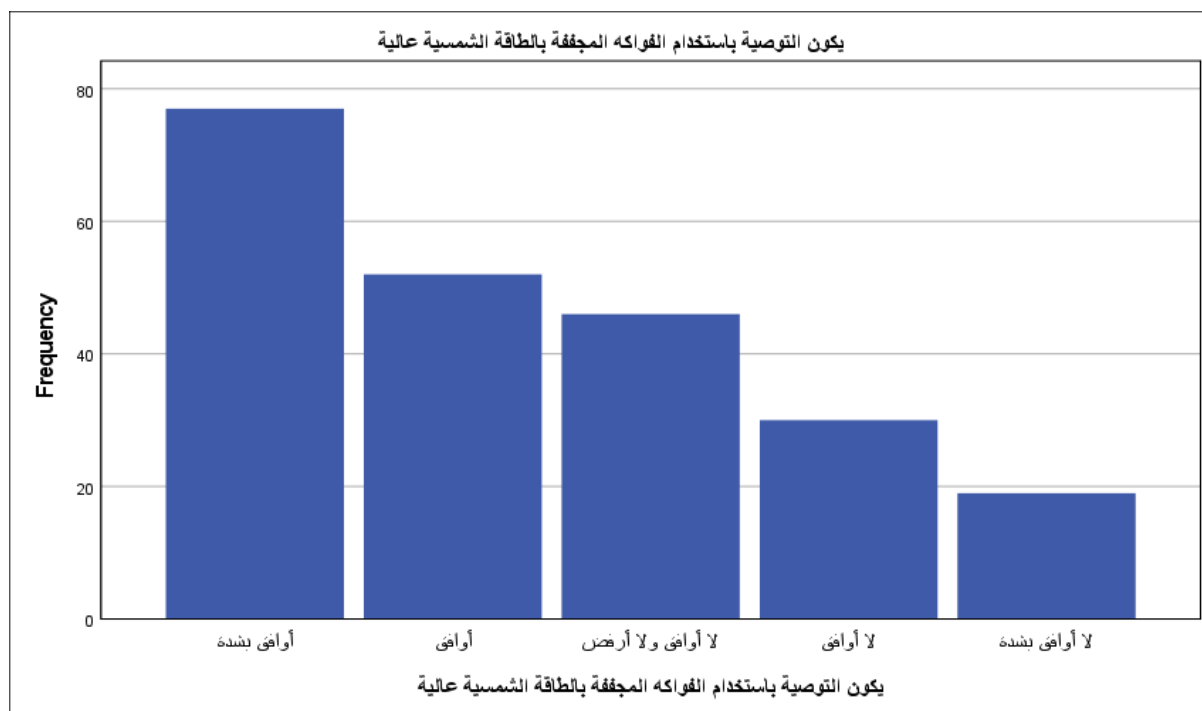
- يكون التوصية باستخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية عالية

تُتوج المؤشرات الإحصائية لمتغير "السلوك الترويجي" (Recommendation Behavior) سلسلة النتائج السابقة بتأكيداتها على نجاح تقنية التجفيف الشمسي في بناء "رصيد ثقة" مجتمعي يؤهلها للانتشار الأفقي، حيث أفرزت مصفوفة البيانات

كتلة صلبة من "المروجين النشطين" قوامها 57.6% من إجمالي العينة، تصدرتها الشريحة الأكثر حماساً (أوافق بشدة) بنسبة 34.4% (77 مشاركاً)، مدعومة بالفئة المؤيدة (أوافق) بنسبة 23.2%، وهذا الارتفاع في معدلات التوصية، رغم التحديات التشغيلية التي ظهرت في المتغيرات السابقة، يحمل دلالة سوسيولوجية عميقة تشير إلى أن المزارعين والمختصين يغلبون "القيمة الاستراتيجية" للمنتج النهائي (الجودة، التوفير، الاستدامة) على الصعوبات الإجرائية عند نصح أقرانهم، وفي حين حافظ 20.5% من المشاركين على موقف التحفظ المهني (الحياد)، فإن انحسار تيار "المثبطين" (Detractors) عند أدنى مستوياته الإجمالية في الدراسة بواقع 21.9% فقط (موزعة بين 13.4% رفض و 8.5% رفض شديد)، يقدم الدليل الختامي الأقوى على أن نموذج التجفيف الشمسي في المملكة قد تجاوز مرحلة التجريب الفني ليدخل مرحلة "المقبولية الاجتماعية" التي تعد الشرط المسبق لأي تبني زراعي واسع النطاق.

يكون التوصية باستخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية عالية					
		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	أوافق بشدة	77	34.4	34.4	34.4
	أوافق	52	23.2	23.2	57.6
	لا أوافق ولا أرفض	46	20.5	20.5	78.1
	لا أوافق	30	13.4	13.4	91.5
	لا أوافق بشدة	19	8.5	8.5	100.0
	Total	224	100.0	100.0	

جدول 21 : التحليل الإحصائي لكون التوصية باستخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية عالية



شكل توضيحي 20 : التمثيل البياني لكون التوصية باستخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية عالية

- اختبار المصدقية والموثوقية

أكدت مخرجات اختبارات الكفاءة السيكمومترية المخصصة لقياس جودة أداة البحث عن متانة البناء الهيكلي للاستبانة ومصدقية بياناتها، حيث أظهر ملخص معالجة الحالات (Case Processing Summary) اكتمالاً نموذجياً للعينة الخاضعة للتحليل بواقع 224 مشاهدة صالحة (بنسبة 100%) وخلوها التام من أي قيم مفقودة قد تشوه النتائج، وفي سياق تقييم الموثوقية الإحصائية، سجل معامل "ألفا كرونباخ" (Cronbach's Alpha) قيمة استثنائية بلغت 0.907، وهي نتيجة تتجاوز بمراحل العتبة المعيارية المقبولة في البحوث الاجتماعية والإدارية (المحددة عادة بـ 0.60 أو 0.70)، لتضع أداة الدراسة في نطاق "الثبات الممتاز"، ويعكس هذا الرقم المرتفع درجة عالية من الاتساق الداخلي (Internal Consistency) والتجانس العضوي بين الفقرات العشرين المكونة للمقياس، مما يبرهن إحصائياً على أن كافة محاور الاستبانة - بدءاً من الخصائص الحسية للمنتج ووصولاً إلى الجدوى الاقتصادية - تتضافر بدقة لقياس البناء النظري المستهدف دون تشتت، الأمر الذي يضفي صبغة الشرعية العلمية على النتائج المستنبطة ويؤكد صلاحية الأداة للتطبيق والتعميم بثقة عالية لرصد أثر التجفيف الشمسي على جودة الفواكه في المناطق الزراعية بالمملكة.

Case Processing Summary			
		N	%
Cases	Valid	224	100.0
	Excluded ^a	0	.0
	Total	224	100.0
a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.			

جدول 22 : ملخص التحليلات الإحصائية

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
.907	20

جدول 23 : اختبار الثبات والموثوقية

- تحليل الجداول المتقاطعة لمتغيرات الدراسة

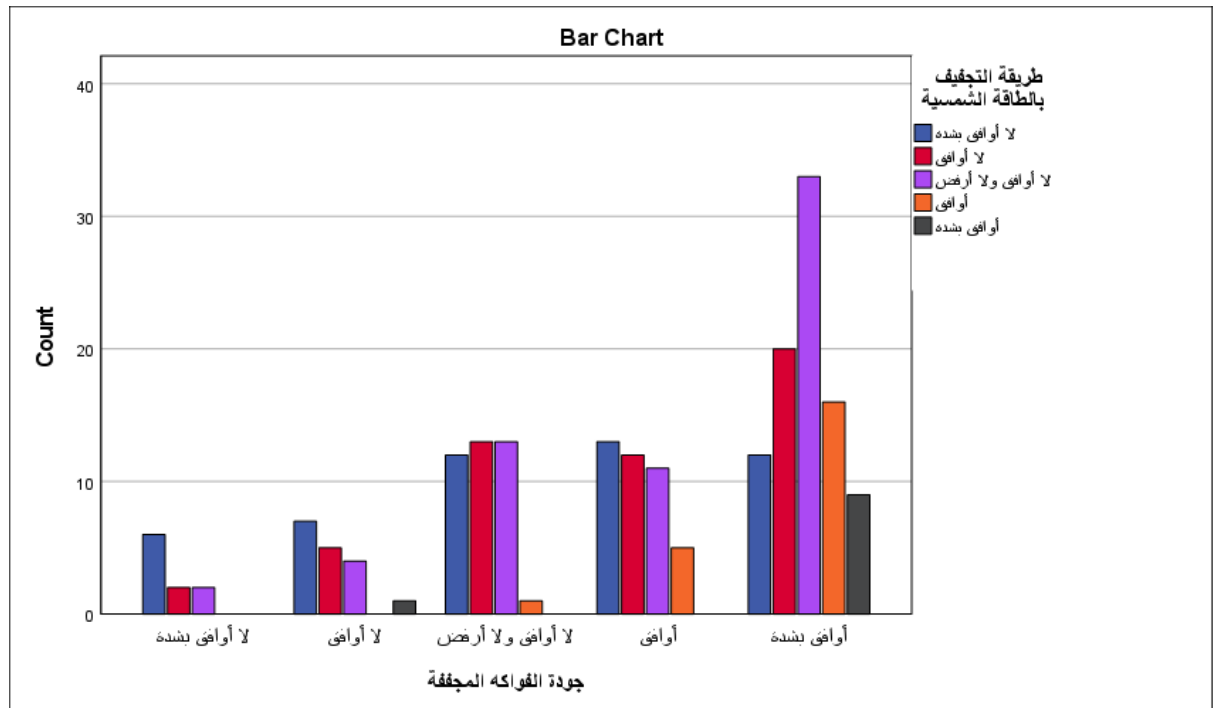
1) العلاقة بين جودة الفواكه المجففة وطريقة التجفيف بالطاقة الشمسية

من القراءة الاستدلالية لمصفوفة العلاقات المتقاطعة (Cross-tabulation) التي اختبرت طبيعة الارتباط بين "كفاءة تقنية التجفيف الشمسي" كمتغير مستقل و"جودة الفواكه المجففة" كمتغير تابع، كشفت عن وجود اعتمادية إحصائية جوهرية (Dependence) وتلازم وثيق بين المتغيرين، حيث سجلت قيمة اختبار "كاي تربيع ليرسون" (Pearson Chi-Square) مستوى 34.138، بقيمة احتمالية (P-value) بلغت 0.005، وهو ما يمثل كسراً واضحاً لحاجز المعنوية المعياري (0.05)، مما يقودنا إحصائياً إلى دحض الفرضية الصفرية القائلة باستقلال المتغيرات، وقبول الفرضية البديلة التي تؤكد أن جودة المنتج النهائي ليست محض صدفة بل هي نتاج مباشر ومرتبطة شرطياً بفاعلية الطريقة المستخدمة في التجفيف الشمسي، وتكتسب هذه النتيجة حصانة علمية إضافية بالنظر إلى دلالة "نسبة الترجيح" (Likelihood Ratio) التي جاءت دالة عند مستوى 0.001، فضلاً عن تأكيد اختبار "الارتباط الخطي" (Linear-by-Linear Association) لهذه العلاقة بقيمة احتمالية 0.000، مما يبرهن بشكل قاطع على أن التحسين في انضباط وكفاءة المنظومة الشمسية ينعكس

طردياً وبدلالة إحصائية على الخصائص النوعية للفواكه في المناطق الزراعية بالمملكة، رغم التحفظ الإحصائي البسيط المتعلق بتوزيع التكرارات المتوقعة في الخلايا، والذي لم يخل بقوة البرهان الإحصائي العام للعلاقة.

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	34.138 ^a	16	.005
Likelihood Ratio	40.914	16	.001
Linear-by-Linear Association	24.342	1	.000
N of Valid Cases	197		
a. 14 cells (56.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .51.			

جدول 24: اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة وطريقة التجفيف بالطاقة الشمسية



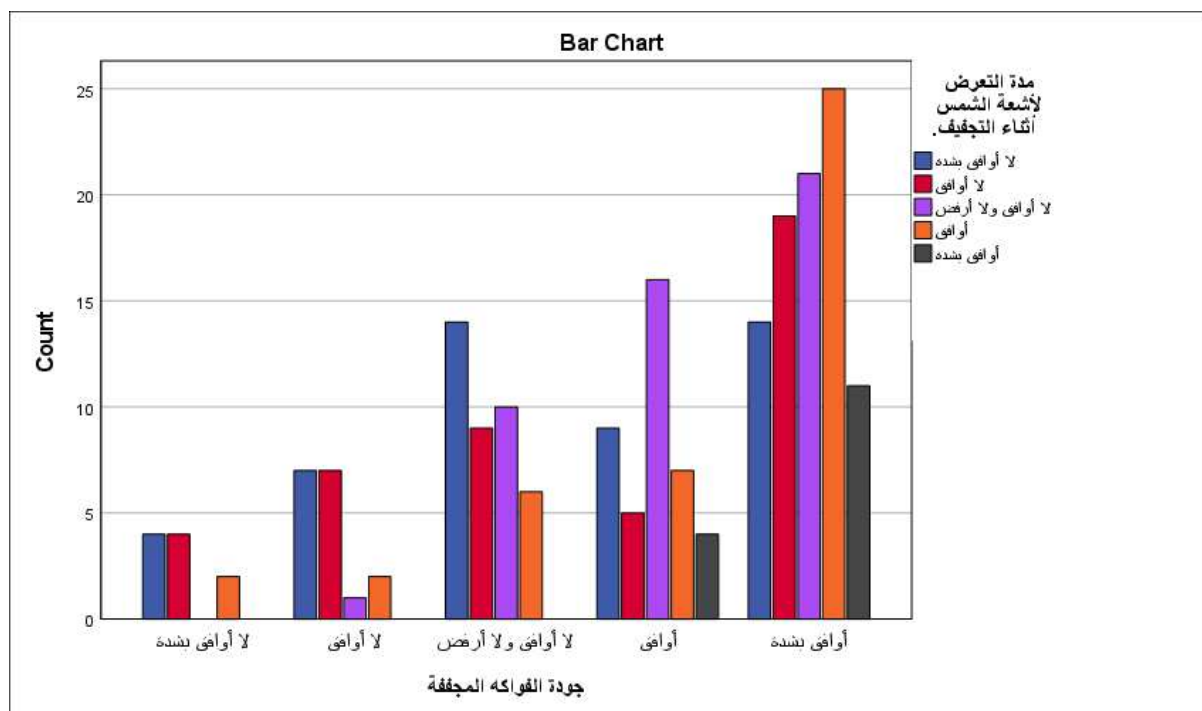
شكل توضيحي 21: المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة وطريقة التجفيف بالطاقة الشمسية

(2) العلاقة بين جودة الفواكه المجففة ومدة التعرض لأشعة الشمس أثناء التجفيف

تُبرهن المعالجة الاستدلالية الدقيقة لمصفوفة "الزمن - الجودة"، التي استهدفت فحص الارتباط بين المدة الزمنية للتعرض الشمسي (كمتغير مستقل) والمستوى النوعي للمنتج النهائي (كمتغير تابع)، عن وجود تلازم إحصائي وثيق وحاكم بين هذين البعدين، إذ أفرزت اختبارات "كاي تربيع" قيمة دالة إحصائية عند مستوى 33.897، مصحوبة بقيمة احتمالية (Sig) بلغت 0.006، وهي قيمة تقع بوضوح دون عتبة الخطأ المسموح به (0.05)، مما يقدم سنداً برهانياً قوياً لرفض الفرضية الصفرية وقبول الفرضية البديلة القائلة بأن الجودة ليست معطى عشوائياً بل هي دالة زمنية تتأثر جوهرياً بضبط فترات التشمس، وتتعزز موثوقية هذه النتيجة بالنظر إلى مؤشر "نسبة الترجيح" (Likelihood Ratio) الذي جاء دالاً عند مستوى 0.001، فضلاً عن تأكيد اختبار "الارتباط الخطي" (Linear-by-Linear Association) لهذه العلاقة السببية بقيمة احتمالية قطعية (0.000)، وهو ما يعني بلغة البحث التطبيقي أن "الانضباط الزمني" (Time Discipline) في عملية التجفيف يمثل حجر الزاوية للوصول إلى الخصائص الحسية والفيزيائية المثلى، وأن أي اختلال في تقدير المدة اللازمة – سواء بالإفراط أو التفريط – سينعكس سلباً وببدالة إحصائية على جودة الفواكه المجففة في البيئة المناخية للمملكة.

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	33.897 ^a	16	.006
Likelihood Ratio	40.738	16	.001
Linear-by-Linear Association	19.453	1	.000
N of Valid Cases	197		
a. 12 cells (48.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .76.			

جدول 25: اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة ومدة التعرض لأشعة الشمس أثناء التجفيف



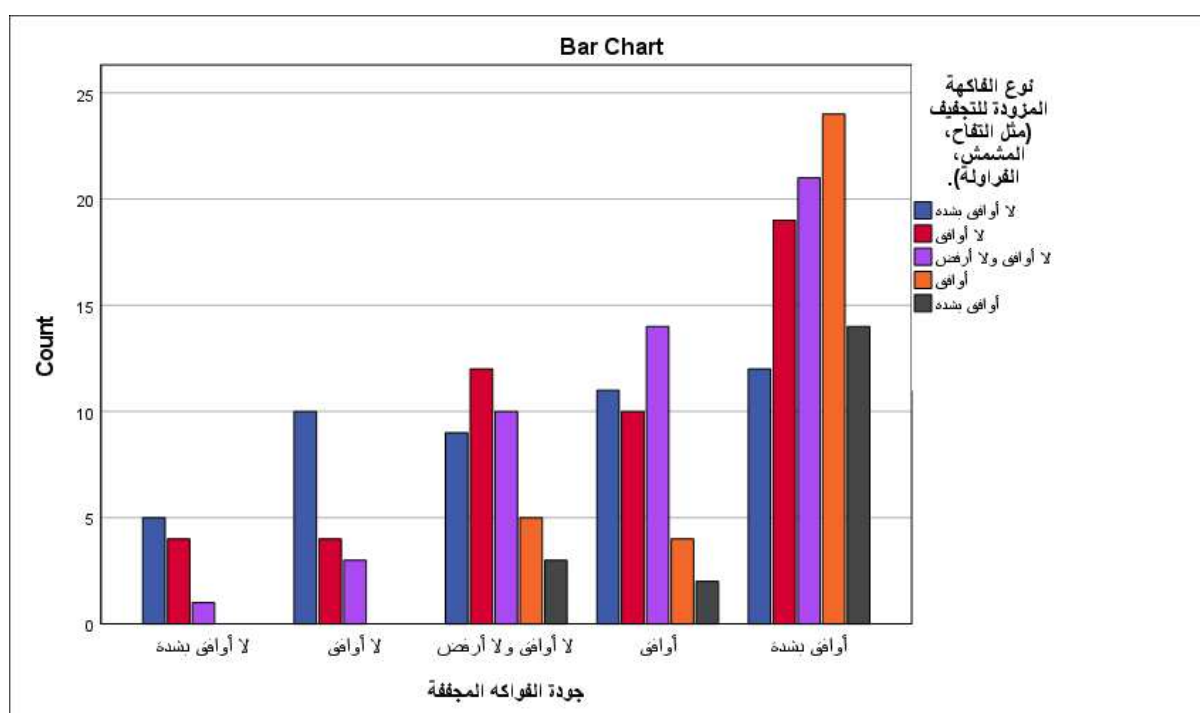
شكل توضيحي 22 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة ومدة التعرض لأشعة الشمس أثناء التجفيف

3) العلاقة بين جودة الفواكه المجففة ونوع الفاكهة المزودة للتجفيف (مثل التفاح، المشمش، الفراولة)

تكشف المعالجة الإحصائية المعمقة لمصفوفة "التباين الصنفي" والعلاقة الارتباطية بين نوع الفاكهة (كمتغير تصنيفي مستقل) ومستوى الجودة النهائية (كمتغير تابع)، عن حقيقة علمية جوهرية تؤكد أن نجاح التجفيف الشمسي ليس معطى مطلقاً بل هو عملية "انتقائية بيولوجياً"، حيث سجل اختبار "كاي تربيع" قيمة مرتفعة بلغت 39.015، مصحوبة بدلالة إحصائية قاطعة عند مستوى 0.001 (وهي قيمة تفوق بمراحل عتبة الثقة المعتادة 0.05)، مما يقدم برهاناً استدلالياً صارماً يدحض الفرضية الصفريّة القائلة بتماثل الاستجابة، ويُثبت بدلاً من ذلك أن الخصائص المورفولوجية والكيميائية لكل صنف (كتفاوت المحتوى السكري، وسمك القشرة، والنسيج الخلوي بين التفاح والمشمش مثلاً) تمثل محدداً حاكماً لمخرجات الجودة، وتتعزز هذه النتيجة بقيمة "نسبة الترجيح" (Likelihood Ratio) التي بلغت دلالتها 0.000، مما يعني أن المراهنة على "الخصوصية الصنفيه" للمحاصيل المزروعة في المملكة هي المدخل الصحيح لتعظيم العائد من تقنية التجفيف الشمسي، حيث تفرض الطبيعة الفسيولوجية للثمار شروطها الخاصة لضمان الحصول على منتج ذي مواصفات قياسية، بعيداً عن التعميم المخل الذي قد يفترض صلاحية كافة الأنواع لنفس بروتوكول المعالجة الحرارية.

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
Pearson Chi-Square	39.015 ^a	16	.001
Likelihood Ratio	42.839	16	.000
Linear-by-Linear Association	27.480	1	.000
N of Valid Cases	197		
a. 12 cells (48.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is .96.			

جدول 26 : اختبار كاي اسكوير للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة ونوع الفاكهة المزودة للتجفيف (مثل التفاح، المشمش، الفراولة)



شكل توضيحي 23 : المقاييس المتماثلة لتحليل الجداول المتقاطعة للعلاقة بين جودة الفواكه المجففة ونوع الفاكهة المزودة للتجفيف (مثل التفاح، المشمش، الفراولة)

- اختبار التباين الأحادي لمتغيرات الدراسة

أشارت لنا المؤشرات الإحصائية المتقدمة المستخرجة من تحليل التباين (ANOVA) للنموذج الانحداري متعدد المتغيرات عن كفاءة تنبؤية عالية للمعادلة المقترحة في تفسير التغيرات الحاصلة في جودة الفواكه المجففة، حيث أثبتت قيمة (F) المحسوبة البالغة 5.942 وجود دلالة إحصائية قطعية عند مستوى معنوية 0.000، مما يؤكد صلاحية النموذج الهيكلي الذي يدمج تأثيرات "طريقة التجفيف" و"نوع الفاكهة" و"مدة التعرض للشمس" كعوامل مجتمعة، وتتعزز هذه النتيجة بقيمة معامل الارتباط المتعدد (R) التي سجلت 0.528، مما يشير إلى وجود علاقة ارتباطية متوسطة القوة بين المتغيرات المستقلة والتابعة، في حين أوضح معامل التحديد (R Square) أن هذا النموذج يفسر ما نسبته 27.9 بالمائة من التباين الكلي في مستويات الجودة، وهي نسبة تفسيرية مقبولة في الدراسات الميدانية الزراعية التي تتسم بتعدد العوامل الخارجية المؤثرة (وهو ما يفسر القيمة المتبقية في البواقي)، إلا أن الدليل الإقناعي الأقوى يبرز من خلال عامل "بايز" (Bayes Factor) الذي سجل قفزة هائلة بلغت 1570.556، مقدماً بذلك "أدلة حاسمة" (Decisive Evidence) وفق تصنيفات الاستدلال البايزي لدحض الفرضية الصفريّة وترجيح كفة النموذج المقترح، مما يقطع الشك باليقين حول الدور الجوهري للمتغيرات الثلاثة (الطريقة، النوع، الزمن) في صياغة الجودة النهائية للمنتج.

ANOVA ^{a,b}					
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	79.915	12	6.660	5.942	.000
Residual	206.227	184	1.121		
Total	286.142	196			
a. Dependent Variable: جودة الفواكه المجففة					
b. Model: (Intercept), (مثل), طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية, نوع الفاكهة المزودة للتجفيف (مثل), التفاح, المشمش, الفراولة), مدة التعرض لأشعة الشمس أثناء التجفيف					

جدول 27: اختبار التباين الأحادي

Bayes Factor Model Summary ^{a,b}				
Bayes Factor ^c	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1570.556	.528	.279	.232	1.06

a. Method: JZS
b. Model: (Intercept), طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية, نوع الفاكهة المزودة , للتجفيف (مثل التفاح، المشمش، الفراولة), مدة التعرض لأشعة الشمس أثناء التجفيف
c. Bayes factor: Testing model versus null model (Intercept).

جدول 28 : ملخص نموذج معامل بايز

تعكس النتائج التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة مجموعة من الاتجاهات العلمية المهمة حول تأثير التجفيف بالطاقة الشمسية على جودة الفواكه المجففة في المناطق الزراعية بالمملكة، وهي نتائج تتوافق بدرجة كبيرة مع ما أشارت إليه الأدبيات العلمية المتعلقة بخصائص التجفيف الشمسي وفوائده وتحدياته. ويمكن القول إن عملية التجفيف بالطاقة الشمسية—عندما تُدار وفق أسس منهجية مضبوطة—تمكن من الحفاظ على جودة المنتج بدرجة مقبولة، مع وجود تفاوت واضح يرتبط بمتغيرات مثل طريقة التجفيف، ومدة التعرض للشمس، وطبيعة الفاكهة المجففة. وتشير هذه النتائج إلى أن نجاح التجفيف الشمسي ليس مجرد نتيجة لوفرة الطاقة الشمسية في المملكة، بل يعتمد على إدارة دقيقة للعوامل المرتبطة بالعملية.

أظهرت البيانات أن طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية كان لها تأثير مباشر على جودة المنتج النهائي. فقد بينت النتائج أن الطرق المنظمة، التي تعتمد على مجففات شمسية مغلقة أو شبه مغلقة، ساهمت في الحفاظ على اللون الطبيعي والخصائص الحسية للثمار بدرجة أعلى مقارنة بالطرق التقليدية المكشوفة. ويُفسّر ذلك بأن المجففات المغلقة تساعد في التحكم النسبي بدرجة الحرارة وتقليل التعرض للملوثات الخارجية، مما يقلل من التفاعلات الأكسدية وتغيرات اللون. ويرتبط هذا التفسير بما طرحته النظريات المتعلقة بانتقال الحرارة وتأثيرها في ثبات المركبات النباتية الحساسة مثل الفينولات والكاروتينات، وهو ما يعزز صدقية النتائج ويجعلها منسجمة مع الأسس العلمية للتجفيف.

أما فيما يتعلق بـ مدة التعرض لأشعة الشمس، فقد أظهرت النتائج وجود علاقة طردية إلى حد معين بين مدة التعرض وانخفاض نسبة الرطوبة في الفاكهة، إلا أن الملاحظ أن زيادة المدة بشكل مفرط ارتبطت بظهور آثار غير مرغوبة مثل تصلب القوام، وفقدان بعض العناصر الغذائية الحساسة للحرارة، واختلاف درجة اللون عن الحالة الطبيعية. وهذا يؤكد أهمية إدارة الزمن المستخدم في التجفيف وعدم تركه عشوائياً، إذ إن الفاكهة قد تصل إلى مستوى الرطوبة المطلوب قبل اكتمال مدة التعرض المحددة تقليدياً، ما يتطلب وجود أنظمة مراقبة تساعد على تحديد الوقت الأمثل لإنهاء العملية. وتُبرز هذه النتائج أن التجفيف الشمسي ليس مجرد عملية ترك الفواكه تحت أشعة الشمس، بل هو عملية حرارية حساسة تتطلب مراقبة فلسفية دقيقة تُوازن بين إزالة الماء وحماية الجودة.

وعند تحليل النتائج الخاصة باختلاف نوع الفاكهة، تبين أن تأثير التجفيف الشمسي ليس ثابتاً على جميع الأصناف. فقد أظهرت الفواكه ذات القوام الأكثر تماسكاً، مثل التفاح، قدرة أعلى على الاحتفاظ بجودتها مقارنة

بالفواكه الرقيقة ذات الأنسجة السريعة التأثر، مثل الفراولة. أما المشمش، فقد ظهر أنه الأكثر حساسية لتغير اللون بسبب احتوائه على مركبات كاروتينية تتأثر بسهولة بالحرارة والضوء، مما أدى إلى تغيرات لونية واضحة عندما تمت زيادة مدة التعرض لأشعة الشمس أو عندما انخفض مستوى التحكم في درجة الحرارة داخل المجفف. وتدل هذه النتائج على أن التجفيف الشمسي لا يمكن تطبيقه بصيغة واحدة على جميع أنواع الفواكه، بل يحتاج إلى نماذج تشغيل خاصة بكل نوع لضمان أفضل جودة.

وعند ربط النتائج بالإطار النظري، يتضح أن ما تم التوصل إليه ينسجم مع المبادئ الفيزيائية والكيميائية التي تشير إلى أن التجفيف عملية تعتمد على التوازن بين الطاقة الحرارية المتاحة وقدرة النسيج النباتي على تحمل تلك الطاقة دون أن يتعرض للتلف أو التدهور. فقد بينت الدراسة أن ارتفاع درجات الحرارة داخل بعض المجففات أدى إلى زيادة سرعة التجفيف لكنه في المقابل أضعف جودة اللون والنكهة، ما يعكس المفاضلة بين تقليل الوقت والحفاظ على الخصائص الحسية. ويدعم هذا ما أشارت إليه الدراسات المتعلقة بردود فعل المركبات الغذائية تجاه الحرارة، خاصة تلك التي تفقد ثباتها عند تجاوز درجات حرارة محددة.

كما تُظهر المناقشة أن العوامل المناخية في المملكة، مثل ارتفاع شدة الإشعاع وطول مدة سطوع الشمس، شكلت بيئة ملائمة للتجفيف الشمسي، ولكنها تفرض في الوقت نفسه تحديات تتعلق بالتحكم في الحرارة والرطوبة المحيطة. فقد اتضح أن المناطق الأكثر جفافاً كانت أكثر ملائمة لإنتاج فواكه مجففة ذات جودة أعلى مقارنة بالمناطق ذات الرطوبة الأعلى، وهو ما يتسق مع النظريات المتعلقة بانتقال الرطوبة وتأثير البيئة الخارجية على عملية التجفيف.

إن النتائج التي عالجتها المناقشة تؤكد أن التجفيف بالطاقة الشمسية يمثل خياراً اقتصادياً وبيئياً مناسباً للمملكة، ولكنه ليس بالضرورة الخيار الأمثل من حيث جودة المنتج إذا لم تتم إدارته بشكل علمي منظم. وتشير المعطيات إلى أن تعزيز جودة الفواكه المجففة يتطلب تطوير المجففات الشمسية، وضبط مدة التعرض، وتخصيص طرق مختلفة حسب نوع الفاكهة، بما يضمن تحقيق توازن بين سهولة التطبيق وانخفاض التكلفة من جهة، والحفاظ على جودة المنتج من جهة أخرى.

الخاتمة

تختتم هذه الدراسة مسارًا بحثيًا استهدف فهم أثر تجفيف الفواكه بالطاقة الشمسية على جودة المنتج في المناطق الزراعية في المملكة، وذلك في إطار سعي علمي لتقييم أحد الحلول التقنية الواعدة التي تجمع بين الكفاءة البيئية والبعد الاقتصادي والملاءمة المناخية للبيئة المحلية. ومن خلال تحليل البيانات ومناقشة النتائج، أمكن الوصول إلى جملة من الاستنتاجات التي تسهم في تشكيل رؤية واضحة حول فاعلية التجفيف الشمسي، والإمكانات التي يحملها، والتحديات التي تواجه تحسين جودة الفواكه المجففة باستخدامه.

أظهرت الدراسة أن التجفيف بالطاقة الشمسية يمثل خيارًا عمليًا وذو جدوى عالية في السياق الزراعي المحلي، نظرًا لتوفر المناخ الملائم وارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي في معظم مناطق المملكة. غير أن النتائج بيّنت في الوقت نفسه أن جودة الفواكه المجففة تتأثر بشكل ملحوظ بمجموعة من المتغيرات المتعلقة بطريقة التجفيف، ومدة التعرض للشمس، وطبيعة الفاكهة نفسها. وقد كشفت هذه النتائج أن نجاح عملية التجفيف لا يعتمد فقط على توفر الشمس كمصدر للطاقة، بل يتطلب إدارة دقيقة لهذه المتغيرات بما يضمن الوصول إلى منتج يتسم بمواصفات حسية وغذائية عالية.

كما بينت الدراسة أن الطرق المنظمة للتجفيف—مثل استخدام المجففات الشمسية شبه المغلقة أو المزودة بنظام تهوية مضبوط—قد أسهمت في تحقيق مستوى أعلى من الجودة مقارنة بالتجفيف المكشوف التقليدي، إذ ساعدت هذه الوسائل في تقليل فقدان اللون والحفاظ على النكهة وتقليل التعرض المباشر للملوثات. وفي المقابل، كشفت النتائج أن طول مدة التعرض لأشعة الشمس، خاصة في المناطق الحارة، قد يؤدي إلى تدهور بعض الخصائص الحسية في حال لم تتم مراقبة العملية بدقة. وهذا يؤكد أن التجفيف الشمسي، رغم أنه تقنية بسيطة ظاهريًا، إلا أنه يتطلب ضبطًا منهجيًا للعوامل التشغيلية لضمان أفضل النتائج.

ومن الجوانب المهمة التي ركزت عليها الدراسة هو الاختلاف في استجابة أنواع الفاكهة المختلفة لعملية التجفيف الشمسي. فقد تبين أن الفواكه ذات البنية الأكثر تماسكًا تتحمل درجات الحرارة المرتفعة وتحافظ على جودتها بدرجة أفضل من الفواكه الحساسة التي تتأثر بسرعة، مثل الفراولة. وهذا يؤكد أن لكل نوع من الفواكه خصائصه التي تملئ شروطًا معينة للتجفيف، وهو ما يشير إلى ضرورة تطوير بروتوكولات تجفيف متخصصة تراعي طبيعة كل محصول.

تكشف الدراسة أن الاستفادة المثلى من التجفيف بالطاقة الشمسية لا تتحقق فقط عبر استخدام التقنية، بل من خلال تطوير منظومة متكاملة تتضمن تحسين تصميم المجففات، ومراقبة زمن التعرض، وتخصيص آليات مختلفة بحسب نوع الفاكهة. كما أشارت الدراسة إلى أن البيئة المناخية المتنوعة للمملكة يمكن أن تشكل ميزة إذا ما تم استغلالها بشكل علمي، إلا أنها قد تمثل تحدياً في المناطق التي ترتفع فيها الرطوبة أو تنخفض فيها حركة الهواء، مما يستوجب تصميم حلول تتلاءم مع اختلافات الظروف البيئية.

إن هذه الدراسة تُسهم في توفير معرفة علمية وتطبيقية حول فعالية التجفيف الشمسي، كما تُبرز أهمية تطويره ليصبح خياراً أكثر كفاءة وجودة في مستقبل الصناعات الزراعية والغذائية في المملكة. وتفتح هذه النتائج الباب أمام أبحاث مستقبلية يمكن أن تستكشف تقنيات مساندة مثل التجفيف الهجين (الشمسي-الكهربائي) أو دراسة تأثير إضافة مواد طبيعية للحفاظ على اللون والنكهة خلال التجفيف. كما يمكن البناء على هذه النتائج في تطوير سياسات داعمة لاستخدام الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي، بما يحقق استدامة الموارد، ويعزز من القيمة المضافة للمحاصيل الزراعية المحلية.

تؤكد الدراسة أن التجفيف بالطاقة الشمسية، رغم بساطته النسبية واعتماده على مصدر طبيعي متجدد، يبقى عملية علمية تحتاج إدارة دقيقة للتفاصيل لضمان جودة المنتج النهائي. ومن شأن تطبيق التوصيات المستخلصة من هذه الدراسة أن يرفع من كفاءة التجفيف وجودة الفاكهة المجففة، مما يسهم في تطوير هذا القطاع الحيوي ويدعم جهود المملكة نحو تعزيز الإنتاج الزراعي المستدام.

التوصيات

1. توصي الدراسة بضرورة تحسين تصميم المجففات الشمسية، والانتقال من الطرق المكشوفة التقليدية إلى مجففات شمسية شبه مغلقة أو مزودة بأنظمة تهوية وضبط حرارة، وذلك للحد من التلوث الخارجي والحفاظ على اللون والنكهة والقيمة الغذائية للفاكهة.
2. تشير النتائج إلى أهمية عدم اعتماد مدة ثابتة للتجفيف لجميع أنواع الفواكه، بل تحديد فترات زمنية مختلفة تناسب مع خصائص كل فاكهة، لتجنب فقدان العناصر الغذائية الحساسة أو تغير اللون بشكل غير مرغوب.
3. نظرًا لاختلاف استجابة الفواكه للحرارة، وخاصة الفواكه الحساسة مثل الفراولة، توصي الدراسة بإعداد بروتوكولات تجفيف مفصلة تحدد درجة الحرارة المثلى، وسمك شرائح الفاكهة، والمدة المناسبة لكل نوع على حدة.
4. توصي الدراسة بضرورة تطبيق قياسات دورية خلال التجفيف مثل متابعة معدل فقد الرطوبة، وقياس درجة الحرارة داخل المجفف، ومراقبة التغير اللوني، لضمان عدم تجاوز الحدود التي تؤثر سلبًا على الجودة.
5. تؤكد الدراسة الحاجة إلى تدريب المزارعين والعاملين على أفضل الطرق العلمية لإدارة عمليات التجفيف، وفهم تأثير كل متغير على جودة المنتج النهائي.
6. توصي الدراسة بتشجيع الأبحاث التي تهدف إلى دمج الطاقة الشمسية مع مصادر أخرى منخفضة الاستهلاك لتحسين ثبات الحرارة وتقليل زمن التجفيف، خاصة في الفواكه التي تتطلب معاملة حرارية دقيقة.
7. توصي الدراسة بتحديد المناطق الأكثر ملاءمة للتجفيف الشمسي وفق الرطوبة ودرجة الحرارة وشدة الإشعاع، واستخدام نتائج هذه الدراسة لتوجيه التوسع في التجفيف الشمسي في المناطق ذات المناخ الأنسب.
8. رفع الوعي لدى المنتجين والمستهلكين بأهمية الجودة الناتجة عن التجفيف المنظم حيث أظهرت النتائج أن الجودة ترتبط بمدى ضبط العملية وليس مجرد التعرض للشمس، توصي الدراسة بحملات توعية تبين أهمية اتباع المعايير العلمية للحصول على منتجات أفضل.

9. تقترح الدراسة تطوير معايير خاصة بتجفيف الفواكه، تشمل الحد الأدنى المقبول للرطوبة المتبقية، واللون، والطعم، والقيمة الغذائية، لضمان جودة موحدة ومنافسة في الأسواق.

10. تشجيع الاستثمار في تقنيات الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي لدعم الاستدامة وتقليل التكاليف على المدى البعيد، توصي الدراسة بزيادة الدعم الحكومي والخاص للمزارعين من أجل تبني أنظمة تجفيف شمسية أكثر تطورًا وكفاءة.

المراجع

- Abraha, B. (2024). Methods and Application of Statistical Analysis in Food Technology. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/328744141_Methods_and_Application_of_Statistical_Analysis_in_Food_Technology
- Alemu, T. T. (2025). A comprehensive review of edible coatings for postharvest management of fruits and vegetables: enhancing food and nutrition security. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s44279-025-00348-8>
- Arowosegbe, O. B. (2024). Combating food waste in the agricultural supply chain: A systematic review of supply chain optimization strategies and their sustainability benefits. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/384695832_Combating_food_waste_in_the_agricultural_supply_chain_A_systematic_review_of_supply_chain_optimization_strategies_and_their_sustainability_benefits
- Boateng, I. D. (2022). Recent processing of fruits and vegetables using emerging thermal and non-thermal technologies. A critical review of their potentialities and limitations on bioactives, structure, and drying performance. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/364964249_Recent_processing_of_fruits_and_vegetables_using_emerging_thermal_and_non-thermal_technologies_A_critical_review_of_their_potentialities_and_limitations_on_bioactives_structure_and_drying_performance
- Devi, M. (2023). Sustainable valorisation of postharvest waste for disease control and quality preservation in fruits and vegetables. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X25006646?dgcid=rss_sd_all
- Dopirak, M. (2025). Effect of Passive Solar Drying on the Quality Characteristics of Apricots. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/23/12750>
- Editor, R. C. (2024). Fruits and Vegetable Wastes Overview of Food Loss and Waste in Fruits and Vegetables: From Issue to Resources. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/383684147_Fruits_and_Vegetable_Wastes_Overview_of_Food_Loss_and_Waste_in_Fruits_and_Vegetables_From_Issue_to_Resources
- García-Moreira, D. P. (2025). Controlled Solar Drying as a Sustainable Strategy to Preserve Color and Minimize Food Waste. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2624-7402/7/11/392>
- Habib, M. (2025). The future of the future foods: understandings from the past towards SDG-2. Retrieved from <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12255795/>
- Hasan, M. U. (2019). Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/337011332_Modern_drying_techniques_in_fruits_and_vegetables_to_overcome_postharvest_losses_A_review
- Kidane, H. (2025). Characterizing agricultural product drying in solar systems using thin-layer drying models: comprehensive review. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s44187-025-00362-1>

- Kushwah, A. (2023). Optimization of drying parameters for hybrid indirect solar dryer for banana slices using response surface methodology. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582022010679>
- Mafe, A. N. (2024). A review on food spoilage mechanisms, food borne diseases and commercial aspects of food preservation and processing. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X24002478>
- Mahiuddin, M. (2018). Shrinkage of Food Materials During Drying: Current Status and Challenges: Shrinkage of food materials during drying.... Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/326482080_Shrinkage_of_Food_Materials_During_Drying_Current_Status_and_Challenges_Shrinkage_of_food_materials_during_drying
- Moreira, D. P. (2025). Controlled Solar Drying as a Sustainable Strategy to Preserve Color and Minimize Food Waste. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/397722187_Controlled_Solar_Drying_as_a_Sustainable_Strategy_to_Preserve_Color_and_Minimize_Food_Waste
- Munarso, S. J. (2022). Advances in Postharvest Technology and Its Implementation. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/361356584_Advances_in_Postharvest_Technology_and_Its_Implementation
- Mushtaq, A. (2025). Post-harvest quality management of sweet corn: Disorders, losses and preservation strategies. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S3050843625000071>
- Nnamchi, O. (2025). Solar dryers: A review of mechanism, methods and critical analysis of transport models applicable in solar drying of product. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949720525000050>
- Omolola, A. O. (2015). Quality Properties of Fruits as Affected by Drying Operation. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/272187429_Quality_Properties_of_Fruits_as_Affected_by_Drying_Operation
- Panda, S. N. (2024). Solar Energy's Role in Achieving Sustainable Development Goals in Agriculture. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/380538342_Solar_Energy's_Role_in_Achieving_Sustainable_Development_Goals_in_Agriculture
- Petikirige, J. (2022). Effect of drying techniques on quality and sensory properties of tropical fruits. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/362911189_Effect_of_drying_techniques_on_quality_and_sensory_properties_of_tropical_fruits
- Prasad, G. (2024). Solar Drying Technology for Agricultural Products: A Review. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/383680753_Solar_Drying_Technology_for_Agricultural_Products_A_Review
- Queiroz, L. (2024). Flavor Engineering: A comprehensive review of biological foundations, AI integration, industrial development, and socio-cultural dynamics. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996924011700>

- Razak, A. A. (2021). Recent advances in solar drying system: A Review. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/354155506_Recent_advances_in_solar_drying_system_A_Review
- Rizalman, M. K. (2023). A review of solar drying technology for agricultural produce. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/371207708_A_review_of_solar_drying_technology_for_agricultural_produce
- Saissi, M. (2024). The Methodology of Formulating Research Problem and Hypotheses. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/383790666_The_Methodology_of_Formulating_Research_Problem_and_Hypotheses
- Udomkun, p. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720306629>
- Ufitikirezi, J. d. (2024). Agricultural Waste Valorization: Exploring Environmentally Friendly Approaches to Bioenergy Conversion. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/9/3617>
- Urugo, M. M. (2024). Addressing post-harvest losses through agro-processing for sustainable development in Ethiopia. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154324003533>
- Zaman, W. (2025). Plant–Microbe Interactions for Improving Postharvest Shelf Life and Quality of Fresh Produce Through Protective Mechanisms. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2311-7524/11/7/732>

الملاحق

الاستبانة

الإجابة					الأسئلة
					1- الأسئلة العامة
60+	50-60	40-50	30-40	20-30	العمر
			أنثى	ذكر	الجنس
دكتوراه	ماجستير	شهادة عليا	درجة البكالوريوس	شهادة الدراسة الثانوية	الدرجة العلمية
					2- أسئلة الإستهتبان
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	تحتفظ الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية بلونها الطبيعي
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يكون ملمس الفواكه المجففة مقبولاً
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	لا يتأثر حجم الفواكه المجففة بشكل كبير بعد التجفيف
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يبدو مظهر الفواكه المجففة مغرياً
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	تقل احتمالية تلف الفواكه المجففة مقارنة بالطرق الأخرى
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يكون طعم الفواكه المجففة جيداً
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	تحتفظ الفواكه المجففة بمذاقها الطبيعي
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	لا تؤثر عملية التجفيف على القيمة الغذائية للفواكه
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	تكون رطوبة الفواكه المجففة مناسبة
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	تكون الفواكه المجففة صالحة للتخزين لفترة طويلة دون فقدان الجودة
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	تعتبر طريقة التجفيف بالطاقة الشمسية فعالة مقارنة بالطرق التقليدية
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	تكون مدة التعرض للشمس مناسبة لتحقيق جودة جيدة
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	تكون كمية الشمس المستخدمة كافية لتجفيف الفواكه بشكل متجانس
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يؤثر نوع الفاكهة على جودة المنتج بعد التجفيف
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يكون الرضا العام عن الفواكه المجففة مرتفعاً
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	تكون إمكانية الاستمرار في استخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية جيدة
أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة	يكون التوصية باستخدام الفواكه المجففة بالطاقة الشمسية عالية

Abstract

This study aims to evaluate the impact of solar fruit drying on product quality in agricultural areas of the Kingdom, focusing on the relationship between the drying method, sun exposure duration, and fruit type, and the resulting quality level. The study employed a quantitative methodology for data collection and analysis, selecting a sample of 224 research units, including farms and agricultural sites utilizing solar drying, as well as workers involved in the drying process. The results showed that the quality of dried fruits is significantly affected by the drying method, sun exposure duration, and fruit type. Controlled and semi-enclosed drying methods preserved the color, flavor, and nutritional value of the fruit better than traditional open-air methods. The study also indicated that firmer fruits, such as apples, tolerate drying better than more delicate fruits like strawberries and apricots. Based on these findings, the study recommends improving the design of solar dryers, adjusting exposure duration according to fruit type, developing specialized operating protocols for each crop, training workers, and maximizing the utilization of the Kingdom's diverse climatic conditions. These recommendations contribute to improving the quality of dried fruits and enhancing the efficiency of solar energy in the agricultural sector.

Keywords: Fruit drying, solar energy, product quality, solar drying, exposure time, fruit type, Saudi Arabia.

Midocean University
College of Management
Master of Business Administration



**The Impact of Solar Fruit Drying on Product Quality: An Applied Study in
Agricultural Regions of the Kingdom**

Prepared by/

Sahar Ahmed Mohammed Al-Hazmi

University ID/

251000360

Supervised by/

Dr. Faisal Abdul Hamid

Dr. Fayez Jarad

Year

2025