



دانشگاه سمنان
Semnan University

بسم خدا

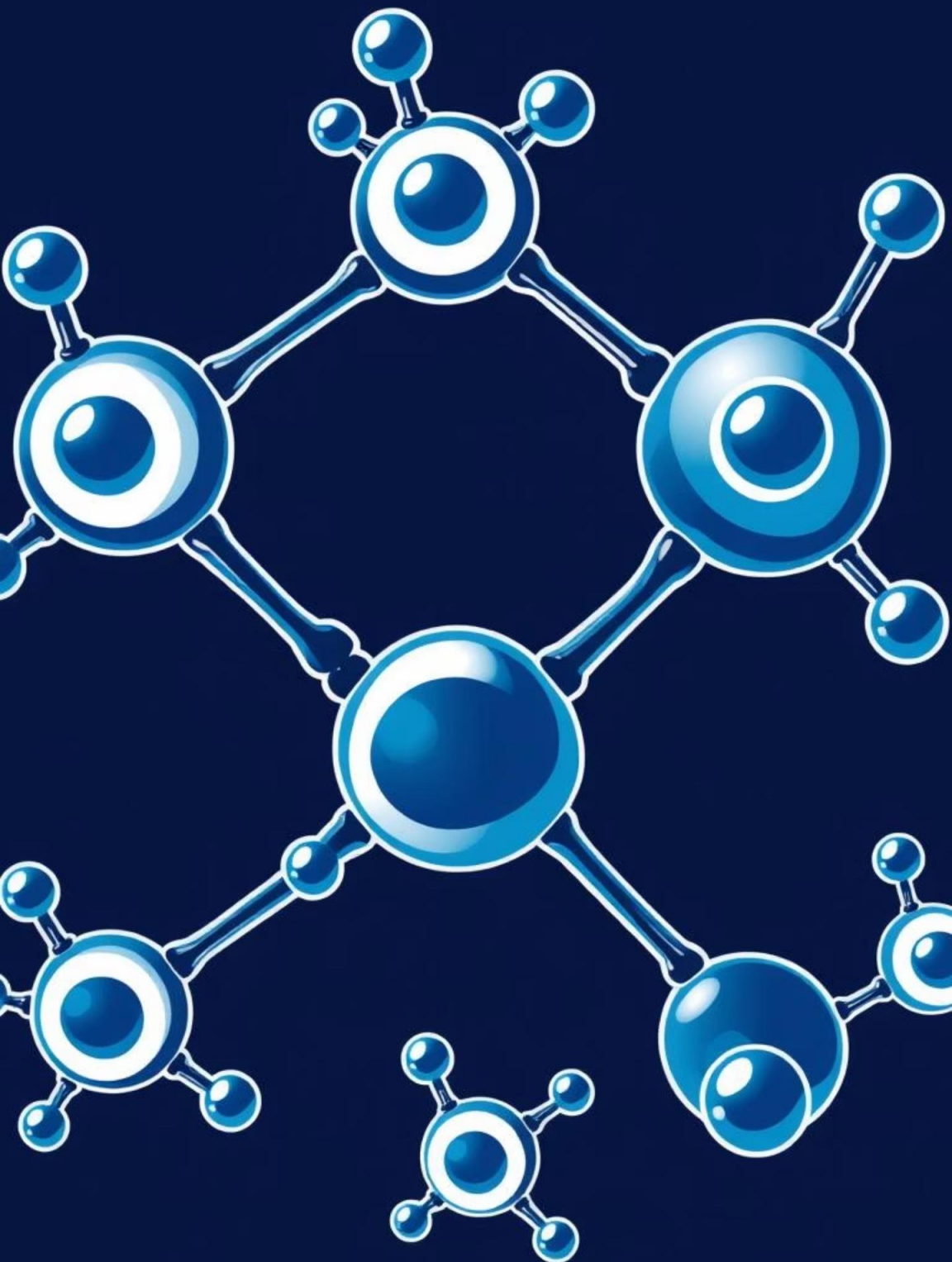
بیوشمی ۱

ساختار کربوهیدرات‌ها

دکتر محمد درویش خادم

D.V.M., Ph.D. of Biochemistry

دانشکده دامپزشکی دانشگاه سمنان



کربوهیدرات‌ها: ساختار، طبقه‌بندی و اهمیت بیولوژیکی

کربوهیدرات‌ها:

فراوان‌ترین ترکیبات آلی در طبیعت

اهمیت بیولوژیکی کربوهیدرات‌ها

ساختار سلولی

شرکت در دیواره سلولی گیاهان و غشای سلولی باکتری‌ها

ذخیره انرژی

مخزن بزرگ ذخیره انرژی در اکثر جانداران

واسطه متابولیکی

نقش کلیدی در فرآیندهای متابولیکی بدن

حمایت اسکلتی

شرکت در ساخت غضروف و استخوان و لغزنده ساختن مفاصل.

ارتباط سلولی

نقش در ارتباطات بین سلول‌ها

ساخت نوکلئوتیدها

شرکت در ساختار نوکلئوتیدها

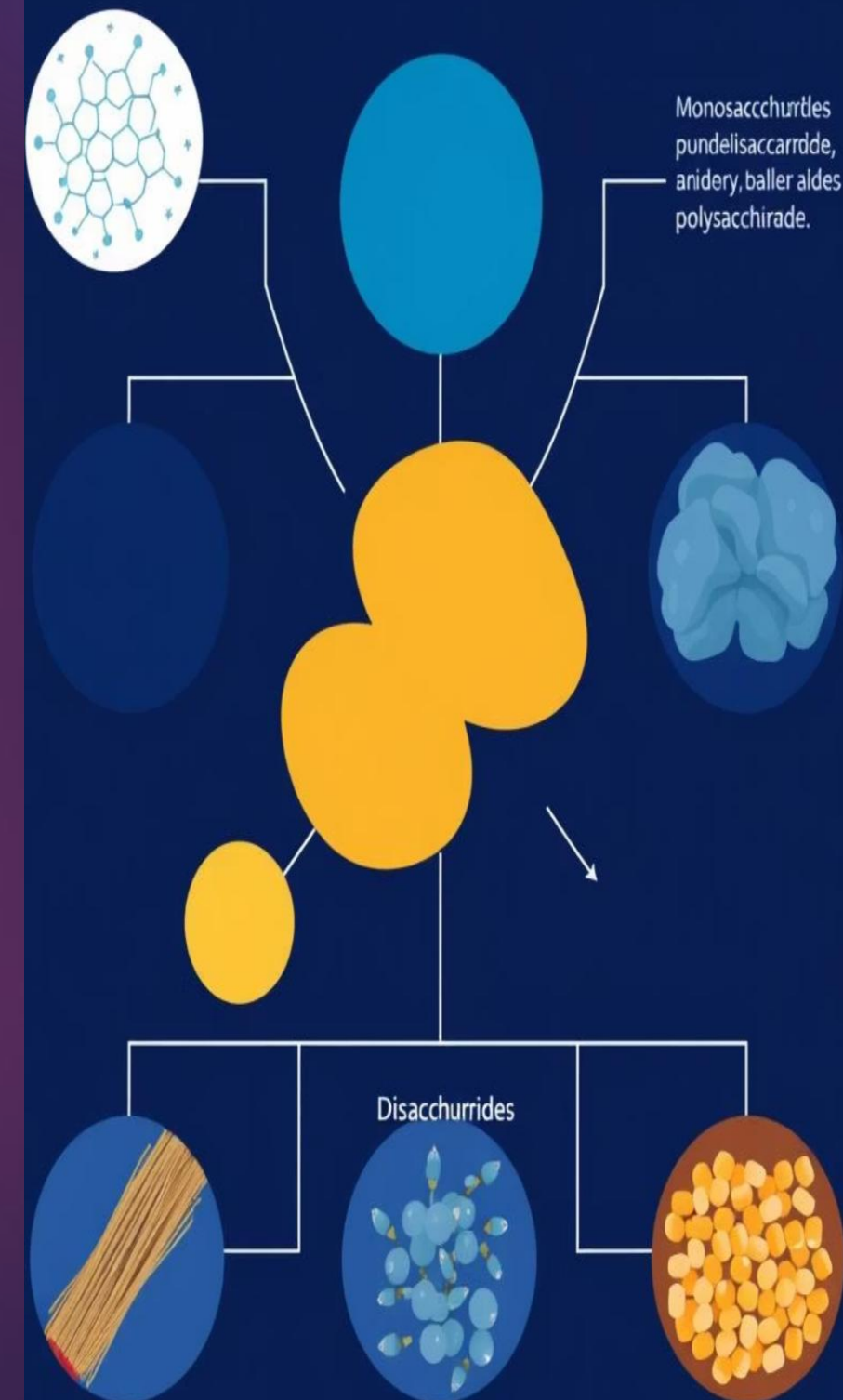
طبقه‌بندی کربوهیدرات‌ها

کربوهیدرات‌ها بر اساس واحدهای سازنده‌ی خود به سه گروه عمده طبقه‌بندی می‌شوند:

مونوساکاریدها

الیگوساکاریدها (دی‌ساکاریدها جزء آن‌ها هستند)

پلی‌ساکاریدها



مونوساکاریدها: قندهای ساده



تعریف

پلی‌هیدروکسی‌هایی که به کربوهیدرات‌های ساده‌تر هیدرولیز نمی‌شوند و از فرمول $C_n(H_2O)_n$ یا $(CH_2O)_n$ پیروی می‌کنند.

طبقه‌بندی

- بر اساس **تعداد کربن**: تریوز، تتروز، پنتوز، هگزوز و غیره.
- بر اساس عامل **عملکردی**: آلدوز (آلدئیدی) و کتوز (کتونی).

قندهای احیاکننده

گروه آلدئیدی یا کتونی آنها می‌تواند یون مس دوظرفیتی را احیا کند.

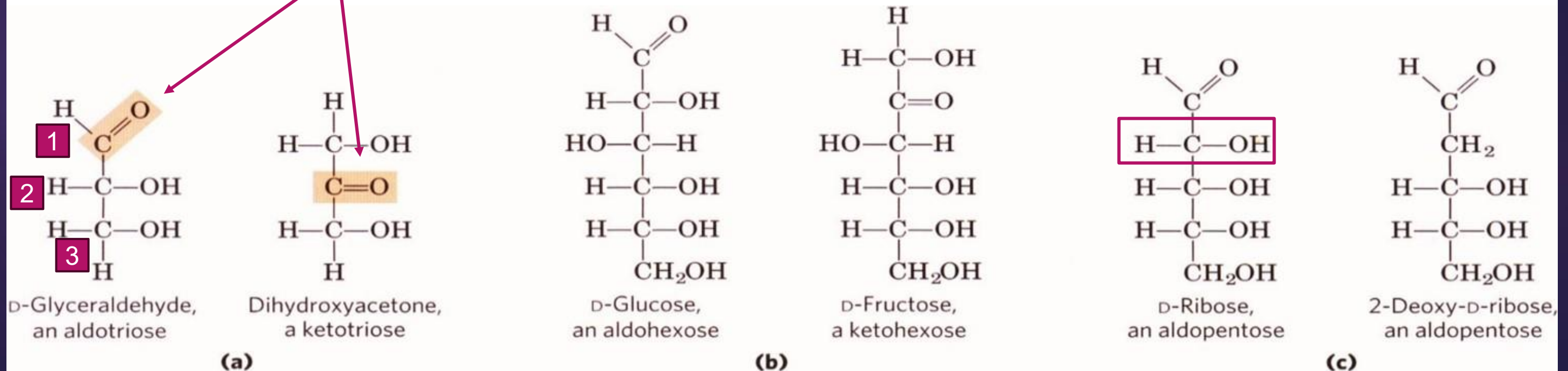
نمونه‌های مهم

- تریوزها: کوچک‌ترین مونوساکاریدها، در مسیر گلیکولیز
- پنتوزها: ریبوز در RNA و کوآنزیم‌ها
- هگزوزها: گلوکز، گالاکتوز، مانوز و فروکتوز

مونوساکاریدها: قندهای ساده

طبقه‌بندی مونوساکاریدها

تعداد کربن		گروه عاملی	
		آلدوز	کتوز
تریوز (مونوساکارید دارای سه اتم کربن)		گلیسرآلدهید	دی‌هیدروکسی‌استون
تتروز (مونوساکارید دارای چهار اتم کربن)		اریتروز - تره‌اوز	اریترولوز
پنتوز (مونوساکارید دارای پنج اتم کربن)		ریبوز - آرابینوز - گزیلوز	ریبولوز - گزیلولوز
هگزوز (مونوساکارید دارای شش اتم کربن)		گلوکز - گالاکتوز - مانوز	فروکتوز



ایزومری در قندها



اپیمر



ایزومرهای نوری



ایزومرهای D و L



ایزومرهای حلقوی



ایزومرهای عاملی

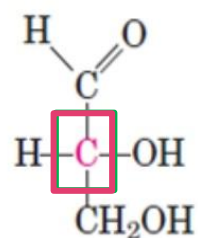
ایزومرهای D و L

کربن مرجع: دورترین کربن نامتقارن از عامل آلدئیدی یا کتونی
مونوساکاریدها دارای **مراکز نامتقارن (کایرال)** هستند که منجر به ایجاد ایزومرهای فضایی مختلف می‌شوند.

اگر گروه (OH) در اطراف کربن مرجع در سمت راست واقع شده باشد، ایزومر نوع D و اگر در سمت چپ باشد، ایزومر نوع L نامیده می‌شوند.

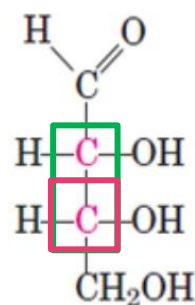
اکثر قندهای طبیعی از نوع D هستند.

Three carbons

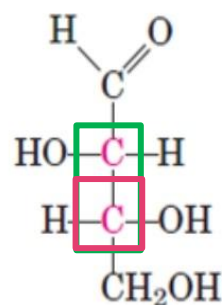


D-Glyceraldehyde

Four carbons

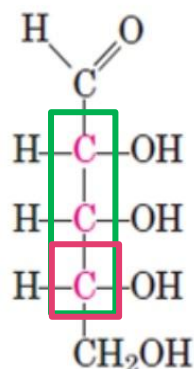


D-Erythrose

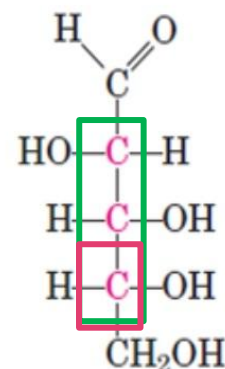


D-Threose

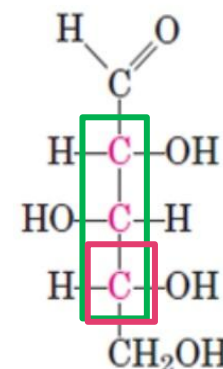
Five carbons



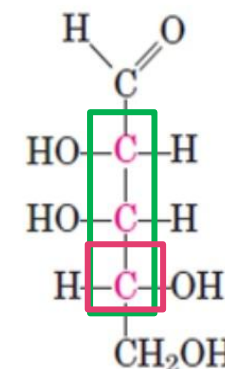
D-Ribose



D-Arabinose

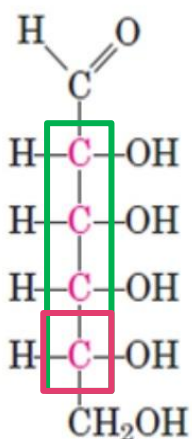


D-Xylose

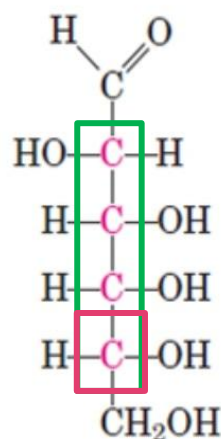


D-Lyxose

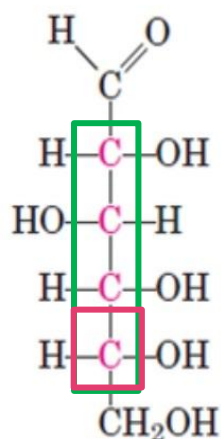
Six carbons



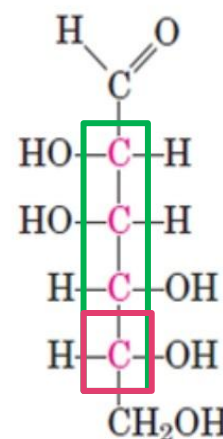
D-Allose



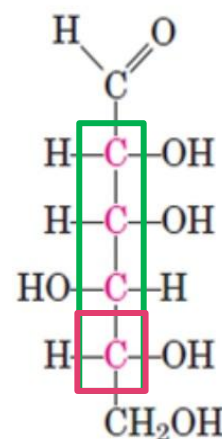
D-Altrose



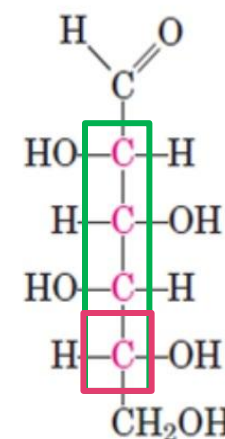
D-Glucose



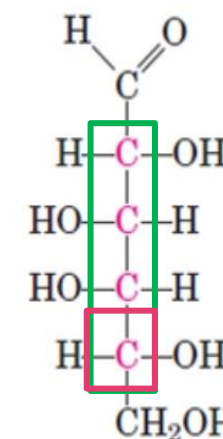
D-Mannose



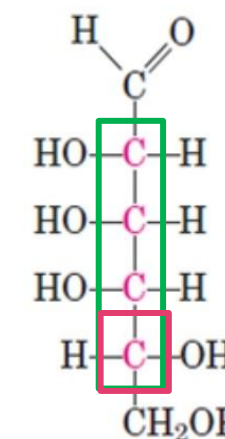
D-Gulose



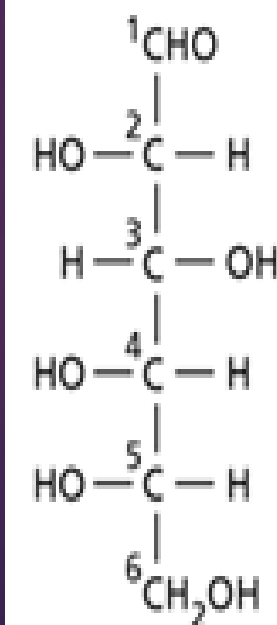
D-Idose



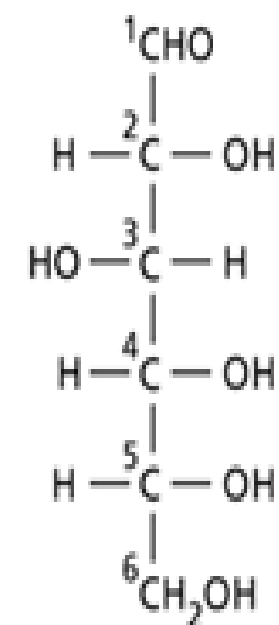
D-Galactose



D-Talose



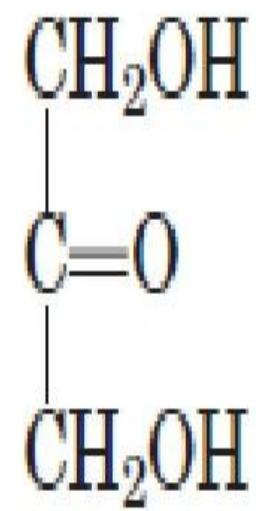
L-Glucose



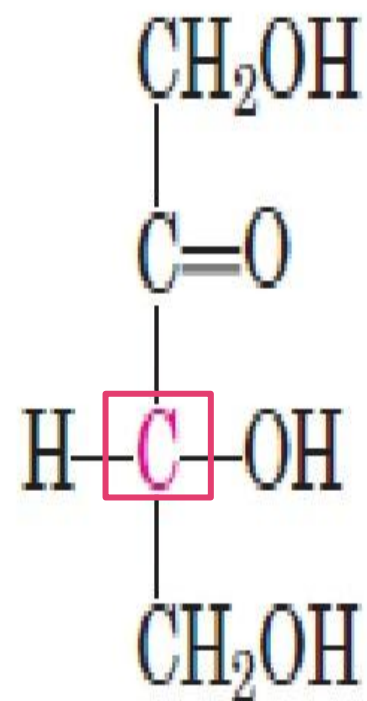
D-Glucose

شکل خطی چند قند مهم آلدوزی نوع D

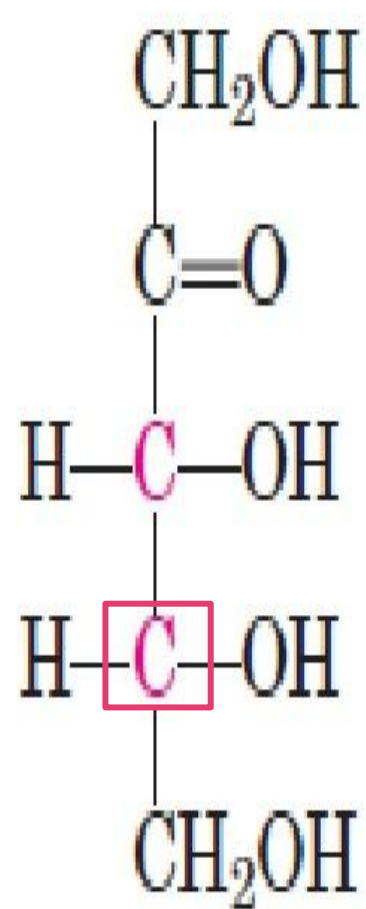
Dihydroxyacetone



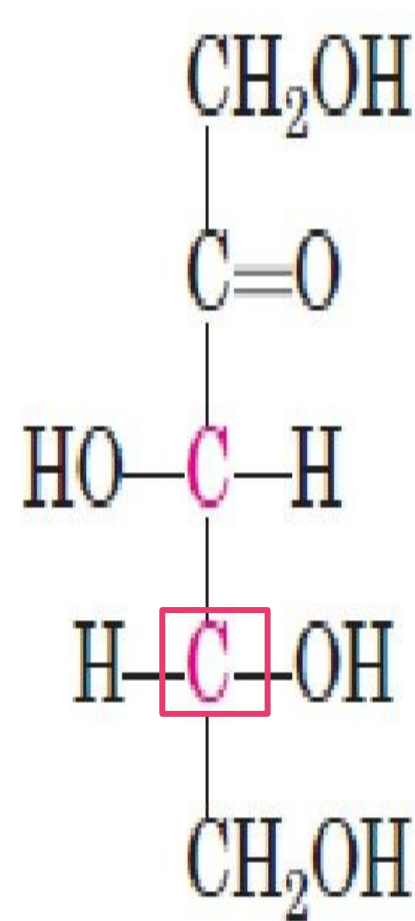
D-Erythrulose



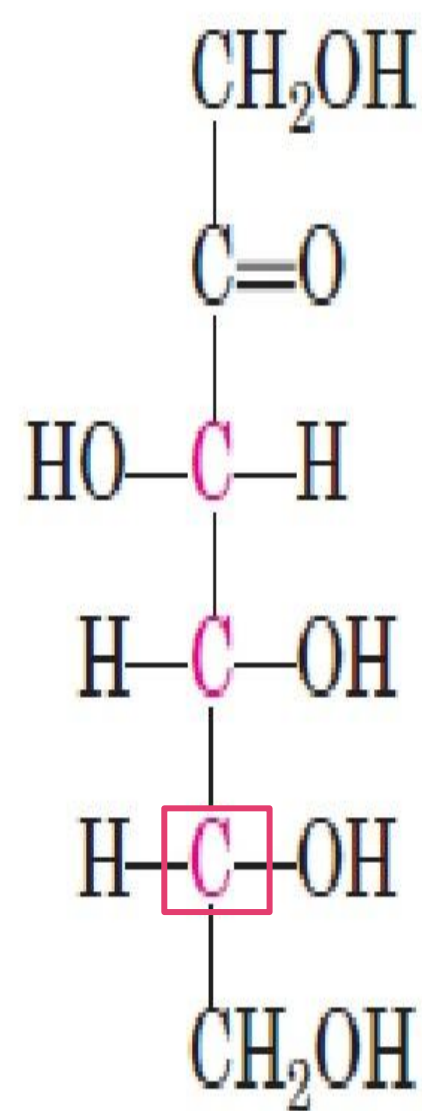
D-Ribulose



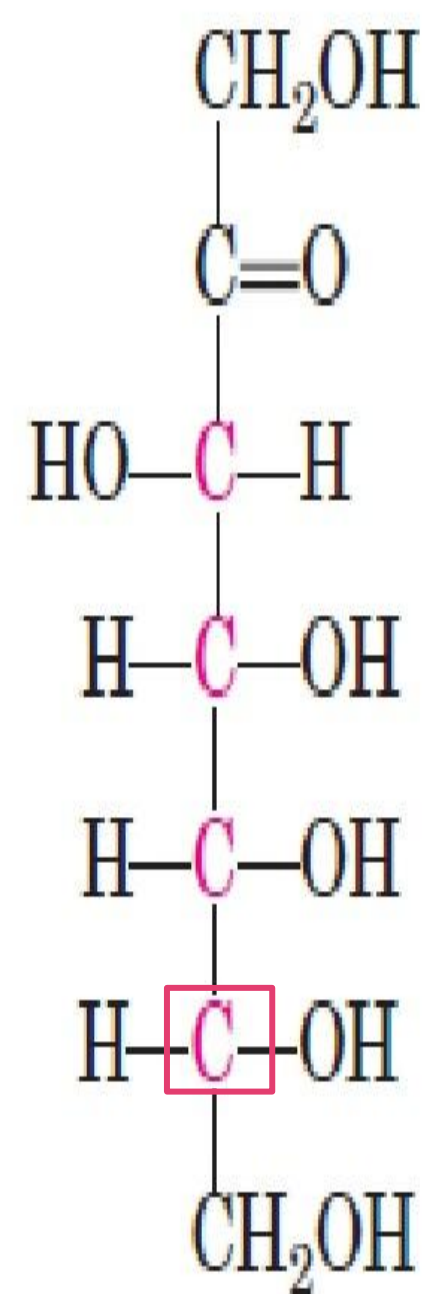
D-Xylulose



D-Fructose



D-Sedoheptulose



شکل ۴ - ۵ - شکل خطی چند قند مهم کتوزی

ایزومری در قندها



اپیمر



ایزومرهای نوری

ترکیباتی که نور پلاریزه را به راست می‌گردانند راست‌گردان (+)

ترکیباتی که نور پلاریزه را به چپ می‌گردانند چپ‌گردان (-)



ایزومرهای D و L

بر اساس وضعیت گروه OH در اطراف کربن مرجع

کربن مرجع: دورترین کربن نامتقارن از عامل آلدئیدی یا کتونی

اکثر قندهای طبیعی از نوع D هستند.



ایزومرهای حلقوی



ایزومرهای عاملی

ایزومری در قندها



اپیمر

ایزومرهایی که در تغییر وضعیت OH در یک کربن (به جز کربن مرجع) تفاوت دارند مانند مانوز و گالاکتوز نسبت به گلوکز



ایزومرهای نوری

ترکیباتی که نور پلاریزه را به راست می‌گردانند راست‌گردان (+)
ترکیباتی که نور پلاریزه را به چپ می‌گردانند چپ‌گردان (-)



ایزومرهای D و L

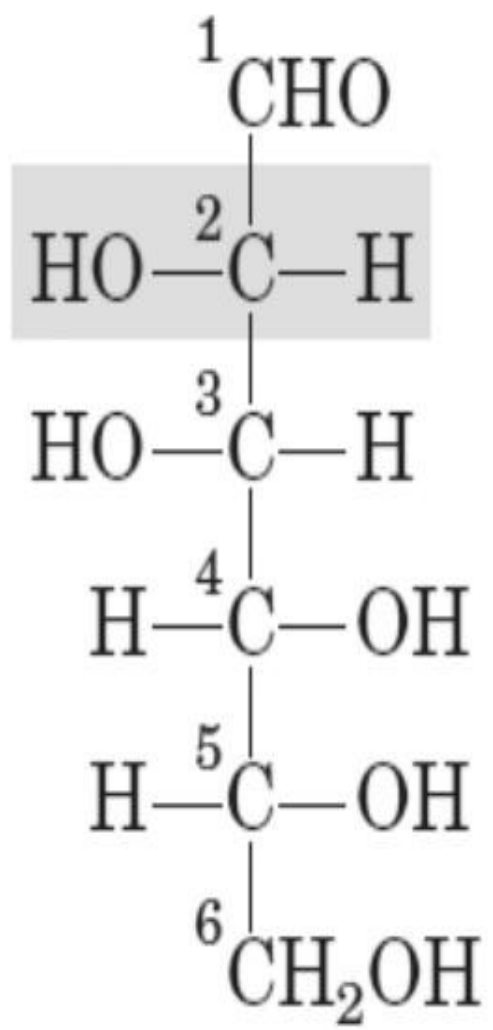
بر اساس وضعیت گروه OH در اطراف کربن مرجع
کربن مرجع: دورترین کربن نامتقارن از عامل آلدئیدی یا کتونی
اکثر قندهای طبیعی از نوع D هستند.



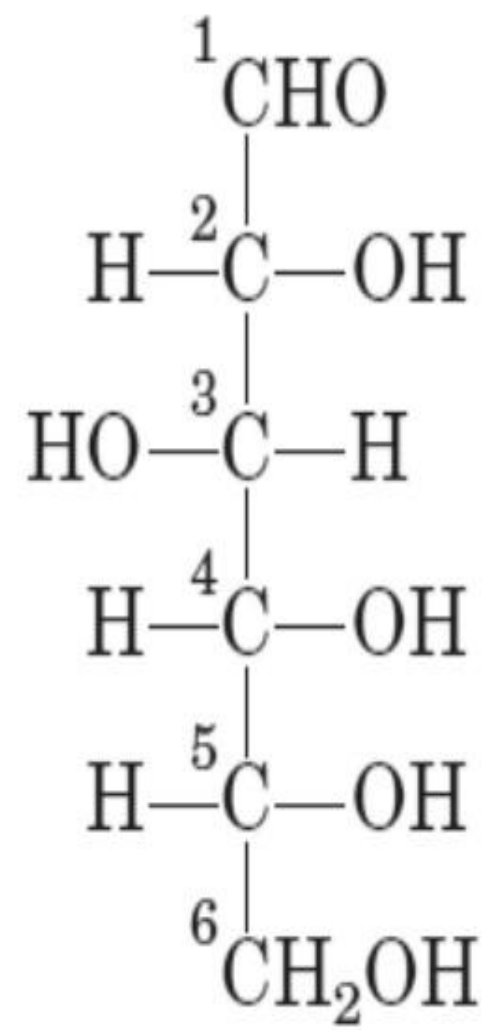
ایزومرهای حلقوی



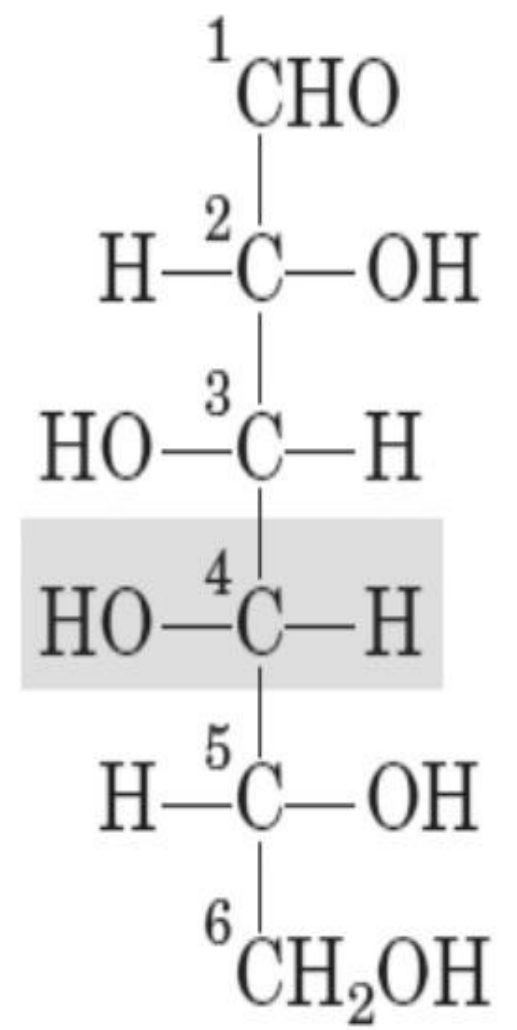
ایزومرهای عاملی



D-Mannose
(epimer at C-2)



D-Glucose



D-Galactose
(epimer at C-4)

اپیمری بین D- گلوکز و D- گالاکتوز، D- گلوکز و D- مانوز

ایزومری در قندها

مونوساکاریدها دارای مراکز نامتقارن (کایرال) هستند که منجر به ایجاد ایزومرهای فضایی مختلف می‌شود.



اپیمر

ایزومرهایی که در تغییر وضعیت OH در یک کربن (به جز کربن مرجع) تفاوت دارند مانند مانوز و گالاکتوز نسبت به گلوکز



ایزومرهای نوری

ترکیباتی که نور پلاریزه را به راست می‌گردانند راست‌گردان (+)
ترکیباتی که نور پلاریزه را به چپ می‌گردانند چپ‌گردان (-)



ایزومرهای D و L

بر اساس وضعیت گروه OH در اطراف کربن مرجع
کربن مرجع: دورترین کربن نامتقارن از عامل آلدئیدی یا کتونی
اکثر قندهای طبیعی از نوع D هستند.



ایزومرهای حلقوی



ایزومرهای عاملی

ایزومرهای آلدوز-کتوز.

ایزومری در قندها



اپیمر

ایزومرهایی که در تغییر وضعیت OH در یک کربن (به جز کربن مرجع) تفاوت دارند مانند مانوز و گالاکتوز نسبت به گلوکز



ایزومرهای نوری

ترکیباتی که نور پلاریزه را به راست می‌گردانند راست‌گردان (+)
ترکیباتی که نور پلاریزه را به چپ می‌گردانند چپ‌گردان (-)



ایزومرهای D و L

بر اساس وضعیت گروه OH در اطراف کربن مرجع
کربن مرجع: دورترین کربن نامتقارن از عامل آلدئیدی یا کتونی
اکثر قندهای طبیعی از نوع D هستند.



ایزومرهای حلقوی



ایزومرهای عاملی
ایزومرهای آلدوز-کتوز.

ساختمان حلقوی مونوساکاریدها

در محیط آبی، مونوساکاریدها عمدتاً به شکل ساختمان‌های حلقوی (فرمول هاورث) وجود دارند.

آنومرهای α و β

ایزومرهای ناشی از جهت‌گیری گروه
OH روی کربن آنومری:

کربن شماره ۱ در آلدوزها

کربن شماره ۲ در کتوزها

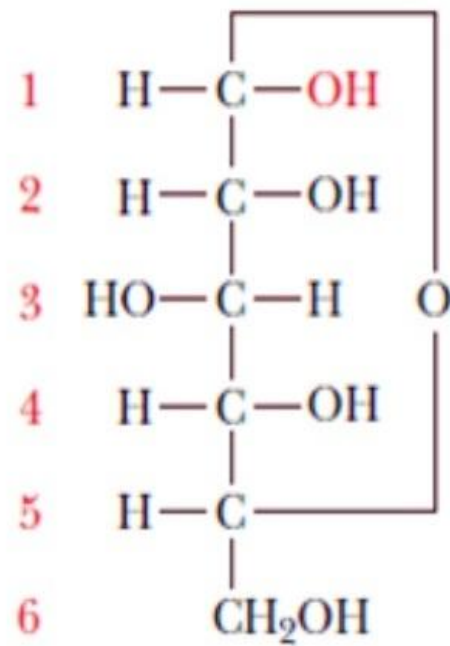
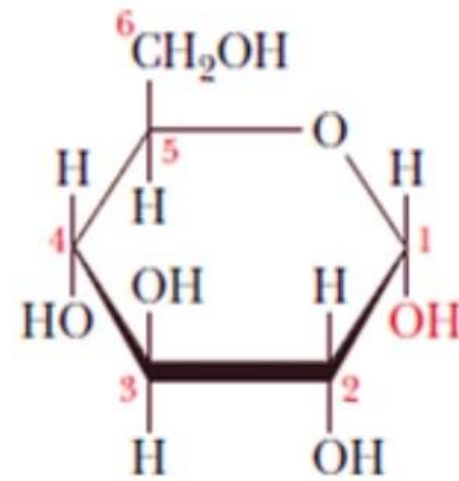
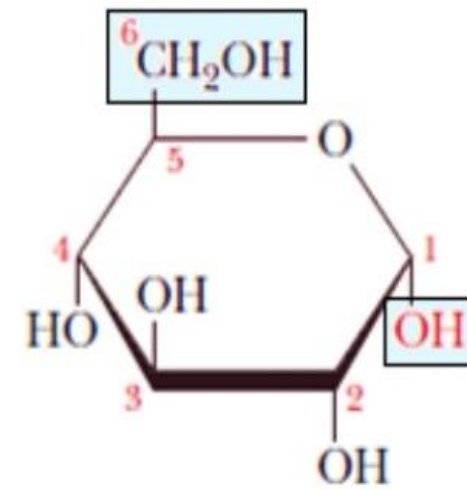
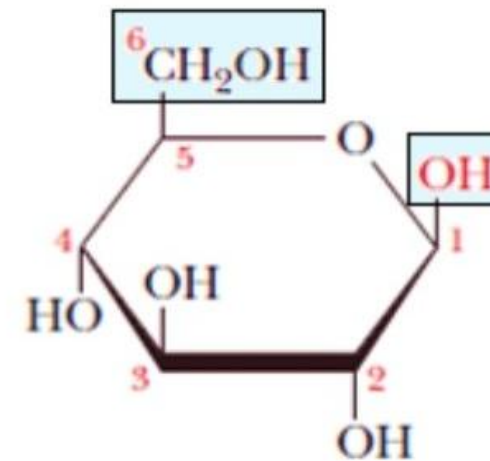
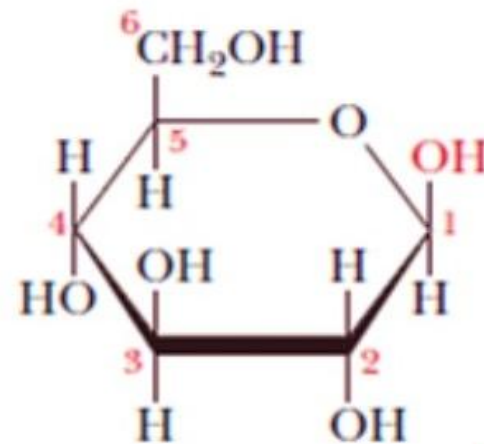
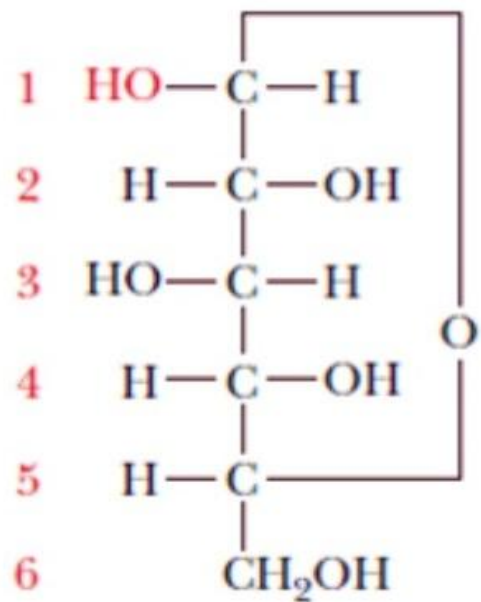
انواع حلقه‌ها

- پنج‌ضلعی (فوران): مانند فروکتوز و ریبوز
- شش‌ضلعی (پیران): مانند گلوکز، گالاکتوز و مانوز

موتاروتاسیون

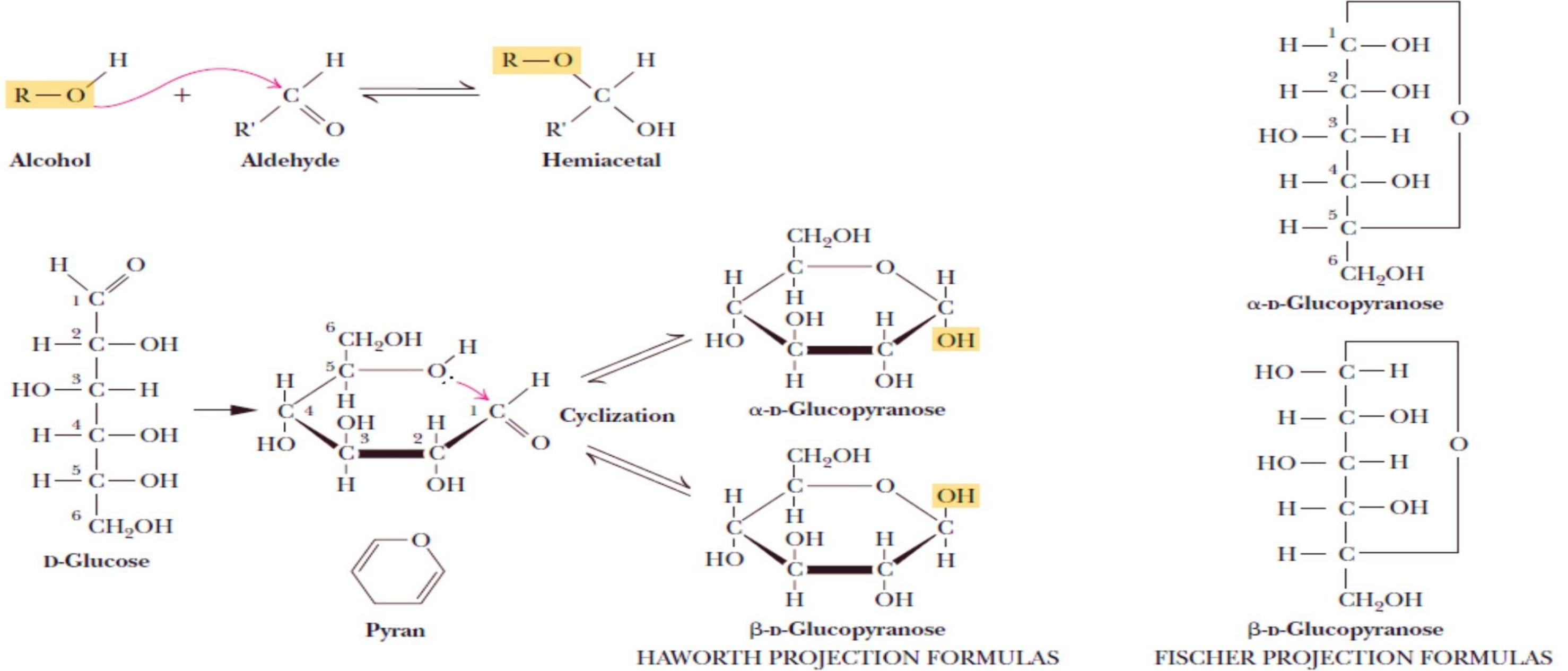
تبدیل متقابل آنومرهای α و β در آب تا رسیدن به
تعادل، همراه با تغییر فعالیت نوری

Fischer

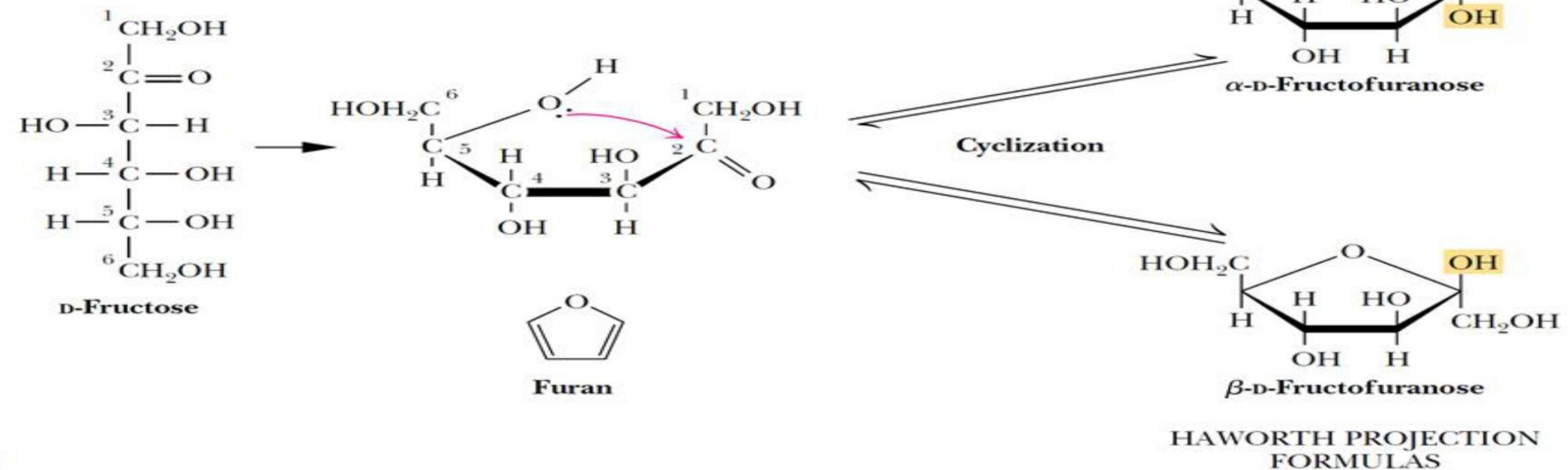
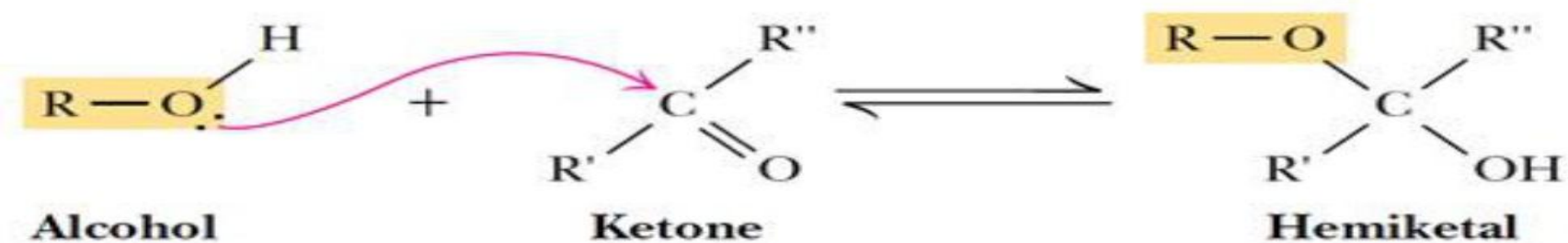
Complete
HaworthAbbreviated
Haworth α -D-Glucose
(α -D-Glucopyranose) β -D-Glucose
(β -D-Glucopyranose)

ساختار β -D-گلوکوپیرانوز و α -D-گلوکوپیرانوز

مطالعه بیشتر



فرایند حلقوی شدن گلوکز و تشکیل قند پیرانوزی



فرایند حلقوی شدن فروکتوز و تشکیل قند فورانوزی

مشتقات مونوساکاریدها

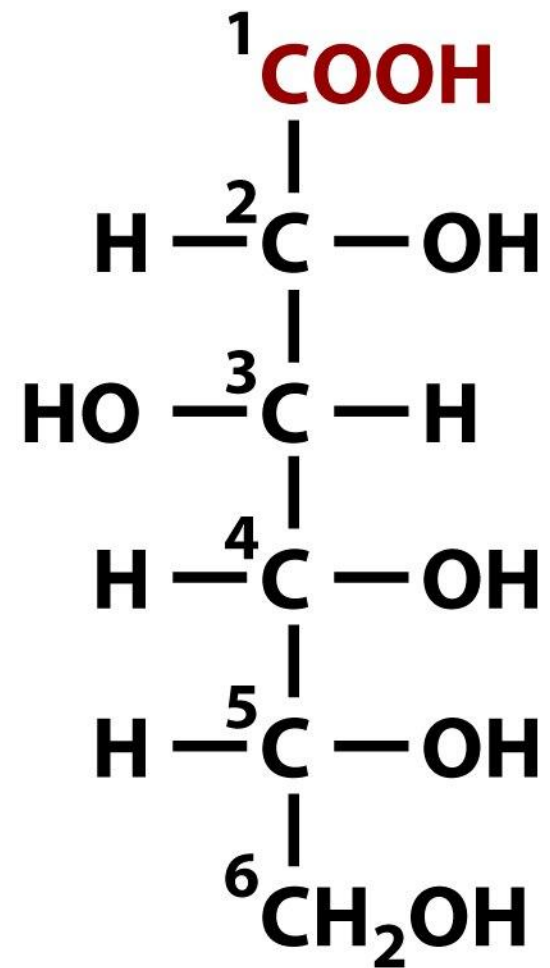
مونوساکاریدها تحت تأثیر واکنش‌های مختلف، مشتقات متنوعی را تولید می‌کنند.

اکسیداسیون

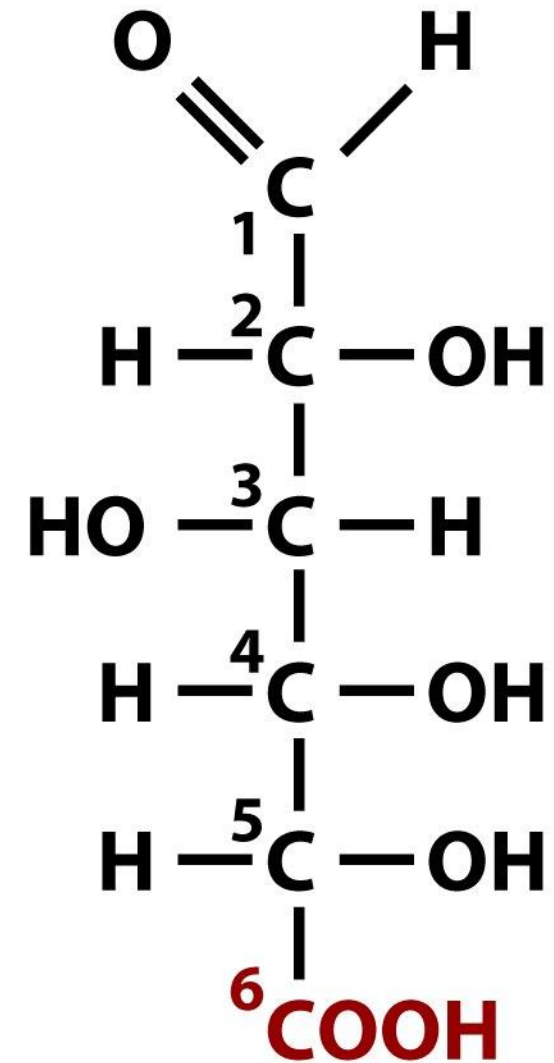
اکسیداسیون عامل آلدئیدی: اسید آلدونیک (مانند اسید گلوکونیک در مسیر پنتوز فسفات)

اکسیداسیون عامل الکلی نوع اول: اسید اورونیک (مانند اسید گلوکورونیک) در کبد که خاصیت سم‌زدایی دارد (Detoxification)

اکسیداسیون عامل آلدئیدی و عامل الکلی نوع اول: اسید آلداریک یا ساکاریک



D-Gluconic acid



D-Glucuronic acid

مشتقات مونوساکاریدها

مونوساکاریدها تحت تأثیر واکنش‌های مختلف، مشتقات متنوعی را تولید می‌کنند.

احیاء

اکسیداسیون

احیای عوامل آلدئیدی و کتونی:

– احیای گلوکز و فروکتوز به سوربیتول

– ریبوز به ریبیتول

– مانوز به مانیتول

– گالاکتوز به گالاکتیتول

مشتقات مونوساکاریدها

مونوساکاریدها تحت تأثیر واکنش‌های مختلف، مشتقات متنوعی را تولید می‌کنند.

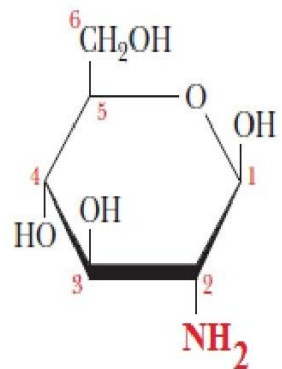
قندهای آمین‌دار

احیاء

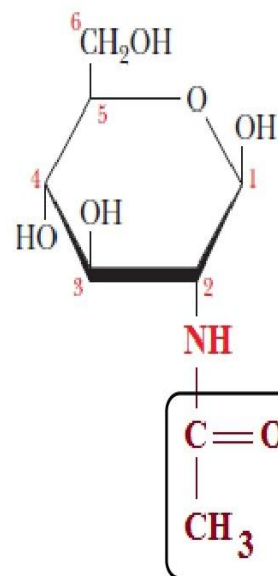
اکسیداسیون

اتصال یک گروه آمین (NH_2) یا استیل آمین (RCONH_2) به یکی از گروه‌های هیدروکسیل

بتا - D - گلوکز آمین



بتا - D - N - استیل گلوکز آمین



گروه استیل ←

ساختار بتا - D - گلوکز آمین و بتا - D - N - استیل گلوکز آمین

- ان - استیل - گلوکز آمین در ساختمان اسید هیالورونیک

- ان - استیل - گالاکتوز آمین در ساختار کندرویتین

مشتقات مونوساکاریدها

مونوساکاریدها تحت تأثیر واکنش‌های مختلف، مشتقات متنوعی را تولید می‌کنند.

داکسی مونوساکاریدها

قندهای آمین‌دار

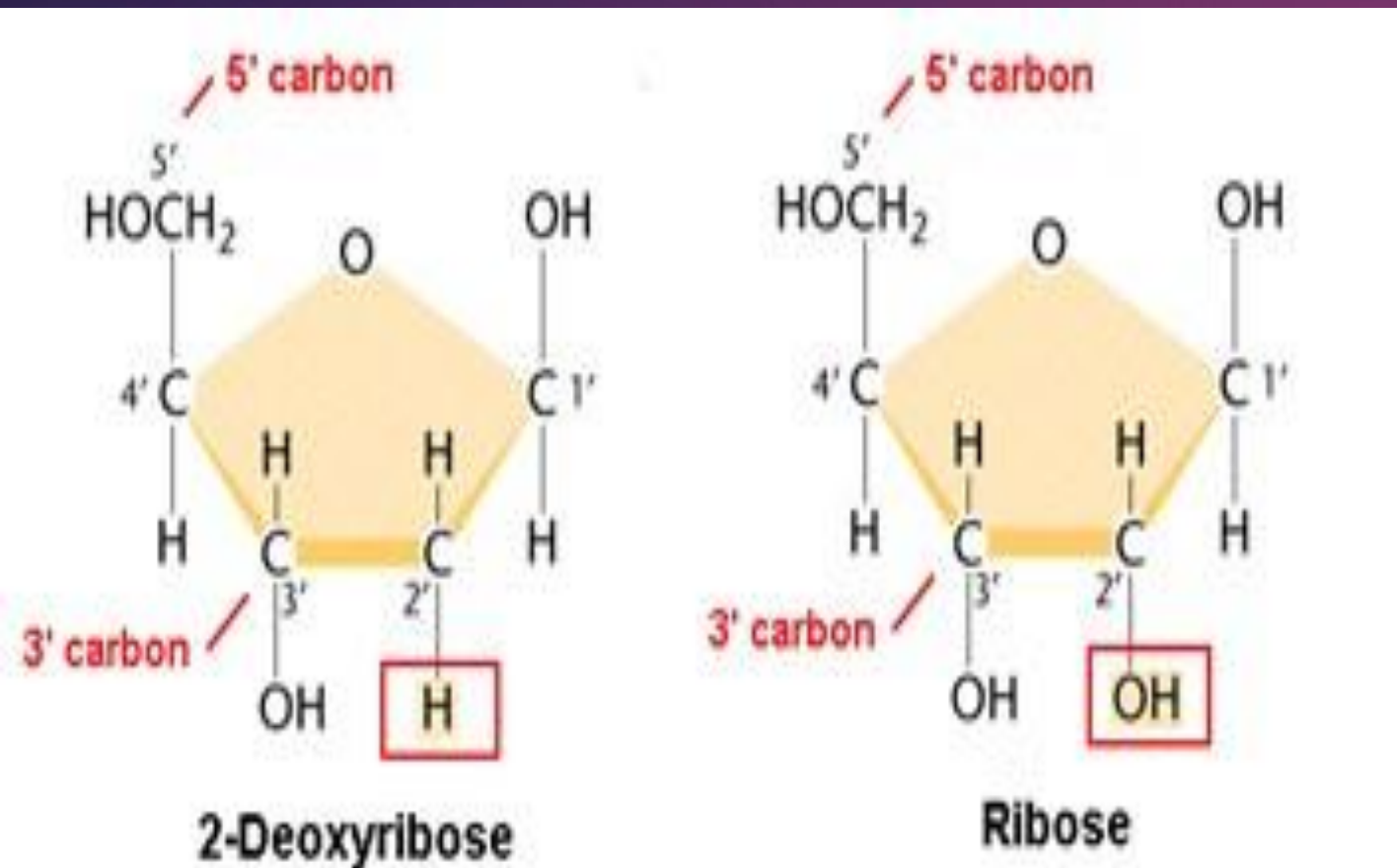
احیاء

اکسیداسیون

در این قندها یکی از گروه‌های هیدروکسیل توسط اتم هیدروژن جایگزین می‌شود. مانند:

– ۲-دئوکسی‌ریبوز در ساختمان DNA

– ۲-دئوکسی‌گلوکز به عنوان مهارکننده‌ی متابولیسم گلوکز



مشتقات مونوساکاریدها

مونوساکاریدها تحت تأثیر واکنش‌های مختلف، مشتقات متنوعی را تولید می‌کنند.

مونوساکاریدهای فسفات

داکسی مونوساکاریدها

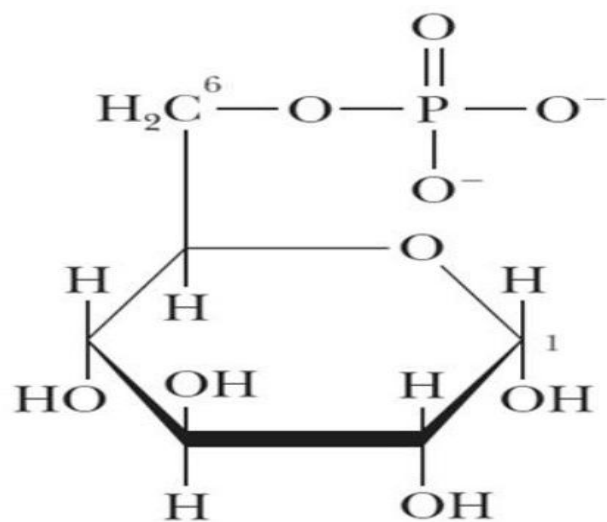
قندهای آمین‌دار

احیاء

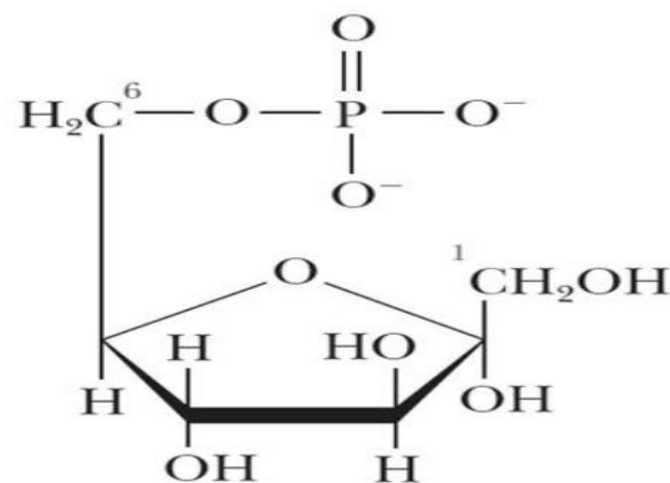
اکسیداسیون

قندهایی هستند که در آنها یک یا دو گروه هیدروکسیل با گروه فسفات تشکیل پیوند فسفواستری می‌دهند.
معروف‌ترین ترکیبات این گروه عبارتند از:

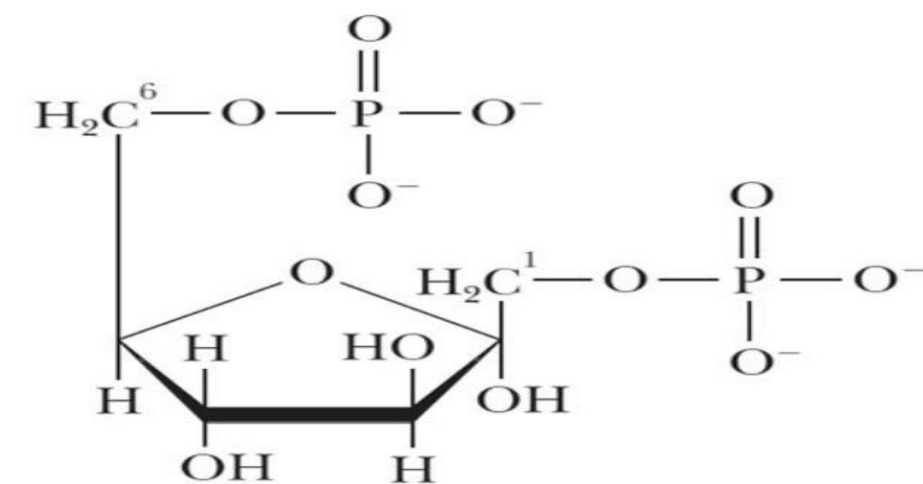
گلوکز-۶-فسفات، گلوکز-۱-فسفات، فروکتوز-۶-فسفات، فروکتوز-۱و۶-بیس فسفات



Glucose-6-phosphate



Fructose-6-phosphate



Fructose-1,6-bisphosphate

ساختار فروکتوز - ۱ و ۶ - بیس فسفات، فروکتوز - ۶ - فسفات و گلوکز - ۶ - فسفات

▶ پیوند گلیکوزیدی

▶ O-glycosidic bonds: حاصل کندانسایون گروه هیدروکسیل یک قند با گروه هیدروکسیل یک ترکیب قندی یا غیرقندی (آگلیکون، مثل گروه های هیدروکسیل تیروزین، سرین و ترئونین در زنجیر پلی پپتیدی) است.



▶ N-glycosidic bonds: حاصل کندانسایون گروه هیدروکسیل یک قند با ازت ترکیب (مثل گروه آمیدی زنجیر جانبی آسپاراژین زنجیر پلی پپتیدی یا یکی از نیتروژن ها حلقه بازهای نوکلئوتیدی) است.



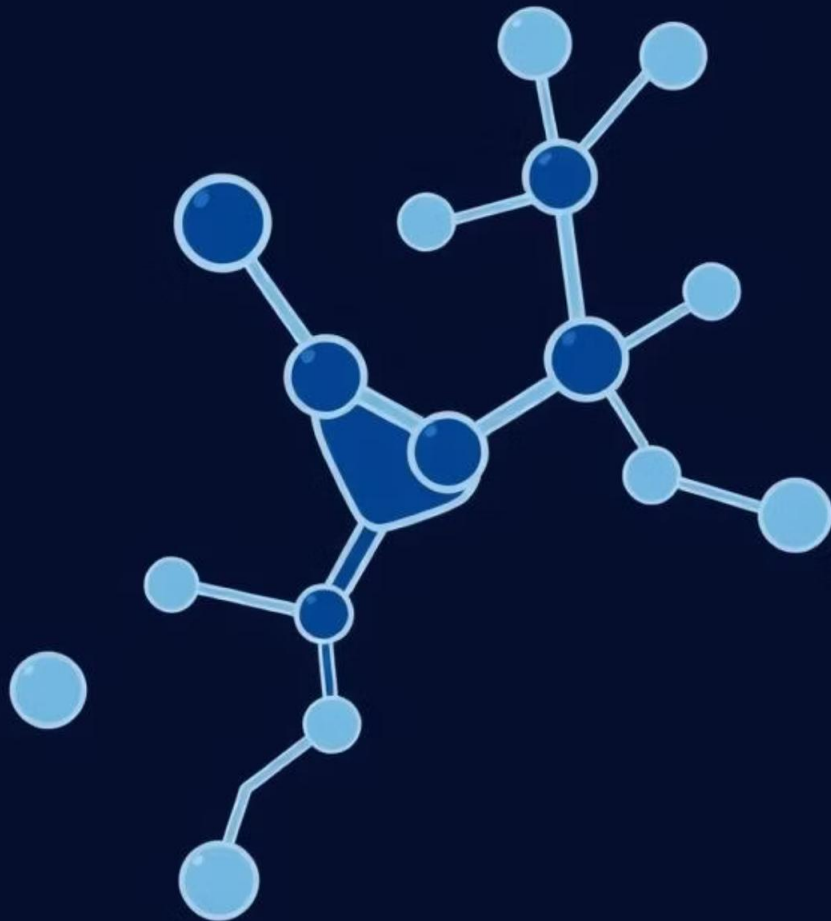
الیگوساکاریدها

هیدرولیز

این پیوندها به راحتی توسط اسید هیدرولیز می‌شوند اما در برابر بازها مقاوم هستند.

الیگوساکاریدها از ۲ تا ۱۰ واحد مونوساکاریدی تشکیل شده‌اند که با پیوندهای O-گلیکوزیدی به هم متصل شده‌اند.

مهم‌ترین الیگوساکاریدهای آزاد در طبیعت، **دی‌ساکاریدها** هستند.



انواع دی ساکاریدها

دی ساکاریدهای احیاء کننده

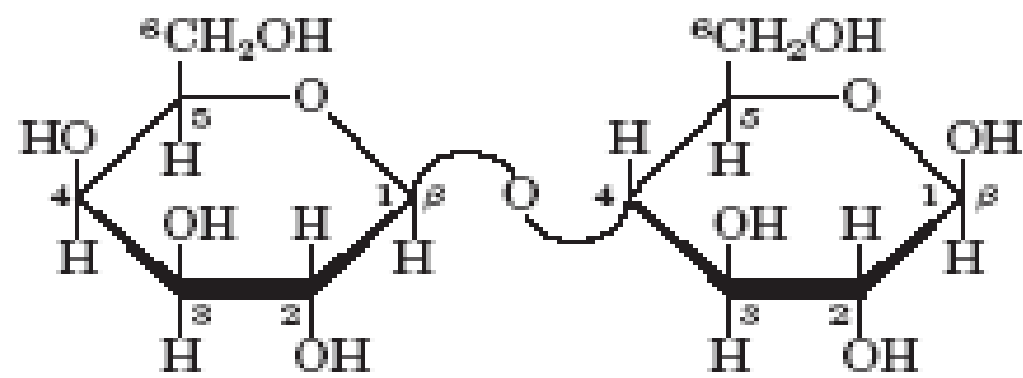
دارای گروه هیدروکسیل آزاد در کربن آنومری یکی از مونوساکاریدها هستند.

دی ساکاریدهای غیر احیاء کننده

پیوند گلیکوزیدی بین هر دو کربن آنومری ایجاد می شود و فاقد گروه هیدروکسیل آزاد هستند.

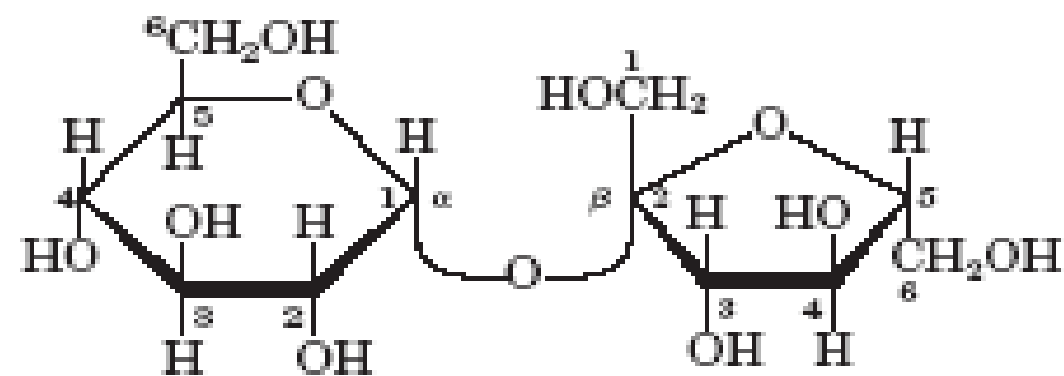
واحدهای سازنده دی ساکاریدهای مهم

دی ساکارید	واحد سازنده	نوع اتصال	واحد سازنده
مالتوز (احیا کننده)	D - گلوکز	$\alpha 1 \rightarrow 4$	آلفا - D - گلوکز
سلوبیوز (احیا کننده)	D - گلوکز	$\beta 1 \rightarrow 4$	بتا - D - گلوکز
لاکتوز (احیا کننده)	D - گلوکز	$\beta 1 \rightarrow 4$	بتا - D - گالاکتوز
ایزومالتوز (احیا کننده)	D - گلوکز	$\alpha 1 \rightarrow 6$	آلفا - D - گلوکز
ساکاروز (غیر احیا کننده)	بتا - D - فروکتوز	$\alpha 1 \rightarrow \beta 2$	آلفا - D - گلوکز
ترهالوز (غیر احیا کننده)	آلفا - D - گلوکز	$\alpha 1 \rightarrow \alpha 1$	آلفا - D - گلوکز



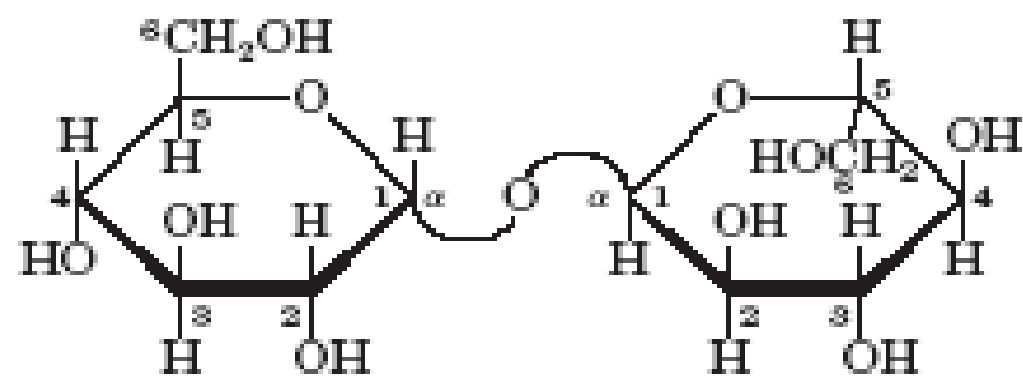
Lactose (β form)

β -D-galactopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucopyranose
Gal(β 1 $\rightarrow$ 4)Glc



Sucrose

α -D-glucopyranosyl β -D-fructofuranoside
Glc(α 1 $\leftrightarrow$ 2 β)Fru



Trehalose

α -D-glucopyranosyl α -D-glucopyranoside
Glc(α 1 $\leftrightarrow$ 1 α)Glc

دی ساکاریدهای مالتوز، ایزومالتوز، سلوبیوز و لاکتوز اتصال بین کربن آنومری (کربن ۱) گلوکوپیرانوز و کربن غیر آنومری منوساکارید دیگر می باشد. لذا کربن آنومری منوساکارید دوم برای تبدیل به کربن آلدئیدی آزاد بوده و دی ساکارید احیاء کننده است.

اما در دو دی ساکارید ترهالوز و ساکاراز هر دو کربن آنومری (کربن ۱ گلوکز و کربن ۲ فروکتوز) درگیر بوده و قند غیر احیاء کننده هستند.

پلی ساکاریدها

پلی ساکاریدها از اتصال تعداد زیادی مونوساکارید تشکیل می شوند.

هتروپلی ساکاریدها

(از بیش از یک نوع مونوساکارید ساخته شده اند)

۱- گلیکوز آمینو گلیکان ها

- اسید هیالورونیک
- کندروئیتین سولفات
- کراتان سولفات
- هیارین

۲- پتیدو گلیکان (peptidoglycan)

هوموپلی ساکاریدها

(از یک نوع مونوساکارید ساخته شده اند)

- نشاسته
- دکستران
- گلیکوژن
- اینولین
- سلولز
- کیتین

نشاسته

پلی ساکارید ذخیره‌ای گیاهان، شامل آمیلوز $\alpha(1,4)$ (مارپیچی بدون انشعاب) و آمیلوپکتین $\alpha(1,4)$ و $\alpha(1,6)$ (با انشعابات)

دکستران

پلی ساکارید ذخیره‌ای در مخمرها و باکتری‌ها
عمدتاً $\alpha(1,6)$

گلیکوژن

پلی ساکارید ذخیره‌ای در حیوانات (کبد و عضلات)،
شبه آمیلوپکتین $\alpha(1,4)$ و $\alpha(1,6)$
با انشعابات زیادتر و وزن مولکولی بیشتر

سلولز

- جزء اصلی دیواره سلول های گیاهی
- زنجیره مستقیم گلوکز با پیوندهای $\beta(1,4)$
- استحکام بالا به دلیل پیوندهای هیدروژنی
- در پستانداران هضم نمی‌شوند.

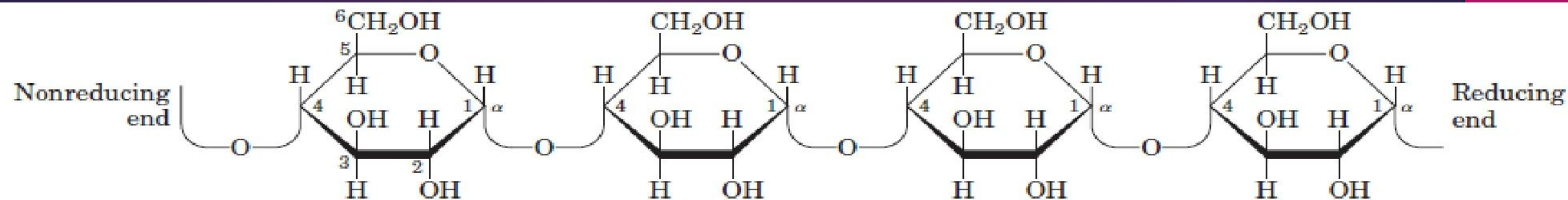
- در دستگاه گوارش نشخوارکنندگان، باکتری‌هایی وجود دارند که می‌توانند آنزیم سلولاز ترشح نمایند و باعث هضم سلولز شوند.

اینولین

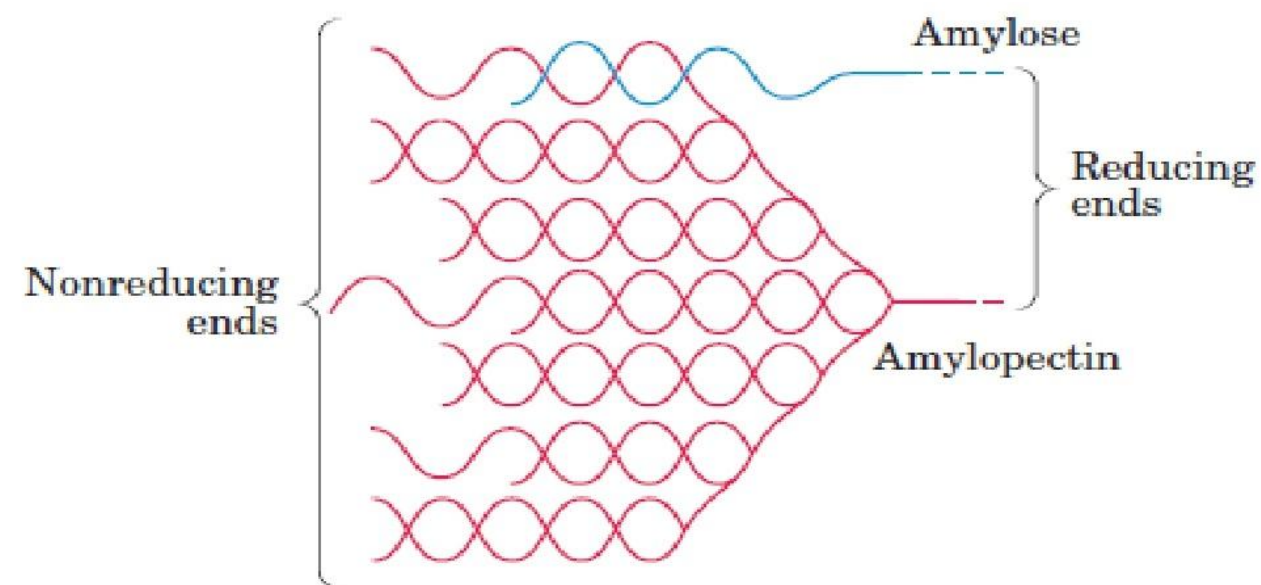
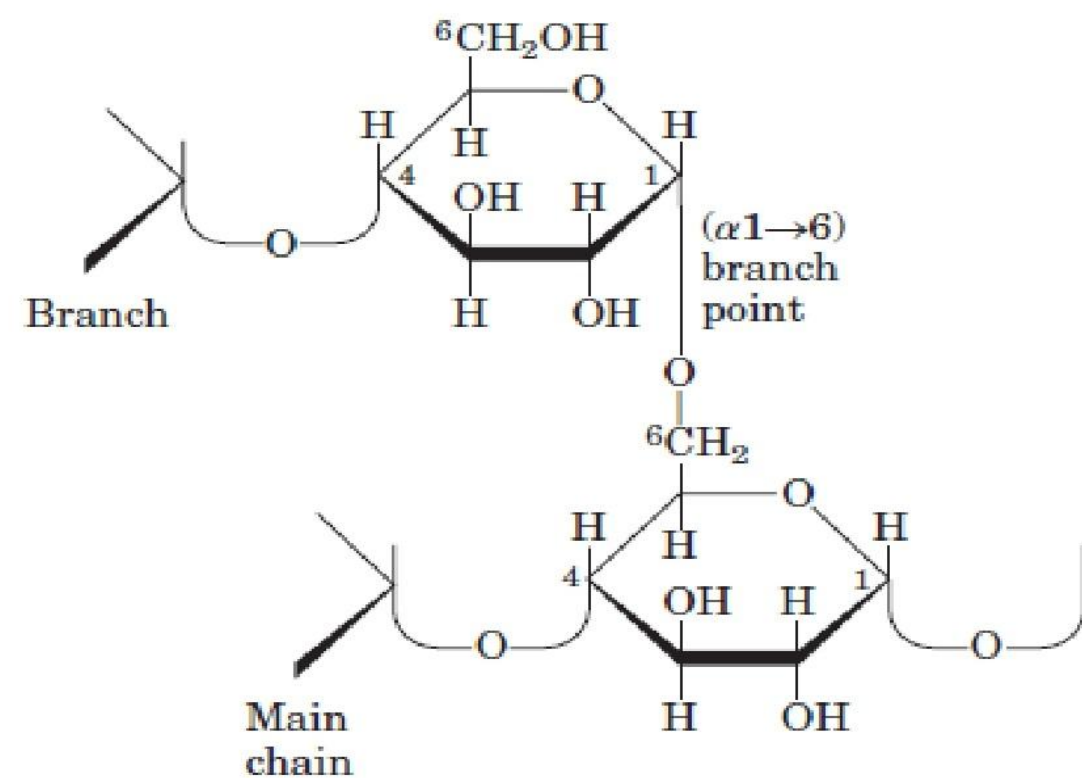
هوموپلیمر فروکتوز، با پیوندهای $\beta(1,2)$
در پزشکی برای تعیین سرعت
فیلتراسیون گلومرولی استفاده می‌شود.

کیتین

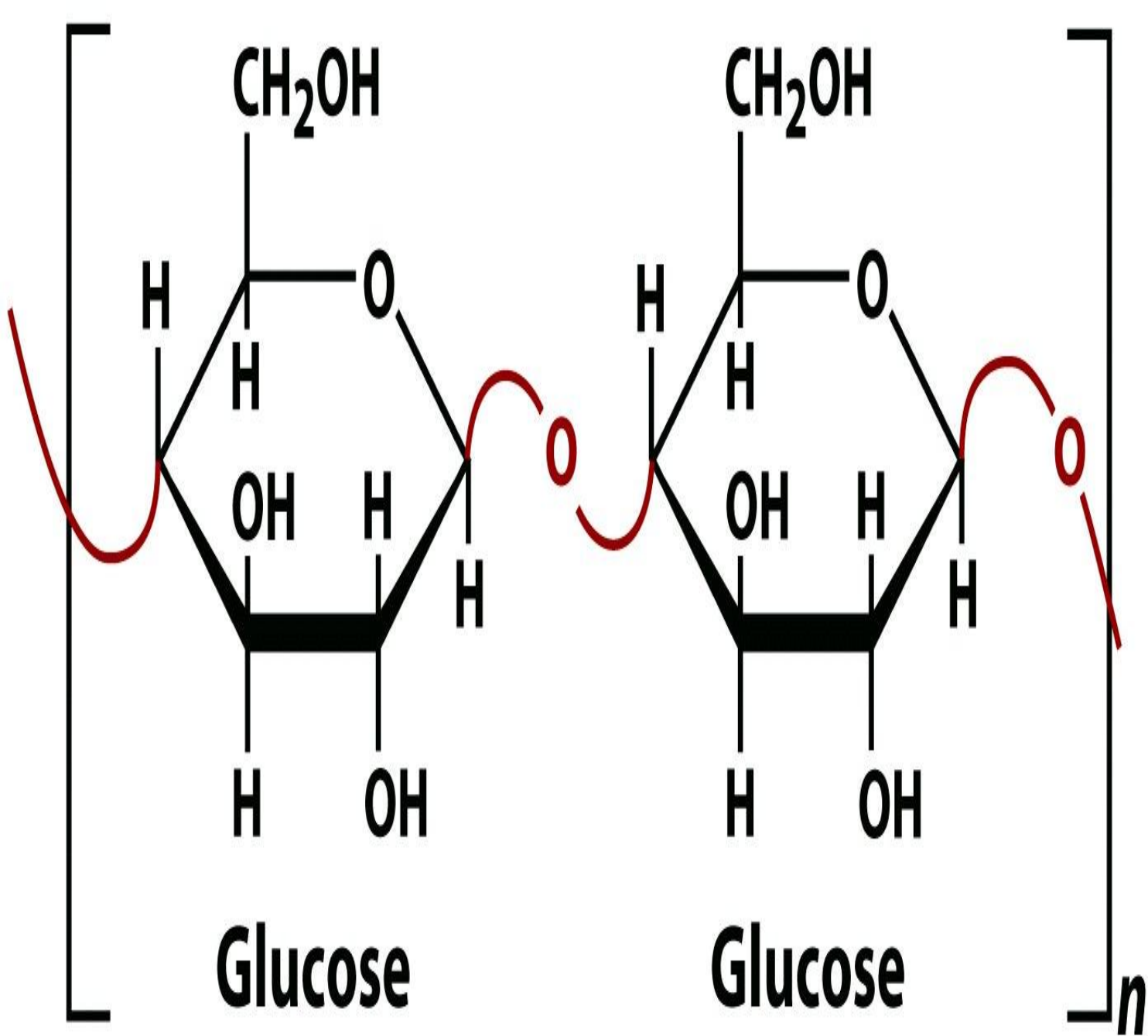
اسکلت خارجی سخت پوستان و حشرات
زنجیره پلی ساکاریدی مستقیم و
بدون انشعاب از واحدهای N-استیل-گلوکز آمین
است که با پیوندهای $\beta(1,4)$



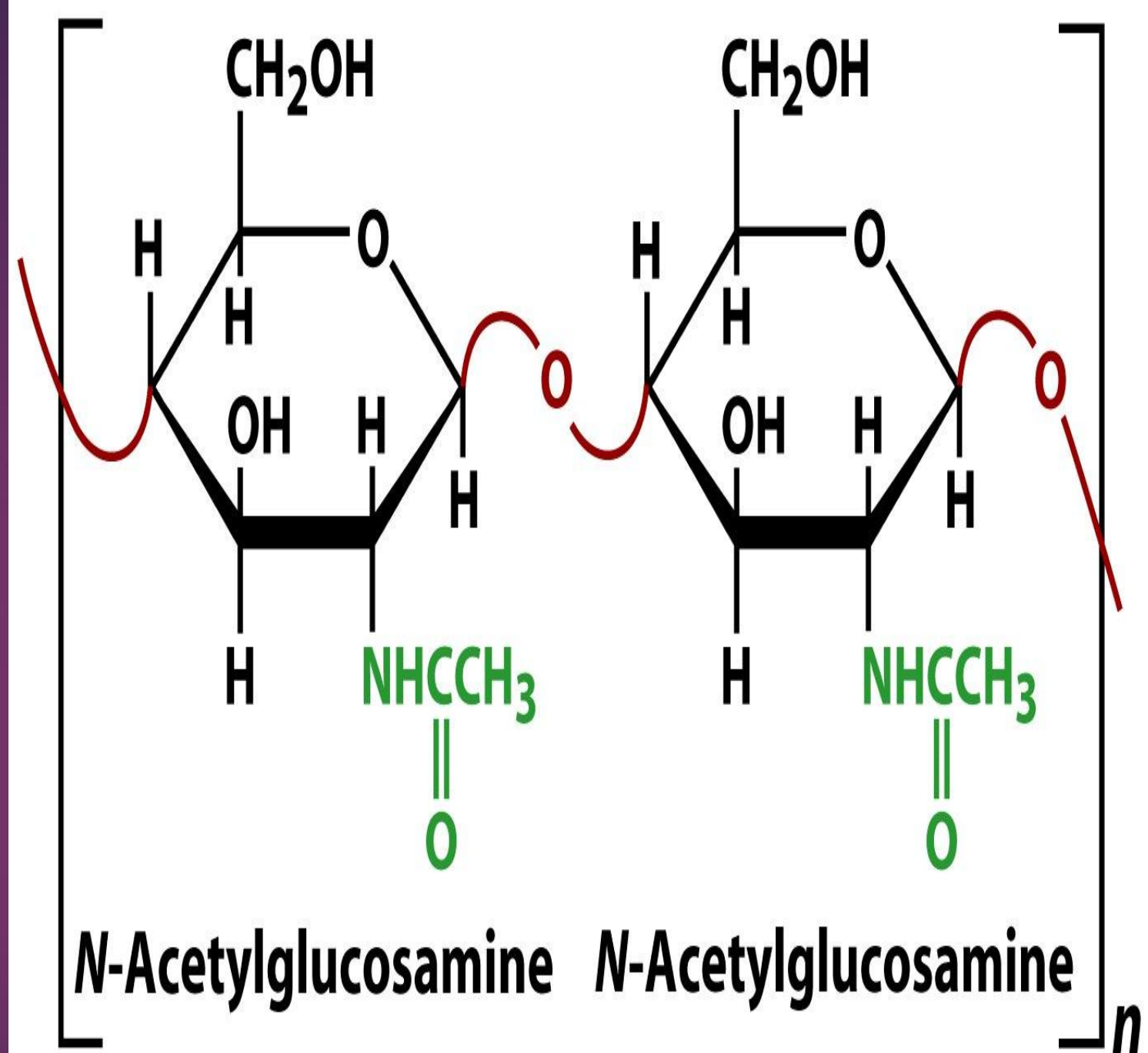
Amylose



ساختار نشاسته



Cellulose



Chitin

هتروپلی ساکاریدها: گلیکوز آمینو گلیکان ها

شامل دو یا چند قند مختلف یا مشتقات مونوساکاریدها هستند

کندروئیتین سولفات

دی ساکارید تکراری
ان-استیل-گالاکتوز آمین و
گلوورونیک اسید

ماده زمینه‌ای غضروفها

اسید هیالورونیک

دی ساکارید تکراری
N-استیل-گلوکز آمین و
گلوورونیک اسید

در بافت پیوندی پوست،
روان ساز در مایع مفصلی
توسط **هیالورونیداز** هیدرولیز می شود
برخی باکتری های بیماری زا و در اسپرم

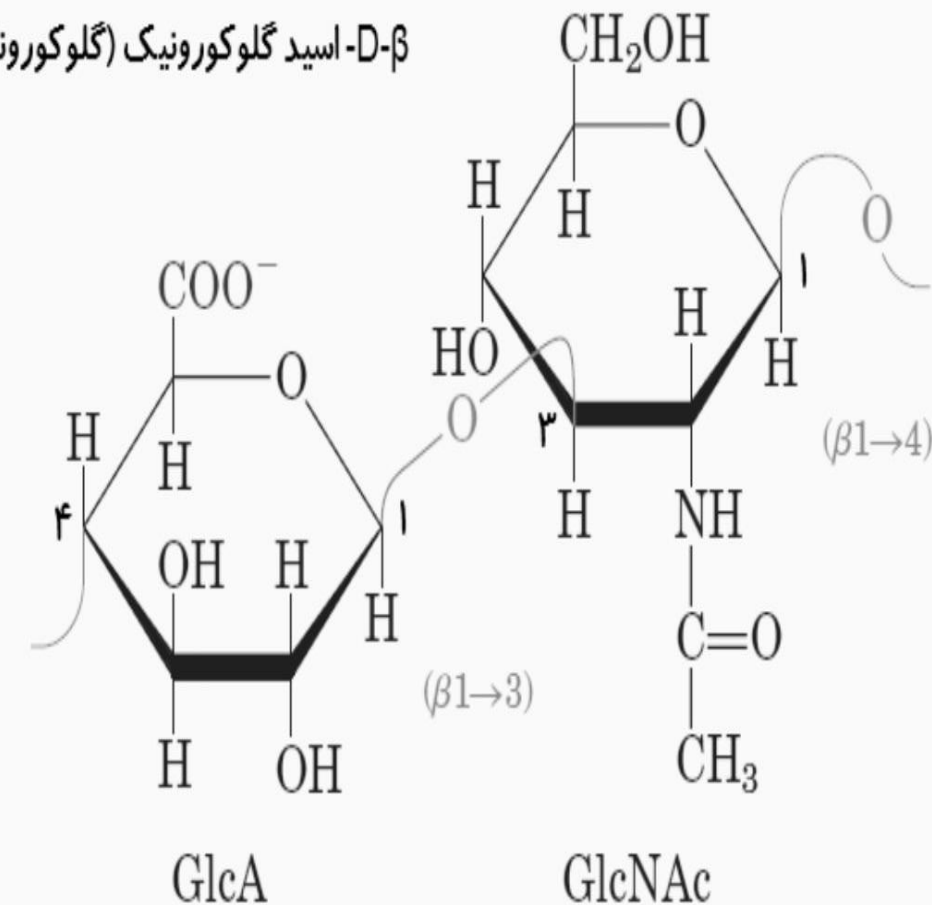
هیپارین

اسید یدو اورونیک و N-استیل-گلوکز آمین ۶-سولفات

ترکیب جلوگیری از انعقاد خون

N-D- β -استیل گلوکز آمین

D- β -اسید گلوکورونیک (گلوکورونات)



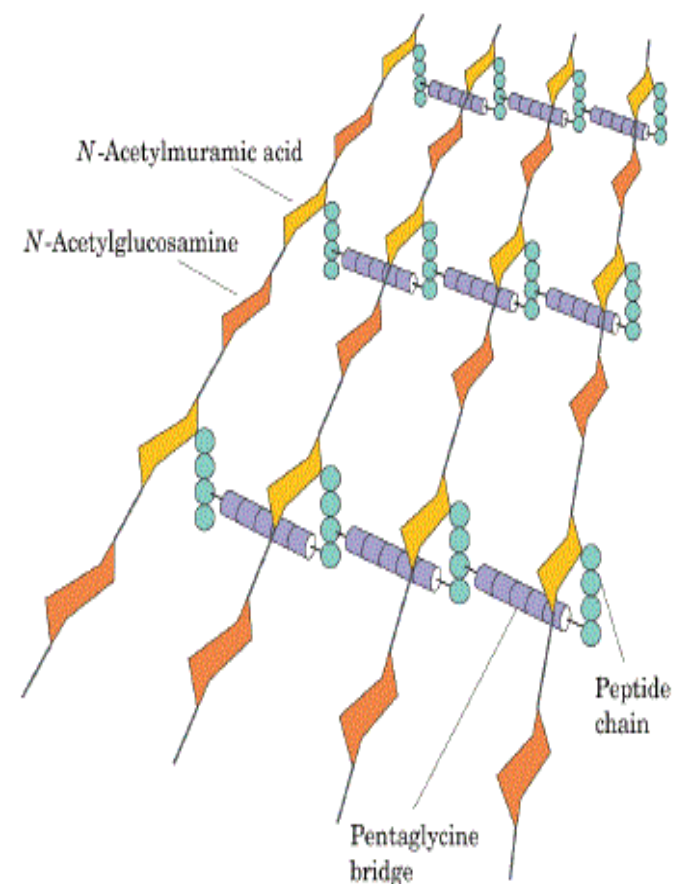
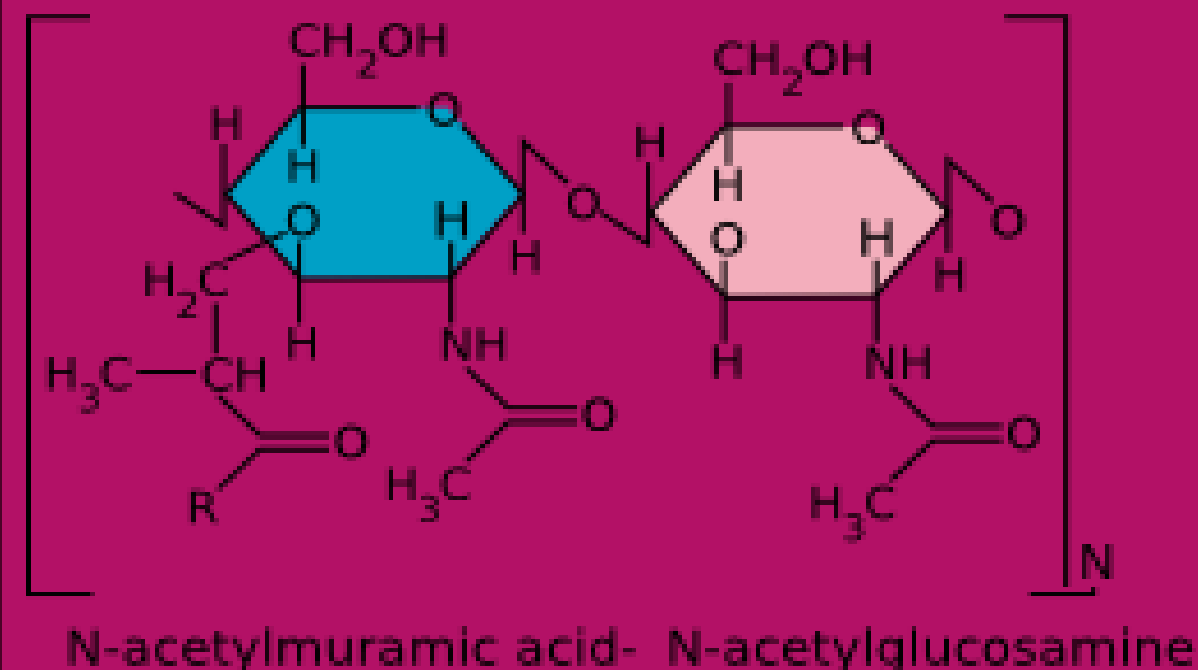
ساختمان اسید هیالورونیک

هتروپلی ساکاریدها: پتیدوگلیکان

جزء ساختاری دیواره سلولی باکتری‌ها از زنجیره‌های طولی
N-استیل-گلوکز آمین و
N-استیل مورامیک اسید با پیوندهای β -(1,4)

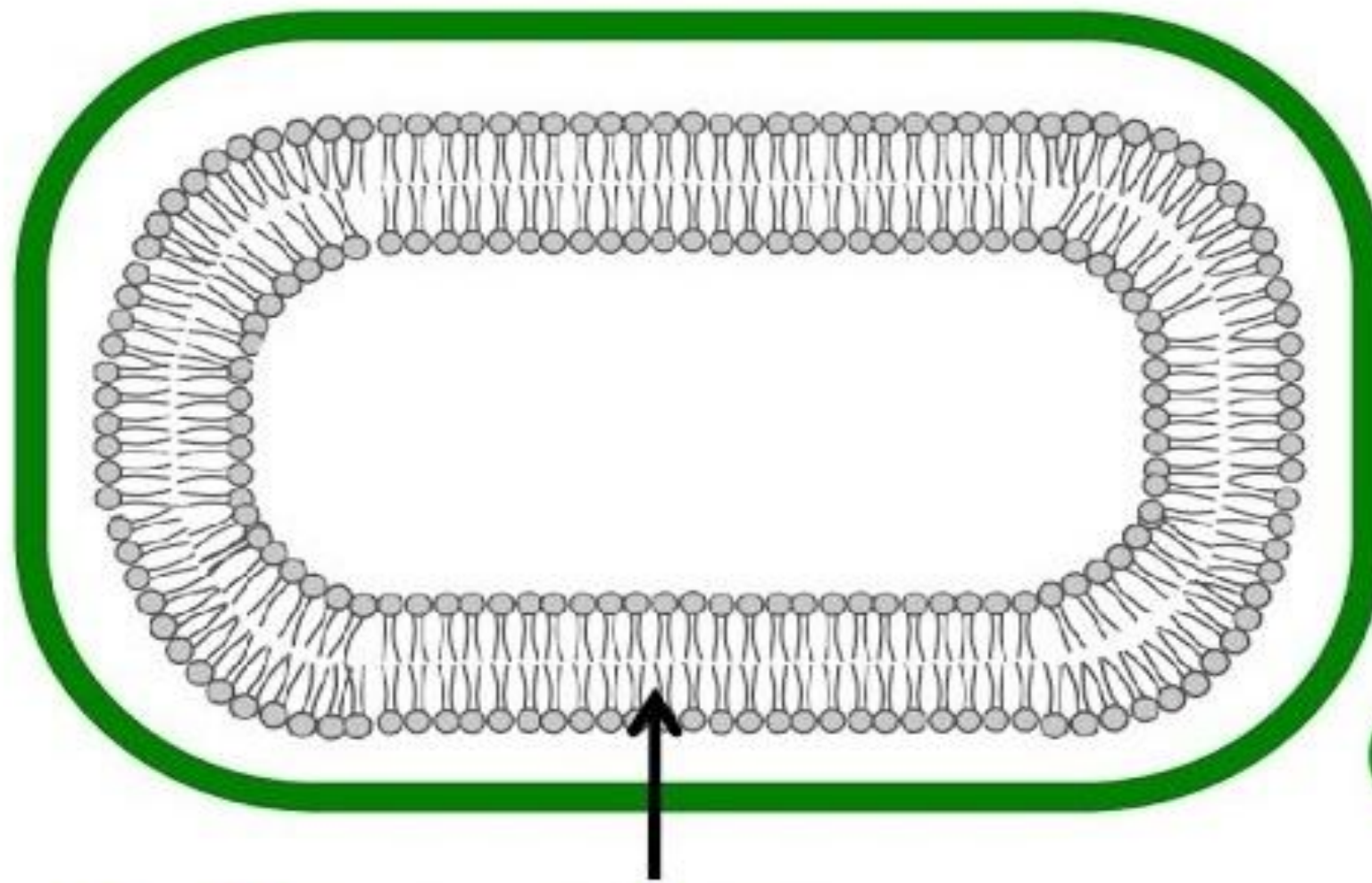
ایجاد یک غلاف قوی
جلوگیری از تورم و لیز سلولی باکتری

آنزیم **لیزوزیم** با هیدرولیز این پیوندهای β -(1,4)، باکتری‌ها
را از بین می‌برد و در **اشک و برخی ویروس‌ها** یافت می‌شود.



Note the pentaglycine cross-linkages between the chains

Lysozyme a glycosidase that cleaves the β -(1,4) linkages of peptidoglycans



Cell wall

Cell membrane

گلیکو کونژوگه‌ها: پروتئوگلیکان‌ها، گلیکوپروتئین‌ها و گلیکواسفنگولیپیدها

پروتئوگلیکان‌ها

اجزای اصلی ماتریکس خارج سلولی، شامل یک یا چند زنجیره گلیکوز آمینوگلیکان متصل به پروتئین

گلیکوپروتئین‌ها

پروتئین‌هایی با یک یا چند الیگوساکارید متصل به صورت کووالان در سطح خارجی غشاء پلاسمایی، ماتریکس خارج سلولی و خون یافت می‌شوند.

از نمونه‌های مهم گلیکوپروتئین‌ها

— گلیکوکالیکس: سطح خارجی غشاء پلاسمایی سلول‌های دیواره روده

— گلیکوفورین: در غشاء گلبول‌های قرمز

* گلیکوفورین A: جایگاه‌هایی برای اتصال به ویروس آنفلوآنزا و پلاسمودיום فالسیپاروم

* گلیکوفورین B حاوی برخی آنتی‌ژن‌های خونی

— فیبرونکتین: در به هم چسبیدن سلول‌های یک بافت نقش مهمی دارند

گلیکواسفنگولیپیدها

لیپیدهای غشایی متصل به الیگوساکاریدها، که سر آبدوست آنها را الیگوساکاریدها تشکیل می‌دهند.

- به فراوانی در مغز و نورون‌ها یافت می‌شوند
- به هدایت عصبی و تولید میلین کمک می‌کنند
- در تبدیل پیام‌های سلولی نیز نقش دارند

شاد و پیروز باشید...