AL-Manara University
Faculty of Pharmacy

بنية الكربوهيدرات

Structure of carbohydrate

Lecture

Dr.Rama IBRAHIM

PhD Paris-11 university

2024-2023

مقدمة حول الكربوهيدرات

- تستطيع جميع الكائنات الحية اصطناع الكربوهيدرات, إلا أن معظم الكربوهيدرات على سطح الارض يتم اصطناعها من قبل الكائنات التي تستطيع القيام بعملية التركيب الضوئي (النباتات, الطحالب وبعض البكتريا).

الأدوار البيولوجية للكربوهيدرات (السكريات):

1. يمكن أكسدتها للحصول على الطاقة الضرورية للعمليات الاستقلابية في العضوية.
2. تلعب البوليميرات السكرية دور جزيئات خازنة للطاقة (مثل النشاء والغليكوجين).
3. تتواجد البوليميرات السكرية في جدران الخلايا cell walls وفي الأغلفة الواقية protective coatings الموجودة لدى بعض الأحياء.
4. تلعب البوليميرات السكرية دور واصمات markers على سطح الخلية تسمح لنوع ما من الخلايا بالتعرف على نوع آخر والارتباط معه.
5. تتواجد المشتقات السكرية carbohydrate derivatives في جزيئات بيولوجية أخرى مثل التمائم الأنزيمية coenzymes والحموض النووية (DNA,RNA).

تسمية السكريات وتصنيفها

- تأتي تسمية الكربوهيدرات (ماءات الكربون) من كون جميع السكريات الأحادية البسيطة تشترك بالصيغة التالية: $(CH_2O)_n$, حيث أن n أكبر أوتساوي 3.

- **يمكن تصنيف الكربوهيدرات بحسب عدد وحدات المونومير Monomers الموجودة فيها إلى:**

1. ***السكريات الأحادية Monosaccharides:*** وهي أصغر وحدة بنائية لجميع السكريات.
2. ***السكريات قليلة التعدد Oligosaccharides:*** وهي عبارة عن بوليمرات تحتوي من 2 إلى 20 جزيئة سكر أحادي. أكثرها شيوعا هي السكريات الثنائية Disaccharides.
3. ***السكريات المتعددة Polysaccharides:*** وهي بوليمرات تحتوي على أكثر من 20 جزيئة سكر أحادي.

- تدعى بوليمرات الكربوهيدرات بسلاسل **الغليكان** ***glycan***, وتقسم إلى:

1. متجانسة وتدعى هوموغليكان **homoglycan**: وذلك عندما تكون السكريات الأحادية الداخلة بتركيبها متماثلة.
2. متغايرة وتدعى هيتيروغليكان **heteroglycan**: وذلك عندما تكون السكريات الأحادية الداخلة بتركيبها مختلفة.

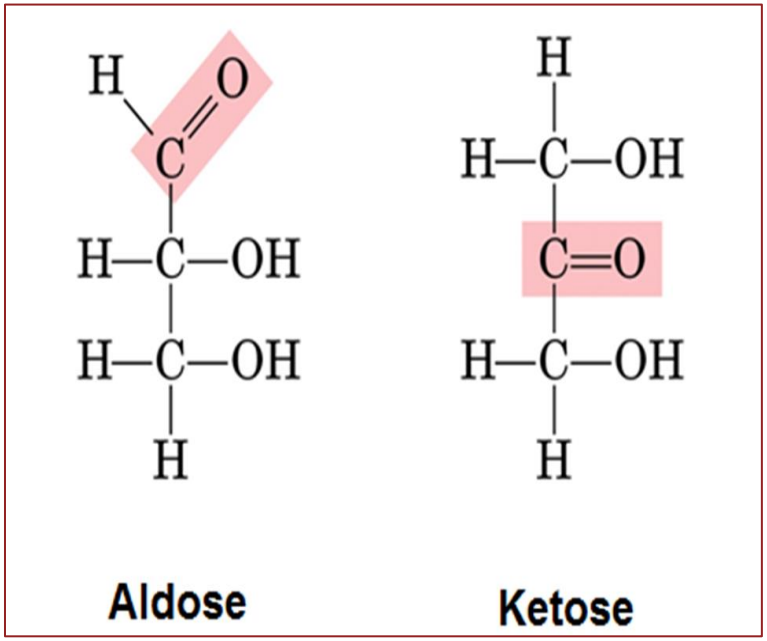
- يقصد بمصطلح **القرائن السكرية** **Glycoconjugates**: ارتباط سلسلة سكرية واحدة أو أكثر بشكل تساهمي إما مع ببتيد أو بروتين أو شحوم, وتدعى حينها هذه المشتقات ب الببتيدوغليكان peptidoglycans, أو البروتيوغليكان proteoglycans أو الغليكوبروتين glycoproteins أو الغليكولبيد glycolipids على التوالي.

1) السكريات الأحادية Monosaccharides:

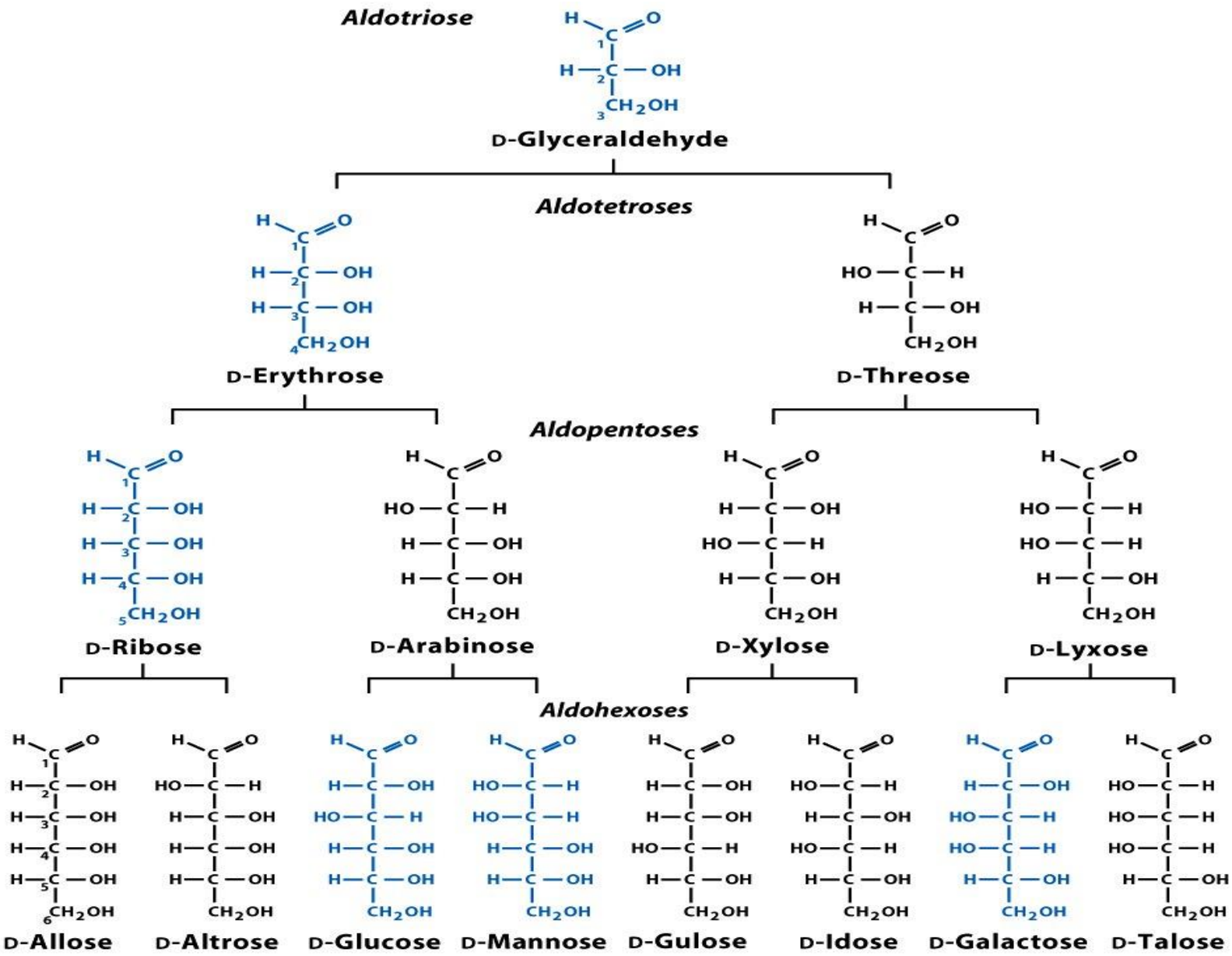
- **السكريات الأحادية:** هي مركبات متعددة الهيدروكسيل, حاوية إما على وظيفة ألدهيدية وتدعى ألدوزات **(Aldoses)** أوعلى وظيفة كيتونية وتدعى **كيتوزات (Ketoses)**.
- تملك جميعها الصيغة العامة التالية: $(CH2O)n$, حيث أن $n \geq 3$.
- **تصنف السكاكر الأحادية بإحدى طريقتين:**

1. **بحسب نوع الزمرة الكربونيلية:** ألدهيدية (ألدوزات) أو كيتونية (كيتوزات).
2. **بحسب عدد ذرات الكربون:** تريوزات (Trioses), تتروزات (Tetroses),...

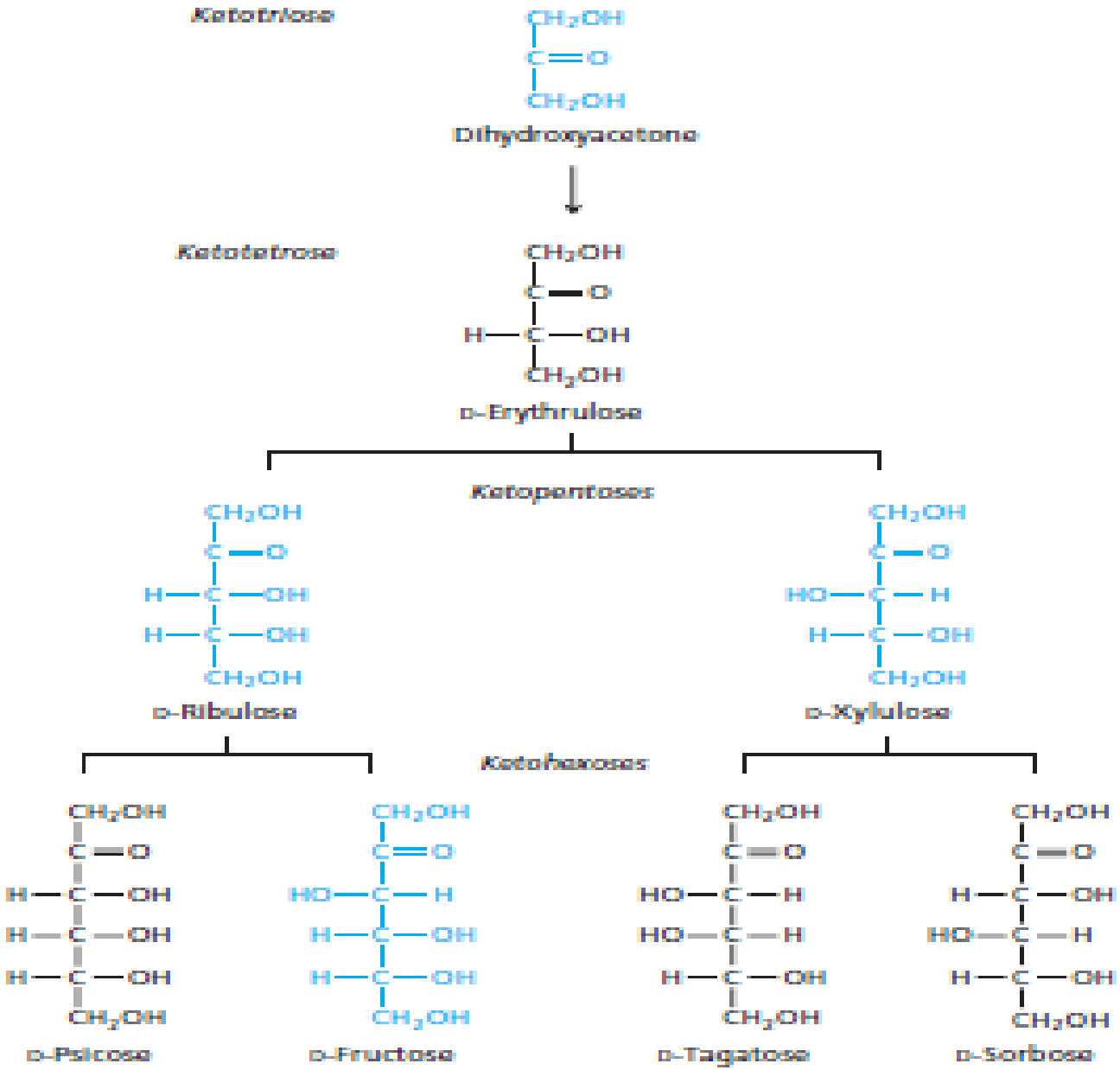
- **In aldoses,** C1 has an aldehyde group, and each of the remaining carbons bears a hydroxyl group.
- **In ketoses,** C2 has a ketone group, and each of the remaining carbons bears a hydroxyl group.



Three- to six-carbon D-aldoses



Three- to six-carbon D-ketoses

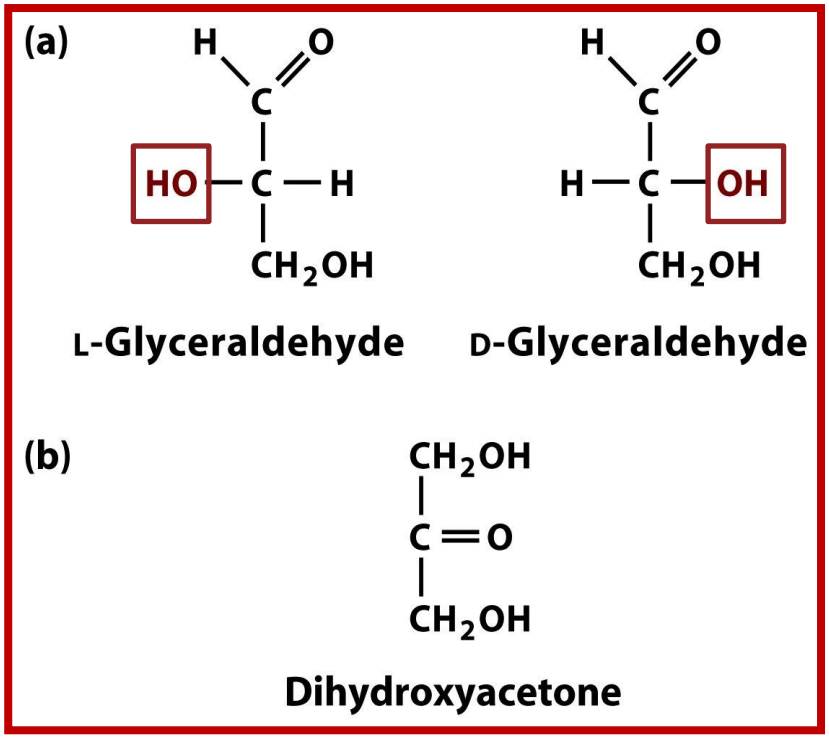


أهم السكريات الأحادية

	Aldoses	Ketoses
Trioses ($C_3H_6O_3$)	Glycerose (glyceraldehyde)	Dihydroxyacetone
Tetroses($C_4H_8O_4$)	Erythrose	Erythrulose
Pentoses ($C_5H_{10}O_5$)	Ribose	Ribulose
Hexoses ($C_6H_{12}O_6$)	Glucose	Fructose
Heptoses ($C_7H_{14}O_7$)	—	Sedoheptulose

السكريات الأحادية هي مركبات غير متناظرة chirals

- يكون الجزيء غير متناظر (Chiral or asymmetric) إذا احتوى على ذرة كربون غير متناظرة واحدة على الأقل (ذرة كربون مرتبطة ب 4 متبادلات مختلفة).
- تعتبر المركبات غير المتناظرة فعالة ضوئياً optically active, أي **تستطيع حرف الضوء المستقطب إما نحو اليمين فتدعى ميمنة (Dextro/D)** أو نحو اليسار فتدعى **ميسرة (Levo/L)**.



- أبسط السكريات الأحادية هي التريوزات Trioses (السكاكر الحاوية على 3 ذرات كربون) وهما الغليسرألدهيد وثنائي هيدروكسي الأسيتون.
  - ✓ الغليسرألدهيد غير متناظر Chiral لأن ذرة الكربون رقم 2 مرتبطة ب 4 متبادلات مختلفة.
  - ✓ ثنائي هيدروكسي الأسيتون هو السكر الأحادي الوحيد الذي لايملك مركز عدم تناظر **Achiral**.

❖ تملك جميع المركبات غير المتناظرة مماكبات فراغية **Stereoisomers**, يحسب عددها من العلاقة التالية: 2^a حيث أن a هو عدد ذرات الكربون غير المتناظرة في الجزيء.

❖ أنواع المماكبات الفراغية:

a) **Enantiomers:** are stereoisomers thar are mirror images of each other. They are not superimposables.

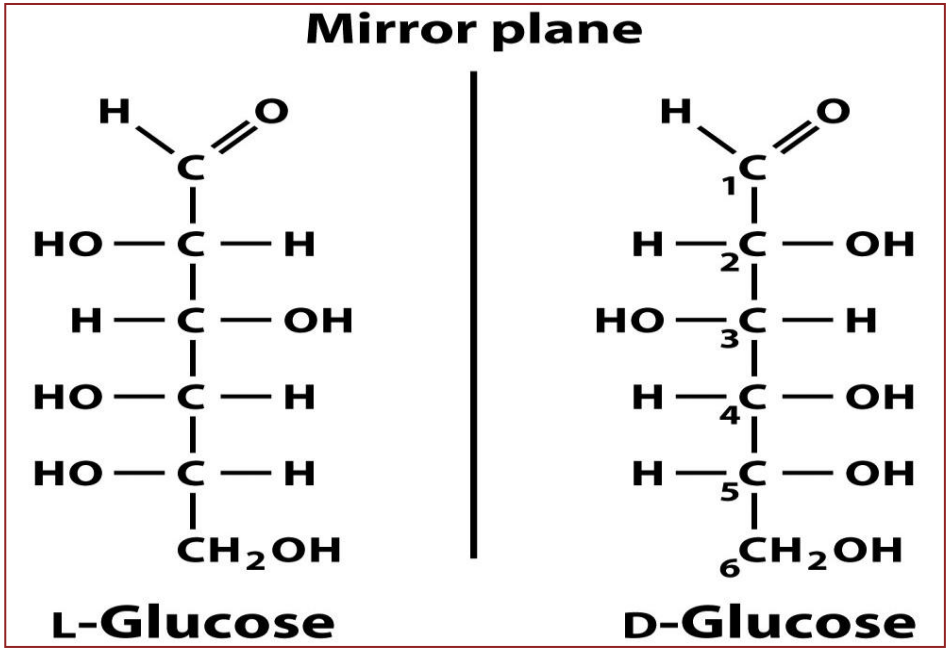
b) **Diastereomers:** stereoisomers that are not enantiomers of one another.

c) **Epimers:** are diastereomers that differ in the configuration at only one of several chiral centers.

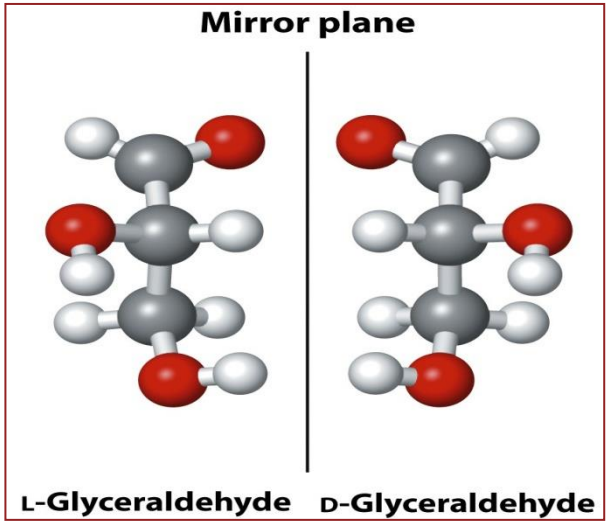
d) **Anomers:** a special type of epimers, they have identical configuration at every stereogenic center, but they differ in the configuration of the anomeric carbon atom.

a) المتخايلات المرآتية Enantiomers:

Fischer projections of L- and D-glucose



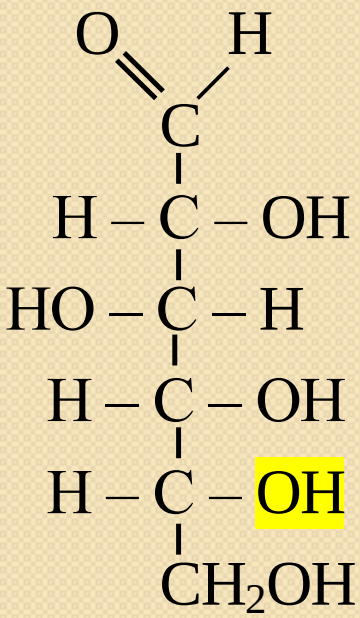
Ball and stick representation of L- and D-glyceraldehyde



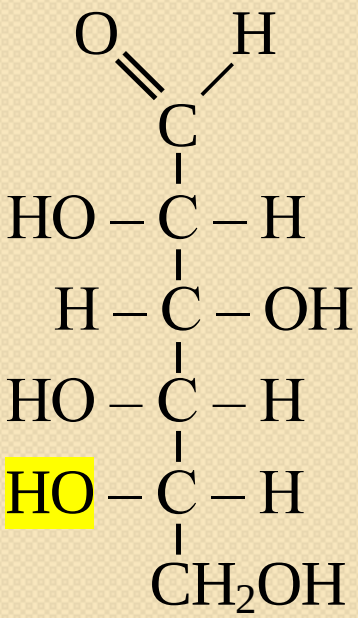
هي مماكبات فراغية أحدها صورة مرآتية للآخر ولكنها غير قابلة للانطباق على بعضها في نفس المستوي Not superimposable. مثال: D-غلوكوز و L-غلوكوز.

تحديد الشكل الفراغي (L أو D) للسكريات الحاوية على عدة ذرات كربون غير متناظرة

بالنسبة للسكاكر الحاوية على أكثر من مركز عدم تناظر, من أجل تحديد المماكبات الميمنة أو الميسرة, يُنظر إلى توضع زمرة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة الكربون غير المتناظرة الأعلى رقماً.



D-glucose

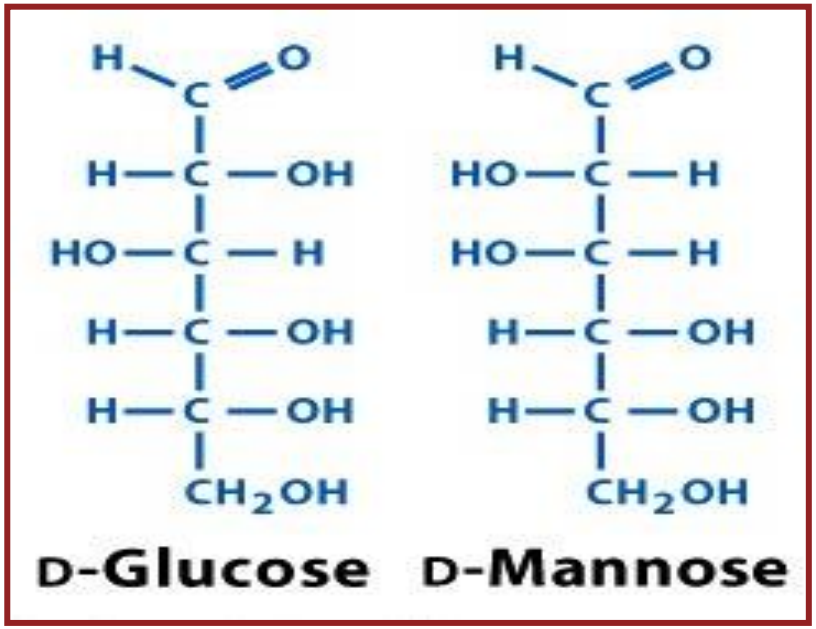


L-glucose

إن معظم السكاكر الأحادية الموجودة في الطبيعة هي من الشكل D

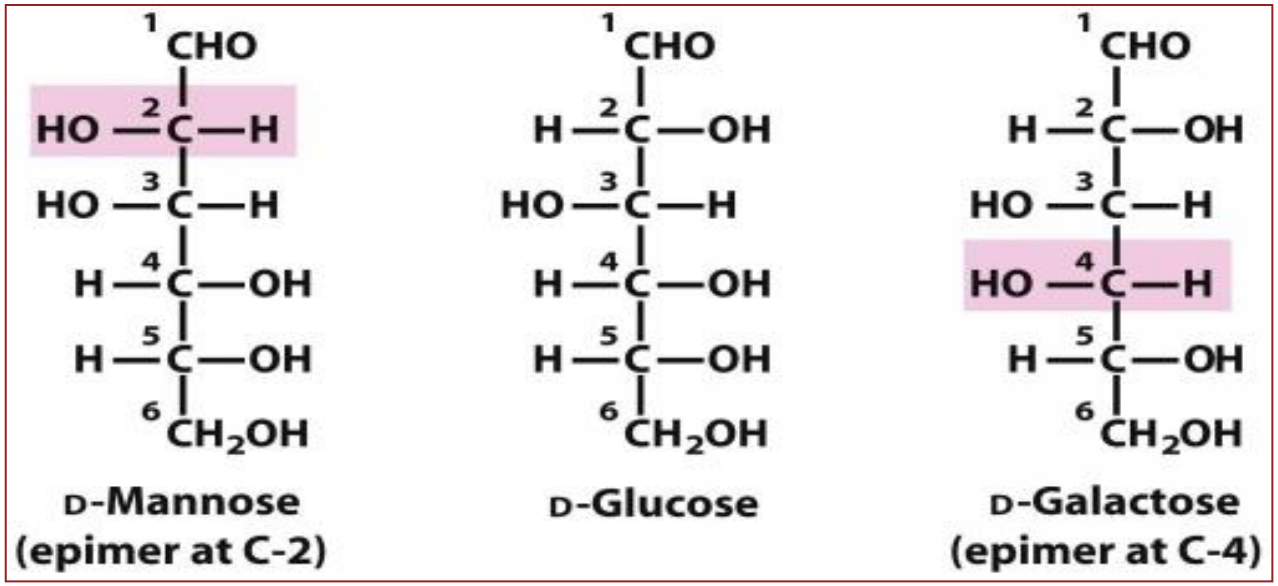
b) المماكبات غير الضوئية Diasteromers:

- هي المماكبات الفراغية الأخرى غير المتخايلات المرآتية. مثال: D-ريبوز و D-كزيلوز, أو D-غلوكوز وD-مانوز.



c) المماكبات الصنوية أو الإيبيميرز Epimers:

❖ هي نوع من Diastereomers تختلف بالتوضع الفراغي لذرة كربون غير متناظرة واحدة فقط.



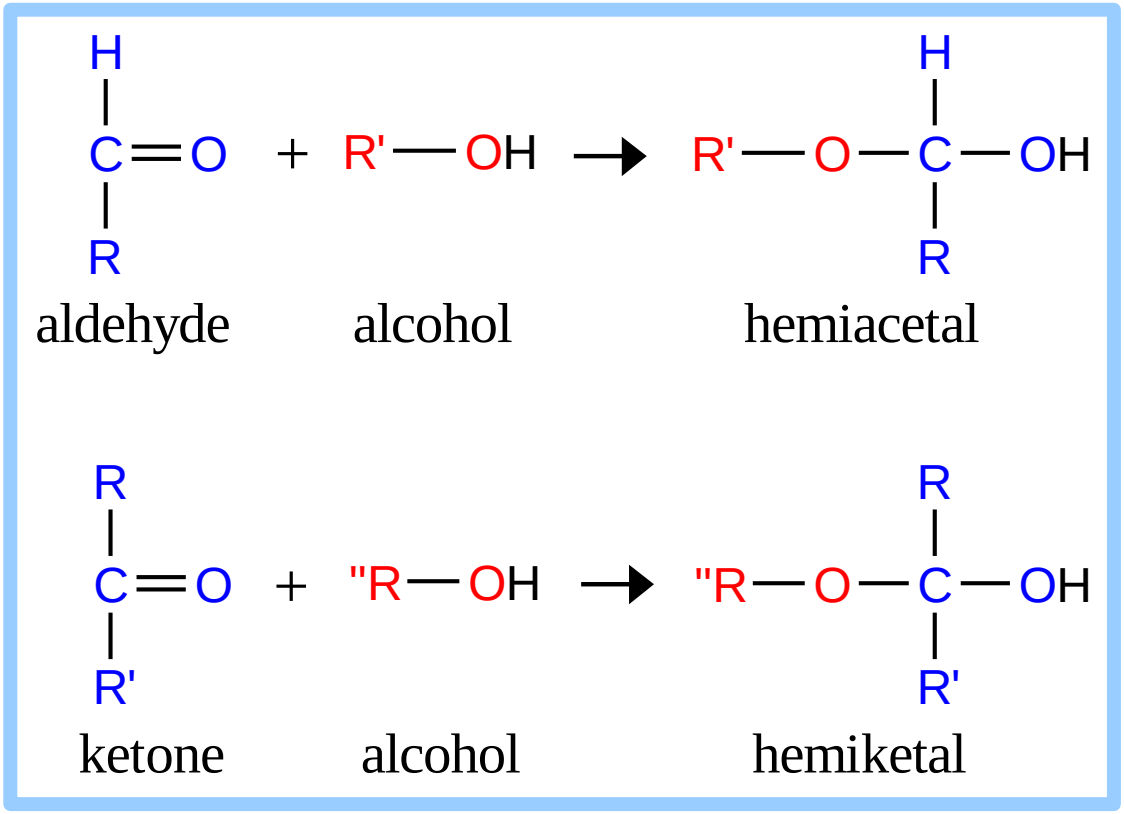
يعتبر المانوز إيبيمير للغلوكوزعلى ذرة الكربون رقم 2, ويعتبر الغالاكتوز إيبيمير للغلوكوز على ذرة الكربون رقم 4 (إلا أن المانوز والغالاكتوز ليسا إيبيميرز لبعضهما).

حلقنة Cyclization السكريات الأحادية

❖ يمكن أن تتعرض الألدوزات الحاوية على 5 ذرات كربون على الأقل أو الكيتوزات الحاوية على 6 ذرات كربون على الأقل لعملية حلقنة, وفيها تتفاعل الزمرة الألدهيدية أو الكيتونية مع إحدى الزمر الكحولية البعيدة للسكر الأحادي

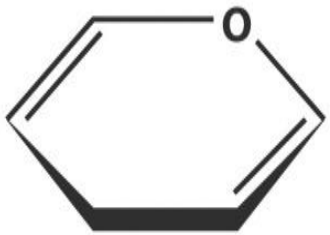
✓ An aldehyde can react with an alcohol to form a **hemiacetal**.

✓ A ketone can react with an alcohol to form a **hemiketal**.



حلقنة السكاكر الألدهيدية (الألدوزات)

- ✓ يمكن أن تتحلقن الألدوزات من خلال تشكيل رابطة هيمي أسيتالية بين الزمرة الألدهيدية وزمرة الهيدروكسيل الموجودة على الكربون C5, مشكلة حلقة سداسية تشبه حلقة البيران Pyran ولذلك يدعى **السكربير انوز Pyranose**.
- ✓ يمكن أن تتحلقن الألدوزات أيضا من خلال تفاعل زمرتها الألدهيدية مع زمرة الهيدروكسيل الموجودة على الكربون C4, مشكلة حلقة خماسية تشبه حلقة الفوران Furan ولذلك يدعى **السكر فورانوز Furanose** .



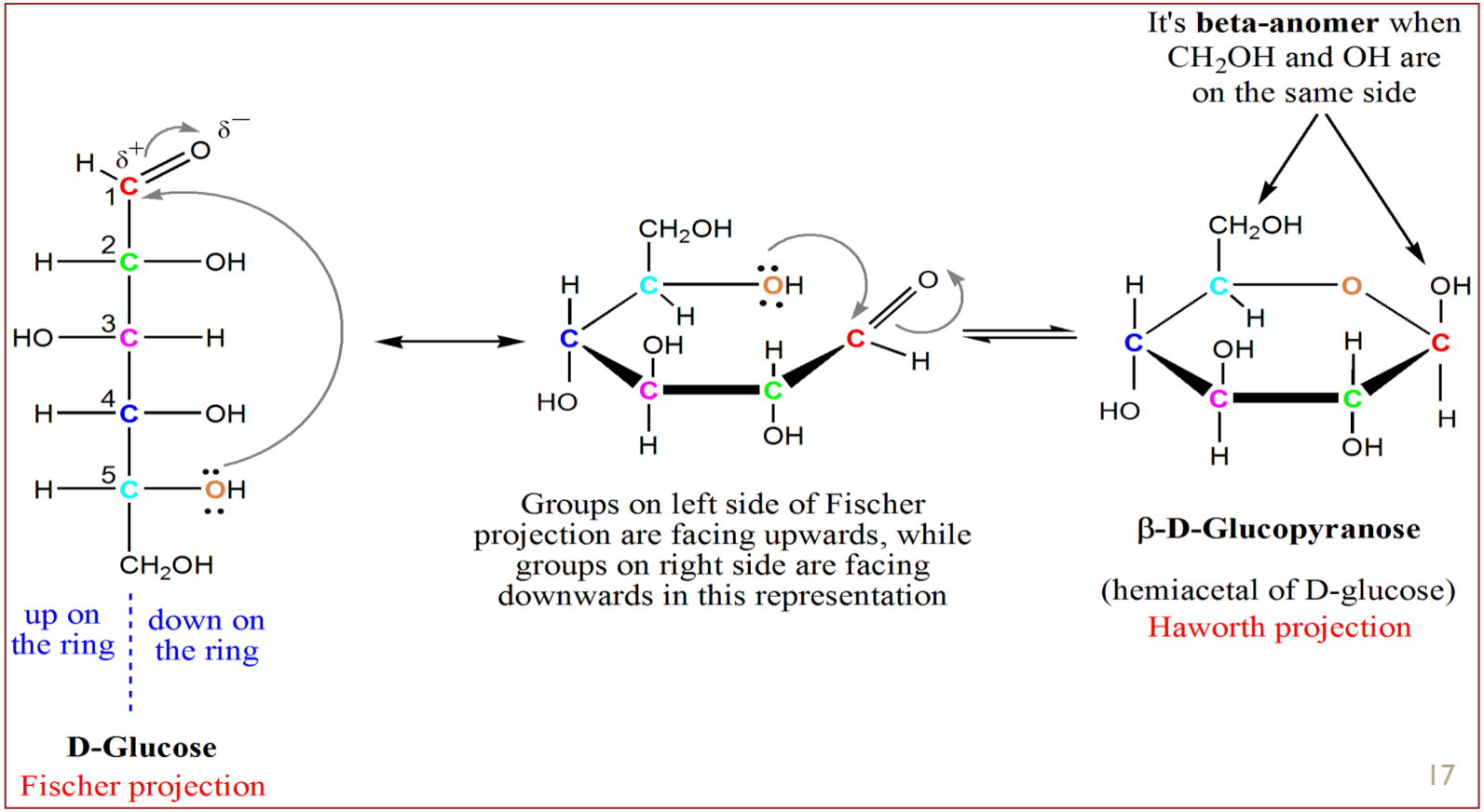
Pyran

Furan

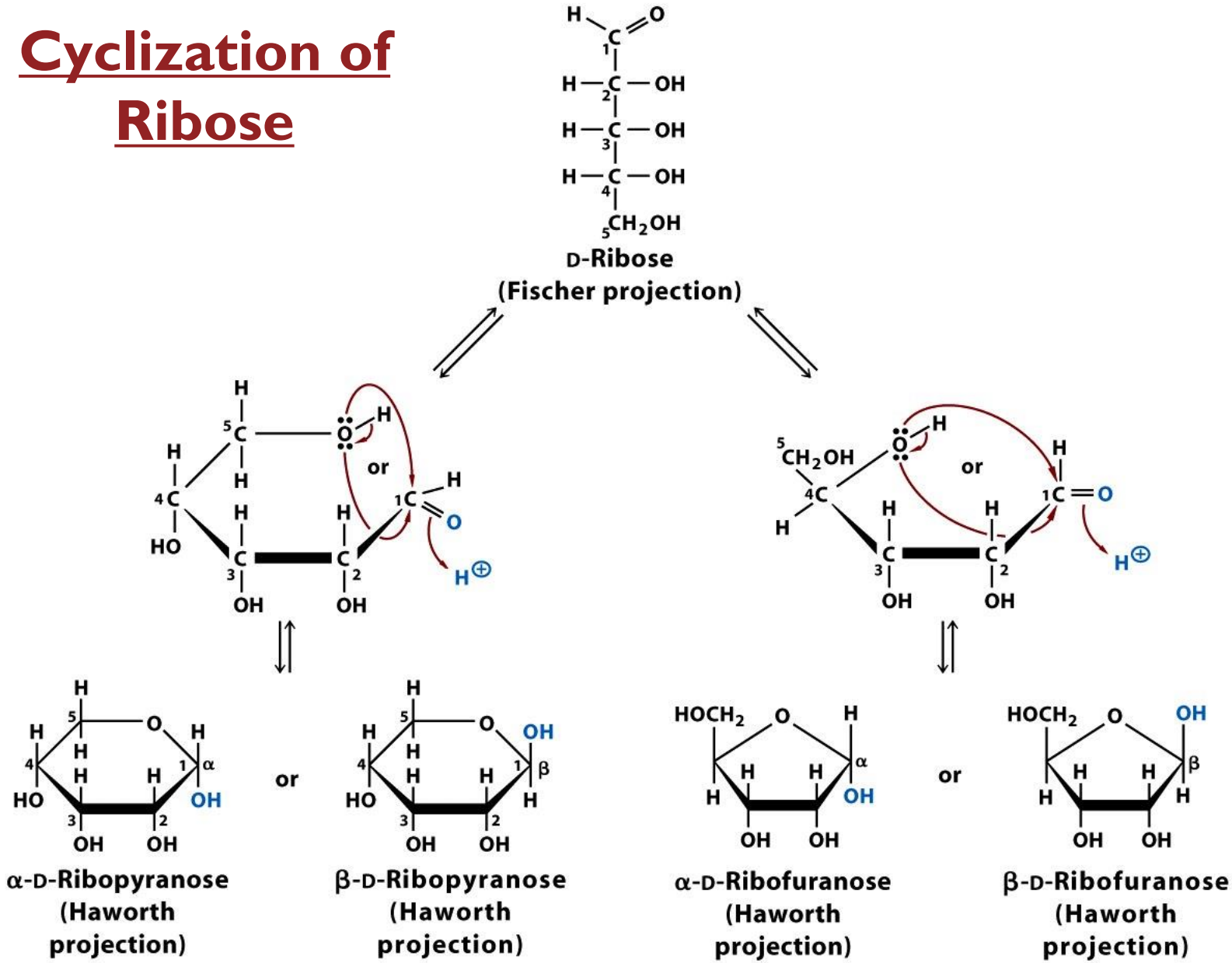
Cyclization of Glucose

من أمثلتها حلقنة الغلوكوز:

- ✓ يتحلقن الغلوكوز غالبا بشكل حلقة بيران ويدعى غلوكوبير انوز **Glucopyranose**.
- ✓ ويمكن أن يتحلقن بحالات نادرة بشكل حلقة فوران ويدعى غلوكوفورانوز **Glucofuranose**.



Cyclization of Ribose

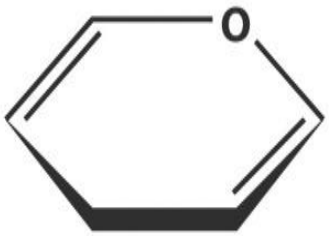


59% 21% 13% 7%

حلقنة السكاكر الكيتونية (الكيتوزات)

- ✓ يمكن أن تتحلقن الكيتوزات من خلال تشكيل رابطة هيمي كيتالية بين الزمرة الكيتونية الموجودة على الكربون C2 وزمرة الهيدروكسيل الموجودة على الكربون C6, مشكلة حلقة بيران Pyran.

- ✓ يمكن أن تتحلقن الكيتوزات أيضا من خلال تفاعل زمرتها الكيتونية مع زمرة الهيدروكسيل الموجودة على الكربون C5, مشكلة حلقة فوران Furan.

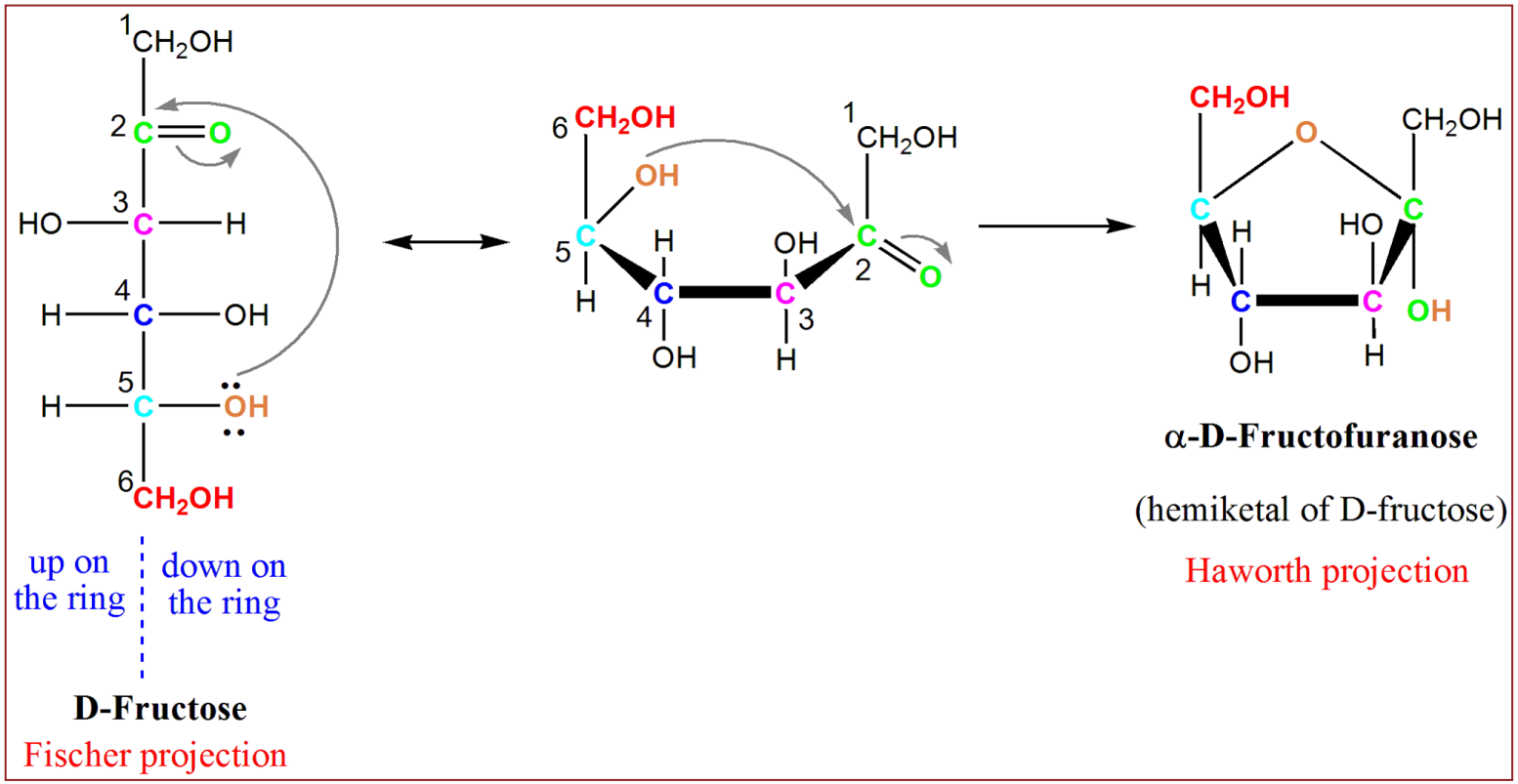


Pyran

Furan

Cyclization of Fructose

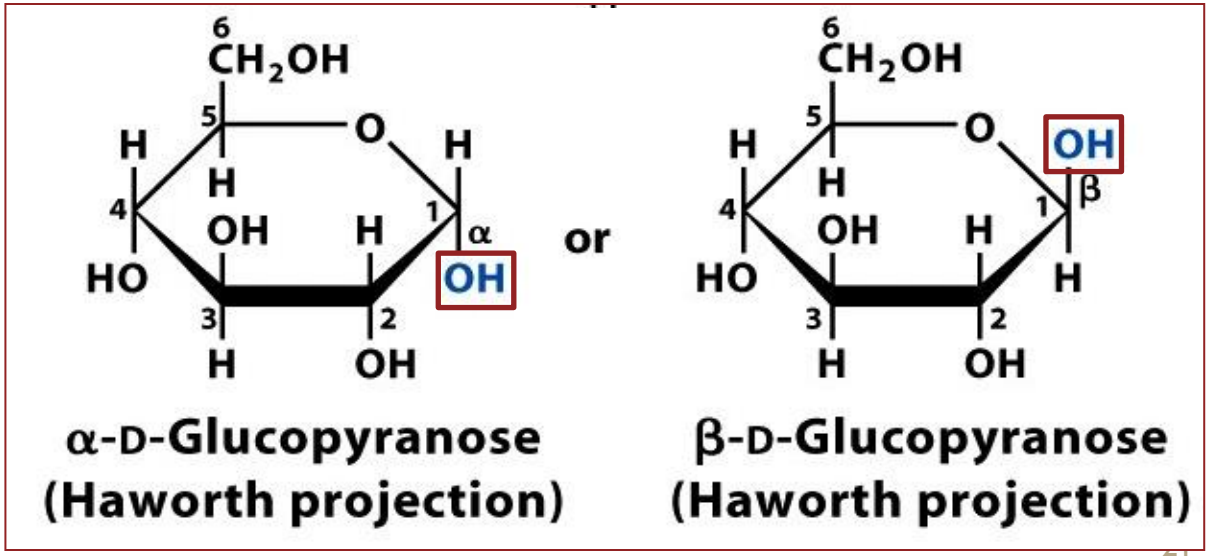
❖ يتحلقن الفركتوز غالبا بشكل حلقة فوران (فركتوفورانوز **Fructofuranose**), ويمكن أن يتحلقن نادرا بشكل حلقة بيران (فركتوبيرانوز **Fructopyranose**).



d) المماكبات الانوميرية Anomers:

- تؤدي عملية حلقنة السكريات إلى خلق مركز عدم تناظر جديد New chirality center في جزيئة السكر على ذرة الكربون الكربونيلية, وتدعى ذرة الكربون الأنوميرية (Anomeric carbon).
- **تعرف ذرة الكربون الأنوميرية:** بأنها ذرة الكربون الأعلى أكسدة في جزيئة السكر (أي ذرة الكربون المرتبطة بجزيئتي أوكسجين).
- تملك ذرة الكربون الانوميرية شكلين فراغيين إما **α أو β.**

Example: Anomers of glucose



Abbreviations

TABLE 8.1 Abbreviations for some monosaccharides and their derivatives

Monosaccharide or derivative	*Abbreviation*
Pentoses	
Ribose	Rib
Xylose	Xyl
Hexoses	
Fructose	Fru
Galactose	Gal
Glucose	Glc
Mannose	Man
Deoxy sugars	
Abequose	Abe
Fucose	Fuc
Amino sugars	
Glucosamine	GlcN
Galactosamine	GalN
N-Acetylglucosamine	GlcNAc
N-Acetylgalactosamine	GalNAc
N-Acetylneuraminic acid	NeuNAc
N-Acetylmuramic acid	MurNAc
Sugar acids	
Glucuronic acid	GlcUA
Iduronic acid	IdoA

Derivatives مشتقات السكريات الأحادية

A. **Sugar phosphate:** phosphate esters.

B. **Deoxy sugars:** a hydrogen atom replaces one of the hydroxyl groups in the parent monosaccharide.

C. **Amino sugars:** an amino group replaces one of the -OH.

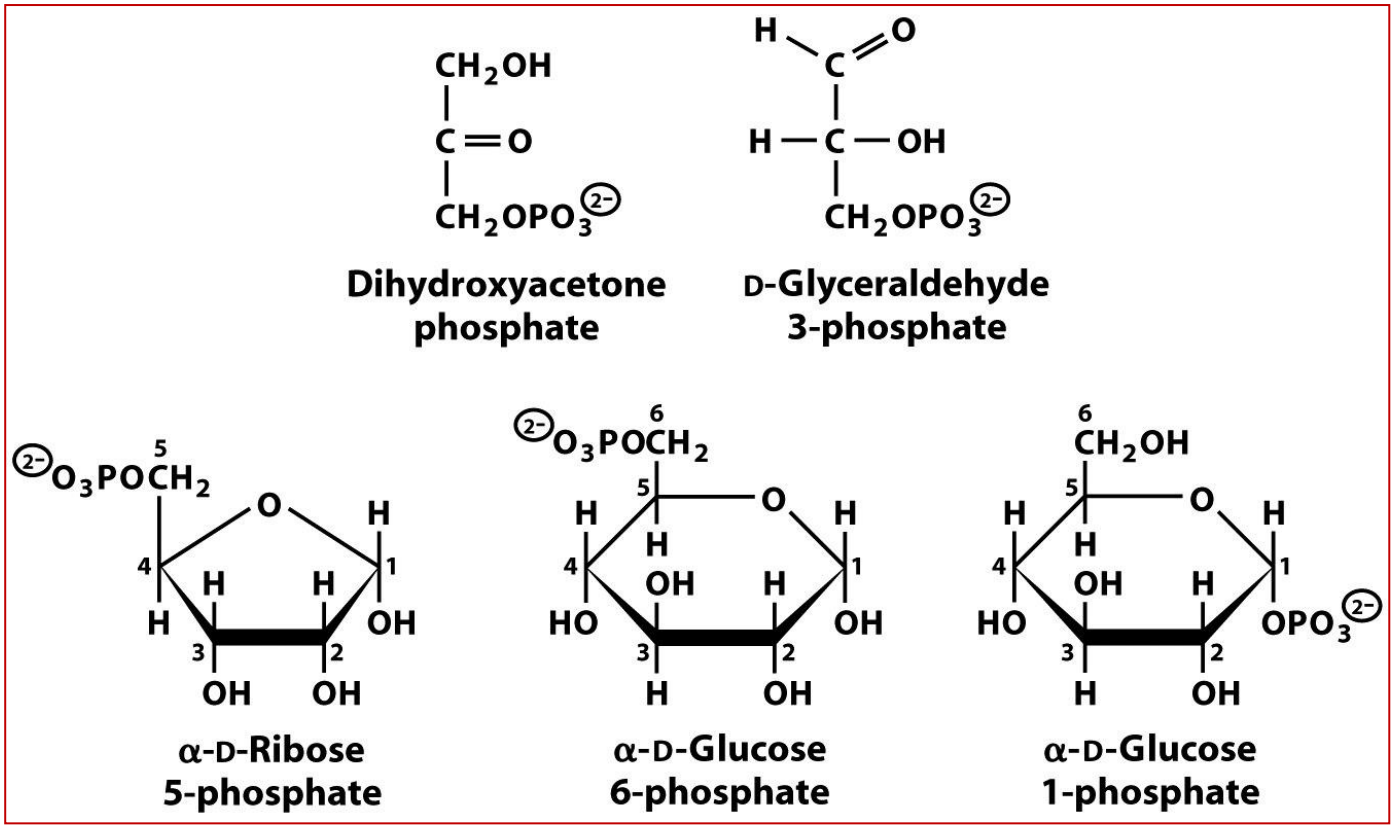
D. **Sugar alcohol:** polyhydroxy alcohol.

E. **Sugar Acids:** derived from aldoses by oxidation,

- on C1 aldehydic group (aldonic acid),
- or on the highest-numbered carbon bearing primary alcohol (alduronic acid).

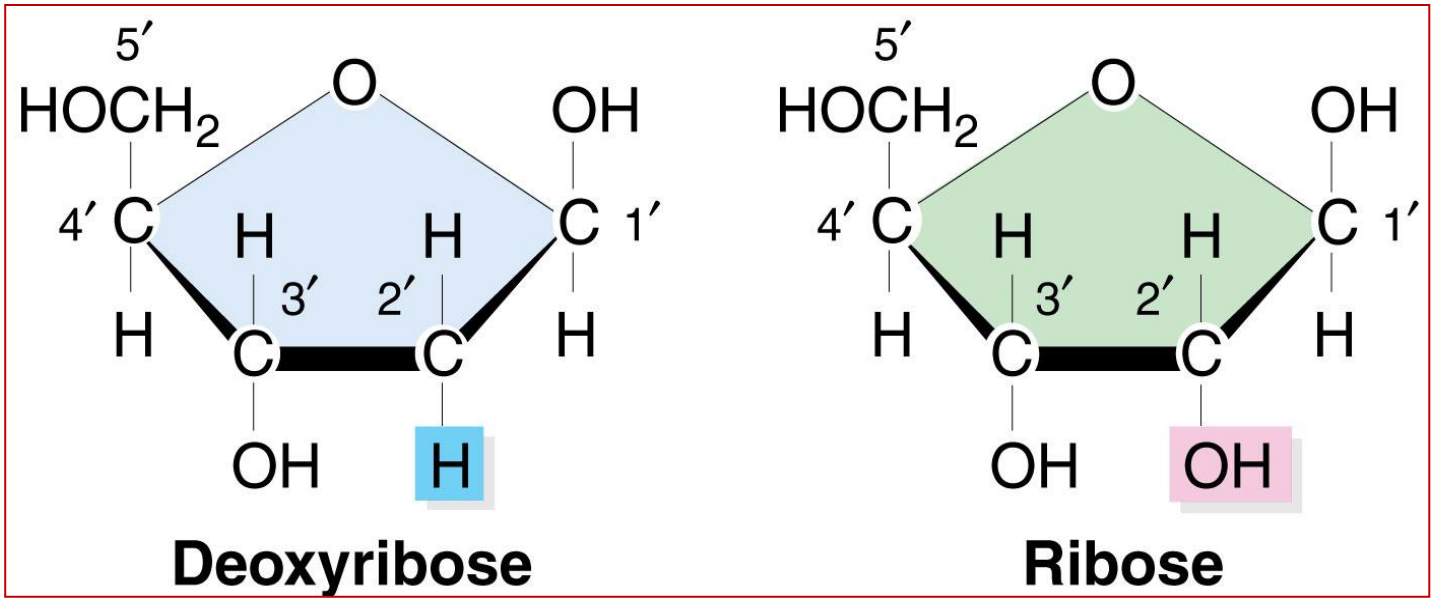
A. المشتقات الفوسفاتية Sugar phosphate:

- هي عبارة عن أسترات لإحدى زمر الهيدروكسيل الموجودة في السكر الاحادي مع مجموعة فوسفات.
- من أمثلتها: الريبوز 5-فوسفات, الغلوكوز 1-فوسفات, الغليسرألدهيد 3-فوسفات,...
- تلعب المشتقات الفوسفاتية دوراً محوريا في **استقلاب السكريات**.



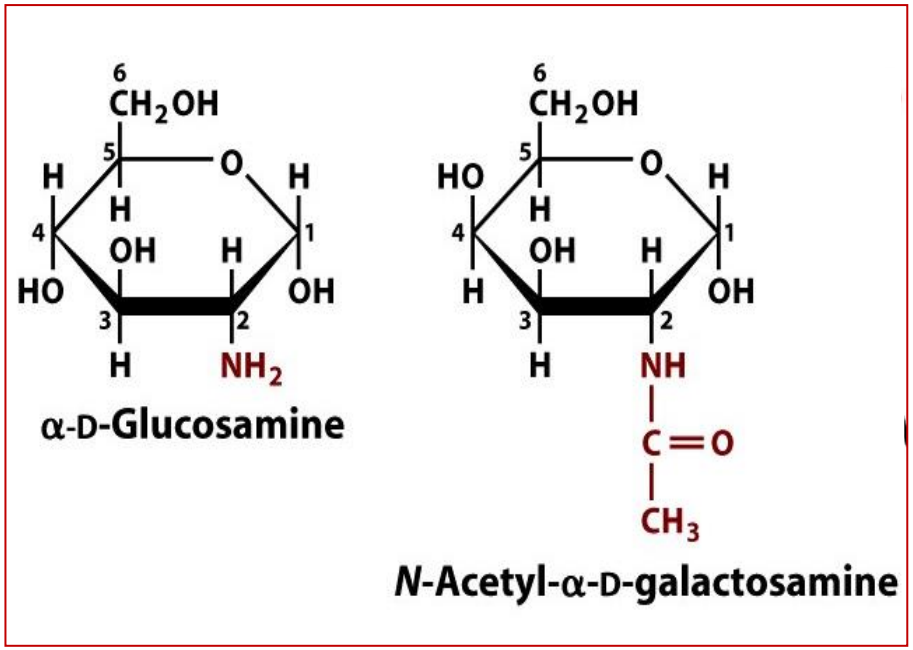
B. المشتقات منقوصة الأوكسجين Deoxy-sugars:

- يتم استبدال إحدى مجموعات الهيدروكسيل للسكر بذرة هيدروجين فقط (أي يتم حذف ذرة أوكسجين من الصيغة).
- أحد أهم أمثلتها سكر الريبوز منقوص الاوكسجين على ذرة الكربون رقم 2 -2-Deoxy D-Ribose, والذي يدخل بتركيب DNA.



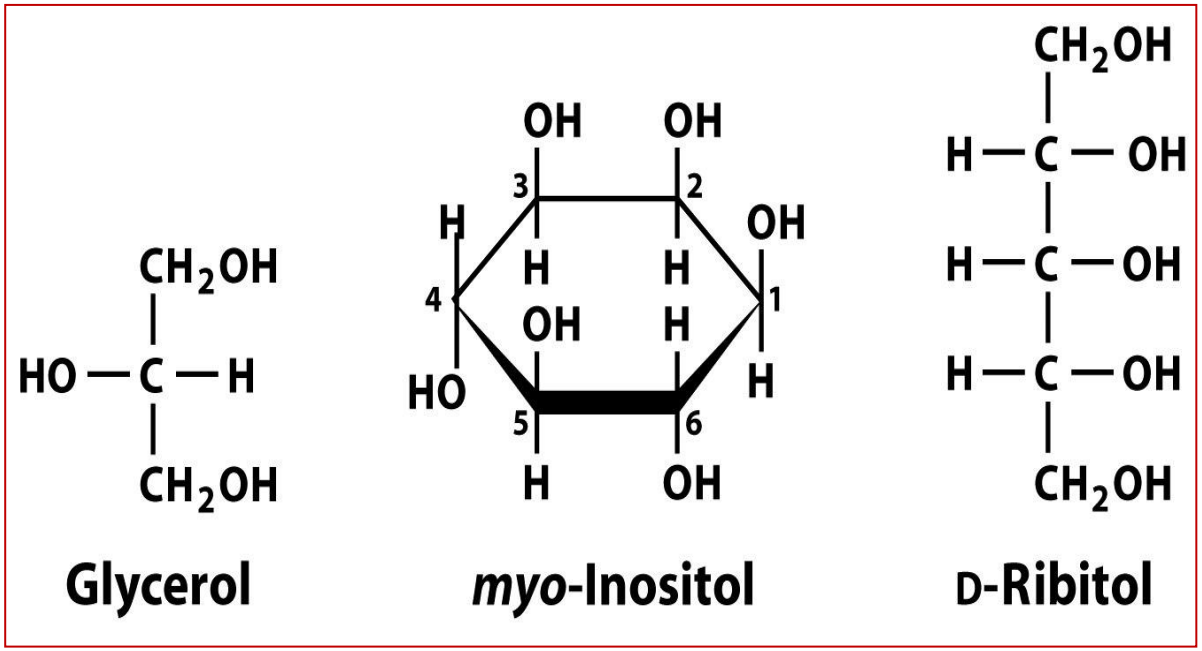
C. المشتقات الأمينية Amino sugars:

- يتم استبدال إحدى زمر الهيدروكسيل للسكر بمجموعة أمينية مثل: الغلوكوزامين, الغالاكتوزامين...
- في بعض الحالات قد تتأستل المجموعة الأمينية المضافة للسكر من خلال ارتباطها مع مجموعة أسيتيل فنحصل على N-أسيتيل المشتق الأميني للسكر, مثل: N-أسيتيل الغلوكوزامين و N-أسيتيل الغالاكتوزامين...



D. المشتقات الكحولية Sugar alcohols:

- يتم إرجاع الزمرة الكربونيلية (الألدهيدية أو الكيتونية) للسكر إلى زمرة غولية, ممايؤدي إلى الحصول على مشتق متعدد الهيدروكسيل للسكر.
- من أمثلتها: الغليسرول Glycerol والإينوزيتول Inositol اللذين يدخلان بتركيب بعض الزمر اللبيدية, والريبيتول الذي يدخل بتركيب FAD/FMN.

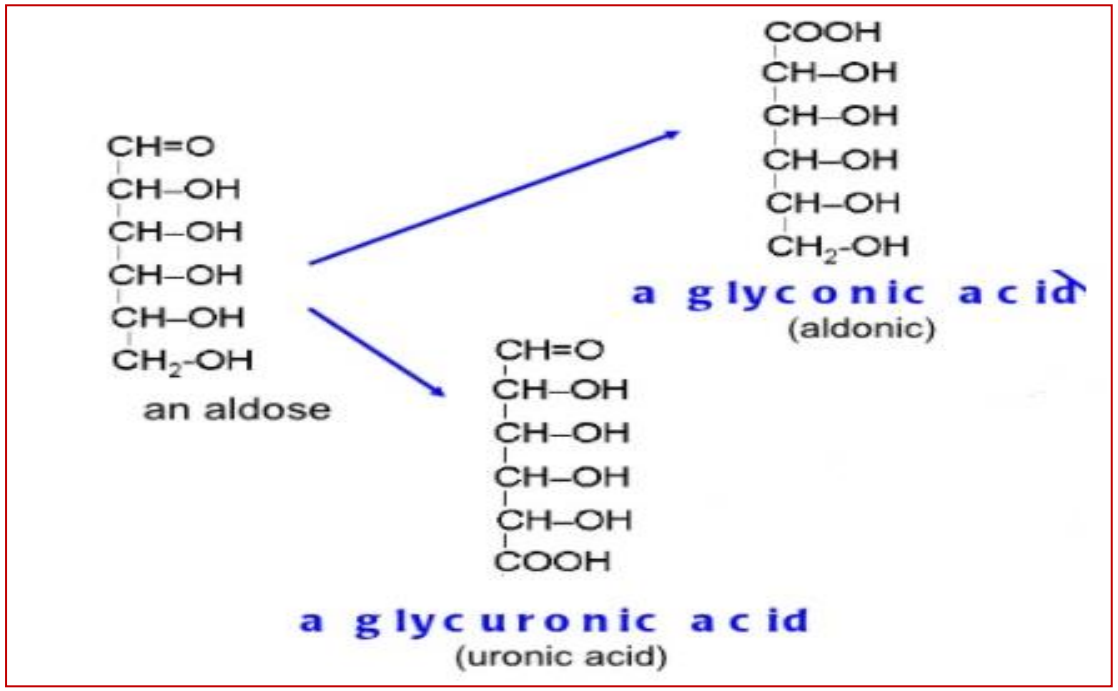


E. المشتقات الحمضية Sugar acids:

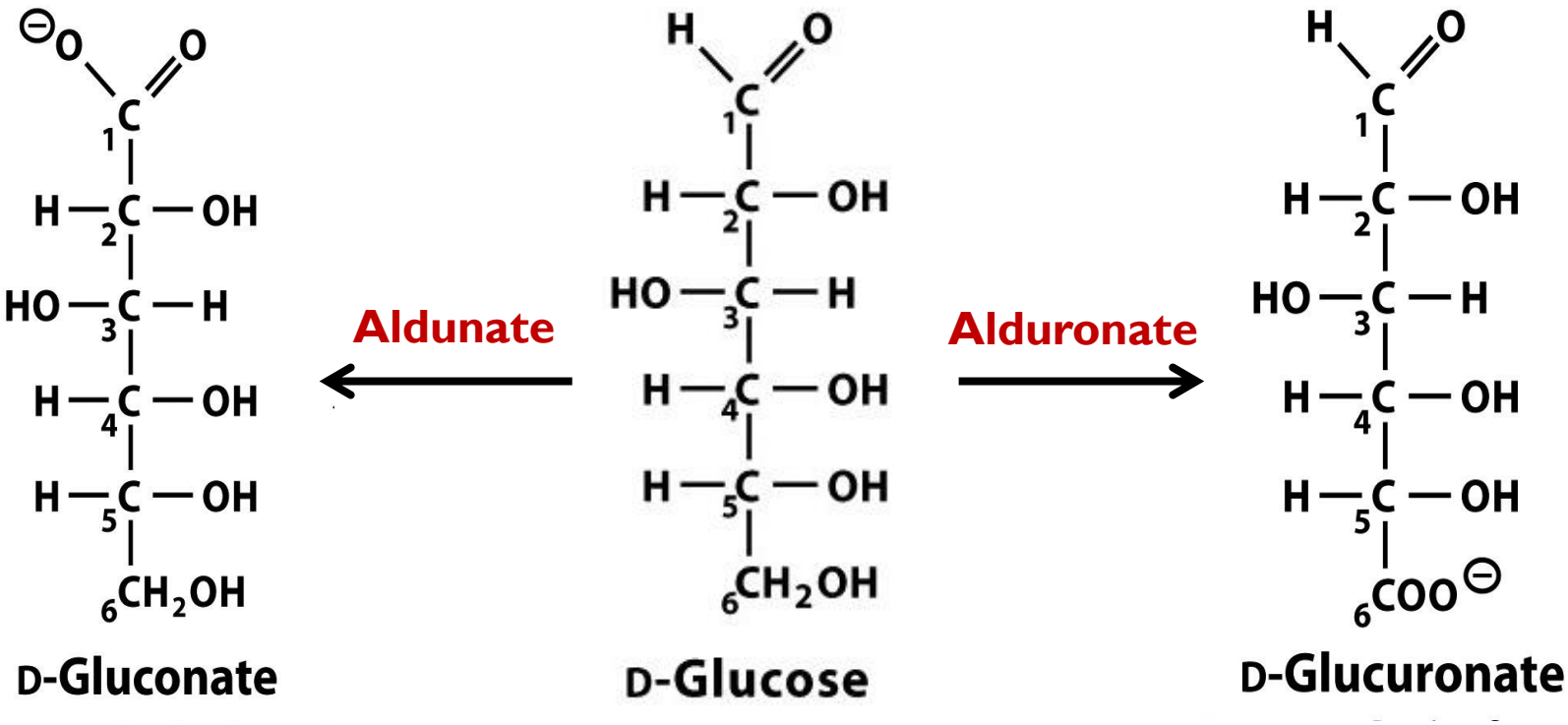
❖ تنتج هذه المشتقات من **الألدوزات** فقط:

a) إما من خلال أكسدة ذرة الكربون المرتبطة بالزمرة الألدهيدية فنحصل على حموض ألدونية aldonic acids .

b) أو من خلال أكسدة ذرة الكربون الأعلى رقم المرتبطة بزمرة كحولية فنحصل على حموض ألديورونية Alduronic acids.



مثالها المشتقات الحمضية للغلوكوز: حمض الغلوكونيك Gluconic acid و حمض الغلوكورونيك Glucuronic acid.

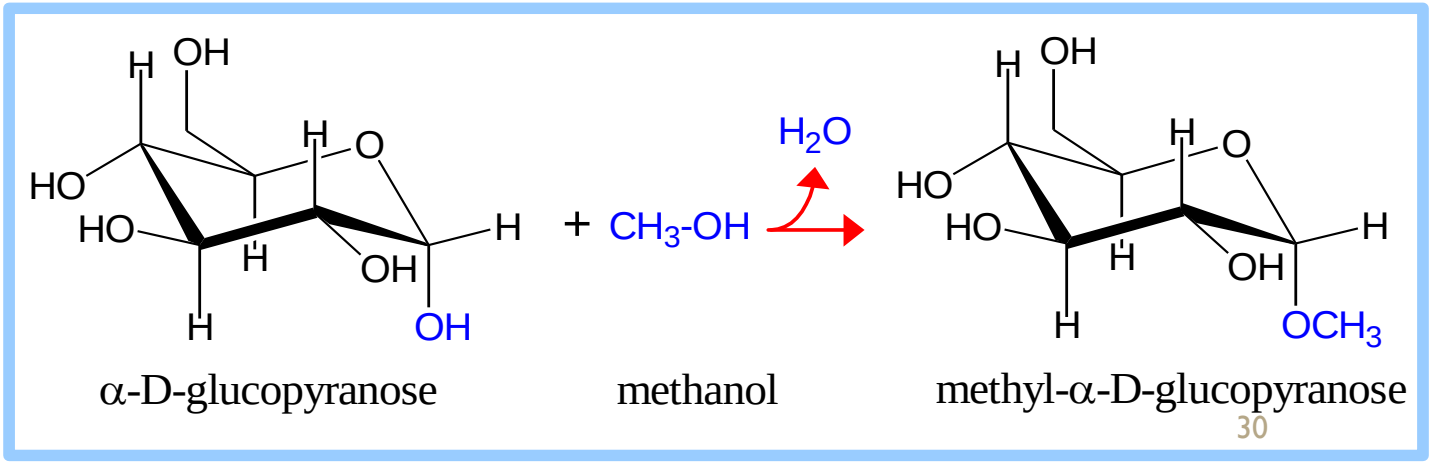


الروابط الغليكوزيدية Glycosidic bonds

- تعرف الرابطة الغليكوزيدية بأنها ارتباط زمرة الهيدروكسيل لذرة كربون أنوميرية من سكر مع زمرة هيدروكسيل لسكر آخر, أو مع مركبات أخرى حاوية على زمر كحولية أو أمينية أو تيولية.
- تتشكل الرابطة الغليكوزيدية من خلال خروج جزيئة ماء من الزمر المرتبطة.

$$R\text{-}OH + HO\text{-}R' \rightarrow R\text{-}O\text{-}R' + H_2O$$

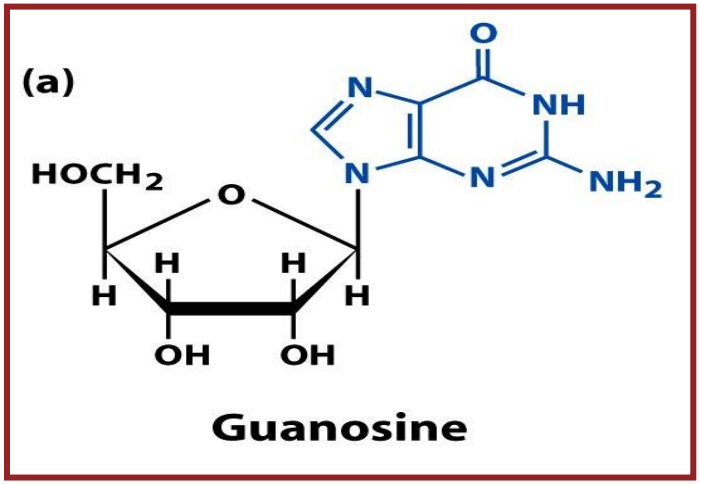
مثال: تشكل رابطة غليكوزيدية بين الكربون الأنوميري للغلوكوزوبين الزمرة الكحولية للميتانول والحصول على مركب غليكوزيدي هو ميتيل الغلوكوزايد **methyl glucoside**.



Glycosides الغليكوزيدات

- **الغليكوزيدات Glycosides**: هي مركبات حاوية على رابطة غليكوزيدية.
- عندما يكون السكر المشارك بكربونه الأنوميري هو الغلوكوز تدعى الغليكوزيدات حينها بالغلوكوزيدات Glucosides, وعندما يكون السكر مانوز فإنها تسمى بالمانوزيدات Monnosides وهكذا...
- **من أمثلة الغليكوزيدات ذات الاهمية البيولوجية**: السكريات الثنائية Disaccharides, السكريات المتعددة Polysaccharides, والنكليوزيدات Nucleosides التي تدخل بتركيب الحموض النووية (الأدينوزين, الغوانوزين...).

In nucleosides: purine or pyrimidine is attached by its secondary amino group **to a β-D-ribofuranose or β-D-deoxyribofuranose.**



2) السكاكر قليلة التعدد Oligosaccharides:

- ارتباط 2-20 جزيئة سكر أحادي مع بعضها بروابط غليكوزيدية.
- **تعتبر السكريات الثنائية من أهم السكريات قليلة التعدد.**
- **تتشكل السكريات الثنائية** من ارتباط ذرة الكربون الانوميرية من سكر أول مع إحدى مجموعات الهيدروكسيل من سكر آخر.

- **من أجل توصيف بنية السكريات الثنائية وغيرها من السكريات قليلة التعدد لابد من تحديد:**

a) نوع السكاكر الأحادية الداخلة بتركيبها مع تحديد فيما إذا كان الشكل الحلقي للسكر بيرانوزي أو فورانوزي.

b) أرقام ذرات الكربون المرتبطة مع بعضها.

c) الشكل الفراغي للرابطة الغليكوزيدية (α أو β).

أهم السكريات الثنائية

a) **Maltose:** is a disaccharide released during the hydrolysis of starch (D-glucopyranosyl α(1→4) D-glucopyranose).

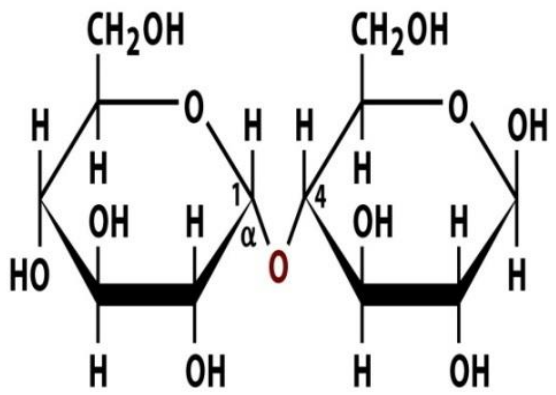
b) **Cellobiose:** is a disaccharide released during cellulose degradation (D-glucopyranosyl β(1→4) D-glucopyranose).

c) **Lactose:** is a disaccharide synthesized only in lactating mammary glands (D-galactopyranosyl β(1→4) D-glucopyranose).

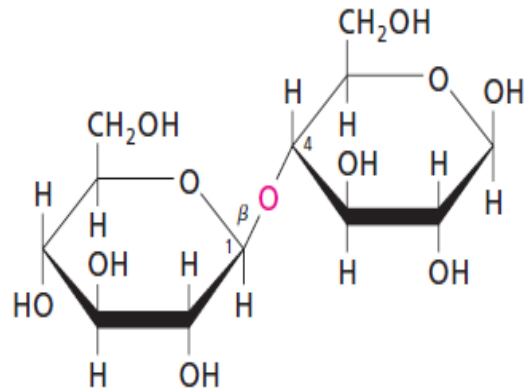
d) **Sucrose (Table sugar):** is the most abundant disaccharide found in nature (synthesized only in plants) (D-glucopyranosyl α(1→4)β D-fructofuranoside).

The glycosidic bond links the anomeric carbon atoms of two monosaccharide residues (No α or β anomers).

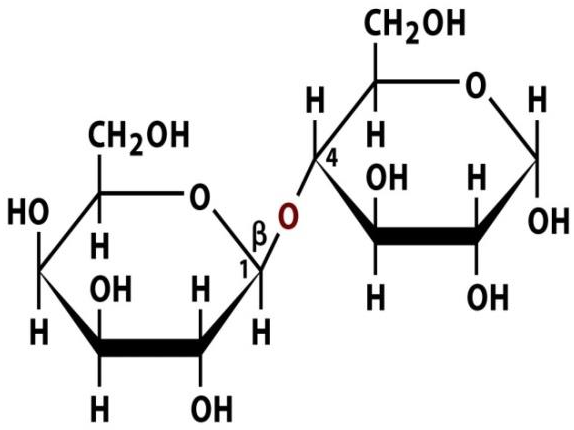
Structures of disaccharides



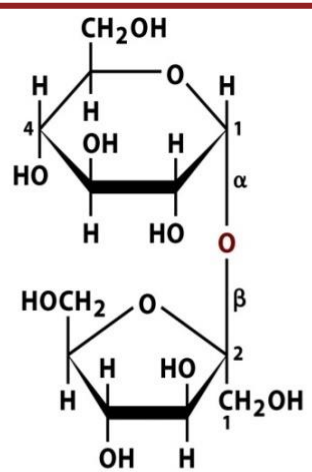
β anomer of maltose
(α-D-Glucopyranosyl-(1→4)-β-D-glucopyranose)



β anomer of cellobiose
(β-D-Glucopyranosyl-(1→4)-β-D-glucopyranose)



α anomer of lactose
(β-D-Galactopyranosyl-(1→4)-α-D-glucopyranose)



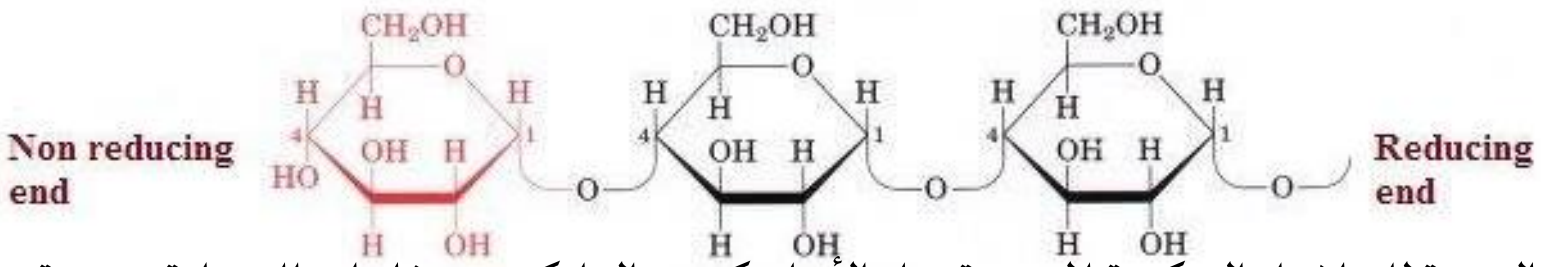
Sucrose
(α-D-Glucopyranosyl-(1→2)-β-D-fructofuranoside)

مفهوم السكاكر المرجعة Reducing sugars

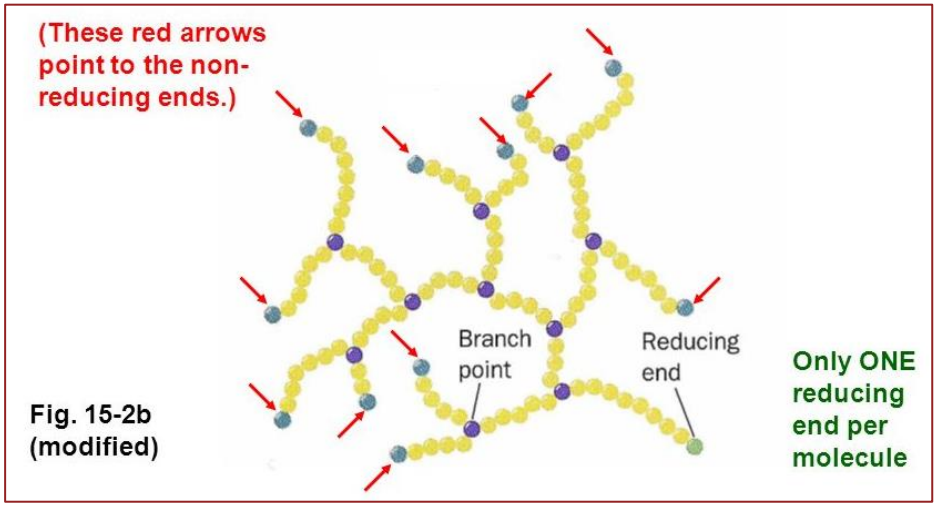
- يملك السكر خواص مرجعة عندما تكون زمرة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة الكربون الانوميرية حرة, أي جاهز للدخول في التفاعل.
- تعتبر السكاكر الأحادية ومعظم السكاكر الثنائية مثل: اللاكتوز, المالتوز والسيللوبيوز سكاكر مرجعة.
- **يستثنى من السكاكر الثنائية المرجعة السكروز** الذي لايملك مجموعة كربونيل حرة فعالة نظراً لكون ذرة الكربون الأنوميرية لكلا السكرين الاحاديين المكونين له مقيدة في الرابطة الغليكوزيدية.

(Sucrose does not have free hydroxyl group on its anomeric carbons to undergo reducing reaction).

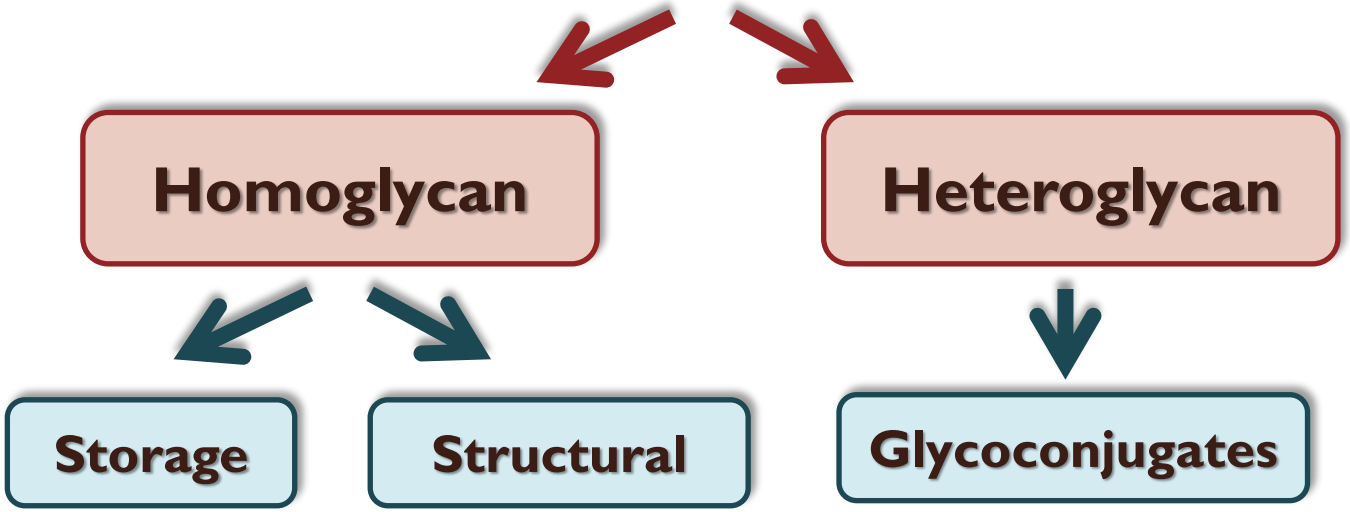
- جميع السلاسل السكرية الخطية المتعددة Polysaccharides وقليلة التعدد Oligosaccarides تملك نهاية مرجعة reducing end (وهي النهاية التي تملك ذرة كربون أنوميرية حرة) ونهاية غير مرجعة nonreducing end(وهي النهاية التي يكون فيها السكر الأحادي مشاركاً بتشكيل رابطة غليكوزيدية من خلال ذرته الأنوميرية).



- بالنسبة للسلاسل السكرية المتفرعة مثل الأميلوبكتين والغليكوجين, فإنها تملك نهاية مرجعة واحدة وتكون باقي نهايات الفروع غير مرجعة.



3) السكاكر المتعددة Polysaccharides:



A. سلاسل الغليكان المتجانسة **Homoglycan**: بوليمرات سكرية حاوية على نوع واحد من السكريات الأحادية, قد تكون تخزينية storage أو بنائية Structural.

B. سلاسل الغليكان المتغايرة **Heteroglycan**: بوليمرات سكرية حاوية على أكثر من نوع من السكريات الأحادية, تتواجد بشكل خاص في القرائن السكرية Glycocongugates مثل الببتيدوغليكان, البروتيوغليكان, الغليكوبروتين...

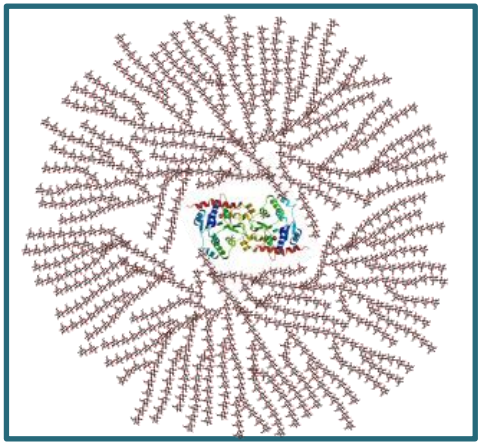
TABLE 8.2 Structures of some common polysaccharides

Polysaccharide[a]	Component(s)[b]	Linkage(s)
Storage homoglycans		
Starch		
Amylose	Glc	α-(1 → 4)
Amylopectin	Glc	α-(1 → 4), α-(1 → 6) (branches)
Glycogen	Glc	α-(1 → 4), α-(1 → 6) (branches)
Structural homoglycans		
Cellulose	Glc	β(1 → 4)
Chitin	GlcNAc	β(1 → 4)
Heteroglycans		
Glycosaminoglycans	Disaccharides (amino sugars, sugar acids)	Various
Hyaluronic acid	GlcUA and GlcNAc	β(1 → 3), β(1 → 4)

[a]Polysaccharides are unbranched unless otherwise indicated.
[b]Glc, Glucose; GlcNAc, *N*-acetylglucosamine; GlcUA, D-glucuronate.

A. سلاسل الغليكان المتجانسة التخزينية (النشاء والغليكوجين):

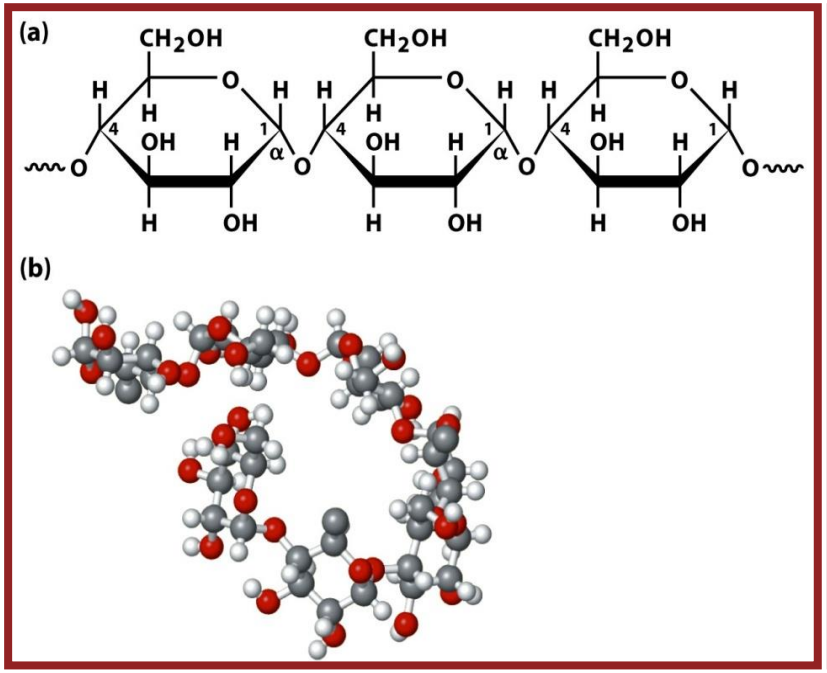
- يتخزن الغلوكوز لدى الفطور والنباتات على شكل نشاء **Starch**, وعلى شكل غليكوجين **glycogen** لدى الحيوانات, بينما يتواجد كل من النشاء والغليكوجين لدى البكتريا.
- **يتكون النشاء** من مزيج من نوعين من عديدات السكر تدعى **الأميلوز amylose** (سلسلة خطية غير متفرعة من جزيئات الغلوكوز) **والأميلوبكتين amylopectin** (سلاسل متفرعة من جزيئات الغلوكوز).



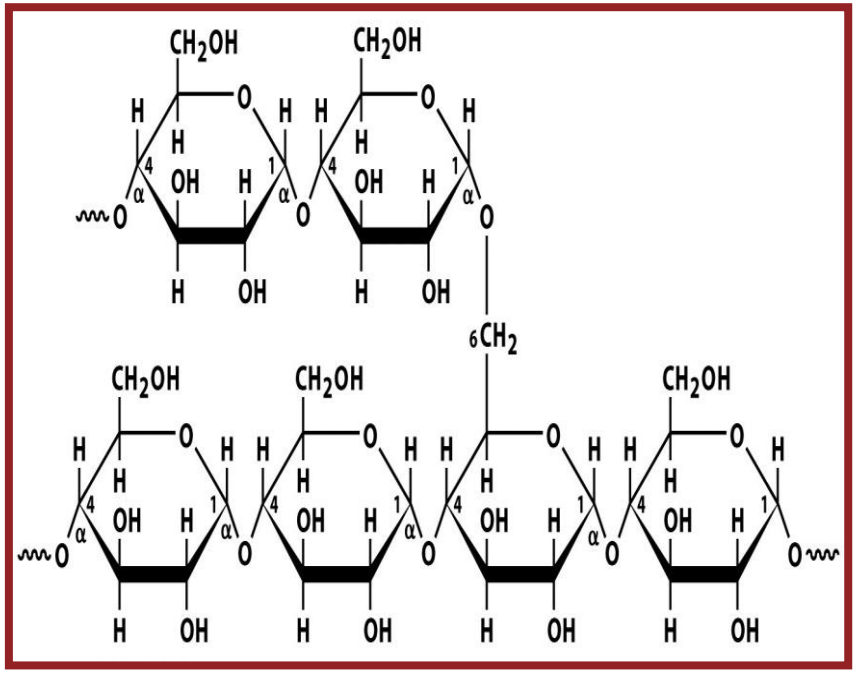
Glycogen molecule

- **يتكون الغليكوجين** من سلاسل متفرعة من الغلوكوز شبيهه بالأميلوبكتين إلا أن فروعها أقصر وأكثر تكرار.

Structure of amylose



Structure of amylopectin



The linear glucose residues of the main chain are linked by α(1 → 4) -glucosidic bonds.

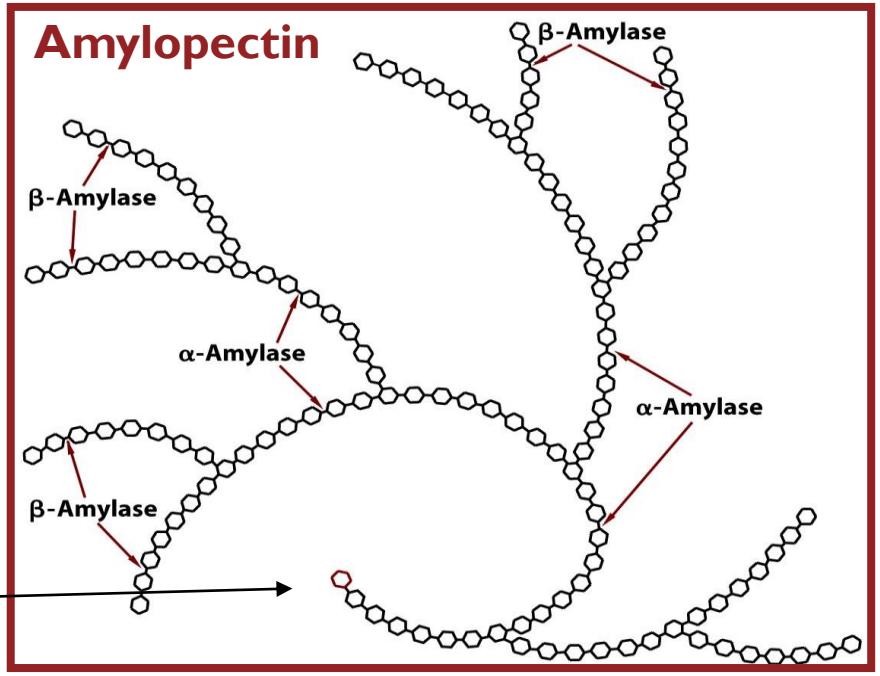
The linear glucose residues of the main chain and the side chains of amylopectin are linked by α(1 → 4)-glucosidic bonds, and the side chains are linked to the main chain by α(1 → 6)-glucosidic bonds.

Starch Vs Glycogen

	Starch (Plants and Fungi)		Glycogen (Animals)
	Amylose	**Amylopectin**	
Structure	Linear polymer of Glc	Branched polymer of Glc	Branched polymer of Glc (similar to amylopectin but branches are smaller and more frequent)
Likages	α(1→4)	➢ Main chain: α(1→4) ➢ At branch points: α(1→6)	➢ Main chain: α(1→4) ➢ At branch points: α(1→6)
Size	100-1000 Glc	300-6000 Glc	Large size than starch: about 50000 Glc

Starch digestion

Action of α-amylase and β-amylase



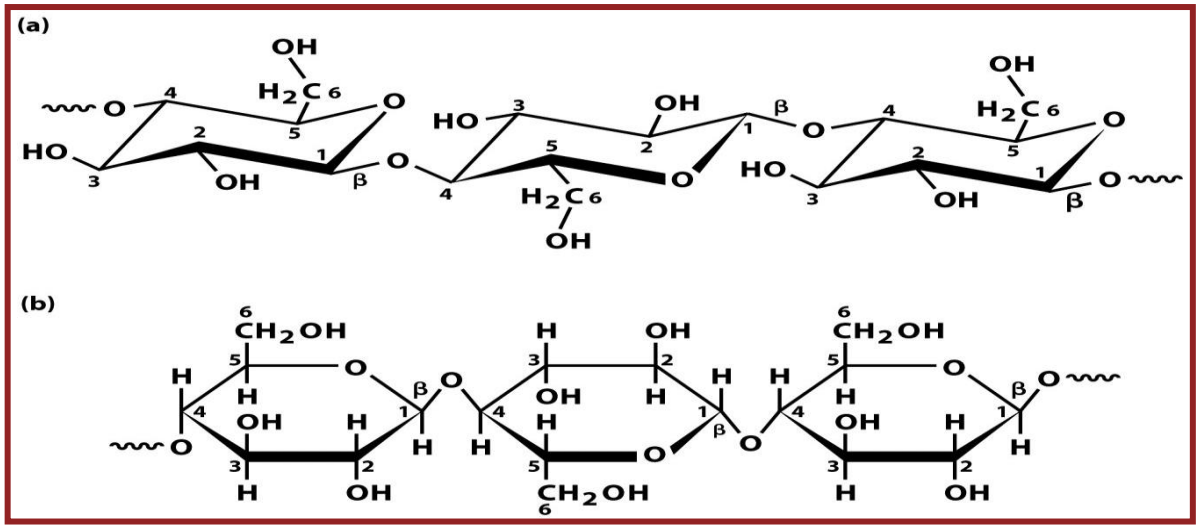
The single reducing end of the branched polymer is red

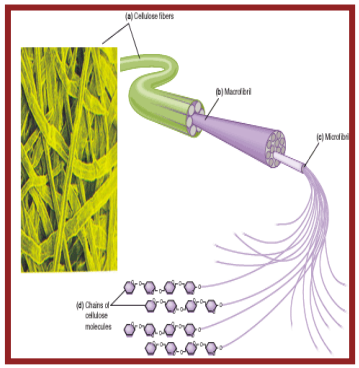
- Raw starch granules resist enzymatic hydrolysis and should be cooked in order to absorb water and be hydrolyzed.
- **α-amylase** catalyzes random hydrolysis of internal α-(1 → 4) glucosidic bonds. **β-amylase** acts on the non-reducing ends (terminal glycosidic bonds) releasing maltose.
- After amylase hydrolysis: highly branched cores called **limit dextrins** remain. **Debranching enzymes** catalyze hydrolysis of the α-(1 → 6) linkages at branch points.

B. سلاسل الغليكان المتجانسة البنيوية (السيللوزوالكيتين):

السيللوزCellulose

- **يعد السللوز** أهم عديدات السكر البنائية, وأكثر أنواع السكريات انتشاراً على سطح الكرة الأرضية.
- يعتبر السللوز المكون الأساسي لجدار الخلية الذي الذي يحيط بالعديد من الخلايا النباتية (لايتواجد لدى الحيوانات).



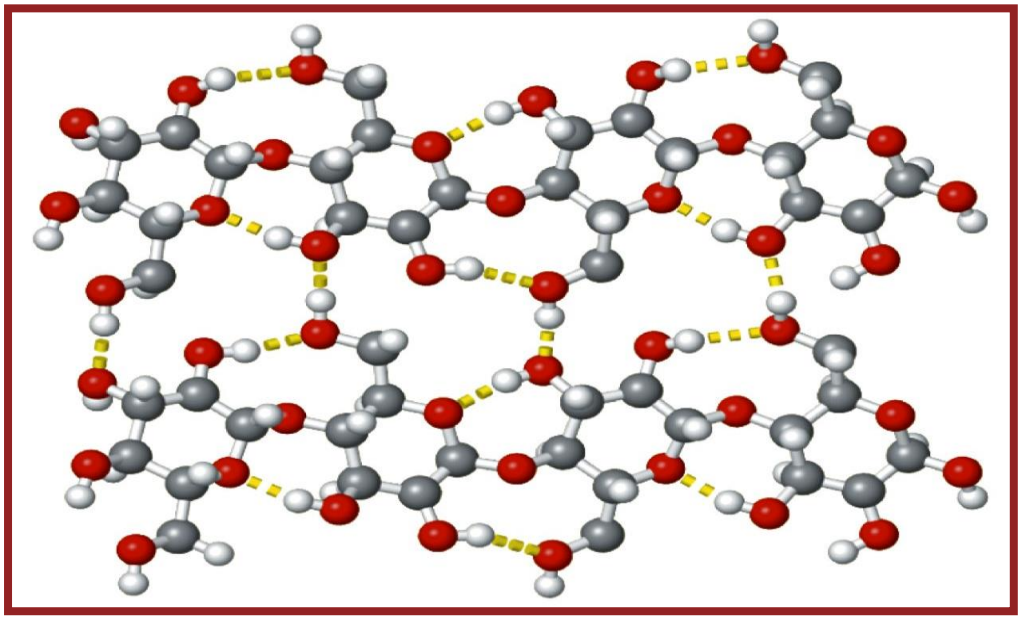


❖ سلسلة خطية بوليميرية من جزيئات الغلوكوز تشبه الأميلوز إلا أنها تختلف عنها بنوع الروابط الغليكوزيدية حيث أنها في السللوز من النمط $\beta(1\rightarrow4)$.

❖ يختلف كثيراً حجم جزيئة السللوز من نبات لآخر, حيث أنها تتراوح بين 300 لأكثر من 15000 جزيئة غلوكوز.

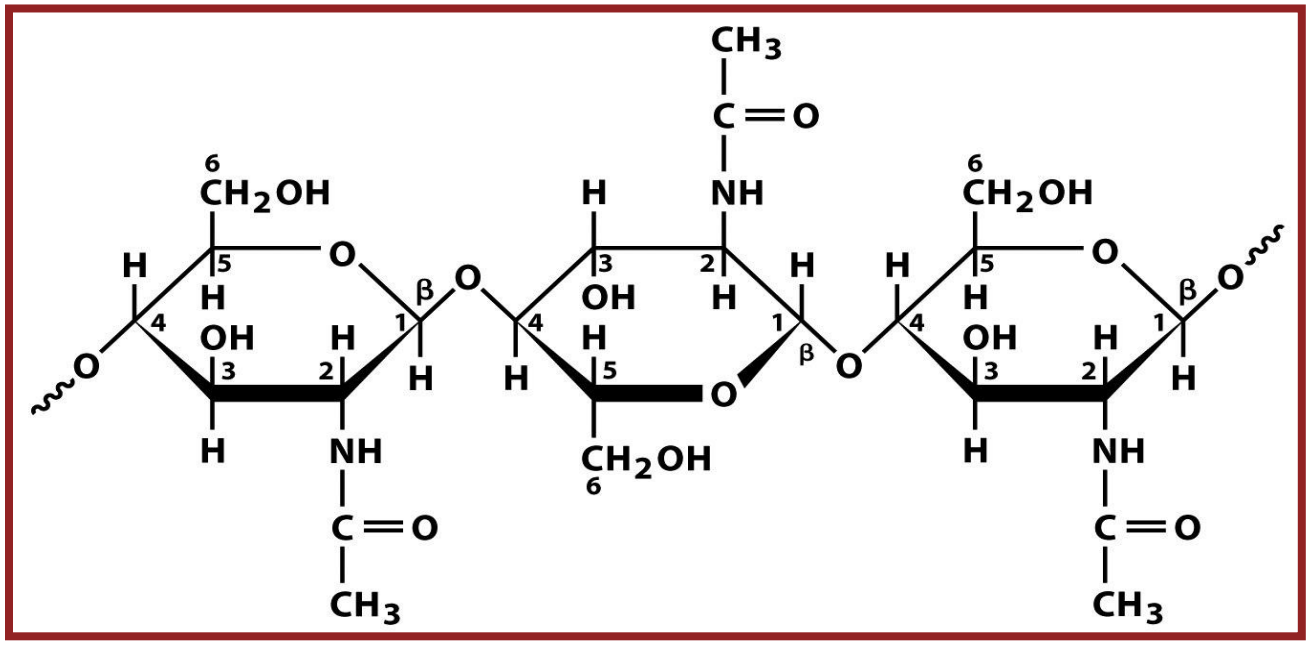
❖ تستطيع جزيئات السللوز أن تشكل العديد من **الروابط الهيدروجينية** داخل الجزيئية ومابين الجزيئات المتجاورة, مماسيسمح بتشكيل شبكة قاسية وصلبة من الخيوط السللوزية fibrils غير الحلولة في الماء.

Cellulose fibrils



الكيتين Chitin

- من عديدات السكر البنائية التي تتواجد في الهيكل الخارجي للحشرات والقشرانيات, وفي الجدار الخلوي لمعظم الفطور والطحالب.
- عبارة عن سلسلة خطية غير متفرعة من متماثرات N-أسيتيل الغلوكوز أمين GlcNAc التي ترتبط مع بعضها بروابط غليكوزيدية من النمط β(1→4).
- تستطيع جزيئات GlcNAc في السلاسل الكيتينية المتجاورة أن ترتبط مع بعضها البعض **بروابط هيدروجينية عديدة** مما يسمح بتشكيل شبكة ليفية ذات قساوة عالية.



Thank you
DO NOT TRUST
ATOMS
THEY MAKE UP
EVERYTHING
Hume A. Feldman
Astronomical Society of Kansas City
March 22, 2014

THE END