

الباب الثاني

أنواع البوليمرات وتصنيفها

الباب الثانى

أنواع البوليمرات وتصنيفها

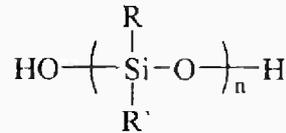
Types of Polymers and their classification

البوليمرات الغير عضوية Inorganic polymers

تكون البوليمرات الغير عضوية على ثلاثة أنواع هي :

البوليمرات الغير عضوية والعضوية Organic – Inorganic polymers

ترتبط فى هذا النوع من البوليمرات السلسلة الغير عضوية بمجاميع عضوية ومن الأمثلة على هذا الصنف هي بوليمرات السيليكون Silicon polymers ، وأدناه الصيغة الجزيئية للوحدة المتكررة فى إحدى أنواع هذه البوليمرات :



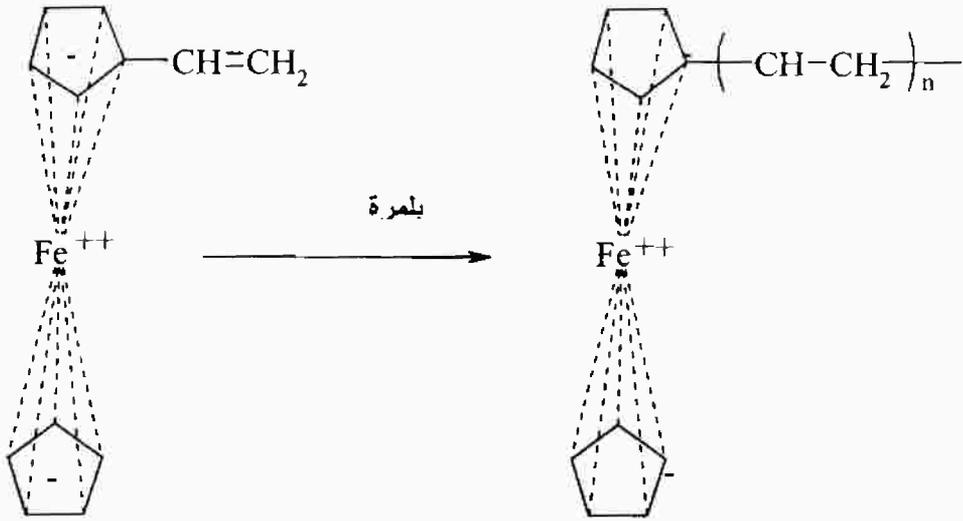
حيث R, R' تمثلان مجاميع عضوية مختلفة

البوليمرات المتضمنة على ارتباطات معدنية

Co-ordination polymers

وتسمى فى بعض المصادر بـ Metal chelate polymers حيث يدخل أيون معدنى Metal ion ضمن السلسلة البوليمرية العضوية بحيث تكون

الرابطه بين العنصر المعدنى والجزء العضوى من الجزيئة هى رابطه تناسقية
 Co-ordination bond . ويمكن تحضير هذا النوع من البوليمرات
 من بلمرة مونوميرات تحتوى على الأيون المعدنى ، ومن الأمثلة على ذلك
 المونوميرات الحاوية على الفيروسين Ferrocine كما مبين أدناه :



ج- بوليمرات لا عضوية بحتة Pure inorganic polymers

تكون سلاسلها الجزيئية البوليمرية عادة من السليكون (-Si-) فقط أو
 النتروجين (-N-) أو الفوسفور والنتروجين معا (-P-N-) أو البورون
 والنتروجين (-B-N-).

البوليمرات العضوية Organic polymers

تتكون هذه البوليمرات من وحدات تركيبية عضوية متكررة . وهذه
 المركبات ذات أهمية كبيرة صناعيا فى الوقت الحاضر

التصنيف التكنولوجى للبولىمرات

Classification based on Technological aspects

لقد صنفت البولىمرات على أساس صفاتها واستخداماتها التكنولوجية الى الأصناف التالية :

البلاستيكات Plastics

وهى مواد بولىمرية صلبة القوام Hard عند درجات الحرارة العادية ولكنها تلين بالحرارة (soften) وتتحول الى ما يشبه العجينة بحيث يمكن تغير هيئتها باليد ، وإذا زادت درجة الحرارة أكثر فإن المادة اللينة تسيّل . وعند التبريد تمر المادة بجميع المراحل السابقة حيث تتصلب تدريجيا حتى تعود ثانية لتأخذ الحالة الصلبة ولهذا السبب تسمى هذه البولىمرات أحيانا بالبلاستيكات المطاوعة للحرارة Thermoplastics وهنالك العديد من البولىمرات التجارية التى تقع ضمن هذا الصنف نذكر منها : البولى اثيلين Polyethylene ، البولى ستايرين Polystyrene ، البولى كربونات Polycarbonates ، البولى (كلوريد الفينيل) Poly(vinylchloride) ، البولى بروبلين Polypropylene وغيرها .

البولىمرات المتصلبة حراريا Thermosetting polymers

يشتمل هذا الصنف على البولىمرات التى تتصلب بفعل الحرارة والضغط أثناء تحويل معاجينها الى الشكل المطلوب فى قوالب خاصة . وتكون هذه البولىمرات معقدة التركيب ومتشابكة Crosslinked الجزئيات ، وتمتاز بأنها صلبة القوام Hard وعديمة الذوبان فى المذيبات الشائعة وذات

مقاومة عالية تجاه الحرارة ، وتكون غير موصلة للحرارة والكهربائية ، لذلك تستعمل عادة في صناعة المعدات والأجزاء العازلة للحرارة والكهربائية . ويمكن تحويل البلاستيك المطاوعة للحرارة Thermoplastics الى البوليمرات غير المطاوعة بطرق كيميائية أو فيزيائية مثل إضافة بعض المركبات التي تعرف بمركبات شابكة Crosslinking agents الى البلاستيك ثم تسخينها معا فتحدث تفاعلات التشابك بين سلاسل البوليمر مكونة بوليمر متشابك Crosslinked polymer . أما الطرق الفيزيائية فتتضمن تعريض البلاستيك الى أشعة ذات طاقة عالية High Energy Radiation تؤدي الى حدوث تفاعلات التشابك بين سلاسل البوليمر.

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 عالية بين جزئياتها مثل بولي(اكريلونتريل) ويجب أن تتوفر في هذه البوليمرات مواصفات معينة مثلا درجة انتقالها الزجاجي العالية Glass Transition (T_g) وكذلك قابلية جيدة للصبغة ، ومنع تكوين الشحنات المستقرة (Static Charges) على الألياف .

البوليمرات المرنة (المطاطية) (Elastomers)

وتشمل هذه على البوليمرات المتمثلة بالمطاط بأنواعه وهذه تمتاز بمواصفات خاصة كالاستطالة Extensibility بالضغط وقابليتها على التمدد والنقلص Resilience or Resiliency.

إن قابلية البوليمرات لإظهار صفة المرونة تعتمد على طبيعة تركيب
الجزئيات البوليمرية ذات السلاسل الطويلة المرنة والمتواجدة فى
وضعيات ملتفة على بعضها ، وبصورة عامة تكون درجة حرارة الانتقال
الزجاجية للبوليمرات المرنة أقل من درجة الحرارة التى تستخدم فيها حيث
تكون السلاسل البوليمرية حرة فى الحركة الموضعية .

وهناك أصنافا أخرى من البوليمرات يعتمد تصنيفها على استخداماتها
ومن أهم هذه الأصناف البوليمرية ما يأتى :-

1- الأصماغ واللواصق Adhesives

2- المواد الطلائية Coatings

3- الأفلام أو الرقائق البلاستيكية Films

4- والأصباغ البلاستيكية وغيرها .

تصنيف البوليمرات على أساس التفاعلات المؤدية الى تكوينها :

Classification of polymers based on the "Polymerization Reaction".

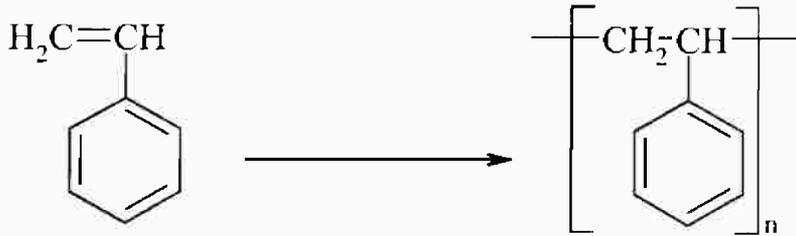
هناك طرقا مختلفة لتصنيف التفاعلات الكيميائية التى تؤدى الى
تحضير البوليمرات . فمن الممكن أن نصنف التفاعلات البوليمرية على أساس
النوعية الميكانيكية التى تتم بها التفاعلات ومن الممكن أن يكون التصنيف
على طبيعة الجزئيات البوليمرية المتكونة أو غير ذلك .

وسنحاول فيما يلى توضيح هذه الأنواع بتقسيمها الى نوعين كما يلى :

التصنيف القديم للبوليمرات :-

أولاً: البوليمرات الناتجة من تفاعلات الإضافة Addition

polymers وهى البوليمرات التى تكون الصيغة الجزيئية للوحدة المتكررة فى الجزيئية البوليمرية مماثلة للصيغة الجزيئية للمونومر ، مثال ذلك البولى ستايرين (poly styrene) الذى ينتج من بلمرة الستارين :



الصيغة الجزيئية هى $[C_8H_8]$

الصيغة الجزيئية هى $[C_8H_8]_n$

ثانياً- البوليمرات الناتجة من تفاعلات التكثف

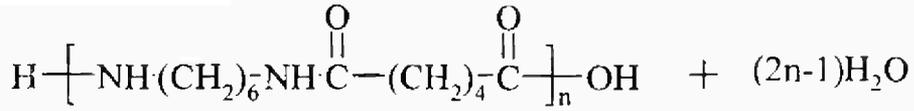
Condensation polymers

وهى البوليمرات التى تنتج من اتحاد المونومرات بعضها ببعض الآخر مع فقدان جزيئة صغيرة لكل جزيئين من المونومرات المتحدة ببعضها وبذلك فإن الصيغة الجزيئية للوحدة المتكررة فى البوليمر تكون أصغر من مجموع الصيغتين الجزيئيتين للمونومرين المتحددين ، كما فى المثال الآتى :



هكسا مثيلين داى أمين

حامض الاديبيك



نيلون 66 Nylon 66

فالصيغة الجزيئية للبوليمر الناتج (poly (hexamethylene adipamide) هي كالاتى : $(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_2)_n$ بينما الصيغة الجزيئية للمونومر هي $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4 + \text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2)$ حيث يمثل $\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}_2$ هكسامثيلين داى أمين ويمثل $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$ حامض الأديبيك . ومجموع ذرات الجزيئة من الأول والجزيئة من الثانى هو $(\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_4)$ ويلاحظ هنا أن صيغة البوليمر يحتوى على عدد من الذرات أقل من ذرات المونومرات المتحدة . ويرجع السبب الى فقدان جزيئة من الماء عند اتحاد كل جزيئة من حامض الاديبيك مع جزيئة من هكسا مثيلين داى أمين كما فى المعادلة أعلاه .

التصنيف الحديث للبوليمرات أوالتصنيف المبني على ميكانيكية نمو السلسلة البوليمرية

Classification based on the mechanism of chain growth

يأخذ هذا النوع من التصنيف للبوليمرات بعين الاعتبار الصفات الفيزيائية والطبيعية للبوليمر الناتج وخاصة الوزن الجزيئى للبوليمر الذى تعتمد عليه معظم الصفات الميكانيكية والفيزيائية للبوليمرات.

إن طبيعة البوليمر الناتج إذن تعتمد كليا على ميكانيكية تفاعلات البلمرة والخطوات التى تتم بها عملية بناء السلسلة البوليمرية ، لذا فإن صفات

البوليمر الناتج تعتمد على ميكانيكية نمو السلسلة Chain growth mechanism وهذا التصنيف يقسم عمليات البلمرة الى نوعين :

أ- البلمرة ذات النمو المتسلسل السريعة نسبياً Chain growth polymerization

ب- البلمرة ذات النمو الخطوى Step growth polymerization

البلمرة ذات النمو المتسلسل Chain growth polymerization

يمتاز هذا النوع من البلمرة بأن العملية تبدأ بالخطوة الأولى المسماة بخطوة البدء Initiation حيث فيها يتكون المركز الفعال الأولى Active center القابل للنمو والاتحاد بمونومير ثانى وثالث وهكذا فإن المركز الفعال المتكون يكون نشيطا بحيث ينمو بسرعة هائلة جدا حال تكوينه مؤديا الى تكوين سلسلة بوليمرية طويلة عالية فى الوزن الجزيئى . تمتاز هذه التفاعلات بصورة عامة بأنها تتم بثلاث خطوات أساسية هي :

1- البدء Initiation

2- التكاثر Propagation

3- الانتهاء Termination

وتكون الخطوات هذه مختلفة فى السرعة وفى الميكانيكية كما أن سرعة خطوة التكاثر propagation تكون أكبر من سرعة الخطوات الأخرى الأمر الذى يؤدي الى تكوين سلسلة بوليمرية طويلة فى وقت قصير جدا .

ميكانيكية بلمرة مونوميرات الفينيل بواسطة الجذور الحرة

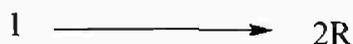
Mechanism of free radical polymerization of vinyl monomers

لكي نستطيع توضيح هذه الميكانيكية نأخذ مونومير صيغته الجزيئية
 $(CH_2 = CH_x)$ حيث x قد تكون $-H$ أو $-R$ أو $-CH=CH_2$ أو $-Cl$
 أو $OH \dots$ أو الخ

تبدأ عملية البلمرة بواسطة الجذور الحرة بوجود بعض المواد البادئة
 للتفاعل تسمى (البادئات Initiators) وتكون مصدرا لتوليد الجذور الحرة
 داخل اثناء التفاعل ولأجل السهولة يرمز للبادئ بالحرف (I) تتكون الخطوات
 الثلاث لتفاعل البلمرة بالجذور الحرة كما يأتي :

1- مرحلة البدء Initiation step :

وتتضمن تفكك البادئ I مكونا جذورا حرة Free radicals ثم اضافة
 هذه الجذور الحرة الى جزئيات المونومير مكونة مراكز فعالة (جذور حرة
 جديدة) :-



جذر حر

(جذر حر جديد)

مركز فعال (Active center)

2- مرحلة التكاثر Propagation step :

وتتضمن هذه المرحلة نمو المركز الفعال وذلك باضافته الى الرابطة
 المزدوجة مونومرات أخرى كما يأتي :

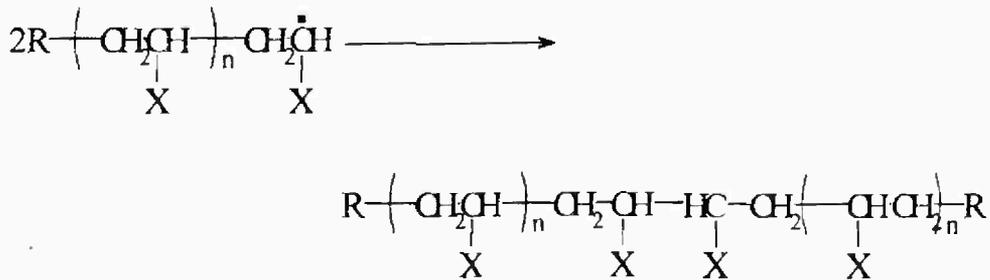


السلسلة البوليمرية النامية

3- مرحلة الانتهاء Termination step :

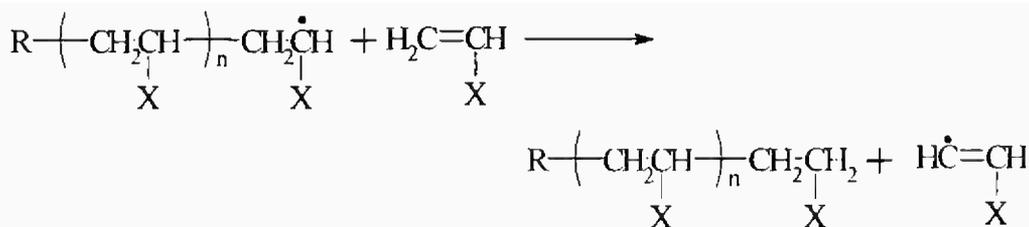
وتتضمن هذه المرحلة اختفاء المراكز الفعالة على السلسلة النامية وانتهائها . وتتم عملية الانتهاء بواسطة تفاعلات مختلفة تسمى بتفاعلات الانتهاء Termination reaction وأهمها ما يلي :

أ- تفاعلات الانتهاء بواسطة ازدواج الجذور الحرة Coupling reaction

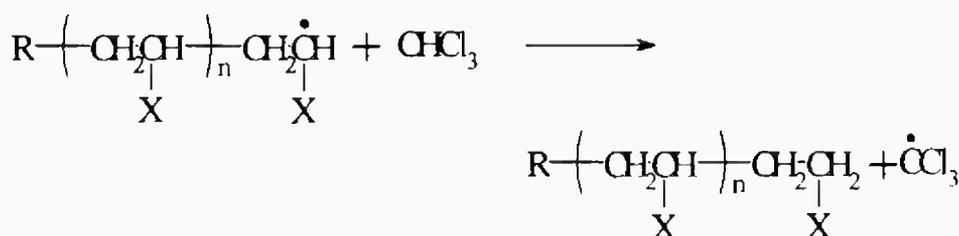


ب- تفاعلات الانتهاء نتيجة لانتقال السلسلة النامية Chain transfere :

وقد يتم انتقال السلسلة النامية الى المونومير أو الى المذيب أو الى السلسلة البوليمرية نفسها كما مبين في التفاعلات التالية :



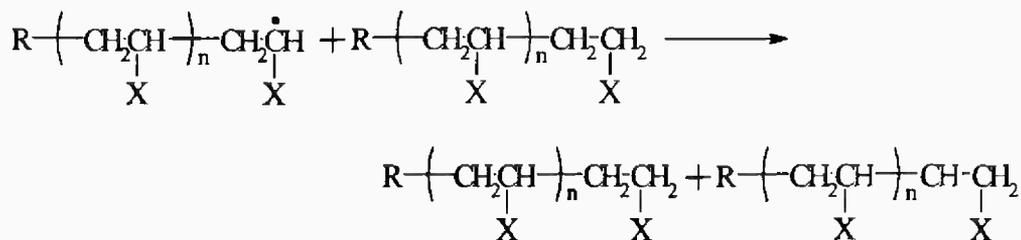
انتقال السلسلة النامية الى المونومير



انتقال السلسلة النامية الى المذيب Chain transference to solvent

ويمكن انتقال السلسلة البوليمرية الى البادئ حيث تتحد السلسلة البوليمرية النامية مع الجذر الحر للبادئ. يسمى هذا النوع من الانتهاء (بالانتهاء الاولى للجذر الحر Primary radical termination)

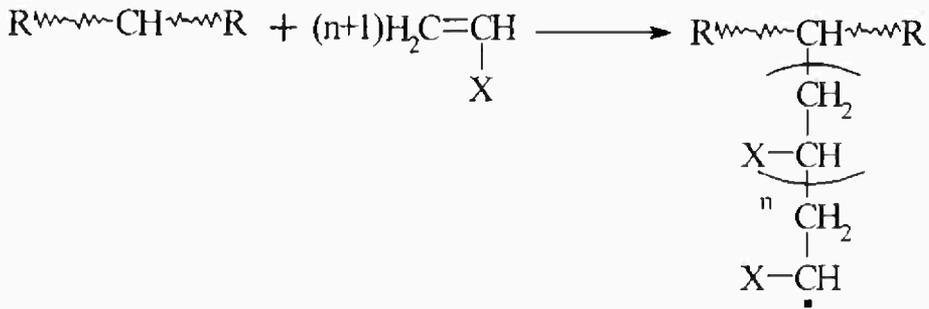
تزيد سرعة تفاعل الانتهاء بهذه الطريقة بزيادة تركيز البادئ وبخفض درجة حرارة البلمرة .



انتقال السلسلة النامية الى جزيئات بوليمرية منتهية

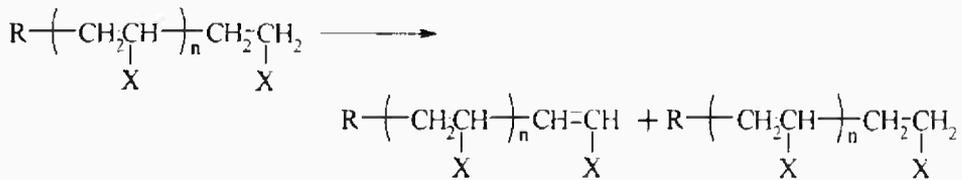
Chain transfer to polymer molecules

ويحدث أحيانا أن يكون انتقال السلسلة الى نفسها ، كما فى البولى اثيلين ومن الجدير بالذكر أن المركز الفعال الجديد المتكون من جزيئة البوليمر قادر على النمو باضافة مزيد من المونوميرات مكونا جزيئة بوليمرية متفرعة .



ج- تفاعلات الانتهاء بواسطة تفاعلات الاضمحلال Disproportionation

وهنا تشترك سلسلتان ناميتان فى هذه التفاعلات فتتحول احدهما الى سلسلة منتهية برابطة مزدوجة والاخرى تتحول الى سلسلة بوليمرية مشبعة غير قادرة على النمو كما مبين أدناه :



د- تفاعلات الانتهاء الناتجة عن اضافة عوامل خاصة تنهى السلاسل النامية

: (Terminating agents)

هنالك أنواعا مختلفة من هذه العوامل التي بإمكانها أن توقف تفاعلات التكاثر أو تقلل من سرعتها ، وذلك بتفاعلها مع المراكز الفعالة النامية Growing active centre وتسمى هذه العوامل ب (العوامل المانعة Inhibiting agents) أو الموانع Inhibitor وهناك موادا أخرى تسمى بالعوامل المؤخرة لتفاعلات النمو Retarding agents او المعوقات Retardants . والاختلاف بين هذين النوعين هو فى مدى تأثيرهما على تفاعلات النمو ، فالنوع الأول أى الموانع بإمكانها أن تتفاعل مع السلاسل النامية وتوقف تفاعلات التكاثر توقفا تاما.

ميكانيكية بلمرة مونوميرات الفاينيل بواسطة تكوين الايونات الموجبة Cationic polymerization of vinyl monomers (كاتايونية)

يمكن توضيح ميكانيكية بلمرة مونومرات الفاينيل باستعمال مونومير ذو تركيب كيميائى : $(CH_2=CHX)$ وذلك عندما تكون X مجموعة واهبة للإلكترونات Electron donating group مثل $-OH$ ، $-CH_3$ ، $-OR$ ، $-C_6H_5$ أو غيرها وتتضمن هذه الميكانيكية ثلاث مراحل أساسية مشابهة لما ذكرنا فى ميكانيكية البلمرة بالجذور الحرة وهذه الخطوات هى :

I. مرحلة البدء Initiation :

وتتضمن هذه المرحلة ارتباط جزيئة البادئ Initiator بالمونومير وتكوين مركز فعال بهيئة أيون موجب (كاتيون Cation) ، لذلك فإن البادئ يكون عادة حامض برونستد Bronsted acid أو حامض لويس Lewis acid. ولو فرضنا أن البادئ هو أيون الهيدروجين الآتى من حامض بروتونى مثل HCl أو حامض H_2SO_4 فإن مرحلة البدء تكون كما يأتى :

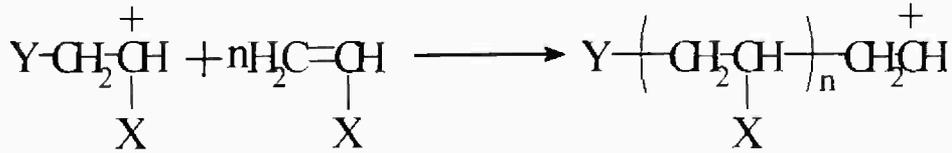
مرحلة البدء :



مركز فعال Active center

2. مرحلة التكاثر أو الانتشار **propagation step** :

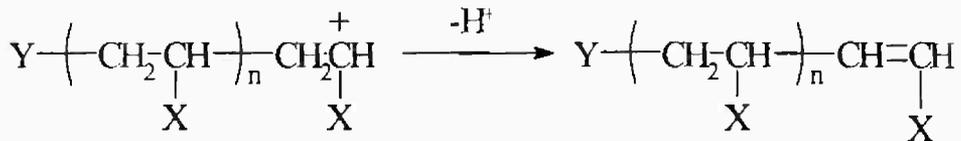
وتتلخص هذه المرحلة بإضافة مزيد من المونومر الى المراكز الفعالة وتكون هذه الخطوة سريعة جدا:



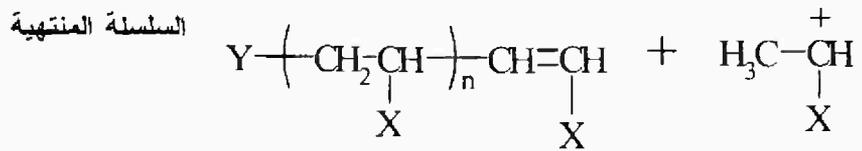
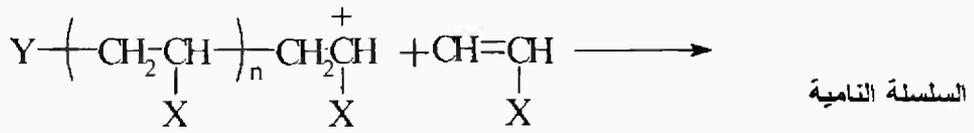
سلسلة بوليميرية نامية

3. مرحلة الانتهاء **Termination** :

تحدث تفاعلات الانتهاء بفقدان بروتون وتكوين سلسلة بوليميرية منتهية برابطة مزدوجة كما يأتي:-



وقد تنتهي فعالية السلسلة النامية من خلال تفاعلات انتقال السلسلة Chain transfeere وذلك عن طريق انتقال بروتون من السلسلة النامية الى جزيئة مونومير كما في المعادلة الآتية :



وتنتهي هذه السلسلة الموجبة عند إضافة أيون سالب قابل للاتحاد

بالأيون الموجب .

ميكانيكية بلمرة مونوميرات الفايثيل بواسطة تكوين

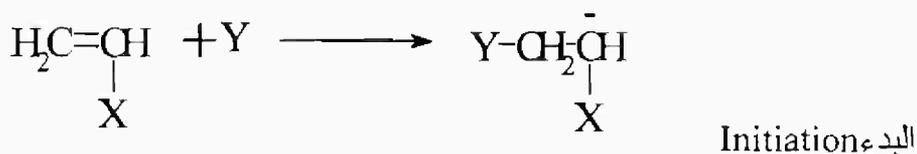
الأيونات السالبة

Anionic polymerization of vinyl monomers

إن مونوميرات الفايثيل التي يمكن بلمرتها بهذه الطريقة هي المونوميرات المحتوية على مجموعة ساحبة للإلكترونات Electron withdrawing ففي حالة استخدام مونومير ذو التركيب الآتي : $\text{CH}_2=\text{CH}$ ، يجب أن تكون المجموعة X ساحبة للإلكترونات مثلا CN أو $\text{CH}=\text{CH}_2$ أو C_6H_5 أو Cl . والمراحل الأساسية لهذه الميكانيكية هي كما يلي:

1. مرحلة البدء Initiation :

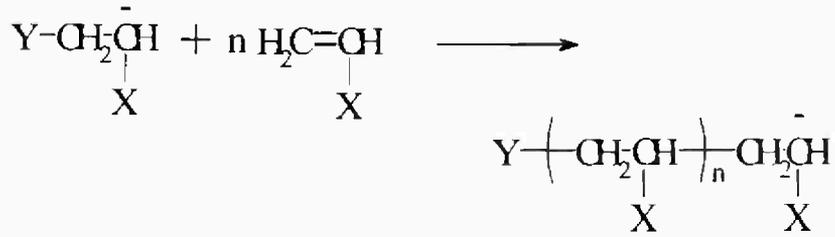
وهي بإضافة البادئ الى جزيئات المونومير وتكوين مراكز فعالة سالبة الشحنة (أنايونية) . يكون البادئ من نوع قواعد لويس Lewis base أي لها مزدوج الكتروني غير مشترك في تكوين رابطة ، أو أن القاعدة تحمل شحنة سالبة مثل أيون OH^- كما في المعادلات الآتية :



مركز فعال

حيث يمثل Y^- قاعدة ما تحمل شحنة سالبة

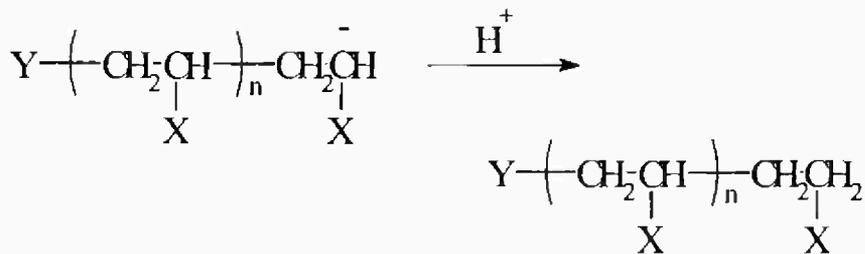
2. مرحلة التكاثر أو الانتشار Propagation step



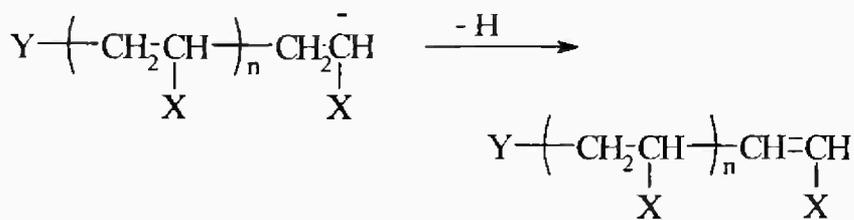
سلسلة بوليمرية نامية

3. مرحلة الانتهاء Termination step :

تتم مرحلة الانتهاء في هذا النوع من البلمرة بانتقال بروتون من وسط التفاعل الى السلسلة البوليمرية النامية :



أو قد يحدث أحيانا أن تفقد السلسلة النامية أيون هيدريد H^- مكونة رابطة مزدوجة كما في المعادلة الآتية :



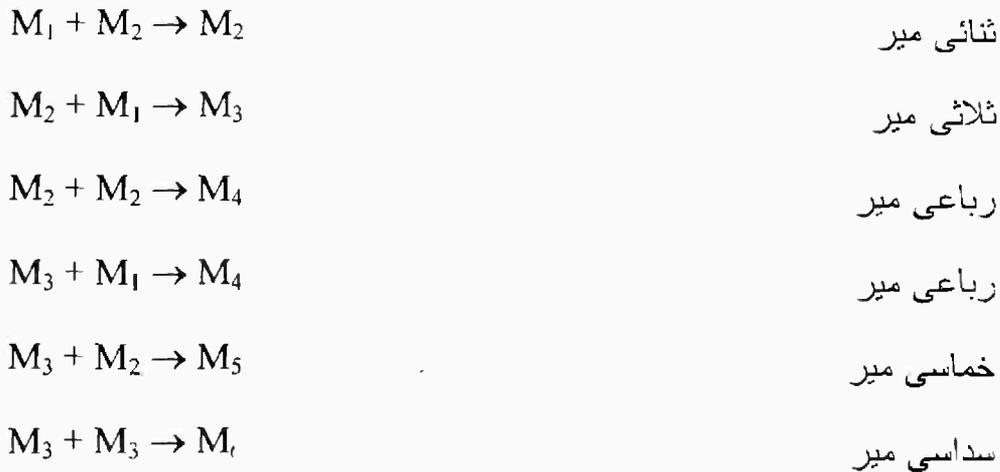
ميكانيكية البلمرة التناسقية أو المنتظمة فراغيا

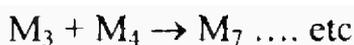
Coordination polymerization or stereoregular polymerization

إن ميكانيكية هذه البلمرة لا تزال غير معروفة على وجه الدقة فيما إذا كانت أيونية أو بواسطة الجذور الحرة . ولكن المعروف هو أن البلمرة تتم على سطح العامل الحافز الذي يكون عادة من النوع غير المتجانس Heterogenous catalyst ، وتتم بخطوة واحدة غير أيونية ، ويسمى هذا النوع من الميكانيكية بالميكانيكية المنسجمة Conserted mechanism ويمتاز هذا النوع من البلمرة بتكوين بوليمر خيطي قليل التفرع ومنظم من حيث التوزيع الفراغي للمجاميع الكيماوية حول السلسلة البوليمرية هذا إضافة الى أن البلمرة التناسقية هذه تتم في درجات حرارة منخفضة.

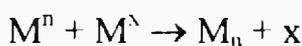
البلمرة ذات النمو الخطوي Step-Growth polymerization

في هذا النوع من البلمرة لا يوجد مركز فعال Active center كما هو الحال في البلمرة ذات النمو المتسلسل ، بل إن كل جزيئة مونومرية بإمكانها أن تتفاعل مع غيرها ، فترتبط جزيئتان لتكوين جزيئة مضاعفة (الثنائي مير) Dimer وقد يرتبط الثنائي مير مع مونومير ثالث لتكوين جزيئة ثلاثية (الثلاثي مير) Trimer وهكذا كما مبين في المخطط الآتي:-



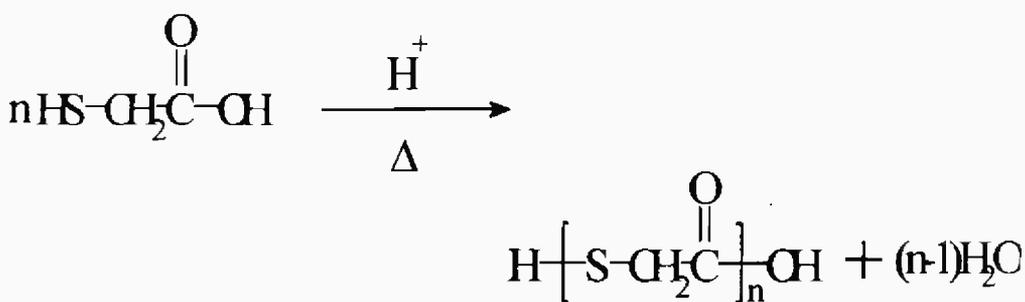


سباعى مير



بوليمر

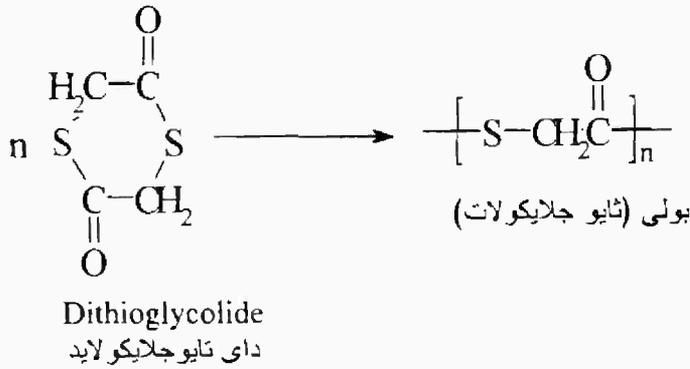
وتكون هذه التفاعلات بطيئة نسبيا ويمتاز هذا النوع من التفاعلات بأن سرعة تفاعل مونومير مع مونومير اخر تكون مساوية لسرعة تفاعل المونومير مع السلسلة البوليمرية المنتهية بالمجموعة الدالة Functional Group ، وهذا يؤدي الى تكون عدد كبير من السلاسل البوليمرية المتباينة فى أطوالها . بمعنى آخر أن السلاسل البوليمرية الطويلة لا تتكون الا فى المراحل الأخيرة من التفاعل . وهناك عددا كبيرا من البوليمرات يمكن أن تحضر باستخدام كلتا طريقتى البلمرة أى طريقة البلمرة الخطوية أو طريقة النمو المتسلسل فمثلا يمكن تحضير بولى (ثايوجلايكولات) poly (thioglycolate) حسب ميكانيكية النمو الخطوى وذلك باستعمال حامض الثايوجلايكوليك كمونومر كما فى المعادلة الآتية:



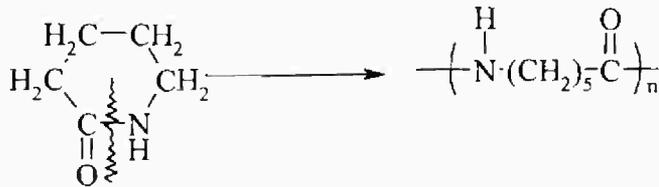
Thioglycolic acid
حامض الثايوجلايكوليك

Poly(thioglycolate)
بولى (ثايوجلايكولات)

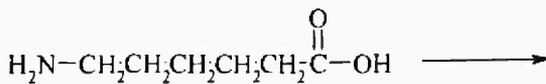
كما ويحضر نفس البوليمر حسب ميكانيكية النمو المتسلسل Chain growth وذلك ببلمرة المونومر ثنائي ثايوكلايكولايد عن طريق فتح الحلقة السداسية كما يأتي :



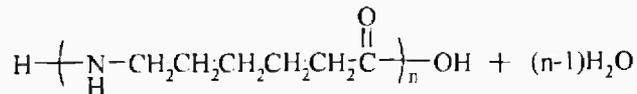
إن النايلون 6 يعد من البوليمرات المشهورة ، ويمكن تحضيره من الكابرولاكتام Caprolactam ود-أمينوحامض الكبرويك δ-aminocaproic acid كما مبين في التفاعلين الآتيين :



نايلون 6- (Nylon - 6)



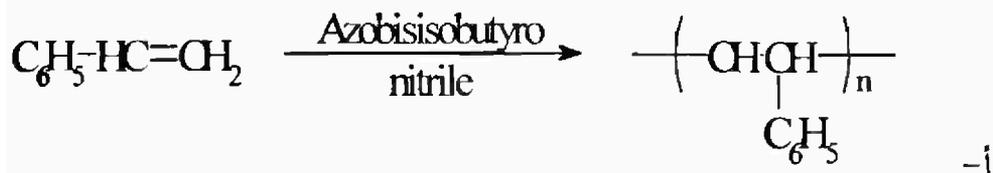
δ-aminocaproic acid

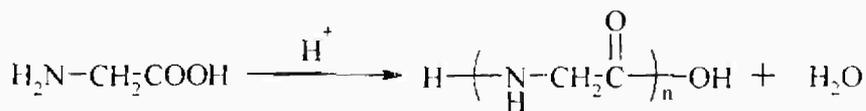


نايلون 6- (Nylon - 6)

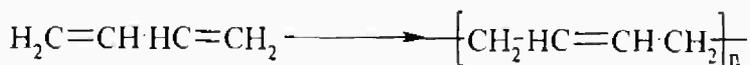
الأسئلة

1. عرف كلا مما يأتي مع مثال:
البوليمرات غير العضوية البحتة - البوليمرات الطبيعية - البولييمرات المتشابهة - البوليمر الخطي .
2. ما هي الأهمية الصناعية للبوليمرات الآتية :
راتنج الفينول فورمالدهيد - بولي اكريلونائتريل - البولي ايثلين - بولي فاينيل كلورايد
3. كيف تفسر :
أ- فعالية البنزوكينون كمادة مانعة للبلمرة التي تتم بطريقة الجذور الحرة.
ب- فعالية الفينولات المعوضة بمجاميع الكيل كمادة مانعة للبلمرة.
4. اكتب الفروق الموجودة بين البلمرة الخطوية والبلمرة المتسلسلة بشكل جدول
5. اكتب ميكانيكية مقبولة لتفاعلات البلمرة الآتية بشكل مفصل :

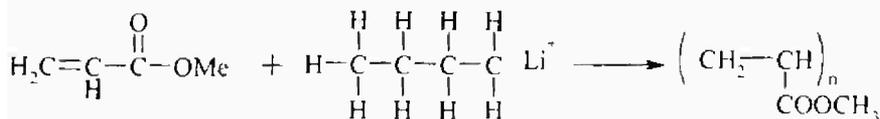




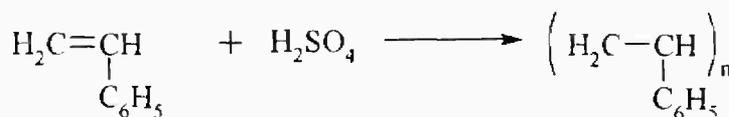
-ب-



-ج-



-د-



-ه-

6. حضر النايلون 6 بميكانيكية الخطوات وكذلك بميكانيكية البلمرة المتسلسلة مع كتابة المعادلات التفصيلية اللازمة .

7. ضع خطأ تحت البولييمرات التكتيفية وخطين تحت البولييمرات الإضافية وثلاثة خطوط تحت البولييمرات التي تخضع الى الصنفين في آن واحد ، اكتب الصيغة الجزيئية لكل بوليمر :

بولي (بروبيلين) (poly (propylene) ، بولي (اثيلين) (poly(ethylene) ، نايلون 6- ، بولي (ستايرين) ، بولي (فيرفثات الاثيلين) ، بولي (أوكسيد الاثيلين) (poly (ethylene oxide) ، بولي (اسيتالدهيد) ، بولي (كايرو لاكتام) (poly (caprolactam) ، بولي سايلوكسان (poly(siloxane) ، بولي (اكريلونايتريل) (poly(acrylnitrile) ، بولي (هبتامثيلين) (أديب أمايد) (poly (heptamethylene adipamide) ، بولي (مثيل ميتاكريلات)

poly (p- (ارازايلينيلين) بولى ، poly (methylnmetha crylate)
poly (Tetra fluoro (تيترا فلورواثيلين) بولى ، xylenylene)
ethylene) ، بولى (جلايكول الاثيلين) poly (ethylene glycol) ، بولى
(أوكسيد الفينيلين) poly (p-phenylene oxide) ، بولى (ايزوبرين) ،
بولى 1،4-بيوتادايين poly(1,4-butadiene) ، بولى (خلات الفاينيل) ،
بولى (كحول الفاينيل) poly (vinyl alcohol).

8. من البوليمرات المذكورة فى السؤال السابق ما يمكن تحضيرها
بواسطة التفاعلات التى تصنف ضمن ميكانيكية النمو المتسلسل ومنها
ما تصنف ضمن ميكانيكية النمو الخطوى اكتب المعادلات الخاصة
بتحضير كل بوليمر .

9. نظم جدول مقارنة بين البوليمرات التكتفية وبوليمرات الاضافة من
حيث :

أ- الوحدة التركيبية المتكررة .

ب- نمو السلسلة البوليمرية

ج- سرعة تفاعل البلمرة

د- تغير الوزن الجزيئى

10. كيف تختلف مرحلة الانتهاء فى البلمرة الانايونية عما هى عليه فى
البلمرة الكاتايونية .