

# Nomenclature of Polymers تسمية البوليمرات

تُعد تسمية البوليمرات خطوة أساسية لفهم بنيتها الكيميائية، وتنقسم أنواعها وتطبيقاتها المختلفة. وهناك نظام رئيسيان لتسمية البوليمرات (IUPAC) أحددها بسيط وشائع في الاستخدام الصناعي والتجاري، والآخر علمي معتمد من الاتحاد الدولي للكيمياء البحثة والتطبيقية.

## أولاً: التسمية حسب مصدر البوليمر

التسمية حسب مصدر البوليمر (Source-Based Nomenclature) هي من أسهل وأكثر الطرق شيوعاً، خصوصاً في الاستخدام الصناعي والتجاري، حيث يُشتق اسم البوليمر من اسم المونومر (أو المونومرات) الذي صُنع منه، مضافاً إليه البادئة "poly".

أمثلة:

بولي إيثيلين - من مونومر الإيثيلين

بولي بروبيلين - من مونومر البروبين

Polyethylene oxide - من أكسيد الإيثيلين



المونومر الأساسي	الاسم التجاري أو الشائع	الاسم حسب المصدر
Ethylene	Polyethylene (PE)	Poly(ethylene)
Propylene	Polypropylene (PP)	Poly(propylene)
Vinyl chloride	PVC	Poly(vinyl chloride)
Styrene	PS	Poly(styrene)
Acrylonitrile	PAN	Poly(acrylonitrile)
Methyl methacrylate	PMMA	Poly(methyl methacrylate)
Tetrafluoroethylene	PTFE (Teflon)	Poly(tetrafluoroethylene)
Vinyl acetate	PVA	Poly(vinyl acetate)
Lactide	PLA	Poly(lactic acid)
Caprolactam	Nylon-6	Poly(caprolactam)

## ثانياً: التسمية التجارية أو المألوفة

تُستخدم التسمية التجارية أو الاسم التجاري للبوليمرات بشكل واسع في الصناعة والأسوق، وهي لا تتبع دامياً قواعد IUPAC العلمية بل تُصمم لتكون سهلة التذكر والتسويق. غالباً ما تُعتمد هذه الأسماء من قبل الشركات المنتجة أو المؤسسات الصناعية.

## قاعدة التسمية التجارية للبوليمرات:

1. الاسم التجاري لا يعكس بالضرورة التركيب الكيميائي الكامل.
2. غالباً ما يكون الاسم مسجلاً كعلامة تجارية (Trademark).
3. يستخدم الاسم التجاري لتمييز منتج معين حتى لو كان مشابهاً لبوليمرات أخرى من شركات مختلفة.

## أمثلة على الأسماء التجارية مقابل التسميات النظامية:

الاسم العلمي	الاسم التجاري
poly(tetrafluoroethylene)	Teflon
poly(hexamethylene ebasamide)	نابلون 6,6
poly(vinyl chloride)	PVC

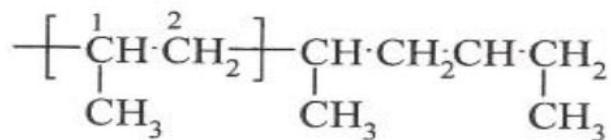
## IUPAC: التسمية وفق النظام العالمي

عام 1973–1974 نظاماً دقيقاً للتسمية البوليمرات، يعتمد على اختيار الوحدة (IUPAC) وضع اللجنة الدولية للكيمياء البحثة والتطبيقية المتكررة وتسميتها وفقاً لقواعد محددة.

من هذه القواعد

1. يتم ترقيم الذرات بحيث تتحل المجموعات المعاوضة أصغر الأرقام الممكنة .
2. تُعطى الأولوية لنزرات غير الكربون مثل الأكسجين والكبريت والنیتروجين .
3. في حال وجود أكثر من نوع، يتبع الترتيب .

مثال على التسمية : بولي(ميثيل إيثيلين-1) (poly(1-methylethylene)



بولي (1 – ميثيل – إيثيلين)  
poly(1-methylethylene)

**ملاحظات:** الأقواس لا تعني تركيب البوليمير بالكامل، بل تشير إلى الوحدة المتكررة فقط. لا يفضل استخدام الرموز المختصرة مثل PS أو PVC في الأبحاث العلمية لأنها قد تكون مضللة. ينصح باستخدام الاسم الكامل للبوليمير لتجنب الالتباس في الأبحاث الأكادémie.

الفرق بين التسميات:

النوع	الهدف	المثال
IUPAC (علمي)	يصف التركيب الكيميائي بدقة	Poly(vinyl chloride)
حسب المصدر	يوضح المونومر المستخدم	Poly(styrene)
تجاري	يُستخدم لأغراض التسويق أو العلامة التجارية	Teflon (PTFE) بدلاً من

## العوامل المحددة لصفات البوليمير

تُعد البوليمرات من المواد ذات البنية المعقدة والتنوع الكبير في الخصائص، وهذا التنوع لا يأتي من نوع المونومر فقط، بل يعتمد بشكل أساسي على عدة عوامل داخلية تؤثر في سلوك البوليمير في التطبيقات الفيزيائية، الكيميائية، والميكانيكية.

في هذه المحاضرة نستعرض أهم العوامل التي تحدد صفات البوليمير:

**أولاً: الوزن الجزيئي للبوليمير (Molecular Weight of Polymer)**

الوزن الجزيئي هو أحد أهم المؤشرات التي تحدد خصائص البوليمير مثل القوة الميكانيكية، درجة الانصهار، درجة الانتقال الزجاجي، والزروجة. كلما زاد الوزن الجزيئي زادت قوة البوليمير، ومتانته ومقاومته للحرارة والمذيبات.

أنواع الوزن الجزيئي:

المعدل العددي ( $M_n$ ): يعتمد على عدد الجزيئات فقط.

المعدل الوزني ( $M_w$ ): يعطي وزناً أكبر للجزيئات الأكبر.

المعدل الزوجي ( $M_v$ ): يعتمد على قياسات الزوجة.

### طرق قياس الوزن الجزيئي:

مطياف الكتلة (Mass Spectrometry)

الإيزوميترات (Osmometers)

تشتت الضوء (Light Scattering)

قياس الزوجة (Viscometry)

الطرد المركزي الفائق (Ultracentrifugation)

#### • **المعدل العددي للوزن الجزيئي للبوليمر $M_n$**

تعتمد على حساب عدد السلسل البوليمرية وهي النسبة بين الوزن الكلي للبوليمر الى العدد الكلي للجزيئات البوليمرية

$$\bar{M}_n = \frac{W}{\sum N_i} = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$$

$N_i$  هو العدد الكلي للجزيئات البوليمرية

#### • **المعدل الوزني للوزن الجزيئي $M_w$**

يحسب عند استخدام الطرق المعمدة على تشتت الضوء light scattering وقوة الطرد المركزي ultracentrifuge

$$\bar{M}_w = \sum W_i M_i$$

$w_i$  يمثل الكسر الوزني للجزيئات weight fraction ويمكن التي لها وزن جزيئي  $M_i$  نسبة الى الوزن الجزيئي الكلي للجزيئات

$$w_i = \frac{N_i M_i}{\sum N_i M_i}$$

$$\bar{M}_w = \frac{\sum N_i M_i M_i}{\sum N_i M_i} = \frac{\sum N_i M_i^2}{\sum N_i M_i}$$

## مؤشر التشتت (D)

التشتت (D) هو نسبة  $M_w$  إلى  $M_n$ . يعطي فكرة عن توزيع الأوزان الجزيئية في عينة البوليمر

$$D = M_w / M_n$$

- If  $D = 1 \rightarrow$  perfectly uniform (monodisperse) sample
- If  $D > 1 \rightarrow$  sample has distribution (polydisperse)

Commercial polymers often have D between 1.5 and 3.

## المعدل اللزجي للوزن الجزيئي ( $M_v$ )

يعتمد في تعينه على قياس لزوجة محلول ويُعبر عنه رياضياً كما يلي:

$$M_v = (\sum W_i \times N_i^a)^{(1/a)}$$

حيث أن:

$W_i$  : يمثل الكسر الوزني.

$a$  : ثابت يتراوح قيمته بين  $(0.5 - 0.9)$ .

له العلاقة العامة للمعدل اللزجي:

نظراً لأن:

$$W_i = (N_i \times M_i) / \sum (N_i \times M_i)$$

فإن العلاقة الرياضية للمعدل اللزجي تصبح:

$$M_v = [ (\sum N_i \times M_i^{(1+a)}) / (\sum N_i \times M_i) ]^{(1/a)}$$

بشكل عام، تدرج القيم الثلاثة للوزن الجزيئي للبوليمر كما يلي:

$$M_n < M_v < M_w$$

### . Example Calculation

Given:

Type	M <sub>i</sub> (g/mol)	N <sub>i</sub>
1	10,000	3
2	20,000	2
3	50,000	1

Step 1 – Calculate Mn:

$$M_n = (3 \times 10,000 + 2 \times 20,000 + 1 \times 50,000) / 6 = 120,000 / 6 = 20,000 \text{ g/mol}$$

Step 2 – Calculate Mw:

$$\begin{aligned} M_w &= (3 \times 10,000^2 + 2 \times 20,000^2 + 1 \times 50,000^2) / (3 \times 10,000 + 2 \times 20,000 + 1 \times 50,000) \\ &= (3 \times 10^8 + 8 \times 10^8 + 2.5 \times 10^9) / 120,000 \\ &= 3.6 \times 10^9 / 120,000 = 30,000 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

Step 3 – Calculate Dispersity:

$$D = M_w / M_n = 30,000 / 20,000 = 1.5$$

Conclusion:

$$M_n = 20,000 \text{ g/mol}$$

$$M_w = 30,000 \text{ g/mol}$$

$$D = 1.5$$

### ثانية: طبيعة السلسلة الجزيئية (Nature of the Polymer Chain)

تركيب الوحدات المتكررة وهندستها ونوعية المجاميع العضوية والأوامر الكيميائية التي تتضمنها الوحدة المتكررة. كل ذلك يؤثر في الصفات الفيزيائية والكيميائية للمركب بشكل عام، وعلى سبيل المثال نقول أن البوليمرات التي تحتوي على مركبات حلقة في وحداتها المتكررة تكون عادة ذات درجات انصهار عالية، أو أن البوليمرات التي تحتوي على الرابطة الإيثيرية C-O-C ether linkage لاتتحل الماده قابلية المرونة وسهولة اللوي (flexibility) دون أن تنقطع، مثل خيوط الأقمشة وكذلك مادة المطاط. إن طبيعة الجزيئه البوليمرية هذه ونوعية المجاميع الكيميائية المرتبطة بها تؤثر على مدى قابلية الجزيئات في تكوين التركيب المتبلورة Crystalline Structures.

## أ. تأثير الأقطاب بين الجزيئات (Dipole Effect)

يظهر هذا التأثير في الجزيئات القطبية بصورة خاصة مثل كلوريد الإيثيل ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\delta^+ + \text{Cl}\delta^-$ ) حيث تكون الجزيئات مستقطبة بسبب تكوين الشحنات الجزئية الضعيفة (partial charges) والناتجة عن اختلاف ذرة الكلور والكربون في قابلية جذب الإلكترونات. ولذا فإن الجزيئات المستقطبة تقترب فيما بينها بحيث أن النهايات المختلفة في الشحنة تكون متقاربة والنهايات المتشابهة الشحنة متباعدة. ونتيجة لتجاذب الأقطاب المختلفة بين جزيئات المركب القطبي تكون درجات انصهارها ودرجات غليانها عاليتين إذا ما قورنت بالمركبات غير العضوية المقاربة لها بالوزن الجزيئي والجدير بالذكر أن بعض محليل البوليمرات لا تترسب في درجات حرارة الغرفة الاعتيادية بسبب هذه القوى القطبية التي تماسك الجزيئات بعضها بالبعض الآخر. وعند تسخين محليل هذه البوليمرات إلى درجة حرارة أعلى، يلاحظ إنها تترسب بسبب تفكك قوى التجاذب القطبية المسيبة للتماسك وإزالة التنظيم الموجود.

## ب. الرابطة الهيدروجينية (Hydrogen Bonding)

ت تكون الرابطة الهيدروجينية في المركبات التي تحتوي جزيئاتها على مجاميع الهيدروكسيل ( $\text{OH}$ ) أو ( $\text{NH}$ ) أو ( $\text{HF}$ ). وتكون هذه المجاميع قوية الاستقطاب بفضل السالبية الكهربية العالية لذرات الأكسجين والنيتروجين والفلور حيث يستقطب ذرة الهيدروجين جزئي. تؤثر الروابط المستقطبة هذه على الجزيئة ككلها حيث تصبح الأخيرة مستقطبة. ففي فلوريد الهيدروجين يلاحظ وجود تجاذب بين جزيئه وأخرى بفعل الرابطة الهيدروجينية. وبلغ مقدار هذا التجاذب حوالي (5) كيلو سعر للمول الواحد وهي طاقة الرابطة الهيدروجينية تأثير الرابط الهيدروجينية على خصائص البوليمرات:

### الخاصية

### تأثير الناتج عن الرابطة الهيدروجينية

درجة الانصهار ( $T_m$ )

تزداد بسبب القوى الجاذبية العالية

### الذوبانية

تقل في المذيبات غير القطبية

### القوية الميكانيكية

تزداد بسبب التجاذب بين السلاسل

التباور (crystallinity)

تزداد عندما تكون الروابط منتظمة ومنظمة

### الاستطالة والمرونة

تقل بسبب تثبيت السلاسل ببعضها

## ت. الاستقطاب بواسطة الحث Induced Dipole

عندما تُخلط مادتان، إحداهما قطبية والأخرى غير قطبية، فإن الجزيئات القطبية تستطيع استقطاب الجزيئات غير القطبية المحيطة بها بطريقة الحث. إن هذه الظاهرة هي المسؤولة عن ذوبان اليود في الكلوروفورم، على سبيل المثال، حيث يُعد الكلوروفورم مادة قطبية إلى حدٍ ما، ويقوم باستقطاب جزيئات اليود المحيطة به، وبهذا يذوب اليود في الكلوروفورم.

ويعتبر اليود أحد العناصر ذات الذرات الكبيرة الحجم، ولذلك فإن ذرته لها قابلية كبيرة على الاستقطاب بالحث نتيجة سخابة الإلكترونات الواسعة، بينما الذرات الصغيرة الحجم تكون صعبة الاستقطاب بالحث.

ت تكون هذه الأقطاب المشحونة والواقتية بسبب دوران الإلكترونات المتمرّر حول النواة، والذي يؤدي إلى تكون قطبين مختلفين في الشحنة (موجب وسالب) بشكل مؤقت، لا يليث أن يزول لتكون أقطاب جديدة في موقع آخر من الجزيئه. الأقطاب المتكونة هذه والمؤقتة تستقطب ما يجاورها من الجزيئات بطريقة الحث، مما يؤدي إلى قوى تجاذب ضعيفة لكنها فعالة في العديد من المواد.

### مقارنة:

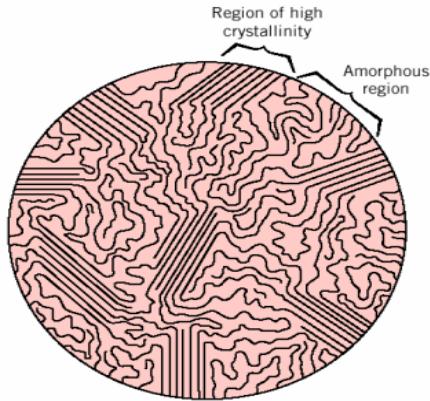
نوع السلسلة	القطبية العالية تؤدي إلى...
خطية	زيادة التبلور والصلابة، قوة ميكانيكية أعلى
متفرعة	تأثير محدود بسبب التداخل، مرونة أعلى، ذوبان أسهل
متشابكة	تأثير ضعيف، لأن التشابك هو المسيطر

## الخواص الفيزيائية للبوليمرات Physical Properties of Polymers

يمكن تصنيف البوليمرات من حيث حالتها الفيزيائية إلى:

- 1 بوليمرات متبلورة (crystalline polymers) تكون صلبة وغير شفافة مثل: البوليمرات ذات ترتيب جزيئي منتظم، مثل PET و HDPE
- 2 بوليمرات غير متبلورة (amorphous polymers) تكون شفافة كالزجاج وتتمتع بمرونة عالية مثل PS و PMMA
- 3 بوليمرات شبه متبلورة (semicrystalline polymers) تحتوي على مناطق متبلورة وأخرى غير متبلورة يطلق عليها أحياناً اسم Polycrystalline وهي أكثر أنواع البوليمرات شيوعاً

◆ الصورة المرفقة توضح توزيع المناطق المتبلورة (Amorphous Region) والمناطق غير المتبلورة (Region of high crystallinity) في البوليمر.



### ◆ درجة التبلور (Degree of Crystallinity)

هي النسبة المئوية التي تعبر عن كمية الجزء المتبلور من البوليمر مقارنة بالمجموع الكلي. يمكن تعين هذه النسبة عملياً بعدة طرق منها:

- بواسطة تشتت الأشعة السينية (X-ray diffraction).
- من خلال قياس مقدار الزيادة في كثافة البوليمر نتيجة تكوين التركيب البلوري.
- طرق أخرى حرارية تعتمد على قياسات الإنتالبي (Enthalpy measurements).

## ◆ درجة التبلور في البوليمرات

### أولاً: تعريف درجة التبلور

هي النسبة المئوية للمناطق المتبلورة في البوليمر مقارنة بالمناطق غير المتبلورة. تؤثر هذه (Degree of Crystallinity) درجة التبلور النسبية بشكل كبير على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للبوليمرات، مثل: الكثافة، الصلابة، درجة الانصهار، الشفافية، مقاومة المذيبات.

### ثانياً: طرق تعين درجة التبلور

1. حيود الأشعة السينية (X-ray Diffraction): تعطي معلومات مباشرة عن المناطق المتبلورة.

2. القياسات المعتمدة على الكثافة: بمقارنة الكثافة الفعلية مع القيم المرجعية.

3. القياسات الحرارية (DSC): من خلال مقارنة حرارة الانصهار مع المرجع

### ثالثاً: المعادلات الرياضية لحساب درجة التبلور

البلورية الحجمية

$$x_v = \frac{v_c}{(v_a + v_c)}$$

إذا كان  $v_c$  هو حجم المادة البلورية و  $v_a$  هو حجم المادة غير البلورية (غير متبلور) داخل العينة ، فإن

البلورية الكتليلية

$$x_m = \frac{M_c}{(M_a + M_c)}$$

و  $M_c$  هي كتل المادة البلورية وغير البلورية داخل المواد

### H.W: Prove that

$$x_m = \frac{\rho_c}{\rho_s} x_v$$

### رابعاً: العوامل المؤثرة في درجة التبلور

1. طبيعة المجاميع الجانبية : تشير إلى نوعية وطبيعة الذرات أو المجموعات الكيميائية المرتبطة بالسلسلة الرئيسية للبوليمر (السلسلة الكربونية غالباً). المجاميع الجانبية الصغيرة والبسيطة (مثل -H أو -CH<sub>3</sub>) تسهل تراص السلاسل البوليميرية بشكل منتظم، مما يعزز التبلور. المجاميع الجانبية الضخمة أو المعقدة (مثل -C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> أو -Cl) تعيق انتظام السلاسل وتقلل من درجة التبلور لأنها تمنع السلاسل من الاقتراب بشكل متناسب.

2. حجم المجاميع: الحجم الغرافي للمجاميع الجانبية له تأثير مباشر على قابلية السلسل للترتيب. لمجاميع الصغيرة تسمح للسلسل بالترابط بشكل وثيق ومنتظم. أما المجاميع الكبيرة فتؤدي إلى إعاقات فراغية (Steric hindrance) تعيق الاصطفاف المنظم، مما يقلل من احتالية التبلور.

3. القطبية (Polarity): تعني قدرة المجموعة أو الجزيء على تكوين روابط ثنائية القطب (Dipole-Dipole interactions). البوليمرات ذات المجاميع القطبية (مثل  $\text{CN}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ) قادرة على تكوين روابط بين الجزيئات، مما يدعم تنظيم السلسل وبالنالي زيادة درجة التبلور. أما البوليمرات غير القطبية ف تكون قوى التجاذب بينها ضعيفة (مثل فان در فالز)، مما يجعل التبلور أقل احتالاً.

4. درجة التفرع في السلسل البوليمرية : تشير إلى وجود سلاسل جانبية على السلسلة الرئيسية:

السلسل الخطية (Linear chains): تسمح بتراس منظم وتبلور أعلى. السلسل المتفرعة: تعيق انتظام الترتيب لأنها تخلق تشابكاً وفوضى في الاصطفاف، مما يقلل من درجة التبلور.

5. الانتظام الغرافي (Stereoregularity) : هو انتظام الترتيب الغرافي للمجاميع الجانبية في السلسلة البوليمرية.

6. سرعة التبريد بعد الانصهار (Quenching) : تشير إلى مدى سرعة التبريد بعد إذابة البوليمر: التبريد السريع (مثالتبريد المفاجئ): لا يسمح للسلسل بإعادة التنظيم → درجة تبلور منخفضة. التبريد البطيء: يتيح وقتاً كافياً للسلسل للترتيب → يزيد من درجة التبلور.  
سادساً: طرق زيادة التبلور

1. اختيار المذيب المناسب
2. التحكم في درجة الحرارة
3. استخدام الترسيب من المحاليل الساخنة (Hot Precipitation)

## درجة الانصهار ( $T_m$ )

درجة الانصهار  $T_m$  هي درجة الحرارة التي تبدأ عندها التراكيب البلورية داخل البوليمر بالاختفاء تماماً، أي تتحول المناطق البلورية إلى حالة غير مرتبة (غير متباعدة). وهي خاصية حرارية مهمة ترتبط بالبوليمرات ذات البنية البلورية الجزيئية (Semi-crystalline polymers).

◆ البوليمرات غير المتباعدة لا تمتلك  $T_m$  بل يكون لديها درجة انتقال زجاجي ( $T_g$ ).

### أهمية درجة الانصهار:

تحدد درجة التشغيل الحراري للبوليمر.

تؤثر على عملية التشكيل والتصنيع (القولبة، السحب، البثق...).

تعطي مؤشراً على نوع التبلور ودرجة انتظام السلسل.

### العامل المؤثر على درجة الانصهار:

درجة التبلور: كلما زادت التبلور زادت  $T_m$ .

الوزن الجزيئي:  $T_m$  تزداد بازدياد الوزن الجزيئي حتى حد معين.

القوى بين الجزيئات: وجود روابط هيدروجينية أو قطبية يرفع  $T_m$ .

نوع السلسل الجانبية والنفرعات: المجاميع الجانبية الكبيرة أو غير المنتظمة تقلل من  $T_m$ .

### طرق قياس درجة الانصهار ( $T_m$ ):

1. المجهر المستقطب (Polarizing Microscope)

2. التحليل الحراري التفاضلي (DTA)

3. الفحص التفاضلي الكلوري مترى (Differential Scanning Calorimetry - DSC)

حساب درجة الأنصار من قانون فلوري FLORY

$$T_m = T_m^0 - \frac{k}{Mn}$$

حيث:

• درجة الانصهار الفعلية  $T_m$

- درجة الانصهار للبوليمر المتبلور المثالي (عالي الوزن الجزيئي)  $T_m^{\circ}$
- ثابت يعتمد على نوع البوليمر  $K$
- الوزن الجزيئي العددي ( $M_n$ ) (Number average molecular weight)