البوليمرات

د. محمد شفيق الكناني

وليمر هي كلمة
تينية الأصل تتكون
ن مقطعين (Poly) وتعني
تعدد ، و (mer) وتعني الوحدة
الجـــزء ، وعليـــه فإن كلمـــة
ـوليمـر تُعني متعـدد الوحدات أو الأجـــزاء .

تتكون البوليمرات عادة من عدد كبير من جزيئات صغيرة (مونومر) ترتبط كيميائياً بروابط مشتركة مع بعضها البعض ، تتشكل جزيئاتها الكبيرة إمافي صورة خطية أو متفرعة أو متشابكة، وتسمى عملية ارتباط المونيمرات بالبلمرة ، بينما يُطلـق على ـدد المونـومـرات المرتبطة في السلسلة بدرجـة البلمرة ، وتُسمى الوحـدات التي تتكـون منها سلسلة البوليمر بالوحدات تكـررة أو الوحـدات التركيبية، وهي عبارة عن وحدة مكافئة لجزيئـة المونومر أو تنقصها ذرة أو مجموعـة من الوحـدات .

تختلف السلاسل البوليمرية في طوالها وعدد وحداتها التركيبية طبقا رجة البلمرة ، فعند درجة البلمرة نخفضة تتشكل سلاسل قصيرة بأوزان زيئية منخفضة ، بينما عند درجة البلمرة رتفعة تتشكل سلاسل طويلة بأوزان زيئية مرتفعة.

استخدم الإنسان منذ آلاف السنين نتجات النباتية والحيوانية البوليمرية الراتنجات النباتية والمطاط والقار ميرها لأغراض يومية متعددة ، ومنذ ن من الزمن وضعت تعريفات للمواد وليمرية ، ففي عام ١٨٨٠ أطلق عليها م غروي ، وهي مواد تتكون بأوزان زيئية مرتفعة ، إلا أنه في ذلك الوقت لم ن هناك طرق جيدة لتحديد الأوزان جزيئية لتلك المواد ، وكان الإعتقاد خاطىء عن ماهية وطبيعة الجزيئات بيرة بأنها تتكون من اقتراب الجزيئات صغيرة من بعضها البعض بفعل جاذب الفيزيائي . ومع بدء الدراسات العلمية في مجال البوليمرات في مطلع القرن التاسع عشر وضعت مفاهيم جديدة لتفسيرتكوين البوليمر ، كما تم معرفة الكيمياء الفراغية للمطاط ، واكتشاف النايلون في عام ١٩٢٨م ، والبولي إيثلين في عام ١٩٣٧م ، والتفلون عام ١٩٣٨م . وتوالت اكتشافات بوليمرات جديدة بعد الحرب العالمية الثانية .

الخـــواص الفيزيائية

تعتمد الخواص الفيزيائية للبوليمرات – مثل قوة تحملها ، ومرونتها ، وشفافيتها، وقابلية ذوبانها في المذيبات العضوية وغير العضوية ، ومقاومتها للظروف البيئية، وامتصاصها للأصباغ – على التركيب الفيزيائي للبوليمر الذي يعتمد بدوره على عاملين أساسيين هما :-

• الوزن الجزيئي للبوليمر

يلعب الوزن الجزيئي للبوليمر دوراً هاماً في تحديد خواصه الفيزيائية والكيميائية ، فالجزيئات ذات السلاسل الطويلة والوزن الجزيئي المرتفع تمتاز بصلابة ومقاومة كبيرتين ، وتزداد صلابة البوليمر ومقاومته للذوبان في المذيبات العضوية وغير العضوية كلما ازداد تفرع أوتشابك السلسلة .

• طبيعة السلسلة الجزيئية

تعتمد طبيعة السلسلة الجزيئية البوليمرية على شكلها الهندسي ونوعية الوحدات التركيبية ، وقوى ترابط الذرات المكونة للسلاسل البوليمرية مثل قوى الربط التساهمية (Covalent Bonding Forces) أو المشتركة التي تربط الوحدات التركيبية (المونومرات) مع بعضها البعض ، كما تعتمد أيضاً على القوى الجزيئية التي تكون عادة بين السلاسل البوليمرية ، أو بين أجزاء السلسلة الواحدة مثل قوى فاندرفالس (Vander Waals Forces) وقوى ثنائية القطب (Dipole Forces) ، وقـــوى الحث (Induction Forces) ،

والروابط الهيدروجينية (Hydrogen bonding) .

تؤثر القوى الجزيئية تأثيراً كبيراً على الخواص الفيزيائية للبوليمرات ، وبصفة أساس على درجة حرارة الإنصهار، ودرجة الانتقال الزجاجي (درجة الحرارة التي تتغير عندها البنية البلورية للبوليمر من شكل إلى آخر)، واللزوجة ، والذوبان ، والثبات الحراري ، والتبلور وغيرها . فعلى سبيل المثال تكون القوى الجزيئية في البوليمرات المطاطية ضعيفة نسبياً ، بينما تزداد في البوليمرات الصلبة وتكون أعلى مما هي عليه في البوليمرات المرنة .

الخواص الميكانيكية

تعتمد الخواص الميكانيكية للبوليمرات ـ مثل التشوه ، والمرونة ، والانسياب ، والصلابة ، وقوة الصدم ، والتمزق ، والإحتكاك ، والتشقق ، والإنضغاط ، والإلتواء ومقاومة الإنزلاق ـ على عدة عوامل من أهمها تركيب البوليمر الذي يرتبط بدوره بعدة عوامل هي الوزن الجزيئي ، ودرجة التبلور ، والتركيب البلوري ، والملدنات ، والتلدين ، والتشابك ، والتفرع ، والمالئات ، والعوامل الكيميائية .

وهناك عوامل خارجية أو بيئية أخرى تؤثر على خواص البوليمر الميكانيكية من أهمها درجة الحرارة ، والانضغاط ، والصفات الحرارية للبوليمر ، وطبيعة الظروف المحيطة ، وسعة الإجهاد وغيرها .

تصنيف البوليمرات

تصنف البوليمرات إلى أنواع مختلفة طبقا لعدة عوامل أهمها مايلي :ـ

• مصادر البوليمرات

تصنف البوليمرات طبقا لمصادرها إلى ثلاثة أنواع هي :ـ

* **بوليمرات طبيعية :** ومصدرها إما نباتي أو حيواني، ومثال ذلك المطاط الطبيعي، والسيليلوز ، والبروتينات ، والصمغ ، والحرير الطبيعي ، والصوف ، والشعر والوبر ، والجلود وغيرها .

* **بوليمرات صناعية :** ويتم تصنيعها من مركبات كيميائية بسيطة (مونومرات) ، ومنها المطاط الصناعي ، والخيوط ، والجلود الصناعية ، والنايلون والبوليمرات المستخدمة في مجال الدهانات والمواد اللاصقة وغيرها .

* **بوليمرات طبيعية معدّلة :** ويتم تصنيعها من بوليمرات طبيعية أُجري عليها بعض التعديلات ، وذلك إما بتغيير تركيبها الكيميائي أو بإضافة مجموعة أخرى لها ، أو بتطعيمها ببوليمرات صناعية ، ومثال ذلك خلات السيليلوز ، ونترات السيليلوز والقطن المطعَّم بألياف الأكريليك .

• الطبيعة الكيميائية للبوليمر

تصنف البوليمرات طبقا للطبيعة الكيميائية للبوليمر إلى أربعة أنواع هي :ـ

* **بوليمرات عضوية :** وتنتج عن مصدر عضوي ، ووحدات تركيبية عضوية متكررة .

* **بوليمرات غيرعضوية :** وتمتاز بمقاومتها العالية للحرارة والمواد الكيميائية، وتتكون سلاسلها الجزيئية عادة من السيليكون أو النيتروجين أو الفوسفور أو البورون أو الكبريت ، أو من نوعين أو أكثر من الذرات المذكورة .

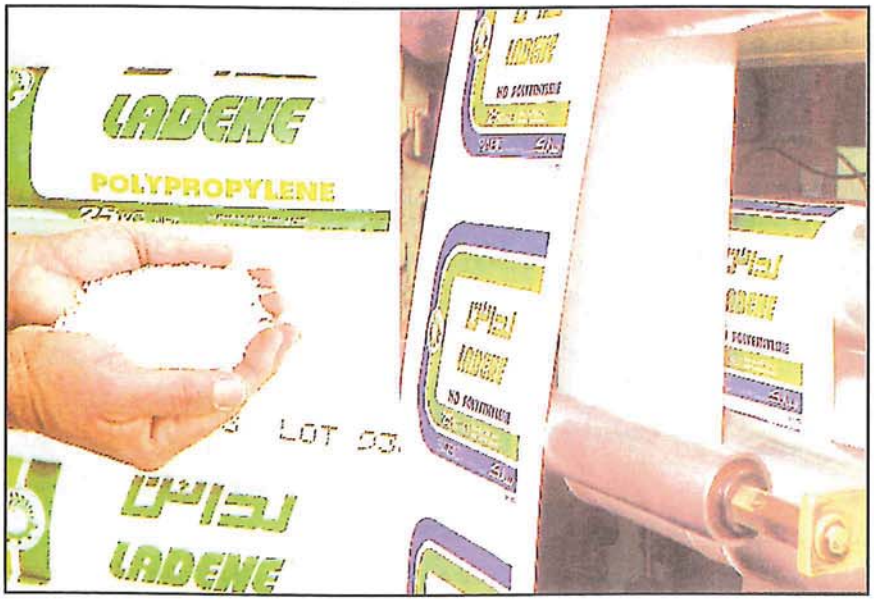
* **بوليمرات عضوية ـ غيرعضوية :** وتشتمل على وحدات تركيبية تحتوي على بعض العناصر الفلزية مثل القصدير إضافة إلى وجود بعض المجاميع العضوية. ويمتاز هذا النوع من البوليمرات بمقاومتها الجيدة للحرارة .

* **بوليمرات تناسقية :** وتحتوي على أيون فلزي ضمن السلسلة البوليمرية العضوية بحيث تكون الروابط بين العنصر الفلزي والجزء العضوي في الجزيئة هي روابط تناسقية، ومن أمثلها المونومرات المحتوية على الفيروسين .

• التصنيف التقني للبوليمرات

تم تصنيف البوليمرات طبقا لصفاتها واستخداماتها التقنية إلى عدة أنواع من أهمها مايلي :ـ

* **مواد بلاستيكية مطاوعة للحرارة :** وتعد أهم أنواع البوليمرات صناعيا ، وهي مواد تلين بالحرارة وتتحول إلى ما يشبه العجينة ، إلا أنها تعود إلى حالتها الأصلية عند خفض درجة حرارتها ، ومن أمثلتها البولي إيثلين والبولي بروبلين والبولي



• بعض منتجات البوليمرات الصناعية بالمملكة .

ستايرين وبولي كلوريد الفينيل والبولي كربونات وغيرها .

* **بوليمرات متصلبة حرارياً (غير مطاوعة للحرارة)** : وتتصلب بفعل الحرارة حيث تتشابك فيها السلاسل البوليمرية وتصبح معقدة التركيب ، وتتصف هذه البوليمرات بأنها عديمة الذوبان في المذيبات العضوية ، ولهامقاومة عالية للحرارة ، وغير قابلة للإنصهار ، وغير موصلة للحرارة والكهرباء ، ومن أمثلتها راتنجات الأمينو مثل راتنجات اليوريا ـ فورم الدهيد ، وراتنجات الميلامين ـ فورم الدهيد ، والفينول ـ فورم الدهيد وغيرها .

تستخدم البوليمرات المتصلبة حراريا كمواد عازلة للحرارة والكهرباء ، وفي صناعة المواد اللاصقة والأدوات الكهربائية المنزلية وغيرها .

* **ألياف** : وتتميز بقوى تماسك عالية بين جزيئاتها ، وبقابليتها للتبلور ، وبدرجة انتقال زجاجية مرتفعة ، وثابته تجاه الحرارة والأكسدة والتحلل المائي ، ومن أمثلتها البولي استرات ، والبولي أميدات (النايلون) ، وبولي أكريلونتريل وغيرها . وتستخدم مثل هذه الأنواع في صناعة الأقمشة والسجاد والحبال وغيرها .

* **بوليمرات مطاطية (Elastomers)** : تتميز بمرونتها وقابليتها للتمدد والتقلص، كما تتميز بدرجة حرارة إنتقال زجاجية منخفضة ، ومن أمثلتها المطاط الطبيعي ، والنيوبرين ، والنتريل ، البيوتيل ، وبولي الأيزوبرين وغيرها .

مواد لاصقة ومواد طلائية : ومن أمثلتها البوليمرات الطبيعية (مثل الصمغ النباتي والحيواني والنشاء) ، والصناعية (مثل المواد اللاصقة الأكريلية وبولي سيليكونات والإيبوكسيدات وبولي يوريثانات وغيرها) .

التصنيف الكيميائي

يعتمد التصنيف الكيميائي للبوليمرات على ميكانيكية تفاعلات البلمرة ، والخطوات التي تتم بها عملية نمو السلسلة البوليمرية ، ويشتمل هذا التصنيف على نوعين من البلمرة هما :ـ

* **سلسلية النمو (Chain Growth Polymerization)** : وفيها تتشكل بوليمرات عن طريق التفاعلات المتسلسلة بين المونومرات غير المشبعة بواسطة آلية تشكل الجذور الحرة أو الأيونات ، ويسمى هذا النوع من البلمرة ـ عادة ـ ببلمرة الاضافة . ومن أهم البوليمرات المتشكلة بالبلمرةسلسلية النمو، البولي إيثلين ، والبولي بروبلين ، وبولي كلوريد الفينيل ، وبولي خلات الفينيل وبولي الستايرين ، وبولي ميتاكريلات الميثيل ، والمطاط الصناعي وغيرها .

* **مرحلية النمو (Step Growth Polymerization)** : وتعرف ببلمرة التكاثف ، وتتشكل البوليمرات عن طريق عملية التكاثف بين المونومرات المحتوية على مجموعتين فعّالتين أو أكثر . ويتم بناء جزيئات البوليمرعبر تفاعلات منفصلة بين الزمر (المجموعات) الوظيفية (Functional Groups) .

• تصنيفات أخرى

هناك تصنيفات أخرى للبوليمرات ـ أقل أهمية مقارنة بالتصنيفات السابقة ـ تعتمد إما على الشكل البنائي لجزيئات البوليمر مثل البوليمرات الخطية والمتفرعة والمتشابكة . أوعلى تجانس البوليمرات مثل البوليمرات المتجانسة والبوليمرات المشتركة والبوليمرات المركبة.

آلية تفاعلات البلمرة

يتم الارتباط الكيميائي للمونيمرات لتكوين بوليمرات عن طريق نوعين من البلمرة هما :ـ

• بلمرة سلسلية النمو

تستخدم البلمرة سلسلية النمو في تحضير بوليمرات من مونومرات تحتوي على روابط مضاعفة بين ذراتها مثل الإيثلين والآيزو بيوتيلين وكلوريد الفينيل ، أو مركبات تحتوي على سلاسل حلقية غير ثابتة محتوية على عنصر مغاير لتركيب ذرات الحلقة الرئيسية مثل أكسيد الإيثلين وأكسيد البروبلين . وتتضمن آلية التفاعل لهذا النوع من البلمرة ثلاث خطوات أساسية وهي :ـ

١ـ بدء (Initiation) تحفيز المونومر : ويتم فيها تكوّن المركز النشط الأولي (Active Center) القابل للنمو والارتباط مع مونومر ثان وثالث مؤدياً إلى تكوين سلسلة بوليمرية عالية الوزن الجزئي .

٢ـ النمو أو الانتشار (Propagation) : وتتضمن إضافة مزيد من جزئيات المونومر إلى المركز النشط المتكون في مرحلة البدء ، وذلك كما يلي:ـ

$$M^* + M \longrightarrow M_1^*$$

$$M_1^* + M \longrightarrow M_2^*$$

$$M_2^* + M \longrightarrow M_3^*$$

٣ـ الإنتهاء (Termination) : ويتم فيها أكثر من تفاعل من تفاعلات الانتهاء مثل تفاعلات الجذور الحرة ، وتفاعلات إنتقال السلسلة النامية وفقا للتفاعل التالي :ـ

$$M_n^* \longrightarrow M_n$$

حيث تمثل Mn جزيئة البوليمر بعد توقفها عن النمو .

وقد يكون المركز النشط في تفاعلات البلمرة المتسلسلة في المرحلة جذراً حراً أو أيوناً موجباً أو أيوناً سالباً ، ويعتمد ذلك على طبيعة نوع البادىء المستخدم وطبيعة المونومر وبالتالي يمكن تقسيم البلمرة سلسلية النمو إلى نوعين رئيسيين هما :ـ

* **بلمرة الجذور الحرة** : ويستخدم فيها عدة أنواع من البادئات ذات القدرة على توليد جذور حرة نشطة وقادرة على الارتباط بجزيئات المونومر لتكوين سلاسل بوليمرية طويلة مثل بوليمرات بولي الإيثلين منخفض الكثافة والبولي ستايرين ومطاط النتريل وبولي كلوريد الفينيل وبولي بيوتا دائين وغيرها. كما هو

مبين في الخطوات التالية :-

$$\text{Initiation} \longrightarrow 2R^{\bullet}$$

$$R^{\bullet} + M \longrightarrow R - M^{\bullet}$$

$$R - M^{\bullet} + M \longrightarrow R - M - M^{\bullet}$$

$$R - M - M^{\bullet} + nM \longrightarrow R - M_{n+1} - M^{\bullet}$$

وبعد سلسلة طويلة من الإضافات يتوقف الجذر الجزيئي الأخير عن النمو وذلك إما بإتحاد الجذور الأولية الحرة مع بعضها أو باتحاد الجذور الجزيئية الكبيرة مع بعضها أو بإتحاد جذر أولي حر مع جذر جزيئي كبير ، ومن أهم البادئات المستخدمة في عمليات بلمرة الجذور الحرة مايلي :-

١ـ بادئات حرارية : وهي مركبات تتفكك بتأثير درجة الحرارة مكونة جذوراً حرة قادرة على بدء تفاعلات البلمرة ، ومن أهم هذه البادئات البيروكسيدات والهيدروبيروكسيدات ومركبات الآزو وثنائي الآزو .

٢ـ بادئات ضوئية : وهي مركبات تتفكك بتأثير الضوء بطول موجي معين مكونة جذوراً حرة ، ومن أمثلتها بعض مركبات الكربونيل والهاليدات والمركبات عضو المعدنية التي منها ألكيلات الفلزات مثل بيوتيل الليثيوم ، وثلاثي فينيل ميثيل الصوديوم .

٣ـ بادئات إشعاعية : وتقوم بعملية التنشيط مثل أشعة ألفا أو بيتا أو جاما .

٤ـ بادئات الأكسدة والاختزال : وهي عوامل منشطة لبعض تفاعلات البلمرة حيث تتكون الجذور الحرة كناتج لعملية أكسدة واختزال ، منها البيروكسيدات (فوق الأكاسيد) في وجود أيونات الحديد (II) كعوامل مختزلة وذلك كما يلي :-

$$RC(=O) - O - OR + Fe^{2+} \longrightarrow RCOO^{-} + RO^{\bullet} + Fe^{3+}$$

* **بلمرة أيونية :** وتنقسم حسب نوع الشحنة إلى نوعين هما :-

ـ بلمرة كاتيونية : وتكون المراكز النشطة فيها عبارة عن كاتيونات ، وتعد آلية تفاعلها بأنها معقدة نوعاً ما، وتتكون من ثلاث خطوات رئيسة هي مرحلة البدء ، والإنتشار ، والنهاية .

ومن البادئات المستخدمة في هذا النوع من البلمرة الأحماض البروتونية (مثل حامض الفوسفور ، وحامض الكبريت وحامض فوق الكلوريك وغيرها) ، وأحماض لويس (منها كلوريدات بعض أنواع الفلزات مثل كلوريد الألمنيوم ورباعي كلوريد التيتانيوم ورباعي بروميد القصدير وكلوريد الزنك وغيرها) ، وبعض المحفزات الأخرى ، (مثل أيون الأوكسونيوم وفوق كلورات ثالثي البوتيل، والإشعاعات ذات الطاقة العالية وغيرها).

ومن أهم البوليمرات التي يتم تحضيرها بهذه الطريقة مطاط الآيزوبرين (البولي آيزوبرين) والمطاط البيوتيلي (البولي آيزوبيوتين) .

ـ بلمرة آنيونية : وتكون مراكزها النشطة عبارة عن آنيونات ، وتختص بالمونومرات المحتوية على مجموعات ساحبة للألكترونات (مثل مجموع النتريل (C≡N) والكربونيل (C=O) الموجودة في الكيتونات أو الألدهيدات أو الأحماض أو الاسترات أو الأميدات) ، والمونومرات القادرة على تثبيت الأيون السالب (الكربانيوم) الناتج عن الصبغ الطنينية مثل الستايرين والبيوتادايئين .

تستخدم في البلمرة الآنيونية عدة أنواع من البادئات ، هي الفلزات القلوية (مثل الصوديوم والبوتاسيوم والليثيوم في الأمونيا السائلة) ، وألكيلات الفلزات (مثل بيوتيل الليثيوم وثلاثي فينيل ميثيل الصوديوم) ، وأميدات الفلزات ، (مثل أميد البوتاسيوم والصوديوم والليثيوم والكالسيوم وغيرها في الأمونيا السائلة) .

وتتأثر البلمرة الأيونية بعدة عوامل ، من أهمها درجة الحرارة ، والمذيب ، وطبيعة المونومر ، والتجمع الأيوني ، وغيرها من العوامل الأخرى .

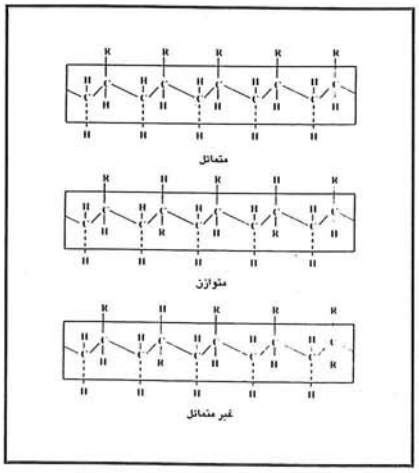
● بلمرة منتظمة فراغياً

اكتشفت البلمرة المنتظمة فراغيا من قِبَل العالمين **زيغلر وناتا** عندما طوّرا نوع معين من المواد المحفزة غير المتجانسة قادراً على تكوين بوليمرات لها تركيب فراغي منتظم عند درجات حرارة منخفضة .

يؤثر الوضع الفراغي للبوليمر على صفاته الفيزيائية والحرارية والميكانيكية . فعلى سبيل المثال ، عند تحضير البولي بروبلين بطريقة البلمرة بواسطة الجذور الحرة فإنه يشكل بوليمر تكون فيه جذور الميثيل مرتبة عشوائياً على طول السلسلة ، وبالتالي يكون له صيغة فراغية غير منتظمة (Atactic) . وقد تمكن العالمان ـ المذكوران أعلاه ـ من تحضير بولي بروبلين ذو وضعية فراغية منتظمة بإستخدام المواد المحفزة غير المتجانسة ، وتدعى ظاهرة ترتيب المجاميع (مثل مجموعة الألكيل) على السلسلة البوليمرية بالتاكتيكية (Tacticity) ومنها ثلاثة أنواع ، شكل (١) ، هي كما يلي :-

١ـ متماثلة (Isotactic) : و تترتب فيها المجموعات على جهة واحدة من السلسلة البوليمرية.

٢ـ متوازنة (Synadiotactic) : حيث تتوزع فيها المجموعات بشكل متناوب في نفس المستوى .



● شكل (١) الصيغ الفراغية للبولي بروبلين .

٣ـ غير متماثلة (Atactic) : وفيها تتوزع مجموعات بشكل غير منظم .

• البلمرة المشتركة

تتضمن البلمرة المشتركة وجود أو اشتراك أكثر من نوع واحد من المونومر ، ويستفاد منها في تصنيع بوليمرات ذات مواصفات جيدة ومحددة مثل مقاومتها للمذيبات والصدمات والتشقق ، وزيادة قابليتها لتقبل الأصباغ وغيرها من الصفات الأخرى ، وتشتمل البوليمرات المشتركة على أربعة أنواع هي :ـ

* متناوبة (Alternative) : وفيها تتناوب المونومرات المختلفة في الترتيب وفي السلاسل البوليمرية .

* عشوائية (Random) : وتتوزع فيها المونومرات بشكل عشوائي في السلاسل البوليمرية ، ومنها البوليمر المشترك إيثلين ـ بروبلين ، ومطاط ستايرين ـ بيوتا دايئين وغيرها .

* قالبية (Block) : وتترتب فيها المونومرات على شكل قالب مرتبطة مع بعضها البعض .

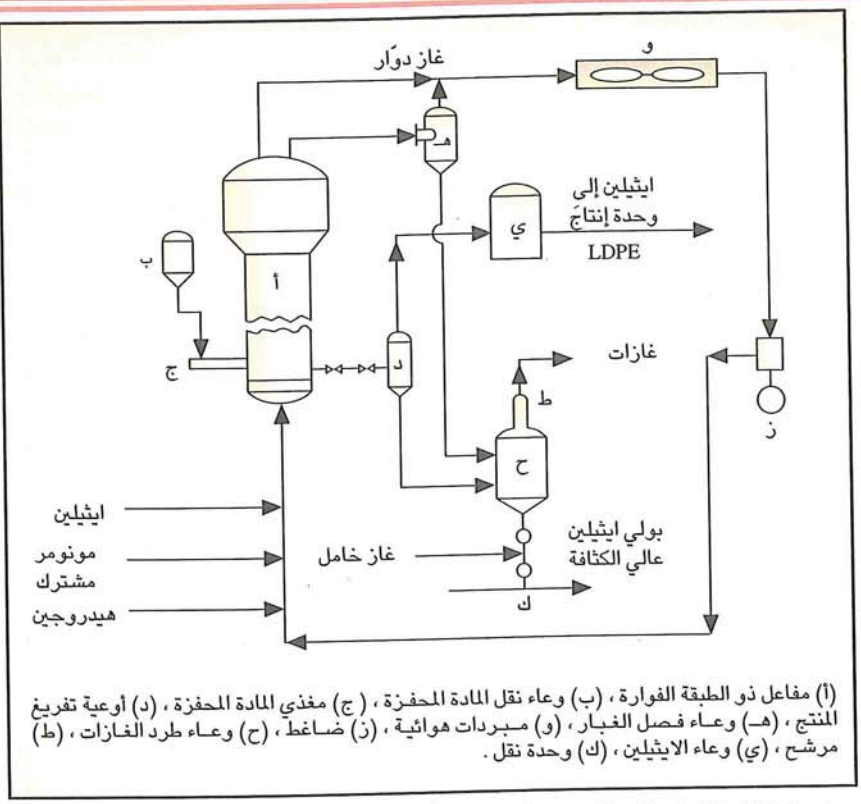
* مطعّمة (Graft) : وتهدف إلى تحسين صفات البوليمر لبعض الأغراض المعنية ، تتشكل من سلسلة رئيسية مكونة من وحدات تركيبية متماثلة . وترتبط بها فرعات جانبية متكونة من نوع آخر من الوحدات التركيبية .

الطرق الصناعية للبلمرة

تجري عمليات البلمرة عادة في وحدات صناعية وذلك إما في وسط مجانس (بلمرة متجانسة) يكون فيه كل من البوليمر والمونومر والمادة المحفزة في طور واحد ، أو في وسط غير متجانس (بلمرة غير متجانسة) حيث يوجد فيها أكثر من طور واحد . وتتم عملية البلمرة بعدة طرق مختلفة أهمها :

بلمرة في الطور الغازي

تستخدم البلمرة في الطور الغازي (Gas Phase Polymerization) عندما



(أ) مفاعل ذو الطبقة الفوارة ، (ب) وعاء نقل المادة المحفزة ، (ج) مغذي المادة المحفزة ، (د) أوعية تفريغ المنتج ، (هـ) وعاء فصل الغبار ، (و) مبردات هوائية ، (ز) ضاغط ، (ح) وعاء طرد الغازات ، (ط) مرشح ، (ي) وعاء الايثيلين ، (ك) وحدة نقل .

● شكل (٢) طريقة يونيون كربايد لإنتاج بولي الإيثلين عالي الكثافة بالطور الغازي .

يكون المونومر في الحالة الغازية ، ويتجمع البوليمر المتكون في هذه الحالة على جدار الوعاء ويستمر تشكله بعدئذ داخل الكتلة المتكونة . ويستخدم هذا النوع من البلمرة لإنتاج أنواع محدودة من البوليمرات مثل مطاط الصوديوم ـ بيوتادايئين ، والبولي إيثلين الخطي عالي الكثافة .

يوضح الشكل (٢) طريقة صناعية لإنتاج مسحوق بولي الايثيلين عالي الكثافة بوساطة البلمرة في الطور الغازي ، حيث يستخدم في هذه الطريقة غاز الإيثيلين في مفاعل ـ الطبقة الفوارة ـ يحتوي على مادة محفزة من الكروم المعدل. ينتج البولي ايثلين بأوزان جزيئية مرتفعة وسلاسل مستقيمة .

• بلمرة كتلية

تتم البلمرة الكتلية (Bulk Polymerzation) : في محلول المونومر عند ظروف معينة من الضغط ودرجة حرارة ، وعندما يكون البوليمر الناتج شديد الذوبان في المونومر فإن لزوجة المحلول تزداد تدريجياً مع ازدياد تكون البوليمر إلى أن تتشكل كتلة واحدة متصلبة في نهاية التفاعل . أما إذا كان البوليمر لايذوب في المونومر فإن الناتج يكون على شكل مسحوق أو حبيبات صغيرة .

تستخدم البلمرة الكتلية في إنتاج أنواع معينة من البوليمرات مثل بولي ميثيل ميتاكريلات ، والبولي ستايرين ، والبولي كلوروبرين والبولي بيوتادايئين .

• بلمرة في المحلول

تعد البلمرة في المحلول (Solution Polymerization) إحدى أنواع البلمرة المتجانسة حيث توجد مكونات التفاعل (المونومرات والمذيب) في طور واحد . وعند تكوّن البوليمر فهناك احتمالان، الأول إذا كان البوليمر الناتج ذائبا في المحلول فيفصل عنه إما بواسطة الترسيب أو يستخدم على هيئة محلول كما هو الحال في اللواصق والطلاء وغيرها . والثاني إذا كان البوليمر الناتج غير قابل للذوبان في المحلول فإنه يفصل منه بواسطة الترشيح .

• بلمرة معلقة

يمكن إجراء البلمرة المعلقة (Suspension Polymerization) بنظام

المونمر	الوحدة التركيبية	البوليمر	تطبيقاته
الايثلين بنوعيه منخفض وعالي الكثافة	$-CH_2-CH_2-$	$-(CH_2-CH_2)-_n$ بولي إيثلين	صناعة القوارير ، والألياف الصناعية، ومواد البناء ، ومواد عازلة، وقطع السيارات والطائرات والقطارات، وتغليف الأسلاك والكبلات والأجهزة الطبية وغيرها.
البروبلين	$-CH_2-\underset{CH_3}{CH}-$	$\left(CH_2-\underset{CH_3}{CH}\right)_n$ بولي بروبلين	تشابه تطبيقات البولي إيثلين
كلوريد الفينيل	$-CH_2-\underset{Cl}{CH}-$	$\left(CH_2-\underset{Cl}{CH}\right)_n$ بولي كلوريد الفينيل	الألياف الصناعية ، ومواد العزل الكهربائي ، ومواد مقاومة للتآكل ، ومواد البناء ، والجلود ، والورنيشات ، والمواد اللاصقة ومعدات كيميائية ، ورقائق ألياف صناعية وغيرها.
رباعي فلورو الإثيلين	$-CF_2-CF_2-$	$-(CF_2-CF_2)-_n$ بولي رباعي فلورو الايثلين	معدات كيميائية ، رقائق ، ألياف صناعية وغيرها.
خلات الفينيل	$-CH_2-\underset{COOCH_3}{CH}-$	$\left(CH_2-\underset{COOCH_3}{CH}\right)_n$ بولي خلات الفينيل	الدهانات ، والمواد اللاصقة، وغيرها.
ستايرين	$-CH_2-\underset{C_6H_5}{CH}-$	$\left(CH_2-\underset{C_6H_5}{CH}\right)_n$ بولي ستايرين	عوازل كهربائية وحرارية ، ومواد تغليف ، و المطاط ، والرقائق ، وسلع للمواد الغذائية.
ميثيل ميثاكريلات	$-CH_2-\underset{COOCH_3}{\overset{CH_3}{C}}-$	$\left(CH_2-\underset{COOCH_3}{\overset{CH_3}{C}}-\right)_n$ بولي ميثيل ميثاكريلات	الدهان ، والمواد اللاصقة ، والزجاج العضوي وغيرها.
أكريلونتريل	$-CH_2-\underset{CN}{CH}-$	$\left(CH_2-\underset{CN}{CH}\right)_n$ بولي أكريلونتريل	ألياف صناعية ، و دهانات، ومنتجات مطاطية ، ومواد بناء وغيرها.

● جدول (١) أهم أنواع البوليمرات وتطبيقاتها .

الدفعات أو السريان المستمر، حيث يمزج المونومر مع محلول آخر - يسمى وسط التعليق (Suspending Medium) - لايذوب فيه وبالتالي يكون محلولاً معلقاً . كما تضاف للمحلول عوامل مبعثرة(Dispersing Agents) أو معلقة (Suspending Agents) وذلك لمنع التصاق الحبيبات مع بعضها البعض وتشكل كتل تعيق عملية البلمرة . ومن أهم البوليمرات التي تصنع بهذه الطريقة بولي ميثيل ميثا كريلات وبولي ستايرين وبولي كلوريد الفينيل وبوليمر مشترك من الستايرين والأكريلو نتريل وغيرها من البوليمرات الأخرى .

● البلمرة الاستحلابية

تستخدم في البلمرة الاستحلابية (Emulsion Polymerization) عوامل تساعد على الاستحلاب ، منها العوامل الأيونية مثل كبريتات الأريل أو كبريتات لوريل الصوديوم ، وغير الأيونية مثل هيدروكسيد إيثيل السيليلوز ، أو بولي فينيل الكحول ، وسلفونات الألكيل وغيرها.

استخدامات البوليمرات

تسمى البوليمرات بعد تصنيعها بالمواد البلاستيكية ، وهي تستخدم في العديد من المجالات والقطاعات ، جدول (١) ، منها الأدوات المنزلية ، والمواد اللاصقة ، والدهانات ، والألياف الصناعية ، ومعدات الأجهزة الكهربائية والإلكترونية ، والصفائح البلاستيكية الرقيقة والشفافة للتغليف ، والحاويات ، والعزل الحراري ، وخزانات المياه ، وحمامات السباحة ، والأسقف المستعارة ، والمنازل المتنقلة ، والأثاث المنزلي بجميع أنواعه وغيرها من الاستخدامات الأخرى .

الصناعات البلاستيكية في المملكة

تطورت صناعة المواد البلاستيكية الوسطية والنهائية في المملكة بشكل واسع مع بداية الثمانينات حيث قامت الشركة العربية السعودية للصناعات الأساسية (سابك) بإنشاء عدة مجمعات صناعية لإنتاج أنواع متعددة من المواد البلاستيكية يوضحها الجدول (٢) .

الشركة	المنتج	الطاقة السنوية (ألف طن)
ينبت	بولي إثيلين بولي بروبلين	٥٣٥ ٢٦٠
ابن زهر	بولي بروبلين	٣٢٠
شرق	بولي إيثيلين	٤٠٠
ابن حيان	معلق بولي كلوريدالفينيل عجينة بولي كلوريد الفينيل	٣٠٠ ٢٤
كيميا	بولي إيثيلين	٦٠٠
ابن رشد	بوليستر	١٤٠
بتروكيميا	بولي ستايرين	١٣٥

● جدول (٢) أهم الشركات المنتجة للمواد البلاستيكية بالمملكة .