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،

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.

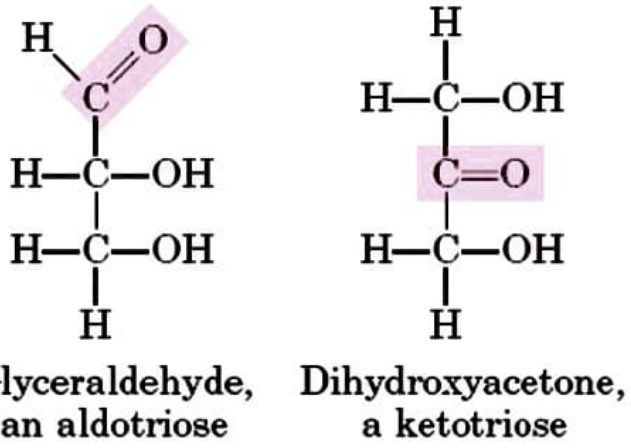
3- النشا والسكريات الأحادية يكسبان الغذاء نكهة وطعماً.

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.

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 كلسيرأليهايد 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 متناظرِ 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:

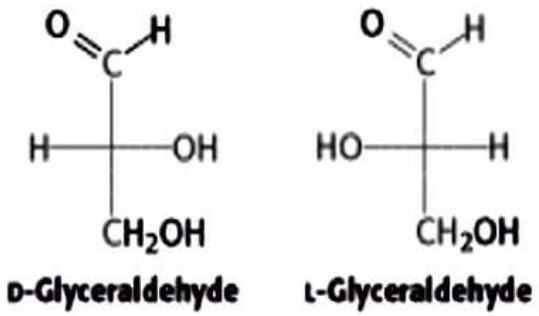
$$\text{عدد الأيزومرات المجسامية} = 2^n$$

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 السكر16 شكلاً من الأيزومرات المجسامية، ثمانية منها توجد بشكل L، وثمانية أخرى بشكل D.

تستخدم الحروف D وL 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.

التناظر المجسامي للسكريات الأحادية Stereoisomerism of monosaccharides

أن أبسط السكريات الاحادية الألدوزية كما ذكر سابقاً هو الكلسيرألديهايد الحاوي على ذرة كاربون واحدة غير متناظرة. وعليه فإن هذا المركب يوجد بشكلين ايزومرين مجسامين هما D- كلسيرأليهايد و L- كلسيرألديهايد كما هو موضح في **الشكل(2-4)**.



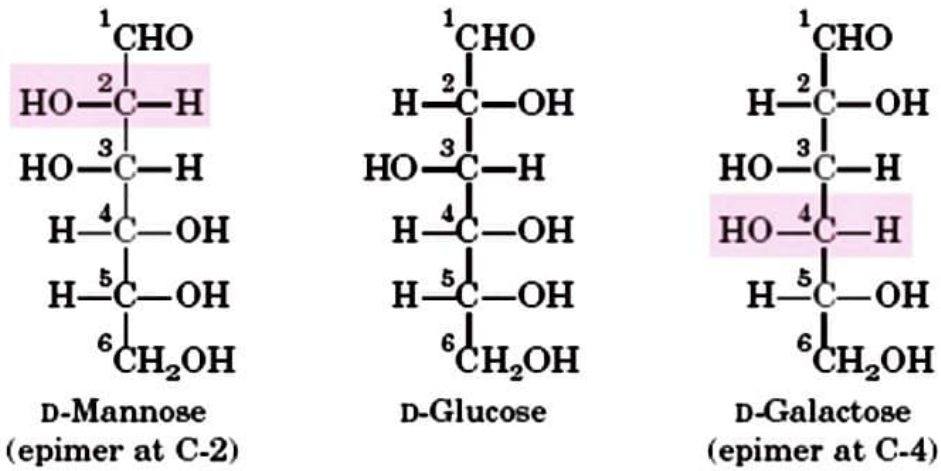
الشكل (2-4): الصيغة الفراغية للكلسيرألديهايد Glyceraldehyde (D, L).

ان كلاً من المركبين اعلاه هو صورة مرآة للآخر، وان الحرف D يدل على ان مجموعة الهيدروكسيل OH المتصلة بذرة الكاربون غير المتناظرة تقع على يمين المركب، بينما يدل الحرف L على ان مجموعة OH تقع على يسار المركب.

ان عملية بناء سكر جديد تبدأ بإضافة مجموعة CHOH جديدة في الموقع رقم 2 (**الشكل 3-4**). فعند إدخال المجموعة الجديدة يكون لمجموعة OH اتجاهان اما الى جهة اليمين او الى جهة اليسار بينما تبقى مجاميع CHOH ثابتة الاتجاه في موقع رقم 2. وعلى أية حال فعند كل إضافة من CHOH في الموقع 2 ينجم عنهما مركبان جديدان من السكريات وعلى العموم فإن صورة السكر فيما اذا كانت D او L يقرره موقع OH- على أبعد ذرة كاربون غير متناظره من ذرة الكاربون لمجموعة الكاربونيل وعلى هذا الغرار يكون ذلك الكاربون رقم 5 في الهيكسوز والكاربون رقم 4 في البنتوز والكاربون رقم 3 في التتروز.

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:



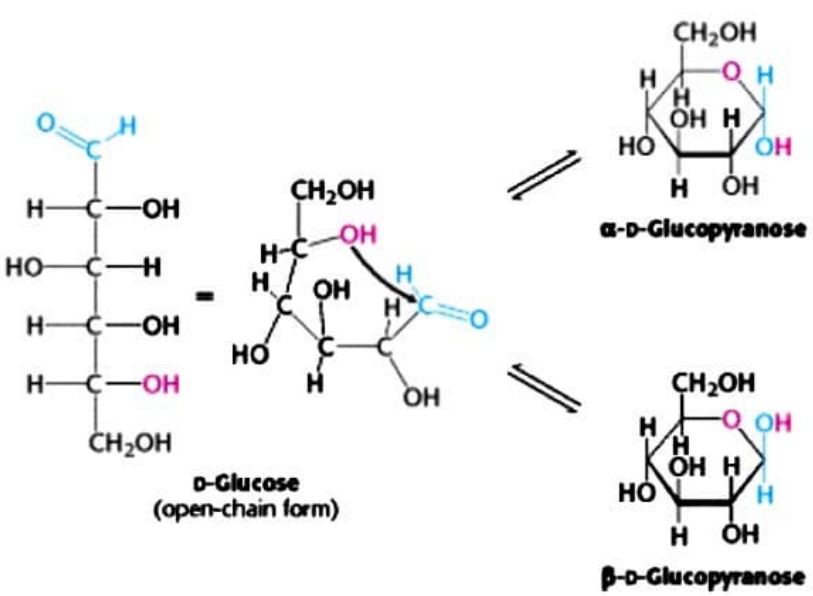
الشكل (5-4): متماثلات الإبيمر Epimer بوضعية فيشر(السلسلة المفتوحة).

إن عملية تغير مواقع مجموعة الهيدوكسيل والهيدروجين حول ذرة كاربون واحدة فقط في جزيئة الكلوكوز والتي اعطت مركبات تختلف في الهيئة نتيجة اختلاف في مواقع مجموعة الهيدروكسيل والهيدروجين لذرات الكاربون رقم 2 و 4 في الكلوكوز تدعى عملية Epimerization. فحين مقارنة الكلوكوز مع الكالكتوز يلاحظ هناك اختلاف في موقع مجموعة الهيدوكسيل في الموقع رقم 4 فيطلق عليهما C-4 إبيمر وبين المانوز والكلوكوز يكونان C-2 إبيمر .

التراكيب الحلقية للسكريات

أن تركيب الألدوز والكيتوز بشكل سلسلة مفتوحة والتي يطلق عليها صيغة فيشر Fischer تكون ملائمة بالنسبة لمركبات الترايوز والتيتروز، أما السكريات التي تحتوي خمس ذرات كاربون او ست ذرات فإنها موجودة بشكل تراكيب حلقية تكون فيها مجموعة الكاربونيل مقنعة (كامنة) ولا تظهر صفاتها الكيميائية الاعتيادية ومما يدل على هذا كون الكلوكوز مثلاً، ثابتاً نسبياً مع الكواشف التي تتفاعل عادة بسرعة مع مجموعات الألديهايد، وانه خامل تماماً عند تعرضه للهواء او الأوكسجين، بينما تميل الألديهايدات للتأكسد بسرعة تحت الظروف نفسها. والميزة الأخرى التي توجب وجود السكر مثل الكلوكوز بتركيب حلقي هي

حقيقة وجوده بشكلين بلوريين. فاذا تم تبلور الكلوكوز في الماء فالنتيجة هي تكوين شكل يسمى ألفا (α) -D- كلوكوز والتي تكون درجة التدوير البصري النوعي له هي $[\alpha]^{20}_D$ = 112.2 . أما اذا تبلور الكلوكوز من المذيب بيريدين فالنتيجة هي الحصول على بيتا (β) -D- كلوكوز ذي دوران نوعي $[\alpha]^{20}_D$ = 18.7 علاوة على هذا فان هذين الشكلين لايختلفان في التركيب الكيميائي. وعند إذابة α-D- كلوكوز في الماء فان التدوير البصري النوعي له يتغير تدريجياً مع الوقت حتى يصل الى قيمة ثابتة هي 52.7° وعندما يذاب β-D- كلوكوز في الماء فان التدوير البصري النوعي له يصل الى القيمة نفسها 52.7° أيضاً. ويسمى هذا التغيير بتحول الدوران Mutarotation وهو نتيجة تكوين خليط متوازن يتكون ثلثه من α-D- كلوكوز وثلثيه من β-D- كلوكوز. واستنتج الباحثون ان هذين الشكلين المتناظرين α و β عبارة عن تراكيب حلقية ذات ست ذرات تكونت نتيجة تفاعل بين مجموعة الكاربونيل ومجموعة الهيدروكسيل المتصلة بذرة الكاربون 5 حيث يتكون مشتق يسمى هيمي أسيتال Hemiacetal يحتوي على ذرة كاربون غير متماثلة أخرى جديدة. وبهذا يستطيع الكلوكوز تكوين التركيبين الحلقين المختلفين ألفا وبيتا ويطلق على كل واحدٍ منهما بالأنومير Anomer **(الشكل 6-4)**. فالأيزومرات المجسامية Stereoisomers التي تختلف عن بعضها بذرة الكاربون في مجموعة الكاربونيل بعد تكوينها الشكل الحلقي تسمى بالأنومرات Anomers والصيغة الحلقية يطلق عليها صيغة هاورث Haworth استناداً الى الباحث الذي اكتشفها.

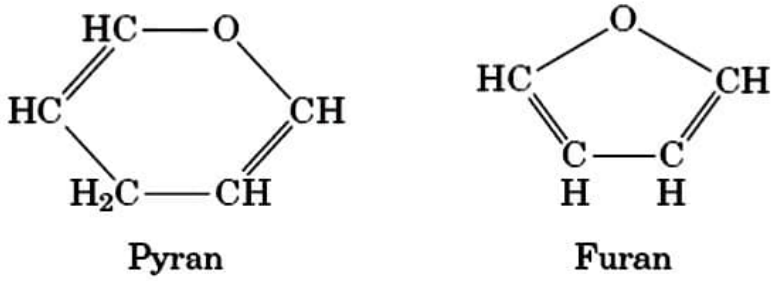


الشكل (6-4): صيغة فيشر (السلسلة المفتوحة Open- chain form) وكيفية تكوين α و β – D – كلوكوز (صيغة هوارث وتكوين الأنومير الفا وبيتا).

فضلاً عن ذلك ولاثبات التركيب الحلقي للسكريات يمكن اجراء عملية الميثلة Methylation للكلوكوز، اذ بتفاعله مع الكحول المثيلي بوجود غاز HCl يتكون خليط من متناظرين يسميان على التوالي Methyl β-D-glucoside و Methyl α -D-glucoside ويتطلب التفاعل وجود ذرة كربون رقم (1)

غير متناسقة (هيمي اسيتال Hemiacetal) داخل الجزيئة أي بين مجموعة كربونيل الألديهايد وإحدى مجاميع الهيدروكسيل. والكلوكوز الحلقي لا يكوّن مركبات شيف Schiff نظراً لغياب مجموعة الألديهايد.

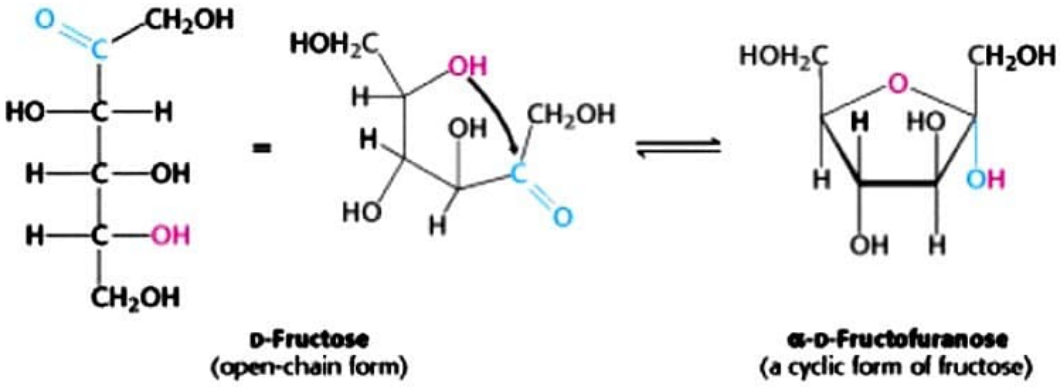
أطلق الباحث هاورث Haworth أسم بايرانوز Pyranose على الأشكال السداسية الحلقة للسكريات وهي مشتقة من الحلقة الكاربونية الخماسية البايرين Pyran مضافاً أليها ذرة أوكسجين، وبنفس الطريقة أطلق على السكريات الخماسية الحلقة أسم فيورانوز Furanose والمشتقة من الفيوران Furan **(الشكل 7-4)**.



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

وتمثل الحلقات أعلاه والتي اقترحها العالم هاورث الوضع النسبي الحقيقي للذرات اكثر من تلك التي وضعها العالم فيشر Fischer .

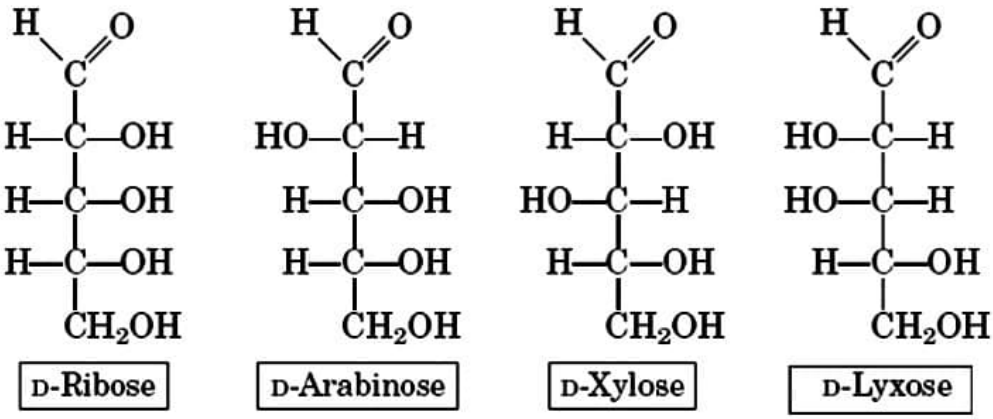
ومن الممكن تواجد الألدوهيكسوز بشكل حلقات خماسية وهي عبارة عن مشتقات الفيوران ولذلك تسمى فيورانوز Furanose غير ان حلقة الألدوبايرانوز السداسية اكثر ثباتاً من حلقة الألدوفيورانوز ولهذا فهي أكثر وجوداً في محاليل الألدوهيكسوز، وتوجد سكريات الكيتوهيكسوز Ketohexose بشكلين أيضاً هما ألفا وبيتا، وفي هذه السكريات تكون مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة الكاربون رقم 5 متفاعلة مع مجموعة الكاربونيل الموجودة عند ذرة الكاربون رقم 2 مكونة فيورانوز بشكل ألفا اذا كانت مجموعة OH في الجهة السفلى لمستوى الحلقة وآخر بشكل بيتا اذا كانت مجموعة OH في الجهة العليا لمستوى الحلقة كما موضح في α -D- فركتوفيورانوز α -D-Fructofuronose و β-D- فركتوفيورانوز β-D-Fructofuranose **(الشكل 8-4)**.



الشكل (8-4): تكون المركب الحلقي لسكر الفركتوز من السلسلة المفتوحة.

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.

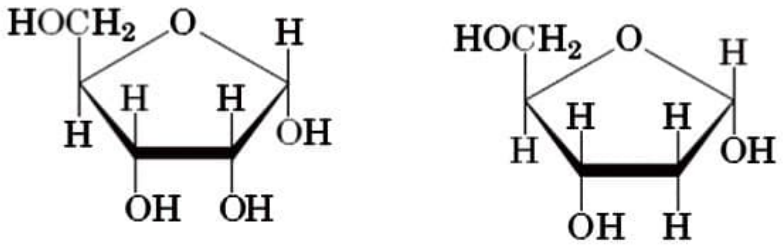


الشكل (9-4): السكريات الخماسية الكاربون (الليكسزوز Lyxose والزايلوز Xylose والأرابينوز Arabinose والرايبوز Ribose)

1- **الزايلوز D-Xylose** : ويسمى سكر الخشب وهو احد السكريات الخماسية المكونة لمعقد الزيلان Xylan والجزء الداعم في أنسجة النباتات بصورة عامة ومكون للهيميسليلوز Hemicellulose وهو سكر غير قابل للتأكسد على حين تستطيع الحيوانات المجترة الاستفادة منه بوساطة تحلله بالبكتيريا التي تعيش في الجهاز الهضمي لها.

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

3- **الرايبوز D-Ribose:** وهو احد السكريات الخماسية المهمة حيوياً الموجودة في الطبيعة ويدخل في 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 سكر ديوكسي رايبوز Deoxyribose (منقوص الأوكسجين) (**الشكل 14-4**) الذي يدخل في تركيب الأحماض النووية من نوع حامض نووي ديوكسي رايبوز Deoxyribonucleic acid (DNA) والتي تحمل الصفات الوراثية ، ويدخل الرايبوز ايضاً في تركيب مركبات مهمة ومختلفة مثل النيوكليوتيدات التي تكوّن الكثير من التراكيب المهمة مثل Adenosine triphosphate (ATP) ومرافقات الإنزيمات 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