

## حركية تفاعل 3,1 - ثنائي أمينو البروبان مع الحمض الليميري الدسم C<sub>36</sub>

الدكتور احمد فلاح\*  
الدكتورة منال الحموي\*\*  
حسن المحمد\*\*\*

(تاريخ الإيداع 24 / 11 / 2011. قُبل للنشر في 9 / 9 / 2012)

### □ ملخص □

نفذت الدراسة الحركية على التفاعل بين 3,1 - ثنائي أمينو البروبان والحمض الليميري الدسم C<sub>36</sub> في الحالة السائلة المنصهرة ، أنجز التفاعل عند الدرجات (110,120,140,145,155, °C) وتم تعيين قرينة الحموضة للمنتج. وقد وجد أنّ تفاعل الأميدة كان من المرتبة الثانية مع طاقة تنشيط 35 k cal /g mol حتى نسبة تحول 70% وذلك عند درجات الحرارة ( 110,120,155, °C ) و 62%,86% عند درجات حرارة (140,145, °C) على الترتيب ثم يتحول التفاعل من المرتبة الثانية إلى المرتبة الثالثة .  
قمنا بتعيين درجة البلمرة وكل من معدل الوزن الجزيئي العددي والوزني خلال أزمنة مختلفة ولوحظ أن علاقة كل مما سبق مع الزمن أقرب إلى منحنى توازني . تم قياس قرائن الانكسار لمحلول البولي أميد عند درجات حرارة مختلفة.

**الكلمات المفتاحية:** الحمض الليميري، ثنائيات الأمين، حركية تفاعل الأميدة، درجة البلمرة، معدل الوزن الجزيئي العددي، معدل الوزن الجزيئي الوزني.

\* أستاذ مساعد - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - دمشق - سورية  
\*\* أستاذ مساعد - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - دمشق - سورية  
\*\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - دمشق - سورية

## Kinetics of Reaction of 1,3 –Diaminopropane and Dimeric Fatty Acids C<sub>36</sub>

Dr. Ahmad Falah\*  
Dr. Manal Hammoy\*\*  
Hasan Mohammad\*\*\*

(Received 24 / 11 / 2011. Accepted 9 / 9 / 2012)

### □ ABSTRACT □

Kinetic studies were carried out on the reaction between 1,3 -Diaminopropane and dimeric fatty acid c<sub>36</sub> in melt phase . The reaction was performed at 110, 120, 140, 145, and 155 °C and followed by determining the acid value of the product .The polyamidation reaction was found to be of overall second order with an activation energy of 35 K cal / g mol up to 70% conversion at (110,120,155,°C ) and 62%,86% conversion at 140,145 °C and overall third order above last conversion .The Degree of Polymerization , Number Average Molecular Weight, Weight Average Molecular Weight has been calculated during different times , The relationships between Degree of Polymerization , Number Average Molecular Weight , Weight Average Molecular Weight with the times is near to equilibrium curve ,The Refractor index of polyamide solution was measured at different temperatures.

**Key Words:** dimeric fatty acid . Diamines, Kinetic of polyamidation reaction., Degree of Polymerization, Number Average Molecular Weight, Weight Average Molecular Weight

---

\* Assistant Professor, Department chemistry, faculty science, university Damascus, Damascus, Syria.

\*\* Assistant Professor, Department chemistry, faculty science, university Damascus, Damascus, Syria.

\*\*\* Postgraduate Student, Department chemistry, faculty science, university Damascus, Damascus, Syria.

## مقدمة:

البولي أميدات الدسمة هي منتجات تكاثف لثنائيات أو متعددات الأمين مع ثنائيات أو متعددات الحموض الدسمة [1]. الأخيرة يستحصل عليها من بلمرة الحموض الدسمة غير المشبعة أو استراتها، تستخدم البولي أميدات الدسمة كلدائن حرارية أو لواصل حرارية أو أغشية سطحية أو أحبار طباعة [2]. العديد من المراجع [1,2] قد تناولت تحضير البولي أميدات الدسمة، حضرت كوبوليميرات متحللة حيويًا من السيللوز و بولي أميدات دسمة أساسها الحمض الليميري الدسم وسداسي ميثلن ثنائي أمين ودرست خواصها الميكانيكية والحرارية و المورفولوجية [3] لكن لا يوجد عمل قد سجل حركية هذه التفاعلات باستثناء تفاعل الأيتلين ثنائي أمين مع الحموض الدسمة الليميرية [4].

## أهمية البحث وأهدافه:

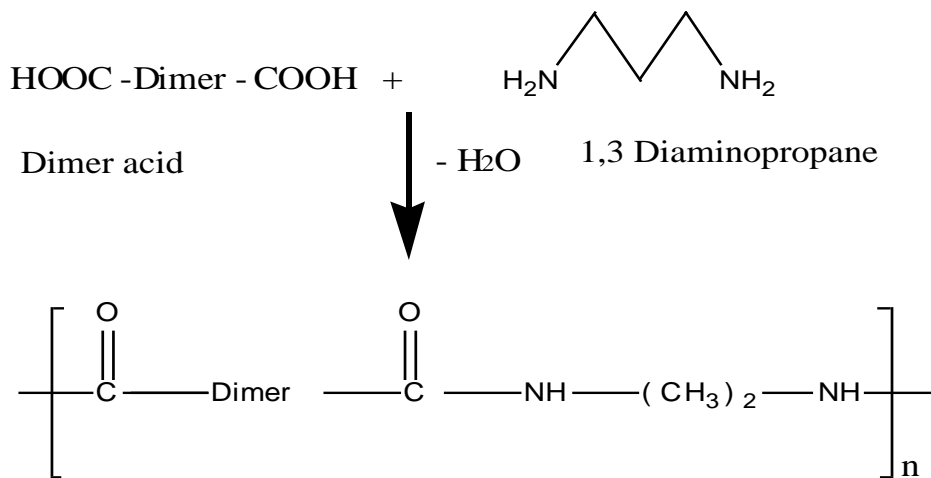
دراسة حركية تفاعل الأميدة في الحالة المنصهرة عند تحضير بولي أميدات أساسها الحمض الليميري  $C_{36}$  مع 3,1 - دي أمينو البروبان . ودراسة علاقة كل من معدل الوزن الجزيئي العددي والوزني ودرجة البلمرة مع الزمن . إن سرعة تفاعل كيميائي غالباً ما تكون تابعاً بسيطاً لتراكيز المواد المتفاعلة والنااتجة. ودراسة حركية التفاعل ذات أهمية كبيرة جداً في التعرف إلى كيفية حدوثه ، وبالتالي استنباط آليته ومن هنا تأتي أهمية دراسة حركية أي تفاعل . كما أن قوانين السرعة ذات فائدة كبيرة لأنها تعطي صيغة موجزة لسير التفاعل ويمكن استخدامها في حساب زمن التفاعل ومردوده وشروطه الاقتصادية المثلى .

## طرائق البحث ومواده:

الحمض الليميري المستخدم  $C_{36}$  ذو نقاوة فوق 97% (حمض ديميري مهرج (سائل ) كثافته 0.95 g/ml مستورد من شركة (Sigma -Aldrich ألمانيا) وثنائي الأمين ذو نقاوة فوق 98% يتميز 3,1- دي أمينو البروبان بأنه سائل عديم اللون كثافته 0.888 g/ml مستورد من شركة (Sigma -Aldrich ألمانيا).

### تحضير بولي (الحمض الليميري $C_{36}$ مع 3,1 - دي أمينو البروبان)

يتم اصطناع البولي أميد من الحمض الليميري  $C_{36}$  مع 3,1 - دي أمينو البروبان وفق المعادلة التالية :



poly ( Dimer acid with 1 , 3 Diaminopropane )

**طريقة العمل :** نضع في دورق أسطواناني [5] مزود بخلاط ومدخل لأنبوب اللازوت ومنظم حراري (وزن معروف من الحمض الديميري) من خلال قمع ويسخن ، تضاف الكميات الجزئية المكافئة من ثنائي الأمين خلال دقيقتين، ينظم التسخين للحصول على درجة الحرارة المطلوبة في المجال 110-155 °C, ضمن مجال درجة الحرارة الكتلة كي تبقى في الحالة المنصهرة. الماء الناتج خلال التفاعل يزال من وعاء التفاعل بواسطة دفعه مع فقاعات اللازوت ويجمع في فاصل الماء هذا يساعد التفاعل للمضي نحو تشكل البولي أميد في أثناء سير التفاعل [6] ، تسحب العينات وذلك خلال فترات زمنية مختلفة و يعين العدد الحمضي [7] ، تم حل العينات باستخدام محلول ميتانول - تتراهدروفوران (25 - 75 V/ V)، ومن ثم حساب علاقة كل من معدل الوزن الجزيئي العددي والوزني ودرجة البلمرة مع الزمن

### النتائج والمناقشة:

تم إجراء تفاعل الأميدة في الحالة المنصهرة عند درجات حرارة مختلفة (110,120,140,145,155, °C) متبوعاً بتحديد قيم العدد الحمضي للمنتج عند كل درجة حرارة وفق العلاقة :

(1')

$$B = \frac{V_2 \text{ : حجم محلول KOH اللـ} (V_2 - V_1)(0.056)(1000) \text{ KOH' اللـ لازم لمعايرة الشاهد}}{W \text{ : وزن العينة المأخوذ .}}$$

وتمت مراقبة سير التفاعل عن طريق انخفاض قيم العدد الحمضي [9,8] ويوضح الجدول (1) اختلاف قيم العدد الحمضي باختلاف زمن التفاعل عند درجات الحرارة المدروسة

الجدول (1) اختلاف قيم العدد الحمضي باختلاف زمن التفاعل عند درجات الحرارة المدروسة

درجة الحرارة (°C)	زمن التفاعل (دقيقة)	العدد الحمضي (mg KOH /g polymer)	درجة الحرارة (°C)	زمن التفاعل (دقيقة)	العدد الحمضي (mg KOH /g polymer)
110	0	247.775	140	30	84.150
	2	224.400		50	77.677
	5	215.769		80	64.114
	20	172.975		110	44.079
	35	142.800		140	43.633
	55	107.100	145	0	247.775
	85	93.500		5	84.150
	130	77.138		10	64.114
	175	73.362		15	56.100
	230	72.930		20	56.100
	0	247.775	145	30	42.075
	5	224.400		45	33.660

120	35	90.623	155	60	14.025
	45	80.143		0	247.775
	55	71.683		2	134.640
	65	66.786		5	78.540
	110	60.775		7	74.800
140	5	163.985	155	20	56.100
	10	151.470		30	56.100
	15	142.800		55	44.880
	20	108.193		85	42.075

لقد استندت الطريقة المستخدمة في التحليل من أجل دراسة حركية التفاعل إلى الحقائق المتوفرة من المراجع [9,8,4] إلى حركية تفاعلات الأميده الأخرى وذلك بملاحظة الاتجاه غير الخطي لانخفاض قيم العدد الحمضي مع الزمن ، كما لوحظ أن مرتبة التفاعل الكلية هي من المرتبة الثانية التي هي مرتبة أولى بالنسبة إلى كل من تركيز مجموعات الأمين ومجموعات الكربوكسيل حيث إن كميات الحمض والأمين التي أخذت في بداية التفاعل كانت متساوية كما أن التفاعل كان متجانساً .ومن أجل حركية تفاعل المرتبة الثانية تستخدم العلاقة التالية :

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A_0}} = kt \quad (2)$$

حيث إن :

$C_A, C_{A_0}$ : تركيز مجموعات الكربوكسيل عند الأزمنة  $t, t_0$ .

$k$  : ثابت سرعة التفاعل المرتبة الثانية.

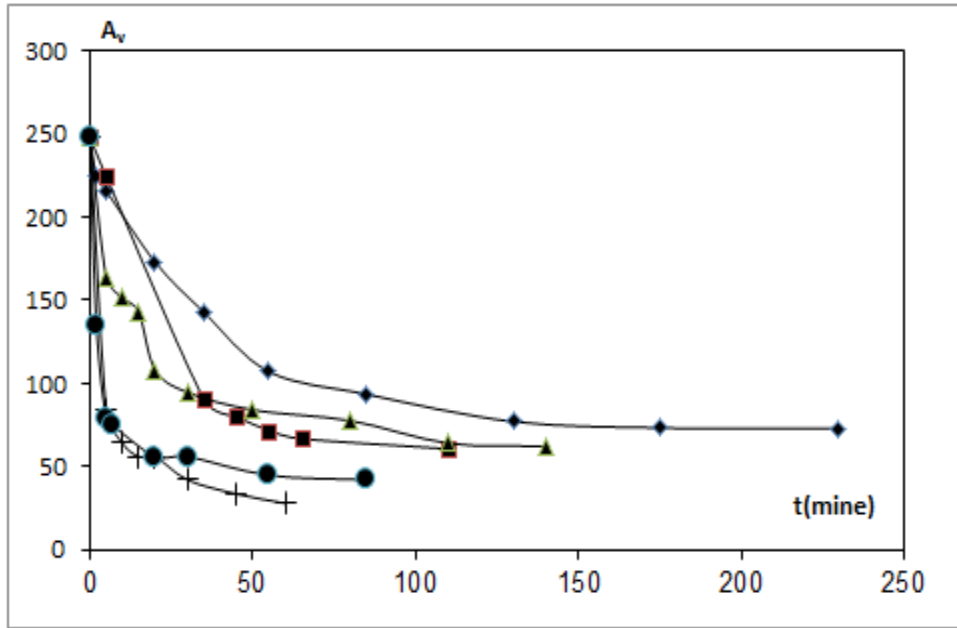
$t$  : زمن التفاعل .

$$C_{A_0} = \frac{10^6 (A_V)_0}{56.1} \quad C_A = \frac{10^6 (A_V)}{56.1}$$

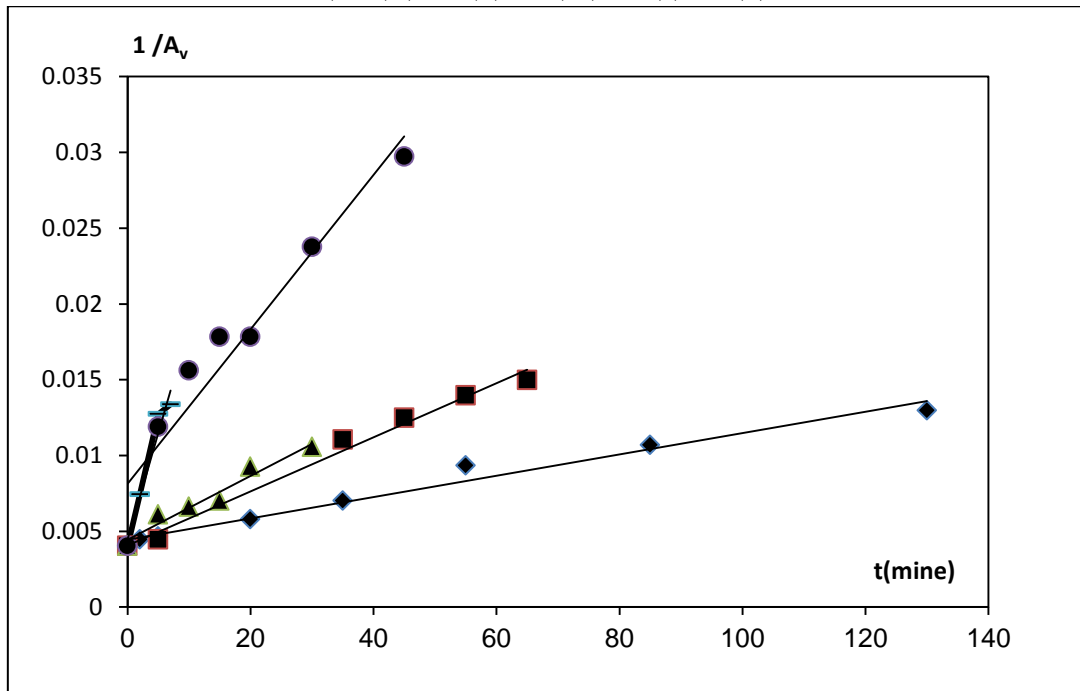
و إذا كانت  $A_V, A_{V_0}$  هي قيم العدد الحمضي عند الأزمنة  $t, t_0$ . فيمكن أن تأخذ العلاقة (2) الصيغة التالية :

$$\frac{1}{A_V} - \frac{1}{A_{V_0}} = \frac{kt}{0.0561} \quad (3)$$

باستخدام المعادلة (3) نجد أن التفاعل يكون من المرتبة الثانية حتى نسبة تحول 70% وذلك عند درجات الحرارة ( 110,120,155. °C ) و 86% , 62% عند درجات حرارة (140,145 °C) على الترتيب أي أن تفاعل الأميده يتبع حركية من المرتبة الثانية حتى نسبة تحول 70% وذلك عند درجات الحرارة ( 110,120,155 °C ) و 86% , 62% عند درجات حرارة ( 140,145°C ) على الترتيب



الشكل (1) تحولات قيم الحمض بدلالة زمن التفاعل عند درجات الحرارة المدروسة  
(110(♦),120(■),140(▲),145(●),155(+))



الشكل (2) تحولات مقلوب قيم الحمض بدلالة زمن التفاعل عند درجات الحرارة المدروسة  
(110(♦),120(■),140(▲),145(●),155(+))

أما فوق نسب التحول المذكورة فإن مرتبة التفاعل الكلية هي من المرتبة الثالثة التي هي من المرتبة الثانية الجزئية بالنسبة إلى تركيز المجموعات الحمضية ومن المرتبة الأولى الجزئية بالنسبة إلى تركيز مجموعات الأمين .  
تكتب معادلة السرعة بالنسبة إلى هذا التفاعل على الشكل:

$$\frac{1}{C_A^2} - \frac{1}{C_{A_0}^2} = 2k't' \quad (4)$$

$C_{A_0}$ : تركيز المجموعات الحمضية عند نسب التحول من المرتبة الثانية إلى الثالثة  
 $C_A$ : تركيز المجموعات الحمضية عند الزمن  $t$  فوق نسب التحول من المرتبة الثانية إلى الثالثة  
 $k$ : ثابت سرعة التفاعل المرتبة الثالثة  
 إذا كانت  $A_{V_0}$ ،  $A_V$  هي قيم الحمض عند الأزمنة  $t_0$ ،  $t$  نكتب المعادلة (4) على الشكل التالي:

$$\frac{1}{(A_V)^2} = \frac{2k't'}{(0.0561)^2} + \frac{1}{(A_{V_0})^2} \quad (5)$$

حسبت ثوابت سرعة تفاعل المرتبة الثانية وذلك من خلال الأشكال (2)، (3) التي تساوي ميل المستقيم في هذه الأشكال وهي مدرجة في الجدول (2). كما وجد أن ثوابت سرعة التفاعل ثلاث معادلة أرينوس:

$$k = A_e e^{-E_a/RT} \quad (6)$$

(k): ثابت سرعة التفاعل  $[(\text{concn})^{1-n}(\text{time})^{-1}]$

( $E_a$ ): طاقة التنشيط [k cal/g mol]

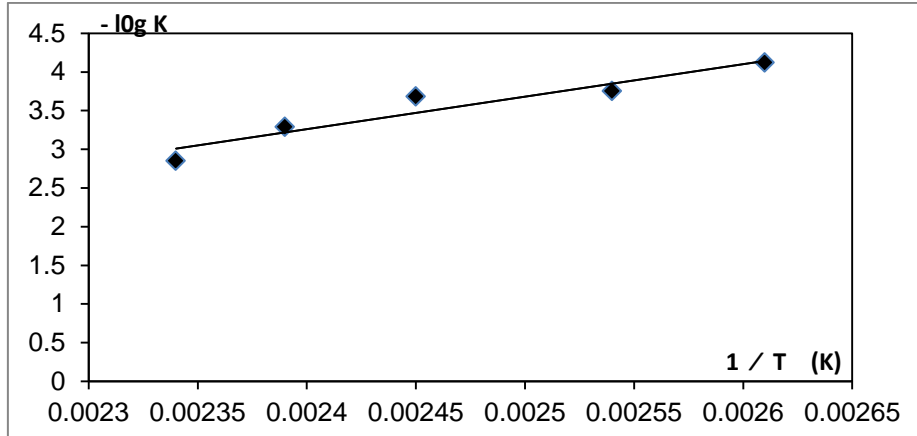
(R): ثابت الغازات [ j / k . mol ]

T: درجة الحرارة المطلقة بالكلفن (k)

( $A_e$ ): معامل أرينوس  $[(\text{concn})^{1-n}(\text{time})^{-1}]$

الجدول (2) ثوابت سرعة تفاعل المرتبة الثانية عند درجات الحرارة المدروسة

درجة الحرارة (°C)	ثابت سرعة تفاعل المرتبة الثانية
110	$7.50 \times 10^{-5}$
120	$1.79 \times 10^{-4}$
140	$2.10 \times 10^{-4}$
145	$5.09 \times 10^{-4}$
155	$1.40 \times 10^{-3}$



الشكل (3) تحولات - لوغاريتم ثابت سرعة تفاعل المرتبة الثانية بدلالة مقلوب درجة الحرارة

حسبت طاقة التنشيط  $E_a$  لتفاعل الأמידة من خلال الشكل (3) من أجل تفاعل المرتبة الثانية عند نسب التحول المذكورة و كانت تساوي  $35 \text{ K cal/ g mol}$ ، أما قيمة ثابت أرينوس لتفاعل المرتبة الثانية فكانت تساوي

$$7079457.8 \text{ ( kg mol)}^{-1} \text{ min)}^{-1}$$

تعيين الأوزان الجزيئية للبولي أميدات المحضرة :

يعد الوزن الجزيئي للبوليميرات من الخصائص المهمة جداً لها وتعتمد عليه معظم خواص البوليمر الفيزيائية والميكانيكية بالإضافة إلى الاستخدامات التكنولوجية الأخرى. إن متانة البوليميرات ومرونتها تعود إلى تداخل السلاسل البوليميرية الطويلة وتشابك بعضها ببعض. البوليميرات المطاطية يجب أن تكون أوزانها الجزيئية عالية، بينما للواصق تكون أوزانها أقل نسبياً لذلك تكون السيطرة على الوزن الجزيئي في أثناء إنتاجها مهمة جداً .

تعيين درجة التحول

يتم تعيين درجة التحول [1] وفق العلاقة التالية :

$$P = \frac{B_0 - B}{B_0} \times 100 \quad (7)$$

حيث إن :

$B_0$  : العدد الحمضي في اللحظة  $t_0$  (قبل إجراء التفاعل)

$B$  : العدد الحمضي في اللحظة  $t$ .

تعيين معدل الوزن الجزيئي العددي و الوزني

يتم تعيين معدل الوزن الجزيئي العددي  $M_n$  وفق العلاقة التالية :

$$M_n = X_n M_0 = \frac{M_0}{(1 - p)} \quad (8)$$

$$X_n = \frac{M_0}{(1 - p)}$$

$P$ : درجة التحول .

$M_0$ : الوزن الجزيئي للمونومر .



في حين يعين معدل الوزن الجزيئي الوزني  $M_n$  [1] وفق العلاقة التالية :

$$M_w = M_0 X_w \quad (9)$$

$$X_w = \frac{1+P}{1-P}$$

تعيين درجة البلمرة

يتم تعيين درجة البلمرة [1] وحسابها وفق العلاقة الآتية :

$$n = \frac{M_n}{M_0} \quad (10)$$

توضح الجداول (3)، (4)، (5)، (6)، (7) قيم كل من درجة التحول ومعدل الوزن الجزيئي العددي والوزني ودرجة البلمرة خلال الزمن عند درجات الحرارة المدروسة

الجدول (3) قيم درجة التحول ومعدل الوزن الجزيئي العددي والوزني ودرجة البلمرة خلال الزمن عند درجة حرارة 110°C

الزمن (دقيقة)	معدل الوزن الجزيئي الوزني $M_w$	معدل الوزن الجزيئي العددي $M_n$	درجة التحول p%	درجة البلمرة n
0	0	0	0	0
2	734.920	671.565	9	1.104167
5	788.646	698.428	13	1.148333
20	1134.229	871.210	30	1.432432
35	1502.424	1055.317	42	1.735119
55	2205.968	1407.089	57	2.313492
85	2615.303	1611.757	62	2.650000
130	3299.078	1953.644	69	3.212121
175	3500.189	2054.199	70	3.377451
230	3524.499	2066.354	71	3.397436

الجدول (4) قيم درجة التحول ومعدل الوزن الجزيئي العددي والوزني ودرجة البلمرة خلال الزمن عند درجة حرارة 120 °C

الزمن (دقيقة)	معدل الوزن الجزيئي الوزني $M_w$	معدل الوزن الجزيئي العددي $M_n$	درجة التحول p%	درجة البلمرة n
0	0	0	0	0
5	734.921	671.565	9	1.104167
35	2717.637	1662.923	63	2.734127
45	3152.555	1880.383	68	3.091667
55	3596.372	2102.291	71	3.456522
65	3904.708	2256.459	73	3.710000
110	4351.041	2479.625	75	4.076923

الجدول (5) قيم درجة التحول ومعدل الوزن الجزيئي العددي والوزني ودرجة البلمرة خلال الزمن عند درجة حرارة 140 °C

الزمن (دقيقة)	معدل الوزن الجزيئي الوزني Mw	معدل الوزن الجزيئي العددي Mn	درجة التحول p%	درجة البلمرة n
0	0	0	0	0
5	1229.758	918.984	34	1.510965
10	1381.613	994.911	39	1.635802
15	1502.424	1055.317	42	1.735119
20	2177.542	1392.876	56	2.290123
30	2575.507	1591.858	62	2.617284
50	2973.471	1790.841	66	2.944444
80	3271.945	1940.077	69	3.189815
110	6229.545	3418.877	82	5.621212
140	6299.318	3453.764	82	5.678571

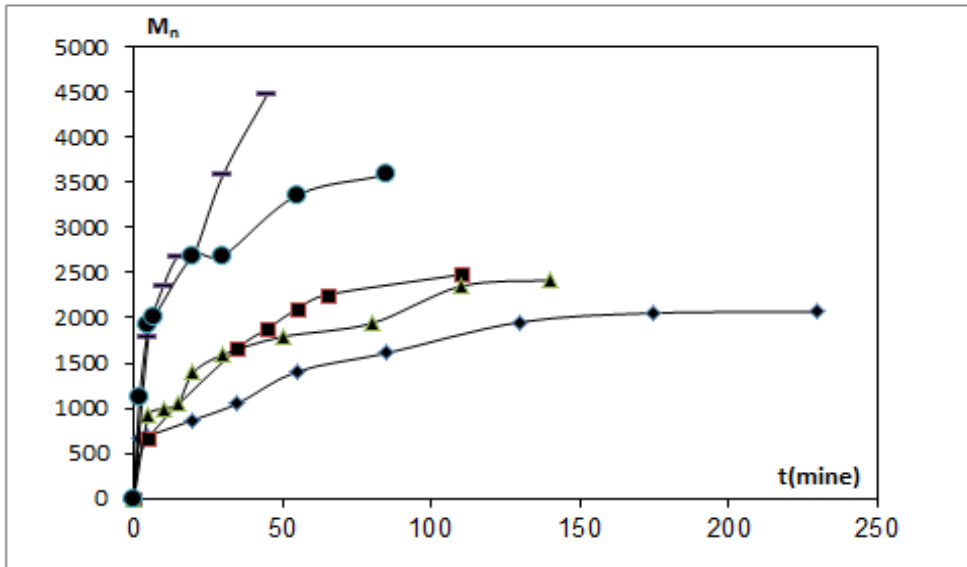
الجدول (6) قيم درجة التحول ومعدل الوزن الجزيئي العددي والوزني ودرجة البلمرة خلال الزمن عند درجة حرارة 145 °C

الزمن (دقيقة)	معدل الوزن الجزيئي الوزني Mw	معدل الوزن الجزيئي العددي Mn	درجة التحول p%	درجة البلمرة n
0	0	0	0	0
5	2973.471	1790.841	66	2.944444
10	4092.746	2350.478	74	3.864583
15	4764.312	2686.261	77	4.416667
20	4764.312	2686.261	77	4.416667
30	6555.152	3581.681	83	5.888889
45	8345.993	4477.101	86	7.361111
60	20881.880	10745.040	94	17.666670

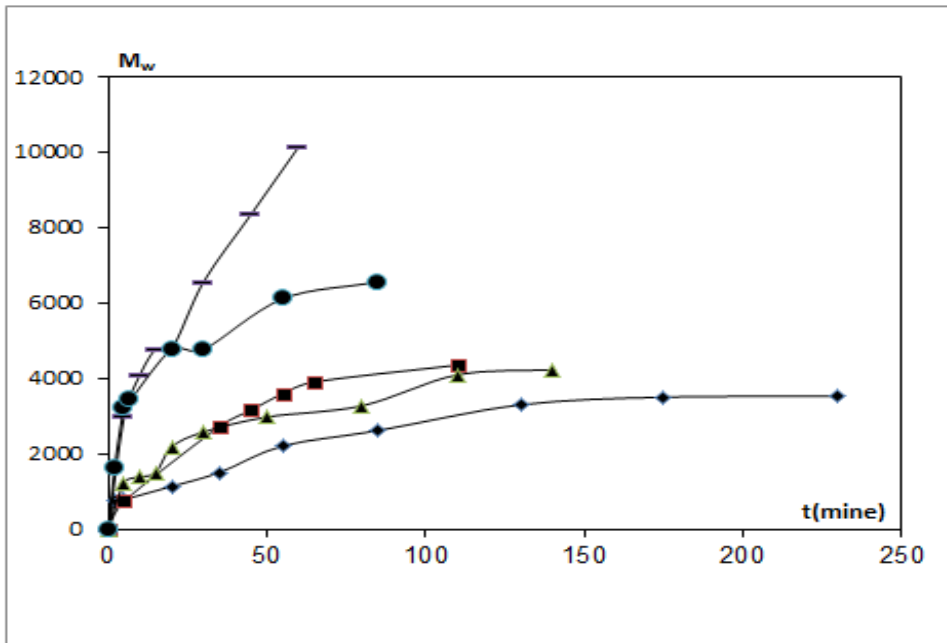
الجدول (7) قيم درجة التحول ومعدل الوزن الجزيئي العددي والوزني ودرجة البلمرة خلال الزمن عند درجة حرارة 155 °C

الزمن (دقيقة)	معدل الوزن الجزيئي الوزني Mw	معدل الوزن الجزيئي العددي Mn	درجة التحول p%	درجة البلمرة n
0	0	0	0	0
2	1630.341	1119.275	46	1.840278
5	3229.305	1918.758	68	3.154762
7	3421.181	2014.696	70	3.312500
20	4764.312	2686.261	77	4.416667
30	4764.312	2686.261	77	4.416667
55	6107.442	3357.826	82	5.520833
85	6555.152	3581.681	83	5.888889

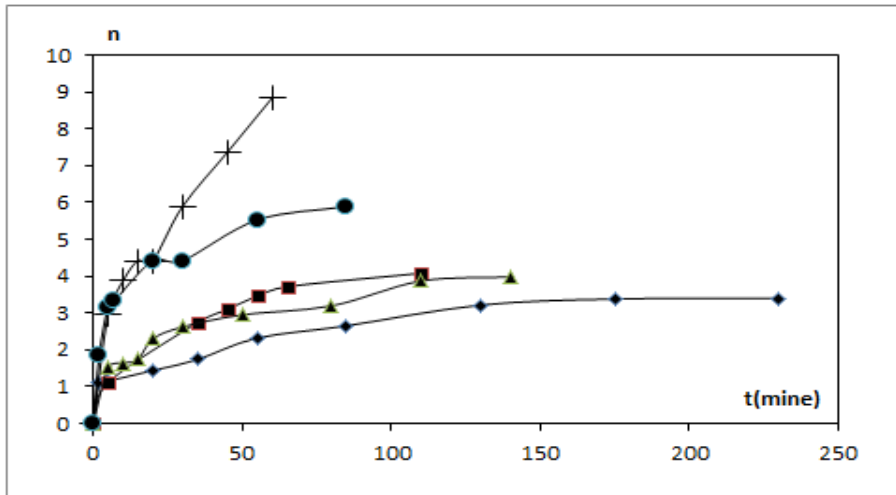
نلاحظ من الجداول السابقة أنه تم الوصول إلى درجة بلمرة 17.666670 ومعدل وزن جزيئي عددي 10745.040 ومعدل وزن جزيئي وزني 20881.880 وذلك عند درجة حرارة 145 °C أما درجات البلمرة فتتراوحت بين 3.397436 و 17.666670 و ذلك بحسب درجات الحرارة المدروسة . رسمت العلاقة بين كل من معدل الوزن الجزيئي العددي و معدل الوزن الجزيئي الوزني ودرجة البلمرة مع الزمن فوجد أن هذه العلاقة اقرب إلى منحنى توازني وهذا ما توضحه الأشكال التالية:



الشكل (4) تحولات معدل الوزن الجزيئي العددي بدلالة زمن التفاعل عند درجات الحرارة المدروسة ((110(♦),120(■),140(▲),145(●),155(-))



الشكل (5) تحولات معدل الوزن الجزيئي الوزني بدلالة زمن التفاعل عند درجات الحرارة المدروسة ((110(♦),120(■),140(▲),145(●),155(-))



الشكل (6) تحولات درجة البلمرة بدلالة زمن التفاعل عند درجات الحرارة المدروسة  
(110(♦), 120(■), 140(▲), 145(●), 155(+))

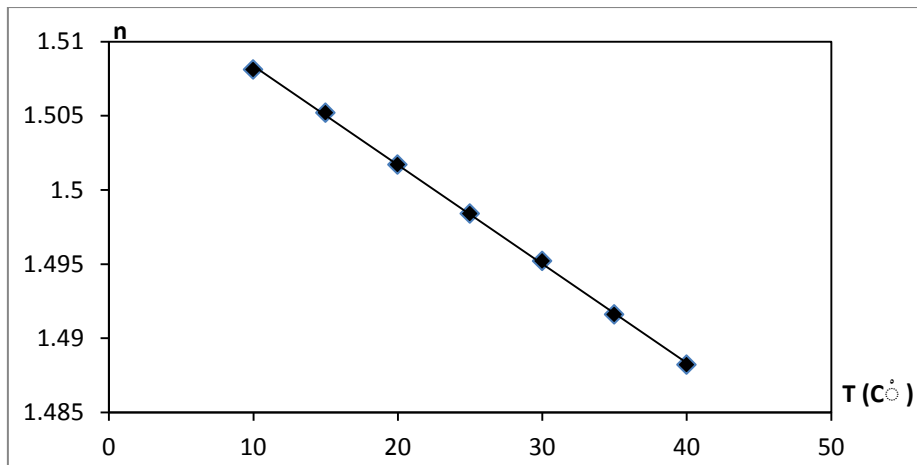
#### علاقة قرينة الانكسار بدرجة الحرارة :

قيست قرينة الانكسار باستخدام جهاز قياس قرينة الانكسار لمحلول البولي أميد تركيزه (0.26%) تم حله باستخدام مزيج من محلولين مختلفين : ميثانول و تتراهدروفوران نسبتهما (50-50) على الترتيب عند درجات حرارة مختلفة فتوصلنا إلى النتائج المعينة في الجدول التالي :

الجدول (8) قيم قرائن الانكسار لمحلول البولي أميد عند درجات حرارة مختلفة

درجة الحرارة (°C)	10	15	20	25	30	35	40
قرينة الانكسار	1.5081	1.5052	1.5017	1.4984	1.4952	1.4916	1.4882

تم رسمت قرائن الانكسار بدلالة درجات الحرارة فحصلنا على علاقة خطية بين درجة الحرارة وقرينة الانكسار حيث إن قيم قرائن الانكسار لمحلول البولي أميد كانت تتناقص كلما ازدادت درجة الحرارة ويمثل الشكل (7) هذه العلاقة :



الشكل (7) تحولات قرينة الانكسار بدلالة درجات الحرارة

**الاستنتاجات والتوصيات:**

تفاعل الأמידة في الحالة المنصهرة بين الحمض الليميري الدسم C<sub>36</sub> و 3,1 - دي أمينو البروبان يتبع حركية مرتبة ثانياً كلية حتى نسبة تحول 70% وذلك عند درجات الحرارة ( 110,120,155 °C ) و 62%,86% عند درجات حرارة °C (140,145) مع طاقة تنشيط 35 K cal/ g mol ويظهر أن الزيادة في مرتبة تفاعل الأמידة فوق نسبة التحول المذكورة تعود إلى أن تفاعل المرتبة الثالثة أصبح هو المسيطر .  
هذه النتائج تتفق مع النتائج المسجلة في المراجع [9,8,4] من أجل تفاعل البولي أميدات الأخرى. وجد أن العلاقة بين كل من معدل الوزن الجزيئي العددي و معدل الوزن الجزيئي الوزني ودرجة البلمرة مع الزمن هي أقرب إلى منحنى توازني. أما علاقة قرينة الانكسار مع درجات الحرارة فهي علاقة خطية .  
نوصي بدراسة تطبيقات البولي أميد الناتج لكونه ذا أهمية كبيرة وبتطبيق هذا العمل صناعياً

**المراجع:**

- [1] EBEWELE, R.O. *Polymer science and technology*. University of Benin, Nigeria, 1996, 161.
- [2] FAN, X.D.; DENG, Y.; WATERHOUSE, J.; PFROMM, P. *Synthesis and characterization of polyamide resins from soy-based dimer acids and different amides*, J.Appl. Polym .Sci., Vol 68, Issue2, 1998 , 305-314.
- [3] MATADI ,R.; HABLLOT, E.; WANG, K .; BAHLOULI, N.; AHZI, S.; AVEROUS, L . *High Strain rate Behavior of Renewable biocomposites based on dimer fatty acid polyamides and cellulose fibres* .Compos Sci and Technol , V 71, 2011, 674-682.
- [4] VEDANAYAGAM, H.S.; KALE, V .; SUBBARAO, R . *Kinetics of reaction of C<sub>36</sub> dimeric fatty acids and ethylenediamine in solution*. J. Appl. Polym. Sci., V45, Issue 12 , 1992, 2245-2248.
- [5] JUHA, L.; SALMI, T.; IMMONEN, K.; PAATERO, E.; NYHOLM, P. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 35, 1996 , 3951.
- [6] RENFREW, M.M.; WITTCOFF, H.; KJELSON, N.A. US patent number 2767089, 1956.
- [7] HEIDARIAN, J.; GHASEM, N.M.; ASHRI, M.; DAUD, W. *Study on kinetics of polymerization of dimer fatty acids with ethylenediamine in the presence of catalyst*. J. Appl . Polym. Sci.,V100, 2004, 85- 93.
- [8] KALE, V.; VEDANAYAGAM, H.S.; RAO M.B.; DEVI, K.S.; RAO, S.V.; LAKSHMINARAYANA, G. *Kinetics of reaction of ethylenediamine and dimeric fatty acids*. J. Appl. Polym. Sci. ,V 36, 1998, 1517-1524.
- [9] KALE, V.; VEDANAYAGAM, H.S.; SUBBARAO, R .; RAO, M.B. *J. Appl. Polym. Sci.*,V53, 1994, 807-814.