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

دراسة البوليمرات وأنواعها

مشروع بحث مقدم الى مجلس كلية العلوم _ قسم الفيزياء
كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علم الفيزياء

من قبل الطالبة

زهراء ناظم عبد الرضا

بأشراف

أ. د. محمد هادي شنين

١٤٤٥هـ **٢٠٢٤م**

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى :

(فَاصْبِرْ كَمَا صَبَرَ أُولُو الْعَزْمِ مِنَ الرُّسُلِ وَلَا تَسْتَعْجِل لَّهُمْ كَأَنَّهُمْ يَوْمَ يَرَوْنَ مَا يُوعَدُونَ لَمْ يَلْبَثُوا إِلَّا سَاعَةً مِّن نَّهَارٍ بَلَاغٌ فَهَلْ يُهْلَكُ إِلَّا الْقَوْمُ الْفَاسِقُونَ)

صدق الله العلي العظيم

(سورة الأحقاف ، آية :- ٣٥)

اقرار المشرف

أشهد إن إعداد البحث الموسوم بعنوان { دراسة البوليمرات وأنواعها } من قبل الطالبة (زهراء ناظم عبد الرضا) . قد جرى تحت اشرافي في قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة بابل كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء .

التوقيع :-

المشرف :- **محمد هادي شنين**

المرتبة العلمية :- **استاذ**

التاريخ :- / / **٢٠٢٤**

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءاً على التوصيات المتوفرة ارشح هذا البحث للمناقشة

التوقيع :-

اسم رئيس القسم الفيزياء :- **سميرة عدنان مهدي**

المرتبة العلمية :- **استاذ**

التاريخ :- / / **٢٠٢٤**

العنوان :- جامعة بابل_ كلية العلوم / قسم الفيزياء

الأهداء

بعد سنين من المشوار الدراسي ها نحن نعانق نهاية المطاف لم يكن الامر سهلا كان دائما مكللا بخطوات الصعاب والعثرات الا انها لم تزدنا الا اصرارا

الى من كلله الله بالهيبة والوقار

الى من علمني العطاء بدون انتظار

الى من احمل اسمه بكل افتخار ... والدي العزيز

الى ملاكي في الحياة

الى معنى الحنان والتفاني

الى بسمة الحياة وسر الوجود ... والدتي الغالية

لم نكن نصل ما وصلنا اليه لولا دعم احبتنا

شكرا لأساتذتنا لولاكم ما كنا ما نحن عليه الان

الباحثة

الشكر والعرفان

لا يسعنا بعد الانتهاء من إعداد هذا البحث إلا أن أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى استاذي الفاضل

الدكتور محمد هادي شنين

الذي تفضل بالإشراف على هذا البحث ، حيث قدم لي كل النصح والإرشاد طيلة فترة الإعداد فله مني كل الشكر والتقدير .

كما لا يفوتني أن أتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى كل دكاترة
قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة بابل .
لهم مني كل الشكر و التقدير .

الباحثة

الخلاصة :

تضمن هذا البحث فصلين ، في الفصل الأول تم التعرف على معلومات نظرية عامة عن البوليمرات وقمت بتوضيح البوليمر (Polymer) التي هي مركب كيميائي أو خليط من المركبات المكونة من جزيئات متكررة، والتي تتشكل من خلال عملية البلمرة (Polymerization) . إذ إنه يعرف باسم الميلمر، حيث تعرف البلمرة بأنها تفاعل كيميائي يحدث بين جزيئين أو أكثر حيث يتحدان لتكوين مركب كيميائي يحتوي على جزيئات هيكلية متكررة .

وكذلك تضمن الفصل الاول التعرف على تسمية البوليمرات وخواصها الفيزيائية والكيميائية وكذلك كيفية تحضير وتركيب البوليمرات والاستخدامات المختلفة لها .

اما **الفصل الثاني** فتضمن بشكل خاص أنواع البوليمرات وأهم الأمثلة عنها .

وفي نهاية البحث نتمنى أن يكون العرض كان واضحا بالشكل الكافي .

Conclusion

This research included two chapters. In the first chapter, general theoretical information about polymers was learned and I explained polymers. The concept of polymer refers to a chemical compound or a mixture of compounds consisting of repeating molecules, which are formed through the polymerization process. It is known as a polymer, as polymerization is defined as a chemical reaction that occurs between two or more molecules that combine to form a chemical compound that contains repeating structural molecules.

The first chapter also includes learning about their name and physical and chemical properties, as well as how to prepare and synthesize polymers and their various uses .

The second chapter specifically includes types of polymers and the most important examples of them .

At the end of the research, we hope that the presentation was clear enough.

جدول المحتويات

ت	العنوان	رقم الصفحة
	الخلاصة .	
الفصل الاول : مقدمة عامة حول البوليمرات		
1-1	مقدمة عامة .	1
2-1	تسمية البرليمرات .	3
3-1	تركيب البوليمرات .	4
4-1	تحضير البوليمرات .	5
5-1	الخواص الفيزيائية والكيميائية للبوليمرات .	6
6-1	تكوين البوليمرات .	7
7-1	أستخدامات البوليمرات وتطبيقاتها	8
8-1	الهدف من البحث .	10
الفصل الثاني : أنواع البوليمرات		
1-2	مفهوم البوليمرات .	12
2-2	أنواع البوليمرات :	12
1-2-2	التصنيف المعتمد على مصادر البوليمرات .	12
2-2-2	التصنيف المعتمد على الطبيعة الكيميائية للبوليمر .	14
3-2-2	التصنيف التكنولوجي للبوليمرات .	19
4-2-2	التصنيف المعتمد على الشكل البنائي لجزيئات البوليمر .	22
	المصادر	25-28

الفصل الاول

مقدمة عامة حول البوليمرات

الفصل الاول

مقدمة عامة حول البوليمرات

١-١ مقدمة عامة

لقد استخدم الإنسان القديم البوليمرات الطبيعية (Natural Polymers) قبل مئات القرون ، فقد صنع ملابسة من القطن والصوف والحرير وجلود الحيوانات واستخدام البوليمرات في طعامه كالزيوت النباتية (Oils) والشحوم الحيوانية (Fats) واستعمل الراتينجات الطبيعية (Natural resins) كأصماغ ولواصق منذ آلاف السنين كالصمغ العربي (Arabic gum) والأصماغ الحيوانية والإسفلت الذي استخدم في طلاء القوارب .[1]

لقد صنفت البوليمرات في القرن الثامن عشر ضمن الغروبات (Colloids) لأن الحالة الغروية في ذلك الوقت كانت معروفة بمثابة حالة مستقلة من حالات المادة إضافة إلى الحالة السائلة والصلبة وقد كان سبب هذا الاعتقاد الخاطئ أو معظم المواد الغروية تمتاز بأوزانها الجزيئية العالية مقارنة بالمواد الأخرى البسيطة ، وبقي هذا المفهوم سائداً حتى عام ١٨٨٠ م عندما اكتشف راولت (Raoult) وفانت هوف Van Hoff طرقاً لتعين الوزن الجزيئي فقد عين بهذه الطريقة الوزن الجزيئي للمطاط الطبيعي والنشا ونترات السليلوز ووجد بأنها تتراوح بين ١٠,٠٠٠ - ٤٠,٠٠٠ .[٢]

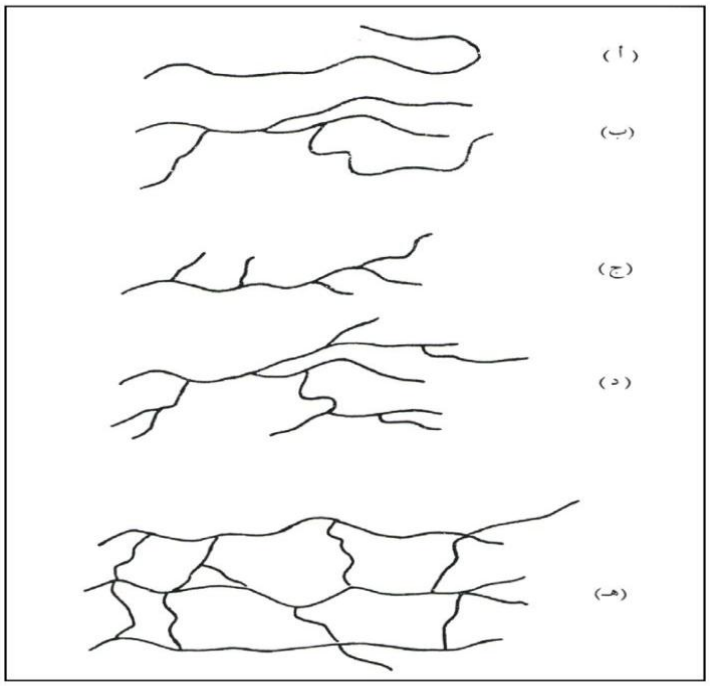
تعتبر هذه الخطوة أولى الدوافع التي أدت إلى الاعتقاد بفكرة وجود الجزيئات الكبيرة (Macromolecules) إلا أن هذه الفكرة لم تكن مقبولة عند كيميائي ذلك العصر لسببين :

١) لم يكن بالإمكان وضع حد فاصل بين الجزيئات الكبيرة والمواد الغروية لذلك فاعتقد البعض بأن المواد البوليمرية التي دعيت بالجزيئات الكبيرة هي مواد غروية لا ينطبق على محاليلها قانون راؤلت .

٢) فسر كبر وزنها الجزيئي على أساس تجمع فيزيائي للجزيئات الصغيرة ، فقد فسر مثلاً الوزن الجزيئي للمطاط الطبيعي ، الذي عرفت صيغته الوضعية منذ عام ١٨٢٦ (C_5H_8) ، بأنه ناتج من تجمع جزيئات الأيزوبرين Isoprene) ، إما بهيئة تراكيب مستقيمة أو على هيئة تراكيب حلقية لتكوين المادة الغورية ذات التركيب الآتي : [٣]

$$
\begin{array}{l}
\qquad\qquad\quad CH_3 \\
\qquad\qquad\quad | \\
CH_2 \text{ --- } C = CH\text{-}CH_2 \\
| \\
CH_2 \text{ --- } C = CH\text{-}CH_2 \\
\qquad\qquad\quad | \\
\qquad\qquad\quad CH_3
\end{array}
$$

إن البوليمر كلمة لاتينية تتكون من مقطعين " بولي " Poly وتعني " متعدد " والمقطع " مير " Mer وتعني " الجزء " أي أنها تعني متعدد الأجزاء . وفي هذا البحث سنستعمل الكلمة اللاتينية " بوليمر " فجزيئة البوليمر هي جزيئة كبيرة تتكون من جزيئات كيميائية صغيرة مرتبطة مع بعضها بأواصر كيميائية ، فقد تكون هذه الجزيئات مرتبطة مع بعضها بشكل خطي فيدعي البوليمر الخطي ، لاحظ الشكل (١-١) وأحياناً أخرى تكون الجزيئة البوليمرية متفرعة فيدعى بالبوليمر المتفرع وقد تكون الفروع في سلسلة البوليمر ذات تركيب مشطي أو ذات تركيب سلمي أو ذات شكل صليبي وقد تختلف هذه التفرعات في أطوالها ويمثل الشكل (١-١) شكل تخطيطي لأنواع من البوليمرات المتفرعة وفي بعض الحالات تكون هذه التفرعات متشابكة مع بعضها فيدعي بالبوليمر المتشابك لاحظ الشكل (١-١) . تدعى الجزيئة البسيطة التي تبنى منها جزيئة البوليمر بالمونومير (Monomer) (أحادي الجزيء) وتدعى عملية ارتباط هذه الجزيئات البسيطة مع بعضها بعملية البلمرة (Polymerization) . [٤]



الشكل (١-١) شكل تخطيطي يوضح أنواعاً مختلفة من السلاسل البوليمرية . [٥]

(أ) بوليمر خطي . (ب) بوليمر متفرع (ج) ، (د) بوليمر متفرع ، (هـ) بوليمر متشابك .

١-٢ تسمية البوليمرات

يُشتق اسم البوليمر من اسم المونومر الذي يدخل في تركيبه ، وفي مثال على ذلك يسمى بوليمر بولي ايثين (Poly Ethene) نتيجة تكوّنه من مونومر إيثين (Ethene) ، وفيما يأتي توضيح لكيفية تسمية البوليمرات : [٦]

١-٢-١ تسمية المونومر

يُبدأ بتسمية المركب الكيميائي الأساسي (المونمر) عن طريق حساب عدد ذرات الكربون ؛ مثلًا يبدأ اسم المركب الذي يحوي ذرة كربون واحدة بـ(ميث) والذي يحوي ذرتين بـ(إيث)، ثم تحديد أنواع الروابط؛ أحادية أم ثنائية وهكذا، والمجموعات الوظيفية المتواجدة وأعدادها كالكحول والكيتونات وغيرها.

١-٢-٢ تسمية البوليمر

تُوضع كلمة (Poly) ثم يفتح قوسين لوضع اسم المونومر بداخلهما، وذلك في حال كان البوليمر يحتوي على مونومر واحد مثل (Poly Methyl Methacrylate) ، وإذا كان المونومر كلمة واحدة يحذف كلّ من القوسين مثل؛ Polystyrene. [٦]

١-٢-٣ إضافة التعقيد

تتكوّن البوليمرات المشتركة من أكثر من مونومر، فتُسمى باستخدام بعض المحددات التي تكتب بالخط المائل التي تشير إلى البوليمر المكون من مونومرات موزعة عشوائيًا، بحيث توضع هذه المحددات في بداية التسمية أو بين أسماء المونومرات مثل؛ (cyclo-polystyrene-graft-polyethylene).

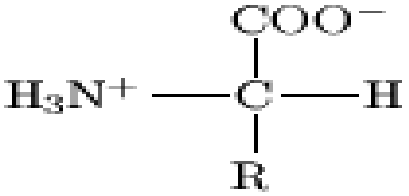
١-٢-٤ التسمية القائمة على الهيكل

يُمكن تسمية البوليمرات وفقًا لهيكلها بدلًا من المونومرات المكونة لها، تحديدًا حسب وحدة التكرار (الوحدة الفرعية الهيكلية) التي يحصل عليها بتجزئة بنية البوليمر إلى أصغر وحدة تكرار ممكنة مثل؛ ١-bromoethane-1,2-diyl . [٧]

١-٣ تركيب البوليمرات

تتكون البوليمرات من بنى تتمثل في وحدات بنائية متطابقة متكررة. وهذه الوحدات بدورها تتكون من جزيئات أصغر تسمى المونومرات أو المواحيد (جمع موحود). تتفاعل المواحيد مع بعضها لتشكل البوليمر. يوضح الشكل الجانبي موحود البروبيلين والوحدة المتكررة التي تشكل عديد البروبيلين.

وباستثناء المجموعة الطرفية في سلسلة عديد البروبلين، فإنها تتكون كاملا من هذه الوحدة المتكررة. ويسمى عدد هذه الوحدات (n) في سلسلة البوليمر بدرجة البلمرة أو DP. والبوليمرات الأخرى، مثل البروتينات، يمكن وصفها بكتابة الوحدة المتكررة التقريبية كما في الصيغة الكيميائية التالية . [٨]



حيث تكون طبيعة R متغيرة (يستعاض عنها بذرة أو مجموعة من الذرات).

وتؤثر التغييرات التي تحدث في المواحيد في خواص البوليمر مثل المرونة، وقابلية الذوبان، أو قوة شد البوليمر. ويمكن لهذه التغيرات في البروتينات أن تجعل للبوليمر القدرة على أن يكون له التركيب المناسب، بدلا من حدوث لف عشوائي "Random Coil" له. ومع أن معظم البوليمرات عضوية (أي أنها مكونة من سلسلة كربونية)، فإنه يوجد أيضا بوليمرات غير عضوية، وغالبا ما تكون سلاسلها مبنية على أصل من السيليكون. ويغطي مصطلح بوليمر مدى واسع من الجزيئات، متضمنا أيضا بعض المواد مثل البروتينات والخيوط التي لها قوة شد عالية مثل خيوط كيفلر. والأساس في التفريق بين البوليمرات والجزيئات الأخرى الكبيرة هو وجود الوحدات المتكررة (المواحيد) في سلاسل البوليمر. ويحدث هذا في عملية البلمرة، والتي ترتبط فيها المواحيد معا لتكوين سلسلة طويلة من البوليمر. فمثلا، عملية تكون البولي إثيلين "Polyethylene or Polyethene" تتضمن تشابك آلاف الوحدات من جزيئات الإثنين معا لتكوين سلسلة لها الوحدة المتكررة . ويتكون البوليمر بولي إيثلين (Polyethylene)وفقًا للمعادلة الآتية :-

$$.C_2H_4 + C_2H_4 \rightarrow C_4H_8$$

غالبا ما تسمى البوليمرات على اسم المواحيد المكونة للبوليمر .

ولأن التفريق بين البوليمرات يكون غالبا بالمواحيد المكونة لها، فإن سلاسل البوليمرات في أي مادة لا يكون لها نفس الطول. وهذا بعكس الجزيئات الأخرى التي تتكون من عدد معين من الذرات، ويكون لكل جزيء ووزن جزيئي محدد. وتختلف أطوال سلاسل البوليمرات لإن السلاسل تنتهي بطريقة عشوائية أثناء تطور عملية البلمرة. [٩]

البروتينات ما هي إلا حموض أمينية في شكل بوليمر. ومن دستة إلى عدة مئات تقريبا من أشكال المواحيد التي تكون السلسلة، فإن التتابع الذي يتكون به البروتين يحدد خواصه ونشاطه. ولكن يوجد في هذه البروتينات ما يسمى مناطق نشيطة، والتي تكون محاطة بما يعتقد بأنه مناطق تركيبية، والتي يكون دورها الأساسي هو إظهار هذه المنطقة/المناطق النشطة. وعلى ذلك فإن التتابع الأصلي للحمض الأميني ليس له أهمية كبيرة، طالما أن هذه المناطق النشطة يمكن الوصول إليها بفاعلية. وحيث أن تكون البولي إثيلين يحدث بطريقة عشوائية، فإن من يقوم بتصنيع البروتينات الحيوية والحموض النووية يجب أن يكون لديهم عامل حفز (مادة تقوم بتسيهل أو تعجيل التفاعل). ومنذ الخمسينيات من القرن العشرين، كان للعوامل الحفازة دور كبير في تصنيع البوليمرات. وبوجود مزيد من التحكم في تفاعلات البلمرة، فقد صنعت بوليمرات ذات خصائص فريدة، مثل القدرة على إصدار ضوء ملون. [١٠]

وللحصول على خصائص جيدة للمبلمر فإنه لابد من ضبط عدة عوامل. وهذا لأن البوليمر يتكون في الحقيقة من توزيعات من السلاسل بأطوال مختلفة، وكل سلسلة تتكون من حصيلة المونومرات (المواحيد) التي تؤثر على خواص البوليمر. وبعض هذه العوامل مشروحة بالأسفل.

١-٤ تحضير البوليمرات

البوليمرات الاصطناعية هي بوليمرات من صنع الانسان. من وجهة نظر فائدة يمكن تصنيفها إلى أربع فئات رئيسية هي : اللدائن الحرارية، واللدائن الحرارية الصلبة، واللدائن والألياف الاصطناعية . توجد عادة في مجموعة متنوعة من المنتجات الاستهلاكية مثل المال، والغراء، وما إلى ذلك.

يتوفر نطاق واسع من البوليمرات الصناعية مع اختلافات في السلسلة الرئيسية اضافة إلى السلسلة الفرعية. الاساس للبوليمرات الصناعية الشائعة مثل البولي ايثيلين تتكون من روابط كربون-كربون، اما البوليمرات غير المتجانسة مثل البلاستيكيات و البولي ايسترات فانها تتكون من عناصر اخرى مثل

الاكسجين و النايتروجين اللتي يتم ادخالها إلى الاساس للتركيب. السيليكون ايضا يكون مواد مشابهة من دون الحاجة إلى ذرات كربون مثل وصلات السيليكون و السايلوكساين؛ و بناءا على ذلك تعتبر هذه المركبات غير عضوية. بوليمرات التنسيق ممكن ان تحتوي على بعض الفلزات في تركيبها الاساسي مع روابط غير تشاركية. [١٠]

تشمل بعض البوليمرات الاصطناعية المنزلية المعروفة: النيلونات في المنسوجات والأقمشة، تفلون في المقالي غير اللاصقة، و Bakelite للمفاتيح الكهربائية، والبولي فينيل كلوريد (PVC) في الأنابيب، الخ. زجاجات PET العامة مصنوعة من البوليمر الاصطناعي، البولي إيثيلين تيريفثاليت. مصنوعة في الغالب من مجموعات بلاستيكية والأغطية من البوليمرات الاصطناعية مثل البوليثين ويتم تصنيع الإطارات من المطاط بونا. ومع ذلك، ونظراً للقضايا البيئية التي تسببها هذه البوليمرات الاصطناعية التي لا يمكن تحللها في الأغلب، وغالباً ما يتم توليفها من البترول، فإنه يجري النظر في بدائل مثل البيوبلاستيك. ولكنها مكلفة عند مقارنتها بالبوليمرات الاصطناعية. [١١]

١-٥ الخواص الفيزيائية والكيميائية للبوليمرات

تتميز البوليمرات بمجموعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية، والتي تتضح فيما يأتي: [١٢]

❖ **الخصائص الفيزيائية للبوليمرات** :

من أهمّ الخصائص الفيزيائية للبوليمرات ما يأتي:

١) تتمتع بقوة شد كبيرة؛ بسبب ازدياد طول السلسلة.
٢) غير قابلة للذوبان، إذ إنّها تتحول من الحالة البلورية إلى شبه بلورية.
٣) غير موصلة للحرارة، وهي قابلة للتمدد الحراري بكميات واتجاهات مختلفة.

❖ **الخصائص الكيميائية للبوليمرات :**

من أهمّ الخصائص الكيميائيّة للبوليمرات ما يأتي: [١٢]

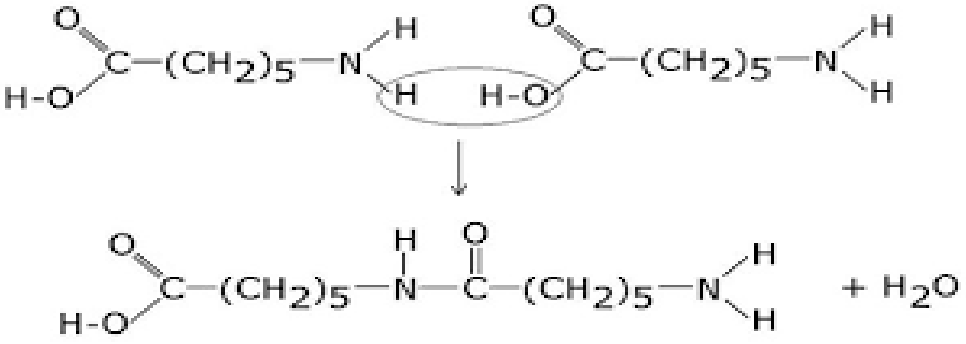
١) تتميز بقوة ربط عرضي؛ نتيجة الترابط الهيدروجيني والأيوني .
٢) تتميز بمرونة عالية؛ بسبب الرابطة ثنائية القطب الناتجة عن السلاسل الجانبية.
٣) تمتلك درجة انصهار منخفضة؛ بسبب السلاسل التي تربط بقوى فان دير فالس الضعيفة.
٤) تتميّز بمعدل نفاذية منخفض جدًا.

١-٦ تكوين البوليمرات

١-٦-١ البلمرة الإسهامية

البلمرة الإسهامية هي بلمرة بنوعين أو أكثر من المواحيد. ومثال لذلك مواحيد الحموض الأمينية التي ذكرت من قبل، والتي تتكون منها البروتينات. البلمرة الإسهامية لمواحيد مختلفة ينتج عنها بوليمرات بخواص مختلفة. فمثلا، البلمرة الإسهامية لاثنين بكميات قليلة من الهيكسين hex-1-ene هي طريقة لإنتاج بولي إثيلين خطي قليل الكثافة (Linear Low Density Polyethylene LLDPE) " اقرأ بولي إثيلين. تفرعات C4 التي تنتج من الهيكسين تقلل الكثافة وتمنع تكون مناطق متبلورة في البوليمر كما يحدث في البولي إثيلين عالي الكثافة (HDPE). وهذا يعنى أن (LLDPE) يمكن أن يتحمل قوى الشد مع بقائها مرنة. [١٣]

والشكل القادم يوضح نوع معين من البلمرة الإسهامية تسمى البلمرة التكاثفية. وفي هذا النوع بالتحديد يطلق جزيء صغير أثناء البلمرة. في شكل التفاعل الآتي يطلق جزيء الماء ويتكون النايلون. ويمكن التحكم بنوع النايلون (اسمه وخواصه) بمجموعتي R، R' المستخدمة.



١-٧ استخدامات البوليمرات وتطبيقاتها

تُستخدم البوليمرات في عدة مجالات مثل الصناعة، والطب، والزراعة، والتطبيقات الهندسية، والتطبيقات الطبية الحيوية، ويمكن توضيح ذلك فيما يأتي: [١٤]

١-٧-١ استخدامات البوليمرات في الصناعة

تُستخدم أنواع عدة من البوليمرات في الصناعة، وفيما يأتي توضيح لها:

- **البولي بروبين :** يُستخدم في صناعة المنسوجات، وأدوات التعبئة والتغليف والقرطاسية والحبال والألعاب، أيضًا يستخدم في صناعة البلاستيك وهياكل الطائرات، وفي عملية البناء.
- **البوليسترين :** يُستخدم في صناعة أدوات التعبئة والتغليف، والعبوات الزجاجية، والألعاب، كما يدخل أيضًا في صناعة الحاويات، والنظارات، والخزائن، والأغطية، بالإضافة إلى الأدوات المنزلية التي تستخدم لمرة واحدة، كما أنّه يستخدم في عملية العزل.
- **الباكليت :** يُستخدم في صناعة المفاتيح الكهربائية، والمواد العازلة، والأسلحة النارية، وأدوات المطبخ مثل الأكواب ودلال القهوة، كما يستخدم أيضًا في تصنيع الألعاب، والمجوهرات، وأقراص الكمبيوتر.
- **بولي فينيل كلوريد :** يَدخل في صناعة الأنابيب المستخدمة في شبكات الصرف الصحي، كما يعد عازلًا كهربائيًا، إذ إنّه يستخدم في صنع الكابلات الكهربائية.
- **كلوريد البوليفينيل :** يُستخدم في صناعة الملابس والأثاث، ويدخل أيضًا في صناعة أرضيات الفينيل، وفي صناعة الأبواب والنوافذ.
- **راتنجات اليوريا فورمالدهايد :** يدخل في صناعة القوالب، والحاويات غير القابلة للكسر، والمواد اللاصقة، والألواح المصفحة، والقوالب.
- **جليبتال :** يُستخدم في صناعة أنواع مختلفة من الدهانات.

١-٧-٢ استخدامات البوليمرات في الطب

يُوجد عدة استخدامات للبوليمرات في المجال الطبي، وهي كما يأتي: [١٤]

❖ تُستخدم في أجهزة توصيل الأدوية (نظام تقديم الدواء)، والدعامات الوعائية، والخيوط الجراحية، والأجهزة المساعدة في التخلص من الجلطات.

❖ تدخل في علاج تمدد الأوعية الدموية، وانسداد القناة الشريانية، وتقويم الأسنان.

❖ تُستخدم في غسيل الكلى.

❖ تُستخدم في تثبيت العظام وإصلاح الأربطة والأوتار.

❖ تُساعد على تحفيز صناعة الدواء وتجريبه؛ بسبب استجابتها للمثيرات الخارجية للجسم مثل؛ الإجهاد الميكانيكي، الكهرباء، التغير في درجة الحرارة.

❖ تُستخدم في الجراحة التجميلية مثل؛ تكبير محيط الجمجمة والوجه.

❖ تُستعمل كبديل للنواة اللّبية.

تُستخدم البوليمرات في صناعة المواد الطبية الحيوية، مثل: [١٥]

١) صمام القلب، والأوعية الدموية التي تصنع من الداكرون، والتفلون، والبولي يوريثين.

٢) صناعة خيوط الجراحة، والزرعات.

٣) صناعة عدسات العين، وأجهزة تصريف مياه العين الزرقاء.

١-٧-٣ استخدامات البوليمرات في الزراعة

١) تُستخدم البوليمرات في الزراعة كما يأتي:

٢) إنتاج المياه بدون ترك أثر سلبي على الموارد الطبيعة.

٣) زيادة جودة المبيدات الحشرية، وتحسين كفاءة المبيدات العشبية.

٤) توفير التهوية والتغطية عند إضافتها للتربة، وتحسين نموّ النباتات وصحّتها.

٥) إزالة الأيونات المعدنية من التربة والماء.

١-٧-٤ استخدامات البوليمرات في التطبيقات الهندسية

تُستخدم البوليمرات في عدة تطبيقات هندسية، مثل: [١٦]

- البناء والنقل والإلكترونيات.
- المعالجة الكيميائية، فتعد البوليمرات مواد بديلة عن المعادن المختلفة والسبائك.
- هندسة الإلكترونيات والآلات الصناعية.

١-٨ الهدف من البحث

يتم من خلال البحث :

١) التعرف على البوليمرات التي هي مركب كيميائي أو خليط من المركبات المكونة من جزيئات متكررة، والتي تتشكل من خلال عملية البلمرة (Polymerization) ، إذ إنه يعرف باسم الميلمر .
٢) التعرف أيضا على تسمية البوليمرات وخواصها الفيزيائية والكيميائية
٣) وكذلك التعرف على كيفية تحضير وتركيب البوليمرات والاستخدامات المختلفة لها .
٤) التعرف على أنواع مختلفة من البوليمرات وأهم الأمثلة عنها .

الفصل الثاني

أنواع البوليمرات

الفصل الثاني

أنواع البوليمرات

٢-١ مفهوم البوليمرات

يُشير مفهوم البوليمر (Polymer) إلى مركب كيميائي أو خليط من المركبات المكونة من جزيئات متكررة، والتي تتشكّل من خلال عملية البلمرة ، إذ إنّه يعرف باسم المبلمر، حيث تعرف البلمرة بأنّها تفاعل كيميائي يحدث بين جزيئين أو أكثر، حيث يتّحدان لتكوين مركب كيميائي يحتوي على جزيئات هيكلية متكررة . [١٧]

تُعدّ البوليمرات من المواد الطبيعية أو الاصطناعية التي تضم جزيئات كبيرة جدًا من المونومرات (جزيئات كيميائية بسيطة)، كما أنّ البوليمرات تتكون من نوع واحد من المونومرات أو أكثر، وفي حال كان البوليمر يتكوّن من أكثر من نوع من المونومرات، فإنّه يُطلق عليها اسم البوليمرات المشتركة.

يوجد العديد من الأمثلة على البوليمرات في الكائنات الحية مثل: البروتينات، والسليلوز، والأحماض النووية، كما تعدّ البوليمرات من مكونات المعادن مثل؛ الألماس، والكوارتز، والفلسبار، وفي بعض المواد المصنوعة مثل؛ الزجاج، والورق، والبلاستيك، والمطاط . [١٨]

٢-٢ أنواع البوليمرات

ان البوليمرات لها اصناف مختلفة وتعتمد توزيع انواع البوليمرات حسب تصنيفها وهي كلتالي :-

٢-٢-١ التصنيف المعتمد على مصادر البوليمرات Classification Based on Sources

تصنف البوليمرات من حيث مصادرها الى ثلاثة أصناف رئيسية :

أ) **البوليمرات الطبيعية المصدر** (Natural Polymers)

وتنقسم هذه البوليمرات الى :

❖ **بوليمرات من مصدر عضوي** (Organic)

تعتبر هذه البوليمرات منتجات طبيعية نباتية أو حيوانية ومن الأمثلة على ذلك : السليلوز ، النشأ ، الصمغ العربي ، القطن ، المطاط الطبيعي ، الحرير ، البروتينات ، الأحماض النيكيولية ، الصوف ، الشعر ، الجلد ، وغيرها . وتكون هذه البوليمرات غالية الثمن وذلك لصعوبة الحصول عليها لذلك فإن استخداماتها محدودة نسبياً . [١٨]

❖ بوليمرات من مصادر غير عضوية (Inorganic)

مثل : الأسبستوس – الجرافيت - الزجاج .

ب) البوليمرات المحضرة صناعيا (البوليمرات الصناعية) Synthetic Polymers

وهذه تشمل البوليمرات التي يجري تحضيرها من مركبات كيميائية بسيطة وتمثل هذه الأغلبية العظمى من البوليمرات المهمة صناعياً . وهذه تشتمل على البلاستيكات المختلفة ، المطاط الصناعي ، والألياف الصناعية وغيرها . وينقسم هذا النوع الى : [١٨,١٩]

(١) بوليمرات عضوية

مثل البولي أستر – البولي أميد – البولي إيثيلين – البولي أكريليك – البولي كربونات – البولي بروبيلين – وغيرها .

(٢) بوليمرات غير عضوية

مثل بوليمرات البولي سيليكون .

ج) البوليمرات الطبيعية المحورة Modified Natural Polymers

بوليمرات معاد تصنيعها من بوليمرات طبيعية وتشتمل هذه على بعض البوليمرات الطبيعية التي تجري عليه بعض التحويرات إما بتغيير تركيبها الكيميائي كإدخال مجاميع جديدة في البوليمر ، أو تغيير تركيب بعض المجاميع الفعالة الموجودة فيه أو بتطعيم بوليمر طبيعي على بوليمر صناعي والعكس .[١٩]

ومن الأمثلة على البوليمرات الطبيعية المحورة : خلات السليلوز (acetate cellulose) ، نترات السليلوز (cellulose nitrate) ، سليلوز مرسب (فسكوز) ، سلوفان ، صوف صناعي ، القطن المطعم بألياف الأكريليك وغيرها .

ويمكن توضيح أهمية هذه البوليمرات بأخذ خلات السليلوز كمثال . إن السليلوز بوليمر طبيعي صعب الذوبان في معظم المذيبات العضوية ولا ينصهر لذلك ، فإن تصنيعه صعب جداً بشكله الطبيعي وذلك بسبب الأواصر الهيدروجينية القوية الموجودة فيه والتي تقلل من ذوبانه وانصهاره . ولكن عند تحويل عدد من مجاميع الهيدروكسيل في كل وحدة تركيبية من السليلوز إلى استر الخلات بحدود ثلاثة مجاميع أو أقل فإن خلات السليلوز الناتجة تذوب في معظم المذيبات العضوية وبالنتيجة يمكن تحويل محلول البوليمر إلى ألياف صناعية أو رقوق بلاستيكية (Films) وغيرها من الإستخدامات الأخرى . [٢٠]

٢-٢-٢ التصنيف المعتمد على الطبيعة الكيميائية للبوليمر

Classification Based on the Chemical Nature of Polymer

تصنف البوليمرات على أساس كونها بوليمرات عضوية أو غير عضوية الى ثلاثة أصناف رئيسية :

أ) البوليمرات العضوية Organic Polymers

تحضر هذه البوليمرات من مركبات عضوية (وحدات تركيبية عضوية متكررة أو أنها ناتجة من مصدر عضوي و وهذه أكثر البوليمرات أهمية في الصناعة في الوقت الحاضر .

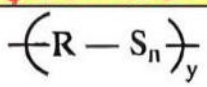
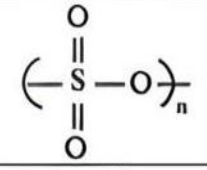
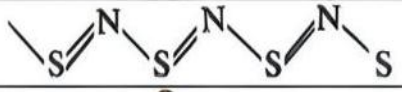
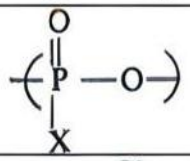
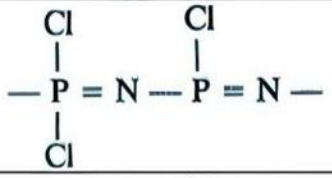
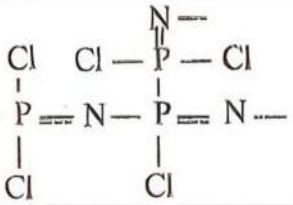
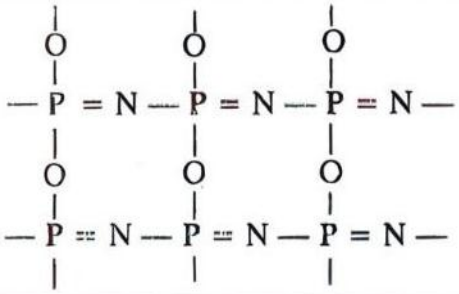
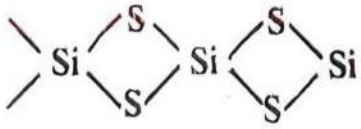
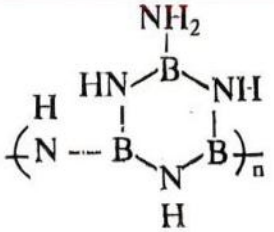
ب) البوليمرات غير العضوية Pure Inorganic Polymers

وهذه البوليمرات تتكون عادة من مركبات غير عضوية . وتتكون سلاسلها الجزيئية البوليمرية عادة من السيليكون (-Si-) فقط أو النيتروجين (-N-) أو الفوسفور والنيتروجين معاً (-P - N-) أو البورون والنيتروجين (-B - N) . [٢١]

وتمتاز مثل هذه البوليمرات بمقاومتها العالية للحرارة ولفعل المواد الكيميائية . هنالك عدد كبير من هذه البوليمرات المحضرة من مركبات الكبريت والفوسفور والسليكون والبورون ويبين الجدول (١) تركيب بعض أنواع البوليمرات غير العضوية وبعض خواصها الفيزيائية والكيميائية .

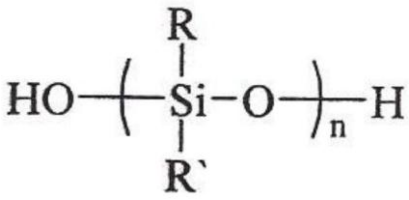
إلا أن الإستخدامات الصناعية لهذه البوليمرات محدودة في الوقـــــت الحاضر عدا بوليمرات السيليكون (silicon polymers) التي تستخدم في صناعة الألياف الزجاجية (fibers glass) والبولي : يليكات (أسبستوس (poly silicates) وبولي أكسيد السيليكون (الزجاج) وغيرها . [٢٢]

جدول (١) تركيب بعض البوليمرات غير العضوية . [٢٣]

البوليمر	التركيب الكيميائي	الخواص
بولي كبريتيد polysulphide		
بولي (أكسيد الكبريت) poly (sulphure oxide)		
بولي نتريد الكبريت poly (sylphonitide)		
بولى (أكسى هاليد الفوسفور) poly (oxyphosphohalide)		ذو مقاومة جيدة للحرارة
بولي (كلوريد الفوسفونتريليك) poly(phosphonitrilic chloride)		يتفكك فوق 350 °C
بولي فوسفازين polyphosphazene		مقاوم جيد للحرارة ينصهر فوق 1000 °C
بولى (أوكسونتريد الفوسفور) polyphospho-oxonitride		
بولي (ثنائي كبريتيد السيليكون) poly (silicon disulphide)		مقاوم جيد للحرارة، يتسامى عند تسخينه فوق (1200 °C)، يكون ألياف شبيهة بألياف الاسبست.
بولي (بورازول) poly borazole		بوليمر ينصهر فوق 300 °C لا يذوب في معظم المذيبات العضوية

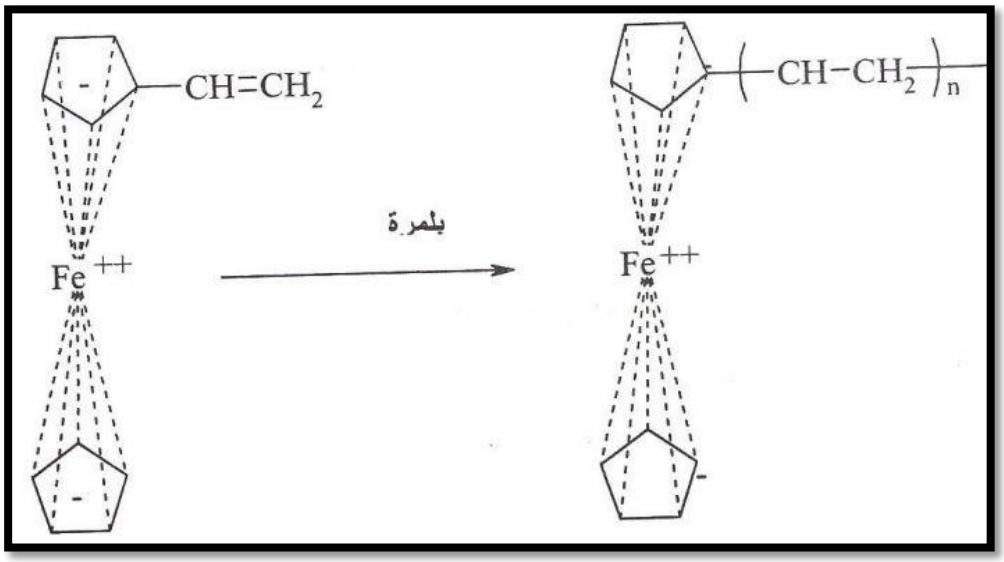
ج) البوليمرات العضوية ـ غير العضوية (Organic - Inorganic Polymers)

يشمل هذا الصنف على البوليمرات التي تتكون من وحدات تركيبية تحوي على بعض العناصر المعدنية إضافة إلى وجود بعض المجاميع العضوية تمتاز هذه البوليمرات بمقاومتها الجيدة للحرارة . ومن الأمثلة على هذا الصنف بوليمرات السيليكون Silicon Polymers وأدناه الصيغة الجزيئية للوحدة المتكررة في إحدى أنواع هذه البوليمرات : [٢٤]



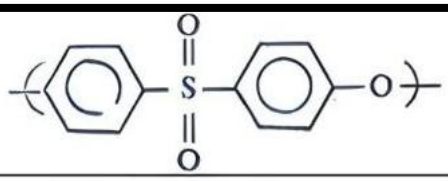
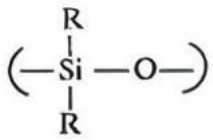
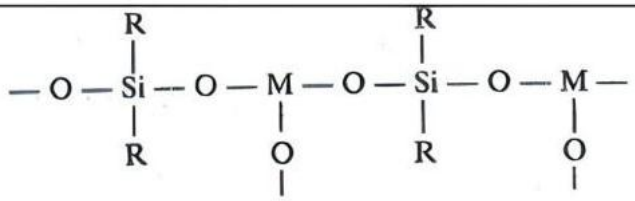
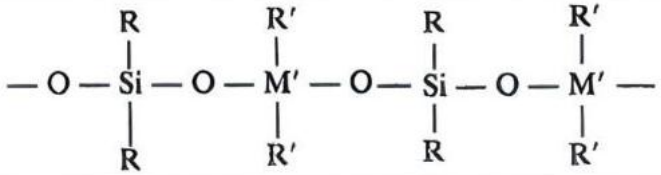
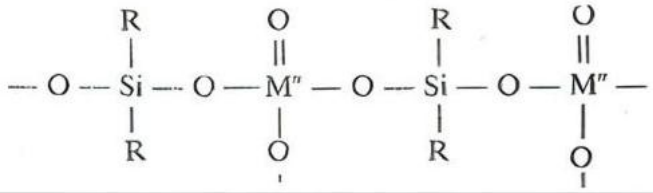
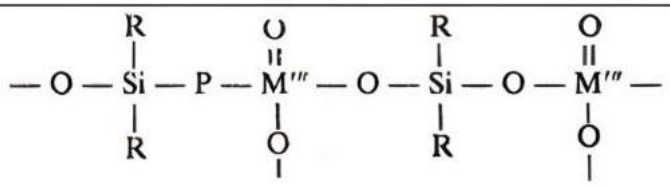
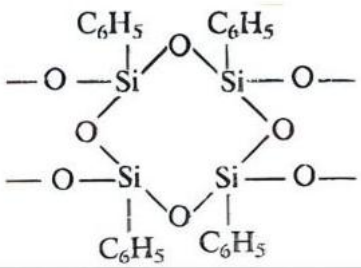
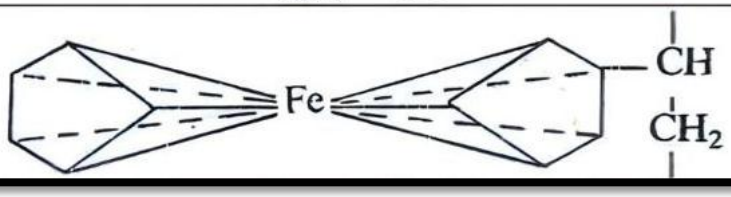
حيث (R,R') تمثل مجاميع عضوية مختلفة .

ويمكن أن يصنف هذا النوع الى بوليمرات متضمنة ارتباطات معدنية (co - ordination polymers) ويسمى في بعض المصادر بـ (metal chelate polymers) حيث يدخل أيون معدني (metal (ion) ضمن السلسلة البوليمرية العضوية بحيث تكون الرابطة بين العنصر المعدني والجزء العضوي من الجزيئة هي رابطة تناسقية co - ordination bond) . ويمكن تحضير هذا النوع من البوليمرات من بلمرة مونومرات تحتوي على الأيون المعدني ، ومن الأمثلة على ذلك المونومرات الحاوية : على الفيروسين (ferrocine) كما هو مبين أدناه في الشكل (٢-١) التالي : [٢٥]



ويبين الشكل (٢-١) بعض الأنواع الهامة من هذه البوليمرات . [٢٥]

ويبين الجدول (٢) بعض الأنواع البوليمرات العضوية - غير العضوية . [٢٦]

	بولي سلفون Polysulphone
	بولي سيلوكسان Polysiloxane
	بولي (سيلوكسانات المعدنية) Poly (Metalosiloxane) (M = Al, B)
	M = Sn, Ge
	M" = Ti
 	M''' = P, AS
	بولي (فينيل فيروسين) Poly (Vinylferrocene)

٢-٢-٣ التصنيف التكنولوجي للبوليمرات

تصنيف البوليمرات وفقا لخواص البوليمر الناتج بالنسبة لتأثره بعملية التسخين تصنف البوليمرات بالإعتماد على خواصها التكنولوجية واستخداماتها العملية الى الأصناف التالية :

أ) البلاستيكات المطاوعة للحرارة Thermoplastics

وهي مواد بوليمرية صلبة القوام (hard) عند درجات الحرارة العادية ولكنها تلين بالحرارة (soften) وتتحول الى ما يشبه العجينة بحيث يمكن تغيير هيئتها باليد وإذا زيدت درجة الحرارة أكثر فإن المادة اللينة تنصهر وتسيل (تسمى ببوليمرات الثيرموبلاستيك (thermoplastic) ، وهي تكون معظم البوليمرات التي تستخدم في صناعات البلاستيك والألياف الصناعية . وعند التبريد تمر المادة بجميع المراحل السابقة حيث تتصلب تدريجياً حتى تعود ثانية لتأخذ الحالة الصلبة ولهذا السبب تسمى هذه البوليمرات أحياناً بالبلاستيكات المطاوعة للحرارة (thermoplastics) . وهنالك العديد من البوليمرات التجارية التي تقع ضمن هذا الصنف نذكر منها : البولي إيثيلين البولي ستيرين (polystyrene) ، البولي كربونات (polycarbonates) ، البولي كلوريد الفينيل (poly vinylChloride) ، البولي بروبيلين وغيرها .

يتضمن هذا الصنف البوليمرات التي تتغير صفاتها بتأثير درجة الحرارة ، فبتأثير الحرارة تتحول الى منصهرات . فعندما تقترب درجة الحرارة من درجة انتقالها الزجاجية تصبح مرنة ثم تزداد مرونتها بتحوله إلى منصهرات لزجة . وعند خفض درجة حرارة المنصهر تسترجع حالتها الصلبة القوية وتستغل هذه الخاصية في تصنيع هذا الصنف المهم من البوليمرات ، ويعتبر هذا الصنف من أكثر البوليمرات أهمية صناعياً . ومن الأمثلة على بوليمرات هذا الصنف : بولي إيثيلين ، بولي بروبيلين ، بولي ستيرين ، بولي (كلوريد الفينيل) وغيرها . [٢٦]

ب) البوليمرات المتصلبة حرارياً (غير المطاوعة للحرارة) Thermosetting Polymers

ويشمل هذا الصنف البوليمرات التي لا تنصهر بالتسخين ولكن يساعد التسخين على ثباتها في شكلها النهائي تتصلب بفعل الحرارة والضغط أثناء تحويل معاجينها الى الشكل المطلوب في هذه الحالة يكون بسبب التداخل الفيزيائي لسلاسل البوليمر اللاصق بين السطحين . [٢٧]

أما إذا كانت السطوح غير نفاذة كالمعادن والزجاج وغيرها ففي هذه الحالة يجب أن يكون البوليمر حاوياً على مجاميع مستقطبة لكي تكون عملية اللصق جيدة بفضل القوى التي تحصل بين المجاميع المستقطبة والسطوح المستقطبة غير النفاذة .

ومن الأمثلة على البوليمرات المستخدمة كلواصق : البوليمرات الطبيعية كالصمغ العربي (arabic gum) والصمغ الحيواني . والمطاط الطبيعي . والألبومين والدكسترين والنشأ وغيرها . وهناك أصناف أخرى من البوليمرات يعتمد تصنيفها على استخداماتها ومنها الأصماغ - الأفلام أو الرقائق البلاستيكية films - الأصباغ البلاستيكية وغيرها . [٢٨]

ج) البوليمرات المرنة المطاطية Elastomers

للبوليمرات المرنة المتمثلة بالمطاط بأنواعه صفات متميزة كالاستطالة (extensibility or elongation) بالضغط وقابليتها على التمدد والتقلص (resilience or resiliency) .

إن قابلية هذا الصنف من البوليمرات لإظهار صفات المرونة تعتمد على طبيعة الجزيئات البوليمرية ذات السلاسل الطويلة المرنة الموجودة في وضعيات ملتفة على بعضها بصورة عشوائية بحيث أن معدل المسافة بين نهايتي جزيئة البوليمر أقل بكثير من المسافة عندما تكون الجزيئة في الوضعية الممتدة . وبصورة عامة تكون درجة حرارة الإنتقال الزجاجية للبوليمرات المرنة أقل من درجة الحرارة التي تستخدم فيها حيث تكون السلاسل البوليمرية حرة في الحركة الموضعية . [٢٨]

وتتميز البوليمرات المرنة بانخفاض درجة انتقالها الزجاجية (Tg) .

د) الألياف Fibers

وتشمل هذه البوليمرات الصالحة لصناعة الخيوط المستخدمة في صناعة الأقمشة والفرش ، وتكون هذه البوليمرات عادة من النوع المتبلور (crystalline polymer) وذات قوى تماسك كبيرة بين جزيئاتها .

يتميز هذا الصنف من البوليمرات بمواصفات خاصة : [٢٩]

١) كالقوة والمتانة .
٢) وقابليتها على التبلور .

٣) ويجب أن تكون السلاسل البوليمرية قادرة على الترتيب باتجاه محور الليف لكي تكسبه القوة والمتانة .
٤) ويجب أن تكون درجة انتقالها الزجاجية (T) مرتفعة نسبياً تقاوم ظروف الإستخدام كالغسل والكوي وغيرها .
٥) ويجب أن تكون السلاسل البوليمرية خطية وليست متفرعة لكي يمكنها أن تتراص باتجاه محور الليف.
٦) ويجب أن تكون القوى الجزيئية فيها عالية . لذلك يستوجب أن تحتوي سلاسل البوليمر على مجاميع مستقطبة قادرة على ربط سلاسل البوليمر مع بعضها .
٧) ويجب أن تكون هذه البوليمرات ثابتة تجاه الحرارة والضوء والأكسدة والتحلل تحت ظروف الغسل والإستخدام .
٨) ويجب أن تكون قادرة على تقبل الأصباغ (لها قابلية جيدة للصباغة) وذات قابلية لامتصاص الرطوبة الناتجة عن العرق لتبديد الشحنات المستقرة (Static Charges) الناتجة عن احتكاك الملابس مع الجسم .
٩) من مواصفاتها منع الشحنات المستقرة .

ومن أهم بوليمرات هذا الصنف :

- النايلون (البولي أميدات) .
- البولي أسترات الخطية .
- بولي (أكريلو نتريل) (الألياف الأكريلية) .
- البولي بروبيلين وغيرها .

هـ) اللواصق والمواد الطلائية Adhesive and Coatings

تستخدم نسبة كبيرة من البوليمرات كمواد لاصقة وكمواد طلائية . إن نوعية السطوح اللاصقة هي التي تحدد طبيعة البوليمر المناسب لالتصاقها فإذا كانت السطوح نفاذة مثل الخشب والورق فيمكن استخدام معظم أنواع البوليمرات المعروفة لأن الإلتصاق في هذه الحالة يكون بسبب التداخل الفيزيائي لسلاسل البوليمر اللاصق بين السطحين . [٣٠]

أما إذا كانت السطوح غير نفاذة كالمعادن والزجاج وغيرها ففي هذه الحالة يجب أن يكون البوليمر حاوياً على مجاميع مستقطبة لكي تكون عملية اللصق جيدة بفضل القوى التي تحصل بين المجاميع المستقطبة والسطوح المستقطبة غير النفاذة . [٣١]

ومن الأمثلة على البوليمرات المستخدمة كلواصق :

- البوليمرات الطبيعية كالصمغ العربي (arabic gum) .
- والصمغ الحيواني .
- والمطاط الطبيعي .
- والألبومين .
- والدكسترين .
- والنشأ وغيرها .

وهناك أصناف أخرى من البوليمرات يعتمد تصنيفها على استخداماتها ومنها الأصماغ - الأفلام أو الرقائق البلاستيكية films - الأصباغ البلاستيكية وغيرها . [٣٢]

٢-٢-٤ التصنيف المعتمد على الشكل البنائي لجزيئات البوليمر

Classification Based on the Structural Shape of Molecules

تصنف البوليمرات على أساس الشكل البنائي للجزيئات البوليمرية إلى ثلاثة أصناف رئيسية تختلف في خواصها الفيزيائية والميكانيكية وفي استخداماتها :

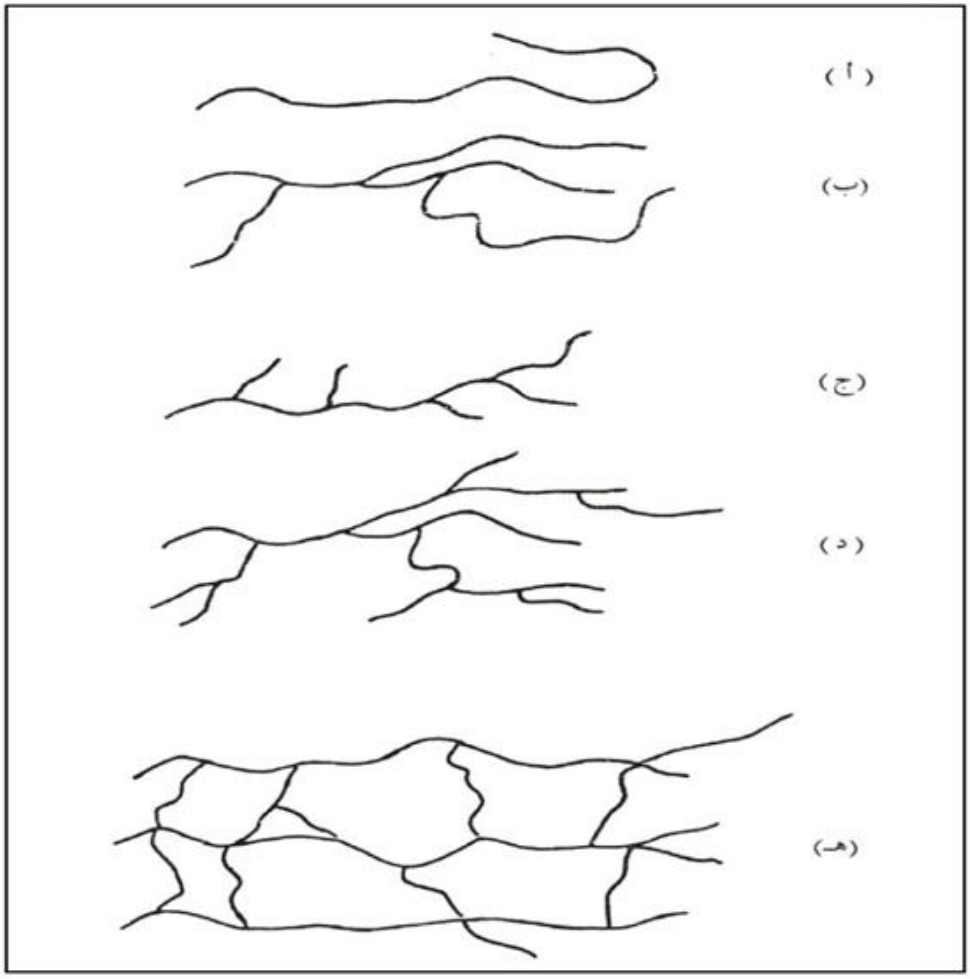
أ) البوليمرات الخطية Linear Polymers

في هذه البوليمرات تكون الوحدة التركيبية مرتبطة مع بعضها بشكل خطي متواصل تحضر هذه البوليمرات بطرق خاصة . ومن مونومرات معينة تكون هذه البوليمرات ذات قابلية على التبلور أكثر من الأصناف البوليمرية الأخرى وتمتاز بخواصها الميكانيكية المرغوبة . [٣٢]

ومن الأمثلة على هذه البوليمرات :

البولي إيثيلين العالي الكثافة (high density - polythylene) الذي يحضر باستخدام عوامل مساعدة من نوع زيجلر - ناتا (Ziegler - Natta catalyst) .

يكون لهذه البوليمرات سلاسل خطية غير متفرعة كما في الشكل (الشكل (٢-٢ أ) . [٣٣]



الشكل (٢-٢) شكل تخطيطي يوضح أنواعاً مختلفة من السلاسل البوليمرية . [٣٣]
(أ) بوليمر خطي . (ب) ، (ج) ، (د) بوليمر متفرع ، (هـ) بوليمر متشابك .

ج) البوليمرات المتشابكة crosslinked polymers

تكون السلاسل البوليمرية في هذا الصنف من البوليمرات متشابكة مع بعضها ومرتبطة مع بعضها بأكثر من موقع واحد (لاحظ الشكل (٢-٢ هـ) أعلاه) .

إن لدرجة التشابك (degree of crosslinking) تأثير كبير على صفات البوليمر الفيزيائية والميكانيكية . [٣٤]

فبازدياد درجة التشابك :

- ❖ تقل الصفات المطاطية .
- ❖ ترتفع درجة الإنصهار .
- ❖ عندما تكون درجة التشابك عالية يصبح البوليمر غير قابل للانصهار وغير موصل للحرارة والكهرباء.

الراتنجات المتصلبة حرارياً (thermosetting resins) ومن الأمثلة على بوليمرات هذا الصنف مثل :

- راتنجات اليوريا فورمالدهيد .
- الفينول فورمالدهيد وغيرها .

Sources المصادر

[1] H. G. Elias , An Introduction to Plastics . VCH , Weinheim (1993) .

[2] R. B. Seymour (Ed .) , in : Pioneers in Polymer Science , pp . 81-91 . Kluwer , Dordrecht (1989) .

[3] J. A. Charrier, Polymeric Materials and Processing . Hanser , Munich (1990).

[4] J. P. Crichley , G. J. Knight and W. W. Wright , Heat Resistant Polymers . Plenum , New York , NY (1983) .

[5] G. Patrick , Practical Guide for PVC . RAPRA , Shrewsbury (2005) .

[6] D. Feldman and A. Barbalata , ties , Applications . Chapman and Hall , London (1996) .

[7] D. Feldman and A. Barbalata , Synthetic Polymers ; Technology , Proper ties , Applications . Chapman and Hall , London (1996) .

[8] R. Hirtz and K. Uhlig , in : Polyurethane Handbook , 10 . 6. Hanser , Munich (1985) .

[9] C. Hepburn , Polyurethane Elastomers , 2nd edn . Elsevier Applied Science , London (1992) .

[10] K. Ashida , in : Polymeric Foams , D. Klempner and K. C. Frish (Eds) , pp . 95-131 . Hanser , Munich (1991) .

[11] Anonymous , Polym . News 30 , 97 (2005) .

[12] C. A. May , in : Epoxy Resins , Chemistry and Technology , C. A. May and Y. Tanaka (Eds) , pp . 1-7 . Marcel Dekker , New York , NY (1973)

[13] H. Ulrich , Introduction to Industrial Polymers . Hanser , Munich (1982) .

[14] T. O. J. Kresser , Polyethylene . Reinhold , New York , NY 11 . Synthetic Polymers ; Technology , Proper 14 . (1961) . G.Ortel (Ed .) , pp.1 .

[15] Goodman and J. A. Rhys , Polyesters , vol . 1 : Saturated Polymers . Iliffe Books , London (1965) .

[16] J. R. Fried , Polymer Science and Technology . Prentice Hall , Upper Saddle River , NJ (1995) .

[17] C. Hall , Polymeric Materials , 2nd edn . Wiley , New York , NY (1989) .

[18] H. Morawetz , Polymers ; The Origins and Growth of a Science . Wiley , New York , NY (1985)

[19] G. B. Apgar and M. J. Koskoski , in : High Performance Polymers ; Their Origin and Development , R. B. Seymour and G. S. Kirshenbaum (Eds) , pp . 55-66 . Elsevier , New York , NY (1986)

[20] K. J. Saunders , Organic Polymer Chemistry . Chapman and Hall , London (1973) .

[21] J. Deyrup , in : High Performance Polymers ; Their Origin and Development , R. B. Seymour and G. S. Kirshenbaum (Eds) , p . 81. Elsevier , New York , NY (1986) .

[22] M. I. Kohan , in : High Performance Polymers ; Their Origin and Development , R. B. Seymour and G. S. Kirshenbaum (Eds) , pp . 19-38 . Elsevier , New York , NY (1986) .

[23] R. D. Stevens , in : Rubber Technology , J. S. Dick (Ed .) , pp . 229-237 . Hanser , Munich (2001) .

[24] Y. Roiter and S. Minko , AFM Single Molecule Experiments at the Solid - Liquid Interface : In Situ Conformation of Adsorbed Flexible Polyelectrolyte Chains , Journal of the American Chemical Society , vol . 127 , iss . 45 , pp . 15688-15689 (2005) .

[25] McGraw - Hill Encyclopedia of Science & Technology , 10th Edition , Volume 14 (PLAS - QUI) , page.162 .

[26] McCrum N. G. , Buckley C. P. , Bucknall C. B. , Principles of Polymer Engineering , Oxford University Press , 1997 , p1 .

[27] Painter P. C. , Coleman M. M. , Fundamentals of Polymer Science : an Introductory Text , CRC Press , 1997 , p1 . Svenson Sonke (2004) .

[28] Carrier - Based Drug Delivery .Washington , D.C ; American Chemical Society .

[29] G. E. Jones , D. S. Tracey and A. L. Tisler , in : Rubber Technology , J. S. Dick (Ed .) , pp . 173-189 . Hanser , Munich (2001) .

[30] R. L. Zapp and P. Hous , in : Rubber Technology , 2nd edn , M. Morton (Ed .) , pp . 249-273 .

[31] Van Nostrand - Reinhold , New York , NY (1973) .

[32] J. R. Panek , in : Rubber Technology , 2nd edn , M. Morton (Ed .) , pp . 349-367 .

[33] E. I. Borg , in : Rubber Technology , 2nd edn , M. Morton (Ed .) , pp . 220-249 .

[34] R. S. Hanmer and H. E. Railsback , in : Rubber Technology , 2nd edn , M. Morton (Ed .) , pp . 199-219 .