

# فصل پنجم: کربوهیدرات ها

## مقدمه:

2

- کربوهیدرات ها فراوان ترین ترکیبات آلی موجود در طبیعت هستند و ۷۵٪ ماده خشک گیاهان را تشکیل می دهد.
- اغلب دارای فرمول بسته  $C_n(H_2O)_n$  هستند و به همین دلیل به آنها کربوهیدرات گویند. (استثنا: داکسی ریبوز ، پکتین ، پلی اول ها)
- به دلیل فراوانی و ارزان بودن، تأمین کننده بخش اعظم انرژی در رژیم غذایی اکثر ساکنان زمین می باشند و در تغذیه دام و طیور نیز که خود مورد استفاده انسان است، نقش بسیار مهمی دارد.

## اهمیت کربوهیدرات ها

3

| در موجودات زنده                                     | در صنعت مواد غذایی |
|-----------------------------------------------------|--------------------|
| تأمین انرژی                                         | شیرین کننده        |
| ذخیره انرژی                                         | تشکیل ژل           |
| شرکت در ساختمان غشا سلولی ، بافت ها و ....          | تغلیظ کننده        |
| بهبود عملکرد دستگاه گوارش توسط فیبرهای غیر قابل هضم | تشکیل خمیر         |

## مونوساکاریدها

4

- مونوساکاریدها کربوهیدرات هایی هستند که بر اثر هیدرولیز به کربوهیدرات های ساده تر هیدرولیز نمی شوند به همین دلیل به آنها قندهای ساده نیز گویند.
- (simple sugar)
- تعداد کربن های مونوساکارید ۳-۴-۵-۶-۷ است که به ترتیب triose ، tetrose، pentose ، hexose و heptose گفته می شوند.
- این ترکیبات به سادگی متبلور می شوند.
- محلول در آب، کم محلول در الکل و نامحلول در در اتر هستند.
- قابل انتشار هستند.
- عمدتاً شیرین هستند.

# Monoosaccharide

Aldose    6C: glucose, mannose  
              5C: ribose, xylose, arabinose  
              4C: erythrose, threose  
              3C: glyceraldehyde

Ketose    6C: fructose, sorbose  
              5C: erythropentulose

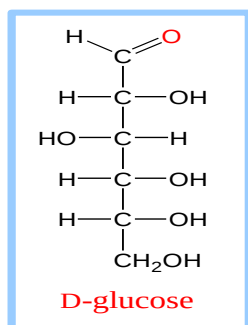
5

## ساختمان مونوساکارید ها

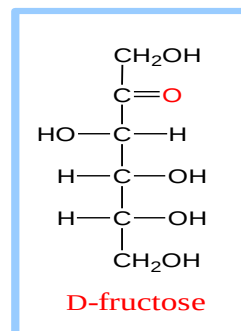
6

□ از دیدگاه ساختمانی، پلی اول هایی هستند که یک گروه الکلی به گروه آلدهیدی یا کتونی تبدیل شده است.

**Aldoses** (e.g., glucose) have an **aldehyde** group at one end.



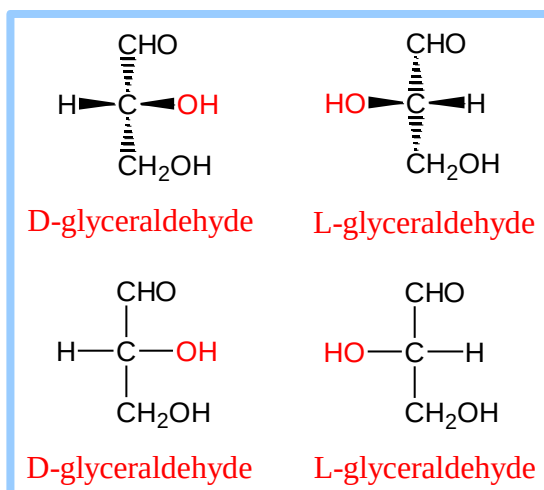
**Ketoses** (e.g., fructose) have a **keto** group, usually at C2.



## D vs L Designation

D & L designations are based on the configuration about the single asymmetric C in **glyceraldehyde**.

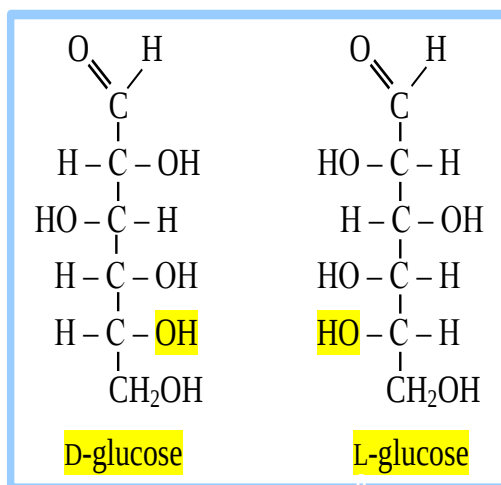
The lower representations are **Fischer Projections**.



## Sugar Nomenclature

For sugars with more than one chiral center, **D** or **L** refers to the asymmetric **C** farthest from the aldehyde or keto group.

Most naturally occurring sugars are D isomers.

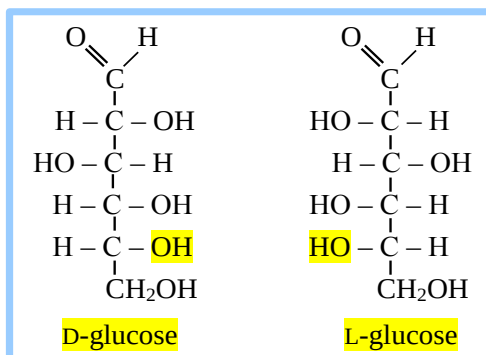


9

D & L sugars are mirror images of one another.

They have the **same name**, e.g., D-glucose & L-glucose.

**Other stereoisomers** have **unique names**, e.g., glucose, mannose, galactose, etc.



The number of stereoisomers is  $2^n$ , where  $n$  is the number of asymmetric centers.

The 6-C aldoses have 4 asymmetric centers. Thus there are **16 stereoisomers** (8 D-sugars and 8 L-sugars).

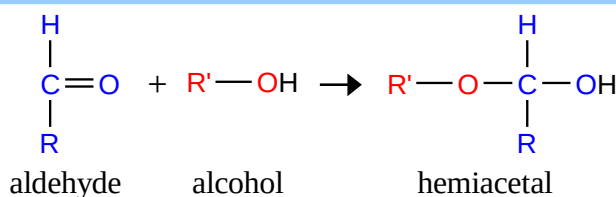
## اشکال حلقوی قندها

10

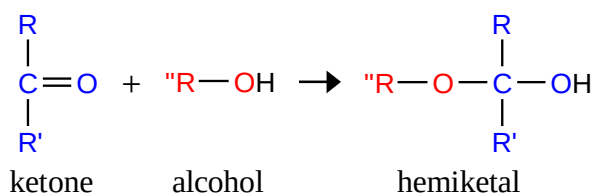
- مونوساکاریدهایی که تعداد کربن آنها ۵ یا بیشتر است، بالغ بر ۹۹٪ آنها از فرم زنجیره ای به فرم حلقوی در می آیند.
- حلقوی شدن به دلیل حضور گروه فعال کربونیل و واکنش آن با گروه های هیدروکسیل است.
- همی استال ها و همی کتال ها محصول ترکیب یک گروه هیدروکسیل با گروه کربونیل است.

## Hemiacetal & hemiketal formation

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



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



## نمایش ساختار حلقوی قندها

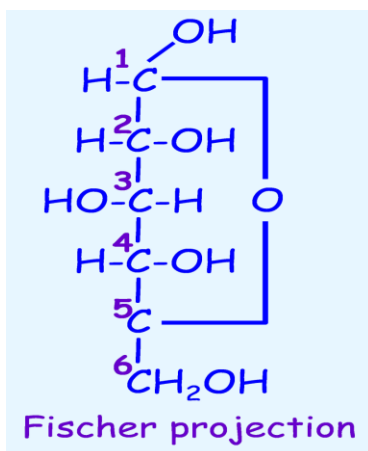
12

برای نمایش دادن ساختار حلقوی قندها از سه مدل استفاده می شود:

- طرح فیشر (Fischer projection)
- طرح هاورث (Haworth projection)
- طرح کنفرماسیونی (Conformational projection)

# (Fischer projection)

13

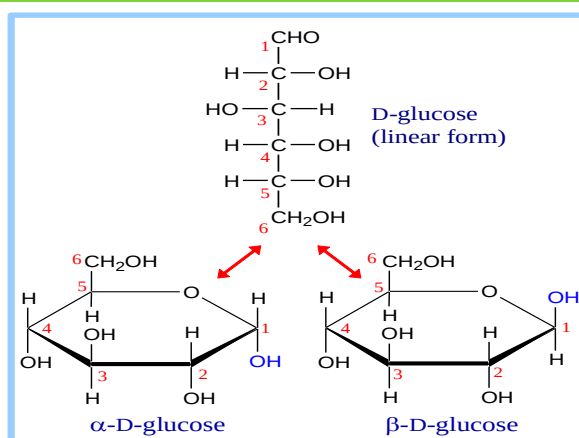


□ در این طرح، زنجیره کربنی را به صورت عمودی به گونه ای که کربن شماره 1 بالا باشد، رسم می کنیم.

# (Hawth projection)

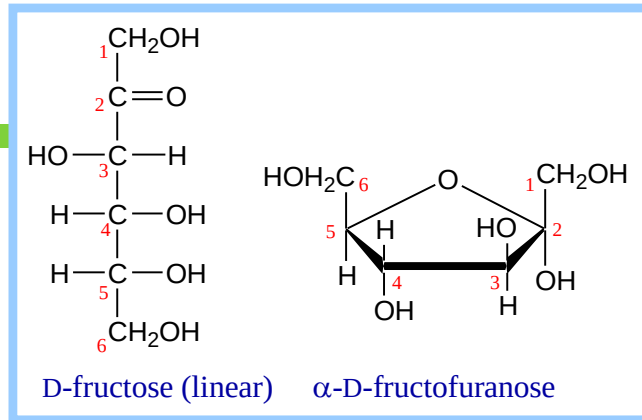
Pentoses and hexoses can **cyclize** as the ketone or aldehyde reacts with a distal OH.

**Glucose** forms an intramolecular hemiacetal, as the C1 aldehyde & C5 OH react, to form a **6-member pyranose ring**, named after pyran.



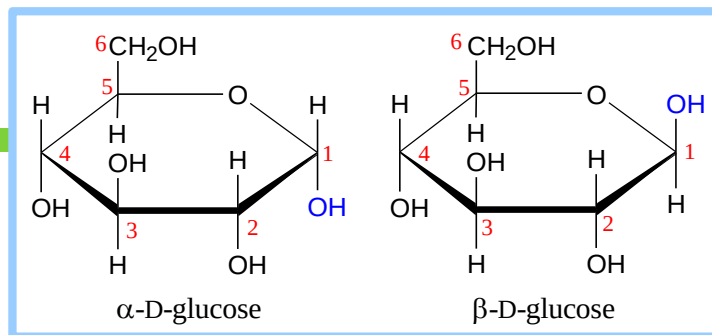
These representations of the cyclic sugars are called **Haworth** projections.

15



Fructose forms either

- a 6-member pyranose ring, by reaction of the C2 keto group with the OH on C6, or
- a 5-member furanose ring, by reaction of the C2 keto group with the OH on C5.



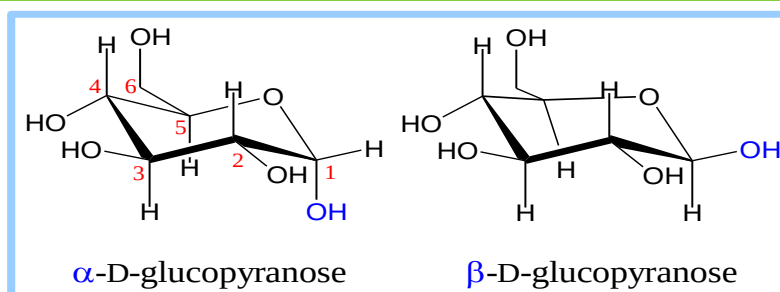
Cyclization of glucose produces a new **asymmetric center** at **C1**. The 2 stereoisomers are called **anomers**, α & β.

Haworth projections represent the cyclic sugars as having essentially planar rings, with the OH at the anomeric C1:

- α (OH **below** the ring)
- β (OH **above** the ring).



# (Conformational projection)



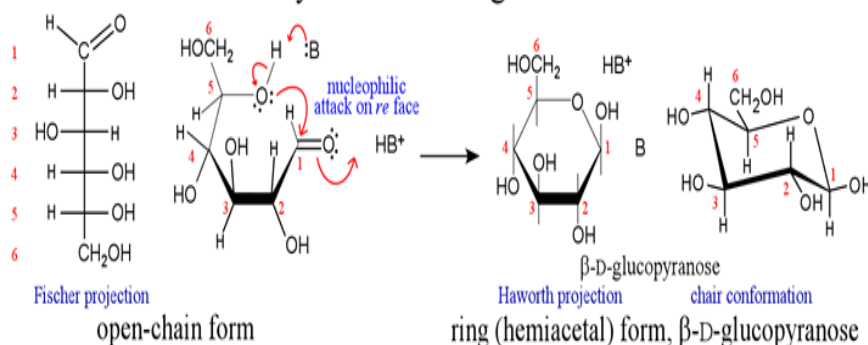
Because of the tetrahedral nature of carbon bonds, pyranose sugars actually assume a "chair" or "boat" configuration, depending on the sugar.

The representation above reflects the chair configuration of the glucopyranose ring more accurately than the Haworth projection.

## چگونگی حلقوی شدن مونوساکاریدها

18

### cyclization of D-glucose



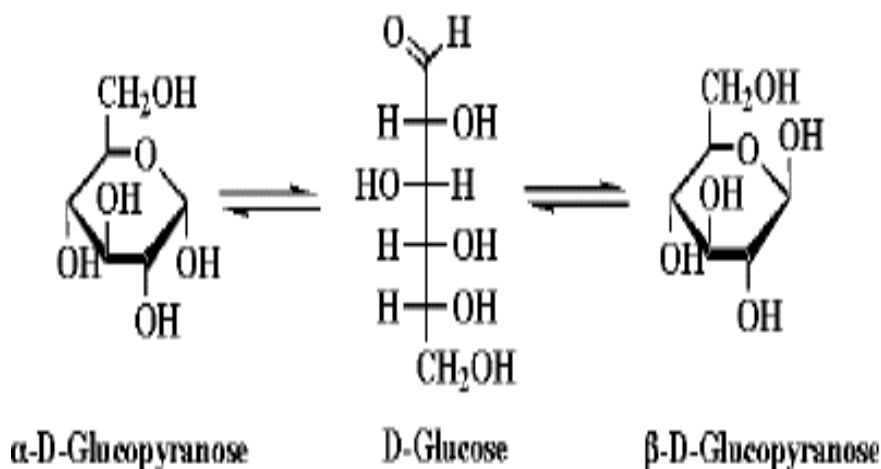
## موتاروتاسیون

19

- یک محلول قندی گلوکز در پلاریمتر چرخش مخصوصی برابر  $+ ۱۱۲/۲$  درجه دارد (آلفا-گلوکز) که پس از مدتی کاهش یافته و سرانجام به  $+۵۲/۷$  رسیده و ثابت می ماند.
- در این محلول گلوکزی با درجه چرخش  $+۱۸/۷$  نیز یافت شد که پس از افزایش درجه چرخش به به  $+۵۲/۷$  می رسد. این قند را بتا - گلوکز نامیدند.
- این دو شکل از گلوکز به سادگی در محلول ها به یکدیگر تبدیل می شوند و در حال تعادل هستند.
- در حالت تعادل، معمولاً  $۳۴\%$   $\alpha$ -گلوکز و  $۶۶\%$   $\beta$ -گلوکز در محیط وجود دارد. مقادیر بسیار اندک ( $۰/۰۰۶\%$ ) نیز فرم زنجیره ای باز گلوکز دیده می شود که نقش واسطه ای را در تبدیل  $\alpha$  به  $\beta$  و بالعکس ایفا می کند.

## Mutarotation

20



## واکنش های شیمیایی مونوساکاریدها (مشتقات قندی)

21



## 1- Deoxy sugars

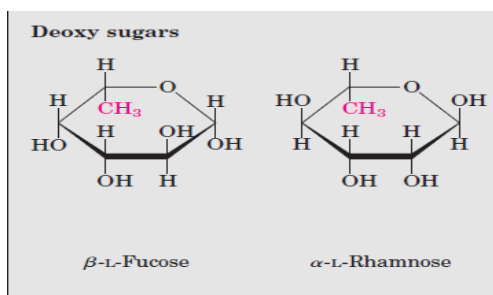
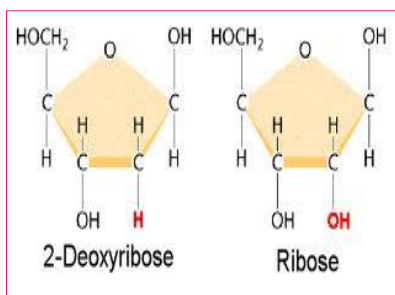
22

□ این قندها یکی از اکسیژن های خود را از دست داده اند.

داکسی ریبوز (اسیدهای نوکلئیک)

رامنوز (بافت های غضروفی و جلبک)

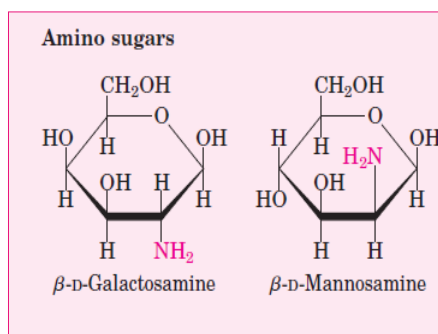
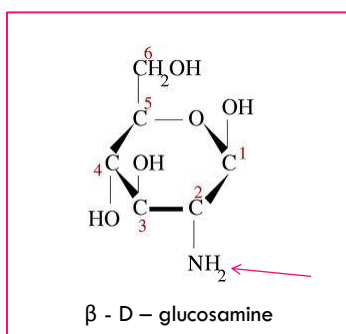
فوکوز (پلی ساکاریدهای شیر)



## 2- Amino sugars

23

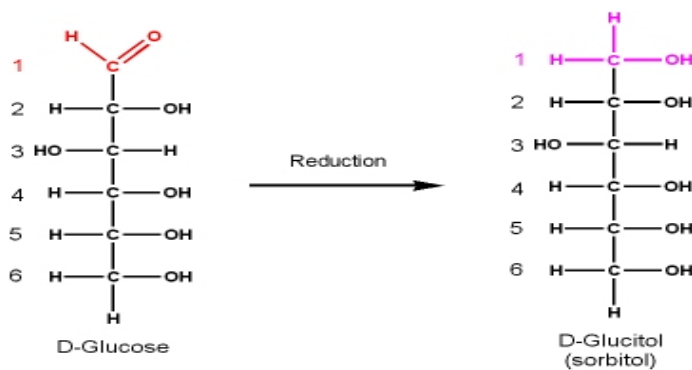
در صورتی که گروه آمین جایگزین گروه هیدروکسیل متصل به کربن شماره ۲ در مولکول قند شود، قند آمینه به وجود می آید.  
گلوکز آمین - گالاکتوز آمین - مانوز آمین



## 3- Sugar alcohols

24

عوامل کربونیلی در مونوساکاریدها را می توان با بکارگیری مواد احیا کننده، به الکل های مربوطه تبدیل نمود.



## 4- Sugar acids

25

□ این گروه شامل سه دسته زیر هستند:

### اسیدهای آلدونیک

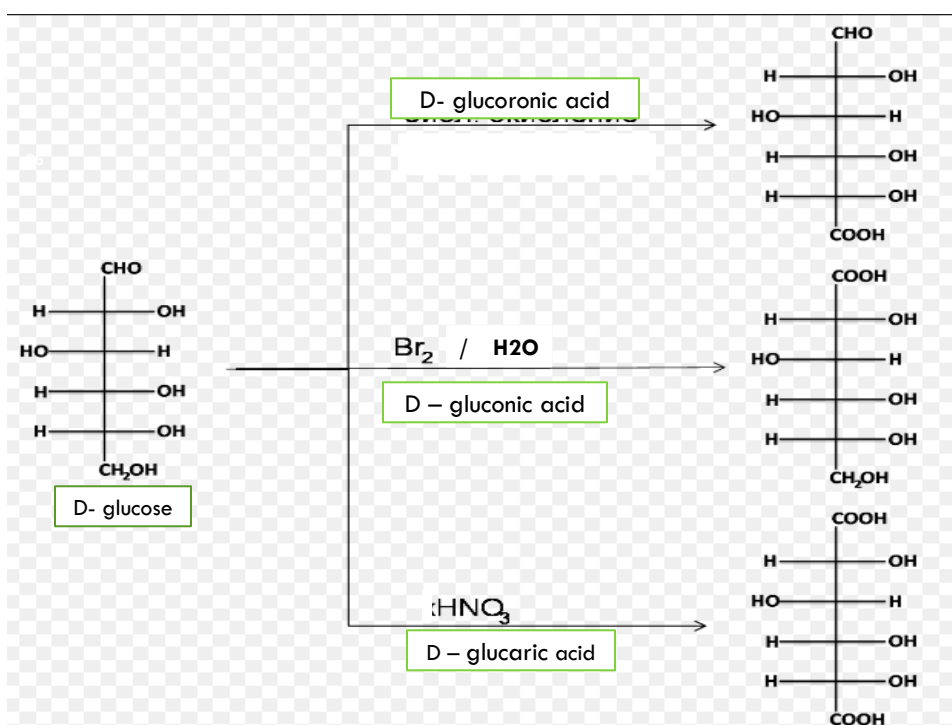
- اکسیداسیون عامل آلدهیدی آلدوزها تحت شرایط ملایم
- تبدیل گلوکز به اسید گلوکونیک

### اسیدهای اوروک

- اکسیداسیون گروه  $\text{CH}_2\text{OH}$  (آخرین کربن مونوساکارید)
- تبدیل گالاکتوز به اسید گالاکتورونیک (پکتین)

### اسیدهای آلداریک

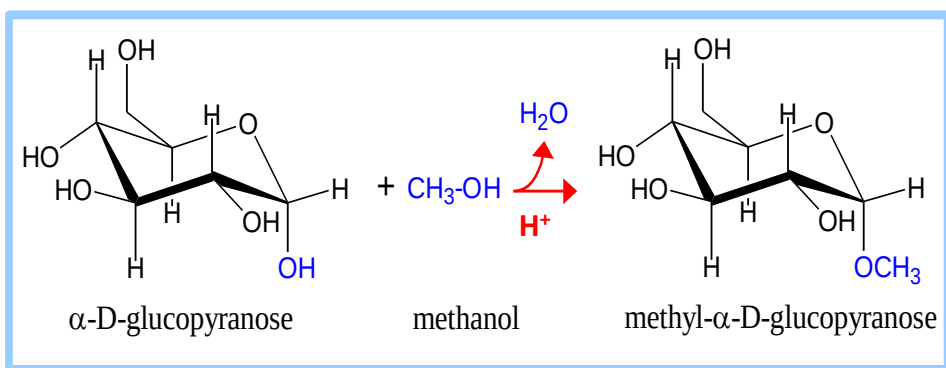
- اکسیداسیون عامل آلدهیدی و گروه  $\text{CH}_2\text{OH}$  همزمان
- تحت شرایط اکسید کننده قوی
- تبدیل گلوکز به اسید گلوکاریک



## 5- Glycosides

27

□ گروه کربونیل قند ها می تواند در یک محیط اسیدی ملایم با الکل ترکیب شود و با از دست دادن یک مولکول آب تولید گلیکوزید نماید.



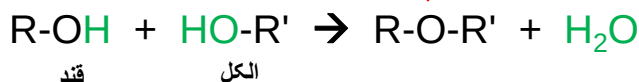
Aglicon: بخش الکلی گلیکوزید (اگر الکل غیر قندی باشد)

Glycosyl Residue: بخش قندی گلیکوزید

گلیکوزید

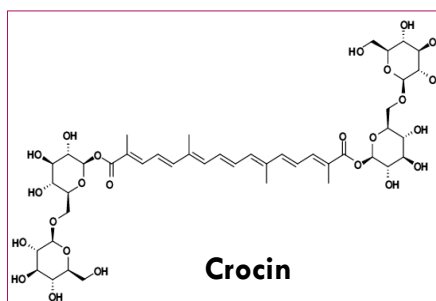
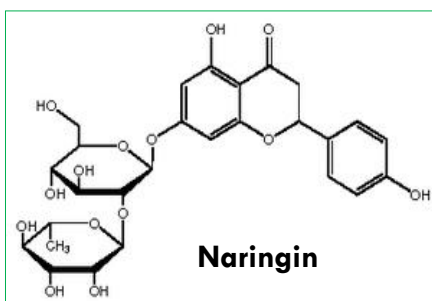
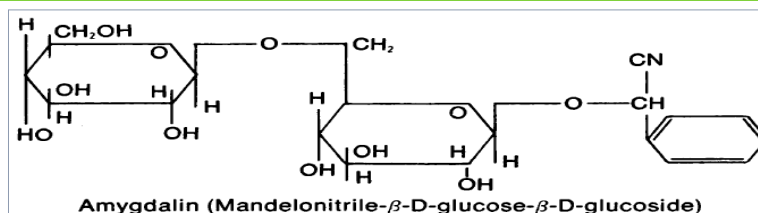
پیوند بین قند و الکل از طریق پیوند گلیکوزیدی (glycosidic bond) برقرار می شود. پیوند گلیکوزیدی به حرارت و اسید حساس ولی نسبت به قلیا مقاوم است.

پیوند گلیکوزیدی



## نمونه هایی از گلیکوزیدهای موجود در طبیعت

29



## الیگوساکاریدها

30

- چنانچه تعداد مونوساکاریدها در یک کربوهیدرات از ۲ تا ۱۰ واحد باشد، چنین کربوهیدراتی را الیگوساکارید گویند.
- این واحدها توسط پیوند گلیکوزیدی به هم متصل می شوند.
- الیگوساکاریدها می توانند از واحدهای همو یا هترو تشکیل شوند (واحدهای ساختمانی یکسان یا غیر یکسان).



Hetero oligosaccharide

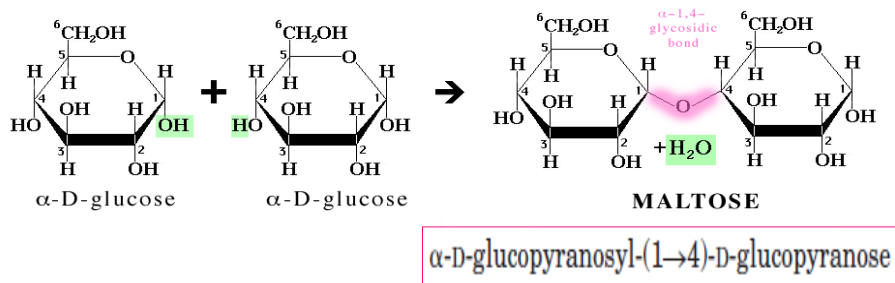


Hetero oligosaccharide

# A. Maltose

31

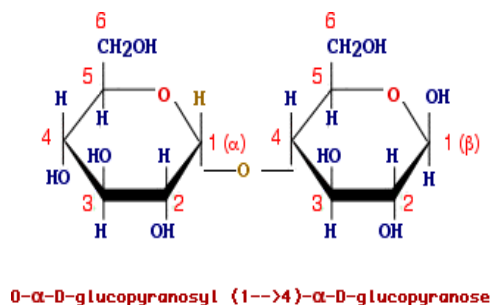
- a cleavage product of starch (e.g., amylose), is a disaccharide with an  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  glycosidic link between C1 - C4 OH of 2 glucoses.
- It is the  $\alpha$  anomer (C1 O points down).



\* نکته:

32

برای نامگذاری دی ساکاریدها، از انتهای غیر احیا کننده نامگذاری را شروع می کنیم و موارد زیر را به ترتیب مشخص می کنیم:



□ نوع پیوند گلیکوزیدی (O-N-S)

□ نوع  $\alpha$  یا  $\beta$  بودن عامل پیوندی

□ D یا L بودن قند

□ نام قند

□ اندازه حلقه قند (۵ کربنی یا ۶ کربنی)

□ شماره کربن های پیوندی

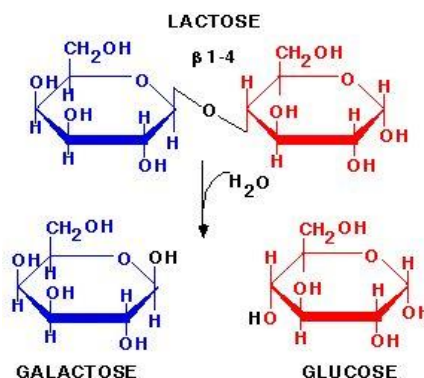
□ نام قند دوم (تمام مشخصات مانند قند اول ذکر می شود)



## B. Lactose

33

- **Lactose**, milk sugar, is composed of **galactose** & **glucose**, with  $\beta(1 \rightarrow 4)$  linkage from the anomeric OH of galactose.

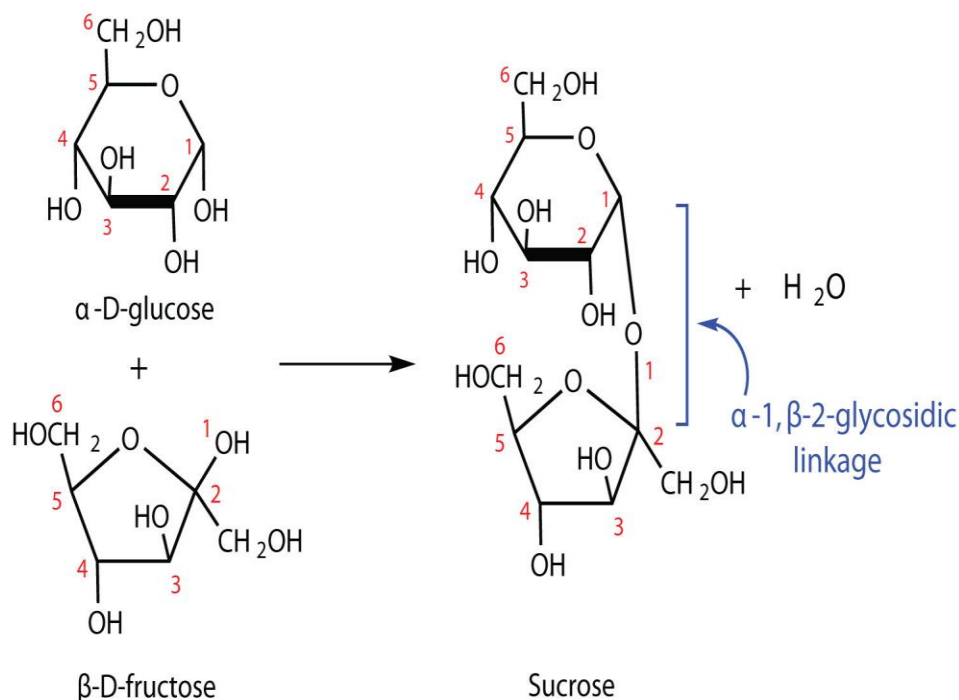


Its full name is  $\beta$ -D-galactopyranosyl-(1  $\rightarrow$  4)- $\alpha$ -D-glucopyranose

## C. Sucrose

34

- **Sucrose**, common table sugar, has a glycosidic bond linking the anomeric hydroxyls of **glucose** & **fructose**.
- Because the configuration at the anomeric C of glucose is  $\alpha$  (O points down from ring), the linkage is  $\alpha(1 \rightarrow 2)$ .
- The full name of sucrose is  $\alpha$ -D-glucoopyransyl-(1  $\rightarrow$  2)- $\beta$ -D-fructofurano**side**



## قند انورت (Invert sugar)

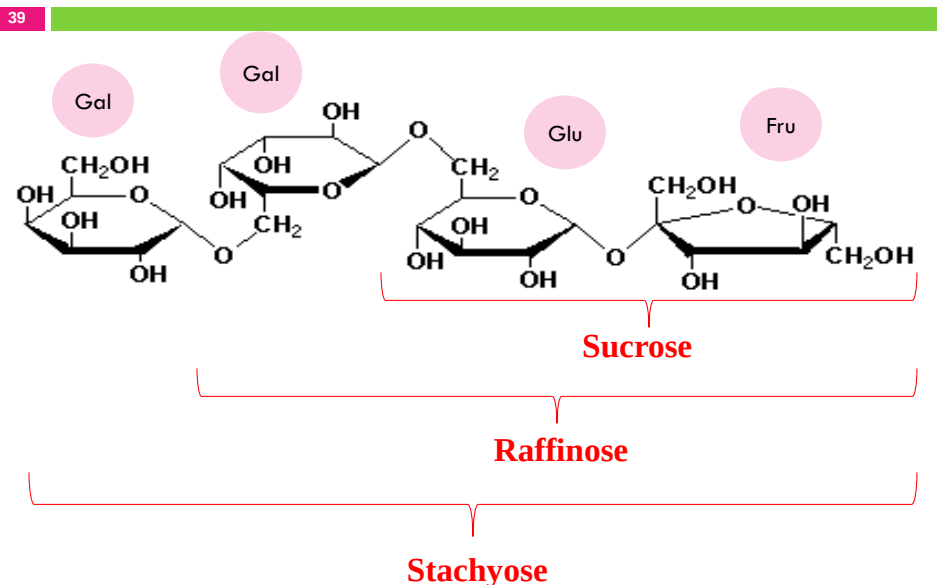
36

□ ساکاروز قندی غیر احیا کننده است. چنانچه پیوند گلیکوزیدی بین فروکتوز و گلوکز در ساکاروز توسط اسید یا حرارت شکسته شود، دو مونوساکارید مذکور آزاد شده و مجدداً خاصیت احیا کنندگی خود را باز می یابند. به محلول حاصل قند انورت گویند.

□ دلیل این نامگذاری این است که پس از تجزیه، جهت چرخش مخصوص در پلاریمتر تغییر می کند. یعنی در حالیکه چرخش مخصوص برای ساکاروز  $+66/5$  است، پس از هیدرولیز رقم مربوطه به  $-19/5$  تغییر می یابد.



## دیگر اولیگوساکاریدهای مهم در مواد غذایی



## پلی ساکاریدها

- 40
- چنانچه تعداد واحدهای قندی در یک کربوهیدرات بیش از ۱۰ واحد باشد، آن ترکیب قندی پلی ساکارید نامیده می شود.
  - تعداد واحدهای قندی را تحت عنوان DP (Degree of polymerization) می شناسند.
  - اکثر پلی ساکاریدهای موجود در طبیعت  $DP > 100$  دارند.
  - پلی ساکاریدها می توانند به دو شکل خطی (Linear) و یا منشعب (Branched) باشند.
  - پلی ساکاریدها می توانند به صورت همپولی ساکارید و یا هتروپولی ساکارید وجود داشته باشند.

## ۱- نشاسته (Starch)

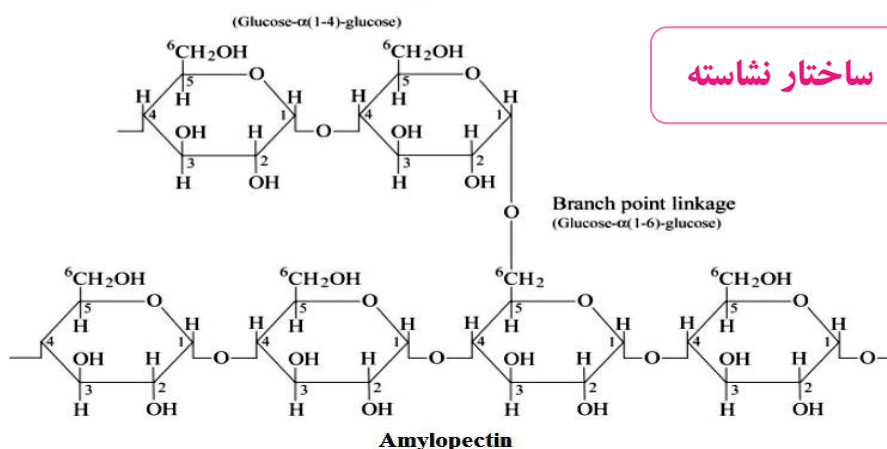
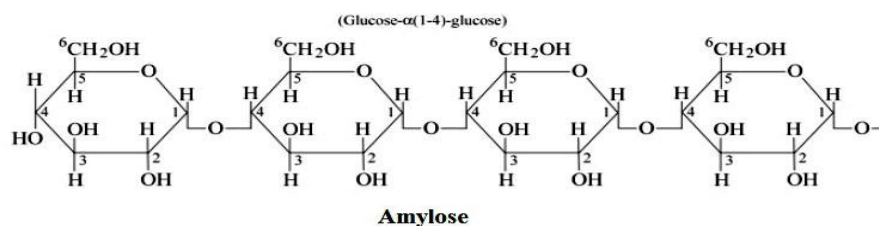
41

□ نشاسته پلیمری از مولکول های گلوکز است که به عنوان فراوان ترین ماده در رژیم غذایی انسان شناخته می شود.

□ از دیدگاه ساختمانی شامل دو بخش زیر است:

۱- آمیلوز (Amylose): پلیمر خطی گلوکز با پیوند  $\alpha(1\rightarrow4)$

۲- آمیلوپکتین (Amylopectin): پلیمر منشعب گلوکز با پیوند های  $\alpha(1\rightarrow6)$  و  $\alpha(1\rightarrow4)$  در محل اتصال شاخه به آمیلوز

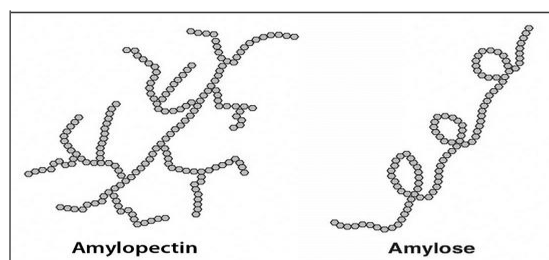


ساختار نشاسته

43

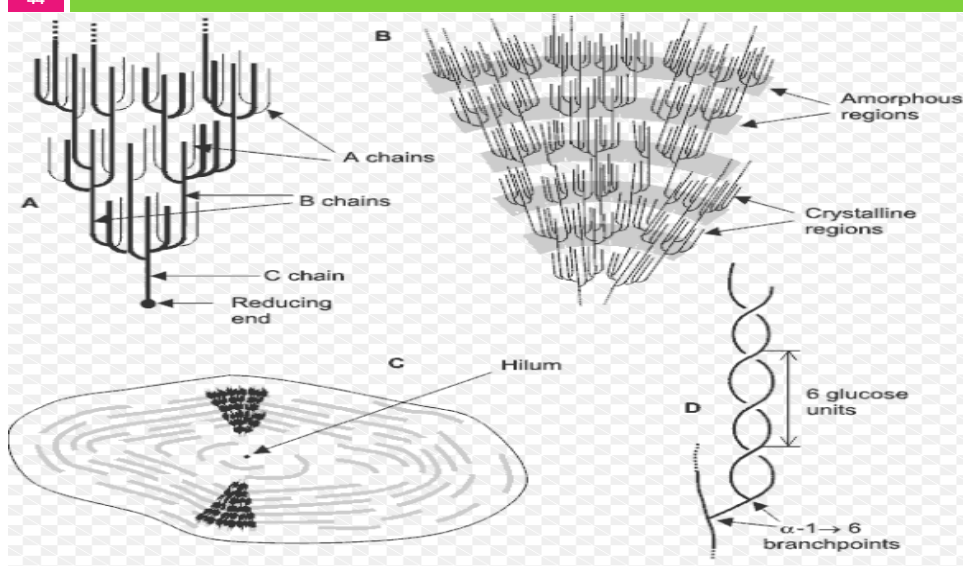
□ آمیلوز ساختاری مارپیچی دارد که در هر دور آن ۷-۸ عدد گلوکز قرار دارد.

□ آمیلوپکتین قسمت شاخه دار نشاسته است که در محل شاخه به زنجیره یک ایزومالتوز قرار دارد. شاخه ها در آمیلوپکتین کوتاه و معمولاً دارای ۲۰-۳۰ گلوکز است. ساختمان آمیلوپکتین "منگوله شکل" می باشد.



## ساختار آمیلوپکتین

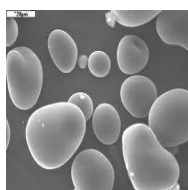
44



## خصوصیات فیزیکی نشاسته

45

- نشاسته در گیاهان به صورت گرانول های کوچکی با قطر ۲-۱۰۰ میکرون دیده می شوند.
- شکل این گرانول ها در منابع مختلف ، متفاوت است و به صورت گرد، بیضی و یا چند وجهی دیده می شود.



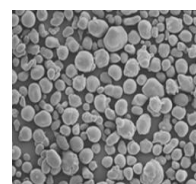
potato



Rice



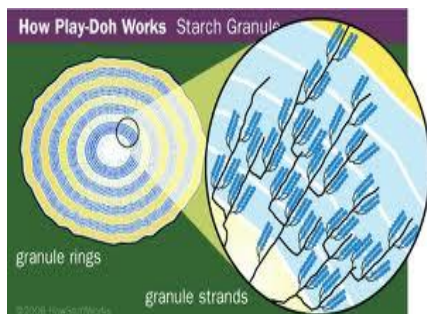
Wheat



Corn

46

- این گرانول ها اغلب دارای یک مبدأ مرکزی موسوم به هیلوم (Hilum) هستند که اکثراً توسط حلقه های متحدالمرکزی احاطه شده اند.
- مهمترین منبع نشاسته ، ذرت است اما نشاسته گندم، برنج، سیب زمینی و کاساوا نیز تولید و به بازار عرضه می گردد.



- بزرگترین گرانول مربوط به سیب زمینی و کوچکترین آن متعلق به برنج است.

## جذب آب و تورم نشاسته

47

- نشاسته در آب سرد حل نمی شود و جذب آب و تورم کمی دارد.
- با افزایش دما، قدرت نفوذ آب به مولکول نشاسته بیشتر شده و جذب آب، تورم و بالطبع حلالیت بیشتر می شود.
- دمای ژلاتینه شدن (Gelatination temprature)، حداکثر دمایی است که فرایند حلالیت نشاسته با تغییرات دما برگشت پذیر است. اما در دماهای بالاتر از آن، نظم کریستالی نشاسته برهم خورده و تورم ناگهانی دیده می شود.
- در دمای بالاتر از دمای ژلاتینه شدن، اجزایی از گرانول نشاسته مثل آمیلوز از ساختمان نشاسته جدا می شود.

## ژل دهی و رتروگراداسیون نشاسته

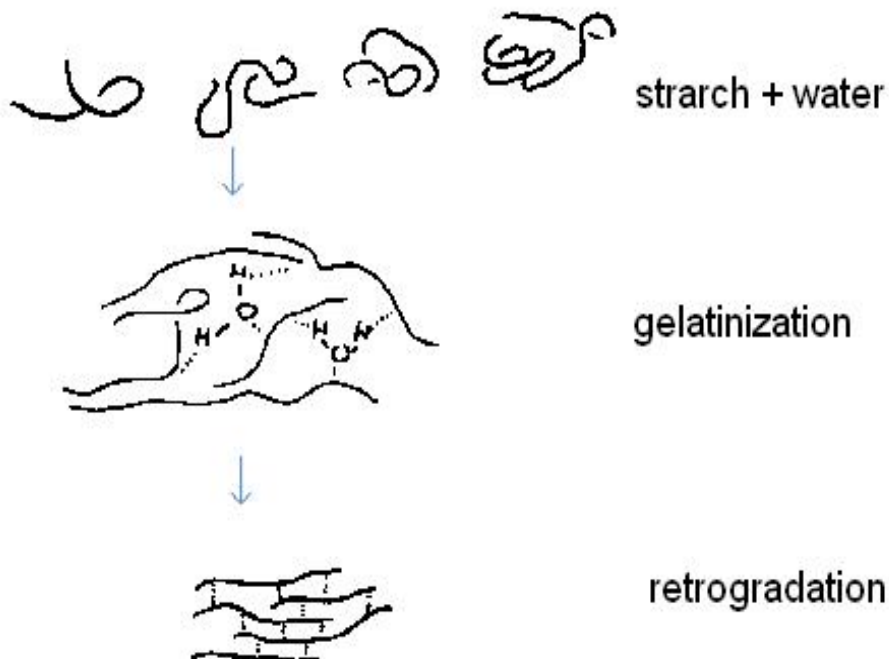
48

**آرام خنک کردن:** مولکول آمیلوز فرصت کافی برای برگشت به نظم قبلی را دارد.  
(Retrogradation)

**سریع خنک کردن:** مولکول آمیلوز فرصت کافی برای برگشت به نظم قبلی را ندارد و به طور تصادفی باهم اتصال برقرار کرده و ساختار متخلخلی را پدید می آورند که می تواند فاز مایع را در داخل خود به دام اندازد.  
(Gelation)

محلول نشاسته در دمای بالاتر از دمای ژلاتینه شدن قبل از ترکیدن گرانول نشاسته

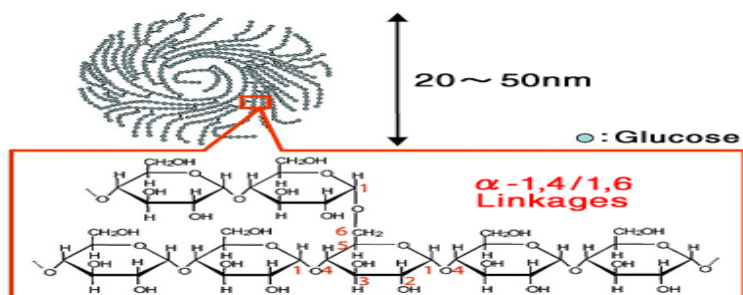




## ۲- گلیکوژن (Glycogen)

50

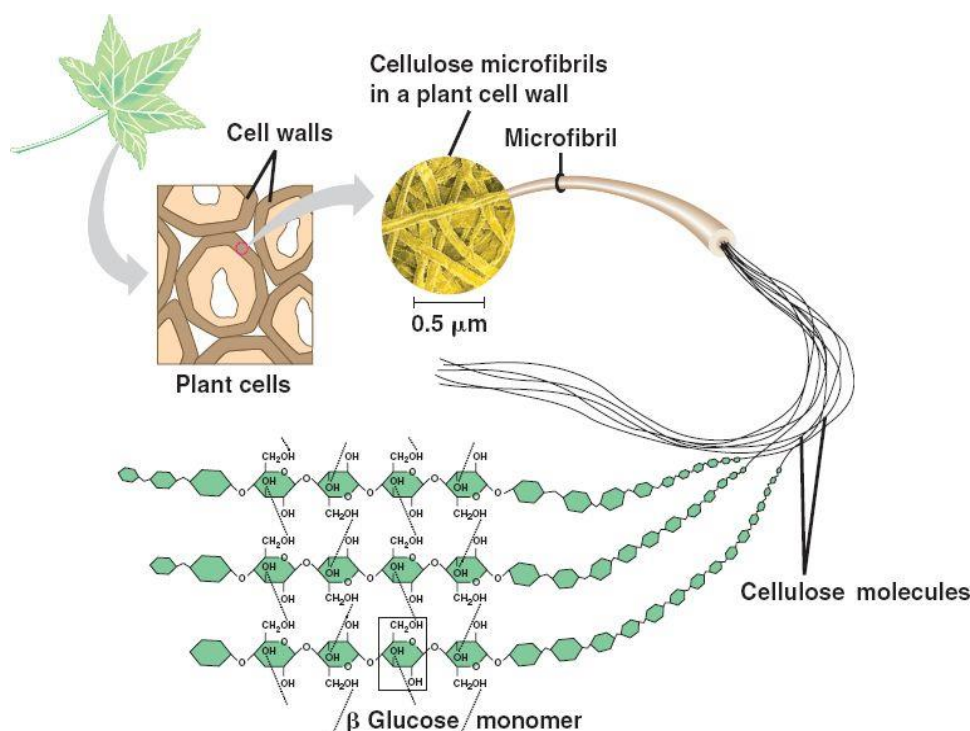
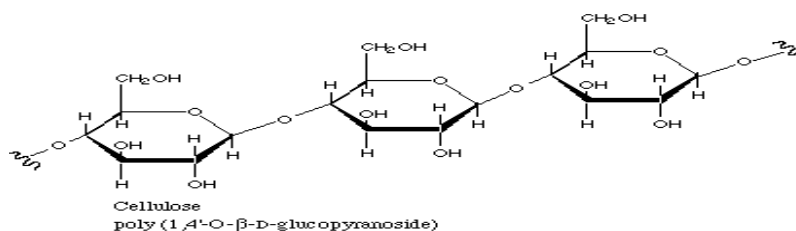
- به عنوان پلی ساکارید ذخیره ای حیوانات محسوب می شود.
- از نظر ساختمانی مشابه آمیلوپکتین است با این تفاوت که وزن مولکولی آن بیشتر و انشعابات گسترده تری از آن دارد.



### ۳- سلولز (Cellulose)

51

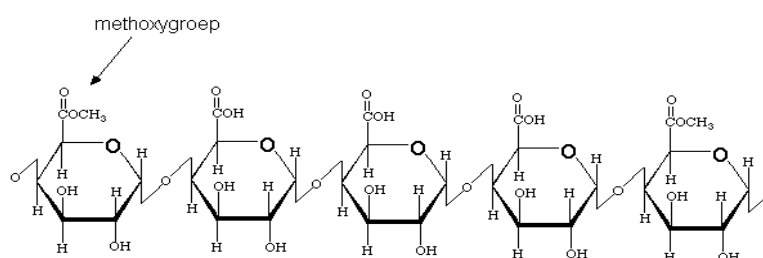
- پلیمری خطی از مولکول های گلوکز با پیوند  $\beta(1 \rightarrow 4)$  است که در ساختمان دیوار سلول های گیاهی به وفور دیده می شود.
- سلولز از نظر ساختمانی از رشته های موازی تشکیل شده است که با پیوندهای هیدروژنی در کنار هم قرار گرفته اند، به همین دلیل ساختار منظم و کریستالی دارند که این امر موجب مقاومت بالای آن شده است.
- سلولز در آب نامحلول است.



## ۴- پکتین (Pectin)

53

- پکتین جز مواد اصلی تشکیل دهنده دیواره سلول گیاهی است.
- پلیمری از اسید گالاتورونیک با پیوند  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  است که عامل کربوکسیل آن به میزان زیادی با متانول پیوند استری داده است.
- از پکتین جهت ایجاد ویسکوزیته، پایداری، تعلیق مواد غذایی و قوام در سیستم های غذایی و مشخصاً تشکیل ژل استفاده می شود.



## ۵- صمغ ها (Gums)

54

پلی ساکاریدهای محلول در آبی هستند که جذب آب بالایی دارند و در غلظت های کم محلول های ویسکوزی تولید می کنند که در پایداری سیستم های غذایی کاربرد فراوان دارند.



مهم ترین صمغ های کاربردی در مواد غذایی عبارتند از:

- صمغ عربی
- تراگاکانت
- آلژینات
- کاراجینان
- آگار
- گوار
- زانتان

