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

تأثير تضمين الياف النفايات الحيوية على السلوك الفيزيائي لبوليمر PEO

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

من قبل

سجاد حسين عبيد جاسم

بأشراف

أ. د. عبد العزيز عبيد موسى

2024م **1445هـ**

Ministry of Higher Education
and Scientific Research
University of Babylon
College of Science
physics department
Fourth stage

Effect embeobling of biowaste fibers on the physical behavior of PEO polymer

A Research Project Submitted to the Council of the College of Science – Department of Physics
As Part of the Requirements for Obtaining a Bachelor's Degree in Physics

by

Sajjad Hussein Obaid Jassim

Supervisor

Prof. Dr. Abdul azeez . O. Mousa

2024 A.D 1445 A.H

بسم الله الرحمن الرحيم

(وَاكْتُبْ لَنَا فِي هَذِهِ الدُّنْيَا حَسَنَةً وَفِي الآخِرَةِ إِنَّا هُدْنَا إِلَيْكَ قَالَ عَذَابِي أُصِيبُ بِهِ مَنْ أَشَاء وَرَحْمَتِي وَسِعَتْ كُلَّ شَيْءٍ فَسَأَكْتُبُهَا لِلَّذِينَ يَتَّقُونَ وَيُؤْتُونَ الزَّكَاةَ وَالَّذِينَ هُم بِآيَاتِنَا يُؤْمِنُونَ)

صدق الله العلي العظيم

﴿ سورة الأعراف، آية: 156 ﴾

اقرار المشرف

أشهد إن إعداد البحث الموسوم بعنوان **{{ تأثير تضمين الياف النفايات الحيوية على السلوك الفيزيائي لبوليمر PEO }}** , من قبل الطالب **(سجاد حسين عبيد جاسم)** قد جرى تحت اشرافي في قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة بابل كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء .

التوقيع :

المشرف : **د. عبد العزيز عبيد موسى**

المرتبة العلمية : **استاذ**

التاريخ : / / **2024**

توصية رئيس قسم الفيزياء

بناءاً على التوصيات المتوافرة ارشح هذا البحث للمناقشة

التوقيع :

اسم رئيس قسم الفيزياء : **د. سميرة عدنان مهدي**

المرتبة العلمية : **أستاذ مساعد**

التاريخ : / / **2024**

إهداء

إلى أمي رمز التضحية والعطاء ...

إلى والدي الذي اعطاني الثقة كي أستمر ...

إلى أشقائي الذين كانوا نعم السند لي ...

إلى كل من آمن بي ودعمني خلال مسيرتي ...

إلى كل من طلب العلم وابتغى إليه سبيلاً ...

أهدي إليكم جميعاً ثمرة هذا الجهد

سائله المولى عز وجل أن ينفعنا به وأن يتقبله ويجعله في ميزان حسناتي

سجاد

الشكر والعرفان

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى إله الصالحين لابد لي وانا أخطوا خطواتي الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة أعود بها الى أعوام قضيتها في رحاب الجامعة مع أساتذتي الكرام الذين قدموا لي الكثير باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد .....

وقبل أن أمضي أتقدم بأسمى آيات الشكر والامتنان والمحبة الى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة.....

الى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة.....

الى جميع أساتذتنا الأفاضل .....

الى جميع اقاربي واصدقائي الاعزاء .....

واخص بالشكر الجزيل الى

(الأستاذ الدكتور عبد العزيز عبيد موسى)

الذي تفضل بالإشراف على هذا البحث فجزاه الله عني كل خير

فله مني كل التقدير والاحترام.....

سجاد

الخلاصة :

في هذه البحث تم التعرف على البوليمرالذي ينص على انه 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. 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.

Abstract

In this research, the polymer was identified, which states that it is a chemical compound or a mixture of compounds consisting of repeated molecules, which are formed through the process of polymerization, as it is known as a polymer. Polymerization is defined as a chemical reaction that occurs between two or more molecules, as they combine to form a chemical compound that contains. On repetitive structural molecules. Polymers are natural or synthetic materials that contain very large molecules of monomers (simple chemical molecules). Polymers also consist of one type of monomer or more. If the polymer consists of more than one type of monomer, they are called copolymers. . There are many examples of polymers in living organisms, such as: proteins, cellulose, and nucleic acids. Polymers are also components of minerals, such as; Diamonds, quartz, feldspar, and in some manufactured materials such as; Glass, paper, plastic, and rubber.

جدول المحتويات

ت	العنوان	الصفحة
	الخلاصة .	
1	المقدمة .	1
2	تصنيف البوليمرات	2
1-2	التصنيف الكيميائي للبوليمرات	2
2-2	تصنيف البوليمرات التي تعتمد على التجانس	3
3-2	التصنيف الحراري للبوليمرات	3
3	القوى الجزيئية في البوليمرات	4
4	تسمية البوليمرات	6
5	تحضير البوليمرات	7
6	تطبيقات البوليمرات	7
7	الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبوليمرات	10
1-7	الخصائص الفيزيائية للبوليمرات	10
2-7	الخصائص الكيميائية للبوليمرات	10
8	بوليمر مدعم بألياف كربون	11
9	بوليمرات حيوية	12
10	أكسيد البولي ايثيلين (PEO)	12
11	البوليمرات الحيوية الشائعة	14
12	تصنيف البوليمرات الحيوية	16
13	تطبيقات البوليمرات الحيوية	17
14	التأثيرات البيئية للبوليمرات الحيوية	21
15	أهم استخدامات البوليمرات الحيوية	22
16	أهم البوليمرات الحيوية	23
	المصادر	34-30

1- المقدمة Introduction

البوليمرات تعني متعدد والمقطع (poly) كلمة لاتينية تتكون من مقطعين بولي (polymer) ان البوليمر وتعني الجزء أي أنها تعني متعدد الأجزاء (mer) هي جزيئات ضخمه تتكون من الترابط الكيمائية لإعداد كبيره من الجزيئات الاصغر أو وحدات متكررة وتسمى المونومرات الذي يمكن ان يختلف عدد المونومرات داخل جزى البوليمر اختلافا كبيرا كما يمكن أن تختلف الدرجة التي يظهر بها الانتظام في الترتيب والتوجه والتنسيب ووجود المونومرات مختلفة داخل جزى البوليمر نفسه في العديد من البوليمرات الاصطناعية وبعض البوليمرات الطبيعية ويمكن تحديد عدد المونومرات يشار اليها احيانا باسم (درجه البلمرة) بدقه غالبا من اجل تكيف خصائص المادة [1] .

وتسمى المونومرات المترابطة معا في ترابطتين أو ثلاث او رابع روابط بثنائيات او ثلاثيات او رباعيات وتسمى هذه الوحدات المتكررة القصيرة ايضا اوليغومرات اعتمادا على الظروف يمكن ايضا تسمية هذه الاوليغومرات بالبوليمرات الأولية لاسيما في سياق البوليمرات المشتركة الكتلية النقطة التي تحدد عندها المؤتمرات او البوليمرات الأولية بدرجه كافيه في جزيء واحد ليتم تسميتها على وجه التحديد البوليمرات الأولية التي يمكن ان تحدد لتشكل بوليمر ابسط اشكال البوليمر هو الشكل الذي تتكون من نوع واحد فقط من المونمر , (بوليمر متجانس) قد توجد شوائب صغيره ولكن اذا كانت الدرجة التي يتم بها بلمرة المونمرات مرغوب فيها بين المونومرات المرغوبة الصغيرة ولكن اذا كانت الدرجة التي يتم بها بلمرة غير مرغوب فيها بين المونومرات المرغوبة الصغيرة بما يكفي للحفاظ على الخصائص الكيميائي والفيزيائية للمادة فقد يستمر الإشارة الى البوليمر الناتج على انه بوليمر متجانس [2] .

على العكس البوليمرات المشتركة من مونومرات تختلف عن بعضها البعض ان الدرجة التي تختلف سواء من حيث التركيب وكميات وكل نوع من المونومر بالنسبة لبعضها البعض في نفس جزيء البوليمر تحدد في نهاية الخواص الكيميائية و الفيزيائية لتلك المادة ان اضافه المزيد من التعقيد الى البنيه البلورية هو امكانيه ارتباط جزيئات البوليمر ببعضها البعض لتشكيل شبكات كبيره يمكن ان يودي هذا التفاعل الذي يطلق عليه الارتباط المتقاطع إلى تغيرات جذرية في خصائص البوليمر [3] .

2- تصنيف البوليمرات : Classification of polymers

2-1 التصنيف الكيميائي للبوليمرات

هناك أنواع مختلفة من البوليمرات مصنفة حسب تركيبها وعلى النحو التالي [4] :

❖ **البوليمرات الخطية :**

الجزيئية المنفردة هي الوحدة الهيكلية الأساسية للبوليمرات في سلسلة من أطوال معينة متصلة بشكل خطي . قد تشتمل البوليمرات الخطية على مجاميع ملتوية تشكل جزءا من المونومر ولكن بدون أي فرع كما في الشكل (1) .

❖ **البوليمرات المتفرعة :**

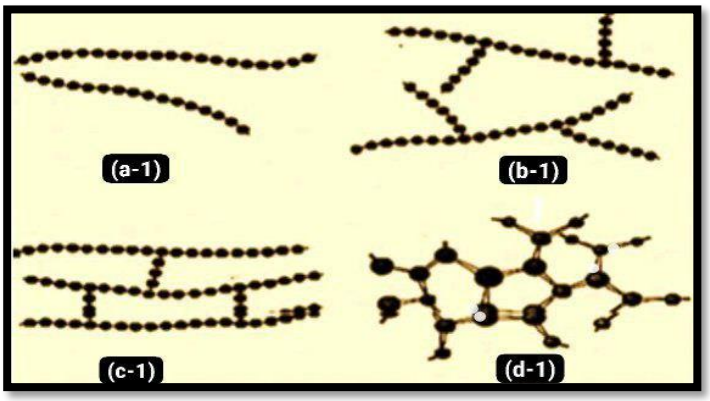
يتكون هذا النوع من البوليمرات من عدة فروع يمكن أن تكون سلما وصليبيا والتي توجد عادة بأطوال مختلفة كما هو موضح في الشكل (1) .

❖ **البوليمرات المتصالبة :**

تكون هذا النوع من البوليمرات من سلاسل من ثلاثة أبعاد مرتبطة ببعضها البعض في أكثر من موقع وتربط المونومرات في مجاميع فعالة وهي روابط كيميائية ، كما هو موضح في الشكل (1) .

❖ **البوليمرات الشبكة :**

تتكون الشبكات ثلاثية الأبعاد من ثلاثية الوظائف . امثلة : الفينول فورمالديهايد والايبوكسيات كما في الشكل (1) .



الشكل (1) أنواع التصنيف الكيميائي للبوليمرات[5] .
(1-a) البوليمرات الخطية , (1-b) البوليمرات المتفرعة
(1-c) البوليمرات المتصالبة , (1-d) البوليمرات الشبكة

2-2 تصنيف البوليمرات التي تعتمد على التجانس

تصنف البوليمرات حسب تجانس الوحدات المتكررة الى [6] :

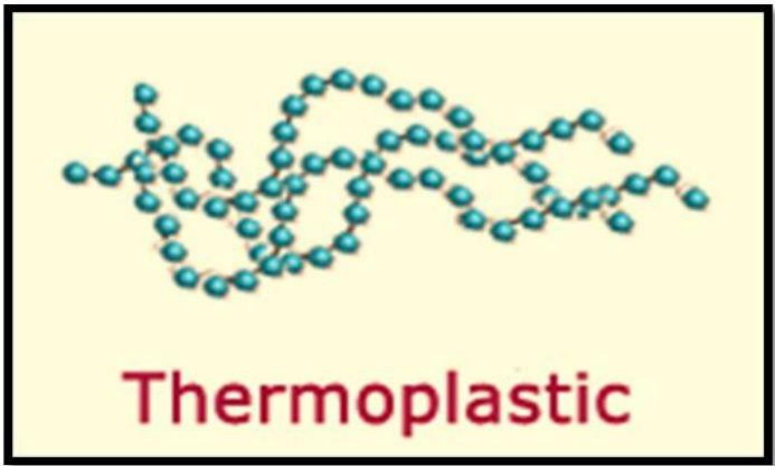
- **البوليمرات المتجانسة :** المواد المصنوعة من مونومر واحد تسمى البوليمرات المتجانسة.
- **البوليمرات المشتركة :** إذا كانت هناك مواد مصنوعة من أكثر من نوع واحد من المونومر ، فإنها تسمى البوليمرات المشتركة.
- **البوليمرات المركبة :** تتضمن البوليمرات المركبة إضافة مادة إلى بوليمرات متجانسة من أجل تغيير بعض خصائصها وادخال خصائص جديدة .

3-2 التصنيف الحراري للبوليمرات

تصنف البوليمرات حسب تأثير درجة الحرارة الى [7] :

❖ بوليمرات البلاستيكي الحراري :

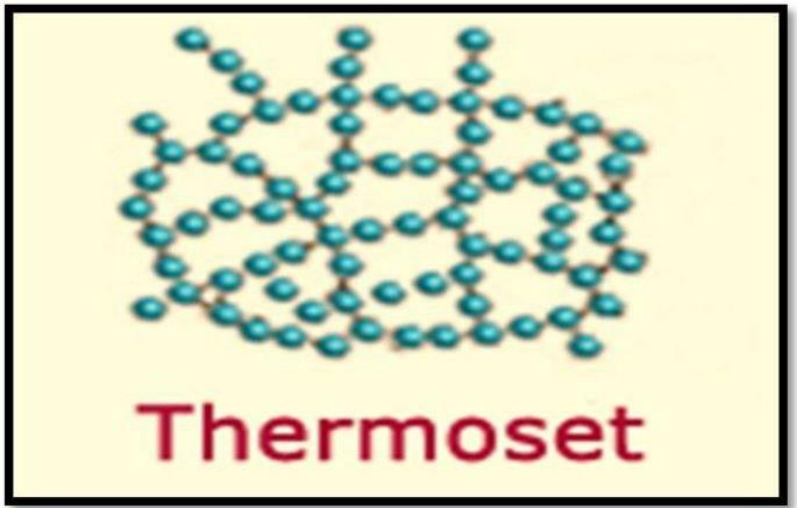
خصائص هذه البوليمرات بتأثير درجة الحرارة عندما ترتفع درجة الحرارة ، تصبح مرنة ولزجة . تستعيد هذه البوليمرات حالته الأصلية عندما تنخفض درجة الحرارة ويرجع ذلك إلى حقيقة أن جزيئات بوليمر لدن . بالحرارة مرتبطة ببعضها البعض بواسطة قوى جزيئية ضعيفة نسبيًا قوى فاندر (فاليس بولي إيثيلين ، بولي فينيل كحول ، بولي أكريلاميد ، وبولي بروبيلين أمثلة للجزيئات التييمكن أن تنزلق فوق بعضها عند تسخينها ، كما هو مبين في الشكل (2) .



الشكل (2) التكوين الذري لبوليمرات التلدن الحراري[7] .

❖ البوليمرات الحرارية :

تتغير بعض البوليمرات لتغيرات كيميائية معينة عند التسخين وتحول نفسها إلى كتلة غير قابلة للإنصهار . تتضمن عملية المعالجة أو الإعداد تفاعلا كيميائيًا يؤدي إلى مزيد من النمو والربط المتبادل لجزيئات سلسلة البوليمر وإنتاج جزيئات عملاقة . على سبيل المثال ، الراتنجات ، الفينول ، راتنجات الايبوكسي ، اليوريا ، مطاط الدين ، إلخ . ، كما هو موضح في الشكل (٣) [8] .



الشكل (٣) التكوين الذري للبوليمرات المتصلدة بالحرارة[8] .

3- القوى الجزيئية في البوليمرات Molecular forces in polymers

يوجد نوعان من الارتباطات او القوى في البوليمرات [9] :

1) الارتباطات او الاواصر الاولية :

وهي المسؤولة عن ربط الذرات المكونة لسلاسل البوليمر مع بعضها , وتمثل الاواصر التساهمية (Covalent bond) الغالبية المطلقة في معظم البوليمرات , وهذه الاواصر هي التي تربط الوحدات التركيبية مع بعضها .

2) القوى الثانوية :

وتكون هذ القوى عادة بين السلاسل البوليمرية او بين اجزاء السلسة الواحدة , ولهذه القوى تاثير بليغ على معظم خواص البوليمرات الفيزيائية والكيميائية والميكانيكة وهناك نوع اخر من الارتباطات في

البوليمرات الناتجة عن التشابك الفيزيائي للسلاسل البوليمرية الطويلة, وتوجد ايضا انواع اخرى مختلفة من القوى الثانوية بين جزيئات البوليمرات وتعرف في بعض الاحيان هذه القوى الثانوية بقوى (فاندرفالز) وتدعى احيانا بلقوى بين الجزيئات (Intermolecular forces) . ويعتبر (فاندرفالز) اول من اشار الى وجود مثل هذه القوى الثانوية بين الجزيئات ونذكر ادناه اهم انواع هذه القوى الثانوية [10] :

- قوى الاستقطاب (dipole forces)

تنجم هذه القوى عن وجود جزيئات مستقطبة في السلسة البوليمر , يكون لمثل هذه الجزيئات او المجاميع عزم قطبي اي يكون لها قطبين مختلفي الشحنة وهذا يؤدي الى حدوث تجاذب بين الاقطاب المختلفة , وان هذا النوع من القوى يعتمد على درجة الحرارة .

- قوى الحث (Induction forces)

ويعود مصدر هذه القوى الى وجود مجاميع مستقطبة في سلسلة البوليمر , اذا تؤثر هذه المجاميع على ما يحيط بها من الجزيئات او المجاميع غير المستقطبة , فتؤدي الى حدوث استقطاب جزئي في هذه الجزيئات او المجاميع ومن الجدير بلذكر ان قوى الحث لا تعتمد على درجة الحرارة [10] .

- قوى الانتشار (Dispersion forces)

يرجع مصدر هذا النوع من القوى الى تغيير العزم القطبي للجزيئات او المجاميع الموجودة في الجزيئات مع الزمن , الا ان محصلة العزم القطبي تكون مساوية للصفر ويرجع سبب هذا التغيير في العزم القطبي الى الوضعيات الالكترونية المختلفة التي تتخذها الالكترونات حول النواة كل ذرة لان هذا يؤثر على حصول قوى تجاذب تدعى بقوى التجاذب الانتشارية (Disperion attractive) ان هذه القوى موجودة في معظم الجزيئات , الا ان هذه القوى تختفي في حالة وجود مجاميع او جزيئات مستقطبة قوية وان هذ لا تعتمد على درجة الحرارة .

- الاواصر الهيدروجينية (hydrogen forces)

توجد هذه الاواصر بين الذرات المرتبطة بذرة الهيدروجين وذرة حاوية على مزدوج الكتروني ويكون الارتباط من خلال ذرات الهيدروجين . قد تنشأ الأواصر الهيدروجينية بين مجموعتين فعالتين في الجزيئة نفسها وتدعى عندئذ بلاواصر الهيدروجينية ضمن الجزيئة (Intramolecular hydrogen bonding)

, او تكون الاواصر الهيدروجينية بين مجموعتين فعالتين موجودتين على جزيئتين مختلفتين , وتدعى عندئذ بلاواصر الهيدروجينية بين الجزيئات , ومن اهم المجاميع القادرة على تكوين الاواصر الهيدروجينية هي المجاميع الكاربوكسيل (-COOH) ومجاميع الاميدات (-$CONH_2$) , والامينات (-NH_2) والهيدروكسل (-OH_0) , ان لوجود هذه المجاميع المستقطبة المكونة للاواصر الهيدروجينية تاثير كبير على صفات البوليمرات الفيزيائية والكيميائية [11] .

4- تسمية البوليمرات Nome nclature of polymers

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 [12]:

- **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.
- **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.
- **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).
- **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؛ bromoethane-1,2-diyl.

5- تحضير البوليمرات Preparation of polymers

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[13] .

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[14] .

6- تطبيقات البوليمرات Polymer applications

سيكون الطب الحديث مستحيلا دون تطبيق مواد طبيعية أو اصطناعية مختلفة، ومن بينها تلعب البوليمرات الطبيعية منها والصناعية دورا رئيسيا، والغرض من بعضهم هو البقاء في الجسم إلى الأبد، ولكن البعض الآخر مخصص فقط للاستخدام المؤقت، وتاريخيا كان لابد من إزالتها أو إخراجها من الجسم، ويمكن الآن تجنب هذه الخطوة إذا تم استخدام مواد قابلة للتحلل، وبعد أن يخدموا غرضهم ينهارون ويمتصهم الجسم [14] .

1-6 البوليمرات في الطب Polymers in medicine

في الطب توفر البوليمرات القابلة للتحلل الحيوي إمكانات كبيرة لإيصال الدواء وتسيطر عليه (مثل المواد اللاصقة والخيوط والشبكات الجراحية)، وأجهزة تقويم العظام (البراغي والمسامير والقضبان)، وتطبيقات طب الأسنان (الحشو بعد قلع الأسنان) وهندسة الأنسجة، فقط على سبيل المثال الأكثر أهمية، وبدأ تطبيق البوليمرات الاصطناعية القابلة للتحلل منذ عدة عقود ومنذ ذلك الحين كان محور الكثير من الأبحاث، وهذا لأن المتطلبات معقدة للغاية، ويجب أن يكون البوليمر متوافقا حيوانيا وليس لاستحضار استجابة التهابية، ويجب أن يكون له خصائص ميكانيكية ومعالجة مناسبة، علاوة على ذلك لا يمكن أن تكون منتجات التحلل ضارة ويجب إعادة امتصاصها بسهولة أو إفرازها، ولهذه الأسباب من المهم اختبار كل مادة بشكل كاف قبل استخدامها في جسم الإنسان، ليس فقط في المختبر ولكن في الجسم الحي أيضا .

وبما أن المتطلبات متغيرة لا يوجد بوليمر مثالي للاستخدام في الطب، وحاليا يتم تطوير مواد جديدة يجب أن تمتلك الخواص المطلوبة لأغراض محددة للغاية، لأن المواد الموجودة ليست جيدة بما فيه الكفاية من وجهة نظر الخصائص الفيزيائية والكيميائية الحيوية أو التدهور، ونظرا لاستمرار ظهور تحديات جديدة يظل تطوير مواد حيوية جديدة موضوعا شائعا، علاوة على ذلك بجانب المواد يتم أيضا تطوير تقنيات المعالجة، وغالبا بفضل استغلال الكمبيوتر، وبصرف النظر عن مزايا البوليمرات القابلة للتحلل الحيوي المستخدمة في الطب مثل الإصلاح الفسيولوجي الأسهل والأقل تدخلا أو إمكانية نمو الأنسجة، لا تزال هناك مشاكل إشكالية، ويمكن أن تكون منتجات التحلل (المونومرات والإضافات) سامة وقد يكون التعقيم صعبا [15] .

2-6 المواد البوليمرية الطبيعية والصناعية

المواد البوليمرية الطبيعية مثل القنب، اللك، العنبر، الصوف ، الحرير والمطاط الطبيعي استخدمت منذ قرون، وتوجد مجموعة متنوعة من البوليمرات الطبيعية الأخرى، مثل السليلوز ، وهو المكون الرئيسي للخشب والورق، وتشتمل قائمة البوليمرات الاصطناعية وفقا لترتيب الطلب العالمي تقريبا على البولي إيثيلين والبولي بروبيلين والبوليسترين وكلوريد البوليفينيل والمطاط الصناعي وراتنج الفينول فورمالدهايد (أو باكيليت) والنيوبرين، والنايلون والبولي أكريلونيتريل والبولي فينيل كلورايد والسيليكا والكثير غيرها، ويتم صنع أكثر من 330 مليون طن من هذه البوليمرات كل عام[16] .

والأكثر شيوعا هو أن العمود الفقري المتصل باستمرار للبوليمر المستخدم في تحضير البلاستيك يتكون أساسا من ذرات الكربون، ومثال بسيط هو البولي إيثيلين (“البوليثين” باللغة الإنجليزية البريطانية) حيث

تعتمد وحدته المكررة على مونومر الإيثيلين، والعديد من الهياكل الأخرى موجودة وعلى سبيل المثال تشكل عناصر مثل السيليكون مواد مألوفة مثل السيلكون، ومن الأمثلة على ذلك Silly Putty و مانع تسرب السباكة المقاوم للماء، ويوجد الأكسجين أيضا بشكل شائع في العمود الفقري للبوليمر مثل البوليثين جليكول والسكريات (في روابط الجليكوسيدية)، والحمض النووي (في روابط فسفودايستر) .

3-6 التخليق البيولوجي للبوليمرات Biosynthesis of polymers

هناك ثلاث فئات رئيسية من البوليمرات الحيوية السكريات ، والببتيد ، والبنوكليوتيدات، وفي الخلايا الحية يمكن تصنيعها عن طريق عمليات الإنزيم بوساطة، مثل تكوين الحمض النووي المحفز بواسطة بوليميريز الحمض النووي، ويتضمن تخليق البروتينات عمليات متعددة بوساطة الإنزيم لنقل المعلومات الوراثية من الحمض النووي إلى الحمض النووي الريبي، ومن ثم ترجمة هذه المعلومات لتوليف البروتين المحدد من الأحماض الأمينية، ويمكن تعديل البروتين بشكل إضافي بعد الترجمة من أجل توفير البنية المناسبة وعملها، وهناك البوليمرات الحيوية الأخرى مثل المطاط والسوبرين والميلانين واللجنين [16] .

4-6 البوليمرات الطبيعية Natural polymers

كانت البوليمرات التي تحدث بشكل طبيعي مثل القطن والنشا والمطاط مواد مألوفة لسنوات قبل ظهور البوليمرات الاصطناعية مثل البوليثين والبرسبيكس في السوق، ويتم تصنيع العديد من البوليمرات ذات الأهمية التجارية عن طريق التعديل الكيميائي للبوليمرات التي تحدث بشكل طبيعي، وتشمل الأمثلة البارزة تفاعل حمض النتريك والسليلوز لتشكيل النيتروسليلوز وتشكيل المطاط المفلكن عن طريق تسخين المطاط الطبيعي في وجود الكبريت، وتشمل الطرق التي يمكن بها تعديل البوليمرات الأكسدة والربط المتقاطع والنهاية[17] .

واكتسب فصل الغاز عن طريق الأغشية أهمية خاصة في صناعة البوليمرات خصوصا في صناعة البتروكيماويات، وأصبح الآن تشغيل وحدة راسخة نسبيا، وتعتبر عملية إزالة البوليمرات ضرورية لتلائم البوليمرات من أجل البثق والتكوير، مما يزيد من جوانب السلامة والبيئة وجودة المنتج، ويستخدم النيتروجين عموما لهذا الغرض مما ينتج عنه غاز تنفيس يتكون أساسا من المونومرات والنيتروجين .

5-6 معامل يونك Young's modulus

معامل يونك يحدد مرونة البوليمر، ويتم تعريفه بالنسبة للسلالات الصغيرة على أنه نسبة معدل تغير الضغط إلى الإجهاد مثل قوة الشد، وهذا مهم للغاية في تطبيقات البوليمر التي تنطوي على الخصائص الفيزيائية للبوليمرات، مثل أشرطة المطاط، والمعامل يعتمد بشدة على درجة الحرارة، وتصف اللزوجة استجابة مرنة معقدة تعتمد على الوقت والتي سوف تظهر التباطؤ في منحنى الإجهاد عند إزالة الحمل، ويقوم التحليل الميكانيكي الديناميكي أو DMA بقياس هذا المعامل المركب من خلال تأرجح الحمل وقياس الضغط الناتج كدالة للوقت [17] .

7- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للبوليمرات

Physical and chemical properties of polymers

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

7-1 الخصائص الفيزيائية للبوليمرات :

من أهمّ الخصائص الفيزيائية للبوليمرات ما يأتي:

1) تتمتع بقوة شد كبيرة؛ بسبب ازدياد طول السلسلة.
2) غير قابلة للذوبان، إذ إنّها تتحول من الحالة البلورية إلى شبه بلورية.
3) غير موصلة للحرارة، وهي قابلة للتمدد الحراري بكميات واتجاهات مختلفة [17] .

7-2 الخصائص الكيميائية للبوليمرات :

من أهمّ الخصائص الكيميائيّة للبوليمرات ما يأتي:

1) تتميز بقوة ربط عرضي؛ نتيجة الترابط الهيدروجيني والأيوني .
2) تتميز بمرونة عالية؛ بسبب الرابطة ثنائية القطب الناتجة عن السلاسل الجانبية.
3) تمتلك درجة انصهار منخفضة؛ بسبب السلاسل التي تربط بقوى فان دير فالس الضعيفة.
4) تتميّز بمعدل نفاذية منخفض جدًا[18] .

8- بوليمر مدعم بألياف الكربون Carbon fiber reinforced polymer

البوليمرات المدعمة بألياف الكربون (يرمز لها CFRP من Carbon fiber–reinforced polymer) عبارة عن نوع من أنواع اللدائن المدعمة بالألياف، والتي تتميز بأن لها متانة كبيرة مترافقة مع خفة في الوزن، وتنشأ من تدعيم البوليمرات بألياف الكربون في الشكل (4) .

الشكل (4) يوضح قطعة من طائرة مروحية مصنوعة من بوليمر مدعم بألياف الكربون[18] .

على الرغم من تكلفة التحضير، فإن البوليمرات المدعمة بألياف الكربون تستخدم بشكل كبير في التطبيقات التي تتطلب نسبة قوة إلى وزن كبيرة بالإضافة إلى الجساءة (الصلابة)، وذلك مثل في مجال تصنيع الطائرات والسيارات، وفي منتجات استهلاكية أخرى.

غالباً ما يكون البوليمر المستخدم في هذه المواد من ريزينات لدائن صلبة بالحرارة مثل الإيبوكسي، ولكن يمكن أن تكون من بوليمرات تصلب حراري أو التلدن الحراري مثل البوليستر أو فاينيل إستر أو نايلون. يمكن للمواد المؤلفة أن تحوي ألياف غير ألياف الكربون مثل أراميد (كيفلر) أو ألياف زجاجية.

تعتمد خصائص البوليمرات المدعمة بألياف الكربون على توضّع ألياف الكربون وعلى نسبتها في التركيب بالمقارنة مع البوليمر[19] .

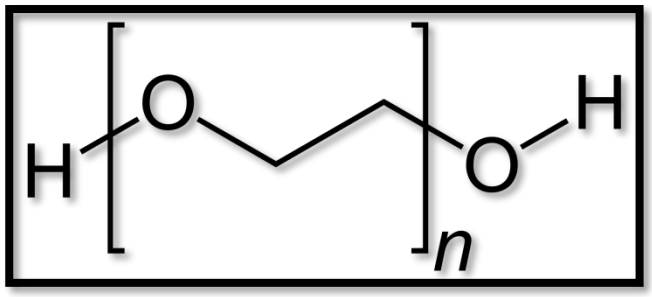
9- البوليمر الحيوي Biopolymer

البوليمرات الحيوية biopolymers هي البوليمرات المنتجة طبيعياً من الكائنات الحية وخاصةً النباتات، وتسمى أيضاً البوليمرات المتجددة renewable polymers، التي توجد أنواع مختلفة منها في الطبيعة لدى جميع زمر الكائنات الحية، أي إنها ذات منشأ متجدد كما أنها قابلة للتدرك (التفكك) الحيوي biodegradation في الطبيعة، وسيؤدي التوسع باستخدامها إلى تخفيف التأثيرات السلبية في البيئة مقارنة مع المواد الأخرى المصنّعة. يتألف البوليمر polymer من سلاسل طويلة من الجزيئات المرتبطة بعضها مع بعض بروابط كيميائية تشاركية covalent. ويطلق هذا المصطلح على اللدائن أو البلاستيك؛ ولكنه يشمل أيضاً مجموعة من المركّبات الطبيعية أو المصنَّعة ذات خصائص متعددة ومتباينة، لها دور كبير في الحياة اليومية. وقد استخدمت بوليمرات طبيعية مثل الشيلاك shellac (مادة صمغية تستخدم لصناعة الأصبغة) والكهرمان amber والمطاط الطبيعي natural rubber منذ قرون، إضافةً إلى غيرها من البوليمرات الأساسية في الكائنات الحية مثل السلولوز الذي يُعدّ مادة الأساس في بنية النباتات، ومنتجاتها مثل الخشب والورق والنسج الطبيعية. في حين تتضمن البوليمرات المصنّعة موادَّ مثل المطاط الصناعي والبكاليت bakelite، وهو نوع من البلاستيك الصلب المستخدم في صناعة الأدوات العازلة للكهرباء، والنيوبرين neoprene (نوع من المطاط الصناعي المستخدم في المنتجات المقاومة للماء) والنايلون nylon والبوليسترين polystyrene والبولي إتيلين polyethylene والبوليبروبيلين polypropylene وغيرها الكثير[20] .

ويتم إنتاج بعض هذه البوليمرات عن طريق التخمير البكتري أو الفطري للركائز substrate العضوية والمخلفات الزراعية لاستخدامها تجارياً على نحو واسع في العديد من التطبيقات، مثل الغذاء والصيدلة وصناعة البلاستيك والزراعة [20] .

10- أكسيد البولي ايثيلين Polyethylene oxide (PEO)

هو مركب إيثر له العديد من التطبيقات من الصناعية التحويلية إلى الطب. يُعرف أكسيد البولي ايثيلين (PEO) أيضا باسم بولي إيثيلين جلايكول أو بولي أوكسي إيثيلين (POE) اعتمادا علي الوزن الجزيئي. عادة ما يتم التعبير عن هيكل (PEO) في الشكل (5) :



الشكل (5) يبين هيكل (PEO) [21] .

يشير PEG أو PEO أو POE إلى مركب قليل القسيمات أو بوليمر من أكسيد الإيثيلين. الثلاثة أسماء هي مترادفات كيميائية، ولكن PEG هو الاسم المفضل تاريخيا في مجال الطب الحيوي، بينما PEO هو الأكثر انتشارا في مجال كيمياء البوليمرات. ولأن التطبيقات المختلفة تتطلب أطوال مختلفة من سلاسل البوليمر فإن PEG يميل إلى الإشارة إلى المركبات قليلة القسيمات والبوليمرات ذات الكتلة الجزيئية أقل من 20000 جم/مول، ويشير PEO إلى البوليمرات ذات الكتلة الجزيئية أكبر من 20000 جم/مول، ويشير POE إلى البوليمرات أيا كانت كتلتها الجزيئية. يمكن تحضير PEG عن طريق بلمرة أكسيد الإيثيلين وهو متوفر تجاريا في صورة مجموعة واسعة من الأوزان الجزيئية من 300 جم/مول إلى 10,000,000 جم/مول.

كل من PEG وPEO هي سوائل أو مواد صلبة منخفضة درجة الذوبان اعتمادا على الوزن الجزيئي. في حين أن لكل من PEG وPEO أوزانا جزيئية مختلفة وتطبيقات مختلفة وخواصا فيزيائية مختلفة (مثل اللزوجة) إلا أن خواصهم الكيميائية متطابقة تقريبا. يوجد أنواع مختلفة أيضا من PEG اعتمادا على البادئ المستخدم في عملية البلمرة [21] .

تتوفر مادة PEG أيضا في أشكال هندسية مختلفة:

- مادة PEG المتشعبة لديها من ثلاثة إلى عشرة سلاسل متفرعة من مجموعة مركزية.
- مادة PEG النجمية لديها من 10 إلى 100 سلسلة متفرعة من مجموعة مركزية.
- مادة PEG المشطية لديها سلاسل متعددة والتي عادة ما تكون صادرة من بوليمر رئيسي.

11- البوليمرات الحيوية الشائعة Common biopolymers

- الكولاجين Collagen :

الكولاجين هو التركيب الأساسي للفقاريات وهو البروتين الأكثر وفرة في الثدييات. لهذا السبب ، يعد الكولاجين أحد البوليمرات الحيوية التي يمكن الحصول عليها بسهولة ، ويستخدم في العديد من الأغراض البحثية. بسبب هيكله الميكانيكي ، يتمتع الكولاجين بقوة شد عالية وهو مادة غير سامة وسهلة الامتصاص وقابلة للتحلل الحيوي ومتوافقة مع الحياة. لذلك ، فقد تم استخدامه في العديد من التطبيقات الطبية مثل علاج عدوى الأنسجة وأنظمة توصيل الأدوية والعلاج الجيني[22] .

- ألياف الحرير Silk Fibroin (SF) :

هو بوليمر حيوي آخر غني بالبروتين يمكن الحصول عليه من أنواع مختلفة من دودة الحرير ، مثل دودة التوت Bombyx mori. على عكس الكولاجين ، فإن SF6 لديه قوة شد أقل ولكن له خصائص لاصقة قوية بسبب تركيبته البروتينية الليفية وغير القابلة للذوبان. في الدراسات الحديثة ، وجد أن الحرير الفيبروييني يمتلك خصائص مضادة للتخثر والتصاق الصفائح الدموية. بالإضافة إلى ذلك ، تم العثور على ألياف فيبروين الحريرية لدعم تكاثر الخلايا الجذعية في المختبر.

- الجيلاتين Gelatin :

يتم الحصول على الجيلاتين من النوع الأول من الكولاجين المكون من السيستين ، وينتج عن طريق التحلل المائي الجزئي للكولاجين من العظام والأنسجة والجلد للحيوانات. هناك نوعان من الجيلاتين ، النوع A والنوع B. النوع A من الكولاجين مشتق من التحلل الحمضي للكولاجين ويحتوي على 18.5٪ نيتروجين. النوع ب مشتق من التحلل المائي القلوي الذي يحتوي على 18٪ نيتروجين وليس مجموعات أميد. تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى ذوبان الجيلاتين ويوجد على شكل ملفات ، بينما تؤدي درجات الحرارة المنخفضة إلى تحول الملف إلى الحلزون. يحتوي الجيلاتين على العديد من المجموعات الوظيفية مثل NH2 و SH و COOH والتي تسمح بتعديل الجيلاتين باستخدام الجسيمات غير الجسيمات والجزيئات الحيوية. الجيلاتين هو بروتين مصفوفة خارج الخلية يسمح بتطبيقه في تطبيقات مثل ضمادات الجروح وتوصيل الأدوية ونقل العدوى [23] .

- النشا Starch :

النشا عبارة عن بوليمر حيوي غير مكلف قابل للتحلل الحيوي ووفرة في العرض. يمكن إضافة ألياف النانو و ألياف دقيقة إلى مصفوفة البوليمر لزيادة الخصائص الميكانيكية للنشا وتحسين المرونة والمرونة والقوة. بدون الألياف ، يكون للنشا خصائص ميكانيكية رديئة بسبب حساسيته للرطوبة. يتم استخدام النشا كونها قابلة للتحلل البيولوجي ومتجددة في العديد من التطبيقات بما في ذلك البلاستيك والأقراص الصيدلانية.

- السليلوز Cellulose :

السليلوز منظم للغاية مع سلاسل مكدسة تؤدي إلى الاستقرار والقوة. تأتي القوة والثبات من الشكل الأكثر استقامة للسليلوز الناتج عن الجلوكوز مونومرات مرتبطة ببعضها البعض بواسطة روابط الجليكوجين. يسمح الشكل المستقيم للجزيئات بالتجمع بشكل وثيق. يعتبر السليلوز شائعًا جدًا في الاستخدام نظرًا لإمداداته الوفيرة وتوافقه الحيوي وصديق للبيئة. يستخدم السليلوز على نطاق واسع في شكل ألياف نانوية تسمى نانو السليلوز. ينتج النانو السليلوز بتركيزات منخفضة مادة هلامية شفافة. يمكن استخدام هذه المادة للأفلام الكثيفة القابلة للتحلل الحيوي ، المتجانسة ، والتي تعد مفيدة جدًا في مجال الطب الحيوي.

- ألجينات Alginates :

ألجينات هو البوليمر البحري الطبيعي الأكثر وفرة المشتق من الأعشاب البحرية البنية. تتراوح تطبيقات البوليمر الحيوي من الألجينات من التعبئة والتغليف وصناعة النسيج والمواد الغذائية إلى الهندسة الطبية الحيوية والكيميائية. كان أول تطبيق للألجينات على شكل ضماد للجروح ، حيث تم اكتشاف خصائصه الشبيهة بالهلام والامتصاص. عند تطبيقه على الجروح ، ينتج الألجينات طبقة هلامية واقية مثالية للشفاء وتجديد الأنسجة ، وتحافظ على بيئة درجة حرارة ثابتة. بالإضافة إلى ذلك ، كانت هناك تطورات مع الألجينات كوسيط لتوصيل الدواء ، حيث يمكن بسهولة التلاعب بمعدل إطلاق الدواء بسبب مجموعة متنوعة من كثافات الجينات والتركيب الليفي [24] .

12- تصنيف البوليمرات الحيوية Classification of biopolymers

توضع البوليمرات الحيوية في ثلاث فئات تبعاً لاختلاف الوحدات الجزيئية (المونومرات) monomers الداخلة في تركيبها، وهي [25] :

1- متعددات النكليوتيد polynucleotides: وهي بوليمرات طويلة تتألف من وحدات أحادية تركيبية monomeric units من النكليوتيدات nucleotide التي ترتبط معاً في سلسلة واحدة، والنكليوتيدات هي جزيئات عضوية تعمل كوحدات بنائية في تركيب الأحماض النووية المختلفة DNA وRNA.

2- متعددات الببتيد polypeptides: يطلق عليها عادةً اسم البروتينات، وهي بوليمرات قصيرة نسبياً مؤلفة من جزيئات الحموض الأمينية المرتبطة معاً بروابط ببتيدية، وتتألف من عدة سلاسل متفرعة أو سلسلة أحادية متعددة الببتيد، ويمكن أن ترتبط بمكونات أخرى مثل سلاسل السكريات واللبيدات، ولها في الكائنات الحيّة وظائف مهمّة، ومنها الإنزيمات والهرمونات.

3- عديدات (متعددات) السكريد polysaccharides: هي جزيئات سكرية (كربوهدراتية) ضخمة macromolecules تتألف من سكريات بسيطة مرتبطة معاً بروابط غلوكوزيدية بشكل سلاسل خيطية أو متفرعة، وتقوم بوظيفتين رئيسيتين: تخزين الطاقة اللازمة لنشاط الخلايا مثل النشاء والغليكوجين، أو كمواد بناء أساسية للأعضاء النباتية على نحو خاص مثل السلولوز واللغنين legnin (الخشبين).

كما تصنف البوليمرات الحيوية بحسب مصادرها في أربعة أقسام مختلفة [26] :

1- منتجات المصادر النباتية: وتتضمن عديدات السكريد (النشاء والسلولوز واللغنين والبكتين ...) والبروتينات واللبيدات.

2- منتجات المصادر الحيوانية: منها الجيلاتين gelatin والكولاجين collagen.

3- منتجات الأحياء المائية: منها الكيتين chitin الذي يمكن تحويله إلى كيتوزان chitosan.

4- منتجات الأحياء الدقيقة (المصادر المكروبية) وتتضمن عديد الهدروكسي ألكانوات: Polyhydroxyalkanoates (PHA) وعديد حمض اللبن Polylactic Acid (PLA)، والتي يمكن تحضيرها من قبل كائنات دقيقة مختارة يتم إكثارها بتقانات التخمير fermentation.

يمكن عملياً الحصول على البوليمرات الحيوية بثلاثة طرائق:

أ - من زرعات الأحياء الدقيقة.

ب - من الكائنات الحية الراقية مثل النباتات.

ج - بطرائق كيميائية بالاعتماد على أساس حيوي. ويوضح الجدول (1) أهم البوليمرات الحيوية ودورها في الطبيعة.

يوضح الجدول (1) أهم البوليمرات الحيوية ودورها في الطبيعة[27] .

البوليمر	المونومر	الوظائف
الحموض النووية: **دناDNA** **رناRNA**	نكليوتيدات منقوصة الأكسجين نكليوتيدات	حاملة للشيفرة الوراثية في معظم الكائنات الحية. حاملة للشيفرة الوراثية في بعض الفيروسات ولها وظائف عديدة ومتنوعة مهمة في جميع الكائنات الحية
البروتينات	الحموض الأمينية	الإنزيمات وبعض الهرمونات والبروتينات البنيوية مثل الكولاجين والكيراتين.
عديدات السكريد (الكربوهِدرات)	السكريات	مركّبات بنيوية في النبات والحيوان (سلولوز- كيتين) مواد مخزنة للطاقة (نشاء- غليكوجين) وغيرها.
عديدات الفينول	فينولات	مواد بنيوية في النباتات (لغنين- تانينات- دبال....)
عديدات الفسفات	فسفات	مواد تخزين طاقة لا عضوية.

13- تطبيقات البوليمر الحيوي

13-1 تطبيقات في الطب الحيوي

نظرًا لأن أحد الأغراض الرئيسية للهندسة الطبية الحيوية هو محاكاة أجزاء الجسم للحفاظ على وظائف الجسم الطبيعية ، نظرًا لخصائصها المتوافقة حيويًا ، يتم استخدام البوليمرات الحيوية إلى حد كبير بالنسبة إلى هندسة الأنسجة والأجهزة الطبية وصناعة الأدوية. يمكن استخدام العديد من البوليمرات الحيوية للطب

التجديدي وهندسة الأنسجة وتوصيل الأدوية والتطبيقات الطبية الشاملة نظرًا لخصائصها الميكانيكية. أنها توفر خصائص مثل التئام الجروح ، وتحفيز النشاط الحيوي ، وعدم السمية. بالمقارنة مع البوليمرات الاصطناعية ، والتي يمكن أن تقدم عيوبًا مختلفة مثل الرفض المناعي والسمية بعد التحلل ، فإن العديد من البوليمرات الحيوية عادة ما تكون أفضل مع التكامل الجسدي لأنها تمتلك أيضًا هياكل أكثر تعقيدًا ، مماثلة لجسم الإنسان [28] .

وبشكل أكثر تحديدًا ، فإن البولي ببتيدات مثل الكولاجين والحرير ، هي مواد متوافقة حيوياً يتم استخدامها في الأبحاث الرائدة ، لأنها غير مكلفة ويمكن الحصول عليها بسهولة. غالبًا ما يستخدم الجيلاتين بوليمر في تضميد الجروح حيث يعمل كمادة لاصقة. تسمح السقالات والأغشية التي تحتوي على الجيلاتين للسقالات بحمل الأدوية والعناصر الغذائية الأخرى التي يمكن استخدامها لتزويد الجرح بالشفاء. نظرًا لأن الكولاجين هو أحد البوليمرات الحيوية الأكثر شيوعًا المستخدمة في العلوم الطبية الحيوية ، فإليك بعض الأمثلة على استخدامها:

أنظمة توصيل الأدوية القائمة على الكولاجين: تعمل أفلام الكولاجين مثل غشاء حاجز وتستخدم لعلاج التهابات الأنسجة مثل أنسجة القرنية المصابة أو سرطان الكبد. تم استخدام جميع أفلام الكولاجين في ناقلات توصيل الجينات التي يمكن أن تعزز تكوين العظام [29] .

يمكن استخدام مصفوفات الكولاجين أو الإسفنج لعلاج الجروح لإعادة نمو الأنسجة وتقويتها.

إسفنج الكولاجين: إسفنج الكولاجين يستخدم كضمادة لعلاج ضحايا الحروق والجروح الخطيرة الأخرى. تستخدم الغرسات التي أساسها الكولاجين لخلايا الجلد المزروعة أو حاملات الأدوية التي تُستخدم لجروح الحروق واستبدال الجلد.

الكولاجين كمخثرة : عندما يتفاعل الكولاجين مع الصفائح الدموية فإنه يسبب تخثر سريع للدم . ينتج هذا التخثر السريع إطارًا مؤقتًا بحيث يمكن تجديد السدى الليفي بواسطة الخلايا المضيفة. يقلل هيموستات قواعد الكولاجين من فقدان الدم في الأنسجة ويساعد على إدارة النزيف في الأعضاء الخلوية مثل الكبد والطحال [30] .

Chitosan هو بوليمر حيوي شائع آخر في مجال البحوث الطبية الحيوية. الكيتوزان هو المكون الرئيسي في الهيكل الخارجي من القشريات والحشرات وثاني أكثر البوليمرات الحيوية وفرة في العالم.

يمتلك الشيتوزان العديد من الخصائص الممتازة لعلوم الطب الحيوي. الشيتوزان متوافق حيويًا ، فهو نشط بيولوجيًا بدرجة عالية ، مما يعني أنه يحفز استجابة مفيدة من الجسم ، ويمكن أن يتحلل بيولوجيًا مما يلغي عملية جراحية ثانية في تطبيقات الزرع ، ويمكن أن يشكل المواد الهلامية والأغشية ، وهو انتقائيًا نفاذية . تسمح هذه الخصائص بالتطبيقات الطبية الحيوية المختلفة للكيتوزان.

الشيتوزان كإيصال للأدوية: يستخدم الشيتوزان بشكل أساسي مع استهداف الأدوية لأنه يحسن امتصاص الدواء واستقراره. بالإضافة إلى ذلك ، فإن الكيتوزان المقترن بالعوامل المضادة للسرطان يمكن أن ينتج عنه أيضًا تأثيرات أفضل ضد السرطان عن طريق التسبب في الإطلاق التدريجي للدواء الحر في الأنسجة السرطانية[31] .

الشيتوزان كعامل مضاد للميكروبات: يستخدم الشيتوزان لوقف نمو الكائنات الحية الدقيقة . يؤدي وظائف مضادة للميكروبات في الكائنات الحية الدقيقة مثل الطحالب والفطريات والبكتيريا و البكتيريا الموجبة للجرام من أنواع الخميرة المختلفة.

مركب الشيتوزان لهندسة الأنسجة: تُستخدم القوة الممزوجة من الشيتوزان مع الألجينات معًا لتشكيل ضمادات الجروح الوظيفية. تخلق هذه الضمادات بيئة رطبة تساعد في عملية الشفاء. ضمادة الجرح هذه أيضًا متوافقة حيوياً للغاية وقابلة للتحلل الحيوي ولها هياكل مسامية تسمح للخلايا بالنمو في الضمادة .

2-13 تطبيقات في الصناعة

طعام : يتم استخدام البوليمرات الحيوية في صناعة المواد الغذائية لأشياء مثل التعبئة والتغليف ، أغشية تغليف صالحة للأكل أغشية تغليف وأطعمة مغلفة. يعتبر (Polylactic Acid) (PLA) شائعًا جدًا في صناعة الأغذية بسبب لونه الصافي ومقاومته للماء. ومع ذلك ، فإن معظم البوليمرات لها طبيعة ماء وتبدأ في التدهور عند تعرضها للرطوبة. تُستخدم البوليمرات الحيوية أيضًا كأغشية صالحة للأكل تغلف الأطعمة. يمكن أن تحمل هذه الأفلام أشياء مثل مضادات الأكسدة ، إنزيمات ، البروبيوتيك ، المعادن ، والفيتامينات. يمكن للأطعمة المستهلكة المغلفة بغشاء البوليمر الحيوي أن تزود الجسم بهذه الأشياء[32] .

التغليف: البوليمرات الحيوية الأكثر شيوعًا المستخدمة في التغليف هي polyhydroxyalkanoate (PHA) و (polylactic acid) (PLA) والنشا وPLA متاحان تجاريًا قابلين للتحلل البيولوجي مما

يجعلهما خيارًا شائعًا للتغليف. ومع ذلك ، فإن خصائصها الحاجزة وخصائصها الحرارية ليست مثالية. البوليمرات المحبة للماء ليست مقاومة للماء وتسمح للماء بالمرور عبر العبوة مما قد يؤثر على محتويات العبوة. حمض بولي جليكوليك (PGA) هو بوليمر حيوي له خصائص حاجز كبيرة ويستخدم الآن لتصحيح عوائق الحاجز من PLA والنشأ [33] .

تنقية المياه: تم استخدام البوليمر الحيوي الأحدث المسمى الشيتوزان لتنقية المياه. يُستخدم الشيتوزان باعتباره مادة مادة ندفية لا تستغرق سوى بضعة أسابيع أو شهور بدلاً من سنوات لتتحلل في البيئة. يقوم الشيتوزان بتنقية المياه باستخدام عملية إزالة معدن ثقيل عندما يزيل المعادن من الماء. يحدث الاستخلاب عندما ترتبط مواقع الربط على طول سلسلة البوليمر بالمعدن في الماء مكونًا clelates . تم استخدام الشيتوزان في العديد من المواقف لتنظيف مياه العواصف أو مياه الصرف الصحي التي قد تكون ملوثة.

3-13 تطبيقات البوليمرات الحيوية كمواد

بعض البوليمرات الحيوية - مثل PLA ، التي تحدث بشكل طبيعي zein ، و poly-3-hydroxybutyrate يمكن تستخدم كبلاستيك ، لتحل محل الحاجة إلى بلاستيك قائم على بوليسترين أو بولي إيثيلين [34] .

يُشار الآن إلى بعض أنواع البلاستيك على أنها "قابلة للتحلل" أو "قابلة للتحلل بالأكسجين" أو "قابلة للتحلل بالأشعة فوق البنفسجية". هذا يعني أنها تتحلل عند تعرضها للضوء أو الهواء ، لكن هذه المواد البلاستيكية لا تزال أساسًا (بقدر 98 في المائة) زيت وهي غير معتمدة حاليًا على أنها "قابلة للتحلل الحيوي" بموجب توجيه الاتحاد الأوروبي بشأن نفايات التعبئة والتغليف (EC / 62/94). سوف تتحلل البوليمرات الحيوية ، وبعضها مناسب للسماد المحلي سماد .

يتم إنتاج البوليمرات الحيوية (وتسمى أيضًا البوليمرات المتجددة) من الكتلة الحيوية لاستخدامها في صناعة التعبئة والتغليف. تأتي الكتلة الحيوية من محاصيل مثل بنجر السكر أو البطاطس أو القمح: عند استخدامها لإنتاج البوليمرات الحيوية ، يتم تصنيفها على أنها محاصيل غير غذائية . يمكن تحويلها في المسارات التالية [35] :

1. بنجر السكر >حمض الجليكونيك>حمض بوليجليكونيك

2. النشا >(التخمير)>حمض اللاكتيك >حمض بوليلاكتيك (PLA)
3. الكتلة الحيوية >(التخمير)>الإيثانول الحيوي > الإيثين > البولي إيثيلين

يمكن تصنيع العديد من أنواع التغليف من البوليمرات الحيوية: صواني الطعام ، كريات النشا المنفوخة لشحن البضائع الهشة ، أغشية رقيقة للتغليف.

14- التأثيرات البيئية للبوليمرات الحيوية

يمكن أن تكون البوليمرات الحيوية مستدامة ومحايدة الكربون ودائمًا قابلة للتجديد ، لأنها مصنوعة من مواد نباتية يمكن زراعتها إلى أجل غير مسمى. تأتي هذه المواد النباتية من >193> محاصيل غير غذائية . لذلك ، فإن استخدام البوليمرات الحيوية من شأنه أن يخلق صناعة مستدامة . في المقابل ، فإن المواد الأولية للبوليمرات المشتقة من البتروكيماويات سوف تستنفد في النهاية. بالإضافة إلى ذلك ، البوليمرات الحيوية لديها القدرة على خفض انبعاثات الكربون وتقليل كميات ثاني أكسيد الكربون 2 في الغلاف الجوي: هذا لأن ثاني أكسيد الكربون 2 المنطلق عندما يتحلل يمكن أن يكون يعاد امتصاصها بواسطة المحاصيل المزروعة لتحل محلها: هذا يجعلها قريبة من الكربون المحايد [36] .

البوليمرات الحيوية قابلة للتحلل ، وبعضها قابل للتسميد. بعض البوليمرات الحيوية قابلة للتحلل البيولوجي : يتم تقسيمها إلى CO 2 والماء بواسطة الكائنات الحية الدقيقة . بعض هذه البوليمرات الحيوية القابلة للتحلل الحيوي قابلة للتحلل سمادًا : يمكن وضعها في عملية التسميد الصناعي وسوف تتحلل بنسبة 90٪ في غضون ستة أشهر. يمكن تمييز البوليمرات الحيوية التي تقوم بذلك برمز "قابل للتسميد" ، بموجب المعيار الأوروبي (2000) (EN 13432). يمكن وضع العبوات المميزة بهذا الرمز في عمليات التسميد الصناعي وستتحلل في غضون ستة أشهر أو أقل. مثال على البوليمر القابل للتحويل إلى سماد هو فيلم PLA الذي يقل سمكه عن 20 ميكرومتر: الأغشية التي تكون أكثر سمكًا من تلك غير قابلة للتسميد ، على الرغم من أنها "قابلة للتحلل الحيوي". يوجد في أوروبا معيار للتسميد المنزلي وشعار مرتبط به يتيح للمستهلكين التعرف على العبوات والتخلص منها في كومة السماد[37] .

15- أهم استخدامات البوليمرات الحيوية

The most important uses of biopolymers

تقوم البوليمرات الحيوية بدور أساسي في الطبيعة، فبعضها مثل الحموض النووية والبروتينات تحمل المعلومات الحيوية، وتقوم بوظائف أساسية في الكائنات الحية، في حين يوفّر بعضها الآخر مثل عديدات السكريد الوقود اللازم لنشاط الخلايا والمكونات البنيوية للنظام الحيوي.

وتستخدم البوليمرات الحيوية حالياً في بعض التطبيقات الصناعية الحديثة مثل صناعة مواد التغليف التي تنتج من الكتلة الحيوية مثل المحاصيل الزراعية كالشوندر السكري والبطاطا أو القمح، وذلك بتحويلها بالعمليات الآتية: [38]

1. السكريات -> حمض الغليكونيك glyconic acid -> عديد حمض الغليكونيك Polyglonic Acid.
2. النشويات -> تخمير fermentation -> حمض اللبن lactic acid -> عديد حمض اللبن Polylactic Acid (PLA).
3. الكتلة الحيوية biomass -> تخمير fermentation -> إتانول حيوي bioethanol -إتين Ethene -> عديد الإتلين polyethylene.

كما يمكن أن تستخدم بعض أنواع البوليمرات الحيوية لصنع الكرات البلاستيكية الخفيفة المستخدمة في العزل الحراري أو في أثناء شحن المواد القابلة للكسر.

وقد أُدخِلت البوليمرات الحيوية اليوم في مجالات متعددة جديدة مثل المجالات الطبية والغذائية وغيرها، وسرعان ما بدأت بمنافسة اللدائن التجارية. ومن بعض الأمثلة على البوليمرات الحيوية: البوليمرات السلولوزية المشتقة من مواد سلولوزية متجددة ولدائن النشا والبلاستيك المشتق من الذرة، عديدات الإسترات البكترية bacterial polyesters.

وقد توصلت الأبحاث التي تركزت في هذا المجال، منذ تسعينيات القرن العشرين حتى الوقت الحاضر، إلى العديد من المنتجات الحيوية الجديدة مثل عديد حمض اللبن (PLA) من الذرة، وعديد اليوريثان polyurethane من زيت الصويا، ومواد لاصقة adhesives من بروتين الصويا، ومذيبات solvents

من زيوت الذرة والصويا، ومواد التزليق أو التشحيم lubricants من الزيوت النباتية، والبوليمرات المتحملة للحرارة (اللدائن الحرارية) من الصويا والذرة، والحموض العضوية من المحاصيل الزراعية، والمواد الحيوية المركّبة biocomposites من الألياف اللغنوسلولوزية، بالاشتراك مع بوليمرات مشتقة أساساً من النفط مثل عديد البروبيلين (Polypropylene (PP وعديد الإتلين (Polyethylene (PE أو مع بوليمرات حيوية مثل عديد حمض اللبن (PLA) وإسترات السلولوز cellulose esters وعديدات هدروكسي ألكانوات (PHA)، والراتنجات الحيوية المنتجة من الزيوت النباتية vegetable oil-based bioresins [39] .

وأفضل مثال على البوليمرات الحيوية المشتقة من مصادر متجددة هي اللدائن السلولوزية cellulosic plastics مثل أسيتات السلولوز وإسترات النشا وعديد حمض اللبن (PLA) المشتق من الذرة.

16- أهم البوليمرات الحيوية

1 - الألياف الطبيعية natural fibers : ظهرت الألياف الطبيعية حالياً بوصفها بدائل متاحة لألياف الزجاج إمّا وحدها؛ وإمّا بالاشتراك مع مواد أخرى، وذلك في العديد من التطبيقات مثل صناعة قطع المحركات automotive parts وفي المجالات العمرانية ومواد التغليف الصلبة rigid packaging materials؛ إذ إن فوائدها تفوق الألياف الصنعية أو التي يصنعها الإنسان مثل الزجاج، وأقل تكلفة و كثافة وذات خصائص ميكانيكية نوعية منافسة، ولا تسبب انبعاث غاز ثنائي أكسيد الكربون، وهي مستدامة ومتجددة وقابلة لإعادة التصنيع (التدوير) وقابلة للتدرك الحيوي.

تتكون الألياف الطبيعية من السلولوز والهيميسلولوز والخشبين والبكتين والشمع على نحو أساسي؛ إذ إن جميع الألياف النباتية ذات طبيعة سلولوزية بالأساس، سواء أكانت متخشبة أم لا. ويُعدّ السلولوز والخشبين من أهم مكوناتها. وعلى الرغم من تماثل التركيب الكيميائي للسلولوز في مختلف الألياف الطبيعية؛ فإنه يختلف في درجة البلمرة Degree of Polymerization (DP)، وتختلف الخصائص الميكانيكية للألياف على نحو كبير حسب درجة البلمرة حيث تُعزى الفعالية المقوية للألياف الطبيعية إلى طبيعة السلولوز تحديداً وميزاته البلّورية. أما اللغنين فهو بوليمر فينولي ذو وزن جزيئي مرتفع، ويُعدّ مقاوماً للتحلل المكروبي بصورة عامة[40] .

وتتفوق الألياف الليغنوسلولوزية بفوائدها على تلك المصنَّعة بسبب إمكان ثنيها من دون أن تنكسر في أثناء عملية التصنيع.

تقسم الألياف الطبيعية بحسب مصدرها إلى ألياف نباتية أو حيوانية أو معدنية، وعموماً فإن ألياف النباتات هي المستخدمة لتقوية البوليمرات الحيوية .

تناول العديد من الأبحاث الحديثة، إمكان الاستفادة من الألياف الطبيعية كبنية أساسية متحملة يمكن مزجها بمواد أخرى ضمن خلائط، وقد ازداد استخدامها بسبب انخفاض كلفتها نسبياً وإمكان إعادة تصنيعها؛ ولأنها منافسة على نحو جيد من حيث الصلابة نسبة إلى وزن المادة، ومن أهم الألياف الطبيعية: [41]

آ- ألياف الساق والتي تؤخذ من سوق العديد من النباتات، ومنها ألياف قصب السكر والكتان والقنب والجوت والسيسال (الآغاف). وتُعدّ ألياف قصب السكر من المنتجات الثانوية لصناعة السكر من هذا المحصول الذي يزرع بكثرة في المناطق المدارية مثل البرازيل والهند وباكستان وإندونيسيا والفيليبين ومصر والسودان. وقد استخدمت ألياف قصب السكر مواد أساسية في تشكيل خلائط حيوية مثل خلائط المطاط، كما أدخلت في تصنيع الأسقف المضلعة بسبب بنيتها المتينة حيث أظهرت قدرة عالية لتحمل الاستخدام المستمر لفترة طويلة[41] .

ب - ألياف الأوراق: مثل أوراق الموز والأناناس والسيسال والتي تستخدم لصناعة الحبال.

ج - ألياف البذور: مثل ألياف بذور القطن التي تستخدم على نحو واسع في الصناعات النسيجية.

2 - البوليمرات الحيوية من السلولوز والنشاء: النشاء والسلولوز من أفضل المصادر المتجددة المعروفة القابلة لصناعة اللدائن (البلاستيك) القابلة للتفكك الحيوي، بيد أنها ليست مواد لدنة (بلاستيكية) بشكلها الأصلي؛ ولكنها قابلة لاكتساب هذه الصفة باستخدام طرائق تصنيع تنتهي بالتلدن plasticization.

يُعدّ النشاء واحداً من أقل المواد القابلة للتدرك الحيوي تكلفةً في السوق العالمية حالياً، وهو بوليمر متعدد الميزات وذو إسهام كبير في الصناعات غير الغذائية، حيث يمكن إنتاج بوليمرات النشاء من الذرة والرز والقمح والبطاطا. كما يمكن تحويل النشاء إلى بلاستيك متحمل للحرارة من خلال تفكيك تركيبه في البداية بوجود كميات محددة من المواد الملدنة plasticizers مثل الماء أو عديدات الكحول polyalcohols في ظروف محددة من التصنيع بالبثق extrusion. ويتعرض في أثناء تحوله إلى بلاستيك النشاء لثلاث مراحل أساسية:

- تجزئة حبيبات النشاء، ثم تفكيك الروابط الهدروجينية بين جزيئات النشاء لإضعاف البنية البلّورية، وأخيراً تقليل درجة البلمرة.
- يمكن استخدام النشاء المتحمل للحرارة وحده مثل البلاستيك التقليدي، بيد أن حساسيته للرطوبة تجعله غير ملائم للعديد من التطبيقات، وهذا لا يمنع من استخدامه في كثير من المجالات بديلاً من البوليسترين.
- ويمكن تزويد لدائن النشاء بخصائص مقاومة للماء عن طريق مزجها مع بوليمرات قابلة للتفكك الحيوي مصنعة من مشتقات النفط مثل عديد كابرولاكتون Polycaprolactone (PCL)؛ مما يجعلها مفيدة في التصنيع التجاري.

والسلولوز أكثر مركّب عضوي طبيعي وجوداً على سطح الأرض، حيث يشكل 33% من المواد النباتية، و90 % من تركيب ألياف القطن، و50% من الخشب. ويُعدّ سلولوز الخشب والقطن مناسباً كمواد خام feedstocks لصناعة المواد البلاستيكية السلولوزية [42] .

تتضمن إسترات السلولوز تراكيب مختلفة: أسيتات السلولوز (Cellulose Acetate (CA، بروبيونات أسيتات السلولوز (Cellulose Acetate Propionate (CAP، وبوتيرات أسيتات السلولوز (Cellulose Acetate Butyrate (CAB، إذ يتم الحصول عليها من خلال تحويل السلولوز إلى أسيتات السلولوز بوجود مادة محفزة للتفاعل مثل حمض الكبريت والمركّبات اللامائية العضوية، كما تستخدم المواد الكيميائية السائلة المشتقة من الفحم في عمليات الأسترة بهدف الإنتاج التجاري لهذه المواد المتحملة للحرارة والمهمّة صناعياً.

تتميز اللدائن (البلاستيك) المصنَّعة من إسترات السلولوز بتحملها لظروف التصنيع الحرارية وعمليات الطلاء والطباعة والصقل الميكانيكي والكيميائي والتقطيع كما أن ناقليتها الحرارية الضعيفة هي المسؤولة عن الملمس اللطيف للمقابض والأدوات المصنوعة من إسترات السلولوز مثل الأقلام ومفاتيح آلات الطباعة. وعلى سبيل المثال يستخدم بروبيونات أسيتات السلولوز لصناعة مقبض فرشاة الأسنان، وفي صناعة مقبض مفك البراغي. كما استخدمت إسترات السلولوز في صناعة أفلام التصوير الفوتوغرافية منذ فترة طويلة بسبب امتلاكها عدة ميزات مثل المتانة والصفاء clarity وثبات الشكل، ويُعدّ ثلاثي أسيتات السلولوز cellulose triacetate المركّب الأكثر شيوعاً في صناعة أفلام 35 مم السينمائية في حين يدخل بوتيرات أسيتات السلولوز في تصنيع النظارات الشمسية والرقاقات الخاصة بشاشات الحاسوب. كذلك استخدمت إسترات السلولوز غير السامة بعد مزجها مع لدائن أخرى غير سامة في تغليف الأغذية وفي بعض المجالات

الصيدلانية. ولقد نال البلاستيك السلولوزي اهتماماً كبيراً في تشكيل الخلائط الحيوية حيث يمكن الجمع ما بين إسترات السلولوز وبوليمرات أخرى، كما تتصف إسترات السلولوز بتحملها لكثير من الظروف؛ مما يسمح بدخولها في تركيب خلائط جديدة وفريدة [43] .

إضافةً إلى كل ما سبق؛ تتميز إسترات السلولوز بقابليتها للتحلل الحيوي على نحو تلقائي في البيئة حيث تتحول إلى ثنائي أكسيد الكربون وماء، كما يحترق العديد من المكونات العضوية لهذه الخلائط كالأسيتات والبروبيونات والبيوتيرات من دون تشكيل منتجات أو بقايا سامة، وهذا يسمح بحرقها كنفايات لاستعادة الطاقة الحرارية [44] .

3 - الخلائط الحيوية bio composites: تعرف الخلائط الحيوية -عموماً- بأنها (مواد مركّبة) composite materials يتم الحصول عليها من ألياف طبيعية مع بوليمرات مالئة bio filler غير قابلة للتفكك الحيوي مشتقة أساساً من النفط مثل عديد البروبيلين، وعديد الإتلين، والإيبوكسي epoxies، أو مع بوليمرات حيوية مثل عديد حمض اللبن، وبولي هدروكسي ألكانوات. وتُعدّ الخلائط الحيوية التي يتم الحصول عليها من مشتقات نباتية من المركّبات الصديقة للبيئة، وتسمى مثل هذه الخلائط الحيوية بالخلائط الخضراء green composites، وهي خلائط مثيرة للاهتمام؛ لأنها تجمع خصائص مواد مختلفة ليست موجودة في الطبيعة، مثل الجمع بين البنية خفيفة الوزن والمتانة والصلابة؛ مما يؤهلها لتطبيقات خاصة. وعلى سبيل المثال، بدأ تصنيع خلائط البلاستيك المقوى بالألياف fiber-reinforced plastic من ألياف السلولوز مع المواد الفينولية في عام 1908، ثم امتد لاحقاً إلى البولة urea والميلامين melamine، واستخدام ألياف الزجاج مع مركّبات غير مشبعة من عديد الإسترات polyesters. وقد استخدمت هذه الخلائط في العديد من المنتجات بدءاً من الآلات الموسيقية ومضارب التنس والسيارات والطائرات الخفيفة والقطع الإلكترونية والمفاصل الاصطناعية artificial joints وغيرها [45] .

نال الجمع ما بين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية المهمة للمواد المكونة للخلائط مع ميزاتها الصديقة للبيئة الاهتمام الكبير في المجالات الصناعية، حيث تتمتع الخلائط الحيوية بميزات عديدة، أهمها:

أ- الوزن المنخفض مع الصلابة والمتانة مقارنةً بخلائط الزجاج المقوى.

ب- تجدد المصادر وقلة الطاقة اللازمة لإنتاجها، حيث يثبت فيها ثنائي أكسيد الكربون CO_2 في حين يطلق الأكسجين إلى البيئة.

ج- إطلاق مركّبات صديقة في الجو وغير مثيرة لحساسية الجلد والجهاز التنفسي.

د- إمكانية المقاومة الكهربائية عالية.

هـ- إعادة التصنيع (التدوير) ممكنة.

و- التحمل الجيد للحرارة على نحو جيد، وذات خصائص عازلة للصوت.

ز- قابلة للتدرك الحيوي.

ومن مساوئها:

آ- تنوعها الكبير واختلاف مواصفاتها.

ب- ضعف مقاومتها للرطوبة.

ج- ضعف مقاومتها للنار.

د- ضعف تحملها للاستخدام المديد low durability.

بيد أن من الواضح أن فوائدها تفوق مساوئها وأن معظم عيوبها قابلة للمعالجة من خلال المعاملات الكيميائية [46] .

4 – عديد حمض اللبن (Polylactic Acid) (PLA) : يُعدّ هذا المُركّب من أهم البوليمرات الحيوية، وهو بلاستيك قابل للتفكك الطبيعي ينتج من حمض اللبن (L-lactic acid) الذي يمكن الحصول عليه من تخمير نشاء الذرة، وهو من البوليمرات اللدنة الحرارية الصلبة، والتي تكون متبلورة أو شبه متبلورة؛ بحسب نقاوة الوحدات الأساسية المكونة للبوليمر. يتميز هذا البوليمر بسلوكه الذي يشبه سلوك بولي إيثين تيريفيثلات (Polyethene Terephthalate (PET من عدة أوجه؛ لكنه أيضاً يشبه بوليمر عديد البروبيلين من حيث الأداء، ويُعدّ واسع المدى في استخداماته بسبب قدرته على التبلور تحت الضغط ودرجة الحرارة المرتفعين، وهو قابل للتشكيل، ممتلئ البنية، ويمكن أن يصنع بهيئة رقائق شفافة أو ألياف، أو حتى بالنفخ لتصنيع القوارير، مثل البولي إيثين تيريفيثلات. ويمتلك عديد حمض اللبن ميزات حسية organoleptic تؤهله

لصناعة أوعية الطعام وتغليفه، ويمكن أن يحضر من خلال التكثيف المباشر لحمض اللاكتيك (حمض اللبن) أو من خلال بلمرة جزيئات اللاكتيد lactide ثنائية الحلقة[46] .

يتحلل هذا المركّب بسرعة، ويتحطم خلال أسابيع أو أشهر في ظروف مناسبة من درجة الحرارة والرطوبة، ويتحلل في البيئة عبر خطوتين، حيث تتفكك في المراحل الأولى سلاسل بولي إستر ذات الوزن الجزيئي المرتفع، فينتج سلاسل قليلة الجزيئات (oligomers) ذات أوزان جزيئية أقل، يليها هجوم الكائنات الدقيقة على هذه الجزيئات لتفكيكها بالإنزيمات، ويمكن تسريع عملية التحلل بوجود الأحماض أو القواعد، يعتمد هذا على مستوى الرطوبة ودرجة الحرارة. ويتأثر معدل التحلل بكل من درجة التبلور والمزج وحجم القطع. وتتحلل بسرعة في ظروف التخمر الهوائية واللاهوائية؛ ولكنه ثابت بدرجة كبيرة في ظروف الاستخدام النموذجية، ويبقى محتفظاً بوزنه الجزيئي وخصائصه الفيزيائية لسنوات، وهذا ما أدى إلى تنامي إدخاله في صناعة الملابس والتطبيقات الأخرى التي تتطلب استخداماً متكرراً ولفترات طويلة. كما أن الوزن الجزيئي المرتفع لهذا البوليمر يجعله مقاوماً على نحو طبيعي للنمو الفطري أو البكتري؛ مما يسمح باستخدامه بأمان لبعض الأغراض مثل تغليف الأغذية وتعبئتها.

تعد ألياف عديد حمض اللبن واحدة من أكثر الأشكال المحتملة استعمالاً. وتستخدم هذه الألياف في الوقت الراهن لتعبئة الوسائد والمفروشات وما شابه ذلك، وخيوطاً للسجاد والغزل والنسيج. يمكن أن يتم مزج ألياف عديد حمض اللبن مع ألياف طبيعية أخرى مثل القطن والصوف والحرير وغيرها. كما يمكن مزجه مع الألياف المصنعة من بولي ايثين تيريفيثلات أو النايلون وغيرها من الألياف ذات المنشأ البترولي. ومن الخصائص المفيدة لمنتجات ألياف عديد حمض اللبن ملمسها الناعم الطبيعي وسهولة التعامل معها إضافةً إلى مقاومتها الفريدة للصبغ والتلوث، حيث تتفوق تلك الألياف في الاختبارات القياسية بمقاومتها للاصطباغ بالقهوة والشاي والمشروبات الغازية والكتشب وأحمر الشفاه والخردل. كما ينجم عن احتراقها القليل من الدخان، ولها مقاومة جيدة للأشعة فوق البنفسجية، ويمكن تلوينها بسهولة. كما تظهر قدرة جيدة على إنفاذ الرطوبة. وتُعدّ الرقائق ثاني أكبر المجالات لاستخدام عديد حمض اللبن إذ تصبح هذه الرقائق شفافة عند البلورة تحت الضغط، كما أنها تلاقي قبولاً لدى المستهلكين عند استخدامها مع المواد الغذائية [47] .

5 - بلاستيك فول الصويا: حازت هندسة البلاستيك الحيوي (اللدائن الحيوية) والمواد الحيوية المشتقة من الزيوت والبروتينات النباتية اهتماماً عالمياً في الآونة الأخيرة. وجاءت أهمية البحث والتطوير في هذا المجال من الأهمية التجارية لتلك المواد. يوجد بروتين الصويا soyaprotein بثلاثة أشكال: دقيق الصويا،

مستخلص الصويا، مكثف الصويا. ويمكن تحويل دقيق الصويا وزيت الصويا إلى صموغ أو راتنجات لدنة plastic resins. ومن الناحية الكيميائية، فإن بروتين الصويا هو بوليمر من حموض أمينية، أمّا زيت الصويا فهو ثلاثي غليسيريد triglyceride. وخلال عمليات المزج ثم البثق extrusion؛ يتم تحول بوليمرات بروتين الصويا إلى بلاستيك قابل للتحلل الحيوي. يُعدّ البلاستيك المشتق من بروتين الصويا متحملاً للحرارة وقابلاً للتدرك الحيوي نسبياً، أما المواد الصمغية المشتقة من زيوت الصويا؛ فهي متحملة للحرارة إلا أنها قليلة القابلية للتدرك الحيوي.

كما يمكن استخدام الخلائط الصديقة للبيئة أو الخضراء green composites من المواد البلاستيكية المشتقة من بروتين الصويا والألياف الطبيعية في تعبئة الأغذية وتغليفها ونقلها.

في الختام يمكن الحصول على البوليمرات الحيوية من المصادر المتجددة الطبيعية، أو يمكن تصنيعها من مواد كيميائية مشتقة من البترول، وإن البوليمرات الحيوية معدّة بالأصل لاستخدامها في التغليف والزراعة والبستنة، والصناعات الأخرى التي تتطلب صلابة أقل. ولكن لا بد من تطوير العديد من البوليمرات القابلة للتفكك الحيوي بحيث تصبح مناسبة لاستخدامها في الخلائط. وإن محدودية الأداء والتكلفة العالية للبوليمرات الحيوية تُعدّ من أكثر العوائق التي تحد من انتشارها بوصفها بدائل للبوليمرات التقليدية غير القابلة للتفكك الحيوي. يضاف إلى ذلك ارتفاع كلفة بعض البوليمرات الحيوية بالمقارنة مع اللدائن التقليدية. وهذا ليس ناجماً عن ارتفاع تكلفة ثمن المواد الخام اللازمة لتصنيع البوليمرات الحيوية؛ وإنما يعود على نحو أساسي إلى كمية إنتاجها المنخفضة. لذا لا بد من تطوير تطبيقات جديدة للبوليمرات من أجل استخدامها بكميات كبيرة ذات جدوى اقتصادية. ويكمن التحدي لتحسين البوليمرات القابلة للتفكك الحيوي في حقيقة أنها يجب أن تحافظ على ثباتها في أثناء التخزين والاستعمال وأن تتحلل من ناحية أخرى بعد انتهاء فترة استخدامها[48] .

References المصادر

[1] Haque P., Mustafa A. I., and Khan M. A., "Effect of cross- linking monomers on the physico-mechanical and degradation properties of photografted chitosan film," Carbohydrate Polymers, 68, 1, : 109-115, (2007).

[2] Hejazi R., Amiji M., Chitosan-based gastrointestinal delivery systems, J Control Release, 89:151-165. (2003).

[3] Rajam, M., Pulavendran, S., Rose, C.. Mandal, A.B. ,Chitosan nanoparticles as a dual growth factor delivery system for tissue engineering applications. Int. J. Pharm., 410,: 145–152,(2011).

[4] Li, N.; Zhuang, C.; Wang, M.; Sun, X.; Nie, S.; Pan, W. Liposome coated with low molecular weight chitosan and its potential use in ocular drug delivery. Int. J. Pharm1, 131-138 ,(2009).

[5] Paul W., Sharma C.P., Chitosan, a drug carrier for the 21st century: Pharma Sciences; 10(1): 5–22,(2000).

[6] P. Haque, A. I. Mustafa and M. A. Khan, "Effect of Cross- Linking Monomers on the Physico-Mechanical and Deg-radation Properties of Photografted Chitosan Film," Carbohydrate Polymers, Vol. 68, No. 1, 2007, pp. 109-115 .

[7] Arora N.,Carg T.,Biland A., Review of Casein production and Casein based nano-formulation , International Research J.,of Pharmacy IRJP 3,1(2012).

[8] Prabhu S. Poulose, E.K., Silver nanoparticles, Mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. Int. Nano Lett. 32,:2–10. (2012).

[9] Lund, M. Casein association and micelle formation,Electrostatic chameleons in biological systems. Journal of the American Chemical Society., 111-14.(2010).

[10] Mu, M., X. Pan, P. Yao, and M. Yiang.. Acidic solution properties of β-casein-graft-dextran copolymer prepared through Maillard reaction. J. Colloid Interface Sci.. 301:98–106(2006).

[11] O'Regan, J., and D. M. Mulvihill. Preparation, characterization and selected functional properties of sodium caseinate–maltodextrin conjugates. Food Chem. 115:1257–1267(2009).

[12] Zhao, J., D. Shanyi and T. Guishan,. Surface modification of acrylic fiber by grafting of casein. Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry.. 44(3): 299-304.(2007).

[13] Elzoghby OA .Casein based formation as promising controlled drug delivery system ,J.of controlled release 2011,1-3.

[14] Kohori, F.; Yokoyama, M.; Sakai, K.; Okano, The casein micelle and milk coagulation. T. J Controlled Release 2002, 78, 155–16.

[15] Sanchez, C.; Renard, D The biological function of casein:. Int J Pharm 2002, 242, 319–324.

[16] Morimoto Y and Fujimoto, S. "Albumin microspheres as drug carrier" CRC Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems... 1, 2, ,. 19-63(1985).

[17] Kratz F. Albumi,n as a drug carrier: design of prodrugs, drug conjugates and nanoparticles. J. Control Release 132: 171-183, (2008).

[18] Morimoto Y., and Fujimoto, S., "Albumin microspheres as drug carrier" Critical Reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems.. 1, 2, :19-63,(1985).

[19] Kratz F., Elsadek B., .Clinical impact of serum albumin on drug delivery. J.Control Release 161: 429-445, (20123. Gonen-Wadmany, M.; Oss-Ronen, L.; Seliktar, D. Biomaterials .

[20] K. Eisele, R. A. Gropeanu, C. R. Zehendner, A. Rouhanipour, A. Ramanathan, G. Mihov, K. Koynov, C. R. W. Kuhlmann, S. Vasudevan, H. J. Luhmann, T. Weil, Biomaterials 31, 33, 8789-8801,(2010).

[21] Kulicke W.M,, Nottelmann H., Structure and swelling of some synthetic, semi synthetic, and biopolymer hydrogels, Adv Chem Ser, 223, :15-44,(1989).

[22] Reed A.M., Gilding D.K., Biodegradable polymers for use in surgery – polyglycolic/poly(lactic acid) homo and copolymers: 2 In vitro degradation. Polymer 22:494–498(1982).

[23] Avérous L., (Polylactic Acid; synthesis; properties and applications), CH. 21, India. 435, (2011).

[24] Liu H., Slamovich E.B., Webster T.J., Less harmful acidic degradation of poly(lacticco-glycolic acid) bone tissue engineering scaffolds through titania nanoparticle addition. Int J Nanomedicine.;1:541–545,(2006).

[25] Choi H.. ,Doya T.. , Sasaki S., Nakai T.,Preparation acharacterization of poly pseudorotaxanes based on biodegeradable poly(L-lactide)/poly(ethylene glycol) triblock copolymers, Macromolecules 36,:9313-8 (2003).

[26] Choi, K.M.; Choi, M.C.; Han, D.H.; Park, T.S.; Ha, C.S. Plasticization of poly(lactic acid)(PLA) through chemical grafting of poly(ethylene glycol) (PEG) via in situ reactive blending. Eur. Polym. J., 49, 2356–2364(2013).

[27] Zare, A.; Morshed, M.; Bagheri, R.; Karimi, K. Effect of various parameters on the chemical grafting of amide monomers to poly (lactic acid). Fibers Polym., 14, 1783–1793(2013).

[28] Taniguchi, J. & Ohkita, K. Testing paper for measuring poly(vinyl alcohol) concentration.

[29] Japanese Patent 7765,495, 30 May, to Shikishima Spinning Co., Ltd Chem. Abstr., 88, 54762k, (1977).

[30] Pohle, D.; Damm, C.; Neuhof, J.; Rosch, A.; MuPolym Compos 15, 357, (2007).

[31] Qiu, K.; Netravali, A.N. Fabrication and characterization of biodegradable composites based on micro fibrillated cellulose and polyvinyl alcohol. Compos. Sci. Technol., 72, 1588–1594. (2012).

[32] Chiellini, E.; Corti, A.; D'Antone, S.; Solaro, R. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials Prog. Polym. Sci., 28, 963–1014. (2003).

[33] Baker, M.I.; Walsh, S.P.; Schwartz, Z.; Boyan, B.D. A review of polyvinyl alcohol and its uses in cartilage and orthopedic applications. J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater., 100, 1451–1457, (2012).

[34] Kenawy, E.R.; Kamoun, E.A.; Eldin, M.S.; El-Meligya, M.A. Physically crosslinked poly vinyl alcohol)-hydroxyethyl starch blend hydrogel membranes: Synthesis and characterization for biomedical applications. Arab. J. Chem., 7, 372–380, (2014).

[35] Icsham A., 3rd Edition, Acrylic Acid background Information, Basic Acrylic Monomer Manufacturers),a Summary of Safety and Handling, April (2006).

[36] Guo X., Shao H.,Hu, W., Gao W. and Chen X., "Tannin and polyacrylic acid polarity and structure influence on the performance of polyvinylchloride ultrafiltration membrane", Desalination, 250,. 2, : 740-744 (2010).

[37] Athawale V..D, Lele V., Recent trends in hydrogels based on starch-graft-acrylic acid: A review, Starch/Starke, 3, :7-13,(2001).

[38] Angela S., Gayzen A., Ordonez,and Soma C., (Novel glycerol cross-linked poly, acrylic acid hydrogel for encapsulation and release of benzocaine), Department of Chemistry, school of Science and Engineering, Ateneo de Manila University, Loyola Heights, Quezon City 1108 Philippines, 4, 2:89-100 (2011).

[39] Thamizharasi S., and Reddy B.S., (Synthesis and characterization of thermally stable naphthyl acrylate polymers), European Polymer J., Vol.36 (5), :993-1000, (2000).

[40] Hiramath R.D., Chandrashakhar M.N., Sompur CK , Shattari AFAH, Maske AP, et al. Synthesis, In-Vitro And Bio-Availability Studies Of Acyclovir Prodrug. AJPSR 1: 38-48(2011).

[41] Park, H.; Robinson, J.R. ,Mechanisms of mucoadhesion of poly(acrylic acid) hydrogels. Pharm. Res., 4,: 457–464 ,(1987).

[42] Firyal M.A ,Abbas N.M. and Khudyer G.K.(Synthesis of poly paracetamol Acrylate and Study of drug Release).fifth Scientific Conference –College of Science-University of Babylon. ..5,: 230-236 ,.Iraq. (2010).

[43] Firyal M.A.,TaghreedH.Al-Noor and SaifM.Synthesis and Characterization of Gelatin-G-Poly (AcryloylAmide) Proflavine and Controlled Release Study Chemical and Process Engineering Research . 32: 53-61.(2015).

[44] Firyal M.A., and Jassem M.S., (Substituted poly itaconic acid with different amines as biodegradable polymers), J. College of Education, 6, : 366-377, (2011).

[45] Firyal M.A. (Modification of acryloylchlorides polymers) Um-Salama Science Journal .Vol.2(4)(2005).

[46] Arduini M et al. A novel type of hydrogen-bonded assemblies based on the melamine–cyanuric acid motif. Journal of Organic Chemistry, 68: 1097–1106. (2003).

[47] Brown CA et al. Outbreaks of renal failure associated with melamine and cyanuric acid in dogs and cats in 2004 and 2007. Journal of Veterinary Diagnostic Investigation, 19: 525–531. (2007).

[48] Reimschuessel R et al. Evaluation of the renal effects of experimental feeding of melamine and cyanuric acid to fish and pigs. American Journal of Veterinary Research, 69: 1217–1228. (2008).