الباب الأول

المركبات العضوية واللاعضوية
ذات الجزيئية الضخمة

المقدمة :

سميت البوليمرات أو مركبات الجزيئات الضخمة بهذا الإسم بسبب كبر وزنها الجزيئى، وهذا يميزها عن مركبات الجزيئات الصغيرة، التى نادراً ما يصل وزنها الجزيئى إلى بضع مئات. ولقد إتفق فى الوقت الحاضر على أن تنسب لمركبات الجزئيات الضخمة، المواد التى يتجاوز وزنها الجزئيى 5000 (حتى عدة ملايين).

وتسمى جزيئات هذه المركبات بالجزيئات الضخمة (macromolecules) ، أما كيمياء هذه المركبات فتدعى بكيمياء الجزيئات الضخمة أو كيمياء البوليمرات. وينحصر المضمون الأساسى لكيمياء مركبات الجزيئات الضخمة فى دراسة الخصائص الموجودة فى القوانين العامة، وفى مفاهيم وطرق الكيمياء، الناتجة عن وجود عدد كبير من الذرات المرتبطة كميائياً فى الجزئ.

المركبات العضوية واللاعضوية ذات الجزيئات الضخمة :

المركبات العضوية ذات الجزيئات الضخمة هى أساس الطبيعة الحية، فالمركبات الهامة الداخلة فى تركيب النباتات، مثل متعدد السكريات، واللجنين، والبروتينات، والمواد البيكتينية، كلها جزيئات ضخمة. كما أن الخواص الميكانيكية الهامة للب الخشب، والقطن، الكتان، ناتجة عن إحتوائها على مقدار كبير من متعدد السكريات ذى جزئ ضخم هو السيللوز. وهناك متعدد السكريات آخر هو النشا، الذى يشكل القسم الرئيسى من تركيب البطاطس، والقمح، والأرز، والذرة، والشعير وبالإضافة إلى ذلك، يعتبر الفحم النباتى، والفحم الحجرى، نواتج التحول الجيولوجى للأنسجة النباتية، وبشكل رئيسى السيللوز والليجنين، لذلك يمكن أن تنسب هذه المواد إلى مركبات الجزيئات الضخمة أيضاً. ونجد فى الجدول (1) تركيب بعض المواد النباتية الهامة.

جدول رقم (1)

النسبة المئوية لمركبات الجزئيات الضخمة فى بعض المواد النباتية

المادة	الكمية مقدرة بالنسبة المئوية من الوزن الجاف				
	السيليلوز	النشا	جولى سكريدات أخرى	الليجنين	المجموع
الخشب					
الأشجار الصنوبرية	56	–	14	27	97
الأشجار المورقة	52	–	23	21	96
النباتات البحرية	6	–	51	–	58
الفحم النباتى	35	–	18	8	61
البطاطا	5	74	4	–	86
القمح	–	71	14	–	85
الذرة	–	66	12	–	78
الأرز	–	75	8	–	83

إن المادة النباتية الموجودة على الكرة الأرضية كبيرة جداً، لدرجة أن عدد المركبات ذات الجزيئات الضخمة الداخلة فى تركيبها يشكل رقماً هائلاً يفوق العدد الكلى لجميع المركبات العضوية الأخرى.

a – الكربوهيدرات كمركبات ضخمة:

عالم النباتات مصنع ضخم للمركبات ذات الجزيئات الضخمة، حيث يتحقق فيه التخليق البيوكيميائى لبولى السكريدات العالية والليجنين. كما أن الإنزيمات (enzymes) البروتينية تلعب دور الحفازات فى عمليات النباتات المعقدة، المؤدية إلى تخليق مواد ذات جزيئات ضخمة. ويشكل ثانى أوكسيد الكربون المادة الأولية فى تخليق الكربوهيدرات (carbohydrates). فهو ينطلق بلا إنقطاع فى الهواء لكونه الناتج النهائى لأكسدة كل المركبات الحاوية على الكربون. أما العملية الطبيعية الوحيدة، التى يتعرض فيها ثانى أوكسيد الكربون لتحول عكسى، هى تمثيله من قبل النباتات. لهذا السبب تتدعم دورة الكربون، ويحتفظ بتوازنه فى الكرة الأرضية.

أما النتيجة النهائية والهامة فى عملية التمثيل هذه، فهى تكوين بولى السكريدات العالية، ويمكن التعبير عنها بالمعادلة :

$$6nCO_2 + 5nH_2O \rightarrow [C_6H_{10}O_5]n + 6nO_2$$

ويتطلب تحقيق هذه العملية، صرف كمية كبيرة من الطاقة المأخوذة من الأشعة الشمسية، إذ تتحول الطاقة الضوئية فى النباتات إلى طاقة كيميائية صعبة الإنتشار، حيث إنها تتجمع فى المادة النباتية، أى فى مركبات الجزيئات الضخمة المتشكلة. أما الطاقة الشمسية المخزونة فتستخدم فى نواح مختلفة، مثال ذلك ما يجرى فى عملية هضم المواد الغذائية من قبل الجسم الحى، أثناء حرق المادة النباتية أو نواتج تحولاتها الجيولوجية (الفحم النباتى، الفحم الحجرى). كما تستخدم أيضاً فى عملية التحولات الكيميائية اللاحقة...إلخ. ويتشكل من جديد ثانى أوكسيد الكربون نتيجة إنطلاق الطاقة المخزونة فى النباتات. وبهذا الشكل تقفل دورة الكربون فى الطبيعة.

b– البروتينات كجزيئات ضخمة :

الطاقة الكيميائية هى النوع الرئيسى من أنواع الطاقة التى تأخذها الأجسام الحية، وينحصر الدور الأساسى فى عالم النباتات، فى إختزان هذه الطاقة، والحفاظ على توازن الكربون فى الطبيعة. فالنباتات نفسها مجموعة معقدة من المركبات العضوية، تشكل الكربوهيدرات ذات الجزيئات الضخمة القسم الرئيسى فيها، كما تشكل البروتينات، التى هى مركبات ذات جزيئات ضخمة أيضاً، أساس العالم الحيوانى، حيث تعتبر القسم الرئيسى الهام فى تركيب كل المواد ذات الأصل الحيوانى تقريباً. إذ تتألف العضلات، والأنسجة الرابطة، الدماغ، والدم، والجلد، والشعر، والصوف، والقرون، من البروتينات ذات الجزيئات الضخمة (جدول 2).

جدول رقم (2)

نسبة وجود البروتينات فى بعض المواد ذات المنشأ الحيوانى

المادة	البروتينات	كمية البروتينات مقدرة بالنسبة المئوية بالوزن الحاف للمادة
أنسجة الإنسان العضلية	الميوجين، الميوزين، الجلوبيولين	80–70
الدماغ	الألبيومين، الجلوبيولين، النيروجلوبيولين	51–31
الدم	الألبيومين، الجلوبيولين، الليسيتين	40
الجلد	الكولاجين، الأيلاستين، الألبيومين	98–93
الصوف	الكيراتين	88–86
الحليب	الكازيين، الألبيومين	24

إن وظيفة البروتينات فى الجسم متعددة الجوانب، فإلى جانب المواد البروتينية، الداخلة فى تركيب الأنسجة اللحائية، والإستنادية، مؤمنة بذلك صلابة الهيكل العظمى، والوظائف الدفاعية، وعمل العضلات، يوجد عدد هائل من البروتينات، التى تلعب دور الحفازات. وتسمى بالأنزيمات، والتى تتحقق بواسطتها كل التحولات الكيميائية المعقدة فى الجسم الحى.

ويحدد الدور، الذى تلعبه البروتينات فى العمليات الحياتية أهميتها بالنسبة للبشرية. "الحياة هى طريقة وجود الأجسام البروتينة، وتنحصر طريقة الموجود هذه فى جوهرها فى عمليات التجدد الذاتى الدائمة للأجزاء الكيميائية المكونة لهذه الأجسام".

وتستخدم البشرية فى حاجاتها مواد متنوعة ذات منشأ حيوانى، أهمها المواد الغذائية (كاللحم، والسمك، والحليب)، والصوف، والحرير الطبيعى، والجلود، حيث تشكل البروتينات العنصر الرئيسى فى تركيبها.

C – الأحماض النووية كمركبات ضخمة :

تلعب الأحماض النووية (nucleic acids) ذات الجزيئات الضخمة، دوراً هاماً فى النشاط الحيوى للأجسام الحيوانية والنباتية، وهى عبارة عن بولى إيثيرات حمض الفوسفوريك وN – الريبوزيدات. كما تشترك هذه الأحماض فى التخليق البيوكيميائى للبروتينات. وتشكل الأحماض النووية منقوصة الأوكسجين (desoxyribonucleic acids) بالإشتراك مع البروتينات، الحامل المادى للوراثة.

وتنتشر مركبات الجزيئات الضخمة المختلطة، وهى البروتينات، التى تحتوى إما على مكون كربوهيدرى أو ليبيدى، أو ترتبط مع الأحماض النووية، ومتعدد السكريات الحاوية إما على مركب بروتينى أو على مركب ليبيدى، أو على الإثنين معاً. وتقوم هذه المركبات المختلفة ذات الجزيئات الضخمة بوظائف هامة جداً فى الجسم، إذ تحدد الفصيلة التى ينتمى إليها جسم الإنسان والحيوان، كما تعين خصائص الميكروبات التى تلعب - كما يبدو - دوراً واضحاً فى ظاهرة المناعة. وتدخل المركبات المختلطة ذات الجزيئات الضخمة فى تركيب أنسجة الجسم العصبية والأنسجة الرابطة وفى السوائل الإفرازية، كما تشترك فى تنظيم العمليات العصبية. وتنتمى أيضاً بعض الأنزيمات والهرمونات المنظمة لنشاط الجسم الحيوى، إلى مركبات الجزيئات الضخمة المختلطة.

فمسألة وجود العالم الحيوانى أو النباتى إذن، هى عملية تشكل وتحول وتفكك الكربوهيدرات والبروتينات ذات الجزيئات الضخمة. فلا توجد فى الطبيعة مواد عضوية تتصف بمثل هذه الأهمية، التى تتصف بها الكربوهيدرات العالية والبروتينات والأحماض النووية.

وهناك نوع آخر هام من المركبات العضوية الطبيعية ذات الجزيئات الضخمة، هى الكاوتشوك الطبيعى، إلا أن دوره فى

الحقيقة ينحصر فقط فى الإستعمالات التكنيكية، وفى نفس الوقت لايمكننا أن نتصور التكنيك الحديث بدون المطاط، الذى تم الحصول عليه لسنوات عديدة من الكاوتشوك الطبيعى فقط. ومنذ وقت غير بعيد تم الحصول على أنواع من الكاوتشوك، تقارب صفاتها صفات الكاوتشوك الطبيعى، وقد تتفوق عليه فى بعض الصفات الأخرى. وتلعب مركبات الجزيئات الضخمة فى المعادن نفس الدور الكبير، الذى تلعبه المركبات العضوية ذات الجزيئات الضخمة فى العالم الحى.

d – المركبات اللا عضوية كجزيئات ضخمة :

ويتألف القسم الرئيسى للقشرة الأرضية من أكاسيد السليكون والألومنيوم وأكاسيد العناصر الأخرى ذات التكافؤ المتعدد، المرتبطة فيما بينها، بشكل جزيئات ضخمة. ومن أكثر هذه الأكاسيد إنتشاراً هو الأوكسيد اللامائى أو انهيدريد السيليكون $[SiO_2]_n$، الذى هو بلا شك مركب ذو جزئ ضخم. ويشكل هذا الأنهيدريد 50٪ من مجموع كتلة الكرة الأرضية، بينما تصل نسبته إلى 60٪ فى القسم الخارجى من القشرة الأرضية (الطبقة الجرانيتية). والمعتقد أن الكمية الرئيسية من السيليكون توجد فى القشرة الأرضية بشكل بوليمرات انهيدريد السيليكون النقى، ويشكل سيليكات معقدة ذات جزيئات ضخمة (وبشكل خاص سيليكات الألومنيوم)، إلا أن كمية قليلة منه تشكل سيليكات ذات جزيئات صغيرة.

ويعتبر الكوارتز أحد أشكال انهيدريد السيليكون الأكثر إنتشاراً، حيث يشكل القسم الأساسى من الرمل والصخور، كما أن البلور الصخرى والأميتيست (الكركهان)، يعتبران من انهيدريد السيليكون البوليمرى النقى تقريباً.

ويوجد أوكسيد الألومنيوم $[Al_2O_3]_n$ البوليمرى فى الطبيعة، بشكل معدن الكورندوم والمعادن الثمينة كالياقوت الأحمر والياقوت الأزرق. والمعتقد أن المواد الطينية تتألف من سيليكات الألومنيوم ذات الجزيئات الضخمة المتغيرة التركيب. ويحتمل أن يكون الأسيستوس والميكا، وهما عبارة عن سيليكات معقدة التركيب، ذات بنية جزيئية ضخمة. كما وتعتبر الأشكال المختلفة للكربون العنصرى (الماس، الجرافيت، الكرون اللابلورى) مواد لها صفات الجزيئات الضخمة.

دور المركبات ذات الجزيئات الضخمة فى الطبيعة :

إن الطبيعة الحية، كما ذكرنا آنفاً، عبارة عن أحد أشكال وجود المركبات العضوية ذات الجزيئات الضخمة، كما أن هذه الطبيعة تتطور بالتعاون مع العالم اللاعضوى، المؤلف بشكل رئسى من مركبات ذات جزيئات ضخمة. لذا يمكن القول أن الماء والهواء منتشران فى الكرة الأرضية بنفس الشكل الواسع الذى تنتشر فيه مركبات الجزيئات الضخمة.

كما تستخدم وتصنع البشرية أيضاً، مواد ذات جزيئات ضخمة، لا تنافسها من حيث الأهمية سوى المعادن المستخدمة كمواد إنشائية، والوقود المستخدم كمنبع للطاقة. والمواد الغذائية (علماً بأن الوقود والمود الغذائية تتألف، بدرجة كبيرة، من مواد ذات جزيئات ضخمة). كما وأن سبب هذا الإنتشار الواسع والأهمية الكبيرة لهذه المركبات ناتج عن خواصها العامة الناجمة عن تعقيد الجزيئات الضخمة وأبعادها الكبيرة.

a – الحركة فى الجزيئات الضخمة :

من المعلوم فى علم الكيمياء أنه كلما إزداد الوزن الجزيئى للمركبات الكيميائية تناقصت قابلية جزيئاتها للحركة. ومن

الضرورى هنا التأكيد على أن ثبات المركبات الضخمة، ليس ناتجاً عن الكمون الثرموديناميكى المنخفض (أى إحتياطى الطاقة الحرة الصغير)، وإنما ناتج عن إنخفاض قابلية الجزيئات الضخمة للحركة، وعن سرعتها البطيئة فى الإنتشار. إن كل التغيرات الفيزيوكيميائية فى الأجسام كالإنصهار، والذوبان، والتبلور، والتبخر، والتحور، لابد وأن ترتبط بإنتقال الجزيئات. وبالتالى تتطلب التحولات الكيميائية، التى لا يمكن أن تحدث بدون إحتكاك مباشر بين جزيئات المواد المتفاعلة، إنتقال ونفوذ أحد المركبات فى كتلة المركب الآخر. فمن البديهى إذن أن تتعرض جزيئات المركبات ذات الجزيئات الصغيرة، التى هى أكثر قابلية على التحرك من الجزيئات الضخمة، للتحولات الكيميائية والفيزيوكيميائية بسهولة أكثر. وتكون الأجسام ذات الجزيئات الضخمة أكثر الأجسام مقاومة للتحولات الكيميائية والفيزيوكيميائية فى الظروف الحرارية للكرة الأرضية. فلو كانت عناصر الطبيعة الحية والجامدة مؤلفة من مركبات ذات جزيئات صغيرة لكان عمرها صغيراً جداً.

ولما كانت المركبات العضوية ذات الجزيئات الضخمة تتعرض للتغيرات بسهولة أكثر من المركبات اللاعضوية. لذا يجرى نمو وتطور الطبيعة الحية بشكل أسرع من نمو وتطور الطبيعة الجامدة. كما أن ثبات الأجسام اللاعضوية ذات الجزيئات الضخمة كبير لدرجة أن التغير الملحوظ فى الطبيعة غير الحية (الجامدة). يتطلب فترات كبيرة من الزمن. تؤلف عصوراً جيولوجية.

b – التنوع فى الجزيئات الضخمة :

ونظراً لعدد الذرات الكبير الموجود فى الجزئ الضخم، قد تحتوى المركبات ذات الجزيئات الضخمة على عدد كبير من الأيزوميرات Isomers حتى فى المركبات البسيطة الأولية (كالهيدروكرونات

المشبقة العالية ذات الجزيئات الضخمة). فمثلاً نجد أن عدد الأيزومرات البنيوية فى الهيدروكربون العالى الحاوى على 14 ذرة كربونية يساوى 1858، فى حين يصل هذا الرقم إلى 366319 فى حالة الهيدروكربون الحاوى على 20 ذرة كربونية. علماً بأن هذه الهيدروكربونات لا تعتبر مركبات ذات جزيئات ضخمة. وتزداد إمكانية الأيزومرية (isomerism) البنيوية، فإذا أخذنا بعين الإعتبار أيضاً عدد الأيزومرات الفراغية (stereoisomers)، يصبح من الواضح عندئذ أن تنوع المركبات ذات الجزيئات الضخمة ليس له حدود. ومن هنا ينتج أيضاً، التنوع الكبير لطواهر الطبيعة وخاصة الظواهر الحياتية، ذلك لأن غالبية العمليات الطبيعية إنما هى عمليات تشكل وتغير، وتحول الأجسام ذات الجزيئات الضخمة.

c – ثبات المركبات ذات الجزيئات الضخمة :

ويعتبر ثبات ومقاومة المركبات ذات الجزيئات الضخمة للتحولات الفيزيوكيميائية، وتعدد أنواعها من الأسباب الرئيسية، التى تحدد دور وإنتشار هذه المركبات فى الطبيعة. وتجرى بلا إنقطاع فى ظروف الكرة الأرضية. التحولات المتبادلة والمتنوعة بين المركبات ذات الجزيئات الضخمة والمركبات ذات الجزيئات الصغيرة. وتعتبر دورة الكربون فى الطبيعة، مثالاً هاماً عى هذه التحولات المتبادلة. كما أن هذا التناوب فى تكون وإنحلال المركبات ذات الجزئيات الضخمة إنما هو من المميزات الخاصة والهامة للتعبير الدقيق عن الحركة الكيميائية للمادة فى الظروف الحرارية للكرة الأرضية. بينما نرى فى درجات الحرارة العالية، كما فى كتلة النجوم الباردة مثلاً، أن التحولات الغالبة هى التحولات المتبادلة للذرات والجزيئات البسيطة، أو العمليات التى تكون فيها الذرات الحرة هى الدقائق الأكثر تعقيداً.

إلا أنه لا يجوز القول، بأن هذه التحولات المتتابعة هى عمليات متناوبة بدقة كاملة. فمثلاً، يتشكل مركب معين ذو جزيئات صغيرة ثم يتحول إلى مركب معلوم ذى جزيئات ضخمة، وبعدها يتفكك هذا الأخير إلى مركبات جديدة معينة ذات جزيئات صغيرة أيضاً....إلخ. وفى الحقيقة أن كلاً من هذه التحولات ليس إلا مجموعة تحولات متتابعة لمركب واحد ذى جزيئات صغيرة، يتحول إلى مركب آخر ذى جزيئات صغيرة أيضاً، ومن مركب ثان إلى ثالث وهكذا إلى أن يحدث فى النهاية تحول مركب ذو جزيئات صغيرة إلى مركب ذى جزيئات ضخمة. أما العملية العكسية فتتألف من تحولات متتابعة أيضا. ومتعددة الأشكال، وتؤدى إلى تفكك المادة المتشكلة ذات جزيئات ضخمة وتحولها أخيراً إلى مركب ذى جزيئات صغيرة. وتؤدى كل هذه التحولات إلى تغير فى خواص المركبات الكيميائية، أى ترافقها تغيرات فى الطاقة إنتقال كتل المواد، وتؤلف بمجموعها العملية العامة لتطور الطبيعة.

d – أسباب بقاء المركبات ذات الجزيئات الضخمة :

إن المركبات ذات الجزيئات الصغيرة تنتقل فى الفراغ بسهولة. وذلك بفضل قابليتها على التحرك، فهى تتصادم وتتفاعل مع بعضها البعض أو مع المركبات ذات الجزيئات الضخمة مؤدية إلى تفكك أو تغير فى شكل هذه المركبات. لذا تعتبر المركبات ذات الجزيئات الصغيرة حوامل (نواقل) الجزيئات الضخمة فى الطبيعة. إن سبب بقاء المركبات ذات الجزيئات الضخمة فى الطبيعة لمدة طويلة وتنوعها هو تعقدها وضعف قابليتها على الحركة.

إن الطرق الملموسة لتكون وتغير، وتفكك المركبات ذات الجزيئات الضخمة، معقدة جداً وذات سمات خاصة بها. ومع ذلك فإننا نصادف فى الطبيعة تطابقاً مدهشاً لعمليات تشكل وتحول البروتين

الذى هو أعقد هذه المركبات إطلاقاً. ويعود الدور الأساسى فى تخليق البروتينات البيوكيميائى إلى الأحماض النووية التى تعين نوعية هذا التخليق. إذ نجد فى بنية الأحماض النووية نفسها الأسس الدقيقة للتخليق الموجه لإستحداث الجزيئات البروتينية. كما تحوى على عوامل نقل صفات الجسم الوراثية. وفى نفس الوقت يساعد الأنزيم البروتينى على تخليق الأحماض النووية. وبولى السكريدات. والمركبات ذات الجزيئات الضخمة الأخرى. كما تشكل مجموعة المواد المعقدة المؤلفة من المركبات البروتينية، والأحماض النووية، والكربوهيدرات، ومنظمات تحولاتها الكيميائية (الإنزيمات، والهرمونات، والفيتامينات)، أساس الحلقة الحياتية للجسم.

e- أهمية مركبات الجزيئات الضخمة فى الصناعة :

تشكل مركبات الجزيئات الضخمة القسم الرئيسى لعدد كبير من مواد البناء، التى يرتبط إستخدامها بتحقيق هذه الوظائف الميكانيكية أو تلك. إذ يجب أن تتصف هذه المواد بالمتانة العالية، والمرونة، والصلابة. ولا تضاهيها فى هذه الخواص سوى الفلزات فقط.

ولا تصنع المواد الطبيعية ذات الجزيئات الضخمة بطرق التكنولوجيا الميكانيكية الصرفة، وبدون إستخدام أى من العمليات التكنولوجية الكيميائية إلا فى عدد قليل من فروع الصناعة: مثل تصنيع الأخشاب. ولكن هناك عدداً كبيراً من الصناعات تتم فيها عمليات التكنولوجيا الكيميائية والميكانيكية معاً عند تصنيع المواد الطبيعية ذات الجزيئات الضخمة. مثلاً، فى صناعة ألياف النسيج القطنية، والصوفية، والكتانية، وفى صناعة الحرير الطبيعى، والفرو، والجلود. إلا أن العمليات الكيميائية التكنولوجية الهامة كصباغة الأنسجة، والألياف، والفرو، ودباغة وتلوين الجلود... إلخ تعتبر ضرورية لإنتاج سلع جاهزة. وعلى العكس، تسود عمليات

المعالجة الكيميائية التكنولوجية فى صناعة الورق، والمطاط العكسى، تسود عمليات المعالجة الكيميائية التكنولوجية فى صناعة الورق، والمطاط العكسى، والمطاط (المستحضر من الكاوتشوك الطبيعى)، وفى صناعة المواد البلاستيكية المستحضرة من البروتينات أو إيثيرات السيللوز، وفى صناعة الأفلام السينمائية، والألياف الإصطناعية.

تقوم بعض فروع الصناعة على تفكيك المواد الطبيعية ذات الجزيئات الضخمة لهدف الحصول على مواد غذائية مفيدة ومواد صناعية ذات جزيئات صغيرة. ومن هذه الفروع التميؤ (إنتاج الكحول الإيثيلى بطريقة تميؤ hydrolysis لب الخشب)، وصناعة النشا، والبيرة، وصناعات أخرى تستخدم فيها عمليات التخمر.

ويزداد كل سنة إنتاج البوليمرات الإصطناعية، أى المركبات ذات الجزيئات الضخمة الناتجة عن مواد صغيرة. كما تنمو بسرعة فروع الصناعة مثل صناعة المواد البلاستيكية، والألياف الإصطناعية، والكاوتشوك الإصطناعى، وصناعة الطلاء، والأصماغ والمواد العازلة للكهرباء، وصناعات أخرى. وتقدم لنا صناعة المواد البلاستيكية فى الوقت الحاضر عدداً كبيراً من المواد البوليمرية الإصطناعية ذات خواص متعددة. وتفوق المقاومة الكيميائية لبعض هذه المواد مقاومة الذهب والبلاتين، كما تحتفظ بخواصها الميكانيكية أثناء التبريد حتى 50oC ، وأثناء التسخين حتى 500oC. ولا تقل متانة بعضها الآخر عن متانة الفلزات، وتقترب متانتها من متانة الماس وتحضر من البوليمرات الإصطناعية مواد بناء خفيفة جداً ومتينة، كما تحضر منها مواد عازلة جداً للكهرباء وقطع للأجهزة الكيميائية لا مثل لها. وتعطينا الآن صناعة المطاط مواد تتفوق على الكاوتشوك الطبيعى فى بعض المواصفات كعدم نفاذيتها للغازات مثلاً، ومقاومتها لتأثير

البنزين والزيوت، وعدم فقدانها لخواص المرونة فى درجات الحرارة ما بين 80oC و 300oC. كما أن الألياف الإصطناعية الجديدة أكثر متانة من الألياف الطبيعية بعدة مرات، ويمكن أن نحصل من هذه الألياف على أنسجة جميلة لا تتجعد، وعلى فراء إصطناعية رائعة. كما تصلح الأنسجة التكنيكية المصنوعة من هذه الألياف الإصطناعية لترشيح الأحماض والقلويات.

ويمكننا أن ننسب صناعة الزجاج، والفخار، ومواد البناء السيليكاتية إلى فروع الصناعة، التى تستخدم المركبات ذات الجزيئات الضخمة. كما تستخدم مركبات الجزيئات الضخمة فى صناعة الصواريخ.

a – علاقة درجة البلمرة مع الوزن الجزئى للبوليمر :

إن جزئ المركب البوليمرى، أو الجزئ الضخم (macromolecule) مبنى من مئات وآلاف الذرات المرتبطة مع بعضها بقوة التكافؤات الرئيسية، منها جزئ السيللوز الضخم $[C_6H_{10}O_5]_n$ والكاوتشوك الطبيعى $[C_5H_8]_n$، وبولى كلور الفينيل $[C_2H_3Cl]_n$ وبولى أوكسيد الإيثيلين $[C_2H_4O]_n$... إلخ. ولكن لا يطبق هذا المفهوم على جميع البوليمرات لذا سنضطر عند دراسة المواد ذات الجزيئات الضخمة التى تتصف ببنية أكثر تعقيداً إلى الرجوع لتعريف مفهوم "الجزئ".

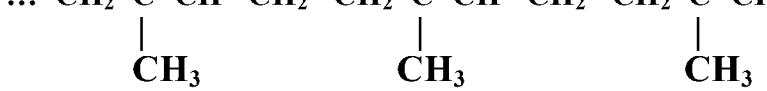
ويرتبط الإنتقال من مركب ذى جزئ صغير إلى مركب ذى جزئ ضخم بالتغييرات الكيفية للخواص الناتجة عن التغيرات الكمية فى الوزن الجزيئى. إلا أنه من الخطأ وضع حد فاصل بين المركبات "الكلاسيكية" ذات الجزيئات الصغيرة وبين المركبات ذات الجزيئات الضخمة، على أساس عدد الذرات الداخلة فى تركيب الجزئ، أو على أساس مقدار الوزن الجزيئى، ذلك لأن هذه التغيرات الكمية قد تظهر فى أنواع مختلفة من المركبات ذات الوزن الجزيئى المتغاير، فمثلاً أن بعض مشتقات السكريات المعقدة (التانين الصينى والتركى) ذات الوزن الجزيئى، هى مركبات كلاسيكية ذات جزيئات صغيرة، الوزن الجزيئى ~1000، هى مركبات كلاسيكية ذات جزيئات صغيرة، فى حين تتمتع البارافينات ذات الوزن الجزئيى 1000 بجميع صفات البوليمرات.

وتتكون غالبية مركبات الجزيئات الضخمة من مجموعات من الذرات المتساوية والمتكررة تدعى بالحلقات الأساسية :

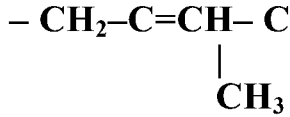
...–A–A–A–A–A–A–A–A–A–A–A–...

وتدعى هذه المركبات ذات الجزيئات الضخمة بالمركبات البوليمرية العالية، أو البوليمرات العالية (high polymers) أو بشكل أبسط بالبوليمرات (polymers) وذلك لتمييزها عن المونوميرات (monomers)، أى المركبات ذات الجزيئات الصغيرة التى تستخدم فى تخليق مركبات الجزيئات الضخمة.

أما الحلقة الأساسية فى جزئ الكاوتشوك الطبيعى الضخم :



فهى عبارة عن القسم التالى من السلسلة :



لذا تكتب الصيغة الإجمالية للكاوتشوك بالشكل التالى $(C_5H_8)_n$ مهملين بذلك الحلقات النهائية للجزئ الضخم، التى تختلف عن الحلقات الوسطى من حيث تركيبها الكيميائى. كما يعتبر انهيدريد الجلوكوز الحلقة الأساسية فى السيليلوز، لذا تكتب الصيغة الإجمالية للسيللوز بالشكل $[C_6H_{10}O_5]_n$ آخذين بعين الإعتبار ما جاء فى المثال السابق. ويدلل الرمز n فى هذه الصيغ على عدد الحلقات الإساسية الداخلة فى تركيب الجزئ الضخم، كما يعبر عن درجة البلمرة DP (degree of polymerization) للمركبات ذات الجزيئات الضخمة.

وترتبط درجة البلمرة مع الوزن الجزيئى للبوليمر (M) بالمعادلة:

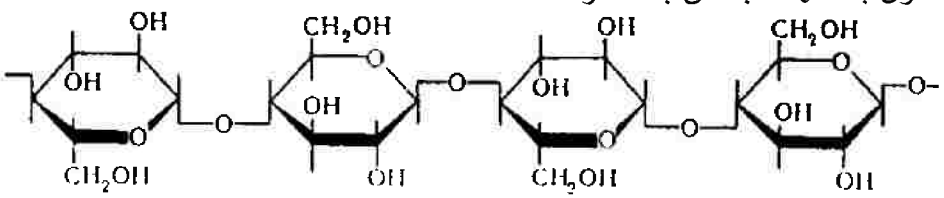
$$DP = \frac{M}{m}$$

حيث m الوزن الجزئى للحلقة الأساسية.

ويساوى الوزن الجزيئى للبوليمر حاصل ضرب الوزن الجزيئى للحلقة الأساسية ^{o} فى درجة البلمرة:

$$M = m \times DP$$

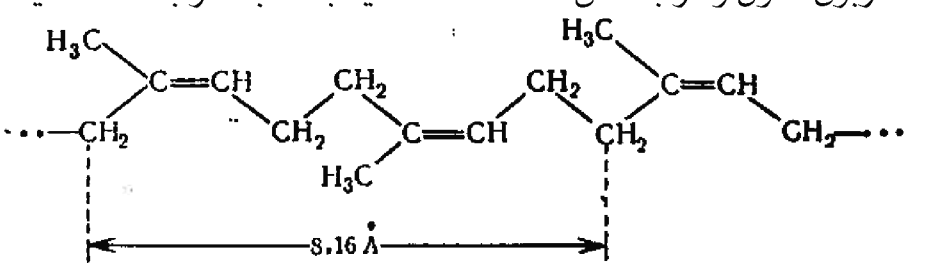
وفى بعض الحالات تختلف الحلقات الأساسية ببنيتها الفراغية علماً بأنها قد تحتوى على تركيب كيميائى واحد. فترى مثلاً أن الحلقات البيرانوزية β–D انهيدريد الجليكوز فى جزئ السيللوز الضخم ملتفة حول بعضها البعض بمقدار 80^{o} :



وتتألف الوحدة البنيوية البسيطة فى جزئ السيللوز الضخم من حلقتين أساسيتين، كما تعين هذه الوحدة دور المطابقة. ويرتبط مفهوم دور المطابقة بالحالة البلورية للبوليمر. فيمكن أن يغير الجزئ الضخم شكله وهو فى حالة منفردة. وتدور حلقاته الأساسية حول بعضها البعض بصور مختلفة. بينما تأخذ حلقات الجزئ الضخم الأساسية وضعاً ثابتاً أثناء تبلور البوليمرات فى أقسام معينة. ولقد تبين أن السلسلة الجزيئية للبوليمر مبنية من أقسام متكررة ذات بنية فراغية واحدة. ويدعى هذا القسم من السلسلة بدور المطابقة.

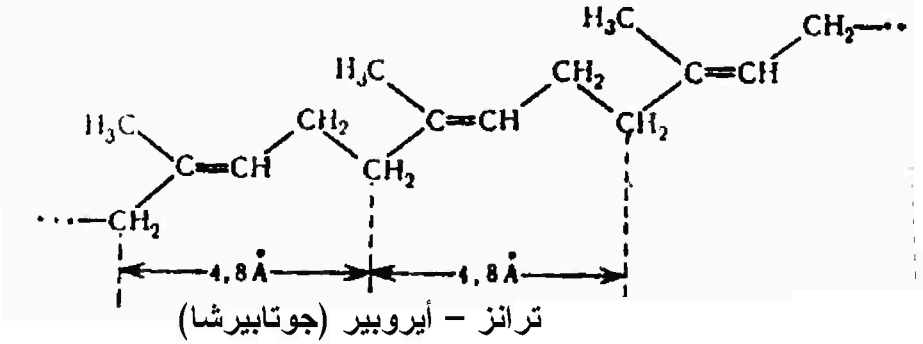
b – الكاوتشوك الطبيعى :

ويتألف الكاوتشوك الطبيعى والجوتا – بيرشا (gutta percha) من حلقات أساسية واحدة تختلف فى وضعها الفراغى، وبالتالى تختلف فى دور المطابقة. ويمتاز الكاوتشوك بالوضع سيس (cis) لذرات الكربون الأول والرابعة من الحلقة الأساسية بالنسبة للرابطة الثنائية:



سيس – أيزومير (كاوتشوك)

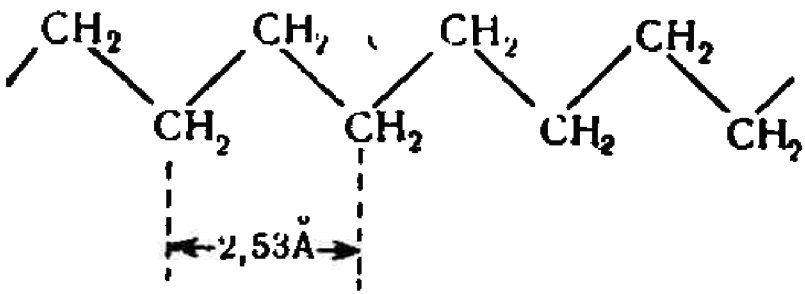
بينما يمتاز الجوتابيرشا بالوضع ترانس (trans) :



ترانز – أيروبير (جوتابيرشا)

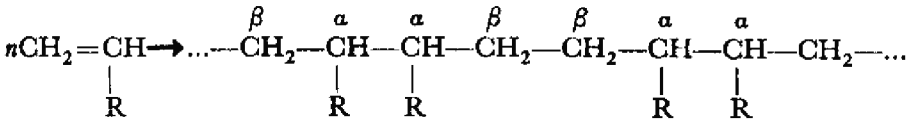
وتعدل قيمة دور المطابقة فى الكاوتشوك البلورى $8.16\ A^{o}$ ، والجونابيرشا $4.8\ A^{o}$ ، ويبدو كما لو أن دور المطابقة يجب أن يزداد بمقدار الضعف أثناء الإنتقال من الجوتا بيرشا إلى الكاوتشوك. إلا أن دور المطابقة يتغير من $4.8\ A^{o}$ إلى $8.16\ A^{o}$ ، وذلك بسبب تغير الزوايا التكافئية والمسافات بين الذرات.

ويتألف جزئ بولى الإيثيلين البلورى الضخم من سلسلة مستوية ومتعرجة من الهيدروكربونات حيث يتجدد دور المطابقة هنا بمقدار أحد تعرجات هذه السلسلة:

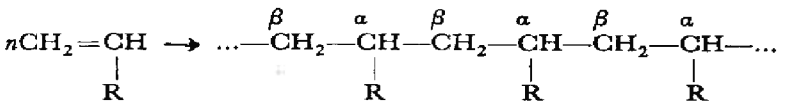


ونرى فى البوليمرات مشتقات الإيثيلين فى الوضع α ذات الشكل $(CH_2=CHR)_n$ إمكانية وضع الشقوق البديلة (substituent– radical) بأشكال مختلفة فى السلسة الجزيئية، وتحدد هذه الأشكال المختلفة، بنظام القسم، كما تتحدد بالوضع الشكلى

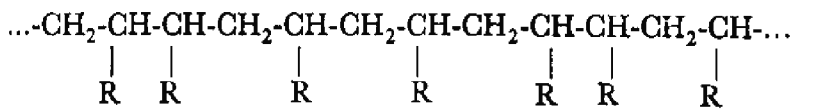
(configuration) للحلقات المونوميرية فى جزئ البوليمر الضخم. وتستطيع جزيئات المونومر الإنضمام حسب الشكل α ، α – ("الرأس إلى الرأس") و β ، β (والذنب إلى الذنب").



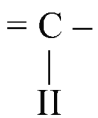
أو حسب الشكل α ، β – ("الرأس إلى الذنب") :



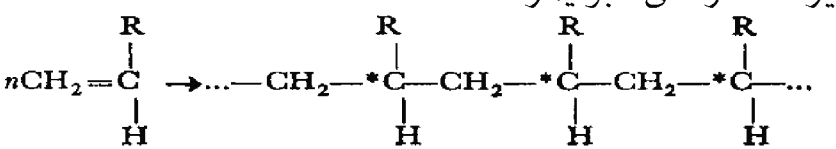
ويمكن أن يحدث إنضمام جزيئات المونومر بشكل غير إختيارى، كأن يتم حسب الشكل α ، α – وحسب الشكل α ، β – معاً :



وعند بلمرة مشتقات الإيثيلين فى الوضع α تصبح ذرات كربون المونومير الثلاثية:



غير متناظرة فى البوليمر:



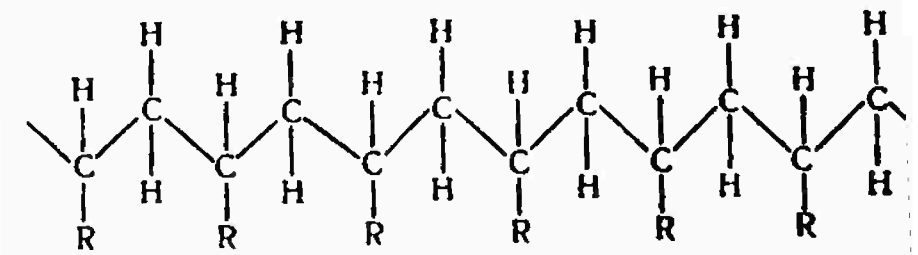
ذلك لأن كل ذرة كربون ترتبط مع أقسام ذات أطوال مختلفة من السلسلة الجزيئية، إلى جانب إرتباطها مع ذرة الهيدروجين والشق (radical).

وتظهر نتيجة ذلك، الأيزوميرية الضوئية (optical isomerism) فى الحلقات الأساسية، التى تتفق توضعاتها الشكلية مع الشكلين D – و L – ويتعلق التوضع الفراغى للمجموعات المتبادلة R بتوزع هذه الأشكال فى السلسلة الجزيئية، تدعى البوليمرات التى تتناوب فيها بدون نظام الذرات غير المتناظرة ذات الأشكالD– و L – بالبوليمرات الآتاكتيكية (atactic polymers). ويمكن تمثيل هذا البوليمر فى المستوى بالشكل التالى :

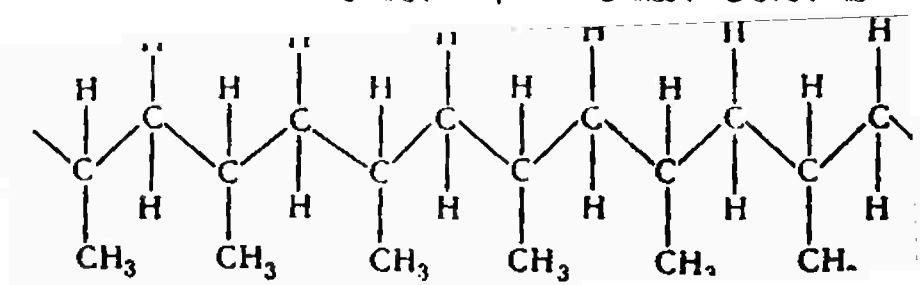
وترتبط الواحدات المونوميرية فى غالبية البوليمرات الآتاكتيكية حسب الشكل α، β – (الرأس إلى الذنب) ولكن قد يصادف شذوذ عن هذه القاعدة.

c–البوليمرات الأيزوتاكتيكية :

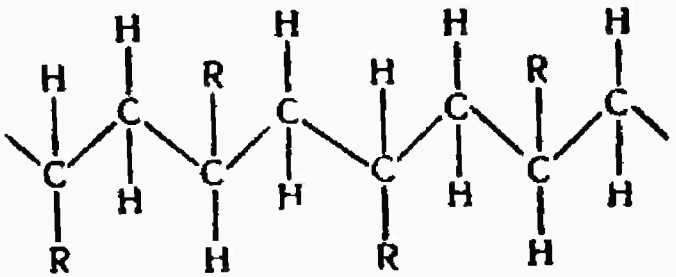
تدعى البوليمرات، التى تكون فيها ذرات الكربون غير المتناظرة ذات شكل واحد (D– أو L–) بالبوليمرات الأيزوتاكتيكية (isotactic polymers). ويمكن أن تأخذ بنية هذا البوليمر المرسومة على المستوى الشكلى التالى:



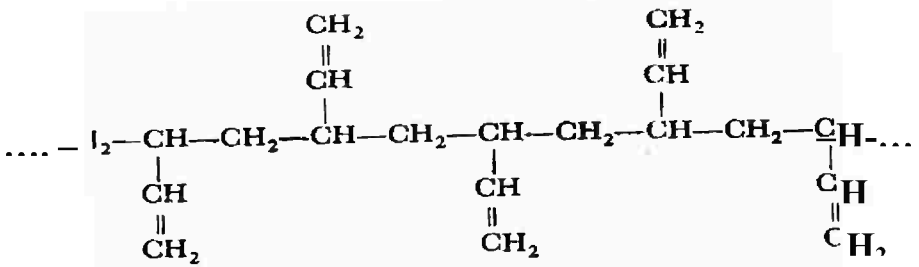
ويعتبر بولى البروبيلن مثالاً لهذه البوليمرات:



وتدعى البوليمرات التى تتناوب بإنتظام فى سلسلتها الجزيئية ذات الكربون غير المتناظرة وذات الشكل D– و L– بالبوليمرات السنديوتاكتيكية (syndiotactic polymers). إذ توضع البديلات فى هذه الحالة على كلتا جهتى السلسلة:



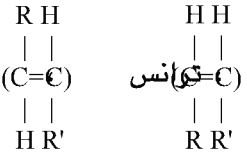
ويعتبر بول البيوتاديين – 1 ، 2 مثالاً لهذه البوليمرات :



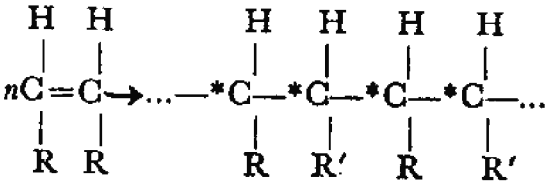
أما فى الحقيقة، فإن البنية الفراغية للبوليمرات الأيزوتاكتيكية والسينديوتاكتيكية أكثر تعقيداً، ذلك لأن جزيئاتها ملفوفة بشكل حلزونى. وتتحد البوليمرات الأيزوتاكتيكية والسينديوتاكتيكية تحت تسمية عامة واحدة، هى البوليمرات المنتظمة فراغياً: (stereoregular polymers) وتكون البوليمرات المنتظمة فراغياً مبنية دائماً وفق الشكل α ، β – "الرأس إلى الذنب".

d – البوليمرات المنتظمة فراغياً :

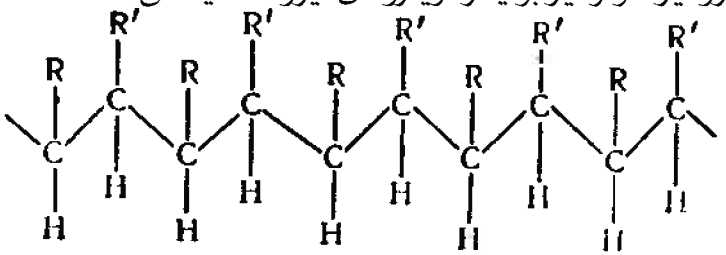
ويمكن الحصول على البوليمرات المنتظمة فراغياً من ثنائى مشتقات الإيثيلين فى الوضع α، β – ذات الشكل R–CH=CH–R' (البوليمرات ثنائية الأيزوتاكتيكية).

حيث توجد أيزومرات معروفة لهذه المونوميرات هى سيس  ترانس

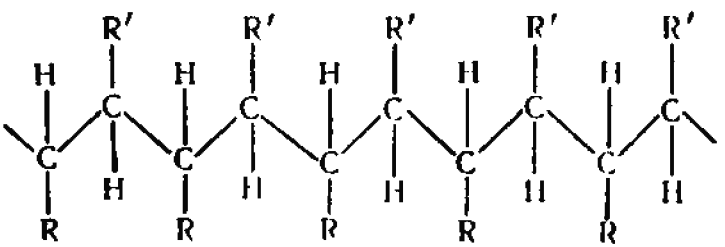
تحتوى على ذرتين كربونيتين ثلاثيتين تصبحان غير متناظرتين فى البوليمر :



ولا تتعلق بنية بوليمرات β,α– ثنائية مشتقات الإيثيلين بدرجة تناوب الحلقات الأساسية ذات الأشكال D– و L– فحسب. بل تتعلق أيضاً بالأيزومرية الهندسية (سيس وترانس) للمونومير الأصلى. ويتشكل من سيس أيزومير المونومير بوليمر أريترو دى أيزوتاكتيكى:



أما من ترانس أيزومير المونومير فنحصل على بوليمر تريو❖ دى أيزوتاكتيكى ذى البنية التالية:



وليست كل المركبات ذات الجزيئات الضخمة مؤلفة من حلقات متناوية ذات تركيب واحد. إذ أن جزيئات بعض المركبات مبنية من عدة حلقات أساسية مختلفة بتركيبها الكيميائى بحيث إن تركيب هذه الحلقات فى السلسلة الجزيئية يكون غير منتظم. مثال ذلك:

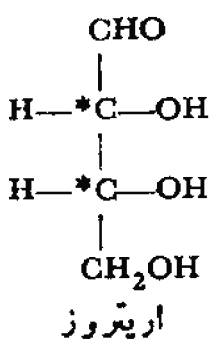
...–A–A–B–A–B–B–B–A–B–A–A–A–B–A–B–B– ...

أو :

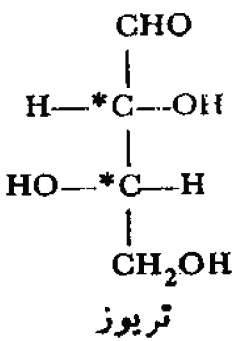
...–A–B–B–C–A–C–C–B–A–B–B–B–C–A–C–C– ...

حيث A و B و C حلقات أساسية مختلفة بتركيبها الكيميائى. وتدعى مثل هذه المركبات بالبوليمرات المشتركة (copolymers).

إن التعبيرين ناريترو ـ، وتريو ـ، مشتقان من تسمية السكريات – تيتروز، التى تختلف عن بعضها البعض بوضع المجموعات المتساوية عند ذرات الكربون غير المتناظرة.



اريترو ز



تريوز

e – البوليمرات المشتركة :

وينتمى إلى البوليمرات المشتركة العديد من البروتينات، واللجنين، والحموض النووية، وبولى السكريات المختلطة، وعدد كبير من المركبات الإصطناعية ذات الجزيئات الضخمة. فمثلاً يمكن البوليمر المشترك المؤلف من كلورو الفينيل $CH_2=CHCl$ وفينيل استات $CH_2 = CH$ بالشكل التالى:

$$
\begin{array}{l}
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad |\\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad OCOCH_3\\
...-CH_2-CHCl-\ CH_2-CH-\ CH_2-CHCl-\ CH_2-CH-\ CH_2-CH-\ ...\\
\qquad\qquad\qquad\qquad\quad |\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad |\qquad\qquad |\\
\qquad\qquad\qquad\qquad OCOCH_3 \qquad\qquad\qquad\quad OCOCH_3\quad OCOCH_3
\end{array}
$$

وقد تتناوب الحلقات الأساسية فى بعض البوليمرات المشتركة بشكل منتظم ولكنها تدخل فى تركيب الجزئ الضخم بشكل قوالب (بلوكات blocks) كما نرى من الشكل:

$$...-A-A-A-A-A-B-B-B-B-B-A-A-A-A-\ ...$$

وتدعى مثل هذه البوليمرات المشتركة بالبوليمرات المشتركة القابلية (block–copoloymers).

وتستخدم الأوليجوميرات (oligomers) لتخليق البوليمرات المشتركة القابلية وهى عبارة عن مواد تحتل من حيث خواصها ووزنها الجزيئى مكاناً وسطاً بين البوليمرات والمونوميرات. ويتراوح الوزن الجزيئى لها بين 500 و 5000 إلا أنها كقاعدة عامة، لا تتصف بصفات مركبات الجزيئات الضخمة كما لا يمكن تصنيفها ضمن المركبات ذات الجزيئات الصغيرة.

ولقد تم الحصول فى السنوات الأخيرة على عدد كبير من البوليمرات المشتركة القالبية الإصطناعية مثل البوليمر المشترك القالبى لأوكسد الإيثيلن وإيثيلين – تيرى فثالات :

$$
\begin{array}{l}
...-CH_2CH_2O-CH_2\ CH_2O-OCRCOOCH_2CH_2O-\\
\qquad\qquad\qquad -OCRCIICH_2CH_2O-CH_2CH_2O-\ ...
\end{array}
$$

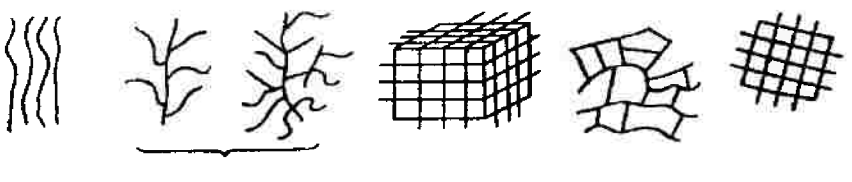
حيث R – شق فينيلى.

وهناك أيضاً بعض البوليمرات الطبيعية ذات بنية شبيهة ببنية البوليمرات المشتركة القابلية.

f – **الشكل الهندسى للبوليمر :**

يحتل تعيين الشكل الهندسى للجزئ الضخم أهمية كبيرة إلى جانب تعيين البنية الكيميائية للحلقات الأساسية ونظام تناوبها ووضعها الفراغى وذلك عند دراسة بنية جزئ البوليمر الضخم. وتقسم البوليمرات، حسب شكل جزيئاتها الضخمة إلى بوليمرات مستقيمة ومتفرعة وشبكية.

ويمثل الشكل (1) بنية البوليميرات المستقيمة (a) والمتفرعة (b) والشبكية (c، d، h).

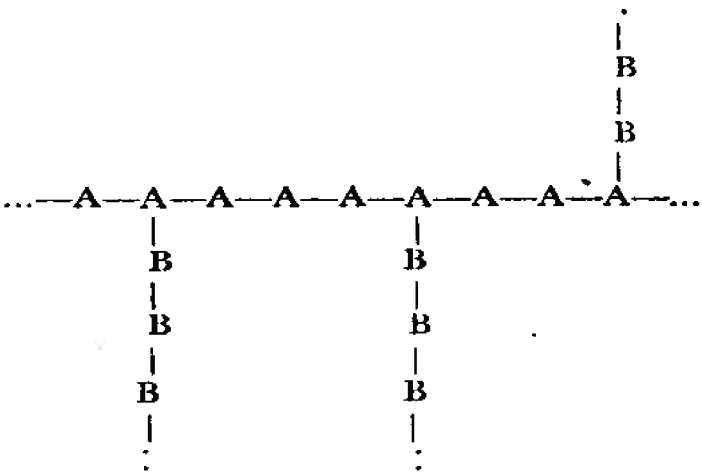


شكل (1) أشكال البوليمرات

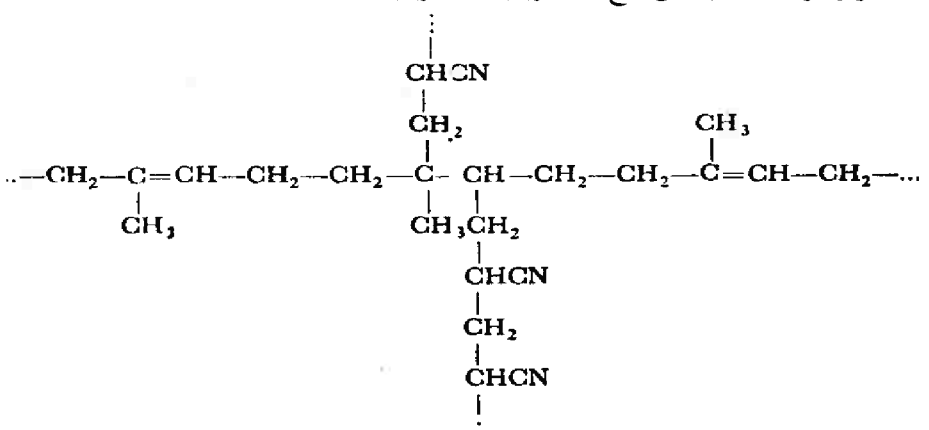
تتألف الجزيئات الضخمة فى البوليمرات الخطية (linear polymers) (شكل 1a) من سلاسل طويلة ذات درجة عدم تناظر (degree of asymmetry) كبيرة جداً (إذ يعادل القياس العرضى لها، وهى فى حالة مشدودة، القياس العرضى لجزئ المونومير بينما يزيد طولها بمئات وآلاف المرات عن هذا المقدار).

وينتمى إلى البوليمرات الخطية السيللوز والكاوتشوك الطبيعى وبعض البروتينات (كالكازئين والزئين)، والأميلوز (أحد الأقسام المكونة للنشا)، وعدد كبير من البوليمرات الإصطناعية. وتتألف الجزئيات الضخمة للبوليمرات المتفرعة(branched polymers) (شكل 1b) من سلاسل ذات تفرعات جانبية، بحيث يمكن أن يكون عدد هذه الفروع الجانبية متبايناً، كما تكون النسبة بين

طول السلسلة الأساسية، وطول السلاسل الفرعية، مختلفة أيضاً. وينتمى إلى البوليمرات المتفرعة الأميلوبيكتين (قسم آخر من الأقسام المكونة للنشا)، والجليكوجين، وبعض المركبات الطبيعية المختلطة ذات الجزيئات الضخمة. ولقد تطورت عملية تخليق هذه البوليمرات تطوراً واسعاً فى السنوات الأخيرة. ويمكننا أثناء عملية التخليق أن نضم ("نطعم") إلى الجزئ الضخم المستقيم، والحاوى على تركيب معين، سلاسل فرعية ذات تركيب آخر :



وتدعى مثل هذه البوليمرات المتفرعة بالبوليمرات المشتركة المطعمة (graft copolymers) ونخص بالذكر منها البوليمر المشترك للكاوتشوك الطبيعى مع أكريل النيتريل:



وتتألف البوليمرات الشبكية (شكل 1 ، c، d، h) من سلاسل جزيئية ضخمة مرتبطة ببعضها البعض بروابط كيميائية عرضية.

كما تدعى البوليمرات الشبكية ذات القياس الثلائى بالبوليمرات الفراغية (space polymers) (شكل 1c) ويعتبر الماس والكوارتز من الأمثلة الكلاسيكية لهذه البوليمرات.

كما يحتوى عدد كبير من المركبات اللاعضوية ذات الجزيئات الضخمة على تركيب فراغى. ومن البوليمرات العضوية الطبيعية التى تنتسب إلى طائفة المركبات ذات الجزيئات الضخمة الفراغية هو الصوف. كما يعرف عدد كبير من البوليمرات الإصطناعية الفراغية.

وتكون السلاسل الرابطة فى البوليمرات الإصطناعية الفراغية أقصر بعدة مرات من السلاسل الأساسية حيث تظهر وكأنها عبارة عن "جسور" بين السلاسل الطويلة وغالباً ما تدعى مثل هذه البوليمرات "بالبوليمرات البنيوية الفراغية" (space cross–linked polymers).

وغالباً ما تكون البوليمرات الفراغية الإصطناعية (شكل 1d) ذات بنية غير منتظمة.

وتدعى البوليمرات الشبكية* التى لها بنية مستوية ذات قياس ثنائى بالبوليمرات الصفائحية. ويعتبر الجرافيت مثالاً على هذه البوليمرات، كما أن لبعض البوليمرات الإصطناعية بنية صفائحية.

يمكن أن تكون الجزيئات الضخمة للبوليمرات المستقيمة جاسئة ولينة. ومؤلفة من حلقات أساسية مستقيمة أو مغلقة. ولكن من الناحية المبدئية تستطيع جميع البوليمرات المستقيمة، والمتفرعة أيضاً، أن تتحول إلى حالة التبعثر الجزيئى (مثلاً أثناء تخفيف المحاليل بدرجة كبيرة). ويكون هذا ممكناً فقط عند إحتواء البوليمر المذكور على نوعين على الأقل من الروابط ذات الطاقات المختلفة تماماً.

---

* تلحق أحياناً بالبوليمرات الشبكية البوليمرات المستقيمة التى تتألف جزيئاتها الضخمة من حلقات متكافئة إذ ينظر فى مثل هذه الحالة إلى كل جزئ لهذا البوليمر وكأنه عبارة عن جزيئين مرتبطين بروابط كيميائية عرضية.

فالبوليمرات الخطية والمتفرعة مؤلفة من جزيئات ضخمة ترتبط بقوى بين الجزيئات (intermolecular forces) كما تقل طاقاتها: 10–50 مرة عن طاقة الروابط الكيميائية. لذا يمكنها الذوبان أو الإنصهار أثناء التسخين.

وغالباً ما يكون إختيار المذيبات لمركبات الجزيئات الضخمة صعباً (فمثلاً لم تكتشف حتى الآن مذيبات لبولى رباعى فلور الإيثيلن $[C_2F_4]n$). ولا تنصهر بعض البوليمرات المستقيمة بدون تفكك غير أن هذا لا يخل بالقوانين العامة لسلوكها.

ترتبط الجزيئات الضخمة فى البوليمرات الشبكية❖ بروابط كيميائية عرضانية، بحيث أن أية محاولة لتقسمها إلى جسيمات مستقلة قد تؤدى إلى تحطيم بنيتها. لهذا السبب، لا تستطيع البوليمرات الفراغية الذوبان أو الإنصهار أثناء التسخين. ويصبح عندئذ مفهوم "الجزئ" فى هذه البوليمرات مفهوماً شرطياً. إذ يطلق عادة إسم الجزيئات الضخمة، فى هذه الحالة، على السلاسل المستقيمة الأساسية دون إدخال "الروابط العرضية"، التى تربط السلاسل، فى هذا المفهوم. أن شرطية هذا التعريف، وعدم تطابقه مع مفهوم "الجزئ" المتعارف عليه، من الأمور الواضحة جداً. إذ يجب، على ما يبدور، إدخال بعض المفاهيم الجديدة والتعابير بالنسبة للبوليمرات ذات البنية الفراغية. ولن يكون هذا ممكناً إلا بالإستناد على الدراسة الدقيقة للبنية الكيميائية وبنية البوليمرات الفراغية فقط.

إذن يختلف مفهوم "الجزئ الضخم"، المستعمل بالنسبة للبوليمرات الخطية والمتفرعة، عن مفهوم "الجزئ" الكلاسيكى، والمتعارف عليه، من حيث كون الأول يتألف من مئات وآلاف الذرات المرتبطة مع بعضها بروابط كيميائية، فى حين نرى أن الجزئ، فى مركبات الجزيئات الصغيرة يتألف من عدة ذرات أو من عشرات الذرات فقط. ويصبح مفهوم "الجزئ" عند تطبيقه على البوليمرات الفراغية مفهوماً شرطياً جداً وغير محدد.

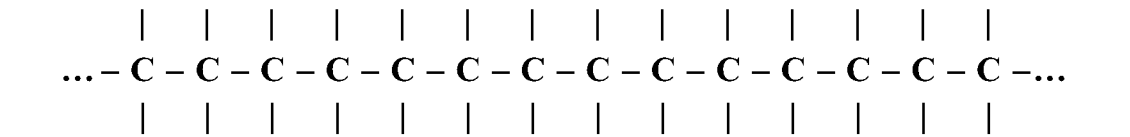
تصنيف وتسمية مركبات الجزيئات الضخمة

يمكن تقسيم جميع مركبات الجزيئات الضخمة حسب منشئها إلى مركبات إصطناعية يحصل عليها بطريقة التخليق من المركبات ذات الجزيئات الصغيرة، وإلى مركبات طبيعية مستخرجة من المواد الطبيعية، وأخيراً إلى مركبات إصطناعية ناتجة بطريقة التحور (التعديل modification) الكيميائى للبوليمرات الطبيعية.

وفى السنوات الأخيرة تم فصل البوليمرات الطبيعية الفعالة بيولوجياً (كالبروتينات والأحماض النووية وعدد من متعددات السكريات والبوليمرات المختلطة) فى مجموعة البوليمرات البيولوجية أو البيوبوليمرات.

تقسم مركبات الجزيئات الضخمة حسب نية سلسلتها الأساسية إلى ثلاث فصائل كبيرة :

1- المركبات التى تتألف سلسلتها الأساسية من ذرات واحدة متساوية كأن تتألف مثلاً من ذرات الكربون (البوليمرات ذات السلاسل الكربونية carbon–chain polymers).

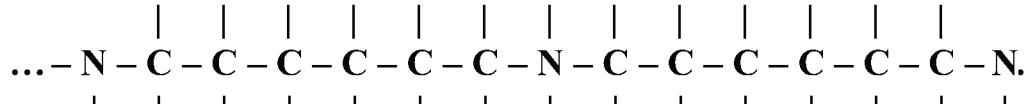


ويمكن أن ترتبط ذرات الكربون فى السلسلة الأساسية بالهيدروجين أو بأية ذرات أو مجموعات أخرى.

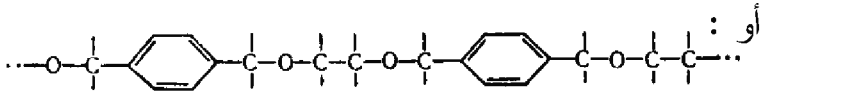
وينتمى الكاوتشوك الطبيعى وهو من البوليمرات الطبيعية العضوية إلى البوليمرات ذات السلاسل الكربونية. كما تنتمى إليها من البوليمرات اللاعضوية جميع أشكال الفحم العنصرى (الفحم اللابلورى، والجرافيت، والماس). وتنتمى أيضاً إلى البوليمرات الإصطناعية ذات السلاسل الكربونية كل

الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة والعطرية ذات الجزيئات الضخمة.

2- المركبات التى تتألف سلسلتها الأساسية من نوعين أو أكثر من العناصر المختلفة، (كأن تتألف مثلاً من الكربون والأوكسجين أو الكربون والنتروجين أو الكربون) أو الكبريت أو السيليكون والأوكسجين. وتشكل هذه المركبات فصيلة البوليمرات ذات السلاسل اللامتجانسة (heterogeneous–chain polymers).



أو :



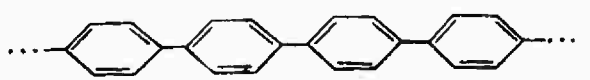
ويمكن أن تدخل البوليمرات العضوية واللاعضوية فى هذه الفصيلة:

وتنتمى البروتينات والأحماض النووية وبولى السكريدات واللجنين وغيرها من المركبات الطبيعية الهامة ذات الجزيئات الضخمة إلى البوليمرات العضوية. ذات السلاسل اللامتجانسة. كما تنتمى بولى الأميدات وبولى الإيثيرات وبولى الأسترات وبولى الأوريتانات وسولفيدات بولى الكيلن وغيرها من البوليمرات الإصطناعية إلى هذه الفصيلة أيضاً.

3- مركبات الجزيئات الضخمة ذات مجموعة الروابط الإقترانية (conjugated) :

...–CH=CH–CH=CH–CH–CH=CH–...

أو :



وتنتمى بعض البوليمرات ذات السلاسل الكربونية وبعض البوليمرات ذات السلاسل اللامتجانسة إلى البوليمرات ذات مجموعة الروابط الإقترافية.

تصنيف مركبات الجزيئات الضخمة الحاوية على سلاسل كربونية :

تصاغ عادة تسمية البوليمرات ذات السلاسل الكربونية من تسمية المونومير الأصلى الداخل كحلقة أساسية فى تركيب جزئ البوليمر الضخم مضافاً إليها المقطع "بولى" (poly). فمثلاً يدعى البوليمر الناتج عن كلوريد الفينيل $CH_2=CHCl$ ببولى كلور الفينيل ويدعى البوليمر الناتج عن الإيثيلن $CH_2=CH_2$ ببولى الإيثيلين ويدعى بوليمر (كلوروالبرين) $CH_2=C-CH=CH_2$ ببولى كلوروالبرين.. إلخ وتجتمع البوليمرات الناتجة عن مشتقات | Cl الإيثيلن الأحادية. والحاوية على الشق الفينيلى، تحت إسم واحد هو البوليمرات الفينيلية، بحيث تنتمى إلى هذه الفئة كل من البوليمرات التالية:

$$\left[-CH_2-CHF-\right]_n \qquad \left[\begin{array}{l}-CH_2-CH-\\ \quad\quad\ |\\ \quad\quad CN\end{array}\right]_n \qquad \left[\begin{array}{l}-CH_2-CH-\\ \quad\quad\ |\\ \quad\quad OH\end{array}\right]_n$$

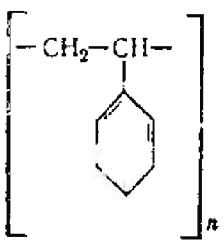
بولى فلور الفينيل　　بولى فينيل السيانيد　　الكحول البوليفينيلى

وتدعى البوليمرات الناتجة عن 1 ، 1 – مشتقات الإيثيلين الثنائية والحاوية على الجذر الفينيليدنى $CH_2=C<$ بالبوليمرات الفينيليدنية. وتنتمى إليها البوليمرات السابقة:

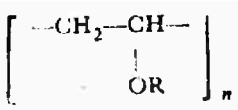
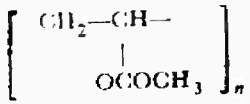
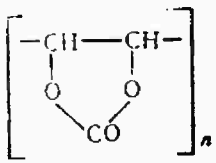
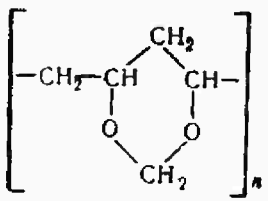
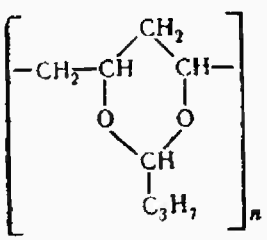
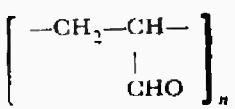
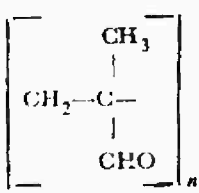
إن جميع البوليمرات ذات السلاسل الكربونية هى هيدروكربونات ذات جزيئات ضخمة أو مشتقات هذه الهيدروكربونات، لذا يمكن تصنيفها إستناداً إلى تصنيف وتسمية الكيمياء العضوية حسب الفصائل التالية (جدول 3).

جدول رقم (3)

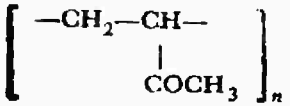
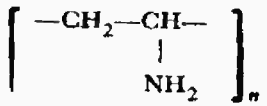
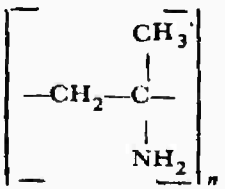
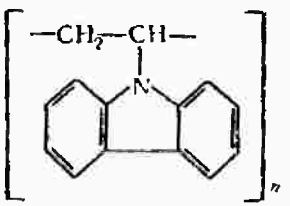
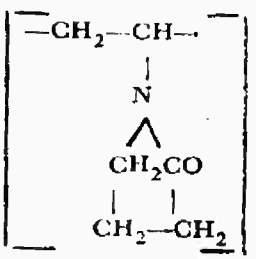
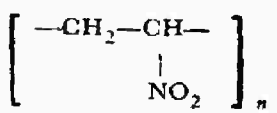
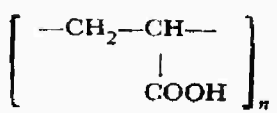
تصنيف مركبات الجزيئات الضخمة ذات السلاسل الكربونية

الإسم	الصيغة
الهيدروكربونات المشبعة ومشتقاتها	
الهيدروكربونات المشبعة:	
بولى الإيثيلين	$[-CH_2-CH_2-]_n$
بولى البروبيلين	$\left[-CH_2-CH(CH_3)-\right]_n$
بول البوتيلين	$\left[-CH_2-CH(C_2H_5)-\right]_n$
بولى أيزو البوتيلين	$\left[CH_2-C(CH_3)_2\right]_n$
بولى فينيل البنزين (بولى الستيرين)	
المشتقات الهالوجينية للهيدروكربونات المشبعة:	
بولى كلور الفينيل	$[-CH_2-CHCl-]_n$
بولى كلور الفينيليدن	$[-CH_2-CCl_2-]_n$
بولى رباعى فلو الإيثيلين	$[-CF_2-CF_2-]_n$
الكحولات وأيثيراتها وأستراتها:	
الكحول اليوليفينيلى	$\left[-CH_2-CH(OH)-\right]_n$
الكحول البولى آليلى	$\left[-CH_2-CH(CH_2OH)-\right]_n$

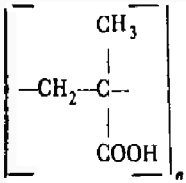
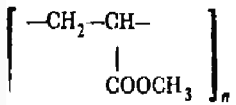
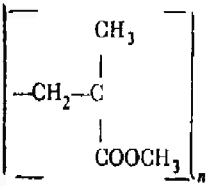
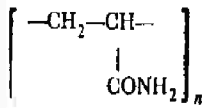
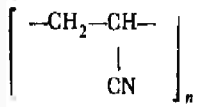
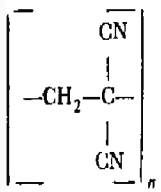
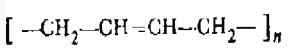
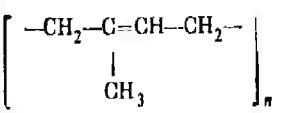
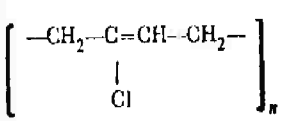
تابع جدول (3)

الإسم	الصيغة
أيثيرات الكحول البوليفينيل	
بولى فينيل الأسيتات	
بولى فينيل الكربونات	
الأسيتات :	
بولى فينيل الفورمال	
بولى فينيل البوتيرال	
الألدهيدات والكيتونات:	
بولى الأكرولين	
بولى ميثيل الأكررولين	

تابع جدول (3)

الإسم	الصيغة
بولى فينيل ميثيل الكيتون	
الأمينات ومركبات النيترو:	
بولى فينيل الأمين	
بولى فينيل ميثيل الأمين	
بولى فينيل الكربازول	
بولى فينيل البيروليدون	
بولى نيترو الإيثيلين	
الأحماض ومشتقاتها	
بولى حمض الأكريليك	

تابع جدول (3)

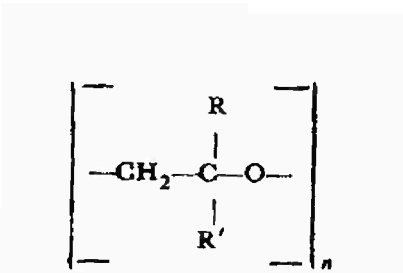
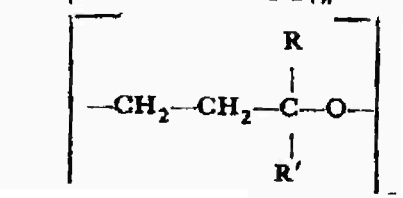
الإسم	الصيغة
بولى حمض ميتا الأكريليك	
بولى ميثيل أكريلات	
بولى ميثيل ميتا أكريلات	
بولى أكريل الأميد	
بولى أكريل النيتريل (بولى فينيل السيانيد)	
بولى فينيليدن السيانيد	
الهيدروكربونات غير المشبعة مشتقاتها	
الهيدروكربونات غير المشبعة :	
بولى البيوتادايين	
بولى الأيزوبرن (الكاوتشوك الطبيعى والجوتابيرشا)	
المشتقات الهالوجينية للهيدروكربونات غير المشبعة: بولى كلور البرن	

تصنيف مركبات الجزيئات الضخمة ذات السلاسل اللامتجانسة :

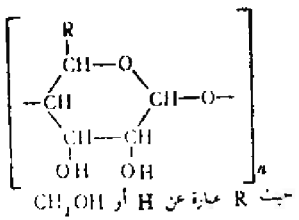
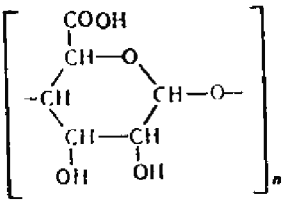
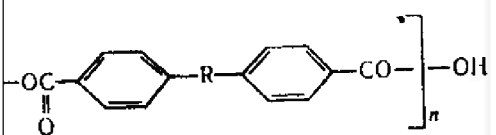
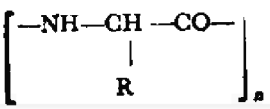
تقسم هذه المركبات حسب الذرة اللامتجانسة الداخلة فى تركيب السلسلة الأساسية إلى بوليمرات حاوية على الأوكسجين، وبوليمرات حاوية على النتروجين. وبوليمرات حاوية على الكبريت، وبوليمرات عضوية حاوية على فلزات عنصرية.

وتقسم هذه المجموعات الكبيرة من البوليمرات إلى مجموعات فرعية حسب ما هو متفق عليه فى تصنيف الكيمياء العضوية (جدول رقم 4).

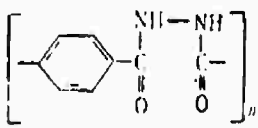
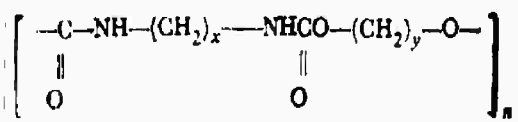
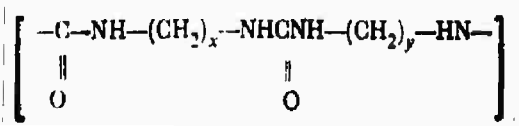
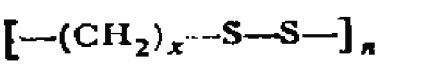
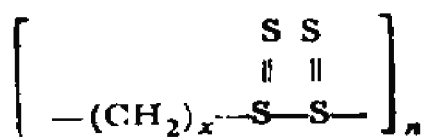
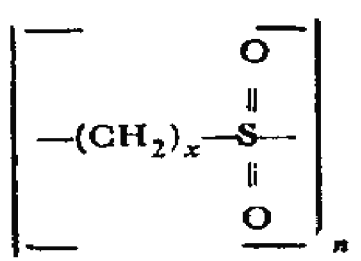
جدول (4)
تصنيف مركبات الجزيئات الضخمة ذات السلاسل المتجانسة

الإسم	الصيغة
البوليمرات التى تحتوى على الأوكسجين	
بولى الأيثيرات (المركبات البولى أوكسيدية):	
بولى أوكسيد الأيثيلين ومشتقاته	
بولى أوكسيد البروبيلين ومشتقاته	

تابع جدول (4)

الإسم	الصيغة
بولى الأسيتالات:	
بولى الفورمال (بولى أوكسيد الميثيلين)	$-CH_2-O-]_n$
بولى الكيل الأسيتالات	$-(CH_2)_x-O-CH_2-O-]_n$
بولى السكريدات	 حيث R عبارة عن H أو CH_2OH
أحمـــــاض البـــــولى الأورونيك	
بولى الأسترات	$-[-O-R-OOC-R'-CO-]_n-OH$ **حيث R' جذر الجليكوكل، R' – جـــــذر حمض ثنائى الأساس عطرى أو غيرمشبع**
الأحماض النووية	
بولى الأنهيدريدات	 **حيث R جذر ثنائى التكافؤ** $-O-(CH_2)_x-O-$ أو $(CH_2)_x$
البوليمرات التى تحتوى على الأزوت	
بول الببتيدات	

تابع جدول (4)

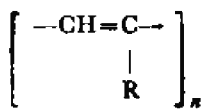
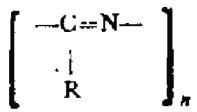
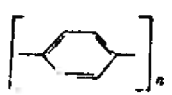
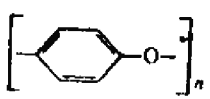
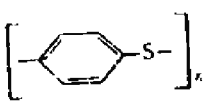
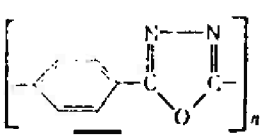
الإسم	الصيغة
بولى الأميدات	$H-[-NH-(CH_2)_x-CO-]_n-OH$ حيث $x>1$ أو $H-[-NH-R-NHCO-R'-CO-]_n-OH$ حيث $R, R' - (CH_2)_x$ أو حلقة بنزينية
بولى الهيدرازيدات	
بولى الأوريتات	
بوليمرات البولى	
بولى الأيثيرات (بول الكيلن السولفيدات):	
البوليمرات التى تحتوى على الكبريت	
بولى الكيلن ثنائية السولفيدات	
بولى الكيلن رباعية السولفيدات	
بولى السولفونات:	

وتصاغ تسمية البوليمرات ذات السلاسل اللامتجانسة من تسمية فصيلة المركبات مضافاً إليها المقطع بولى (متعدد) مثل بولى الأيثيرات وبولى الأميدات وبولى الأوريتانات.. إلخ.

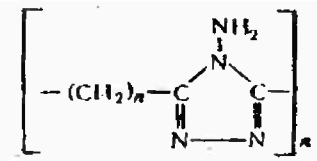
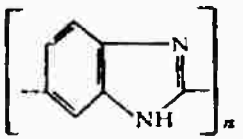
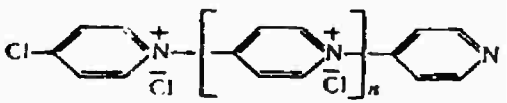
البوليمرات ذات مجموعة الروابط الاقترانية :

تنتمى بعض البوليمرات ذات السلاسل الكربونية والسلاسل اللامتجانسة إلى هذا النوع من البوليمرات. ونورد فى جدول (5) هذه البوليمرات دون تقسيمها إلى المجموعات الكيميائية المناظرة :

جدول (5)

الإسم	الصيغة
بولى الأسيتيلنات	 حيث R عبارة عن H أو جذر فينيل أو الكل
البوليينات	$[-C\equiv C-R-C\equiv C-]_n$
بولى النيتريلات	
بولى الفنيلنات	
بولى أكسيد الفنيلنات	
بولى سولفيد الفنيلنات	
بولى أوكساديازولات	

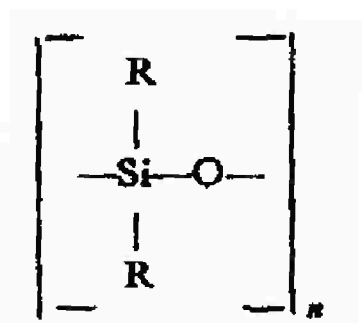
تابع جدول (5)

الإسم	الصيغة
بولى أمينو تريازولات	
بولى بنزيميد أزولات	
بولى كلور البيريدين	

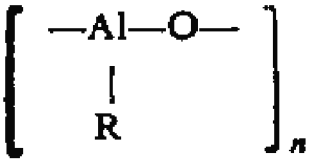
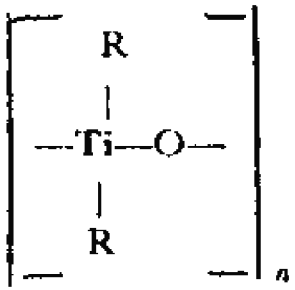
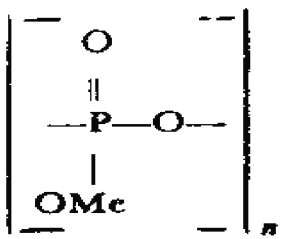
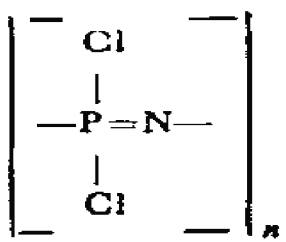
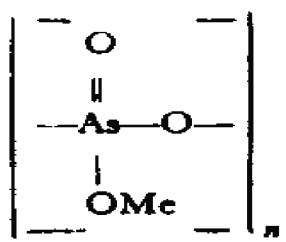
البوليمرات المؤلفة من سلاسل رئيسة لا عضوية :

تقسم هذه البوليمرات إلى بوليمرات عضوية حاوية على فلزات عنصرية وذات جذور عضوية فى السلسلة الفرعية وإلى بوليمرات لا عضوية (جدول 6).

جدول (6)
البوليمرات ذات السلاسل اللاعضوية

الإسم	الصيغة
البوليمرات العضوية التى تحتوى الحاوية على فلزت	
بولى السيلوكسانات	 **حيث R = الكيل، فينيل، نيتريل، هالوجين الكيل**

تابع جدول (6)

الإسم	الصيغة
بولى الومينوكسانات	
بولى تينانوكسانات	
البوليمرات اللاعضوية	
بولى الفوسفاتات	
بولى كلورو فوسفور النيتريل	
بولى الزرنيخات	

*****