

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية البترولية والكيميائية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 4

1444 هـ - 2023 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. محمود حديد	رئيس هيئة التحرير
أ. د. درغام سلوم	رئيس التحرير

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

د. محمد هلال	عضو هيئة التحرير
د. فهد شريباتي	عضو هيئة التحرير
د. معن سلامة	عضو هيئة التحرير
د. جمال العلي	عضو هيئة التحرير
د. عباد كاسوحة	عضو هيئة التحرير
د. محمود عامر	عضو هيئة التحرير
د. أحمد الحسن	عضو هيئة التحرير
د. سونيا عطية	عضو هيئة التحرير
د. ريم ديب	عضو هيئة التحرير
د. حسن مشرقي	عضو هيئة التحرير
د. هيثم حسن	عضو هيئة التحرير
د. نزار عبشي	عضو هيئة التحرير

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة . وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة . مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News , Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
34-11	د. محي الدين حمود د. منال عيسى م. مهى منصور	دراسة العزل الصوتي لبعض الأقمشة غير المنسوجة المنتجة بطريقة الربط الحراري
72-35	م. مهند الابراهيم د. ديب ديب	مقارنة أدائية المضخات اللولبية الدورانية مع الوحدات المعلقة لإنتاج النفط الثقيل في بعض الحقول السورية
94-73	د. يوسف جوهر د. يمن الآتاسي م. تاريمان الداوود	تحسين الخواص الهيدروفوبية لبوليمير الإيبوكسي باستخدام بوليمير ثنائي ميتيل سيلوكسان
116-95	يارا بلال د. راميه المحمد	دراسة خصائص ألياف صبار أعاف أمريكانا
142-117	م. إنعام الساطي د. أنطون يوسف	تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح

دراسة العزل الصوتي لبعض الأقمشة غير المنسوجة

المنتجة بطريقة الربط الحراري

م. مها منصور¹ أ.د. محي الدين حمود² د. منال عيسى³

ملخص البحث

تعد صناعة الغزل والنسيج كإحدى أكبر الصناعات العالمية وأكثرها أهمية وقد أدت الحاجة إلى الحصول على أقمشة تلبي متطلبات الإنسان المختلفة و ذات مزايا مهمة في السوق إلى ظهور صناعة الأقمشة غير المنسوجة والتي تسمح بالحصول على مجموعة واسعة من الأقمشة الفريدة والمميزة للتطبيقات المختلفة. وقد تطورت هذه الصناعة خلال السنوات الأخيرة نظراً لتكافؤ تصنيعها المنخفضة، وإنتاجيتها العالية، وتطبيقاتها المتعددة والمهمة وخاصة في مجال تخفيض الضجيج. يعود ذلك لكونها عازل صوتي مثالي، بفضل بنيتها المميزة مقارنة بالمواد عالية الكثافة الأخرى المستخدمة في عزل الصوت كالفولاذ والتي تعكس غالبية الأصوات مرة أخرى في البيئة بسبب طبيعتها الصلبة، مما يحد من استخدامها على الرغم من قدرتها على عزل الصوت بالإضافة إلى تكلفتها العالية. تم في هذا البحث دراسة ثلاثة أنواع من الأقمشة غير المنسوجة وهي قطن 100%، بوليستر 100%، و ممزوج قطن 65% مع بوليستر 35% والمصنعة بطريقة الربط الحراري باستخدام مادة لاصقة بين الطبقات وهي مادة البولي إيثيلين منخفض الكثافة، و تمت عملية الربط باستخدام جهاز المكبس الحراري عند درجة حرارة وضغط ثابتين لمدة محددة من الزمن، حيث تم أخذ طبقتين من الشاشة، 4 طبقات، و 6 طبقات من كل نوع ومن ثم إجراء عملية الربط لكل منها على حدى، وذلك بهدف دراسة العزل الصوتي لهذه الأقمشة.

وتبين في الدراسة أن عينات البوليستر 100% قد حققت أفضل نسبة لعزل الصوت عند عدد طبقات 6، حيث تم الحصول على نسبة عزل (85.4%)، (وهي تعبر عن مدى قدرة المادة على عزل الأمواج الصوتية ومنعها من اختراق المادة العازلة)، مقارنة بباقي العينات يليها عينات الممزوج بنسبة عزل صوت (71%)، ثم عينات القطن بنسبة عزل للصوت مقدارها (68.85%)، ومنه نستنتج أن عزل الصوت يزداد بزيادة عدد طبقات الشاشة أي بزيادة سماكة العينات.

الكلمات المفتاحية: الأقمشة غير المنسوجة، الربط الحراري، عزل الصوت، المسامية.

1. معيدة موفدة داخلياً - قسم هندسة الغزل والنسيج - كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية - جامعة البعث.
2. أستاذ - قسم هندسة الغزل والنسيج - كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية - جامعة البعث.
3. دكتور مدرس - قسم هندسة الغزل والنسيج - كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية - جامعة البعث.

Studying the sound insulation of some thermal bonded non-woven fabrics

Abstract

The textile industry is one of the largest and most important global industries, and the need to get fabrics that meet different human requirements and have important advantages in the market has led to the emergence of the non-woven fabric industry Which allows obtaining a wide range of unique and distinctive fabrics for different applications. This industry has developed in recent years due to its low manufacturing cost, high productivity, and its many and important applications, especially in the field of noise reduction. This is due to the fact that it is an ideal sound insulator, thanks to its distinctive structure compared to other high-density materials used in sound insulation such as steel, which reflects the majority of sounds back into the environment due to their solid nature, which limits their use despite their ability to insulate sound besides to their high cost. In this research, three types of non-woven fabrics were studied, which are 100% cotton, 100% polyester, and a mixture of 65% cotton with 35% polyester,

manufactured by thermal bonding using an adhesive between the layers, which is low-density polyethylene, and the bonding process was done using a piston device at a constant temperature and pressure for a specified period of time, where two layers of bat, 4 layers, and 6 layers of each type were taken, and then the bonding process was performed for each of them, in order to study the sound insulation of these fabrics. In the study it was found that 100% polyester samples have achieved the best ratio of sound insulation at the number of layers 6, where an insulation rate of (85.4%), (it expresses the materials' ability to isolate sound waves and prevent them from penetrating the insulating material), was obtained compared to the rest of the samples, followed by mixed samples with a sound insulation rate of (71%), then cotton samples with a sound insulation rate of (68.85%), thus we conclude that the sound insulation increases with the increase in the number of layers bat by increasing the thickness of the samples.

Keywords: Non-woven fabrics, thermal bonding, sound insulation, porosity.

1 - المقدمة:

تعد صناعة الأقمشة غير المنسوجة واحدة من أبسط وأهم الصناعات النسيجية وهي تشكل المجموعة الثالثة من أشكال النسيج بعد المنسوج والتريكو، وفقاً للجمعية الأمريكية لمواد الاختبار (ASTM D 1117-80) "الأقمشة غير المنسوجة عبارة عن بنية نسيجية تنتج عن الترابط أو تشابك الألياف، أو كليهما، ويتم ذلك بواسطة وسائل ميكانيكية أو كيميائية أو حرارية أو مذيبات أو بالجمع بين عدة طرق"، ويتغير آخر القماش غير المنسوج عبارة عن شعر مسامي أو صفيحة من الألياف الموجهة أو العشوائية المدمجة بواسطة الالتصاق الكيميائي، الربط الميكانيكي، والانصهار الحراري.

[1]

إن الخطوة الأولى في تصنيع القماش غير المنسوج هي تشكيل شاشة من الألياف والتي يتم الحصول عليها بعدة طرق وهي الطريقة الجافة لتشكيل الشاشة وتتضمن عملية الكرد، الطريقة الرطبة لتشكيل الشاشة وهي مشابهة لطريقة تصنيع الورق والطريقة الثالثة هي طريقة توضع البوليمير وتتضمن التشكيل بطريقة الغزل spunbonding والتشكيل بطريقة الصهر meltblowing، الخطوة الثانية هي عملية الربط كما ذكرنا سابقاً تتم عملية الربط بواسطة وسائل ميكانيكية كالغرز بالإبر، أو الربط الكيميائي أو الربط الحراري وفي هذا البحث تم تشكيل شاشة الألياف بواسطة عملية الكرد ومن ثم ربط الشاشة بطريقة الربط الحراري.

1-2- تعريف عملية الربط الحراري:

يحدث الربط الحراري للأقمشة غير المنسوجة عندما يتم تسخين المواد المراد ربطها حرارياً باستخدام إحدى طرق الربط، مما يؤدي إلى ذوبان المواد اللدنة بالحرارة

Thermoplastic ومن ثم تعريضها للضغط مما يسمح باندماج البوليميرات مع بعضها حيث تتشكل الرابطة عندما تبرد المادة وتتصلب. [2]

1-3- أساليب الربط الحراري:

يمكن إجراء عملية الربط الحراري بعدة طرق هي: الربط المساحي بواسطة الإسطوانات الساخنة، الربط النقطي بواسطة الإسطوانات الساخنة، الربط بواسطة الهواء الساخن، الربط بالموجات فوق الصوتية والربط بالإشعاع. ويتم اختيار الطريقة المناسبة وفقاً لمواصفات القماش المطلوب الحصول عليه. [3]

1-4- مفهوم عزل الصوت:

العزل الصوتي هو نوع من التدبير لمنع الأمواج الصوتية من النفاذ عبر المادة. [4]

يتأثر أداء العزل الصوتي بعدة جوانب هي الكثافة والسماكة والبنية الدقيقة micro structure ، لذا يتم استخدام مواد مركبة ذات مواصفات خاصة من أجل الحصول على مواد عازلة للصوت خفيفة الوزن وذات سماكة منخفضة. [5]

1-5- المواد النسيجية المستخدمة في التطبيقات الصوتية:

تصنف المواد النسيجية التي يمكن استخدامها في التطبيقات الصوتية إلى خمسة أصناف رئيسية وهي موضحة في الجدول (1).

الجدول (1) أنواع المواد النسيجية المستخدمة في التطبيقات الصوتية والفرق بينها. [6]

نوع القماش	مواصفاته	الإيجابيات	السلبيات
منسوج	القماش ذو سماكة منخفضة، وسرعات الإنتاج بطيئة.	أبسط من جميع الأساليب الأخرى، و ذو تكلفة أقل.	إمكانية قليلة لتحسين العوامل التي تؤثر على العزل الصوتي، والسماكة المحدودة للأقمشة
غير منسوج	المسامية الجيدة للبنية النسيجية، سرعات الإنتاج عالية	يمكن التحكم بسهولة بمدى وحجم مسامية القماش، تقنية مدروسة ومستخدمة بشكل واسع.	سماكة محدودة للأقمشة، يمكن إنتاج الهياكل المستوية فقط.
مركبات البوليمير	الهياكل صلبة وتعكس غالبية الأمواج الصوتية	يمكن استخدام نفايات النسيج واستخدام ودمج مجموعة واسعة من المواد والحصول على الشكل المرغوب للمنتج.	تخفيض من مسامية المنتج، المنتج فاقد للمرونة.
الأقمشة المحاكة	حياكة السداء والحدف تسمح بالحصول على هياكل مفتوحة	تعدد بارامترات العملية، إمكانية إنتاج هياكل بسيطة غير مستوية	الأقمشة قليلة المرونة ومستقرة الأبعاد
الهياكل الهجينة	مزيج من اثنين أو أكثر من الهياكل المختلفة.	فعالة في نطاق الترددات العالية والمنخفضة	يعتمد عزل الصوت على تسلسل توضع المكونات (الهياكل) المختلفة.

2- هدف البحث:

دراسة كفاءة العزل الصوتي للأقمشة غير المنسوجة التي سيتم تصنيعها من مواد مختلفة من خلال دراسة تأثير المسامية و زيادة عدد الطبقات للخامات الداخلة في تركيب هذه الأقمشة.

3- خطة البحث:

1. اختيار نوع الألياف.
2. تجهيز العينات.
3. اختيار المادة الرابطة.
4. اختيار طريقة الربط الحراري المناسبة للعينات.
5. تطبيق عملية الربط.
6. قياس عزل الصوت للعينات المنتجة.

4- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

1. جهاز المكبس الحراري من أجل إجراء عملية الربط للعينات.
2. ميزان حساس إلكتروني.
3. جهاز قياس السماكة.
4. جهاز قياس عزل الصوت.

5- المواد المستخدمة في البحث:

1. ألياف قطن.
2. ألياف بوليستر.
3. مادة البولي إيثان منخفض الكثافة LDPE كمادة رابطة.

الجدول (2) مواصفات المواد المستخدمة

نوع المادة	ألياف القطن	ألياف البوليستر	مادة البولي إيثان منخفض الكثافة
الطول mm	25 – 30	38	-
القطر micron	11 – 22	11.45	-
النعومة dtex	1.75	1.4	-
الكثافة g/cm ³	1.52	1.39	0.92
درجة الانصهار C	-	245 – 265	115 – 135

6- التجارب العملية :

6-1- عملية الربط الحراري بواسطة المكبس الحراري:

تم تجهيز شاشات القطن 100%، بوليستر 100% وممزوج قطن 65% مع بوليستر 35% باستخدام الطريقة الجافة على آلة الكرد وهي عملية ميكانيكية تتضمن تفتيح الألياف ومزجها ومن ثم تشكيل الشاشة، حيث تمر الألياف على مجموعة من الطنابير الدوارة المغطاة بأسلاك ناعمة تعمل على تمشيط هذه الألياف وترتيبها بشكل متوازٍ أو عشوائي مشكلةً شاشة ويتم تغذية هذه الشاشة بشكل مستمر إلى سير ناقل والذي ينقلها إلى نظام يسمح بتوضع عدة شاشات فوق بعضها البعض ومن ثم نقلها إلى مرحلة الربط. تم قص هذه العينات بأبعاد (20*20)cm ثم تم وضع المادة الرابطة بين الشاشات بترتيب شاشة-مادة ربط-شاشة وباختلاف عدد طبقات الشاشة والموضحة في الجدول (3)، ومن ثم تم إجراء عملية الربط بواسطة جهاز المكبس الحراري الموضح في الشكل (1) والموجود في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا في دمشق، و عند نفس الشروط من الضغط المطبق ودرجة الحرارة والزمن والمفصلة في الجدول (4)، وتم الحصول على ثلاث عينات من كل خامة، وهو جهاز من صنع شركة CEAST ويتألف من متحكم بدرجة الحرارة للفق العلوي ومتحكم بدرجة الحرارة للفق السفلي وفكين يوضع بداخلهما القالب الذي يحمل العينة، ذراع تطبيق الضغط (20-3)ton، صمام تنفيس الضغط و دارة تبريد للفكين عن طريق الماء.

الجدول (3) دلالات الرموز للعينات المنتجة

عدد الطبقات	رمز العينة	اسم العينة
2	CO ₂	قطن 100%
4	CO ₄	
6	CO ₆	
2	PET ₂	بوليستر 100%
4	PET ₄	
6	PET ₆	
2	(C65/P35) ₂	ممزوج قطن 65% / بوليستر 35%
4	(C65/P35) ₄	
6	(C65/P35) ₆	

الجدول (4) بارامترات عملية الربط

الزمن min	درجة الحرارة C	الضغط Ton	التركيب	اسم العينة
2	145	7.5	100%	قطن
			100%	بوليستر
			(35/65)%	قطن/بوليستر



الشكل (1) جهاز المكبس الحراري

مادة الربط المستخدمة عبارة عن البولي إيثيلين منخفض الكثافة بشكل صفيحة رقيقة، وهي مادة تجارية مستخدمة في تغليف بعض أنواع الأدوات الكهربائية لحمايتها من الكسر، وهذه المادة قابلة للذوبان في مذيب رباعي كلور الإيثيلين.



الشكل (2) مادة البولي إيثيلين منخفض الكثافة

6-2- تحديد سماكة الأقمشة:

يبين الشكل (3) جهاز قياس السماكة الإلكتروني نوع ميسدان الموجود بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة حلب، ويستخدم لقياس سماكات مختلف انواع الأقمشة ويعمل بقرص تحميل (183 gr) للضغط على العينة، حيث تم إجراء قياسات السماكة لجميع العينات وتم تكرار القياسات ثلاث مرات ومن ثم أخذ قيمة متوسطة للقراءات.



الشكل (3) جهاز قياس السماكة

6-3- تحديد مسامية الأقمشة:

يتم تحديد مسامية القماش غير المنسوج وفقاً للعلاقة التالية:

$$\emptyset = 1 - \frac{\rho}{\rho'} * 100 \quad [7]$$

حيث \emptyset هي مسامية القماش %.

ρ هي كثافة القماش gr/cm^3 وتعطى بالعلاقة:

$$\rho = \frac{S}{t} \quad [7]$$

S تمثل مساحة سطح العينة gr/cm^2 ، t تمثل سماكة العينة mm .

ρ' كثافة الليف gr/cm^3 ويتم حسابها وفقا للعلاقة التالية:

$$\rho' = \frac{P_{CO} * \rho_{CO} + P_{PET} * \rho_{PET}}{P_{CO} + P_{PET}} \quad [8]$$

حيث أن: P CO و P PET هي النسبة المئوية لألياف القطن والبوليستر في العينة الممزوجة على التوالي.

ρ_{CO} و ρ_{PET} تمثل كثافات الألياف وهي 1.52 gr/cm^3 لألياف

القطن، و 1.39 gr/cm^3 لألياف البوليستر على التوالي.

وفي بحثنا هذا كانت قيمة ρ' للألياف في العينة الممزوجة مساوية للقيمة 1.47 gr/cm^3 .

ويوضح الجدول (5) وزن وسماكة ومسامية العينات:

الجدول (5) وزن وسماكة ومسامية العينات

المسامية %	كثافة القماش gr/cm ³	السماكة mm	الوزن gr	عدد الطبقات	رمز العينة
91.37	0.131	1.221	6.4	2	CO ₂
89.24	0.163	2.141	14	4	CO ₄
88.95	0.167	3.216	21.52	6	CO ₆
81.49	0.257	0.624	6.42	2	PET ₂
77.37	0.314	1.115	14.03	4	PET ₄
74.98	0.347	1.552	21.59	6	PET ₆
88.44	0.170	0.937	6.39	2	(C65/P35) ₂
84.36	0.230	1.520	13.99	4	(C65/P35) ₄
83	0.250	2.153	21.54	6	(C65/P35) ₆

7- الاختبارات:

7-1- قياس العزل الصوتي:

تم قياس قيم عزل الصوت باستخدام جهاز قياس الصوت الموجود في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة حلب الموضح في الشكل (4) والمكون من علبة عازلة للصوت يثبت بها الأنبوب العازل للصوت من الأمام وعلى جانبيها توجد السماعات التي تحدث الصوت أما من الخلف يوجد ثقب صغير لمرور سيخ رفيع وبداخله شريط الميكروفون بالإضافة لوجود ميكروفون آخر متحرك خلف العينة يمكن التحكم بمسافة توضع عن العينة و باستخدام برنامج معالجة الصوت (sound card) (oscilloscope V1.31) وقد تم الحصول على هذا البرنامج من شركة (Christian Zeitnitz). وقد تمت معايرة هذا الجهاز بتسليط إشارة معلومة المطال وبدون وضع أي مادة أو عينة في طريق هذه الإشارة للحصول على شدة الموجة الواردة وتطبيق العلاقة الرياضية التالية:

$$\% \text{نسبة العزل} = \frac{A-B}{A} * 100 \quad [9]$$

A شدة الموجة الواردة بدون عينة (العينة المرجعية 519.8 m)

B شدة الموجة الملتقطة خلف العينة.



الشكل (4) أجزاء جهاز قياس عزل الصوت

8- النتائج والمناقشة:

تم إجراء اختبار عزل الصوت للعينات المنتجة وكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (6) والمخططات (الأشكال 5,6,7)، وتبين في النتائج أن عينات البولبيستر جميعها قد حققت نسبة عزل أكبر من باقي العينات، يليها عينات الممزوج ثم عينات القطن وكانت أكبر نسبة عزل محققة عند عدد طبقات 6 لجميع العينات، وبالتالي فإن أفضل عينة هي عينة البولبيستر نظراً لطبيعة ونوع الألياف المستخدمة كون ألياف البولبيستر تمتلك كثافة خطية أقل من ألياف القطن، بالإضافة للمقطع العرضي المنتظم لشعيرات البولبيستر مع ملاحظة أن عينات البولبيستر كانت أقل مسامية من غيرها تليها عينات الممزوج ثم عينات القطن وأيضاً أنه بازدياد عدد الطبقات تزداد كمية المادة اللاصقة بالإضافة إلى عملية الضغط المطبقة التي ساهمت في زيادة التراص في بنية القماش، وبالتالي الحصول على مساحة سطح أكبر وكثافة أكبر لشعيرات البولبيستر في بنية القماش والحصول على فراغات أقل وحدوث انعكاس للصوت بشكل أكبر من تمريره مما يؤدي إلى اكتشاف عدد أقل من الأمواج الصوتية بواسطة ميكروفون جهاز قياس الصوت.

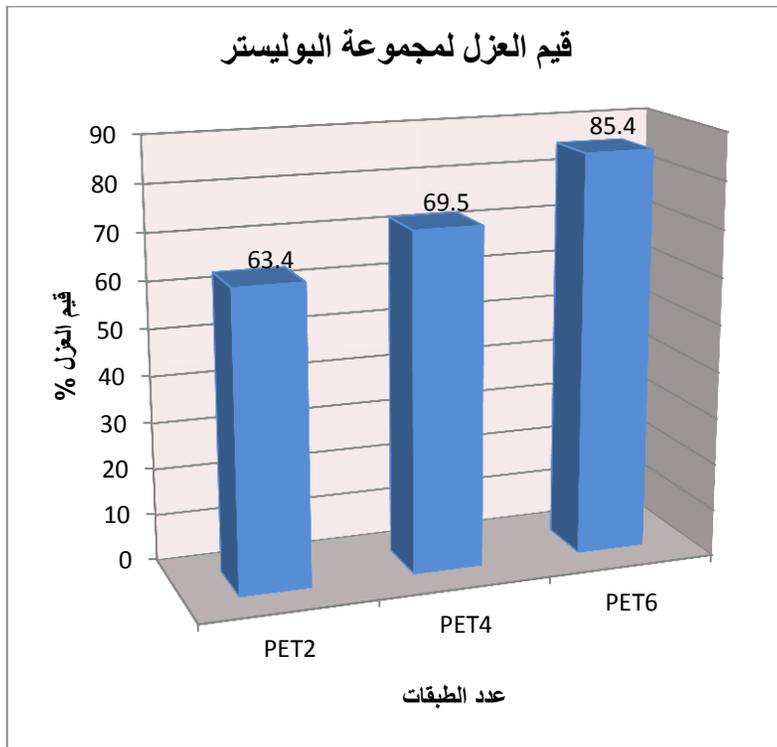
الجدول (6) نتائج عزل الصوت للعينات غير المنسوجة باختلاف عدد الطبقات

رمز العينة	نسبة العزل %	رمز العينة	نسبة العزل %	رمز العينة	نسبة العزل %
CO ₂	50.48	PET ₂	63.4	(C65/P35) ₂	57
CO ₄	63.4	PET ₄	69.5	(C65/P35) ₄	65
CO ₆	68.85	PET ₆	85.4	(C65/P35) ₆	71

وفقاً للنتائج تبين لدينا أنه بازياد نسبة البوليستر تزداد نسبة العزل حيث أن القماش المكون من طبقتين بوليستر كان عزله أقل من القماش المكون من أربع طبقات و ستة طبقات بوليستر كما يلي:

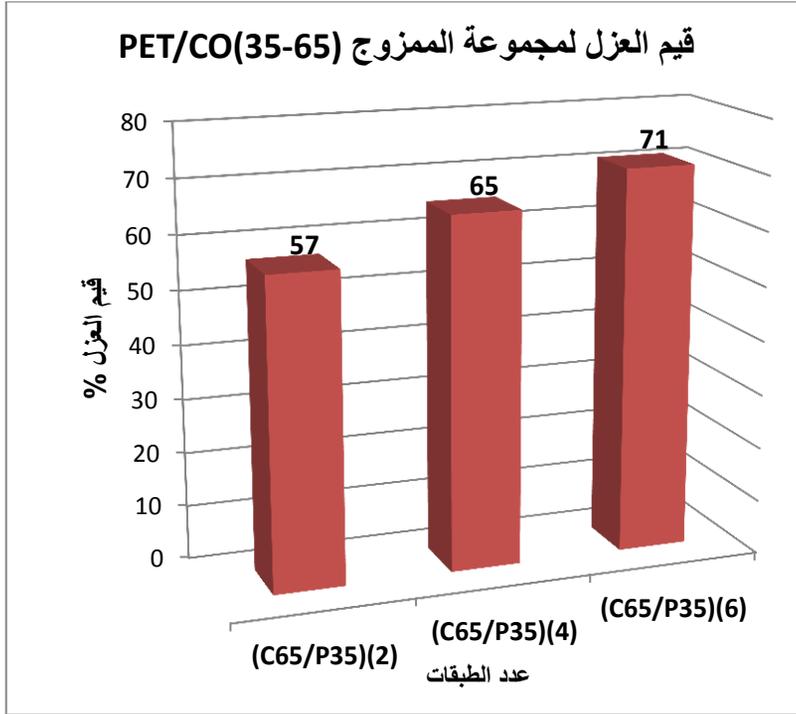
$$PET_2 < PET_4 < PET_6$$

وكذلك بالنسبة لباقي العينات وقد تبين أنه في عينات الممزوج قد انخفضت نسبة العزل عند دمج ألياف القطن مع البوليستر حيث كانت نسبة العزل لطبقتين من البوليستر 63.4%، بينما نسبة العزل لعينة الممزوج بطبقتين وصلت إلى 57%، وهذا يوضح أن شعيرات القطن قد ساهمت في تخفيض نسبة العزل.



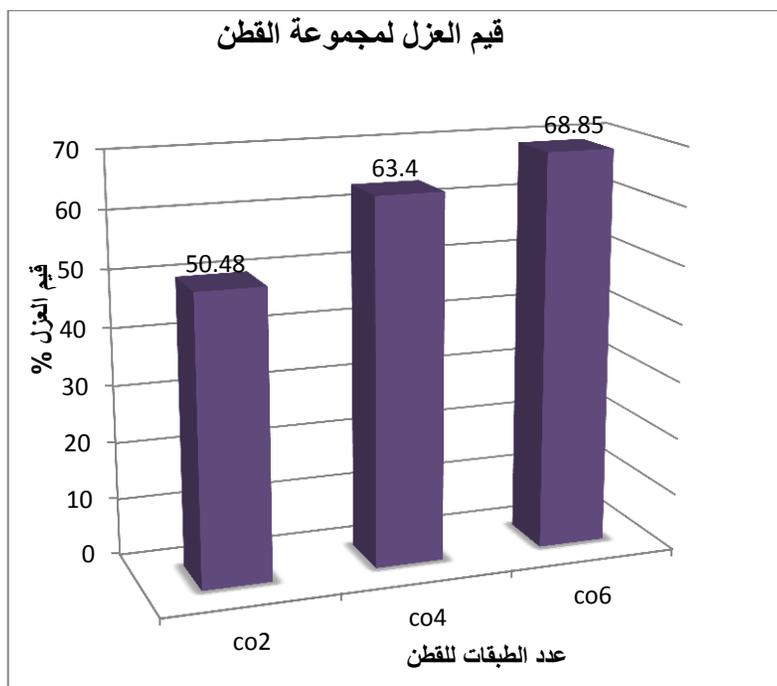
الشكل (5) مخطط قيم العزل لمجموعة البوليمر بالعلاقة مع عدد الطبقات

نلاحظ من الشكل (5) أنه بازدياد عدد الطبقات من 2 إلى 6 طبقات ازدادت نسبة العزل بمقدار 22% .



الشكل (6) مخطط لقيم عزل الصوت لمجموعة الممزوج قطن 65% / بوليستر 35% بالعلاقة مع عدد الطبقات

يتبين لدينا من المخطط في الشكل (6) تدرج قيم العزل لعينات الممزوج بازياد عدد الطبقات حيث ازدادت نسبة العزل بمقدار 14%.



الشكل (7) مخطط لقيم عزل الصوت لمجموعة القطن 100% بالعلاقة مع عدد الطبقات

نلاحظ من المخطط أنه عندما تضاعف عدد الطبقات ازدادت نسبة العزل بنسبة حوالي 18% .

يمكن استخدام الأقمشة غير المنسوجة الناتجة في واقيات الضجيج المستخدمة لحماية العمال من الضجيج الناتج عن أصوات الآلات في المعامل أو في المشافي والقاعات الدراسية نظراً لأهمية استخدام مواد لها القدرة على عزل الصوت في هذه الأماكن.

9- التوصيات والمقترحات:

1. استخدام أنواع أخرى من الألياف غير المستخدمة في هذا البحث.
2. استخدام طريقة ربط مختلفة ومقارنة النتائج باختلاف طريقة الربط.
3. دراسة تأثير استخدام قيم مختلفة من الضغط المطبق على العزل الصوتي للأقمشة.
4. استخدام مادة رابطة مختلفة في عملية اللصق الحراري كإدخال شبكات من ألياف نانوية بين الطبقات.

10- قائمة المراجع

- [1] Ahmad, S., Rasheed, A., Afzal, A., & Ahmad, F. (Eds.). (2017). Advanced textile testing techniques. CRC Press.
- [2] Seif, M. A., & Nasr, M. M. (2016). A comparative study of assembling methods of nonwoven bags traditional sewing vs welding seaming. *International Journal of General Engineering and Technology (IJGET)*, 5(6), 7-22.
- [3] Dharmadhikary, R. K., Gilmore, T. F., Davis, H. A., & Batra, S. K. (1995). Thermal bonding of nonwoven fabrics. *Textile Progress*, 26(2), 1-37.
- [4] Zhang, H. (2011). Heat-insulating materials and sound-absorbing materials. *Build. Mater. Civ. Eng*, 304-423
- [5] Chen, W., Hu, S., Cao, H., Huang, T., Wu, X., Lu, L., & Peng, J. (2019, October). Review on Research process of Sound reduction Materials. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 612, No. 5, p. 052062). IOP Publishing.
- [6] Padhye, R., & Nayak, R. (Eds.). (2016). Acoustic textiles. Singapore. Springer.

- [7] Islam, S., El Messiry, M., Sikdar, P. P., Seylar, J., & Bhat, G. (2022). Microstructure and performance characteristics of acoustic insulation materials from post-consumer recycled denim fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 51(4_suppl), 6001S-6027S.
- [8] Asanović, K., Kostić, M., Mihailović, T., & Cerović, D. D. (2019). Compression and strength behaviour of viscose/polypropylene nonwoven fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 44(3), 329-337.
- [9] Sakthivel, S., Kumar, S. S., Melese, B. (2020). Sound – absorbing recycled cotton/polyester thermal bonded nonwovens. *The Journal of the Textile Institute* 112(2): 1-8.

مقارنة أدائية المضخات اللولبية الدورانية مع الوحدات المعلقة لإنتاج النفط الثقيل في بعض الحقول السورية

طالب الماجستير: م. مهند الابراهيم ماجستير في هندسة مخزون
وانتاج ونقل النفط والغاز
كلية الهندسة الكيميائية والبترولية - جامعة البعث
إشراف أ.د: ديب ديب

الملخص

تستخدم المضخات المعلقة (SRP) على نطاق واسع كمعدات إنتاجية في حقول النفط ولا تزال تستخدم حتى وقتنا هذا لإنتاج النفط الثقيل والخفيف في مختلف الظروف . في الآونة الأخيرة لوحظ تفاقم مشكلة انخفاض معدل الإنتاج وإنقطاع أعمدة الضخ في المضخات المعلقة التقليدية SRP المستخدمة لإنتاج النفط الثقيل حيث للزوجة العالية والتي أصبحت تؤثر على معدلات إنتاج الحقول مع إزدياد وتيرة الإنقطاعات لأعمدة الضخ لذا يهدف هذا العمل إلى إستبدال الوحدات المعلقة بالمضخات اللولبية الدورانية وتقدير كفاءتها في الآبار عالية اللزوجة وإجراء الدراسة الإقتصادية لها ومقارنة النتائج مع المضخات المعلقة المستخدمة حالياً في الحقول SRP وذلك عن طريق نمذجة بيانات بعض الآبار باستخدام برنامج المحاكاة . PIPESIM

الكلمات المفتاحية: المضخات اللولبية الدورانية ، المضخات المعلقة ، النفط الثقيل ، مبدأ تحليل نودال .

Comparative Study of Progressive Cavity Pump Performance with Sucker Rod Pump to Produce Heavy Oil in some Syrian fields

Abstract

Sucker rod pumps use as production tools in oil fields ,these pumps have used and still use to production heavy and light oil in different conditions , in last time have noted the problem of oil production decreasing and interrupt of sucker rod in conventional pumps that becomes effect on the production rates of fields with increase the number of these interrupts for sucker rods , so this work aimed to displace the sucker rod units with progressive cavity pump (PCP) and estimate its efficiency in high viscosity wells and execute financial study and compare the results with conventional pumps that used in fields by simulation some wells data by PIPESIM simulator.

Key words: progressive cavity pump, sucker rod pump, heavy oil, Nodal analysis principle

1- المقدمة:

يعتبر النفط إحدى مصادر الطاقة المختلفة التي تلبي إحتياجات العالم اليومية، وتختلف أنواع النفوط بين الخفيف و الثقيل ويعتبر النفط الثقيل ذو اللزوجة العالية من المشاكل الرئيسية التي تعترض عمليات إنتاج النفط وتعترضت عمليات تطوير الحقول ، بناءاً عليه إختلفت الطرق المساعدة في عمليات إنتاج النفط الثقيل وتراوحت هذه الطرق بين طرق بوليميرية و حرارية و بكتيرية و طرق ميكانيكية و غيرها، إحدى هذه الطرق الميكانيكية كانت المضخات المعلقة التي استخدمت في وقت سابق ولاتزال تستخدم حتى وقتنا هذا لإنتاج النفط الثقيل.

من سلبيات استخدام المضخات المعلقة لإنتاج النفط الثقيل (7):

- 1- الإنقطاعات المتكررة لأعمدة الضخ نتيجة قوى التمدد والتقلص الحاصل للأعمدة خلال الشوط الصاعد و النازل بتأثير لزوجة النفط ووزن عمود السائل.
- 2- معدل الإنتاج المنخفض نسبياً.
- 3- إمكانية حدوث ظاهرة القفل بالغاز لهذه المضخات.
- 4- التكلفة العالية لعمليات التركيب.
- 5- الفترة الزمنية اللازمة لعمليات الصيانة والإصلاح طويلة نسبياً.

2- هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى استخدام وحدات ضخ لولبية دورانية كبديل للوحدات المعلقة لإنتاج النفط الثقيل والتي تحقق :

- 1- كفاءة عالية في التعامل مع النفط اللزج
- 2- زيادة معدل إنتاج الآبار من النفط الثقيل.
- 3- تجنب ظاهرة القفل بالغاز

4- تكلفة إقتصادية منخفضة مترافقة مع البساطة في عمليات التركيب والصيانة والتشغيل بالمقارنة مع المعلقة

3- مواد وطرق البحث:

اعتمد هذا البحث على المضخات اللولبية الدورانية PCP كبديل للوحدات المعلقة للتعامل مع مشكلة النفط الثقيل حيث تم استخدام برنامج PIPESIM في عملية نمذجة الآبار ومحاكاة عمل المضخات المعلقة واللولبية الدورانية وإجراء الدراسة الإقتصادية و مقارنة النتائج .

4- برنامج النمذجة والمحاكاة:

في هذه الدراسة تم الإستعانة ببرنامج PIPESIM في عملية النمذجة و المحاكاة حيث يستخدم بشكل رئيسي من قبل مهندسي المكامن و الإنتاج حيث يقدم تسهيلات فيما يتعلق بنمذجة أدائية الآبار والقيام بتحليلات نودل وتصميم أنظمة الرفع الصناعي. تمت هذه الدراسة وفق هذه المراحل المتسلسلة التالية :

- (a) عملية تصميم الآبار وإجراء تحليل نودال قبل إنزال أي مضخة للتحقق فيما إذا كان هناك إنتاج ذاتي أم لا .
- (b) إنزال مضخات معلقة وفق المعطيات الحقلية وإجراء تحليل نودال لتحديد وضع الآبار من حيث الإنتاجيات والإستقرارية وتحديد المشاكل التي تواجه الآبار والتأكد من تطابق النتائج بين المحاكي و أرض الواقع وترتيب النتائج .
- (c) إنزال مضخات لولبية دورانية وإجراء تحليل نودال لتحديد وضع الآبار والتغير الذي طرأ بعد إستخدام هذه المضخات وترتيب النتائج .
- (d) مقارنة النتائج بين الوحدات المعلقة و الوحدات اللولبية الدورانية .
- (e) دراسة تأثير بعض العوامل المؤثرة على معدل إنتاج الآبار في حالة SRP/PCP
- (f) إجراء الدراسة الإقتصادية ومقارنة النتائج .

5- لمحة عن منطقة الدراسة

5-1- حقل وادي عبيد النفطي: (Wadi Obied field):

✓ يقع تركيب وادي عبيد في الجزء الغربي من عقدة البشري وعلى الطرف الجنوبي لنهر الفرات وهو عبارة عن طية محدبة متطاولة أبعادها 4*2.5 كم مغلقة من جهة الجنوب على فائق ، تم البدء بالانتاج في عام 1992 م .⁽⁹⁾

✓ من أهم التشكيلات المنتجة تشكيلي الكوروشينا و رماح شيرت : تتألف هذه التشكيلات من تعاقب من الأنهدريت والدولوميت ⁽⁹⁾.

5-2- بعض المؤشرات في حقل وادي عبيد

الجدول (1) مؤشرات الإحتياطي لحقل وادي عبيد ⁽⁹⁾

التركيبة	تاريخ الاكتشاف	الإحتياطي الجيولوجي مليون م3			المردود	القابل للانتاج مليون م3			الانتاج التراكمي	
		مؤكد	مؤمل	المجموع		مليون م3	جيولوجي	قابل للإنتاج		
وادي عبيد	1989/1992	38.671	0.850	39.521	0.29	11.215	0.247	11.461	5.836	33.684

الجدول (2) المؤشرات الخزنية لحقل وادي عبيد ⁽⁹⁾

الضغط الإبتداعي ض.ج	الضغط الطبقي		عملية غازي م3	نسبة المياه %	الإحتياطي		المرود الأوي (%)	80 درجة مئوية (س-)	API	العامل الجهمي	متوسط التسرب بالنظف (%)	متوسط المسامية (%)	متوسط المسامية الفعالة (م)
	الذي ض.ج	الأوي ض.ج			جيولوجي م3	القابل م3							
64	154	197	24	23.1	39.5	11.46	29	220	17	1.05	65	13	40
											90	1	82

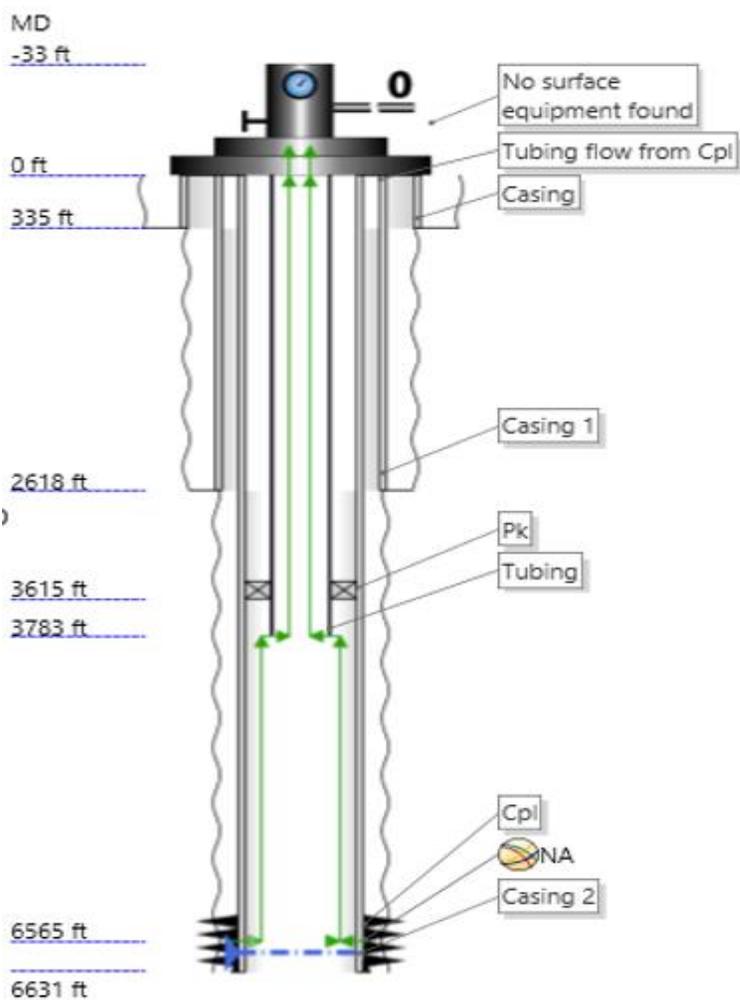
6- الدراسة العملية:

6-1- عملية تصميم الآبار:

تمر عملية تصميم الآبار بسبعة مراحل يتم خلالها تحديد نوع البئر (منتج ، حقن) وانحراف البئر عن الشاقول وأعماق وقياسات مواسير التغليف والإنتاج ودرجة حرارة الطبقة والضغط الطبقي و المعدات الجوفية المنزلة من بواكر وغيرها وأماكن التنقيب وخواص المائع ، بالإضافة لذلك تشمل عمليات التصميم على المعدات السطحية المثبتة من فالات وأنابيب جريان. فيميلي بيانات الآبار المستخدمة خلال الدراسة :

الجدول (3) بيانات الآبار المستخدمة خلال عملية المحاكاة⁽⁹⁾

well	Casing (in)	Casing depth (m)	Tubing (in)	Tubing depth (m)	Reservoir pressure (atm)	Oil gravity (API)	Reservoir temperature (C)	Perforation depth (m)
12	7	2021	3.5	1153	178	16.73	83	2001
28	7	2029	3.5	1205	180	16.3	83	2018
29	7	2005	3.5	1252	180	14.49	82	1993
38	7	2008	3.5	1985	180	16.9	85	2004
43	7	1968	3.5	1700	182	17.57	79	1900



الشكل (1) يظهر تصميم بئر w-12 باستخدام PIPESIM

بعد عملية إدخال البارامترات وتصميم الآبار تجري تحليل نودل لبئر w-12 وذلك لتوضيح وضع البئر قبل استخدام أي طرق ميكانيكية والمشاكل التي يعاني منها .

6-2- تحليل نودال:

يعتبر تحليل نودال من التقنيات الهامة التي تساعد في تحسين إنتاج النفط و الغاز ،حيث يعتمد على حساب إنخفاض الضغط عند نقاط مختلفة من نظام الإنتاج (1) . نحصل على نقطة التشغيل المثالية من تقاطع منحنى الجريان الداخلي IPR (inflow performance relationship) ومنحنى الجريان الخارجي VFP (vertical lift performance relationship) (1) . تعتمد دراسة منحنى الجريان الداخلي والخارجي لتحسين إنتاج النفط على بعض البارامترات مثل : مواسير الإنتاج ، ضغط الفاصل ، أنابيب الجريان ، الفالات والهدف من عمليات التحسين هو زيادة إنتاج النفط و تقليل تكاليف عمليات الإنتاج (2) . يتم تحليل نودال وفق الآلية التالية :

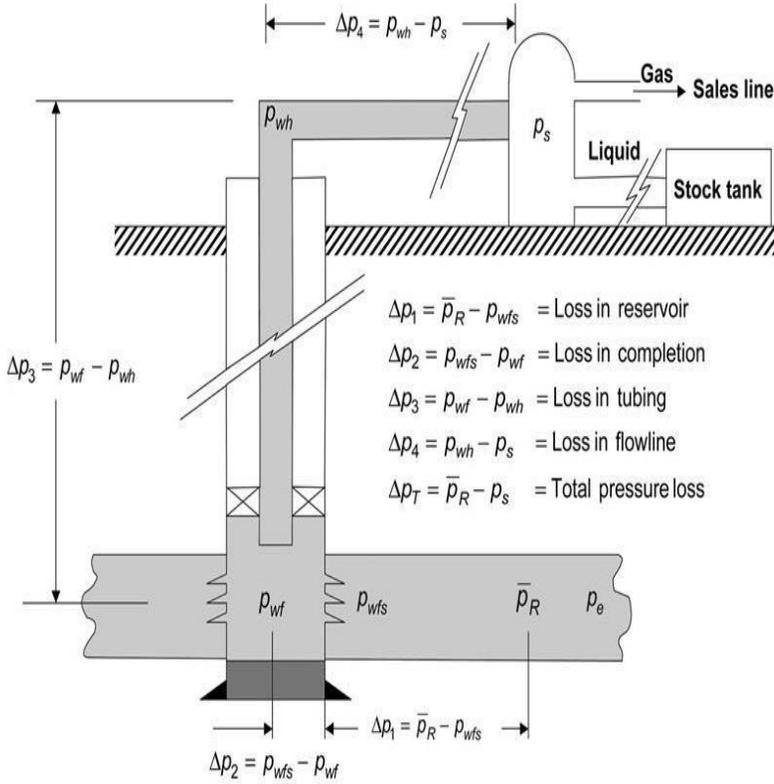
a. تحديد نقطة من بئر الإنتاج (قاع البئر أو أماكن التثقيب)

(1) تقسيم نظام الإنتاج بالاعتماد على هذه النقطة إلى جزئين أحدهما قبل النقطة و الآخر بعدها.

(2) حساب الضغط عند هذه النقطة لكلا الإتجاهين.

- الجريان باتجاه النقطة : $Pr - \Delta P(resistance) = Pwf$

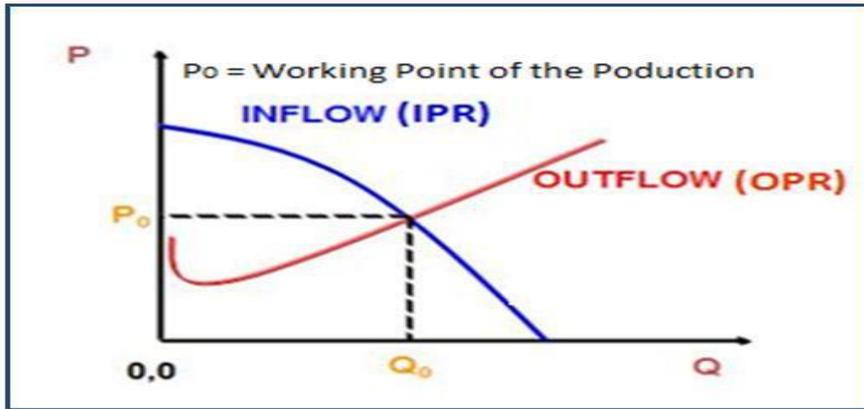
- الجريان خارج النقطة : $Pwh + \Delta P(tubing) = Pwf$



الشكل (2) يوضح (مبدأ نودال) انخفاض الضغط ضمن نظام الإنتاج من الخزان إلى الفاصل

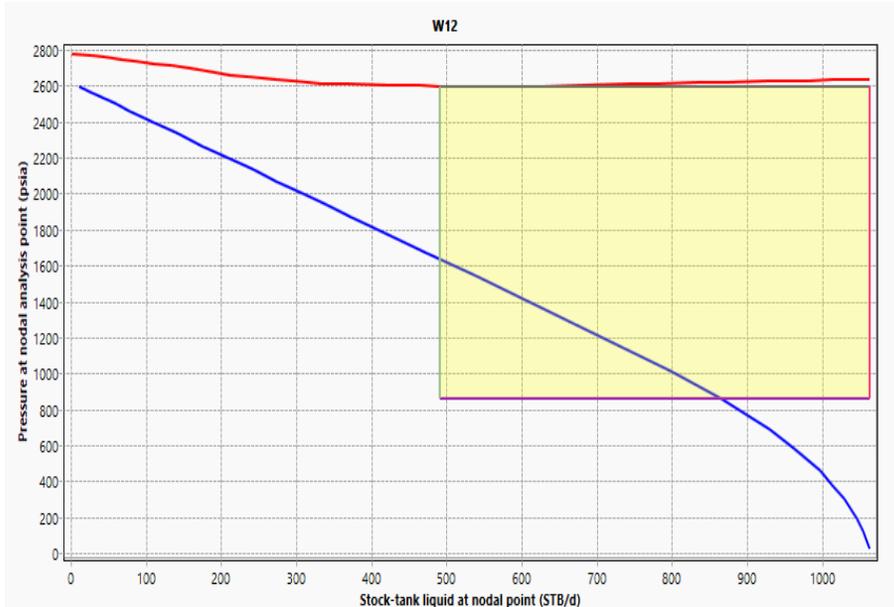
بالإضافة لذلك هناك بعض المعوقات لتحليل نودال على سبيل المثال : تظهر النتائج على شكل مخطط وليست كمتغير تابع للزمن⁽³⁾، في حين تساعد عمليات تحسين الإنتاج في تقليل تكاليف عمليات التشغيل و الصيانة وزيادة الإنتاج التراكمي⁽⁴⁾.

يجمع تحليل نودال بين IPR (منحني الجريان الداخلي) مع منحنى سعة مواسير الإنتاج وبالتالي فرق الضغط الأكبر بين الخزان والبئر يعطي معدل إنتاج أكبر⁽⁵⁾. فمن أجل الوصول إلى الهدف الأمثل لتحسين معدل الإنتاج من النفط والغاز لابد من إجراء العديد من الاختبارات إنطلاقاً من تغيير قطر مواسير الإنتاج ، ضغط رأس البئر ، ونوع وقياس الفالات على السطح وصولاً لنقطة التقاطع الأمثل التي تربط هذه البارامترات⁽⁶⁾.



الشكل (3) تقاطع منحنى الجريان الداخلي و الخارجي حسب تحليل نودال (6)

بعد إجراء تحليل نودال لبئر W-12 باستخدام برنامج PIPESIM نلاحظ من الشكل



الشكل (4) تحليل نودال لبئر W-12

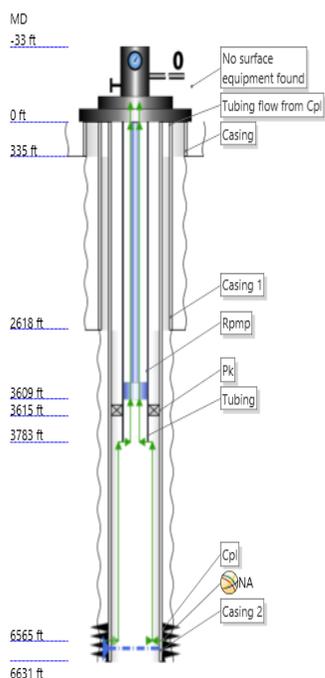
(4) بأنه لا يوجد تقاطع بين منحنى الجريان الداخلي و الخارجي وبالتالي لا يوجد إنتاج ذاتي لذا لا بد من استخدام إحدى طرق الرفع الصناعي ،لذا استخدمت إدارة الحقل وحدات معلقة لإنتاج النفط الثقيل. الجزء المظلل في الشكل يدعى مربع الأدائية حيث كل ضلع من أضلاع هذا المربع يمثل حد من حدود إستقرار مجموعة الإنتاج .

6-3- تجربة محاكاة المضخات المعلقة SRP باستخدام PIPESIM:

تم اللجوء لعملية محاكاة المضخات المعلقة للتأكد من تطابق النتائج بين المحاكى وأرض الواقع وتحديد المشاكل التي تواجه الآبار عند الإنتاج بهذه الطريقة بالإعتماد على تحليل نودال . وتمت عملية المحاكاة وفق البارامترات الحقلية المطبقة :

الجدول (4) بارامترات المضخات المعلقة المطبقة حقلياً ومعدل الإنتاج الحقلى

البيئر	نوع الوحدة السطحية	نوع المضخة الجوفية	طول الشوط م	عدد الدورات دورة / دقيقة	عمق تثبيت المضخة م	نسبة الماء %	معدل الإنتاج الحقلى	
							نفط m3	سائل m3
29	صينية 12 طن	صينية 2.5 "	3	2.75	1200	92	36.62	2.92
12	لوفكن 12 طن	صينية 2.5 "	2	3.25	1100	16	28.112	23.613
28	لوفكن 12 طن	صينية 2.5 "	2	3	1097	40	25.748	15.417



GAS LIFT

PUMP LIFT

Equipment	Name	Active	MD ft
1	Rod Pump	<input checked="" type="checkbox"/>	3608.924

ROD PUMP

Name: Rpmp

Active:

Measured depth: 3608.924 ft

PERFORMANCE DATA

Basis: Nominal rate Stroke length/frequency

Strokes per minute: 3.25

Stroke length: 78.74016 in

Plunger diameter: 2.5 in

Slip coefficient: 0.002 STB/(d,psi)

Maximum DP: psi

Maximum power: hp

Pump efficiency: 70 %

Drive rod diameter: 0.875 in

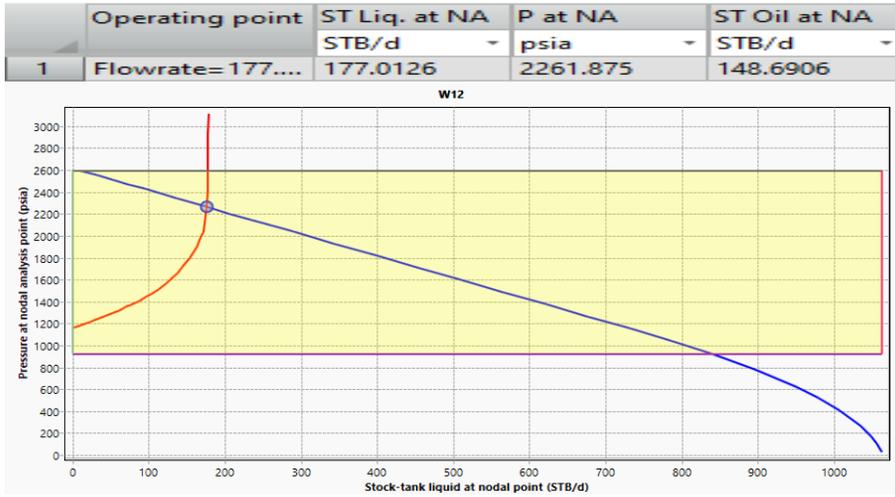
CALCULATION OPTIONS

Gas separator present:

الشكل (5) عملية محاكاة المضخات المعلقة باستخدام PIPESIM

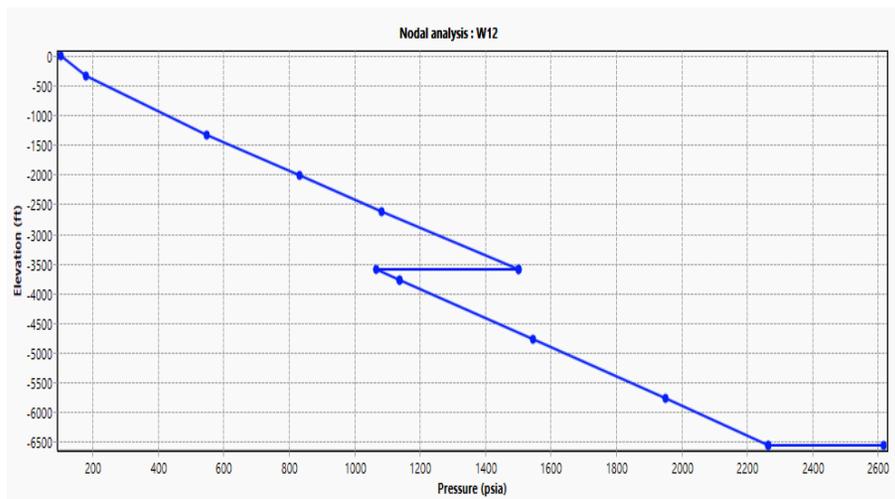
6-3-1 عملية محاكاة الوحدات المعلقة في بئر W-12 وفق البارامترات الحقلية:

يظهر الشكل (5) محاكاة المضخة المعلقة بعد إدخال البارامترات : طول الشوط in 78 وعدد الأشواط في الدقيقة 3.25 وقطر المكبس in 2.5 وعمق إنزال 1100 m .
نجري تحليل نودال لبئر W-12 وذلك لتحديد وضع البئر من ناحية الإنتاجية والإستقرارية



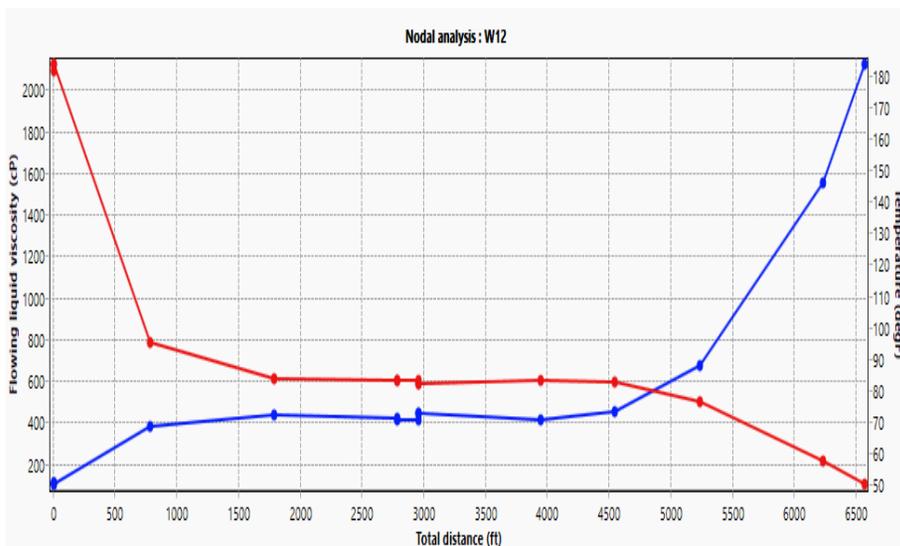
الشكل (6) تحليل نودال بعد استخدام المضخة المعلقة لبئر W-12

نلاحظ بالمقارنة مع تحليل نودال السابق لنفس البئر بأنه أصبح هناك تقاطع بين منحنى الجريان الداخلي (من الطبقة إلى البئر) والجريان الخارجي (من قاع البئر إلى السطح) .
يعمل هذا البئر بمعدل إنتاج 177 stb/d من السائل و 148 stb/d من النفط .



الشكل (7) يبين الزيادة في الضغط بعد استخدام SRP

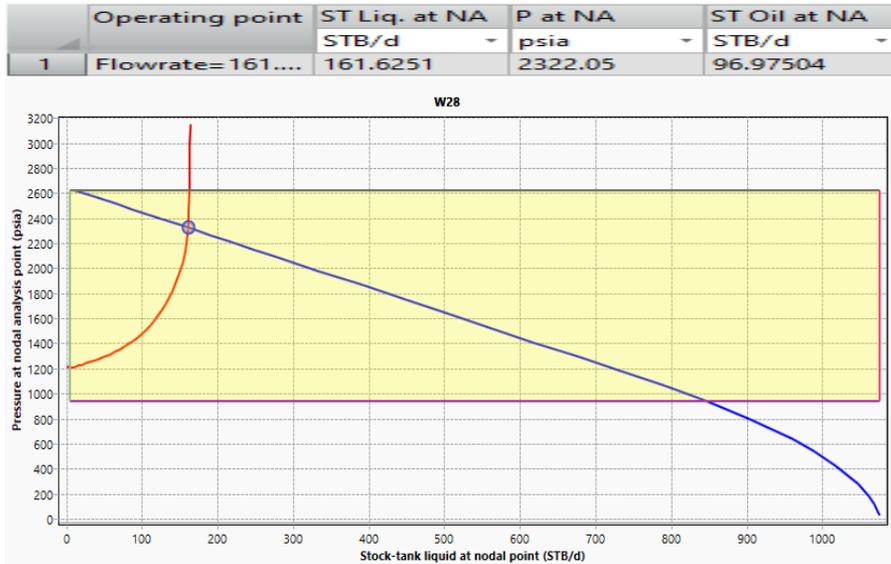
يبين الشكل (7) دور المضخة المعلقة في رفع الضغط حيث يبدأ ضغط الممكن المقدر ب 2600 Pisa بالإنخفاض حتى يصل إلى نقطة Nodal analysis بضغط يقدر ب 2300 Pisa ويستمر الضغط بالإنخفاض حتى يصل إلى المضخة عند عمق 3500 ft. بضغط 1100 Pisa , عندها تقوم المضخة برفع الضغط لقيمة 1500 Pisa حيث قدمت المضخة زيادة في الضغط بمقدار 400 psia ثم يتابع الضغط إنخفاضه وصولاً إلى السطح بضغط 100 Pisa (ضغط رأس البئر).



يمثل الشكل (8) منحنى اللزوجة بالعلاقة مع درجة الحرارة في بئر w-12

في الشكل (8) تكون اللزوجة في المكنم حوالي 200 cp عند درجة حرارة 180 f ، عندها تبدأ اللزوجة بالزيادة بشكل متعاكس مع الحرارة التي تأخذ بالإنخفاض وصولاً إلى السطح حيث تبلغ اللزوجة عند السطح حوالي 2200 cp عند درجة حرارة 50 f ، هذا التغيير الكبير في اللزوجة من المكنم إلى السطح أعطى تفسيراً بدور اللزوجة الكبير في الإنقطاعات التي تحدث لأعمدة الضخ عند استخدام الوحدات المعقفة وذلك خلال الشوط الصاعد و النازل حيث تسبب اللزوجة عمليات (تمدد وتقلص) أي عمليات شد لأعمدة الضخ خلال الشوط الصاعد و فعل مكبسي لأعمدة الضخ ومكبس المضخة خلال الشوط النازل ونتيجة لذلك ومع مرور الوقت تحدث الإنقطاعات في الأعمدة .

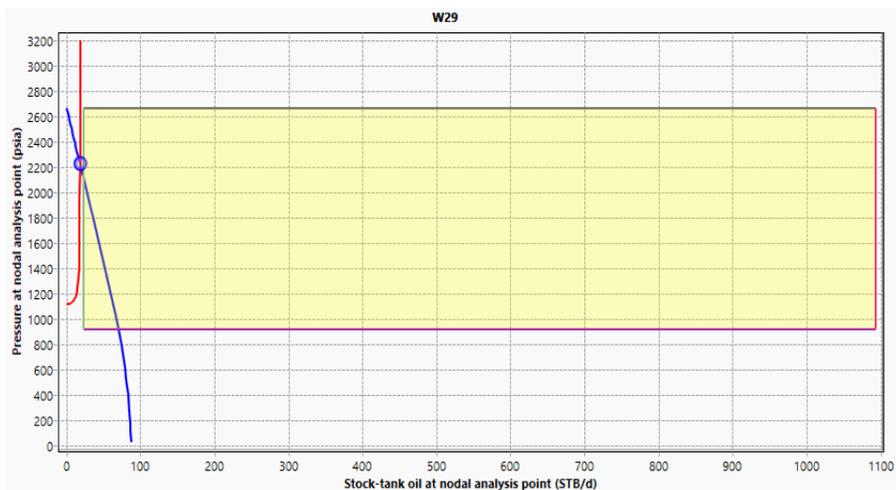
6-3-2 تحليل نودال لبئر W-28



الشكل (9) تحليل نودال لبئر W-28

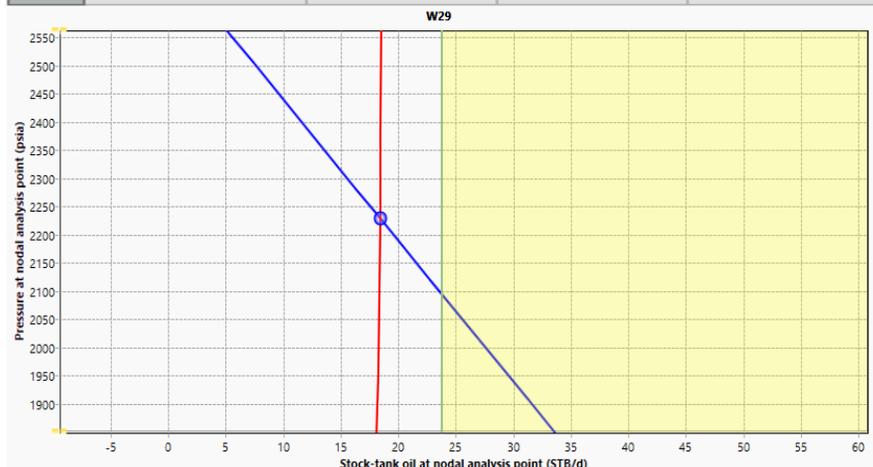
يعمل البئر بتقاطع بين منحنى الجريان الداخلي و الخارجي داخل مربع الأدائية بمعدل إنتاج 161 stb/d من السائل 96 stb/d من النفط حيث لا يعاني من مشاكل بإستثناء معدل الإنتاج المنخفض نسبياً.

3-3-6 تحليل نودال لبئر W-29:



الشكل (10) تحليل نودال W-29

	Operating point	ST Liq. at NA STB/d	P at NA psia	ST Oil at NA STB/d
1	Flowrate=230....	230.356	2228.688	18.42848

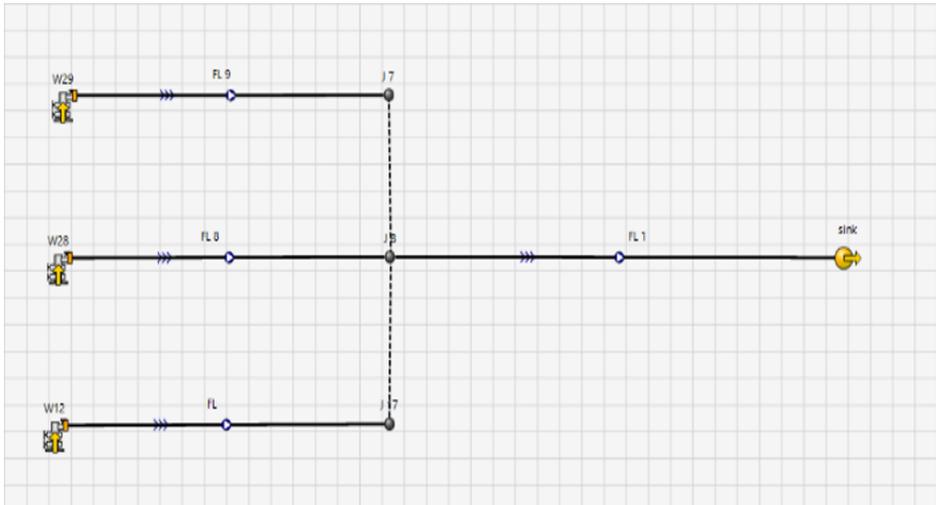


الشكل (11) عملية التكبير للشكل السابق

في الشكل (10) نلاحظ تقاطع بين منحنى الجريان الداخلي و الخارجي ولكن عند إجراء عملية التكبير في الشكل (11) نلاحظ بأن نقطة التقاطع تقع خارج مربع الأدائية وبالتالي يعمل هذا البئر بشكل غير مستقر بمعدل إنتاج منخفض 230 stb/d من السائل و 18 stb/d من النفط ، حيث يتعرض هذا البئر لإهتزازات شديدة في أعمدة الضخ نتيجة الجريان الغير مستقر للموئع داخل البئر والتي أعطت تفسيراً آخر لإنقطاعات أعمدة الضخ

4-6 الإنتاجية الكلية للآبار الثلاثة بعد استخدام الوحدات المعلقة SRP:

خلال هذه الخطوة سوف يتم ربط الآبار الثلاثة التي تمت محاكاتها سابقاً مع بعضها البعض بواسطة نقاط ربط junction , connector ويتم إيجاد الإنتاجية الكلية في نقطة sink



الشكل (12) توزيع وربط الآبار على ورقة العمل باستخدام PIPESIM

الجدول (5) إنتاجية الآبار المستخدمة للمضخات المعلقة

الإنتاجية الكلية للآبار الثلاثة في حالة المضخات المعلقة			
النفط		السائل	
M ³ /d	STB/d	M ³ /d	STB/d
41.7	262	89.8	565

5-6 تجربة محاكاة المضخات اللولبية الدورانية PCP باستخدام PIPESIM:

الجدول (6) بارامترات المضخة اللولبية الدورانية المستخدمة

W-29	W-28	W-12	البنر
KUDU	KUDU	KUDU	نوع المضخة
45 K 2000	45 K 2000	45 K 2000	الموديل
1252	1097	1100	عمق الإنزال (m)
4.5	4.5	4.5	القطر (in)
100	100	100	سرعة التشغيل RPM

بارامترات المضخة اللولبية الدورانية من نوع KUDU 45 K 2000 حيث :

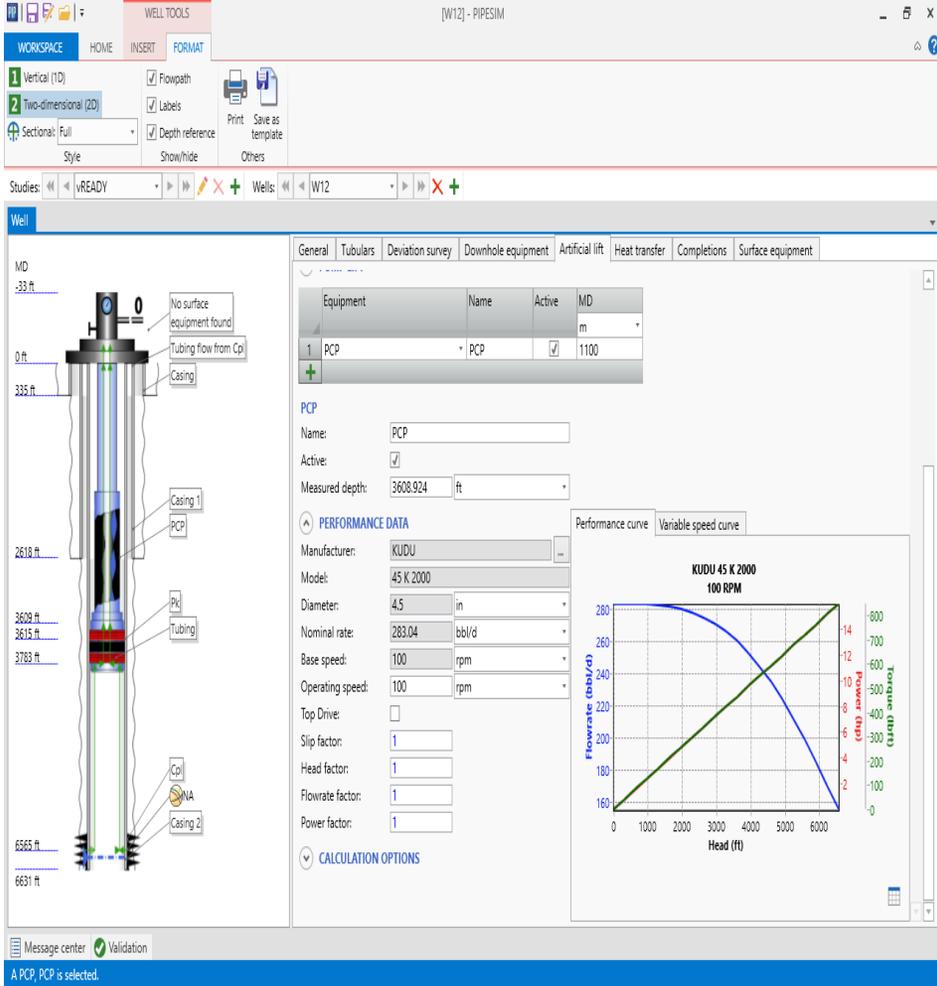
2000: يمثل إرتفاع الضخ عند استخدام الماء كمائع وعند سرعة دوران 100 RPM.

45: عدد مراحل المضخة.

السبب في إختيار هذه المضخة من إرتفاع ضخ وعدد مراحل يعود إلى :

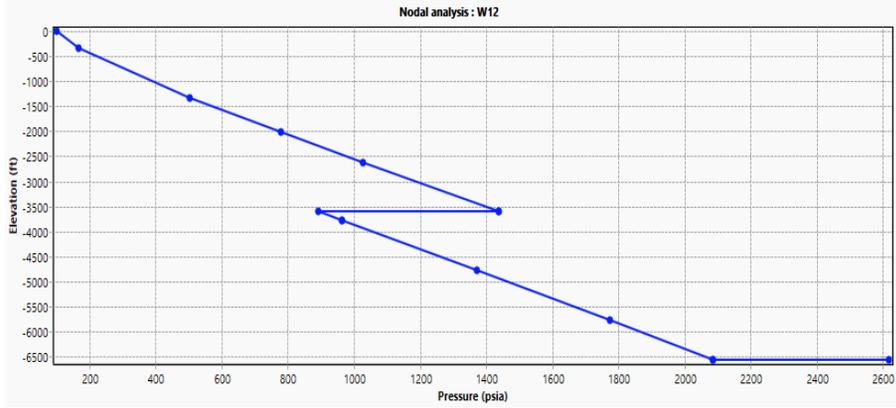
✓ هذه المضخات تحقق إرتفاع الضخ المطلوب بالنسبة لآبار وادي عبيد عند عمق إنزال وسطي 1800 m. عدد المراحل 45 يعتبر قيمة وسطية ، استخدام عدد مراحل $60 \leq$ يؤدي إلى زيادة الضغط التفاضلي بين مراحل المضخة وبالتالي إنضغاط البطانة و حدوث زيادة في التسريب بين المراحل أما في حال استخدام عدد مراحل $30 \geq$ سوف تحتاج المضخة إلى عزم دوران أكبر⁽⁸⁾⁽⁹⁾.

6-5-1 تجربة محاكاة المضخات اللولبية الدورانية في بئر W-12:



الشكل (13) عملية إدخال بارامترات المضخة اللولبية الدورانية ضمن المحاكى

يظهر الشكل (13) عملية إنزال مضخة لولبية دورانية من نوع 45 k 2000 ذات قطر 4.5 in حتى عمق 1100 m وتم تشغيل المضخة بسرعة دوران 100 RPM

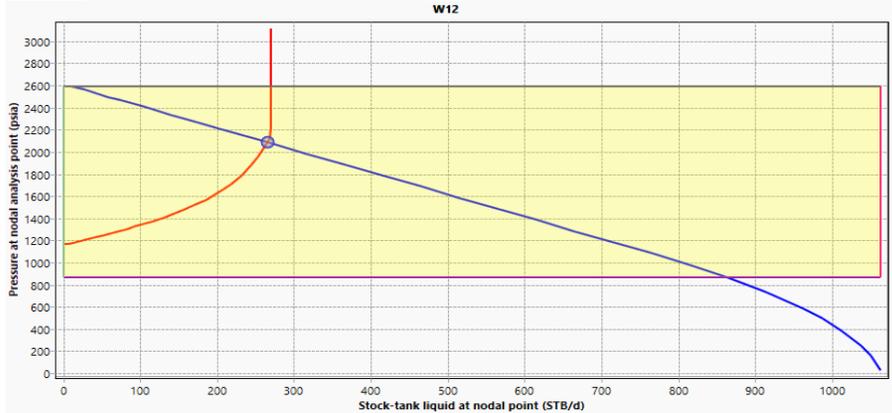


الشكل (14) الزيادة في الضغط عند استخدام PCP

يظهر الشكل (14) دور المضخة اللولبية الدورانية حيث قدمت هذه المضخة زيادة في الضغط تقدر ب 600 psia عند القيم الدنيا لتشغيل المضخة والنتائج التي حصلنا عليها

6-5-2 تحليل نودال W-12 بعد استخدام المضخة اللولبية عند سرعة 100RPM

	Operating point	ST Liq. at NA	P at NA	ST Oil at NA
		STB/d	psia	STB/d
1	Flowrate=266...	266.1384	2083.623	223.5562

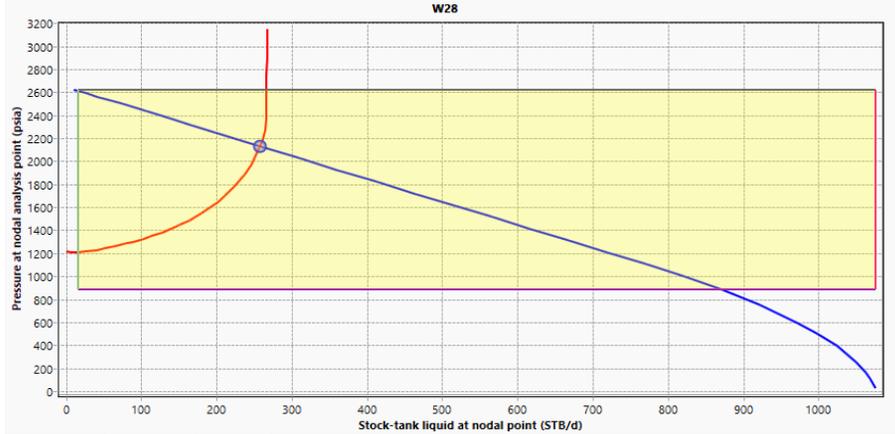


الشكل (15) تحليل نودال لبئر W-12 بعد استخدام المضخة اللولبية الدورانية

يعمل البئر w-12 مستقراً بمعدل إنتاج 266 stb/d من المائع و 223 stb/d من النفط

100 3-5-6 تحليل نودال W-28 بعد استخدام المضخة اللولبية عند سرعة .RPM

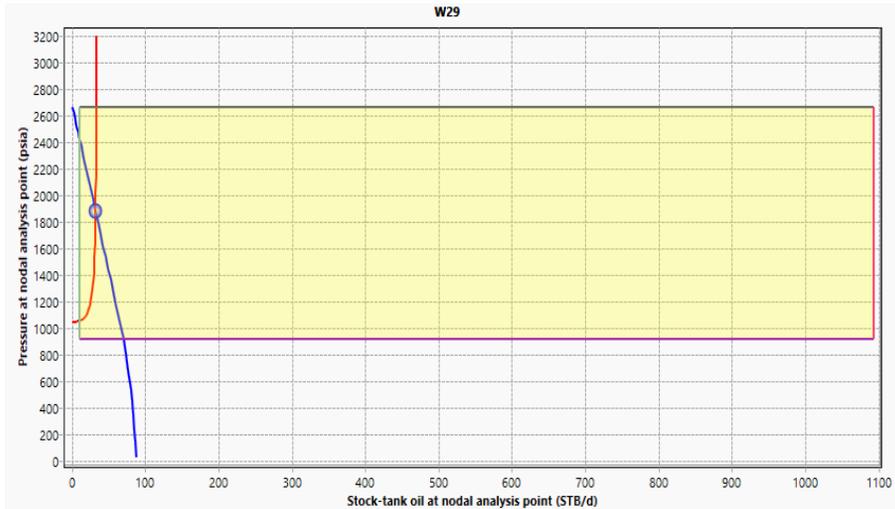
	Operating point	ST Liq. at NA	P at NA	ST Oil at NA
		STB/d	psia	STB/d
1	Flowrate=257...	257.8281	2129.644	154.6969



الشكل (16) تحليل نودال لبئر W-28 بعد استخدام المضخة اللولبية الدورانية

بينما أظهر الشكل (16) تحليل نودال لبئر W-28 حيث معدل الإنتاج 154 stb/d من النفط و 257 stb/d من المائع

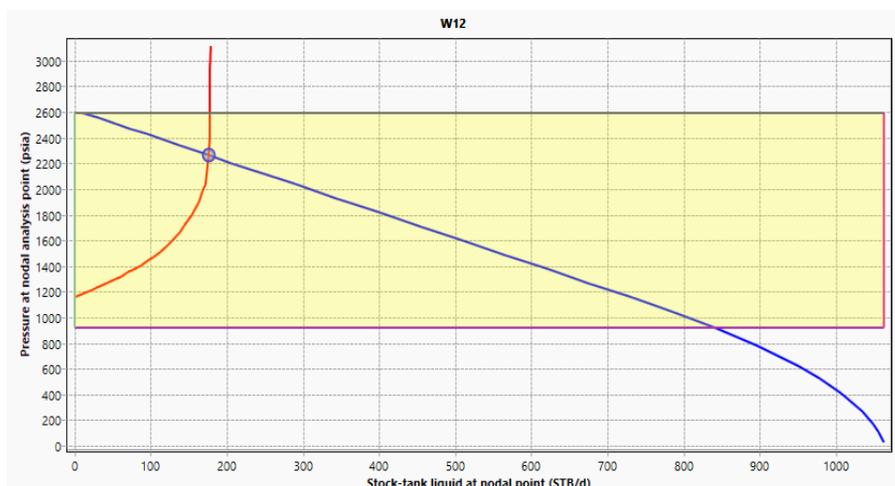
150RPM 4-5-6 تحليل نودال W-29 بعد استخدام المضخة اللولبية عند سرعة



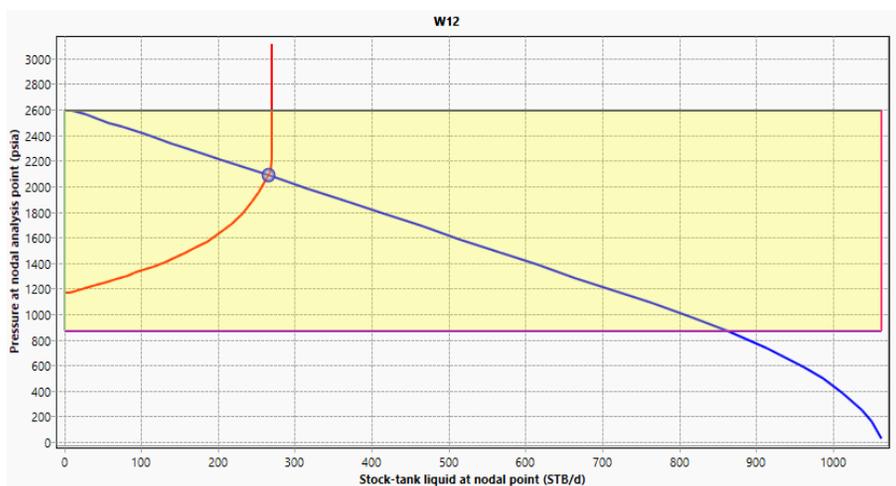
الشكل (17) تحليل نودال لبئر W-29 بعد استخدام المضخة اللولبية الدورانية

أظهر التحليل استقراراً في الأدائية بمعدل إنتاج حتى 32 stb/d من النفط .

6-6 مقارنة تحليل نودال بين المضخات المعلقة و اللولبية الدورانية:



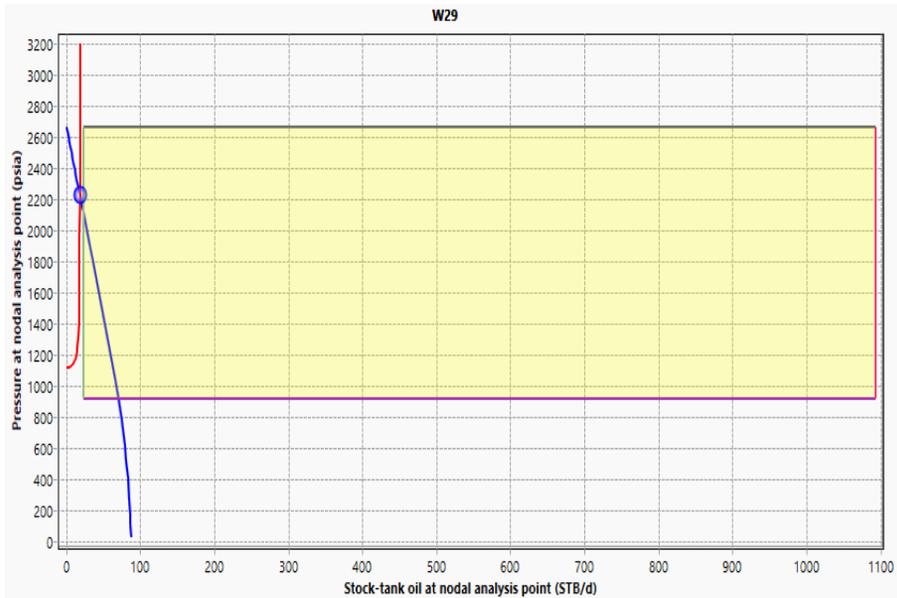
الشكل (18) تحليل نودال عند تطبيق المضخة المعلقة



الشكل (19) تحليل نودال عند تطبيق المضخة اللولبية

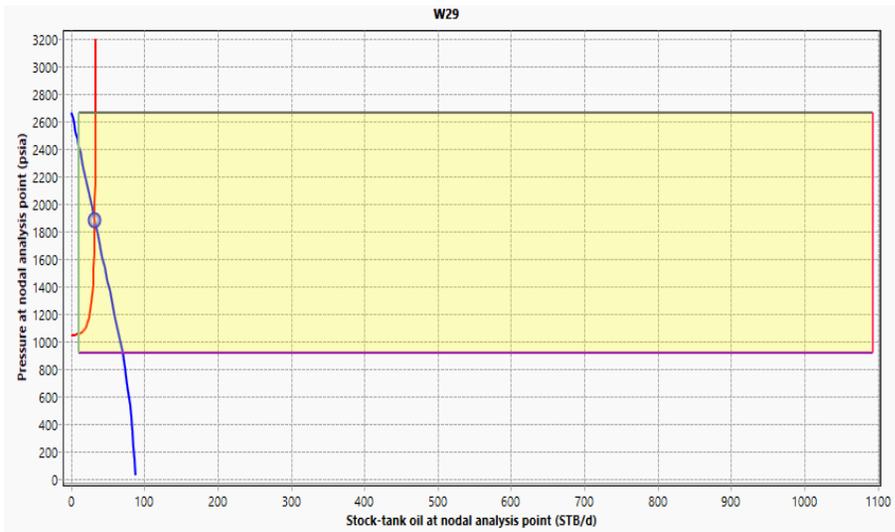
6-6-1 بئر W-12 نتائج المقارنة كالتالي:

نلاحظ من الشكل (19) بأنه بعد تطبيق المضخات اللولبية الدورانية PCP أصبح البئر يعمل بمعدل إنتاج أعلى حيث إنتقل من 148 stb/d من النفط في حالة الوحدات المعلقة إلى 223 stb/d في حالة المضخات اللولبية الدورانية. وبذلك تكون الوحدات اللولبية الدورانية حققت زيادة في الإنتاجية بنسبة 66% في بئر وادي عبيد W-12 .

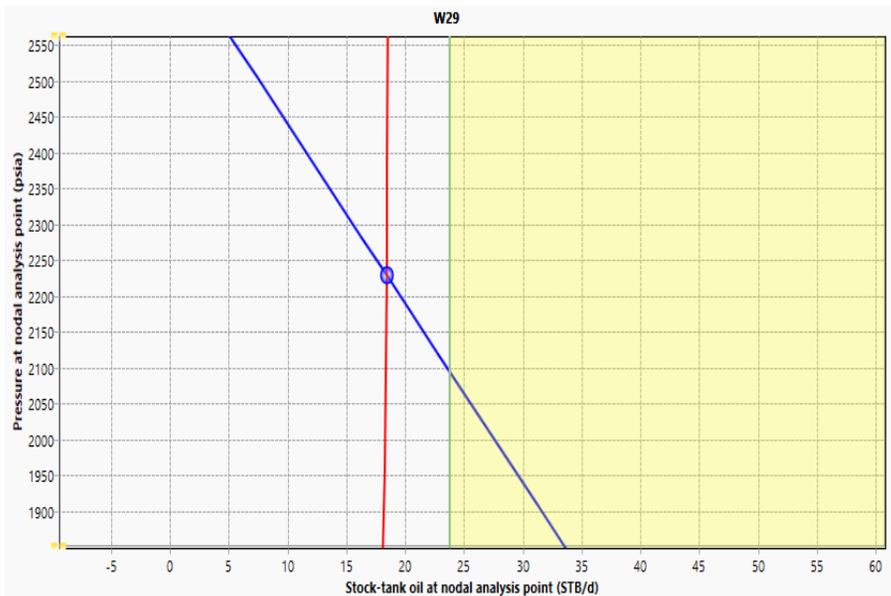


الشكل (20) تحليل نودال عند تطبيق المضخة المعلقة

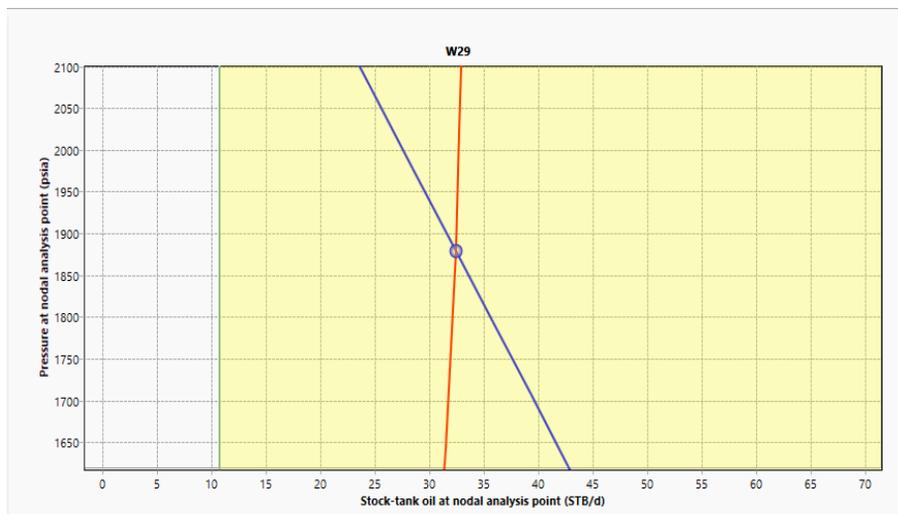
2-6-6 مقارنة تحليل نودال لبئر w-29:



الشكل (21) عملية تكبير للشكل السابق



الشكل (22) تحليل نودال بعد تطبيق PCP



الشكل (23) تحليل نودال بعد تكبير الشكل السابق

يظهر الشكل (21 , 20) تحليل نودال في حالة الوحدات المعلقة لبئر W-29 الذي يبين بأن البئر يعمل بشكل غير مستقر وبمعدل إنتاج منخفض وتوضح نقطة التقاطع التي تقع خارج مربع الأدائية بأن البئر يتعرض لإهتزازات كبيرة في أعمدة الضخ وجريانات غير مستقرة للموائع داخل المواسير مؤدية لإنقطاعات مستمرة في أعمدة الضخ ،ولكن بعد إنزال الوحدات اللولبية الدورانية الشكل (23 , 22) إنتقل البئر من مرحلة الإنتاج غير المستقر إلى مرحلة الإنتاج المستقر ،حيث نلاحظ من الشكل بأن نقطة التقاطع بين منحنى الجريان الداخلي و الجريان الخارجي بعد استخدام الوحدات اللولبية أصبحت داخل مربع الإدائية وأصبح البئر أكثر إستقراراً ولايعاني من إهتزازات في أعمدة الضخ ولوحظ أيضاً زيادة في معدل الإنتاج من 18 stb/d من النفط في حالة المعلقة إلى 32 stb/d في حالة الوحدات اللولبية وحقق زيادة في الإنتاجية بنسبة 56% . وبذلك تم معالجة مشكلة الإهتزازات في أعمدة الضخ بعد إستخدام المضخات اللولبية

الدورانية والتي كانت من الأسباب الرئيسية لإنقطاع أعمدة الضخ وخروج البئر عن الخدمة.

7-6 مقارنة معدل الإنتاج SRP/PCP:

الجدول (7) مقارنة معدلات الإنتاج SRP/PCP

البئر	معدل إنتاج الآبار SRP/PCP			
	SRP		PCP/ 150 RPM	
	السانل stb/d	النفط stb/d	السانل stb/d	النفط stb/d
W-12	177.01	148.64	370.33	311.077
W-28	161.62	96.97	362.793	217.676
W-29	230.35	18.42	390.338	31.227

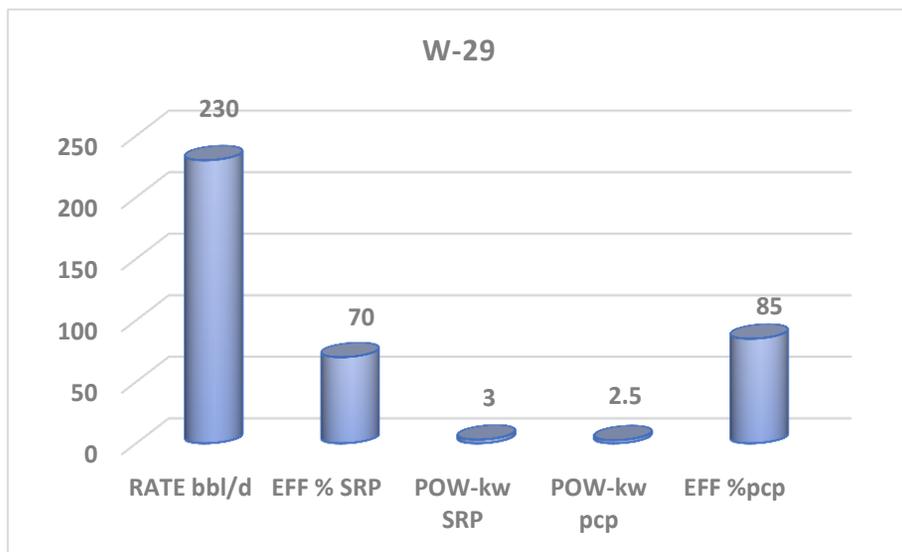
8-6 الإنتاجية الكلية للآبار الثلاثة PCP بعد عملية الربط

الجدول (8) الإنتاجية الكلية عند استخدام PCP

الإنتاجية الكلية للآبار الثلاثة في حالة المضخات اللولبية الدورانية			
النفط		السانل	
M ³ /d	STB/d	M ³ /d	STB/d
96	604	212	1333.5

وبهذا الشكل تكون الوحدات اللولبية حققت زيادة 42% في الإنتاجية بالمقارنة مع المعلقة

6-9 تحديد كفاءة المضخة اللولبية والطاقة المستهلكة بالمقارنة مع المعلقة:



الشكل (28) مقارنة النتائج بين SRP/PCP لبئر W-29

6-9-1 مقارنة إستهلاك الطاقة وكفاءة المضخة في W-29:

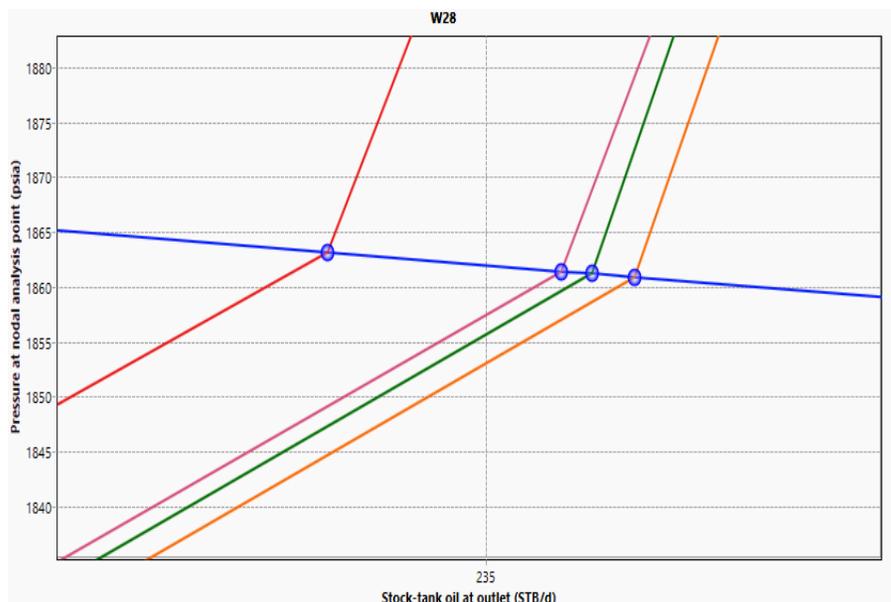
عند معدل إنتاج 230 bbl/d حققت الوحدات المعلقة كفاءة بنسبة 70 % وإستهلاك طاقة حتى 3 kw ، في حين حققت المضخات اللولبية الدورانية كفاءة أعلى حتى 85 % وإستهلاك طاقة لم يتجاوز 2.5 kw عند نفس معدل الإنتاج. وبذلك تكون الوحدات اللولبية الدورانية حققت تفوق كبير من حيث كفاءة العمل و إستهلاك الطاقة.

7- دراسة تأثير بعض العوامل المؤثرة على معدل الإنتاج في الآبار SRP/PCP

7-1 دراسة تأثير قطر أنابيب الإنتاج على معدل الإنتاج:

نختار ثلاث آبار من حقل وادي عبيد وليكن (W -28-38-43) ونختار أربعة قياسات لقطر مواسير الإنتاج (4 - 3.5 - 3 - 2.5) in ونلاحظ التغير على معدل الإنتاج عند عمق إنزال: (1500-1500-1300) m.

7-1-1 تأثير قطر أنابيب الإنتاج على معدل إنتاج بئر W-28:



الشكل (24) عملية تكبير للشكل لتوضيح معدلات الإنتاج المختلفة PCP

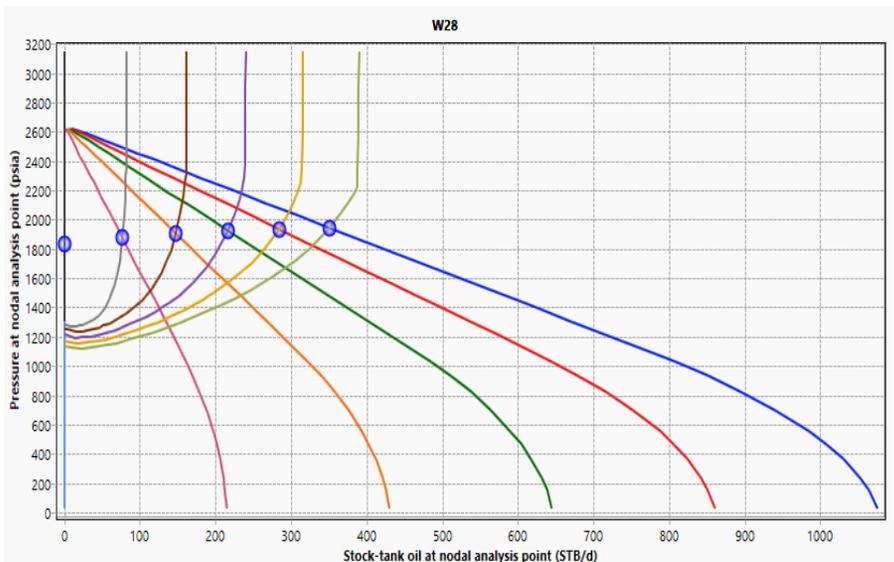
الجدول (9) معدلات الإنتاج عند أقطار مختلفة لمواسير الإنتاج باستخدام SRP

البئر	معدل إنتاج النفط عند $D_{\text{tubing}}="2.5"$	معدل إنتاج النفط عند $D_{\text{tubing}}="3"$	معدل إنتاج النفط عند $D_{\text{tubing}}="3.5"$	معدل إنتاج النفط عند $D_{\text{tubing}}="4"$
W-28 PCP	234.65	235.23	235.32	235.16
W-28 SRP	96.23	96.33	96.38	96.41
W-38 PCP	298.92	299.42	299.54	299.52
W-38 SRP	177.72	177.95	178.03	178.08
W-43 PCP	194.88	195.23	195.28	195.23
W-43 SRP	94.94	95.02	95.05	95.07

نلاحظ من الجدول (9) بأن القطر المثالي لمواسير الإنتاج للآبار 38-43 W-28 في حالة الوحدات اللولبية الدورانية هو 3.5 in حيث حصلنا على أكبر معدل إنتاج - 235.32 299.54-195.28 stb/d عند نظام إنتاج مستقر لا يعاني من مشاكل الجريان المضطرب والإهتزازات ، أما في حالة الوحدات المعلقة فكان القطر المثالي لجميع الآبار هو 4 in حيث وصل معدل الإنتاج إلى أعلى قيمة ويمكن تفسير ذلك بأن الضغط الذي تولده المضخات المعلقة منخفض نسبياً لذلك سوف تحتاج هذه الآبار إلى أقطار أكبر لمواسير الإنتاج وذلك لتقليل الإحتكاك ومقاومة الجريان بين جزيئات المائع نفسها كون النفط لزج وبين جزيئات المائع والسطح الداخلي لمواسير الإنتاج للحصول على معدل إنتاج أعلى .

7-2 دراسة تأثير نسبة الماء على بعض آبار حقل وادي عبيد العاملة باستخدام PCP: نختار تدرج مختلف لنسبة الماء وليكن (0-20-40-60-80-100) للآبار الثلاثة السابقة (W(28-38-43) ونلاحظ عند استخدام المضخات اللولبية الدورانية والمعلقة .

7-2-1 دراسة تأثير تغيير نسبة الماء على معدل الإنتاج بئر W-28 :



الشكل (25) معدلات الإنتاج من النفط عند نسب ماء مختلفة PCP

الجدول (10) نتائج عمليات محاكاة معدلات الإنتاج عند نسب الإمالة المختلفة للآبار SRP/PCP

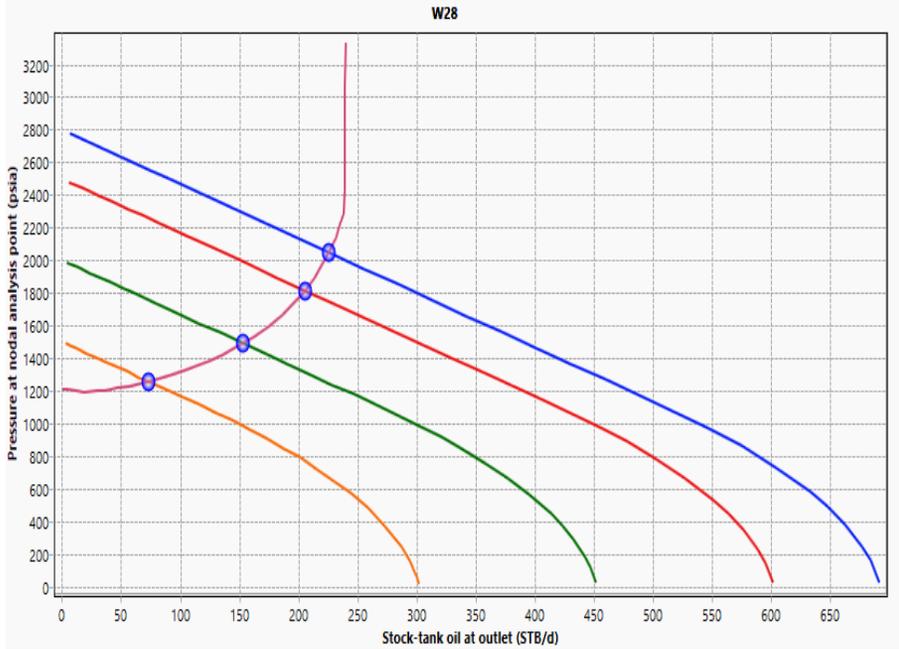
البر	معدل إنتاج النفط عند WC=0%	معدل إنتاج النفط عند WC=20%	معدل إنتاج النفط عند WC=40%	معدل إنتاج النفط عند WC=60%	معدل إنتاج النفط عند WC=80%	معدل إنتاج النفط عند WC=100%
W-28 PCP	351	284	216	148	76	0
W-28 SRP	158	127	97	65	33	0
W-38 PCP	363	293	223	151	78	0
W-38 SRP	229	185	141	94	48	0
W-43 PCP	375	303	229	155	79	0
W-43 SRP	188	152	115	78	39	0

نتائج عمليات محاكاة معدلات الإنتاج عند نسب الإمالة المختلفة أظهرت تفوق كبير للوحدات اللولبية الدورانية على حساب الوحدات المعلقة التي أظهرت إنخفاض كبير بمعدل الإنتاج مع زيادة نسبة الماء ويمكن تفسير ذلك بالكفاءة العالية للمضخات اللولبية الدورانية في التعامل مع نسب المياه الارتفاع والقدرة الكبيرة لهذه المضخات في المحافظة على نظام الإنتاج مستقراً لايعاني من الجريان المضطرب الذي يسبب إهتزاز مجموعة الأنتاج وبالتالي خروجها من الخدمة مع الزمن نتيجة الإنقطاعات في قضبان الضخ .

7-3 دراسة تأثير إنخفاض ضغط الخزان على معدل الإنتاج

7-3-1 دراسة تأثير إنخفاض ضغط الخزان على معدل إنتاج بئر W-28:

تم إختيار تدرج مختلف لإنخفاض ضغط الممكن (-1500-2000-2500-2800 psia (1000 ونلاحظ التغييرات في إنتاجية الآبار وفق المحاكى .



الشكل (26) يوضح إنخفاض معدل الإنتاج مع إنخفاض ضغط الخزان PCP

الجدول (11) معدلات الإنتاج عند تدرج مختلف لإنخفاض الضغط

البئر	معدل إنتاج النفط عند Pr=2800 psia	معدل إنتاج النفط عند Pr=2500 psia	معدل إنتاج النفط عند Pr=2000 psia	معدل إنتاج النفط عند Pr=1500 psia
W-28 PCP	226	206	153	73
W-28 SRP	97	95	80	43
W-38 PCP	289	262	196	101
W-38 SRP	179	171	138	74
W-43 PCP	194	182	148	89
W-43 SRP	95	94	85	59

إنطلاقاً من الجدول السابق نلاحظ بأن جميع الآبار العاملة سواءً بالمضخات اللولبية الدورانية أو المضخات المعلقة ينخفض فيها معدل الإنتاج بشكل طردي مع إنخفاض ضغط المكنم إلا أن هناك بعض الفروقات فيما يتعلق بمعدل الإنتاج ويمكن تفسير ذلك كالتالي بالنسبة للمضخات المعلقة : مع إنخفاض ضغط المكنم ينخفض الضغط على مدخل المضخة وبالتالي كمية قليلة من الموائع ستدخل المضخة وبالإضافة لذلك يوجد بعض المعوقات منها لزوجة النفط العالية نسبياً التي تجعل النفط مقاوماً للجريان والحاجة لوقت أطول لملاً جوف المضخة نتيجة التدفق البطيء للنفط وكذلك ظاهرة القفل بالغاز التي تحدث لهذه المضخات التي تعيق إمتلاء المضخة بالنفط ونتيجة الضغط المنخفض الذي تقدمه المضخات المعلقة لرفع الموائع إلى السطح فإن معدل الإنتاج سيكون منخفض أما بالنسبة للمضخات اللولبية الدورانية : على الرغم من إنخفاض الضغط عند مدخل المضخة نتيجة إنخفاض ضغط المكنم إلا إن القدرة الإستيعابية الكبيرة لهذه المضخة من الموائع والضغط الكبير الذي تقدمه هذه المضخات نتيجة الحركة الدورانية وإنضغاط الموائع وزيادة الضغط بين مراحل المضخة يحول دون تأثير المعوقات السابقة وخاصاً إن ظاهرة القفل بالغاز لا تحدث في هذه المضخات وبالإضافة لذلك قدرة هذه المضخات على التعامل مع النفوط اللزجة وعالية اللزوجة وبالتالي سيكون هناك معدل إنتاج أعلى من النفط بالمقارنة مع المضخات المعلقة .

8-دراسة الجدوى الإقتصادية:

8-1 حساب تكلفة تطبيق المضخات المعلقة SRP: سوف يتم حساب الجدوى الإقتصادية لأربعة عشر بئر ويتم إحتساب التكلفة الإجمالية للمعدات و متطلبات التشغيل و عمليات الصيانة و الإصلاح لمدة عشر سنوات وبمعدل إنتاج افتراضاً 1500 bbl/d

أولاً: المعدات اللازمة و متطلبات التشغيل:

الجدول (12) المعدات و متطلبات التشغيل SRP

المجموع \$	عدد الآبار	الكلفة الإفرادية \$	البند
1,120,000	14	80,000	محولات فرعية للتيار الكهربائي
742,000	14	53,000	مضخات معلقة
350,000	14	25,000	أعمدة ضخ
218,500	14	22,750	تكاليف التركيب
2,531,060	14	\$180,720	تكاليف إستهلاك الطاقة\$/year
4,961,560 ≈ \$5,000,000	المجموع		

ثانياً : تكاليف عمليات الصيانة و الإصلاح

بحسب الدراسات تحتاج المضخات المعلقة إلى أربع عمليات إصلاح وسطياً خلال عشر سنوات، حيث يتم إيقاف البئر عن الإنتاج لمدة سبعة أيام لإجراء عملية الإصلاح باستخدام حفارة إصلاح بكلفة يومية لهذه الحفارة تقدر ب $23500 \$/d$ (10)(11) وبذلك تكون تكلفة عملية الإصلاح خلال عشر سنوات للبئر الواحد : $23500 \times 7 \times 4 = 658000 \text{ \$}$

تكلفة إيقاف البئر عن الإنتاج خلال عشر سنوات وبكلفة $107 \$/bbl$ بحسب سعر برميل النفط عالمياً لشهر نيسان عام 2022. $7 \times 1500 \times 107 \times 4 = 4494000 \text{ \$}$.

بالإضافة لذلك هناك تكاليف أخرى ناتجة عن عمليات تحرير البئر من ظاهرة القفل بالغاز حيث تتكرر هذه الظاهرة مرتين سنوياً وسطياً وتحتاج إلى أربعة ساعات سنوياً لمعالجة المشكلة أي تحتاج إلى $40 \text{ h} = 4 \times 10$ سنوياً وبكلفة $474 \text{ \$/h}$ وبالتالي تكلفة معالجة هذه المشكلة خلال عشر سنوات كالتالي : $474 \times 40 = 18960 \text{ \$}$

وتكلفة عمليات الصيانة الدورية : تحتاج المضخات المعلقة لعمليات صيانة وقائية بكلفة سنوية تقريبية $1424 \text{ \$/y}$ وبالتالي خلال عشرة سنوات: $1424 \times 10 = 14240 \text{ \$}$

الجدول (13) تكاليف عمليات الصيانة والإصلاح

المجموع \$	عدد الآبار	التكلفة خلال 10 سنوات للبنر الواحد	البند
9,212,000	14	658,000	تكاليف عمليات الإصلاح
62,916,000	14	4,494,000	تكلفة إيقاف البنر عن الإنتاج خلال الإصلاح
265,440	14	18,960	تكاليف ظاهرة القفل بالغاز
199,360	14	14,240	تكاليف عمليات الصيانة الدورية
72,592,800 \$	المجموع		

ثالثاً : التكاليف الكلية : وهي حاصل مجموع تكاليف المعدات و متطلبات التشغيل و عمليات الصيانة و الإصلاح

الجدول (14) مجموع التكاليف الكلية لتطبيق SRP

التكاليف \$	البند
5,000,000	المعدات اللازمة و متطلبات التشغيل
72,592,800	تكاليف الصيانة و الإصلاح
77,592,800 \$	المجموع الكلي للتكاليف \$

8-2 حساب تكلفة تطبيق المضخات اللولبية الدورانية PCP.

أولاً : المعدات اللازمة و متطلبات التشغيل :

الجدول (15) المعدات اللازمة و متطلبات التشغيل PCP

المجموع \$	عدد الآبار	التكلفة الإفرادية \$	البند
560,000	14	40,000	مضخات لولبية دورانية PCP
159,250	14	11,375	تكاليف التركيب لمرة واحدة
1,946,700	14	139,050	تكاليف إستهلاك الطاقة خلال 10 سنوات
\$ 2,665,950	المجموع		

ثانياً : تكلفة عمليات الصيانة و الإصلاح

تحتاج المضخات اللولبية الدورانية إلى 5 عمليات إصلاح وسطياً خلال عشر سنوات ذلك حسب ظروف الخزان و البنر⁽¹¹⁾(12) وذلك باستخدام حفارة إصلاح بتكلفة

$23500 \times 3 \times 5 = 352500$ \$ لليوم الواحد وبمعدل 3 أيام عمل . وبالتالي تكلفة = $352500 \times 3 = 1057500$ \$

ثالثاً : تكلفة إيقاف البئر عن الإنتاج : $2407500 = 3 \times 1500 \times 107 \times 5$ \$

رابعاً : تكلفة عمليات الصيانة الدورية : تقدر قيمة تكلفة الصيانة السنوية التقريبية لهذه المضخات ب $614 \$/Y$ لهذا خلال عشر سنوات ستكون $6140 = 614 \times 10$ \$

الجدول (16) تكاليف عمليات الصيانة و الإصلاح PCP

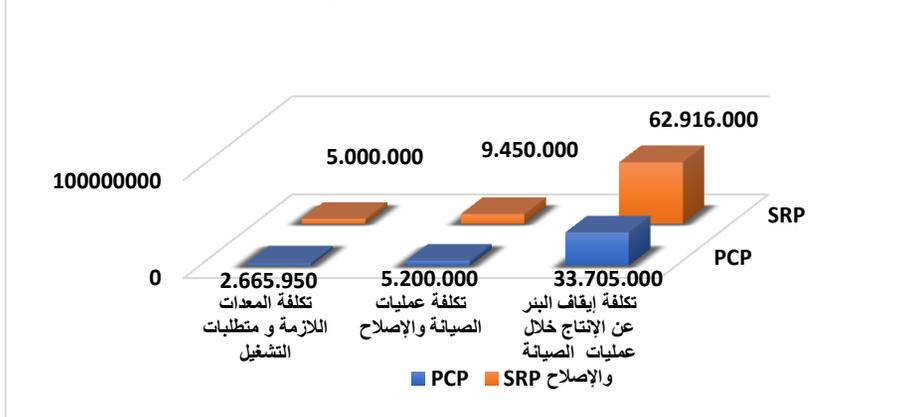
المجموع	عدد الآبار	التكلفة خلال عشر سنوات للبئر الواحد	البند
4,935,000	14	352,500	تكلفة عمليات الإصلاح
33,705,000	14	2,407,500	تكلفة إيقاف البئر عن الإنتاج
85,960	14	6,140	تكلفة عمليات الصيانة الدورية
\$38,725,960			المجموع

خامساً : حساب التكاليف الكلية PCP

الجدول (17) مجموع التكاليف الكلية لاستخدام PCP

التكاليف	البند
2,665,950	المعدات اللازمة و متطلبات التشغيل
38,725,960	عمليات الصيانة و الإصلاح
\$41,391,910	المجموع الكلي للتكاليف \$

مقارنة التكاليف \$ PCP , SRP



الشكل (27) يوضح مقارنة تكاليف تطبيق SRP و PCP

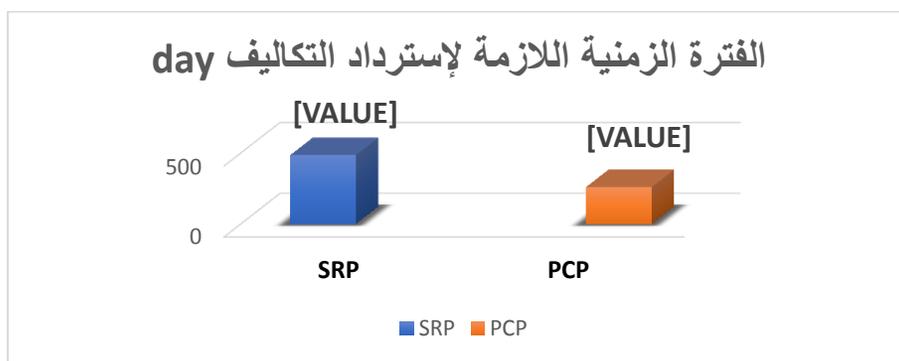
3-8 إسترداد التكاليف SRP, PCP:

(a) الفترة الزمنية اللازمة لاسترداد التكاليف عند تطبيق المضخات المعلقة SRP

$$= \frac{\text{المجموع الكلي للتكاليف } \$ 77,592,800}{(\text{سعر برميل النفط } \$ 107)} \div 1500 \text{ bbl} = 483.4 \text{ day}$$

(b) الفترة الزمنية اللازمة لاسترداد التكاليف عند تطبيق المضخات اللولبية PCP

$$= \frac{\text{المجموع الكلي للتكاليف } \$ 41,391,910}{(\text{سعر برميل النفط } \$ 107)} \div 1500 \text{ bbl} = 258 \text{ day}$$



الشكل (28) يوضح الفترة الزمنية اللازمة لإسترداد التكاليف SRP , PCP

4-8 حساب الوفر الإقتصادي:

الجدول (18) يبين الوفر الإقتصادي بين SRP , PCP

نسبة الوفر %	الوفّر	PCP	SRP	البند
46.68	2,334,050	2,665,950	5,000,000	تكاليف المعدات اللازمة ومتطلبات التشغيل
48.11	4,655,840	5,020,960	9,676,800	الصيانة الدورية وعمليات الإصلاح لمدة 10 أعوام
46.42	29,211,000	33,705,000	62,916,000	إيقاف البئر عن الإنتاج خلال عمليات الإصلاح
46.65	36,200,890	41,391,910	77,592,800	المجموع

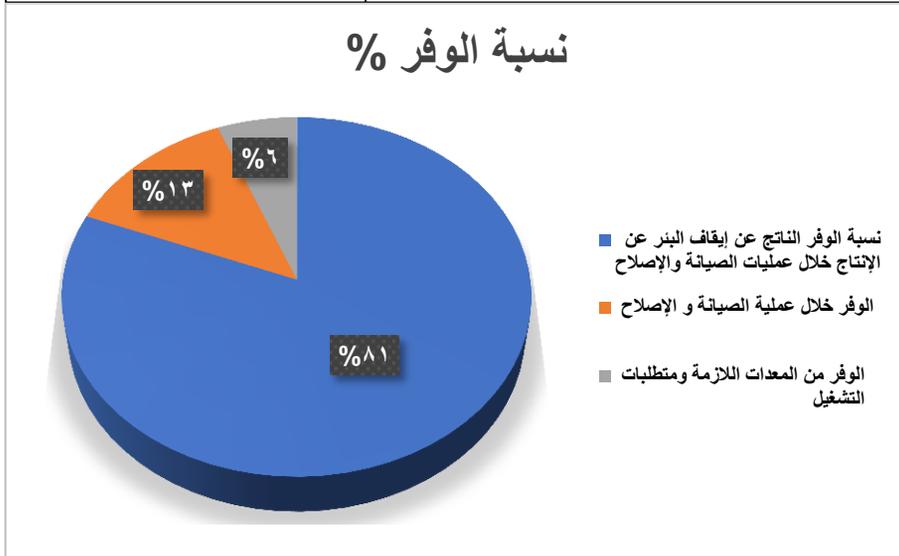
ونستنتج من الجدول السابق بأن 50% من تكاليف المضخات المعلقة SRP كانت

كافية لتطبيق المضخات اللولبية الدورانية والحصول على نفس معدل الإنتاج

5-8 تفاصيل الوفر:

الجدول (19) يبين تفاصيل الوفر لاستخدام PCP

نسبة الوفر %	قيمة الوفر \$	البند
6.5	2,334,050	المعدات اللازمة و متطلبات التشغيل
12.8	4,655,840	تكلفة عمليات الصيانة و الإصلاح لمدة 10 أعوام
80.7	29,211,000	تكلفة إيقاف البئر عن الإنتاج
36,200,890 \$		مجموع الوفر \$



الشكل (29) يظهر نسبة الوفر عند استخدام PCP

الإستنتاجات والتوصيات :

1- 42% الزيادة في الإنتاجية التي حققتها المضخات اللولبية الدورانية في ظل هذه الدراسة بالمقارنة مع المضخات المعلقة.

2- 50% من تكاليف المضخات المعلقة كانت كافية لتطبيق المضخات اللولبية الدورانية والحصول على نفس معدل الإنتاج.

- 3- 81% نسبة الوفر الناتج من تكلفة المعدات اللازمة و متطلبات التشغيل عند إستبدال الوحدات المعلقة بالمضخات اللولبية الدورانية.
- 4- الفترة الزمنية اللازمة لإسترداد تكاليف المضخات اللولبية الدورانية عند تطبيقها حوالي 258 يوم بالمقارنة مع الوحدات المعلقة التي إحتاجت إلى 484 يوم من الإنتاج المستمر لإسترداد التكاليف.
- 5- حققت المضخات اللولبية الدورانية إستقرارية أكبر في عمل الإبار عند معدلات إنتاج أعلى بالمقارنة مع الوحدات المعلقة.
- 6- حققت المضخات اللولبية كفاءة بنسبة 77 - 80 % عند معدلات إنتاج مختلفة
- 7- حققت الوحدات اللولبية وفر في إستهلاك الطاقة بالمقارنة مع الوحدات المعلقة
- 8- ينصح بإجراء محاكاة لعمل المضخة اللولبية الدورانية عند عمق إنزال أكبر وترتيب النتائج وملاحظة التغير على معدلات الإنتاج و إستقرارية الآبار.
- 9- إجراء إختبارات للمطاط الصناعي المغلف لستائر المضخات اللولبية الدورانية.
- 10- إجراء إختبارات لروتر المضخة اللولبية في مختلف الأوساط الحامضية والقلوية
- 11- دراسة عمل المضخات اللولبية الدورانية في البيئات الرملية ودراسة استخدام مصائد حصوية مرافقة لها.

References

المراجع

- [1] Ben Mahmud, Hisham & Abdullah, Aman. (2017). Investigate a Gas Well Performance Using Nodal Analysis. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 217. 012022. 10.1088/1757-899X/217/1/012022.
- [2] Hashmet, Muhammad & Tan, Isa & Arif, Muhammad & Raza, Arshad & Bashir, Arsalan & Ali, Mohamed. (2012). Production Optimization Using Nodal Analysis-A Case Study.
- [3] Zhou, W., Banerjee, R., & Proano, E. (2016, February 1). Nodal Analysis for Unconventional Reservoirs--Principles and Application. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/171768-PA
- [4] Sylvester, O., Bibobra, I., & Augustina, O. (2015). Gas Lift Technique a Tool to Production Optimization. *International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering*,3(3), pp. 40-42. doi:10.11648/j.ogce.20150303.12
- [5] Shah, M.S. and Hossain, H.M.Z. (2015) Evaluation of Natural Gas Production Optimization in Kailashtila Gas Field in Bangladesh Using Decline Curve Analysis Method. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 50, 29-38.
- [6] Igwilo, K.C., Okoro, E.E., Nwude, A.A., Mamudu, A.O. and Onuh, C.Y. (2018) A Review on Gas Well Optimization Using Production Performance Models—A Case Study of Horizontal Well. *Open Journal of Yangtze Gas and Oil*, 3, 57-67
- [8] L. P. M. STAN.(2001) "SUSTAINABILITY ASPECTS OF PROGRESSIVE CAVITY PUMPS USED IN OIL PRODUCTION.

- [7] S. Fakher, A. Khlaifat, M. E. Hossain, and H. Nameer, “A comprehensive review of sucker rod pumps’ components, diagnostics, mathematical models, and common failures and mitigations,” *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, vol. 11, no. 10. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 3815–3839, Oct. 01, 2021. doi: 10.1007/s13202-021-01270-7.
- [9] Syrian petroleum company (SPC) reports.

تحسين الخواص الهيدروفوبية لبوليمير الإيبوكسي باستخدام بوليمير ثنائي ميثيل سيلوكسان

أ.د. يوسف جوهر¹ أ.د. يمن الأتاسي² م. ناريمان الداود³

ملخص:

تم تحضير مزيج بوليميري من بوليمير الإيبوكسي ثنائي غلسيديل إيتري بيس فينول-A وبوليمير ثنائي ميثيل سيلوكسان PDMS عبر تصالب بين البوليميرين عن طريق الجذور الحرّة المتشكلة نتيجة وجود المبادر بنزويل بيروكسيد BP والوسيط ثنائي بوتيل القصدير ثنائي لوريت DBTDL، وتم توصيف المزيج عن طريق أطياف النفاذية FTIR، كما تم تحضير طلاء من المزيج السابق وتطبيقه بطريقة البخ على ركائز من الألمنيوم وإجراء الاختبارات الميكانيكية المتعلقة بطبقة الطلاء الجافة كما تم قياس زاوية التبلل لطبقة الطلاء المطبقة.

وقد أكد اختبار التوصيف FTIR حدوث التفاعل الكيميائي بين البوليميرين والحصول على مزيج بوليميري، كما أثبتت نتائج الاختبارات الميكانيكية إمكانية استخدام المزيج البوليميري كطلاء في بعض التطبيقات الخاصة كمقاومة الصدأ أو الحشف وغيرها.

الكلمات المفتاحية: بوليمير إيبوكسي، بوليمير السيلوكسان، مزيج بوليميري، البوليميرات الهيدروفوبية، تعديل الإيبوكسي بالسيلوكسان، طلاءات ذكية.

- 1- أ.د. يوسف جوهر - أستاذ في قسم الهندسة الكيميائية - كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية - جامعة البعث - حمص - سوريا.
- 2- أ.د. يمن الأتاسي - أستاذ في الكيمياء - المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا - دمشق - سوريا.
- 3- م. ناريمان الداود - طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الكيميائية - كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية - جامعة البعث - حمص - سوريا.

Improving the hydrophobic properties of epoxy resin using polydimethylsiloxane resin

Abstract

A polymer of bisphenol-A diglycidyl ether epoxy and polydimethylsiloxane (PDMS) polymerization was prepared by cross-linking the two polymers via free radicals with presence of an initiator benzoyl peroxide BP and dibutyltin dilaurate DBTDL have been used a catalyst. The structure of the polymer blend was confirmed by FTIR spectroscopy. A coating was prepared from the previous mixture and sprayed on aluminum substrates. Mechanical tests related to the dry coating layer were carried out, and the wetting angle of the applied coating layer was measured

FTIR spectroscopy confirmed the occurrence of a chemical reaction between the two polymers. The results of the mechanical tests demonstrated the high performance of the prepared coating using .The prepared mixture has further applications such as anti-rust or anti-fouling coating.

Key words: epoxy resin, siloxane resin, polymer blend, hydrophobic polymers, modified epoxy resin with siloxane, smart coatings.

1- مقدمة:

يعتبر الإيبوكسي من بوليميرات التصلب الحراري فائقة التصلب وتتميز هذه البوليميرات بخواص مرغوبة مثل المتانة العالية والانكماش المنخفض low shrinkage والالتصاق الممتاز على معظم السطوح والعازلية الكهربائية والمقاومة الكيميائية تجاه المواد الكيميائية وعدم الانحلالية والكلفة المنخفضة وسهولة التصلب والتطبيق. يتكون الإيبوكسي من البوليمير Epoxy Resin (ER) وهو غالباً diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA). وتتحقق الدرجة العالية من التصلب لهذه البوليميرات عند إضافة مركبات ثنائية الأمين عن طريق تفاعلات كيميائية بين مجموعات الإيبوكسي وهذه المركبات. يستخدم بوليمير الإيبوكسي بشكل واسع في مختلف القطاعات الصناعية، مثل الآليات والنقل والأنظمة البحرية والتطبيقات الفضائية التي تتطلب شروطاً قاسية على الوزن مثل المواد البنائية، واللواصق والطلاءات ورقائق الدارات الالكترونية. ولكن مع كل هذه الخواص الممتازة لبوليمير الإيبوكسي فإن هذا البوليمير يتمتع بمتانة منخفضة ومقاومة ضعيفة للصدم، حيث تؤدي البنية التصالبيه إلى سلوك هش وتسبب معاناة للبوليمير من المقاومة الفقيرة نسبياً وصولاً إلى تشققه ونمو هذه الشقوق.

لذلك يحتاج هذا البوليمير عادةً إلى التعديل لتحسين خواصه الميكانيكية مثل الصدم والشد ومقاومة التشقق وكذلك تحسين بعض خواصه الفيزيائية حسب التطبيق المطلوب [1-3]. أستخدم خلال السنوات الماضية العديد من الموائع اللدنة لتقويته مثل:

carboxyl-terminate butadieneacrylonitrile copolymers(CTBN), amine-terminatedbutadiene acrylonitrile copolymers, copolymers, hydroxyl-terminated butadiene acrylonitrile copolymers, hydroxyl-terminated polybutadiene (HTPB), natural rubber (NR) thermoplastics, or inorganic particles [1].

يُعد بوليمير ثنائي ميتيل سيلوكسان PDMS من أهم الاكتشافات لتصنيع اللواصق من بين جميع البوليميرات. تأتي أهمية هذا البوليمير من امتلاكه ثباتية عالية تجاه الحرارة والأكسدة الكيميائية الحرارية. كذلك مقاومته الكبيرة للرطوبة وبنيته القطبية الجزئية، كما يتمتع بطاقة سطح منخفضة (19.9mJ/m^2) تكسبه خواص كارهة للماء [3، 4]. ولكن تبقى تطبيقاته مقيدة بسبب خطر فشل الالتصاق الناتج عن الفعالية الكيميائية المنخفضة. إنّ خواص بوليميرات السيلوكسان الميكانيكية الضعيفة تجعل منها سهلة التخرب خلال ظروف التشغيل. في ضوء هذه المشاكل، عمل الباحثون على زيادة طاقتها السطحية وفعاليتها الكيميائية بإقحام مجموعات كيميائية وظيفية ضمن المصفوفة البوليميرية [4].

تعد البوليميرات السليكونية واحدة من المواد المعدلة المناسبة لبوليمير الإيبوكسي [3]، خصوصاً أنواع معينة منها والمستخدمة خصيصاً لهذه الأهداف. يحسن بوليمير السيلوكسان الخواص الميكانيكية والثباتية الحرارية والهيدروفوبية للإيبوكسي كما يؤخر الاشتعال. ويتم إقحام السيلوكسانات ضمن المصفوفة البوليميرية للإيبوكسي بطريقة المزج، ولكن يجب الأخذ بعين الاعتبار أن السيلوكسانات غير متوافقة مع الإيبوكسي ويؤدي وجود هذه المركبات ضمن الحاضنة البوليميرية إلى انفصال الأطوار، إذ ينفصل المطاط في طور منفصل ويشكل لطخات كروية ضمن الحاضنة البوليميرية أبعادها من 1-5 ميكرون لذلك كان لابد من إضافة مواد تزيد التوافقية بين البوليميرين لخلق توافقية جزئية على الأقل بين بوليميرات الإيبوكسي والسيلوكسانات بحيث يكون المزيج الناتج متجانس مع المحافظة على خصوصية كل بوليمير ضمن المزيج [4].

ويمكن تحقيق ذلك بالربط الكيميائي بين المجموعات الوظيفية مثل الهيدروكسيل والأوكسيران والأمين. توجد طرق مختلفة لمنع انفصال الطور الماكروي نذكر منها:

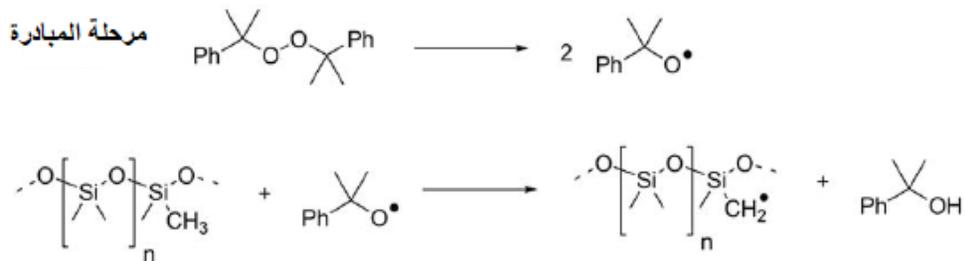
1. استخدام عامل توافقي أساسه من السيلان مثل triethoxysilane and aminosilane
2. بلمرة مشتركة لـ dimethyl siloxane مع diphenyl siloxane.
3. إقحام مجموعات وظيفية نشطة ضمن بوليمير الإيبوكسي مثل بوليميرات ثنائي ميثيل سيلوكسان PDMS.
4. استخدام البيروكسيدات. (وهذه الطريقة المتبعة في هذا العمل للربط بين البوليميرين).

يلعب نوع المادة المعدلة وتركيزها دوراً هاماً في تعديل الخواص الميكانيكية لبوليمير الإيبوكسي وتحدد النسبة المثلى للمادة المعدلة حسب الخواص الوظيفية المطلوبة من بوليمير الإيبوكسي. وتحدد هذه النسبة عندما تبدأ الخواص الميكانيكية للمزيج البوليميري بالانخفاض، كما تلعب المواد البيروكسيدية دوراً كعامل تصالب وعامل فلكنة وتستعمل كمباردات لتشكيل الجذور الحرة حرارياً في البلمرة بالمبادرة [1، 2].

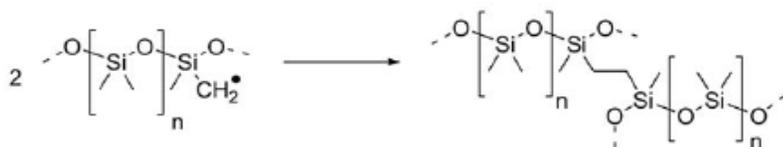
حضر S. Verma وفريقه طلاءً مانعاً للتآكل أساسه مزيجاً بوليميرياً من بوليمير الإيبوكسي ثنائي غليسيديل إيتري بيس فينول-A (DGEBA) مع بوليمير ثنائي ميثيل سيلوكسان منتهٍ بمجموعات هيدروكسيل h-PDMS بنسبة 70:30 بوجود 3-أمينو بروبيل ثلاثي إيتوكسي سيلان كعامل توافقي بين البوليميرين وثنائي بوتيل القصدير ديلاوريت DBTBL كوسيط ووجد من خلال طيف FTIR أن المزيج متجانس بسبب تفاعل تكاثف بين بوليمير السيلوكسان والإيبوكسي كما بين أن بوليمير السيلوكسان قد توزع بشكلٍ منتظم ضمن المصفوفة البوليميرية للإيبوكسي [5]. أما S.Ahmad فقد حضر مزيجاً بوليميرياً من الإيبوكسي والسيلوكسان بوجود حمض الفوسفور كوسيط واستخدم المزيج الناتج في تحضير طلاء مانع للتآكل وقد أثبتت الاختبارات فعالية

حمض الفوسفور كوسيط حيث أكدت نتائجه حدوث التفاعل الكيميائي بين مجموعة الأوكسيران ومجموعة الهيدروكسيل ووجد أن المزيج الناتج كان متجانساً كما أثبت أن الطلاء المحضّر قد كان فعالاً ولم يحدث انفصال أطوار [3].

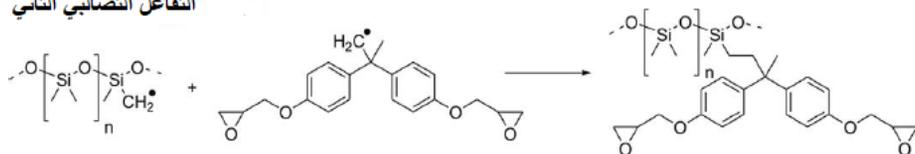
حسّن J. Vilcakova وفريقه خاصية قوة الصدم (charpy impact strength) لبوليمير الإيبوكسي DGEBA من خلال مزجه مع بوليمير PDMS منتهٍ برابطة مضاعفة V-PDMS وآخر مع PDMS بوجود dicumylperoxide (DCP) كوسيط وأثبتت نتائجه نجاح المزيج البوليميري وحدث التفاعل الكيميائي بين البوليميرين بوجود وسيط من البيروكسيدات حيث لعب دور مبادر. من المعروف أن البيروكسيد يتفكك ويشكل جذوراً حرة تتفاعل مع ذرة هيدروجين من السيلوكسان أو من الإيبوكسي والتي تنتقل لتتشط الجذور الحرّة في مرحلة التفاعل الأولى (مرحلة المبادرة). في الخطوة اللاحقة يوجد احتمالين لتفاعل الربط التصالبي الاحتمال الأول هو تفاعل تصالب بين جزيئات بوليمير السيلوكسان وهو احتمال ضعيف بسبب قلة عدد الروابط المضاعفة في جزيئات هذا البوليمير، والاحتمال الثاني هو التفاعل التصالبي بين بوليمير السيلوكسان وبوليمير الإيبوكسي وهو الأكثر احتمالاً، الشكل (1). كما توصل الباحث إلى النسب الوزنية المثلى لكل من الـ PDMS والوسيط للحصول على مزيج بوليميري بمواصفات ميكانيكية ممتازة [1].



التفاعل التصالبي الأول



التفاعل التصالبي الثاني



الشكل (1) التفاعلات الكيميائية المحتملة في المزيج البوليميري [1].

عدّل C. Lin الإيبوكسي بسيلوكسان جديد لاستخدامه في الإصدار الضوئي للصبام الثنائي (الديود)، وقد اعتمد في تعديل الإيبوكسي على السيلوكسان الذي يحوي حلقات الفينيل والمهجن مع الإيبوكسي الحلقي المعدّل أيضاً بالسيلوكسان وانتهى بالحصول على مزيج بوليميري ذي شفافية كبيرة يتمتع بخواص ميكانيكية وحرارية ممتازة وثنائية لونية [6].

أما Y. Wang فقد حضر مصفوفة بوليميرية عالية الأداء بطريقة التداخل البيني بين المصفوفات البوليميرية (interpenetrating polymer network (IPN) system) والمؤلفة من بوليمير السيلوكسان المنتهي بروابط مضاعفة مع بوليمير الإيبوكسي الذي يحوي السيليكون وبخطوة واحدة وأثبتت الاختبارات التي قام بها أن الخواص الميكانيكية للمزيج الناتج قد تحسنت كما تحسنت التوافقية بين البوليميرين بهذه التقنية [7].

حضر A. Mathew مزيجاً بوليميرياً من الإيبوكسي المنتهي بمجموعات يوريتان وبوليمير الـ PDMS المنتهي بمجموعات هيدروكسيل بوجود زيت الخروع و4,4 ميتلن بيس-سيكلوهكسيل ايزوسيانات و3-أمينو بروبييل ثلاثي إيتوكسي سيلان كعامل توافقي بين البوليميرين وثنائي بوتيل القصدير ثنائي لوريت DBTDL كوسيط وذلك لتحضير مادة مركبة من المزيج البوليميري وحببيات الفضة النانوية ووجد أن المزيج الناتج مزيجاً متجانساً نتيجة حدوث التصالب الكثيف بين البوليميرين بسبب وجود المجموعات الوظيفية الفعالة ضمن السلاسل البوليميرية بالإضافة إلى وجود العامل التوافقي والوسيط، كما أثبتت تجاربه الثابتية الحرارية للمادة المركبة الناتجة حتى الدرجة 700°C [8].

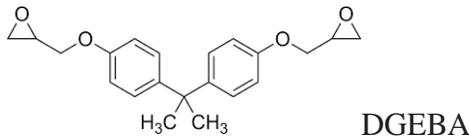
2- هدف البحث:

- تحضير مزيج بوليميري مؤلف من بوليمير الإيبوكسي و"الذي يشكل السلسلة البوليميرية الأساسية" وبوليمير ثنائي ميتيل سيلوكسان بوجود يروكسيد البنزويل كمبادر و DBTDL كوسيط.
- توصيف المزيج الناتج باستخدام طيف النفوذية للأشعة تحت الحمراء FTIR.
- تحضير طلاء من المزيج الناتج وتطبيقه على ركائز من الألمنيوم.

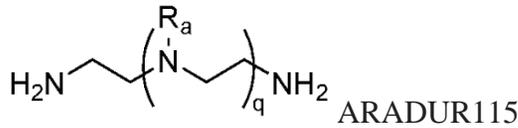
3- الجزء العملي:

أولاً: المواد المستخدمة:

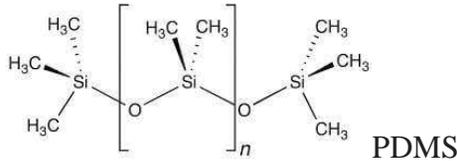
1. إيبوكسي صلب شفاف غير معدّل (RazeenP SR5184) أساسه ثنائي
غليسيديل إيتير بيس فينول A- تجاري من شركة JANA السعودية
(Epoxy value:1.12-1.20 eq/kg)



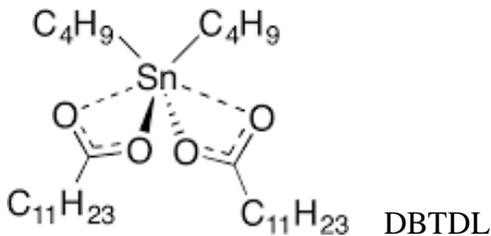
2. مقسي الإيبوكسي (ARADUR115-1) Polyamidoamine



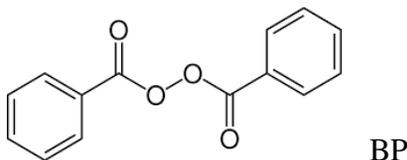
3. بوليمير ثنائي ميثيل سيلوكسان (PDMS) polydimethylsiloxane



4. ثنائي بوتيل القصدير ثنائي لوريت (DBTDL) Dibutyltin dilaurate من
شركة Merck كوسيط



5. بيروكسيد البنزويل Benzoyl peroxide (BP) من شركة Merck كمبادر



6. ميكرو ميكا تجارية من السوق المحلية تُستخدم كمادة باسطة (extender)
7. المذيبات تولوين واكزيلن وبوتيل وأسيتات وإيثيل أسيتات جميعها تجارية من السوق المحلية.

ثانياً: تحضير المزيج البوليميري EP/PDMS:

يُحضّر مزيج المذيبات (تولوين وبوتيل وإيثيل أسيتات) بنسبة وزنية 1:1:1، ويُحلّ الإيبوكسي الصلب فيه بنسبة 60:40 وزناً، توضع كمية مناسبة من بوليمير الإيبوكسي DGEBA مع المبادر BP بنسبة 0.2wt% من وزن الإيبوكسي في بيشر ويسخن المزيج عند درجة الحرارة 80°C لمدة 30min مع التحريك الشديد لتخفيف لزوجة الإيبوكسي والسماح للمبادر بتشكيل الجذور الحرّة. ثم يُضاف بوليمير PDMS و الوسيط DBTDL بنسبة 0.2wt%، نسبة EP/PDMS هي 80/20 وزناً مع الاستمرار بالتسخين والتحريك عند درجة الحرارة نفسها لمدة 120min، نلاحظ في هذه المرحلة تغير لون المزيج مع زيادة ملحوظة في لزوجته، يُترك المزيج بدرجة حرارة المخبر لمدة 24h لإتمام التفاعل الكيميائي بين البوليميرين. يُضاف المقسي بالنسبة الستوكيومترية (10 wt%) اللازمة لإتمام عملية التصالب تمهيداً لإجراء اختبارات التوصيف عليه.

ثالثاً: تحضير الطلاء:

يُمزج EP/PDMS مع الميكرو ميكا باستخدام محرك كهربائي محلي الصنع بسرعة 350 rpm ثم يُطحن في مطحنة الطلاء ويُضاف مقسي الإيبوكسي إلى المزيج السابق بنسبة 10 wt% من وزن الإيبوكسي ويُطبق على أربع ركائز معدنية قياسية من الألمنيوم بطريقة البخ ويترك ليُجف بدرجة حرارة المخبر لمدة 24 ساعة، لإجراء الاختبارات الميكانيكية واختبار التبلل على الطبقة الجافة. يبين الجدول (1) تركيب الطلاء المحضّر.

الجدول (1) تركيب الطلاء المحضّر

النسبة المئوية الوزنية wt%	المادة
95	EP/PDMS
5	Micro mica

رابعاً: الاختبارات:

1- التوصيف البنوي للمزيج البوليميري:

تم توصيف المزيج الناتج بدراسة طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR لعينات من الإيبوكسي و الـ PDMS وللمزيج EP/PDMS باستخدام جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR. الجهاز المستخدم من طراز BRUKER-VECTOR-22 ومن تصنيع شركة Bruker (Billerica, MA, USA). سُجّل طيف الـ IR لجميع العينات في المجال

$400-4000 \text{ cm}^{-1}$ ، تثبت الأفلام الرقيقة المحضّرة بعد تقسيته وجفافها بشكل جيد بحيث تُعامد أشعة الـ IR، أو تُسحق الأفلام الرقيقة المحضّرة وتُمزج مع مسحوق KBr وتُضغط على شكل أقراص في مكبس 5 طن ثم تُوضع ضمن الحامل المرفق بالجهاز.

2- الاختبارات الميكانيكية على طبقة الطلاء الجافة:

• تحديد قوة الالتصاق:

تُحدد وفقاً للمواصفة القياسية ASTM D3359 حيث يتم تشكيل شبكة مربعات عددها 25 مربعاً على طبقة الطلاء باستخدام جهاز خاص رأسه حاد يسمى المخلب، وبعد ذلك يُستعان بشريط لاصق شفاف، وذلك بلمصقه على المنطقة التي رُسمت عليها المربعات باستخدام المخلب ومن ثم ينزع الشريط بسرعة، ويتم تقييم جودة الالتصاق حسب عدد المربعات المنزوعة مع الشريط اللاصق، وتُقيّم النتائج كما يبين الجدول (2).

الجدول (2) آلية تقييم نتائج اختبار تحديد قوة الالتصاق

عدد المربعات المنزوعة	النتيجة
0	التصاق ممتاز
5	التصاق جيد
أكثر من 5	التصاق سيء

• مقاومة الثني:

تتم وفقاً للمواصفة القياسية ASTM D522 حيث يتم وضع طبقة من الطلاء على صفيحة معدنية من الألمنيوم وثني هذه الصفيحة على أقطار مختلفة تتراوح (1-20mm)، وتُقيّم النتائج حسب قياسات الأقطار الجدول (3).

الجدول (3) تقييم نتائج اختبار مقاومة الثني

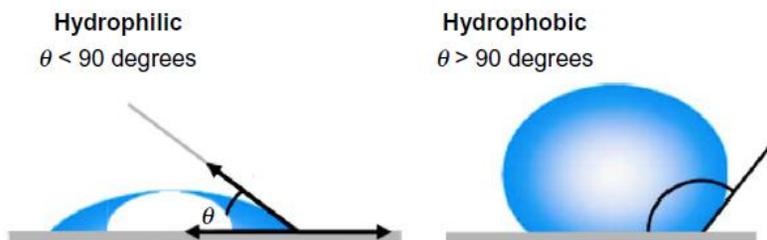
النتيجة	القطر mm
ممتاز	1-3
جيد	4-6
مقبول	7-20

• مقاومة الصدم:

يتم الاختبار وفق المواصفة القياسية ASTM D4366 التي تعتمد على سقوط كتلة قدرها 1kg على الصفيحة المطلية من ارتفاع 1m وتحدد جودة الطلاء حسب سلوكه تجاه عملية الصدم (تشقق الطلاء).

3- التبلل وزاوية التماس wettability and contact angle:

يتعلق تبلل السطح بانتشار السائل على السطح الصلب والذي يتعلّق مباشرةً بالقوى ما بين الجزيئات عند سطوح التماس بين الأطوار، وفي العموم، يُقِيم تبلل السطح الصلب بقياس زاوية التماس (θ) الشكل (2)، والتي تُعرّف بأنها الزاوية المنشكلة عند نقطة تقاطع السطوح البيئية صلب- سائل وسائل-بخار، وتُقاس بقياس الزاوية الناجمة عن رسم المماس للسطح البيئي سائل-بخار والخط الفاصل بين الطورين الصلب والسائل. [9].

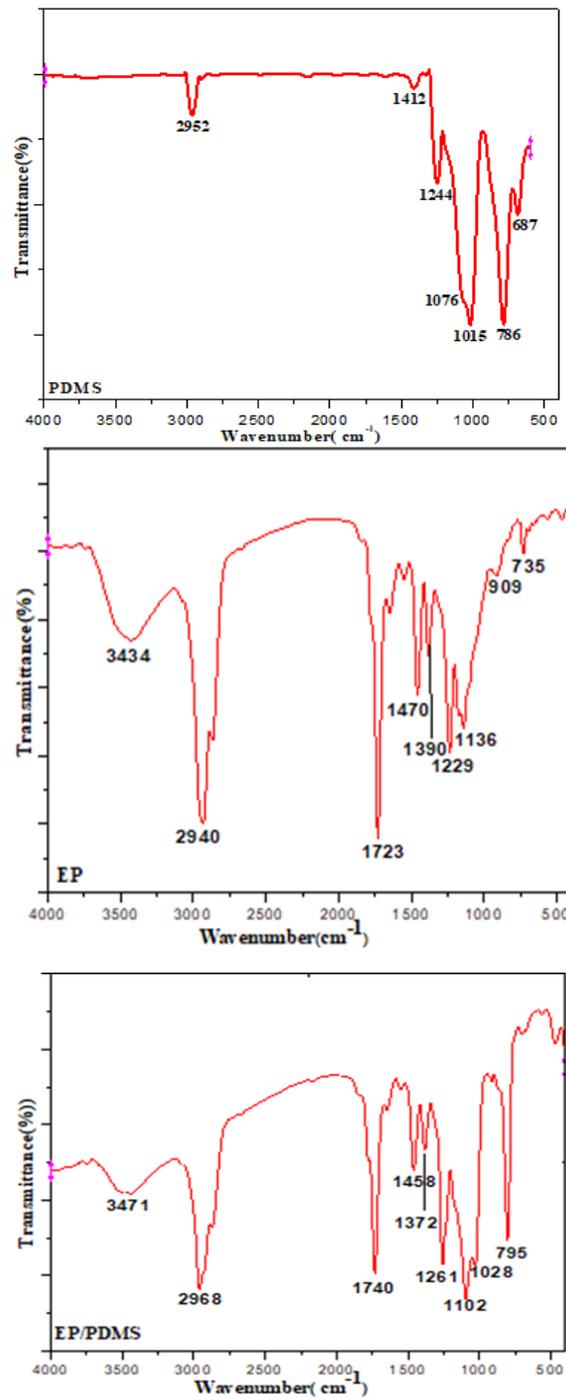


الشكل (2) زاوية التماس لقطرة سائل مع سطح صلب [9]

خامساً: النتائج والمناقشة:

1- أطياف النفوذية FTIR:

يبين الشكل (3) أطياف IR لبوليمير PDMS كبوليمير بدون تقسية أما بالنسبة لبوليمير الإيبوكسي Ep وللمزيج البوليميري EP/PDMS فقد تم الاختبار بعد إضافة عامل التقسية الخاص بالإيبوكسي (ARADUR115-1)، للحصول على المادة الصلبة الجافة من كليهما.



الشكل (3) أطياف IR لبوليميرات PDMS و EP والمزيج EP/PDMS

من الشكل (3) نجد أن القمم المميزة لبوليمير الـ PDMS هي:

- 2945 cm^{-1} امتطاط متناظر واهتزاز غير متناظر للمجموعة CH_3 في Si-CH_3 .

- 1248 cm^{-1} تشوه الرابطة -CH_3

- $1068, 1028 \text{ cm}^{-1}$ امتطاط متناظر واهتزاز غير متناظر لـ Si-O-Si .

- 777 cm^{-1} تأرجح -CH_3 .

- 677 cm^{-1} اهتزاز الرابطة Si-O في Si-O-Si [1، 10-12].

أما القمم المميزة لبوليمير الإيبوكسي DGEBA فهي كالتالي:

- 3434 cm^{-1} امتطاط اهتزازي لمجموعة الهيدروكسيل -OH

- $1390, 2940 \text{ cm}^{-1}$ امتطاط متناظر وغير متناظر لـ -CH_2

- 1470 cm^{-1} امتطاط متناظر وغير متناظر لـ -CH_2

- 1723 cm^{-1} امتطاط الكربونيل في مجموعة الأמיד

- 1229 cm^{-1} . امتطاط زمرة الإيبوكسي الحلقية

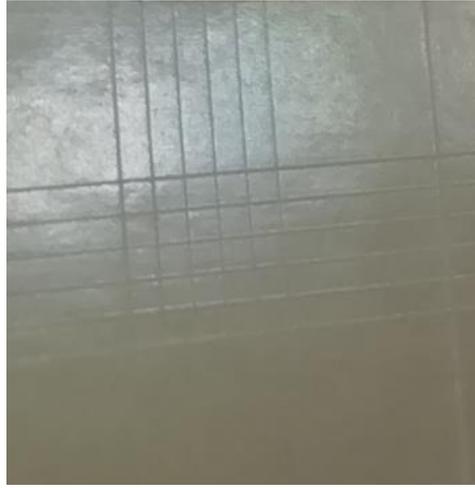
- 909 cm^{-1} قمة مميزة لمجموعة الأوكسيران [11، 13].

أما بالنسبة للمزيج البوليميري فإن القمم الظاهرة عند 2968 cm^{-1} و 1372 cm^{-1} تعود إلى امتطاط تناظري للمجموعة CH_3 في $\text{Si(CH}_3)_2$ [12]، أما القمم 1261 cm^{-1} و 795 cm^{-1} تعود للروابط $\text{Si-C}_6\text{H}_5$ وتشوه الرابطة CH_3 في Si-CH_3 بالترتيب [11، 14]. ظهور قمم نفوذية عند $(1102, 1028) \text{ cm}^{-1}$ والتي تعود للروابط Si-O-C و Si-O-Si بالترتيب يؤكد نجاح تفاعل التصالب عبر الجذور الحرّة بين PDMS و EP، الشكل (1) [1، 3، 11، 12، 15]. وظهور القمم العائدة لامتطاط -CH_2 وتشوه -CH_3 والرابطة Si-CH_3 يؤكد اندماج بوليمير السيلوكسان

ضمن بوليمير الإيبوكسي [11]. كما أن إختفاء القمة 1229 cm^{-1} لربما يعود لكونها انفتحت فيما بعد وارتبطت مع Si وتشكل لدينا Si-O-C.

2- الاختبارات الميكانيكية على طبقة الطلاء الجافة:

• تحديد قوة الالتصاق



الشكل (4) اختبار قوة الالتصاق بعد نزع الشريط اللاصق عن شبكة المربعات الـ 25 المتشكلة من جرح طبقة الطلاء باستخدام أداة المخلب

من الشكل (4) نلاحظ أنه لم يُنتزع أي من المربعات الـ 25 المتشكلة نتيجة جرح الركيزة المطلية بأداة المخلب الحاد، أي أن التصاق المزيج البوليميري بسطح المعدن المطلي ممتاز، وهذه النتيجة تؤكد على إمكانية استخدام المزيج البوليميري الناتج كمادة رابطة في الطلاءات للاستخدامات الخاصة مثل الطلاءات المانعة للتآكل والطلاءات البحرية المانعة للحشَف.

• مقاومة الثني:



الشكل (5) اختبار مقاومة الثني على طبقة الطلاء

بين الشكل (5) تقييم مقاومة السطح المطلي بالمزيج البوليميري للثني إذ تمت عملية الثني عند قطر 3mm ولم يُلاحظ أي شقوق في المنطقة المثنية من الركيزة.

• مقاومة الصدم:

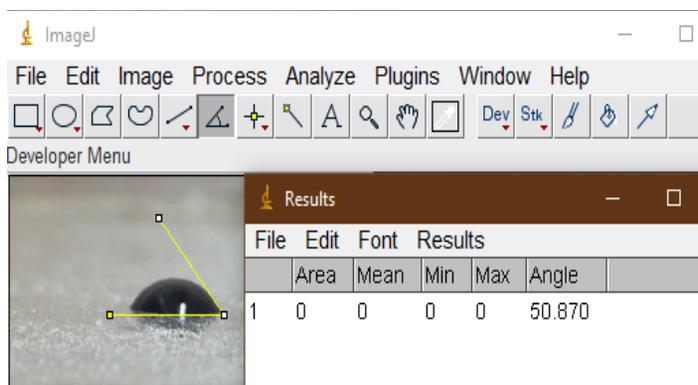


الشكل (6) اختبار تأثير مقاومة الصدم على طبقة الطلاء

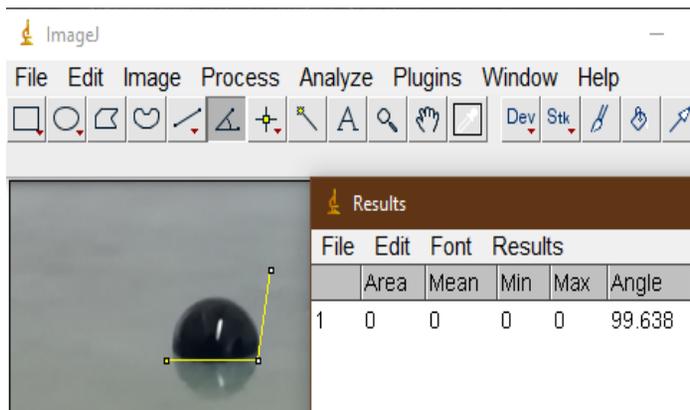
أما بالنسبة لتأثير مقاومة الصدم، فكما هو واضح من الشكل (6) لم تظهر أي شقوق حول المنطقة المتأثرة بقوة الصدم مما يؤكد متانة طبقة الطلاء.

3- التبلل وزاوية التماس:

تمت عملية قياس زاوية التماس باستخدام محقنة دقيقة (سيرنج) لوضع قطرة من الماء المقطر على سطح الركيزة المطلي بعد تلويئها بصباغ ليسهل عملية تحديد نقطة تقاطع القطرة مع السطح الصلب المطلي بحيث لا يتجاوز حجم القطرة $2\mu\text{L}$ ، كذلك أُجري الاختبار على ركيزة مطلية بالإيبوكسي لمقارنة النتائج.



الشكل (7) زاوية التماس لبوليمير الإيبوكسي EP



الشكل (8) زاوية التماس للمزيج البوليميري EP/PDMS

يبين الشكلان (7,8) زاوية التماس θ لسطح مطلي بالإيبوكسي وهي 50.87° وللمزيج البوليميري وهي 99.63° ، حيث يتضح جلياً من النتيجة أن الإيبوكسي بوليمير محب للماء بسبب مجموعات الهيدروكسيل الموجودة ضمن السلسلة البوليميرية بالإضافة لمجموعات الأوكسيران أما المزيج البوليميري فقد أظهر خواصاً كارهة للماء مما يشير إلى توجه سلاسل بوليمير السيلوكسان نحو السطح، الأمر الذي خفّض من خواص التبلل لسطح الطلاء. [15].

سادساً: الاستنتاجات:

1. حُضِرَ مزيج بوليميري من بوليمير ثنائي غليسيديل إيتير بيس فينول- A (EP- DGEBA) وبوليمير ثنائي ميثيل سيلوكسان (PDMS) بنسبة 8/2 بوجود بنزويل بيروكسيد (BP) كمبادر وثنائي بوتيل القصدير ثنائي لوريت (DBTDL) كوسيط لزيادة التوافقية بين البوليميرين، وتم توصيفه كمزيج بوليميري واستخدامه كطلاء بعد إضافة ميكرو ميكا بنسبة 5%، وأكدت نتيجة قياس زاوية التماس امتلاك المزيج البوليميري لخاصية الهيدروفوبية، كما اجتازت طبقة الطلاء المطبقة على صفيحة عيارية من الألمنيوم الاختبارات الميكانيكية المتعلقة بطبقة الطلاء الجافة حسب المعيار العالمي.
2. يمكن استخدام المزيج الناتج كأساس في الطلاءات المطبقة في بعض التطبيقات الخاصة مثل طلاء السطوح في البيئة البحرية.
3. يمكن توسيع الدراسة للاستفادة من الخواص الجديدة للمزيج البوليميري لتشمل تطبيقات أوسع في مجال المواد المركبة والالكترونيات.

المراجع:

- [1] J. Vilčáková, L. Kutějová, M. Jurča, R. Moučka, R. Vícha, M. Sedlačík, *et al.*, "Enhanced Charpy impact strength of epoxy resin modified with vinyl-terminated polydimethylsiloxane," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 135, p. 45720, 2018.
- [2] G. Baquey, L. Moine, O. Babot, M. Degueil, and B. Maillard, "Model study of the crosslinking of polydimethylsiloxanes by peroxides," *Polymer*, vol. 46, pp. 6283-6292, 2005.
- [3] S. Ahmad, A. Gupta, E. Sharmin, M. Alam, and S. Pandey, "Synthesis, characterization and development of high performance siloxane-modified epoxy paints," *Progress in organic coatings*, vol. 54, pp. 248-255, 2005.
- [4] C. Zhou, R. Li, W. Luo, Y. Chen, H. Zou, M. Liang, *et al.*, "The preparation and properties study of polydimethylsiloxane-based coatings modified by epoxy resin," *Journal of Polymer Research*, vol. 23, pp. 1-10, 2016.
- [5] S. Verma, S. Das, S. Mohanty, and S. K. Nayak, "Development of multifunctional polydimethylsiloxane (PDMS)-epoxy-zinc oxide nanocomposite coatings for marine applications," *Polymers for Advanced Technologies*, vol. 30, pp. 2275-2300, 2019.
- [6] C.-H. Lin, W.-T. Whang, C.-H. Chen, S.-C. Huang, and K.-C. Chen, "Novel siloxane-modified epoxy resins as

- promising encapsulant for LEDs," *Polymers*, vol. 12, p. 21, 2019.
- [7] Y. Wang, Y. Ling, S. Zhou, Y. Chen, M. Liang, and H. Zou, "Enhanced mechanical and adhesive properties of PDMS based on novel PDMS-epoxy IPN structure," *Journal of Polymer Research*, vol. 28, pp. 1-10, 2021.
- [8] A. Mathew, S. Kurmvanshi, S. Mohanty, and S. K. Nayak, "Preparation and characterization of siloxane modified: Epoxy terminated polyurethane-silver nanocomposites," *Polymer Composites*, vol. 39, pp. E2390-E2396, 2018.
- [9] G. Agrawal, Y. S. Negi, S. Pradhan, M. Dash, and S. Samal, "Wettability and contact angle of polymeric biomaterials," in *Characterization of Polymeric Biomaterials*, ed: Elsevier, 2017, pp. 57-81.
- [10] L. M. Johnson, L. Gao, C. W. Shields IV, M. Smith, K. Efimenko, K. Cushing, *et al.*, "Elastomeric microparticles for acoustic mediated bioseparations," *Journal of nanobiotechnology*, vol. 11, pp. 1-8, 2013.
- [11] S. Verma, S. Das, S. Mohanty, and S. K. Nayak, "A facile preparation of epoxy-polydimethylsiloxane (EP-PDMS) polymer coatings for marine applications," *Journal of Materials Research*, vol. 34, pp. 2881-2894, 2019.
- [12] T. Thanikai Velan and I. Mohammed Bilal, "Aliphatic amine cured PDMS-epoxy interpenetrating network system for high performance engineering applications— Development and characterization," *Bulletin of Materials Science*, vol. 23, pp. 425-429, 2000.

- [13] N. Rajagopalan and A. Khanna, "Effect of methyltrimethoxy silane modification on yellowing of epoxy coating on UV (B) exposure," *Journal of Coatings*, vol. 2014, 2014.
- [14] Z. Shen, Z. Xia, and Y. Zhang, "Characterization and properties of epoxy resin (E-20) modified with silicone intermediate RSN-6018," *Progress in Organic Coatings*, vol. 114, pp. 115-122, 2018.
- [15] S. Sobhani, A. Jannesari, and S. Bastani, "Effect of molecular weight and content of PDMS on morphology and properties of silicone-modified epoxy resin," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 123, pp. 162-178, 2012.

دراسة خصائص ألياف صبار أغاف أمريكانا

طالبة الماجستير: يارا بلال

كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية - جامعة البعث

الدكتورة المشرفة: راميه المحمد

ملخص:

يقدم هذا البحث توصيف ألياف صبار أغاف أمريكانا التي تعد من الألياف النباتية الطويلة حيث تتميز بطول يصل إلى أكثر من 2 متر، تم الحصول على الألياف بطريقتين الأولى كانت من خلال غمر الألياف بمياه مقطرة، والثانية من خلال عملية غمر أوراق الأغاف المقطوعة في محلول NaCl بتركيز 10% وذلك لمدة شهر، تبين من عملية الاستخراج أن الطريقة الأولى كانت أفضل من حيث سهولة سحب الألياف من الأوراق واختصار الزمن اللازم لذلك، قمنا بتقسيم الألياف إلى ثلاث أقسام علوي وأوسط وسفلي ومن ثم تم قياس أقطار الألياف المستخرجة بواسطة المجهر الضوئي وباستخدام برنامج image j ، كما تم دراسة الخصائص الميكانيكية باستخدام جهاز Testometer. أظهرت النتائج أن ألياف أغاف أمريكانا تتمتع بخصائص مميزة من حيث المتانة والاستطالة وبالأخص ألياف الجزء الأوسط من الورقة والتي تتصف بتجانس في الأقطار.

كلمات مفتاحية: نبات الصبار، أغاف أمريكانا، ألياف طبيعية، استخراج الألياف، الخصائص الميكانيكية.

Studying of the properties of Agave Americana fibers

Abstract:

This Study display the characterization of Agave Americana fibers which are long plant fibers with a length of more than 2 m. The fibers were obtained by two methods , the first was by immerse the fibers in distilled water, and the second methods was by immersion process for cut agave leaves using 10% Nacl solution for a month. The extraction process showed that the first method was better in easy to pull the fibers out of the leaves and reducing the time required for this. We divided the fibers into three sections, upper, middle and lower, and then the diameters of the extracted fibers were measured using an optical microscope, and the mechanical properties wear studied using the Testometer.

The results showed that the fibers of Agave Americana have distinct characteristics in terms of strength and elongation, especially the fibers of the middle part of the leaf, which are characterized by homogeneity in diameters.

Keywords: Agave plant, Agave americana, Nutural fibers, Fibers extraction
Mechanical properties

1- المقدمة:

على الرغم من العدد الكبير من ألياف النسيج المستخدم في صناعة الغزل والنسيج إلا أن الحاجة إلى اكتشاف المزيد تبقى مطلباً مستمراً لتلبي متطلبات الحياة المتطورة، لطالما كانت الطبيعة هي المصدر الرئيسي للألياف الذي اعتمد عليه الإنسان من أجل تلبية احتياجاته الحياتية كالملبس وغيره الكثير، لذلك تمت دراسة الألياف الطبيعية وخصائصها وطُورت طرق مختلفة لتحسين صفاتها. ومع تقدم المجتمع وزيادة متطلباته كان الاتجاه نحو إيجاد ألياف جديدة والتي تسمى بالألياف الغريبة المستخرجة من بعض النباتات مثل اسكليبياس السرياني الذي يتم استخلاص ألياف الصقلاب منه أو حتى بعض أشجار جوز الهند والنخيل. وذلك نظراً لما تتمتع به هذه الألياف الطبيعية من تكلفة العمل المنخفضة وطابعها الصديق للبيئة [1].

كان التوجه في دراستنا هو استخراج ألياف طبيعية جديدة من أحد أنواع الصبار الذي يزرع كنبات للزينة في بلادنا، حيث تم توصيفه ودراسة إمكانية غزله. يتواجد الصبار بأنواع مختلفة تعيش في الظروف والبيئات الصحراوية، لهذا يضرب المثل بهذه النباتات في تحمل العطش والجفاف.

للصبار أنواع عديدة منها:

1-التين الشوكي: يتواجد بكثرة في بلادنا وهو نوع من أنواع الفواكه حيث يملك قيمة غذائية عالية باحتوائه على الفيتامين، بالإضافة لفوائده الطبية في علاج مرض السكري وارتفاع مستوى الكوليسترول في الدم، تتم زراعته كسياج لحماية الممتلكات نظراً لقدرته على تحمل الجفاف [2].

2- السجوار: شكله عبارة عن أذرع أسطوانية شوكية وتحتوي على ثمرة حلوة المذاق يُعمّر طويلاً إلى 150 سنة.

3- السيزال : يتميز بأوراقه الكبيرة والممتلئة، وتكون هذه الأوراق قريبة من مستوى الأرض، وتمتد إلى أعلى ويصل ارتفاع النبات إلى قرابة 6 متر، وتعد ألياف السيزال من أهم الألياف الورقية، وتستخدم بكثرة في صناعة الحبال والكابلات السمكية [3].

4- صبار الأولفيرا : تعرف بالنبتة المعجزة أو الشافي الطبيعي إذ تتميز بوجود جل بداخلها له منافع طبية و تجميلية كبيرة جداً، يتراوح طولها بين 15-30 سنتمتر [4].

5- الأغاف :

هو النوع الذي أثبت وجود ألياف في بعض أصنافه، حيث أن أوراق نباتات الأغاف غنية بالألياف. من الأنواع الأكثر شيوعاً السيزال، أغاف أمريكانا، أغاف أنجويستيفوليا، وأغاف مارجيناتا، تتم زراعته على نطاق واسع لمظهره الجمالي وله استخدامات تجارية وصناعية [5].



الشكل (1): بعض أنواع صبار الأغاف

صبار الأغاف:

يوجد بكثرة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة حيث أن الموطن الأساسي له هو المكسيك وأمريكا الوسطى والشمالية، ويعد من النباتات المعمرة دائمة الخضرة التي تنمو بمعدل بطيء بشكل فردي أو على شكل تجمعات. يصل ارتفاعها إلى 2 متر تقريباً، تتكون من عدد كبير من الأوراق حوالي 20 إلى 70 ورقة في كل نبتة، حيث يمكن أن يصل وزنها إلى 250 كغ. تتميز ورقة الأغاف بوجود حواف شوكية حيث تكون قاعدة الورقة سميكة وممتلئة وتنتهي في القمة بنقطة حادة، الجذع سميك يعمل كمصدر لتخزين الطاقة على شكل كربوهيدرات وينمو جنباً إلى جنب مع قواعد الأوراق، تخترق الجذور حوالي 30 سم في الأرض و عندما تقترب دورة نمو الأغاف من نهايتها، تظهر الزهرة لمرة واحدة في حياته، تعيش النبتة من العمر 10 إلى 30 سنة [6].

تم في هذا البحث دراسة خصائص ألياف نوع من صبار الأغاف وهو أغاف أمريكانا الموضح في الشكل:



الشكل(2): صبار أغاف أمريكانا

عملية حصاد أوراق صبار الأغاف:

يتم حصاد أوراق نبات الأغاف الأمريكية الناضجة من الحقل، وتكون مؤهلة لذلك في السنة الرابعة من زراعتها، ويستمر بشكل عام حتى السنة السابعة، حيث تتحني الأوراق الناضجة إلى الأرض، وتقطع جميع الأوراق السفلية، التي تقف بزواوية أكثر من 45 درجة إلى العمودية، بعيداً عن النبات عن طريق أداة قطع حادة ولا يوجد اهتمام بقطع الأوراق الصغيرة جداً، لأن إنتاجها من الألياف أقل بكثير. إذ أنه عادةً ما يتطلب 25000 إلى 40000 ورقة لتوفير طن واحد من الألياف [1].

عملية استخراج الألياف:

بعد الحصاد، يتم نقل الأوراق إلى مصنع لاستخراج الألياف، ولكن قبل الاستخراج تتم إزالة الأشواك الموجودة على هوامش الأوراق وعند طرف الورقة. تشبه الطرق المستخدمة لاستخراج ألياف أغاف أمريكانا من أوراق النبات الطرق المستخدمة لاستخراج ألياف السيزال [7].

طرق استخراج ألياف الأغاف:

هناك ثلاث طرق رئيسية لاستخراج الألياف:

- (1) الاستخراج الميكانيكي.
- (2) الاستخراج الكيميائي.
- (3) عملية التحلل أو التعطين (تخمير الألياف) [8].

1- الطريقة الميكانيكية (Mechanical method):

قديمًا كان يتم تقشير الأوراق يدوياً، حيث تُسحق الأوراق ويزال اللب بسكين، لكن التقشير اليدوي الموضح في الشكل (3) يستغرق وقتاً طويلاً ويحتاج إلى الكثير من القوى العاملة.



الشكل (3) عملية تقشير الألياف بشكل يدوي

في الوقت الحاضر، يمكن إجراء التقشير بكفاءة باستخدام آلة إزالة القشرة وتسمى (Raspador)، موضحة في الشكل (4)



الشكل (4) آلة إزالة القشرة (Raspador)

توضح الشكل السابق شكل الآلة ومبدأ عملها البسيط، تتميز هذه الآلة بما يلي :

1- تعمل بوساطة محرك كهربائي

2- تستهلك وقتاً قليلاً في العمل

وان المواد والألياف المتبقية بعد استخراج الألياف يمكن الاستفادة منها كسماد أو في مواد العزل.

2- الطريقة الكيميائية (Chemical method):

عملية الاستخراج هذه غير مكلفة ولا تؤثر ميكانيكياً على الألياف مقارنة بالطريقة السابقة، فهي تعتمد على التحليل المائي لمكونات أوراق الأغاف، حيث تتحلل هذه المكونات كيميائياً تحت تأثير الماء والمواد المساعدة الكيميائية التي تحفز تفاعل تحلل الأنسجة الخلوية، والغرض من هذا التفاعل هو تحلل أوراق الأغاف مع الحفاظ على الألياف قدر الإمكان. استُخدمت هذه العملية في عدة مناطق، حيث قام المزارعون والصيداؤون الذين استخدموا ألياف الأغاف لصنع الحبال بغمر الأوراق في أحواض مملوءة بمياه البحر (محلول أساسي ضعيف) وانتظروا حتى يذوب اللب الذي يحمل الألياف بالكامل تقريباً، ولكن تطرح هذه العملية عدة مشاكل تتجلى في الوقت الطويل الذي تستغرقه، بالإضافة لمشاكل بيئية [1].

يتضمن استخراج الألياف بالطريقة الكيميائية استخدام: القلويات والأحماض والأنزيمات.

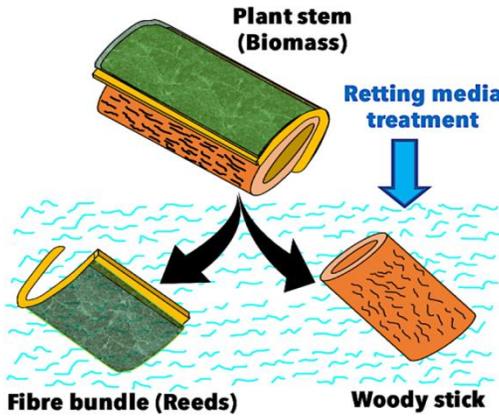
(a) القلويات : تعمل على إذابة المادة الخلوية بين الألياف (الجنوسلوز) وتفصل الروابط الهيكلية بين اللجنين والسليلوز مما يؤدي إلى زيادة بروز الألياف في المنطقة المعالجة بالقوي، ويسهل من الحصول على الألياف الفردية.

(b) الأحماض : بواسطتها يتحلل اللجنين والهيميسلوز في جزيئات البنزوات ذات السلسلة الأقصر وينتج عن العلاج الحمضي تكوين مجموعات تفاعلية مما يؤدي إلى تباعد الألياف عن بعضها البعض.

(c) بواسطة الإنزيمات: يحدث تحلل في مركب اللجنوسلوز مما يؤدي بدوره إلى انتفاخ الألياف، حيث إن الألياف المستخرجة بواسطة الأنزيمات تكون أكثر مرونة وليونة من طريقة استخدام الحمض أو القلوي، كما يقلل كثيراً من تقطع الألياف أثناء عملية الاستخلاص بواسطة الأنزيمات [8].

3- عملية التحلل أو التعطين (Retting Process):

هي طريقة لاستخراج الألياف عن طريق تطبيق عملية جراثومية طبيعية، يتضمن الاستخلاص تحلل المواد غير الليفية والتي تعمل كغراء أو صمغ بين الألياف في أجزاء الورقة من دون إتلاف ألياف السليلوز، ونتيح هذه العملية الفصل السهل بين حزمة الألياف والمواد الصمغية، ونظراً لكون هذه العملية هي عملية بيولوجية فإنها تتطلب كلاً من الرطوبة المناسبة ودرجة الحرارة الدافئة، حتى يحدث الإجراء الميكروبي الطبيعي [9].



الشكل (5) عملية التعطين لألياف الصبار

وهناك نوعين من التعطين:

• التَّعْطِينُ الطَّبِيعِيُّ (Natural Retting):

وهي عبارة عن عملية تخمير لفصل الألياف عن الكتلة الحيوية من دون إتلاف ألياف السليلوز، وتستغرق ما يصل إلى ثلاثة أسابيع، تهاجم الميكروبات المواد المحيطة

بالألياف، يؤدي ذلك إلى تليين الأوراق تدريجياً عن طريق فصل المواد اللاصقة عن الألياف، وعندما يصل إلى المرحلة المناسبة يمكن فصل الألياف بسهولة تامة عن الأوراق.

ويوجد نوعان من التعطين الطبيعي: الأولى التعطين بالماء والثانية التعطين بالندى.

في الطريقة الأولى تُغمر أوراق الصبار في الماء (نهر أو بركة أو خزانات) في الحقل المخصص لها لمدة تقارب 10 أيام، ولكن هذه الطريقة قديمة.

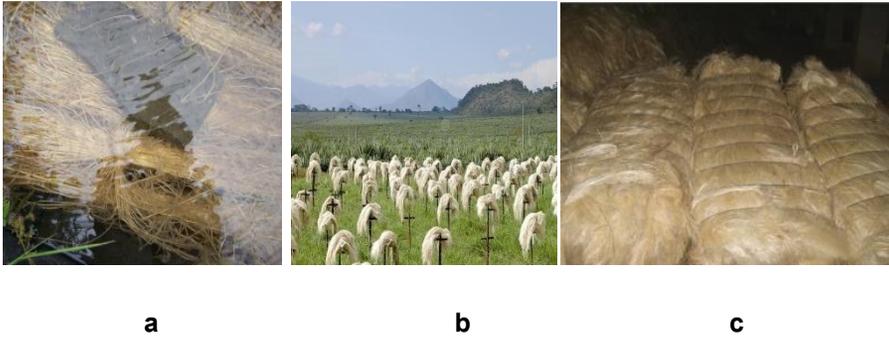
أما في الطريقة الثانية يتم التخمر عن طريق الترطيب بالندى والمطر، حيث يتم وضع المحصول على الأرض بعد اقتلاعه وتركه لعدة أسابيع، ويشجع المطر والندى على حدوث التخمر والتعطين [10].

• التَعَطِينُ الأَنْزِيمِي (Enzymatic Retting):

التعطين الأنزيمي هو العملية التي يحدث فيها تحلل مواد البكتين المحيطة بحزم الألياف بواسطة الأنزيمات المنتجة صناعياً، حيث تُعد أسرع من عملية التعطين الطبيعي وينتج عنه ألياف أكثر نعومة، ولديه القدرة على تبسيط عملية استخراج الألياف وتقليل التكاليف، كما أنّ التحلل الأنزيمي يوفر تحكماً أكبر في العملية وزيادة الإنتاجية ووقت معالجة أقصر، ويمكن إعادة تدوير محلول الإنزيم المستخدم عدة مرات، مما يجعل العملية صديقة للبيئة وفعالة من حيث التكلفة ويتم استخدام الأنزيمات التالية لإجراء عملية التعطين:

البكتيناز (أنزيم محلل البكتين) و السلولاز زيلاينيز هي الإنزيمات التي يمكن استخدامها لتحلل أجزاء النبات لاستخراج الألياف، ويمكن استخدام الإنزيم بتركيزات أعلى لتسريع عملية التحلل [11].

بعد استخلاص الألياف بأي من هذه الطرق، يتم إجراء عملية نقع وغسيل للألياف الموضح في الشكل (a-6) ، تليها عملية تجفيف كما ذكر سابقاً إما بمجففات ميكانيكية أو بتركها تحت أشعة الشمس إذ أن محتوى الرطوبة في الألياف يؤثر على جودتها، كما في الشكل (b-6). بعد ذلك يتم تمشيط الألياف الجافة، وفرزها إلى درجات مختلفة وتعبئتها في بالات، كما في الشكل (c-6) [12].



الشكل (6): عملية غسل الألياف وتجفيفها بالشمس ثم تعبئتها في بالات.

2- هدف البحث:

يهدف البحث إلى الاستفادة من المصادر الطبيعية المتجددة والموجودة في سوريا للحصول على الألياف الطبيعية وبالتالي استخراج ألياف الصبار باختيار طريقة مناسبة ودراسة خصائص الألياف الميكانيكية وذلك من أجل تحديد إمكانية استخدام هذا النوع من الألياف في صناعة الغزل.

3- أهمية البحث:

يعتبر الصبار نباتاً صديقاً للبيئة حيث يمكن زراعته والعناية به بسهولة، يتميز بنمو تفرعات من النبتة الأم وبالتالي توافره بكثرة وهذا ما يشجع على الاستفادة منه كمصدر دائم للحصول على الألياف الطبيعية وبالتالي على عائد اقتصادي دون تكلفة كبيرة.

4- مواد وطرق البحث:

4-1 المواد:

صبار أغاف أمريكانا:

لونه أخضر وله حواف من الأشواك الحادة، يصل طوله إلى 1.8 متر. من الأسماء الشائعة له نبات القرن أو الصبار الأمريكي، تعود تسميته بنبات القرن نظراً إلى الوقت الطويل الذي يستغرقه النبات حتى يزهر، تتكون أليافه من حوالي 80% سليولوز و15% هيميسلوز و17% لجنين و 0.26% مواد شمعية بالإضافة لمواد أخرى. [8]

يمكن الاستفادة من أغاف أمريكانا كمصدر للغذاء ومصدر طبي واسع كما أن له فوائد بيئية حيث يمكن استخدامه كسماد لتعزيز خصوبة التربة نظراً لقابليته للتحلل الحيوي.

[13]

2-3 طرق البحث:

1-2-3 الحصول على الألياف:

الطريقة الأولى باستخدام مياه مقطرة:

تم قطع أوراق الصبّار من الأسفل بأداة حادة بزاوية 45 درجة و تُترك الأوراق لمدة ثلاثة أيام قبل البدء بالعمل، ومن ثم تم إزالة الأشواك الموجودة على الهوامش والأطراف، بعدها تُقسم ورقة صبّار الأغاف إلى ثلاث أقسام (القمة _ الوسط _ القاعدة) بأطوالٍ متساوية كما هو موضح في الشكل.



الشكل (7): أوراق الصبار بعد قطعها

وتم استخراج الألياف ثم وضعها ضمن وعاء يحوي ماءً مقطراً وتُترك الألياف منقوعة في الماء لمدة شهر، بعد ذلك تم القيام بغسيل لطيف باليد لكل ليف على حدى وتنظيفه بالماء للتأكد من زوال المواد المحيطة بالليف، ثم توضع الألياف على سطح نظيف لتجف في جو المخبر.

الطريقة الثانية باستخدام محلول ملحي مائي:

تم نقع أوراق الصبار في وعاء يحوي محلول ملحي (NaCl) بتركيز 10% لمدة شهر، ثم تم استخراج الألياف وغسلها بالماء جيداً وتُترك لتجف في جو المخبر. وبعد تجفيف الألياف، تم وضعها ضمن عبوة مخصصة وتصبح جاهزة للاختبار.



الشكل(8): ألياف أغاف أمريكانا بعد عملية استخراجها

3-2-2 دراسة قطر الألياف:

بعد الحصول على الألياف، تم قياس القطر ل 10 عينات لكل من الطريقتين، حيث استُخدم جهاز المجهر الضوئي الموجود في مخبر الألياف في قسم الغزل والنسيج، وتم استخدام برنامج Image J الذي يعتبر من البرامج الهامة في تحليل الصور العلمية، واستُخدم برنامج Exel لتسجيل النتائج.

3-2-3 اختبار الشد:

تم فحص متانة الألياف على جهاز الشد نوع Testometer الموجود في مركز الأبحاث الصناعية في دمشق. سعة الجهاز 10 KN والسرعة (10mm/min).



الشكل (9): جهاز الشد Testometer

مناقشة النتائج:

● استخراج الألياف:

لُوحظ من عملية الاستخراج لألياف أغاف أمريكانا ما يلي:

- 1- استخراج الألياف في هذا النوع كان مريحاً وأكثر سهولة، ولوحظ عدم حدوث انقطاعات متكررة لليف أثناء سحبها.
- 2- الألياف المستخرجة في البداية تكون مجتمعة على شكل حزم، وبعد عملية النقع تتفكك الحزم ونحصل على ألياف فردية.
- 3- ملمس الألياف خشن قليلاً ولونها حليبي مائل للاصفرار.

● قطر الألياف: تم قياس أقطار 10 ألياف من كل قسم من الورقة (قمة- وسط-

قاعدة) من كل طريقة وكانت النتائج كالتالي:

الجدول(1): متوسط أقطار الأجزاء الثلاثة في كلا الطريقتين

الطريقة الثانية (مياه مالحة)			الطريقة الأولى (ماء مقطر)			
القاعدة	الوسط	القمة	القاعدة	الوسط	القمة	
39.64	28.75	24.97	41.90	32.12	27.87	أجزاء ورقة الصبار
5.25	4.32	4.78	10.19	3.49	3.63	متوسط قطر الألياف
13.25	15.01	19.15	24.33	10.87	13.04	الانحراف المعياري
						معامل الاختلاف CV%

لُوحظ وجود فرق في متوسط الأقطار للأجزاء الثلاثة للورقة في الطريقتين، وللتأكد من النتيجة تم استخدام قانون فيشر على اعتبار أن القيمة الاحتمالية تساوي 0.05 أي تقريباً القيمة 1.65 كحد أقصى في الحكم على ما إذا كان الانحراف ذو أهمية أم لا

[14]

تم التحقق من خلال تطبيق القانون التالي :

$$z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{\partial^2}{100}\right) x_1 + \left(\frac{\partial^2}{100}\right) x_2}}$$

فإذا كانت $Z > 1.65$ يمكن القول أن هنالك فرق واضح بين الأقطار.

-توضح الجداول التالية النتائج:

الجدول(2): دراسة إحصائية لمتوسط أقطار الألياف المستخرجة بالماء المقطر

Z	$\delta \times 1-x_2$	$\delta^2/100$	δ^2	δ	X	
9.78	1.07	1.03	103.83	10.19	41.90	القاعدة
3.86	1.09	0.12	12.18	3.49	32.12	الوسط
13	1.08	0.13	13.17	3.63	27.87	القمة

الجدول(3): دراسة إحصائية لمتوسط أقطار الألياف المستخرجة بالمياه المالحة

Z	$\delta \times 1-x_2$	$\delta^2/100$	δ^2	δ	X	
16.01	0.67	0.27	27.56	5.25	39.64	القاعدة
3.96	1.01	0.18	18.66	4.32	28.75	الوسط
20.66	0.71	0.22	22.84	4.78	24.97	القمة

من خلال المقارنة بين نتائج الطريقتين، لوحظ وجود فرق كبير وواضح بين أقطار الألياف في جميع أجزاء الورقة، ولُوحظ أيضاً أن الألياف المستخرجة من الجزء الأوسط للورقة أكثر تجانساً من بقية الأجزاء في الطريقتين، لذلك تم اختيار هذا الجزء من أجل دراسة الخصائص الميكانيكية لأغاف أمريكانا.

● اختبار الشد:

تم إجراء اختبار الشد ل 10 ألياف من القسم الأوسط من الورقة من كل طريقة على جهاز الشد، تخضع العينات لشد أولي ثم يبدأ الاختبار حتى القطع، فكانت النتائج كالتالي:

الجدول(4): الخصائص الميكانيكية للألياف المستخرجة باستخدام المياه المقطرة

المتانة cn/tex	الاستطالة %	قوة القطع N	النمرة Tex	القطر μm	
27.01	1.42	5.70	21.92	32.12	المتوسط الحسابي
0.89	0.41	0.78	2.81	3.49	الانحراف المعياري
3.41	28.96	13.77	12.83	10.87	معامل الاختلاف CV%

الجدول(5): الخصائص الميكانيكية للألياف المستخرجة باستخدام المياه المالحة

المتانة cn/tex	الاستطالة %	قوة القطع N	النمرة Tex	القطر μm	
21.75	1.28	4.37	19.85	28.75	المتوسط الحسابي
2.04	0.43	1.20	3.90	4.32	الانحراف المعياري
9.37	33.62	27.60	19.64	15.01	معامل الاختلاف CV%

إن المتوسط الحسابي للمتانة بالنسبة للألياف التي تم الحصول عليها بطريقة النقع بمياه مقطرة لمدة شهر كبير بينما معامل الاختلاف صغير وذلك بالمقارنة مع الألياف التي

أُستخرجت بواسطة النقع بالمحلول الملحي المائي (NaCl)، ومن الممكن أن يعود السبب إلى أن بقاء الأوراق مدة طويلة في المحلول الملحي أدى إلى إضعاف المتانة وهذا مؤثر إلى أن وجود كلور الصوديوم له تأثير سلبي على ليف الأغاف.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- 1- أظهر اختبار الشد أن لألياف أغاف أمريكانا متانة عالية قُدرت ب (26) CN/Tex بالمقارنة مع الألياف الطبيعية الأخرى مثل الكتان الذي يتمتع بمتانة (23-60 CN/Tex)، والقطن الذي تبلغ متانته من (26-44 CN/Tex).
 - 2- بلغ متوسط قطر الألياف حوالي (31 μm) وهي تعد قيمة قريبة من متوسط قطر ليف الكتان التي تساوي تقريباً (18-80 μm).
 - 3- بلغت الاستطالة عند القطع قيماً عالية بالمقارنة مع الألياف الطبيعية الأخرى.
- وبالتالي يمكن الاستنتاج أنه من الممكن إدخال ألياف أغاف أمريكانا في صناعة الغزل ولكن باستخدام الجزء الأوسط من الورقة فقط نظراً لتجانس ومتانة الألياف في هذا الجزء.

التوصيات:

- 1- نظرًا للأهمية الكبيرة للأغاف كمصدر للألياف، توصي الدراسة بالنظر في تعزيز زراعة نبات صبار الأغاف كمحصول تجاري، على اعتبار أنها لا تحتاج لمبيدات أو أسمدة كيميائية كما أنها تحتاج لكميات قليلة من المياه، بالإضافة لأهميتها في الحد من توسع الصحراء.
- 2- التوسع في دراسة الخصائص لألياف الأغاف في مراحل مختلفة لنمو النبات.
- 3- استخراج ألياف من أنواع أخرى من الصبار المتوفرة محلياً.

1. MSAHLI S, DREAN J, 2002- Etude de potential textile des fibres d`agave. LPMT, Franca.
2. LAHSASNI S, KOUHILA, M.MAHROUZ M, 2004. Adsorption desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*), Energy Conversion and Management.vol 45. pp250
3. HAMOUD M., 2020-Fibres Science. Al Baath University, Syria, pp: 41-161.
4. GUENDO L., FLORE Z., April 2001-Europeenne, agave Americana Fibre, Hachette, article, Paris. pp:914-918.
5. . GLADWELL W, MBUGUA, EVERLYN K. 2014- Properties Of Decorticated Agave Americana Marginata Fibers Of Different Leaf Levels From Lanet And Tigoni, Kenya. pp1-14
6. ORTEGA Z, CASTELLANO J, SUREZ L 1, D.MARRERO M, 2019- Characterization of Agave americana L. plant aspotential source of fibres for composites obtaining, Springer Nature Journal. pp:1
7. MSAHLI S, SAKLI F, YVES J,2006- Fibres Extracted from Tunusia Agave Americana fiber L. Textile Journal. Vol 6. pp:9-13.
8. HULLE A, KADOLE P, KATKAR P,2014- Agave Americana Leaf Fibers, Fibers. Textile Res. J., UK vol 3.pp:66- 67
9. Ikra Iftekhar shuvo fiber attributes and mapping the cultivar influence of different indus trial, 2020. september article26, Mexico. pp: 210

10. MSAHLI, S., DREAN J.Y, SAKLI F, 2005- Evaluating the fineness of Agave Americana L. Fibers, Textile Res. J., UK. pp:540-543
11. BUSCHLE G, ZERONIAN, S, 1994- Enzymatic hydrolysis of cotton, linen, ramie and viscose rayon fabrics. Text. Res. J..vol 64. pp:270–279.
12. MARTÍNEZ M, ARIAS H, 2005-Population Structure of Maguey (Agave salmiana ssp. crassispina) in Southeast Zacatecas, Mexico. Arid Land Research and Management. vol19. pp:101.
13. ZWANE P, MASARIRAMBI M 2001- Bhabhi. Exploitation of Agave Americana L. plant for food security in Swaziland, Am. J. Food Nutr, Germany. pp: 82–88
14. ALMOHAMAD R. 2022- Characterization of the Fibers of Agave Salmiana Located in Syria. Al-Baath University Journal.PP:15
- 15.

تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح

إنعام أحمد الساطي، أنطون سمعان يوسف

قسم الهندسة الغذائية، كلية الهندسة الكيميائية والبتروولية، جامعة البعث، حمص، سورية

المخلص :

تمّ في هذا العمل دراسة إمكانية التخزين المشترك لثمار الليمون صنف Interdonato غير الكليماكتيرية التي تخزن مبردة عند درجات حرارة 6°C - 8°C بالمشاركة مع ثمار التفاح صنف Golden Delicious الكليماكتيرية التي تخزن بالتبريد عند درجات حرارة 0°C - 4°C وذلك من خلال العمل على حل مشكلة عدم التوافق الحراري بين المنتجين المخزنين بتصميم حاويات مخصصة لتخزين ثمار الليمون معزولة حرارياً باستخدام مادة عازلة حيث تمت المقارنة بين الستيربور والفوم والفراغ الهوائي للوصول للفرق الحراري المطلوب داخل حاوية الثمار وذات نافذة اصطفاينية للغازات، حيث استخدمت رقيقة من البولي إيثيلين كنافذة للتبادل الغازي بين داخل الحاوية وخارجها كما تمت المقارنة بين الصفيح المعدني والخشب والبلاستيك من حيث ملائمتها لتشكيل الوسط الغازي المعدل بنسب O_2 و CO_2 ضمن النسب المنصوح بها لتخزين ثمار الليمون كما تم التخزين المشترك بوجود مادة الزيوليت الخام السوري كمادة مازة للإيثيلين للتغلب على ظاهرة التضاد بين المنتجين ثم دراسة تأثير التخزين المشترك لهذين النوعين من الثمار على المواصفات الحسية والتركيب الكيميائي لثمار الليمون. بيّنت النتائج أن استخدام كل من الفوم والستيربور كمادة عازلة قد حقق الفرق الحراري

تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح

المطلوب، مع أفضلية لاستخدام الستيربور من حيث الكفاءة الاقتصادية، كما بينت النتائج أن الأوساط الغازية المشكلة داخل الحاويات المعدنية كانت بحدود $O_2=11\%$ و $CO_2=6\%$ ، وهي ملائمة لتخزين الليمون ضمن معايير الوسط الغازي المعدل على خلاف الحاويات الخشبية والبلاستيكية، وبينت نتائج التخزين المشترك فاعلية التخزين المبرد المطبق بوجود الزيوليت كمادة ماصة للإيثيلين واستخدام الحاويات المعزولة ضمن الوسط الغازي المعدل لثمار الليمون في الحفاظ على الجودة الحسية والغذائية وتحسين مؤشرات التخزين التكنولوجية لثمار الليمون.

الكلمات المفتاحية: التخزين المشترك، الثمار الكليماكتيرية، الوسط الغازي المعدل، العزل الحراري.

Design of thermally insulated containers with Modified Atmosphere technic for combined storing of Lemons within Apple Stores

**Eng. Enaam Ahmad Al Saty
prof. Anton Samaan yousef**

**Food Engineering Department, Faculty of Chemical and
Petroleum Engineering, Al-Baath University, Syria**

ABSTRACT :

In this work, the possibility of co-storing non-climacteric Interdonato lemons, that are stored refrigerated at 6-8 °C, was studied in partnership with climacteric Golden Delicious apples, that are refrigerated at 0-4 °C, by working on a solution The problem of thermal incompatibility between the two stored products, by designing containers dedicated to storing lemon fruits, which are thermally insulated using an insulating material, where a comparison was made between sterol, foam and air vacuum, to reach the required temperature difference inside the fruit container and with an selective window for gases, Where a thin layer of polyethylene was used as a window for gaseous exchange between the inside and outside of the container, and a comparison was made between metal tin, wood and plastic in terms of their suitability for forming a modified gaseous medium, with O₂ and CO₂ ratios within the recommended ratios for storing lemon fruits. The combined storage was also done in the presence of Syrian raw zeolite as an adsorbent for ethylene. To overcome the phenomenon of incompatibility between the two producers and then study the effect of combined storage of these two

تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد
المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح

types of fruits on the sensory characteristics and chemical composition of lemon fruits. The results showed that the use of both foam and sterol, as an insulating material achieved the required thermal difference, with preference for the use of sterol in terms of economic efficiency. Modified gaseous medium, unlike wooden and plastic containers. The results of combined storage showed the effectiveness of refrigerated storage applied in the presence of zeolite as an ethylene absorbent, and the use of insulated containers within the modified gaseous medium of lemon fruits in preserving sensory and nutritional quality, and improving technological storage indicators of lemon fruits.

Keywords: combined storage, climacteric fruits, modified gas atmosphere, thermal insulation.

المقدمة :

تحتل الحمضيات مكانة هامة بين أشجار الفاكهة في سوريا منذ فترة طويلة، وتتصدر زراعة الحمضيات (البرتقال والليمون) مجموعة الأشجار المثمرة ما عدا الزيتون، حيث تهتم الحكومة بتحسين إنتاجية هذا النوع من الفاكهة لأغراض الأمن الغذائي [18].

تتبع ثمار الحمضيات للجنس Citrus والعائلة السببية Rutaceae، وهي ثمار غير كليماكترية، فهي ذات معدل تنفس منخفض، كما أن إنتاجها للإيثيلين منخفض أيضاً مما يسمح بفترات تخزين طويلة تختلف حسب الصنف [7].

من أصناف الليمون المزروعة في سوريا Citrus lemon Var. Interdonato وهي ثمار كبيرة الحجم تنتج بشكل واسع في سوريا وخاصة في المنطقة الساحلية وتمتاز بصلابة جيدة وذات قشرة ثخينة وتنضج ثمار هذا الصنف في كانون الثاني وأوائل شباط ويبقى متوفراً بشكل جيد في الأسواق حتى بدايات شهر آذار.

يعتبر التحكم في درجة الحرارة المثلى لتخزين الحمضيات أمراً بالغ الأهمية وتعتمد على النوع والصنف وتعتبر الحمضيات من الثمار الحساسة لدرجات الحرارة المنخفضة حيث تتعرض لأضرار التبريد وهي اضطراب فيزيولوجي يظهر غالباً على سطح الثمار، غالباً بسبب تمزق الغدد الدهنية مما يترتب على ذلك فقدان الماء من الثمار وتتعلق شدة هذه الاضطرابات باختلاف الصنف ومرحلة نضج الثمار [23].

يعد تطبيق نظام تخزين للفواكه في الوسط الغازي المعدل، تقنية مساعدة هامة وفعالة مع التخزين المبرد لتلبية متطلبات التخزين، حيث يحقق وسطاً غازياً معدلاً حول الثمار بتركيز لغازي O₂ و CO₂ مختلفة عن نسبها في الهواء، بهدف تقليل الهدم في المكونات العضوية الأساسية لأنسجة الثمار وإطالة فترة حفظ المنتج ووقف التغيرات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث عند درجات الحرارة العادية، من خلال خفض معدل التنفس والحد من تفاعلات الأكسدة والنشاط الإنزيمي بالإضافة لتأخير الفساد

تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح

الميكروبيولوجي، كما تؤثر أنظمة التخزين في الأوساط الغازية المعدلة أيضاً في منع جفاف الثمار عن طريق إحاطتها بجو ذي محتوى عالي من الرطوبة وهذه التغييرات تسمح بالمحافظة على المنتج لمدة أطول [33] [22].

عند تخزين التفاح في غرفة التخزين فإن موسم التخزين يبدأ من شهر تشرين الأول، إلا أن الاستمرار من الغرفة يتم بعد مضي شهرين أو ثلاثة على بداية التخزين، وبذلك الغرفة ستعمل فيما بعد بجزء من طاقتها الإنتاجية فقط، إن تحسين ظروف الاستثمار عن طريق إدخال منتج آخر إلى الغرفة المفرغة جزئياً سيقود إلى رفع الكفاءة الإنتاجية لغرفة التخزين والاستغناء عن تشغيل غرفة تخزين جديدة بالاستفادة من الحجم المبرد غير لعامل بشغله بثمار الليمون [3].

هدف البحث :

دراسة التخزين المشترك لثمار الليمون صنف Interdonato وثمار التفاح صنف Golden Delicious، من خلال حل المشكلتين الأساسيتين لهذا التخزين، الأولى وهي عدم تماثل درجات الحرارة التخزينية للمنتجين المختلفين الموجودين بنفس الغرفة، وذلك من خلال تصميم واختبار كفاءة أنواع مختلفة من حاويات التعبئة، التي تم تصميمها لتؤمن درجات حرارة تتلاءم مع ثمار الليمون المخزنة بداخلها، ومزودة بنوافذ اصطفايية لتعديل الوسط الغازي حول المنتج، والمشكلة الثانية هي إمكانية تأثير أحد المنتجين على الآخر من خلال ظاهرة التضاد، (حيث يمكن للثمار الكليماكترية المنتجة للإيثيلين بتركيز عالي مثل الموز الناضج والتفاح، تحفيز التغييرات الفيزيولوجية في المنتجات الأخرى الحساسة للإيثيلين مثل الخس والخيار والجزر والليمون والبطاطا الحلوة، مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى تغييرات غير مرغوب فيها في اللون والنكهة والقوام وغيرها من مؤشرات الجودة التخزينية للمنتج [31].

لحل مشكلة التخلص من الإيثيلين من جو مخزن الثمار وحدوث التضاد، حيث تم استخدام الزيوليت الخام السوري المنشط حرارياً على شكل طبقة مازة للإيثيلين يتم تنشيطها بشكل دوري كل 15 يوماً.

المواد وطرق العمل:

الثمار المدروسة: تم اختيار ثمار الليمون صنف Interdonato، حيث تم فرزها وغسلها واستبعاد الشوائب المرافقة وإزالة ما عليها من الحمولة الجرثومية بالتعقيم بواسطة الماء الساخن مع بيكربونات الصوديوم بتركيز 1.5% درجة حرارته 50°C [27].

تصميم حاويات تخزين الليمون: من أجل الدراسة الحرارية تم تصميم حاويات لتخزين الليمون على شكل صناديق، بأبعاد معينة وبجدران معزولة حرارياً بمواد عزل حراري توضع الثمار داخله ويحكم إغلاقه ويوضع في غرفة التخزين، وتم تصنيع الحاويات من المواد التالية:

- حاوية معدنية بثخانة صاج معدني 0.5mm

- حاوية خشبية MDF ثخانة 2mm

- حاوية بجدران بلاستيكية من البولي إيثيلين ثخانة 1.5mm

من أجل الحساب الحراري تم استخدام العلاقات التالية في تصميم الحاويات: [29]

1. معادلة التبادل الحراري عبر هيكل الحاوية:

$$Q=U.F.\Delta T$$

حيث Q: كمية الحرارة المنتقلة عبر جدران هيكل الحاوية W

U: معامل التوصيل الحراري الإجمالي عبر جدران الحاوية $W/m^2.K$

F: مساحة سطح التبادل الحراري عبر هيكل الحاوية m^2

ΔT : فرق درجات الحرارة بين داخل وخارج الحاوية °C

2. حساب كمية الحرارة المنطلقة من الثمار بالعلاقة التالية:

$$Q=q_0 \cdot e^{b \cdot t}$$

وعند حساب وتصميم الحاويات تم اعتماد القيم التالية للثمار : [4]

q_0 : 0.0112kW/ton، تمثل الحرارة النوعية لتنفس الثمار عند درجة الحرارة 0°C
W/kg

b : $0.0718 \text{ } 1/^\circ\text{C}$ ، تمثل المعامل الحراري لشدة التنفس $1/^\circ\text{C}$ ، t : درجة حرارة التخزين
 $^\circ\text{C}$

تم تصميم الحاويات بثلاثة أحجام: حاوية صغيرة أبعادها $(0.23 \cdot 0.23 \cdot 0.15)\text{m}^3$ ،
وسعتها 3kg و حاوية متوسطة أبعادها $(0.23 \cdot 0.23 \cdot 0.34)\text{m}^3$ ، وسعتها 6kg
وحاوية كبيرة أبعادها $(0.23 \cdot 0.23 \cdot 0.45)\text{m}^3$ ، وسعتها 9kg.

من اجل العزل الحراري تم استخدام مواد العزل التالية : [4]

- الستيريوم: ناقلته الحرارية $0.035\text{w/m} \cdot ^\circ\text{k}$

- الفوم: ناقلته الحرارية $0.028\text{w/m} \cdot ^\circ\text{k}$

- الفراغ الهوائي: ناقلته الحرارية $0.020\text{w/m} \cdot ^\circ\text{k}$

بعد تحديد قيم U تحسب ثخانة طبقة العازل الحراري انطلاقاً من العلاقة العامة: [29]

$$\theta = \mu \left[\frac{1}{u} - \left[\frac{1}{a_0} + \sum_{j=i}^{j=n} \left(\frac{\delta_j}{\mu_j} \right) + \frac{1}{a_i} \right] \right]$$

- θ, δ_j : ثخانة طبقة العازل الحراري ولمادة الحاوية بالترتيب، m .

- μ, μ_j : الناقلية الحرارية لمادة العازل ولمادة الحاوية بالترتيب، $\text{W/m} \cdot \text{k}$

- α_0, α_i : عوامل انتقال الحرارة بالحمل على السطوح الخارجية والداخلية، $W/m^2.k$ وتتعلق بسرعة الهواء على جانبي الجدار الفاصل وباتجاه حركته حيث تقبل في مستودعات الخزن والتبريد القيم التالية: $\alpha_0=23 W/m^2.k$, $\alpha_i=11 W/m^2.k$ [4]

تغير التركيب الغازي داخل الحاويات: من أجل دراسة تأثير نوع مادة الحاويات ذات النافذة من البولي إيثيلين على تغير التركيب الغازي داخلها تم قياس تركيز الوسط الغازي باستخدام جهاز تحليل الغازات (PBI Dansensore Chek Mate 9900)

توضيب الثمار: بعد اتمام الدراسة الحرارية النظرية والعملية لاختيار العازل المناسب بالثخانة الملائمة لضبط الشروط الحرارية تم تجهيز غرفة التخزين بنظام امتصاص للمركبات الطيارة حيث تم نشر الزيوليت على طبقة من السيلولوز وضعت فوق منخل ناعم الثقوب في أعلى غرفة التبريد المزودة بنظام تدوير هوائي بحيث يتم استبدالها عند زوال الفعالية المازة للإيثيلين كل 15 يوماً، كما جهزت الحاويات المعدة لتخزين الليمون فيما يخص العزل الحراري ووجود نوافذ التبادل الغازي، وفي الأسبوع الأخير من شهر شباط أدخلت إلى غرفة التخزين المشترك الحاويات المعبأة بـ 10kg من ثمار الليمون. الطرائق المستخدمة لتحديد التركيب الكيميائي وبعض الخصائص الفيزيائية للثمار:

تحديد معدل نقص الوزن: وفقاً للعلاقة التالية بحسب [2]

$$\text{معدل نقص الوزن في الثمار} \% = \frac{(A-B)}{A} * 100$$

حيث A : الوزن الأولي للثمار (g) و B: الوزن النهائي للثمار (g)
تحديد الحموضة العضوية المعيارية: تم تقديرها بوحدة g/100ml على أساس حمض الستريك [11].

قياس صلابة الثمار: باستخدام جهاز قياس الصلابة (TA. XT. Plus, Texture Analyser, staple micro system Ltd, England) باستخدام مسبر p/2 بسرعة 10mm/sec وعمق اختراق 15mm.

قياس المؤشرات اللونية: باستخدام جهاز قياس اللون (spectrophotometer, CM-5 Konika Minolta sensing, Japan) الذي يعمل وفقاً لنظام قياس اللون SCE-

تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح

Lab scale وتم قياس المؤشرات لخمس ثمار وفي كل مرة عند نقطتين متعاكستين بالنسبة لمركز الثمرة وأخذت قيمة المتوسط.

تحديد محتوى فيتامين C: بطريقة المعايرة اليودية بوحدة [10] mg/100ml.

تحديد النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية المنحلة: باستخدام جهاز الريفراكتومتر عند درجة الحرارة 20°C [11].

تحديد النسبة المئوية للفقد المطلق %: يعبر هذا المؤشر عن النسبة المئوية للثمار التالفة خلال التخزين نتيجة لحدوث الإصابات الفيزيولوجية المتعلقة بأضرار التبريد والإصابات الميكروبيولوجية الناتجة عن النمو الفطري، وتم تقييم هذا المؤشر عن طريق المشاهدة خلال التخزين لمتابعة حدوث أي إصابات فيزيولوجية أو نمو فطري مرئي على سطح الثمرة، ويحسب من خلال العلاقة التالية: [2]

$$\text{النسبة المئوية للتلف} \% = 100 * [B / A]$$

حيث A : العدد الكلي للثمار و B: عدد الثمار التالفة

النتائج والمناقشة:

تغير درجات الحرارة داخل الحاويات مع وبدون وجود مواد العزل الحراري:

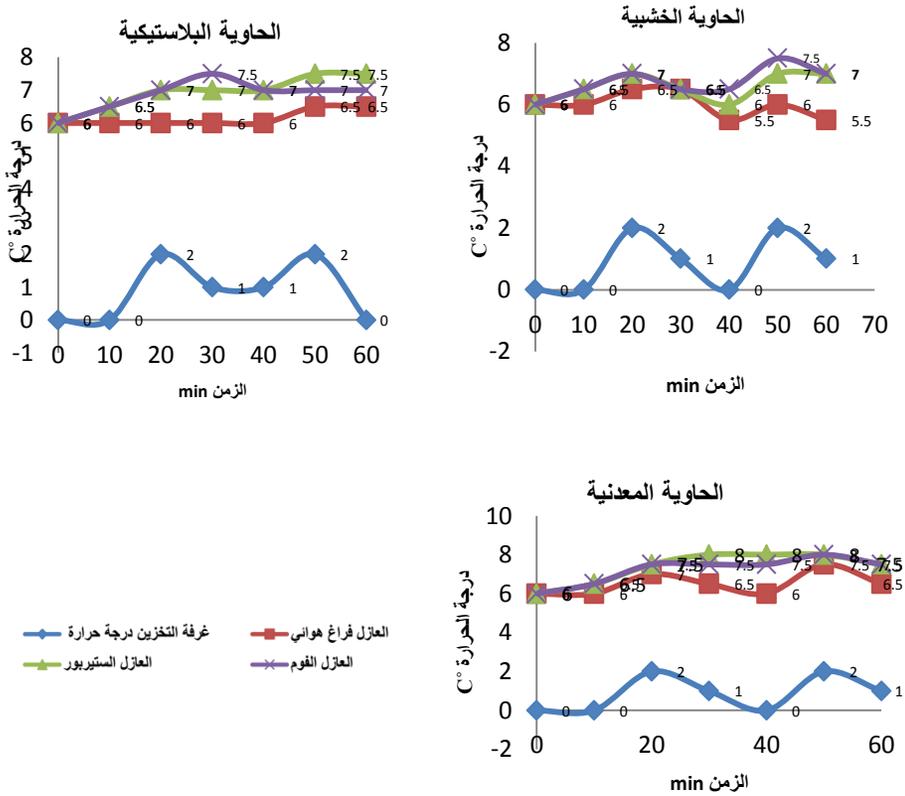
يتضمن الجدول (1) النتائج الحسابية لثخانة العازل الحراري، الذي يؤمن اختلاف درجات الحرارة بين داخل الحاويات وخارجها (درجة حرارة غرفة التخزين)، حيث تدل النتائج على صغر ثخانة العازل الحراري المطلوب كلما زادت سعة الحاوية، كما تبين كبر ثخانة العازل المطلوب كلما ازداد الفرق الحراري بين داخل الحاوية وخارجها أي هواء غرفة التخزين، وتبين النتائج أيضاً أن استخدام الفوم كعازل حراري هو الأفضل من حيث العزل الحراري والحفاظ على الفرق الحراري المطلوب بين داخل الحاوية وخارجها ويليه عازل الستيربور ثم الفراغ الهوائي ويتوافق ما تم الحصول عليه من نتائج مع قوانين انتقال الحرارة والتوازن الحراري بين مكانين مختلفين بدرجة الحرارة ويفصل بينهما جدار معزول حرارياً [14].

الجدول (1) ثخانة العازل الحراري الحسابية في حال استخدام الفراغ هوائي والستيريور والفوم

ثخانة العازل الحراري cm			الفرق الحراري	سعة الحاوية كغ	البيان
فوم	الستيريور	فراغ هوائي			
2.18	2.20	2.23	2	3	حاوية خشبية
2.14	2.18	2.21	2	6	
2.08	2.10	2.20	2	10	
2.26	2.30	2.35	2	3	حاوية بلاستيكية
2.22	2.27	2.31	2	6	
2.20	2.26	2.30	2	10	
2.34	2.36	2.40	2	3	حاوية معدنية
2.29	2.30	2.37	2	6	
2.25	2.26	2.33	2	10	
2.42	2.44	2.50	4	3	حاوية خشبية
2.40	2.42	2.46	4	6	
2.38	2.40	2.44	4	10	
2.70	2.70	2.72	4	3	حاوية بلاستيكية
2.65	2.68	2.70	4	6	
2.67	2.66	2.68	4	10	
2.72	2.84	2.68	4	3	حاوية معدنية
2.70	2.80	2.82	4	6	
2.66	2.78	2.80	4	10	
2.36	2.38	2.60	6	3	حاوية خشبية
2.32	2.34	2.56	6	6	
2.24	2.28	2.48	6	10	
2.72	2.80	2.77	6	3	حاوية بلاستيكية
2.62	2.76	2.83	6	6	
2.55	2.70	2.75	6	10	
3.00	3.18	3.36	6	3	حاوية معدنية
2.97	3.08	3.25	6	6	
2.91	3.00	3.12	6	10	

تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح

من أجل تأكيد الحسابات النظرية وربطها تجريبياً تم قياس درجة الحرارة داخل الحاويات سعة 10 kg ليمون والمعزولة بالعوازل الحرارية المختلفة (بعد تبريدها بشكل أولي لدرجة حرارة 6°C) ورسم منحنيات تغير درجة الحرارة مع الزمن حتى استقرارها وببين الشكل (1) المنحنيات البيانية لتغير درجة الحرارة داخل الحاويات مع الزمن مع العلم أن درجة الحرارة داخل غرفة التخزين كانت 0-2°C.



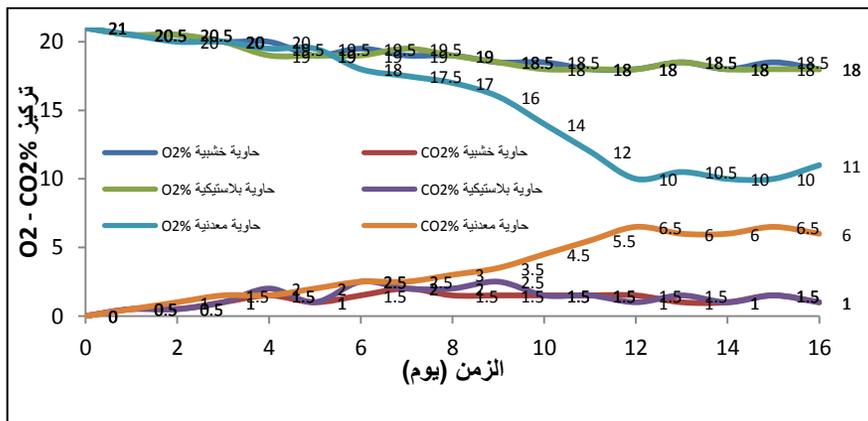
الشكل (1) تغير درجة الحرارة الداخلية للحاويات مع زمن التبريد باستخدام مواد العزل الحراري المختلفة

تبين من المنحنيات الموضحة في الشكل (1) أن هناك توافق بين الحساب النظري والقياسات التجريبية التي أخذت من الحاويات المختلفة كما يلاحظ أن الحاويات الثلاث المصنوعة من الخشب والصاج المعدني والبلاستيك قد تم فيها تحقيق الفرق المطلوب

لتخزين ثمار الليمون وهو بحدود $4-6^{\circ}\text{C}$ بين داخل الحاوية وخارجها، حيث تميزت الحاويات المصنوعة من الخشب بأفضلية نسبية من حيث الارتفاع النسبي لدرجات الحرارة داخلها يليها الحاوية البلاستيكية ثم الحاوية المعدنية وخاصة بالنسبة للحاويات المجهزة بعازلي الفوم والستيريور أما عند تجهيز الحاويات بالفراغ الهوائي فلم يتم تحقيق درجات الحرارة المطلوبة لتخزين ثمار الليمون لذا استبعد العازل (الفراغ الهوائي) من الدراسة اللاحقة، ونظراً لأن كلفة تجهيز الحاويات بمادة الفوم أعلى من كلفة تجهيزها بالستيريور فقد تم استبعاد عازل الفوم من الدراسة اللاحقة.

تغير التركيب الغازي للوسط الداخلي للحاويات خلال التخزين:

من أجل دراسة تأثير التخزين في الحاويات المعزولة حرارياً على تخزين ثمار الليمون تم إعادة تجهيز الحاويات كما تم في الحالة السابقة مع ترك نافذة للتبادل الغازي مصنوعة من مادة البولي إيثيلين ثخانة 30 ميكرون وبمساحة $5 \times 5 \text{ cm}^2$ جهزت أعلى جدارين متقابلين من كل حاوية وتم قياس تغير تركيب الوسط الغازي داخل الحاويات مع الزمن حيث تم قياس تغير تراكيز CO_2 و O_2 مع الزمن والموضحة بيانياً في الشكل (2).



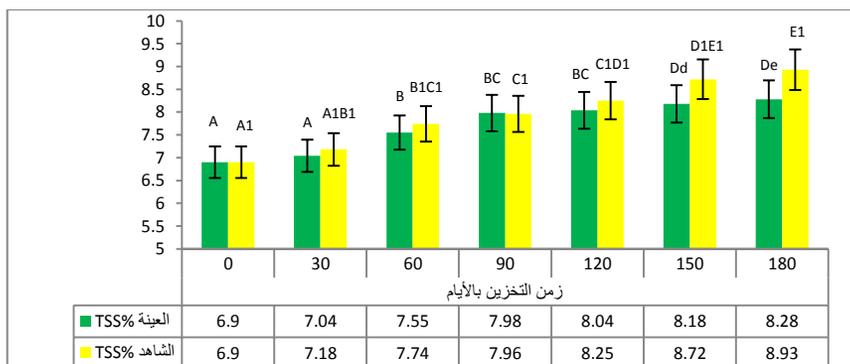
الشكل (2) تغير تركيز CO_2 - O_2 % ضمن حاويات التخزين مع مرور الزمن بالأيام

تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد
المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح

يلاحظ من المنحنيات المبينة في الشكل (2) أن الحاويات المصنوعة من مادة الخشب وكذلك البلاستيك لم تحافظ على تركيب غازي ملائم لتخزين ثمار الليمون حيث وبعد مرور أكثر من 15 يوماً لم يلاحظ تغير هام في التركيب الغازي الداخلي لهذه الحاويات في حين كان التركيب الغازي الداخلي للحاوية المعدنية بحدود 10-11% بالنسبة لغاز O₂ و بحدود 6-8% بالنسبة لغاز CO₂ وهذه النسب ضمن النسب المنصوح بها لتخزين ثمار الليمون في الوسط الغازي المعدل [13].

التخزين المشترك على مواصفات ثمار الليمون:

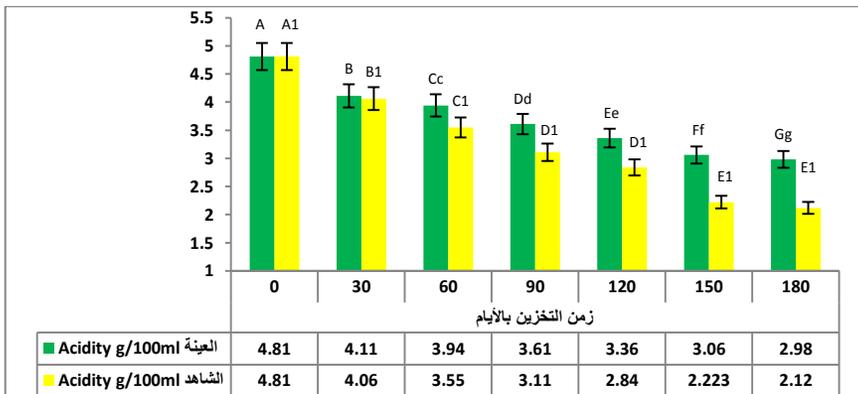
المواد الصلبة الذائبة الكلية %TSS: يبين الشكل (10) ارتفاعاً هاماً معنوياً في نسبة المواد الصلبة الكلية مع تقدم فترة التخزين حيث ارتفعت من $6.9 \pm 0.035\%$ في بداية فترة التخزين إلى $8.48 \pm 0.090\%$ في نهاية الفترة بفارق هام معنوياً عن ثمار الشاهد التي ارتفعت فيها إلى $8.93 \pm 0.112\%$ وهو ما يتوافق مع ما تم الحصول عليه من نتائج دراسة أجراها El-Mahdy عام 2007 بينت أن المواد الصلبة الذائبة الكلية في ثمار الحمضيات تزداد مع تقدم التخزين حيث تعتمد قيم المواد الصلبة الذائبة الكلية بشكل رئيسي على كمية السكريات والأملاح المعدنية والحموض العضوية وتمثل السكريات حوالي 75-85% من مجموع المواد الصلبة الذائبة وتعود الزيادة في محتوى المواد الصلبة الذائبة بشكل أساسي لتحلل السكريات المعقدة كالنشاء وزيادة تركيز العصير بسبب فقد الماء من الثمار في عملية التنفس والتبخر والذي يزداد مع تقدم التخزين [7] [15].



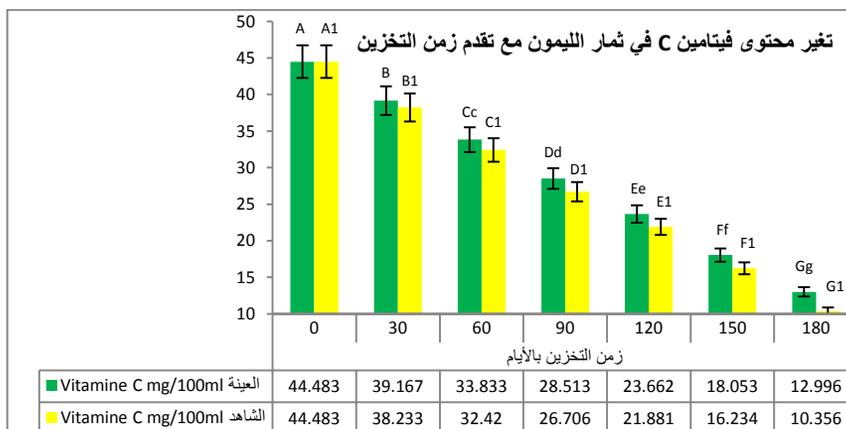
الشكل (10): تغير النسبة المئوية للمواد الصلبة الكلية في ثمار الليمون مع تقدم فترة التخزين

- الحموض العضوية المعيارية: يوضح الشكل (11) تغير محتوى الحموضة المعيارية بوحدة g/100ml في ثمار الليمون المخزنة محسوبة على أساس حمض الستريك حيث كانت في بداية فترة التخزين بنسبة 4.810 ± 0.03 g/100ml وانخفضت بشكل هام معنوياً مع تقدم فترة التخزين في كل من ثمار العينة وثمار الشاهد إلى أقل قيمة لها في نهاية التخزين فكانت 2.98 ± 0.06 g/100ml في ثمار العينة و 2.120 ± 0.12 g/100ml لثمار الشاهد حيث تتوافق هذه النتائج مع نتائج لدراسات سابقة أجراها Abd Elghany وآخرون عام 2012، بينت أن محتوى الحموضة في ثمار الليمون تتناقص مع تقدم فترة التخزين المبرد كما تتوافق مع ما ذكره Kassim وآخرون عام 2020، بأن محتوى الحموضة ينخفض مع تقدم نضج الثمار، ويعزى ذلك لزيادة محتوى العصير في الثمرة وكذلك لاستخدامها كركائز أساسية تستهلك في عملية التنفس واستخدام هيكلا الكربوني في دورة كريبس لتخليق مركبات جديدة أثناء تقدم نضج الثمار [7] [6].

تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح



الشكل (11): تغير النسبة المئوية للحموض المعايرة في ثمار الليمون مع تقدم فترة التخزين
محتوى فيتامين C: يوضح الشكل (12) تغير محتوى فيتامين C خلال تخزين الليمون المبرد ضمن الحاوية المعزولة في غرفة التخزين المشترك حيث لوحظ انخفاض محتوى فيتامين C بشكل هام معنوياً في جميع مراحل التخزين حيث انخفضت نسبته من $44.483 \pm 0.637 \text{mg}/100 \text{ml}$ في بداية فترة التخزين حتى $12.996 \pm 0.566 \text{mg}/100 \text{ml}$ لثمار العينة بينما انخفضت إلى $10.356 \pm 0.566 \text{mg}/100 \text{ml}$ لثمار الشاهد في نهاية فترة التخزين وهذا ما يتوافق مع نتائج دراسات سابقة بينت أن حمض الأسكوربيك يبدأ بالتحطم مباشرة بعد القطف في ثمار الحمضيات وتخفض نسبته بشكل مستمر خلال التخزين كما تتوافق مع نتائج دراسة أجراها Farag وآخرون عام 2007، بينت تناقصاً تدريجياً في محتوى فيتامين C بتقدم فترة التخزين حيث يعزى ذلك إلى أكسدته من حمض الأسكوربيك إلى حمض الأسكوربيك منزوع الهيدروجين، كما تبين النتائج انخفاض نسبة فيتامين C في ثمار الشاهد بشكل أكبر معنوياً مقارنة مع ثمار العينة في نهاية فترة التخزين حيث يفسر ذلك بأن انخفاض تركيز غاز الإيثيلين يقلل من الشدة التنفسية للثمار التي تنعكس على خفض أكسدة حمض الأسكوربيك [25] [24] [16] [6].

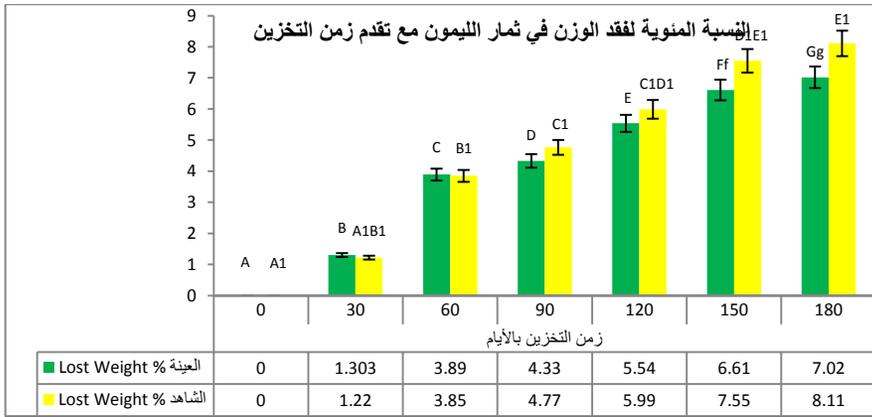


الشكل (12): تغير محتوى فيتامين C mg/100g في ثمار الليمون مع تقدم فترة التخزين

فقد الوزن %: توضح النتائج المبينة في الشكل (13) ارتفاع الفاقد في وزن ثمار الليمون بشكل هام معنوياً في جميع مراحل التخزين سواء لثمار العينة أو لثمار الشاهد حيث بلغ الفقد في الوزن أعلى قيمة له في نهاية فترة التخزين فوصل في ثمار العينة إلى % 7.02 ± 0.98 وفي ثمار الشاهد إلى % 8.11 ± 0.65 ويتوافق ذلك مع دراسة أجراها Getinet عام 2008 بينت أن زيادة الفقد في الوزن تزداد طردياً مع طول مدة التخزين حيث يعزى ذلك إلى أكسدة المواد الكربوهيدراتية من خلال عملية التنفس والذي يشكل 20% من الفقد، وفقد الماء عن طريق التبخر لتعديل ضغط بخار الماء بين الهواء داخل الثمرة والهواء الخارجي المحيط وبشكل هذا الفقد 80% من الفقد الكلي في الوزن. [17, 30]

ويعزى انخفاض الفاقد الوزني لثمار عينة الليمون مقارنة بالشاهد بشكل أساسي إلى انخفاض الشدة التنفسية للثمار، وبالتالي الحد من تفاعلات الأكسدة والنشاط الإنزيمي مما يقلل من الهدم في المركبات العضوية داخل الثمرة. [20, 26]

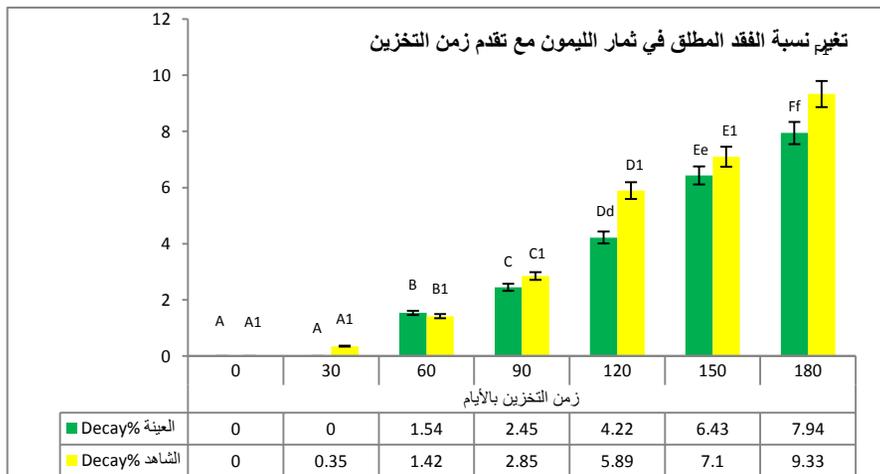
تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد
المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح



الشكل (13): تغير النسبة المئوية لفقد الوزن في ثمار الليمون مع تقدم فترة التخزين

النسبة المئوية لفقد المطلق %: لذلك نستبعد الثمار المصابة التي تصنف على أنها غير القابلة للتسويق من الثمار المخزنة، وكما هو واضح من الشكل (14) فإنه لم يلاحظ حدوث إصابة مرئية أو عفن في الثمار المخزنة حتى شهرين من التخزين المبرد حيث بدأ ظهور الإصابات بالعفن بعد ذلك فكانت نسبة التلف بعد 60 يوماً $1.54 \pm 0.05\%$ من إجمالي الثمار وازدادت بشكل هام مع تقدم التخزين حيث بلغت في نهاية فترة التخزين $7.941 \pm 0.20\%$ وهذه النسبة أقل من النسب المسجلة لعينة الشاهد التي بلغت نسبة التلف فيه في نهاية فترة التخزين $9.33 \pm 0.22\%$ من مجمل الثمار وتتوافق هذه النتائج مع دراسة أجراها Alili عام 2002 بينت أن نسبة التلف في الثمار المخزنة في الوسط الغازي المعدل تزداد مع تقدم فترة التخزين المبرد، حيث تعد ثمار الحمضيات معرضة كثيراً للإصابة بالأمراض الفطرية، والتي من أهمها العفن الأخضر والذي يسببه *Penicillium digittatum* والعفن الأزرق الذي يسببه *Penicillium italicum* ، لكن تغيير الوسط الغازي المحيط بالثمار الذي يؤدي لخفض تركيز الأوكسجين في الوسط يقود لتأخير الفساد الميكروبيولوجي من جهة، كما يقلل من هدم المركبات

العضوية من جهة أخرى مما يسمح بالمحافظة على وزن الثمار بشكل أفضل، وبالتالي المحافظة على المنتج لمدة أطول دون تلف، كما أن التخلص من الإيثيلين لثمار العينة يقلل من احتمال حدوث العفن الأخضر للثمار وكذلك يقلل من الأضرار التي قد تصيب القشرة والمرتبطة بإنتاج الإيثيلين [19] [9] [8] [5].

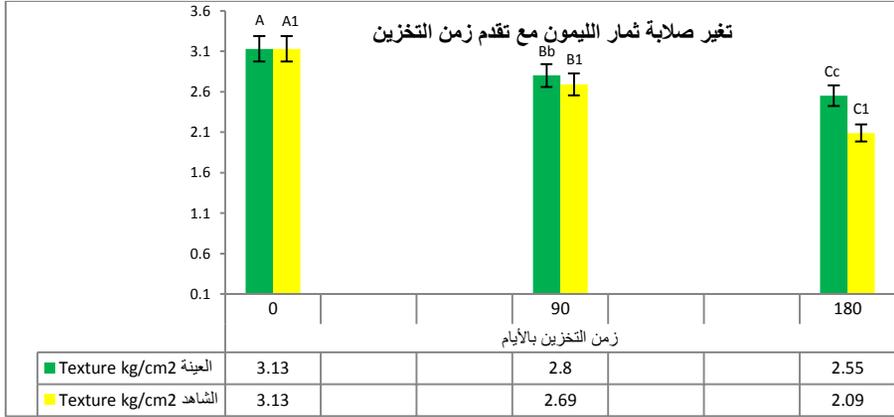


الشكل (14): تغير النسبة المئوية للثمار التالفة مع تقدم فترة التخزين

الصلابة: يوضح الشكل (15) التغير الحاصل في صلابة ثمار الليمون خلال فترة التخزين المبرد حيث كانت الصلابة في بداية فترة التخزين $3.13 \pm 0.124 \text{ kg/cm}^2$ وانخفضت بشكل هام معنوياً حيث وصلت في نهاية فترة التخزين إلى $2.55 \pm 0.02 \text{ kg/cm}^2$ لثمار العينة و $2.09 \pm 0.11 \text{ kg/cm}^2$ حيث تتوافق هذه النتائج مع ما ذكرته أجراها Abd Elghany عام 2012، بينت بأن صلابة الثمار تتناقص تدريجياً مع تقدم التخزين، ويعزى سبب التغير في صلابة الثمار مع تقدم التخزين بشكل أساسي إلى تحول البروتوبكتين غير المنحل في الماء إلى بكتينات منحلة وهذا التغير في الصلابة كان في ثمار الشاهد أكبر معنوياً منه في ثمار العينة نتيجة لخفض تركيز

تصميم حاويات معزولة حرارياً مع تقنية الوسط الغازي المعدل والتخلص من الإيثيلين للتخزين المبرد المشترك لثمار الليمون ضمن مخازن التفاح

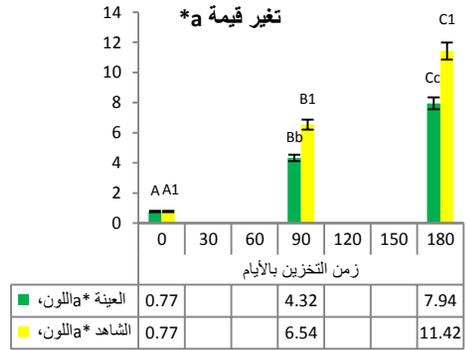
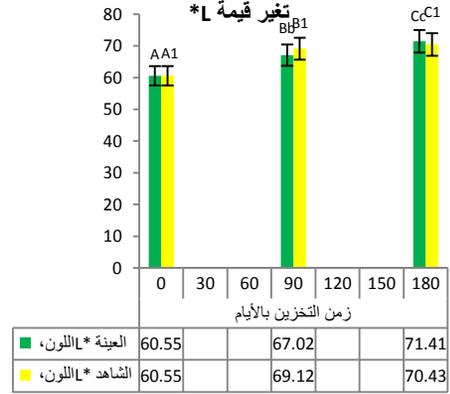
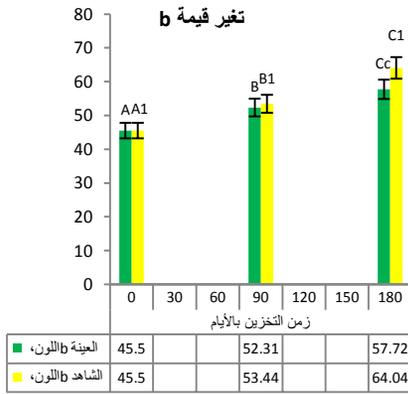
الإيثيلين الذي يقلل من حدة التغيرات المرافقة للهدم في المركبات الأساسية لثمار الليمون التي تلعب دور في إكساب الثمرة لقوامها. [28] [21] [6]



الشكل (15): تغير صلابة الثمار kg/cm^2 في ثمار الليمون مع تقدم فترة التخزين

تغير اللون: يبين الشكل (16) تغير قيمة L مع تقدم زمن التخزين حيث ارتفعت من 60 ± 1.11 في بداية التخزين إلى 71.91 ± 1.02 في نهاية التخزين بالنسبة لثمار العينة و 68.89 ± 0.41 بالنسبة للشاهد وتتوافق هذه النتائج مع دراسة أجراها Baruah عام 2018، بينت ارتفاع قيمة درجة السطوع مع تقدم فترة التخزين وتقدم الدرجة اللونية من الأخضر إلى الأصفر ثم تناقصه مع تغير اللون إلى الأصفر البني، كما يبين الشكل (16) ارتفاع قيم a و b مع تقدم زمن التخزين وترتبط هذه الزيادة بعمليات تحطم الكلوروفيل مما يؤدي لانخفاضه في القشرة حيث ازدادت قيمة a من 0.77 ± 0.20 في بداية التخزين إلى 7.33 ± 0.74 في نهاية التخزين بشكل أقل معنوياً مقارنة مع الشاهد الذي ازدادت فيه حتى 8.74 ± 0.34 ، كما ازدادت قيمة b من 46.13 ± 13 إلى 50.20 ± 0.99 في ثمار العينة و 52.63 ± 1.25 ، حيث يعزى الارتفاع في قيمة a و b لارتفاع تركيز الكاروتينات والكارانثينويد وفقدان الكلوروفيل أثناء نضج ثمار الليمون حيث

ينخفض الاخضرار ويزداد الاصفرار وكما هو ملاحظ فإن هذه القيم تتغير بدرجة أقل في عينات الثمار مقارنة مع الشاهد بسبب تأثير امتصاص الإيثيلين الذي بدوره يخفض من سرعة عمليات الإنضاج والتغيرات اللونية المرافقة لها. [32] [12]



الشكل (16): تغير قيمة b, a, L في ثمار الليمون مع تقدم فترة التخزين

الاستنتاجات والتوصيات

- حافظ كل من العازل الحراري المكون من الستيربور والمكون من الفوم على الفرق الحراري المطلوب بين درجة الحرارة داخل حاويات تخزين الليمون ودرجة الحرارة خارجها (غرفة التبريد) وهو بحدود 4°C - 6°C في حين لم يحقق الفراغ الهوائي الفرق الحراري المطلوب مع أفضلية للستيربول من حيث الكلفة الاقتصادية.
- حققت الحاويات المعدنية المعزولة المزودة بنوافذ من البولي إيثيلين عند تخزين ثمار الليمون داخلها وسط غازي معدل بتركيز $11\% \text{ CO}_2$ و $6\% \text{ O}_2$ بعد مرور 15 يوماً وهو ضمن النسب المسموح بها لتخزين ثمار الليمون في الوسط الغازي المعدل في حين لم تحقق الحاويات البلاستيكية والخشبية هذه النسب.
- فاعلية الخزن المبرد المشترك المزود بنظام امتصاص لغاز الإيثيلين وبتقنية الوسط الغازي المعدل ضمن الحاويات المعزولة حرارياً في تقليل التغيرات في المواصفات الفيزيائية والكيميائية وتحسين مؤشرات التخزين التكنولوجية لثمار الليمون مقارنة مع الشاهد المخزن بالطريقة التقليدية في وسط غازي معدل
- يوصى بالاستفادة من الأحجام المبردة غير العاملة في مخازن التفاح لتخزين الليمون، وذلك بالاستفادة من تصميم حاويات التخزين المعزولة حرارياً لتحقيق الفرق الحراري المطلوب لضبط الشروط الحرارية لتخزين هذه الثمار

- **References:**

1. Alhamed, Adnan Husen, 2001- Fruit packaging and storage, Directorate of University Books and Publications, Theoretical Part, Faculty of Agriculture, Aleppo University, Syria. (in Arabic)
2. Abdallah, Hasan, and Ali, Ali 2010- Packing and storage of fruits and vegetables, practical part, Directorate of University Books and Publications, Tishreen University, Syria. (in Arabic)
3. Encyclopedia of Rural Knowledge Network, the most important Syrian apple varieties Available at: <http://agri-research-journal.net/sjar/wp-content/uploads/FIRSTISSUE2016.pdf>
4. Alyousef, Anton, 2017- Storage and Refrigeration Technology, Directorate of University Books and Publications, College of Chemical and Petroleum Engineering, Al-Baath University, Syria. (in Arabic)
5. Alyounes, Ahmad, 1993- Fruit packaging and storage, Directorate of Books and Publications, University of Aleppo.
6. Abd- Elghany,N., Nasr, S., And Korkar, H. 2012-Effects of Polyolefin Film Wrapping and Calcium Chloride Treatments on Postharvest Quality of "Wonderful" Pomegranate Fruits. Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants, Vol.4 (1), pp .07-17.
7. Kassim, A, Tilahun Seyoum Worknen, And Mark Laing, 2020- A review of the postharvest characteristics and pre-packaging treatments of citrus fruit, AIMS Agriculture and food, from researchgate DOI: 10.3934/agrfood.2020,3.337.
8. Alili. J.. Shiping. T.. Yong . X.. Yi.W.. Qing. F. 2002- Effects of deferent atmosphere on the postharvest physiology and quality of the sweet cheery. Agriculture Sciences in China. Vol. 1(5). P. 555-561.

9. Artes, F, M. Gil And M.A. Conesa , 1993- Improving Postharvest Pechnology of Fruits, Vegetables and Ornamentals, IIR conference Murcia, Spain, pp 54- 60.
10. Association of official Analytical Chemists (AOAC) , 2000. Official methods of Analysis, 17th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.
11. Association of official Analytical Chemists (AOAC) , 2005- Official Methods of Analysis, 17th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.
12. Baruah S.R. And Kotoky U. 2018- Studies on storage behavior of Assam Lemon (Citrus limon Burm), Indian Journal of Agricultural Research Communication Centre, 52 (2): 177-181
13. Bodbodak, S. And Moshfeghifar, M. 2016- Advances in Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables.,In: Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality, (Ed.): Siddiqui, M. W. Academic Press, Elsevier. The Netherlands, PP. 127-183.
14. Dossat, J. Roy, 1991- Principles of Refrigeration, 3red ed., New Yourk, prentice-Hall.
15. El-Mahdy,T.K. 2007- Effect of postharvest GA3 and CaCl₂ applications on the resistance to green and blue moulds on Balady mandarin fruit during storage. Assiut journal of Agriculture Science. 38(1), 143-163.
16. Farag, K.M., Nagy, N.M.N., And El-Sabagh, A.S. 2007-. Effect of some Natural Acids and Calcium on Taste Preservation and quality of Washinton Navel Oranges After Cold Storage, Journal of Agric.&Env.Sci.Alex.Univ.Egypt,. Vol.6 (1).
17. Getinet, H.; Seyoum, T., And Woldetsadik, K. (2008). The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes, Journal of Food Engineering, 87: 467- 478.
18. Ibtasam Jasem, And Mohamad Anan, 2021- Applying ARIMA Models and PCA technique for Forecasting the Production and Area of Citrus Fruits in Syria, Syrian Journal of Agricultural Research – SJAR 8(6): 156-170
19. Ismail,M.A., And Brown,G.E. 1979- Postharvest wound healing in citrus fruit: induction of phenylalanine ammonia-lyase in injured 'Valencia' orange flavedo. Journal of Am. Soc. Horticultural Science. 104, pp. 126–129.

20. Kader, A.A. 2002- Postharvest Technology of Horticultural Crops. (3rd ed), University of California Agriculture and Natural Resources Publication 3311:Oakland, California.
21. Kays, S. J. 1991- Post-harvest Physiology of Perishable Plant Products, Westport. CT: The AVI publication company, Inc.
22. M. Olivera, M. Abadias, J. Usall, R. Torres, N. Teixido, And I. Vinas, 2015- Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruit and vegetables, journal of Trends in food science & technology 46(1):13-26. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.017>.
23. Strano, M , Altieri, G , Admane, N , And Genovese, F. 2017- Advance in Citrus Postharvest Management: Diseases, Cold Storage and Quality Evaluation, from researchgate <http://dx.doi.org/10.5772/66518>
24. Murcia, M., Opez-Ayerra, B, Martinez-Toma M. And Vera, A. 2000- Industrial processing of broccoli in Fruits, Sci. Food Agric., 80, pp. 1882-1886.
25. Obeed, S, And Harhash, M. 2006- Impact of Postharvest Treatments on Storage Life and Quality of "Mexican" Lime, Journal of Adv. agric. Res. (Fac. Agric. Saba Basha), Vol. 11 (3).
26. Pala, M. And Damarli, E. 1994- Impact of MAP technology present and future. The Post-Harvest Treatment of Fruit and Vegetables- Current Status and Future Prospects, Proceedings of the Sixth International Symposium of the European Concerted Action program COST 94, 19-22 October, Osterbeek, The Netherlands, pp: 1-13.
27. Palou, L , Smilauick, M, Crisosto, C And Plaza J, 2009- Ozone gas penetration and control of the sporulation of P. digitatum and P. italicum within commercial packages of oranges during cold storage, Crop Protection. 22: 1131 – 1134.
28. Pranamornkithe C, Waks, J, And Schiffmann-Nadel, M, 1985- Comparison of the response of different citrus fruit cultivars to storage temperature. Scientia Horticulturae, 25:271 – 277.
29. Rahman S. 2001- thermophysical properties of food. In D W Sun, Ed, Advances in food refrigeration, Leatherhead publishing.
30. Schulz, H. 2000- Physiology der lagerender Fruchten. In: Friedrich, M. Physiologischen Grundlagen des Obstbaues. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 327-397.

31. Krishnakumar, T, 2002- Design of cold storage for fruits and vegetables, Technical Report from researchgate, DOI: 10.13140/RG.2.2.14335.82082.
32. Tietel, Z, Plotto, A, Fallik, E, Lewinsohn, E, And Porat R. 2011- tast and aroma of fresh and stored mandarins, Journal Of Science Food Agriculture, 91, 14-23. DOI: 10.1002/jsfa.4146.
33. Villalobos, M, Serradilla, M, Martín, A, Hernández-León, A, Ruíz-Moyano, A And Córdoba, M. 2017- characterization of microbial population of breba and main crops (Ficus carica) during cold storage: Influence of passive modified atmospheres (MAP) and antimicrobial extract application, Journal of Food Microbiology, (63): 35-46.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.10.035>