



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة ديالى
كلية العلوم
قسم الفيزياء



تحضير ودراسة بعض الخواص الفيزيائية لمتراكبات (بولي كحول الفاينيل
PVA / أملاح الالمنيوم)

رسالة مقدمة الى
مجلس كلية العلوم – جامعة ديالى وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في
علوم الفيزياء

من قبل

سلمى سلمان عبدالله

بكالوريوس علوم فيزياء 2009 م

بإشراف

أ.د. صباح انور سلمان

2018 م

1439 هـ



**Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
and Scientific Research
University of Diyala
College of Science
Department of Physics**



Preparation and Study of Some Physical Properties of (polyvinyl Alcohol PVA /Aluminium Salts)Composites

A Thesis

**Submitted to the Council of the College of Science-University of Diyala
in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of
Science in Physics**

by

Salma Salman Abdallah

B. Sc. in Physics (2009)

Supervised by

Prof. Sabah Anwer Salman (Ph.D.)

2018 A.D.

1439 A.H.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

((ذَلِكَ فَضْلُ اللَّهِ يُؤْتِيهِ مَنْ يَشَاءُ وَاللَّهُ ذُو الْفَضْلِ الْعَظِيمِ))

صدق الله العلي العظيم

(سورة الجمعة/الآية الرابعة) . .

شكر وتقدير

"كن عالماً . . . فإن لم تستطع فكن متعلماً . . . فإن لم تستطع فأحب العلماء، فإن لم تستطع فلا تبغضهم"

بعد رحلة بحث وجهد وأجتهاد تكلفت بإنجاز هذا البحث، نحمد الله عز وجل على النعمة التي من بها علينا فهو العلي القدير، كما أقدم شكري وامتناني الى المشرف الأستاذ الدكتور (صباح أنور سلمان) لاقتراحه موضوع البحث ونصائحه القيمة وتوجيهاته المستمرة في سبيل أنجاح هذا البحث طوال مدة العمل وأعداد الرسالة داعية الله عز وجل له بدوام الصحة والموفقية .

كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل من أسهم في تقديم يد العون لإنجاز هذا البحث، وأخص بالذكر عمادة كلية العلوم ورئاسة قسم الفيزياء، كما لا أنسى أن أتقدم بأرقى وأثن عبارات الشكر والتقدير والعرفان الى جميع أساتذتي في قسم الفيزياء وأخص بالذكر منهم (الدكتور زياد طارق خضير (رئيس قسم الفيزياء)، الدكتور نبيل علي بكر، الدكتور عمار عايش حبيب، الاستاذة هند وليد عبدالله، الاستاذ أنور، الاستاذ رافد، الاستاذ محمد و الاستاذ عمار) والدكتور فاضل لفته من قسم الكيمياء - كلية العلوم والاستاذ واثق كريم صالح - دائرة بحوث المواد - وزارة العلوم والتكنولوجيا .

كما وأشكر جميع طلبة الدراسات العليا لتعاونهم ومساندتهم لي طيلة مدة الدراسة وشكري وتقديري لمنتسبي مكتبة كلية العلوم لتعاونهم لي في أعارة مصادر البحث . وأخيرا وليس آخرا أتقدم بشكري وأعتزالي لكل من

سلمى

أعاني ممن فاتني ذكره مع الاعتزاز .

الأهداء

ألهي لا يطيب الليل الا بشكرك... ولا يطيب النهار الا بطاعتك... ولا تطيب اللحظات الا بذكرك... ولا تطيب الاخرة الا بعفوك... (الله عز وجل).

الى من كلله الله بالهيبة والوقار... الى من علمني العطاء بدون انتظار... الى من أحمل أسمه بكل أفتخار... أرجو من الله أن يمد في عمرك لتري ثماراً قد حان قطافها بعد طول انتظار... (والدي).

الى القلب النابض، الى رمز الحب والحنان، الى من كانت دعواتها الصادقة سر نجاحي... (والدتي).

الى من هم سندي في الحياة... (أهلي).

الى الاخوة والاخوات... الى من تحلوا بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء... الى من كانوا معي على طريق النجاح والخير... (أصدقائي).

سلمى

إقرار المشرف

أقر بأن أعداد الرسالة تم تحت إشرافي في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة ديالى، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

المشرف

التوقيع:

أسم المشرف: أ.د. صباح أنور سلمان

المرتبة العلمية: استاذ

العنوان: جامعة ديالى / كلية العلوم / قسم الفيزياء

التاريخ: / / 2017 م

توصية رئيس القسم

بناء على التوصيات المتوافرة، أرشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع:

الاسم: أ.م.د. زياد طارق خضير

المرتبة العلمية: استاذ مساعد

العنوان: جامعة ديالى - كلية العلوم - قسم الفيزياء

التاريخ: / / 2017 م

اقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة أدناه نشهد أننا اطلعنا على رسالة الماجستير الموسومة ((تحضير ودراسة بعض الخواص الفيزيائية لمتراكبات (بولي كحول الفايثيل PVA / أملاح الالمنيوم)) المقدمة من قبل الطالبة (سلمى سلمان عبدالله) وقد ناقشنا الطالبة في محتوياتها وكل ما له علاقة بها فوجدناها جديرة بالقبول لنيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء ولاجله وقعنا.

رئيس اللجنة

التوقيع:

الاسم: أ.د. بلقيس محمد ضياء

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: الجامعة التكنولوجية/ قسم العلوم التطبيقية/ فرع المواد

التاريخ: / / 2018 م

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: أ.د. فرح طارق محمد

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: جامعة بغداد/ كلية العلوم/ قسم الفيزياء

التاريخ: / / 2018 م

عضو اللجنة

التوقيع:

الاسم: أ.د. نبيل علي بكر

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: جامعة ديالى/ كلية العلوم / قسم الفيزياء

التاريخ: / / 2018 م

عضو اللجنة (المشرف)

التوقيع:

الاسم: أ.د. صباح أنور سلمان

المرتبة العلمية: أستاذ

العنوان: جامعة ديالى/ كلية العلوم / قسم الفيزياء

التاريخ: / / 2018 م

مصادقة عمادة كلية العلوم/ جامعة ديالى

التوقيع:

الاسم: أ.د. تحسين حسين مبارك

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ: / / 2018 م

إقرار المقوم العلمي

أقر بتقويم رسالة الماجستير المعنونة ((تحضير ودراسة بعض الخواص الفيزيائية لمتراكبات (بولي كحول الفاينيل PVA / أملاح الالمنيوم)) لل طالبة (سلمى سلمان عبدالله) علمياً من قبلي وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

التوقيع:

الاسم: أ.م.د. فاروق ابراهيم حسين

المرتبة العلمية: أستاذ مساعد

العنوان: جامعة بغداد/ كلية التربية للعلوم الصرفة- أبن الهيثم/

قسم الفيزياء

التاريخ: / / 2018 م

إقرار المقوم اللغوي

أقر بتقويم رسالة الماجستير المعنونة ((تحضير ودراسة بعض الخواص الفيزيائية لمتراكبات (بولي كحول الفاينيل PVA /أملاح الالمنيوم)) لل طالبة (سلمى سلمان عبدالله) لغويا من قبلي وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في علوم الفيزياء.

التوقيع:

الاسم: م.د بشرى عبد المهدي ابراهيم

المرتبة العلمية: مدرس

العنوان: جامعة ديالى - كلية التربية الاساسية

قسم اللغة العربية

التاريخ: / / 2018 م

- [1] S. A. Salman, N. A. Bakr , S. S. Abdualлах and H. Z. A. Al- Rahman, “ Effect of Aluminium Salts on Some Mechanical Properties of Polyvinyle Alcohol (PVA) Films”, Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences, Vol. 8, No. 1, pp. 37-45, (2017).
- [2] S. A. Salman, N. A. Bakr and S. S. Abdualлах, “ Study of Thermal Decomposition and FTIR for (PVA- AlCl_3) Composite Films”, Journal of Engineering and Applied Sciences, Accepted on February 20,(2018).

الخلاصة

حضرت أغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم ($AlCl_3$, $Al(NO_3)_3$) بنسب وزنية مختلفة ((1,3,5,7,9,11,13,15) wt%) باستخدام طريقة الصب. لقد تمت دراسة الخواص البصرية، الميكانيكية والحرارية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم). طيفا النفاذية والامتصاصية سجلا ضمن مدى الطول الموجي (190-1100) nm، وتم دراسة تأثير النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة على المعلمات البصرية (النفاذية، الامتصاصية، معامل الامتصاص، معامل الانكسار، معامل الخمود و ثابت العزل البصري بجزأيه الحقيقي والخيالي) لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم).

وأظهرت النتائج العملية أن النفاذية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) تقل مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة بينما الامتصاصية، معامل الامتصاص، معامل الانكسار، معامل الخمود وثابت العزل البصري بجزأيه الحقيقي والخيالي يزدادون جميعهم مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة. وكذلك أظهرت النتائج بأن الانتقالات الالكترونية هي انتقالات الكترونية غير مباشرة، وأن فجوة الطاقة تقل مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة eV (5.887-4.542) لملاح $AlCl_3$ و eV (5.887-4.435) لملاح $Al(NO_3)_3$ ، بينما أظهرت طاقة أورباخ سلوكا معاكسا لفجوة الطاقة حيث تزداد طاقة أورباخ بزيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة meV (545.6-1039.6) لملاح $AlCl_3$ و meV (545.6-928.9) لملاح $Al(NO_3)_3$.

وأظهرت نتائج فحوصات (FTIR) لغشاء (PVA) النقي بعد التدعيم بنسب وزنية مختلفة من أملاح الألمنيوم أن حزمة الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) لـ (PVA) تنحرف نحو الاعداد الموجية العالية لكل النسب الوزنية لملاح $AlCl_3$ ، وعند أغلب النسب الوزنية لملاح $Al(NO_3)_3$ فإن العدد الموجي لمجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) لـ (PVA) ينحرف نحو قيم أوطأ، بينما أظهرت أصرة التمدد ($C-H$) اللامتماثلة أنحرافا نحو الاعداد الموجية العالية عند النسبة الوزنية (15wt%) و (11wt%) لأملاح $AlCl_3$ و $Al(NO_3)_3$ على التوالي، وأن الأصرتين ($C=O$) و ($C=C$) أظهرتا أنحرافا نحو الاعداد الموجية الواطنة مع تأثير نوعي أصرة ($-CH_2$) (تغير العدد الموجي لهما) بعملية التدعيم بأملاح الألمنيوم.

وتم دراسة تأثير النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة على الخواص الميكانيكية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم)، وأظهرت النتائج العملية بأن الصلادة تزداد بزيادة النسبة الوزنية لأملاح

الالمنيوم المضافة، بينما أظهرت النتائج العملية لأختبار الشد قيما غير منتظمة لكلا من (متانة الشد، الاستطالة حد الكسر ومعامل يونك) بعد التدعيم بنسب وزنية مختلفة من أملاح الالمنيوم بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي.

وكذلك أظهرت نتائج دراسة تأثير النسبة الوزنية للأملاح الالمنيوم المضافة على الخواص الحرارية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الالمنيوم) بأن التوصيلية الحرارية تبدأ بالنقصان بشكل غير منتظم مع زيادة النسبة الوزنية للأملاح الالمنيوم المضافة، وأن فحص المسعر الحراري التبايني (DSC) أظهر أبتداء تزايد بشكل غير منتظم لكلا من درجة الانتقال الزجاجي ودرجة الانصهار البلورية بزيادة النسبة الوزنية لملاح ($AlCl_3$) المضاف، وسلوك غير منتظم لدرجة الانتقال الزجاجي ودرجة الانصهار البلورية عند التدعيم بملاح ($Al(NO_3)_3$) بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي مع أختفاء لدرجة الانتقال الزجاجي عند النسبة الوزنية (11wt%) لملاح ($AlCl_3$) وأختفاء لدرجة الانصهار البلورية عند النسبة الوزنية (7wt%) لملاح ($Al(NO_3)_3$)، وكذلك أظهرت منحنيات (TGA) أن غشاء (PVA) النقي يمر بمرحلتين لعملية التحلل الحراري وبفقد كلي في الوزن مقداره (100%)، وأظهرت النسب الوزنية للأملاح الالمنيوم المضافة مرحلتين و ثلاث مراحل تحلل حراري لعملية الفقد في الوزن مع فقد كلي في الوزن أقل بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي.

قائمة المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
	الخلاصة	
I	المحتويات	
IV	قائمة الرموز	
V	قائمة المختصرات	
VI	قائمة الجداول	
VII	قائمة الاشكال	
الفصل الأول: (المقدمة والدراسات السابقة)		
1	المقدمة	(1-1)
1	المواد المترابكة	(2-1)
2	المادة الاساس	(1-2-1)
2	بولي كحول الفايثيل (PVA)	(1-1-2-1)
3	مواد التدعيم	(2-2-1)
4	الالمنيوم	(1-2-2-1)
4	السطح البيني وقوة التلاصق (الترابط)	(3-2-1)
5	الربط الميكانيكي	(1-3-2-1)
5	الربط الكيميائي	(2-3-2-1)
6	تصنيف المواد المترابكة	(3-1)
6	تصنيف المترابكات حسب نوع المادة الاساس	(1-3-1)
7	تصنيف المترابكات حسب نوع مادة التدعيم	(2-3-1)
9	البوليمرات	(4-1)
11	تصنيف البوليمرات	(5-1)
13	الدراسات السابقة	(6-1)
19	الهدف من الدراسة	(7-1)
الفصل الثاني (الجزء النظري)		
20	المقدمة	(1-2)
20	الخواص البصرية	(2-2)
20	حافة الامتصاص الاساسية	(1-2-2)
22	النفاذية	(2-2-2)
22	الامتصاصية	(3-2-2)
23	الثوابت البصرية	(4-2-2)
23	معامل الامتصاص	(1-4-2-2)
24	معامل الانكسار	(2-4-2-2)

الصفحة	الموضوع	التسلسل
24	معامل الخمود	(3-4-2-2)
25	ثابت العزل البصري	(4-4-2-2)
26	الانتقالات الالكترونية	(5-2-2)
26	الانتقالات الالكترونية المباشرة	(1-5-2-2)
27	الانتقالات الالكترونية غير المباشرة	(2-5-2-2)
29	تحويل فورير للاشعة تحت الحمراء	(3-2)
30	الخواص الميكانيكية	(4-2)
31	اختبار الصلادة	(1-4-2)
33	أختبار الشد	(2-4-2)
34	منحني (الاجهاد - الانفعال)	(1-2-4-2)
36	الخواص الحرارية	(5-2)
37	التوصيلية الحرارية	(1-5-2)
39	درجة الانتقال الزجاجي	(2-5-2)
39	درجة الانصهار البلورية	(3-5-2)
40	التحليل الحراري الوزني	(4-5-2)
الفصل الثالث (الجزء العملي)		
41	المقدمة	(1-3)
41	المواد المستخدمة	(2-3)
41	المادة الاساس	(1-2-3)
42	مواد التدعيم	(2-2-3)
42	كلوريد الالمنيوم	(1-2-2-3)
42	نترات الالمنيوم	(2-2-2-3)
42	الاجهزة المستخدمة وطريقة تحضير العينات	(3-3)
42	الاجهزة المستخدمة	(1-3-3)
46	تحضير اغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الالمنيوم	(2-3-3)
48	الاختبارات والاجهزة المستخدمة	(4-3)
48	أختبار UV- VIS	(1-4-3)
49	أختبار تحويل فورير للاشعة تحت الحمراء	(2-4-3)
50	أختبار الصلادة	(3-4-3)
51	أختبار الشد	(4-4-3)
52	أختبار التوصيلية الحرارية	(5-4-3)

الصفحة	الموضوع	التسلسل
53	أختبار المسعر الحراري التبايني	(6-4-3)
الفصل الرابع (النتائج والمناقشة)		
55	المقدمة	(1-4)
55	الخواص البصرية	(2-4)
55	طيف النفاذية	(1-2-4)
57	طيف الامتصاصية	(2-2-4)
58	معامل الامتصاص	(3-2-4)
60	فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح	(4-2-4)
66	طاقة أورباخ	(5-2-4)
71	معامل الانكسار	(6-2-4)
73	معامل الخمود	(7-2-4)
74	الجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل البصري	(8-2-4)
77	تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء	(3-4)
83	الخواص الميكانيكية	(4-4)
83	أختبار الصلادة	(1-4-4)
85	أختبار الشد	(2-4-4)
93	الخواص الحرارية	(5-4)
93	التوصيلية الحرارية	(1-5-4)
96	درجة الانتقال الزجاجي	(2-5-4)
97	درجة الانصهار البلورية	(3-5-4)
99	التحليل الحراري الوزني	(4-5-4)
الفصل الخامس (الاستنتاجات والمشاريع المستقبلية)		
121	الاستنتاجات	(1-5)
123	المشاريع المستقبلية	(2-5)
124	المصادر	

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدة
α	معامل الامتصاص	cm^{-1}
E_g	فجوة الطاقة	eV
E_u	طاقة أورباخ	meV
$h\nu$	طاقة الفوتون	eV
T	النفاذية	—
I_o	شدة الاشعاع الساقط	$\text{eV/m}^2 \cdot \text{s}$
I_t	شدة الاشعاع النافذ	$\text{eV/m}^2 \cdot \text{s}$
A	الامتصاصية	—
R	الانعكاسية	—
n_o	معامل الانكسار	—
N	معامل الانكسار المعقد	—
k_o	معامل الخمود	—
$\epsilon^{\text{opt.}}$	ثابت العزل البصري	—
ϵ_1	الجزء الحقيقي لثابت العزل البصري	—
ϵ_2	الجزء الخيالي لثابت العزل البصري	—
λ	الطول الموجي	nm
K	متجه الموجة	cm^{-1}
$E'_g{}^{\text{opt}}$	فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر	eV
E_p	طاقة الفونون المساعد	eV
ϵ	الانفعال	—
Q	كمية الحرارة المنتقلة	J/sec
k	التوصيلية الحرارية	W/m.K
T_A, T_B, T_C	تمثل درجة حرارة القرص (A, B and C) على التوالي	$^{\circ}\text{C}$
e	كمية الطاقة	W/m ² .K
d	سمك القرص	m
r	نصف قطر القرص	m
V	فرق الجهد على طرفي ملف المسخن	V

الرمز	المعنى	الوحدة
T_g	درجة الانتقال الزجاجي	$^{\circ}\text{C}$
T_m	درجة الانصهار البلورية	$^{\circ}\text{C}$
M_w	معدل الوزن الجزيئي	—

قائمة المختصرات

المختصر	المعنى
PVA	بولي كحول الفايثيل
MMC_s	المترابكات ذات الأساس المعدني
CMC_s	المترابكات ذات الأساس السيراميكي
PMC_s	المترابكات ذات الأساس البوليميري
Al_2O_3	أكسيد الألمنيوم
DSC	المسعر الحراري التبايني
TEM	المجهر الإلكتروني النافذ
XRD	حيود الأشعة السينية
DTA	التحليل الحراري التفاضلي
TGA	التحليل الحراري الوزني
UV	الأشعة فوق البنفسجية
FTIR	تحويل فوريير للأشعة تحت الحمراء
$AlCl_3$	كلوريد الألمنيوم
$Al(NO_3)_3$	نترات الألمنيوم
T.S	متانة الشد
E_b	الاستطالة حد الكسر
Y_m	معامل يونك

قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
32	بعض أنواع الصلادة	(1-2)
41	بعض خواص بوليمر بولي كحول الفايينيل (PVA)	(1-3)
46	النسب الوزنية لأغشية المتراكبات (بوليمر (PVA) - أملاح الالمنيوم)	(2-3)
65	قيم فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لأغشية المتراكبات (PVA- أملاح الالمنيوم) مع النسبة الوزنية للأملاح الالمنيوم	(1-4)
71	قيم طاقة أورباخ لأغشية المتراكبات (PVA- أملاح الالمنيوم) مع النسبة الوزنية للأملاح الالمنيوم	(2-4)
81	قيم الاعداد الموجية لحزم الامتصاص لأواصر أغشية المتراكبات (PVA- $AlCl_3$) مع النسبة الوزنية لملاح ($AlCl_3$)	(3-4)
82	قيم الاعداد الموجية لحزم الامتصاص لأواصر أغشية المتراكبات (PVA- $Al(NO_3)_3$) مع النسبة الوزنية لملاح ($Al(NO_3)_3$)	(4-4)
84	قيم الصلادة لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الالمنيوم) مع النسبة الوزنية للأملاح الالمنيوم	(5-4)
89	قيم خصائص الشد لأغشية المتراكبات (PVA- $AlCl_3$) مع النسبة الوزنية لملاح ($AlCl_3$)	(6-4)
89	قيم خصائص الشد لأغشية المتراكبات (PVA- $Al(NO_3)_3$) مع النسبة الوزنية لملاح ($Al(NO_3)_3$)	(7-4)
95	قيم التوصيلية الحرارية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الالمنيوم) مع النسبة الوزنية للأملاح الالمنيوم	(8-4)
97	قيم درجة الانتقال الزجاجي لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الالمنيوم) مع النسبة الوزنية للأملاح الالمنيوم	(9-4)
99	قيم درجة الانصهار البلورية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الالمنيوم) مع النسبة الوزنية للأملاح الالمنيوم	(10-4)
102	قيم منحني (TGA) لأغشية المتراكبات (PVA- $AlCl_3$) مع النسبة الوزنية لملاح ($AlCl_3$)	(11-4)
103	قيم منحني (TGA) لأغشية المتراكبات (PVA- $Al(NO_3)_3$) مع النسبة الوزنية لملاح ($Al(NO_3)_3$)	(12-4)

قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
4	أنواع المواد المترابكة	(1-1)
10	أنواع تراكيب السلاسل البوليمرية	(2-1)
22	مناطق حافة الامتصاص الاساسية	(1-2)
28	أنواع الانتقالات الالكترونية	(2-2)
30	منطقة طيف (IR) لمجاميع مهمة في البوليمر	(3-2)
32	مخطط اختبار صلادة التحمل لشور	(4-2)
36	منحني (الاجهاد - الانفعال) لمادة بوليمرية	(5-2)
38	مخطط جهاز قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي)	(6-2)
43	صورة الميزان الالكتروني الحساس	(1-3)
44	صورة الخلاط المغناطيسي	(2-3)
45	مخطط الابعاد القياسية للعينات	(3-3)
47	مخطط الاختبارات المنجزة	(4-3)
48	صورة جهاز (UV-VIS)	(5-3)
49	مخطط جهاز (UV-VIS)	(6-3)
49	صورة جهاز (FTIR)	(7-3)
50	مخطط جهاز (FTIR)	(8-3)
50	مخطط جهاز اختبار الصلادة	(9-3)
51	صورة جهاز اختبار الشد	(10-3)
52	صورة جهاز قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي)	(11-3)
53	صورة جهاز (DSC)	(12-3)
54	مخطط جهاز (DSC)	(13-3)
56	طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(1-4)
56	طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(2-4)
57	طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(3-4)
58	طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(4-4)

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
59	معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(5-4)
59	معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(6-4)
62	فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(7-4)
64	فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(8-4)
68	طاقة أورباخ لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(9-4)
70	طاقة أورباخ لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(10-4)
72	معامل الانكسار كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(11-4)
72	معامل الانكسار كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(12-4)
73	معامل الخمود كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(13-4)
74	معامل الخمود كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(14-4)
75	الجزء الحقيقي لثابت العزل البصري كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(15-4)
75	الجزء الحقيقي لثابت العزل البصري كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(16-4)
76	الجزء الخيالي لثابت العزل البصري كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(17-4)
76	الجزء الخيالي لثابت العزل البصري كدالة للطول الموجي لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(18-4)
79	طيف (FTIR) لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(19-4)
80	طيف (FTIR) لاغشية المتراكب (PVA-Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(20-4)
83	الصلادة لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (AlCl ₃)	(21-4)

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
84	الصلادة لاغشية المتراكب (PVA- Al(NO ₃) ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (Al(NO ₃) ₃)	(22-4)
86	منحني (الاجهاد - الانفعال) لغشاء (PVA) النقي	(23-4)
87	منحني (الاجهاد - الانفعال) لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl ₃)	(24-4)
88	منحني (الاجهاد - الانفعال) لاغشية المتراكب (PVA- Al(NO ₃) ₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO ₃) ₃)	(25-4)
90	متانة الشد لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (AlCl ₃)	(26-4)
91	متانة الشد لاغشية المتراكب (PVA- Al(NO ₃) ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (Al(NO ₃) ₃)	(27-4)
91	الاستطالة حد الكسر لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (AlCl ₃)	(28-4)
92	الاستطالة حد الكسر لاغشية المتراكب (PVA- Al(NO ₃) ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (Al(NO ₃) ₃)	(29-4)
92	معامل يونك لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (AlCl ₃)	(30-4)
93	معامل يونك لاغشية المتراكب (PVA- Al(NO ₃) ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (Al(NO ₃) ₃)	(31-4)
94	التوصيلية الحرارية لاغشية المتراكب (PVA-AlCl ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (AlCl ₃)	(32-4)
95	التوصيلية الحرارية لاغشية المتراكب (PVA- Al(NO ₃) ₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (Al(NO ₃) ₃)	(33-4)
104	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي	(34-4)
105	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (1wt%) من ملح (AlCl ₃)	(35-4)
106	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (3wt%) من ملح (AlCl ₃)	(36-4)
107	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (5wt%) من ملح (AlCl ₃)	(37-4)
108	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (7wt%) من ملح (AlCl ₃)	(38-4)

الصفحة	العنوان	رقم الشكل
109	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (9wt%) من ملح ($AlCl_3$)	(39-4)
110	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (11wt%) من ملح ($AlCl_3$)	(40-4)
111	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (13wt%) من ملح ($AlCl_3$)	(41-4)
112	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (15wt%) من ملح ($AlCl_3$)	(42-2)
113	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي والمدعم بنسبة وزنية (1wt%) من ملح ($Al(NO_3)_3$)	(43-4)
114	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي والمدعم بنسبة وزنية (3wt%) من ملح ($Al(NO_3)_3$)	(44-4)
115	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي والمدعم بنسبة وزنية (5wt%) من ملح ($Al(NO_3)_3$)	(45-4)
116	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي والمدعم بنسبة وزنية (7wt%) من ملح ($Al(NO_3)_3$)	(46-4)
117	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي والمدعم بنسبة وزنية (9wt%) من ملح ($Al(NO_3)_3$)	(47-4)
118	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي والمدعم بنسبة وزنية (11wt%) من ملح ($Al(NO_3)_3$)	(48-4)
119	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي والمدعم بنسبة وزنية (13wt%) من ملح ($Al(NO_3)_3$)	(49-4)
120	مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي والمدعم بنسبة وزنية (15wt%) من ملح ($Al(NO_3)_3$)	(50-4)

الفصل الأول

المقدمة والدراسات السابقة

(1-1) المقدمة

Introduction

إن كثير من التطبيقات التكنولوجية والصناعات الحديثة غير الاعتيادية تحتاج الى مواد لها مزيج من الخواص، إذ أصبحت الحاجة الى مواد بدائل ذات أستعمالات صناعية متعددة ويجب أن تمتاز هذه المواد البدائل بمواصفات وخواص نوعية عالية وذات تكلفة واطئة من الناحية الأقتصادية ولذلك تم أنتاج مواد تعرف بالمواد المتراكبة [1].

وعلى الرغم من أستعمال المواد المتراكبة منذ القدم لكنها أصبحت في الوقت الحاضر من المواد الضرورية جدا في كثير من التطبيقات الصناعية الحديثة، وأحدثت المواد المتراكبة قفزة نوعية ودخلت في حيز الصناعة بشكل يضاهي المواد الأخرى كالفلزات وسبائكها وذلك بسبب أملاك المواد المتراكبة الخواص الميكانيكية والكهربائية والبصرية العالية التي تلئم العديد من الصناعات [2].

وتعد المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري من المواد الحديثة التي لها دور أساسي في معظم التطبيقات الهندسية والتكنولوجية، إذ أن أستعمال هذه المواد يجب أن يصاحبه أملاكها متانة جيدة واداءً تقنياً عالياً وذلك كي تقاوم الأجهادات الخارجية المؤثرة والظروف الخارجية المؤثرة بها كدرجة الحرارة والضغط والرطوبة وغيرها، ولهذا السبب أزداد توجه العلماء والباحثين المختصين لتحضير مثل هذه المواد ودراساتها والتعرف على خواصها تبعاً لخواص المواد الداخلة في تحضيرها وغيرها من العوامل المؤثرة الأخرى [3].

(2-1) المواد المتراكبة

Composite Materials

بالنظر لامتلاك المواد المتراكبة بعض الخواص التي تتناسب مع العديد من التطبيقات الصناعية لهذا أصبحت ذات مكانة مرموقة بين المواد الهندسية المختلفة [4]، وتعرف المواد المتراكبة بأنها تلك الأنظمة الناتجة من اشتراك مادتين أو أكثر، إذ تمثل كل مادة طوراً منفصلاً في النظام، وذلك للحصول على مواد جديدة مختلفة في خواصها عن خواص المواد الأولية الداخلة في تحضير المادة المتراكبة بحيث تتجاوز الصفات غير المرغوب فيها لتصبح أكثر ملاءمة للتطبيقات الصناعية ويقصد بالصفات المرغوبة للمواد المتراكبة بأنها عبارة عن صفات المكونات الأساسية للمادة المتراكبة التي تعتمد على كل من [5]:

- 1- المادة الأساس (Matrix Material).
- 2- مواد التدعيم (Reinforcement Materials).
- 3- السطح البيني وقوة التلاصق (Interface and Bonding).

Materix Material

(1-2-1) المادة الأساس

هي إحدى مكونات المادة المتراكبة وتمثل الجزء الهيكلي الذي بدوره يحافظ ويحيط بالعناصر التركيبية الداخلة في تشكيل المادة المتراكبة وهو يعطي الشكل الاجمالي للمنتج النهائي، ووظيفتها الاساسية هي [6]:

- 1- ربط مادة التدعيم.
 - 2- تقوم بنقل الحمل الى مواد التدعيم.
 - 3- المحافظة على مواد التدعيم من الاضرار التركيبية والظروف الجوية والاكسدة والتآكل والتغيير في درجات الحرارة.
 - 4- تحدد درجة الحرارة الخدمية القصوى للمادة المتراكبة.
- إن اختيار المادة الأساس يتم على وفق عوامل عدة، أهمها كلفتها وسهولة تصنيعها وتجميعها ومدى توافقها مع مواد التدعيم، وأن تكون ذات خواص فيزيائية جيدة مثل التمدد الحراري ودرجة الانصهار والكثافة والتوصيلية الحرارية والكهربائية [7-9].

Poly Vinyl Alcohol (PVA)

(1-1-2-1) بولي كحول الفانيل

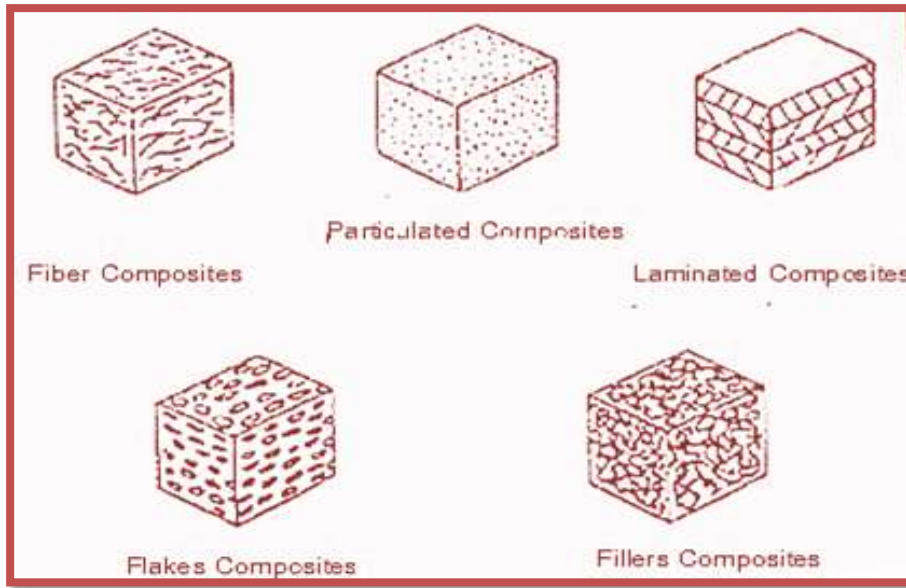
وهو بوليمر صناعي قابل للذوبان في الماء عديم الرائحة، يصنع من خلاصات الفينيل الاحادية (Vinyl Acetate Monomer) بواسطة اخضاعها بالبلمرة و التحلل الجزئي، وعن طريق اذابته في الماء والسماح للماء بالتبخر يتكون غشاء شفاف ذو لدانة عالية ومقاوم للتمزق، وان ذوبانية البوليمر تعتمد على درجة التحلل الجزئي وقابلية الاصرة الهيدروجينية [10]، ويمكن تقسيم بوليمر (PVA) المتوفر تجاريا الى نوعين هما البولي كحول الفانيل تام التحلل بالماء (Fully Hydrolyzed (PVA) والبولي كحول الفانيل الذي يتحلل بالماء جزئياً (Partially Hydrolyzed (PVA) وذلك اعتمادا على عدد مجاميع الخلصات (Acetate Groups) في العمود الفقري للبوليمر. أن الاستقرارية الكيميائية لبوليمر (PVA)

في درجات الحرارة الاعتيادية مع امتلاكه خواص فيزيائية وكيميائية ممتازة أدت الى استعماله في التطبيقات العملية بشكل واسع في الطب ومواد التجميل، الاغذية، الصناعات الصيدلانية والتغليف. ويستعمل بوليمر (PVA) بشكل رئيسي في منتجات الالياف والافلام مثل طلاء الورقية (Paper Coating) [11,12]. ويمتلك أيضا ميزة التصاق عالية و كثافته تتراوح من $(1.19-1.31\text{g/cm}^3)$. وان الكميات الكبيرة من بوليمر (PVA) تكون خطيرة و خصوصا اذا مزجت مع الماء، ويكون غير سام طالما هو غير محروق او ذائب بالنار. ومن مزايا هذا البوليمر المقاومة الميكانيكية العالية [10].

Reinforcement Materials

(2-2-1) مواد التدعيم

أن مصطلح الاضافات أو مواد التدعيم يستخدم لوصف المواد التي تنتشت طبيعيا في المادة الاساس دون أن تؤثر في التركيب الجزيئي للمادة الاساس [7]. وتعمل مواد التدعيم أيضاً على تقوية المادة الاساس، وقد تكون سيراميكية أو معدنية أو بوليميرية، وتمتاز بكونها ذات مقاومة عالية (High Strenght) ومطيليتها عالية أو واطئة حسب نوع المادة والغرض المستعمل لاجله، وتكون أما بشكل دقائق (Partices) أو ألياف (Fibers) أو حشوات (Fillers) أو قشور (Flakes). وتختلف مصادر مواد التدعيم فمنها مايأتي من المواد المعدنية الطبيعية أو المواد العضوية وغير العضوية التركيبية [9,5]، والشكل (1-1) يوضح أنواع المواد المترابكة حسب أشكال مواد التدعيم المستعملة في تصنيعها [13].



الشكل (1-1): أنواع المواد المتراكبة [13].

Aluminium

(1-2-2-1) الألمنيوم

يعد عنصر الألمنيوم الثالث من أكثر العناصر وفرة على الأرض بعد الأكسجين والسيليكون ويمتلك خواص فريدة فهو خفيف الوزن وقوي وكذلك مقاوم للتآكل. ويرمز له بالرمز (Al) ويقع في المجموعة الثالثة من الجدول الدوري. وان العدد الذري له (13)، وهو ذو لون فضي أو أبيض اعتماداً على نسبة الشوائب، ويمكن تصنيف الألمنيوم إلى نوعين هما فائق النقاوة والآخر يسمى الألمنيوم التجاري، حيث يمكن تحويل النوع الثاني إلى الأول عن طريق تكرار التنقية حتى تصل النقاوة إلى (99.99995%). وكثافة الألمنيوم قليلة تقدر بنحو (2.7g/cm^3) وهو ذو انعكاسية وتوصيلية كهربائية وحرارية عالية [14].

(3-2-1) السطح البيني وقوة التلاصق (الترابط)

Interface and Bonding Force

أن مصطلح (Interface) يعرف على أنه سطح يكوّن منطقة مألوفة ومعروفة إلى حد ما ويشابه هذا السطح في العديد من النواحي للحدود الحبيبية الموجودة في المواد ذات الطور الواحد، أي بمعنى أن المادة الأساس ومواد التدعيم كل على حدة تمثل طوراً بحد ذاته [15]، أن سلوك المادة المتراكبة

هو نتيجة لاتحاد سلوك كل من المادة الاساس ومواد التدعيم والسطح البيني بينهما، لذا من المهم أن نشير الى أهمية منطقة السطح البيني لاي نظام مترابط [2].

تقاس قوة السطح البيني بوساطة اختبارات بسيطة مثل اختبار الانحناء ثلاثي النقط او اختبار اجهاد القص بين الطبقات (ILSS) (Inter Laminar Shear Stress)، أن سلوك السطح البيني يؤثر على كيفية فشل المادة والشغل اللازم لتشققها وتمزقها، والتصاق السطح البيني هو الالتصاق الذي تكون به السطوح البينية عند الاطوار او العناصر محافظة على نفسها بوساطة القوى بين الجزيئات وتشابك السلسلة او كليهما عبر السطح البيني [8]. ويؤدي تركيب وخواص السطح البيني دوراً مهماً في تحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمواد المترابكة، حيث أن الاجهاد الذي يسلط على المادة الاساس ينتقل عبر السطح البيني الى مواد التدعيم كالالياف والدقائق [16]، ويعتمد السطح البيني على نوع الربط (Bond) بين المادتين، ومن اهم أنواع ربط السطح البيني [17]:

(1-3-2-1) الربط الميكانيكي Mechanical Bonding

يعتمد الربط الميكانيكي على مقدار التشابك لكلا المادتين (مادة الأساس والتدعيم)، فقد تحتوي احدى المادتين على ثقوب او شقوق او نتوءات تتغلغل او تتداخل بالمادة الأخرى، أن خشونة السطح بين المادتين وتأثير الاحتكاك تعدّ من العوامل المهمة التي تؤثر على هذا النوع من الربط وبهذا يكون الربط الميكانيكي ضعيفاً بصورة عامة.

(2-3-2-1) الربط الكيميائي Chemical Bonding

وهو اقوى أنواع الربط للسطح البيني، ولأجل الحصول على سطح بيني ذو متانة تقارب متانة المواد المترابكة يتم اللجوء الى هذا النوع من الربط، ومن اهم انواعه هو ربط التفاعل (Reaction Bonding) ويحدث هذا النوع نتيجة انتقال الجزيئات او الذرات من مادة إلى أخرى.

(3-1) تصنيف المواد المتراكبة

Classification of Composite Materials

(1-3-1) تصنيف المتراكبات حسب نوع المادة الأساس

Classification of Composites According to Matrix Material

1- المتراكبات ذات الأساس المعدني Metal Matrix Composites (MMCs)

تعد المتراكبات المعدنية مواد متراكبة ذات أساس سبائكي أو معدني نقي، إذ أن هذه المتراكبات تدعم بمواد على هيئة (دقائق أو الياف أو شعيرات) وذلك لأجل الحصول على مواد متراكبة ذات خصائص ميكانيكية جيدة ملائمة للتطبيقات المختلفة. والمادة الأساس في هذا النوع عبارة عن مادة فلزية ذات مطيلية (Ductile) وتصنع هذه المواد المتراكبة إما بصهر المادة الأساس ومزجها مع طور التدعيم أو استخدام مسحوق للمادة الأساس ومزجها مع مادة التدعيم وكبسهما معاً في قوالب خاصة أو بالطلاء الكهربائي لمادة التدعيم بواسطة المادة الأساس. إذ تمتاز المواد المتراكبة المعدنية بالكثافة العالية وتحمل حراري عالي ومقاومة عالية ومعامل تمدد حراري واطئ ومتانة عالية وموصلية حرارية عالية فضلاً عن استقرارية بالأبعاد، ومن مساوئها أنها ذات كلفة اقتصادية عالية [18,2].

2- المتراكبات ذات الأساس السيراميكي Ceramic Matrix Composites (CMCs)

المادة الأساس في هذا النوع من المتراكبات عبارة عن مادة سيراميكية، عادة يتم التدعيم فيها باستعمال الحبيبات أو الألياف القصيرة أو مايسمى (Whiskers) مثل الألياف المصنعة من كاربيد السيلكون ونتريد البورون. وتمتاز المتراكبات السيراميكية بأن لها القدرة على تحمل درجات الحرارة العالية، الامر الذي مكنها أن تستعمل في تطبيقات تتميز بأنها تتحمل درجات حرارة عالية جداً ولها القابلية على تحمل الاجهادات العالية وكذلك مقاومتها للتأكسد عالية ومتانة عالية أيضاً وذات معامل تمدد حراري واطئ [18,2].

3- المتراكبات ذات الأساس البوليمري Polymers Matrix Composites (PMCs)

تعد المواد المتراكبة ذات الأساس البوليمري واحدة من أكثر أنواع المواد المتراكبة شيوعاً، فقد زاد الاهتمام بهذه المواد بشكل كبير في الآونة الأخيرة وذلك لما تمتاز به هذه البوليمرات من خفة وزن ومتانة عالية، إذ استعملت البوليمرات في هذا النوع من المواد المتراكبة كمادة أساس وتدعم بمختلف الألياف الطبيعية والصناعية مثل الياف الكربون والنايلون وغيرها وتمتاز هذه المواد

المتراكبة بأن مقاومتها للصدمة والصلادة عالية، يمكن تشكيلها بأشكال واحجام مختلفة، تقاوم الرطوبة والمواد الكيميائية، عازلة جيدة للحرارة والكهربائية وكلفتها الاقتصادية واطئة لكون كلفة البوليمير واطئة [8].

(2-3-1) تصنيف المتراكبات حسب نوع مادة التدعيم

Classification of Composites According to Reinforcement Material

1- المواد المتراكبة المدعمة بالألياف Fibers Reinforced Composite Materials

إنّ التدعيم بالألياف له دور كبير في تحسين الخواص الميكانيكية بشكل عام وفي زيادة مقاومة الشد بشكل خاص، والسبب يعود إلى أن الألياف تحمل الجزء الأكبر من الحمل الخارجي المسلط بسبب مقاومتها العالية، في حين أن المادة الأساس ستعمل على نقل الإجهاد وإيصاله إلى الألياف [9]، والالياف تتكون من نوعين إما بشكل ألياف طويلة او بشكل ألياف قصيرة ضمن المادة الأساس وترص بالاتجاه نفسه او بشكل عشوائي، وتكمن أهمية التدعيم بالألياف بأنها تزيد من مقاومة الشد ومقاومة الصدمة وتحسن من الخواص الميكانيكية بشكل عام، أن مادة الليف يمكن أن تكون بشكل الياف فليزية مثل اسلاك النحاس والتكستون، او الياف سيراميكية مثل الياف الزجاج وكاربيد السيليكون، او بوليميرية مثل الياف الكربون [13].

2- المواد المتراكبة المدعمة بالطبقات

Laminates Reinforced Composite Material

مادة التدعيم تتألف من طبقات (Layers) من مواد مختلفة وهي في الأقل ما بين مادتين مختلفتين ترتبط سوياً، تتكون المادة المتراكبة الطباقية من أطوار مرتبة على وفق نسق هندسي صمم حسب الهدف منه، إن استخدام هذا النوع من المواد المتراكبة يسمح للمصممين باستعمال افضل الخواص لكل طبقة من أجل الحصول على مادة متراكبة ذات صفات جيدة منها مقاومة البلى (Wear Strength)، الوزن الخفيف (Light Weight)، مقاومة التآكل (Corrosion Strength)، المتانة (Toughness)، الجساءة (Stiffness) والعزل الحراري والصوتي وغيرها من الصفات التي يمكن التحكم بها عن طريق التدعيم بطبقات من مواد متنوعة، حيث يمكن أن تعطي هذه المواد تحسناً واختلافاً كبيراً في الخواص الناتجة مقارنة بخواص أطوارها الداخلية وقد تحتوي الطبقة المنفردة على مكونات الطبقة الأخرى نفسها كما قد تكون مغايرة تماماً [9,19].

3- المواد المتراكبة المدعمة بالجسيمات

Particles Reinforced Composite Materials

يوجد صنفان لهذه المتراكبات:

True Particles Reinforcing

a- التدعيم بالدقائق الفعلية

هذا النوع من التدعيم يكون مشابهاً للمواد المتراكبة المدعمة بالتشتت، ولكنها تختلف عنها في كون قطر الدقائق فيها اكبر من (1 Micron) والتراكيز الحجمية تتراوح من % (20-40)، التدعيم بالدقائق الفعلية يعتمد على قوة الترابط بين المادة الأساس والدقائق، وان هذه الدقائق يجب ان تكون موزعة بالتجانس داخل المادة الأساس للحصول على مواد متراكبة متجانسة وهي على أنواع وأشكال مختلفة فقد تكون كروية أو قشرية أوأبرية أوخطية، ويعتمد تحسين خواص المواد المتراكبة على خواص الحشوات نفسها، ومن هذه الدقائق الفعلية استخدام دقائق الكربون لتدعيم المطاط وكريات الزجاج (Glass Spheres) التي لها استخدام واسع مع البوليمرات لإنتاج متراكبات اقوى تكون ذات صلابة اعلى من البوليمرات وحدها [20,21].

b- المواد المتراكبة المدعمة بالتشتت

Dispersion Reinforced Composite Materials

هذا النوع من المواد المتراكبة يكون ناتجا عن توزيع دقائق مستمرة ذات أحجام صغيرة في المادة الأساس أو عن طريق التشتت، وتعرف بأنها دقائق صغيرة تعمل عند درجات الحرارة العالية على إعاقة حركة الإنخلاعات وهي ذات اقطار بحدود (0.1 Micron)، أن توزيع الدقائق المشتتة في المادة الأساس للمادة المتراكبة يكون بشكل عشوائي لذلك تكون مقاومة المادة وخواصها الأخرى متماثلة عادة في جميع الاتجاهات، وتتميز هذه الدقائق باستقرارها الحراري العالي وصلادتها وعدم قابليتها للذوبان مع المادة الأساس وتضاف هذه الدقائق بنسبة وزنية لا تتجاوز (15%) من وزن المادة المتراكبة ككل، ومثال على هذه الدقائق هو أكاسيد الفلزات مثل أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) [22].

Polymers

(4-1) البوليمرات

تعرف بأنها مواد عضوية تتكون من جزيئات طويلة تتكون بالتكرار لنوع واحد أو عدة أنواع من وحدات صغيرة تدعى المونومير (Monomer) الذي يمثل الوحدة الأساسية لبناء البوليمر، وتمتاز البوليمرات بخصائص كثيرة منها [23,24]:

- 1- سهولة القلوية، أي أنها لا تتطلب إلى معالجات لاحقة.
 - 2- ذات كثافة قليلة ومقاومة نوعية عالية ومقاومة عالية للتآكل جعلها مهمة جداً للتطبيقات التي لا تتطلب مقاومة ميكانيكية عالية جداً.
 - 3- قليلة الموصلية الحرارية، ومعامل تمددها الحراري أقل بكثير من المعادن.
 - 4- أمتصاص رطوبة واطئ وصفات كهربائية جيدة.
 - 5- تمتاز بثبات اللون وذات شفافية لذا تستعمل كبديل للزجاج في بعض التطبيقات.
- ولكن مع كل هذه المميزات إلا أن لها بعض المساوئ في استعمالاتها من أهمها أنها ذات معامل مرونة قليل ومثانة واطئة، تعمل في درجات حرارة واطئة، وأن الأواصر التي تربط بين جزيئات البوليمير هي بشكل عام أواصر تساهمية (Covalent Bonds)، فضلاً عن وجود قوى جزيئية داخلية تسمى بقوى فاندرفالز (Vander Waals Force)، ويكون ارتباط جزيئات البوليمير مع بعضها بعضاً مكونة سلسلة، لذلك يمكن تقسيم البوليمرات بالاعتماد على شكل السلاسل إلى [7,25]:

1- البوليمرات الخطية (Linear Polymers): الوحدات التركيبية في هذه البوليمرات مرتبطة مع بعضها بشكل خطي متواصل، وقوى الربط بين الأواصر هي قوى ربط فاندرفالز، وتكون هذه البوليمرات ذات قابلية على التبلور أكثر من الأصناف البوليمرية الأخرى وتمتاز بخواصها الميكانيكية المرغوبة مثل: بولي أثيلين والنايلون وبولي كلوريد الفينيل وبولي كحول الفينيل.

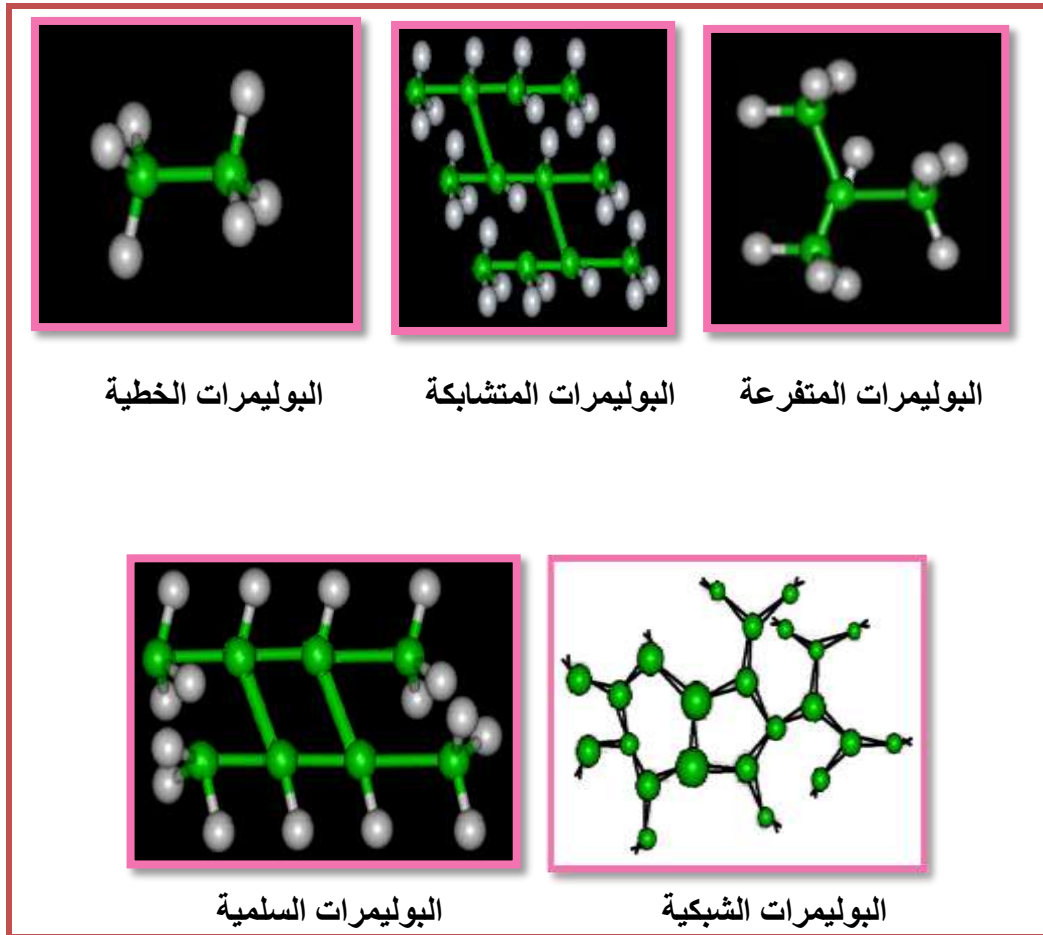
2- البوليمرات المتشابكة (Cross-linked Polymers): قوى الربط التي تربط السلاسل في هذه البوليمرات هي قوى الربط التساهمية، وتتحقق في بعض الأحيان من خلال إضافة ذرات أو جزيئات التي تقوم بدورها بتشكيل الربط التساهمي بين السلاسل، وأن العديد من أنواع المطاط يمتلك هذا التركيب كمثال عليه، وأن لدرجة التشابك تأثير كبير على صفات البوليمر الميكانيكية والفيزيائية فبازدياد درجة التشابك تقل الصفات المطاطية.

3- البوليمرات المتفرعة (Branched Polymers): هي البوليمرات التي تتألف من تفرعات جانبية تتشابه في تركيبها وترتبط مع السلسلة الرئيسية، هذه التفرعات بالامكان حدوثها

في البوليمرات الخطية او اي نوع اخر من البوليمرات، من امثلتها البولي ستايرين والبولي بروبيلين.

4- البوليمرات السلمية (Ladder Polymers): تتألف هذه البوليمرات من سلسلتين اثنتين من البوليمرات الخطية المربوطة بصورة منتظمة وتكون البوليمرات السلمية اقل صلادة من نظيرتها الخطية.

5- البوليمرات الشبكية (Network Polymers): وهي شبكات ثلاثية الابعاد والتي تحتوي على درجة تشابك عالية لتعطي البوليمرات صلادة وقوة مثل اللدائن المتصلدة بالحرارة (Thermosetting Plastic) التي تنحل او تحترق بدلا من انصهارها. وتكون ذات ثلاث مجاميع فعالة (TriFunctional Mers) ومثال عليها: الايبوكسي و الفينول فورمالديهايد [23,24]، الشكل (2-1) يوضح أنواع تراكيب السلاسل البوليمرية [24].



الشكل (2-1): أنواع تراكيب السلاسل البوليمرية [24].

Classification of Polymers

(5-1) تصنيف البوليمرات

تصنف البوليمرات الى تصنيفات عديدة وهي:

Classification Based on Sources

أولاً: بالاعتماد على مصادر البوليمرات

وتشمل [25]:

1- **البوليمرات الطبيعية (Natural Polymers):** تعتبر هذه البوليمرات منتجات طبيعية نباتية او حيوانية ومن الامثلة على ذلك: السليلوز، النشأ، الصمغ العربي، القطن، المطاط الطبيعي، الحرير، الصوف، الشعر، الجلد وغيرها، أن صعوبة الحصول على هذه البوليمرات تعود الى كلفتها العالية ولهذا استخداماتها محدودة.

2- **البوليمرات المصنعة (المحضرة) (Synthetic Polymers):** وهذه تشمل البوليمرات التي يجري تحضيرها من مركبات كيميائية بسيطة وتمثل هذه البوليمرات الاغلبية العظمى من البوليمرات المهمة صناعياً، وتشمل البلاستيكات المختلفة والمطاط الصناعي والالياف الصناعية وغيرها.

3- **البوليمرات الطبيعية المحورة (Modified Natural Polymers):** وتشتمل هذه على بعض البوليمرات الطبيعية التي تجري عليها بعض التحويلات اما بتغيير تركيبها الكيميائي كإدخال مجاميع جديدة من البوليمر، او تغيير تركيب بعض المجاميع الفعالة الموجودة فيه او بتطعيم بوليمر طبيعي على بوليمر صناعي وبالعكس ومن الامثلة على ذلك: خلات السليلوز والقطن المطعم بألياف الاكريلك.

ثانياً: بالاعتماد على ميكانيكية التفاعل (التصنيف الكيميائي للبوليمرات)

Chemical Classification of Polymers Based on the Reaction Mechanism

وتشمل [25]:

1- **بلمرة الاضافة (Addition Polymerization):** وهي بلمرة ذات النمو المتسلسل (Chain Growth)، في هذا النوع من البلمرة ترتبط المونوميرات (Monomers) مع بعضها لتشكيل البوليمر بصورة متعاقبة ولا يكون مصحوبا بنواتج ثانوية، ويمكن تغيير بلمرة الاضافة بوجود مادة حافزة أو عوامل مساعدة [26]. وتكون المونوميرات المستخدمة عادة لتحضير هذه

البوليمرات غير مشبعة (Unsaturated) ويتم الارتباط بين جزيئات المونومير نتيجة لانتفاخ الأواصر المزدوجة الموجودة فيها اما بشكل جذور حرة او بشكل أيونات.

2- بلمرة التكثيف (Condensation Polymerization): وهي بلمرة ذات النمو الخطوي (Step Growth)، تتكون هذه البوليمرات عن طريق تكثيف المونوميرات الحاوية على مجموعتين فعاليتين (Funcational Groups) أو أكثر، ويحدث التفاعل على شكل مراحل أو خطوات ويكون التفاعل مصحوبا بنواتج ثانوية [26].

ثالثا: بالاعتماد على التصنيف التكنولوجي للبوليمرات

Classification of Polymers Based on Technological Aspects

وتشمل [25]:

1- البوليمرات المطاوعة للحرارة (Thermoplastics Polymers): وهي بوليمرات ذات سلاسل طويلة بتفرع صغير أو سلاسل خطية (Linear Chains) والتي تتغير صفاتها بتأثير الحرارة فالحرارة تحولها الى منصهرات وعندما تقترب درجة الحرارة من درجة الانتقال الزجاجي (T_g) تصبح مرنة ثم تزداد مرونتها وتتحول الى منصهرات لزجة وعند خفض درجة الحرارة تسترجع حالتها الأصلية، أي إمكانية إعادة تدويرها واستخدامها أكثر من مرة مثل بولي اثيلين، بولي ستايرين، بولي بروبيلين والنايلون وغيرها من المواد، وتمتاز بأنها ذات قابلية للتمدد والاستطالة، صلابتها عالية ومقاومتها عالية للاجهادات والكسر.

2- البوليمرات المتصلدة حراريا (Thermoset Polymers): وهي من البوليمرات ذات الارتباط التشابكي، ومعظم هذه المواد تكون بشكل راتنجات سائلة تتحول الى مواد صلبة أكثر هشاشة من البوليمرات المطاوعة للحرارة بالتشابك الكيميائي والتي يمكن الحصول عليها بدرجة حرارة معينة والتخلص من الاجهادات ومن ثم الحصول على افضل النتائج، وتمتاز بالاستقرار الحراري العالي بسبب الربط التشابكي الكثيف بين الجزيئات، وهي غير بلورية وذات درجات انتقال زجاجي عالية، لاتذوب في جميع المذيبات ولكنها تميل الى الانتفاخ في المذيبات القوية وتكون رديئة التوصيل للحرارة والكهربائية [26]، مثل راتنجات البولي استر وراتنجات الايبوكسي.

- 3- البوليمرات المرنة المطاطية (Elastomers Polymers): وهي من البوليمرات ذات السلاسل الجزيئية الخطية ولكن مع وجود تشابك قليل بين السلاسل. وتصنف البوليمرات المطاطية حسب تركيب السلاسل البوليمرية الى وجود ذرة كاربون فقط في العمود الفقري للسلسلة البوليمرية مثل المطاط الطبيعي أو سلاسل بوليمرية بدون وجود ذرات الكاربون في العمود الفقري مثل ذرة الاوكسجين كما في أوكسيد بولي بروبيلين، وتمتلك البوليمرات المرنة صفتين مهمتين هما [27]:
- 1- درجة انتقالها الزجاجي تكون أوطى من درجة حرارة الاستعمال.
 - 2- تكون جزيئات موادها ذات التواء عال جداً.
- 4- الالياف (Fibers): يتميز هذا الصنف من البوليمرات بمواصفات خاصة كالقوة والمتانة وقابليتها على التبلور ويجب ان تكون السلاسل البوليمرية قادرة على الترتيب باتجاه محور الليف لكي تكسبها القوة والمتانة ويجب ان تكون السلاسل البوليمرية خطية وليست متفرعة لكي يمكنها ان تتراصف باتجاه محور الليف. من أهم بوليمرات هذا الصنف هي النايلون (البولي اميدات) والبولي استرات الخطية والاكريلك والبولي بروبيلين وغيرها.

6-1) الدراسات السابقة Literature Survey

❖ قام (Krkljes et al.) عام (2007) بدراسة وتوليف المتراكبات النانوية لـ (Ag-PVA) مع النسب المختلفة للطور غير العضوي، وحضرت المتراكبات النانوية لـ (Ag-PVA) بأختزال أيونات الفضة (Ag^+) المائية في محلول (PVA) بواسطة أشعاع كاما. أن مطياف تحويلات فورير للأشعة تحت الحمراء (FTIR) يشير الى أن جسيمات (Ag) النانوية المحشوة تتفاعل مع سلسلة (PVA) عند مجموعة الهيدروكسيل (OH). ويقل الطور البلوري لـ (PVA) مع زيادة تركيز الطور غير العضوي. تم التحقق من الخواص البصرية بواسطة مطياف (UV-VIS) للمحاليل الغروية ولاغشية المتراكبات النانوية، وتقل المقاومة الحرارية بزيادة تركيز الطور غير العضوي المرتبط بامتصاصية سلاسل البوليمر لسطح جسيمات (Ag) النانوية والتي كشفت بواسطة المسح التفاضلي التبايني (DSC)، المجهر الالكتروني النافذ (TEM) وحيود الاشعة السينية (XRD)، وأظهرت هذه الدراسة أيضاً أن جسيمات (Ag) النانوية هي مكعبة التركيب البلوري [28].

❖ درسا (Labidi and Djebaili) عام (2008) الية أمتصاص (PVA) على (الكالسايت / الماء) بوجود أوليت الصوديوم (SOI)، حيث حضرت الاغشية بطريقة الصب، وكذلك درس سلوك الامتصاص لـ (PVA) على محلول كاربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) تحت تأثير (SOI)، حيث

حضرت الاغشية بطريقة الصب أيضاً، التفاعل تحقق بامتصاص كمية من طيف تحويل فورير للاشعة تحت الحمراء (FTIR)، حيود الاشعة السينية (XRD) وجهد (Zeta)، لوحظ زيادة أمتصاصية (PVA) بوجود (SOI) وحصل ذلك بسبب الشد السطحي المعقد للبوليمر وهذا الشد السطحي أثر على تركيب الطبقات الماصة للبوليمر وهذه الحقيقة أثبتت من خلال قياسات الامتصاصية بحساب السمك لطبقات الامتصاص للبوليمر على سطح (CaCO_3) بوجود أو غياب (SOI)، أن التفاعل بين ايونات الاوليت و(PVA) هو تفاعل فيزيائي (بواسطة الاصرة الهيدروجينية) [29].

❖ قام (Al Wash) عام (2010) بدراسة الخواص البصرية لاغشية بولي كحول الفانيل النقية والمدعمة بكبريتات الالمنيوم والمحضرة بطريقة الصب، حيث قاس فجوة الطاقة للانتقال المباشر، إذ تم فحص التغيير في فجوة الطاقة وطاقة التنشيط ضمن مدى الاطوال الموجية (200-700) nm ودرجة حرارة تتغير بمعدل $^{\circ}\text{C}$ (25-140) على التوالي. أن فجوة الطاقة تقل بزيادة تركيز ملح كبريتات الالمنيوم وأن طاقة التنشيط للانتقال المباشر تم حسابها باستخدام طريقة حافات أورباخ، ووجد أنها تزداد بزيادة تركيز ملح كبريتات الالمنيوم وتقل بزيادة درجة الحرارة [30].

❖ درس (Nasar et al.) عام (2010) الخواص الحرارية والميكانيكية والتركيبية للمترابكات البوليميرية ((PVA) مع المواد غير العضوية) المحضرة بطريقة الصب، إذ تم اختيار نظامين من كبريتات الصوديوم وكبريتات الليثيوم بتركيزات مختلفة. حيث تم تنقية الاغشية وتجفيفها في درجة حرارة الغرفة، ووجد أن التوصيلية الحرارية لكلا النظامين يعتمد على الطبيعة العالية لتركيز الاملاح المضافة للمترابكات الصناعية. إذ أن التوصيلية الحرارية لـ (كبريتات الصوديوم-PVA) و (كبريتات الليثيوم-PVA) يقل مع زيادة التراكيز للأملاح المضافة، وايضا حللت المترابكات بواسطة حيود الاشعة السينية (XRD) حيث أوضحت القواعد التركيبية لها. ودرست الخواص الميكانيكية مثل متانة الشد ومعامل يونك وأظهرت النتائج أن متانة الشد تقل مع زيادة التراكيز للأملاح المضافة لكلا النظامين [31].

❖ قاما (Chan and Zhang) عام (2010) بالتحقق من تفاعل الاصرة الهيدروجينية لخليط (PVA/PAA) المحضر بطريقة الصب وتأثير هذا التفاعل على الخواص الفيزيائية الريولوجية لهذا الخليط، حيث أوجدت النتائج أن لزوجة المحلول تزداد مع زيادة تركيز (PAA) واعلى لزوجة يمكن الحصول عليها عندما يكون معدل (PVA/ PAA) عند (30-70)، وتم التحقق من قابلية الخلط

بين جزيئات الاصرة الهيدروجينية لـ (PVA/ PAA) بواسطة المسعر الحراري التبايني (DSC)، تحويل فورير للاشعة تحت الحمراء (FTIR) والقياسات الميكانيكية. وأظهرت النتائج أن متانة الشد ازدادت من (89.31MPa) الى (119.8 MPa) ومعامل يونك تحسن فوق (300%) مع زيادة تركيز (PAA) مقارنة مع أغشية (PVA) النقية [32].

❖ درسا (Abdullah and Hussien) عام (2011) الخواص البصرية لاغشية (PVA) المدعمة بيوريد الصوديوم بتركيز مختلفة والمحضرة بطريقة الصب، وأجريت قياسات الامتصاص البصري لجميع العينات في درجة حرارة الغرفة وضمن مدى الاطوال الموجية (1100-190) nm. وقد شملت الدراسة التغيرات في المعاملات البصرية وبما في ذلك عرض الذيل للحزمة وفجوة الطاقة لكافة العينات. ولقد وجد أن الامتصاص البصري ناتج عن الانتقالات المباشرة وغير المباشرة، وان قيمة فجوة الطاقة تتغير الى الحدود الدنيا مع زيادة تركيز يوريد الصوديوم ولكافة الانتقالات. وقد تمت دراسة طيف الامتصاص بعد تلدين العينات بدرجة حرارة (80°C) ولمدة ثلاثة ساعات. إضافة على ذلك أظهرت الدراسة أن معامل الانكسار المعقد يعتمد على تركيز التدعيم [33].

❖ قام (Rabee et al.) عام (2012) بتحضير ودراسة الخواص البصرية للمترابك (PVA- $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) المحضر بطريقة الصب، إذ تم دراسة تأثير إضافة ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) على الخواص البصرية لمحلول (PVA) بنسب وزنية (0,4,6,8) wt%، وأظهرت النتائج بأن الامتصاصية تزداد بزيادة تركيز ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) وكذلك يزداد كلا من معامل الانكسار، ثابت العزل البصري بجزئه الحقيقي، زاوية بروستر ومعامل الخمود بزيادة النسبة الوزنية لـ ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) [34].

❖ حضر (Chopra et al.) عام (2013) أغشية لخلائط (Starch / PVA) مع إضافة جزيئات السليكا (SiO_2) النانوية، حيث حضرت الاغشية بطريقة الصب و بنسبة (60% Starch : 40% PVA) مع تراكيز مختلفة من جزيئات (SiO_2) النانوية لتحسين خواص الخليط. أكدت تحليلات المجهر الالكتروني النافذ (TEM) أن جزيئات (SiO_2) النانوية تكون بشكل كروي وتقع ضمن المدى (3.2nm - 3.8nm)، تم دراسة الخواص الميكانيكية للاغشية (مقاومة الشد ونسبة الاستطالة حد الكسر)، وكانت مقاومة الشد لاغشية (PVA) (14.28MPa) أعلى من أغشية الخلائط وعند إضافة جزيئات (SiO_2) النانوية الى خلائط (Starch / PVA) زادت قوة الشد للخليط مع الزيادة في محتوى جزيئات (SiO_2) النانوية، وكانت قوة شد أغشية الخلائط التي تحتوي على جزيئات (SiO_2) النانوية عند تركيز (2wt%) هي (10.456 MPa) ولكن تبقى هذه القيمة

أقل من قيمة قوة الشد لاغشية (PVA)، وأظهرت النتائج أيضا تناقصا في الاستطالة حد الكسر مع زيادة في محتوى جزيئات (SiO_2) النانوية وكانت الاستطالة حد الكسر (110%) لخليط (Starch / PVA) [35].

❖ قام (Sirait et al.) عام (2014) بدراسة الخواص الميكانيكية والحرارية لمتراكب نانوي (جسيمات نانوية من (ZnS) و(PVA))، حيث تم تحضير المتراكب بطريقة (Sol-gel)، حيث تم إذابة كلا من الجسيمات النانوية (ZnS) و(PVA) مع الماء المقطر وخطهما على الخلاط المغناطيسي بسرعة زاوية (500 rpm) ومعدل درجة حرارة (80°C)، المحلول تشكل بشكل جل (هلام) وتم وضعه في قوالب وتبريده طبيعيا، واخذت نسب خلط مختلفة لمتراكب (PVA:ZnS) وهي (100:0)%، (99:1)%، (98:2)% و(97:3)%، وأظهرت النتائج للاختبارات الميكانيكية أن أقصى معدل لمتانة الشد هو MPa (34.390) والذي تم الحصول عليه عند نسبة خلط للمتراكب (100:0)% وأقصى معدل للاستطالة حد الكسر هو (430.81%) والذي تم الحصول عليه عند نسبة خلط للمتراكب (99:1)% وأقصى قيمة لمعامل المرونة للمتراكب هي MPa (190.73) عند نسبة خلط (98:2)%، وأظهرت نتائج اختبار المسعر الحراري التبايني (DSC) أن أقصى درجة انصهار تم الحصول عليها للمتراكب النانوي (PVA:ZnS) هي عند نسبة خلط (97:3)% وكانت درجة الحرارة عند (224.39 °C) [36].

❖ درس (Pu-you et al.) عام (2014) خواص (PVA) المملن بواسطة الغليسرين، حيث حضرت الاغشية بواسطة طريقة الصب باستخدام مملن الغليسرين، وحلل التفاعل بين (PVA) والغليسرين بواسطة مطياف تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء (FTIR)، التحليل الحراري الوزني (TGA) والمسح التفاضلي التبايني (DSC)، أن الخواص الحرارية والخواص الميكانيكية لـ (PVA) و(PVA) المملن بالغليسرين درست على التوالي. ووجد أن معدل درجة الانتقال الزجاجي ودرجة التحلل الحراري لـ (PVA) المملن أقل من (PVA)، وأن (PVA) المملن أقل متانة وأعلى أستطالة حد الكسر وأعلى قابلية ذوبانية [37].

❖ قام (Luo et al.) عام (2015) بدراسة تأثير نترات الألمنيوم ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) على الخواص البلورية والحرارية والميكانيكية لاغشية (PVA) المحضرة بطريقة الصب، وأن التفاعل بين ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) و (PVA) تم فحصه بواسطة مطياف تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء (FTIR) وأن تأثير ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) على الخواص البلورية والحرارية

والميكانيكية لـ (PVA) درست بواسطة حيود الاشعة السينية (XRD)، المسعر الحراري التبايني (DSC)، التحليل الحراري الوزني (TGA) وأختبار الشد على التوالي. وتشير النتائج الى أن $(Al(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O)$ تستطيع ان تتفاعل مع مجموعة الهيدروكسيل لسلسلة (PVA). من خلال حيود الاشعة السينية (XRD) درست بلورية (PVA) ووجد أنها تتحطم بواسطة $(Al(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O)$ ، وأظهرت دراسة ان المسعر الحراري التبايني (DSC) أن $(Al(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O)$ تستطيع أن تزيد من مرونة سلاسل (PVA) وتقلل درجة الانتقال الزجاجي (T_g) لـ (PVA). أما أختبار الشد أظهر انه بعد اضافة $(Al(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O)$ فإن متانة الشد لاغشية (PVA) تقل مع زيادة بالاستطالة حد الكسر، وظهرت جميع النتائج أن $(Al(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O)$ أظهرت كفاءة عالية على أغشية (PVA) بعد التلدين [38].

❖ درس (Ravindra et al.) عام (2015) الخواص الحرارية والشد لـ (PVA/PVP/Vanillin) المحضر بأستخدام طريقة الصب، وكان الهدف من دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية هو التحقق من ارتباط أغشية الخلائط (PVA/PVP/Vanillin) مع معدل أوزان مختلفة. وأظهرت النتائج للخواص الميكانيكية والحرارية أنه بأضافة (Vanillin) أثر بشكل كبير على أغشية (PVA)، حيث أدى الى تقليل كلا من متانة الشد ومعامل يونك، إذ أن متانة الشد لاغشية الخلائط قلت بالمقارنة مع أغشية (PVA) النقية. أما النتائج الحرارية فأنها تشير الى أن جميع مكونات الخليط قابلة للاختلاط وأن درجة الانتقال الزجاجي (T_g) تستقر عند $(185^\circ C)$ [39].

❖ درسا (Hameed and Gazi) عام (2016) تأثير اضافة (SiO_2) على خواص الالتصاق لـ (PVA)، حضرت النماذج بشكل الواح وبأستخدام طريقة الصب. أظهرت الخواص الميكانيكية زيادة في متانة الشد لمنطقة الالتصاق بأضافة (SiO_2) الى (PVA) من $(34MPa)$ الى $(68MPa)$. بينت قوة اللصق بأن خواص الربط تعتمد على خواص اللصق لـ (PVA) أو (SiO_2/PVA) بمختلف التراكيز $((1.5, 2.5, 3.5, 4.5) wt\%)$ ، متانة اللصق لمادة اللصق، تصميم نقطة الربط، نوع المواد المراد لصقها (المطاط الاسفنجي، الجلد الطبيعي، المطاط المفلكن، الكارتون). أظهرت النتائج أن متانة الشد تزداد بزيادة نسبة (SiO_2) ، لذا يمكن أستخدامها كمادة لاصقة. بينت نتائج قوة القص زيادة في متانة القص بأزدياد نسبة (SiO_2) بالنسبة للمطاط الاسفنجي (SR) والكارتون (Cartoon) في حين هناك زيادة في قوة القص بأزدياد نسبة (SiO_2) الى حد

(2.5%) بالنسبة للجلد الطبيعي والمطاط المفلكن (VR) ومن ثم تقل. من خلال نتائج البحث يمكن التوصية بإمكانية استخدام (SiO_2) كمادة لاصقة واحدة وأكثر مناسبة للمطاط الاسفنجي والكارتون [40].

❖ قام (Puyou et al.) عام (2016) بدراسة الية التلدين وتأثير كلوريد الالمنيوم ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) والجليسرين على أغشية (PVA) المحضرة بطريقة الصب، حيث تم تحضير نوعين من الملدنات المعقدة هما الجليسرين/ $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ و بولي الجليسرين/ $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. أن المورفولوجيا المجهرية لأغشية (PVA) النقية وأغشية (PVA) الملدنة بالملدنات المعقدة تم ملاحظتها بواسطة المجهر الالكتروني الماسح (SEM). ان التفاعل بين الملدنات المعقدة وجزئيات (PVA) تم التحقق منها بواسطة مطياف تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء (FTIR) وان تأثير الملدنات المعقدة على الخواص البلورية والحرارية والميكانيكية لأغشية (PVA) تم دراستها بواسطة حيود الأشعة السينية (XRD)، المسعر الحراري التبايني (DSC)، التحليل الحراري الوزني (TGA) واختبار الشد على التوالي. وأظهرت النتائج ان كلا من الملدنات المعقدة الجليسرين/ $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ و بولي الجليسرين/ $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ تستطيع أن تتفاعل مع جزئيات (PVA) ومن ثم تدمر بلورية (PVA) بشكل فعال. وكذلك تصبح أغشية (PVA) الملدنة بالملدنات المعقدة أكثر ليونة ومطيلية مع أقل متانة شد وأعلى استطالة لحد الكسر مقارنة بأغشية (PVA) النقية [41].

❖ درس (Salman et al.) عام (2016) تحضير ودراسة بعض الخواص البصرية لأغشية المتراكبات (FeCl_3 - PVA)، حيث حضرت الأغشية بطريقة الصب وبتراكيز مختلفة من (FeCl_3) ((1,3,5,7 and 9) wt%)، تم دراسة الخواص البصرية لأغشية (PVA) النقية والمشوبة بكلوريد الحديد (FeCl_3)، تم تسجيل طيفا النفاذية والامتصاصية ضمن طول موجي (250-1100) nm، حيث أظهرت النتائج البصرية لأغشية المتراكبات (FeCl_3 - PVA) أن النفاذية تقل مع زيادة تراكيز التشويب بينما الامتصاصية تزداد بزيادة تراكيز التشويب، ووجد أن معامل الامتصاص، معامل الانكسار، معامل الخمود والجزأين الحقيقي والخيالي لثابت العزل تزداد جميعها مع زيادة تراكيز التشويب، كذلك أظهرت النتائج ان الانتقالات الالكترونية هي انتقال الكتروني غير مباشر مسموح، فجوة الطاقة (E_g) و طاقة اورياخ (E_u) تقل مع زيادة تراكيز التشويب [42].

❖ درست (Jalal et al.) عام (2017) تأثير كلوريد الليثيوم (LiCl) المضاف لأغشية (PVA) على التوصيلية الكهربائية، حيث حضرت الاغشية بطريقة الصب وبنسب مختلفة من (LiCl)

((0.2, 0.4, 0.6, 0.8) wt%) عند خلط (LiCl) مع محلول (PVA) النقي أزدادت التوصيلية الكهربائية، أن تأثير إضافة (LiCl) على الاواصر الكيميائية لاغشية (PVA) أتضح بواسطة تحويل فورير للاشعة تحت الحمراء (FTIR)، ودرست التوصيلية الكهربائية (D.C) ضمن مدى درجات الحرارة K (273-373). واطهرت النتائج أن التوصيلية الكهربائية زادت مع زيادة تركيز (LiCl) ودرجة الحرارة، ووجد أن زيادة تركيز (LiCl) قللت من تنشيط الطاقات لاغشية (PVA) [43].

❖ قام (Cheng-an et al.) عام (2017) بدراسة الخواص الميكانيكية لأغشية متراكب (PVA) مع أوكسيد الكرافين (GO) والمحضرة بطريقة الصب، أن من أهم فوائد (GO) هو استخدامه كمقوي ميكانيكي في تحضير غشاء متراكب (PVA)، كذلك يعتبر معيار لمدى قوة تأثير تركيز (GO) على خواص أجهاد الشد واجهاد الفشل لأغشية متراكب (PVA / GO). وأظهرت النتائج أن زيادة تركيز (GO) تصبح متانة الشد لأغشية المتراكب كبيرة بشكل ملحوظ في البداية وبعدها تبدأ بالتناقص تدريجياً، عندما تكون نسبة (GO) (20%) فالغشاء يمتلك أعظم أجهاد شد (59.6 MPa) وهو أكبر (500%) من أجهاد الشد للغشاء (PVA) النقي. أجهاد الفشل لـ (PVA / GO) يتناقص بصورة رئيسية عندما تزداد كمية (GO)، التحسين الميكانيكي لهذا المتراكب يظهر من خلال الاواصر المتعددة للهيدروجين بين مجموعة الهيدروكسيل (-OH) لـ (PVA) ومحتوى الاوكسجين في مجموعة (GO) [44].

(7-1) الهدف من الدراسة

Aim of Study

تهدف الدراسة الحالية الى:

1- تحضير أغشية من بوليمر بولي كحول الفانيل (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الالمنيوم $(AlCl_3 \cdot 6H_2O, Al(NO_3)_3 \cdot 9 H_2O)$ بطريقة الصب وبنسب وزنية مختلفة ((0,1,3,5,7,9,11,13,15) wt%).

2- دراسة بعض الخواص البصرية، الميكانيكية والحرارية لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الالمنيوم.

الفصل الثاني

الجزء النظري

(1-2) المقدمة

Introduction

يضم هذا الفصل الجانب النظري حول موضوع دراستنا إذ يتضمن القوانين و المعادلات لبعض الخواص الفيزيائية للمتراكبات التي تم استخدامها في توضيح الجانب العملي لنتائج الدراسة الحالية.

(2-2) الخواص البصرية

Optical Properties

إن الهدف من دراسة الخواص البصرية للبوليمرات هو معرفة الخواص البصرية والمتغيرات البصرية للمواد من خلال دراسة طيف الامتصاصية والنفاذية لمدى واسع من الأطوال الموجية. إن طبيعة الشحنات وطريقة توزيعها في البوليمرات هي التي تكون مسؤولة عن الخواص البصرية. وإن طيف الامتصاصية ينتج من ظاهرة الفقد في الطاقة الناتجة عن التفاعل الحاصل بين الضوء والشحنات التي تحتويها المادة.

(1-2-2) حافة الأمتصاص الأساسية Fundamental Absorption Edge

حافة الأمتصاص الأساسية تمثل مقدار الزيادة السريعة الحاصلة في الأمتصاص عندما تكون طاقة الإشعاع الممتصة مساوية تقريباً لفجوة الطاقة، إذ أن حافة الأمتصاص الأساسية تمثل أقل فرق في الطاقة بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ واطأ نقطة في حزمة التوصيل [45,46]. مناطق حافة الامتصاص الأساسية تقسم إلى ثلاث مناطق مميزة وكما في الشكل (1-2) الذي يبين العلاقة بين معامل الأمتصاص (α) وطاقة الفوتون ($h\nu$) [46].

a- منطقة الامتصاص العالي

High Absorption Region

في هذه المنطقة يكون معامل الامتصاص ($\alpha \geq 10^4 \text{ cm}^{-1}$)، وتحدث الانتقالات بين المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ إلى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل، ومن خلال هذه المنطقة يمكن معرفة قيمة فجوة الطاقة (E_g)، والعلاقة المستخدمة في هذه المنطقة هي كالآتي [47]:

$$\alpha h\nu = P(h\nu - E_g)^r \dots\dots\dots(1-2)$$

حيث ان:

P : ثابت يعتمد على طبيعة المادة، $h\nu$: طاقة الفوتون بوحدة (eV).

E_g : فجوة الطاقة، r : معامل أُسّي يعتمد على طبيعة الانتقال.

الشكل (a-1-2) يبين منطقة الأمتصاص العالي.

b- منطقة الأمتصاص الأسّي Exponential Absorption Region

في هذه المنطقة تكون قيمة معامل الأمتصاص ($1 < \alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$) حيث ان حافة الأمتصاص تزداد أسياً بسبب حدوث زيادة تدريجية في الأمتصاص تمتد لبضعة الكترون فولت، وان هذه الحافة تدعى بحافة أورباخ (Urbach Edge)، وتحدث الانتقالات في منطقة الأمتصاص الأسّي من المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ الى المستويات الموضعية في حزمة التوصيل، وكذلك من المستويات الموضعية في حزمة التكافؤ الى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل [48]. ويمكن التعبير عن معامل الأمتصاص في هذه المنطقة باستخدام العلاقة الأتية [47]:

$$\alpha = \alpha_0 \exp(h\nu/E_u) \dots\dots\dots(2-2)$$

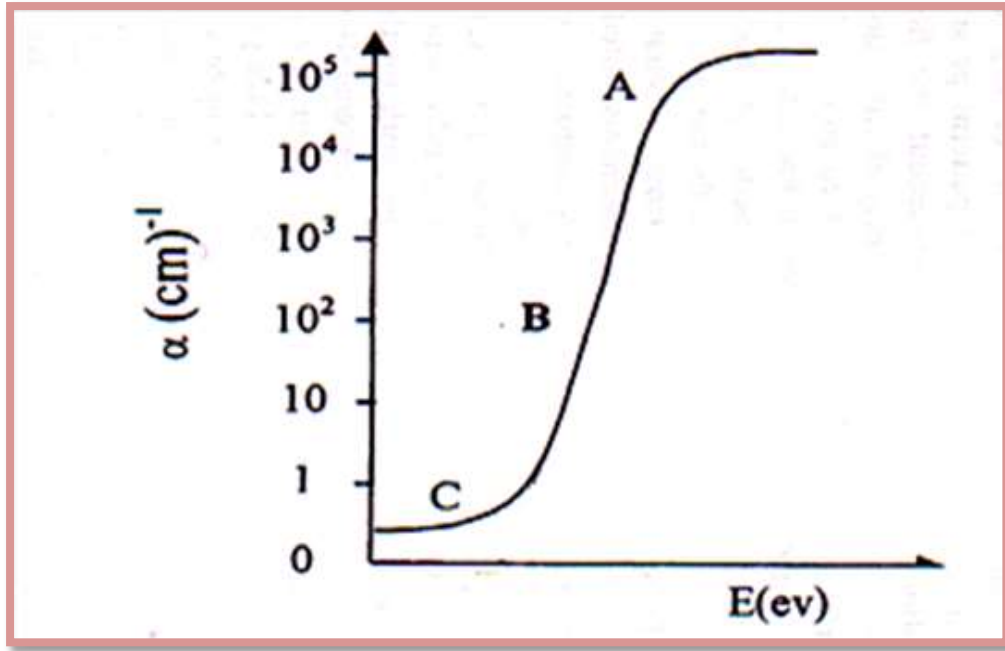
حيث ان:

α_0 : ثابت التناسب.

E_u : تمثل عرض الذبول للمستويات الموضعية في منطقة فجوة الطاقة (طاقة ذبول أورباخ) وهي مساوية الى مقلوب ميل المستقيم ($\ln \alpha$) مقابل طاقة الفوتون ($h\nu$). والشكل (b-1-2) يوضح منطقة الأمتصاص الأسّي.

c- منطقة الأمتصاص الواطئ Low Absorption Region

في هذه المنطقة تكون قيمة معامل الأمتصاص صغيرة جداً ($\alpha < 1 \text{ cm}^{-1}$)، ويعزى ذلك الى الانتقالات في الذيلين داخل الحزمة ويلاحظ في هذا الجزء ذيل الأمتصاص (Absorption Tail)، ومن الصعب دراسته نظراً للمستوى الواطئ من الأمتصاص. والشكل (c-1-2) يوضح منطقة الأمتصاص الواطئ [49].



الشكل (1-2): مناطق حافة الامتصاص الاساسية [49]:

(a) منطقة الامتصاص العالي (b) منطقة الامتصاص الاسي (c) منطقة الامتصاص الواطيء

Transmittance (2-2-2) النفاذية (T)

هي النسبة بين شدة الاشعاع النافذ (I_t) من الغشاء إلى شدة الاشعاع الساقط (I_0) على الغشاء وتحسب من العلاقة الآتية [50]:

$$T = I_t / I_0 \quad (3-2)$$

وان النفاذية ترتبط مع الامتصاصية (A) وفق العلاقة الآتية [51]:

$$A = \log(1/T) \quad (4-2)$$

Absorbance (3-2-2) الامتصاصية (A)

تعرف الامتصاصية بانها النسبة بين شدة الاشعاع الممتص (I_A) من قبل الغشاء الى شدة الاشعاع الساقط (I_0) على الغشاء، ويعبر عنها بالعلاقة الآتية [50]:

$$A = I_0 / I_A \quad (5-2)$$

وان علاقة النفاذية مع الامتصاصية تتمثل بالعلاقة الآتية [51]:

$$T=e^{-2.303A} \dots\dots\dots (6-2)$$

Optical Constants الثوابت البصرية (4-2-2)

Absorption Coefficient معامل الامتصاص (α) (1-4-2-2)

يعرف معامل الامتصاص بأنه مقياس لنسبة الخسارة الحاصلة في شدة الضوء من الحزمة الضوئية الساقطة مباشرة خلال سمك معين [52]. حيث ان الأمتصاص يمثل النقص الحاصل في طاقة الاشعاع الكهرومغناطيسي عند دخوله وسط معين [53]، وان معامل الامتصاص يعتمد على نوع الانتقالات الالكترونية وعلى طاقة الفوتون الساقط وايضا يعتمد على خواص المادة بالنسبة لفجوة الطاقة [47]، فعندما تسقط حزمة ضوئية شدتها (I_0) على غشاء فان شدة الشعاع النافذ تكون (I) حسب قانون لامبرت (Lambert Law) [54]:

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (7-2)$$

وان العلاقة (7-2) يمكن كتابتها بالصيغة الآتية:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\alpha t \dots\dots\dots (8-2)$$

$$\alpha t = 2.303 \log \frac{I_0}{I} \dots\dots\dots (9-2)$$

بما أن المقدار $\log (I_0/I)$ يمثل امتصاصية مادة الغشاء فان العلاقة (9-2) يمكن كتابتها بالصيغة الآتية [54]:

$$\alpha = 2.303 \frac{A}{t} \dots\dots\dots (10-2)$$

حيث إن معظم الفوتونات الممتصة (63%) تحدث عند المسافة ($1/\alpha$) التي تدعى بعمق الاختراق (Penetration Depth). إن تحديد قيمة معامل الامتصاص (α) يساعد في معرفة طبيعة الانتقالات الإلكترونية التي تحدث بين الحزم فإذا كانت قيمة معامل الامتصاص (α) عالية، أي أن ($\alpha > 10^4 \text{ cm}^{-1}$) فان ذلك يعني احتمالية حدوث انتقال إلكتروني مباشر، أما اذا كانت قيمة معامل الامتصاص (α) قليلة، أي ان ($\alpha < 10^4 \text{ cm}^{-1}$) فان ذلك يدل على احتمالية حدوث انتقال إلكتروني غير مباشر [55].

Refractive Index

(2-4-2-2) معامل الانكسار (n_0)

يُعرف معامل الانكسار على أنه النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في الوسط، وهو يمثل الجزء الحقيقي من معامل الانكسار المعقد (N) [56]، ويعبر عن معامل الانكسار بالعلاقة الآتية [57]:

$$n_0 = \left[\left(\frac{1+R}{1-R} \right)^2 - (k_0^2 + 1) \right]^{1/2} + \frac{1+R}{1-R} \dots\dots\dots (11-2)$$

حيث أن:

R : الانعكاسية.

k_0 : معامل الخمود.

ويعبر عن معامل الانكسار المعقد بالعلاقة الآتية:

$$N = n_0 - ik_0 \dots\dots\dots (12-2)$$

Extinction Coefficient

(3-4-2-2) معامل الخمود (k_0)

يعرف معامل الخمود على أنه كمية الطاقة الممتصة من قبل الكثرونات المادة أي أنه الخمود الحاصل في الموجة الكهرومغناطيسية داخل المادة، أي الفقد من الطاقة بسبب التفاعل بين الموجة الكهرومغناطيسية وجسيمات المادة وغيرها من العوامل التي تسبب فقد في طاقة الموجة، وإن معامل الخمود يمثل الجزء الخيالي من معامل الانكسار المعقد، ويحسب معامل الخمود من العلاقة الآتية [58,59]:

$$k_0 = \alpha\lambda/4\pi \dots\dots\dots (13-2)$$

حيث أن:

λ : الطول الموجي للاشعة الساقطة بوحدة (cm).

(4-4-2-2) ثابت العزل البصري ($\epsilon^{opt.}$)

Optical Dielectric Constant

ان ثابت العزل هو عملية فقد الطاقة الناتجة عن حدوث اختلاف في سرعة الضوء في الفراغ وسرعة الضوء في وسط معين، وهو يمثل قابلية المادة على الاستقطاب، حيث انه يمثل استجابة المادة لترددات مختلفة وبسلوك معقد، ففي الترددات البصرية المتمثلة بالموجات الضوئية فان الاستقطابية الإلكترونية تكون هي السائدة على أنواع الاستقطاب الأخرى، وان درجة الاستقطاب للمادة لا تعتمد فقط على المجال الكهربائي بل تعتمد على الخصائص الجزيئية للمادة ايضاً، وأن التفاعل بين الضوء وشحنات الوسط وما ينتج عن ذلك التفاعل من استقطاب لشحنات الوسط يُوصف عادةً بثابت العزل المعقد للوسط ويرمز له بالرمز (ϵ) والذي يعطى بالعلاقة الآتية [57,60]:

$$\epsilon^{opt.} = \epsilon_1 - i \epsilon_2 \quad \dots \dots \dots (14-2)$$

حيث إن:

$\epsilon^{opt.}$: ثابت العزل المعقد.

ϵ_1 : الجزء الحقيقي لثابت العزل.

ϵ_2 : الجزء الخيالي لثابت العزل.

ويرتبط ($\epsilon^{opt.}$) مع (N) بالعلاقة الآتية:

$$\epsilon^{opt.} = N^2 \quad \dots \dots \dots (15-2)$$

وعند التعويض عن قيمة كل من (N) و ($\epsilon^{opt.}$) نحصل على:

$$\epsilon_1 - i \epsilon_2 = (n_0 - i k_0)^2 \quad \dots \dots \dots (16-2)$$

وان الجزء الحقيقي والجزء الخيالي لثابت العزل يمكن كتابته بالشكل الآتي:

$$\epsilon_1 = n_0^2 - k_0^2 \quad \dots \dots \dots (17-2)$$

$$\epsilon_2 = 2 n_0 k_0 \quad \dots \dots \dots (18-2)$$

ومن العلاقتين (17-2) و(18-2) يمكن حساب ثابت العزل الحقيقي والخيالي على التوالي للأغشية المحضرة.

Electronic Transitions (5-2-2) الانتقالات الإلكترونية

يوجد نوعان من الانتقالات الإلكترونية اعتماداً على موقع أعلى نقطة في قمة حزمة التكافؤ وأوطاً نقطة في قعر حزمة التوصيل وهي الانتقالات المباشرة والانتقالات غير المباشرة [61]:

Direct Transitions (1-5-2-2) الانتقالات الإلكترونية المباشرة

يحدث الانتقال المباشر عندما ينتقل الإلكترون من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل عند النقطة نفسها في فضاء متجه الموجة (k-space) أي إن $(\Delta k=0)$ وفي هذه الحالة فإن الامتصاص سوف يظهر عند $(h\nu=E_g^{opt})$ وأن هذا النوع يحدث من دون تغيير ملحوظ في الزخم [62,63]. ويصاحب هذا النوع من الانتقال تفاعل بين الفوتون الساقط والإلكترون في حزمة التكافؤ فقط بحيث يكون كل من الطاقة والزخم محفوظين [64]، وكما في العلاقة الآتية:

$$E_f - E_i = h\nu \quad \dots\dots\dots (19-2)$$

$$K_f - K_i = q \quad \dots\dots\dots (20-2)$$

حيث إن:

E_f, E_i : الطاقة الابتدائية والنهائية للإلكترون في كل من حزمة التكافؤ والتوصيل على التوالي.

K_f, K_i : متجه الموجة الابتدائي والنهائي للإلكترون في حزمة التكافؤ والتوصيل على التوالي.

$h\nu$: طاقة الفوتون الممتص.

q : تمثل متجه الموجة للفوتون الساقط.

وبما أن قيمة (q) تكون صغيرة جداً بالمقارنة مع قيمة الإلكترون لذلك فإنه يهمل وتصبح العلاقة (20-2) كالآتي:

$$K_f = K_i \dots\dots\dots (21-2)$$

إن هذا الانتقال يعرف بالانتقال المباشر المسموح (Allowed Direct Transition)، وفي بعض الأحيان يسمى بالانتقال العمودي وكما مبين بالشكل (a-2-2). أما عندما يحدث انتقال الإلكترون بين النقاط المجاورة لأعلى وأوطى نقطة في حزمي التكافؤ والتوصيل على التوالي فإن هذا النوع من الانتقال يعرف بالانتقال المباشر الممنوع (Forbidden Direct Transition) وكما مبين بالشكل (b-2-2). وأن معامل الأمتصاص لهذا النوع من الانتقالات يمكن حسابه من علاقة تاوس (Taus Relationship) والمتمثلة بالعلاقة (1-2) [64].

حيث يتضح من المعادلة (1-2) أن قيمة (r) هي التي تحدد نوع الانتقال الإلكتروني، فإذا كانت قيمة (r = 1/2) فإن الانتقال يكون مباشر مسموح أما إذا كانت قيمة (r = 3/2) فإن الانتقال يكون مباشر ممنوع [65].

(2-5-2-2) الانتقالات الإلكترونية غير المباشرة Indirect Transitions

يقصد بالانتقال غير المباشر الانتقال الذي يحدث عند عدم تطابق طاقتي قمة حزمة التكافؤ وقعر حزمة التوصيل في فضاء متجه الموجة (k-space)، إذ أن الانتقال يكون بين نقطة في حزمة التكافؤ وأية نقطة في حزمة التوصيل ويكون هذا النوع من الانتقال غير عمودي وبذلك فإن قيمة متجه الموجة للإلكترون تكون غير متساوية قبل الانتقال وبعده (Δk ≠ 0) [64,66]. إن هذا النوع من الانتقال يصاحبه تغير في زخم البلورة وإن هذا التغير في الزخم يعوض من قبل الشبكة، وهذا الانتقال يحدث بمساعدة الفونون من أجل تحقيق قانوني حفظ الطاقة والزخم، ويطلق على المواد التي تمتلك هذا النوع من الانتقال بالمواد ذات فجوة الطاقة غير المباشرة (Indirect-Energy Gap)، وإن معامل الامتصاص في الانتقالات غير المباشرة يمكن الحصول عليه من العلاقة الآتية [56,67]:

$$\alpha h\nu = P' (h\nu - E'_g{}^{opt} \pm E_p)^r \dots\dots\dots (22-2) \quad -$$

حيث إن:

P': ثابت يعتمد على نوع المادة.

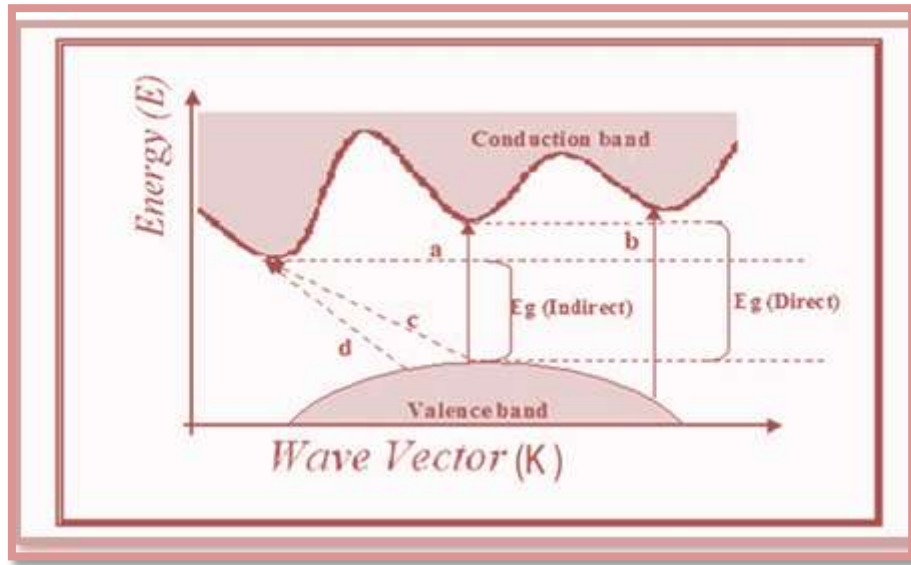
E'_g{}^{opt}: فجوة الطاقة البصرية للانتقال غير المباشر بوحدة (eV).

E_p: طاقة الفونون المساعد بوحدة (eV).

الإشارة (+): تعني امتصاص فونون.

الإشارة (-): تعني انبعاث فونون.

والانتقالات غير المباشرة تكون على نوعين، الأول عندما ينتقل الإلكترون بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ وأوطأ نقطة في حزمة التوصيل فيسمى هذا النوع بالانتقال غير المباشر المسموح وكما مبين بالشكل (c-2-2) وفيه تكون قيمة $(r=2)$ ، أما النوع الثاني فيحدث عندما تكون الانتقالات بين نقاط مجاورة لأعلى وأوطأ نقطة في حزمة التكافؤ والتوصيل على التوالي ويسمى هذا النوع بالانتقال غير المباشر الممنوع وكما مبين بالشكل (d-2-2) وفيه تكون قيمة (r) مساوية الى (3). ان عملية الامتصاص او الانبعاث في هذه الانتقالات تكون معتمدة على درجة الحرارة على خلاف ما هو عليه في الانتقالات المباشرة [68,69].



الشكل (2-2): أنواع الانتقالات الألكترونية [70]:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| (a) انتقال مباشر مسموح | (b) انتقال مباشر ممنوع |
| (c) انتقال غير مباشر مسموح | (d) انتقال غير مباشر ممنوع |

(3-2) تحويل فوريير للأشعة تحت الحمراء

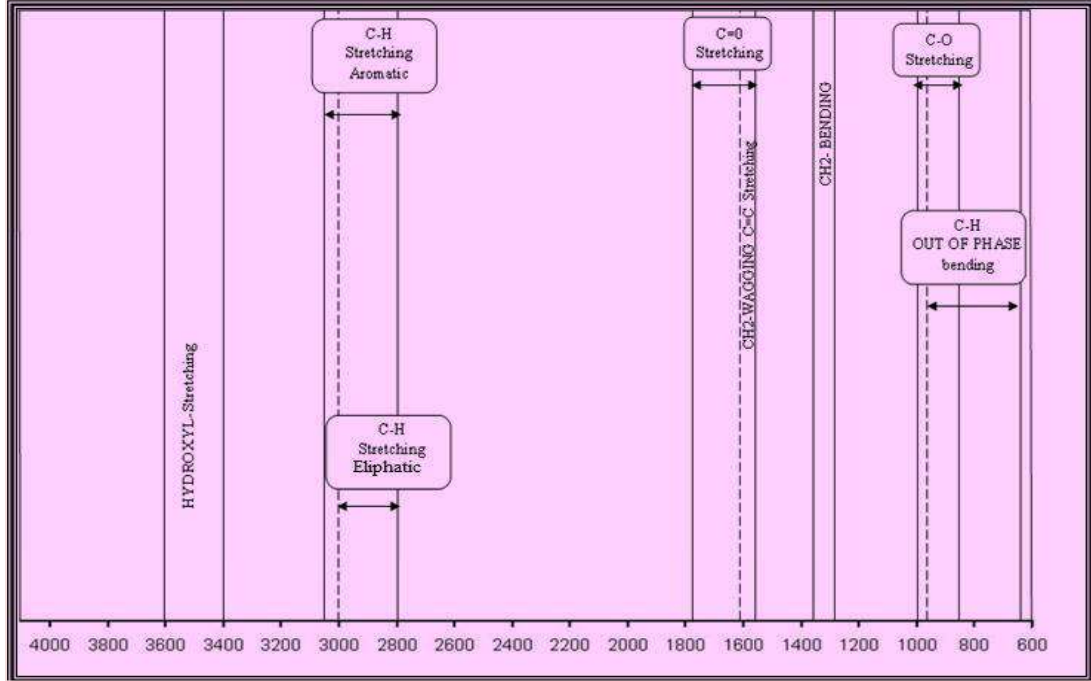
Fourier Transformation Infrared (FTIR)

يستخدم مطياف (FTIR) للحصول على معلومات محددة عن التأصر الكيميائي (Chemical Bonding) والتركيب الجزيئي وكذلك يمكن الاستفادة منه في تحليل مواد عضوية ومواد لاعضوية معينة. الاواصر الكيميائية تهتز بترددات خاصة و عندما تتعرض للأشعة تحت الحمراء فإنها سوف تمتص الاشعاع عند الترددات التي تكون متوافقة مع خط اهتزازها.

طاقة الاشعة تحت الحمراء تكون كافية على عمل اهتزازات الاواصر الكيميائية، أن طيف (IR) وأستطارة رامان (Raman Scattering) يشتملان على اهتزازات خاصة بالأواصر الكيميائية، ويوجد نوعان أساسيان من الاهتزازات هما التمدد (Stretching) والانحناء (Bending) (اي بمعنى ثني الزوايا بين الاواصر)، ويتطلب الانحناء طاقة أقل، لذلك فإنه يحدث عند الترددات الأدنى بالنسبة للأواصر نفسها، يوجد نوعان من التمددات، تمددات متناظرة (Symmetric) وتمددات غير متناظرة (Asymmetric). يحتاج التمدد المنتظم الى طاقة أقل من التمدد غير المنتظم، إذ تتألف السلسلة البوليميرية من مجاميع كيميائية تكون متكررة (وحدات) التي تترتب حول محور السلسلة وبالأسلوب نفسه ولجميع المجاميع [71,72].

بصورة عامة ففي الجزيئات الصغيرة نسبيا والجزيئات المنتظمة بشكل كبير (Highly Symmetrical Molecules) تكون أمكانية ربط أطياف (IR) الاهتزازية الملحوظة مع الاهتزازات الاعتيادية للجزيئات الكبيرة أمرا مستحيلا، ولكن يمكن الحصول على معلومات مفيدة من ذلك الطيف، فيمكن تحليل ذلك الطيف لان الاهتزازات الطبيعية (Normal Vibrations) تشتمل على الحركات الموضعية (Quite Localized Motions) ضمن الجزيئة، وتدعى اهتزازات المجموعة الخاصة (Characteristic Group Vibrations)، كما مبين بالشكل (3-2) [73]، أما بالنسبة الى جزيئات البوليمر فإن عدد الذرات لكل جزيئة يكون كبير جدا، وهذا يؤدي الى عدد كبير من الاهتزازات الطبيعية، وعليه فإن من المدهش جدا ان تكون بسيطة نسبيا في معظم البوليمرات، ولا يمكن أن يتضح هل ان الطيف خاص بمركب مجهول لذلك البوليمر أو لجزيئة صغيرة جدا، ومن أسباب البساطة في معظم اطياف البوليمرات أنها ثنائية البعد (Two Fold) الاول يعمل

على دمج الاهتزازات الطبيعية التي تكون بنفس التردد ويظهر في الطيف بشكل حزمة واحدة فقط، والثانية حصراً بقواعد الاختيار (Selection Rules) بحيث ان القليل من الاهتزازات الطبيعية يكون من النوع الفعال (IR-Active) [74].



الشكل (3-2): منطقة طيف (IR) لمجاميع مهمة في البوليمر [73].

Mechanical Properties

(4-2) الخواص الميكانيكية

أصبحت دراسة الخواص الميكانيكية من الدراسات المهمة جداً والجديرة بالفحص والقياس والمناقشة لما لها من أهمية بالغة في تحديد المدى الذي يمكن ان تعمل به المواد المتراكبة ومدى نجاحها او فشلها. أن اختيار المواد غالباً ما يكون على أساس ما تتمتع به المادة من خواص ميكانيكية التي تعني سلوك المواد الهندسية تحت تأثير القوى والأحمال وتحت مختلف الظروف، إن منافسة المواد البوليمرية المتراكبة للمواد الأخرى تعتمد على خواصها الميكانيكية المرغوبة من حيث قوتها العالية ومرونتها فضلاً عن سهولة تصنيعها ورخصها نسبياً. والخواص الميكانيكية تميز المواد عندما تسلط قوة على المادة، عادة تتعلق بالسلوك المرن واللدن للمادة. تعتمد الاستعمالات العامة والهندسية للبوليمرات إلى حد كبير على صفاتها الميكانيكية الجيدة

وخاصة قوتها العالية نسبياً وقابليتها على التشوه بتأثير الأجهادات، وتنشأ هذه الازدواجية في صفات البوليمر من طبيعة تركيبه، إذ أن وجود نوعين من القوى وهما الأواصر الكيميائية والروابط الثانوية بين الجزيئات هي التي تؤثر بصورة أو بأخرى على صفاتها الميكانيكية [75,76].

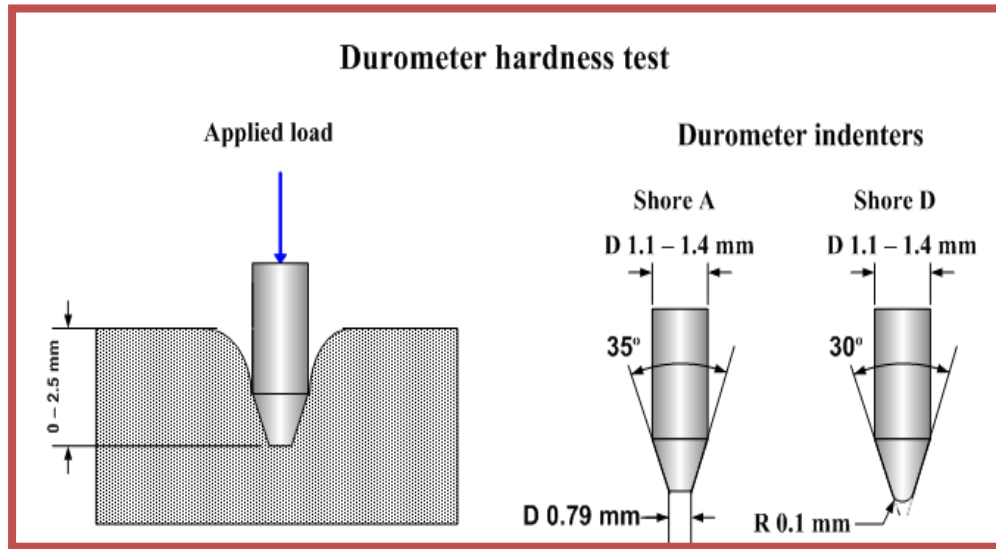
Hardness Test

(1-4-2) اختبار الصلادة

تعد الصلادة من الخواص الميكانيكية السطحية المهمة التي يمكن تعريفها بأنها مقاومة المادة للغرز أو النقر (Indentation) في المناطق السطحية منها. وأن قيمة الصلادة تعطي دليلاً للمقاومة (Index of Strength) وتماسك التركيب (Structure Coherence) وترتبط الصلادة مع المقاومة الميكانيكية للمادة حيث تكون (في اغلب الأحيان) المادة ذات الصلادة الواطئة ذات مقاومة خضوع واطئة [9]. ولكنها في الوقت نفسه تعطي فكرة جيدة جداً ونسبية عن متانة وتماسك كتلة المادة أيضاً، باستعمال أحمال صغيرة، وهو اختبار غير إتلافي لعدم إتلاف العينة (Nondestructive) إذ لا تنكسر العينة عند الاختبار ولا تنتشوه بشكل مفرط إذ يكون التشوه بشكل ثقب صغير جداً فوق سطح العينة. وفي الدراسة الحالية تم اعتماد صلادة شور لأن صلادة شور تعتمد لقياس صلادة المواد البوليمرية وهناك نوعان من صلادة شور هما: النوع الأول يعرف بشور (Shore A) ويستعمل للبلاستيك اللين (Softer) والنوع الآخر يعرف بشور (Shore D) ويستعمل للبلاستيك الصلب (Harder)، ومن أسباب الأفضلية لاختبار الصلادة هو سهولة الاختبار ورخص الأجهزة المستعملة نوعاً ما ولا يحتاج إلى تحضير عينة خاصة [77,2]. ويتم اختبار الصلادة بسهولة وسرعة دون أن ينتج عنه تحطيم للمادة المراد اختبارها ولذا فقد لقي اختبار الصلادة انتشاراً واسعاً في المجال الصناعي، وهناك طرق عديدة لاختبار صلادة المادة، والتي سندرج بعضها منها كما هو موضح في الجدول (1-2) [78]. والشكل (4-2) يوضح مخطط اختبار صلادة التحمل لشور [78].

الجدول (1-2): يوضح بعض أنواع الصلادة [2,78].

ت	نوع الصلادة	نوع أداة التغلغل
1	صلادة برينيل (Brinell Hardness)	كرة كاربيدية أو فولاذية
2	صلادة فيكرز (Vickers Hardness)	هرم ماسي
3	صلادة روكويل (Rockwell Hardness)	مخروط ماسي
4	صلادة شور (A,D) (Shore (A,D) Hardness)	إبرة
5	صلادة شور سكليرسكوب (Shore Scleroscope Hardness)	سقوط كرة لحظي
6	صلادة نوب المايكروية ((Knoop) Micro Hardness)	



الشكل (2-4): مخطط اختبار صلادة التحمل لشور [79].

Tensile Test

(2-4-2) اختبار الشد

يعد اختبار الشد من الفحوصات الميكانيكية المهمة للمواد المترابكة لمعرفة خواصها الهندسية، أكثر أنواع قياسات (الاجهاد-الانفعال) شيوعاً اختبار الشد، فعند شد المادة وسحبها يطبق اجهاد شد (σ) على وحدة المساحة (A) حيث يعبر عنه بالعلاقة الآتية [80]:

$$\sigma = F / A \quad (23-2)$$

حيث إن:

σ : أجهاد الشد بوحدات (N/m^2).

F : القوة المسلطة بوحدات (N).

A : مساحة مقطع العينة بوحدات (m^2).

وإذا سبب اجهاد الشد استطالة (L) فإن انفعال الشد (ϵ) يمكن ان يعطى بالعلاقة الآتية [80]:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (24-2)$$

حيث أن:

L : الطول النهائي للعينة بوحدات (mm).

L_0 : الطول الأصلي للعينة بوحدات (mm).

ΔL : مقدار التغير في الطول بوحدات (mm).

وعند وصول عملية الشد الى اقصاها، بعبارة اخرى، زيادة القوة حتى فشل المادة، تقاس متانة الشد القصوى من خلال العلاقة الآتية [80]:

$$T.S_{max} = F / A \quad (25-2)$$

حيث أن:

$T.S_{max}$: متانة الشد القصوى بوحدات (N/mm^2).

F : القوة عند الفشل بوحدات (N).

A : مساحة المقطع العرضي للعينة عند الفشل بوحدات (mm^2).

ومن الطبيعي ان المادة عند شدها تقل ابعادها العمودية في اتجاه تسليط القوة، وبهذا فأن مساحة المقطع العرضي سوف تقل [80].
أن خواص الشد هي:

- 1- **مقاومة المادة (Resistance Material):** هي الاجهاد المطلوب لإحداث كمية محددة من التشوه اللدن لمقاومة الخضوع (أقصى اجهاد يمكن للمادة تحمله) أو مقاومة الشد، فمقاومة المادة تبعا لهذين المعيارين لها تطبيقات كبيرة في التصميم الهندسي.
- 2- **مطيلية (Ductility):** هي مقياس لكمية التشوه التي تتحملها المادة قبل الكسر. نادرا ما تستعمل المطيلية بشكل مباشر في التصميم الهندسي ولكنها تذكر في المواصفات القياسية للمواد لضمان المتانة و الجودة.
- 3- **الاجهاد (Stress):** هو القوة المسلطة على وحدة المساحة العمودية للعينة ووحدته (N/m^2) ويحسب بقسمة الحمل على مساحة المقطع الأولية و يسمى الناتج بالاجهاد الهندسي وتختلف قيمته عن الاجهاد الحقيقي.
- 4- **الانفعال (Strain):** هو الاستطالة الناتجة من تسليط قوة بطريقة الشد أو التقلص الناتج من تسليط قوة بطريقة الانضغاط ويحسب بقسمة الاستطالة على الطول الأولي للمعيار، ويسمى الانفعال الهندسي وتختلف قيمته عن الانفعال الحقيقي.
- 5- **مقاومة الشد (Tensile Strength):** هي أعلى قيمة للاجهاد في منحنى الاجهاد - الانفعال.

هناك عدة عوامل تؤثر بفحص الشد هي [81]:

- 1- درجة الحرارة (كلما ازدادت درجة الحرارة زادت قيمة الشد للمادة).
- 2- الوزن الجزيئي للمادة (العلاقة طردية بين الوزن الجزيئي للمادة المتراكبة وقوة الشد لها حتى تبلغ نهاية عظمى بعدها يكون لزيادة الوزن الجزيئي تأثير طفيف في قوة الشد).
- 3- درجة التشابك (Cross-Linking): تزداد قوة الشد كلما زاد التشابك، وبالتالي تزداد الاستطالة والعكس صحيح.

(1-2-4-2) منحنى (الاجهاد – الانفعال) (Stress-Strain) Curve

عند تسليط حمل معين على عينة الاختبار بحيث يكون منطبقا على المحور الطولي للعينة فإنها سوف تعاني استطالة معينة حسب مقدار القوة المسلطة عليها وبذلك نحصل على منحنى هندسي يدعى بمنحنى (اجهاد – انفعال) والذي يبينه الشكل (2-5).

يعرف الإجهاد (Stress) بأنه القوة المسلطة على وحدة المساحة العمودية أو نسبة الحمل المسلط على مساحة المقطع المستعرض للعينة، ويرمز للإجهاد بالرمز (σ) ووحدات قياس الإجهاد (N/m^2) ويقاس من خلال العلاقة (23-2).

يعد الإجهاد من الخواص الميكانيكية المهمة لجميع البوليمرات فعند تسليط جهد ما على إنموذج من البوليمر بسرعة ثابتة وقياس التشوه (Deformation) الحاصل، إما بدلالة تغير في الطول أو تغير في المساحة أو تغيير في الحجم فيمكن الحصول على سلوك البوليمر تحت تأثير الإجهاد.

أما الانفعال (Strain) (ϵ) فهو نسبة التغير في الطول إلى الطول الأصلي للعينة تحت الفحص ويمكن التعبير عنه بالعلاقة (24-2).

إن النسبة بين الإجهاد المسلط إلى الانفعال المقابل له هي مقدار ثابت وذلك في حدود منطقة المرونة و يسمى بمعامل المرونة (Modulus of Elasticity) أو معامل يونك (Young's Modulus) ويمكن التعبير عنه بالعلاقة الآتية [80]:

$$Y_m = \sigma / \epsilon \dots \dots \dots (26-2)$$

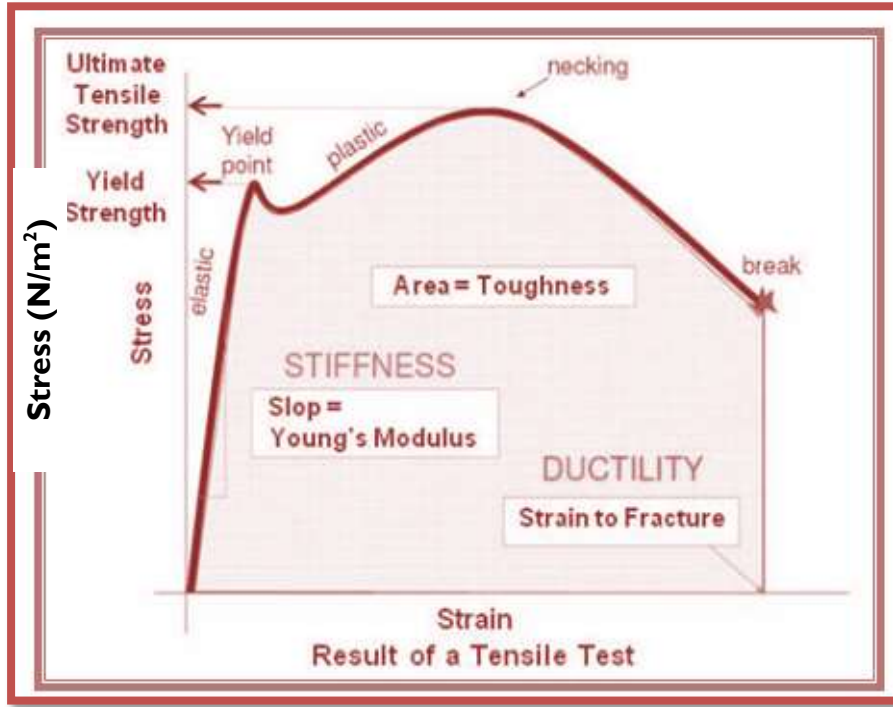
حيث إن:

E: معامل يونك بوحدات (N/m^2) .

يمكن الاستفادة من منحنى الإجهاد (σ) والانفعال (ϵ) في دراسة السلوك الميكانيكي للمادة وتحديد المتانة والمقاومة ومعامل المرونة إذ يقسم منحنى (الإجهاد - الانفعال) إلى ثلاثة أجزاء الخط المستقيم يمثل منطقة المرونة (Elastic Region) إذ يتناسب الإجهاد مع الانفعال وميل هذا الجزء يمثل معامل المرونة. وضمن هذه المنطقة تستعيد المادة أبعادها وشكلها الأصلي عند زوال الإجهاد وتسمى هذه المنطقة بمنطقة العمليات المعكوسة (Reversible) التي تخضع لقانون هوك. بعد هذا الجزء تكون زيادة الانفعال غير خطية مع الإجهاد وأما أن تنكسر العينة إذا كانت مادتها هشة (Brittle) أو تخضع عند نقطة تدعى نقطة الخضوع (Yield Point) التي يقل عندها الإجهاد الذي تتحمله المادة. بعدها ستعاني المادة من تشوه لدن (Plastic Deformation) لا يزول برفع الإجهاد عن المادة بسبب استهلاك طاقة الإجهاد في فك الارتباط بين السلاسل البوليميرية وقد تكسر بعض الأواصر الرئيسية. ونتيجة لترتيب السلاسل باتجاه الحمل الخارجي تحصل زيادة في الإجهاد، وهذه الزيادة تمثل أقصى مقاومة شد

(Ultimate Tensile Strength) بعدها يقل الإجهاد تدريجياً بسبب تكسر الأواصر ضمن السلاسل الرئيسية حتى يحصل الفشل عند نقطة معينة.

منحني (الإجهاد – الانفعال) يعتمد على عدة عوامل منها ما يتعلق بظروف إجراء الفحص مثل درجة الحرارة، سرعة الشد، سرعة الفحص، الضغط .. الخ وعوامل أخرى تتعلق بتركيب البوليمر مثل الوزن الجزيئي ودرجة التشابك.... الخ [80].



الشكل (5-2): منحني (الإجهاد – الانفعال) لمادة بوليمرية [82].

Thermal Properties

(5-2) الخواص الحرارية

في الآونة الأخيرة أصبحت الاستعمالات العامة والهندسية للمواد المتراكبة تعتمد بشكل كبير على الخواص الفيزيائية. لذا وجب دراسة هذه الخواص ومعرفتها بصورة جيدة بحيث يمكن إدخال بعض التحسينات الضرورية. ومن هذه الخواص الفيزيائية التي حظيت بأهتمام الباحثين هي التوصيلية الحرارية (k)، درجة الانتقال الزجاجي، درجة الانصهار البلورية والتحليل الحراري الوزني. الهدف الاساسي لدراسة الخواص الحرارية هو التعرف على السلوك الحراري لهذه المواد لكي يحدد لها أدواراً مناسبة في المجالات العلمية.

Thermal Conductivity

(1-5-2) التوصيلية الحرارية

تعد التوصيلية الحرارية إحدى ظواهر الانتقال الحراري في المواد الصلبة، ومن خلال هذه الظاهرة الفيزيائية يمكن تفسير كيفية تأثر المادة بالحرارة. أن التوصيلية الحرارية هي كمية الحرارة التي تنتقل في وحدة الزمن خلال وحدة المساحة عندما يكون هناك أختلاف بين درجة حرارة السطحين الداخلي والخارجي درجة حرارية واحدة، تختلف آلية التوصيل الحراري بأختلاف حالات المادة (صلبة، سائلة، غازية) والذي من خلاله تصنف المادة على أنها موصلة أو عازلة للحرارة. وبصورة عامة أن التوصيل الحراري للمواد الصلبة أعلى مما هي عليه في السوائل وهذا أعلى من توصيلية الغازات. في المواد الصلبة الموصلة يتم التوصيل الحراري وذلك بأنتقال كلا من الفونونات والالكترونات الحرة من المنطقة ذات الطاقة الاعلى الى المنطقة ذات الطاقة الاوطأ، أما في المواد شبة الموصلة والتي تحتوي بنيتها على العيوب ونسبة عالية من الشوائب فأن الفونونات تقوم بالدور الاكبر والاساس في عملية التوصيل الحراري أما الالكترونات الحرة فتساهم بنسبة ضئيلة بالتوصيل الحراري لهذه المواد. أما في المواد العازلة فتقوم الفونونات بنقل الحرارة كليا وذلك لقلة الالكترونات الحرة. كمية الحرارة المنتقلة يعبر عنها بواسطة تطبيق قانون فوريير (Fourier's Law) [2]:

$$Q = -k A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(27-2)$$

حيث أن: Q: كمية الحرارة المنتقلة بوحدهات (J/sec).

k: التوصيلية الحرارية بوحدهات (W/m.K).

A: مساحة المقطع العمودي على اتجاه انتقال الحرارة بوحدهات (m²).

$\frac{dT}{dx}$: الانحدار الحراري (Thermal Gradient) في الوسط بوحدهات (°C/m).

والاشارة السالبة تشير الى ان الانتقال الحراري يكون من المنطقة ذات درجات الحرارة العالية الى المنطقة ذات درجات الحرارة الواطئة.

بصورة عامة تختلف طرائق قياس التوصيلية الحرارية (k) تبعا لنوع المادة موصلة كانت أم عازلة وكما يأتي:

1- تقاس التوصيلية الحرارية لمادة جيدة التوصيل الحراري مثل النحاس باستعمال طريقة سيرل (Searle's Method) حيث إن مبدأ القياس هو تطبيق لقانون فوريير.

2- تقاس التوصيلية الحرارية لمادة رديئة التوصيل الحراري على شكل قرص مثل المواد ذات الأساس البوليمري باستعمال قرص لي (Lee's Disc Method) كما في الشكل (6-2) وفيها يوضع النموذج (S) بين قرصين من النحاس (A,B) ويمس القرص (B) المسخن الكهربائي (H) ثم يليه القرص (C) وبالاتماد على حساب كمية الحرارة المارة خلال عينة من المادة والمتمثلة بالقرص (S)، إذ يتم حساب قيمة (k) من العلاقة الآتية [83]:

$$k\{(T_B-T_A) / ds\} = e[T_A + r/2 (d_A + ds/4) T_A + ds T_B/2r] \dots\dots\dots(28-2)$$

حيث إن e: تمثل كمية الطاقة الحرارية المارة عبر وحدة مساحة مادة القرص لكل ثانية (W/m².K) وتحسب من العلاقة الآتية:

$$IV = \pi r^2 e (T_A+T_B) + 2\pi r e [d_A T_A + ds /2 (T_A+T_B + d_B T_B + d_C T_C)] \dots(29-2)$$

حيث إن:

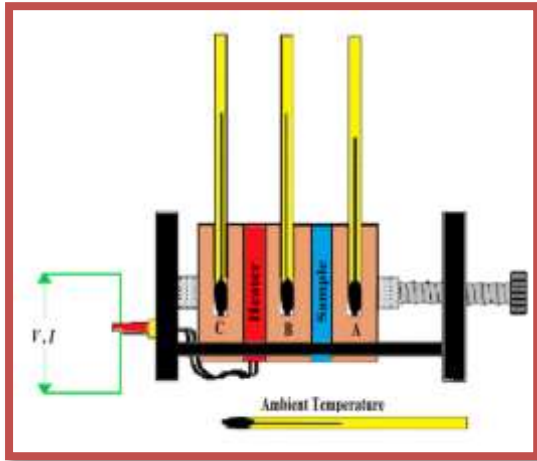
T_A, T_B, T_C : تمثل درجة حرارة القرص (A,B and C) على التوالي.

d: سمك القرص بوحدات (m).

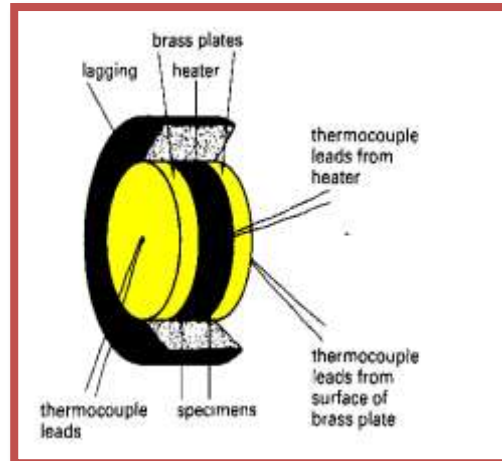
r: نصف قطر القرص بوحدات (m).

I: التيار المار في ملف المسخن بوحدات (Ampere).

V: فرق الجهد على طرفي ملف المسخن بوحدات (Volt).



(a)



(b)

الشكل (6-2): a- مخطط جهاز قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي)

b- الحالة المثالية للقرص [84,85]

2-5-2) درجة الانتقال الزجاجي (T_g) Glass-Transition Temperature

من خواص الحالة الزجاجية في البوليمرات تغير صفاتها الميكانيكية والفيزيائية عند درجة حرارة معينة تدعى بدرجة الانتقال الزجاجي والتي يرمز لها عادة (T_g) ويمكن تعريفها على أنها الدرجة الحرارية التي يتحول عندها البوليمر من مادة صلبة قوية الى مادة مرنة وفوق درجة الانتقال الزجاجي يكون البوليمر مرناً (Flexible) [86].

تمتلك اللدائن مجموعة تحولات (Transitions) مختلفة تحت تأثير ارتفاع درجات الحرارة، عند درجات حرارة أقل من درجة الانتقال الزجاجي تكون المادة اللدائنية عبارة عن مادة صلبة قوية، تتحول عند الانتقال الى مادة لدائنية لينة ومرنة ومن ثم تتحول الى الحالة المطاطية في حالة اللدائن غير المطاوعة للحرارة، وسوائل عالية اللزوجة في حالة اللدائن المطاوعة للحرارة [87,88]. تعتمد درجة الانتقال الزجاجي على حركة مجاميع الذرات والجزيئات في المادة اللدائنية وبالتالي فكلما تعقد الربط وازدادت قوة الأواصر وزاد الوزن الجزيئي امتلكت المادة اللدائنية درجة انتقال زجاجي أعلى، حيث ترتبط درجة حرارة الانتقال الزجاجي للبوليمر مع معدل الوزن الجزيئي له بالعلاقة الآتية [87]:

$$T_g = 373 - 1 \times 10^5 / \overline{M}_w \dots\dots\dots (30-2)$$

حيث ان:

$\overline{M}_w$: معدل الوزن الجزيئي.

3-5-2) درجة الانصهار البلورية (T_m)

Crystalline Melting Temperature

لصهر أي مادة صلبة لابد من تسخينها وأعطائها كمية من الحرارة، حيث ترتفع درجة حرارتها حتى تبدأ بالانصهار فتنتقل المادة من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة عند درجة حرارة محددة وهي درجة الانصهار البلورية (T_m)، وتظل هذه الدرجة ثابتة لا تتغير حتى تتحول كل المادة الصلبة الى سائل، وتعتبر من الصفات المميزة والمهمة للبوليمرات المتبلورة، وتعرف بأنها درجة الحرارة التي تختفي عندها التراكيب البلورية.

تقاس درجة الانصهار البلورية في البوليمرات بعدة طرق منها:

1- استخدام المجاهر المستقطبة (Polarizing Microscope).

2- بواسطة الاجهزة المعتمدة على قياس التغير في الانثالبي (Enthalpy) مثل فحص المسعر الحراري التبايني (DSC) او التحليل الحراري التفاضلي (DTA).

وتعتمد درجة الانصهار البلورية على عدة عوامل هي: الوزن الجزيئي للبوليمير، وجود التراكيب الاروماتية في سلاسل البوليمر، القوى البينية الجزيئية مثل الروابط الهيدروجينية و درجة الانتظام الفراغي. إذ أن درجة الانصهار البلورية تتناسب طرديا مع هذه العوامل [88].

(4-5-2) التحليل الحراري الوزني (TGA) Thermogravimetric Analysis

يستعمل مصطلح الاستقرار الحرارية (Thermal Stability) للإشارة الى التغييرات التي تحدث في أحد الصفات الفيزيائية أو أكثر والتي تعتمد على درجة الحرارة والزمن، وبصورة عامة أن الاستقرار الحرارية يمكن أن توصف على أنها الاستقرار المشتقة من قدرة البوليمر على مقاومة التفكك أو الانحلال [89]. والتحليل الحراري الوزني هو تقنية لقياس الفقد في الوزن كدالة لدرجة الحرارة، وتعتبر من أهم الوسائل المستعملة لتعيين الثبات الحراري للبوليمر وتحديد درجة الحرارة التي يتفكك عندها. لذلك أن (TGA) تعطي معلومات مباشرة عن الثبات الحراري، وأنها مفيدة في تشخيص البوليمر وخاصة في حالة حصول التفكك وأعطت نواتج معروفة التركيب. أن (TGA) يكون على نوعين هما التحلل ذو درجة حرارة ثابتة (Isothermal) والتحلل بتغيير درجة الحرارة (Non Isothermal)، ففي النوع الاول يسجل الوزن المفقود مع الزمن بثبوت درجة الحرارة، اما في النوع الثاني فأن درجة حرارة العينة تزداد بسرعة ثابتة، أي أن الوزن يسجل مع ارتفاع درجة الحرارة، وهذا يعطي معلومات أكثر فائدة، لانه يبين أعلى حد للثبوت الحراري [90,91].

الفصل الثالث

الجزء العملي

(1-3) المقدمة

Introduction

يتضمن هذا الفصل الجانب العملي للدراسة، ويشمل ثلاثة محاور رئيسية، يتمثل المحور الأول التعرف على المواد الأولية المستخدمة في تحضير المادة المتراكبة وأهم خواصها ومميزاتها. والمحور الثاني يتعلق بالاجهزة المستخدمة في تحضير العينات وأسلوب تحضير العينات، مع عرض تخطيطي لإشكال هذه العينات وأبعادها، أما المحور الثالث فقد تضمن تعريفاً للأجهزة المستخدمة لأجراء الاختبارات المنجزة.

(2-3) المواد المستخدمة

Materials Used

(1-2-3) المادة الأساس

Matrix Material

المادة الأساس التي استخدمت في تحضير المادة المتراكبة هي بوليمر بولي كحول الفانيل (PVA) المصنع في شركة (Central Drug House (P), Ltd. New Delhi INDIA). ذو الوزن الجزيئي (14000 g/mol)، ويمتاز بأنه شفاف مائل الى البياض، عديم الرائحة وغير سام، ويزوب في الماء المقطر فقط عند تسخينه بدرجة حرارة (80°C) فما فوق ويكون قليل الذوبان في الايثانول، الجدول (1-3) يوضح بعض خصائص بوليمر بولي كحول الفانيل (PVA) المستخدم.

الجدول (1-3): بعض خواص بوليمر بولي كحول الفانيل (PVA).

Properties of Polyvinyl Alcohol (PVA)	
Description	White crystalline powder/flakes/granules
Solubility	4% Solution in hot water is clear and colourless
Molecular Weight	14000 g/mol
Ash	Max 1.0%
Degree of hydrolysis	86 - 89 %

Reinforcement Materials

(2-2-3) مواد التدعيم

Aluminium Chloride

(1-2-2-3) كلوريد الألمنيوم

هو مركب كيميائي صيغته الجزيئية $AlCl_3$ ويتواجد على شكلين أما خالي من الماء (لامائي)، أو مرتبط مع ست جزيئات من الماء $6 H_2O$ ، وتم الحصول عليه من شركة (Central Drug House (P) Lte. Daryaganj. NewDelhi INDIA)، ذو وزن جزيئي (241.43 g/mol)، ويكون على شكل بلورات سائلة صفراء أو مسحوق بلوري، ويذوب في الماء.

Aluminium Nitrate

(2-2-2-3) نترات الألمنيوم

هو مركب كيميائي صيغته الجزيئية $Al(NO_3)_3$ ويرتبط مع تسع جزيئات ماء $9 H_2O$ ، ويكون على شكل حبيبات عديمة اللون ومعدل الوزن الجزيئي له (375.13 g/mol)، المصنع في شركة (Hi Media Laboratories Pvt. Ltd. INDIA).

(3-3) الاجهزة المستخدمة وطريقة تحضير العينات

The Equipments Used and the Samples Preparation Method

The Equipments Used

(1-3-3) الاجهزة المستخدمة

أستخدمت بعض الاجهزة لتحضير أغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم وهي على النحو الاتي:

Sensitive Electronic Balance

1- الميزان الالكتروني الحساس

وهو من الاجهزة المهمة في المختبرات العلمية لتحديد الكتل المطلوبة للمواد المستخدمة في عملية التحضير، وله عداد رقمي يعطي نتيجة الوزن بشكل مباشر وبدقة عالية، وأستخدم ميزان كهربائي حساس من نوع (KERN PLE) ذي حساسية ($10^{-3}g$)، الشكل (1-3) يظهر صورة الميزان الالكتروني الحساس المستخدم.



الشكل (3-1): صورة الميزان الالكتروني الحساس.

Magnetic Stirrer

2- الخلاط المغناطيسي

وهو أداة مختبرية تعمل على تدوير و خلط المحاليل الكيميائية، ويتكون الخلاط المغناطيسي من محرك كهربائي مثبت به مغناطيس دائمي واطباق حرارية أو وسيلة أخرى لتسخين السائل، الخلاطات المغناطيسية تعتبر ذات كفاءة وأقل ضوضاء وصغيرة الحجم ولهذا تفضل على نظيرتها من الخلاطات الميكانيكية، الشكل (3-2) يظهر صورة الخلاط المغناطيسي المستخدم.



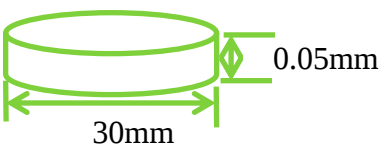
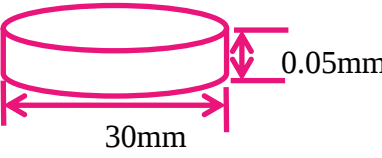
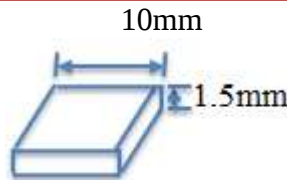
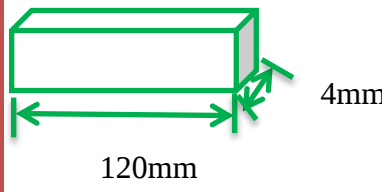
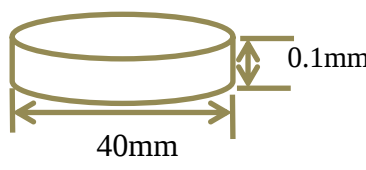
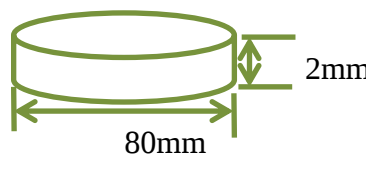
الشكل (2-3): صورة الخلاط المغناطيسي.

Composites Perparation

3- تهيئة القوالب

تم تهيئة قوالب زجاجية دائرية (Petridish) ومستطيلة الشكل، ويتم تنظيف القوالب جيداً وتوضع على سطح مستوٍ ومعتدل، الشكل (3-3) يوضح مخطط الأبعاد القياسية للعينات المحضرة والأجهزة المستخدمة في الاختبار.

الشكل (3-3): مخطط الابعاد القياسية للعينات.

نوع الاختبار	الابعاد القياسية للعيينة	الجهاز المستخدم في الاختبار
أختبار UV-VIS		(UV-Visible 1800 double beam spectrophotometer)
أختبار FTIR		(IR Affinty-1CE (FTIR) spectrophotometer)
أختبار الصلادة (Shore D)		(Check-line dd-100)
أختبار الشد		(Tinius Olsen - H10K)
أختبار التوصيلية الحرارية		Lee Disc B.S-Griffin-George Ltd
أختبار درجة الانتقال الزجاجي (T _g)، درجة الانصهار البلورية (T _m)، التحليل الحراري الوزني (TGA)		(STA. PT-1000 Linseis)

(2-3-3) تحضير أغشية بوليمر (PVA) النقية و المدعمة بأملاح الألمنيوم

Preparation of Pure and Aluminium Salts Filled Polymer (PVA) Films

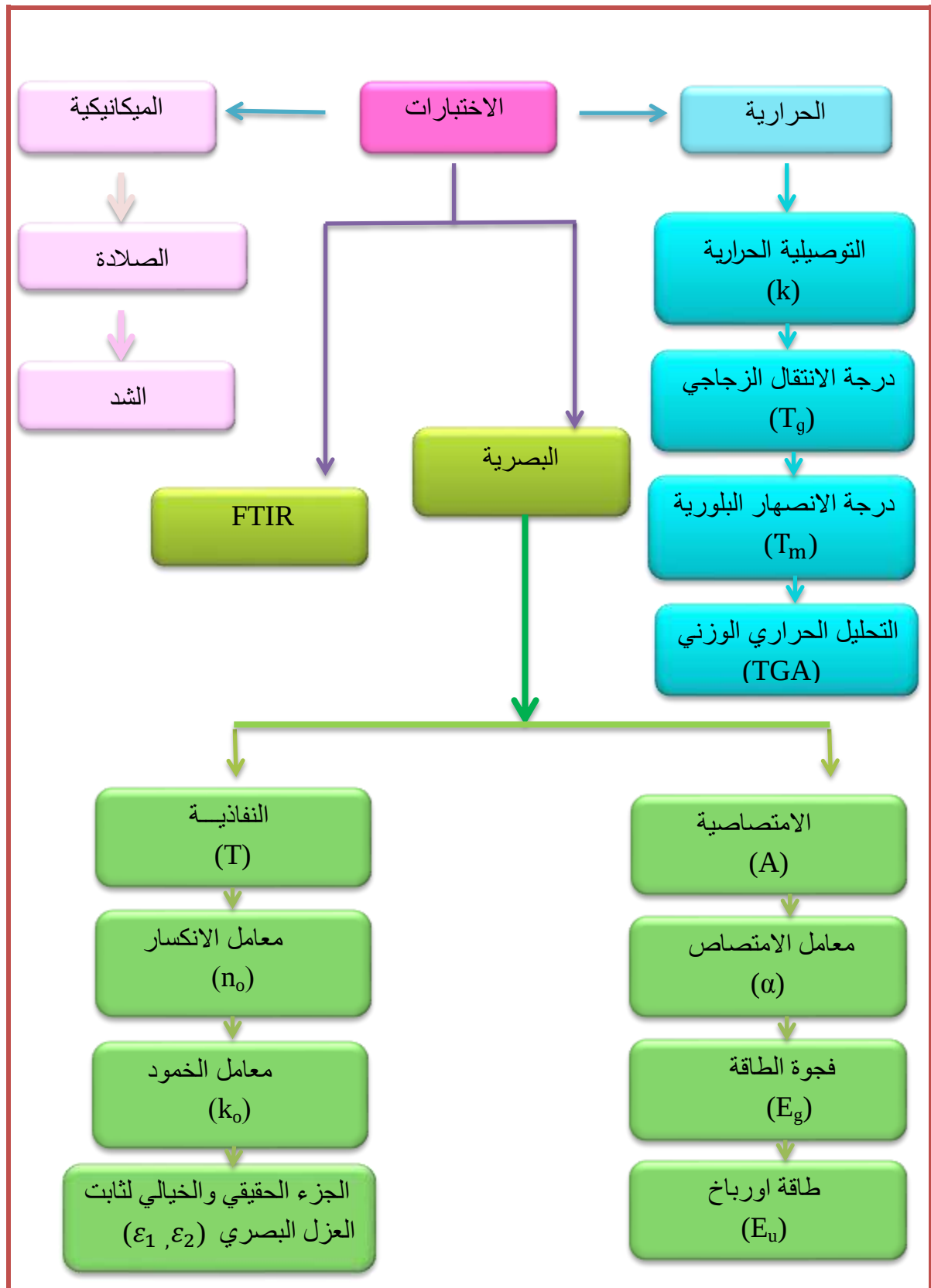
لتحضير أغشية بوليمر (PVA) النقية و المدعمة بأملاح الألمنيوم أتبعنا الخطوات الآتية:

- 1- بوليمر (PVA) النقي و المدعم بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة يذاب بـ (15ml) من الماء المقطر باستخدام الخلاط المغناطيسي لخلط المواد لمدة (1h) بدرجة حرارة (80°C) وذلك للحصول على محاليل متجانسة، الجدول (2-3) يوضح النسب الوزنية لأغشية المتراكبات (بوليمر (PVA) - أملاح الألمنيوم).
- 2- تستخدم طريقة صب المحلول (Casting Method) لتحضير أغشية بوليمر (PVA) النقية و المدعمة بأملاح الألمنيوم، إذ تصب كل عينة في قالب زجاجي دائري أو مستطيل الشكل، وتبقى العينة لمدة (24h) حتى تجف بدرجة حرارة الغرفة، الشكل (4-3) يوضح مخطط للاختبارات المنجزة.

الجدول (2-3): النسب الوزنية لأغشية المتراكبات (بوليمر (PVA) - أملاح الألمنيوم).

Weight ratio of additive (wt%)	Polymer (PVA) g	Aluminium salts g
Pure	1	0
1	0.99	0.01
3	0.97	0.03
5	0.95	0.05
7	0.93	0.07
9	0.91	0.09
11	0.89	0.11
13	0.87	0.13
15	0.85	0.15

الشكل (3-4): مخطط الاختبارات المنجزة.



(4-3) الاختبارات والأجهزة المستخدمة

Tests and Equipments Used

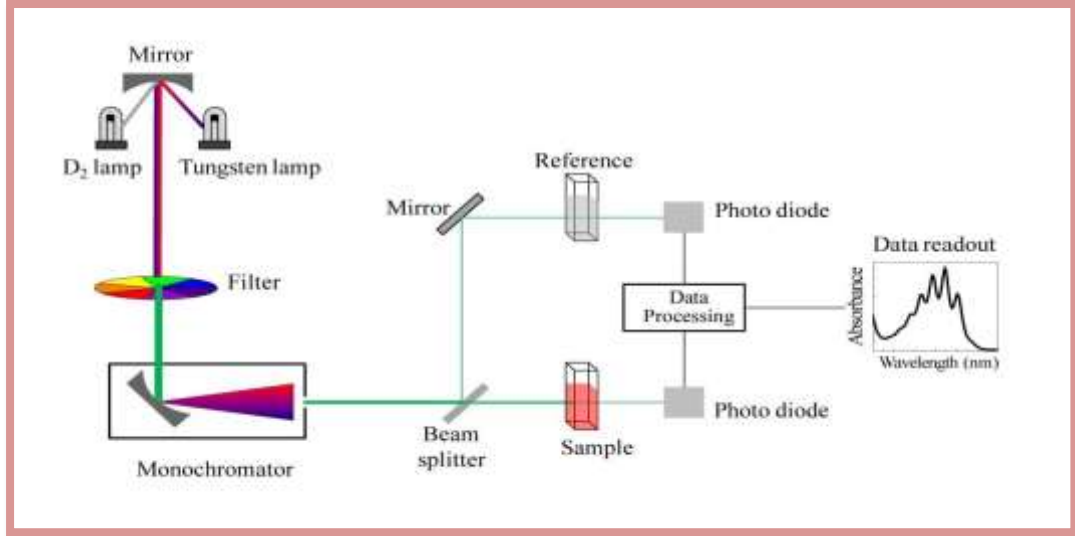
UV-VIS Test

(1-4-3) اختبار UV-VIS

تم تسجيل طيفي النفاذية والامتصاصية لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم ضمن مدى الأطوال الموجية (190 - 1100) nm بدرجة حرارة الغرفة، وذلك باستخدام جهاز (UV-Visible 1800 double beam spectrophotometer) المصنع في شركة (Shimadzu, Japanes). وتم استخدام برنامج حاسوبي للحصول على الثوابت البصرية (فجوة الطاقة، طاقة أورباخ، معامل الامتصاص، معامل الانكسار، معامل الخمود، الجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل البصري)، الشكل (5-3) يظهر صورة جهاز (UV-VIS) المستخدم والشكل (6-3) يوضح مخطط جهاز (UV-VIS) المستخدم.



الشكل (5-3): صورة جهاز (UV-VIS).



الشكل (6-3): مخطط جهاز (UV-VIS).

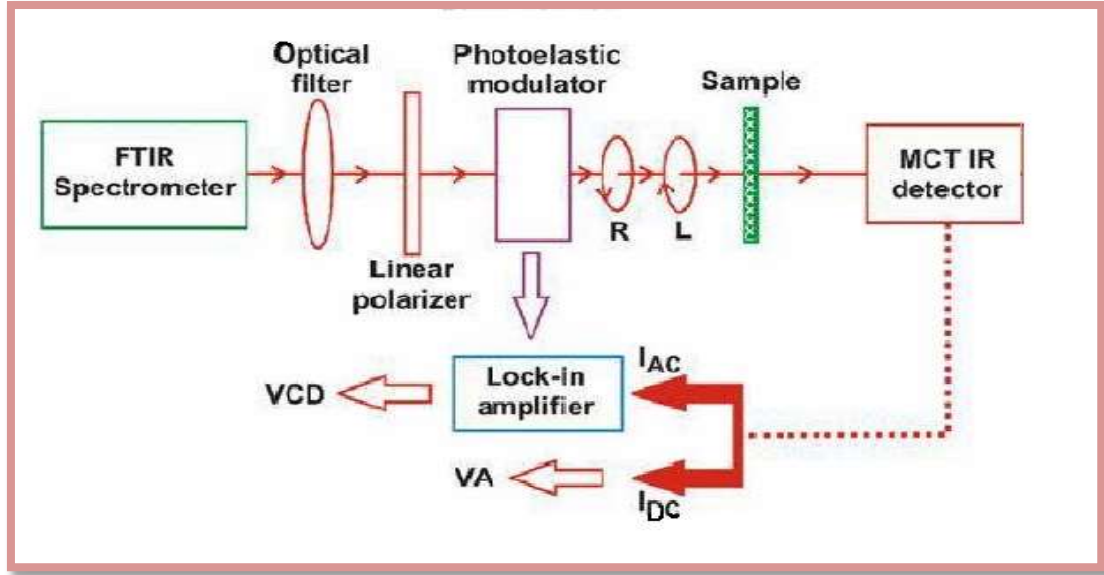
(2-4-3) اختبار تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء

Fourier Transform Infrared (FTIR) Test

لغرض معرفة المجاميع الفعالة في أغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة باملاح الألمنيوم، تم تسجيل طيف الأشعة تحت الحمراء ضمن مدى العدد الموجي $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ وذلك باستخدام جهاز (IR Affinity-1CE (FTIR) spectrophotometer) المصنع في شركة (Shimadzu, Japanese)، الشكل (7-3) يظهر صورة جهاز (FTIR) المستخدم والشكل (8-3) يوضح مخطط جهاز (FTIR) المستخدم.



الشكل (7-3): صورة جهاز (FTIR).

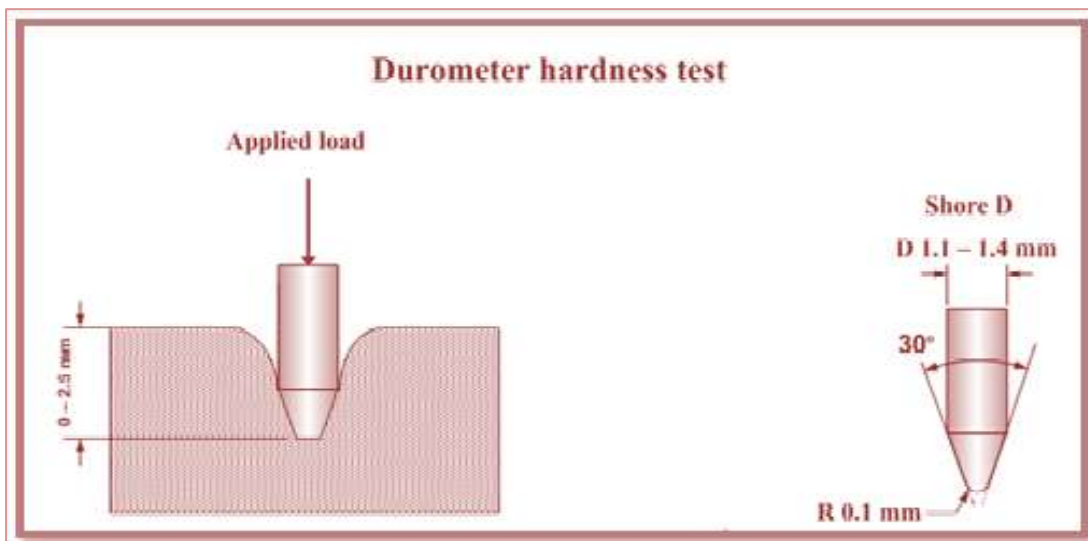


الشكل (8-3): مخطط جهاز (FTIR).

Hardness Test

(3-4-3) اختبار الصلادة

لأجل إجراء اختبار الصلادة لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة باملاح الالمنيوم تم استخدام جهاز (Shore D) من نوع (Check-line dd-100) ذو المنشأ الأمريكي، وهو عبارة عن جهاز يدوي يتكون من نابض محمل بأداة غرز بشكل أبرة تخترق سطح العينة ويسجل الرقم الذي يظهر على الشاشة الموجودة في الجهاز، الشكل (9-3) يوضح مخطط جهاز اختبار الصلادة (Shore D) المستخدم.



الشكل (9-3): مخطط جهاز اختبار الصلادة.

(4-4-3) اختبار الشد

Tensile Test

لأجل إجراء اختبار الشد لاغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الالمنيوم تم استخدام الجهاز المبين بالشكل (10-3)، وهو جهاز من نوع (Tinius Olsen - H10K) ذو المنشأ الانكليزي، ويتم تثبيت العينة في الموضع المخصص لها بين الفكين لمسك العينة بثبات وضمان عدم تحركها في أثناء إجراء الاختبار، عند تشغيل الجهاز تبدأ المقابض بشد العينة من الأعلى والأسفل بسرعة (10mm/min) ويسجل الرقم من خلال شاشة الجهاز لحظة كسر (فشل) العينة.

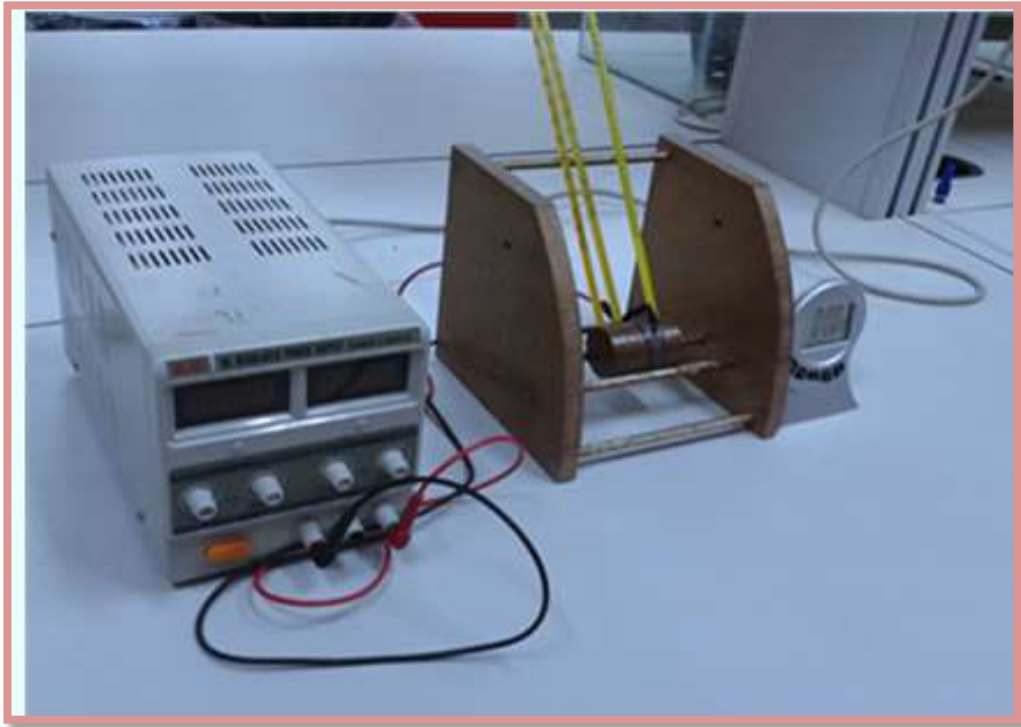


الشكل (10-3): صورة جهاز اختبار الشد.

Thermal Conductivity Test

(5-4-3) اختبار التوصيلية الحرارية

في هذا الاختبار تم استخدام طريقة قرص لي (Lee's Disc) الخاصة بحساب التوصيلية الحرارية للمواد العازلة وذلك باستخدام الجهاز المصنع في شركة (Griffen and George) الانكليزية المبين بالشكل (11-3)، تم حساب التوصيلية الحرارية لاغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم، إذ يتكون الجهاز من ثلاثة أقراص (A,B,C) ومسخن كهربائي (Heater) يربط الى دائرة كهربائية، بحيث توضع العينة بين القرصين (A,B)، ويوضع المسخن الكهربائي بين القرصين (B,C)، وعند تشغيل مجهر القدرة لتشغيل المسخن الكهربائي تسخن الأقراص ويبدأ انتقال الحرارة من المسخن الى القرص الذي يليه حتى تصل الى القرص الأخير وعند الوصول الى حالة الاتزان الحراري تسجل قراءة المحارير الموجودة في كل قرص وهي (T_a, T_b, T_c) .



الشكل (11-3): صورة جهاز قياس التوصيلية الحرارية (قرص لي).

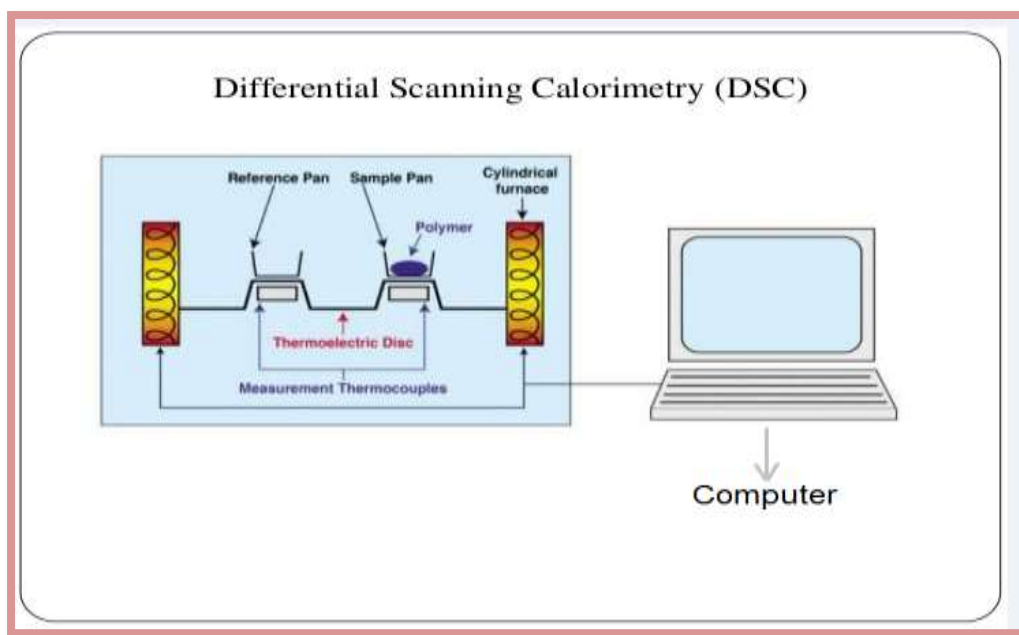
(6-4-3) اختبار المسعر الحراري التبايني

Differential Scanning Calorimetry (DSC) Test

هو جهاز يستخدم لايجاد الفرق بين كمية الحرارة عندما ترفع درجة الحرارة للعينة، ويعطي هذا الجهاز درجة الانتقال الزجاجي (T_g)، درجة الانصهار البلورية (T_m)، التحليل الحراري الوزني (TGA)، وتم أستخدم جهاز من نوع (STA. PT-1000 Linseis) ذات المنشأ (Linseis Company - Germany) المبين بالشكل (3-12)، تم معايرة الجهاز بأستخدام أنموذج من بوتقة (Crucible) مصنوعة من الالومينا ذات صنع الماني، حيث يؤخذ أنموذج بوزن (9-21) mg ويتم وضعه في الجهاز بمعدل حرارة ($10^{\circ}\text{C}/\text{min}$) بوجود غاز الاركون، وأن من الجدير بالذكر يتم الحصول من خلال هذا الجهاز على رسوم بيانية توضح درجة الانتقال الزجاجي (T_g)، درجة الانصهار البلورية (T_m) والفقد في الوزن مع ارتفاع درجة الحرارة (TGA) لاغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الالمنيوم، الشكل (3-13) يوضح مخطط جهاز (DSC) المستخدم.



الشكل (3-12): صورة جهاز (DSC).



الشكل (13-3): مخطط جهاز (DSC).

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

(1-4) المقدمة

Introduction

يستعرض هذا الفصل النتائج كافة التي تم التوصل اليها في الدراسة الحالية مع مناقشتها، وقد تم توضيح جميع النتائج بالرسومات البيانية لجميع الاختبارات والمتمثلة بالاختبارات البصرية (النفاذية، الامتصاصية، معامل الامتصاص، فجوة الطاقة، طاقة أورباخ، معامل الانكسار، معامل الخمود والجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل البصري)، اختبار (FTIR)، الاختبارات الميكانيكية (الصلادة والشد) و الاختبارات الحرارية (التوصيلية الحرارية، درجة الانتقال الزجاجي، درجة الانصهار البلورية والتحليل الحراري الوزني).

(2-4) الخواص البصرية

Optical Properties

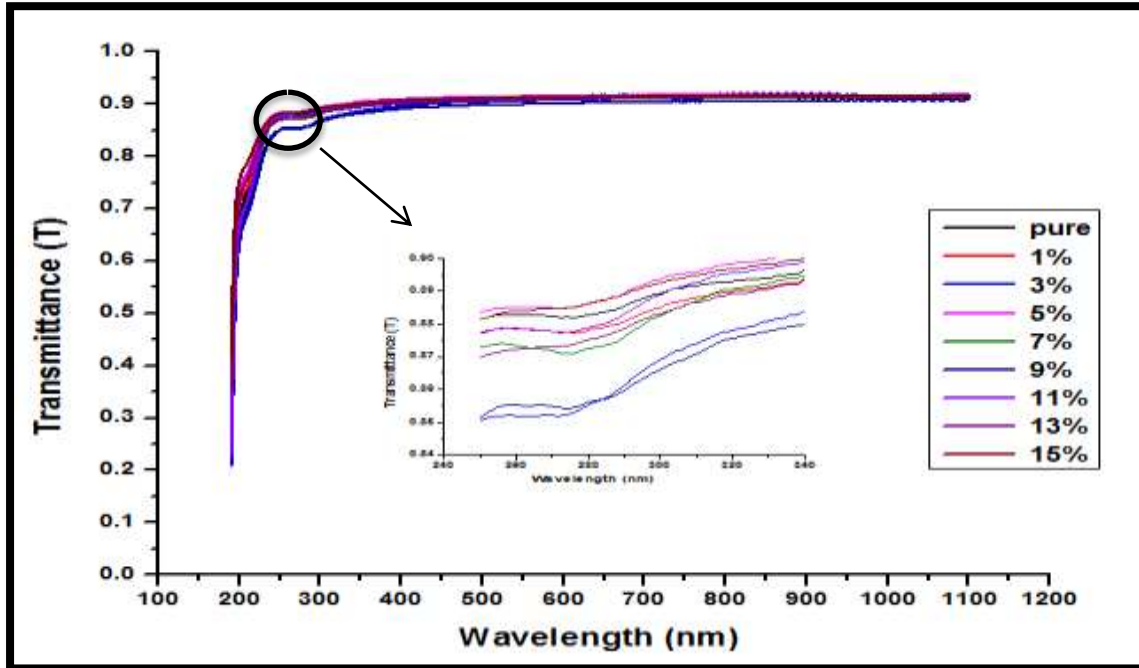
تمت دراسة الخواص البصرية لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الالمنيوم بنسب وزنية مختلفة، وتم تسجيل طيفي النفاذية والامتصاصية لأغشية المتراكبات كافة عند درجة حرارة الغرفة وكذلك حساب الثوابت البصرية (معامل الامتصاص، فجوة الطاقة، طاقة أورباخ، معامل الانكسار، معامل الخمود والجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل البصري).

(1-2-4) طيف النفاذية

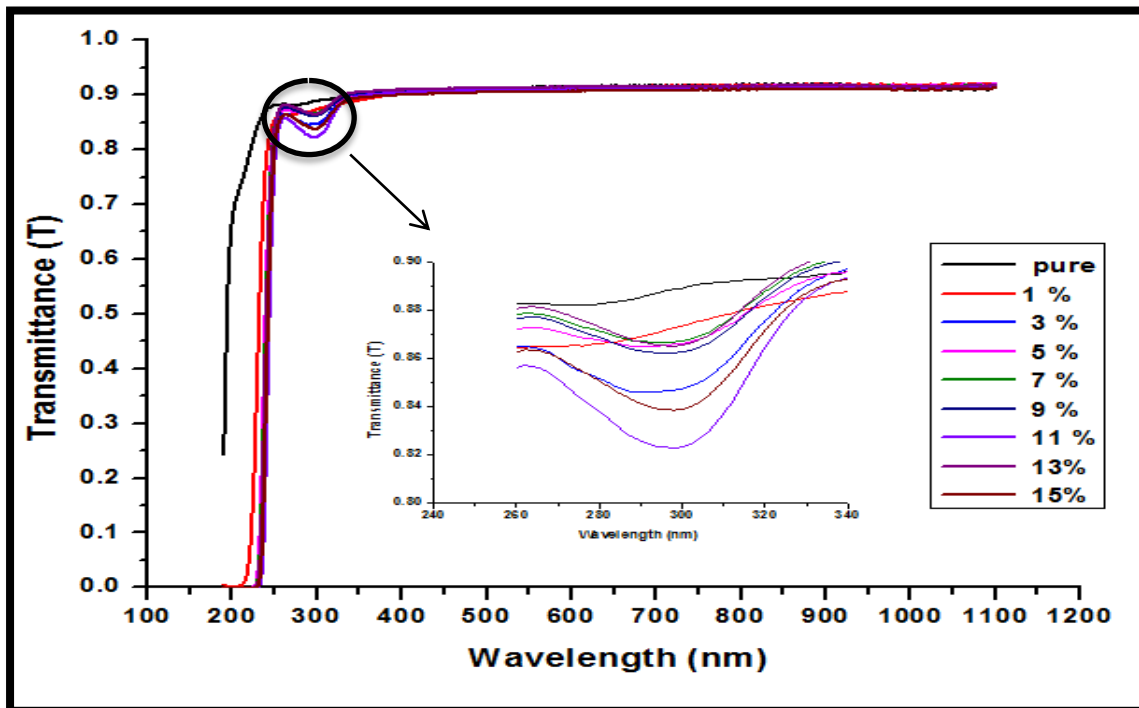
Transmission Spectrum

الشكلان (1-4) و (2-4) يوضحان طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الالمنيوم بنسب وزنية مختلفة، ويظهر الشكلان أن النفاذية تزداد مع زيادة الطول الموجي ولأغشية المتراكبات كافة، وبعد ذلك تبدو النفاذية ثابتة تقريباً ولكافة أغشية المتراكبات عند الاطوال الموجية الطويلة، وأيضاً النفاذية تقل مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الالمنيوم المضافة، ويعود سبب ذلك الى أن اضافة املاح الالمنيوم والتي تحتوي على إلكترونات في مداراتها الخارجية تستطيع أن تمتص الطاقة الكهرومغناطيسية للضوء الساقط ومن ثم أنتقل الإلكترونات الى مستويات طاقة أعلى، وهذه العملية لا يصاحبها أنبعاث أشعاع بسبب أن الإلكترونات المنتقلة للمستويات العليا قد أحتلت مواقع شاغرة من حزم الطاقة، وبالتالي أن جزء من الضوء الساقط يمتص من قبل المادة ولا يمكن أن يخترقها، أن غشاء (PVA) النقي يمتلك أعلى نفاذية بسبب عدم وجود الإلكترونات الحرة (أي بمعنى أن

الالكترونات ترتبط بالذرات بواسطة الاواصر التساهمية)، ويحدث هذا بسبب أن كسر الربط الالكتروني واتجاه الالكترون نحو حزمة التوصيل يحتاج الى فوتون ذو طاقة عالية [92].



الشكل (1-4): طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).

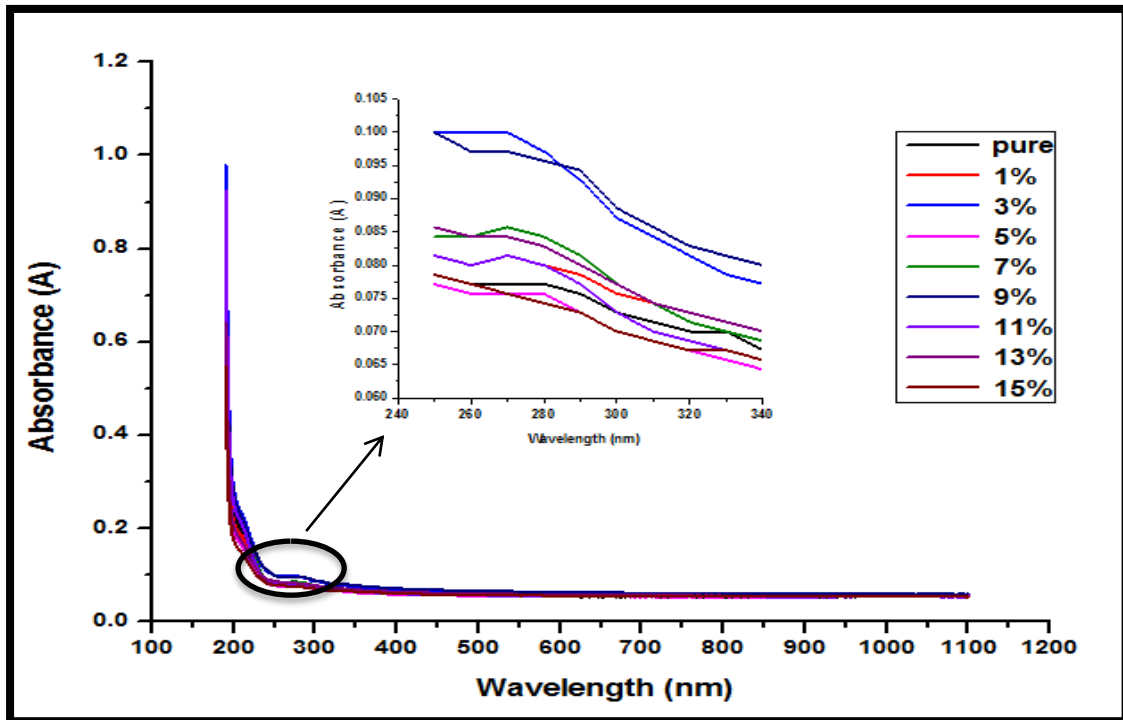


الشكل (2-4): طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA- Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (PVA- Al(NO₃)₃).

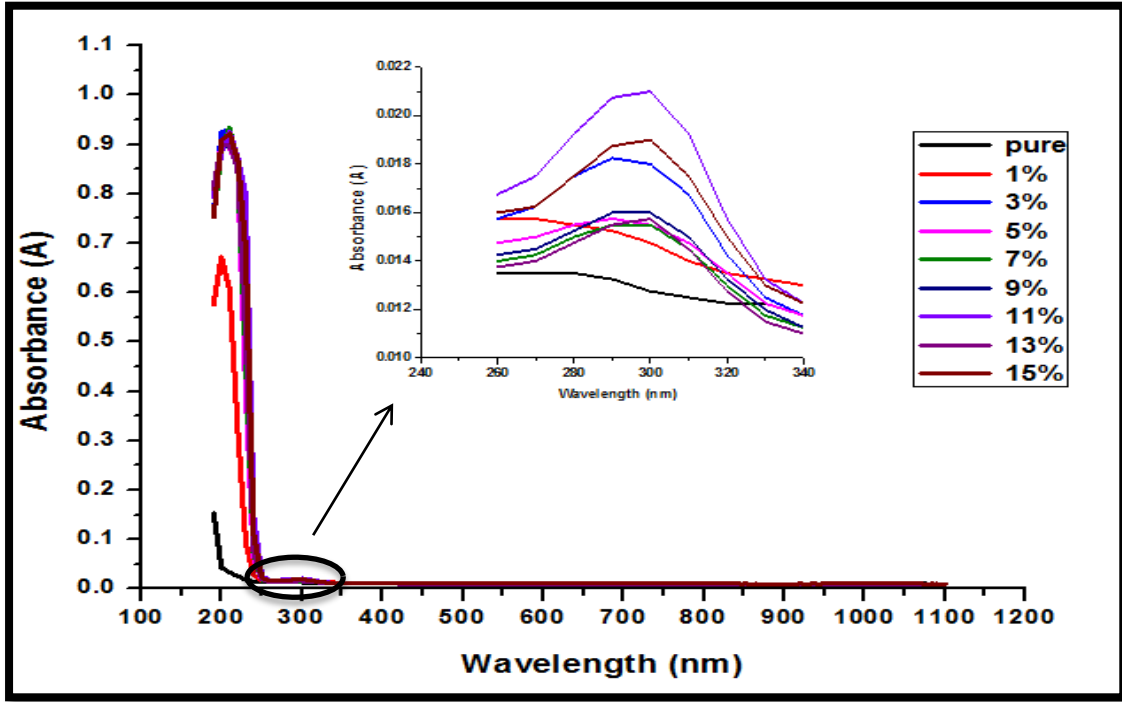
Absorption Spectrum

(2-2-4) طيف الامتصاصية

الشكلان (3-4) و(4-4) يوضحان طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة، والشكلان يظهران أنه بالإضافة أملاح الألمنيوم الى بوليمر (PVA) فأنها تزيد من شدة قمة الامتصاصية، ولذلك فأن موقع القمم ينحرف نحو الاطوال الموجية الطويلة (الحمراء) بزيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة، أن زيادة الامتصاصية بزيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة تتفق مع دراسة الباحث (Rabee) وآخرون عام (2012) [34] والتي تعزى الى أن أيونات أملاح الألمنيوم تمتص الضوء الساقط عليها.



الشكل (3-4): طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).

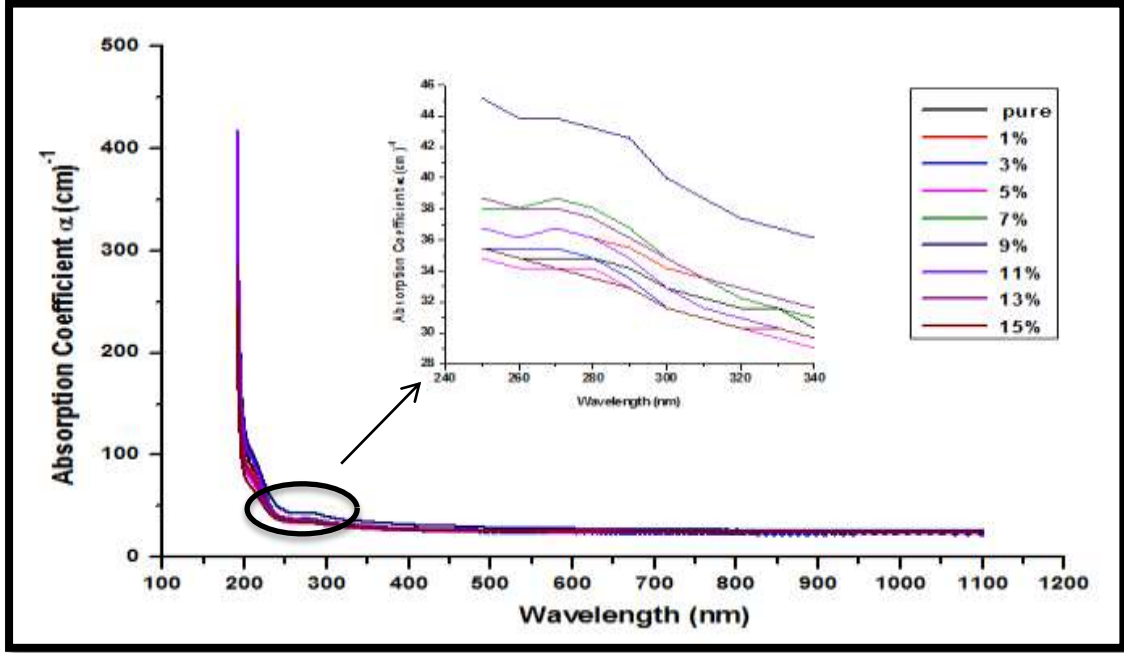


الشكل (4-4): طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لأغشية المترابطة (PVA- Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (PVA- Al(NO₃)₃).

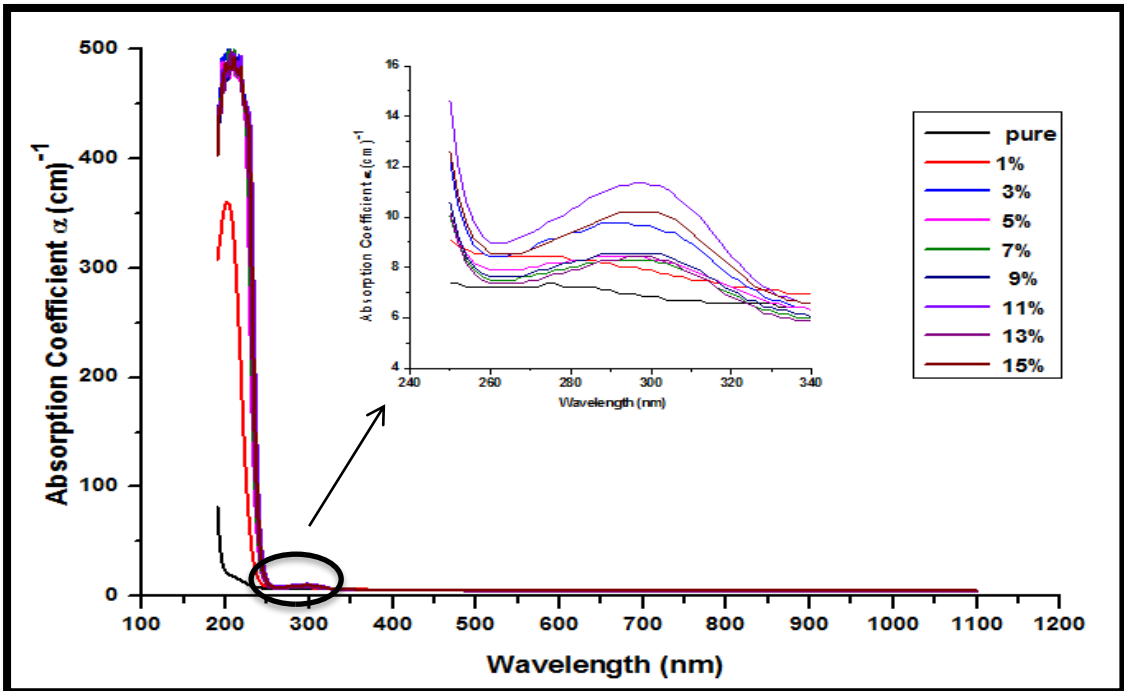
Absorption Coefficient

(3-2-4) معامل الامتصاص

تم حساب معامل الامتصاص α (cm)⁻¹ باستخدام العلاقة (10-2) والشكلان (5-4) و (6-4) يوضحان معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة، ونستطيع أن نلاحظ من خلال الشكلين أن معامل الامتصاص يكون صغيراً عند الطاقات الواطئة، وهذا يعني أن إمكانية الانتقال الإلكتروني تكون قليلة بسبب أن طاقة الفوتون الساقط غير كافية لتحريك الإلكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل $(h\nu < E_g)$ ، وعند الطاقات العالية فإن معامل الامتصاص يكون كبيراً، وهذا يعني أن هناك إمكانية كبيرة للانتقال الإلكتروني، وبناء على ذلك فإن طاقة الفوتون الساقط تكون كافية لتحريك الإلكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل أي بمعنى آخر أن طاقة الفوتون الساقط هي أكبر من فجوة الطاقة [93]. ووجد أن معامل الامتصاص لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة هي أقل من (10^4 cm^{-1}) ، وهذا يبين أن الانتقال الإلكتروني هو غير مباشر، ومن الشكلين (5-4) و (6-4) نلاحظ أيضاً أن معامل الامتصاص يزداد مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة وهذه النتيجة تتفق مع دراسة الباحث (Rabee) وآخرون عام (2012) [34] و الباحث (Salman) وآخرون عام (2016) [42].



الشكل (4-5): معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي لأغشية المتراب (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).



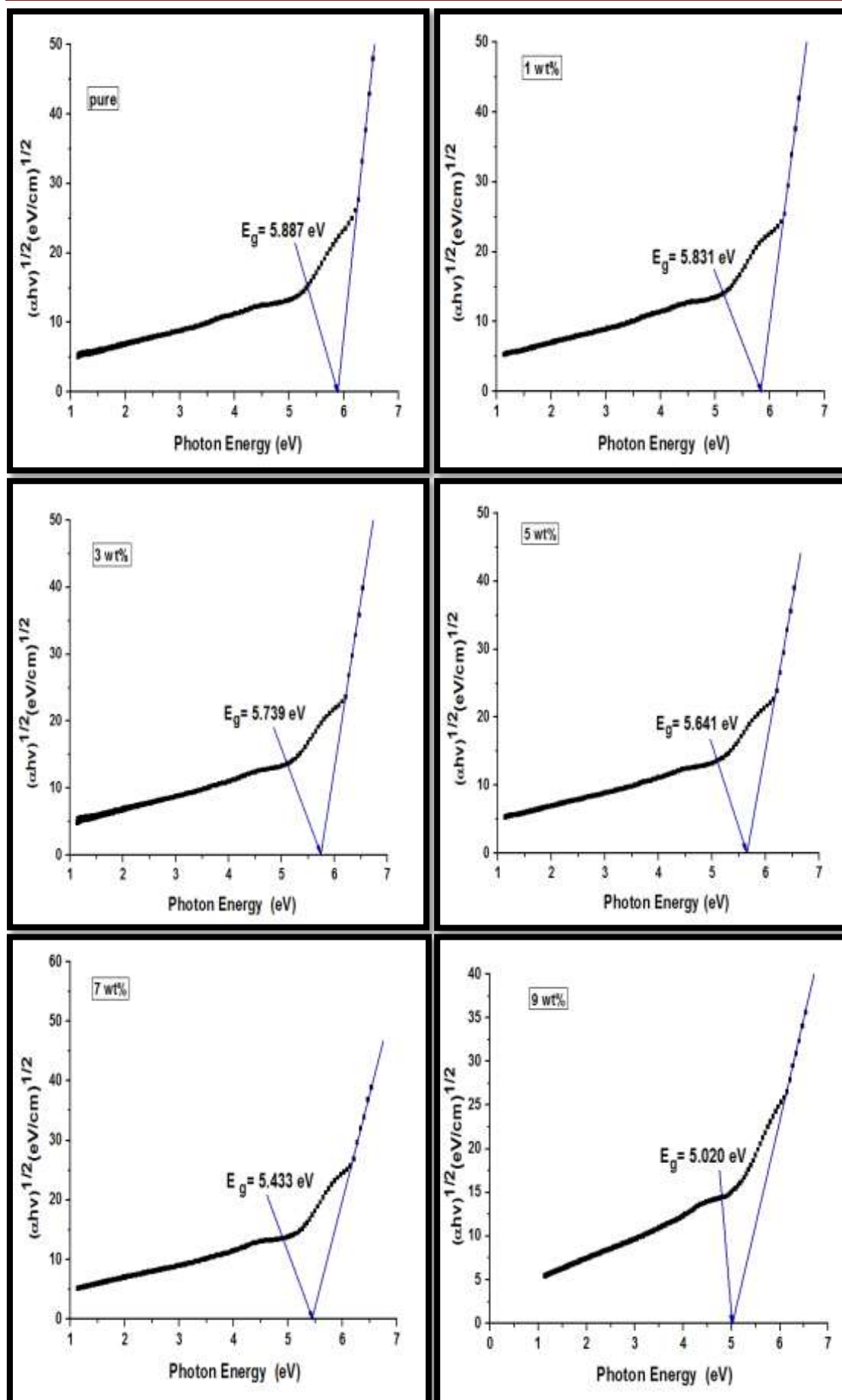
الشكل (4-6): معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي لأغشية المتراب (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO₃)₃).

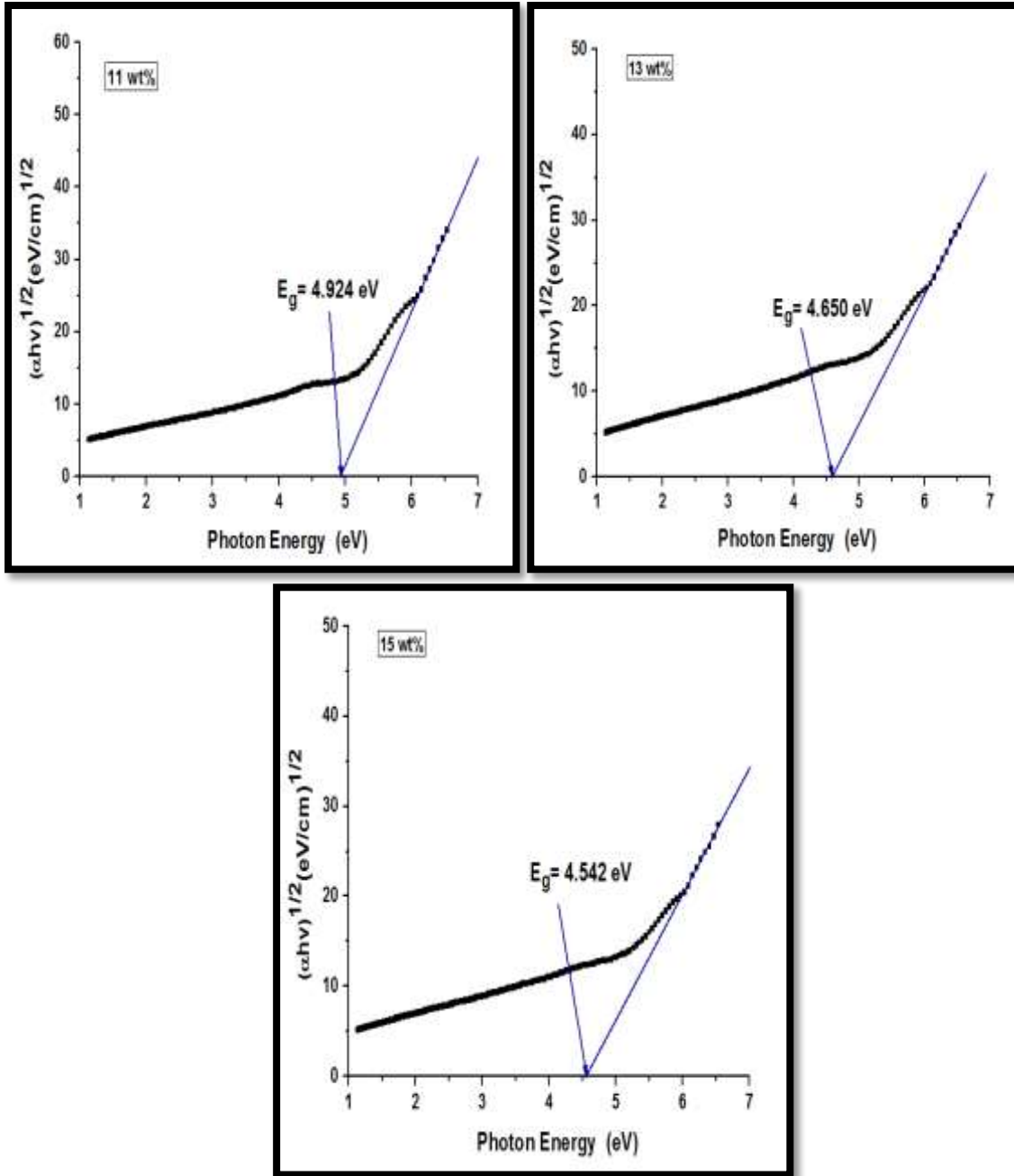
(4-2-4) فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح

Energy Gap of the Allowed Indirect Transition

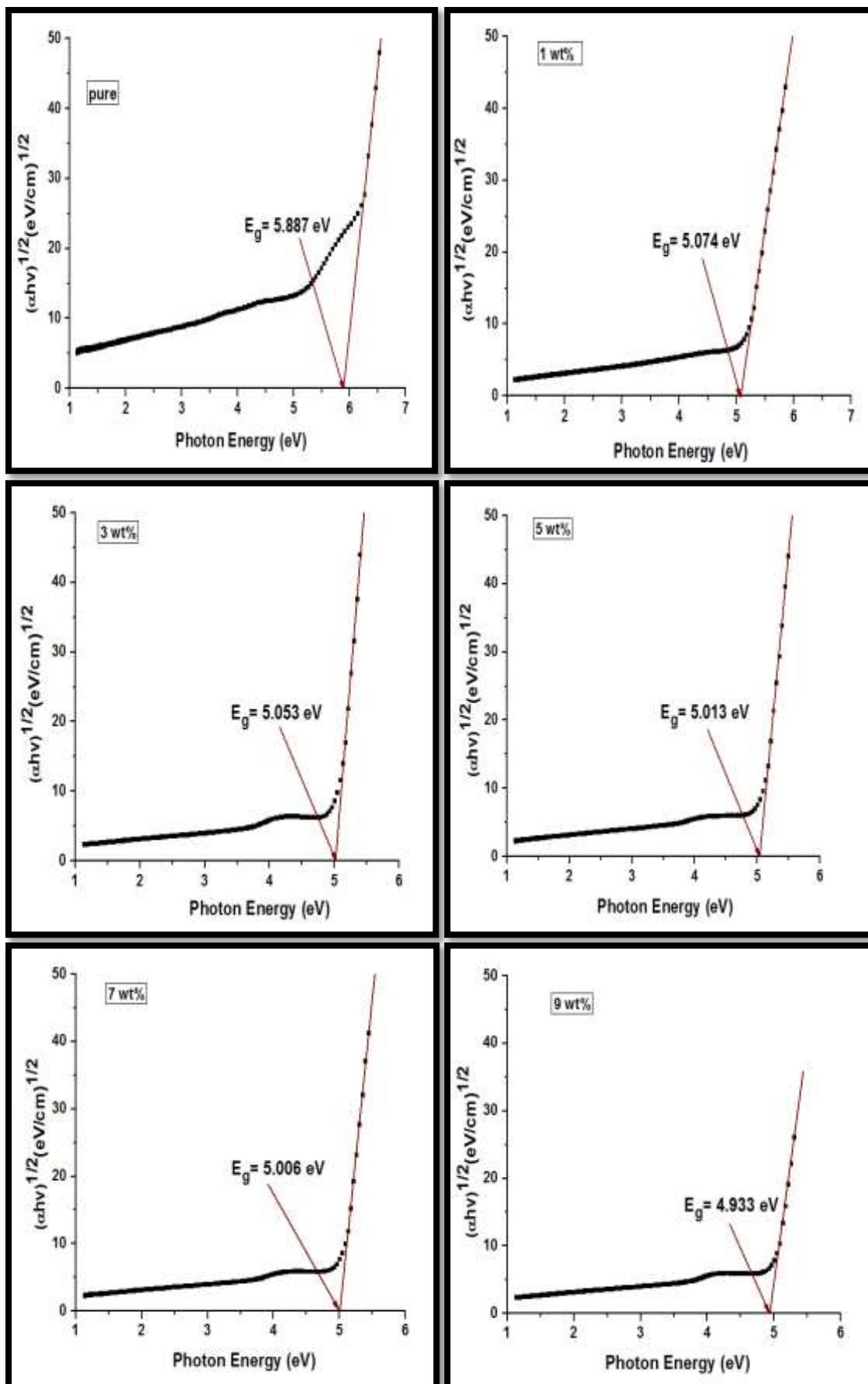
تم حساب فجوة الطاقة (E_g) للانتقال غير المباشر المسموح باستخدام العلاقة (2-1)، إذ أن ($r=2$) والشكلان (4-7) و (4-8) يوضحان العلاقة بين $(\alpha h\nu)^{1/2}$ وطاقة الفوتون ($h\nu$) لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة، ويكون من أفضل خط مستقيم تمر به معظم النقاط بعد حافة الامتصاص ثم نمد خط المماس ليقطع محور طاقة الفوتون (x -axis) عند النقطة $(\alpha h\nu)^{1/2} = 0$ والتي تمثل قيمة فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح. الجدول (4-1) يوضح قيم فجوة الطاقة لأغشية المترابكات كافة. نلاحظ من خلال الجدول أن قيمة فجوة الطاقة لغشاء (PVA) النقي تساوي 5.887 eV ولكن بعد التدعيم بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة فإن قيمة فجوة الطاقة تبدأ بالتناقص بشكل طفيف بزيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة وهذه النتيجة تتفق مع دراسة الباحث (Al Wash) عام (2010) [30] والباحث (Salman) وآخرون عام (2016) [42].

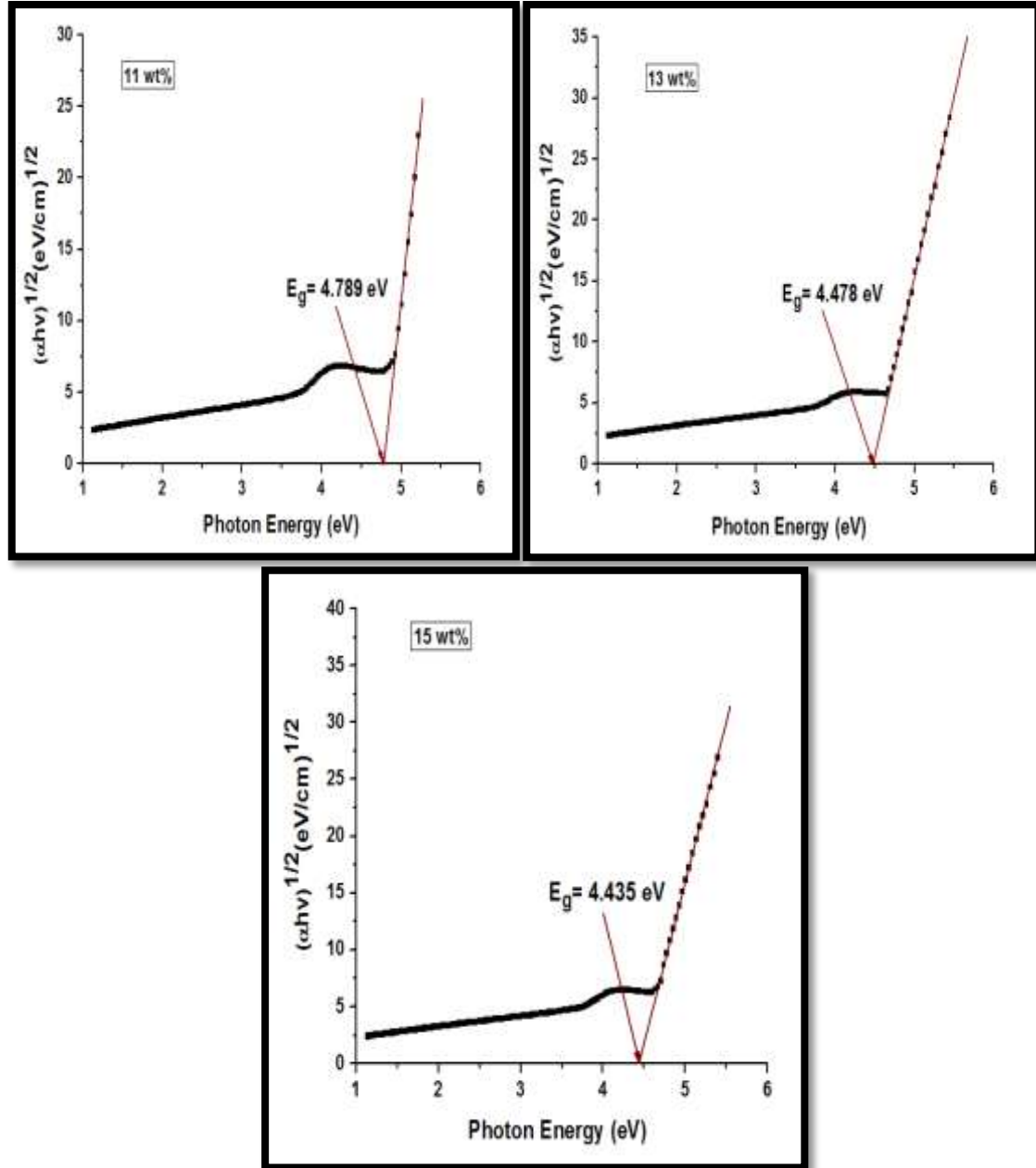
إنّ النقص في قيمة فجوة الطاقة بزيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة يمكن أن يعزى على أساس حقيقة أن دمج كميات صغيرة من مادة التدعيم تشكل تجمعات للشحنة المنتقلة في خانة المادة الأساس (PVA)، وأن تجمعات الشحنة المنتقلة هذه تزيد من التوصيلية الكهربائية بتوفير شحنات إضافية، و أن بزيادة النسبة الوزنية للتدعيم فإن الجزيئات المدعمة سوف تبدأ بسد الفجوة الفاصلة بين المستويين الموضعين وخفض حاجز الجهد بينهما وبالتالي تسهيل انتقال حامل الشحنة بين المستويين الموضعين [37].





الشكل (4-7): فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لاغشية المتراب (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).





الشكل (4-8): فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لأغشية المتراب (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO₃)₃).

الجدول (1-4): قيم فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لأغشية المترابكات (PVA - أملاح الألمنيوم) مع النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم.

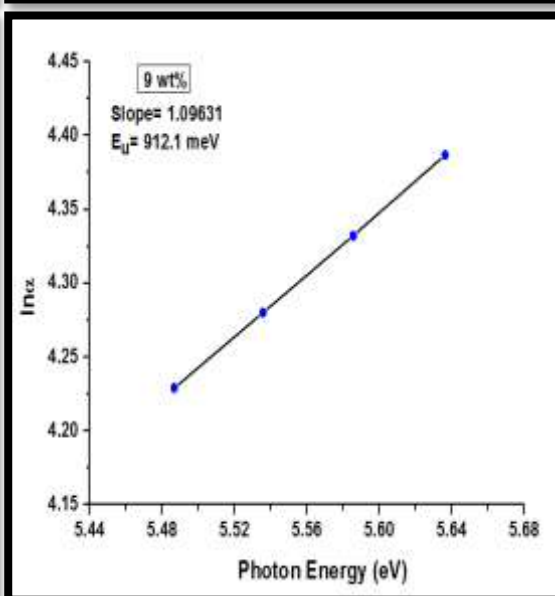
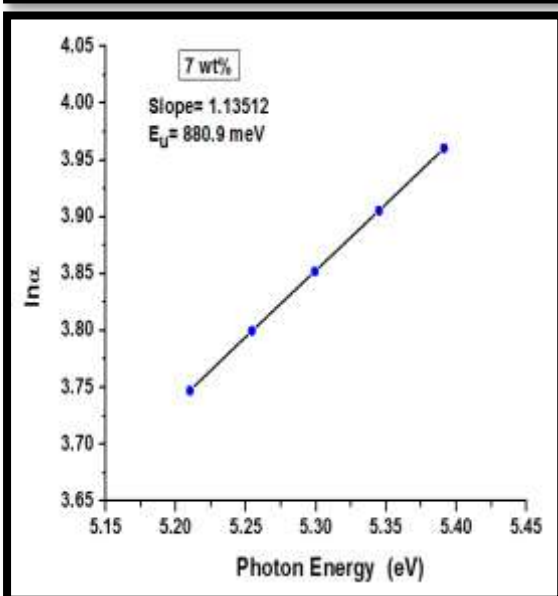
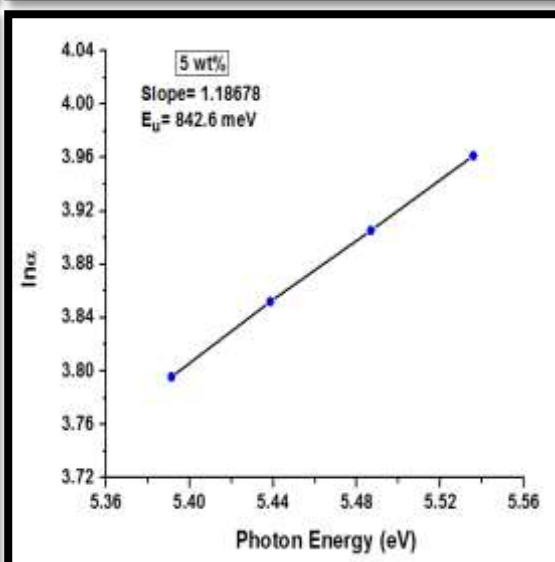
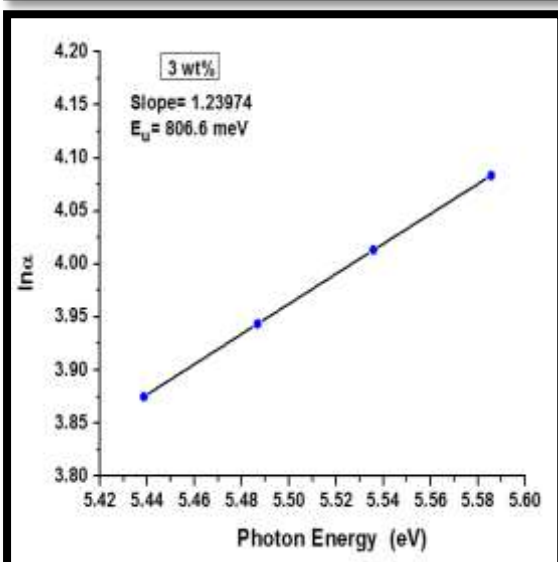
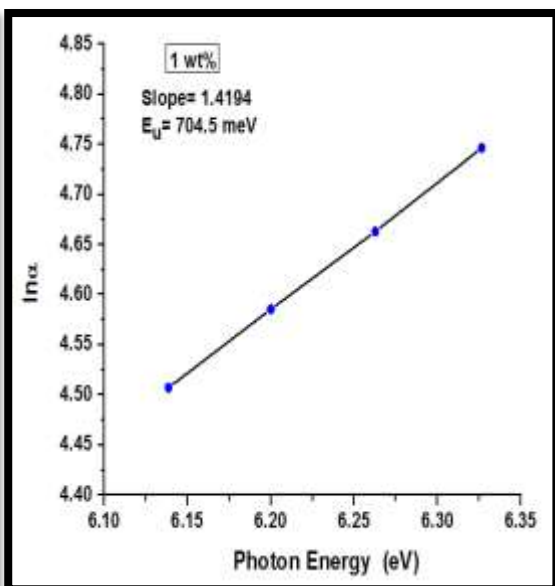
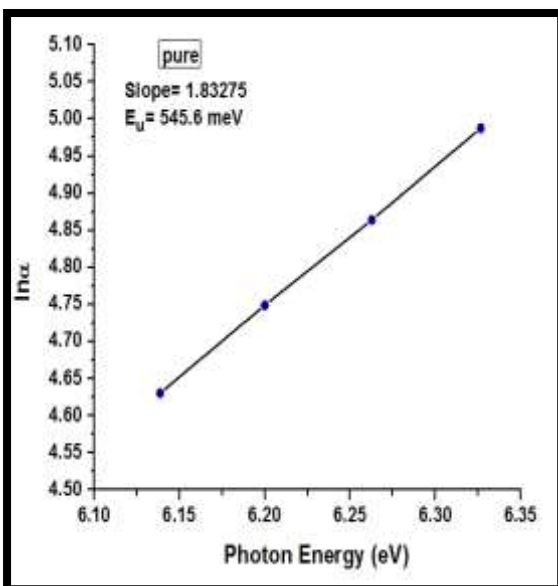
Concentration (wt%)	(PVA-AlCl ₃) E _g (eV)	(PVA-Al(NO ₃) ₃) E _g (eV)
Pure (PVA)	5.887	5.887
1	5.831	5.074
3	5.739	5.053
5	5.641	5.013
7	5.433	5.006
9	5.020	4.933
11	4.924	4.789
13	4.650	4.478
15	4.542	4.435

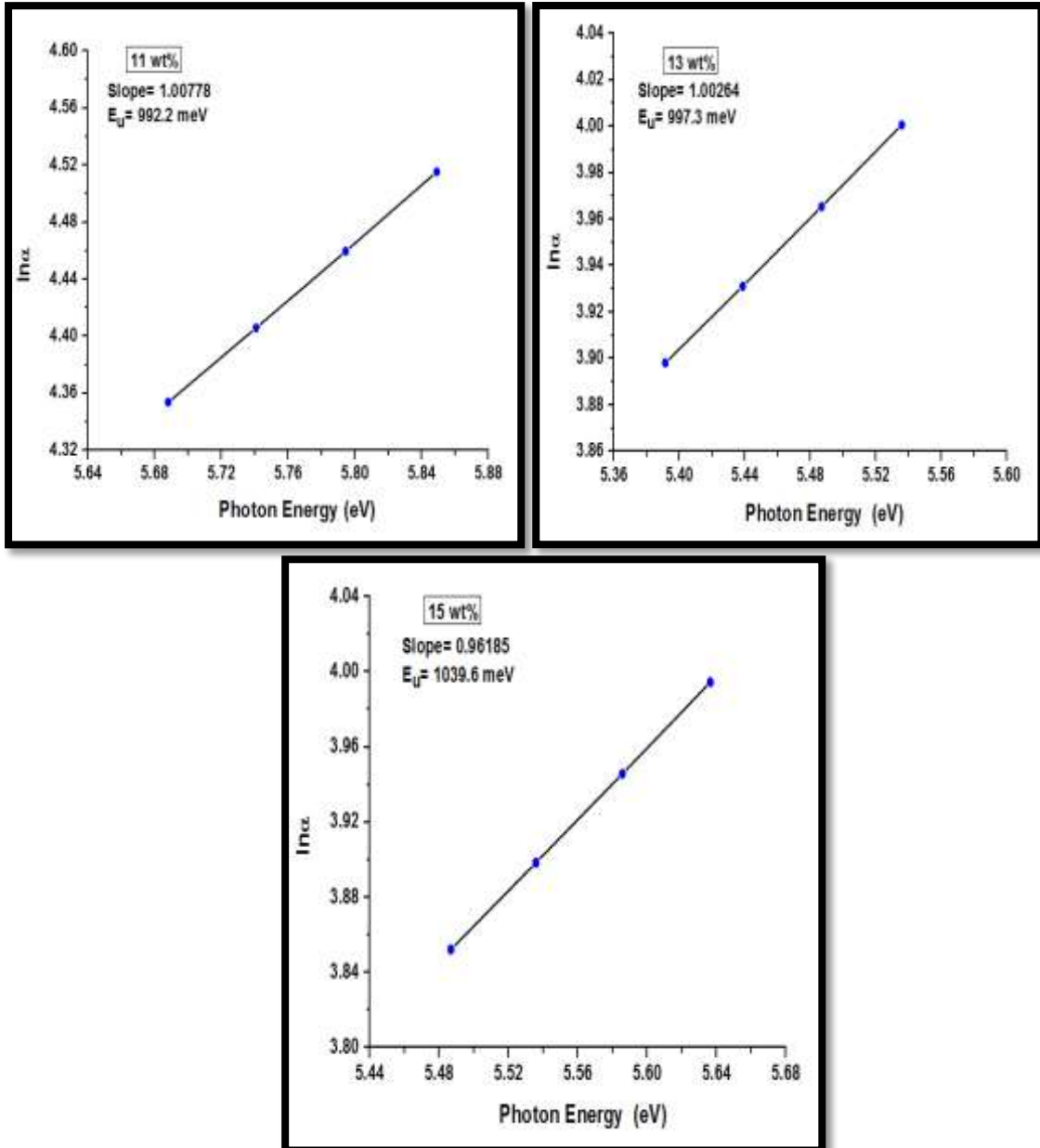
ونلاحظ من خلال الجدول أعلاه أن جميع قيم فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لأغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO₃)₃) هي أصغر من جميع قيم فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لأغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).

(5-2-4) طاقة أورباخ

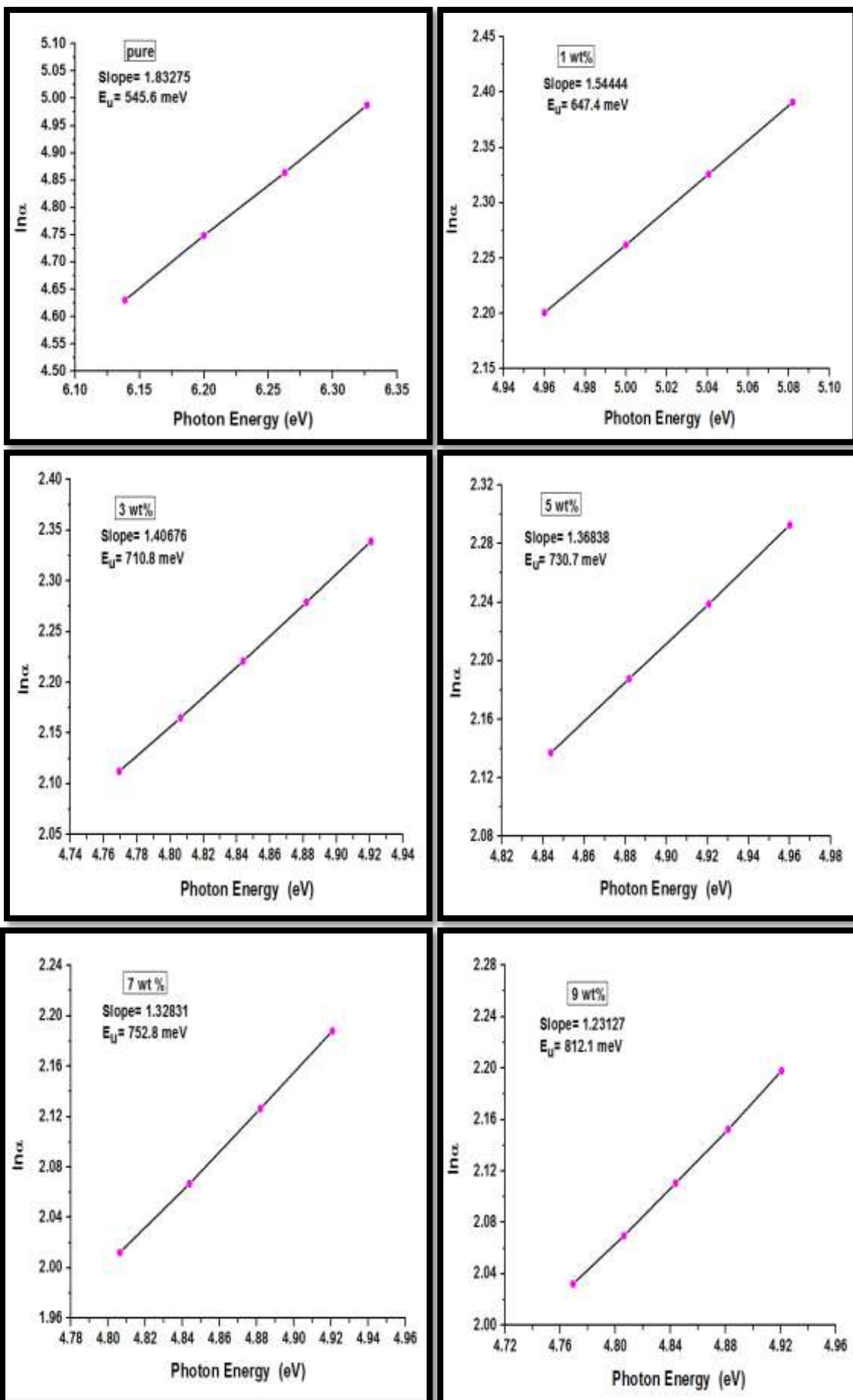
Urbach Energy

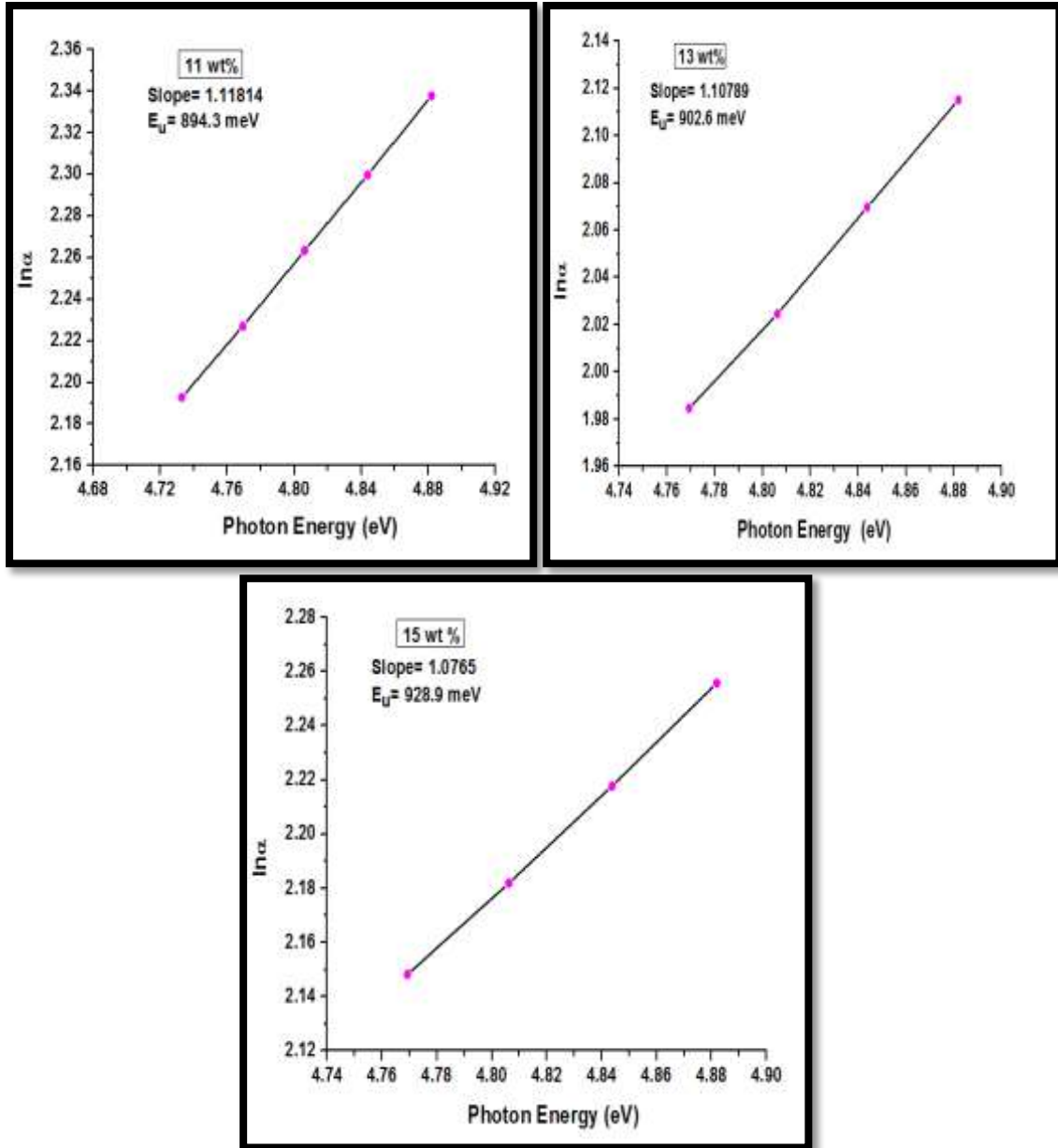
تم حساب طاقة أورباخ (E_U) باستخدام العلاقة (2-2)، الشكلان (4-9) و (4-10) يوضحان العلاقة بين ($\ln\alpha$) وطاقة الفوتون ($h\nu$) لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة، إذ أن طاقة أورباخ تمثل عرض الحالات الموضعية المسموحة داخل فجوة الطاقة ويتم حسابها بأخذ مقلوب قيمة ميل الخط المستقيم للمنطقة الاسية، إذ نلاحظ أن قيمة طاقة أورباخ تزداد بزيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة، وهذا يعني أن السلوك البصري لطاقة أورباخ يكون معاكساً للسلوك البصري لفجوة الطاقة، حيث أن زيادة طاقة أورباخ تدل على زيادة عرض المستويات الموضعية داخل فجوة الطاقة، وهذه النتيجة تتفق مع دراسة الباحث (Al Wash) عام (2010) [30]، الجدول (4-2) يوضح قيم طاقة أورباخ لأغشية المترابكات كافة.





الشكل (9-4): طاقة أوريباخ لاغشية المترابك (PVA- AlCl_3) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl_3) .





الشكل (4-10): طاقة أورباخ لاغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO₃)₃).

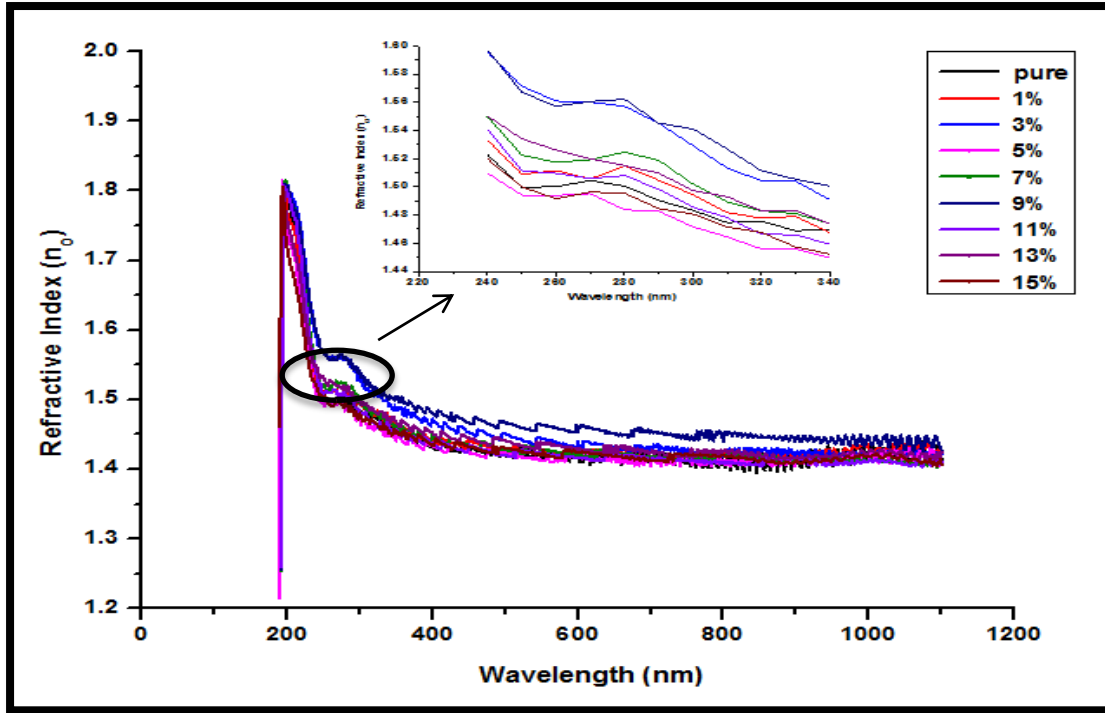
الجدول (2-4): قيم طاقة أورباخ لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) مع النسبة الوزنية للأملاح الألمنيوم.

Concentration (wt%)	(PVA-AlCl ₃) E _u (meV)	(PVA-Al(NO ₃) ₃) E _u (meV)
Pure (PVA)	545.6	545.6
1	704.5	647.4
3	806.6	710.8
5	842.6	730.7
7	880.9	752.8
9	912.1	812.1
11	992.2	894.3
13	997.3	902.6
15	1039.6	928.9

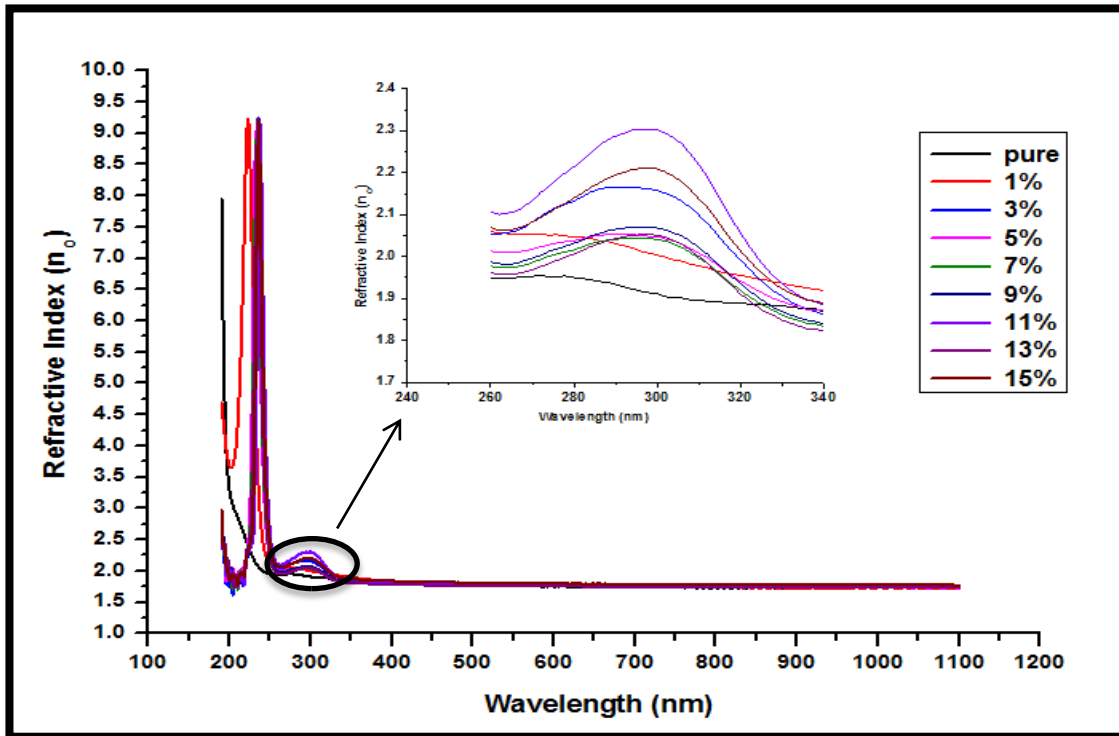
Refractive Index

(6-2-4) معامل الانكسار

تم حساب معامل الانكسار (n_0) من خلال العلاقة (11-2) والشكلان (11-4) و (12-4) يوضحان معامل الانكسار كدالة للطول الموجي لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة، من خلال الشكلين نلاحظ أن معامل الانكسار يزداد مع زيادة النسبة الوزنية للأملاح الألمنيوم المضافة وهذا يعزى إلى زيادة في الكثافة مع زيادة النسبة الوزنية للأملاح الألمنيوم المضافة، وهذه النتيجة تتفق مع دراسة الباحث (Al Wash) عام (2010) [34] و الباحث (Salman) وآخرون عام (2016) [42].



الشكل (4-11): معامل الانكسار كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).

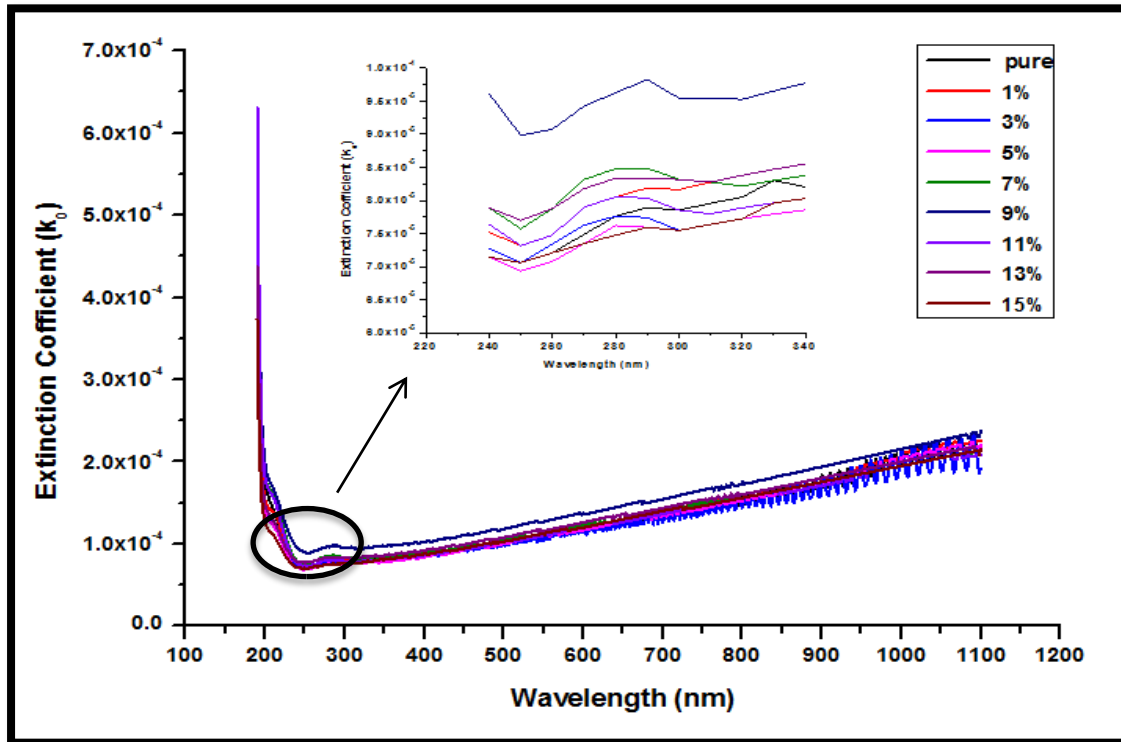


الشكل (4-12): معامل الانكسار كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO₃)₃).

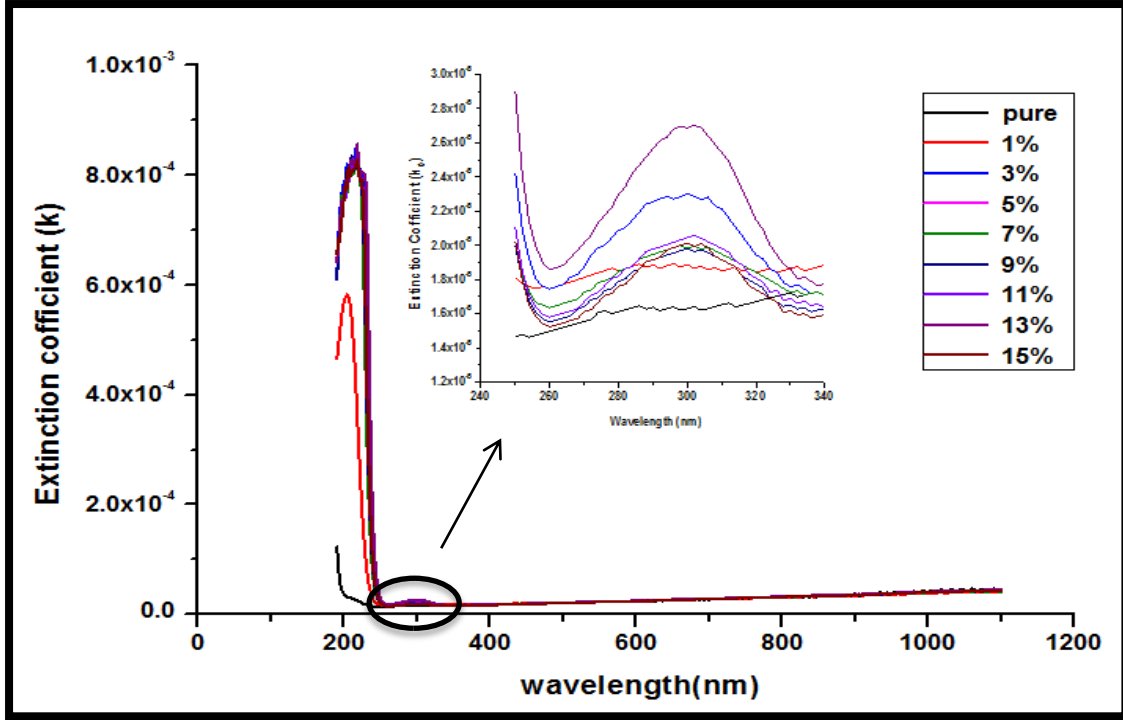
Extinction Coefficient

(7-2-4) معامل الخمود

تم حساب معامل الخمود (k_0) باستخدام العلاقة (13-2) والشكلان (13-4) و (14-4) يوضحان معامل الخمود كدالة للطول الموجي لآغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الالمنيوم بنسب وزنية مختلفة، ونستطيع أن نلاحظ من خلال الشكلين أن معامل الخمود يمتلك قيمة صغيرة عند النسب الوزنية القليلة من أملاح الالمنيوم المضافة ولكن يبدأ معامل الخمود بالزيادة مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الالمنيوم المضافة، والسبب يعود إلى زيادة معامل الامتصاص مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الالمنيوم المضافة نتيجة اعتماد معامل الخمود على معامل الامتصاص بحسب العلاقة أعلاه. وهذه النتيجة تتفق مع دراسة الباحث (Al Wash) عام (2010) [34] و الباحث (Salman) وآخرون عام (2016) [42].



الشكل (13-4): معامل الخمود كدالة للطول الموجي لآغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).

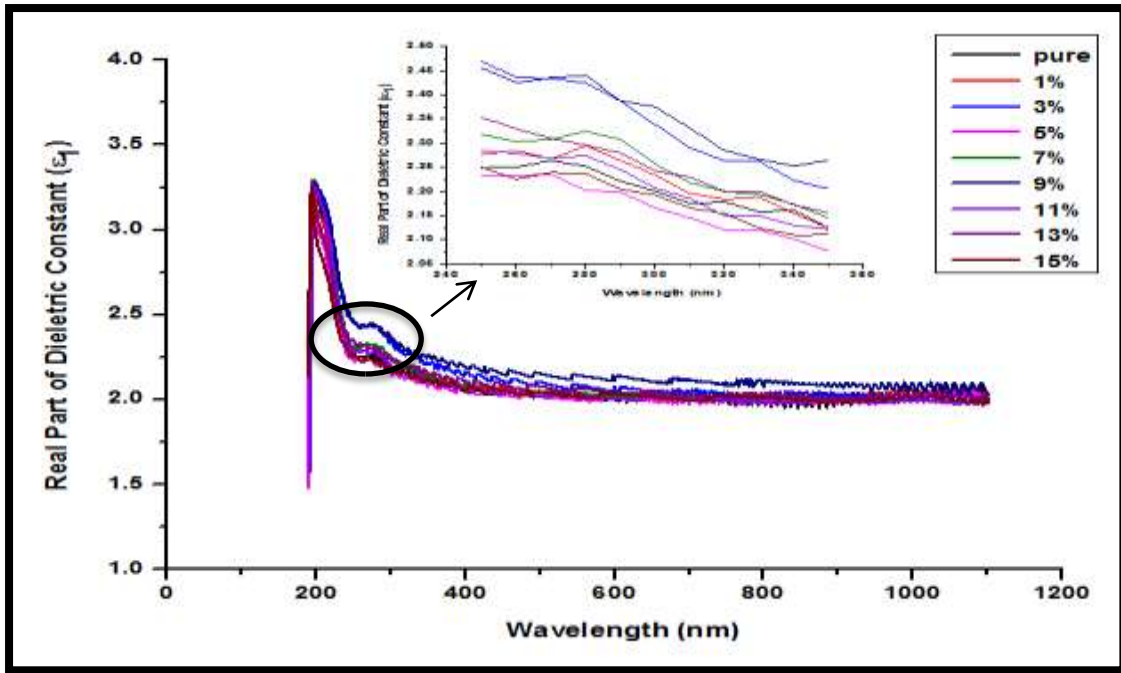


الشكل (14-4): معامل الخمود كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA- $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) بنسب وزنية مختلفة من ملح $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$.

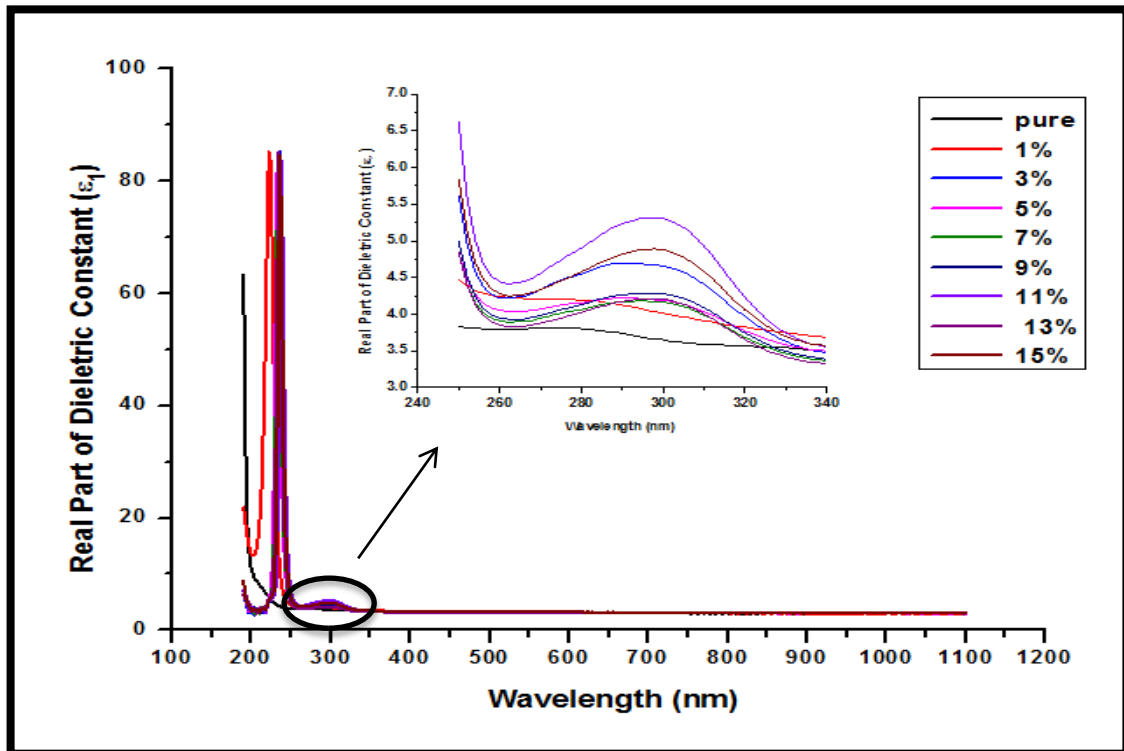
(8-2-4) الجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل البصري

Real and Imaginary Parts of Optical Dielectric Constant

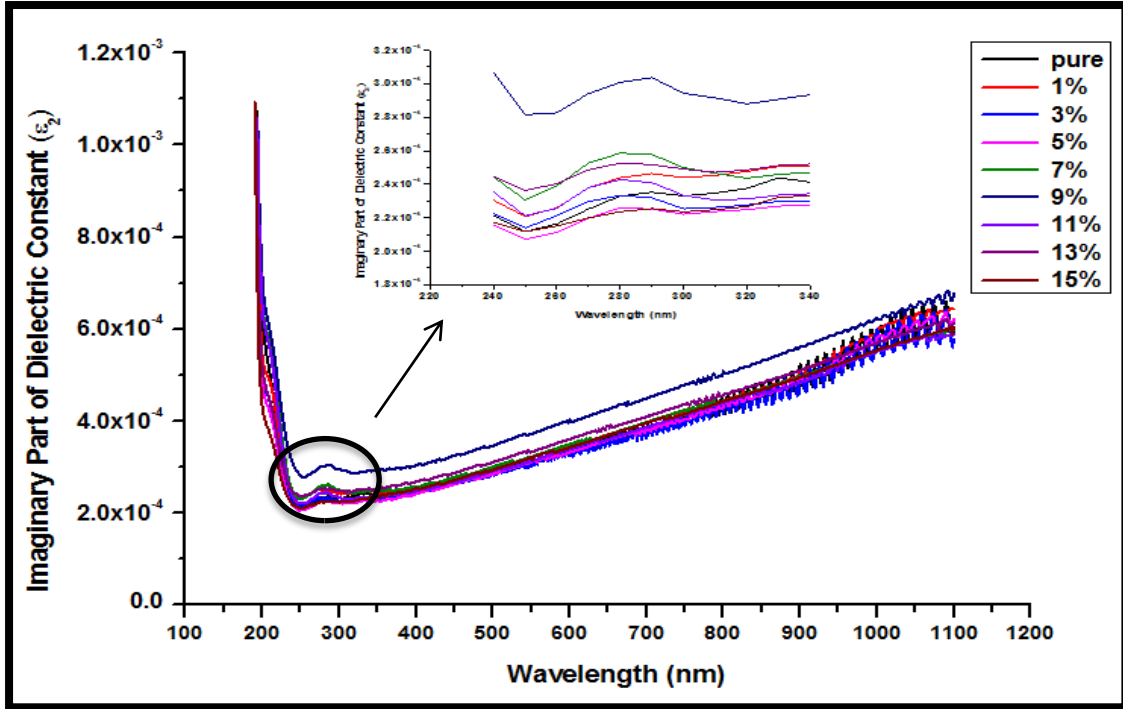
تم حساب الجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل البصري باستخدام العلاقتين (17-2) و (18-2) على التوالي، الأشكال (15-4) و (16-4) و (17-4) و (18-4) توضح ثابت العزل البصري بجزأيه الحقيقي والخيالي كدالة للطول الموجي لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة، ونلاحظ من خلال الأشكال زيادة كلا من الجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل البصري بزيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة وهذا السلوك يشابه سلوك (n_0) و (k_0) بسبب أن (ϵ_1) يعتمد على (n_0^2) نتيجة إلى القيمة الصغيرة لـ (k_0^2) بحسب العلاقة (17-2) بينما (ϵ_2) يعتمد على (k_0) بحسب العلاقة (18-2)، وتتغير (k_0) مع تغير (α) نتيجة إلى العلاقة التي تربط بين (α) و (k_0) بحسب العلاقة (13-2)، أن الجزأين الحقيقي والخيالي لثابت العزل البصري يظهران النمط نفسه وأن قيم الجزء الحقيقي أكبر من قيم الجزء الخيالي، وهذه النتيجة تتفق مع دراسة الباحث (Al Wash) عام (2010) [34] و الباحث (Salman) وآخرون عام (2016) [42].



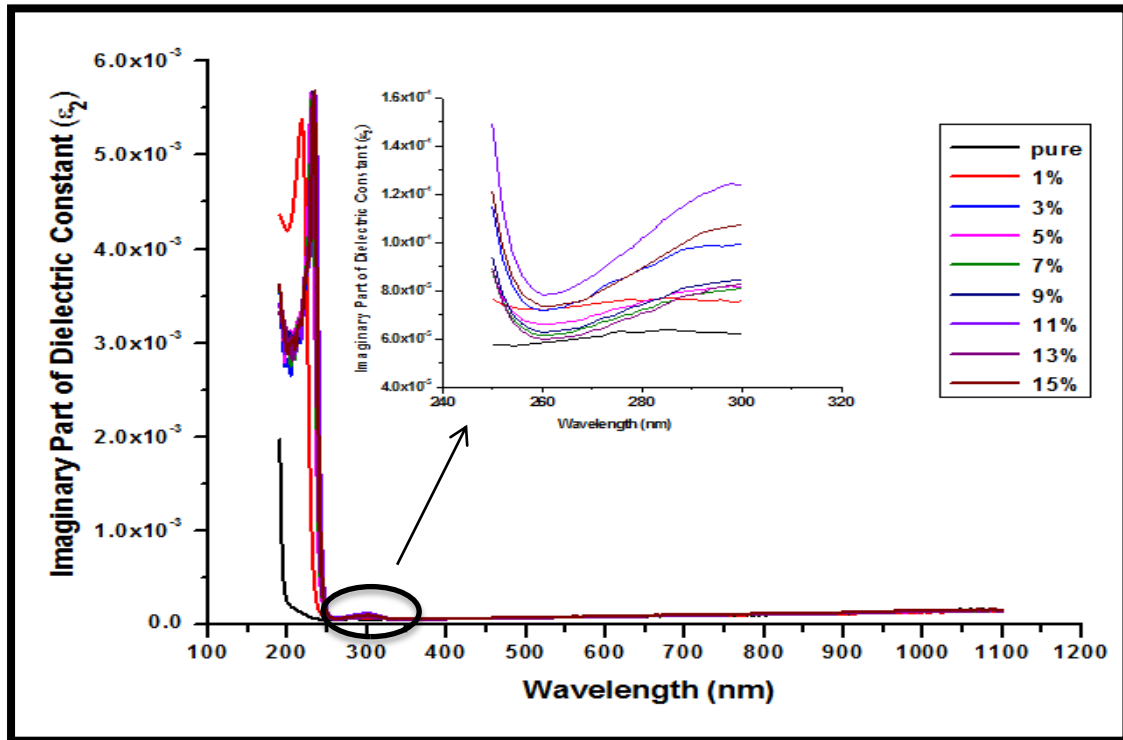
الشكل (4-15): الجزء الحقيقي لثابت العزل البصري كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).



الشكل (4-16): الجزء الحقيقي لثابت العزل البصري كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO₃)₃).



الشكل (4-17): الجزء الخيالي لثابت العزل البصري كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).



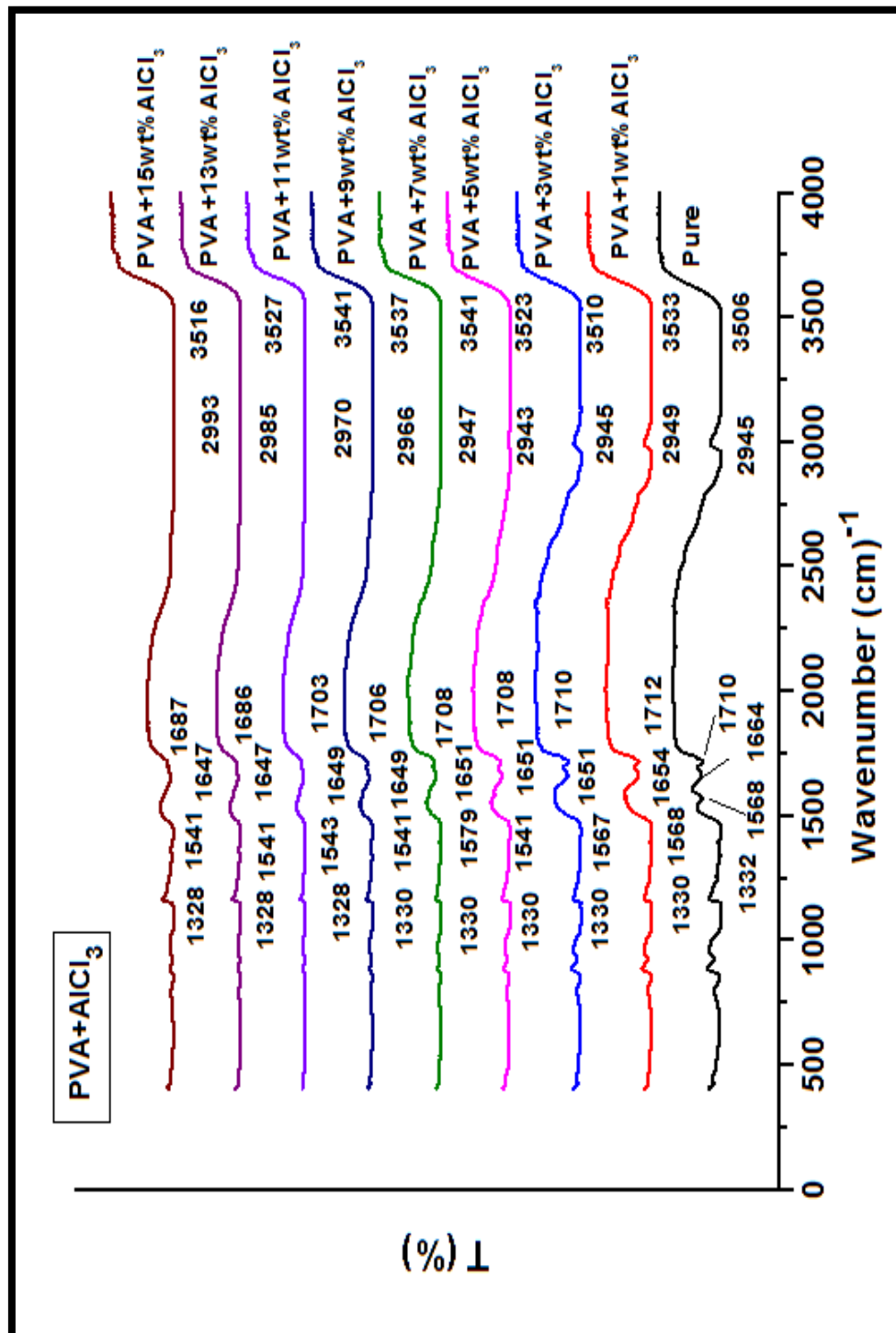
الشكل (4-18): الجزء الخيالي لثابت العزل البصري كدالة للطول الموجي لأغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO₃)₃).

(3-4) تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء

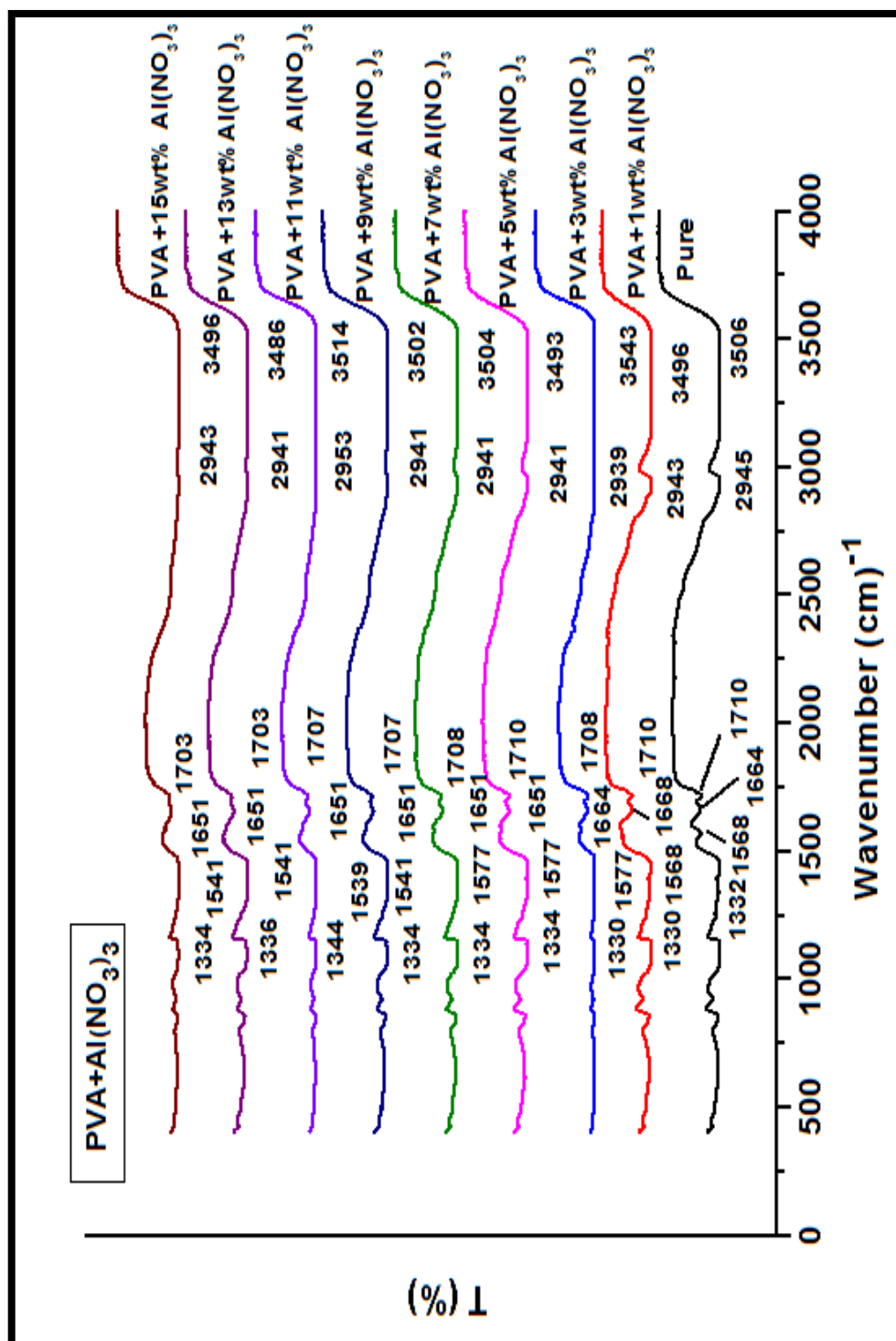
Fourier Transform Infrared (FTIR)

تمت دراسة طيف تحويل فورير للأشعة تحت الحمراء لاغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة وذلك من خلال قياس طيف النفاذية بوصفه دالة للعدد الموجي ضمن مدى قياس cm^{-1} (400-4000) وكما هو موضح بالشكلين (4-19) و (4-20) واللذين أظهرتا بعضاً من أواصر اهتزازات التمدد والانحناء لغشاء (PVA) النقي (OH , $C-H$, $C=O$, $C=C$, CH_2). ونستطيع أن نلاحظ من خلال الشكلين أنه لا توجد حزمة امتصاص لمجموعة الهيدروكسيل الحرة ($-OH$) عند العدد الموجي ($3600cm^{-1}$) لـ (PVA) وهذا يشير إلى أن مجموعات الهيدروكسيل لسلاسل (PVA) هي عموماً مرتبطة بين الجزيئات أو داخل الجزيئات لأصرة الهيدروجين. ونلاحظ أيضاً من خلال الشكلين أن العدد الموجي لحزمة الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) لـ (PVA) ينحرف نحو قيم أعلى بعد التدعيم بملح ($AlCl_3$) بكافة نسبه الوزنية وكذلك عند التدعيم بملح ($Al(NO_3)_3$) بنسبة وزنية $wt\%$ (3,11) فقط ولكن عند التدعيم بالنسب الوزنية الأخرى ($wt\%$ (1,5,7,9,13,15)) من ملح ($Al(NO_3)_3$) فإن العدد الموجي لمجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) لـ (PVA) ينحرف نحو قيم أوطأ وهذه الانحرافات في قيمة تردد الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) لـ (PVA) مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة يشير إلى حدوث تفاعل بين بوليمر (PVA) وأملاح الألمنيوم المضافة، أن تردد الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) لغشاء (PVA) النقي يكون عند قيمة ($3506cm^{-1}$) ولكن عند التدعيم بأملاح الألمنيوم فإن هذا التردد الامتصاصي ينحرف نحو قيمة أعلى وهي ($3541cm^{-1}$) عند النسبة الوزنية $wt\%$ (7,11) و ($3543 cm^{-1}$) عند النسبة الوزنية (3 $wt\%$) لأملاح ($AlCl_3$) و ($Al(NO_3)_3$) على التوالي، وهذا يدل على أن أصرة الهيدروجين تكون ضعيفة عندما ينحرف التردد الامتصاصي إلى قيمة عالية، أي بمعنى آخر أن إضافة أملاح الألمنيوم يقلل من شدة أصرة الهيدروجين لجزيئات (PVA) بسبب أن هذه الأملاح لها أشكال قوية من الأصرة الهيدروجينية مع (PVA) والتي تأخذ مكان الأصرة الهيدروجينية بين مجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) لجزيئات (PVA). كما نلاحظ من خلال الشكلين ظهور حزمة عند العدد الموجي ($2945cm^{-1}$) تعود إلى أصرة التمدد ($C-H$) اللامتماثلة لغشاء (PVA) النقي وعند التدعيم بأملاح الألمنيوم فإن قيمة هذا العدد الموجي لهذه الأصرة تنحرف نحو قيمة أعلى وهي ($2993cm^{-1}$) عند النسبة الوزنية

(15wt%) و(2953cm⁻¹) عند النسبة الوزنية (11wt%) لأملح (AlCl₃) و (Al(NO₃)₃) على التوالي، وكذلك نلاحظ ظهور حزمتين عند العدد الموجي (1710cm⁻¹) و (1664cm⁻¹) تعودان الى أصرة أهتزاز التمدد (C=O) وأصرة (C=C) على التوالي لغشاء (PVA) النقي والتي تعودان الى مجاميع الاستيت (Acetate Groups) المتبقية من عملية صنع بوليمر (PVA) بعملية تحلل بولي فينيل الاستيت وعند التدعيم بأملاح الالمنيوم نلاحظ أن قيمة هذين العددين الموجيين للأصرتين (C=O) و (C=C) تنحرف نحو قيم أوطأ وهذا يعني أن أملاح الالمنيوم تتفاعل أيضا مع مجاميع الاستيت لوحدات فينيل أستيت لـ (PVA)، وكذلك نلاحظ ظهور حزمة عند العدد الموجي (1568cm⁻¹) تعود الى أصرة أهتزاز الانحناء (-CH₂) لغشاء (PVA) النقي وحزمة عند العدد الموجي (1332cm⁻¹) تعود الى أصرة أهتزاز الألتواء (-CH₂) لغشاء (PVA) النقي وقد تأثرت أيضا هاتين الاصرتين (تغير العدد الموجي لهما) بعملية التدعيم بأملاح الالمنيوم. وعلى ضوء ماتقدم أن التفاعل بين أملاح الالمنيوم وبوليمر (PVA) قد حطم أصرة الهيدروجين لـ (PVA)، وهذه النتائج تتفق مع دراسة الباحث (Pu-you) وآخرون عام (2014) والباحث (Luo) وآخرون عام (2015) [37,38]. والجدولين (3-4) و(4-4) يوضحان قيم الاعداد الموجية لحزم الامتصاص لاواصر أغشية المتراكبات كافة.



الشكل (19-4): طيف (FTIR) لأغشية المترابك بنسب وزنية مختلفة من ملح (PVA-AlCl₃).



الشكل (20-4): طيف (FTIR) لأغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO₃)₃).

الجدول (3-4): قيم الأعداد الموجية لحزم الامتصاص لأواصر أغشية المترابطة (PVA-AlCl₃) مع النسبة الوزنية لملاح (AlCl₃).

Bond	Wavenumbers (cm) ⁻¹ (PVA-AlCl ₃)								
	Concentration (wt%)								
	Pure (PVA)	1 wt%	3 wt%	5 wt%	7 wt%	9 wt%	11 wt%	13 wt%	15 wt%
O-H Stretching Vibration	3506	3533	3510	3523	3541	3537	3541	3527	3516
C-H Asymmetric Stretching	2945	2949	2945	2943	2947	2966	2970	2985	2993
C=O Stretching Vibration	1710	1712	1710	1708	1708	1706	1703	1686	1687
Acetylene C≡C group	1664	1654	1651	1651	1651	1649	1649	1647	1647
Bending of CH ₂ Vibration	1568	1568	1567	1541	1579	1541	1543	1541	1541
Wagging of CH ₂ Vibration	1332	1330	1330	1330	1330	1330	1328	1328	1328

الجدول (4-4): قيم الأعداد الموجية لحزم الامتصاص لأواصر أغشية المترابطة (PVA-Al(NO₃)₃) مع النسبة الوزنية لملح (Al(NO₃)₃).

Bond	Wavenumbers (cm) ⁻¹ (PVA-Al(NO ₃) ₃)								
	Concentration (wt%)								
	Pure (PVA)	1 wt%	3 wt%	5 wt%	7 wt%	9 wt%	11 wt%	13 wt%	15 wt%
O-H Stretching Vibration	3506	3496	3543	3493	3504	3502	3514	3486	3496
C-H Asymmetric Stretching	2945	2943	2939	2941	2941	2941	2953	2941	2943
C=O Stretching Vibration	1710	1710	1708	1710	1708	1707	1707	1703	1703
Acetylene C≡C group	1664	1668	1664	1651	1651	1651	1651	1651	1651
Bending of CH ₂ Vibration	1568	1568	1577	1577	1577	1541	1539	1541	1541
Wagging of CH ₂ Vibration	1332	1330	1330	1334	1334	1334	1344	1336	1334

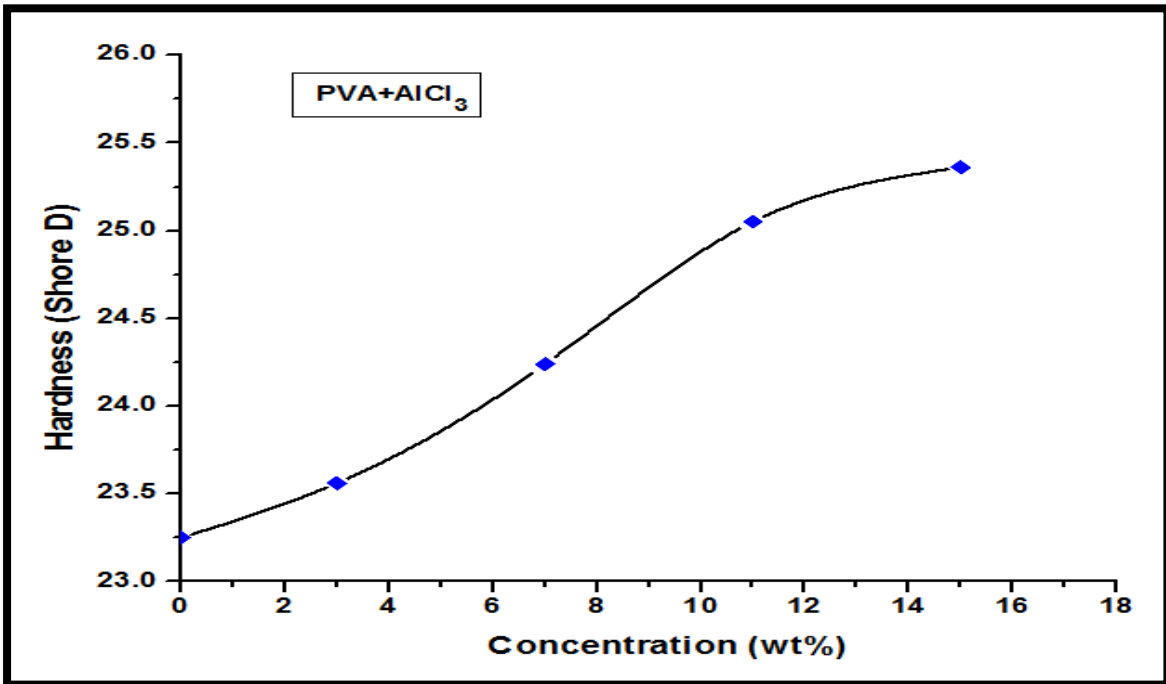
(4-4) الخواص الميكانيكية

Mechanical Properties

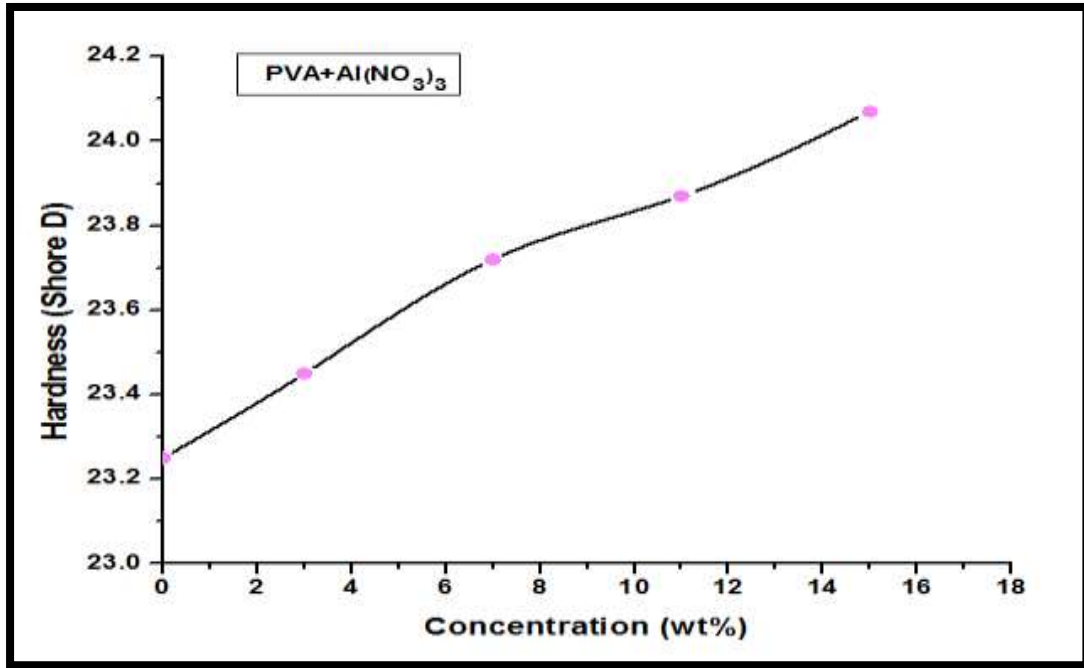
(1-4-4) اختبار الصلادة

Hardness Test

لقد أتبع اختبار الصلادة نوع (Shore D) لاغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة ((3,7,11,15) wt%) وكما هو موضح بالشكلين (21-4) و (22-4)، حيث يتضح من خلال الشكلين بأن الصلادة لمادة الاساس (بوليمر (PVA)) تزداد بأضافة المواد المدعمة وهي أملاح الألمنيوم ($AlCl_3$, $Al(NO_3)_3$)، وتستمر الصلادة بالزيادة مع زيادة النسبة الوزنية لأملح الألمنيوم المضافة، ومن مفهوم الصلادة يمكن عدها مقياساً للتشوه اللدن الذي يمكن أن تعاني فيه المادة تحت تأثير أجهاد خارجي وبذلك فإن أضافة مادة التدعيم الى المادة الاساس يزيد من صلادة المادة نتيجة لزيادة مقاومتها للتشوه اللدن [93]، وكذلك تغلغل مادة التدعيم الى داخل المادة الاساس والى داخل المسافات البينية والفراغات يؤدي الى زيادة مساحة التماس وبالتالي حصول ارتباط بين المادة الاساس ومادة التدعيم مما أدى الى تقوية المتراكب ومن ثم زيادة الصلادة [94]. والجدول (5-4) يوضح قيم الصلادة لاغشية المتراكبات كافة.



الشكل (21-4): الصلادة لاغشية المتراكب (PVA- $AlCl_3$) كدالة للنسبة الوزنية لملاح ($AlCl_3$).



الشكل (22-4): الصلادة لاغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) كدالة للنسبة الوزنية لمخ (Al(NO₃)₃).

الجدول (5-4): قيم الصلادة لاغشية المترابكات (PVA - أملاح الألمنيوم) مع النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم.

Concentration (wt%)	(PVA-AlCl ₃)	(PVA-Al(NO ₃) ₃)
Pure (PVA)	23.25	23.25
3	23.56	23.45
7	24.24	23.72
11	25.05	23.87
15	25.36	24.07

ونلاحظ من خلال الجدول أعلاه أن قيم الصلادة لأغشية المتراكب (PVA-AlCl₃) هي أكبر من جميع قيم الصلادة لأغشية المتراكب (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (Al(NO₃)₃).

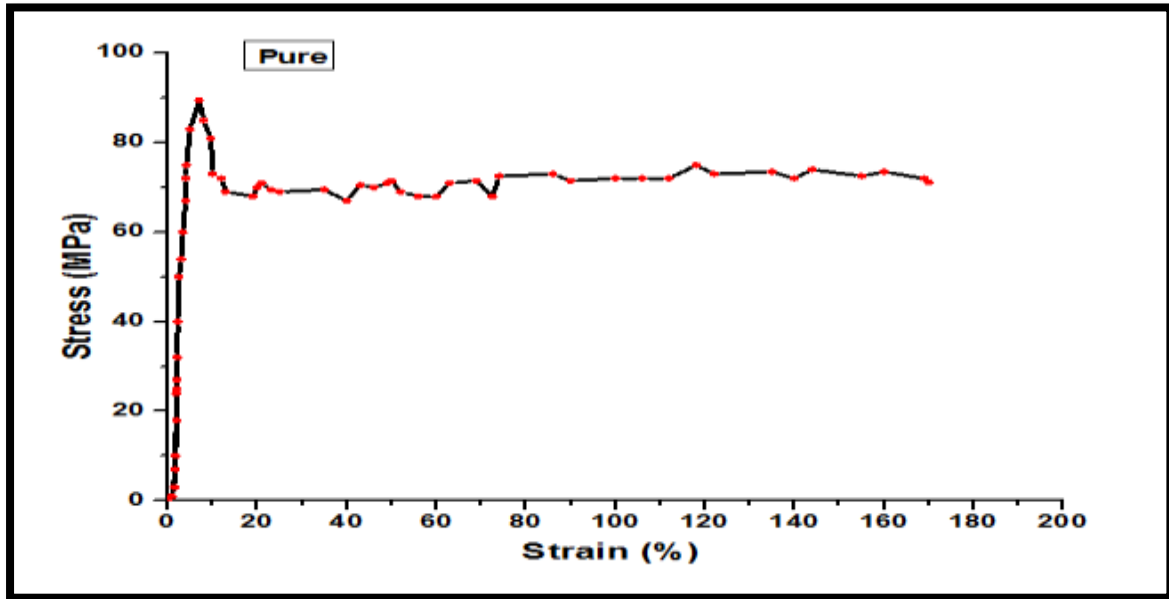
(2-4-4) اختبار الشد Tensile Test

أجري اختبار الشد وتم الحصول على منحنيات (الأجهاد - الانفعال) لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدمعة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة ((3,7,11,15) wt%)، يوضح الشكل (23-4) منحنى (الإجهاد - الانفعال) لغشاء (PVA) النقي حيث نجد أنه يتكون من منطقة تشوه مرنة تتمثل بالعلاقة الخطية بين الإجهاد والانفعال ومن هذه المنطقة تم حساب معامل المرونة (معامل يونك) والذي يمثل ميل الخط المستقيم، تعاني المادة البوليمرية ضمن حدود هذه المنطقة تشوهاً مرناً ناتجاً عن شد واستطالة للسلاسل البوليمرية دون حصول تكسر في الأواصر، ينحرف بعدها هذا المنحنى عن السلوك الخطي نتيجة تولد شقوق داخل المادة البوليمرية. تنمو هذه الشقوق وتتجمع مع زيادة الإجهاد مكونة شقوق أكبر حجماً وتستمر بالنمو مع الإجهاد المسلط حتى يحصل الكسر في العينة. وفي حالات أخرى يبدأ الكسر عند السطوح الخارجية في مواقع التشوهات أو العيوب كالخدوش أو التلmates أو الشقوق الداخلية والتي تعمل كمناطق لتركيز الاجهادات والتي تؤدي إلى ارتفاع قيمة الإجهاد إلى حدود تتجاوز فيها قوة التآصر الداخلية وبالتالي يحدث الكسر.

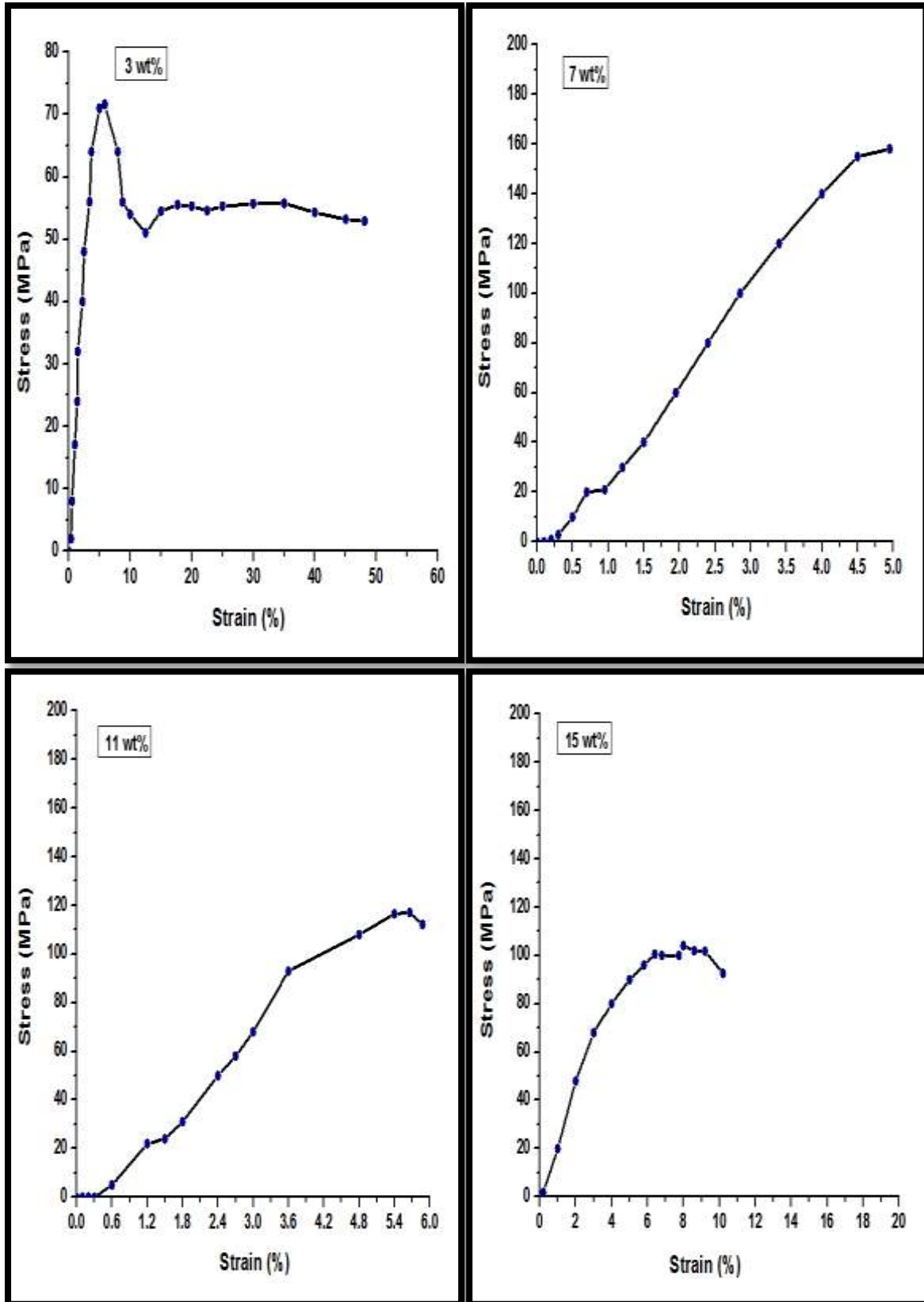
حيث أنه عند إضافة مواد التدعيم (أملاح الألمنيوم) إلى المادة الأساس (بوليمر (PVA)) النقي فإن منحنيات (الاجهاد - الانفعال) تتغير ونحصل على منحنيات ذات خواص مختلفة اعتماداً على نوع مادة التدعيم المضافة ونسبتها الوزنية هو موضح بالشكلين (24-4) و (25-4).

الجدولان (6-4) و (7-4) يوضحان قيم كلا من متانة الشد (T.S) والاستطالة حد الكسر (E_b) ومعامل يونك (Y_m) لأغشية المتراكبات كافة والتي حددت من منحنيات (الاجهاد - الانفعال)، حيث نلاحظ من خلال الجدولين أن قيمة متانة الشد لغشاء (PVA) النقي تكون (71.1 MPa) وقيمة الاستطالة حد الكسر تكون (170 %) وقيمة معامل يونك تكون (3350 MPa)، ولكن بعد التدعيم بأملاح الألمنيوم فإن هذه القيم ستتغير. فعند التدعيم بملح (AlCl₃)، فنلاحظ أن قيمة متانة الشد قد قلت عند النسبة الوزنية (3wt%) لتبلغ

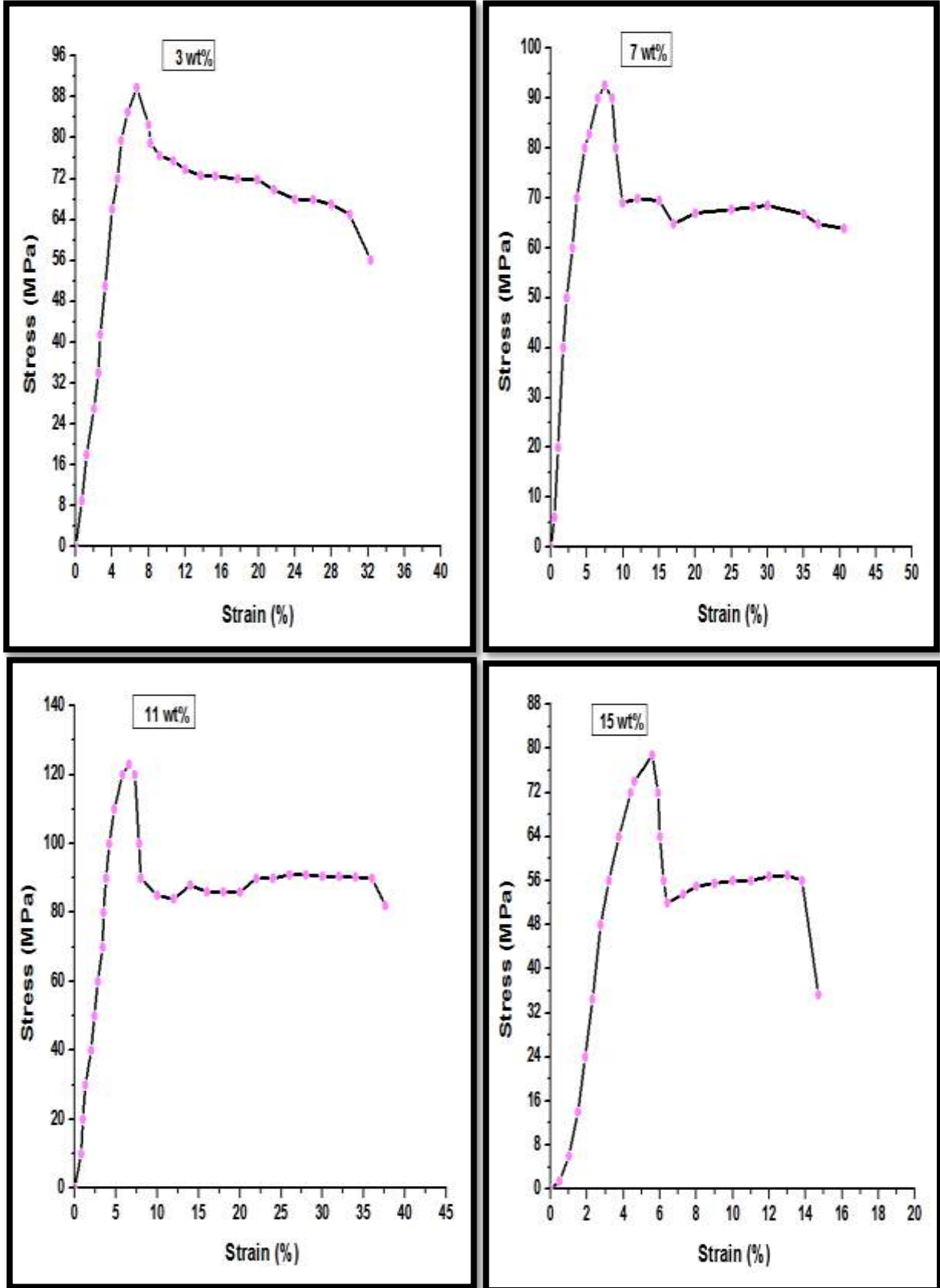
(52.9 MPa) ثم بدأت بالزيادة بشكل غير منتظم لتبلغ أعلى قيمة لها عند النسبة الوزنية (7 wt%) وهي (158 MPa)، أما قيمة الاستطالة حد الكسر فنلاحظ أنها بعد التدعيم تبدأ بالتناقص بشكل غير منتظم لتبلغ أقل قيمة لها وهي (4.95 %) عند النسبة الوزنية (7 wt%)، وأما قيمة معامل يونك فقد قلت بعد التدعيم عند النسبة الوزنية (3 wt%) لتبلغ (2310 MPa) ثم بدأت بالزيادة بشكل غير منتظم لتبلغ أعلى قيمة لها عند النسبة الوزنية (7 wt%) وهي (3870 MPa). أما عند التدعيم بملح $(Al(NO_3)_3)$ ، فنلاحظ أن سلوك متانة الشد يكون غير منتظم وأن أعلى قيمة لمتانة الشد هي عند النسبة الوزنية (11wt%) حيث بلغت (82.9 MPa)، أما قيمة الاستطالة حد الكسر فنلاحظ أنها بعد التدعيم تبدأ بالتناقص بشكل غير منتظم لتبلغ أقل قيمة لها عند النسبة الوزنية (15 wt%) وهي (14.7%)، وأما قيمة معامل يونك فقد قلت بعد التدعيم عند النسبة الوزنية (3 wt%) لتبلغ (1830 MPa) ثم بدأت بالزيادة بشكل غير منتظم لتبلغ أعلى قيمة لها عند النسبة الوزنية (11 wt%) وهي (3210 MPa). أن هذا النقص غير المنتظم في قيم خصائص الشد المتمثلة بمتانة الشد والاستطالة حد الكسر ومعامل يونك لأغشية المتراكبات كافة (عند أغلب النسب الوزنية للتدعيم بأملاح الألمنيوم) بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي يعزى إلى ضعف التفاعل بين الجزيئات وقلة الالتصاق البيني بين مكونات المتراكب مما يؤدي إلى التقليل من خواص الشد وهشاشة أغشية المتراكب، وهذه النتيجة تتفق مع دراسة الباحث (Ravindra) وآخرون عام (2015) [39]. والاشكال من (26-4) إلى (31-4) توضح خصائص الشد لأغشية المتراكبات كافة.



الشكل (23-4): منحنى (الاجهاد - الانفعال) لغشاء (PVA) النقي.



الشكل (24-4): منحنى (الاجهاد - الانفعال) لآغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl₃).



الشكل (4-25): منحنى (الاجهاد- الانفعال) لآغشية المتراكب $\text{PVA-Al}(\text{NO}_3)_3$ بنسب وزنية مختلفة من ملح $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$.

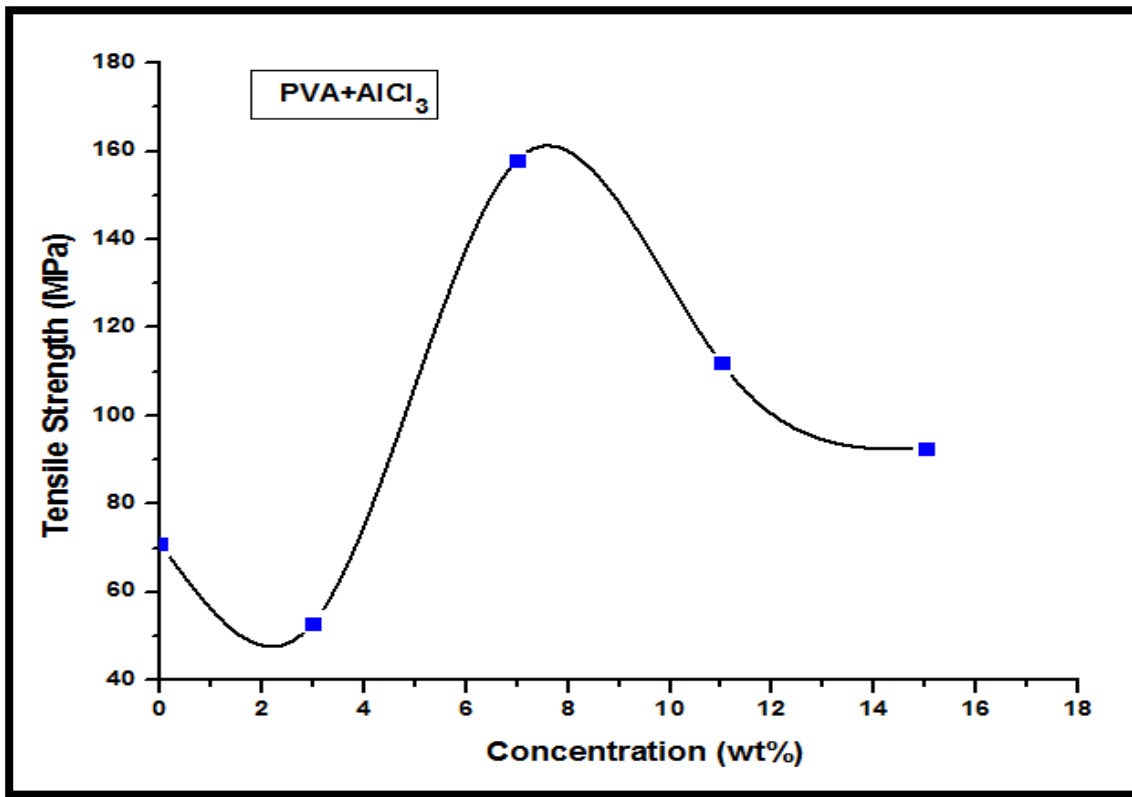
الجدول (4-6): قيم خصائص الشد لاغشية المترابك (PVA-AlCl₃) مع النسبة الوزنية لملح (AlCl₃).

Concentration (wt%)	Tensile Strength (T.S) (MPa)	Elongation at Break (E _b) (%)	Young's Modulus (Y _m) (MPa)
Pure (PVA)	71.1	170	3350
3	52.9	48.1	2310
7	158	4.95	3870
11	112	5.88	2610
15	92.6	10.2	2860

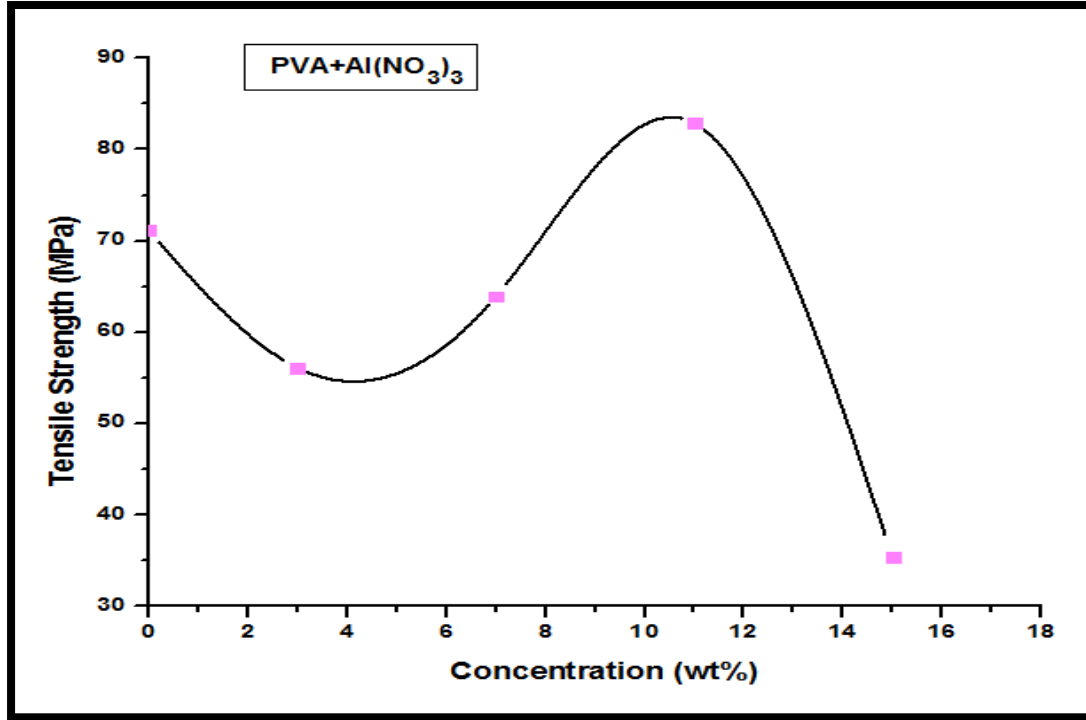
الجدول (4-7): قيم خصائص الشد لاغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) مع النسبة الوزنية لملح (Al(NO₃)₃).

Concentration (wt%)	Tensile Strength (T.S) (MPa)	Elongation at Break (E _b) (%)	Young's Modulus (Y _m) (MPa)
Pure (PVA)	71.1	170	3350
3	56.1	32.3	1830
7	63.9	40.6	3010
11	82.9	37.6	3210
15	35.3	14.7	2770

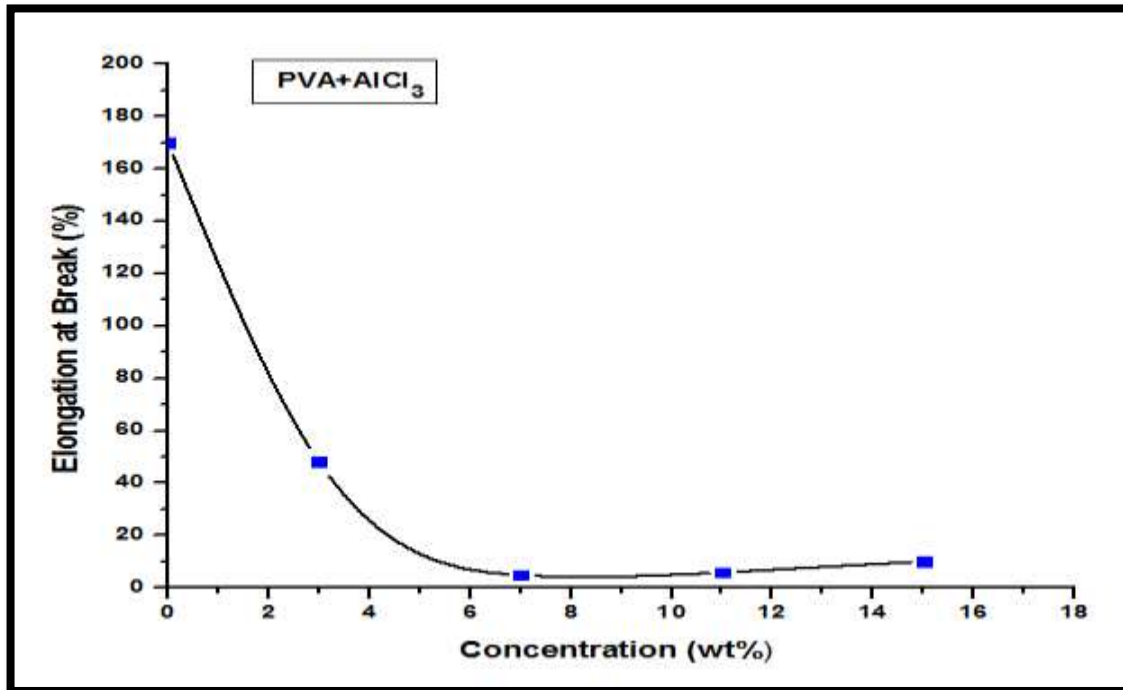
ونلاحظ من خلال الجدولين أعلاه أن أغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية (7,11,15)wt% تمتلك أعلى قيم لمتانة الشد، وأن أغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) بنسب وزنية (7,11,15) wt% تمتلك أعلى قيم للأستطالة حد الكسر، وأن أغشية المترابك (PVA-AlCl₃) بنسب وزنية (3,7,15) wt% تمتلك أعلى قيم لمعامل يونك.



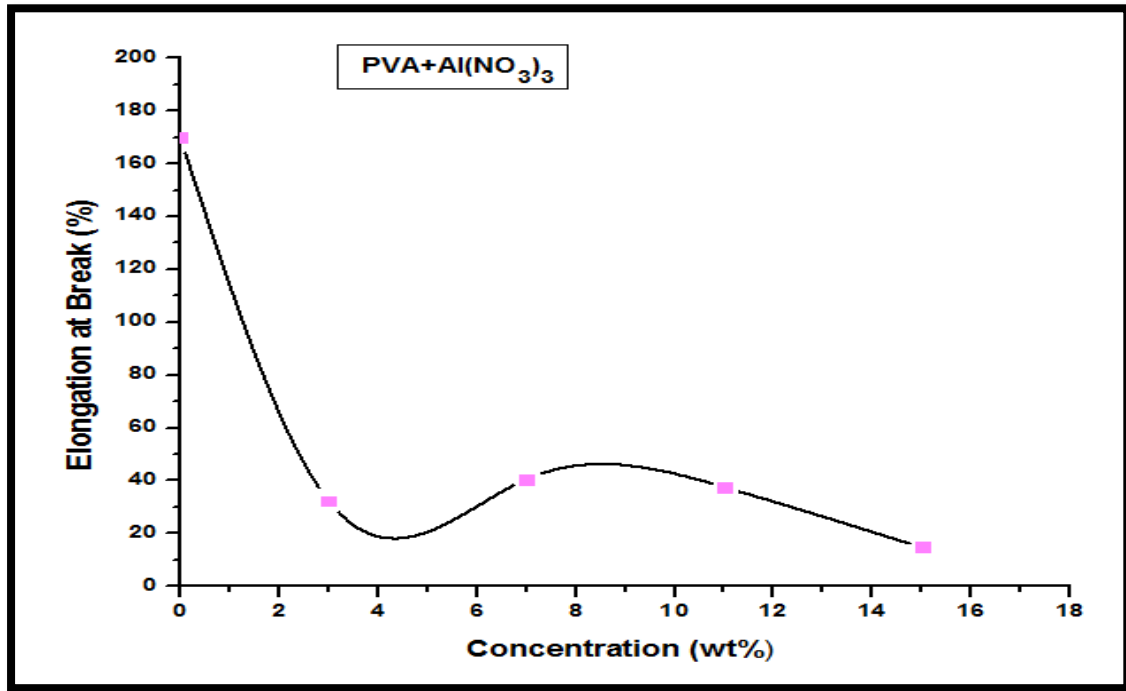
الشكل (4-26): متانة الشد لأغشية المترابك (PVA-AlCl₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (AlCl₃).



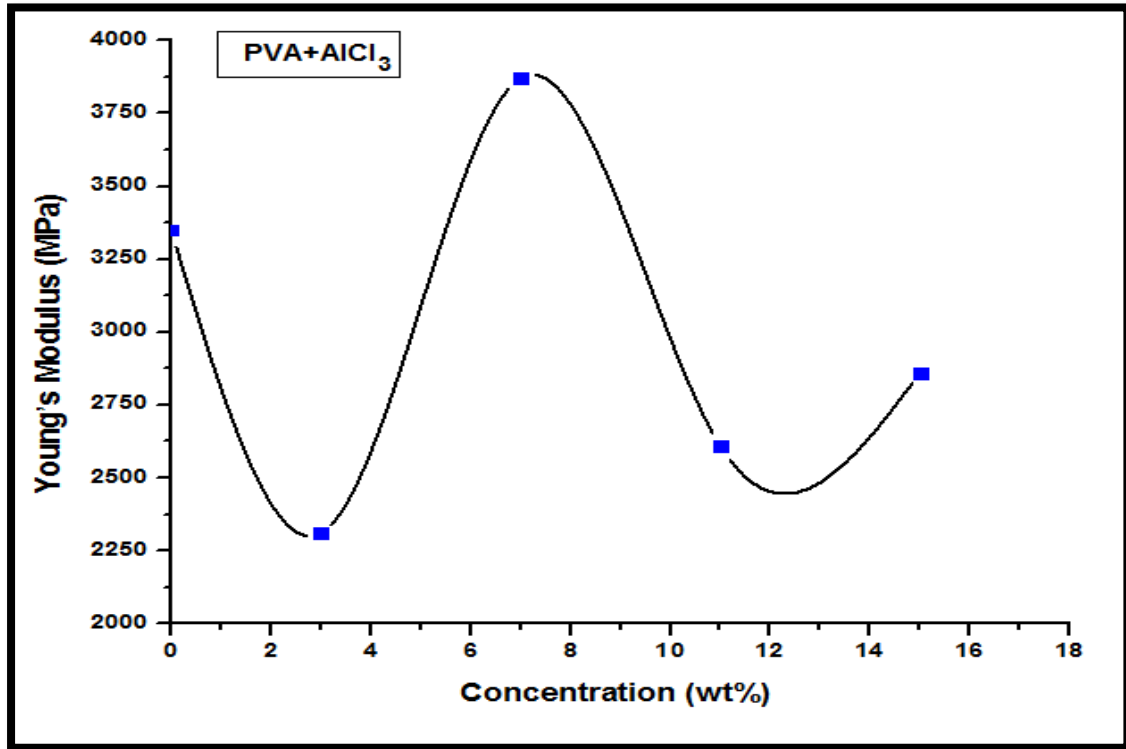
الشكل (27-4): متانة الشد لأغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (Al(NO₃)₃).



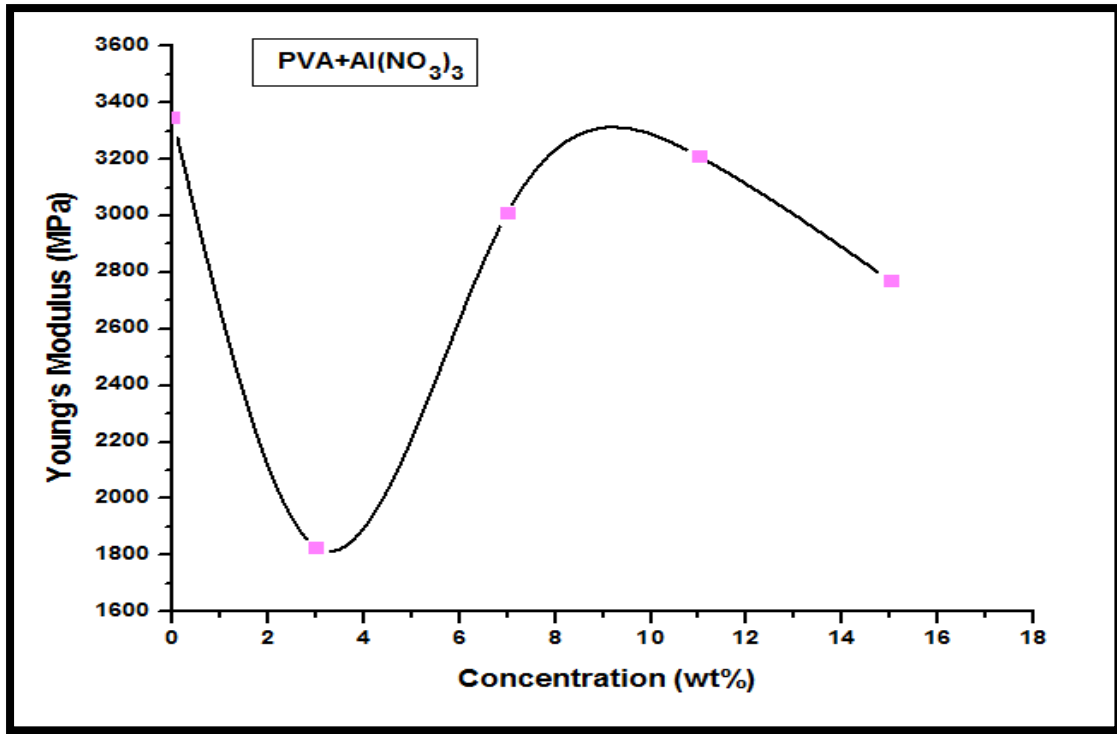
الشكل (28-4): الاستطالة حد الكسر لأغشية المترابك (PVA-AlCl₃) كدالة للنسبة الوزنية لملح (AlCl₃).



الشكل (29-4): الاستطالة حد الكسر لاغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) كدالة للنسبة الوزنية لمليح (Al(NO₃)₃).



الشكل (30-4): معامل يونك لاغشية المترابك (PVA-AlCl₃) كدالة للنسبة الوزنية لمليح (AlCl₃).



الشكل (4-31): معامل يونك لاغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) كدالة للنسبة الوزنية لملاح (Al(NO₃)₃).

Thermal Properties

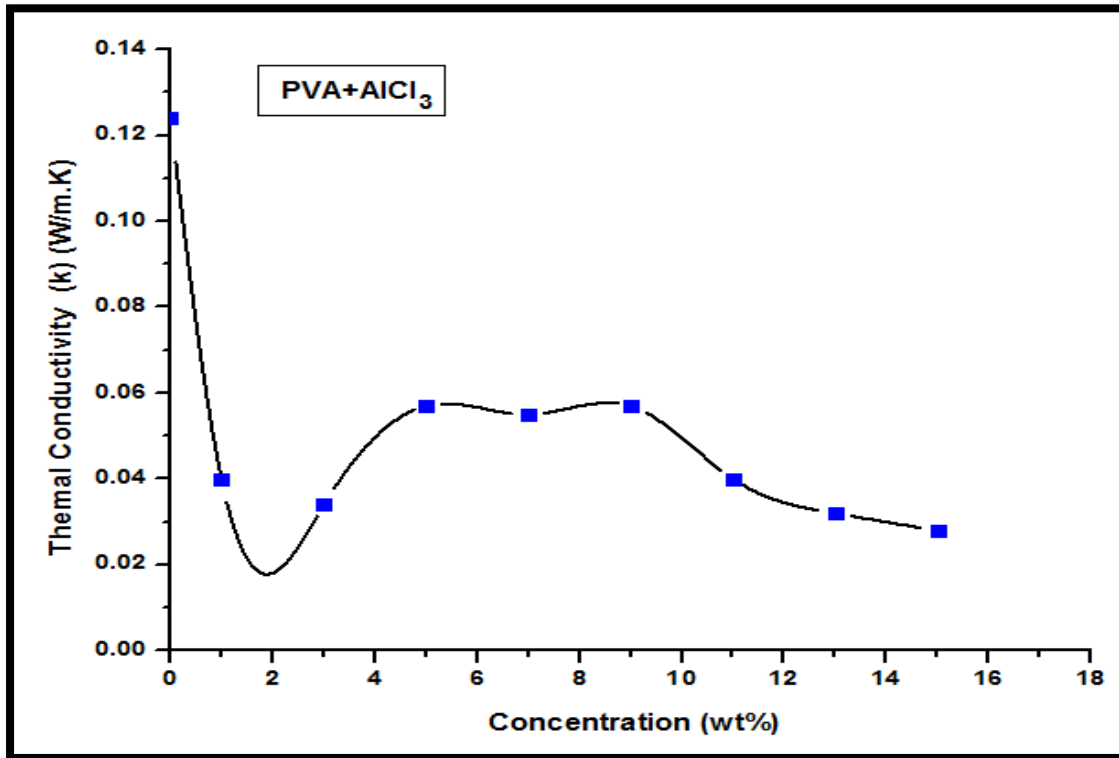
(5-4) الخواص الحرارية

Thermal Conductivity

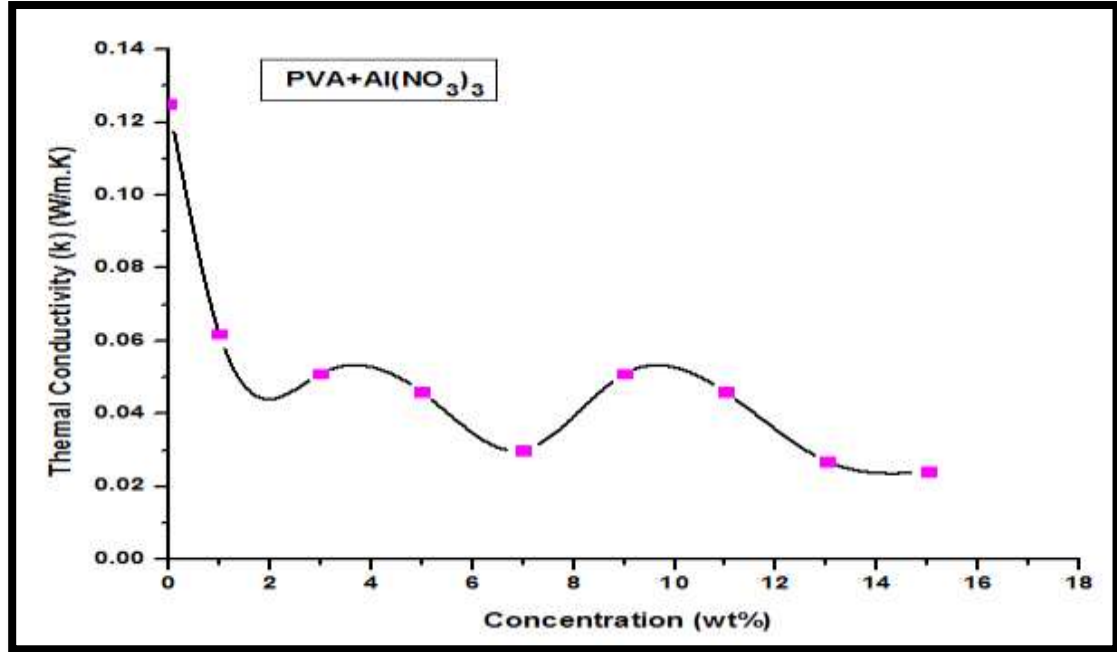
(1-5-4) التوصيلية الحرارية

تم حساب التوصيلية الحرارية (k) باستخدام طريقة قرص لي (Lee's Disc Method) وبالاعتماد على العلاقتين (28-2) و (29-2) على التوالي. الشكلان (32-4) و (33-4) يوضحان التوصيلية الحرارية لاغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة، نلاحظ من خلال الشكلين أن قيمة التوصيلية الحرارية لغشاء (PVA) النقي تكون (0.125 W/m.K) وعند التدعيم بأملاح الألمنيوم تتغير قيمة التوصيلية الحرارية وتبدأ بالتناقص بشكل غير منتظم. حيث نلاحظ من خلال الشكل (32-4) أن قيمة التوصيلية الحرارية تقل مع زيادة النسبة الوزنية لملاح (AlCl₃) من (1wt%) إلى (3wt%) وعند زيادة النسبة الوزنية لملاح (AlCl₃) إلى (5wt%) فإن قيمة التوصيلية الحرارية ستصبح غير منتظمة.

أما الشكل (4-33) فنلاحظ من خلاله أيضا أن قيمة التوصيلية الحرارية تقل مع زيادة النسبة الوزنية لمالح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$ من (1wt%) الى (7wt%) وعند زيادة النسبة الوزنية لمالح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$ الى (9wt%) فإن قيمة التوصيلية الحرارية ستصبح غير منتظمة. أن عدم انتظام قيمة التوصيلية الحرارية ربما يكون بسبب عدم التجانس بين المادة الاساس (بوليمر (PVA)) ومواد التدعيم (أملاح الالمنيوم) بسبب كبر المساحة السطحية لأملاح الالمنيوم [95]. وبصورة عامة فإن عملية التدعيم بأملاح الالمنيوم أدت الى نقص قيمة التوصيلية الحرارية لغشاء (PVA) النقي. والجدول (4-8) يوضح قيم التوصيلية الحرارية لاغشية المترابكات كافة.



الشكل (4-32): التوصيلية الحرارية لاغشية المترابك (PVA- AlCl_3) كدالة للنسبة الوزنية لمالح (AlCl_3) .



الشكل (4-33): التوصيلية الحرارية لأغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) كدالة للنسبة الوزنية لملاح (Al(NO₃)₃).

الجدول (4-8): قيم التوصيلية الحرارية لأغشية المترابكات (PVA - أملاح الألمنيوم) مع النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم.

Concentration (wt%)	(PVA-AlCl ₃) k (W/m.K)	(PVA-Al(NO ₃) ₃) k (W/m.K)
Pure (PVA)	0.125	0.125
1	0.040	0.062
3	0.034	0.051
5	0.057	0.046
7	0.055	0.030
9	0.057	0.051
11	0.040	0.046
13	0.032	0.027
15	0.028	0.024

(2-5-4) درجة الانتقال الزجاجي (T_g) Glass-Transition Temperature

تم حساب درجة الانتقال الزجاجي لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة وذلك باستخدام جهاز المسعر الحراري التبايني (DSC)، الاشكال من (34-4) الى (50-4) تظهر قيم درجة الانتقال الزجاجي لأغشية المتراكبات كافة وكما هو موضح بالجدول (9-4)، حيث نلاحظ أن قيمة درجة الانتقال الزجاجي لغشاء (PVA) النقي تكون (53.2 °C) [96]. وبعد التدعيم بملح (AlCl₃) نلاحظ أن قيمة درجة الانتقال الزجاجي تبدأ بالزيادة بشكل غير منتظم لتبلغ أعلى قيمة لها عند النسبة الوزنية (9wt%) وهي (67.8 °C)، وهذه الزيادة غير المنتظمة في قيمة درجة الانتقال الزجاجي ناتجة عن التفاعل بين الجزيئات (الاصرة الهيدروجينية) الذي يحدث بين بوليمر (PVA) و ملح (AlCl₃) [97]، وكذلك نلاحظ أختفاء درجة الانتقال الزجاجي عند النسبة الوزنية (11wt%) حيث لا يمكن تفسيرها بشكل صحيح باعتبارها أنعكاس لامتزاج المتراكب [98]، أما عند التدعيم بملح (Al(NO₃)₃) فنلاحظ أن سلوك درجة الانتقال الزجاجي يكون غير منتظم حيث تبلغ أعلى قيمة لها عند النسبة الوزنية (3wt%) وهي (118.3 °C) بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي و أقل قيمة لها عند النسبة الوزنية (1wt%) وهي (46.8 °C) بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي، أن هذه القيمة غير المنتظمة في درجة الانتقال الزجاجي تعزى الى أن أذابة ملح (Al(NO₃)₃) أدى الى تقليل مرونة السلاسل لبوليمر (PVA) [99,100]. وكذلك بعد التدعيم بملح (AlCl₃) بنسبة وزنية (11wt%) وايضا بعد التدعيم بملح (Al(NO₃)₃) بنسبة وزنية (9,11,15) wt% نلاحظ ظهور قمة نحو الاعلى (exothermic) والتي يرمز لها بالرمز (T_w) و تقع بعد درجة الانتقال الزجاجي عند درجة الحرارة (58.4 °C) وضمن مدى درجة الحرارة (114.8-118.6) °C لأملاح (AlCl₃) عند النسبة الوزنية (11wt%) و (Al(NO₃)₃) عند النسب الوزنية (9,11,15) wt% على التوالي، وسبب ظهور هذه القمة هو وجود كمية صغيرة من الرطوبة في العينات المحضرة [96].

الجدول (9-4): قيم درجة الانتقال الزجاجي لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) مع النسبة الوزنية للأملاح الألمنيوم.

Concentration (wt%)	(PVA-AlCl ₃) T _g (°C)	(PVA-Al(NO ₃) ₃) T _g (°C)
Pure (PVA)	53.2	53.2
1	56.3	46.8
3	55.6	118.3
5	59.2	51.9
7	58.7	72
9	67.8	60
11	—	57.1
13	58.2	75.7
15	58.1	56.3

(3-5-4) درجة الانصهار البلورية

Crystalline Melting Temperature (T_m)

تم حساب درجة الانصهار البلورية لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة وذلك باستخدام جهاز المسعر الحراري التبايني (DSC)، تستخدم درجة الانصهار البلورية لتحديد طبيعة المادة ودرجة نقائها [101]، الأشكال من (34-4) الى (50-4) تظهر قيم درجة الانصهار البلورية لأغشية المتراكبات كافة وكما هو موضح بالجدول (10-4)، حيث نلاحظ أن قيمة درجة الانصهار البلورية لغشاء (PVA) النقي تكون (130.6°C). وبعد التدعيم بملح (AlCl₃) نلاحظ أن قيمة درجة الانصهار البلورية تبدأ بالزيادة بشكل غير منتظم لتبلغ أعلى قيمة لها عند النسبة الوزنية (3wt%) وهي (174.7°C)،

ويعزى سبب هذه الزيادة غير المنتظمة في درجة الانصهار البلورية الى زيادة في الطور البلوري لبوليمر (PVA) بسبب التدعيم بملح $(AlCl_3)$ [102]. أما عند التدعيم بملح $(Al(NO_3)_3)$ فنلاحظ أختفاء درجة الانصهار البلورية عند النسبة الوزنية (7wt%)، وهذا الاختفاء يعزى الى التفاعل القوي بين بوليمر (PVA) وملح $(Al(NO_3)_3)$ (الواصر التساهمية و الهيدروجينية) التي تضعف التبلور في بوليمر (PVA) [103]، وكذلك بسبب نقص أو زيادة في المناطق غير المتبلورة في العينات المحضرة [96]، أما عند النسب الوزنية 1,3,5,9,11,15 wt% فتزداد قيمة درجة الانصهار البلورية بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي وتقل عند النسبة الوزنية (13 wt%) بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي، أن هذا التزايد والتناقص في قيمة درجة الانصهار البلورية بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي يبين أن التبلور العالي والانتظامية في تركيب البلورة يتناقص مع زيادة درجة التشابك [101]. وكذلك نلاحظ ظهور عدة قمم نحو الاسفل (endothermic) وتمثل درجة التحلل (التفكك) والتي يرمز لها بالرمز (T_d) وتقع بعد درجة الانصهار البلورية ضمن مدى درجة الحرارة $^{\circ}C$ (218.3-275.6) لغشاء (PVA) النقي وكذلك نلاحظ ظهور قمة أو عدة قمم من نفس هذا النوع من القمم في بعض نسب التدعيم بأملاح الالمنيوم، ويليه مباشرة ظهور قمة أو عدة قمم نحو الاعلى (exothermic) في بعض نسب التدعيم بأملاح الالمنيوم وتمثل درجة التحلل (التفكك) أيضا والتي يرمز لها بالرمز (T_d) أيضا وتقع ضمن مدى درجة الحرارة $^{\circ}C$ (395.3-583.5) [96,102].

الجدول (4-10): قيم درجة الانصهار البلورية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) مع النسبة الوزنية للأملاح الألمنيوم.

Concentration (wt%)	(PVA-AlCl ₃) T _m (°C)	(PVA-Al(NO ₃) ₃) T _m (°C)
Pure (PVA)	130.6	130.6
1	136.1	204.3
3	174.7	147.3
5	170.6	197.7
7	172.4	—
9	171.5	277
11	174.3	182.8
13	160	125.3
15	172.7	185

(4-5-4) التحليل الحراري الوزني (TGA) Thermogravimetric Analysis

بما أن البوليمرات تمر بتغيرات عدة عند تسخينها محررة غازات وسوائل مختلفة في أشكالها والوانها وأوزانها الجزيئية، وتسمى قابلية البوليمر لمقاومة هذه التغيرات عند درجات الحرارة العالية بالثبات الحراري، ولهذا يلجأ إلى استخدام تقنية قياس الفقد في الوزن كدالة لدرجة الحرارة (TGA) لاختبار حركية التفاعلات والنواتج في مراحل عملية التفكك الحراري [91,104] وذلك باستخدام جهاز المسعر الحراري التبايني (DSC). الأشكال من (4-34) إلى (4-50) تظهر منحني (TGA) لأغشية بوليمر (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة، الشكل (4-34) يوضح منحنى (TGA) لغشاء (PVA) النقي، حيث نلاحظ حدوث مرحلتين تحليل حراري لعملية الفقد في الوزن حيث يكون مدى درجة الحرارة للمرحلة الأولى لعملية التحلل الحراري هو °C (242-367) مع فقد جزئي في الوزن مقداره (89%)، وربما سبب حدوث هذا الفقد الجزئي في الوزن هو تحلل سلاسل بوليمر (PVA) الكبيرة إلى

أجزاء صغيرة، أما المرحلة الثانية لعملية التحلل الحراري فتكون بمدى درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ (367-431) وبفقد جزئي في الوزن مقداره (11%)، وربما سبب حدوث هذا الفقد الجزئي الثاني في الوزن هو خضوع سلاسل بوليمر (PVA) الى مزيد من التحلل مما يشكل مادة كاربونية (انشقاق في الاصرة الكاربونية (C-C) لبوليمر (PVA)) لتبقى المادة ثابتة بعد ذلك [105]، ان الفقد الكلي في الوزن لغشاء (PVA) النقي يكون (100%). وبعد التدعيم بأملاح الالمنيوم فنلاحظ أن الفقد الكلي في الوزن لجميع النسب الوزنية لأملاح الالمنيوم المضافة يتناقص بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي ماعدا النسبة الوزنية (7wt%) لملح AlCl_3 فيكون فقدها الكلي في الوزن (100%)، وأظهرت النسبة الوزنية (9wt%) لملح AlCl_3 أقل فقد كلي في الوزن ومقداره (80.63%) بينما أظهرت النسبة الوزنية (3wt%) لملح $\text{Al(NO}_3)_3$ أقل فقد كلي في الوزن ومقداره (65.79%). الجدولين (4-11) و (4-12) يوضحان مراحل عملية التحلل الحراري وقيم الفقد الجزئي والكلي في الوزن لأغشية المتراكبات كافة، نلاحظ من خلال الجدولين أن قيمة الفقد الجزئي في الوزن للمرحلة الاولى لعملية التحلل الحراري لجميع النسب الوزنية لأملاح الالمنيوم المضافة هي أقل من قيمة الفقد الجزئي في الوزن للمرحلة الاولى لعملية التحلل الحراري لغشاء (PVA) النقي ماعدا النسبة الوزنية (7wt%) لملح $\text{Al(NO}_3)_3$ والتي تمر بمرحلة واحدة لعملية التحلل الحراري وبفقد (جزئي يساوي كلي) في الوزن مقداره (91.16%)، وأن النسب الوزنية (1,3,9,13,15) wt% لملح AlCl_3 والنسب الوزنية (1,3,9) wt% لملح $\text{Al(NO}_3)_3$ تمر بمرحلتين للتحلل الحراري لعملية الفقد في الوزن وبمدى درجات حرارة مختلفة، وأن القيمة الاكبر للفقد الجزئي في الوزن تكون في المرحلة الاولى لعملية التحلل الحراري لجميع النسب الوزنية لأملاح الالمنيوم المضافة ماعدا النسبة الوزنية (9 wt%) لملح AlCl_3 فتكون أقل، وربما سبب ذلك هو أنقسام أو تطاير جزئ صغير أو تبخر الماء الممتص المتبقي، أما المرحلة الثانية لعملية التحلل الحراري فتمتلك قيمة واطئة بالفقد الجزئي في الوزن وهذا يشير الى وجود عملية أنحلال كيميائي ناتجة عن انفصال الاصرة الكاربونية (C-C) في العمود الفقري لبوليمر (PVA) [106]. أما النسب الوزنية (5,7,11) wt% لملح AlCl_3 والنسب الوزنية (5,11,13,15) wt% لملح $\text{Al(NO}_3)_3$ تمر بثلاث مراحل للتحلل الحراري لعملية الفقد في الوزن وبمدى درجات حرارة مختلفة، وأن القيمة الاكبر للفقد الجزئي في الوزن تكون في المرحلة الاولى لعملية التحلل الحراري عند النسب الوزنية (5,7,11) wt% لملح AlCl_3 والنسبة الوزنية (5 wt%) لملح $\text{Al(NO}_3)_3$ ، وأما النسب الوزنية (11,13,15) wt% لملح $\text{Al(NO}_3)_3$ فتظهر أقل

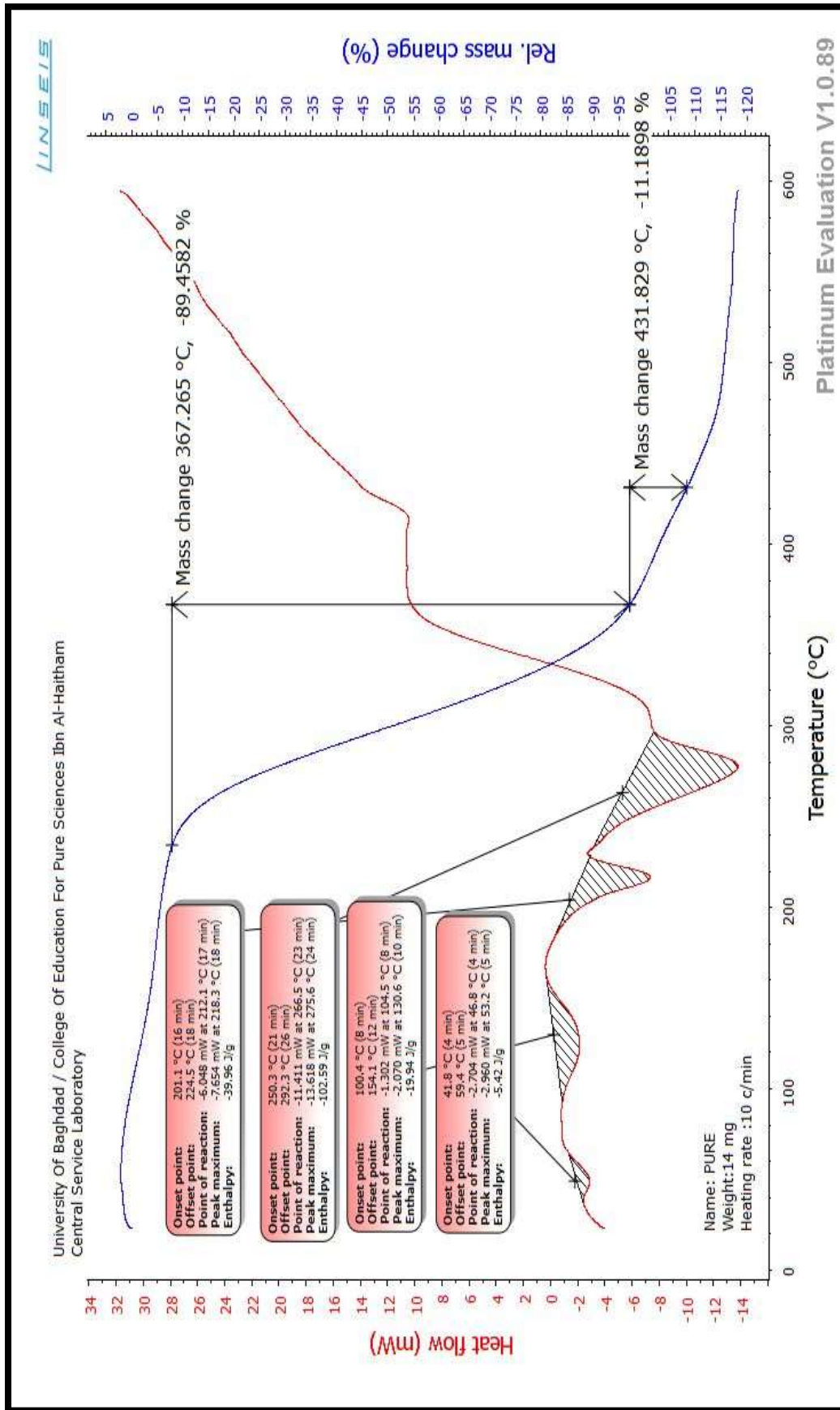
قيمة للفقد الجزئي في الوزن في هذه المرحلة من عملية التحلل الحراري وتمثل هذه المرحلة من عملية التحلل الحراري فقدان المذيب، أن المرحلة الثانية لعملية التحلل الحراري للفقد الجزئي في الوزن أظهرت بأن النسب الوزنية wt% (11,13,15) لملح $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ تمتلك أكبر قيمة للفقد الجزئي في الوزن بينما النسبة الوزنية (11wt%) و (5wt%) لأملح AlCl_3 و $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ على التوالي تمتلكان أقل قيمة للفقد الجزئي في الوزن في هذه المرحلة من عملية التحلل الحراري وتمثل هذه المرحلة من عملية التحلل الحراري أنحلال مجموعة الهيدروكسيل (-OH) الجانبية والتي تعطي (Polyneen)، في حين أن المرحلة الثالثة لعملية التحلل الحراري للفقد الجزئي في الوزن أظهرت بأن النسبة الوزنية (11wt%) لملح AlCl_3 والنسب الوزنية wt% (5,11,13,15) لملح $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ تمتلك متوسط قيمة للفقد الجزئي في الوزن بينما النسبتين الوزنيتين wt% (5,7) لملح AlCl_3 تمتلك أقل قيمة للفقد الجزئي في الوزن في هذه المرحلة من عملية التحلل الحراري وتمثل هذه المرحلة من عملية التحلل الحراري انفصال الاصرة الكربونية (C-C) في السلسلة الرئيسية لبوليمر (PVA) [107].

الجدول (11-4): قيم منحني (TGA) لاغشية المترابك (PVA-AlCl₃) مع النسبة الوزنية لملح (AlCl₃).

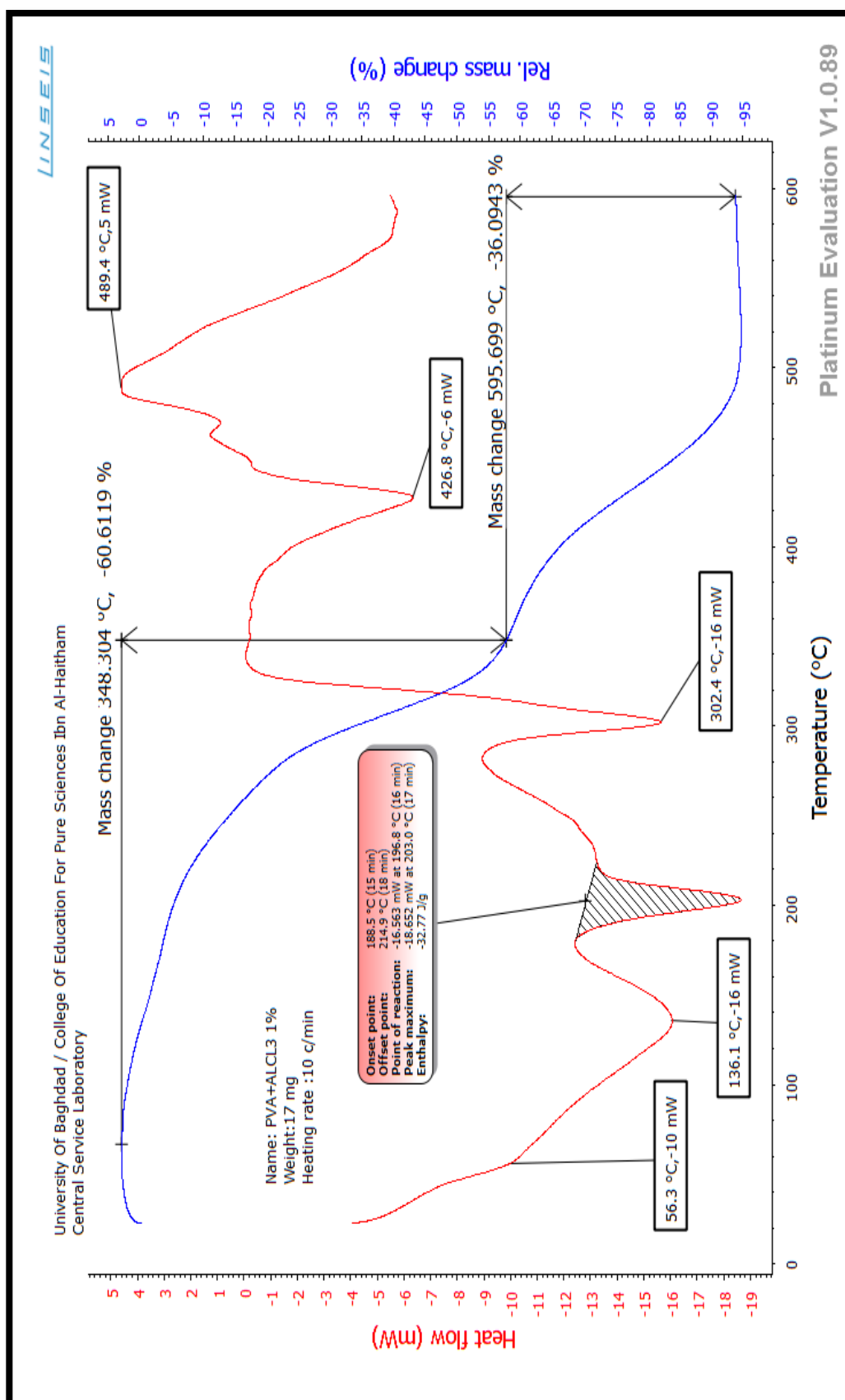
Concentration (wt%)	Region of Decomposition	Temperature Range (°C)		Weight Loss (%)	
		Start	End	Partial	Total
Pure	1 st 2 nd	242 367	367 431	89% 11%	100%
1	1 st 2 nd	79 348	348 595	60.61% 36.09%	96.7%
3	1 st 2 nd	80 339	339 594	49.04% 40%	89.04%
5	1 st 2 nd 3 ^d	91 304 479	304 479 594	46.09% 28.29% 22.62%	97%
7	1 st 2 nd 3 ^d	80 315 490	315 490 594	50% 29% 21%	100%
9	1 st 2 nd	92 317	317 594	32.29% 48.34%	80.63%
11	1 st 2 nd 3 ^d	80 236 347	236 347 594	36.57% 10.98% 36.45%	84%
13	1 st 2 nd	60 312	312 594	48.73% 48.41%	97.14%
15	1 st 2 nd	90 299	299 592	50.42% 42.53%	92.95%

الجدول (12-4): قيم منحنى (TGA) لاغشية المترابك (PVA-Al(NO₃)₃) مع النسبة الوزنية لملح (Al(NO₃)₃).

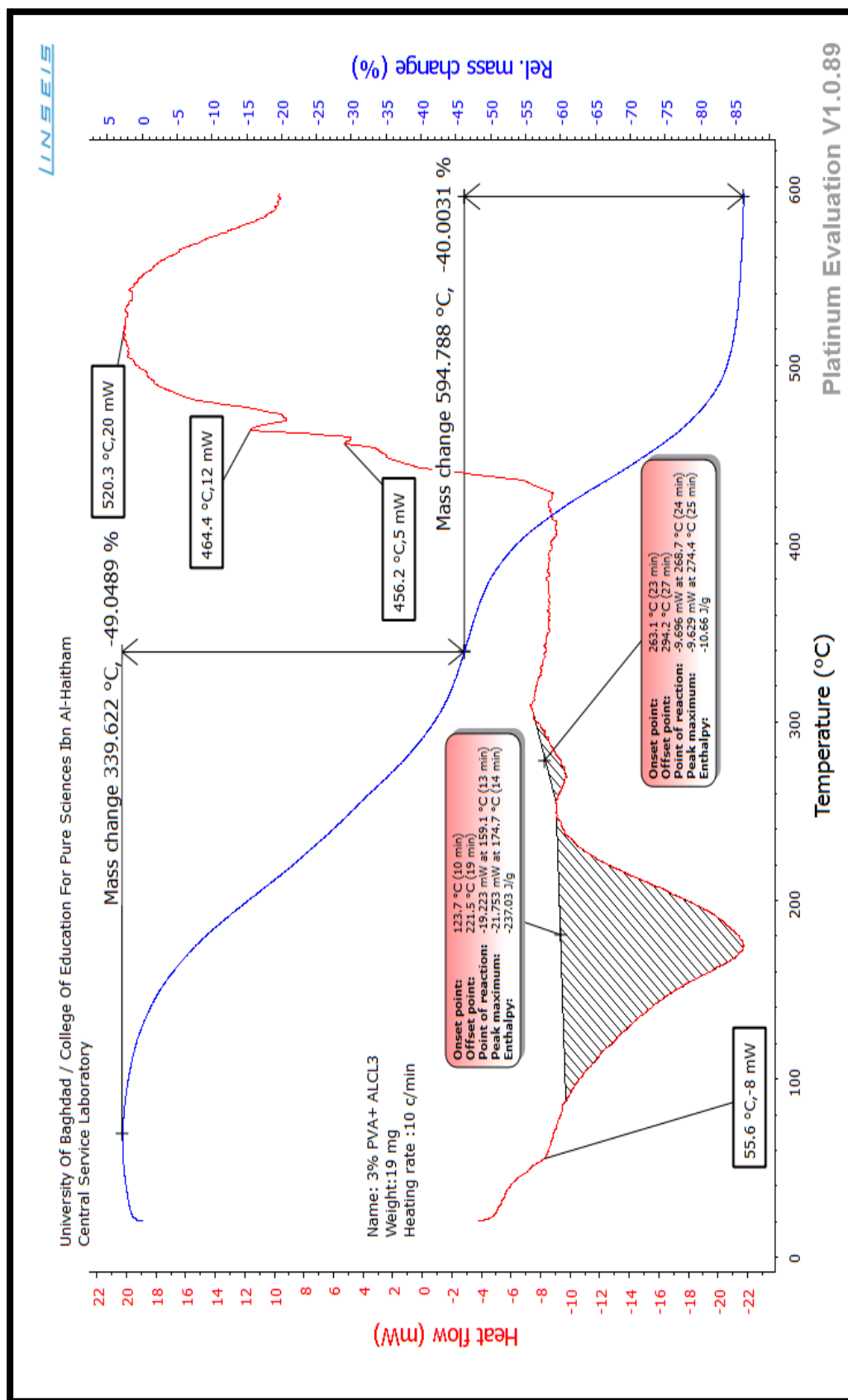
Concentration (wt%)	Region of Decomposition	Temperature Range (°C)		Weight Loss (%)	
		Start	End	Partial	Total
Pure	1 st 2 nd	242 367	367 431	89% 11%	100%
1	1 st 2 nd	110 379	379 595	73.30% 22.08%	95.38%
3	1 st 2 nd	242 369	369 592	42.87% 22.92%	65.79%
5	1 st 2 nd 3 ^d	220 358 463	358 463 566	38.91% 18.90% 20.87%	78.68%
7	1 st	114	593	91.16%	91.16%
9	1 st 2 nd	60 349	349 593	59.67% 29.16%	88.83%
11	1 st 2 nd 3 ^d	70 206 356	206 356 594	17.76% 39.10% 38.89%	95.75%
13	1 st 2 nd 3 ^d	60 198 340	198 340 594	18.95% 41.85% 32.27%	93.07%
15	1 st 2 nd 3 ^d	60 175 322	175 322 593	16.75% 37.01% 30.28%	84.04%



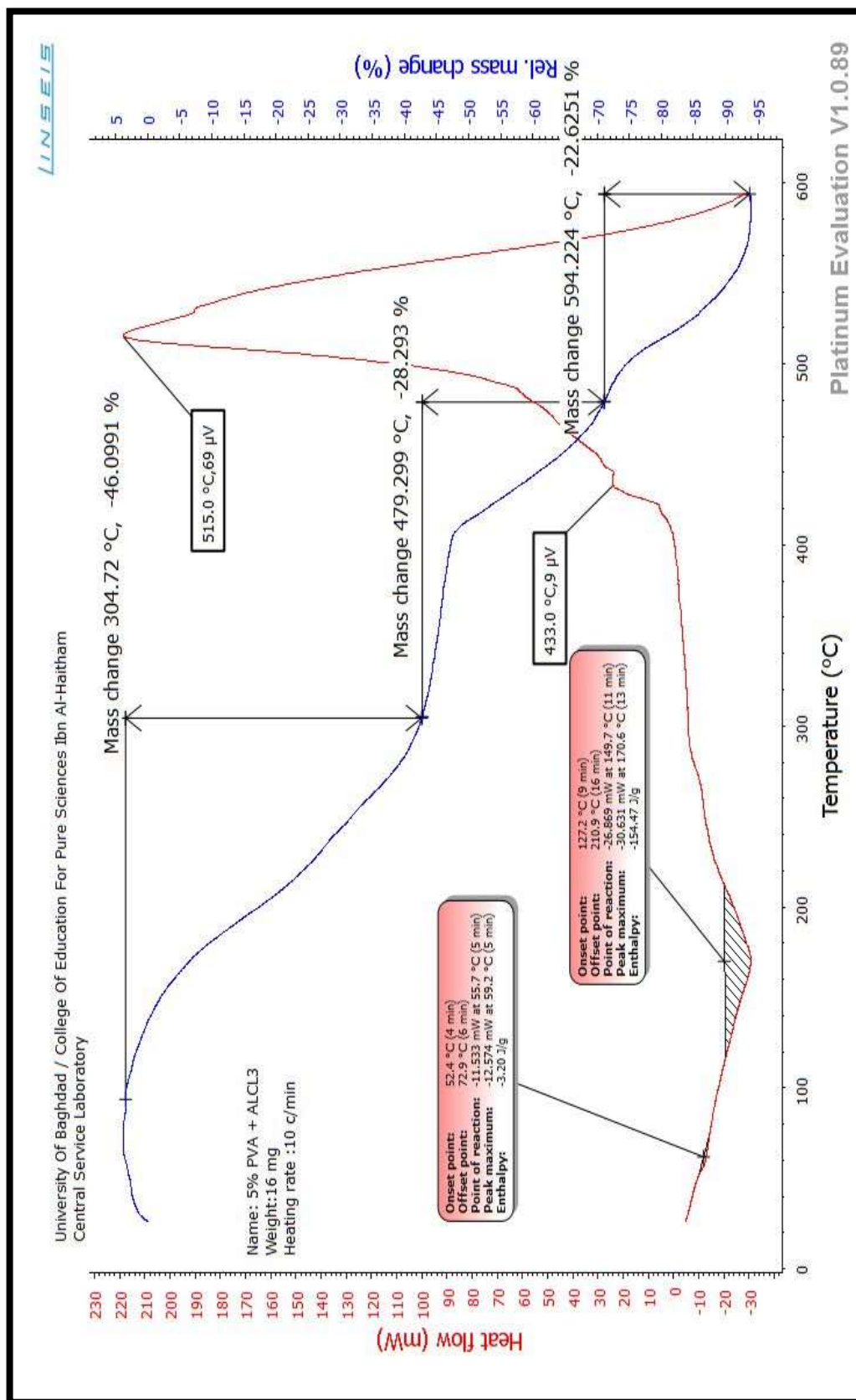
الشكل (34-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) النقي.



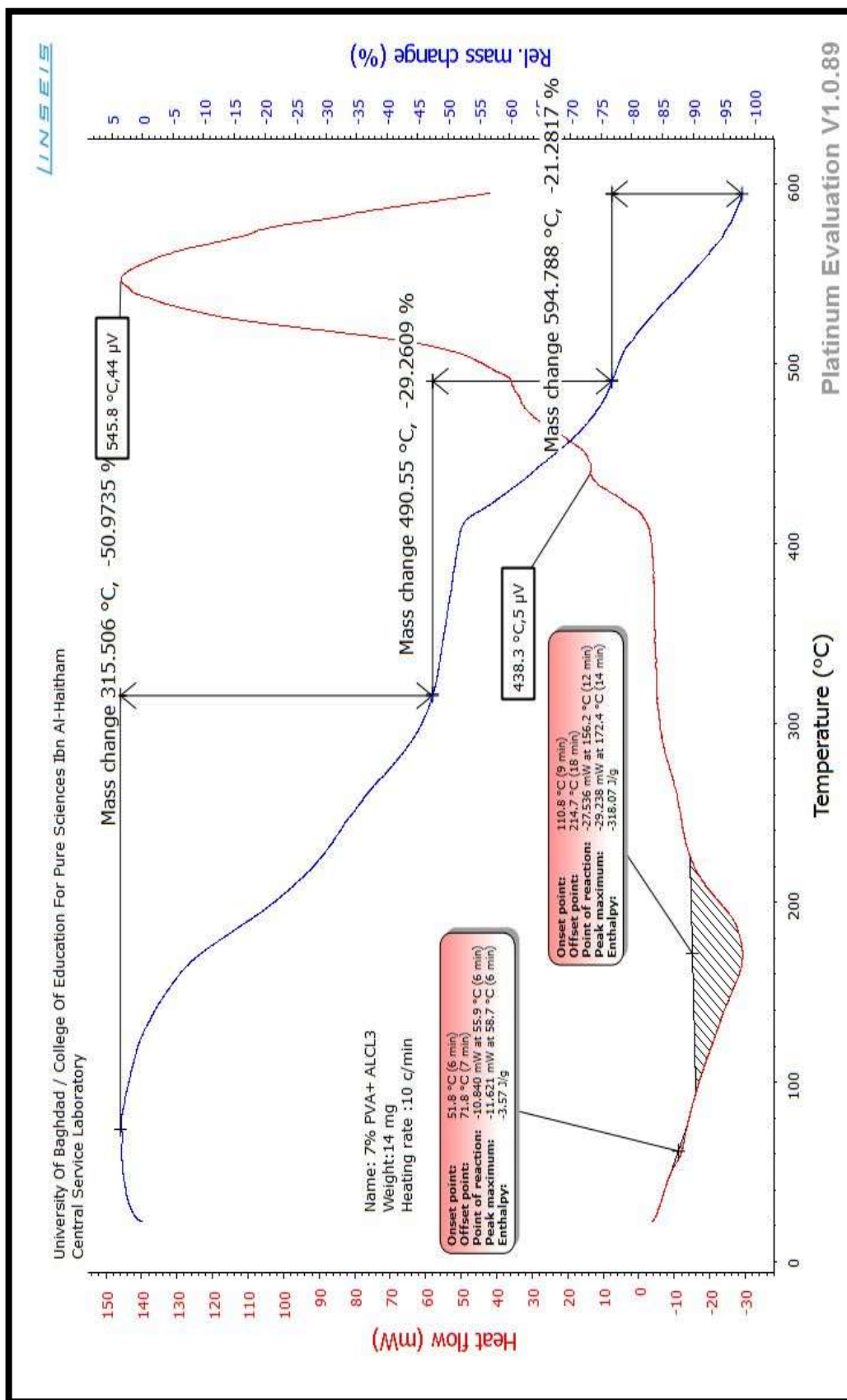
الشكل (35-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (1wt%) من ملح (AlCl_3).



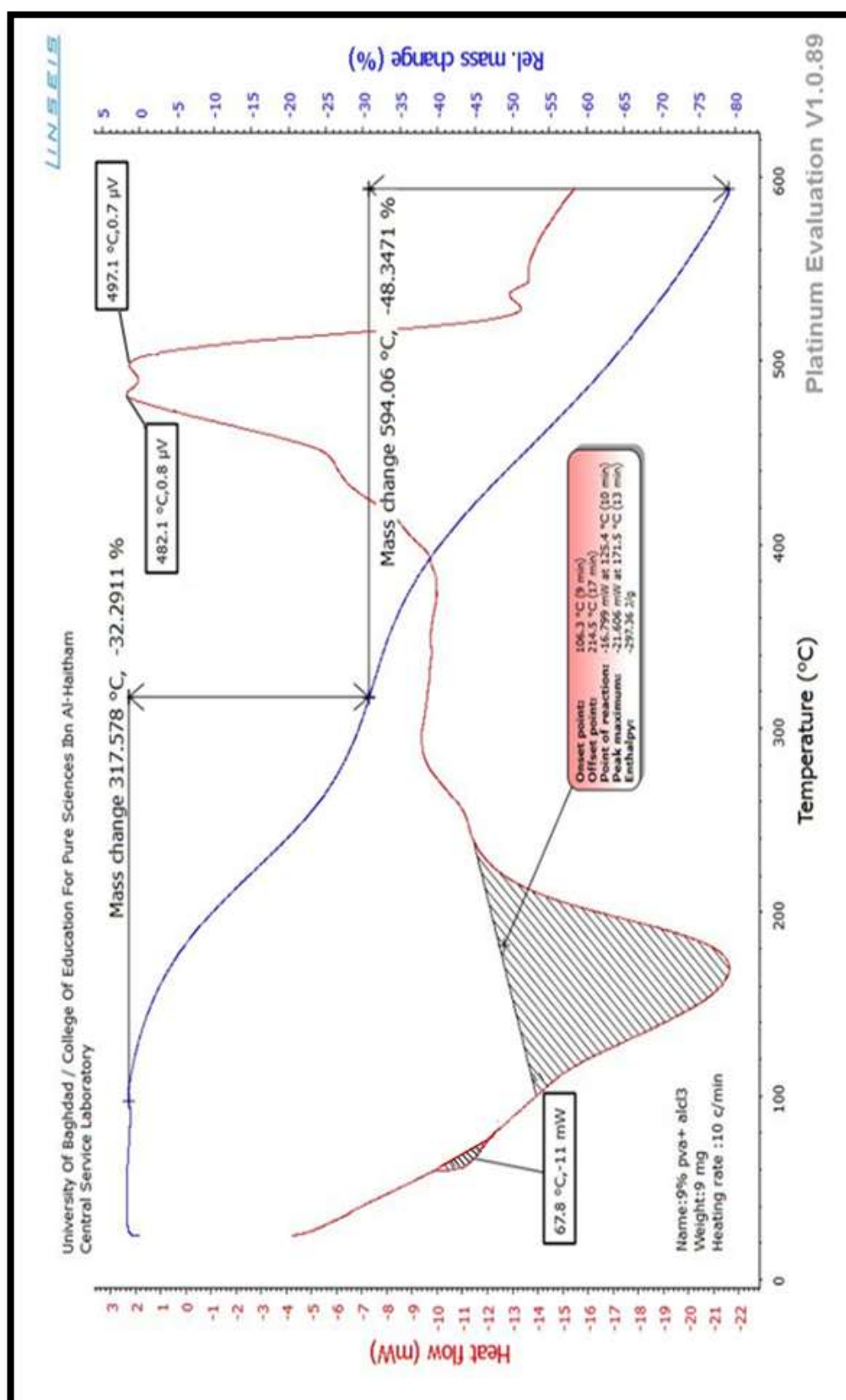
الشكل (36-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (3wt%) من ملح (AlCl₃).



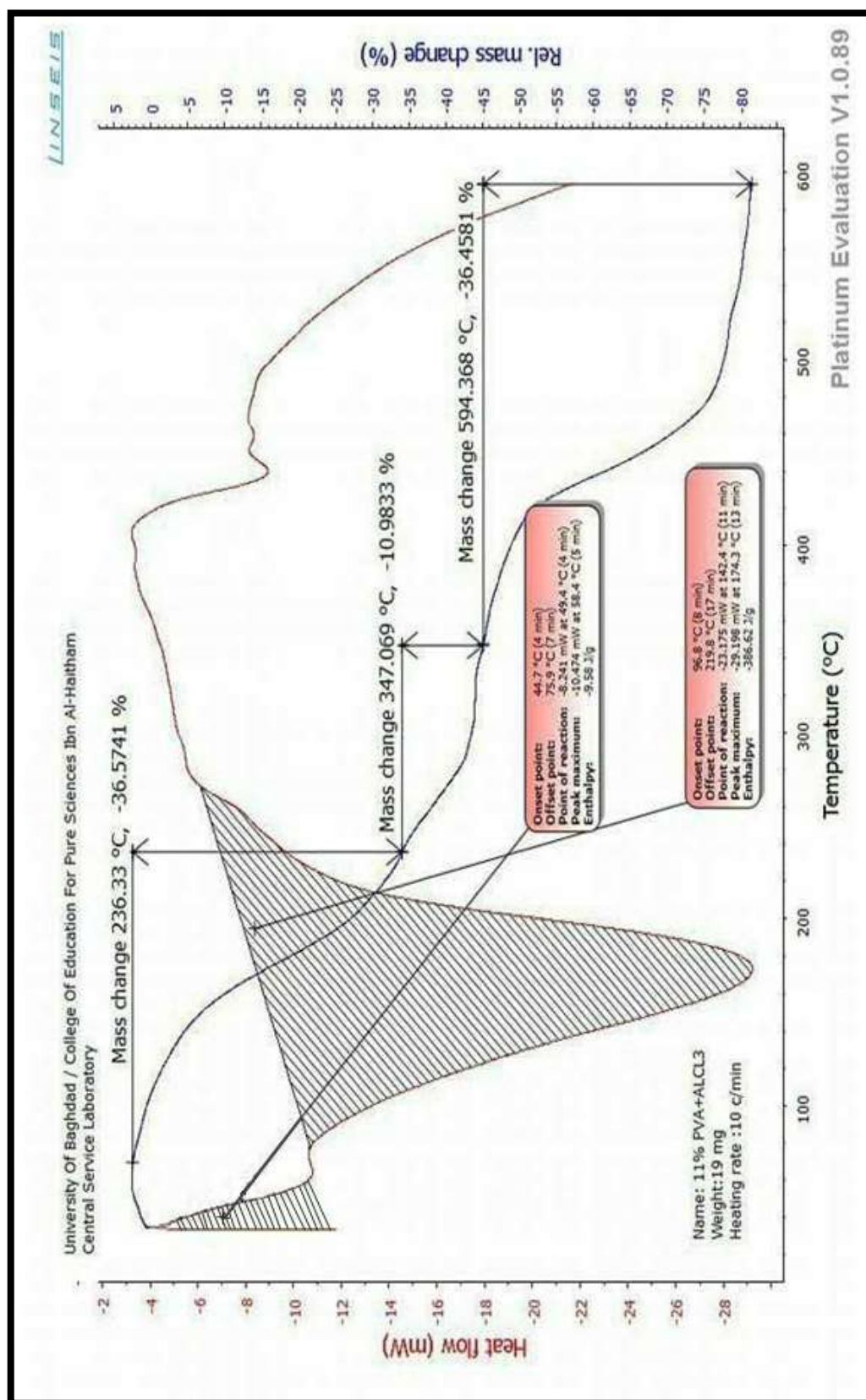
الشكل (37-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (5wt%) من ملح (AlCl₃).



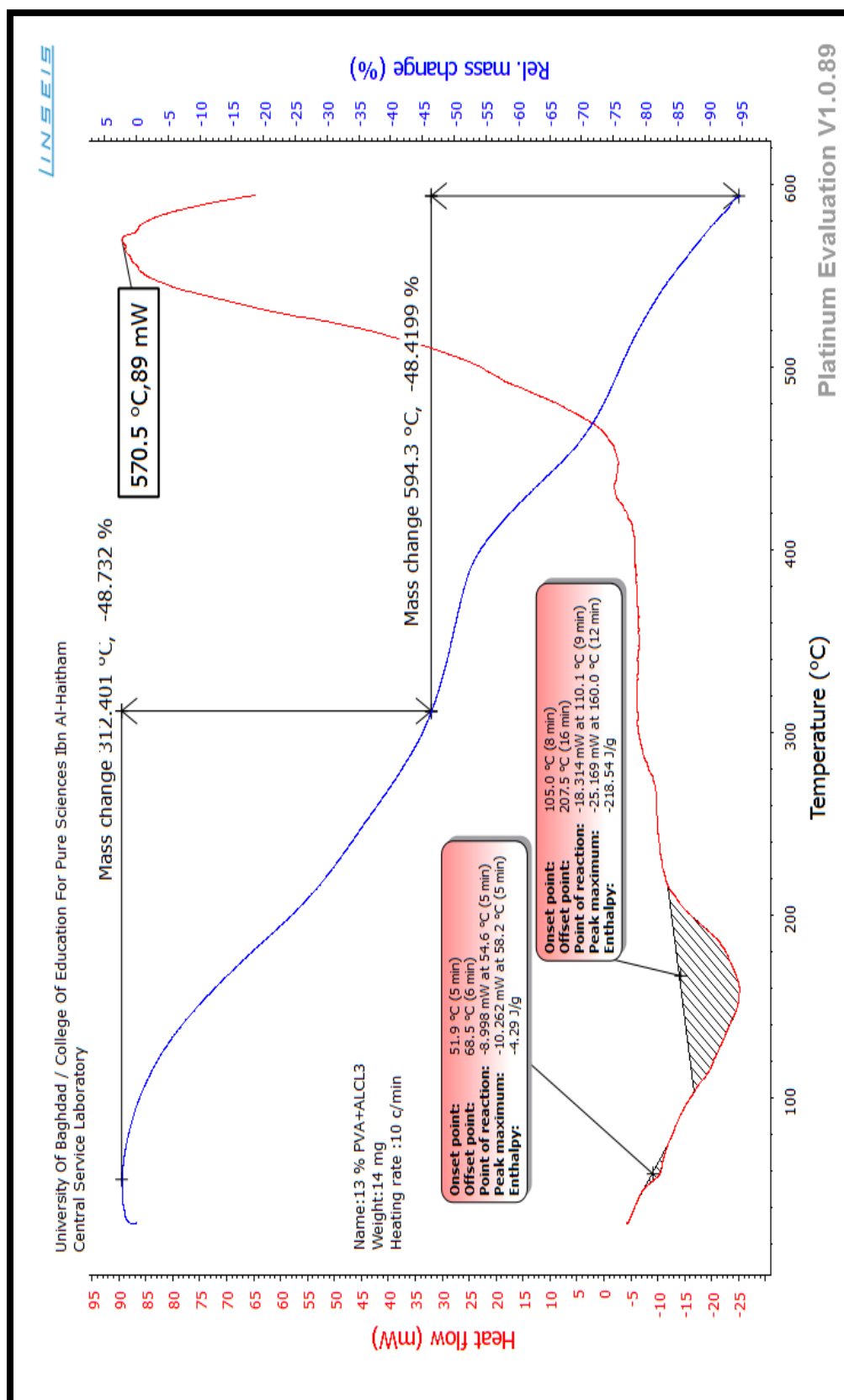
الشكل (38-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية من ملح (AlCl₃). (7wt%)



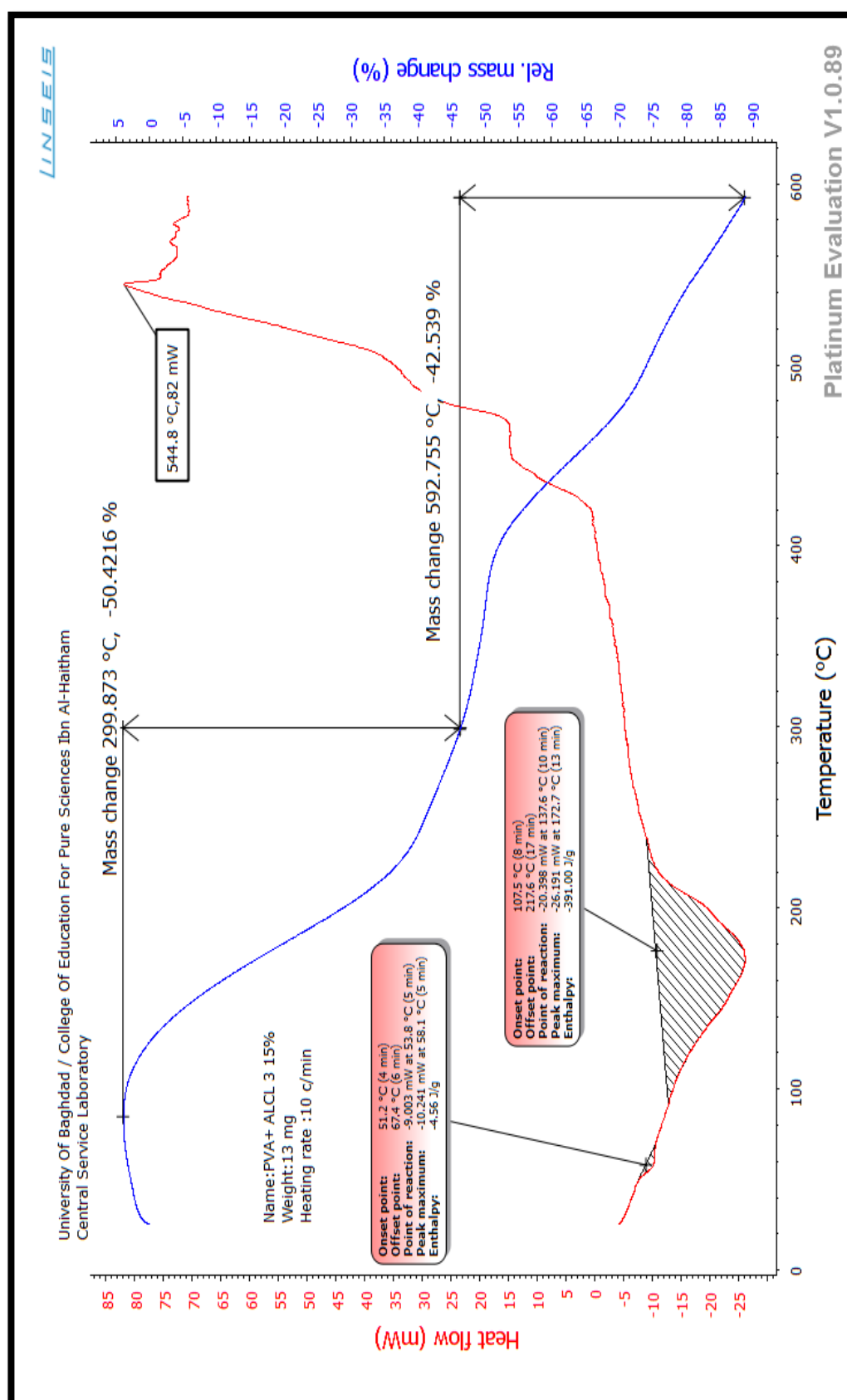
الشكل (39-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (9wt%) من ملح (AlCl₃).



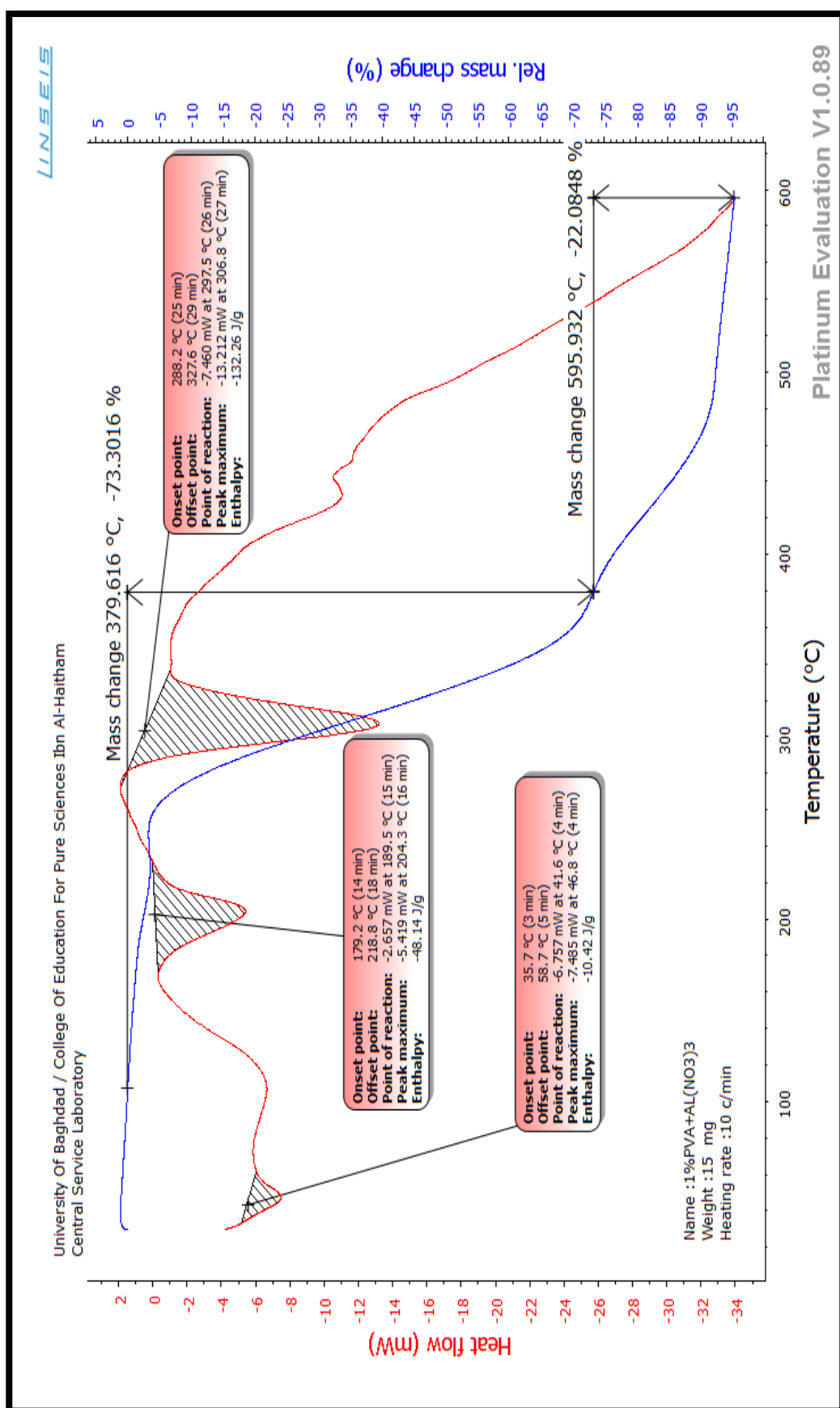
الشكل (40-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (11wt%) من ملح (AlCl₃).



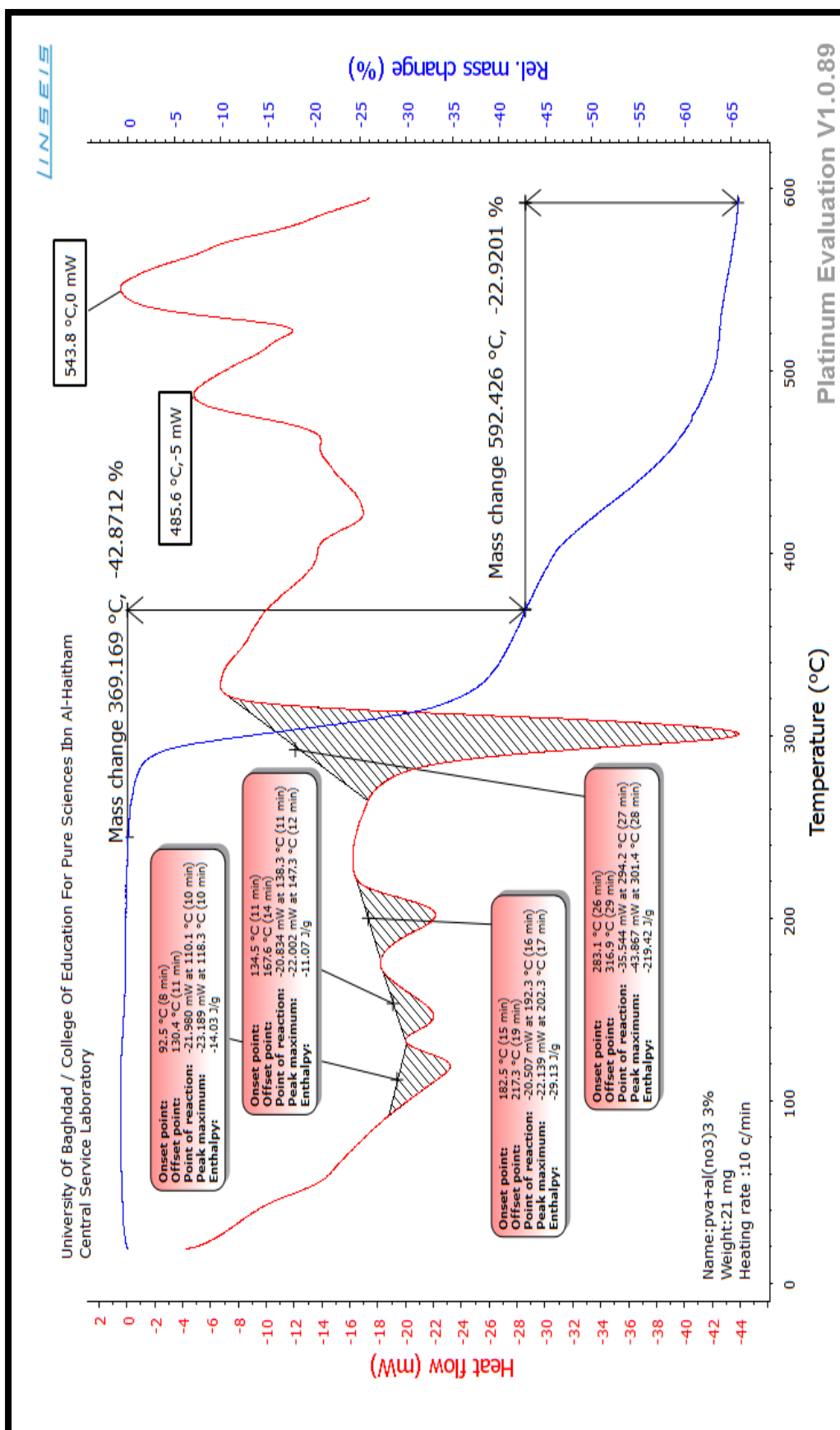
الشكل (41-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لفشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (13wt%) من ملح (AlCl₃).



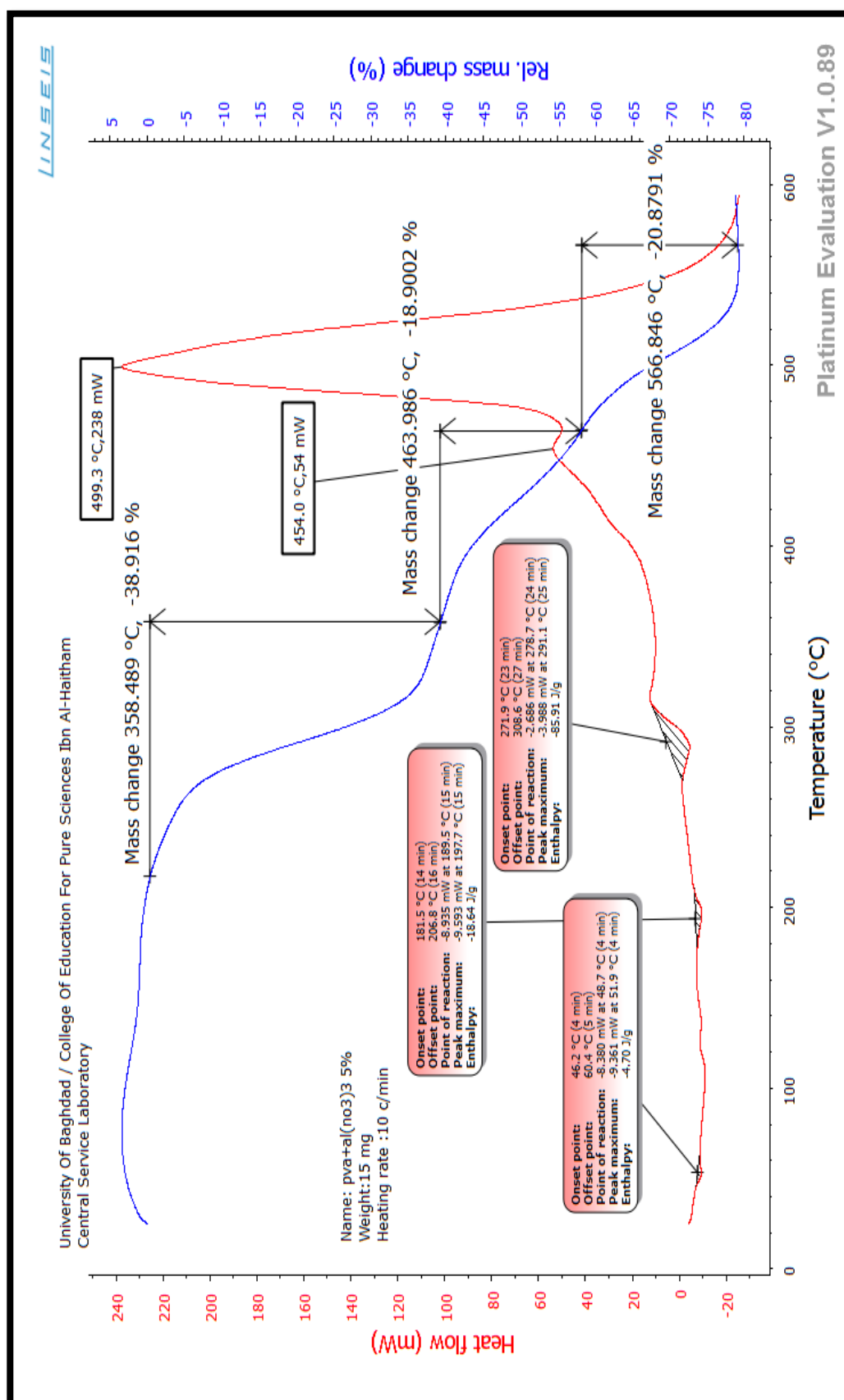
الشكل (42-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (15wt%) من ملح (AlCl₃).



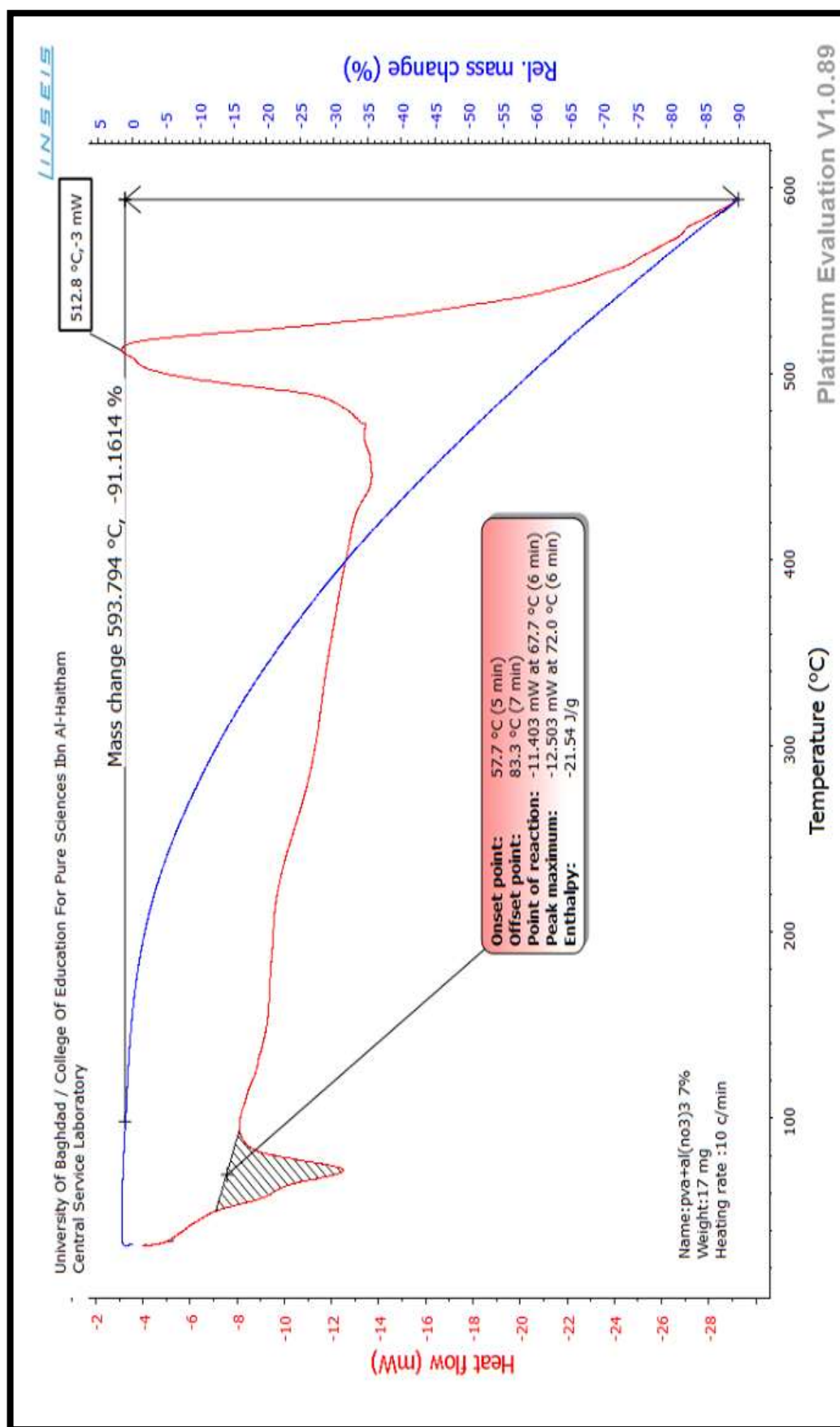
الشكل (4-43): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (1wt%) من ملح $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$.



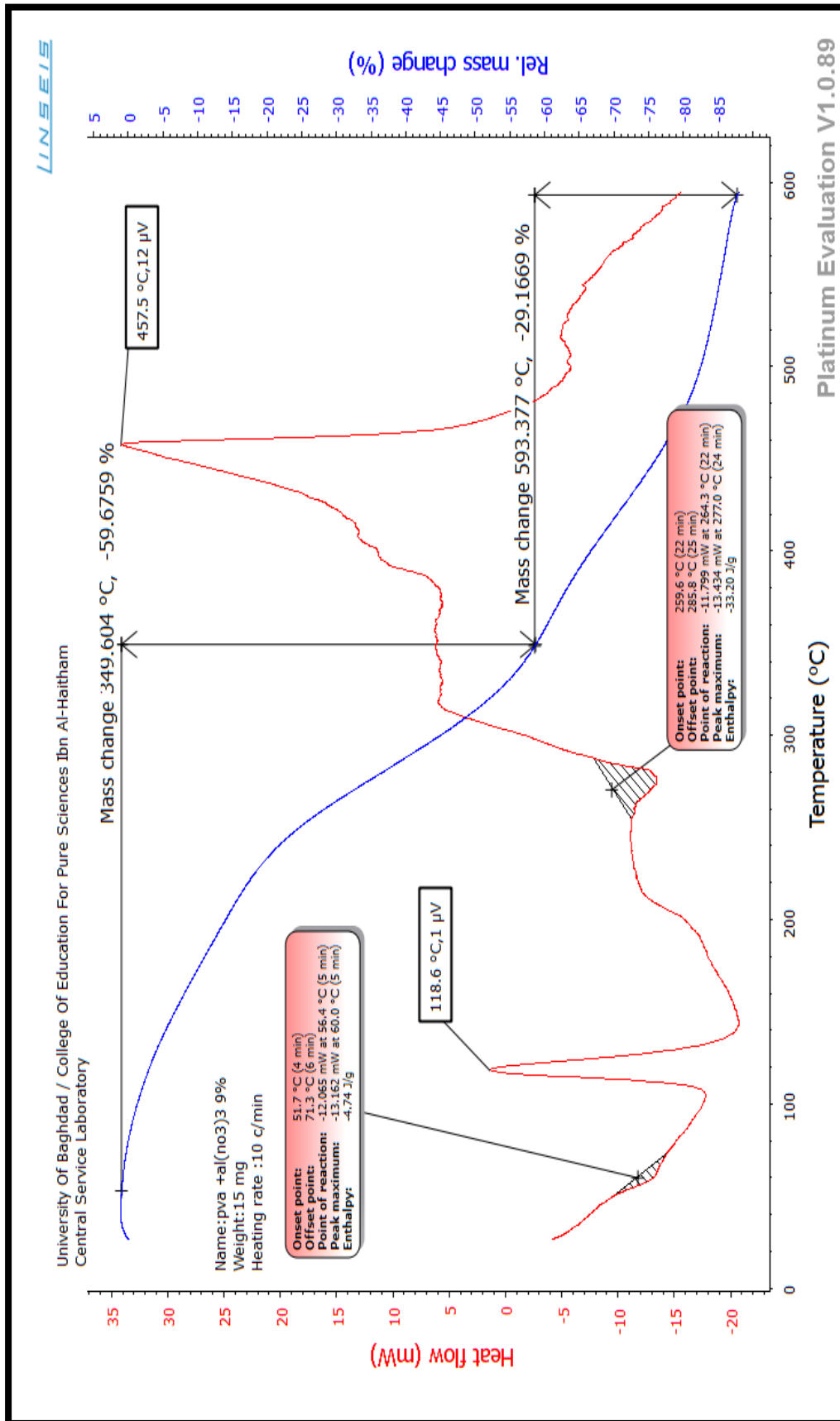
الشكل (44-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (3wt%) من ملح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$.



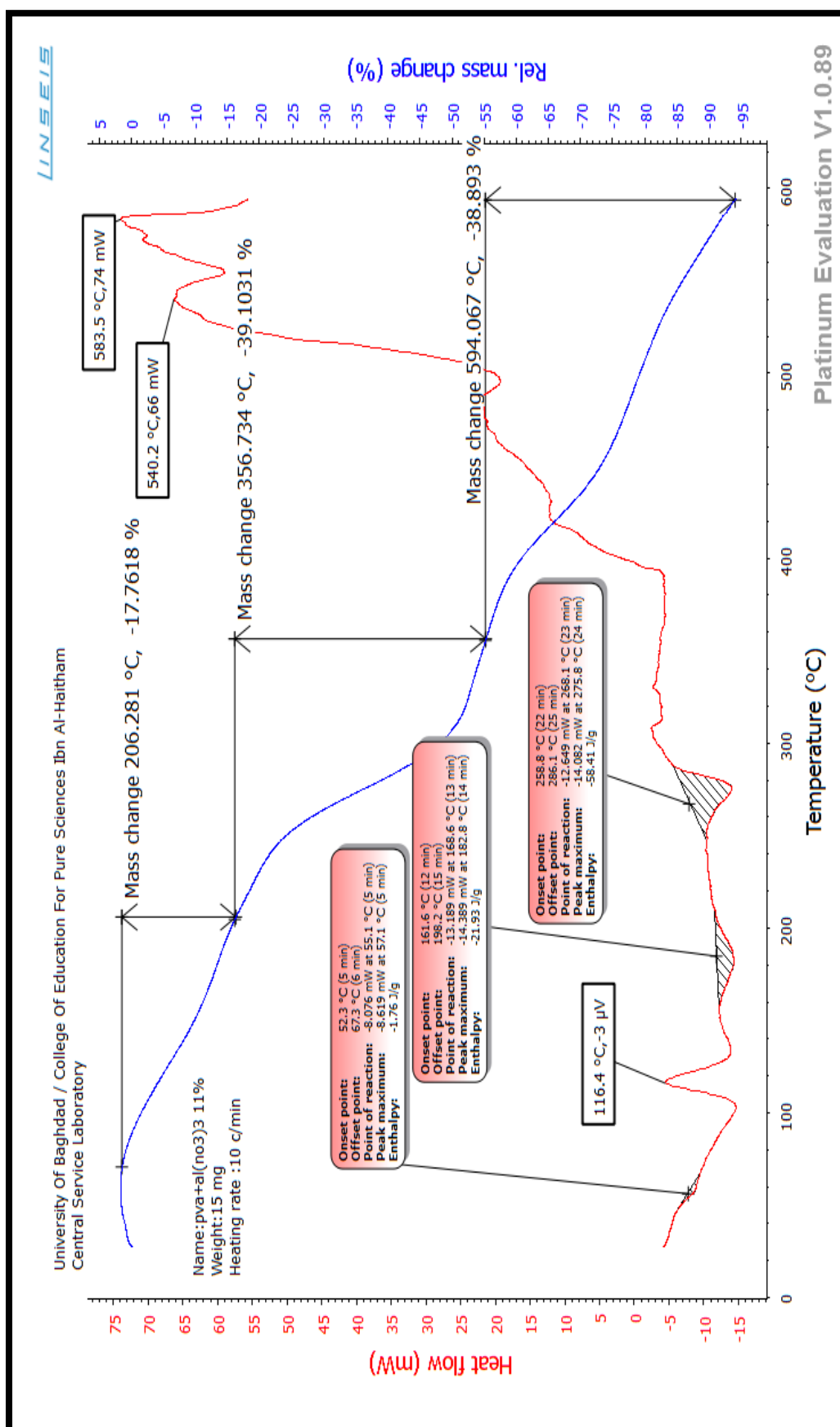
الشكل (45-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (5wt%) من ملح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$.



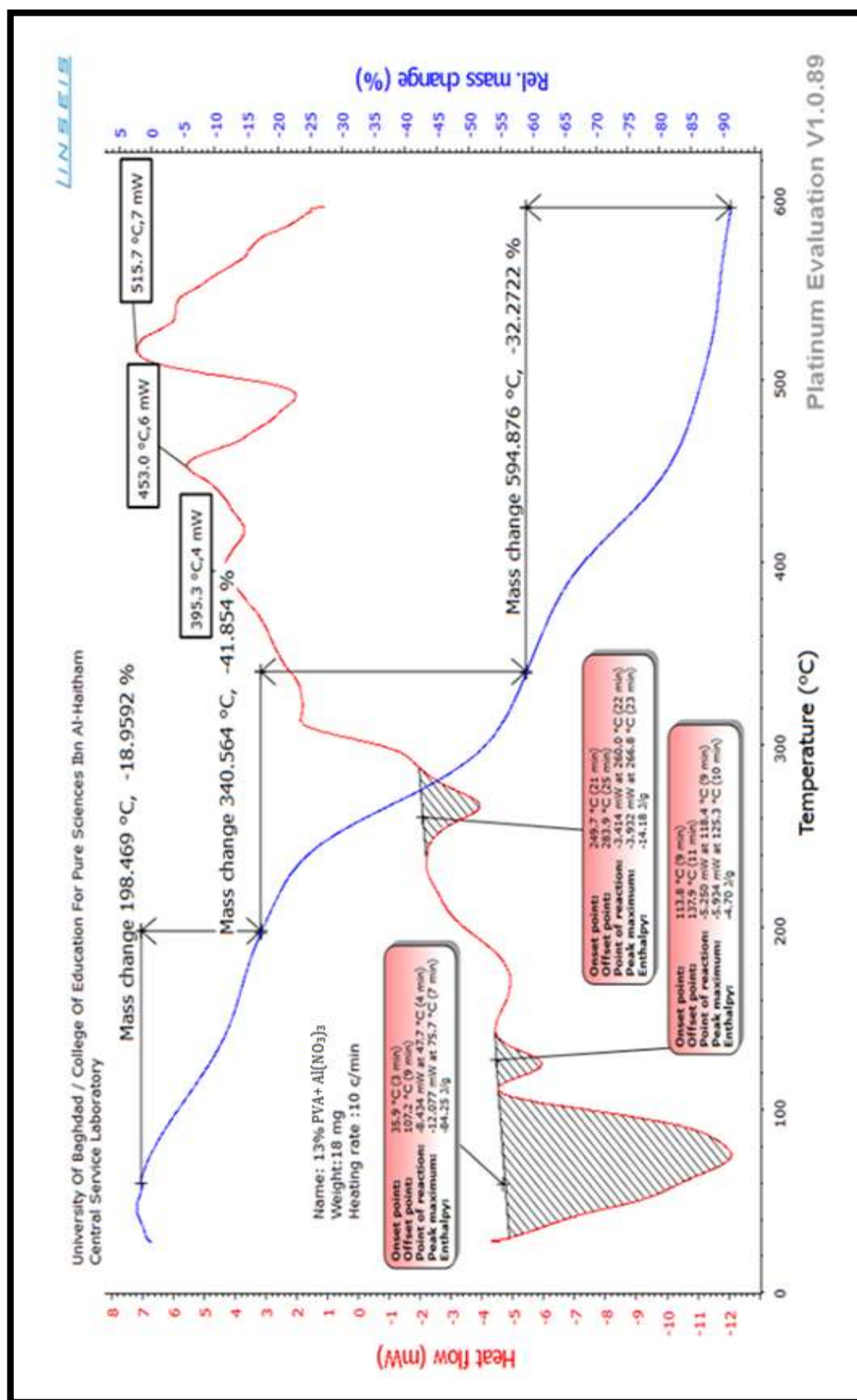
الشكل (46-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (7wt%) من ملح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$.



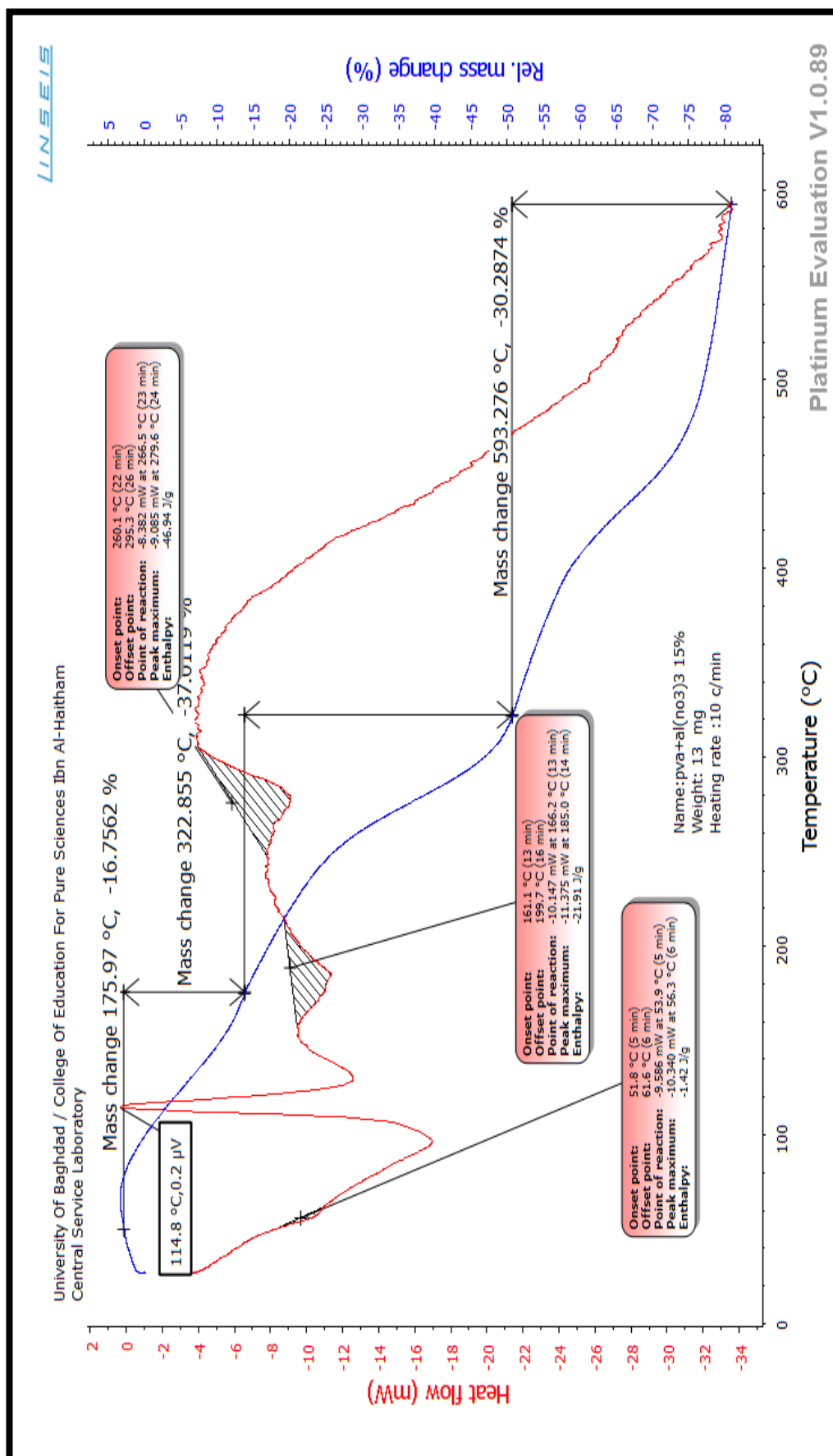
الشكل (47-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (9wt%) من ملح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$.



الشكل (48-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (11wt%) من ملح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$.



الشكل (49-4): مخطط (DSC) الحراري الوزني لغشاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية (13wt%) من ملح $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$.



الشكل (50-4): مخطط (DSC) الحراري لفضاء (PVA) المدعم بنسبة وزنية
من ملح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$ (15wt %).

الفصل الخامس

الاستنتاجات والمشاريع المستقبلية

(1-5) الاستنتاجات

Conclusions

بعد إجراء الدراسة حول التدعيم بأملاح الألمنيوم وتأثيرها على الخواص البصرية، (FTIR)، الميكانيكية والحرارية لغشاء (PVA) النقي، تم التوصل الى أهم الاستنتاجات الخاصة بهذه الدراسة وهي:

1- الخواص البصرية:

- أوضحت النتائج أن الامتصاصية ومعامل الامتصاص لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) يزدادان مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة.
- معامل الامتصاص لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) بنسب وزنية مختلفة من أملاح الألمنيوم وجد أنه أقل من (10^4 cm^{-1}) وهذا يعني أن الانتقال الإلكتروني هو غير مباشر.
- فجوة الطاقة للانتقال الإلكتروني غير المباشر المسموح لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) قلت مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة، حيث وجد أن جميع قيم فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لأغشية المتراكبات $(\text{PVA-Al}(\text{NO}_3)_3)$ بنسب وزنية مختلفة من ملح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$ هي أصغر من جميع قيم فجوة الطاقة للانتقال غير المباشر المسموح لأغشية المتراكبات (PVA-AlCl_3) بنسب وزنية مختلفة من ملح (AlCl_3) . بينما كان سلوك طاقة أورباخ معاكسا لسلوك فجوة الطاقة حيث تزداد طاقة أورباخ مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة، وأن معامل الانكسار، معامل الخمود والجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل البصري تزداد جميعها مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة.

- 2- أظهرت فحوصات (FTIR) لغشاء (PVA) النقي بعد التدعيم بنسب وزنية مختلفة من أملاح الألمنيوم أن العدد الموجي لحزمة الامتصاص لمجموعة الهيدروكسيل (-OH) لـ (PVA) ينحرف نحو قيم أعلى وذلك عند التدعيم بملح (AlCl_3) بكافة نسبه الوزنية، وأما عند أغلب نسب التدعيم بملح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$ فإن العدد الموجي لمجموعة الهيدروكسيل (-OH) لـ (PVA) ينحرف نحو قيم أوطأ، وكذلك ظهور حزمة تعود لأصرة التمدد (C-H) اللامتماثلة لغشاء (PVA) النقي والتي تنحرف نحو الاعداد الموجية العالية عند التدعيم بملح (AlCl_3) بنسبة وزنية (15 wt%) وبملح $(\text{Al}(\text{NO}_3)_3)$ بنسبة وزنية (11 wt%). وكذلك

أظهرت فحوصات (FTIR) لغشاء (PVA) النقي بعد التدعيم بنسب وزنية مختلفة من أملاح الألمنيوم أن العدد الموجي للأصرتين ($C=O$) و ($C=C$) ينحرف نحو قيم أوطأ، فضلاً عن تأثر نوعي أصرة ($-CH_2$) (تغير العدد الموجي لهما) بعملية التدعيم بأملاح الألمنيوم.

3- الخواص الميكانيكية:

- زيادة الصلادة لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة، حيث وجد أن جميع قيم الصلادة لأغشية المتراكبات ($PVA-AlCl_3$) بنسب وزنية مختلفة من ملح ($AlCl_3$) هي أكبر من جميع قيم الصلادة لأغشية المتراكبات ($PVA-Al(NO_3)_3$) بنسب وزنية مختلفة من ملح ($Al(NO_3)_3$).
- أظهرت نتائج اختبار الشد لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) بنسب وزنية مختلفة من أملاح الألمنيوم قيماً غير منتظمة (نقصاناً بالقيم عند أغلب النسب الوزنية للتدعيم بأملاح الألمنيوم) لكلاً من متانة الشد، الاستطالة حد الكسر ومعامل يونك بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي.

4- الخواص الحرارية:

- أن التوصيلية الحرارية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) تبدأ بالنقصان بصورة غير منتظمة مع زيادة النسبة الوزنية لأملاح الألمنيوم المضافة.
- أظهر الفحص بجهاز المسعر الحراري التبايني (DSC) لأغشية (PVA) النقية والمدعمة بأملاح الألمنيوم بنسب وزنية مختلفة بأن:
- درجة الانتقال الزجاجي لغشاء (PVA) النقي تبدأ بالزيادة بشكل غير منتظم عند التدعيم بملح ($AlCl_3$) بكافة نسبه الوزنية ماعدا النسبة الوزنية (11wt%) فنلاحظ عندها أختفاء درجة الانتقال الزجاجي، وأما عند التدعيم بملح ($Al(NO_3)_3$) فإن سلوك درجة الانتقال الزجاجي يكون غير منتظم بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي.
- درجة الانصهار البلورية لغشاء (PVA) النقي تبدأ بالزيادة بشكل غير منتظم عند التدعيم بملح ($AlCl_3$) بكافة نسبه الوزنية، وأما عند التدعيم بملح ($Al(NO_3)_3$) فنلاحظ أختفاء درجة الانصهار البلورية عند النسبة الوزنية (7wt%)، وتزداد وتقل درجة الانصهار البلورية عند النسب الوزنية الأخرى بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي.
- أظهرت منحنيات (TGA) أن غشاء (PVA) النقي يمر بمرحلتين لعملية التحلل الحراري وبفقد كلي في الوزن مقداره (100%)، وعند التدعيم بأملاح الألمنيوم أظهرت جميع

النسب الوزنية لكلا الملحين فقد كلي في الوزن أقل بالمقارنة مع غشاء (PVA) النقي ماعدا النسبة الوزنية (7wt%) لملح ($AlCl_3$)، وكذلك أظهرت النسب الوزنية wt% (1,3,9,13,15) لملح ($AlCl_3$) والنسب الوزنية wt% (1,3,9) لملح ($Al(NO_3)_3$) مرحلتين تحلل حراري لعملية الفقد في الوزن، بينما أظهرت النسب الوزنية wt% (5,7,11) لملح ($AlCl_3$) والنسب الوزنية wt% (5,11,13,15) لملح ($Al(NO_3)_3$) ثلاث مراحل تحلل حراري لعملية الفقد في الوزن.

(2-5) المشاريع المستقبلية Future Recommendations

- 1- دراسة تأثير أشعة كاما على الخواص البصرية والحرارية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) بنسب وزنية مختلفة من أملاح الألمنيوم.
- 2- دراسة الخواص التركيبية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) بنسب وزنية مختلفة من أملاح الألمنيوم.
- 3- دراسة الخواص الميكانيكية الأخرى ك (الصدمة، الانضغاطية والانحناء) لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) بنسب وزنية مختلفة من أملاح الألمنيوم.
- 4- دراسة الخواص الكهربائية لأغشية المتراكبات (PVA - أملاح الألمنيوم) بنسب وزنية مختلفة من أملاح الألمنيوم.

المصادر

- [1] K. J. Pascoe, "An Introduction to the Properties of Engineering Materials", Published by Van Nostr and Reinhold (U.K) CO. Ltd. 3rd Ed., (1978).
- [2] W. D. Callister and G. David, "Material Science and Engineering , An Introduction", 9th Ed., John wiley and Sons Inc, (2014).
- [3] R. F. Gibson, "Principles of Composites Material Mechanics", Mc. Graw Hill, Inc, New York, (1994).
- [4] J. W. Weeton, M. P. Dean and L.T. Karyn, "Engineering's Guide to Composite Material", Published by American Society for Metals, U.S.A., (1987).
- [5] R. P. Sheldon, "Composite Polymeric Material", School of Materials Science Publishing, London, (1982).
- [6] M. M. Schwartz, "Composite Materials Hand Book", Mc Graw Hill Company, New York, (1984).
- [7] P. A. Thernton and V. J. Colangelo, "Fundamentals of Engineering Materials", Prentice - Hall, Inc, (1985).
- [8] D. Hull, "An Introduction to Composite Materials", 1st Ed., Camberidge University Press, U.K., (1981).
- [9] R. J. C. Ford, "Plastics Engineering", 2nd Ed., Pergamon Press, U.K., (1987).
- [10] R. Beura, "Synthesis and Characterization of Polymer-Ferroelectric Composite Department", Physics National Institute of Technology Rourkela -769008, May (2012).

- [11] S. Panboon, "Electro Spinning of Polyvinyl alcohol/Chitosan Fibers for Wound Dressing Application", M.Sc. Thesis, Graduate College/Department of Industrial Chemistry, Graduate College, (2005) .
- [12] J. Tao, "Effect of Molecular Weight and Solution Concentration on Electrospinning of PVA", Worcester Polytechnic Institute Mechanical Engineering Department Head, (2003).
- [13] J. G. Morely, "High Performance of Fiber Composites", University of Nottingham, U.K., (1987).
- [14] J. E. Hatch, "Aluminum Properties and Physical Metallurgy", April (2005).
- [15] رولا عبد الخضر عباس، " دراسة التأثير الحراري على الخواص الميكانيكية لمترابك هجيني " مجلة جامعة النهرين – العلوم، المجلد 5، ص 11-23، (2007).
- [16] R.B. Seymour, "Polymeric Composites", Alden Press, London (1990).
- [17] رعد حسين محمد الجنابي، "دراسة تأثير ظروف التجوية (الاشعاع والمحاليل الكيميائية) على بعض خصائص مترابكات الايبوكسي"، رسالة ماجستير، قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية، (2004).
- [18] B. Cantor, F. P. E. Dunne and I. C. Stone, "Metal and Ceramic Matrix Composites", Taylor and Francis Group, (2003).
- [19] أنا آ. تاكر، ترجمة د. اكرم عزيز محمد، "الكيمياء الفيزيائية للبوليمرات"، جامعة الموصل، مطابع جامعة الموصل، (1984).

- [20] M. J. Tan and X. J. Li, "Processing Metal-Matrix Composites for Super Plastic Properties", Materials Science Forum, Vol. 437- 438, pp. 165-168, (2003).
- [21] A. Berlin and S. Volfson, "Principle of Polymer Composites", Springer- Overflag, New york, (1986).
- [22] M. P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing", prentice - Hall, Upper Saddle River, New Jersey, (1996).
- [23] P. Ghosh, "Polymer Science and Technology of Plastics and Rubbers", Tata Mc Graw- Hill, New Delhi, (1990).
- [24] P. M. Jean, Z. Gérald and W. Kurz , "Introduction to Materials Science", Ch15 Polymer Structures, University of Tennessee, Dept. of Materials Science and Engineering, Elsevier, (2002).
- [25] G. A. Al.Adam and H. A. K. Al-kita'a, "Technology and Polymer Chemistry", University of Basra, College of Science, (1983).
- [26] صالح هيثم رزوقي، "دراسة خواص المواد البوليمرية المقواة بدقائق الالمنيوم"، رسالة الماجستير، قسم هندسة الانتاج والمعدات، الجامعة التكنولوجية، (2002).
- [27] J. R. Fried, "Polymer Science and Technology", Prentice Hall, Inc, Upper Saddle Rivers, Newjersey, (2003).
- [28] A. N. Krkljes, M. T. Marinovic-Cineovic, Z. M. Kacarevic – Popovie and J. M. Nedeljkovic, "Dynamic Thermogravimetric Degradation of Gamma Radiolytically Synthesized Ag-PVA Nanocomposites", Thermochemica Acta, Vol. 460, pp. 28-34, (2007).

- [29] N. S. Labidi and A. Djebaili, "Studies of the Mechanism of Polyvinyl Alcohol Adsorption on the Calcite/Water Interface in the Presence of Sodium Oleate", *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp. 147-161, (2008).
- [30] A. H. Alwash, "Studing of the Optical Porperties of Polyvinyl Alcohol Films Using Aluminum Sulphate as Additive by Measuring Allowed Direct transition Energy Gap", *Bagdad Science Journal*, Vol. 7, No. 4, pp. 103-109, (2010).
- [31] G. Nasar, M. S. Khan and U. Khalil, "A study on Structural, Mechanical and Thermal properties of Polymer Composites of Polyvinyl Alcohol with Inorganic Material", *Mocromol Symp*, ,Vol. 298, pp. 124-129, (2010).
- [32] N. X. Chen and J. Zhang, "The Role of Hydrogen Bonding Interaction in (Polyvinyl Alcohol / Poly Acrylic Acia) Blending Solutions and Their Films", *Chinese Journal of Polymer Science*, Vol. 28, No. 6, pp. 903-911, (2010).
- [33] O. G. Abdullah and S. A. Hussen, "Evolution of the Optical Properties of PVA Films Filled with Sodium Iodide", *Tikrit Journal of Pure Science*, Vol. 16, No. 4, pp. 195-200, (2011).
- [34] B. H. Rabee, M. A. Habeeb, A. Hashim and R. Mizher, "Preparation of (PVA- $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) Composites and Study Optical Properties", *American Journal of Scientific Research*, No. 71, pp. 5-8, (2012).

- [35] P. Chopra, S. Garg and A. K. Jana, "Study on the Performance of Starch/PVA Blend Films Modified With SiO₂ Nanoparticles", International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology, Vol. 3, No. 2, pp. 36-40, (2013).
- [36] M. Sirait, S. Gea, Motian and E. Marlianto, "Effect of Mixed nanoparticales ZnS and Polyvinyl Alcohol (PVA) Against Nanocomposite Mechanical Porperties of PVA/ZnS", American Journal of physical Chemistry, Vol. 3, No. 1, pp. 5-8, (2014).
- [37] J. Puyou, B. Cai-Ying, H. Li-hong and Z. Yong-hong , "Properties of Polyvinyl Alcohol Plasticized by Glycerin", Journal of Forest products & Industries, Vol. 3, No. 3, pp. 151-153, (2014).
- [38] Y. Luo, X. Jiang, W. Zhang and X. Li, "Effect of Aluminium Nitrate Hydrate on the Crystalline, Thermal and Mechanical Porperties of Polyvinyl Alcohol Film", Polymers & Polymer Composites, Vol. 23, No. 8, pp. 555-562, (2015).
- [39] C. Ravindra, M. Sarswati, G. Sukanya, P. Shivalila, Y. Soumya and K. Deepak, "Tensile and Thermal Properties of Polyvinyl Alcohol/Vanillin Incorporated Polyvinyl Alcohol Films", Research Journal of Physical Sciences, Vol. 3, No.8, pp. 1- 6, October (2015).
- [40] N. J. Hameed and H. S. Gazi, "Studying the Effect of Silica (SiO₂) Addition on the Adhesive Properties of Polyvinyl Alcohol", Iraqi Journal of physics, Vol. 14, No. 29, pp. 107-124, (2016).

- [41] J. Puyou, Z. Meng, H. Lihong and Z. Yong-hong, "The Plasticizing Mechanism and Effect of Aluminium Chloride and Alycerin on Polyvinyl Alcohol Films", Iran J. Chem. Eng., Vol. 35, No. 2, pp. 129-135, (2016).
- [42] S. A. Salman, A. A. Kamil and M. A. R. Iesa, " Preparation and Study of Some Optical Properties of (PVA-FeCl₃) Composites Films", Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences, Vol. 6, No. 4, pp. 1270-1280, (2016).
- [43] N. M. Jalal, Z. A. Ali, S. A. Allami, S. M. Hassan and M. R. Ali, "Effect of lithium Chloride Addition on the Electrical Conductivity of Polyvinyl Alcohol Films", American Journal of Engineering Research (AJER), Vol. (6), pp. 337-343, (2017).
- [44] T. Cheng-an, Z. Hao, W. Fang, Z. Hui, Z. Xiaorong and W. Jianfang, "Mechanical Properties of Graghene Oxide/Polyvinyl Alcohol Composite Film", Polymers & Polymer Composites, Vol. 25, No. 1, pp. 11-16, (2017).
- [45] M. K. Jayaraj, A. Antony and M. Ramachandran, "Transparent Conducting Zinc Oxide Thin Film Prepared by off-axis Rf Magnetron Sputtering", Bull. Mater. Sci., Vol. 25, No. 3, pp. 227-230, (2002).
- [46] J. Singh, "Semiconductors Devices", Basic Principles, John Wiley and Sons, Engineering and Materials, (2002).
- [47] C. M. Wolf, N. Holouyak and G. B. Stillman, "Physical Properties of Semiconductor", Prentice Hall, New York, (1989).

- [48] G. S. Y. Kumar, H. S. B. Naik, A. S. Roy, K. N. Harish and R. Viswanath, "Synthesis Optical and Electrical Properties of ZnFe_2O_4 Nanocomposites", *Nanomater–Nanotechnol*, Vol. 2, Art. 19, pp. 192-199, (2012).
- [49] I. H. Khdayer, "Fabrication and Studying the Photoconducting Characteristics of in sb Junction with Silicon as A single Crystal Semiconductor", ph. D Thesis, Baghdad University, (2005).
- [50] O. Stenz-el, "The Physics of Thin Film Optical Spectra", An Introduction, Winzerlaerstr, 10, 07745, (2005).
- [51] B. L. Theraja, "Modern Physics", S. Chand and Company (PVY), New Delhi, (1987).
- [52] A. Wilson, "X- Ray Optics", London, Methnen and Coltd New York, John Wiley and Sons. Inc, (1962).
- [53] A. D. Buba and J. S. Adelabu, "Optical and Electrical Properties of Chemically Deposited ZnO Thin Films", *The Pacific Journal of Science and Technology*, Vol. 11, pp. 429-343, (2010).
- [54] J. C. Pippek, "Semiconductor Optoelectronic Devices", University of California, (2006).
- [55] R. H. French, H. Mullejans and D. J. Jones, "Optical Properties of Aluminuim Oxide: Determind from Vacum Ultraviolet and Electron Energy–Loss Spectroscopies", *Journal of the Amercan Ceramic Society*, Vol. 81, No. 10, pp. 2549-2557, (1998).
- [56] جعفر صادق محمد علي، "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية كبريتيد الكادميوم النانوية غير المشوبة والمشوبة بالألمنيوم"، رسالة ماجستير، كلية التربية - الجامعة المستنصرية، (2012).

- [57] K. L. Chopra and I. Kaur, "Thin Films Device Application", Plenum Press, New York, (1983).
- [58] L. Echcrtova, "Physics of Thin Films", Plenum Press, New York and London, (1977).
- [59] يحيى نوري الجمال، "فيزياء الحالة الصلبة"، مطبعة جامعة الموصل، (1990).
- [60] I. C. Ndukwe, "Solution Growth Characterization and Applications of Zinc Sulphide Thin Films", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 40, pp. 123-131, (1996).
- [61] J. I. Pankove, "Optical Processes Semiconductors", prentice – Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1971).
- [62] N. F. Mott and E. A. Davis, "Electronic Processes in Non – Crystalline Materials", 2nd Ed., Clarendon Press, (1979).
- [63] مؤيد جبرائيل يوسف، "فيزياء الحالة الصلبة"، مطبعة جامعة بغداد، الجزء 2، (1989).
- [64] مارتن أ. كرين، ترجمة د. يوسف مولود، "الخلايا الشمسية"، مطبعة جامعة الموصل، (1989).
- [65] S. Shanthi, C. Subramanian and P. R amasmy, "Investigation on the Optical Properties Undoped Flourine Doped and Antimony Doped Tin Oxide Films", Cryst. Res. Technol. Vol. 34, pp. 1037-1046, (1999).
- [66] C. A. Hogarth and M. Y. Nadeem, "The Optical Absorption Edge in State Amorphous Thin Films of Germania and Germania with Barium Oxide", Physics Solid State, Vol. 68, pp. 181-184, (1981).

- [67] S. M. Sze, "Semiconductors Devices", John Wiley and Sons, Ins, (2002).
- [68] X. Zhange, S. Ma, F. L. F. Yang, J. Liu and Q. Zhao, "Effect of Substrate Temperature on the Growth Orientation and Optical Properties of ZnO:Fe Films Synthesized Via Magnetron Sputtering", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 574, pp. 149-154, (2013).
- [69] George and C. K. V. Kumari, "Transparent Conductive Films of Thin Oxide Preparation and Properties", Solid State Communication, Vol. 46, pp. 541-546, (2002).
- [70] A. Nilens, "Deep Impurity in Semiconductors", Wiley – Inter Science Publication, Printing First, (1973).
- [71] E. O. Knuston and K. T. Whitby, "Aerosol Classifications", Aerost Sc. Vol. 6, pp. 443-451, (1975).
- [72] D. A. Neamen, "Semiconductor Physics and Devices", Australia ,(1992).
- [73] M. N. J. Al-Delaimi, "The Effect of Ni, Cu ,CB Additives on Electrical, Optical, and Mechanical Properties of PMMA", Phd. Thesis, University of Baghdad/College of Science, (1996).
- [74] P. J. Nigrey, D. Maclunes, J. D. D. Nairns, A. J. Macdiarmid, and A. G. Heegen, "Conductive Polymer", R. B. Seymour, Ed. ,Plenum Press, New York, (1981).
- [75] S. Goodman, "Plastic Materials & Processes", Van Nostand Reinhold, New York, (1982).

- [76] T. J. Reinhart, "Engineering Material Hand Book", Vol. 1, ASM International, U.S.A, (1988).
- [77] G. E. Dieter, translated by I. K. Abdul Razak and M. A. Abdul Wahab, "Mechanical Metallurgy", University of Technology, Department of Production Engineering and Minerals, (1994).
- [78] بيلي ف. ، ترجمة الدكتور حسين باقر رحمة الله، "مبادئ هندسة المواد"، جامعة البصرة، (1985).
- [79] D. Kopeliovich, "Shore (Durometer) Hardness Test", Subs & Tech Last Modification. 28, Apr., (2012).
- [80] W. C. Young and R. G. Budynas, "Roark's Formulas for Stress and Strain", 7th Ed., McGraw- Hill, Companies, Inc., pp. 851 (2002).
- [81] A. K. Kaw, "Mechanics of Composite Materials", 2nd Ed., Taylor and Francis Group, Llc, NewYork, (2006).
- [82] محمد داوود، "دراسة بعض الخصائص الفيزيائية لمتراكبات بوليميرية بإضافة مواد سيراميكية"، رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، جامعة الانبار، (2012).
- [83] Z. Han and A. Fina, "Thermal Conductivity of Carbon Nanotubes and their Polymer Nanocomposites", Progress in Polymer Science, Vol. 36, No.7, pp. 914-944, (2011).
- [84] A. M. Collieu and D. J. Powny, "The Mechanical and Thermal Properties", Butter and Tanner, London, (1973).
- [85] T. B. Akrill, G. A. Bennet and G. J. Millar, "Plastics", Edward Arnold, London, (1979).

- [86] R. O. Bolt and J. G. Carrol, "Radiation Effect of Organic Materials", Academic Press, New York, (1963).
- [87] T. G. Fox and P. J. Flory, "The Glass Temperature and Related Properties of Polystyrene Influence of Molecular Weight", Polymer Chemistry, Vol. 14, pp. 315-319, (1954).
- [88] محمد مجدي عبدالله واصل، "كيمياء البوليمرات"، كلية العلوم، جامعة الأزهر، دار الفجر للنشر والتوزيع ، الطبعة الثانية، (2008).
- [89] A. Knop and W. Scheib, "Chemistry and Application of Phenolic Resin", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York (1979).
- [90] كوركيس عبد ال آدم و د. ذنون محمد عزيز، " كيمياء الجزيئات الكبيرة"، مطبعة جامعة البصرة، البصرة (1985).
- [91] M. P. Stevens, "Polymer Chemistry An Introduction", Addition-Wesley Phblishing Company, Inc, London, (1975).
- [92] M. E. El-Dahshan, "Introduction to Material Science and Engineering", 2nd Ed., King Saud University Press, Saudi Arabia, (2002).
- [93] I. W. Watan, "Studying Some of the Mechanical & Thermal Properties of Polyester Reinforced with Ceramic Particles", Diyala Journal for Human Science, Vol. 37, pp. 180-197, (2009).
- [94] A. A. Aly , M. M. Mahmoud and A. A. Omar, "Enhancement in Mechanical Properties of Polystyrene Filled with Carbon Nano-Particulates (CNPS)", Nano Science and Engineering, Vol. 2, pp. 103-109, (2012).

- [95] V. Kovacevic , M. Leskovac , S. Blagojevic "Morphology and Failure in Nanocomposites. Part II: Surface Investigation", Journal of Adhesion Science and Technology, Vol. 16, PP. 1915-1921 (2002).
- [96] I. S. Elashamwi, E. M. Abdelrazek and A.Y. Yassin, "Influence of NiCl_2 / CdCl_2 as Mixed Filler on Structural, Thermal and Electrical Properties of PVA/ PVP Blend", British Journal of Applied Science & Technology, Vol. 4, No. 30, pp. 4263- 4279, (2014).
- [97] B. S. Mudigoudra, P. S. Masti and R. B. Chougale, "Thermal Behavior of Polyvinyl Alcohol/Polyvinyl Pyrrolidone/Chitosan Ternary Polymer Blend Films", Research Journal of Recent Sciences, Vol. 1, No. 9, pp. 83-86, (2012).
- [98] C. Chen, J. Chueh, H. Tseng, H. Huang and S. Lee, "Preparation and Characterization of Biodegradable PLA Polymeric Blends", Biomaterials, Vol. 24, pp. 1167-1173, (2003).
- [99] L. C. Shen, "Studies on the Effect of Nanosized Ceramic Filler Polyvinyl Alcohol/Lithium Perchlorate Based Polymer Electrolytes", M.SC, Thesis, University of Malaya, Faculty of Science, Department of Physics, (2012).
- [100] H. Yu, X. Xu, X. Chen, T. Lu, P. Zhang and X. Jing, "Preparation and Antibacterial Effects of PVA-PVP Hydrogels Containing Silver Nanoparticles", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 103, pp. 125-133, (2007).

- [101] O. W. Guirguis, and M. T. H. Moselhey, "Thermal and Structural Studies of Poly vinyl Alcohol and Hydroxypropyl Cellulose Blends", Natural Science, Vol. 4, No. 1, pp. 57- 67, (2012).
- [102] A. El-Khodary, "Vibrational, Thermal, Optical and Magnetic Investigations of PVA Films Filled with FeCl_3 and CoCl_2 ", Contents lises available at Science Direct, Vol. 404, pp. 1287-1294, (2009).
- [103] I. R. Rodrigues, M. M. C. Forte, D. S. Azambuja and K. R. L. Castagno, "Synthesis and Characterization of hybrid Polymeric Networks (HPN) Based on Polyvinyl Alcohol/Chitosan", Reactive & Functional Polymers, Vol. 87, pp. 708-715, (2007).
- [104] د.أكرم عزيز محمد، "كيمياء اللدائن"، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، (1993).
- [105] R. Singh, S. G. Kulkarni and N. H. Naik, "Effect of Nano Size Transition Metal Salts and Metal on Thermal Decomposition Behavior of Poly vinyl Alcohol", Advanced Materials Letters, Vol. 4, No.1, pp. 82-88, (2013).
- [106] A. M. Shehap, "Thermal and Spectroscopic Studies of Polyvinyl Alcohol/Sodium Carboxy Methyl Cellulose Blends", Egypt. J. Solids, Vol. 31, No. 1, pp. 75-80, (2008).
- [107] N. A. Betti, "The Effect of Cesium Chloride on Thermal Properties of Polyvinyl Alcohol", Eng &Tech. Journal, Vol. 34, No.12, pp. 2193-2206, (2016).

Abstract

The pure films of polymer (PVA) filled with aluminium salts with different weight ratios ((1,3,5,7,9,11,13,15) wt%) have been prepared by using casting method. The optical, mechanical and thermal properties of (PVA - aluminium salts) composites films have been studied.

The transmission and absorption spectra have been recorded in the wavelength range (190-1100) nm, the effect of the weight ratio of the added aluminium salts on the optical parameters (transmittance, absorbance, absorption coefficient, refractive index, extinction coefficient and real and imaginary parts of dielectric constant) of (PVA - aluminium salts) composites films were studied.

The experimental results indicated that the transmittance of (PVA - aluminium salts) composites films decreases with the increase of the weight ratio of the added aluminium salts while the absorbance, absorption coefficient, refractive index, extinction coefficient and real and imaginary parts of dielectric constant were increased with increasing of weight ratio for the added aluminium salts. Moreover, the results show that the electronic transitions was indirect electronic transitions, and that the energy gap decreases with the increase of the weight ratio of the added aluminium salts (5.887-4.542) eV for the (AlCl_3) salt and (5.887-4.435) eV for the ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) salt, while Urbach energy has opposite behavior with the energy gap since Urbach energy increases by increasing the weight ratio of the added aluminium salts (545.6-1039.6) meV for the (AlCl_3) salt and (545.6-928.9) meV for the ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) salt.

The results of (FTIR) tests for pure (PVA) film have been shown after filler with different weight ratios of the aluminium salts that the absorption band of the hydroxyl group (-OH) shifted towards the higher wavenumbers of all weight ratios of the (AlCl_3) salt, and for most weight ratios of the ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) salt the wavenumber of the hydroxyl group (-OH) for (PVA) shifted to the lower values, while the non-symmetric stretching (C-H) bond showed a shift

toward higher wavenumbers at weight ratio (15wt%) and (11wt%) for (AlCl_3) and ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) salts respectively, the (C=O) and (C=C) bonds showed a shift towards lower wavenumbers with a qualitative effect of the (-CH₂) bond (the wavenumber are change for them) by the filling process with the Aluminium salts.

The effect of the weight ratio of the added aluminium salts on the mechanical properties of (PVA - aluminium salts) composites films have been studied, the experimental results showed that the hardness increased by increasing the weight ratio of the added aluminum salts, while the experimental results of the tensile test showed unsystematic values for (tensile strength, strain at break and Young's modulus) after filling with different weight ratios of the aluminium salts compared with pure (PVA) film.

The results of the study of effect of the weight ratio of the added aluminium salts on the thermal properties of (PVA - aluminium salts) composites films showed that the thermal conductivity began to decrease in an unsystematic with increasing of weight ratio of the added aluminium salts, the differential scanning calorimetric (DSC) test showed began an unsystematic increase for both glass transition and crystalline melting point by increasing the weight ratio of the added (AlCl_3) salt, and unsystematic behavior of glass transition and crystalline melting point at the filling by ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) salt compared with pure (PVA) film with absent of the glass transition at the weight ratio (11wt%) of (AlCl_3) salt and absence of the crystalline melting point at the weight ratio (7wt%) of ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$) salt, Moreover, (TGA) curves showed that the pure (PVA) film underwent two stages of thermogravimetric decomposition process for total weight loss (100%), and the weight ratios of the added aluminium salts showed two and three stages of thermogravimetric decomposition of the weight loss process and total weight loss are lower compared with pure (PVA) film.