الكيمياء الحياتية (Biochemistry) :

هو كيمياء الحياة، فهو العلم الذي يتعلق بصورة مباشرة بمتابعة وفحص العمليات الحياتية.

فالكيمياء الحياتية عبارة عن كيمياء الكائنات الحية التي تدلنا على تفهم طبيعة الحياة وتشمل دراسة التركيب الكيميائي للخلية الحية والتفاعلات التي تطرأ في داخلها.

تقسم الكيمياء الحياتية بصورة عامة إلى قسمين:

1) **الكيمياء الحياتية الوصفية Descriptive Biochemistry** : وتشمل دراسة ووصف التركيب الكيميائي لمكونات الخلية الحية.
2) **الكيمياء الحياتية الديناميكية Dynamic Biochemistry** : وتشمل دراسة التفاعلات الكيمياوية التي تحدث داخل الخلايا الحية والنتائج التي تنجم عنها.

الكاربوهيدرات Carbohydrates :

تعتبر الكاربوهيدرات المصدر أو المُجهز الرئيسي بالطاقة للكائنات الحية. تتكون الكاربوهيدرات في النباتات من CO_2 و H_2O خلال عملية التركيب الضوئي حيث يتكون الكلوكوز الذي يُخزن كنشأ أو يتحول إلى سليلوز في جدار الخلية النباتية، أما في الكائنات الراقية فيأتي الجزء الأكبر من الكاربوهيدرات من النباتات.

عند اكتشاف الكاربوهيدرات لأول مرة عُرّفت على أنها هيدرات الكاربون وتحتوي على الأوكسجين والهيدروجين بنسبة ($C_nH_{2n}O_n$) وبمرور الزمن وُجد أن هذا القانون خطأ لوجود مركبات عضوية تحقق هذه العلاقة وهي ليست من الكاربوهيدرات مثل حامض الخليك CH_3COOH (acetic acid) والفورمالديهايد HCHO (Fomaldehyde) وحامض اللاكتيك $C_3H_6O_3$ (Lactic acid) فالتعريف الصحيح للكاربوهيدرات هو أنها **كحولات متعددة الهيدروكسيل والتي تمتلك مجموعة الألديهايد أو الكيتون، بعبارة أخرى الكاربوهيدرات هي مركبات تحتوي على مجاميع الألديهايد** **أو مجاميع الكيتون** **متعددة الهيدروكسيل، عند تحللها مائياً تعطي كحولات الديهايدية أو كحولات كيتونية متعددة الهيدروكسيل.**

أهمية الكاربوهيدرات:

1) مصدر لتزويد الجسم بالطاقة.
2) تعمل على خزن الطاقة على شكل كلايكوجين في الحيوان أو الإنسان وعلى شكل نشأ في النباتات.
3) تدخل في تركيب الهيكل النباتي لجسم النباتات على شكل سيليلوز.

4) تدخل الكاربوهيدرات في تركيب مواد كيميائية يحتاجها الجسم مثل المساعدات الأنزيمية Coenzyme والفيتامينات Vitamins والأحماض النووية Nuclic acids
5) تدخل الكاربوهيدرات في تركيب أغشية الخلايا على شكل دهون سكرية glycolipids وبروتينات سكرية glycoproteins
6) تدخل في تركيب فصائل الدم.
7) تعطي المذاق الحلو للأغذية.
8) تستعمل في الصناعات الورقية، الأقمشة، المشروبات الغازية وغيرها من الصناعات.

تصنيف الكاربوهيدرات Carbohydrates Classification

تَصنف الكاربوهيدرات اعتماداً على تحللها المائي إلى:

1) **السكريات الأحادية أو البسيطة: (Monosaccharides (Smiple saccharides:**
وتتكون من وحدة واحدة أو جزئي واحد من السكر متعدد الهيدروكسيل الألديهايدي أو الكيتوني ولا يمكن أن يتحلل إلى سكريات أبسط.

العمود الفقري في كل جزيئات السكريات الأحادية هو ذرات الكاربون المرتبطة مع بعض أن أقل عدد لذرات الكاربون للسكر الأحادي هو 3 ويطلق اسم aldoses على السكر الأحادي الذي يحتوي على مجموعة الألديهايد، بينما يطلق اسم ، Ketoses على السكر الأحادي الذي يحتوي على مجموعة الكيتون.

** السكر الذي يحتوي على 3 ذرات كاربون يسمى Triose
** السكر الذي يحتوي على 4 ذرات كاربون يسمى Tetrose
** السكر الذي يحتوي على 5 ذرات كاربون يسمى Pentose
** السكر الذي يحتوي على 6 ذرات كاربون يسمى Hexose

وعند دمج هذين الأسمين في التصنيف نستخدم aldotetrose للسكر الأحادي الألديهايدي الذي يحتوي على 4 ذرات كاربون ونستخدم ketopentose للسكر الأحادي الكيتوني الذي يحتوي على 5 ذرات كاربون. أن ابسط أنواع السكريات الألديهايدية هو glyceraldehydes وابسط أنواع السكريات الكيتونية هو dihydroxyacetone

2)السكريات قليلة الوحدات Oligosaccharides (بضمنها السكريات الثنائية): وهي السكريات التي عند تحللها المائي تعطي سكرين أو أكثر من السكر الأحادي. عدد السكريات التي

تؤلف oligosaccharides يتراوح بين (10-2) وحدة من السكر الأحادي التي قد تكون متشابهة أو مختلفة.أهم أنواع السكريات قليلة الوحدات :

أ)السكريات الثنائية disaccharides وتشمل:

السكروز (Sucrose) يتكون من سكر الكلوكوز (Glucose) + سكرالفركتوز (Fructose)

المالتوز (Maltose) يتكون من الكلوكوز(Glucose) + سكرالكلوكوز (Glucose)

اللاكتوز (Lactose) يتكون من سكر الكلوكوز (Glucose) + سكرالكالكتوز (Galactose)

ب)السكريات الثلاثية Trisaccharides مثل:

سكر الرافينوز (Raffinose) يتكون من (Fructose) + (Glucose) + (Galactose)

ج)السكريات الرباعية Tetrasaccharides مثل: سكر الستاكيلوز (Stachylose) الذي يتكون من جزيئتين من الكالكتوز وجزيئه من الكلوكوز وجزيئه من الفركتوز

Fructose + glucose + 2 galactose

يوجد هذا السكر في النباتات التي تنتج السكروز.

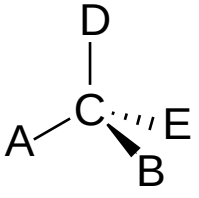
3)السكريات المتعددة Polysaccharides : وهي السكريات التي تتكون أو تحتوي على عدد كبير من السكريات الأحادية وتكون مرتبطة ببعضها بشكل سلاسل قد تكون مستقيمة أو متفرعة، وتقسم إلى:

أ)السكريات المتعددة المتجانسة Homopolysaccharides : وهي السكريات المتعددة المتكونة من عدد كبير من نفس وحدات السكر الأحادي مثل النشأ والسليلوز.

ب)السكريات المتعددة غيرالمتجانسة Hetropolysaccharides : وهي السكريات المتعددة المتكونة من نوعين أو أكثر من وحدات السكر الأحادي مثل شبيه السليلوز Hemicellulose ، الصمغ النباتي، البكتين Pectin ، والسكريات المخاطية (الهيبارين). .

الأشباه الجزيئية البصرية (Optical isomers):

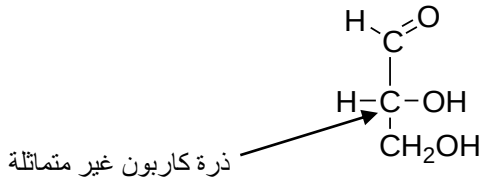
توجد هذا الأشباه بصورة رئيسية في الكاربوهيدرات، حيث توجد ذرة كاربون واحد أو أكثر غير متماثلة أو غير متناسقة حيث أن ذرة الكاربون تتصل بأربع ذرات أو مجاميع مختلفة، وبذلك تكون لها القابلية لتكوين عدة أشباه حسب فكرة Vant Hoff & Le Bel .



المجاميع الأربع A, B, D, E هذه الذرات أو المجاميع تتصل بذرة الكاربون في الفراغ بشكلين مختلفين فتَّكون نوعين من المركبات لا يمكن أن ينطبق أحدهما على الآخر(احدهما يكون صورة مرآة للآخر). تدعى هذه

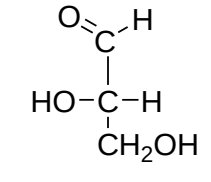
الأشكال بالأضداد أو الأشكال المتقابلة (Enantiomers).

فمثلا الكليسرالديهايد glyceraldehydes الذي هو أبسط أنواع السكريات الألديهايدية aldose يَظهر شكلين فراغيين هما:



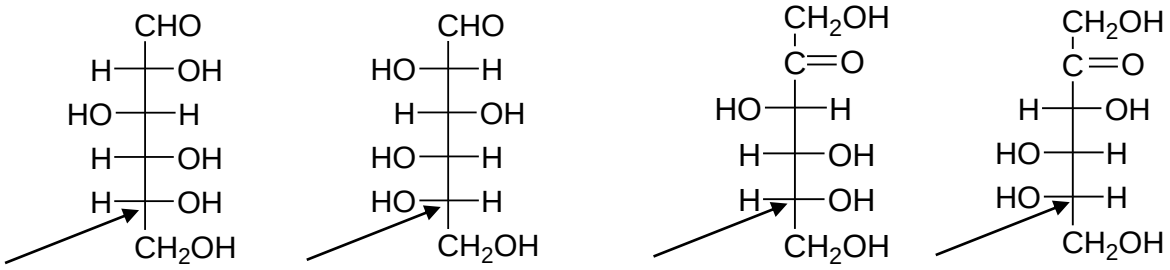
D-glyceraldehyde

الشكل D يشير إلى أن مجموعة الهيدروكسيل (OH-) والمرتبطة بأبعد ذرة كاربون غير متناظرة من مجموعة الألديهايد تقع إلى اليمين.



L-glyceraldehyde

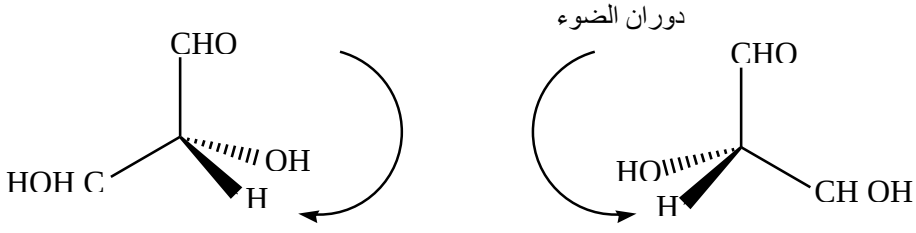
الشكل L يشير إلى أن مجموعة (OH-) المرتبطة بأبعد ذرة كاربون غير متماثلة من مجموعة الألديهايد تقع إلى اليسار.



D-glucose L-glucose D-fructose L-fructose

تتشابه هذه الأشكال في الصفات الكيميائية والفيزيائية ما عدا صفة واحدة وهي **تدوير مستوى الضوء المستقطب** باتجاهين متعاكسين فأحدهما يَدور مستوى الضوء المستقطب نحو اليمين والآخر نحو اليسار. **(الضوء المستقطب: هو الضوء الذي يتموج في سطح واحد).**

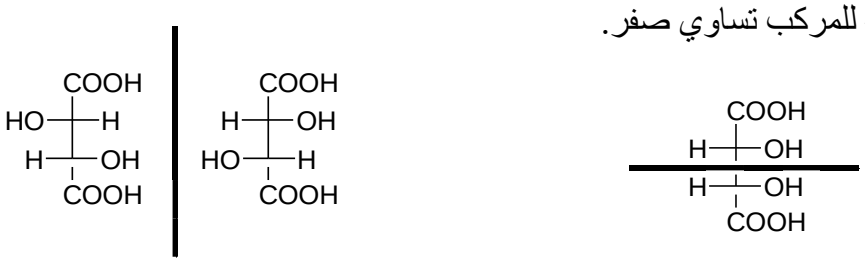
الشبيه الذي يُحرف أو يُدير الضوء المستقطب نحو جهة اليمين أو باتجاه عقرب الساعة يسمى (Dextrorotatory) ويرمز له (d) أو (+) والشبيه الذي يُدير الضوء المُستقطب نحو اليسار أو عكس عقرب الساعة يسمى (Levorotatory) ويُشار له (l) أو (--).



D(+)-glyceraldehyde L(-)-glyceraldehyde

*وجود مزيج أو خليط بنسب متساوية من الأشباه الجزيئية ذات الفعالية البصرية (Optical isomers) يسمى بالمزيج الراسيمي (Racemic mixture) وهذا المزيج ليس له فعالية بصرية لأن أحدهما يلغي الآخر.

*أحيانا المركب الذي تكون فيه ذرتا كاربون غير المتماثلين متشابهتين كما في حامض التاتاريك (Tartaric acid) يمكن أن يكون بشكل يتمثل فيه مستوى التماثل، حيث يكون نصف المركب مرآة للنصف الثاني يسمى هذا النوع من التماثل بالـ meso compounds وتكون الفعالية البصرية للمركب تساوي صفر.



D(-)- Tartaric acid L(+)- Tartaric acid meso compound

raceme mixture meso tartaric acid

يمكن قياس الفعالية الضوئية (الاستدارة الضوئية) (optical activity) والتي هي مستوى تدوير الضوء المستقطب نحو اليمين أو اليسار، باستخدام جهاز الاستقطاب (polarimeter).

ملاحظة: D, L يمثل فقط ترتيب أو توزيع مجاميع الهيدروكسيل (-OH) حول ذرة الكاربون غير المتماثلة وليس دوران الضوء المستقطب، فقد يكون المركب من نوع D(+) أو D(-) حسب نوع السكر مثلاً D(+) glucose يحرف الضوء المستقطب نحو اليمين

بينما D(-) fructose فأنه يحرف الضوء المستقطب نحو اليسار

يمكن حساب عدد الايزومرات (الاشباه الجزيئية) للسكر من معرفة عدد ذرات الكاربون غير المتماثلة أو غير المتناظرة (asymmetric carbon) وحسب قانون فان هوف Vant Hoff

$I= 2^n$

I= no. of isomer

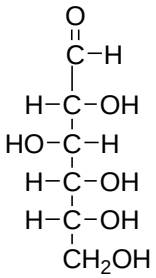
n= no. of asymmetric carbon

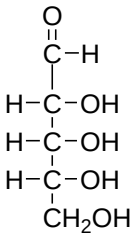
مثلاً سكر الكلوكوز (aldohexsose) يحتوي على 4 ذرات كاربون غير متناظرة فيكون عدد ايزومراته 16 ايزومر وذلك حسب القانون:

$I= 2^n$

$I= 2^4 = 16$ isomers

8 ايزومرات من نوع -D و 8 ايزومرات من نوع -L


D-glucose


D-ribose

بالنسبة للسكريات الخماسية كما في سكر الرايبوز Ribose توجد 3 ذرات كاربون غير متماثلة فيكون عدد الايزومرات

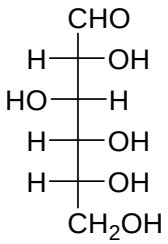
$I = 2^n = 2^3 = 8$ isomers

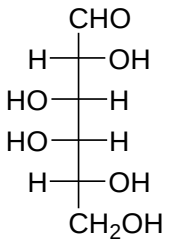
لذا عدد ايزومرات سكر الرايبوز هو 8، 4 ايزومرات من نوع -D و4 ايزومرات من نوع -L وهكذا بالنسبة لبقية السكريات.

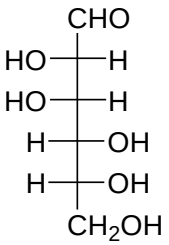
س/ ما هو عدد ايزومرات glyceraldehydes ؟

هناك نوع آخر من المتماثلات أو الأشباه هي **diasterisomers** وهي المتشابهات الضوئية التي تمتلك على الأقل ذرتي كاربون غير متماثلة وهذه المركبات تختلف عن بعضها البعض في الصفات الكيميائية والفيزيائية مثل الاختلاف بدرجة الانصهار، الغليان، الاختلاف بالذوبانية والاختلاف في التدوير الضوئي.

إن المتشابهات أو المتماثلات diasterisomers التي تختلف عن بعضها البعض فقط في التوزيع الفراغي حول ذرة الكاربون غير المتماثلة واحدة فتسمى **epimers** كما في السكريات أدناه


D(+)-glucose


D(+)-galactose

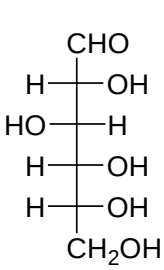

D(+)-mannose

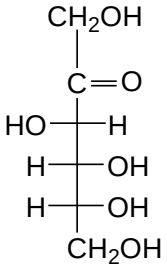
D(+)-glucose is epimer to D(+)-galactose

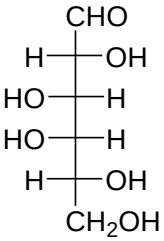
D(+)-glucose is epimer to D(+)-mannose

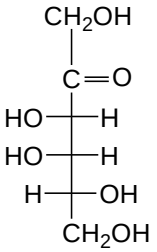
But D(+)-galactose is not epimer to D(+)-mannose

<u>ملاحظة:</u> سكر الفركتوز هو سكر كيتوني سداسي ketohexose وله صيغة جزيئية $C_6H_{12}O_6$ مشابه في الصيغة الجزيئية فقط مع السكريات الألديهايدية السداسية aldohexsoe لكنه يختلف عنهم في كونه سكر كيتوني، هذا النوع من المتشابهات يسمى **aldose-ketose isomers** كما في حالة D-glucose & D-furctose وكذلك D-togatose & D-galactose


D-glucose

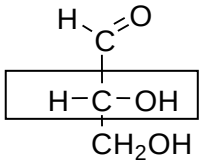

D-fructose

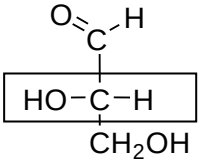

D-galactose

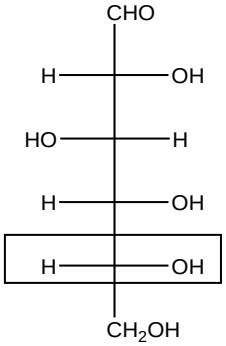

D-togatose

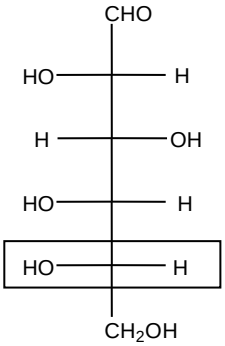
الصيغ البنائية للسكريات الأحادية:

استخدم العالم فيشر Fischer طريقة كتابة الصيغ للسكريات الأسلوب العمودي أو الإسقاط العمودي لمتعدد الهيدروكسيل، وعَبّرَ عنه بـــ -D و -L لترتيب مجاميع الهيدروكسيل حول ذرة الكاربون غير المتماثلة (ذرة الكاربون ما قبل الأخيرة للسكر) كما في أدناه:


D-glyceraldehyde


L-glyceraldehyed


D-glucose


L-glucose

أثبتت التجارب أن هناك صفات لا تستطيع الصيغ المفتوحة لـ Fischer تفسيرها مثل الاستدارة الضوئية عند الذوبان.

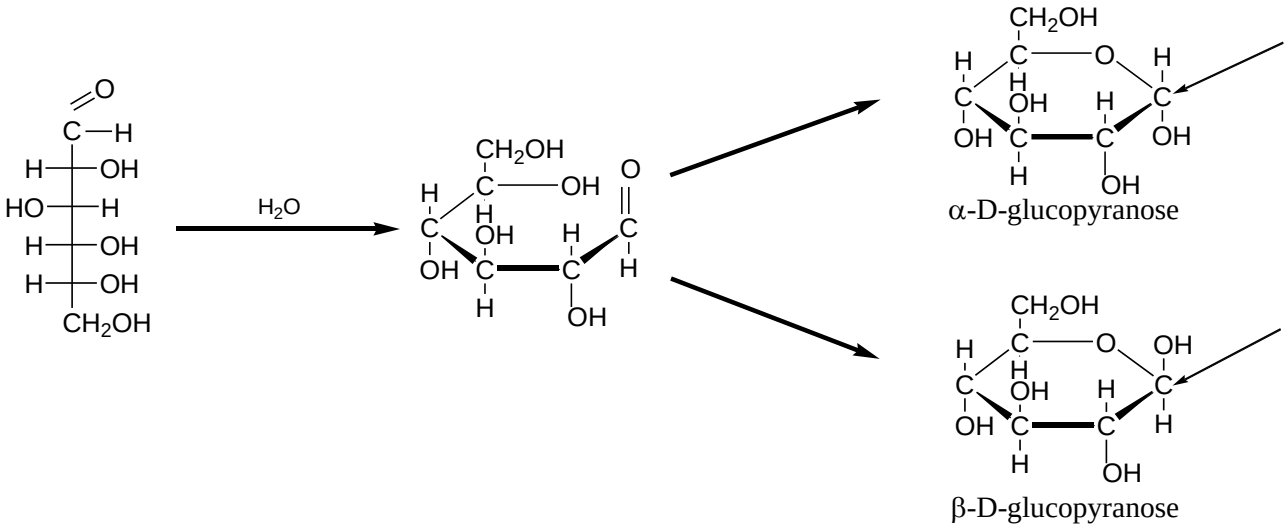
صيغ فشر المفتوحة تتلائم مع السكريات ثلاثية ورباعية ذرة الكاربون أما السكريات الأعلى المحتوية خمس ذرات كاربون أو أكثر (السكريات الخماسية أو السداسية) فتكون موجودة بشكل حلقية تكون فيها مجموعة الكاربونيل كامنة ولا تظهر صفاتها الكيميائية الاعتيادية كما فسرها العالم هوارث Howarth.

مثلاً سكر الكلوكوز ثابت نسبياً مع الكواشف التي تتفاعل عادة بسرعة مع مجموعة الألديهايد وانه خامل تماماً عند تعرضه للهواء أو الأوكسجين، بينما تميل الألديهايدات للتأكسد بسرعة تحت نفس الظروف. والخاصية الأخرى التي تؤكد وجود السكر مثل الكلوكوز بتركيب حلقي هو وجوده بشكلين بلوريين. إذا تم تبلور الكلوكوز في الماء ينتج تكوين شكل يسمى α-D-glucose والتي تكون درجة دورانه النوعي $[\alpha]_D$= +112.2 ، أما إذا تبلور الكلوكوز من المذيب بايريدين أو من حامض الخليك فالناتج هو الحصول على β-D-glucose ذي دوران نوعي

$[\alpha]_D$= +18.7 وأن هذا الشكلان لا يختلفان في التركيب الكيمياوي، وعند إذابة في الماء فإن دورانه النوعي يتغير تدريجياً مع الوقت حتى تصل إلى قيمة ثابتة هي 52.7°

وعند إذابة β-D-glucose في الماء فان دورانه النوعي يتغير إلى أن يصل إلى نفس القيمة (52.7°) يسمى هذا التغير بتحول الدوران Mutarotation

تحول الدوران (Mutarotation) : عبارة عن تغير في درجة انحراف الضوء المستقطب لمحلول السكر بمرور الزمن، وهي صفة خاصة للسكريات الأحادية الحاوية على مجموعة كاربونيل حرة بشكليها الألديهايدي والكيتوني. تُفسر هذه الظاهرة بتحول مجموعة الكاربونيل الحرة إلى الشكل الحلقي oxide- ring بشكليه α و β ثم يحصل توزان بين الصيغة المفتوحة للسكر والشكلين α وβ



أن الشكلين المتناظرين α وβ عبارة عن تراكيب حلقية تتكون نتيجة تفاعل مجموعة الكاربونيل الحرة مع مجموعة الهيدروكسيل المتصلة بذرة الكاربون الخامسة حيث يتكون مشتق يسمى همي اسيتايل hemiacetal وبذلك تتكون ذرة كاربون غير متماثلة أخرى جديدة.

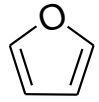
عندما تكون مجموعة الهيدروكسيل (-OH) المرتبطة بذرة الكاربون واقعة إلى أسفل الحلقة يسمى الشكل - α وإذا كانت واقعة أعلى الحلقة يسمى الشكل - β

ملاحظة: إن المتناظرات أو المتماثلات السكرية التي تختلف عن بعضها في توزيع المجاميع حول ذرة الكاربون hemiacital فقط، تسمى متماثلات anomers

يطلق على هذه الأشكال الحلقية السداسية للسكريات بالـ pyranos لأنها مشتقة من المركب الحلقي غير المتجانس pyran

Pyran pyranose

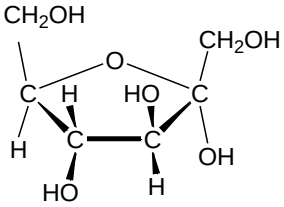
أما بالنسبة للسكريات الكيتونية السداسية (ketohexoses) أيضاً توجد بالشكل الحلقي الخماسي والتي تكون مشتقة من المركب الحلقي Furan توجد بشكلين أيضاً هما α- و β-



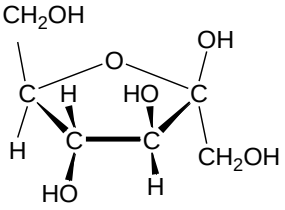
furan

furanose

في السكريات السداسية الكيتونية تتفاعل مجموعة الهيدروكسيل (OH-) عند ذرة الكاربون الخامسة مع مجموعة الكاربونيل الموجودة عند ذرة الكاربون الثانية مكونة α-D-fructosfuranose والشكل الآخر β-D-furctofuranose كما في أدناه



α-D-fructofuranose



β-D-fructofuranose

تستخدم صيغ هوارث الأسقاطية Haworth projection formula لتمثيل المتناظرات (المتماثلات) المختلفة للسكريات.

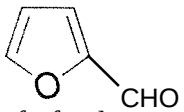
ملاحظة: في حالة السكريات الألديهايدية أو الكيتونية فأن عدد ذرات الكاربون غير المتماثلة سيزداد بوحدة واحدة وبالتالي عدد المتشابهات (isomers) يزداد أيضاً، فمثلا في حالة الكلوكوز وحسب صيغ فشر فأن عدد ذرات الكاربون الـ (asymmetric) هو 4 ذرات وبالتالي فان عدد المتشابهات هو

$I= 2^n = 2^4 = 16$ isomers

بينما في صيغ الحلقية فأن عدد ذرات الكاربون غير المتماثلة هو خمس ذرات كاربون وان عدد الـ isomers هو $I= 2^n = 2^5 = 32$ isomers

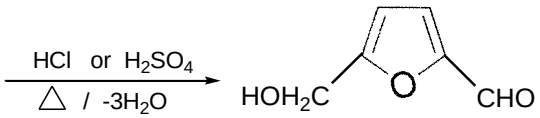
تفاعلات السكريات الأحادية:

1) تفاعلات اللاتميه (سحب جزئية ماء) Dehydration أو تفاعل الحوامض المعدنية المركزة (HCl & H_2SO_4): عند تسخين السكريات الخماسية مع أحد الحوامض المعدنية المركزة يتكون مركب الفورفورال Furfural وعند تسخين السكريات السداسية ينتج مركب 5-hydeoxymethylfurfural نتيجة سحب ثلاث جزيئات ماء في كلا الحالتين.

D-Ribose (5C) $\xrightarrow[\triangle \ / \ -3H_2O]{HCl \text{ or } H_2SO_4}$ 

furfural

D-glucose (6C)
D-fructose (6C)

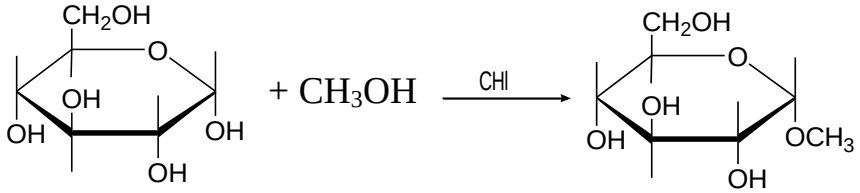


5-hyaroxymethylfurfural

وعند تفاعل مشتقات الفورفورال مع α-D-naphthol تعطي حلقة بنفسجية (كشف مولش Molish test) ويعتبر كشف عام لوجود الكاربوهيدرات.

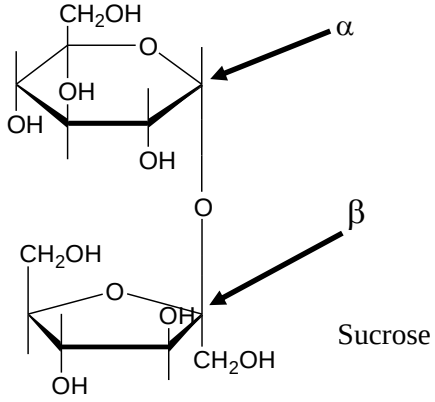
ويتفاعل فورفورال السكر الخماسي فقط مع arcinol ليعطي لوناً أخضر (كشف بيال Bial test) وهذا الكشف خاص بالسكريات الخماسية.

2) تكوين الكلايكوسيد أو الأسيتال (Glycoside or acetal formation): من أهم تفاعلات الكاربوهيدرات، فعند معاملة السكريات الأحادية مع كحول في محلول حامضي تنتج مركبات كلايكوسيد بسبب وجود السكر بشكل همي أستيال أو همي كيتال (hemiacetal or hemiketal) ، فعند تفاعل D-glucose ينتج



α-D-glucopyranos methyl α-D-glucopyranos

وإذا ارتبطت مجموعة الهيدروكسيل الكحولية للسكر الأحادي مع همي أسيتال لسكر أحادي أخر ينتج عنه سكر ثنائي أو متعدد (حسب عدد السكريات الأحادية المرتبطة) كما في حالة السكر الثنائي السكروز الذي هو عبارة α-D-glucopyranosyl-β-(1→2)fructofuranososide



Sucrose

3)تفاعلات التخمر (Fermentation Reactions):

التخمر عبارة عن تجزئة تحصل لبعض المركبات العضوية والكاربوهيدرات تتخمر بواسطة الأنزيمات التي تفرزها الكائنات الحية مع تحرير غاز CO_2 مع طاقة ATP وتتم بمعزل عن الهواء، التخمر يكون على نوعين:

أ) التحلل السكري glycolysis .

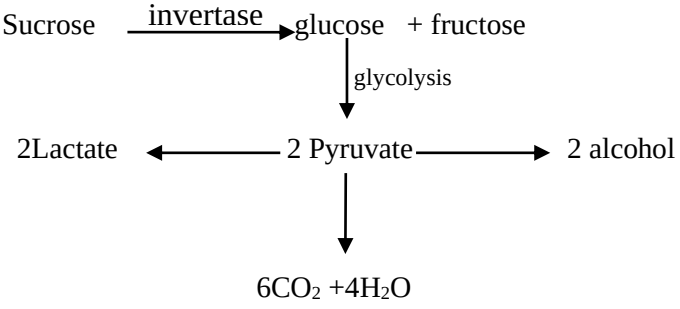
ب) التخمر الكحولي alcohol fermentation .

كلا الطريقتين تستخدمان نفس الميكانيكية في حفظ الطاقة، لكنهما يختلفان في الخطرات النهائية.

$$\text{Glucose} + 2ADP + 2Pi \xrightarrow{\text{glycolysis}} 2\ \text{Lactic acid} + 2ATP + 2H_2O$$

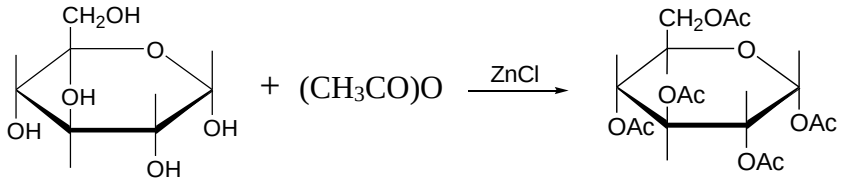
$$\text{Glucose} + 2ADP + 2Pi \xrightarrow[\text{fermentation}]{\text{alcohol}} 2\ \text{ethanol} + 2ATP + 2H_2O + CO_2$$

في حالة السكريات الثنائية مثل السكروز والمالتوز فأن الخطوة السابقة للتخمر هي عملية تحلل مائي بواسطة أنزيمات hydrolysis مثل أنزيم invertase يحول السكريات الثنائية إلى أحادية ثم يتحول الكلوكوز إلى حامض البايروفيك بتفاعلات عديدة ومعقدة أما الفركتوز فلا يتخمر.



4)تكوين الأستر Ester Formation : تتفاعل السكريات الأحادية مع بعض الحوامض لتكوين أسترات مهمة وهي

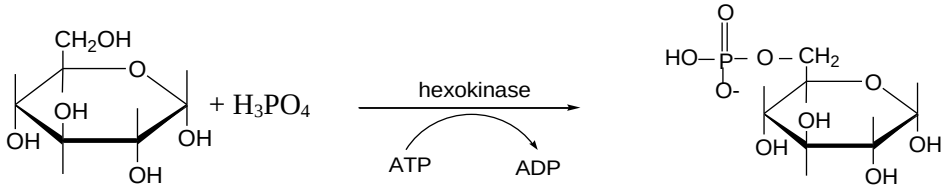
أ)التفاعل مع حامض الخليك اللامائي acetic anhydride: حيث تتحول مجاميع الهيدروكسيل للسكر إلى مجاميع الأستيل



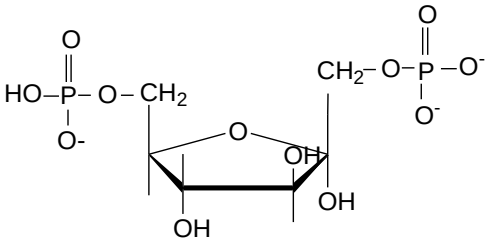
α-D-glucose acetic anhydride penta-o-acetyl-α-D-glucopyranose (ester)

$$Ac = H_3C-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-$$

ب) التفاعل مع حامض الفسفوريك: تتفاعل السكريات الأحادية مع حامض الفسفوريك لتعطي سكريات مفسفرة والتي تلعب دوراً مهماً في العمليات الأيضية للكاربوهيدرات

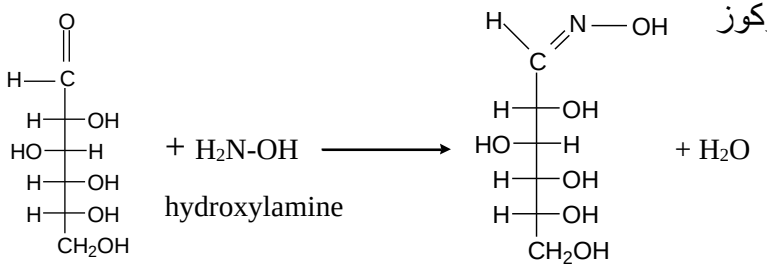


α-D-glucose α-D-glucose-6-phosphate



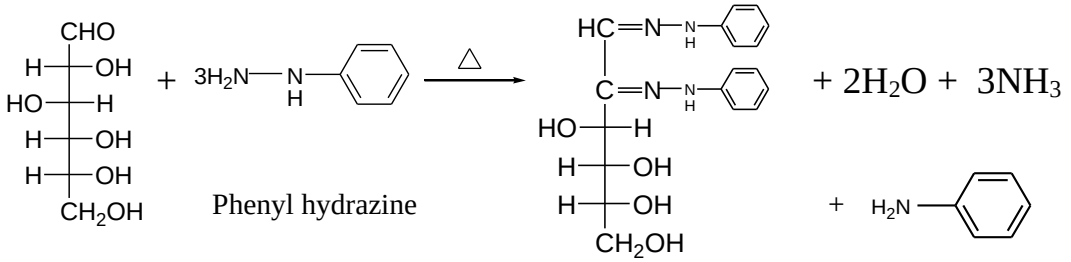
α-D-fructose-1,6-diphosphate

5)التفاعل مع هيدروكسيل أمين: يندمج هيدروكسيل أمين مع مجموعة الكاربونيل لتكوين الأوكسيم كما سكر الكلوكوز



D-glucose D-glucose oxime

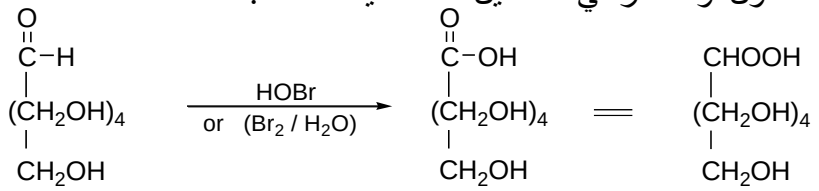
6)تفاعل تكوين الأوزازون : تتفاعل السكريات التي تمتلك مجموعة الديهايد او كيتون حرة (السكريات المختزلة) مع الفنيل هيدرازين (phenyl hydrazine) وبثلاث خطوات ليعطي بلورات الأوزازون صفراء اللون والتي تكون غير ذائبة في الماء وتختلف أشكالها باختلاف السكر، حيث يستعمل هذا التفاعل للكشف عن نوعية السكر.



D-glucose Phenyl hydrazine D-glucophenyl osazone (yellow)

7) تأثير العوامل المؤكسدة:

أ) ماء البروم: تتفاعل السكريات الأحادية مع ماء البروم (pH=6) لتعطي حوامض متعددة الهيدروكسيل حيث تتأكسد فقط مجموعة الكاربونيل، تسمى الحوامض الناتجة (aldonic acid). أما السكريات الكيتونية فإنها لا تتأثر تحت نفس الظروف ولا تتعرض السكريات الكيتونية للتحول أو الكسر في المحاليل الحامضية المطلقة.

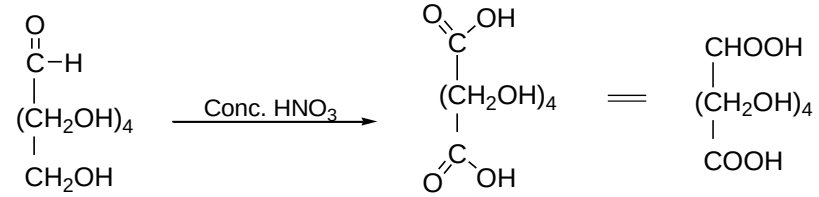


D-aldose aldonic acid

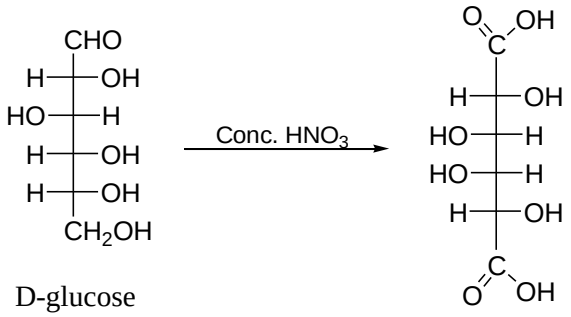
Glucose $\xrightarrow[\text{or } (Br_2 / H_2O)]{HOBr}$

mannose $\xrightarrow[\text{or } (Br_2 / H_2O)]{HOBr}$

ب)حامض النتريك (HNO_3): تتفاعل السكريات الأحادية مع عامل مؤكسد قوي مثل حامض النتريك (HNO_3) المركز لتعطي حوامض ثنائية الكاربوكسيل متعددة الهيدروكسيل هذه الحوامض تسمى (aldaric acid) حيث تتأكسد مجموعة الكاربونيل وكاربون الذرة الأخيرة للسكر إلى مجاميع كاربوكسيلية.



aldose aldaric acid

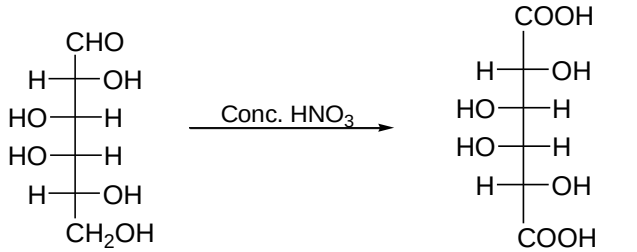


D-glucose

D- saccharic acid

(D-glucanic acid)

D-Threose $\xrightarrow{\text{Conc. } HNO_3}$???

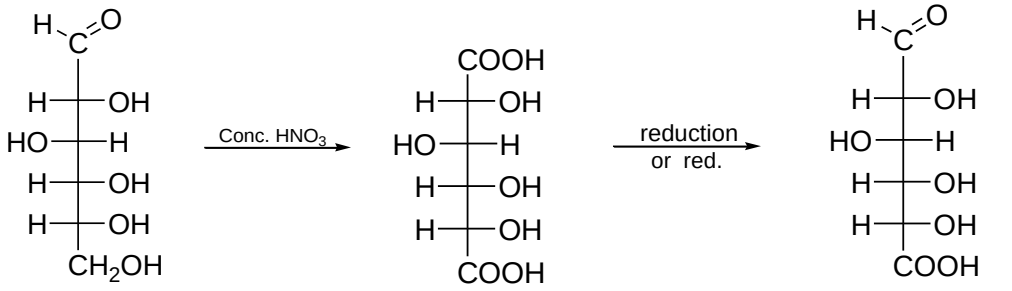


D-galactose D-galactaric acid

(D-mucic acid)

ملاحظة (1): السكريات الكيتونية مثل الفركتوز عند معاملتها مع حوامض مؤكسدة قوية فإنها تتكسر لتعطي حوامض ذات سلسلة أقصر.

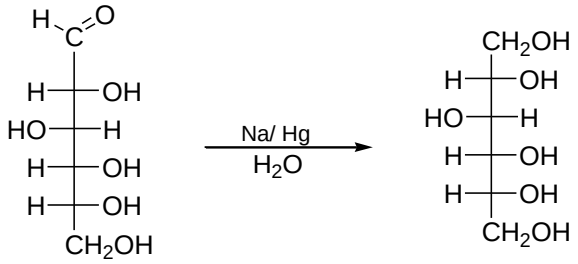
ملاحظة (2): عند معاملة (aldaric acid) مثل حامض saccharide بمغلم الصوديوم فإن مجموعة الكاربونيل الأولى تُختزل إلى مجموعة كاربونيل (الديهايد) لتعطي حوامض يورنية (uronic acid) كما في الكلوكوز حيث يسمى glucuroic acid



D-glucose D-saccharic acid D-glucuronic acid

(D-glucaric acid)

8) تفاعلات الأختزال وتكوين سكريات كحولية: تختزل مجموعة الكاربونيل الحرة للـ aldoses والـ Ketoses إلى مجموعة هيدروكسيل أي تزداد مجاميع الهيدروكسيل للسكر ويصبح سكر كحولي أو سكر متعدد الهيدروكسيل (Polyols).



D-glucose D-sobitol

D-mannose $\xrightarrow[H_2O]{Na/\ Hg}$ D-mannitol

D-fructose $\xrightarrow[\text{or red.}]{\text{reduction}}$ D-sorbitol + mannitol

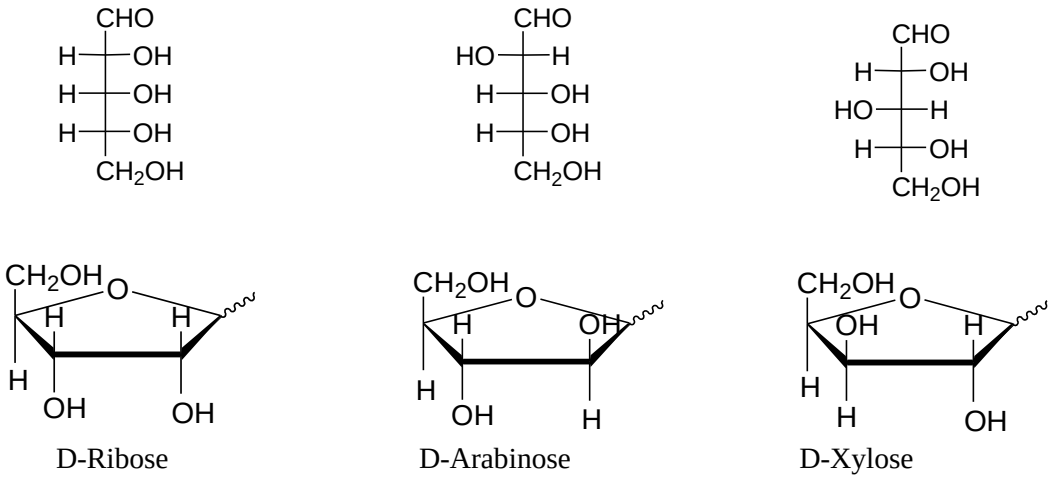
D-galactose $\xrightarrow[\text{or red.}]{\text{reduction}}$ D-galactitol

يستخدم الـ sorbitol بدل السكر في غذاء المصابين بمرض السكر.

السكريات الأحادية (Monosaccharides):

أن جميع السكريات الأحادية تذوب في الماء ولها القابلية التنافذية ولا تتأثر بالأنزيمات المعدية، ولها القابلية الأختزالية. من أهم السكريات الأحادية:

أ)السكريات الخماسية (Pentoses): لا توجد في الطبيعة بصورة حرة قسم منها يوجد على شكل سكريات متعددة تسمى (pentosans) وتوجد بكثرة في النباتات. من أهم السكريات الخماسية:



D-Ribose D-Arabinose D-Xylose

1)الرايبوز (D-Ribose) :- وهو من أهم السكريات الخماسية، يوجد في جميع الخلايا الحية، حيث يدخل في تركيب الحامض النووي الرايبوزي RNA وقسم من المساعدات الأنزيمية (ATP, NAD, FAD, $NADP^+$) أما سكر الرايبوز منقوص الأوكسجين فإنه أكثر فعالية وأقل ثباتاً ويوجد في الحامض النووي DNA .

2)الأرابينوز (D-Arabinose) :- يوجد على سكريات متعددة في الحنطة والصمغ العربي والحمص والباقلاء. يستعمل بصورة رئيسية في دراسة البكتريا واختبارات التخمر.

3)الزايلوز (D-Xylose) :- يسمى أحياناً بسكر الخشب، لإمكانية تحضيره بسهولة من الخشب والقش، له دور مهم في العمليات الحيوية النباتية والحيوانية كجسر بين السكريات خماسية وسداسية الكاربون. كذلك له أهمية في تخليق الحوامض النووية ويستعمل أيضاً في تصنيف البكتريا.

ب)السكريات السداسية (Hexoses) :- من السكريات الأحادية السداسية المهمة هي glucose, galactose, fructose والتي تلعب دوراً كبيراً في العمليات الأيضية لجسم الإنسان.

1)الكلوكوز glucose : ويسمى أيضاً (dextrose) لأنه يحرف الضوء المستقطب إلى اليمين. يوجد في الفواكه وعصير النباتات بصورة حرة خاصة العنب، ويوجد مع الفركتوز في كثير من الفواكه الحلوة كما يوجد في العسل وأوراق وجذور كثير من النباتات (الذرة الحلوة، البصل، البطاطا الحلوة غير الناضجة).

*الكلوكوز أقل حلاوة من السكروز (ما يعادل 75% من حلاوة السكروز) لكن له نفس القيمة الحرارية للسكروز.

*نسبة الكلوكوز الطبيعية في الدم (80-120 mg/ 100 ml) أي حوالي 0.1% وفي الإدرار 0.2% وتصل الى 10% في حالة الإصابة بمرض السكر dibetes .

*مصير الكلوكوز الموجود في الدم يُمثل (metabolize) ويُجدد باستمرار، وأي كمية زائدة عن الحاجة يتحول إلى نشأ حيواني (كلايكوجين) الذي يُخزن في الكبد بصورة رئيسية وعند الحاجة يتحول مرة ثانية إلى كلوكوز، في نفس الوقت يُطرح قسم من الكلوكوز من الإدرار.

*مستوى الكلوكوز في الدم يُنظم بفعل بعض الهرمونات (هرمون الأنسولين) الذي تفرزه غدة البنكرياس.

*نصف الطاقة التي يحتاجها الجسم في الحالات الطبيعية تأتي من احتراق الكلوكوز خلال مراحل وسطية في الأيض (metabolize) بعد اتحاده مع حامض الفسفوريك بشكل استرات.

Gucose-1-phosphate, glucose-6-phosphate, glucose-1,6-diphosphate.

2)الكالكتوز D-galactose : لا يوجد حراً في الطبيعة، يوجد عادة في الحليب متحداً مع الكلوكوز على شكل سكر ثنائي (Lactose)، كذلك يوجد في البكتين (pectin) والأكار (agar) وفي بعض المركبات الحياتية المهمة على شكل كالكتوسايد galactosides متحداً مع بعض الشحوم والزلاليات التي توجد في الدماغ والأنسجة العصبية.

*الكالكتوز أقل حلاوة من بعض السكريات الأحادية (32 % من حلاوة السكروز).

*يتكون الكالكتوز داخل داخل الغدة اللبنية عند الإناث، حيث يتحد مع الكلوكوز مكوناً سكر اللاكتوز (سكر الحليب).

*يتحول اللاكتوز إلى كلوكوز بواسطة أنزيم galactose-1-phosphate uridyl transerase وبمساعدة ATP. في حالة غياب أو انعدام هذا الأنزيم يحدث مرض galactosemia وهو مرض وراثي خطير يسبب عدم نمو الطفل مصحوباً بالتقئ والإسهال وتضخم الكبد واليرقان، وفي كثير من الأحيان يُسبب تخلف عقلي، وفي هذه الحالة يزداد الكالكتوز في الدم ويظهر أيضاً

في الإدرار (السبب في الواقع يعود إلى تراكم مواد سامة منها galactitol الناتج من اختزال الكالكتوز).

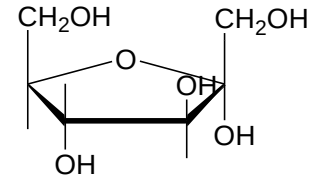
3)الفركتوز D-Fructose (Fruit sugar, levulose): يوجد في الفواكه والخضروات وخاصة العسل، وهو الذي يعطي الحلاوة الخاصة بالعسل. يوجد بنسبة أكثر من الكلوكوز في الفواكه لذا يسمى بسكر الفواكه (fruit sugar)

*له ضعف حلاوة السكروز (175 % من حلاوة السكروز).

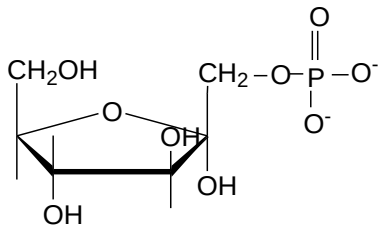
* يوجد الفركتوز بشكل -D لكنه يحرف الضوء المستقطب نحو اليسار لذا يسمى levulose

*في حالة تمثيله (metabolize) داخل الجسم، يكون على شكل استر وبثلاثة أشكال D-Fructose-1-phosphate, D-Fructose-6-phosphate, D-fructose-1,6-diphosphare

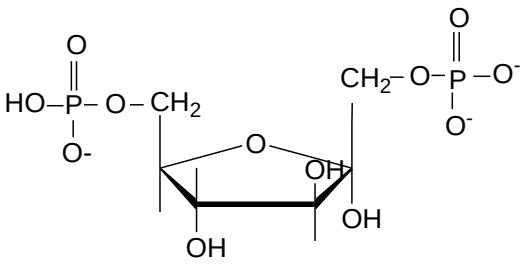
*يُخزن الفركتوز في الكبد على شكل كلايكوجين بعد تحوله إلى كلوكوز.



α-D-(-) fructofuranose



D-fructose-1-phosphate

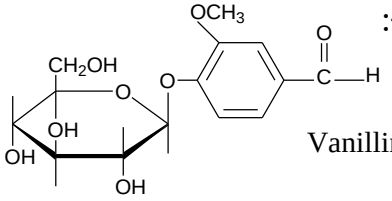


D-fructose-1,6-diphosphate

مشتقات السكريات الأحادية:

1)الكلايكوسيدات Glycosides: وهي مركبات سكرية متصلة (برباط أيثري) بذرة الأوكسجين لمجموعة هيدروكسيل ذرة الكاربون anomeric (ذرة الكاربون رقم 1 في aldoses وذرة الكاربون 6 في ketoses) مع قسم آخر كاربوهيدراتي أو غير كاربوهيدراتي، وعليه فهي سكريات ليست مختزله وليس لها القابلية على الاستدارة الضوئية (mutarotation). (راجع تفاعلات الكاربوهيدرات) من الكلايكوسيدات المهمة:

ا)الكلايكوسيد الموجود في نكهة الفانيلا.



Vanillin D-glucoside

ب) الكلايكوسيد الموجود في نبات (digitalis) والمُسمى (digoxin) الذي يستخدم في معالجة بعض أمراض القلب (مستحضر طبي).

ج) الكلايكوسيد الموجود في اللوز المر.

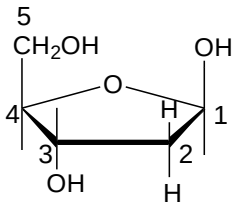
د)الكلايكوسيدات النتروجينية (nucleotides) والتي تحتوي هلى سكر رايبوزي وقاعدة نتروجينية وفوسفات.

هـ)جميع السكريات الثنائية والمتعددة.

و)الدهون السكرية وبعض مشتقات الستيرويدات.

2)السكريات المُجردة من الأوكسجين Deoxy sugar: وهي السكريات التي تكون فيها مجموعة الهيدروكسيل المعوضة في الحلقة فاقدة ذرة الأوكسجين. وهذه السكريات مهمة جداً في التراكيب الحياتية مثل الحوامض النووية DNA ومن هذه السكريات المجردة من الأوكسجين.

أ)رايبوز منقوص الأوكسجين 2-deoxy-D-Ribose الموجود في DNA

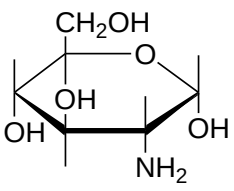


ب)فوكوز L-Fucose : وهو عبارة عن سكر كالكتوز منقوص ذرة الأوكسجين عند ذرة الكاربون 6 (6-deoxy-L-galactose) ويوجد في البروتينات السكرية وبعض مجاميع الدم وحليب الإنسان.

ج)رامنوز L-Rhamnose : عبارة عن سكر 6-deoxy-L-mannose الموجود في الأصباغ النباتية وبعض المضادات الحيوية.

3)السكريات الأمينية Amino Sugar: وهي السكريات التي تحتوي على مجموعة الأمين ($-NH_2$) حلت محل مجموعة الهيدروكسيل (-OH) عند ذرة الكاربون 2 في aldoses. من أهم السكريات الأمينية:

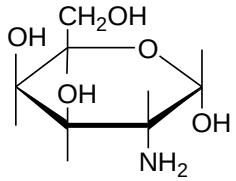
ا)كلوكوز-أمين D-glucose amine : ويسمى أيضاً chitosamine لأنه الناتج الوحيد من التحلل المائي للـ chitin الموجود في القشريات. يوجد أيضاً على شكل بوليمر وحدته البنائية acetyl glucose amine في السكريات المتعددة المخاطية mucopolysacchrides متحداً مع البروتين في مجاميع الدم وعدسات العين وغيرها، مثل الهيبارين Heparin الموجود في الكبد، الرئة والدم



α-D-glucose amine

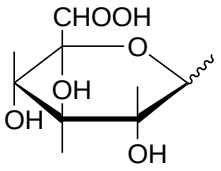
(يعمل على منع تخثر الدم داخل الجسم). كذلك يوجد في بياض البيض على شكل سكريات ثلاثية وكذلك المضادات الحيوية.

ب)كـالكتوز-أمـين D-galactose amine: يسـمى أيضـاً chondrsamine لوجـوده فـي chondroitins الـذي هـو أحـد mucopolysacchrides الموجـود فـي الغضـاريف والعظـام، قرنية العين، الجلد، صمامات القلب.....الخ، متحداً مع البروتينات.

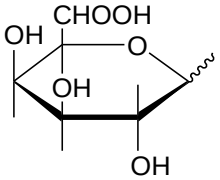


α-D-galactosamine

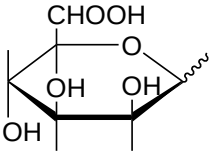
4)الحوامض اليورنية Uronic acids: وهـي مـن مشـتقات السـكريات البسـيطة تحتـوي علـى مجموعة الديهايد وكاربوكسيل (راجع تفاعلات الكاربوهيدرت). ثلاثة مـن الحـوامض اليورونيـة موجودة في الطبيعة هي:



D-glucuronic acid



D-galactouronic acid



D-mannuronic acid

الحوامض اليورونية مهمة جداً في التراكيب الحياتية، حيث تـدخل فـي تركيـب الأنسـجة الرابطـة والأنسجة المخاطية وأن glucuronic يـدخل فـي تركيـب الهيبـارين والغضـاريف والهرمونـات الجنسية..... الخ، كذلك يعمل ضد السموم بالإتحاد معها وجعلها غير سامة ومن ثم طرحها خارج الجسم مع الإدرار (عملية الحماية التركيبية protective synthesis).

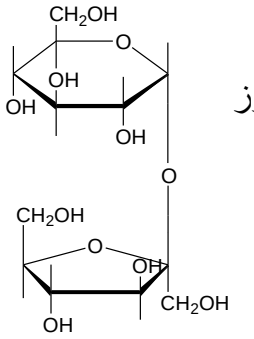
السكريات الثنائية Disaccharides :

تعتبر السكريات الثنائية glycosides متكونة من جزئيتين من السكر الأحادي بعد فقد جزئية ماء منهما، ترتبط جزئيتي السكر الأحادي مع بعضها بواسـطة الآصـرة الكلايكوسـيدية، والسـكريات الثنائية ثابتة لا تتأثر بالقواعد لكنها تتحلل مائياً بفعل الحوامض محررة السكريات الأحاديـة التـي تحتويها. يحدث هذا أيضاً بعل الأنزيمات (كما في القناة الهضمية).

السكريات الثنائية قسم منها لها القابلية الاختزالية والقسم الآخر ليس لها القابلية الاختزالية، اعتمادا على كيفية اتصال المجاميع السكرية الألديهايدية والكيتونية في الوحدات البنائية فيما إذا كانت واحدة متصلة فقط والأخرى حرة أو الاثنتين متصلتين مع بعضهما.

السكريات الثنائية تكون قابليتها الاختزالية أضعف من السكريات الأحادية (هذا ما يعتمد عليه فحص بارفويد). تتميز السكريات الثنائية بكونها بلورات ولها القابلية على التنافذ.

من السكريات الثنائية المهمة:



1)السكروز Sucrose, Cane Sugar: من التركيب الكيمياوي للسكروز نلاحظ اتصال الكلوكوز والفركتوز بين المجاميع المختزلة (anomeric carbon 1,2) وبهذا تكون كل منهما مرتبطة وغير حرة لذلك لا يمتلك السكروز الصفة الاختزالية (لا يكون الاوزازون).

1-α-D-glucosyl-2-β-D-fructosides

α-D-glucopyranosyl-β-D-fructofuranosides (2-β-D-fructosyl-1-α-D-glucosides)

*يوجد السكروز بكميات كبيرة في عصير النباتات مخلوط مع الكلوكوز والفركتوز والمصدر الرئيسي للسكروز هو قصب السكر والبنجر ويعتبر من السكريات الطبيعية بعد الكلوكوز.

*السكروز أكثر حلاوة من الكلوكوز وأقل حلاوة من الفركتوز.

*التحلل المائي للسكروز يعطي الكلوكوز والفركتوز ويسمى الخليط invert sugar

$$C_{12}H_{22}O_{11} \xrightarrow[\text{sucraes/ or HCl or invertase}]{H_2O} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

Sucrose		glucose	fructose
+66.5°		+52.7°	-92°
+66.5°	Inversion →	-28°	

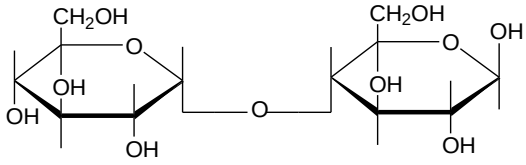
*من خواص السكروز أنه يحرف الضوء المستقطب إلى اليمين (+66.5°) وأن الخليط الناتج (Invert sugar) من التحلل المائي يحرف الضوء المستقطب إلى اليسار (-28.2°) يستفاد من الخاصية في تعيين السكروز في أي نموذج.

*السكروز لا يتخمر (أحياناً يتخمر نتيجة تحلله مائياً ومن ثم تتخمر السكريات الأحادية).

*السكروز يوجد في المحلول على شكل واحد لهذا فإنه يتبلور بسرعة.

*يهضم السكروز في الأمعاء ويتحول إلى كلوكوز وفركتوز بفعل أنزيم sucrase بعدها يمتصان في الدم، أما إذا حُقن في الدم فأنه يُطرح خارج الجسم مع الإدرار لعدم وجود إنزيم sucrase في الدم.

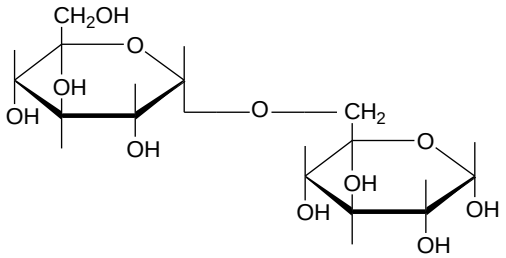
2)المـالتوز Maltose, Malt Sugar: يتكـون المـالتوز مـن جـزئيتين مـن سـكر الكلوكـوز D-glucose متصلة بآصرة من نوع (α1→4)



4D-glucosy-l-α-Dglucoside (β-maltose)

α-D-glucopyranosyl-(1→4)-D-glucopyranosides

وأن الارتباط يشمل مجموعة واحد مختزلة (مرتبطة غير حرة) أما المجموعة الثانية فتكون حرة لذلك يعتبر المالتوز سكر مختزل (يختزل محلول بندكت). هنـاك تركيـب مماثـل للمـالتوز يسـمى Isomaltose يكون ارتباط جزيئيتي الكلوكوز (الأصرة الكلايكوسيدية) (α1→6)



6D-glucosyl-1-α-D-glucoside(α-isomaltose)

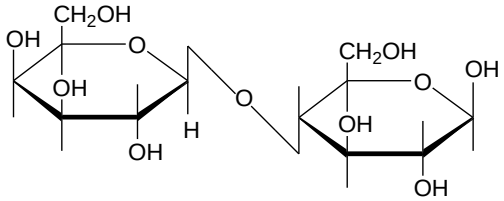
α-D-glucopyronaosyl-(1→6)-α-D-glucopyranoside

*المالتوز لا يوجد في الطبيعة، لكنه يمكن الحصول عليه أثناء عملية التحلل المـائي للنشـأ، حيـث يشكل وحدة سكرية ثنائية للنشأ.

*المالتوز كثير الذوبان في الماء ويتخمر بسهولة بعد تحوله إلى الكلوكوز.

*المالتوز أقل حلاوة من السكروز (33% من حلاوة السكروز).

3)اللاكتـوز Lactose : يسـمى أيضـا سـكر الحليـب، يتكـون مـن ارتبـاط وحـدتي السـكر β-galactose و β-glucose بآصرة كلايكوسيدية (β-(1→4



β-D-galactopyronaosyl-β-(1→4)-β-D-glucopyranoside (Lactose)

*يُختزل اللاكتوز محلول بندكت لأحتوائه على مجموعة الديهايد كامنه (مجموعة OH– المتصلة بذرة الكاربون anomeric رقم 1 الموجودة في الكلوكوز).

*سكر اللاكتوز قليل الحلاوة وأقل من السكروز.

*سكر اللاكتوز يتكون داخل الغدد اللبنية في الحيوانات الراقية باستخدام الكلوكوز الموجود في الدم.

*الكالكتوز الموجود في سكر اللاكتوز مصدر لتكوين مركبات galactosides التي يحتاجها الجهاز العصبي أثناء عملية نمو الطفل. يعتبر اللاكتوز عامل جيد لنمو بعض البكتريا النافعة في الأمعاء، كما أنه يساعد على امتصاص الكالسيوم.

*يُهضم سكر اللاكتوز في الأمعاء بواسطة إنزيم (lactase) إلى الكلوكوز والكالكتوز. في حالة ضعف هذا الإنزيم خاصة عند الأطفال والأطفال الرُضع فمن المحتمل امتصاص اللاكتوز وتراكمه في جهاز الدوران مُسبباً مرضاً في العيون (cataract) بالإضافة إلى ضعف الجهاز العظمي، في هذه الحالة يجب تجنب تناول الحليب (تحصل هذه الحالة وراثياً).

السكريات الثلاثية Trisaccharides :

توجد السكريات الثلاثية بصورة حرة في الطبيعة، ومنها:

أ)سكر الرافينوز Raffinose : يتألف من فركتوز وكلوكوز وكالكتوز، حيث يتحد الفركتوز مع الكلوكوز α-(1→2) كما في السكروز، ويتحد الكلوكوز مع الكالكتوز α-(1→6)

*يوجد هذا السكر بكميات قليلة في البنجر وبذور القطن وكذلك في السوائل التي تُفرز أو التي تنضح من أشجار اليوكالبتوس.

ب)سكر ميلزايتوز Melezitose : يوجد في كثير من أشجار الحمضيات وخصوصاً في نسغ أشجار الليمون الحامض، ويتألف من جزئيتين كلوكوز وجزئية فركتوز.

السكريات المتعددة Polysaccharides (Glycans) :

توجد أغلب الكاربوهيدرات في الطبيعة بصيغة جزيئات متعددة السكريات مرتبطة مع بعضها البعض بشكل كلايكوسيدي ذات أوزان جزيئية عاليه. جزيئات متعدد السكريات تختلف عن بعضها البعض بنوع وحدات السكر الأحادي المكونة لها وبطول سلاسلها وكذلك بطبيعة التفرع لهذه السلاسل.

مركبات متعدد الهيدروكسيل ليس القابلية الاختزالية بالرغم من احتوائها على وحدة سكر نهائية تمتلك مجموعة كاربونيل كامنة غير مقيدة بآصرة كلايكوسيدية، وذلك لأن تأثير هذه الوحدة الواحدة من السكر المختزل تتضاءل خاصيتها بسبب الوزن والحجم الكبيرين لجزئ متعدد

السكر. متعدد السكريات تكون بشكل مسحوق صلب غير متبلور أبيض اللون عديم الطعم غير ذائب أو قليل الذوبان جداً في الماء وتتحلل مائياً بالحوامض والقواعد.

تقسم متعدد السكريات إلى:

1)السكريات المتعددة المتجانسة Homopolysacchareides : وهي السكريات التي تعطي نوع واحد من السكريات الأحادية عند تحللها مائياً. من أهم هذه السكريات:

أ)النشأ Starch : وهو متعدد السكر مؤلف من وحدات α-D-glucose يُعد النشأ مصدر لخزن الطاقة في النباتات، كما أنه مصدر غذائي مهم للإنسان والحيوان. يوجد النشأ بكثرة في الثمار والدرنات والبذور.

النشا الطبيعي هو خليط من نوعين من سلاسل متعدد السكريات هما الأميلوز Amylose والأميلوبكتين Amylopectin

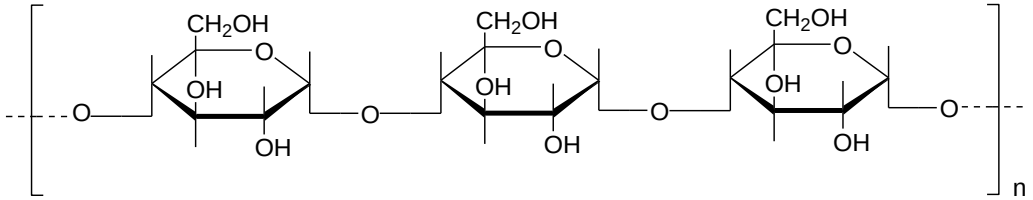
الأميلوز Amylose: عبارة عن سلسلة طويلة غير متفرعة من وحدات الكلوكوز المرتبطة معاً عبر الأواصر الكلايكوسيدية (α1→4) وملتفة بشكل حلزوني ومثبتة بالأواصر الهيدروجينية. يُشكل amylose حوالي 20% من النشأ ويعطي اللون الأزرق-الحبري مع اليود عند مزجه في الماء. يتراوح وزنه الجزيئي بضعة الآف الى 50000.

الأميلوبكتين Amylopectin: وهو سلسلة متفرعة تتألف من وحدات الكلوكوز التي ترتبط مع بعضها البعض عبر الأواصر (α1→4) وكذلك (α1→6) ويكون التفرع في سلسلة amylopectin عبر الأواصر (α1→6) ويُشكل حوالي 80% من النشأ.

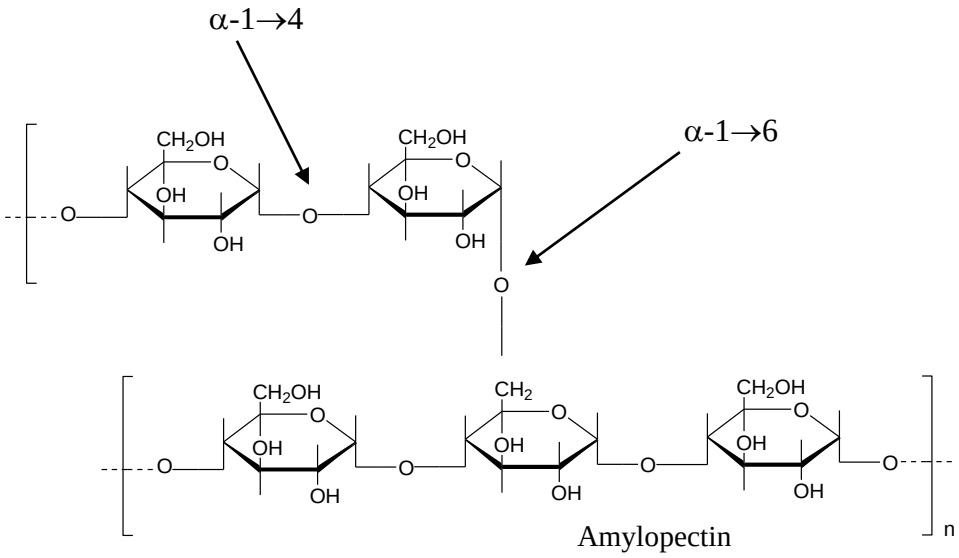
Amylopectin قليل الذوبان في الماء (أقل من amylose) وهو الذي يعطي الخاصية اللزجة للنشأ، ويعطي مع اليود لون أحمر بنفسجي. يتراوح عدد وحدات الكلوكوز لكل تفرع بـ 12 وحدة كما يحدث التفرع عند حوالي كل 30-24 وحدة كلوكوز. وزنه الجزيئي (100-1000000).

*يتحلل النشأ بتأثير الأنزيمات مثل amylase أو بتأثير الحوامض إلى مجموعة من سلاسل الكلوكوز القصيرة مع انفصال المالتوز ثم إلى وحدات كلوكوز حرة.

Starch $\xrightarrow{\text{amylase}}$ Dextrins $\xrightarrow{\text{amylase}}$ Maltose $\xrightarrow{\text{amylase}}$ Glucose



α-1→4 Amylose



Amylopectin

ب)الكلايكوجين glycogen: يُعد الكلايكوجين متعدد السكر خازناً لجزيئات الكلوكوز وبالتالي خازناً للطاقة في جسم الحيوان والإنسان. وهو موجود في الكبد حوال (4% -1.5) تزداد إلى (10%) في حالة أخذ كميات كبيرة من السكريات. أما العضلات فتحتوي على (1% -0.6).
كذلك يوجد الكلايكوجين في الذرة الحلوة، الخمائر، وبعض أنواع الفطريات.

*تركيب الكلايكوجين يشابه للـ amylopectin من حيث امتلاكه سلاسل كلوكوز ($\alpha 1 \rightarrow 4$) متفرعة بواسطة أواصر ($\alpha 1 \rightarrow 6$) غير أن سلاسل الكلايكوجين أقصر وأكثر تفرعاً. وتحدث التفرعات في السلاسل غالباً عند كل (12-8) وحدة كلوكوز. تتحلل الأواصر ($\alpha 1 \rightarrow 4$) للكلاكوجين كغيرها من متعدد السكريات بواسطة إنزيم (α- amylase) الناتج من الغدد اللعابية والبنكرياس، بينما تتحلل الأواصر($\alpha 1 \rightarrow 6$) بواسطة أنزيم (debranching enzyme) مزيل التفرع الذي يسمى (Amylo - 1→6- glucosidase) وبفعل هذه الأنزيمين يكون الناتج النهائي لتحلل الكلايكوجين مزيجاً من المالتوز والكلوكوز وينتج في النهاية كلوكوز.

*وزنه الجزيئي عالي وغالباً ما يزيد على خمسة ملايين.

*يعطي الكلايكوجين مع محلول اليود لون قهوائي أحمر غامق.

*الأنسجة الحيوانية مثل الكبد والعضلات تحتوي على أنزيم phosphorylase الذي يحول الكلايكوجين إلى glucose-6-phosphate.

ج)السليلوز Cellulose: يُعد السليلوز المادة الأساسية المكونة للنبات، حيث يُشكل على الأقل (50%) من تركيب جدار الخلية النباتية، كذلك تحتوي شُعيرات القطن على (98% -90) سليلوز.

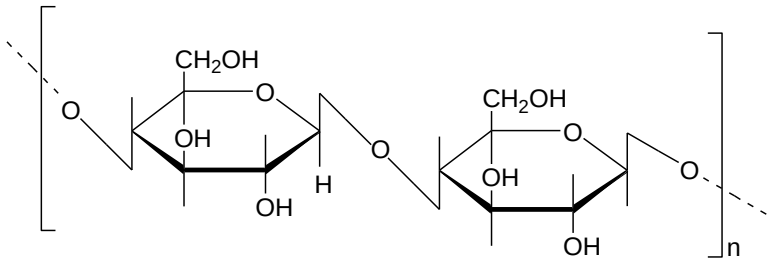
يتألف السليلوز من سلسلة مستقيمة من وحدات الكلوكوز (β-D-glucose) المرتبطة مع بعض بواسطة الأواصر الكلايكوسيدية (β1→4)

*يترواح الوزن الجزيئي من (50000 -25000) أي ما يُعادل (15000 -300) وحدة.

*السليوز ليس له قيمة غذائية للإنسان لأنه لا يتأثر بالعصارات الهضمية، لكنه يعمل على تنشيط حركة الأمعاء ويمنع الإمساك.

*هناك نوع خاص من البكتريا التي تمتلك أنزيم (cellulase) الذي يعمل على كسر الآصرة الكلايكوسيدية (β1→4) حيث توجد هذه البكتريا بشكل تعايشي في الجهاز الهضمي للحيوانات الجُترة، وتوجد أيضاً في السوائل الهضمية للحشرات المختلفة والقواقع والفطريات والطحالب. من أهم الأمثلة: العث الذي يعيش على أكل الأخشاب والأثاث والملابس القطنية وكذلك العفن الذي تُصاب به الأخشاب.

*السليلوز لا يذوب في الماء.



β-(1→4) Cellulose

د)الدكسترين Dextrins: توجد مركبات الدكسترين في البذور النامية للحبوب ويَنتج أيضاً من الجزئي للنشأ والكلايكوجين بفعل الأنزيمات أو الحوامض.

*الدكسترين يشبه اللاكتوز في كونه يساعد على نمو بعض البكتريا النافعة في القناة الهضمية لذلك يستعمل بخلطه مع اللاكتوز كغذاء جيد لصحة الأمعاء.

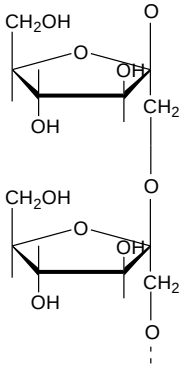
*تستخدم مركبات الدكسترين كمواد لاصقة.

هـ)الأنيولين Inulin: عبارة عن سكر متعدد لوحدات الفركتوز D- fructose (30 وحدة) مرتبطة بأواصر (β1→2) ويُطلق عليها أحياناً fructosan وتعتبر خازنة للطاقة.

*يوجد الأنيولين في كثير من النباتات خاصة في جذور البنجر وبذور القطن والخرشوف.

*يستخدم طبياً لتحديد سرعة الترشيح في الكلية، حيث أن طرح الأنيولين في الإدرار يعود فقط إلى الترشيح الكلوي.

*لا يستعمل كغذاء، حيث إنه لا يهضم ولا يتأثر بأي من أنزيمات الجهاز الهضمي.



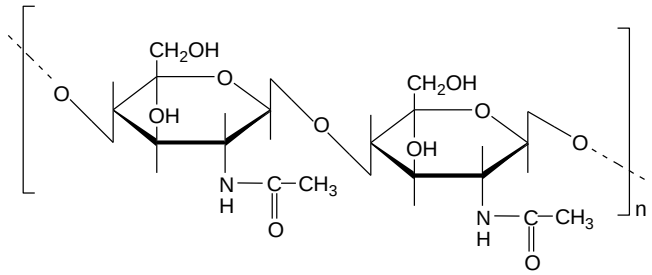
Inulin

β-(1→2)

ح)الكـــايتين Chitin: وهـــو ســـكر متعـــدد لوحـــدات متكـــررة مـــن ســـكر N-acetyl-D-glucosamine مرتبطة بالآصرة الكلايكوسيدية نوع (β1→4)

*تعتبر من المكونات الداخلة في هيكل المفصليات، ويوجد عادة في اللافقريات، حيث يكونّ الهيكل الخارجي للقواقع والحشرات، ذات القوام الصلب لحماية الحشرة من المؤثرات الخارجية.

*يُعتبر أيضاً من المكونات المهمة لعدسة العين، بطانة الجهاز الهضمي وقنوات التنفس.



Chitin β-(1→4)

2)السكريات المتعددة غير المتجانسة Hetropolysaccharide:

وهي السكريات المتعددة التي بتحللها المائي تعطي أكثر من نوع واحد من السكريات، من أمثلتها:

أ)الصمغ النباتي Vegetable gum.

ب)الهُلام النباتي Vegetable mucilage.

ج)أنصاف السليلوز Hemi cellulose.

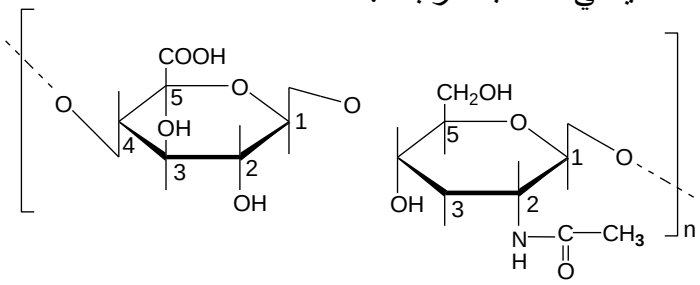
د)البكتين Pectin: اصطلاح البكتين يطلق على المواد التي مع محلول السكر وبحامضية معينة تكون الجلي. فالبكتين يوجد في عصير الحمضيات، التفاح، الجزر، البنجر وكذلك يوجد مع السليلوز في الجدران النباتية على شكل propectin غير ذائب.

* يتألف البكتين من حامض البكتيك (الذي هو methyl-α- D-galactouronic acid) والأرابينوز arabinose والكالكتوز galactose.

هـ)متعدد السكريات المخاطية Mucopolysaccharides: وهي من السكريات المهمة للأنسان والحيوان لأنها تدخل في تكوين الأنسجة الرابطة والسوائل المفصلية والسوائل الزجاجية في العين والمادة ما بين الخلايا والأنسجة وقد تكون مرتبطة مع بعض البروتينات فتسمى بالبروتينات المخاطية mucopolysaccharides ومن أنواعها:

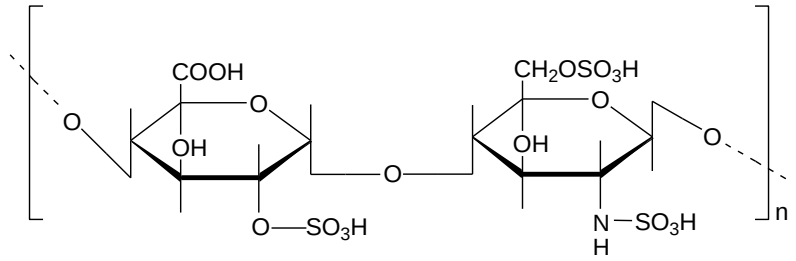
أ)حامض هياليورونك Hyaluronic acid: وهو عبارة عن متعدد السكريات والذي يتكون من وحدتي سكر متكررة هي glucouronic acid المرتبطة مع N-acetyl glucose amine عبر الآصرة (β1→3) وهو ذا لزوجة عالية بسبب وزنه الجزيئي العالي الذي يُقدر بالملايين.

*يعمل كمادة لاصقة ما بين الخلايا في الأنسجة الرابطة.



β-(1→3)

2)الهيبارين Heparin: وهو متعدد سكر مخاطي حامضي يحتوي على مجاميع الكبريتات ويتألف من وحدات glucouronic acid والحاوي على مجموعة كبريتات عند ذرة الكاربون الثانية، ووحدة كلوكوز حاوية على مجموعة كبريتات ومجموعة كبريتات مرتبطة بالأمين. يوجد في معظم الخلايا ويعمل كمادة مضادة لتخثر الدم.



Glucouronic acid-2-sulphate glucoseamine-6-sulphate-2-N-sulphate

Heparin (α1→4)

3)كبريتات كوندرويتين Chondroitin Sulphate : يوجد في الغضاريف والأنسجة الرابطة.

4)حامض السيالك Sialic acid: يوجد في مجاميع الدم.