الكاربوهيدرات/ Carbohydrates

م.د .علياء ماجد منادي

الكاربوهيدرات

تعد الكاربوهيدرات عنصراً مهماً من العناصر الرئيسة في التغذية لكونها سهلة الهضم مقارنة بغيرها من العناصر الغذائية كالدهون والمواد البروتينية.

هنالك ثلاثة عناصر رئيسة تكوّن الكاربوهيدرات وهي الكاربون والأوكسجين والهيدروجين. ويوجد الهيدروجين والأوكسجين في تركيبها عادة بنسبة وجودها في الماء أي 2 هيدروجين الى 1 أوكسجين عدا عدداً من الشواذ مثل السكريات التي ينقصها الأوكسجين Deoxysugars اذ تكون نسبة وجود الأوكسجين اقل من واحد وكذلك وجود عدد من المركبات غير الكاربوهيدراتية التي تنطبق عليها هذه النسبة مثل حامض الخليك، والصيغة التركيبية الجزئية للكاربوهيدرات بشكل عام توجد بصورة $C_n(H_2O)_n$ حيث n تساوي 3 أو أكثر وعلى أساسها سميت الكاربوهيدرات أي هيدرات الكاربون او الكاربون المميأ. ومن الناحية الكيميائية فالجزئيات البنائية الصغيرة للكاربوهيدرات كالسكريات البسيطة هي مركبات ألديهايد Aldehydes اوكيتون Ketones تحوي عدداً من مجاميع الهيدروكسيل ومشتقاتها وبالتالي فالكاربوهيدرات هي عبارة عن مجموعة من المركبات المختلفة، وتعرف بأنها ألديهايدات او كيتونات تحتوي على عدد من المجاميع الهيدروكسيلية أو مشتقاتها ويدخل ضمن هذا التعريف ايضاً كل مركب ينتج هذه المواد عند تحلله وبصورة عامة فإن الكاربوهيدرات عبارة عن مواد صلبة بيضاء قليلة الذوبان في المذيبات العضوية لكنها تذوب بالماء عدا بعض السكريات المتعددة Polysaccharides .

الوظائف الحيوية والفسيولوجية للكاربوهيدرات

1- تعد الكاربوهيدرات المصدر الرئيس لتوليد الطاقة في الجسم فقد تصل نسبة الطاقة التي يكون مصدرها الكاربوهيدرات حوالي 90٪ من الطاقة الكلية التي يحتاجها الجسم.

2- تتميز الكاربوهيدرات بأن لها القدرة على الاحتفاظ بالماء والإلكتروليتات Electrolytes فأن فقدان الماء يؤدي الى فقدان الإلكتروليتات ولا سيما عنصر الصوديوم والبوتاسيوم وباستمرار هذه الحالة يحدث التيبس اللاارادي Involuntary dehydration.

3- النشا والسكريات الأحادية يكسبان الغذاء نكهة وطعماً.

4- للكاربوهيدرات أهمية اذ أنها تقوم بوظائف تركيبية Structural ووظيفة فسيولوجية Physiological **وتعد مكوناً لجزء من مركبات ذات اهمية كبيرة لخلايا أنسجة الجسم** ومن هذه المركبات:

أ- **حامض الكلوكيورونيك Glucuronic acid** فهو فضلاً عن كونه جزءاً من تركيب الكاربوهيدرات المخاطية، فأن لهذا المركب في الكبد وظيفة مهمة وهي إزالة السموم Toxic substances التي تصل الى الجسم فهو يعد عاملاً مزيلاً للسموم Detoxifying agent اذ يتم ارتباطه بهذه المواد ثم التخلص منها على شكل مركب معقد عن طريق الإدرار.

ب- **السيروبروسايد Cerebrosides** وهي مركبات تتكون من ارتباط سكر الكالاكتوز والمواد الدهنية والسفنجوسين Sphingosine glucolipids والتي توجد في تركيب الجهاز العصبي في الدماغ والنخاع والاعصاب الاخرى.

جـ- **بروتينات مخاطية Mucoproteins** وهي مواد مخاطية تتكون من سكريات متعددة مع البروتين والأمثلة عليها هو المخاط Mucus وهي المادة التي يفرزها الجهاز الهضمي في المعدة وأجزاء أخرى لحماية الخلايا من التحلل بالإنزيمات والأحماض والمواد الأخرى الضارة وتوجد ايضاً في الدم.

د- من المركبات الكاربوهيدراتية الأخرى **الهيبارين Heparin** وهي المادة المانعة للتخثر Anticoagulant وكذلك حامض الهيالورونيك ووظيفته تزييت المفاصل الجسمية وكذلك **كبريتات الكوندريتين Chondroitin sulfate** وفضلاً عن أنها تعد مادة مانعة للتخثر فأن وظائفها التركيبية متعددة نسبة لمكان وجودها في قرنية العين والغضاريف والجلد وصمامات القلب وغيرها.

هـ- تعد **الألياف Fiber** ذات دور حيوي للجسم (كما سوف يتم ذكره لاحقا في هذا الفصل) فلها أهمية في عملية ضد الإمساك Constipation وتقليل الدهون (الكوليستيرول بشكل أخص) وتقليل السكر في الدم ومنع تكوين الحصاة في القناة الصفراوية فضلا عن وظائف أخرى. اذ بالرغم أنه ليس كل الألياف هي كاربوهيدرات مثل اللكنين Lignin الذي يعد مركباً غير كاربوهيدراتي يصنف بوصفه مكوناً للألياف.

و- يساعد سكر **اللاكتوز Lactose** على نمو بعض بكتريا الأمعاء التي تصنع فيتامينات B المعقد كما تساعد على امتصاص الكالسيوم والفسفور.

أصناف الكاربوهيدرات Classification of carbohydrates

يمكن تصنيف الكاربوهيدرات استنادا الى عدد الوحدات البنائية التي يحتويها السكر:

1- السكريات الأحادية (او السكر البسيط) Monosaccharide وتحتوي في جزئياتها على وحدة سكر واحدة مثل الكلوكوز.

2- السكريات قليلة الوحدات Oligosaccharides (ومن ضمنها السكريات الثنائية) وتحتوي في جزئياتها على 2-10 وحدات من السكر الأحادي.

3- السكريات المتعددة Polysaccharides وتشمل جزئيات بوليمرية كبيرة لسكريات أحادية ولها أوزان جزئية عالية، وهي بدورها تنقسم على مجموعتين اعتماداً على الوحدات البنائية من السكريات الاحادية المتكررة لنوع واحد او نوعين مثل:

أ- السكريات المتعددة المتجانسة Homopolysaccharides

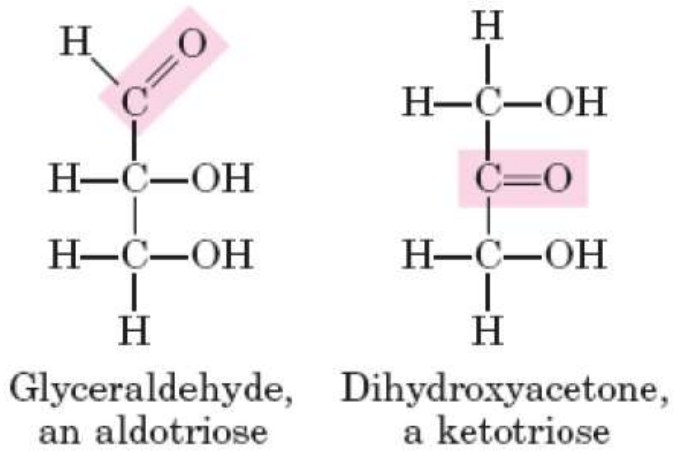
ب - السكريات المتعددة غير المتجانسة Heteropolysaccharides

وفي ما يأتي وصف لأصناف السكريات:

1- السكريات الأحادية: تحتوي هذه السكريات على 3-9 ذرات كاربون. إلا إنها في الغالب تشكل بين 5 او 6 ذرات كاربون. إن هذه السكريات تحتوي على مجموعة ألديهايد او مجموعة كيتون في تركيبها الكيميائي،

ولا يمكن تحليل السكريات الأحادية الى وحدات اصغر تحت الظروف المعتدلة. ومن أكثر السكريات الاحادية وجوداً في الطبيعة هو الكلوكوز Glucose (سكر سداسي يحتوي على مجموعة ألديهايد) والذي يعد من أهم مصادر الطاقة للكائن الحي وهو الوحدة البنائية الأساسية لأكثر السكريات المتعددة والتي توجد في الطبيعة بكميات هائلة مثل النشا والسيليلوز.

إن اصغر جزيئتين يطلق عليهما كاربوهيدرات في الطبيعة هما كلسيرألديهايد Glyceraldehyde والأسيتون ثنائي الهيدروكسيل Dihydroxyacetone ويحتوي كل منهما على ثلاث ذرات كاربون (يطلق على المركب الذي يحتوي على ثلاث ذرات كاربون أسم ترايوز Triose)، يرجى ملاحظة إضافة الحروف الواو والزاء الى كلمة تراي باللغة العربية والحروف ose الى كلمة Tri باللغة الانكليزية للدلالة على ان المركب هو عائد الى عائلة الكاربوهيدرات) لاحظ (**الشكل 1-4**).



الشكل (1-4): السكريات الأحادية البسيطة الثلاثية الكاربون.

يساعد موقع مجموعة الكاربونيل في تسمية السكريات الأحادية، فمثلاً يمكن تسمية الكلسيرألديهايد بأسم ألدوترايوز Aldotriose (ألدو من ألديهايد وتراي يعني المركب يحتوي على ثلاث ذرات كاربون والحروف الواو والزاء تعني ان المركب سكر) كذلك يمكن تسمية الأسيتون ثنائي الهيدروكسيل بأسم كيتوترايوزKetotriose (كيتو Keto من كيتون). اما بالنسبة للسكريات الكيتونية التي تحتوي على أكثر من ثلاث ذرات كاربون فأن مجموعة الكاربونيل تقع عادة على ذرة الكاربون رقم 2 (لاحظ الشكل اعلاه).

يطلق على سكر الألديهايد الذي يتكون من أربع ذرات كاربون اسم تيتروز Tetrose والذي يتكون من خمس ذرات كاربون اسم بنتوز Pentose، والذي يتكون من ست ذرات كاربون اسم هيكسوز Hexose والذي يتكون من سبع ذرات كاربون أسم هيبتوز Heptose. اما بالنسبة للسكريات الكيتونية فيضاف المقطع لو (ul) في تسميتها. فمثلاً يطلق على السكر الذي يحتوي على خمس ذرات كاربون اسم بنتولوز Pentulose والذي يحتوي على ست ذرات كاربون اسم Hexulose، والذي يحتوي على سبع ذرات كاربون اسم هيبتولوز Heptulose.

التدوير الضوئي Optical rotation

يعبر عن التدوير الضوئي بالنشاط الضوئي للنظائر او المشابهات(أيزومرات) المجسامية Stereoisomers كمياً بوساطة التدوير النوعي Specific rotation $[\alpha]$ ويقدر من قياسات التدوير الضوئي لمحلول (احدهما) ذي تركيز معين في أنبوب ذي طول معين ويوضع في جهاز قياس الاستقطابية Polarimeter.

$$[\alpha] = \frac{\text{التدوير الضوئي (بالدرجات)}}{\text{طول الانبوب (د سم)} \times \text{التركيز (غم/مل)}}$$

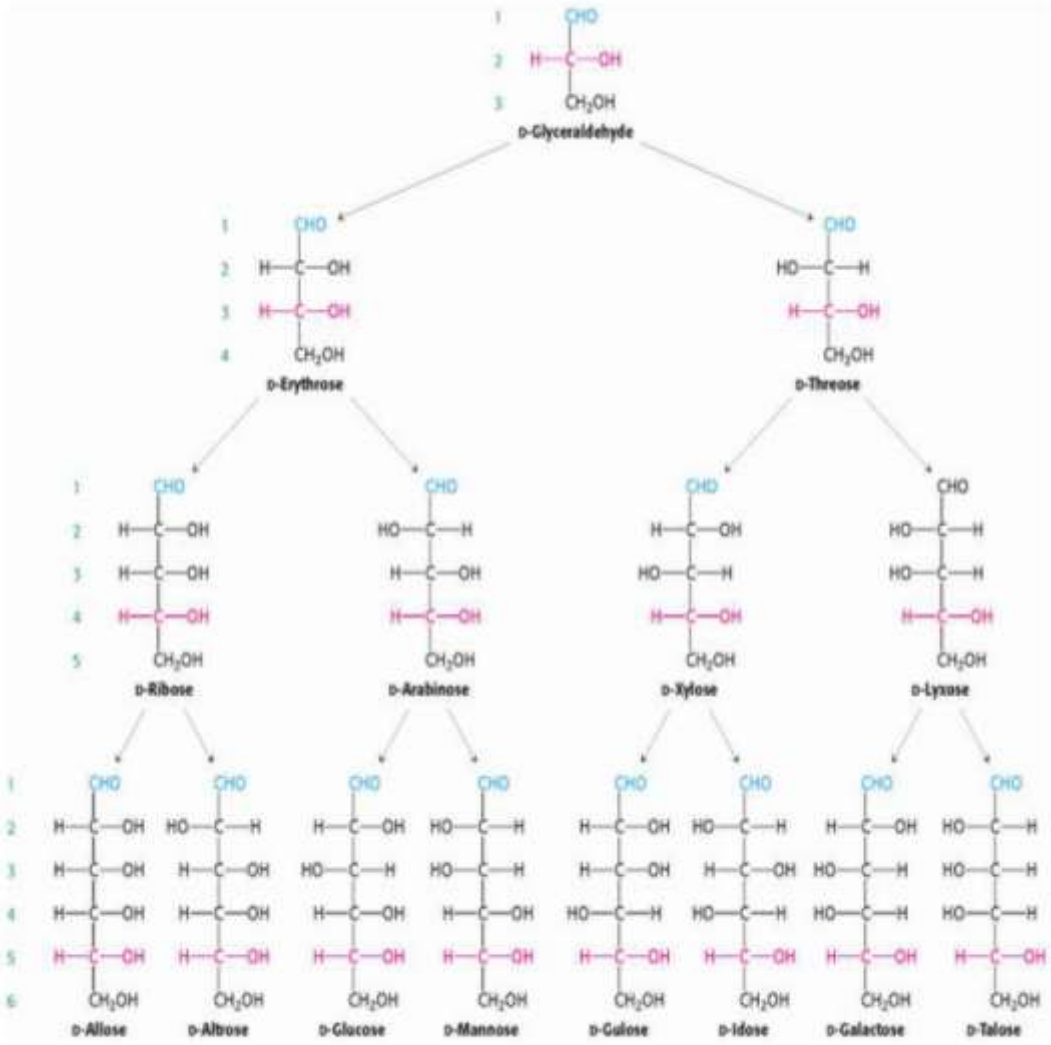
ويجب في تقديرات التدوير الضوئي ذكر درجة الحرارة وطول الموجة الضوئية المستخدم. كذلك يتوجب على المركب الذي يتمكن من تدوير الضوء المستقطب Polarized light أن يكون غير متناظر Asymmetrical (فمثلاً في حالة الكاربون فان أي ذرة كاربون تحمل أو تتصل بأربع ذرات او مجاميع مختلفة تصبح هذه الذرة مركزاً لعدم التناظر Asymmetric center) وبالتالي سوف تعمل على تدوير الضوء المستقطب أما الى اليمين Dextrorotatory ويرمز له بالحرف d (وتعطى له العلامة الموجبة +) والأخر الذي يعمل على تدوير الضوء المستقطب الى اليسار Levorotatory ويرمز له بالحرف l (وتعطى له العلامة السالبة −) وان هذين النوعين (d, l) يكونان صورة مرآة Mirror image لبعضهما البعض.

ويمكن استخراج عدد الأيزومرات المجسامية لأي مركب عضوي يحوي ذرة كاربون او أكثر غير متناظرة من العلاقة الآتية:

$$\text{عدد الأيزومرات المجسامية} = 2^n$$

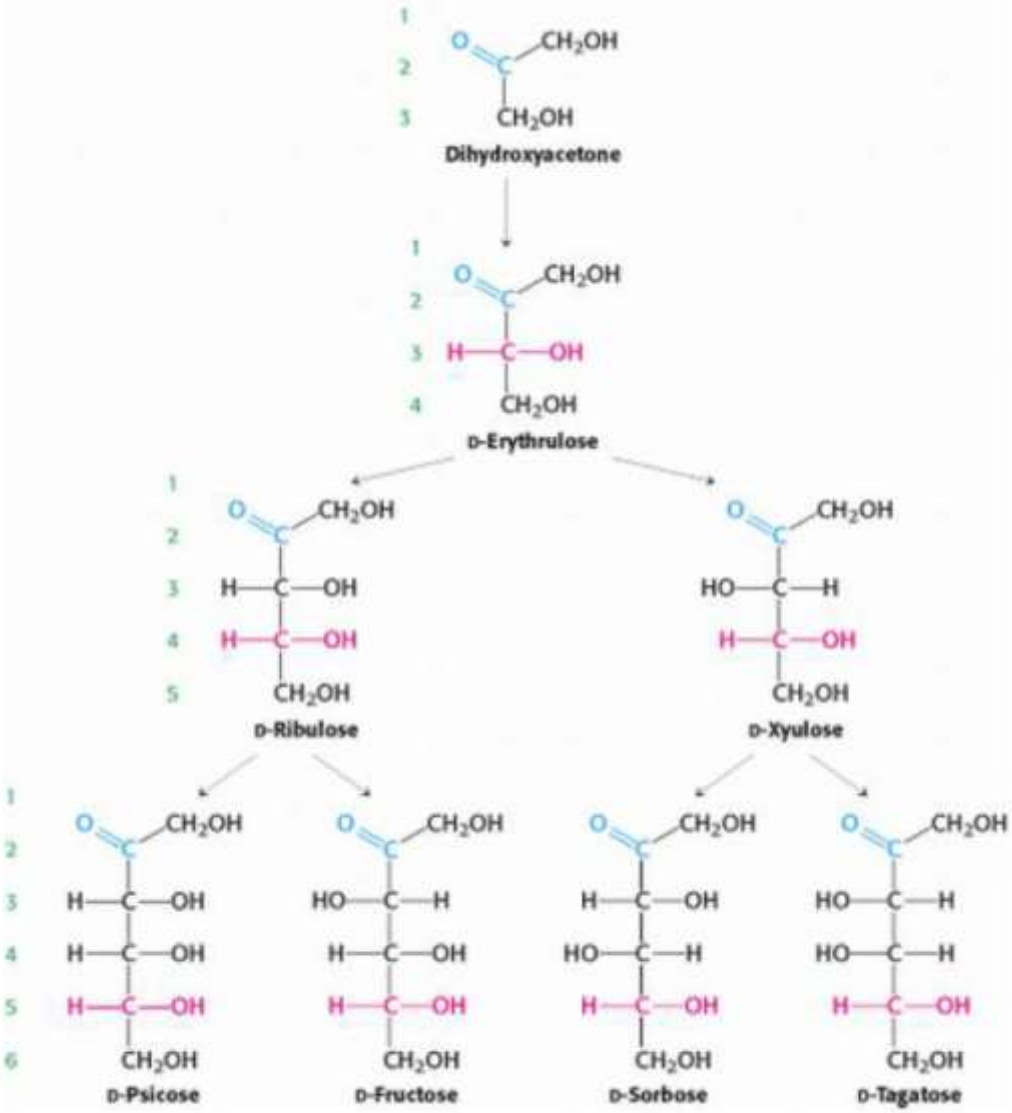
حيث n تمثل عدد ذرات الكاربون غير المتناظرة. وعلى سبيل المثال فان سكر الدوهكسوز Aldohexose الذي صيغته التركيبية العامة $C_6H_{12}O_6$ يحتوي على اربع ذرات كاربون غير متناظرة، وعليه فإن لهذا السكر 16 شكلاً من الأيزومرات المجسامية، ثمانية منها توجد بشكل L، وثمانية أخرى بشكل D.

تستخدم الحروف D و L للتعرف على موقع الـ OH المتصلة بذرة الكاربون غير المتناظرة فاذا كانت على جهة اليمين تستخدم D واذا كانت على جهة اليسار تستخدم L واذا كان المركب يحتوي على اكثر من ذرة كاربون متناظرة فأن ابعد ذرة كاربون غير متناظرة من مجموعة الالديهاد او مجموعة الكيتون سوف تحدد المركب من نوع D أم L.

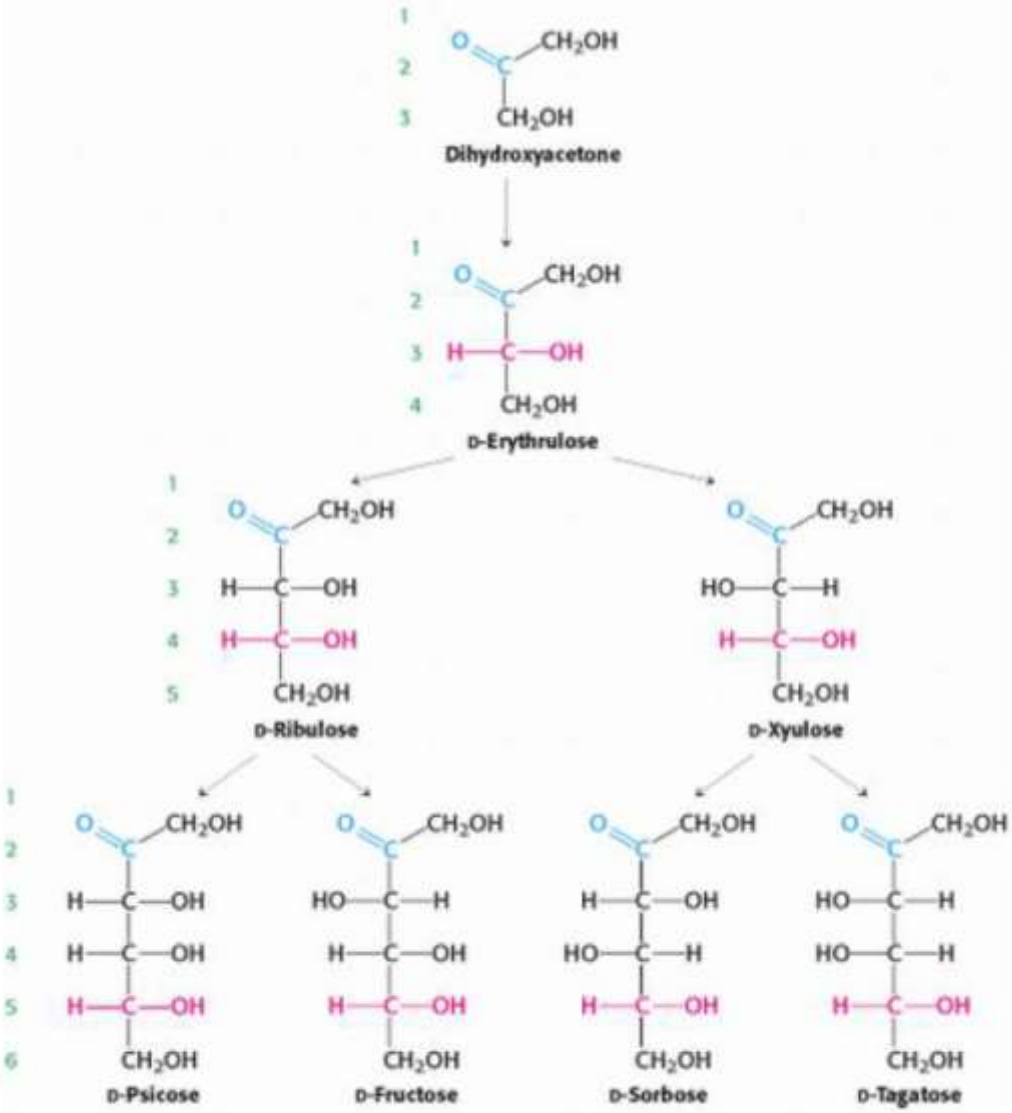


الشكل (3 –4): السكريات المحتملة اشتقاقها من جزيئـــة D– كلـــسيرألديهايد D-Glyceradehyde لغاية سكريات ألدوهيكسوز.

ويمكن اشتقاق جدول آخر مشابه يمثل السكريات المشتقة من جزئية L– كلـــسيرألديهايد. كـــذلك يمكـــن اشتقاق جدول آخر للسكريات من نوع كيتوز Ketoses **(الشكل 4–4)**.



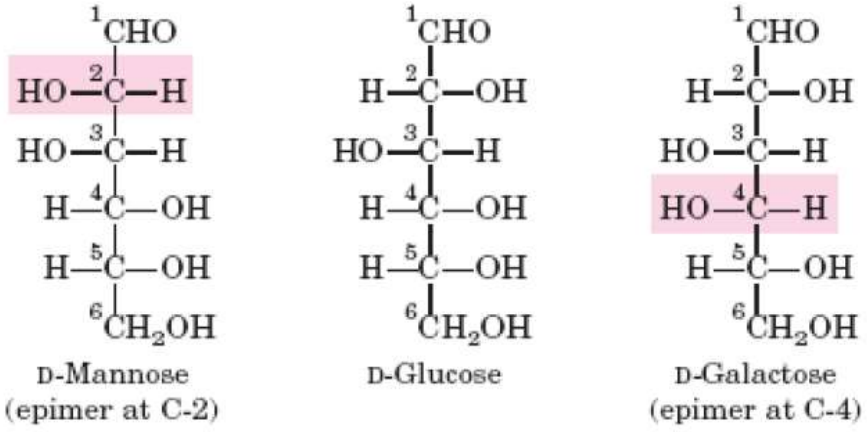
الشكل (4-4): السكريات من نوع كيتوز Ketoses المحتملة اشتقاقها من ثنائي هيدروكسي أسيتون Dihydroxacetone .



الشكل (4-4): السكريات من نوع كيتوز Ketoses المحتملة اشتقاقها من ثنائي هيدروكسي أسيتون Dihydroxacetone .

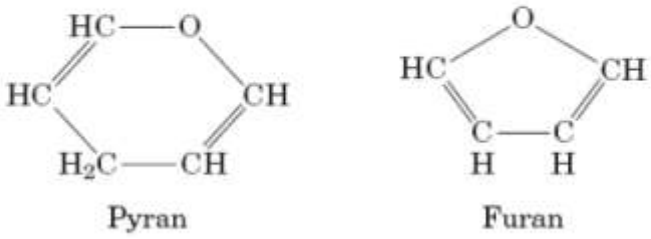
متماثلات إبيمرز Epimers

هناك نوع اخر من المتماثلات التركيبية مغايرة لمتماثلات الصور، فهي مركبات كيميائية تختلف كل منها عن الأخرى في الخواص الكيميائية والفيزيائية، ويملك كل منها على الأقل ذرتي كاربون غير متماثلة (غير متناظرة)، ويدعى هذا النوع من المتماثلات دياستيروازومير Diastereoisomers. ان متماثلات دياستيروايزومير التي تختلف فقط عند ذرة كاربون غير متماثلة واحدة يطلق عليها بالمتماثلات إبيمر Epimers (أذا كان المركبان يختلفان في الهيئة التركيبية حول ذرة كاربون واحدة فقط) وهذا يمكن توضيحه في **الشكل (5-4)** أدناه:



الشكل (5-4): متماثلات الإبيمر Epimer بوضعية فيشر(السلسلة المفتوحة).

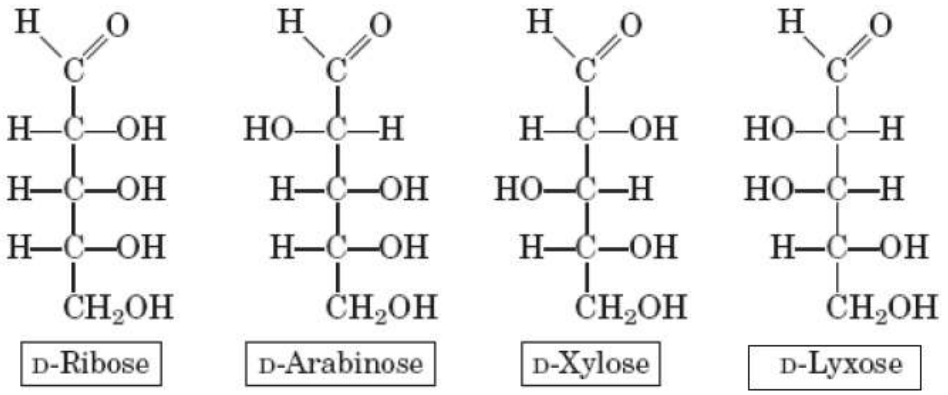
أطلق الباحث هاورث Haworth أسم بايرانوز Pyranose على الأشكال السداسية الحلقة للسكريات وهي مشتقة من الحلقة الكاربونية الخماسية البايرين Pyran مضافاً أليها ذرة أوكسجين، وبنفس الطريقة أطلق على السكريات الخماسية الحلقة أسم فيورانوز Furanose والمشتقة من الفيوران Furan (**الشكل 7-4**).



الشكل (7-4): الفيوران Furan والبايرين Pyran.

السكريات الخماسية الكاربون Pentoses

أن الصيغة الوضعية للسكريات خماسية الكاربون هي $C_5H_{10}O_5$ وأن اهم مايمثل هذه المجموعة أربعة سكريات هي زايلوز D-Xylose والأرابينوز L-Arabinose والرايبوز D-Ribose و D- لكسزوز D-Lyxose ونادراً ما توجد بشكل حر في الطبيعة ولكن توجد في النباتات خاصة بشكل سكريات متعددة على صورة بنتوزان Pentosan.

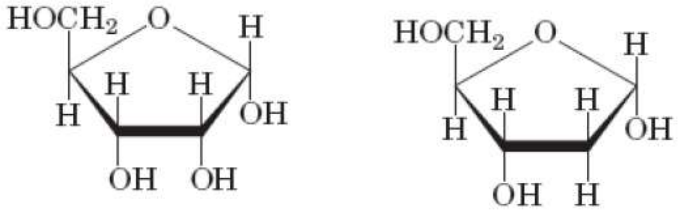


الشكل (9-4): السكريات الخماسية الكاربون (الليكسزوز Lyxose والزايلوز Xylose والأرابينوز Arabinose والرايبوز Ribose)

1- **الزايلـوز D-Xylose** : ويسمى سكر الخشب وهو احد السكريات الخماسية المكونـة لمعقـد الـزيلان Xylan والجزء الداعم في أنسجة النباتات بصورة عامة ومكون للهيميسليلوز Hemicellulose وهـو سكر غير قابل للتأكسد على حين تستطيع الحيوانات المجترة الاستفادة منه بوساطة تحلله بالبكتيريا التـي تعيش في الجهاز الهضمي لها.

2- **الأرابينوز L-Arabinose**: يوجد الأرابينوز في المملكة النباتية ومنها الكرز Cherry على شكل معقد الأربان Araban وهو جزء من تركيب الهيميسللوز Hemicellulose أيضاً وموجـود فـي البكتـين والمواد البكتينية بصورة عامة.

3- **الرايبوز D-Ribose**: وهو احد السكريات الخماسية المهمة حيوياً الموجودة في الطبيعة ويـدخل فـي تركيب الأحماض النووية مثل الحامض النووي الرايبوزي Ribonucleic acid (RNA) وعند استبدال او احلال الهيدروجين محل مجموعة الهيدروكسيل في هذا السكر في موقع رقم 2 ينتج سـكر ديوكـسي رايبوز Deoxyribose (منقوص الأوكسجين) (**الشكل 14-4**) الذي يدخل فـي تركيـب الأحمـاض النووية من نوع حامض نووي ديوكسي رايبـوز Deoxyribonucleic acid (DNA) والتـي تحمـل الصفات الوراثية ، ويدخل الرايبوز ايضاً في تركيب مركبات مهمة ومختلفة مثل النيوكليوتيـدات التـي تكوّن الكثير من التراكيب المهمة مثـل Adenosine triphosphate (ATP) ومرافقـات الإنزيمـات المختلفة Coenzymes (مثل: FAD ،NAD^+ ،$NADP^+$).



α-D-Ribose 2-Deoxy-α-D-ribose

الشكل (10–4): سكر 2–الديوكسي رايبوز 2-Deoxy ribose وسكر الرايبوزRibose.

4- D – لكسزوز D-Lyxose: وهو من السكريات الخماسية الذي يتواجد في العضلات القلبية.

السكريات السداسية الكاربون Hexoses

إن الصيغة الوضعية لهذه المجموعة هي $C_6H_{12}O_6$ وهي الأكثر أهمية من بين السكريات البسيطة الأخرى والمتعددة. وإن معظم السكريات القليلة الوحدات Oligosaccharides وكذلك المتعددة موجودة في الخلايا والأنسجة النباتية والحيوانية وهي شائعة في الطبيعة على شكل حر، **ومن هذه السكريات:**

أ- **الكلوكوز:** يطلق على هذا السكر سكر العنب وأحياناً سكر الدم، ويعد من أهم السكريات الأحادية فهو موجود بشكل حر وينتج من تحلل السكريات الثنائية وكذلك من تحلل الكلايكوجين المخزون في الكبد ويعد حلقة الوصل في ايض المواد الكاربوهيدراتية إذ تستخدمه الخلايا في تحديد الطاقة والعناصر الغذائية الاخرى. كما يتواجد في الثمار الحلوة المذاق ولاسيما في الفواكه مثل العنب والتمر والكرز والحمضيات وغيرها من الفواكه. ويوجد الكلوكوز مرتبطاً في سكر البنجر والقصب مع سكر الفركتوز بوصفه جزءاً من تركيب سكر السكروز وكذلك مرتبطاً مع الكالكتوز في سكر الحليب اللاكتوز وهو جزءٌ من السكريات الثلاثية والرباعية مثل الرافينوز Raffinose والستاكيوز Stachyose وايضاً جزءٌ من السكريات المتعددة مثل النشا والسليلوز والكلايكوجين. ويمكن إنتاجه تجارياً إما بوساطة الحامض او الإنزيمات من مصادر النشا مثل البطاطا والذرة. ويعد الكلوكوز من اهم السكريات القابلة للتخمر Fermentable sugars.

ب- **الفركتوز:** يسمى سكر الفركتوز بسكر الفواكه او الليفيولوز Levulose وهو سكر عالي الذوبان ومن الصعوبة تبلوره وهو اكثر السكريات حلاوة ويوجد بشكل حر في الفواكه وكذلك في العسل والسكر المحول. واذا وجد في الطبيعة فانه عادة يصاحب سكر الكلوكوز ولاسيما سكر السكروز وهو مكون لعدد من السكريات الثلاثية والرباعية مثل الرافينوز والستاكيوز ومكون للسكريات المتعددة الفروكتان Fructan ومثال عليها هو الانيولين Inulin.

جـ- **الكالاكتوز:** وهو سكر سداسي ألديهايد Aldose من السكريات الموجودة مرتبطاً بالكلوكوز في اللاكتوز ويندر وجوده حراً مثل الكلوكوز والفركتوز. ويوجد كذلك في سكر الرافينوز والستاكيوز

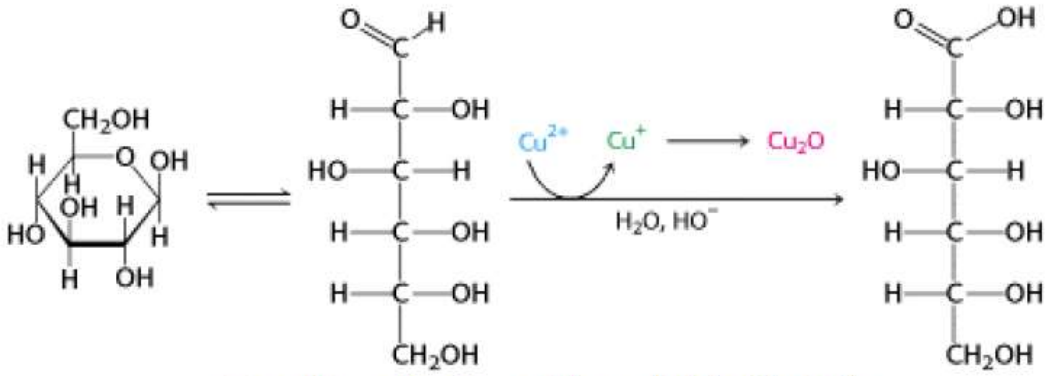
وكذلك السكريات المتعددة في الصمغ العربي Gum Arabic ويمكن تحويل الكالاكتوز الى الكلوكوز في الكبد.

هناك سكريات أقل أهمية من الناحية الحيوية مثل سكر المانوز D-mannose (لاحظ الشكل السابق (4-6)) مكوناً للسكريات المتعددة Mannan في تركيب النباتات وهو مكون للنوى في كثير من الفواكه وموجود كذلك في تركيب الميوكويدات Mucoids وهي مواد بروتينية كاربوهيدراتية Glycoproteins شبيه بالمواد المخاطية.

السكريات الأحادية المشتقة Derived monosaccharides

الحوامض السكرية

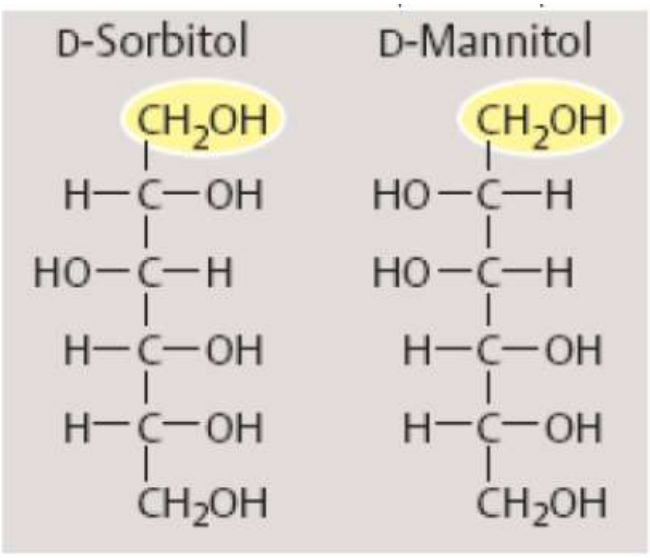
أ- **حامض الكلوكونك D-gluconic acid** : وهو الحامض الناتج عن أكسدة ذرة الكاربون الألديهايدية الى مجموعة كاربوكسيل، وهو ناتج وسطي أثناء التفاعلات الحيوية لسكر الكلوكوز في بعض الكائنات (**الشكل 12-4**).



الشكل (12-4): أكسدة الكلوكوز الى حامض الكلوكونيك.

لكحولات السكرية (بوليولات) Sugar alcohols or polyols

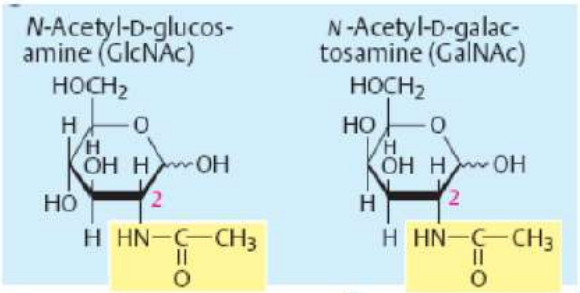
تختزل مجموعة الكاربونيل العائدة للسكريات الأحادية بوساطة الهيدروجين وبوجود عامل مساعد معدني في الماء لتكوين الكحولات السكرية. فمثلاً يؤدي اختزال D- كلوكوز الى انتاج الكحول السكري المسمى سوربيتول Sorbitol كما يؤدي اختزال D- مانوز الى إنتاج المانيتول Mannitol ومن الجدير بالذكر ان هذا الاختزال يتم أيضاً بفعل الإنزيمات(**الشكل 14-4**).



الشكل (14-4): D- مانيتول Mannitol وD- سوربيتول Sorbitol.

السكريات الأمينية Amino sugars

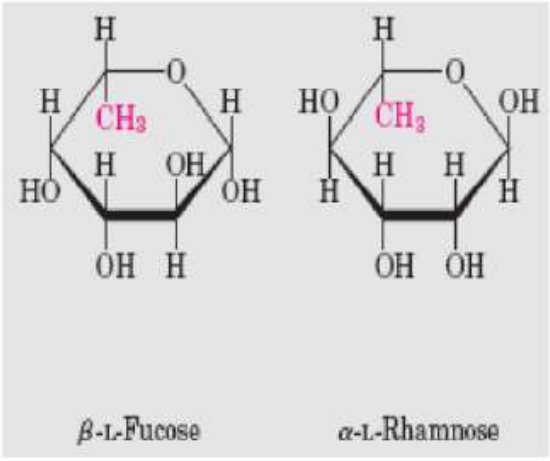
تتكون السكريات الأمينية باستبدال مجموعة الهيدروكسيل الواقعة على ذرة الكاربون الثانية في الالدوهكيسوزات Aldohexoses بمجموعة أمينية NH_2–، ومن السكريات الأمينية المهمة هو الكلوكوز أمين Glucosamine والكالاكتوز أمين Galactosamine. ويوجد هذان السكران الأمينيان في الطبيعة مرتبطين بمجموعة أسيتايل Acetyl دائماً **(الشكل 15-4)**.



شكل (15-4): N – أسيتايل-D- كلاكتوزأمين N-Acetyl-D-galactosamine وN – أسيتايل-D- كلوكوزأمين N-Acetyl-D-glucosamine.

سكريات الديوكسي (منقوصة الأوكسجين) Deoxysugars

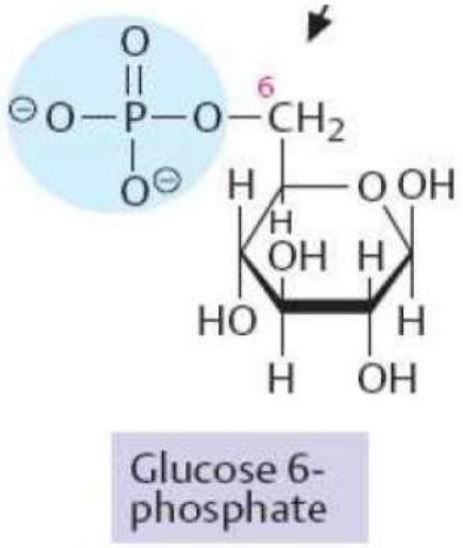
من أكثر السكريات الديوكسي وجوداً في الطبيعة هو دي أوكسي -D- رايبوز الذي أزيلت منه ذرة أوكسجين من ذرة الكاربون الثانية، ويعد هذا السكر من أحد مكونات الحامض النووي الرايبوزي المزال منه الأوكسجين Deoxyribonucleic acid، وكذلك يعد كل من رامنوز (L-Rhamnose) (6-deoxy-L-Mannose) وفيوكوز L-Fucose (6-deoxy-L-Galactose) من السكريات الديوكسي الذي يتواجد في المكونات الرئيسة للجدران الخلوية لبعض أنواع البكتريا **(الشكل 16-4)**.



الشكل (16-4): سكر الرامنوز Rhamnose والفيوكوز Fucose.

Phosphoric acid esters إسترات حامض الفوسفوريك

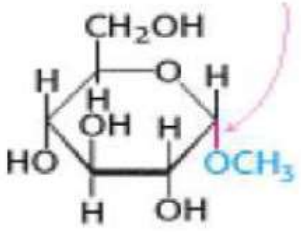
هناك عدد من إسترات حامض الفوسفوريك للسكريات الاحادية وهي نواتج وسطية مهمة اثناء التفـــاعلات الايضية للكاربوهيدرات (والشكل أدناه يوضح كلوكوز يحتوي مجموعة فوسفات في موقع رقم 6).



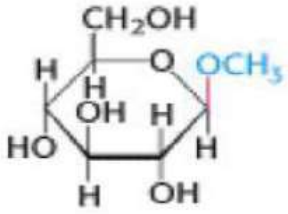
الشكل (18–4): كلوكوز 6– فوسفات Glucose 6-phosphate.

Glycosides formation تكوين الكلايكوسيدات

الكلايكوسيدات هي مركبات ناتجة عن اتحاد السكريات الأحادية مع مجموعة الهيدروكسيل لمركب آخـــر بوجود حامض معدني عاملاً مساعداً. فعلى سبيل المثال، يتفاعل محلول ألفا -D- كلوكوز مع الكحول المثيلي في درجة الغليان وبوجود 0.5٪ كلوريد الهيدروجين عاملاً مساعداً ليكون مزيجاً مـــن ألفـــا – مثيـــل -D- كلوكوسيد وبيتا – مثيل -D- كلوكوسيد، كما هو موضح في **(الشكل 19–4)**.



Methyl α-D-glucopyranoside



Methyl β-D-glucopyranoside

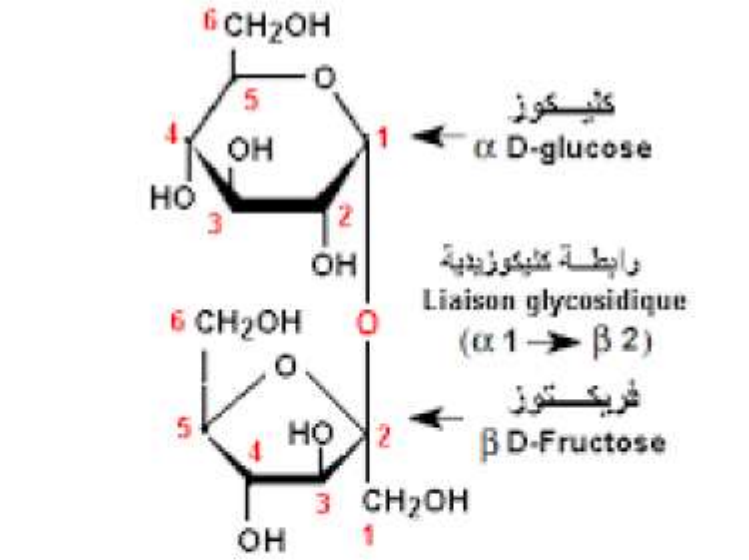
ويتم التفاعل أعلاه بين مجموعة OH المرتبطة بذرة الكاربون رقم 1 (الأنوميرية) في سكر ألفا -D-كلوكوز مع مجموعة OH في الكحول المثيلي. تدخل الكلايكوسيدات في تركيب عدد كبير من العقاقير الطبية على سبيل المثال ڤانيلين – D – كلوكوسيد Vanillin - D - Glucoside ، وهو عقار لعلاج مرض القلب والمركب دايجوكسين Digoxin الذي يعمل على تحفيز عضلة القلب لعملية التقلص والذي يعطى عن طريق الفم.

السكريات قليلة الوحدات Oligosaccharides

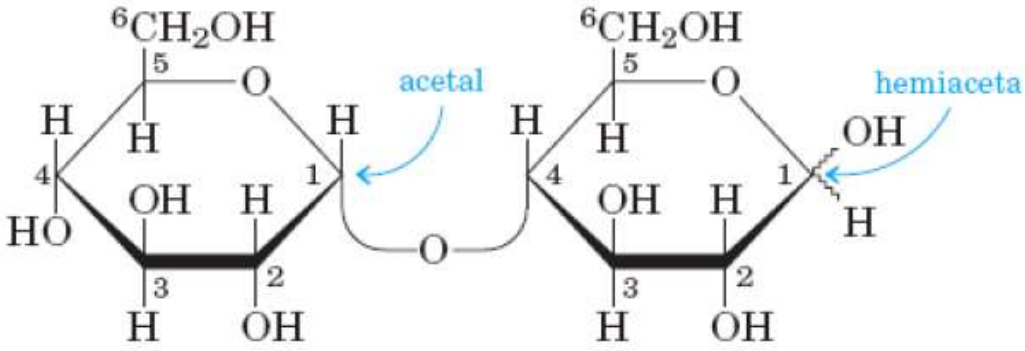
وتشمل المركبات الكاربوهيدراتية او السكريات التي تتكون من وحدتين الى عشرة وحدات من السكريات الأحادية التي ترتبط مع بعضها بوساطة الآصرة الكلايكوسيدية Glycosidic linkage او ما يسمى بآصرة الكيتال أو الأسيتال Ketal or acetal linkage ، وهذه السكريات تتحلل الى وحدات صغيرة من السكريات الأحادية التي تتكون منها ومن هذه السكريات الشائعة الموجودة في الطبيعة ما يأتي:

1- السكريات الثنائية Disaccharides (مكونة من وحدتين من السكريات الأحادية) ومن الأمثلة عليها:

أ- **السكروز Sucrose:** يعد من أهم السكريات الثنائية الموجودة والشائعة في الطبيعة، ويعرف بسكر المائدة او السكر الاعتيادي وهو سكر يتكون من جزئين الكلوكوز والفركتوز **(الشكل 21-4)**. يوجد هذا السكر بشكل طبيعي في ثمار النباتات والمصدر الطبيعي له هو البنجر السكري وكذلك قصب السكر، وهو سكر غير مختزل لارتباط المجاميع المسؤولة عن ذلك وهي مجموعة الألديهايد في الكلوكوز مع مجموعة الكيتون في الفركتوز ويسمى ايضاً بسكر العنب Invert sugar وهو موجود بشكل طبيعي في العسل ويتحلل هذا السكر في الأمعاء بوساطة إنزيم السكريز Sucrase (او يسمى إنزيم الأنفرتيز Invertase) الى مكوناته من الكلوكوز والفركتوز.



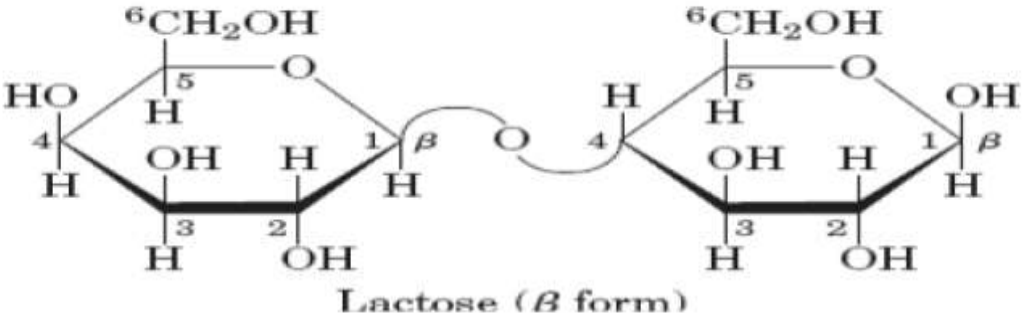
ب- المالتوز Maltose : او سكر الشعير وهو من السكريات الثنائية مكون من وحدتين او جزئين من سكر الكلوكوز(**الشكل 22-4**) وهو من السكريات المختزلة. وينتج عند تحلل النشا بوساطة إنزيم ألفا- أميليز الموجود مثلاً في الشعير المنبت Malt أوفي اللعاب Saliva وعصارة البنكرياس. أن سكر المالتوز هو جزء من النشا في السلاسل المستقيمة له (الأميلوز Amylose) ويرمز للأصرة الكلايكوسيدية بين جزيئتي الكلوكوز في هذه السلاسل بـ 1-4 α أي بين ذرة الكاربون الاولى من جزيئة وذرة الكاربون الرابعة من جزيئة السكر الثاني. اما السكر الموجود عند التفرعات خاصة في جزء الأميلوبكتين Amylopectin من النشا فيسمى سكر الأيزومالتوز Isomaltose وتكون الأصرة الموجودة بين جزيئتي الكلوكوز هي 1-6 α أي بين ذرة الكاربون الأولى من جزيئة الكلوكوز مع ذرة الكاربون المرقم 6 من جزيئة الكلوكوز الثانية.



الشكل (22-4) : المالتوز.

اما عندما تكون الآصرة بين جزيئتي الكلوكوز من نوع 4-1 β فيتكون سكر ثنائي آخر هو سكر السلّوبايوز Cellobiose وهو جزء من تركيب السليلوز Cellulose والذي لا يتحلل بعصارات الجهاز الهضمي للإنسان لافتقارها لإنزيم السليوليز Cellulase.

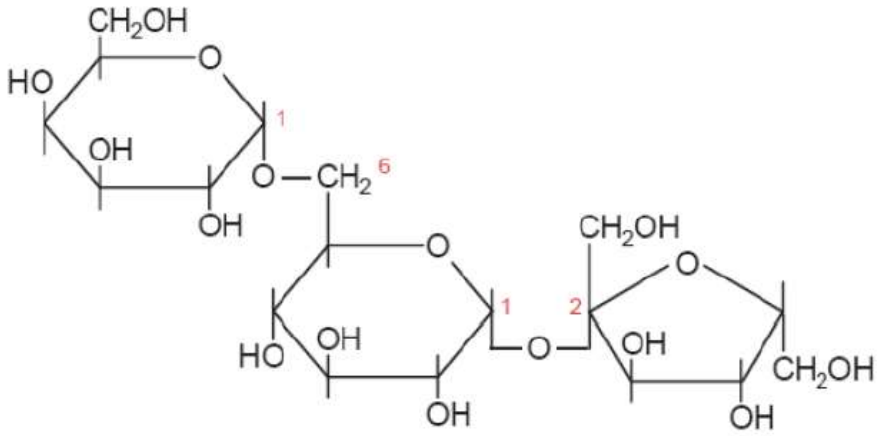
جـ-اللاكتوز Lactose : من السكريات الثنائية الشائعة في الطبيعة ويعرف بسكر الحليب لوجوده في الحليب فقط. ويتكون اللاكتوز من جزيئتين وهي الكلوكوز والكالاكتوز(**الشكل 23-4**) وهو أيضاً من السكريات المختزلة، ودرجة حلاوته قليلة موازنة بباقي السكريات. يمكن تخمره بوساطة الأحياء المجهرية مثل بكتيريا حامض اللاكتيك الى حامض اللاكتيك وذلك عند تحميض الحليب وتحويله الى اللبن. ومن الممكن تواجد اللاكتوز في البول للمرأة خلال الحمل، وان قلة امتصاصه في الأمعاء يمكن ان يسبب حدوث الإسهال.



الشكل (23-4): اللاكتوز.

2- السكريات الثلاثية Trisaccharides (وهي السكريات التي تحتوي على ثلاث وحدات او جزيئات من السكريات الأحادية) ومن الأمثلة لهذه المجموعة هي:

أ- **الرافينوز Raffinose :** يوجد في النباتات كالبنجر السكري وكذلك بذور القطن وفول الصويا. ويتكون من سكر الكلوكوز والفركتوز والكالاكتوز (**الشكل 25-4**).



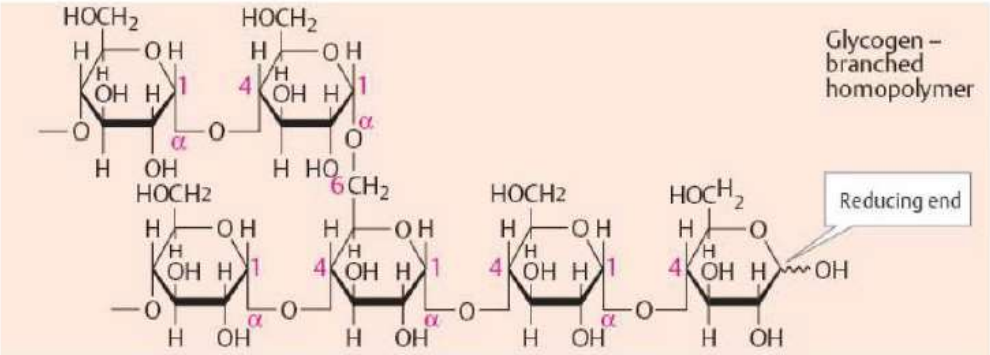
الشكل (25-4): تركيب الرافينوز.

\

السكريات المتعددة Polysaccharides

تعرف الكاربوهيدرات التي تحتوي على اكثر من عشرة وحدات من السكريات الأحادية بالسكريات المتعددة وعادة توجد في الطبيعة على شكل مركبات ذات اوزان جزيئية عالية تختلف في طبيعتها البوليميرية Polymeric ، اذ منها بشكل سلاسل مستقيمة ومنها بشكل متفرعات معقدة وهناك نوعان من السكريات المتعددة وهي:

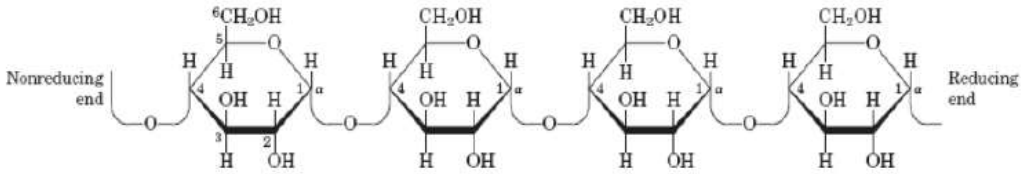
I-السكريات المتعددة المتجانسة Homopolysaccharides التي تنتج نوعاً واحداً من السكريات الاحادية عند تحللها **(الشكل4-27)** وكأمثلة عليها : النشا Starch والكلايكوجين Glycogen والسليلوز Cellulose والكايتين Chitin . وفيما يأتي وصف للأمثلة أعلاه:



الشكل (27-4): السكريات المتعددة المتجانسة مبيناً فيها النهاية المختزلة Reducing end .

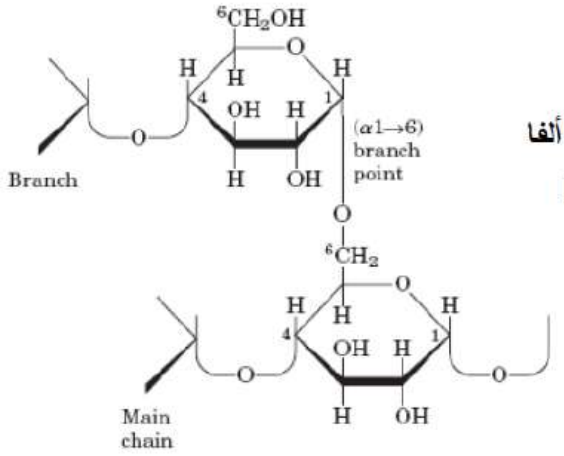
1- **النشا Starch** : يعد من أهم مركبات الكاربوهيدرات الموجودة في الطبيعة وهو مخزون في النباتات إذ يكوّن تقريباً أكثر من 50٪ من مجموع الكاربوهيدرات التي يتناولها الإنسان ويوجد بشكل حبيبات نشوية تختلف بشكلها وحجمها حسب نوع ومصدر النشا. يتكون النشا من مكونين أساسين هما الأميلوز Amylose وبنسبة 10-30٪ والأميلوبكتين Amylopectin وبنسبة 70-90٪ ، ويكون كلا المكونين من وحدات بنائية من الكلوكوز لكن يختلفان في التركيب.

أ - **الأميلوز:** يتكون الأميلوز **(الشكل 28-4)** من سلاسل مستقيمة من وحدات الكلوكوز المرتبط بعضها مع بعض بأواصر كلايكوسيدية من نوع ألفا 1-4 ، وتتراوح عدد وحدات الكلوكوز بين 100-200 وحدة بنائية.



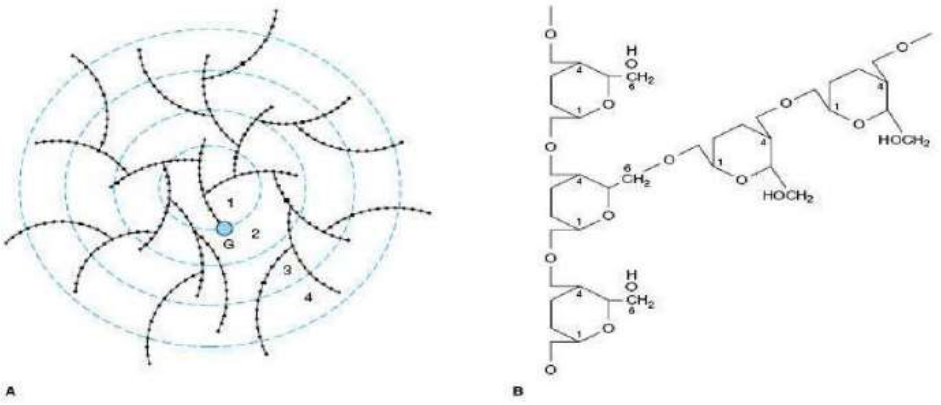
الشكل (28-4): الأميلوز والنهاية المختزلة وغير المختزلة Reducing and Nonreducing end.

ب- **الأميلوبكتين** : يتكون من سلاسل متفرعة من وحدات الكلوكوز مرتبطة بعضها مع بعض بأواصر من نوع α 1-4 لتكون السلاسل المستقيمة منه ثم ارتباط هذه السلاسل بآصرة أخرى من نوع ألفا 1-6 **(الشكل 29-4)** بحيث يتكون التفرع مابين 24-30 وحدة كلوكوز ويتكون التفرع ايضاً لكل 24 وحدة كلوكوز تقريباً على السلسلة الرئيسة للاميلوبكتين. إن الوزن الجزيئي للأميلوز قد لا يتجاوز 400000 دالتون على حين يكون الوزن الجزيئي للاميلوبكتين على أقل تقدير المليون دالتون. يتحلل النشا بفعل الإنزيمات المحللة Hydrolytic enzymes فإنزيم ألفا أميليز α – amylase الموجود في اللعاب والبنكرياس يحلل النشا عشوائياً الى سكر المالتوز ووحدات من الكلوكوز. أما إنزيم البيتا أميليز β-amylase فهو يحلل النشا من النهاية غير المختزلة من سلاسل النشا ويحلل بشكل منظم بحيث يكون الناتج سكر المالتوز فقط.



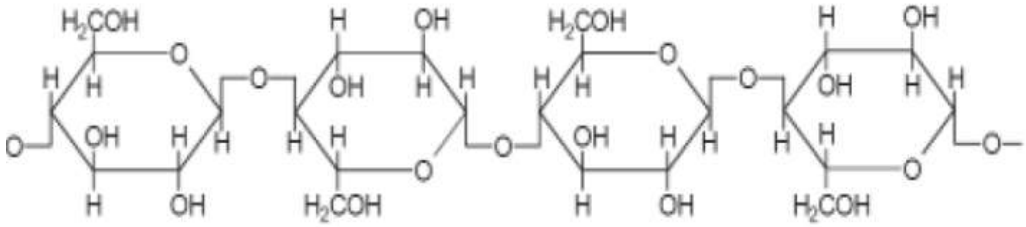
لشكل (29-4): ارتباط السلسلة بآصرة من نوع ألفا 1-6 بين السلسلة الرئيسة Main chain والمتفرعةBranch في الأميلوبكتين Amylopectin.

2- **كلايكوجين Glycogen** : يسمى الكلايكوجين بالنشا الحيواني وهو الخزين الكاربوهيدراتي في الكبد والعضلات للإنسان والحيوان. ويتكون من وحدات من الكلوكوز وهو شبيه بالأميلوبكتين في النشا الاعتيادي أي انه يتكون من سلاسل متفرعة لكنه يختلف عن الأميلوبكتين بأنه أكثر تعقيداً او تفرعاً منه إذ يوجد تفرع في السلاسل لكل 8-10 وحدات كلوكوز(**الشكل 30-4**). ويختلف باختلاف الحيوان والنسيج وكذلك الحالة الفسيولوجية للحيوان. ويكون الوزن الجزيئي للكلايكوجين المستخلص من كبد الجرذان تقريباً $5 \text{ X } 10^8$ دالتون على حين يبلغ الوزن الجزيئي للكلايكوجين المستخلص من عضلات الجرذان تقريباً $5 \text{ X } 10^6$ دالتون .



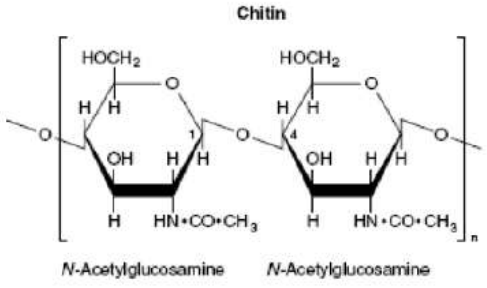
الشكل(31-4): جزيئة الكلايكوجين، اذ (A) التركيب بشكل عام، و(B) الارتباط بين وحدات الكلايكوجين.

3- **السليلوز Cellulose** : يعد هذا السكر من الكاربوهيدرات التركيبية المكونة للهيكل البنائي إذ يكوّن جدار الخلايا فضلاً عن اماكن اخرى من النباتات ويكون عادة مصاحباً للهيميسليلوز والبكتين واللكنين لكنه يوجد بصورة نقية تقريباً في ألياف القطن. يتكون السليلوز من سلاسل مستقيمة من وحدات الكلوكوز شبيه بالنشا لكن الاختلاف في الآصرة حيث ترتبط وحدات الكلوكوز في السليلوز بآصرة من نوع بيتا **1→ 4 (الشكل 32-4)**. إن السليلوز لا يتحلل بفعل الإنزيمات التي يفرزها الجهاز الهضمي في الانسان. لكن يمكن تحليله بوساطة الإنزيمات التي تفرزها البكتريا التي تعيش في الجهاز الهضمي للمجترات وهو احد مكونات الألياف Fiber في غذاء الإنسان.



الشكل(32-4): السليلوز.

4- **الكايتين Chitin** : الكايتين يعد أيضاً سكراً معقداً موجوداً في الغلاف الخارجي للحشرات والقشريات وهو شبيه بالسليلوز في النباتات. يتكون من سلسلة متكررة لسكر مشتق من الكلوكوز هو N- أسيتيل- D - كلوكوز أمين N-acetyl-D-glucosamine (**الشكل 33-4**).



الشكل (33-4): الكايتين.

II- السكريات المتعددة غير المتجانسة Heteropolysaccharides : وهي السكريات التي تنتج عند تحللها أكثر من نوع واحد من السكريات الأحادية ومن هذه السكريات غير المتجانسة السكريات المخاطية Mucopolysaccharides (مثل حامض الهيالورونيك Hyaluronic acid والكوندرويتين Chonodroitin والهيبارين Heparin) فضلاً عن البكتين والمواد البكتينية