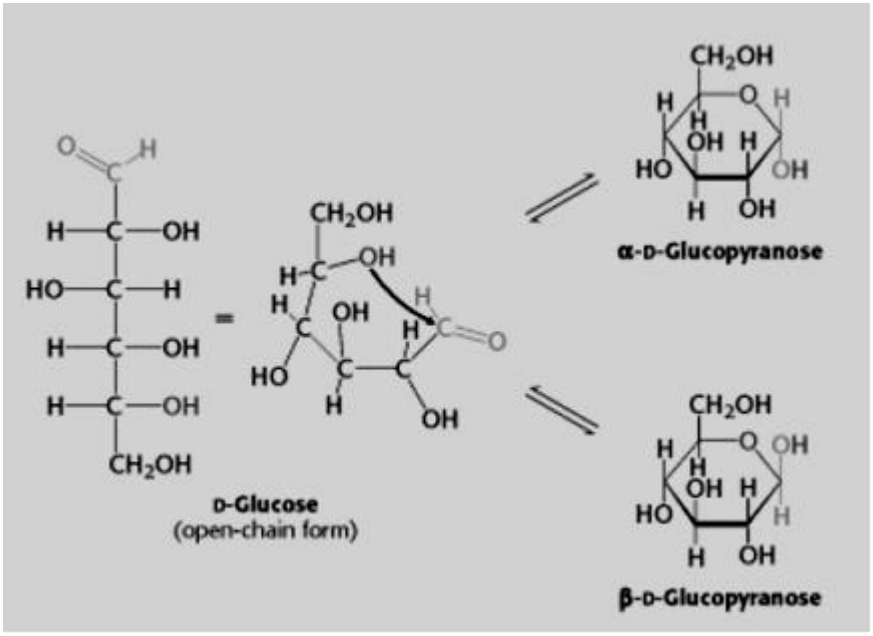
التراكيب الحلقية للسكريات

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 ( ) -D- كلوكوز والتي تكون درجة التدوير البصري النوعي له هي ١١٢.٢٠ = [D] . أما اذا تبلور الكلوكوز من المذيب بيريدين فالنتيجة هي الحصول على بيتا (D- (β- كلوكوز ذي دوران نوعي ٢٠ D = 18.7] [علاوة على هذا فان هذين الشكلين لايختلفان في التركيب الكيميائي. وعند إذابة -D- كلوكوز في الماء فان التدوير البصري النوعي له يتغير تدريجياً مع الوقت حتى يصل الى قيمة ثابتة هي ٥٢.٧° وعندما يذاب -D-β كلوكوز في الماء فان التدوير البصري النوعي له يصل الى القيمة نفسها ٥٢.٧° أيضاً. ويسمى هذا التغيير بتحول الدوران Mutarotation وهو نتيجة تكوين خليط متوازن يتكون ثلثه من -D- كلوكوز وثلثيه من -D-β كلوكوز. واستنتج الباحثون ان هذين الشكلين المتناظرين و β عبارة عن تراكيب حلقية ذات ست ذرات تكونت نتيجة تفاعل بين مجموعة الكاربونيل ومجموعة الهيدروكسيل المتصلة بذرة الكاربون ٥ 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 ٦-٤). فالأيزومرات المجسامية Stereoisomers التي تختلف عن بعضها بذرة الكاربون في مجموعة الكاربونيل بعد تكوينها الشكل الحلقي تسمى بالأنومراتAnomers والصيغة الحلقية يطلق عليها صيغة هاورث Haworth استناداً الى الباحث الذي اكتشفها.



الشكل (٦-٤): صيغة فيشر (السلسلة المفتوحة Open- chain form) وكيفية تكوين α و D - β – 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--D Methyl glucoside ويتطلب التفاعل وجود ذرة كربون رقم (١) 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.

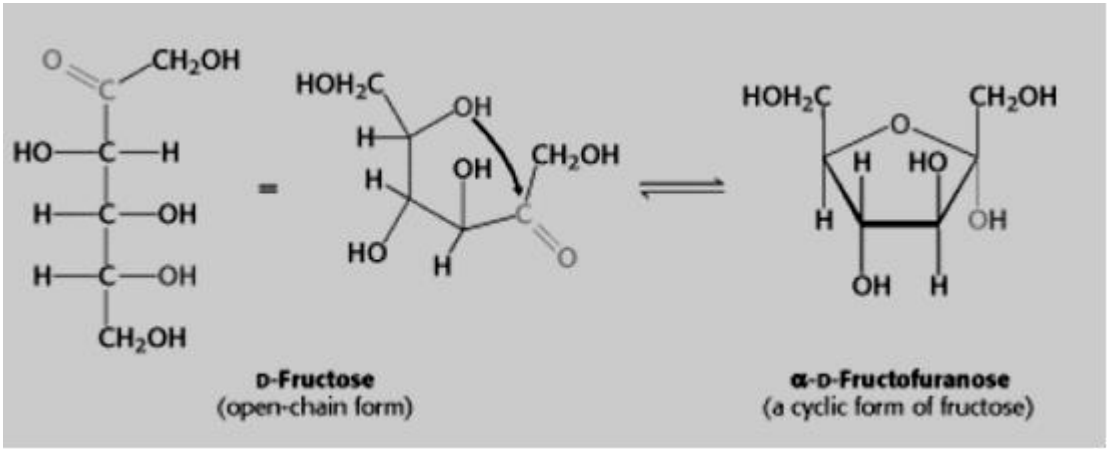
أطلق الباحث هاورث Haworth أسم بايرانوز Pyranose على الأشكال السداسية الحلقة للسكريات وهي مشتقة من الحلقة الكاربونية الخماسية البايرين Pyran مضافاً أليها ذرة أوكسجين، وبنفس الطريقة أطلق على السكريات الخماسية الحلقة أسم فيورانوز Furanose والمشتقة من الفيوران Furan (الشكل ٧-٤).

الشكل (٧-٤): 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 ٥ متفاعلة مع مجموعة الكاربونيل الموجودة عند ذرة الكاربون رقم ٢ 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 -D- فركتوفيورانوز D-Fructofuronose- و –D-β فركتوفيورانوز β-D-Fructofuranose (الشكل ٨-٤).

الشكل (٨-٤): تكون المركب الحلقي لسكر الفركتوز من السلسلة المفتوحة.



السكريات الخماسية الكاربون Pentoses

أن الصيغة الوضعية للسكريات خماسية الكاربون هي C5H10O5 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 (٩-٤): السكريات الخماسية الكاربون (الليكسزوز Lyxose والزايلوز Xylose والأرابينوزArabinose والرايبوز Ribose)

١- 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.

٢- 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.

٣- 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 ٢ ينتج سكر ديوكسي رايبوز Deoxyribose (منقوص الأوكسجين) (الشكل ١٤-٤) 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).

الشكل (١٠-٤): سكر ٢-الديوكسي رايبوز٢-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 C6H12O6 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 (٦-٤)) 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

هذه السكريات تشابه السكريات الأحادية مع وجود اختلاف بسيط اعتماداً على نوع التفاعلات التي أجريت على السكريات الأحادية التي قد تكون أكسدة او اختزال او إضافة او حذف(الشكل ١٥-٤):

الشكل (١١-٤): تفاعلات السكريات الأحادية لتكوين مشتقات السكريات.

فمثلاً تؤدي أكسدة السكريات البسيطة الى تكوين ثلاثة أنواع من الأحماض الكاربوكسيلية او اختزال الألدوزات Aldoses والكيتوزات Ketoses يؤدي إلى أنتاج كحولات متعددة Polyhydric alcohols مثل السوربيتول Sorbitol التي تسمى أيضاً بالكحولات السكرية Sugar alcohols فضلاً عن العديد من التفاعلات والتي يدرج بعض منها:

١- تكوين أواصر الهيمي أسيتال والأسيتال Hemiacetal and acetal bonds

ذكر سابقاً بأنه يطلق على الأيزومرات Isomers التي تختلف في ترتيبها حول ذرة الكاربون الأولى فقط (وهي ذرة الكاربون التي تحمل مجموعة الكاربونيل) كما هو الحال في الألفا والبيتا - كلوكوز بالأنوميرات anomers فينتج الأسيتال عند تفاعل الألديهايد مع مكافئين من الكحول، أما إذا كانت كمية الكحول محدودة فينتج التفاعل هيمي أسيتال كما في المعادلة أدناه:

وعند التدقيق في تركيب الهيمي أسيتال المتكون يتبين بأنه يشابه تركيب ذرة الكاربون الأنوميرية (الأولى) في الكلوكوبايرانوز. إذ أن ذرة الكاربون هذه تحمل ذرة هيدروجين أيضاً ومجموعة هيدروكسيل أما المجموعة R في الهيمي أسيتال فيقابلها الجسر الأوكسجيني بين ذرة الكاربون الأولى وذرة الكاربون الخامسة.

وتكون ذرة الكاربون الأنوميرية في الفركتوفيورانوز هي ذرة الكاربون الثانية. وهذا يشابه تركيب الهيمي كيتال Hemiketal الذي ينتج عن تفاعل الكيتون مع الكحول كما في المعادلة أدناه :

٢- الحوامض السكرية

ان أهم الحوامض السكرية الناتجة من الأكسدة الأولية للألدوز ذات أهمية بايولوجية هي:

أ- حامض الكلوكونك acid D-gluconic: وهو الحامض الناتج عن أكسدة ذرة الكاربون الألديهايدية الى مجموعة كاربوكسيل، وهو ناتج وسطي أثناء التفاعلات الحيوية لسكر الكلوكوز في بعض الكائنات (الشكل ١٢-٤).

الشكل (١٢-٤): أكسدة الكلوكوز الى حامض الكلوكونيك.

ب- حامض الكلوكورونيك D-glucuronic acid : وينتج هذا الحامض عن أكسدة مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة كاربون رقم ٦ في سكر –D كلوكوز. ويوجد في بول الانسان مرتبطاً بأواصر كلايكوسيدية بالفينولات والستيرويدات.

جـ- حامض الاسكوربك Ascorbic acid : ويدعى فيتامين C وهو مركب غير ثابت ويعاني أكسدة ليتحول الى حامض ديهيدرواسكوربك كما في المعادلة أدناه، ويوجد فيتامين C بكميات كبيرة في الحمضيات.

الشكل (١٣-٤): تحول حامض الاسكوربيت Ascorbat الى حامض ديهيدرواسكوربيت Dehydroascorbate مروراً بالحالة الوسطية جذر أحادي ديهيدرواسكوبيت Monodehydroascorbate radical.

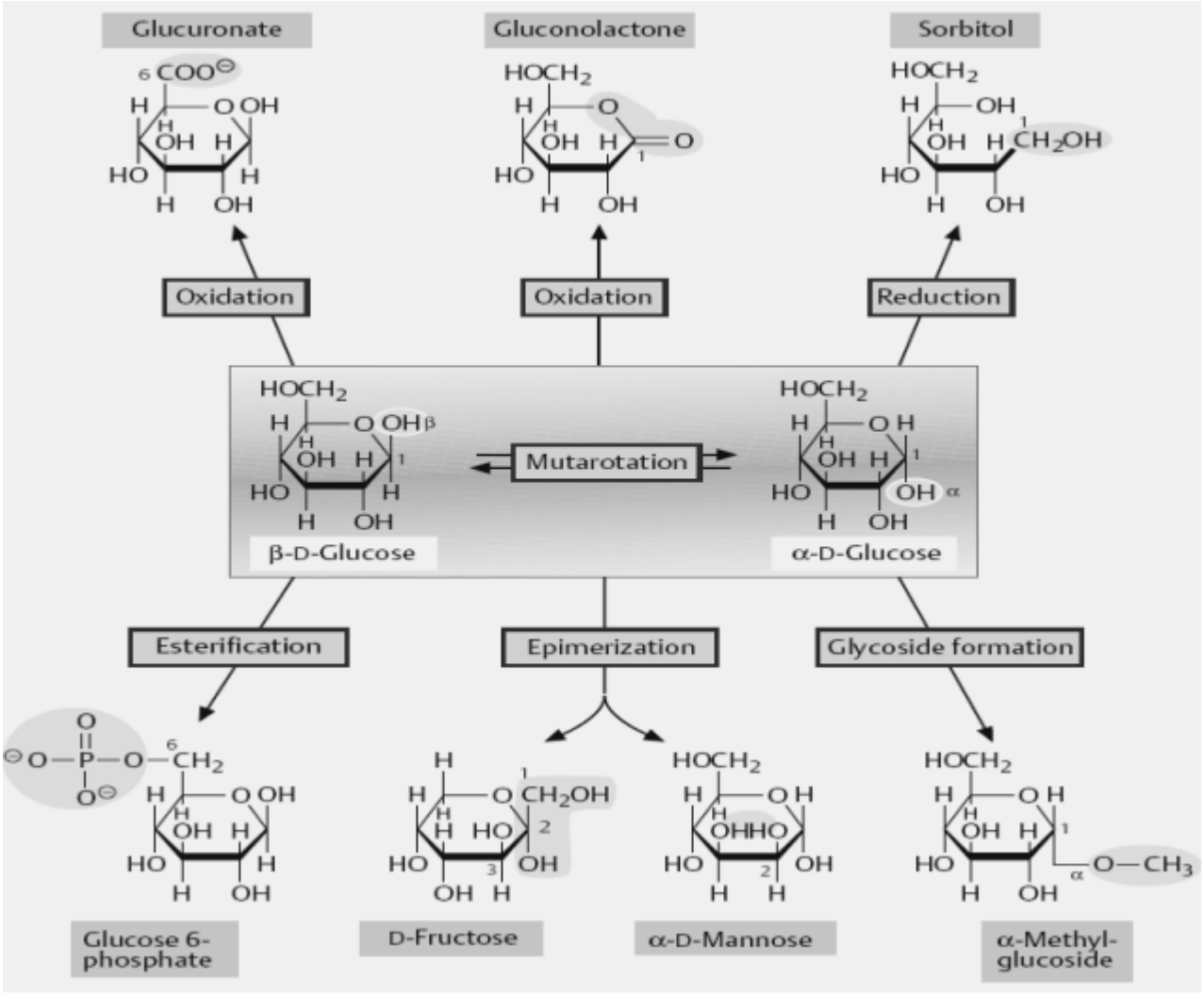
٣- الكحولات السكرية (بوليولات) Sugar alcohols or polyols

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 ١٤-٤).

الشكل (١٤-٤): D- مانيتول Mannitol وD- سوربيتول Sorbitol.

ومن الكحولات السكرية الاخرى الكلسيرول Glycerol الذي يعد احد المكونات الرئيسة للدهون ويتكون الكلسيرول من ثلاث ذرات كاربون وله طعم شديد الحلاوة. والكحول السكري الأخر هو الاينوسيتول Inositol وله عدة أيزومرات أهمها المايو- اينوسيتول Myo-inositol الذي يعد أحد مكونات حامض الفايتيك Phytic acid والفوسفاتيديل اينوسيتول Phosphatidyl inositol.

٤- السكريات الأمينية Amino sugars تتكون السكريات الأمينية باستبدال مجموعة الهيدروكسيل الواقعة على ذرة الكاربون الثانية في الالدوهكيسوزات Aldohexoses بمجموعة أمينية –NH2، ومن السكريات الأمينية المهمة هو الكلوكوز أمين Glucosamine والكالاكتوز أمين Galactosamine. ويوجد هذان السكران الأمينيان في الطبيعة مرتبطين بمجموعة أسيتايل Acetyl دائماً (الشكل ١٥-٤).



الشكل (١٥-٤): N- أسيتايل-D- كلاكتوزأمين N-Acetyl-D-galactosamine وN - أسيتايل-D- كلوكوزأمين N-Acetyl-D-glucosamine.

ينتج الكلوكوز أمين عند تحلل الكايتين Chitin وهو من السكريات المتعددة الرئيسية التي توجد في القشرة الصلبة المغطية لأجسام الحشرات ويوجد الكالاكتوزأمين في السكريات المتعددة Chondroitin sulfate ومن الجدير بالذكر، أن عدداً من المضادات الحيوية Antibiotics مثل الإريثرومايسين Erythromycin وكاربومايسين Carbomycin يدخل في تركيبها السكريات الأمينية اذ يعتقد ان فعالية هذه المضادات الحيوية تعزى الى وجود السكر الأميني فيها.

٥- 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 (6-deoxy-) L-Rhamnose) (L-Mannose وفيوكوز (6-deoxy-L-Galactose L-Fucose) من السكريات الديوكسي الذي يتواجد في المكونات الرئيسة للجدران الخلوية لبعض أنواع البكتريا (الشكل ١٦-٤).

الشكل (١٦-٤): سكر الرامنوز Rhamnose والفيوكوز Fucose.

٦- حامض الميورامیك والنيورأمينيك ومشتقاتهما Muramic and Neuraminic acid

هذه الأحماض عبارة عن مركبات مشتقة للسكريات وتعد من الوحدات البنائية المهمة في السكريات المتعددة ذات الوظائف البنائية Structural polysaccharides التي توجد في الجدران الخلوية للبكتريا. يتكون كل حامض من تسع ذرات كاربون، وبالإمكان تصور هذه الاحماض بصورة مجزئة على أنها تحتوي على سكر أميني يتكون من ست ذرات كاربون ويرتبط به سكر حامضي يتكون من ثلاث ذرات كاربون. تكون المجموعة الأمينية في السكر الأميني حاوية على مجموعة الأستيل لينتج عن ذلك حامض N-أسيتايل نيورامنيك N-Acetylneuraminic acid و N-أسيتايل ميورامیك N-Acetylmurmic acid ، ويعد N-أسيتايل ميورامیك N-Acetylmuramic (الشكل ١٧-٤) الوحدة البنائية الرئيسة للسكريات المتعددة الموجودة في الجدار الخلوي للبكتريا ويتكون من السكر الأميني المسمى –D كلوكوز أمين مرتبطاً مع حامض اللاكتيك بوساطة آصرة إيثر Ether linkage . أما المركب حامض N-أسيتايل نيورامنيك N-Acetylneuraminic acid فأنه يشتق من السكر الأميني المسمى –D مانوزأمين وحامض البايروفيك، ويعتبر من الوحدات البنائية المهمة لسلاسل السكريات المتعددة الموجودة في السكريات البروتينية Glycoproteins والسكريات الدهنية Glycolipid في الأنسجة الحيوانية ويطلق عادة على مشتقات N-أسيل (N-acyl) لحامض النيورامنيك اسم حامض السياليك Sialic acid .

الشكل (١٧-٤): N- أسيتل الميورامیك N-Acetylmuramic acid وحامض الميورامیك Muramic acid .

٧- إسترات حامض الفوسفوريك Phosphoric acid esters

هناك عدد من إسترات حامض الفوسفوريك للسكريات الاحادية وهي نواتج وسطية مهمة اثناء التفاعلات الايضية للكاربوهيدرات (والشكل أدناه يوضح كلوكوز يحتوي مجموعة فوسفات في موقع رقم ٦).

الشكل (١٨-٤): كلوكوز ٦- فوسفات Glucose 6-phosphate.

٨- تكوين الكلايكوسيدات Glycosides formation

الكلايكوسيدات هي مركبات ناتجة عن اتحاد السكريات الأحادية مع مجموعة الهيدروكسيل لمركب آخر بوجود حامض معدني عاملاً مساعداً. فعلى سبيل المثال، يتفاعل محلول ألفا -D- كلوكوز مع الكحول المثيلي في درجة الغليان وبوجود ٠.٥٪ كلوريد الهيدروجين عاملاً مساعداً ليكون مزيجاً من ألفا – مثيل -D- كلوكوسيد وبيتا – مثيل -D- كلوكوسيد، كما هو موضح في (الشكل ١٩-٤).

الشكل (١٩-٤): تكوين الأواصر الكلايكوسيدية.

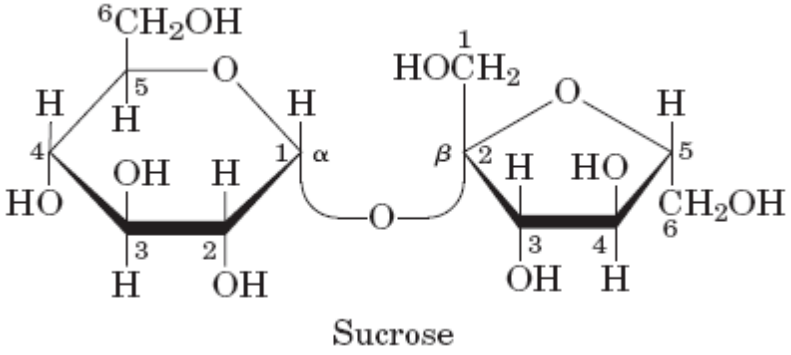
ويتم التفاعل أعلاه بين مجموعة OH المرتبطة بذرة الكاربون رقم ١ (الأنوميرية) في سكر ألفا -D- كلوكوز مع مجموعة OH في الكحول المثيلي. تدخل الكلايكوسيدات في تركيب عدد كبير من العقاقير الطبية على سبيل المثال ڤانيلين - D - كلوكوسيد Vanillin - D - Glucoside ، وهو عقار لعلاج مرض القلب والمركب دايجوكسين Digoxin الذي يعمل على تحفيز عضلة القلب لعملية التقلص والذي يعطى عن طريق الفم(الشكل ٢٠-٤).

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:

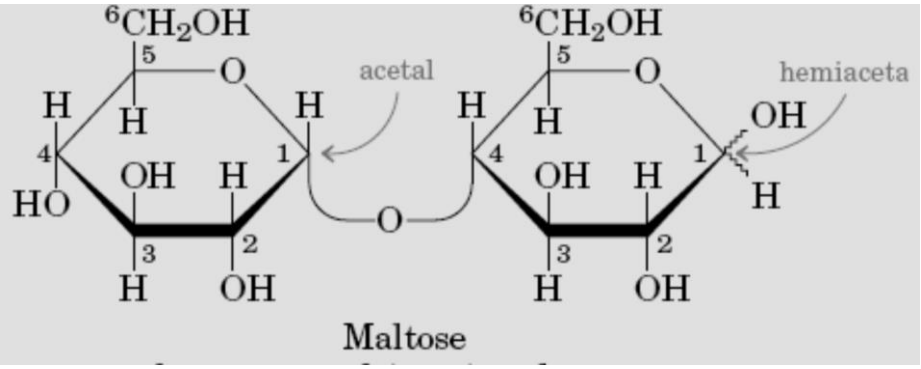
١- السكريات الثنائية Disaccharides (مكونة من وحدتين من السكريات الأحادية) ومن الأمثلة عليها:

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 ٢١-٤)**. 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 السكريزSucrase (او يسمى إنزيم الأنفرتيز Invertase) الى مكوناته من الكلوكوز والفركتوز.



الشكل (٢١ - ٤): السكروز.

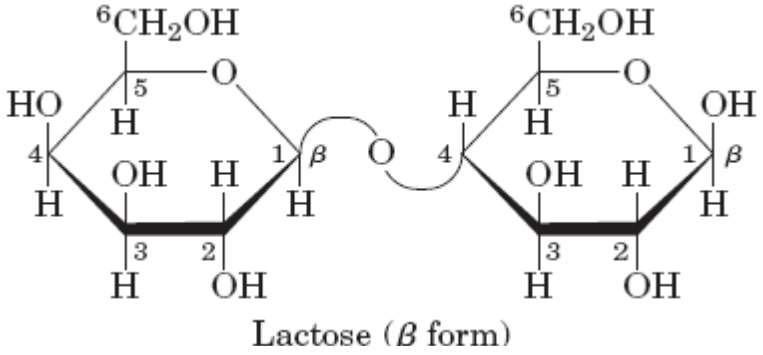
ب- المالتوز Maltose : او سكر الشعير وهو من السكريات الثنائية مكون من وحدتين او جزئين من سكر الكلوكوز**(الشكل ٢٢-٤)** وهو من السكريات المختزلة. وينتج عند تحلل النشا بوساطة إنزيم ألفا- أميليز الموجود مثلاً في الشعير المنبت Malt أوفي اللعاب Saliva وعصارة البنكرياس. أن سكر المالتوز هو جزء من النشا في السلاسل المستقيمة له (الأميلوز Amylose) ويرمز للآصرة الكلايكوسيدية بين جزيئتي الكلوكوز في هذه السلاسل بـ 4-1 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 الآصرة الموجودة بين جزيئتي الكلوكوز هي 6-1 α أي بين ذرة الكاربون الأولى من جزيئة الكلوكوز مع ذرة الكاربون المرقم 6 من جزيئة الكلوكوز الثانية.



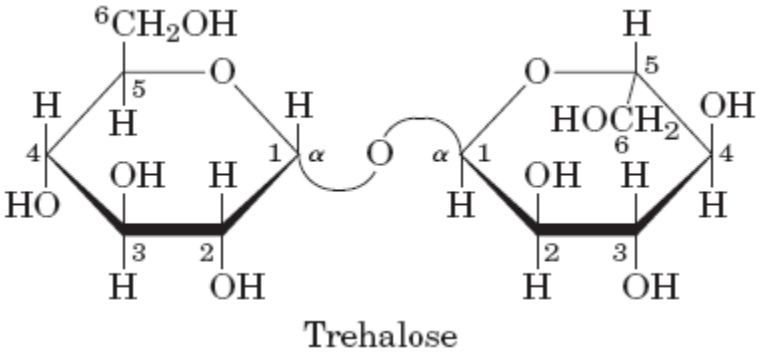
الشكل (٢٢-٤) : المالتوز.

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 ٢٣-٤)** 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.



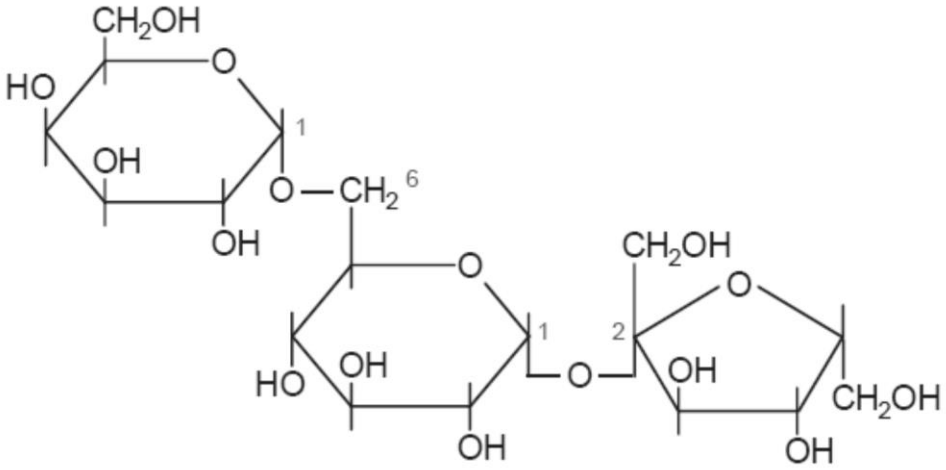
د- التريهالوز Trehalose: من السكريات الثنائية الذي يتألف من وحدتين من جزيئه الكلوكوز متصلتين مع بعضهما بوساطة آصرة كلايكوسيدية بين ذرة كاربون رقم ١ من جزيئة الكلوكوز الأولى مع ذرة كاربون رقم ١ من الجزيئة الثانية **(الشكل ٢٤-٤)** وعليه يكون من السكريات غير المختزلة Non-reducing (كما في جزيئه السكروز) والذي يتواجد في الفطريات Fungi والخمائر Yeasts ويعد السكر الرئيس لحشرة هيموليف Insect hemolyph.



الشكل (٢٤-٤): التريهالوز Trehalose (α- كلوكوز-١ ١-α- كلوكوسايد).

٢- 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 ٢٥-٤).**



الشكل (٢٥-٤): تركيب الرافينوز.

ب- الميليزيتوز Melezitose: وهو أحد السكريات الثلاثية المتكون من وحدتي كلوكوز ووحدة فركتوز **(الشكل ٢٦-٤)** ويوجد في المملكة النباتية، ومنها الاشجار الصنوبرية وشجرة الليمون.