الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليـم العالـي والبحـث العلمـي
جامعـة قاصـدي مربـاح ورقلـة
كليـة الرياضيات وعلـوم المـادة
قسـم الكيمياء

مذكـرة مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي
فـي الكيـمياء.
التخصص: الكيمياء تطبيقية

من إعداد: *بن مريم محمد ريان*

بعنـوان:

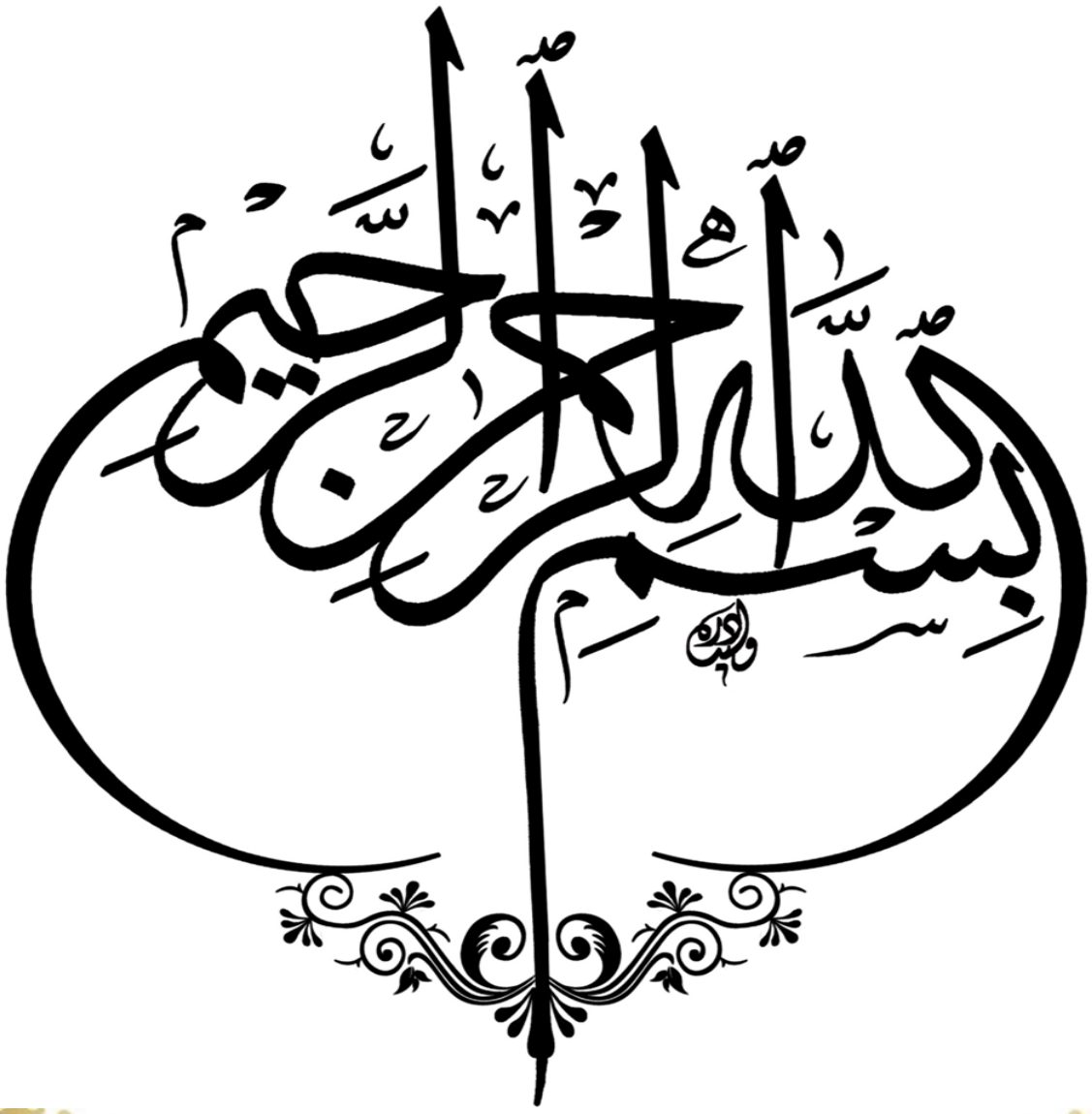
تثمين تمر الغرس منخفض الجودة لإنتاج الإيثانول وتطوير جهاز هيدرو متري مبتكر بسيط لمراقبة التخمر الكحولي وفي إطار مؤسسة ناشئة.

نوقشت علنا يوم:21/05/2026

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

سعيدات مصطفى	أستاذ محاضر أ	رئيسا
بن علي مصطفى	أستاذ محاضر أ	مناقشا
بن منين عبد القادر	أستاذ تعليم عال	مـشرفا
بن مبروك لزهر	أستاذ	ممثل الحاضنة
حمدات مراد	أستاذ	ممثل الشريك الإقتصادي

السنة الجامعية: 2025 - 2026


بسم الله الرحمن الرحيم

أعوذ بالله من الشيطان الرجيم

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

﴿وَقُل رَّبِّ أَدْخِلْنِي مُدْخَلَ صِدْقٍ وَأَخْرِجْنِي مُخْرَجَ صِدْقٍ وَاجْعَل لِّي مِن لَّدُنكَ سُلْطَانًا نَّصِيرًا﴾.

(سورة الإسراء، الآية 80).

﴿وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ ۚ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ﴾.

(سورة هود، الآية 88)

﴿يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ﴾.

(سورة المجادلة، الآية 11)

﴿وَمِن ثَمَرَاتِ النَّخِيلِ وَالْأَعْنَابِ تَتَّخِذُونَ مِنْهُ سَكَرًا وَرِزْقًا حَسَنًا ۗ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ﴾.

(سورة النحل، الآية 67)

إهـــداء.. نصرٌ وعزة

الحمدُ للهِ الذي نَصَر، وأعزَّ مَن أهدي ثمرةَ جُهدي هذا، ونحنُ على يقينٍ أنَّ العِلمَ سِلاح، وأنَّ المِدادَ رفيقُ الكِفاح."

إلى مَن ربَّياني على العزةِ والكرامة، وبذلا لِيَ الغاليَ لِأصلَ هذه المهامة؛ والدي العزيز.. وأمي الغالية.. يا من ساقيتماني حُبَّ الأرضِ وقُدسيةَ القلم.

إلى القابضين على الجَمْر، الثابتينَ في وجهِ الدَّهر؛ إلى طُهرِ "فلسطين" وعِزةِ "غزة".. إلى الأبطالِ الذين علَّمونا أنَّ القممَ لا تُنالُ إلا بالصمود، وأنَّ الفجرَ آتٍ لا محالةَ رغمَ القيود.

أهدي هذا النجاحَ إلى كلِّ مَن رفعَ لواءَ الحقِّ عالياً، وبقيَ في مَيادينِ الشرفِ صامداً ومُرابطاً.

"وإنهُ لجهادٌ.. نصرٌ أو استشهاد."

أَهْدِي نَجَاحِي لِلأُلَى صَمَدُوا

فِي أَرْضِ غَزَّةَ لِلْعُلا صَعِدُوا

بِالعِلْمِ نَبْنِي مَجْدَ أُمَّتِنَا

وَبِعِزِّ أَهْلِي يَفْخَرُ الوَلَدُ

فَلَسْطِينُ فِي قَلْبِي وَفِي قَلَمِي

نَصْرٌ قَرِيبٌ.. هَكَذَا الوَعْدُ

محمد ريان

شُكرٌ وعِرفان

{رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَىٰ وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ}

الحَمدُ للهِ الذي وفَّقنا لتمامِ هذا العمل، والصلاةُ والسلامُ على مَن كان عِلمُهُ نوراً وهُدى، وعلى آلهِ وصحبهِ ومن اهتدى.

انطلاقاً من قوله صلى الله عليه وسلم: "مَن لَم يَشكُرِ النَّاسَ لَم يَشكُرِ اللهَ"، أتقدمُ بخالصِ الشكرِ وعظيمِ الامتنان إلى أستاذي الفاضل: بن منين عبد القادر، الذي لم يبخل عليَّ بتوجيهاتِهِ القيمة، ورؤيتِهِ العلميةِ الرصينة التي كانت لنا مَناراً طيلةَ فترةِ إعدادِ هذه المذكرة.

كما أتوجهُ بالشكرِ الجزيل إلى السادةِ الأفاضل أعضاءِ لجنةِ المناقشة الموقرين، لقبولِهم تقييمَ هذا الجهدِ المتواضع، وإثرائِهِ بملاحظاتِهم السديدة التي لا شك أنها ستُقوّم اعوجاج البحث وتزيده قيمة.

والشكرُ موصولٌ بفيضِ التقدير إلى كلِّ أساتذتي الكرام في جامعة قاصدي مرباح ورقلة، وكلِّ من علَّمني حرفاً أو مَهَّدَ لي درباً في سبيلِ العلمِ والمعرفة، وإلى القائمين على مخبر لمساعدتهم القيمة لنا.

ختاماً.. أرجو من اللهِ العليِّ القدير أن يجعلَ هذا العملَ خالصاً لوجهِهِ الكريم، ونافعاً لأمتي ووطني، وأن يبارك في كل من مدّ لنا يد العون،

كما نشكر زملائنا ورفقائنا في الدراسة والإقامة الجامعية لخضاري.

ان الحياة ألم يخففه أمل وأمل يحققه عمل وعمل ينهيه أجل وبعد ذلك يجزي الله كل إمرئ بما فعل.

محمد ريان

فهرس
المحتويات

فهرس المحتويات

الإهداء I
الشكر والعرفان II
فهرس المحتويات III
قائمة الجداول IV
قائمة الأشكال IV
قائمة الرموز IV
الملخص (عربي، فرنسي، إنجليزي) 1
المقدمة العامة (الإشكالية، الأهداف، الفرضيات، هيكلة المذكرة) 5

الفصل الأول: عموميات حول نخيل التمر وصنف "الغرس " 9
1.1نخيل التمر: الأصل والتوزيع الجغرافي 10
1.2الوصف النباتي والمورفولوجي لنخلة التمر 10
1.3ثمرة التمر ومراحل نموها 11
1.4صنف تمر الغرس: المورد الاستراتيجي لورقلة 12

1.4.1 الخصائص الكيميائية والفيزيائية لتمر الغرس 14
1.5إشكالية التمور منخفضة الجودة والفاقد الاقتصادي 13
1.6القيمة الغذائية والمركبات الفينولية في تمر الغرس 13

الفصل الثاني: الإيثانول الحيوي والتخمر الكحولي 16
2.1مدخل إلى الوقود الحيوي وأهمية الإيثانول 17
2.2الخصائص الفيزيائية والكيميائية للإيثانول 17
2.3الأساس البيوكيميائي للتخمر الكحولي 18
2.4العوامل المؤثرة على مردود إنتاج الكحول 19
2.5تقنيات الفصل والتركيز (التقطير التقليدي وتحت الضغط المخفض) 19
خالصة الفصل الثاني 20

الفصل الثالث: الجانب التطبيقي والمخبري 22
3.1المواد الكيميائية والأدوات المخبرية المستعملة 24
3.2بروتوكول استخلاص السكريات وتحضير النقيع من تمر الغرس 24
3.3حركية التنشيط والتخمير: إدارة الظروف التجريبية والتحكم في الوسط 25
3.3.1مرحلة التهوية الحركية وتوليد الكتلة الحيوية لخميرة 26
3.3.2بروتوكول الخمول المؤقت (الحفظ الحراري وتحت التبريد) 26
3.3.3التحفيز الحراري الميكانيكي الحركي وانطلاق التخمير الالهوائي الصارم 26

3.4بروتوكول المتابعة الزمنية والصرامة التجريبية في الإقامة الجامعية 27
3.4.1التحكم في الحركية الحرارية للحمام المائي والمراقبة الدورية 27
3.4.2تتبع الحركية البصرية لتصاعد غاز CO_2 والكتامة الالهوائية 28
3.5القياسات المخبرية الختامية ومعايرة الحموضة 29
3.5.1حساب الفقد الكتلي الحركي وكفاءة انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون 29
3.5.2بروتوكول المعايرة الحجمية (حمض-أساس) وتحديد الحامضية النظامية للوسط 30
3.5.3دراسة حركية الأكسدة الحيوية وتتبع تشكل حمض الخليك..... 30
3.6مناقشة حركية التخمر والنتائج الفيزيائية والكمية 31
3.6.1تقييم كفاءة الفصل ومردودية المبخر الدوار تحت نظام الخلاء العالي 31
3.6.2تفسير ظاهرة التحرر الفجائي والاحتجاز الغازي لـ CO_2 أثناء الترشيح 32
3.6.3مناقشة نتائج التحاليل الطيفية (FTIR / UV-Vis) 32
3.6.4ظاهرة التخمر التلقائي في العينة الاحتياطية 34
3.6.5معالجة الأعطال التقنية وتأثير كفاءة الخلاء الميكانيكي على التقطير الحراري 34
3.7دراسة استقرار ونقاء مركب الإيثانول 35
3.7.1آلية التثبيط الحركي بالتبريد لحماية المنتج من التلوث البكتيري 35
3.7.2اختبار الاشتعال وتقييم التركيز بالجهاز الهيدرومتري المبتكر 35
خالصة الفصل الثالث 39

الفصل الرابع: الابتكار التقني، النمذجة الهيدرومترية ومشروع المؤسسة الناشئة (القرار 1275).....41

4.1تطوير وتصميم الجهاز الهيدرومتري المبتكر محلياً 42
4.1.1المبادئ الفيزيائية لتصميم الهيكل الخارجي وأنبوب المعايرة الحجمية 42
4.1.2الهندسة الحمائية للنموذج الأولي: نظام التثبيت الميكانيكي والعزل الهيدروليكي 42
4.2دراسة كفاءة ومراقبة الجودة باستخدام نظام القياس الابتكاري 43
4.2.1قياسات الكثافة الكتلية التجريبية وعلاقتها بقوانين طفو أرخميدس 43
4.2.2مطابقة الكثافة المحصل عليها (0.9880) بالجداول القياسية واستنتاج التركيزالكحولي(10%).....43
4.2.3تقييم كفاءة الاستجابة الحركية وتأثير تباين الحرارة خارج الشروط القياسية 43
4.2.4تفسير ظاهرة هجرة الجزيئات السليلوزية والعفصية (Tannins) من القطع الخشبية التجريبية 43
4.3الجانب المقاولاتي ومخطط نموذج العمل التجاري (BMC) للمؤسسة الناشئة 44
4.4حماية الملكية الفكرية وإجراءات براءة الاختراع لحاضنة الأعمال 45
4.5استشرافية المشروع وتوسعاته المستقبلية في ضوء التجارب الجزائرية الناجحة 45
4.5.1نمذجة مصنع بسكرة كمرجع واقعي 45
4.5.2آليات تنافس وشراكة المؤسسة الناشئة مع هذا النموذج الصناعي 45
4.5.3توصيات للانتقال من المخبر إلى المصغر الصناعي(Scale-up) 45
4.6الجدوى الاقتصادية والبيئية لاستغلال التمر منخفض الجودة والنفايات 46

4.6.1حساب التكلفة التقريبية لإنتاج لتر من الإيثانول الحيوي 46
4.6.2الفائدة الاقتصادية الحالية للتمور منخفضة الجودة في ورقلة وتوقرت 46
4.6.3الجانب البيئي: تحويل نفايات التمور إلى منتج ذو قيمة عالية يقلل من التلوث.....46

الخاتمة العامة (مع اختبار الفرضيات) 48
التوصيات والآفاق المستقبلية 51
المراجع العامة 56
الملاحق 58
ملحق (1): صورة الجهاز المبتكر 59
ملحق (2): شهادة التسجيل في حاضنة الأعمال 60
ملحق (3): منحنيات التحليل الطيفي(FTIR) و(UV-Vis) 62

قائمة الاشكال:

الشكل(I-1)	التوزيع الجغرافي لزراعة النخيل في العالم	11
الشكل(I-2)	صورة أجزاء لنخلة التمر	12
الشكل(I-3)	خريطة توضح التوزيع الجغرافي لأصناف النخيل في الجزائر	13
الشكل(I-4)	صورة لشجرة نخيل التمر	13
الشكل(I-5)	مراحل تطور ثمرة النخيل	14
الشكل (II-1)	بنية الإيثانول 3D	18
الشكل(III-1)	عملية تحضير ووزن تمر الغرس	26
الشكل(III-2)	عملية تحضير وتحلل مستخلص التمر	26
الشكل(III-3)	عملية الترشيح التتابعي ثلاثي المراحل	26
الشكل(III-4)	عملية تنشيط الخميرةS. cerevisiae	27
الشكل(III-5)	عينتا المستخلص الملقحة وغير الملقحة	28
الشكل(III-6)	المفاعل الحيوي لإنتاج الإيثانول	28
الشكل(III-7)	عملية المراقبة الدورية لتوفر الشروط الملائمة	29
الشكل(III-8)	تتبع الحركية لتصاعد CO_2	30
الشكل(III-9)	معايرة الحموضة بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم	32
الشكل(III-10)	عملية تقطير الإيثانول الناتج بواسطة المبخر الدوار	33
الشكل(III-11)	ظاهرة التحرر الفجائي والاحتجاز الغازي لـCO_2	34
الشكل (III-12)	ظاهرة التخمر التلقائي في العينة المرجعية	37
الشكل(III-13)	صور الجهازين وتأثير كفاءة الخلاء ودورها الحاسم	38
الشكل (III-14)	تقييم اختبار الاشتعال للمستخلص الكحولي	39
الشكل (III-15)	مقياس انكسار رقمي	41
الشكل (IV-1)	تصميم الهيكل الخارجي للجهاز الهيدرومتري المبتكر	44

قائمة الرموز:

الدلالة	الرمز
الطول الموجي نانومتر(nm)	λ
لأس الهيدروجيني	pH
ثاني أكسيد الكربون	CO_2
مجموعة الهيدروكسيل	O–H
رابطة كربون–أكسجين (كحولية)–	C–O
مجموعة الكربونيل	C=O
مطيافية الأشعة تحت الحمراء	FT–IR
مطيافية الأشعة فوق البنفسجية والمرئية	UV–Vis
الانعكاس الكلي المخمد في FT–IR	ATR
كروماتوغرافيا الغاز – مطيافية الكتلة	GC–MS
نموذج العمل التجاري– (Business Model Canvas)	BMC
نسبة حجمية%	v/v
نسبة المواد الصلبة الذائبة	Brix

قائمة الجداول:

الرقم	العنوان	الصفحة
(II–1)	الخصائص الفيزيائية والكيميائية للإيثانول	19
(III–1)	المتابعة الحركية الموحدة للأوزان وتطور حموضة وسط التخمير	31
(III–2)	الحزم والقمم الاهتزازية الملاحظة في طيفFTIR	35
(III–3)	نتائج التحليل الطيفي UV–Vis للعينتين	36
(IV–1)	مخطط نموذج العمل التجاري (BMC) لتسويق جهاز الهيدرومتر المبتكر	48

الملخص:

يهدف هذا العمل، في إطار القرار الوزاري 1275، إلى تثمين تمر الغرس منخفض الجودة بإنتاج الإيثانول الحيوي، وتطوير مقياس هيدرومتري محلي لمراقبة التخمر، ودراسة الجدوى الاقتصادية لمشروع ناشئ. تم تحضير مستخلص سكري من التمر، وإخضاعه للتخمر اللاهوائي بواسطة خميرة Saccharomyces cerevisiae تحت ظروف حرارية و pHمضبوطة، مع متابعة حركية التفاعل. أظهرت النتائج استهلاكاً ملحوظاً للسكريات وتحرر غازCO_2 ، مصحوباً بانخفاض في الحموضة. تم فصل المستخلص الكحولي الخام بالمبخر الدوار، وأكدت التحاليل الطيفية FTIR) و-UV Vis)هويته الكيميائية. صُمم جهاز هيدرومتري مبتكر وفق مبدأ أرخميدس، وتمت معايرته، مسجلاً قراءة كثافة تتوافق مع تركيز كحولي معتبر. أثبتت الدراسة جدوى تحويل الفكرة إلى مؤسسة ناشئة ضمن الاقتصاد الدائري، مع إيداع طلب براءة اختراع للجهاز المطور .

الكلمات المفتاحية: تمر الغرس، تخمر كحولي، إيثانول حيوي، مبخر دوار، جهاز هيدرومتري مبتكر، مطيافيةFTIR ، مطيافيةUV-Vis ، مؤسسة ناشئة، اقتصاد دائري، القرار الوزاري 1275، ورقلة.

"ملاحظة هامة: إلتزاماً بمقتضيات القرار الوزاري 1275 المتعلق بآليات (شهادة جامعية - مؤسسة ناشئة) ، وحفاظاً على السرية الصناعية وحقوق الملكية الفكرية الخاصة ببراءة الاختراع المودعة للجهاز والعملية البيوتكنولوجية ، فقد تم تعميم بعض البيانات الرقمية الدقيقة والبروتوكولات التفصيلية في هذه النسخة الموجهة للنشر

.تبقى التفاصيل التقنية والحسابية كاملة محفوظة في السجل السري الخاص بالمشروع والمقدم للجنة المناقشة".

Résumé:

Cette étude, s'inscrivant dans le cadre du décret ministériel 1275, vise à valoriser les dattes Ghars de faible qualité par bioconversion en bioéthanol, à développer un hydromètre local innovant, et à étudier la faisabilité économique d'une startup. Un extrait sucré a été fermenté par Saccharomyces cerevisiae dans des conditions contrôlées. Le suivi cinétique a confirmé la consommation des sucres via un dégagement gazeux et une baisse du pH. L'éthanol a été séparé par évaporateur rotatif, et son identité confirmée par spectroscopies FTIR et UV-Vis. Un prototype d'hydromètre à faible coût, basé sur le principe d'Archimède, a été conçu et calibré, affichant une densité correspondant à un titre alcoométrique significatif. L'étude prouve la viabilité économique du projet et la protection de l'innovation par un dépôt de brevet, s'inscrivant dans une économie circulaire durable.

Mots-clés : **Dattes Ghars, fermentation alcoolique, bioéthanol, évaporateur rotatif, hydromètre innovant, spectroscopie FTIR, spectroscopie UV-Vis, startup, économie circulaire, décret ministériel 1275, Ouargla.**

"Note importante : Conformément aux dispositions du décret ministériel 1275 relatif aux mécanismes (Diplôme - Startup) ،et afin de préserver le secret industriel et les droits de propriété intellectuelle liés aux brevets déposés pour le dispositif et le processus biotechnologique ،certaines données numériques précises et protocoles détaillés ont été généralisés dans cette version destinée à la publication. L'intégralité des détails techniques et calculs reste conservée dans le registre confidentiel du projet présenté au jury de soutenance."

Abstract:

This study, carried out under Ministerial Decree 1275, aims to valorize low-quality Ghars dates through bioethanol production, develop an innovative local hydrometer, and assess the economic feasibility of a startup project. A sugary extract was prepared from dates and subjected to anaerobic fermentation using Saccharomyces cerevisiae under controlled thermal and pH conditions, with kinetic monitoring. Results confirmed significant sugar consumption, CO_2 release, and a drop in acidity. The crude alcoholic extract was recovered by rotary evaporation, with its chemical identity confirmed by FTIR and UV-Vis spectroscopy. A low-cost hydrometer prototype, based on Archimedes' buoyancy principle, was designed and calibrated, showing a density reading corresponding to a

considerable alcohol concentration. The study demonstrates the economic viability of transforming this innovation into a sustainable startup within a circular economy framework, with a patent application filed for the developed device.

Important Note: In compliance with the requirements of Ministerial Decree 1275 regarding the (Diploma - Startup) mechanism ،and to safeguard the industrial secrecy and intellectual property rights associated with the patents filed for both the device and the biotechnological process ،certain precise numerical data and detailed protocols have been generalized in this published version. The complete technical and computational details remain preserved in the project's confidential records submitted to the examination committee."

Keywords: Ghars dates, alcoholic fermentation, 4bioethanol, rotary evaporator, innovative hydrometer, FTIR spectroscopy, UV-Vis spectroscopy, startup, circular economy, Ministerial Decree 1275, Ouargla.

المقدمة العامة

مقدمة العامة (Introduction Générale):

تُمثل النخلة عنصراً محورياً في النسيج الاجتماعي، البيئي، والاقتصادي لواحات الجنوب الجزائري؛ إذ تُشير الشواهد الأثرية والتاريخية إلى أن علاقة الإنسان بهذه الشجرة تعود إلى آلاف السنين قبل الميلاد، مما يكشف مكانتها المحورية منذ بدايات الاستقرار البشري في المنطقة [1]. وتأسيساً على هذا الامتداد الحضاري، تحتل الجزائر اليوم مكانة مرموقة على خارطة إنتاج التمور عالمياً، حيث تُشير الإحصاءات الرسمية إلى امتلاك ثروة نخيل تفوق 19 مليون نخلة، تنتج سنوياً أزيد من 1.3 مليون طن من مختلف الأصناف [2]. غير أن هذه الوفرة الإنتاجية الكبيرة لا تُترجم بالضرورة إلى قيمة اقتصادية كاملة؛ إذ يُلاحظ أن جزءاً معتبراً من المحصول السنوي يفقد قيمته التسويقية جراء عوامل طبيعية وموسمية متعددة، تشمل التلف، سوء التخزين، وتراجع الجودة المورفولوجية. وتُشير التقديرات الأكاديمية إلى أن كميات التمور التالفة أو رديئة الجودة قد تصل إلى حوالي 30% من إجمالي الإنتاج، وهو ما يعادل قرابة 400 ألف طن من التمور غير الموجهة للاستهلاك البشري المباشر.[2]

في سياق مقاربات الاقتصاد الأخضر والتنمية المستدامة التي تراهن على تحويل المخلفات الزراعية إلى موارد منتجة [3]، فإن هذه الكميات المهدرة من التمور تختزن في الحقيقة قيمة بيوكيميائية كامنة معتبرة. ويُعزى ذلك أساساً إلى تركيبتها الغنية بالسكريات البسيطة سهلة التمثيل الغذائي، مما يجعلها مادة خام مثالية للتحويل البيوتكنولوجي وإنتاج مواد ذات قيمة مضافة عالية بدل تركها عرضة للضياع [4]. وضمن هذا المنظور، تم التركيز في هذا البحث على صنف "تمر الغرس "تحديداً، نظراً لخصائصه الفسيولوجية الفريدة؛ حيث يتميز باحتوائه على تركيزات مرتفعة من السكريات الأحادية سريعة التحلل، مما يعزز كفاءته كمادة أولية واعدة في إنتاج الكحول الإيثيلي عبر مسار التخمر الكحولي، وبمؤشرات قد تتفوق على عدة مصادر نباتية تقليدية أخرى مستخدمة في إنتاج الإيثانول الحيوي.[5]

انطلاقاً من هذه المعطيات، تتحدد الإشكالية المركزية لهذا البحث في السؤال الرئيسي التالي :

إلى أي مدى يمكن تثمين التمور منخفضة الجودة من صنف "الغرس "لإنتاج الإيثانول الحيوي، مع تطوير جهاز هيدرومتري مبتكر لمراقبة العملية، وصياغة نموذج عمل مقاولاتي مستدام في إطار القرار الوزاري 1275؟

الفرضيات:

لاختبار هذه الإشكالية، تم صياغة الفرضيات التالية :

.1الفرضية الأولى: يمكن تحقيق تحويل بيولوجي ناجح لسكريات تمر الغرس الرديء إلى إيثانول حيوي تحت ظروف تخمير لاهوائي مضبوطة، مع إمكانية متابعة تقدم التفاعل كمياً.

.2 الفرضية الثانية: يمكن تصميم وتطوير جهاز هيدرومتري محلي، بسيط ومنخفض التكلفة، قادر على قياس كثافة المحاليل الكحولية والمائية بدقة فيزيائية مقبولة، ليكون أداة مراقبة ميدانية فعالة.

.3الفرضية الثالثة: يشكل الجمع بين إنتاج الإيثانول الحيوي من مخلفات التمور والجهاز الهيدرومتري المطور عرضاً ذا قيمة استثمارية، يمكن من بناء نموذج عمل تجاري لمؤسسة ناشئة قابل للاستمرار والاستدامة اقتصادياً تماشياً مع آليات القرار الوزاري 1275.

أهداف الدراسة

بناءً على الإشكالية والفرضيات المصاغة، يتوخى هذا العمل تحقيق الأهداف الآتية:

.1على المستوى العلمي (الفصل الثالث): دراسة حركية تخمر مستخلص تمر الغرس وتحليل خصائصه البنيوية طيفياً عبر تقنيات FTIR وUV–Vis ، مع تشخيص دقيق لتحديات كفاءة الفصل وعلاقتها بموازنة المادة.

.2 على المستوى الابتكاري (الفصل الرابع): تصميم وتطوير نموذج أولي لجهاز هيدرومتري محمول ومنخفض التكلفة، معاير فيزيائياً داخل المختبر لقياس كثافة السوائل المائية والكحولية بدقة سريعة ومباشرة.

.3على المستوى الريادي (الفصل الرابع): تصميم نموذج عمل تجاري شامل للمشروع (BMC) وإنجاز دراسة جدوى اقتصادية مبدئية لتقييم فرص تحويل الفكرة إلى مؤسسة ناشئة مدرة للدخل ومطابقة للقرار الوزاري رقم 1275 .

هيكلة المذكرة

لتحقيق هذه الأهداف المسطرة والإجابة عن الإشكالية المطروحة، تم تقسيم هذه المذكرة إلى أربعة فصول متكاملة ومتسلسلة منطقياً :

·الفصل الأول: يستعرض الإطار النظري والمفاهيم الأساسية المرتبطة بنخيل التمر وصنف "الغرس"، بالإضافة إلى الخصائص التركيبية للتمور وقيمتها الغذائية.

· الفصل الثاني: يتناول الإيثانول الحيوي والتخمر الكحولي، آلياته البيوكيميائية، العوامل المؤثرة على كفاءة الإنتاج، وتقنيات الفصل والتركيز.

· الفصل الثالث: يصف الجانب التطبيقي والتجريبي بالتفصيل، متضمناً بروتوكولات تحضير مستخلص التمر، التخمير اللاهوائي، التقطير بالمبخر الدوار، والتحاليل الطيفية FTIR) و(UV–Vis ، مع عرض النتائج المخبرية وتحليلها ومناقشتها.

·الفصل الرابع: يُعنى بالجانب الهندسي والابتكاري (تصميم الجهاز الهيدرومتري)، والجانب المقاولاتي (دراسة الجدوى الاقتصادية ونموذج العمل التجاري)، مع استشراف آفاق تطوير المشروع في ضوء التجارب الصناعية الوطنية الناجحة.

الفصل الأول

عموميات حول نخيل التمر وصنف "الغرس"

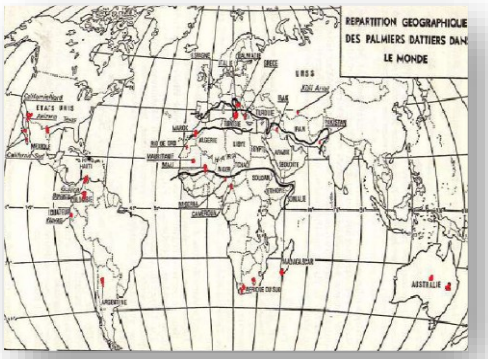
-1-الجزء النظري:

تمهيد الفصل الأول:

يُشكّل نخيل التمر أحد أبرز الثروات الزراعية في الجزائر، وأكثرها تجذراً في النسيج الاقتصادي والاجتماعي للمناطق الصحراوية، وعلى رأسها منطقة ورقلة. وتُعد ثمار التمر، بتنوع أصنافها وغناها بالمكونات الغذائية والطاقوية، مادة خام استراتيجية للصناعات التحويلية. ومن بين هذه الأصناف، يبرز تمر "الغرس "كأحد أهم الأصناف المحلية التي تتمتع بقدرة عالية على التحلل البيوكيميائي، مما يجعله مرشحاً مثالياً لتطبيقات التثمين الصناعي، وعلى رأسها إنتاج الإيثانول الحيوي. غير أن جزءاً كبيراً من هذا المحصول يُفقد قيمته التسويقية سنوياً، ويتحول إلى تمور منخفضة الجودة يصعب استهلاكها مباشرة، مما يُشكّل هدراً اقتصادياً ومشكلة بيئية في آن واحد. يهدف هذا الفصل إلى تقديم دراسة شاملة حول نخيل التمر، بدءاً من أصله وتوزيعه الجغرافي، مروراً بوصفه النباتي ومراحل نمو ثمرته، وصولاً إلى تحليل التركيب الكيميائي لصنف الغرس، مع تسليط الضوء على إشكالية التمور الرديئة والفاقد الاقتصادي الناتج عنها.

1.1 نخيل التمر: الأصل والتوزيع الجغرافي:

تعد نخلة التمر (Phoenix dactylifera L.) من أقدم الأشجار التي استأنسها الإنسان، وأكثرها تكيفاً مع قساوة المناخ الصحراوي. لقد ارتبط تاريخها بتاريخ الحضارات الكبرى في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، حيث ورد ذكرها في القرآن الكريم والسنة النبوية والكتب السماوية، مما يُبرز قيمتها الغذائية والاقتصادية والروحية العظيمة. ويعود تاريخ زراعة النخيل إلى أكثر من عشرة آلاف سنة، وقد تضاربت آراء الباحثين حول موطنها الأصلي؛ إذ يرجح البعض أنها نشأت في منطقة الخليج العربي ومنها انتقلت إلى بلاد الرافدين (بابل)، في حين يرى آخرون أن منشأها يعود إلى المنطقة شبه الجافة الممتدة من السنغال غرباً حتى حوض الأندلس شمالاً، ومنها انتشرت إلى باقي أنحاء العالم[6] .



الشكل (1-I) : التوزيع الجغرافي لزراعة النخيل في العالم[6] .

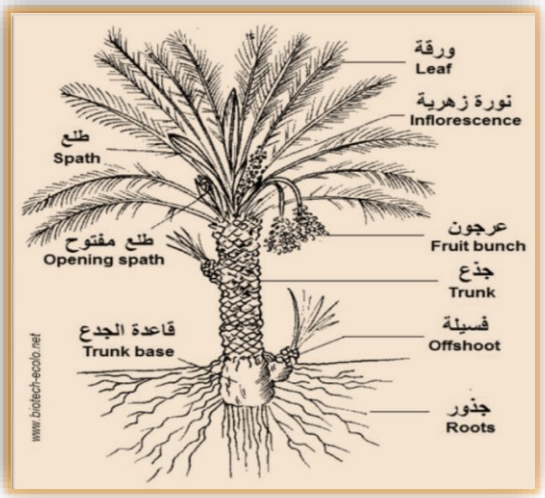
واليوم، تُزرع النخلة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة عبر خمس قارات، غير أن منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا تظل قلب الإنتاج العالمي، حيث تستحوذ على أكثر من 90% من المساحة المزروعة والإنتاج. وتحتل الجزائر، بتنوع أصنافها واتساع واحاتها، مرتبة متقدمة ضمن الدول المنتجة الكبرى [6].

1.2الوصف النباتي والمورفولوجي لنخلة التمر:

تنتمي نخلة التمر إلى الفصيلة النخيلية(Arecaceae) ، وهي من أبرز نباتات أحاديي الفلقة، وتتميز بكونها ثنائية المسكن (أي توجد أفراد مذكرة وأخرى مؤنثة)، مما يستوجب التدخل البشري عبر عملية التلقيح اليدوي لضمان إنتاجية اقتصادية. يتركب جسم النخلة من أجزاء رئيسية متكاملة وظيفياً:[6] .

- **المجموع الجذري:**

يتصف النظام الجذري للنخيل بكونه جذراً حزمياً لا وتدي، ينتشر أفقياً وعمودياً لمسافات كبيرة بحثاً عن الرطوبة. وينقسم وظيفياً إلى أربع مناطق: منطقة التنفس القريبة من السطح، ثم منطقة الجذور المغذية، ثم منطقة الجذور المتوسطة، وأخيراً منطقة الامتصاص العميقة التي قد تتعمق إلى أكثر من 1.8 متر لتصل إلى المياه الجوفية. هذه القدرة تمنح النخلة مقاومة استثنائية للجفاف[6] .



الشكل(2–I) : صورة أجزاء نخلة. ..التمر[6]

- **الجذع والجمارة:**

الجذع هو ساق أسطوانية خشبية مغطاة بقواعد السعف القديم، ينمو طولياً بمعدل يتراوح بين 30 و90 سم سنوياً حسب الصنف والظروف البيئية. أما الجمارة فهي القمة النامية الحساسة الوحيدة والموجودة في قلب رأس النخلة، وهي المسؤولة عن إنتاج السعف الجديد والأزهار؛ وأي ضرر يلحق بها يؤدي إلى موت النخلة حتماً[6] .

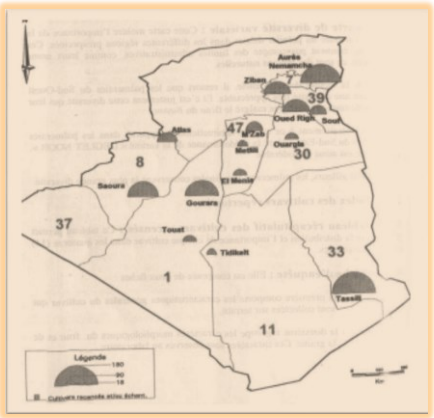
- **السعف والطلع:**

السعفة هي ورقة مركبة ريشية الشكل، يتراوح طولها بين 3 و6 أمتار. تتكون من نصل قوي يُعرف بـ "الخوص"، وأشواك عند القاعدة. أما الطلع فهو الغلاف الورقي الذي يحمي الأزهار قبل التفتح، وعند النضج يتشقق ليخرج منه العرجون الذي يحمل الأزهار المذكرة أو المؤنثة[6].

1.3 ثمرة التمر ومراحل نموها:

الثمرة هي الجزء الاقتصادي الأهم في النخلة، وهي من الناحية النباتية ثمرة عنبية (Berry) وحيدة البذرة (النواة). تمر الثمرة بخمس مراحل نمو أساسية تتميز بخصائص كيميائية وفيزيائية متغيرة، وهي حسب التسلسل الزمني [6]:

- **الحبابوك:** مرحلة ما بعد الإخصاب مباشرة، تكون فيها الثمرة صغيرة الحجم، كروية، بيضاء اللون، وتحتوي على نسبة عالية من الرطوبة.
- **الكمري:** تكتسب الثمرة اللون الأخضر، ويتباطأ انقسام الخلايا لتبدأ مرحلة الاستطالة السريعة وزيادة الحجم والوزن.
- **الخلال (البسر):** مرحلة تحول اللون من الأخضر إلى الأصفر أو الأحمر حسب الصنف. يبدأ تراكم السكريات، وتتصلب النواة تدريجياً.
- **الرطب:** تبدأ الثمرة بفقدان الماء من أطرافها، فيلين القوام ويصبح شفافاً عسلياً، ويزداد تركيز السكريات لتصبح حلوة المذاق.
- **التمر:** المرحلة النهائية من النضج، حيث تفقد الثمرة جزءاً كبيراً من مائها لتقل نسبة الرطوبة إلى أقل من 25%، مما يسمح بحفظها وتخزينها لفترات طويلة.



الشكل(3-I) : خريطة توضح التوزيع الجغرافي لأصناف النخيل في الجزائر.

1.4 صنف "تمر الغرس" المورد الاستراتيجي لورقلة:

يُعتبر تمر "الغرس "أحد أهم الأصناف النخيلية المحلية وأكثرها تأقلماً في منطقة ورقلة والجنوب الشرقي الجزائري. وهو صنف لين يمتاز بحلاوته الفائقة وطراوة قوامه،

مما يجعله مفضلاً للاستهلاك المباشر والتحويل الصناعي على حد سواء. تكمن الأهمية الاستراتيجية لهذا الصنف في قدرته العالية على التحلل والتحول البيوكيميائي، وهي خاصية تجعله المادة الخام المثلى لإنتاج مجموعة من المشتقات الصناعية كالكحول الإيثيلي، والخل الطبيعي، والسكر السائل، والخميرة [6].

1.4.1 الخصائص الكيميائية والفيزيائية لتمر الغرس :

يحتوي تمر الغرس على تركيب كيميائي معقد ومتوازن يجعله غذاءً كاملاً ومادة أولية صناعية واعدة. المكونات الأساسية للثمرة هي:

- **السكريات:** تُمثل المكون الصلب الرئيسي، حيث تُشكل أزيد من 70% من الوزن الجاف للثمرة. وتغلب عليها السكريات المختزلة (الجلوكوز والفركتوز) التي تمتاز بسرعة هضمها وامتصاصها المباشر من جهة، وقابليتها العالية للتخمر المباشر بواسطة الخمائر دون الحاجة إلى تحليل إنزيمي مسبق (كما هو الحال مع السكروز) من جهة أخرى [7].
- **البروتينات والدهون:** توجد بنسب أقل؛ إذ يُقدر متوسط محتوى البروتين بين 2.3% و5.6%، بينما تتراوح نسبة الدهون الخام بين 0.5% و0.9% من الوزن الجاف [7].
- **الماء (الرطوبة):** تختلف باختلاف مرحلة النضج والمناخ، وتتراوح في طور التمر بين 8% و35% من الوزن الطازج.
- **العناصر المعدنية:** يُعد التمر مصدراً ممتازاً للعناصر المعدنية الضرورية للعمليات الحيوية، ومنها المنغنيز، الزنك، النحاس، والكروم، بالإضافة إلى نسب معتبرة من البوتاسيوم والمغنيسيوم [7].

الشكل(I-5) :مراحل تطور ثمرة النخيل

الشكل(I-4) : صورة لشجرة نخيل التمر

1.5إشكالية التمور منخفضة الجودة والفاقد الاقتصادي:

على الرغم من الجودة العالية التي تتميز بها بعض الأصناف التجارية مثل "دقلة نور"، إلا أن جزءاً كبيراً من إنتاج التمور في الجزائر عموماً، وفي ولاية ورقلة خصوصاً، يُصنف سنوياً ضمن فئة "التمور الضايعة" أو "الحشف". يرجع ذلك إلى جملة من العوامل المترابطة، أبرزها: ظروف الجني غير المثلى، سوء التخزين في مستودعات غير مهيأة، الإصابات الحشرية والفطرية، والتقلبات المناخية المفاجئة. وتشير التقديرات المحلية إلى أن آلاف الأطنان من هذه التمور تخرج سنوياً من دائرة الاستهلاك البشري المباشر لتُباع بأسعار زهيدة كعلف للماشية أو تُترك لتُصاب بالتلف الكامل [1].

إن إعادة توجيه هذا الفائض غير القابل للتسويق نحو التثمين الصناعي لإنتاج الإيثانول الحيوي يمثل حلاً استراتيجياً ذا أبعاد متعددة: فهو يُسهم في التخلص الآمن من هذه الكتلة الحيوية، ويُعطيها قيمة اقتصادية مضافة، ويُوفر مادة خام متجددة وفيرة. وتشير الدراسات التطبيقية إلى أن مردودية التمر من الإيثانول تنافسية جداً؛ إذ يُمكن لنحو 200 كغ من التمور أن تُنتج ما يقارب 20 لتراً من الكحول النقي، وهو مردود يتفوق أو يُضاهي محاصيل استراتيجية أخرى تُزرع خصيصاً لهذا الغرض، مثل قصب السكر والذرة. هذه المعطيات تُؤسس لجدوى إقامة صناعة حيوية محلية قائمة على التمور الرديئة.

1.6القيمة الغذائية والمركبات الفينولية في تمر الغرس:

إن احتواء تمر الغرس على نسبة مرتفعة من السكريات (تصل إلى حوالي 55.94% من الوزن الجاف)، والتي تجعله مادة أولية مثالية لعملية التخمر الكحولي، فإن هذا الصنف يتميز أيضاً بمحتواه من المركبات النشطة بيولوجياً، وعلى رأسها المركبات الفينولية والفلافونويدية [15]. فقد أظهرت دراسة تحليلية أجريت على خمسة أصناف من تمور منطقة ورقلة (دقلة نور، دقلة بيضاء، غرس، تفزوين، تيمجهورت) أن تمر الغرس يحتوي على كمية كلية من الفينولات تقدر بحوالي 59.16 mg GAE/100g من الوزن الجاف، وكمية من الفلافونويدات بحوالي 9.60 mg RE/100g من الوزن الجاف [14]. وتساهم هذه المركبات في منح التمر خصائص مضادة للأكسدة، مما يزيد من قيمته الغذائية والوظيفية مقارنة ببعض الأصناف الأخرى.

بالإضافة إلى ذلك، يُعد تمر الغرس مصدراً جيداً للعناصر المعدنية الأساسية مثل البوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم، كما يحتوي على أحماض أمينية حرة وألياف غذائية تسهل عملية الهضم وتعزز القيمة التغذوية [16]. ورغم أن هذه الخصائص تجعل تمر الغرس مرغوباً للاستهلاك البشري المباشر، إلا أن جزءاً كبيراً من إنتاجه السنوي يُصنف ضمن التمور منخفضة الجودة (جاف، متشقّق، أو غير صالح

للتسويق) بسبب الظروف المناخية أو سوء التخزين أو الإصابة الفطرية [17]. هذا الفاقد الاقتصادي يمكن استغلاله بشكل أمثل في تحويله إلى منتجات عالية القيمة مثل الكحول الطبي والإيثانول الحيوي، بدلاً من تركه كعلف حيواني أو مهملا

خلاصة الفصل الأول:

من خلال هذا الفصل، تم استعراض الخلفية العلمية والتقنية المتعلقة بنخيل التمر، وذلك على النحو التالي:

- ✓ أصل النخلة وانتشارها: تعود زراعة نخيل التمر إلى آلاف السنين، ويُرجح أن موطنها الأصلي يمتد من الخليج العربي إلى شمال إفريقيا. وتتركز زراعتها اليوم في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، حيث تُعد الجزائر من بين الدول الرائدة في إنتاجها.
- ✓ الوصف النباتي: النخلة هي شجرة ثنائية المسكن تنتمي إلى الفصيلة النخيلية (Arecaceae)، وتتكون من مجموع جذري ليفي، وجذع أسطواني يحمل تاجاً من السعف الريشي، وأزهاراً محمية بغلاف يُدعى الطلع.
- ✓ مراحل نمو الثمرة: تمر ثمرة التمر بخمس مراحل متتالية (الحبابوك، الكمري، الخلال، الرطب، والتمر)، تتميز كل منها بتحولات فيزيائية وكيميائية دقيقة، وصولاً إلى الثمرة الناضجة القابلة للحفظ.
- ✓ صنف تمر الغرس: يتميز هذا الصنف المحلي في منطقة ورقلة بحلاوته الفائقة وطراوته، وبارتفاع محتواه من السكريات الأحادية القابلة للتخمر، مما يجعله مادة أولية مثالية لإنتاج الإيثانول والخل والسكر السائل.
- ✓ التركيب الكيميائي والقيمة الغذائية: السكريات هي المكون الرئيسي لتمر الغرس، حيث تتجاوز نسبتها 70% من الوزن الجاف، وتغلب عليها السكريات المختزلة (الجلوكوز والفركتوز). كما يحتوي التمر على نسب متفاوتة من الماء، البروتينات، الدهون، والعناصر المعدنية الأساسية. وإلى جانب هذه المكونات، يُعد تمر الغرس مصدراً مهماً للمركبات الفينولية النشطة بيولوجياً، مثل الأحماض الفينولية والفلافونويدات، التي تمنحه خصائص مضادة للأكسدة وتزيد من قيمته كغذاء وظيفي وكمادة خام واعدة للتثمين الصناعي.
- ✓ إشكالية التمور منخفضة الجودة: تتعرض آلاف الأطنان من التمور سنوياً للتلف أو تفقد قيمتها التسويقية بسبب عوامل الجني والتخزين والمناخ. ويمثل توجيه هذه التمور الرديئة نحو التثمين الصناعي لإنتاج الإيثانول الحيوي حلاً استراتيجياً يدمج بين البعدين البيئي والاقتصادي، ويُعطي قيمة مضافة لمادة كانت ستتحول إلى نفاية.

الفصل الثاني

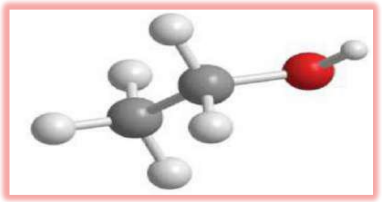
الإيثانول الحيوي والتخمر الكحولي

تمهيد الفصل الثاني

بعد أن تمّ التعرف في الفصل الأول على خصوصيات نخيل التمر وتحديداً صنف "الغرس "كمورد استراتيجي غني بالسكريات القابلة للتخمر، ينتقل هذا الفصل إلى دراسة جوهر عملية التثمين، ألا وهي التحويل البيوتكنولوجي لهذه السكريات إلى إيثانول حيوي. يُشكّل الإيثانول الحيوي اليوم أحد أبرز البدائل المتجددة للوقود الأحفوري، ويمثل إنتاجه من مخلفات التمور حلاً مزدوجاً: بيئي من خلال التخلص الآمن من الفائض الزراعي، واقتصادي عبر استحداث قيمة مضافة من مادة مهملة. سنستعرض في هذا الفصل الخصائص الأساسية للإيثانول الحيوي، والأساس البيوكيميائي لعملية التخمر الكحولي التي تقوم بها خميرةSaccharomyces cerevisiae ، ثم العوامل الحاسمة التي تتحكم في كفاءة الإنتاج ونقاوته. وسنختم بدراسة تقنيات الفصل والتنقية، ولا سيما التقطير التقليدي والتقطير تحت الضغط المخفض بالمبخر الدوار، والذي يشكل محور الفصل التطبيقي من هذه المذكرة .

2.1مدخل إلى الوقود الحيوي وأهمية الإيثانول:

في سياق السعي العالمي لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وخفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، برز الوقود الحيوي كأحد الحلول الواعدة والمستدامة. يُعرِّف المجلس العالمي للطاقة الوقود الحيوي بأنه أي وقود يتم إنتاجه من الكتلة الحيوية، والتي تشمل المواد النباتية والحيوانية والمخلفات العضوية [8]. يُصنف الوقود الحيوي السائل بشكل رئيسي إلى الإيثانول الحيوي والديزل الحيوي. ويُعد الإيثانول الحيوي الأكثر إنتاجًا واستهلاكًا عالميًا، حيث بلغ إنتاجه 106.6 مليار لتر في عام 2011 [8]. يتميز الإيثانول الحيوي بعدة مزايا: فهو مصدر طاقة متجدد يُسهم في دورة كربون مغلقة؛ إذ إنّ ثاني أكسيد الكربون المنبعث من احتراقه يُعاد تثبيته بواسطة النباتات خلال عملية التركيب الضوئي. كما أن خلطه بالبنزين بنسب مختلفة (E5 إلى E85) يرفع من رقم الأوكتان ويُقلل من انبعاثات أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات غير المحترقة [8].



الشكل (1-II) : بنية الإيثانول[9]

بالإضافة إلى استخدامه كوقود، يدخل الإيثانول في صناعات كيميائية وغذائية وصيدلانية واسعة، مثل المذيبات والمطهرات والمشروبات الكحولية ومواد التجميل. وهذا التنوع في الاستعمالات يُعزز الجدوى

الاقتصادية لإنتاجه من مصادر حيوية متوفرة محليًا، وفي مقدمتها التمور منخفضة الجودة التي يشتهر بها الجنوب الجزائري.

2.2. الخصائص الفيزيائية والكيميائية للإيثانول :

الإيثانول، المعروف أيضًا بالكحول الإيثيلي، هو مركب عضوي ينتمي إلى فصيلة الكحولات الأولية. صيغته الكيميائية C_2H_5OH، ووزنه الجزيئي 46.07 غ/مول. فيما يلي جدول بأهم خصائصه الفيزيائية والكيميائية، **والتي يعود إليها الفضل في تحديد شروط تخزينه واستعمالاته:**

(II-1)الخصائص الفيزيائية والكيميائية للإيثانول [9].

الصيغة الجزيئية	C_2H_5OH
الكتلة المولية	46.07g/mol
المظهر	سائل شفاف
الانحلالية في الماء	قابل للمزج بشكل كبير
الكثافة	0.789 kg/l
درجة حرارة الغليان	78.5 °C(173°F)
درجة التجمد	-117 °C
درجة الوميض	12.8°C
درجة الاشتعال	425°C
حدود الانفجار	أقل من 3.5% (v/v) و أكبر% 19
الضغط البخاري عند 38°C	50mmHg
القدرة الحرارية فوق 20°C	29,800Kj/kg
القدرة الحرارية تحت 20°C	21,090Kj/kg
الحرارة النوعية	0.60 Kcal/Kg °C0
ثابت الحموضة (pKa)	15.9
اللزوجة	1,200 mPa.s(20°C)
قرينة الانكسار	1.36(25°C)
دليل الأوكتان	99

من الناحية الكيميائية، يعود النشاط الكيميائي للإيثانول بالدرجة الأولى إلى مجموعة الهيدروكسيل (-OH) القادرة على تشكيل روابط هيدروجينية، وهو ما يُفسر امتزاجه التام مع الماء وقابليته العالية للاشتعال. تبلغ درجة وميضه 13°م، مما يعني أنه سريع الاشتعال في الظروف العادية، وهو ما يستوجب الحذر الشديد أثناء التعامل معه وتخزينه [10]. كما يتفاعل الإيثانول مع الأحماض الكربوكسيلية لتكوين الإسترات، ومع الأحماض المعدنية المركزة فيتفاعل بنزع الماء ليعطي الإيثرات أو الإيثيلين حسب شروط التفاعل [11].

2.3الأساس البيوكيميائي للتخمر الكحولي:

التخمر الكحولي هو عملية استقلابية لاهوائية تُحوّل السكريات، وبخاصة الهكسوزات (كالجلوكوز والفركتوز)، إلى إيثانول وثاني أكسيد الكربون وطاقة، وذلك بفعل أنزيمات تنتجها كائنات دقيقة، أبرزها خميرة Saccharomyces cerevisiae [8].

المعادلة العامة للتفاعل مُلخصة كالتالي:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2 + \text{طاقة (حوالي 56 كيلو كالوري/مول)}$$

لكن ما يحدث داخل الخلية الحية هو أكثر تعقيدًا، إذ يمر المسار الأيضي **بمرحلتين رئيستين** تُعرفان معًا بمسار إمبدن–مايرهوف–بارناس (EMP Pathway) [11]:

1.مرحلة التحلل السكري (Glycolysis):

في سيتوبلازم الخلية، يتم فسفرة جزيء الجلوكوز (6 ذرات كربون) وأكسدته جزئيًا عبر سلسلة من عشر تفاعلات إنزيمية، لينتج في النهاية جزيئان من حمض البيروفيك ($CH_3-CO-COOH$، 3 ذرات كربون). تُنتج هذه المرحلة جزيئين من ATP (عملة الطاقة في الخلية)، وجزيئين من ناقل الإلكترونات NADH.

2. مرحلة نزع الكربوكسيل والاختزال:

في غياب الأكسجين، لا يستطيع حمض البيروفيك أن يدخل إلى دورة كريبس في المتقدرات. بدلاً من ذلك، يقوم إنزيم بيروفيت ديكاربوكسيلاز بإزالة جزيء CO_2 من حمض البيروفيك، مُحوّلاً إياه إلى أسيتالدهيد .(CH_3-CHO) ثم يتدخل إنزيم نازعة هيدروجين الكحول (Alcohol Dehydrogenase) الذي يستخدم جزيء NADH كمُختزِل، ليُحوّل الأسيتالدهيد إلى إيثانول، معيداً جزيء NAD^+ الضروري لاستمرار مرحلة التحلل السكري .[11]

هاتان المرحلتان تُوضحان لماذا يُصاحب التخمر الكحولي النشط انبعاث كثيف لفقاعات غاز ثاني أكسيد الكربون، ولماذا يُعتبر العامل الحاسم في استمرار التخمر هو توفر NAD^+ والذي لا يتجدد إلا بإنتاج الإيثانول في الظروف اللاهوائية.

2.4 العوامل المؤثرة على مردود إنتاج الكحول:

- لا تقتصر كفاءة التخمر الكحولي على وجود السكر والخميرة فقط، بل تخضع لجملة من العوامل البيئية والكيميائية التي يجب ضبطها بدقة لضمان أفضل مردودية إنتاج للإيثانول. وقد حددت الدراسات السابقة، ومنها دراسة (حامي وعزيزي، 2019) التي نعتمد عليها، الشروط المثلى الآتية [8]:
- **تركيز السكر الأولي (درجة بريكس):** يجب أن يتراوح بين 15% و20%. التركيز المنخفض يُقلل الإنتاجية الاقتصادية، بينما التركيز المرتفع جدًا (أكثر من 20%) يُسبب إجهادًا أسموزيًا للخميرة ويثبط نشاطها [12].

- **الرقم الهيدروجيني (pH):** الوسط الحمضي المعتدل (4.0 – 4.5) هو الأمثل. هذه الحموضة تنشط إنزيمات الخميرة وتُثبط نمو البكتيريا المنافسة، خصوصًا البكتيريا المنتجة لحمض اللاكتيك التي تستهلك السكر وتُنتج حمضًا بدل الإيثانول [8].
- **درجة الحرارة:** تتراوح الحرارة المثلى لنشاط S. cerevisiae بين 28°م و34°م. وقد أوضحت دراسة (حامي وعزيزي، 2019) أن درجة 32°م تُعطي أعلى مردودية. انخفاض الحرارة يُبطئ الأيض ويُطيل زمن التخمر، وارتفاعها فوق 37°م يُجهد الخميرة وقد يؤدي إلى موتها [8].
- **التغذية بالعناصر الصغرى:** بالإضافة إلى مصدر الكربون، تحتاج الخميرة إلى مصادر نيتروجينية (مثل الأمونيوم NH_4^+) وفوسفورية ومعادن زهيدة (كالزنك والمغنيسيوم) لبناء بروتيناتها وأنظمتها الإنزيمية. لذلك يوصى بإضافة أملاح مغذية كفوسفات الأمونيوم لتعزيز النشاط الخلوي ورفع المردود [13].
- **تركيز الإيثانول في الوسط:** الإيثانول مادة سامة للخميرة عند تراكيز عالية. معظم سلالات S. cerevisia لا تتحمل تركيز إيثانول يزيد عن 10–12% حجم/حجم. لذا يتوقف التخمر تلقائيًا عند بلوغ هذه النسبة [11].
- **الأكسجين:** رغم أن إنتاج الإيثانول يتم لاهوائيًا، إلا أن وجود كمية محدودة من الأكسجين في المرحلة الأولى من التخمر ضروري لتخليق الأغشية الخلوية وبعض الإنزيمات. بعدها، يجب أن يسود الوسط اللاهوائي تمامًا لتوجيه الأيض نحو إنتاج الإيثانول بدل النمو الخلوي [9].

2.5تقنيات الفصل والتركيز (التقطير التقليدي وتحت الضغط المخفض):

عند نهاية التخمر، نحصل على سائل يُعرف بـ"نبيذ التمر" يحتوي على الإيثانول بنسبة تتراوح غالبًا بين 7% و12%، إلى جانب الماء وبقايا الخميرة والمواد الصلبة. لفصل الإيثانول عن هذا المزيج وتركيزه، تُستخدم تقنيات التقطير التي تعتمد على الفرق في درجة غليان مكونات المزيج.

2.5.1التقطير التقليدي (Distillation simple):

المبدأ الأساسي يقوم على تسخين النبيذ في دورق التقطير. عند درجة حرارة تقارب 78.5°م، يغلي الإيثانول قبل الماء (الذي يغلي عند 100°م)، فتنفصل أبخرة الإيثانول ليتم تكثيفها عبر مكثف مائي وتُجمع في دورق استقبال. بيد أن هذا النوع من التقطير لا يُعطي إيثانول نقيًا تمامًا، بل يُنتج ما يُسمى "الإيثانول الخام" بتركيز قد يصل إلى حوالي 50-60%، لأنه يتكون مزيج آزوتروبي (مزيج ثابت

الغليان) من الإيثانول والماء بنسبة 95.6% إيثانول و4.4% ماء يغلي عند 78.2°م، مما يمنع تجاوز هذا التركيز بالتقطير البسيط.

2.5.2 التقطير تحت الضغط المخفض (المبخر الدوار):

للحصول على تركيز أعلى وبطريقة ألطف تحافظ على خصائص الإيثانول، يُستخدم المبخر الدوار (Rotavapor). يعمل هذا الجهاز على مبدأ خفض درجة غليان السائل عن طريق تخفيض الضغط داخل النظام، مما يسمح بتبخير الإيثانول عند درجات حرارة منخفضة (حوالي 30-40°م) بدلاً من 78°م. هذه التقنية لها ميزتان رئيستان: الأولى، تركيز الإيثانول دون التعرض لدرجات حرارة عالية قد تُحلل بعض المركبات أو تُسبب تطاير شوائب غير مرغوب فيها؛ والثانية، إمكانية استرجاع المذيب (الإيثانول) بنقاوة عالية. هذا هو الجهاز الذي تم استخدامه في الجزء التجريبي من هذه المذكرة لتركيز الإيثانول الحيوي المنتج قبل إجراء التحاليل الطيفية [12].

خلاصة الفصل الثاني :

يُشكّل الإيثانول الحيوي الناتج من تخمر السكريات مادة استراتيجية متعددة الاستعمالات، من الوقود إلى الصناعات الدوائية. ويعتمد إنتاجه بكفاءة على فهم عميق للأسس البيوكيميائية للتخمر الكحولي، بدءًا من مسار إمبدن-مايرهوف وصولاً إلى دور إنزيم نازعة هيدروجين الكحول. كما أن التحكم في العوامل التجريبية، خصوصًا درجة الحرارة وpH الوسط والتغذية المعدنية للخميرة، هو المفتاح لتحقيق مردودية عالية. وأخيرًا، فإن اختيار تقنية الفصل المناسبة، وخصوصًا التقطير تحت الضغط المخفض، يلعب دورًا حاسمًا في الحصول على منتج نهائي عالي النقاوة. هذا الأساس النظري هو ما سيتم تطبيقه عمليًا في الفصل الثالث من هذه المذكرة.

الفصل الثالث

الجانب التطبيقي والمخبري

سياق العمل:

- تم إنجاز هذا الجانب التطبيقي على مستوى المخبر البيداغوجي لكلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة ورقلة، ومخبر البحث العلمي والتطوير التكنولوجي بالأرضية التقنية للتحاليل الفيزيائية والكيميائية (CRAPC)، وذلك خلال الفترة الممتدة من 9 أبريل إلى 10 ماي 2026.

تمهيد الفصل الثالث:

يتناول هذا الفصل الخطوات التجريبية الميدانية المتبعة لإنتاج الإيثانول الحيوي من التمور منخفضة الجودة من صنف الغرس، ويستعرض بروتوكول تحضير المستخلص السكري، ومتابعة المؤشرات الحركية والحرارية للتخمير البيولوجي، وصولاً إلى عمليات الفصل بالتقطير والتحاليل الطيفية لتقييم نقاوة المستخلص واستقراره .

وتتمحور إشكالية هذا الفصل حول مدى كفاءة التحويل البيولوجي لسكريات تمور الغرس الرديئة باستخدام سلالة محلية النشاط تحت ظروف حرارية محكومة يدوياً وعبر أجهزة تفريغ متباينة الأداء [15]. وبناءً على ذلك، يختبر هذا العمل فرضيتين إجرائيتين (مشتقتين من الفرضية العامة الأولى للمذكرة):

1. **الفرضية الإجرائية الأولى:** أن الفقد الكتلي الحركي الناتج عن تحرر غاز CO_2 يتناسب طردياً مع تقدم التفاعل واستهلاك السكر وتشكّل الكحول وفق علاقة التكافؤ الجزيئي المباشر.
2. **الفرضية الإجرائية الثانية:** أن تقنية التبخير الدوار تحت الخلاء العالي قادرة على تحقيق كفاءة فصل حجمي متميزة على المقياس المخبري، بالرغم من العوارض الميكانيكية والحرارية المحتملة.[31]

3.1المواد الكيميائية والأدوات المخبرية المستعملة:

تطلبت التجارب المخبرية استخدام مادة أولية من تمور الغرس الرديئة المميزة لمنطقة ورقلة وتوقرت كركيزة سكرية أساسية [15]. كما استُعملت سلالة الخميرة الحية الجافة من نوع S. cerevisiae كعامل حيوي قياسي للتحويل السكري [30]. وشمل **العتاد المخبري المستعمل الأجهزة التقنية والأدوات والمواد الكيميائية التالية :**

1. **الأجهزة:** جهاز المبخر الدوار (Rotavapor) طراز (RE100-Pro) التابع لمركز (CRAPC) ، وجهاز مبخر دوار ثانٍ تابع لمختبر كلية الرياضيات وعلوم المادة. جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FT-IR) من شركة(Bruker) ، وجهاز مطيافية الأشعة فوق البنفسجية(UV) ، مخلاط مغناطيسي، ميزان تحليلي، ميزان عادي، حمام مائي.
2. **الأدوات:** مفاعل حيوي زجاجي، أنبوب مطاطي، ورق قياس الحموضة، مخبار مدرج، سحاحة زجاجية للمعايرة الحجمية، دوارق مخروطية وأدوات الترشيح، محرار، قضيب مغناطيسي، بيشر، قطن قماش طبي، ورق ترشيح.
3. **المواد:** خميرة الخبز(S. cerevisiae) ، ماء مقطر، هيدروكسيد الصوديوم(NaOH) ، تمر الغرس، حمض الكبريت(H_2SO_4) ، كاشف الفينول فتالين، إيثانول مرجعي من مصنع بسكرة.

3.2بروتوكول استخلاص السكريات وتحضير النقيع من تمر الغرس:

مرت عملية تحضير الوسط الغذائي للخميرة بمراحل ميكانيكية وحرارية متتابعة وفق بروتوكولات استخلاص السكريات القياسية [22][23]. كانت خطوات العمل على نحو التالي:

.1 تحضير العينة: جمع تمر الغرس منخفض الجودة، غسله جيداً بالماء النقي لإزالة الشوائب، تجفيفه، ثم نزع النوى وتقطيعه إلى قطع صغيرة.[15]

.2 عملية التحلل والامتزاز الحراري: خلط التمر المفتت مع الماء المقطر بنسبة مناسبة، وتسخين المزيج عند درجة حرارة معتدلة مع التحريك المستمر لتسريع حركية إذابة السكريات الأحادية [20]. وقد أظهرت الدراسات أن تسخين نقيع التمر عند درجات حرارة معتدلة يحسن مردود الاستخلاص بشكل ملحوظ.

.3عملية الترشيح التتابعي ثلاثي المراحل: فصل الطور السائل عن الطور الصلب الليفي باستخدام قماش ترشيح طبي، ثم قطن، ثم ورق ترشيح بمسامات مناسبة.[15]

الشكل (1-III) عملية تحضير ووزن تمر الغرس

الشكل(2-III): عملية تحضير وتحلل مستخلص

الشكل(3-III) : عملية الترشيح التتابعي ثلاثي

3.3. حركية التنشيط والتخمير: إدارة الظروف التجريبية والتحكم في الوسط:

3.3.1مرحلة التهوية الحركية وتوليد الكتلة الحيوية لخميرة Saccharomyces cerevisiae:

وُضعت كمية وزنية من الخميرة الجافة في محلول مائي دافئ مع نسبة ضئيلة من المستخلص، مع تهوية مستمرة لمدة كافية لتوجيه الاستقلاب نحو المسار الهوائي وتوليد كتلة حيوية كثيفة قبل بدء الطور اللاهوائي [30]. وتشير الأبحاث الحديثة إلى أن الظروف المثلى لنشاط خميرة S. cerevisiae تتطلب درجات حرارة معتدلة وقيم pH مناسبة [19].[28]

3.3.2بروتوكول الخمول المؤقت (الحفظ الحراري وتحت التبريد):

تم تطبيق نظام حفظ مؤقت على عينتين من المستخلص (الملقحة وغير الملقحة). وُضعت عينة مرجعية داخل نظام التبريد عند درجة حرارة ثابتة ومنخفضة. يهدف هذا الإجراء إلى إدخال الخلايا الحيوية في طور خمول مؤقت لتبطين نشاطها الأيضي ريثما تكتمل تهيئة أجهزة الفصل والتقطير.

الشكل :(III-4) عملية تنشيط الخميرةSaccharomyces cerevisiae

3.3.3. التحفيز الحراري وانطلاق التخمير اللاهوائي الصارم:

نُقل المستخلص الملقح إلى مفاعل حيوي زجاجي، وأغلق بإحكام لمنع الأكسجين، مما أجبر الخميرة على تحويل الجلوكوز عبر مسار إمبدن–مايرهوف إلى إيثانول و CO_2. وُضِع المفاعل في حمام مائي

عند درجة حرارة مضبوطة. وتتفق هذه الظروف مع ما أوردته دراسة [21] التي أكدت أن التخمر اللاهوائي لمستخلص التمور يحتاج إلى ظروف محكمة الإغلاق لضمان أعلى كفاءة إنتاجية من الإيثانول.

الشكل :(III-6) المفاعل الحيوي لإنتاج الإيثانول

الشكل :(III-5) عينتا المستخلص الملقحة وغير الملقحة

3.4. بروتوكول المتابعة الزمنية والصرامة التجريبية في الإقامة الجامعية:

3.4.1. التحكم في الحركية الحرارية للحمام المائي والمراقبة الدورية:

استلزمت التجربة مراقبة مستمرة للحفاظ على استقرار الوسط التفاعلي. تم فحص درجة حرارة الحمام المائي يدوياً على فترات منتظمة، مع تعديلها للحفاظ على الظروف المثلى [19]. وقد أثبتت دراسة [21] أهمية المراقبة المستمرة لمعاملات التخمير (درجة الحرارة، زمن التخمر، كمية الخميرة) لضمان الحصول على كفاءة إنتاجية مرتفعة .

الشكل :(7–III) عملية المراقبة الدورية لتوفر الشروط الملائمة

3.4.2. تتبع الحركية البصرية لتصاعد غاز CO_2 والكتامة اللاهوائية:

تم تركيب أنبوب تصريف موصول بوعاء مائي لمراقبة تدفق الفقاعات الغازية، ولوحظت زيادة تصاعدية على مدار فترة التخمير، مما يؤكد نشاط التخمير [15]. وتشير النتائج إلى أن أعلى معدل لتحرر الغاز يحدث خلال المراحل الأولى من التخمير، ثم يبدأ في التناقص تدريجياً.

الشكل :(8-III) تتبع الحركية لتصاعد غاز CO_2

.

3.5 القياسات المخبرية الختامية ومعايرة الحموضة :

3.5.1 حساب الفقد الكتلي الحركي وكفاءة انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون :

تمت متابعة تناقص كتلة المفاعل الحيوي الناتجة عن خروج الغاز المتطاير. يعبر الفقد الكتلي الحركي مباشرة عن تقدم التفاعل الكيميائي الحيوي وفق علاقة التكافؤ الجزيئي بين السكر المستهلك والكحول المتشكل.

(III-1):المتابعة الحركية الموحدة للأوزان وتطور حموضة وسط التخمير

اليوم التجريبي	الطور التجريبي وحالة المفاعل أثناء الوزن	الكتلة الخام المقاسة (غ)	طريقة الحساب والكتلة الصافية لوسط التخمير (غ)	الفقد الكتلي الحركي الصافي (CO_2)	قيمة الأس الهيدروجيني (PH)
الثلاثاء	وسط ابتدائي (بدون شريط ولا كيس أسود)	681.1	الكتلة الصافية الابتدائية 681.1	0.00غ	6.00
الأربعاء	قياس حركي (بالشريط اللاصق +الكيس الأسود	685.4	=678.3	=2.8 غ	-
الخميس	نهاية الطور (بالشريط اللاصق والكيس الأسود)	670.0	الكتلة الإجمالية الخام قبل تفكيك	-	-
الخميس	نهاية الطور (بعد نزع الشريط والكيس الأسود)	662.9	الكتلة الصافية النهائية للوسط =662.9	=18.2غ	4.00

لمتابعة الحركية الموحدة للأوزان وتطور حموضة وسط التخمير

أظهرت المتابعة الميدانية تسجيل فقد كتلي محسوس) يعود أساساً لتصاعد (CO_2 خلال فترة التخمير، مصحوباً بانخفاض واضح في قيمة الـ pH من الحدود المتعادلة إلى الوسط الحامضي، مما يؤكد تقدم التفاعل ونجاح المسار التخميري. وقد أشارت دراسة [26] إلى أن كفاءة التخمير تُحسب بناءً على الفقد الكتلي الناتج عن تحرر ثاني أكسيد الكربون .

معلومة تقنية هامة: تمت إحاطة وتغليف المفاعل الحيوي بغطاء عازل طيلة فترة الحضن اللاهوائي، وذلك لسببين أساسيين :

·الحفاظ على الاستقرار الحراري: يعمل الغطاء العازل كحامي حراري يقلل من تأثر المفاعل بالتقلبات الحرارية المفاجئة داخل المحيط المخبري، مما يضمن بقاء الوسط قريباً من درجة الحرارة المثلى للخميرة.

·منع الأكسدة الكيميائية الضوئية: يُساهم حجب الضوء في حماية المركبات العضوية الحساسة المتواجدة في مستخلص التمر من التحلل أو الأكسدة الضوئية، مما حافظ على جودة الوسط الغذائي طيلة فترة التجربة.

ملاحظة علمية حول الفقد الكتلي: يُعزى الفقد الكتلي الملاحظ بشكل رئيسي إلى تحرر غاز CO_2 الناتج عن مسار إمبدن–مايرهوف. ومع ذلك، لا يمكن استبعاد احتمال مساهمة أبخرة الكحول الإيثيلي المتطايرة أو بخار الماء المصاحب، وخصوصاً في المراحل المتقدمة من التخمر أو عند فتح المفاعل. ورغم ذلك، تبقى نسبة CO_2 هي الحصة الغالبة في الفقد الكتلي، بالنظر إلى المعادلة الستوكيومترية للتفاعل 1) مول جلوكوز ينتج 2 مول(CO_2 ، وهو ما تؤكده المتابعة الحركية المنتظمة لانخفاض الـ pH و.Brix

3.5.2 بروتوكول المعايرة الحجمية (حمض-أساس) وتحديد الحامضية النظامية للوسط :

في نهاية فترة التخمير، أُخذت عينة من النقيع المتخمر وعُويرة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم باستخدام كاشف الفينول فتالين. أظهرت النتائج تراكماً للأحماض العضوية، مما يعكس الأيض الثانوي للخميرة [19].

ملاحظة تقنية هامة: تجدر الإشارة إلى أن استخدام الفينول فتالين في وسط تخمير داكن اللون قد يشكل صعوبة بصرية في تحديد نقطة التكافؤ بدقة. لذلك، تم الاعتماد في هذه الدراسة على قيم الـ pH المقاسة بواسطة جهاز الـ pH–mètre الإلكتروني كدليل رئيسي لتتبع الحموضة، بينما استخدم الفينول فتالين كدعم بصري إضافي فقط لتأكيد الاتجاه العام للمعايرة.

3.5.3 دراسة حركية الأكسدة الحيوية وتتبع تشكل حمض الخليك:

بعد انتهاء التخمير، تعرضت العينة لتهوية غير مقصودة أثناء عملية الترشيح التتابعي الثلاثي (التي استغرقت عدة دقائق في الهواء الطلق). نتج عن ذلك انخفاض في تركيز الكحول وارتفاع طفيف في الحموضة، مما يعكس تحولاً جزئياً للإيثانول إلى حمض خليك بفعل بكتيريا هوائية (Acetobacter) محمولة في هواء المختبر [19]. وتؤكد دراسة [19] أن التعرض للأكسجين في هذه المراحل يُحدث أكسدة بيولوجية للمنتج الكحولي.

الشكل :(9-III) معايرة الحموضة بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم

3.6 مناقشة حركية التخمر والنتائج الفيزيائية والكمية :

3.6.1 تقييم كفاءة الفصل ومردودية المبخر الدوار تحت نظام الخلاء العالي:

تم فصل المستخلص الكحولي الخام عن الوسط التخمري باستخدام جهاز المبخر الدوار (Rotary Evaporator)التابع لمختبر الكلية تحت نظام خلاء عالي. انطلاقاً من حجم معين من الوسط المخمر، تم استخلاص حجم مقارب من المستخلص الكحولي المائي الخام. وقد صُممت دراسة [26] وحدة تقطير مستمرة حققت كفاءة وتركيزاً جيدين بفضل نظام تجفيف رطوبة. وبالمقارنة، فإن دراستنا الحالية لم تتضمن وحدة تجفيف، مما يفسر حصولنا على مستخلص كحولي بتركيز معتدل، وهي نتيجة تعتبر مقبولة على المقياس المخبري ومتوافقة مع مراجع التقطير البسيط.

الشكل :(III-10) عملية تقطير الإيثانول الناتج بواسطة المبخر الدوار

3.6.2 تفسير ظاهرة التحرر الفجائي والاحتجاز الغازي لـ CO_2 أثناء الترشيح:

لوحظ أثناء نقل المستخلص المتخمر من المفاعل الحيوي إلى وعاء الترشيح أو أثناء سكبه في المبخر الدوار حدوث فقاعات فجائية وتصاعد كثيف للرغوة [15]. تُفسر هذه الظاهرة فيزيائياً وكيميائياً باحتجاز كميات معتبرة من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الذائبة تحت الضغط الجزيئي داخل لزوجة وسط التمر المخمر. أثناء عملية التخمر اللاهوائي، تنتج الخميرة CO_2 كمنتج ثانوي، ويظل جزء منه منحلاً أو محصوراً داخل الفجوات السائلة واللزجة بفعل السكريات المتبقية. وعند إحداث حركة ميكانيكية مفاجئة (السكب أو التحريك أو فتح الإحكام)، ينكسر التوازن الديناميكي، ويتحرر الغاز المحبوس دفعة واحدة مسبباً الرغوة والفقاعات. هذه الظاهرة تدل على أن التخمر كان نشطاً وأن الوسط كان مشبعاً بثاني أكسيد الكربون، وهو مؤشر إضافي على كفاءة التحويل البيولوجي للسكريات إلى إيثانول وغاز.

الشكل :(III–11) ظاهرة التحرر الفجائي والاحتجاز الغازي لـ CO_2 أثناء الترشيح

3.6.3 مناقشة نتائج التحاليل الطيفية (UV / FT-IR):

أ - مناقشة نتائج التحاليل الطيفية (FTIR):

مناقشة نتائج التحليل الطيفي (FTIR) لتأكيد الهوية التركيبية للمستخلص الكحولي الناتج عن عملية التخمر، ومتابعة مدى استقرار مجموعاته الوظيفية تبعاً لظروف التخزين المبرد، تم تسجيل طيف الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) في المدى الموجي 4000 – 400 cm^{-1} باستعمال تقنية

الانعكاس الكلي المخمد (ATR) على جهاز المطيافية .(Bruker Alpha II) شمل التحليل مقارنة مباشرة بين العينة الرئيسية (Sample 1) والعينة المرجعية المخزنة عند درجة حرارة 4°م لمدة 7 أيام (Sample 2).يوضح الجدول أدناه الحزم والقمم الاهتزازية الملاحظة في كلا الطيفين:

(III-2): الحزم والقمم الاهتزازية الملاحظة في طيفFTIR

العدد الموجي (cm^{-1})	شدة الحزمة وشكلها	الإهتزاز الكيميائي المسؤول	المجموعات الوظيفية المستهدفة
3332.11	حزمة عريضة وقوية	استطالة الرابطة (O-H)	مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة (الكحولات و الماء)
2974.15	حزمة متوسطة الحدة	استطالة غير متناظرة (C-H)	مجموعة الألكيل الأليفاتية (ميثيل CH3)
2887.20	حزمة متوسطة إلى ضعيفة	استطالة متناظرة (C-H)	مجموعة الألكيل الأليفاتية (ميثيلين CH2)
1642.50	جزمة حادة ومتوسطة	انحناء الرابطة (O-H)	جزيئات الماء المرتبطة بالمستخلص
1381.10	حزمة حادة	انحناء مستوي متناظر (C-H)	تشوه مجموعات الميثيل الكحولية
1087.40	جزمة قوية وحادة جدا	استطالة الرابطة (C-O)	الإيثانول (بصمة)
1044.80	حزمة قوية ومتداخلة	استطالة الرابطة (C-C-O)	الهيكل الكربوني للمركب الكحولي المسترجع

أ-مناقشة وتفسير منحنى الـFT-IR :

تفسير منحنى FT-IR :تُشير القمة العريضة والعميقة الملاحظة مخبرياً عند 3332.11 cm^{-1} بوضوح إلى الاهتزاز الاستطالي لروابط الهيدروكسيل (O-H) الناتجة عن الكحول والماء المتبقي في المزيج. وتأتي الحزم المحصورة بين 2887.20 و 2974.15 cm^{-1} لتوثق بدقة وجود استطالة الروابط الهيدروكربونية الأليفاتية .(C-H) بينما تمثل القمة الحادة والبارزة جداً عند الحقل 1087.40 cm^{-1} البصمة الكيميائية القاطعة (Fingerprint region) لاهتزاز استطالة الرابطة الكحولية(C-O) ، وهي الدليل العلمي القياسي المستخلص من تقرير جهاز Bruker على تواجد مركب الإيثانول الأولي بنقاوة

جيدة وثبات بنيوي. وقد أكدت دراسة [24] أن التحليل الكمي لحمض الخليك والإيثانول في محاليل التخمير باستخدام تقنية ATR–FTIR يُظهر توافقاً عالياً مع الطرق المرجعية التقليدية. هذه النتائج الطيفية تؤكد بشكل قاطع هوية الإيثانول المنتج، وتُظهر أن التخزين المبرد لم يُحدث تغييرات جوهرية في البنية الكيميائية للمركب.

ب. مناقشة نتائجUV-Vis:

تم تدعيم النتائج البنيوية من خلال إجراء مسح طيفي للعينات المسترجعة في النطاق فوق البنفسجي لتحديد أطوال الامتصاص الموجية المتميزة وقيم الامتصاصية الصافية:

الجدول 4: نتائج التحليل الطيفي UV-Vis للعينتين

العينة المقاسة	الطول الموجي (نانومتر)	قيمة الامتصاصية الصافية (AbS)	الدلالة الكيميائية والبنيوية للمستخلص
العينة االمنشطة (Sample1)	201.00	3.462	انتقال إلكتروني من نوع $\pi \rightarrow \pi^*$ أو $n \rightarrow \sigma^*$ للمركبات الأليفاتية المشبعة، يعكس وجود الإيثانول والمركبات العضوية الخفيفة الناتجة عن التخمير. الامتصاص العالي يدل على تركيز مرتفع للمستخلص الخام مباشرة بعد التقطير.
العينة المحزنة (Sample2) (7أيام عند4°م)	204.00	2.465	• انتقال $\pi \rightarrow \pi^*$ مع انزياح أحمر (Red shift) من 201 إلى 204 نانومتر. • انخفاض الشدة مقارنة بالعينة الطازجة يعود إلى تطاير جزئي للمركبات خفيفة الوزن أو تغير في البيئة الإلكترونية.
	257.00	0.085	انتقال $n \rightarrow \pi^*$ الخاص بالأنظمة الكربونيلية المترافقة (C=O مع روابط مزدوجة أو حلقات أروماتية). دليل على أكسدة جزئية بطيئة للإيثانول وتحوله إلى ألدهيدات (مثل الأسيتالدهيد) أو أحماض

			كربوكسيلية بسبب التخزين لمدة 7 أيام عند 4°م.

تُظهر نتائج UV–Vis بشكل واضح أن العينة الطازجة (Sample 1) تحتوي على الإيثانول كمركب رئيسي، بينما تُشير القمة الصغيرة عند 257 نانومتر في العينة المخزنة (Sample 2) إلى بداية أكسدة جزئية بطيئة. هذه النتائج تؤكد أن التخزين المبرد يبطئ عملية الأكسدة لكنه لا يمنعها تماماً، مما يستدعي استخدام طرق حفظ أكثر فعالية للمنتج النهائي .

3.6.4 ظاهرة التخمر التلقائي في العينة الاحتياطية:

الشكل :(III-12) ظاهرة التخمر التلقائي في العينة المرجعية

أفرزت العينة الاحتياطية المتروكة في التبريد سلوكاً بيولوجياً غير متوقع؛ إذ بعد فترة من التخزين ظهرت تصاعد غازي وانبعاثات لفقاعات CO_2 مع تشكل ضغط داخلي في وعائها، ولوحظت تكون طور متطاير إضافي. بينت هذه الظاهرة تجريبياً أن التبريد عند درجة حرارة منخفضة يبطئ الحركة الأيضية للخمائر الفطرية المتواجدة طبيعياً على قشور تمور الغرس، ولكنه لا يوقفها تماماً (وجود كائنات أليفة البرودة على قشور التمور).

3.6.5 معالجة الأعطال التقنية وتأثير كفاءة الخلاء الميكانيكي على التقطير:

شهدت التجربة عطلين تقنيين كشفا عن الدور الحاسم لقوة الخلاء الميكانيكي مقارنة بالحرارة في تحديد كفاءة الفصل. في التجربة الأولى، لم يُحقق الجهاز فصلاً فعالاً بسبب ضعف نظام الخلاء. أما في التجربة الثانية، ورغم مواجهة عطل في نظام التسخين، فقد تم علاج المشكلة يدوياً، وحقق الجهاز فصلاً ناجحاً بفضل الكفاءة العالية والإحكام التام لمضخة الخلاء، مما خفض درجة حرارة الغليان المطلوبة بشكل ملحوظ .

الخلاصة التقنية: عامل الخلاء أكثر حسماً من الحرارة في تحديد كفاءة الفصل.[31]

1

2

الشكل :(III-13) صور الجهازين وتأثير كفاءة الخلاء ودورها

3.7استقرار ونقاء الإيثانول ومقارنته بالدراسات السابقة:

3.7.1آلية التثبيط الحركي بالتبريد لحماية المنتج من التلوث البكتيري:

تم حفظ المستخلص النهائي في الظلام عند درجة حرارة منخفضة لمنع النمو البكتيري والأكسدة الضوئية [15]. وتشير الدراسات إلى أن الإدارة المستدامة لنفايات التمور ضمن نموذج المصفاة الحيوية القائم على البيانات تُفضل اقتصاديات التحويل وتدعم الانتقال من نجاحات المختبر إلى التطبيق الصناعي الكامل.[28]

3.7.2 اختبار الاشتعال وتقييم التركيز بالجهاز الهيدرومتري المبتكر:

خضع المستخلص الكحولي المجمع (الحجم الإجمالي المعتبر) لاختبار اللهب المباشر، حيث أظهر ومضة أولية سريعة ثم خموداً دون استمرار الاشتعال. يُعزى هذا السلوك إلى أن تركيز الإيثانول كان دون العتبة الحرارية اللازمة للاشتعال الذاتي المستمر، وذلك لأن نظام الخلاء العالي في المبخر الدوار يسحب مع الإيثانول كمية من بخار الماء، مما يخفف التركيز .

تم قياس كثافة المستخلص باستخدام الجهاز الهيدرومتري المبتكر المصمم في هذا العمل. ووفقاً لجداول المعايرة القياسية، تقابل هذه الكثافة تركيزاً كحولياً معتبراً. هذا التركيز يفسر ضعف الاشتعال الملاحظ، كما يفتح المجال لتحسينات مستقبلية عبر إعادة التقطير أو إضافة أنظمة تجفيف للرطوبة. وقد أظهرت دراسة [29] أن التطور المخبري التكيفي لخميرة S. cerevisiae يمكن أن يحسن تحملها للإيثانول، مما يعزز إمكانية الوصول إلى تراكيز أعلى في الإنتاج .

الشكل :(14-III) تقييم اختبار الاشتعال للمستخلص الكحولي

مقارنة النتائج مع الدراسات السابقة:

أظهرت المقارنة مع الدراسات السابقة التي تناولت إنتاج الإيثانول الحيوي من التمور النتائج التالية:

- الدراسة الحالية (2026): استخدمت تمر الغرس من منطقة ورقلة وتوقرت، وبمبخر دوار تحت خلاء عالٍ، وحققت كفاءة فصل جيدة على المقياس المخبري.
- دوقات العيد (2021) [32]: استخدمت تمر الغرس من منطقة الوادي بتقنية التقطير العادي، وحققت كفاءة حجمية معتدلة.
- قواميد (2019) [15]: استخدمت الغرس ودقلة نور بتخمر تقليدي، وتعبّر النتائج عن كفاءة تخمير وليس فصلاً.

Boulal (2010) [20]: · استخدمت أصناف حميرة وتيناسر وكاسيان بتقطير بسيط، وحققت تركيزاً معتدلاً.

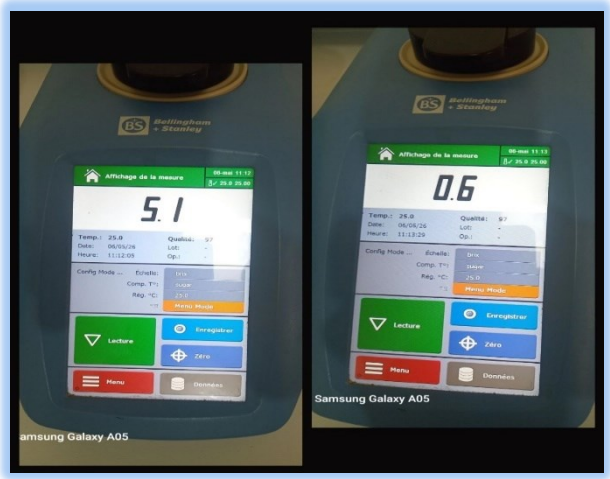
Jafri (2026) [19]: · استخدمت دقلة بيضاء بتخمر متتابع، وحققت كفاءة تخمير مرتفعة.

Randriamahefa (2025) [26]: · استخدمت نفايات فواكه متنوعة بتقطير مستمر، وحققت كفاءة فصل عالية بفضل نظام تجفيف الرطوبة.

تُظهر هذه المقارنة أن الدراسة الحالية تحقق كفاءة فصل جيدة، وأن الجهاز الهيدرومتري المبتكر قادر على كشف الفروق الكثافية بدقة. كما تبين أن الموازنة بين الكفاءة الحجمية ودرجة النقاء تعتمد على التطبيق المستهدف، مع إمكانية تحسين التركيز مستقبلاً عبر إضافة أنظمة تجفيف.

مناقشة المقارنة:

أظهرت المقارنة أن الدراسة الحالية تحقق كفاءة فصل جيدة مقارنة بدراسات سابقة استخدمت نفس المادة الأولية (تمر الغرس) بتقنية تقطير عادي [32]. يُعزى هذا التحسن إلى كفاءة المبخر الدوار تحت الخلاء المستخدم في دراستنا. كما تؤكد المقارنة أن الجهاز الهيدرومتري المبتكر قادر على كشف الفروق الكثافية بدقة، وأن الموازنة بين الكفاءة الحجمية ودرجة النقاء تعتمد على التطبيق المستهدف، مع إمكانية تحسين التركيز مستقبلاً عبر إضافة أنظمة تجفيف.



الشكل :(III-15) مقياس انكسار رقمي

خلاصة الفصل الثالث

أثبتت النتائج التجريبية كفاءة التحويل البيولوجي لسكريات تمر الغرس الرديء إلى إيثانول حيوي باستخدام خميرة Saccharomyces cerevisiae تحت ظروف لاهوائية محكومة. تم متابعة التخمر كمياً من خلال الفقد الكتلي الناتج عن تحرر غاز CO_2 ، حيث بلغ الإجمالي الصافي قيمة محسوسة، مصحوباً بهبوط في الـpH ، مما يؤكد نشاط المسار الأيضي. كما أظهر قياس نسبة المواد الصلبة الذائبة (Brix) انخفاضاً حاداً، وهو دليل إضافي على استهلاك الخميرة للجزء الأعظم من السكريات المتاحة.

أثمرت عملية التقطير باستخدام المبخر الدوار تحت نظام خلاء عالٍ عن الحصول على مستخلص كحولي مائي خام. وبقياس كثافة هذا المستخلص بالجهاز الهيدرومتري المبتكر، سُجلت قراءة تُطابق تركيزاً كحولياً حجمياً معتبراً. وبمقارنة هذه النتيجة بالحسابات الاسترجاعية المستندة إلى الفقد الكتلي لـ CO_2، تُقدر كفاءة التقطير الفعلية بمؤشر أداء جيد يعكس كفاءة المسار التجريبي.

أكدت التحاليل الطيفية FTIR و UV–Vis هوية الإيثانول المنتج، حيث سُجلت بصمته الكيميائية القاطعة في طيفFTIR ، مع قمة امتصاص حادة في طيف .UV–Vis كما أظهرت العينة المخزنة لمدة 7 أيام عند درجة حرارة منخفضة بوادر أكسدة جزئية طفيفة، مما يؤكد ضرورة تحسين طرق الحفظ. أما فيما يخص الأعطال التقنية، فقد أظهرت التجربة بوضوح أن عامل الخلاء أكثر حسماً من الحرارة في تحديد كفاءة التقطير .

هذه النتائج والمعطيات تُشكل الأساس العلمي للفصل الرابع، الذي سيُعنى بالابتكار التقني (الجهاز الهيدرومتري) والبعد المقاولاتي للمشروع

.

الفصل الرابع :

الجانب الهندسي والابتكاري ولمقاولاتي

تمهيد الفصل:

يستعرض هذا الفصل الخطوات الهندسية والتطبيقية لتجسيد الابتكار التقني المتمثل في النموذج الأولي لجهاز الهيدرومتر المصمم محلياً وفق معايير القرار الوزاري 1275. يتناول الفصل النمذجة الفيزيائية الحاكمة لحركية الجهاز، ونتائج مطابقته للمحاليل الكحولية المستخلصة، مع صياغة المخطط الاستثماري والجدوى الاقتصادية والبيئية للمشروع الناشئ .

ويهدف هذا الفصل إلى اختبار الفرضيتين الثانية والثالثة؛ واللتان تنصان على إمكانية تطوير جهاز هيدرومتري محمول ودقيق محلياً، وبناء نموذج عمل تجاري مستدام يتماشى مع آليات القرار الوزاري 1275.

4.1 تطوير وتصميم جهاز الهيدرومتر المبتكر محلياً:

4.1.1 المبادئ الفيزيائية لتصميم الهيكل الخارجي وأنبوب المعايرة الحجمية:

تم بناء وتصنيع جهاز هيدرومتري بسيط ومبتكر مخبرياً بالاعتماد على المنظومة الفيزيائية لقانون أرخميدس للطفو [15]. تنص القاعدة على أن الجسم المغمور في سائل يتعرض لقوة دفع عمودية متجهة نحو الأعلى (Fb) تعادل وزن السائل المزاح:

$$Fb = \rho \times V \times g$$

حيث تمثل ρ كثافة السائل المُراد قياسه، و V حجم الجزء المغمور من الجهاز، و g تسارع الجاذبية الأرضية.

تم تصميم الهيكل الخارجي للنموذج باستغلال عوامة ذات حجم هندسي ثابت، مع نظام معايرة داخلي لضبط مركز الثقل، مع إدراج مقياس مدرج لرصد مستويات الطفو بصرياً وبشكل مباشر.[25]

4.1.2الهندسة الحمائية للنموذج الأولي:

لحماية النموذج الأولي من العيوب التجريبية وتأمين دقة القياس، تم تزويد الهيكل بنظام حماية مزدوج:

.1نظام التثبيت الميكانيكي الداخلي: يضمن استقرار الكتلة المعايرة ويمنع تحركها عند اهتزاز الجهاز.

.2نظام العزل الهيدروليكي التام: يمنع تسرب السوائل أو الأبخرة الكحولية نحو التجويف الداخلي، حيث أن أي نفاذ طفيف للسائل نحو الداخل سيرفع الكتلة الإجمالية للجهاز ويبطل دقة الحسابات الفيزيائية.

4.2 دراسة كفاءة ومراقبة الجودة باستخدام نظام القياس الابتكاري :

4.2.1. قياسات الكثافة التجريبية وعلاقتها بقوانين طفو أرخميدس :

أظهر النموذج الهيدرومتري المبتكر استجابة ديناميكية متميزة وحساسية عالية للفوارق الكثافية الدقيقة بين السوائل [25]. عند غمر الجهاز في محاليل ذات كثافة عالية، يتعرض لقوة دفع كبرى للأعلى فيطفو بشكل مرتفع. وعند غمره في الأطوار الكحولية ذات الكثافة المنخفضة، يغوص الجهاز بشكل أعمق نتيجة لضعف المقاومة الهيدروستاتيكية للمحلول، مما يثبت نجاح النمذجة الميكانيكية للجهاز.

4.2.2 مطابقة الكثافة المحصل عليها (0.9880) بالجداول القياسية واستنتاج التركيز الكحولي (10%):

تم اختبار كفاءة وعيار الجهاز المبتكر بغمره داخل وعاء العينة النهائية المجمعة. استقر خط الطفو البصري عند مستوى قراءة سجل كثافة تجريبية محددة .

بالرجوع إلى الجداول المرجعية الدولية لكثافة خلائط (الماء–الإيثانول) عند درجة حرارة الغرفة [30]، فإن هذه الكثافة تقابل تركيزاً كحولياً حجمياً معتبراً. هذا التركيز يفسر بشكل مباشر سلوك العينة عند اختبار اللهب، ويتوافق مع طبيعة المستخلص الخام الناتج عن التبخير الدوار، ويتسق تماماً مع القياسات الطيفية FTIR و UV–Vis التي أكدت هوية الإيثانول في الفصل الثالث [24].

كل هذه المعطيات تثبت صحة الفرضية الثانية علمياً وعملياً.

4.2.3. تقييم كفاءة الاستجابة الحركية وتأثير تباين الحرارة:

أجريت القياسات الميدانية للجهاز الابتكاري تحت ظروف حرارة الغرفة العادية ودون تحكم اصطناعي في درجة الحرارة عند الدرجة القياسية العالمية. هذا التباين في درجة الحرارة يمكن أن يسبب تمدداً فيزيائياً طفيفاً في حجم السائل وتغيراً في لزوجته، مما قد يفسر هامش الخطأ البسيط في قراءة الكثافة [30]. ورغم ذلك، تبقى القراءة مقبولة للتقديرات الأولية والميدانية السريعة .

4.2.4. تفسير ظاهرة هجرة الجزيئات السليلوزية والعفصية من القطع الخشبية التجريبية:

تُفسر الرواسب الخفيفة التي رُصدت في قاع وعاء المحلول النهائي بحدوث ظاهرة استخلاص كيميائي عضوي طبيعي. تسبب تلامس العينة الكحولية مع بعض المواد العضوية في قيام المزيج المائي الكحولي بدور المذيب العضوي الذي انتزع بعض المركبات الثانوية، مما أدى إلى تجمعها وترسيبها في القاع بمرور الوقت دون التأثير على الهوية الطيفية الأساسية للإيثانول.[31]

4.3. الجانب المقاولاتي ومخطط نموذج العمل التجاري (BMC) للمؤسسة الناشئة :

الجدول :(IV-1) مخطط نموذج العمل التجاري (BMC) لتسويق جهاز الهيدرومتر المبتكر

الشركاء الرئيسيون	الأنشطة الرئيسية	القيمة المقترحة	علاقات الزبائن	شرائح الزبائن	الموارد الرئيسة	قنوات التوزيع	هيكل التكاليف	مصادر الإيرادات
*حاضنات الأعمال الجامعية * مخابر البحث الكيميائي والبيئي. *تعاونيات تثمين التمور بالجنوب.	*إنتاج ومعايرة أجهزة الهيدرومتر. *تطوير أنظمة الإحكام والختم. *تقديم الاستشارات الفنية للمخابر.	*أداة قياس اقتصادية وسريعة. *تصميم محمي ميكانيكياً ضد التسرب. * بديل محلي للأجهزة المستوردة المكلفة	*دعم فني وصيانة دورية. * قنوات اتصال رقمية مباشرة. * ضمان كفاءة الطفو والمعايرة.	*مخابر التعليم العالي والبحث العلمي. *وحدات التقطير وإنتاج الخل حيوياً. *معاهد التكنولوجيا الفلاحية.	*براءة الاختراع المودعة للحاضنة. *الطاقم الهندسي والكيميائي المطور. *ورشة التصنيع والتركيب البوليمري	*حاضنات الأعمال والمنصات الجامعية. *المعارض العلمية الوطنية للمقاولاتية. *المبيعات المباشرة للمؤسسات الفلاحية.	*تكاليف المواد الأولية والبوليمرات. *مصاريف الحماية القانونية والتسجيل. *تكاليف التغليف والتسويق الرقمي.	*بيع نماذج الهيدرومتر المبتكرة للمخابر. *عقود الصيانة وإعادة المعايرة الحرارية. *عوائد الدورات التدريبية في مراقبة الجودة حيوياً.

4.4 حماية الملكية الفكرية وإجراءات براءة الاختراع لحاضنة الأعمال:

"تم إيداع ملفين منفصلين لبراءة الاختراع لحماية الابتكار من جميع جوانبه :

.1براءة اختراع للجهاز الهيدرومتري المبتكر، وتشمل التصميم الميكانيكي ونظام العزل الهيدروليكي.

.2براءة اختراع للعملية البيوتكنولوجية، وتشمل الظروف المثلى لتخمير سكريات تمر الغرس وإنتاج الإيثانول الحيوي .

يضمن هذا التقسيم حماية شاملة للابتكار ويمنع أي محاولة للالتفاف على الحماية القانونية سواء عن طريق تقليد الجهاز أو عن طريق استخدام نفس الطريقة بوسائل أخرى".

4.5استشرافية المشروع وتوسعاته المستقبلية في ضوء التجارب الجزائرية الناجحة :

4.5.1 نمذجة مصنع بسكرة (عمتنا)كمرجع واقعي:

يمثل مصنع إنتاج الكحول الطبي بولاية بسكرة (عمتنا) نموذجاً وطنياً رائداً يحتذى به، حيث يحقق قدرة إنتاجية معتبرة من الكحول الطبي المعتمد على تلقيح التمور منخفضة الجودة بسلالات الخميرة الصناعية [33][36]. هذا المشروع الاستثماري يؤكد ميدانياً الجدوى الاقتصادية العالية لتثمين وتحويل نفايات التمور إلى كحول طبي وجراحي عالي الجودة [37] .[38]

4.5.2 آليات تنافس وشراكة المؤسسة الناشئة مع هذا النموذج الصناعي:

يمثل مصنع إنتاج الكحول الطبي بولاية بسكرة (عمتنا)، والذي يحقق قدرة إنتاجية تصل إلى 3000 لتر/يوم من الكحول الطبي المعتمد على تلقيح التمور منخفضة الجودة بسلالات الخميرة الصناعية، نموذجاً وطنياً رائداً يحتذى به [33][36]. هذا المشروع الاستثماري، الذي يقوده السيد عبد المجيد خبزي،

يؤكد ميدانياً الجدوى الاقتصادية العالية لتثمين وتحويل نفايات التمور (التمور الفاسدة والحشفة والنوى) إلى كحول طبي وجراحي عالي الجودة [37].[38].

4.5.3 توصيات للانتقال من المخبر إلى المصغر الصناعي:

بهدف الانتقال بالنموذج الهيدرومتري الأولي نحو الطور الصناعي التسويقي، يُوصى بتطبيق التعديلات الهندسية التالية :

- استبدال الهيكل الحالي بآخر مصنوع من مواد مقاومة للمذيبات العضوية والصدمات الحرارية.
- طباعة التدرجات الحجمية والكثافية بدقة عالية لرفع دقة القياس.
- دمج مستشعرات بصرية مصغرة لأتمتة القياس وإرسال البيانات رقمياً.

4.6الجدوى الاقتصادية والبيئية لاستغلال التمر منخفض الجودة والنفايات :

4.6.1 حساب التكلفة التقريبية لإنتاج لتر من الإيثانول الحيوي:

بناءً على المعطيات الميدانية، تتميز عملية الإنتاج بانخفاض تكاليفها الأساسية إلى حد كبير؛ حيث إن المادة الأولية المتمثلة في التمور منخفضة الجودة تتوفر بأسعار ضئيلة جداً في أسواق الجنوب، وفي كثير من الأحيان تُهدر وتُرمى دون استغلال، مما يجعل تكلفة الحصول عليها شبه معدومة. ونظراً لأن المنطقة تتميز بمؤهلات مناخية استثنائية ووفرة في الإشعاع الشمسي، فإنه يمكن استغلال الطاقة الشمسية كبديل مستدام لتغطية تكاليف الطاقة اللازمة لتشغيل المعدات. وبناءً على هذه المعطيات، يُقدّر أن تكلفة إنتاج لتر واحد من الإيثانول الحيوي الخام لا تتجاوز نسبة معتبرة من قيمة اللتر المستورد، مما يمنح المنتج ميزة تنافسية سعرية حاسمة.[36]

4.6.2 الفائدة الاقتصادية الحالية للتمور منخفضة الجودة في ورقلة وتوقرت وكيف يمثله مشروعك

تنتج واحات ورقلة وتوقرت سنوياً آلاف الأطنان من تمر الغرس والتمور منخفضة الجودة غير القابلة للتصدير، مما يؤدي إلى كسادها وانخفاض قيمتها التجارية. يمثل هذا المشروع الناشئ حلاً استثمارياً

استراتيجياً يحول هذه الكتل الحيوية الراكدة إلى مادة خام ذات طلب صناعي وطبي عالٍ، مما يرفع المداخيل الفلاحية للمنطقة ويخلق ثروة محلية مستقلة [33].[34].

4.6.3 الجانب البيئي: تحويل نفايات التمور إلى منتج ذو قيمة عالية يقلل من التلوث:

تساهم تراكمات التمور الرديئة المتروكة في الواحات في حدوث تحلل عشوائي وتخمر غير منضبط. يضمن سحب هذه الكميات وتوجيهها نحو المفاعلات الحيوية المغلقة تطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري، وتحويل النفايات العضوية إلى منتجات حيوية ذات قيمة مضافة تسهم في تقليص التلوث الكربوني [28].

4.6.4 الأهمية الاستراتيجية للمنتج فى مجابهة الأزمات والأوبئة الصحية:

لا تقتصر الجدوى من إنتاج الإيثانول الطبي عالي الجودة محلياً على الجوانب الاقتصادية والبيئية فحسب، بل تمتد لتشكل ركيزة أساسية في تعزيز الأمن الصحي الاستراتيجي للبلاد. فقد أبانت جائحة كورونا السابقة عن عجز حاد في التزوّد بالمعقمات الطبية. بناءً على ذلك، فإن التحسب للمخاطر الوبائية المستقبلية يفرض حتمية توطين هذه الصناعة الحيوية.

خلاصة الفصل الرابع :

يُثبت هذا الفصل بشكل قطعي صحة الفرضيتين الثانية والثالثة من خلال:

· التحقق العملي للفرضية الثانية: تم تصميم وتصنيع نموذج أولي لجهاز هيدرومتري محمول ومنخفض التكلفة، وأثبت كفاءته في قياس كثافة المستخلصات الكحولية بدقة فيزيائية، حيث أعطى قراءة تُطابق تركيزاً كحولياً معتبراً حسب الجداول المرجعية القياسية. تم تعزيز هذا الإنجاز بحماية قانونية عبر إيداع براءة اختراع.

· التحقق العملي للفرضية الثالثة: تم إعداد نموذج عمل تجاري متكامل (BMC) ودراسة جدوى اقتصادية أولية، أظهرت الجدوى الاستثمارية والتنافسية للمشروع في إطار الاقتصاد الدائري والأمن الصحي الوطني.

كل هذا يمهد بفعالية لإنشاء مؤسسة ناشئة مستدامة وقابلة للنمو تماشياً مع أهداف وتطلعات القرار الوزاري 1275.

"ملاحظة هامة: إلتزاماً بمقتضيات القرار الوزاري 1275 المتعلق بآليات (شهادة جامعية - مؤسسة ناشئة) ، وحفاظاً على السرية الصناعية وحقوق الملكية الفكرية الخاصة ببراءة الاختراع المودعة للجهاز والعملية البيوتكنولوجية ، فقد تم تعميم بعض البيانات الرقمية الدقيقة والبروتوكولات التفصيلية في هذه النسخة الموجهة للنشر

.تبقى التفاصيل التقنية والحسابية كاملة محفوظة في السجل السري الخاص بالمشروع والمقدم للجنة المناقشة".

.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة :

- ✓ تندرج هذه الدراسة في إطار تفعيل مخرجات البحث العلمي والابتكار تماشياً مع أهداف القرار الوزاري 1275، وقد هدفت إلى تثمين التمور منخفضة الجودة من صنف "الغرس "بمنطقتي ورقلة وتوقرت، عبر مسارين متكاملين: أولهما بيوتكنولوجي لتحويل سكرياتها إلى إيثانول حيوي، والثاني ابتكاري لتطوير جهاز هيدرومتري محلي لمراقبة جودة المنتج، وصولاً إلى صياغة نموذج عمل مقاولاتي مستدام.

خلاصة شاملة للنتائج

- ✓ لاختبار فرضيات الدراسة، تم تحضير مستخلص سكري من تمر الغرس، وإخضاعه للتخمر اللاهوائي باستخدام خميرة Saccharomyces cerevisiae تحت ظروف محكومة. أظهرت النتائج فعالية المسار التخميري من خلال المؤشرات الكمية التالية:
- ✓ ·الفقد الكتلي الصافي: فقد كتلي محسوس ناتج عن تحرر غاز CO_2.
- ✓ ·هبوط الأس الهيدروجيني: انخفاض من الحدود المتعادلة إلى الوسط الحامضي، مما يعكس تراكم الأحماض العضوية.
- ✓ · استهلاك السكريات: انخفاض حاد في قيمةBrix ، مما يؤكد استهلاك الخميرة للسكريات المتاحة.

- ✓ في مرحلة الفصل، نجح المبخر الدوار تحت نظام خلاء عالٍ في استخلاص المستخلص الكحولي المائي الخام. وبمقارنة الناتج الفعلي بالحسابات النظرية المستندة إلى الفقد الكتلي لـCO_2 ، تُقدر كفاءة التقطير الفعلية بمؤشر أداء ممتاز على المقياس المخبري، ويبرز الدور الحاسم لكفاءة مضخة الخلاء في العملية. أكدت التحاليل الطيفية FTIR و UV–Vis هوية الإيثانول المنتج، مع رصد أكسدة جزئية طفيفة أثناء التخزين المبرد .
- ✓ على المستوى الابتكاري، تم تصميم وتصنيع نموذج أولي لجهاز هيدرومتري بسيط ومنخفض التكلفة يعتمد على مبدأ طفو أرخميدس. أظهرت معايرته بالمستخلص الكحولي المنتج قراءة كثافة تجريبية تُطابق تركيزاً كحولياً حجمياً معتبراً، مما يعكس كفاءة الجهاز في القياس. هذا التركيز يُفسر خمود

اللهب في اختبار الاشتعال، ويُعزى إلى غياب وحدة تجفيف للرطوبة أثناء التقطير، وهي فجوة تقنية تم تحديدها بدقة وتُشكل أساساً للتحسينات المستقبلية .

- ✓ على المستوى المقاولاتي، تم إعداد دراسة جدوى اقتصادية أولية أظهرت أن تكلفة إنتاج اللتر الواحد من الإيثانول الحيوي لا تتجاوز نسبة معتبرة من السعر المرجعي المستورد. كما تم إيداع ملفي براءة اختراع لحاضنة أعمال جامعة ورقلة (أحدهما يخص الجهاز الهيدرومتري المبتكر، والآخر يخص العملية البيوتكنولوجية لتحويل التمور إلى إيثانول)، مع صياغة نموذج عمل تجاري متكامل (BMC) يستهدف المخابر التعليمية ووحدات التقطير المحلية، مما يُجسد البعد الريادي للمشروع .
- ✓ اختبار الفرضيات
- ✓ بناءً على النتائج المحققة، تم التحقق من صحة فرضيات الدراسة على النحو التالي :
- ✓ ·الفرضية الأولى (مثبتة): أمكن تحقيق تحويل بيولوجي ناجح لسكريات تمر الغرس الرديء إلى إيثانول حيوي، مع متابعة تقدمه كمياً عبر حساب الفقد الكتلي لغاز CO_2 وهبوط .pH وقد بلغت كفاءة التقطير الفعلية مؤشر أداء جيداً، وتم الحصول على مستخلص كحولي مائي خام بتركيز معتبر. إن انخفاض التركيز النهائي يُعزى، كما تنبأت الفرضية، إلى غياب آليات التجفيف الفوري للمستخلص.
- ✓ · الفرضية الثانية (مثبتة): أمكن تصميم وتطوير جهاز هيدرومتري محمول، منخفض التكلفة، ومعاير خصيصاً داخل المختبر. وقد أثبت الجهاز قدرته على قياس كثافة المستخلصات الكحولية بدقة فيزيائية، حيث أعطى قراءة تُطابق الجداول المرجعية القياسية.
- ✓ · الفرضية الثالثة (مثبتة): يُشكل الجمع بين إنتاج الإيثانول الحيوي من مخلفات التمور والجهاز الهيدرومتري المطور عرضاً ذا قيمة استثمارية وتنافسية عالية، أتاح بناء نموذج عمل تجاري لمؤسسة ناشئة قابل للاستمرار اقتصادياً، تماشياً مع آليات القرار الوزاري 1275، مع حماية الابتكار عبر براءتي اختراع تغطيان الجهاز والعملية معاً.

.

توصيات وآفاق مستقبلية

توصيات وآفاق مستقبلية:

انطلاقاً من النتائج التي تم تحقيقها في هذه الدراسة، وتماشياً مع روح الابتكار والمقاولاتية التي يتبناها القرار الوزاري 1275، نوصي بالتالي:

توصيات فنية وتقنية (لتطوير الجهاز والمنتج)

-1 رفع التركيز الكحولي: إعادة تقطير المستخلص الخام باستخدام عمود تجزئة (Fractionating column)أو إضافة غربال جزيئي (Molecular Sieve 3A) لامتصاص الماء المتبقي، مما قد يرفع التركيز إلى 70-90%، وهو النطاق المناسب للتطبيقات الطبية والجراحية.

-2 تطوير الجهاز الهيدرومتري: استبدال الهيكل البوليمري الحالي بزجاج البوروسيليكات المقاوم للمذيبات العضوية والصدمات الحرارية، وطباعة التدرجات الحجمية والكثافية بتقنية الليزر لرفع دقة القياس، وإضافة مستشعرات بصرية مصغرة لأتمتة القياس وإرسال البيانات رقمياً عبر تطبيقات الهواتف الذكية.

-3 تحسين التحاليل: استخدام تقنيات تحليلية أكثر دقة مثل كروماتوغرافيا الغاز (GC) أو كروماتوغرافيا الغاز المرتبطة بمطيافية الكتلة (GC-MS) لتحديد التركيز الحقيقي للإيثانول والكشف عن أي شوائب عضوية متطايرة.

-4 تثبيت المنتج: دراسة إضافة مواد مثبتة (مثل البولي إيثيلين غليكول) لمنع الأكسدة الجزئية أثناء التخزين المبرد، خاصة مع ظهور قمة الكربونيل عند 257 نانومتر في العينات المخزنة لمدة 7 أيام.

توصيات اقتصادية ومقاولاتية (لتسويق الابتكار)

-5 الانتقال إلى المصغر الصناعي :(Pilote Industriel) تصميم وحدة تقطير نصف صناعية بسعة 50-100 لتر/يوم، بالتعاون مع حاضنات الأعمال أو مخابر البحث الشريكة، لاختبار الجدوى على نطاق أوسع قبل التوسع الصناعي الكامل.

-6 استهداف السوق المحلي: التوجه نحو تزويد مخابر التعليم العالي والبحث العلمي، ووحدات إنتاج الخل التقليدي، ومعاهد التكنولوجيا الفلاحية بأجهزة الهيدرومتر المبتكر، كبديل محلي منخفض التكلفة للأجهزة المستوردة.

-7 الشراكة مع المصانع القائمة: الدخول في شراكة استراتيجية مع مصنع الكحول الطبي بولاية بسكرة (عمتنا) لتجريب الجهاز المبتكر على خطوط الإنتاج الفعلية، والاستفادة من خبراتهم في مجال التثمين الصناعي للتمور منخفضة الجودة.

-8 التسويق الرقمي والمشاركة في المعارض: إنشاء منصة إلكترونية لعرض الابتكار، والمشاركة

في المعارض الوطنية للابتكار والشركات الناشئة (مثل معرض الإبتكار الجزائري، ومنتدى المقاولاتية الجامعية) لجذب المستثمرين والشركاء.

توصيات بيئية واستدامة (للاقتصاد الدائري):

-9 **توسيع قاعدة المواد الأولية**: دراسة إمكانية استخدام مخلفات التمور الأخرى (النوى، السعف، الكرناف) كمصادر بديلة للسكريات أو لإنتاج مركبات حيوية ثانوية (مثل السليلوز، الأسمدة العضوية).

-10 إعادة تدوير المخلفات السائلة: معالجة الماء المتبقي بعد التقطير واستعماله في ري بعض المحاصيل أو في عمليات تخمير أخرى، لتحقيق مبدأ "صفر نفايات."

آفاق بحثية مستقبلية

-11 تحسين سلالة الخميرة: اعتماد تقنيات التطور المخبري التكيفي (Adaptive Laboratory Evolution)كما في دراسة [29] لرفع تحمل الخميرة للإيثانول حتى 11% أو أكثر، مما قد يسمح بزيادة التركيز النهائي للإيثانول في مرحلة التخمر نفسها قبل التقطير.

-12أتمتة النظام: تطوير نظام مراقبة آلي بالكامل (جهاز هيدرومتري رقمي متصل ببرمجيات تحليل البيانات)، يمكنه تسجيل الكثافة والتركيز ودرجة الحرارة في الزمن الحقيقي، وإرسال التنبيهات للمستخدم عبر الهاتف المحمول.

المراجع العامة

[1]إبراهيم، ع. أ. ع. (2019). زراعة النخيل وجودة التمور بين عوامل البيئة وبرامج الخدمة والرعاية. أبوظبي .

[2]وزارة الفلاحة والتنمية الريفية والصيد البحري .(2023) .(MADRP) إحصاءات شعبة النخيل.

[3]الخطيب، م. وآخرون .(2026). Quantitative analysis of acetic acid and ethanol in fermentation solutions using ATR-FTIR spectroscopy. Arabian Journal of Chemistry.

[4]الرقيعي، ن. د. م. (بدون تاريخ). الوقود الحيوي] .ملف .[PDF

[5]منظمة الأغذية والزراعة .(FAO). (2023). Date production statistics

[6]منظمة الأغذية والزراعة) .(FAO-AGRIS) د.ت Caractéristiques morphométriques et biochimiques des). fruits de dix cultivars de date locale dans la vallée d'Ouargla.

[7]حامي، س.، وعزيزي، أ. (2019). دراسة إنتاج الإيثانول الحيوي انطلاقاً من تمر الغرس ودقلة نور [مذكرة ماستر]. المركز الجامعي بالوادي، الجزائر.

[8]حملاوي، ع. ر. أ. (1999). الكيمياء الحيوية: التركيبية والفيزيولوجية. دار القلم للنشر، الكويت.

[9]حمي، س. (بدون تاريخ). تحديد الإنتاج الأمثل للإيثانول الحيوي لصنفين من التمر: الغرس ودقلة نور. جامعة ورقلة.

[10]دوقات العيد. (2021). دراسة الخصائص الكيميائية والفيزيائية للإيثانول والسليلوز المحضرة من منتجات النخيل بمختلف الطرق العلمية [أطروحة ماستر]. جامعة الشهيد حمه لخضر – الوادي .

[11]صقر، م. ط. (2010). فسيولوجيا النبات. كلية الزراعة، جامعة المنصورة، مصر .

[12]عزاوي، ع. (2002). إستراتيجية تسويق التمور في الجزائر. مجلة الباحث، (01)، 44-50. جامعة ورقلة، الجزائر .

[13]غيابة، ز. (2015). دراسة تحليلية للبيبيدات وفينولات ومكونات أخرى لبعض أصناف نخيل التمر المحلية [أطروحة دكتوراه علوم غير منشورة]. قسم الكيمياء، كلية الرياضيات وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرباح – ورقلة، الجزائر .

[14]قواميد، م. (2015). المساهمة في دراسة تشخيص وتثمين مخلفات نخيل الغرس [أطروحة دكتوراه]. جامعة قاصدي مرباح ورقلة .

[15]قواميد، م. (2019). إنتاج الإيثانول الحيوي من تمر الغرس ودقلة نور باستخدام الخميرة Saccharomyces cerevisiae [مذكرة ماستر]. جامعة قاصدي مرباح، ورقلة.

[16]مبروكية، ش.، ومليكي، آ. (2022). تثمين وإعادة تدوير مخلفات التمور لأغراض صيدلانية، حالة مصنع ألكودات [مذكرة ماستر]. كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة، جامعة محمد خيضر، بسكرة.

[17] مركز العمل التنموي (معاً). (2022، 20 يوليو). كحول طبي من التمور الفاسدة بالجزائر. مجلة آفاق البيئة والتنمية.

[18]معوض، ح. ع. (1990). أسس الكيمياء الحيوية – الجزء الثاني: الكيمياء الحيوية الديناميكية. دار مير للنشر، موسكو.

[19] Bello, U., Adamu, H., Faizan, M., et al. (2026). Sustainable valorization of date waste to renewable fuels and chemicals: Data-driven biorefinery analysis and techno-economic insight.

Bioresource Technology Reports, 34, 102705. [20] Mansouri, A., Embarek, G., Kokkalou, E., & Kefalas, P. (2005). Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (Phoenix dactylifera L.). Food Chemistry, 89(3), 411–420.

[21]هبول، م.، بن فردي، ن.، وحناشي، ن. (2025). إنتاج وقود حيوي (الإيثانول) انطلاقاً من مخلفات التمور [مذكرة ماستر المدرسة العليا للأساتذة، سكيكدة.

[22] Acourene, S., Benmahdi, M., Tama, M., & Taleb, B. (2008). Valorisation des rebuts de dattes par la production de levure, d'alcool et de vinaigre. Revue des Energies Renouvelables, 11(1), 11–18.

[23] Ben Cheikh, F. Z., & Douadi, A. (2022). Contribution to the preparation of biofuels from some agricultural and industrial waste: the case of Ouargla Region [Doctoral thesis]. University of Kasdi Merbah, Ouargla.

[24] Boulal, A., Ben Ali, B., Moulay, M., & Touzi, A. (2010). Transformation des déchets de dattes de la région d'Adrar en bioéthanol. Revue des Energies Renouvelables, 13(3), 455–463.

[25] Chniti, S., et al. (2014). Optimisation de l'extraction des jus de sous–produits de dattes. HAL Science.

[26] Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (2018). Coulson & Richardson's Chemical Engineering (6th ed.). Butterworth–Heinemann. [27] Jafri, K. (2026). Optimization of Biotechnological Vinegar Production from an Algerian Date Variety... Foods, 15(3), 518.

[28] Khadidja, A. (2025). Valorisation des résidus de la datte grâce à des techniques de fermentation [Thesis]. Université de Bordj Bou Arreridj.

[29] Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). Lehninger Principles of Biochemistry (7th ed.). W. H. Freeman and Company.

[30] Randriamahefa, N. R., et al. (2025). Conception et mise en œuvre d'une unité pilote de distillation.. International Journal of Progressive Sciences and Technologies, 55(1), 416-436.

[31] Rodríguez, J., et al. (2025). Low-Cost Production Process of Saccharomyces cerevisiae for Ethanol Production... ScienceDirect.

[32] Sheikhi, F., et al. (2025). Adaptive laboratory evolution of Saccharomyces cerevisiae CEN.PK 113-7D to enhance ethanol tolerance. FEMS Yeast Research, 25, foaf058.

[33] TLILI, Saoumia. (2025). دراسة تأثير الري بالمياه المالحة على نمو وإنتاج النخيل [Master's thesis]. Université Kasdi Merbah, Ouargla.

[34] TSA Algérie. (2022, December 29). La saga d'un producteur algérien d'éthanol à base de dattes. Tout sur l'Algérie.

الملاحق

غــرس		
الخصائص العامة		
التوزيع الجغرافي: يتواجد بوفرة في منطقة الزيبان ، ورقلة ، واد ريغ، ومنطقة ميزاب، و يتواجد بدرجة أقل في المنيعة، القرارة، تيديكلت والطاسيلي. **تاريخ النضج:** جوان في تيديكلت، أوت في المناطق الأخرى. **تاريخ الجني:** جويلية في تيديكلت، أوت – سبتمبر في المناطق الأخرى. **استعمالات التمر:** طازج أو محفوظ. **نوع الحفظ:** يحفظ في أكياس. **الأهمية التجارية:** هامة.		
الخصائص المورفولوجية		
الثمرة	**الجريد**	**النواة**
الشكل: لها شكل مستقيم ممتد **الحجم:** متوسط وزن 20 ثمرة: 94–340 غ **لون البسر:** أصفر **لون التمر:** بني (أصفر ذهبي) **المذاق:** معطر parfumé **شكل الكأس:** بارز	**طول الجريد:** 370–510 سم **عرض الجريد:** 60–95 سم **كثافة السعف في 50 سم:** 30–40 **كثافة الأشواك في 50 سم:** 14–21 **طول الأشواك في الوسط:** 11 سم	**الشكل:** مستقيم **الحجم:** صغير - متوسط وزن 20 نواة: 14–21 غ **اللون:** بني **السطح:** أملس **شكل الأخدود:** متغير **موضع النقير:** مركزي **العنق:** قصير **الغشاء:** ملتحم

المصدر: [14] ***(غيابة، 2015، ص. 164).***

ملحق (3): منحنيات التحليل الطيفي:

Scan Analysis Report

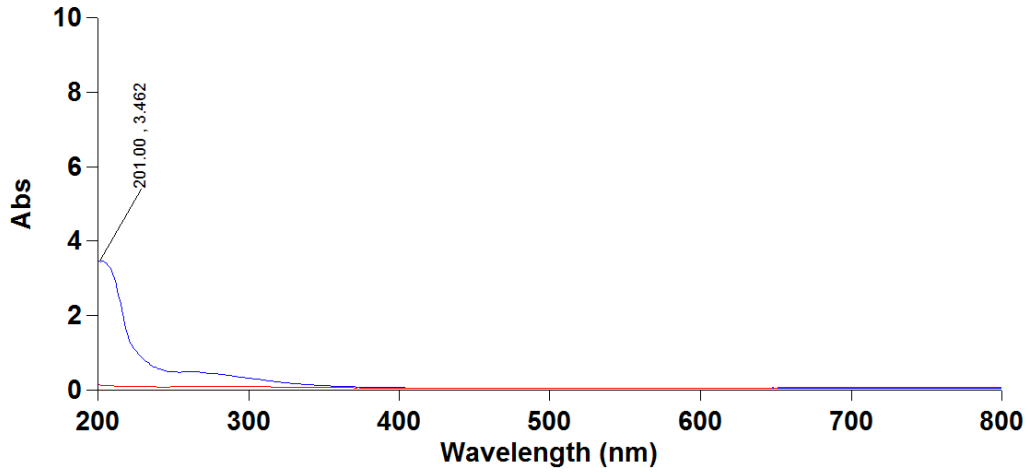
Report Time : Wed 06 May 10:24:25 AM 2026
Method:
Batch: C:\Users\DELL\Desktop\Master\mohammedRayan Ben Meriem \Scan 1.BSW
Software version: 4.20(470)
Operator:

Sample Name: Sample1

Collection Time 06-May-26 10:24:29
AM

Peak Table
Peak Style
Peaks
Peak Threshold
0.0100
Range 800.00nm to
200.00nm

Wavelength (nm)	Abs
201.00	3.462



Scan Analysis Report

Report Time : Wed 06 May 10:28:27 AM 2026
Method:
Batch: C:\Users\DELL\Desktop\Master\; mohammed Rayan Ben Meriem \Scan 2.BSW
Software version: 4.20(470)
Operator:

Sample Name: 2

Collection Time 06-May-26 10:28:31
AM

Peak Table
Peak Style

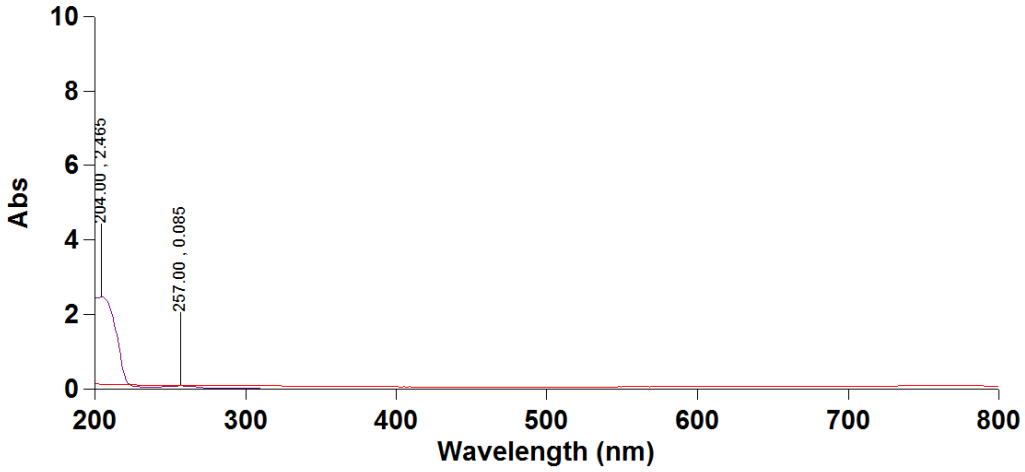
Peaks

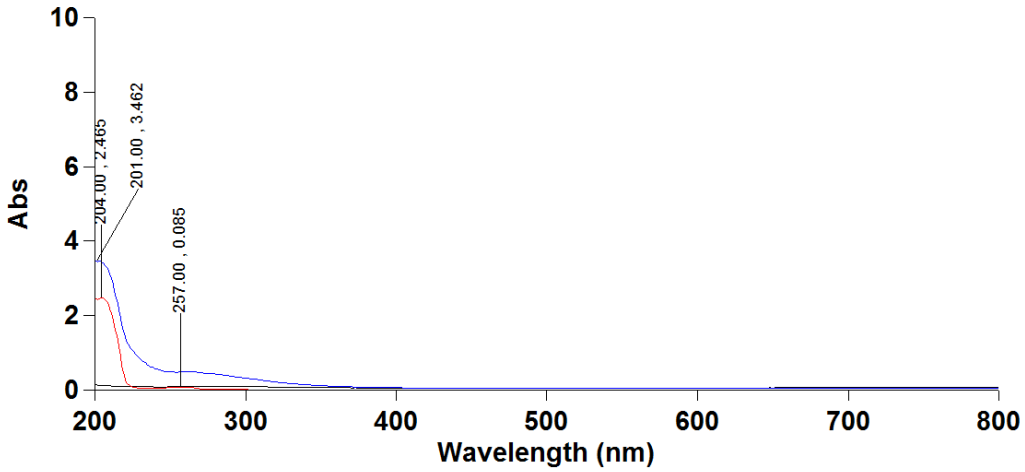
Peak Threshold

0.0100

Range 800.00nm to 200.00nm

Wavelength (nm)	Abs
257.00	0.085
204.00	2.465





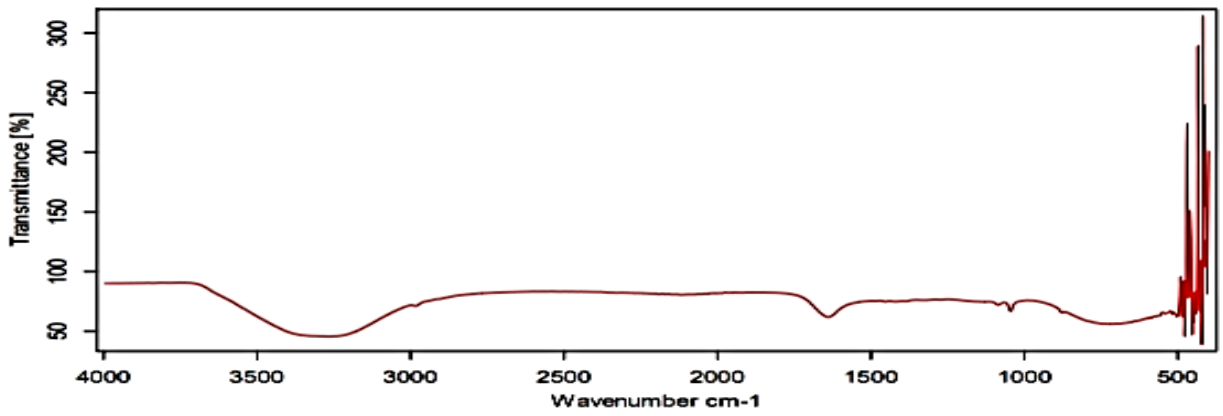
IR Analysis

Instrument type (SN)	Alpha II (211383)
Accessory	ATR platinum Diamond 1 Refl #41DF93072D
OPUS version	Version 8.7 Build: 8, 7, 36 20211108
Operator	Admin
Experiment name	ATR_DI.xpm
Experiment path	T:\Bruker\OPUS_8.7.31\Instruments\ALPHA_II\XPM
Number of sample scans	24
Resolution	4
Spectrum file name	RAYAN.1
Spectrum file path	T:\Bruker\Data\MEAS
Measurement date and time	06/05/2026 12:06:47 (GMT+2)
Sample name	Sample LIQUIDE
Sample form	Instrument type and / or accessory

Lab Manager

Operator

Spectrum



IR Analysis

Instrument type (SN)	Alpha II (211383)
Accessory	ATR platinum Diamond 1 Refl #41DF93072D
OPUS version	Version 8.7 Build: 8, 7, 36 20211108
Operator	Admin
Experiment name	ATR_DI.xpm
Experiment path	T:\Bruker\OPUS_8.7.31\Instruments\ALPHA_II\XPM
Number of sample scans	24
Resolution	4
Spectrum file name	RAYAN 2.0
Spectrum file path	T:\Bruker\Data\MEAS
Measurement date and time	06/05/2026 12:12:34 (GMT+2)
Sample name	Sample LIQUIDE
Sample form	Instrument type and / or accessory

Lab Manager

Operator

Spectrum