ساختار کربوهیدرات‌ها

گردآورنده

مجید سیرتی‌ثابت

دانشیار دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

مهر ۱۴۰۳

به نام خدا

فهرست

مقدمه ۱
منوساکاریدها ۱
ساختار منوساکاریدها ۴
ساختار خطی منوساکاریدها ۴
همی‌استال و همی‌کتال ۶
ساختار حلقوی منوساکاریدها ۶
منوساکاریدهای دأکسی ۹
منوساکاریدهای آمین‌دار ۹
مشتقات استری منوساکاریدها ۹
منوساکاریدهای اسیدی ۱۱
اسید مورامیک ۱۲
اسیدهای سیالیک ۱۲
احیای منوساکاریدها ۱۳
خاصیت احیاکنندگی منوساکاریدها ۱۳
دی‌ساکاریدها ۱۳
الیگوساکاریدها ۱۷
پلی‌ساکاریدها ۱۷
هُموپلی‌ساکاریدها ۱۷
نشاسته ۱۷
گلیکوژن ۱۸
سلولز ۱۹
کیتین ۱۹
اینولین ۲۰
دکستران ۲۰
هتروپلی‌ساکاریدها ۲۰
قسمت کربوهیدراتی دیواره سلولی باکتری ۲۰
آگار ۲۰
آگاروز ۲۱
اسید هیالورونیک ۲۱
کندروئیتین‌سولفات ۲۱
پروتئوگلایکان‌ها ۲۱
موکوپلی‌ساکاریدوز ۲۴
گلیکوپروتئین‌ها ۲۴
لکتین ۲۶
منابع ۲۷
سوالات چهارگزینه‌ای ۲۸
پاسخنامه ۳۱

گردآورنده
مجید سیرتی‌ثابت
دانشیار دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
مهر ۱۴۰۳

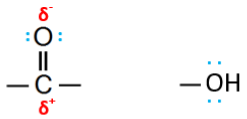
ساختار کربوهیدرات‌ها

مقدمه

کربوهیدرات‌ها (قندها) از جمله فراوان‌ترین مولکول‌های زیستی در کره زمین هستند که نقش مهمی در تغذیه برخی از موجودات دارند. این ترکیبات نقش‌های متابولیک و ساختمانی مهمی دارند. در بسیاری از سلول‌ها، اکسایش قند گلوکز یکی از مسیرهای اصلی دستیابی به انرژی است. گلوکز پیش‌ساز ساخت بیش‌تر کربوهیدرات‌ها در بدن است. نقش ساختاری و ذخیره‌ایی کربوهیدرات‌ها نیز مهم است. از جمله نقش‌های متعدد کربوهیدرات‌ها می‌توان به مشارکت این ترکیبات در تعامل بین برخی از مولکول‌های زیستی و در روان‌کاری مفاصل اسکلتی اشاره کرد.

به مطالعه نقش قندها در سلامت و بیماری گلیکوبیولوژی[1] اطلاق می‌شود. گلیکوم[2] به کل اجزای قندی یک موجود زنده، چه به صورت آزاد و چه در مولکول‌های پیچیده گفته می‌شود. گلیکومیکس[3] به مطالعه کلی گلیکوم‌ها از جهات مختلف از جمله مطالعه جنبه‌های ژنتیکی، فیزیولوژیکی و پاتولوژیک گلیکوم‌ها اشاره می‌کند.

کربوهیدرات‌ها دارای گروه کربنیل و چندین گروه هیدروکسیل هستند. فرمول مولکولی آن‌ها به صورت $C_x(H_2O)_y$ است و به این جهت به آن‌ها هیدرات‌های کربن اطلاق می‌شود.



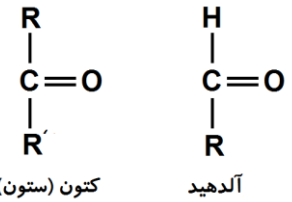
گروه کربنیل گروه هیدروکسیل

شکل ۱ – ساختار گروه هیدروکسیل و کربنیل

کربوهیدرات‌ها به صورت‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند از جمله می‌توان آن‌ها را به منوساکاریدها (قندهای ساده)، اولیگوساکاریدها و پلی‌ساکاریدها (گلایکان‌ها) طبقه‌بندی کرد. در برخی از کتاب‌های مرجع کربوهیدرات‌ها به منوساکاریدها، دی‌ساکاریدها، اولیگوساکاریدها و پلی‌ساکاریدها طبقه‌بندی می‌شوند.

منوساکاریدها

منوساکاریدها ساده‌ترین قندها هستند که نمی‌توانند به کربوهیدرات‌های ساده‌تر آبکافت (هیدرولیز) شوند. منوساکاریدها را می‌توان به عنوان پلی‌هیدروکسی‌آلدهید یا پلی‌هیدروکسی‌کتون در نظر گرفت. این ترکیبات را می‌توان با توجه به وجود گروه آلدهیدی یا کتونی (ستونی) در آن‌ها به آلدوز و کتوز (ستوز) تقسیم کرد. آلدوزها و کتوزهای دارای تعداد کربن یکسان با هم ایزومر هستند. منوساکاریدها را هم‌چنین می‌توان بر اساس تعداد اتم‌های کربن سازنده آن‌ها نیز طبقه‌بندی کرد. ساده‌ترین منوساکاریدها دارای سه اتم کربن (تریوز) هستند.



کتون (ستون) آلدهید

شکل ۲ – ساختار آلدهید و کتون

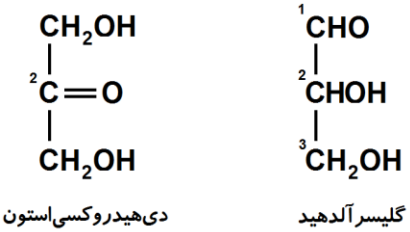
[1] Glycobiology
[2] Glycome
[3] Glycomics

جدول ۱ – طبقه‌بندی منوساکاریدها

تعداد کربن	گروه عاملی	
	آلدوز	کتوز
تریوز (منوساکارید دارای سه اتم کربن) ($C_3H_6O_3$)	گلیسرآلدهید (گلیسروز)	دی‌هیدروکسی‌استون
تتروز (منوساکارید دارای چهار اتم کربن) ($C_4H_8O_4$)	اریتروز - تره‌اوز	اریترولوز
پنتوز (منوساکارید دارای پنج اتم کربن) ($C_5H_{10}O_5$)	ریبوز – آرابینوز - گزیلوز	ریبولوز - گزیلولوز
هگزوز (منوساکارید دارای شش اتم کربن) ($C_6H_{12}O_6$)	گلوکز – گالاکتوز – مانوز	فروکتوز
هپتوز (منوساکارید دارای هفت اتم کربن) ($C_7H_{14}O_7$)	-	سدوهپتولوز

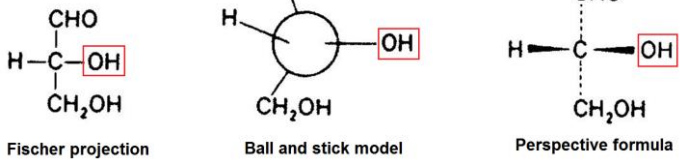
تمام منوساکاریدها، به جز دی‌هیدروکسی‌استون، دارای حداقل یک کربن نامتقارن هستند، لذا ایزومری نوری در آن‌ها دیده می‌شود. در انسان به طور معمول فرم D منوساکاریدها در ساختار کربوهیدرات‌ها دیده می‌شوند و در واکنش‌های متابولیسمی شرکت می‌کنند.

کربن شماره دو در ساختار گلیسرآلدهید نامتقارن است (چهار گروه متفاوت به آن متصل است). گلیسرآلدهید دارای دو فرم D و L است که تصویر آینه‌ای هم (انانتیومر) هستند.



شکل ۳ – ساختار گلیسرآلدهید و دی‌هیدروکسی‌استون

برای نمایش مولکول گلیسرآلدهید می‌توان از مدل فیشر استفاده کرد که برای سادگی زوایای پیوندی کربن را به صورت ۹۰ درجه نشان می‌دهد. با توجه به اینکه زاویه بین پیوندهای یگانه در کربن حدود ۱۰۹/۵ درجه است باید کربن نامتقارن را به صورتی تصور کرد که گروه‌هایی که در بالا و پایین قرار دارند در پشت صفحه هستند و گروه‌هایی که در سمت چپ و راست قرار دارند در جلوی صفحه قرار می‌گیرند. نمایش پرسپکتیو[4] مولکول گلیسرآلدهید شکل واقعی آن را بهتر نشان می‌دهد. در این نمایش گروه‌هایی که در بالا و پایین قرار دارند در پشت صفحه و با خط چین نشان داده می‌شوند و گروه‌هایی که در سمت راست و چپ قرار دارند در جلوی صفحه و با نماد ◄ نشان داده می‌شوند.



شکل ۴ – ساختار D – گلیسرآلدهید

در مورد سایر منوساکاریدهای دارای ایزومر نوری، موقعیت گروه هیدروکسیل متصل به کربن ماقبل آخر (کربن رفرانس) را با گلیسرآلدهید مقایسه می‌کنند. اگر گروه هیدروکسیل مورد نظر در سمت راست باشد منوساکارید از نوع D و اگر در سمت چپ باشد منوساکارید از نوع L است. اصطلاح D و L تنها نشان‌دهنده وضعیت قرارگرفتن گروه‌ها در اطراف کربن نامتقارن است و یک ترکیب نوع D می‌تواند راست‌گردان (+) یا چپ‌گردان (–) باشد که با استفاده از دستگاه پولاریمتر می‌توان راست‌گردان یا چپ‌گردان بودن آن را مشخص کرد. D – گلوکز راست‌گردان و D – فروکتوز

شکل ۵ – ساختار D – گلیسرآلدهید و L – گلیسرآلدهید

شکل ۶ – ساختار D- ریبوز و D – گزیلوز

[4] Perespective

چپ‌گردان است.

تعداد ایزومرهای نوری یک ترکیب برابر ۲^n است که n تعداد اتم‌های کربن نامتقارن در ترکیب است. اگر ترکیبی دارای دو کربن نامتقارن باشد، دارای چهار ایزومر نوری است که این ایزومرها دو به دو تصویر آینه‌ای یک‌دیگر هستند و نسبت به هم انانتیومر هستند. ایزومرهای نوری که تصویر آینه‌ای یک‌دیگر نیستند نسبت به هم دیاستررومر هستند. به عنوان مثال D – ریبوز و L – ریبوز نسبت به هم انانتیومر و D – ریبوز و D – گزیلوز نسبت به هم دیاستررومر هستند.

جدول ۲ - ویژگی برخی از پنتوزهای مهم

قند	منبع	اهمیت بیوشیمیایی و بالینی
D - ریبوز	اسیدهای هسته‌ایی، میانجی متابولیک	یکی از اجزای ساختمانی برخی از نوکلئوتیدها، اسیدهای هسته‌ایی، و برخی از کوآنزیم‌ها از جمله کوآنزیم‌های فلاوینی (به صورت ریبیتول) و نیاسینی
D - ریبولوز	میانجی متابولیک	یکی از متابولیت‌های مسیر پنتوزفسفات
D - آرابینوز	صمغ‌های گیاهی	از اجزای تشکیل‌دهنده گلیکوپروتئین‌ها
D - گزیلوز	صمغ‌های گیاهی، پروتئوگلایکن‌ها، گلایکوزآمینوگلیکان‌ها	از اجزای تشکیل‌دهنده گلیکوپروتئین‌ها
D - گزیلولوز	میانجی متابولیک	ظاهر شدن در ادرار در پنتوزیوری اساسی (اصلی)

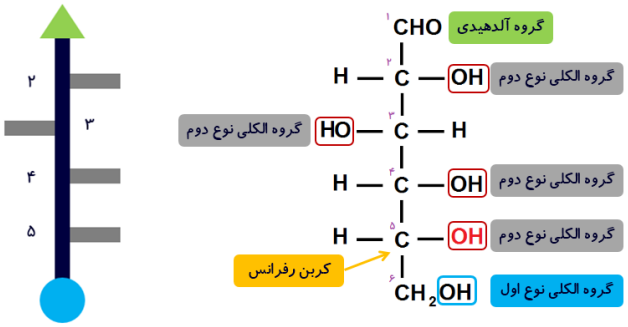
جدول ۳ - ویژگی‌های برخی از هگزوزهای مهم

قند	منبع	اهمیت بیوشیمیایی	اهمیت بالینی
D - گلوکز	آب میوه‌ها، هیدرولیز نشاسته، قند نیشکر یا چغندر، مالتوز و لاکتوز	سوخت متابولیک اصلی بافت‌ها، قند خون	ظاهر شدن در ادرار (گلوکزیوری) در دیابت قندی کنترل نشده به دلیل افزایش گلوکز خون (هایپرگلایسمی)
D - فروکتوز	آب میوه‌ها، عسل، هیدرولیز قند نیشکر یا چغندر و اینولین، ایزومریزاسیون آنزیمی شربت‌های گلوکز در تهیه مواد غذایی	متابولیزه شدن از طریق گلوکز یا به صورت مستقیم	تجمع فروکتوز و هایپوگلیسمی (کاهش گلوکز خون) در بیماری عدم تحمل ارثی فروکتوز
D - گالاکتوز	هیدرولیز لاکتوز	متابولیزه شدن از طریق گلوکز، ساخته شدن در غدد پستان جهت تولید لاکتوز شیر، از اجزای تشکیل‌دهنده گلیکوپروتئین‌ها و گلیکولیپیدها	ایجاد آب مروارید (کاتاراکت) در بیماری گالاکتوزمی ارثی در نتیجه اختلال در متابولیسم گالاکتوز
D - مانوز	هیدرولیز صمغ‌های مانانی گیاهی	از اجزای تشکیل‌دهنده گلیکوپروتئین‌ها	

ساختار منوساکاریدها

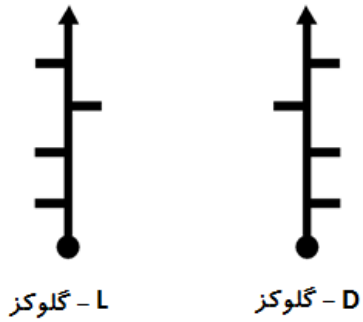
ساختار خطی منوساکاریدها

در ساختمان خطی منوساکارید، گروه آلدهیدی یا کتونی منوساکارید به صورت آزاد وجود دارد. گلوکز (دکستروز) با فرمول $C_6H_{12}O_6$ مهم‌ترین منوساکارید موجود در جانوران است. گلوکز مهم‌ترین سوختی است که جهت تامین انرژی به وسیله سلول‌های مغزی انسان مصرف می‌شود. ازدیاد مقدار گلوکز در خون انسان، فرد را دچار افزایش قند خون (هایپرگلایسمی) می‌کند و کاهش آن کاهش قند خون (هایپوگلایسمی) را به وجود می‌آورد. محدوده طبیعی غلظت گلوکز در حالت ناشتا در سرم (FBS) ۷۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر معادل ۳/۹ تا ۵/۶ میلی‌مولار است. برای تبدیل غلظت گلوکز از میلی‌گرم بر دسی‌لیتر به میلی‌مولار باید غلظت گلوکز که به صورت میلی‌گرم بر دسی‌لیتر است تقسیم بر ۱۸ یا در ۰/۰۵۶ ضرب شود (جرم مولی گلوکز ۱۸۰ است).



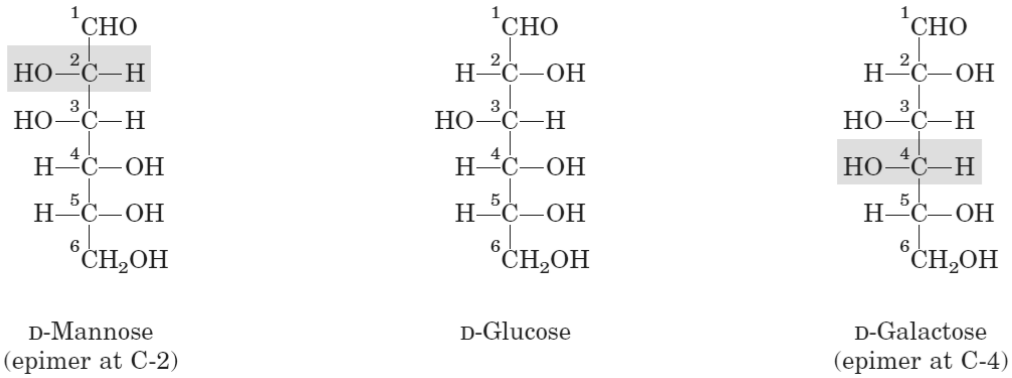
شکل ۷ – ساختار D – گلوکز ($C_6H_{12}O_6$)

گلوکز، آلدوهگزوز است و در حالتی که ساختار آن به صورت خطی است دارای چهار کربن نامتقارن است. کربن‌های شماره ۲، ۳، ۴ و ۵ در ساختار خطی گلوکز نامتقارن هستند. ساختار خطی گلوکز دارای شانزده ایزومر آلدوهگزوزی است. هشت عدد از این ایزومرها به حالت D و هشت عدد دیگر به حالت L هستند. D – گلوکز راست‌گردان است و انانتیومر آن (L – گلوکز) چپ‌گردان است.



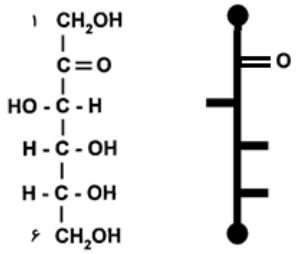
شکل ۸ – ساختار D – گلوکز و L – گلوکز

هرگاه تفاوت دو مولکول قندی که با هم دیاسترومر هستند تنها در آرایش فضایی در اطراف یک اتم کربن نامتقارن باشد آن دو قند را اپیمر یک‌دیگر می‌نامند. به عنوان مثال، D – گلوکز و D – گالاکتوز اپیمر کربن چهار، D – گلوکز و D – مانوز اپیمر کربن دو یک‌دیگر هستند.

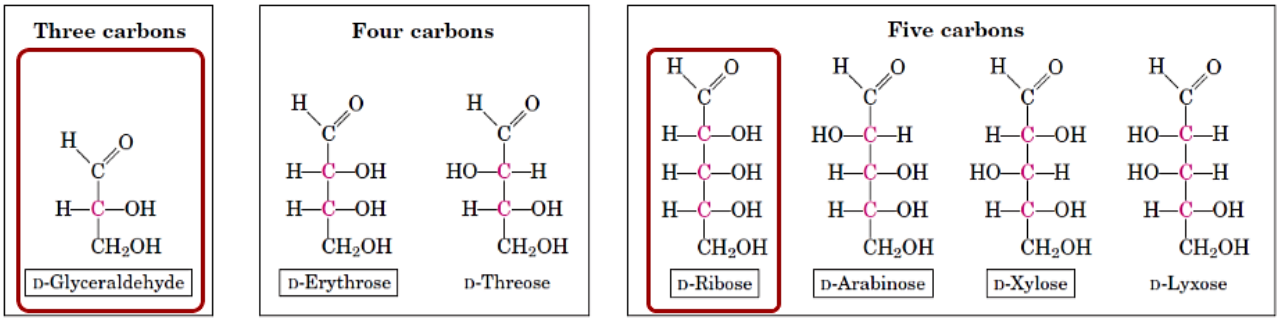


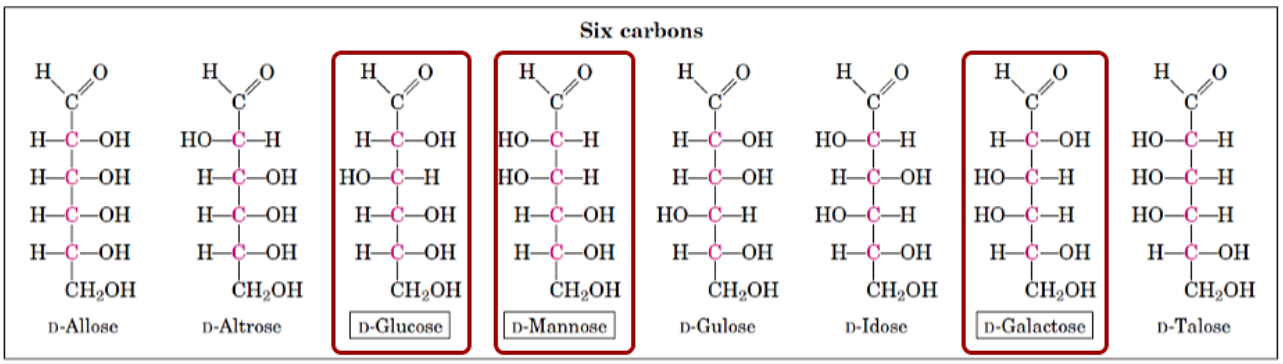
شکل ۹ – اپیمری بین D– گلوکز و D– گالاکتوز، و اپیمری بین D– گلوکز و D– مانوز (۶)

فروکتوز با فرمول $C_6H_{12}O_6$ کتوهگزوز و ایزومر کتوزی گلوکز است. در ساختار فروکتوز، گروه کربنیل در کربن شماره دو قرار گرفته است. فروکتوز در ساختار خطی خود دارای سه کربن نامتقارن است و در این شرایط دارای هشت ایزومر کتوهگزوزی است. مولکول D – فروکتوز (لوولوز) چپ‌گردان است. در منوساکاریدهای کتوزی بدن انسان گروه کربنیل در کربن شماره دو قرار دارد. قندهای کتوزی ریبولوز، گزیلولوز و سدوهپتولوز در مسیر متابولیسمی پنتوزفسفات نقش دارند.

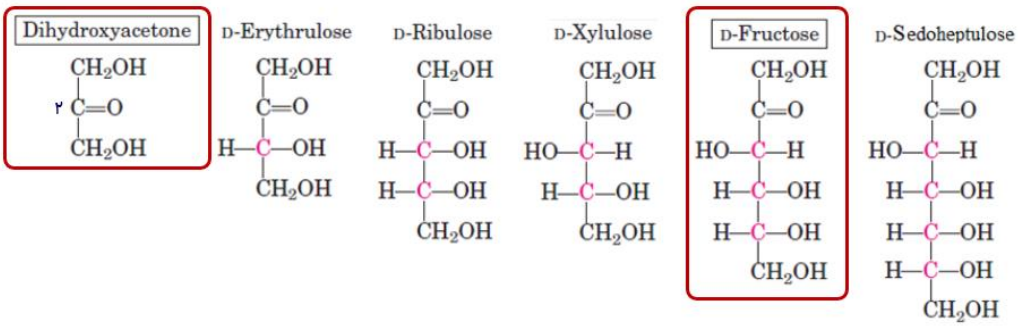


شکل ۱۰ – ساختار D – فروکتوز





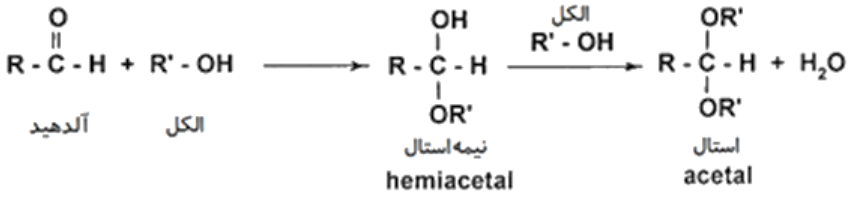
شکل ۱۱ – ساختار خطی برخی از آلدوزها (۶). آشنایی با ساختار گلیسرآلدهید، ریبوز، گلوکز، مانوز و گالاکتوز مهم است.



شکل ۱۲ – ساختار خطی برخی از کتوزها (۶). آشنایی با ساختار دی‌هیدروکسی‌استون و فروکتوز مهم است.

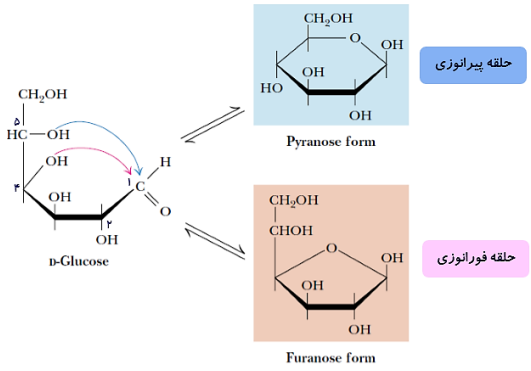
همی‌استال و همی‌کتال

آلدهیدها می‌توانند در محیط قلیایی یا اسیدی با یک مولکول الکل ترکیب شوند و تولید همی‌استال را کنند. چنان که، واکنش ادامه یابد همی‌استال ایجاد شده می‌تواند (در محیط اسیدی) با یک مولکول دیگر الکل واکنش دهد و ایجاد استال و آب را کند. اگر به جای مولکول آلدهید مولکول کتون داشته باشیم ابتدا همی‌کتال (همی‌ستال) و سپس کتال (ستال) ایجاد می‌شود.



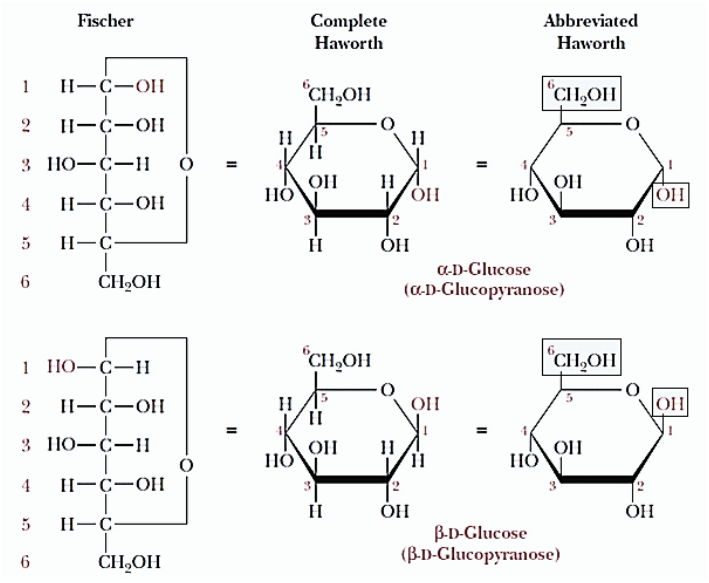
شکل ۱۳ – واکنش آلدهید با الکل (ایجاد همی‌استال و سپس استال)

ساختار حلقوی منوساکاریدها

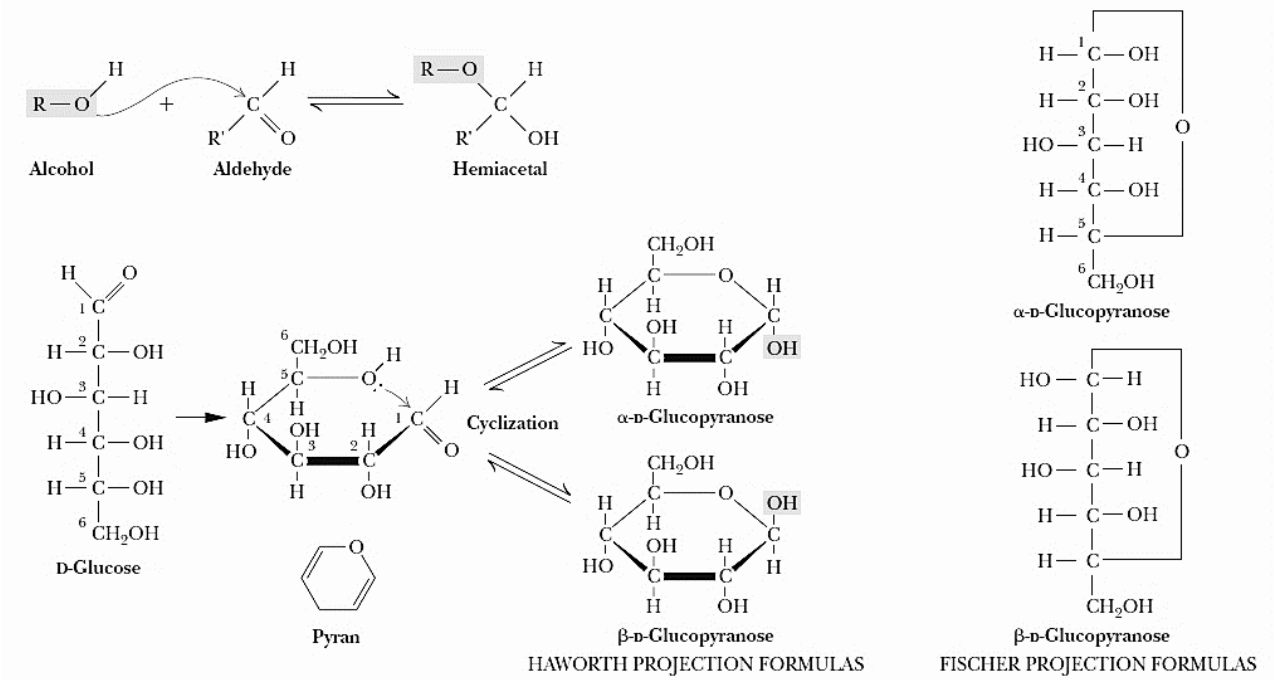


شکل ۱۴ – حلقوی شدن گلوکز (۵)

برخی از منوساکاریدها (دارای بیش از سه اتم کربن) که قابلیت حلقوی شدن دارند، بسته به ساختار ایجاد شده به دو صورت فورانوزی (حلقه پنج عضوی) یا پیرانوزی (حلقه شش عضوی) دیده می‌شوند. کلمه فورانوز و پیرانوز به دلیل شباهت این ساختارها با مولکول فوران و پیران انتخاب شدند. گروه آلدهیدی در شرایط مناسب می‌تواند با گروه الکلی واکنش دهد و ایجاد حالت همی‌استال کند. این حالت را می‌توان در گلوکز مشاهده کرد. گروه آلدهیدی گلوکز می‌تواند با گروه هیدروکسیل متصل به کربن شماره چهار و یا پنج واکنش دهد و ضمن ایجاد حالت همی‌استال، ساختار گلوکز را به صورت حلقوی درآورد. در مورد گلوکز بیش‌تر حلقه پیرانوزی (حلقه شش عضوی) تشکیل می‌شود. با توجه به وضعیت فضایی گروه هیدروکسیل متصل به کربن همی‌استال (کربن آنومریک)، دو ایزومر α و β از D – گلوکز حلقوی حاصل می‌شود که نسبت به هم آنومر هستند و می‌توانند در حالت محلول به هم تبدیل شوند (خاصیت موتاروتاسیون). در تمام آلدهگزوزهایی که به صورت حلقوی هستند کربن آنومریک، کربن شماره یک است.



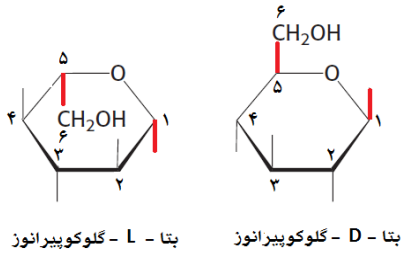
شکل ۱۵ – ساختار α -D-گلوکوپیرانوز و β -D-گلوکوپیرانوز



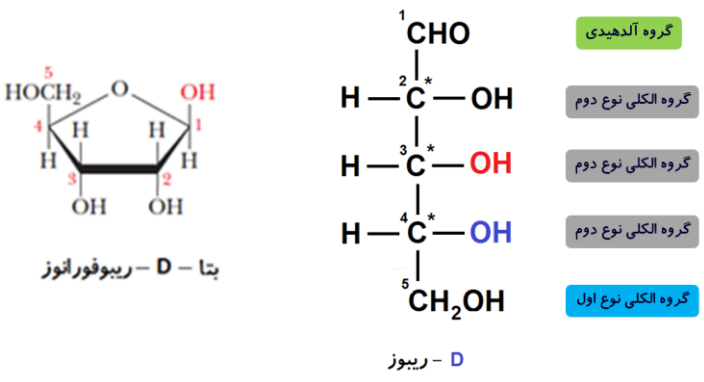
شکل ۱۶ – فرایند حلقوی شدن گلوکز و تشکیل قند پیرانوزی (۵)

حالت‌های مختلف ایزومری قندها را که فقط در نحوه قرارگرفتن اتم‌ها در حول اتم کربن آنومریک (همی‌استال یا همی‌کتال) با هم تفاوت دارند آنومر می‌نامند.

در فرمول هاورث برای نمایش حلقه پیرانوزی از حلقه ساده شش ضلعی استفاده می‌شود که یک اتم آن اکسیژن است. اتم اکسیژن در قسمت فوقانی سمت راست قرار می‌گیرد و در سمت راست آن اتم کربن آنومریک است و بقیه کربن‌ها مطابق چرخش عقربه ساعت شماره‌گذاری می‌شوند. در انانتیومر نوع D آخرین اتم کربن از بالا و در انانتیومر نوع L آخرین اتم کربن از پایین به اتم کربن ماقبل آخر متصل می‌شود. گروه‌های عاملی موجود در سمت چپ مدل فیشر در این حالت در بالای حلقه و گروه‌های عاملی موجود در سمت راست در پایین حلقه قرار می‌گیرند. در آلدوهگزوزهایی که به صورت پیرانوزی هستند و ساختار آن‌ها بر اساس مدل هاورث نمایش داده می‌شود گروه هیدورکسیل کربن شماره ۱ و کربن شماره ۶ در ایزومر β در یک جهت هستند در صورتی که در ایزومر α در خلاف جهت هم هستند. برای نمایش حالت فورانوزی از حلقه پنج عضوی مشابه فوران استفاده می‌شود و در سمت راست اتم اکسیژن اتم کربن آنومریک است و بقیه کربن‌ها مطابق چرخش عقربه ساعت شماره‌گذاری می‌شوند. بقیه گروه‌ها مطابق قرارداد ذکر شده برای حالت پیرانوزی قرار می‌گیرند.



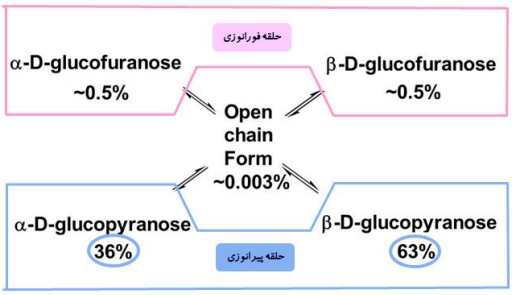
شکل ۱۷ – ساختار β -D-گلوکوپیرانوز و β -L-گلوکوپیرانوز



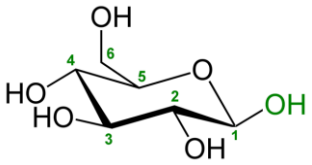
شکل ۱۸ – ساختار بتا – D – ریبوفورانوز

در محلول حاوی گلوکز ساختار خطی گلوکز و ساختارهای حلقوی آن (پیرانوزی و فورانوزی) وجود دارند. گلوکز در محلول بیش‌تر به صورت β-D-گلوکوپیرانوز است.

باید توجه داشت فرمول هاورث جهت سادگی برای نمایش منوساکاریدها استفاده می‌شود. ساختار واقعی فرم پیرانوزی آلدوهگزوزها مشابه مولکول سیکلوهگزان است و می‌تواند صورت‌بندی یا کونفورماسیون[5] مختلفی از جمله حالت صندلی و یا قایق داشته باشد.

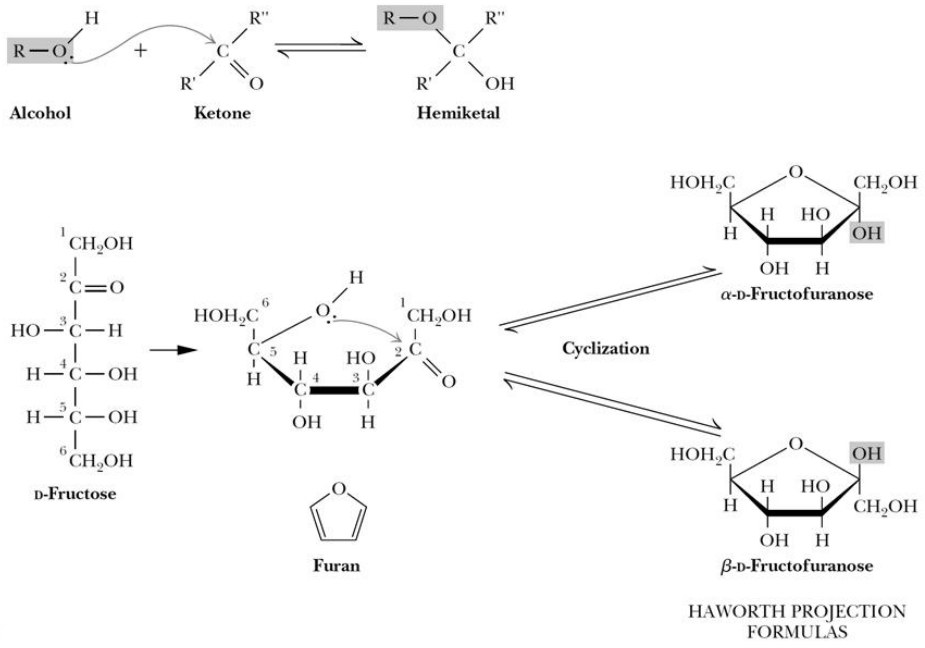


شکل ۱۹ – نسبت فرم‌های مختلف گلوکز در محلول



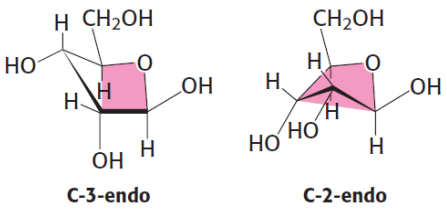
شکل ۲۰ – ساختار واقعی β -D-گلوکوپیرانوز

فروکتوز نیز می‌تواند به صورت حلقوی درآید. گروه کربنیل فروکتوز می‌تواند با گروه هیدروکسیل متصل به کربن شماره پنج واکنش دهد و ایجاد حلقه فورانوزی و یا در صورت ترکیب شدن با گروه هیدروکسیل متصل به کربن شماره شش حلقه پیرانوزی را به وجود آورد. در این شرایط، در فروکتوز حالت همی‌کتال دیده می‌شود. فروکتوز در محلول، بیش‌تر به فرم فورانوزی وجود دارد. در فروکتوفورانوز کربن آنومریک، کربن شماره دو است.



شکل ۲۱ – فرایند حلقوی شدن فروکتوز و تشکیل قند فورانوزی (۵)

شکل واقعی حلقه فورانوزی غیرمسطح است. اتم‌ها در این حلقه می‌توانند به صورتی قرار گیرند که چهار اتم به تقریب در یک سطح باشند و اتم پنجم حدود ۰/۵ آنگستروم دورتر از این صفحه قرار گیرد. به این صورت‌بندی، پاکت نامه گفته می‌شود. در ریبوفورانوز به طور معمول کربن شماره دو و یا کربن شماره سه در خارج صفحه در همان سمت کربن شماره پنج قرار می‌گیرد که به این صورت‌بندی‌ها به ترتیب کربن ۲ –اندو و کربن ۳ – اندو گفته می‌شود.



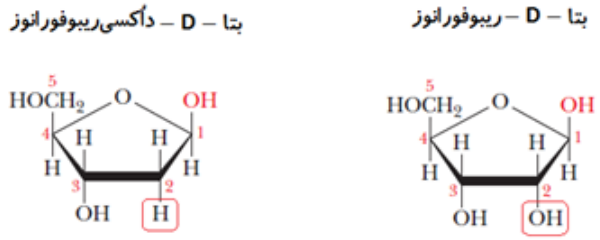
شکل ۲۲ – ساختار کربن ۲ –اندو و کربن ۳ – اندو (۲)

[5] Conformation

برای آلدوزهای حلقوی مانند گلوکز، کربن شماره یک و برای کتوزهای حلقوی مثل فروکتوز، کربن شماره دو کربن آنومریک است.

منوساکاریدهای دأکسی

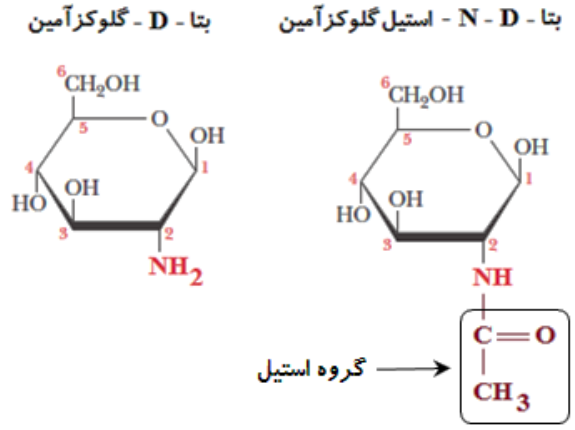
منوساکاریدهای دأکسی (دزأکسی) قندهایی هستند که در آن‌ها یک گروه هیدروکسیل به وسیله یک اتم هیدروژن جایگزین می‌شود. از جمله منوساکاریدهای دأکسی می‌توان به ۲–دأکسی‌گلوکز، ۲–دأکسی‌ریبوز، ۶–دأکسی‌مانوز یا رامنوز و ۶–دأکسی‌گالاکتوز یا فوکوز اشاره کرد. ۲–دأکسی‌ریبوز از مشتقات ریبوز است که در ساختمان DNA وجود دارد. از ۲– دأکسی‌گلوکز در آزمایشگاه جهت مهار متابولیسم گلوکز استفاده می‌شود.



شکل ۲۳ – ساختار بتا – D – ریبوفورانوز و بتا – D – دأکسی‌ریبوفورانوز

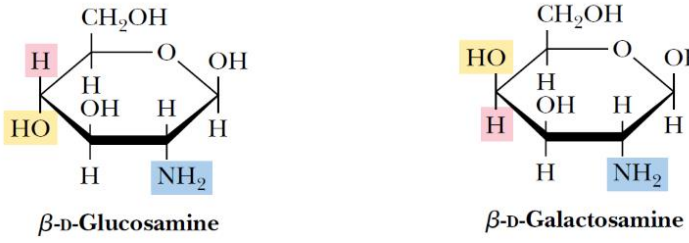
منوساکاریدهای آمین‌دار

در این ترکیبات، گروه آمین جایگزین گروه هیدروکسیل در منوساکارید شده است. به طور معمول گروه آمین جایگزین گروه هیدروکسیل متصل به کربن شماره دو آلدوزها می‌شود. فراوان‌ترین قندهای آمینه در طبیعت گلوکزآمین و گالاکتوزآمین (کندروزآمین) هستند. این ترکیبات به شکل N – استیله (اتصال گروه استیل به گروه آمین) در ساختار بافت غضروفی و کیتین حشرات وجود دارند. در ساختار برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها از جمله اریترومایسین قند آمینه وجود دارد که در عملکرد آن‌ها مهم است.



شکل ۲۴ – ساختار بتا–D–گلوکزآمین و بتا–N–D–استیل‌گلوکزآمین

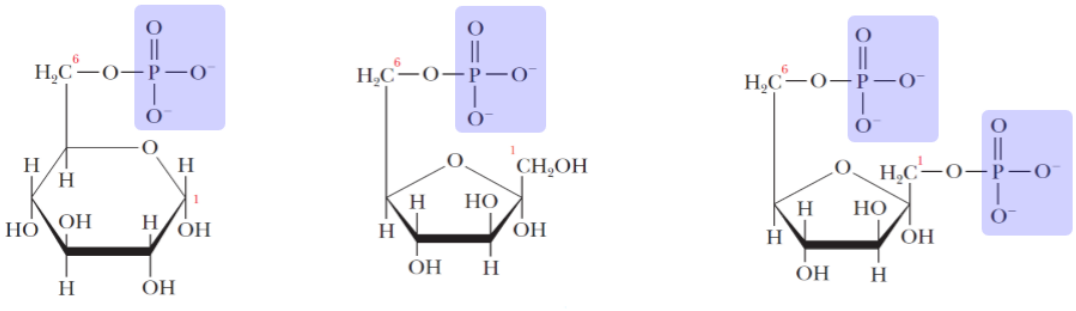
شکل ۲۵ – ساختار ریشه استیل و ریشه آسیل



شکل ۲۶ – ساختار بتا–D–گالاکتوزآمین و بتا–D–گلوکزآمین (۵)

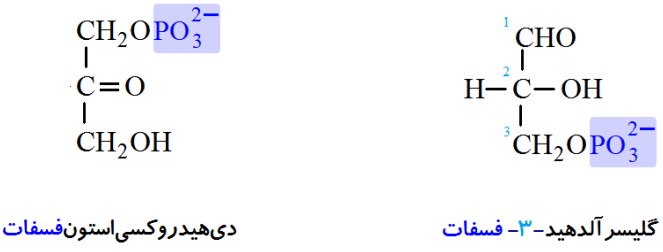
مشتقات استری منوساکاریدها

گروه هیدروکسیل قندها به آسانی قابل استری شدن با بنیان‌های آلی و معدنی است. از جمله استرهای مهم منوساکاریدها در فرایندهای متابولیسمی استر فسفاته این ترکیبات است. گلوکز – ۱ – فسفات، گلوکز – ۶ – فسفات، فروکتوز – ۶ – فسفات و فروکتوز – ۱ و ۶ – بیس‌فسفات از استرهای مهم فسفاته منوساکاریدی هستند. مشتق استری منوساکارید در pH فیزیولوژیک دارای بار منفی است.

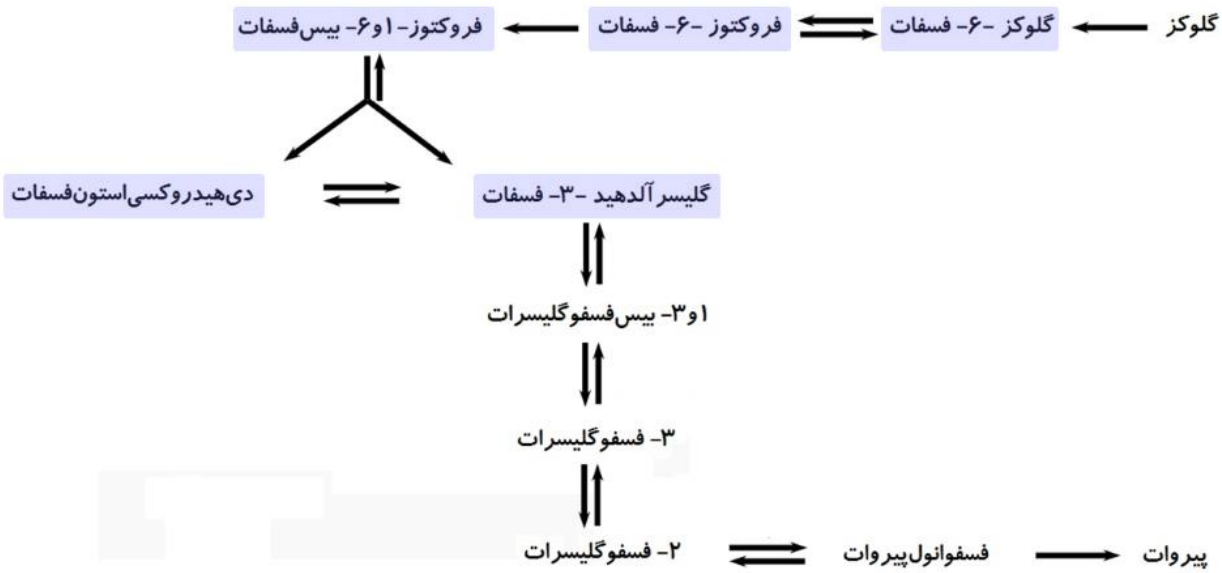


شکل ۲۷ - ساختار فروکتوز - ۱ و ۶ - بیس‌فسفات، فروکتوز - ۶ - فسفات و گلوکز - ۶ - فسفات

مشتقات فسفاته منوساکاریدها در متابولیسم کربوهیدرات‌ها به خصوص متابولیسم گلوکز بسیار مهم هستند. یکی از مسیرهای بسیار مهم در متابولیسم گلوکز، مسیر گلیکولیز است که در آن مولکول گلوکز به دو مولکول پیروات تبدیل می‌شود. در این مسیر، مشتقات فسفاته منوساکاریدها از جمله گلوکز - ۶ - فسفات، فروکتوز - ۶ - فسفات، فروکتوز - ۱ و ۶ - بیس‌فسفات، گلیسرآلدهید - ۳ - فسفات و دی‌هیدروکسی‌استون‌فسفات وجود دارند.



شکل ۲۸ - گلیسرآلدهید - ۳ - فسفات و دی‌هیدروکسی‌استون‌فسفات

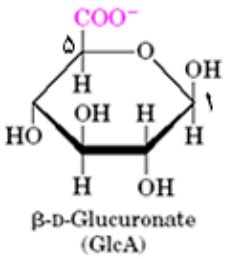


شکل ۲۹ - منوساکاریدهای فسفاته مسیر گلیکولیز

منوساکاریدهای اسیدی

در اثر اکسایش کامل گروه الکلی نوع اول و گروه آلدهیدی موجود در منوساکاریدها گروه اسید کربوکسیلیک ایجاد می‌شود.

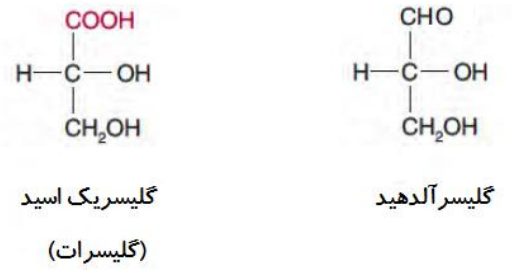
منوساکاریدهای اسیدی که از اکسایش گروه الکلی نوع اول منوساکاریدها و تبدیل آن به گروه اسید کربوکسیلیک حاصل می‌شوند به عنوان اسیدهای اورونیک شناخته می‌شوند. از اسیدهای اورونیک می‌توان به β – D – اسید گلوکورُونیک (D – β – گلوکورونات) و α – L – اسید آیدورونیک (α – L – آیدورونات) اشاره کرد که نسبت به هم اپیمر (در کربن ۵) هستند.



شکل ۳۰ – ساختار β – D– گلوکورونات (۶)

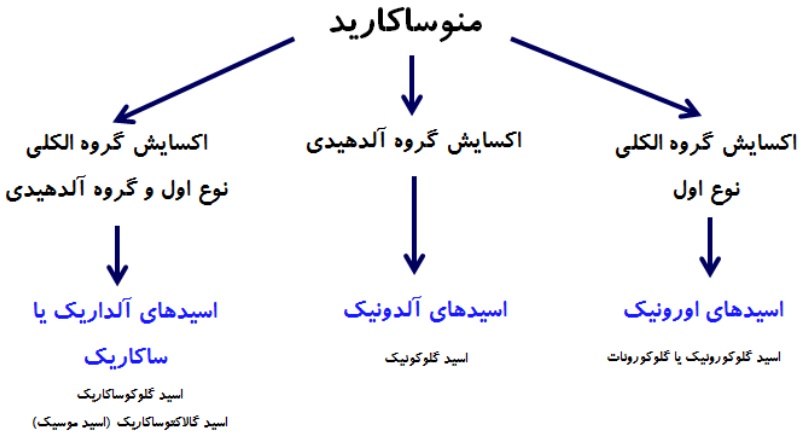
گلوکورونات یکی از ترکیبات بسیار مهم است زیرا در کبد به مولکول‌های سمی نامحلول در آب متصل می‌شود و بدین ترتیب آن‌ها را محلول در آب می‌کند که قابل دفع هستند. اسیدهای اورونیک در ساختار گلایکوزآمینوگلیکان‌ها یا موکوپلی‌ساکاریدها وجود دارند.

هنگامی که فقط گروه آلدهیدی منوساکارید به گروه اسیدی تبدیل شود اسیدهای آلدونیک مانند اسید گلوکونیک یا گلوکونات (در صورت اکسایش فقط گروه آلدهیدی گلوکز و تبدیل به گروه اسیدی) به وجود می‌آیند. اگر در گلیسرآلدهید فقط گروه آلدهیدی به اسیدی تبدیل شود اسید گلیسیریک (گلیسرات) به وجود می‌آید. مشتق فسفاته این ترکیب از جمله ۱ و ۳ – بیس‌فسفو گلیسرات، ۳ – فسفوگلیسرات و ۲ – فسفوگلیسرات در مسیر گلیکولیز مشاهده می‌شود.



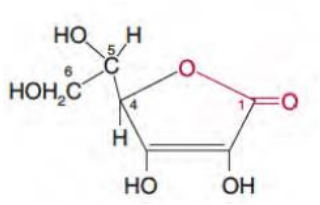
شکل ۳۱ – ساختار گلیسرآلدهید و اسید گلیسیریک (گلیسرات)

وقتی که هم گروه الکلی نوع اول و هم گروه آلدهیدی منوساکارید به گروه اسیدی تبدیل شوند اسیدهای آلداریک یا ساکاریک مانند اسید گلوکوساکاریک و اسید گالاکتوساکاریک (اسید موسیک) به وجود می‌آیند.



شکل ۳۲ – انواع منوساکاریدهای اسیدی

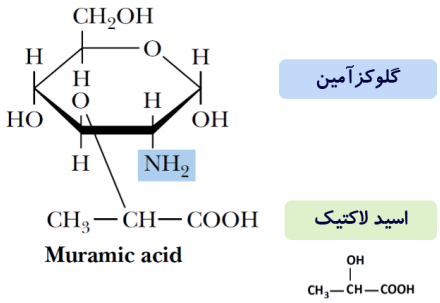
گروه اسیدی ایجاد شده در اسیدهای اورونیک و یا اسیدهای آلدونیک می‌تواند با گروه هیدروکسیل موجود در همان مولکول واکنش دهد و لاکتون (استر حلقوی) را ایجاد کند. ساختار لاکتون در اسید آسکوربیک (ویتامین C) مشاهده می‌شود که از مشتقات کربوهیدراتی است.



شکل ۳۳ – ساختار اسید آسکوربیک (ویتامین C) (۳)

اسید مورامیک

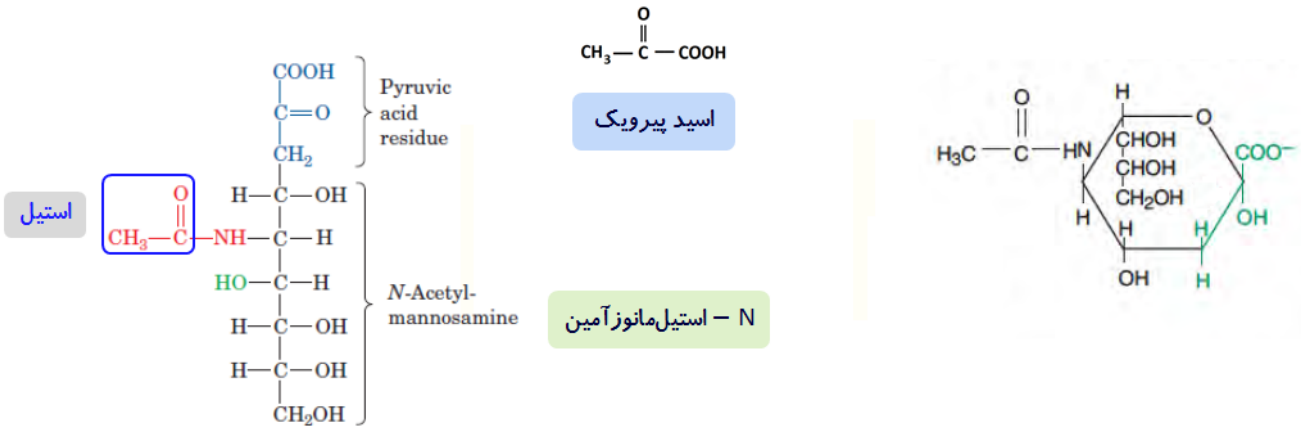
اسید مورامیک از تراکم گلوکزآمین با اسید لاکتیک درست شده است. β – D – N – استیل‌مورامیک اسید در دیواره سلولی باکتری‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۳۴ – ساختار اسید مورامیک (۵)

اسیدهای سیالیک

اسیدهای سیالیک خانواده‌ای از قندهای دارای نه اتم کربن هستند که از اجتماع مانوزآمین و پیروات ساخته شده‌اند. در اسیدهای سیالیک به گروه آمین مولکول مانوزآمین ریشه آسیل متصل است. در صورت اتصال ریشه استیل در این موقعیت، مولکول N – استیل‌نورآمینیک اسید (NANA) ایجاد می‌شود. اسیدهای سیالیک می‌توانند به فرم حلقوی تبدیل شوند. در pH فیزیولوژیک پروتون می‌تواند از گروه اسیدی جدا شود و اسیدهای سیالیک دارای بار منفی شوند.



شکل ۳۵ – ساختار حلقوی و خطی N – استیل‌نورآمینیک اسید (۳)

اسیدهای سیالیک در ساختار برخی از گلیکوپروتئین‌ها و دسته‌ای از گلیکولیپیدها به نام گانگلیوزیدها یافت می‌شوند. اسیدهای سیالیک پوشش خارجی سلول‌های حیوانی را تشکیل می‌دهند. گروه کربوکسیل اسیدهای سیالیک سبب به وجود آمدن بار منفی بر روی سطح گلبول‌های قرمز می‌شود. ویروس آنفلوانزا دارای آنزیمی به نام نورآمینیداز است که می‌تواند در هنگام عفونت اسیدهای سیالیک را از محل پذیرنده آن جدا کند.

احیای منوساکاریدها

منوساکاریدها در اثر احیا تبدیل به ترکیبات پلی‌هیدروکسی (آل‌دی‌تول[6]) می‌شوند. ریبوز در اثر احیا به ریبیتول، گلوکز به گلوسیتول یا سوربیتول، مانوز به مانیتول، گالاکتوز به گالاکتیتول (دالسیتول) و فروکتوز به مخلوطی از گلوسیتول و مانیتول تبدیل می‌شوند. ریبیتول در ساختار ریبوفلاوین (ویتامین B_2) مشارکت دارد.

ریبوز	⟵	ریبیتول
گلوکز	⟵	گلوسیتول (سوربیتول)
مانوز	⟵	مانیتول
گالاکتوز	⟵	گالاکتیتول (دالسیتول)
فروکتوز	⟵	گلوسیتول + مانیتول

شکل ۳۶ – ترکیبات حاصل از احیای برخی از منوساکاریدها

الکل‌های چند عاملی به آسانی نمی‌توانند از غشای سلول عبور کنند و در سلول تجمع می‌یابند لذا، باعث افزایش فشار اسمزی و تجمع آب می‌شوند. در بیماری دیابت شیرین[7] (دیابت قندی) به علت افزایش قند خون و در نتیجه افزایش نفوذ آن به عدسی چشم، گلوکز توسط آنزیم آلدوز ردکتاز به سوربیتول تبدیل می‌شود و سوربیتول حاصل مقدار زیادی آب در اطراف خود جمع می‌کند و باعث آب مروارید (کاتاراکت) می‌شود.

خاصیت احیاکنندگی منوساکاریدها

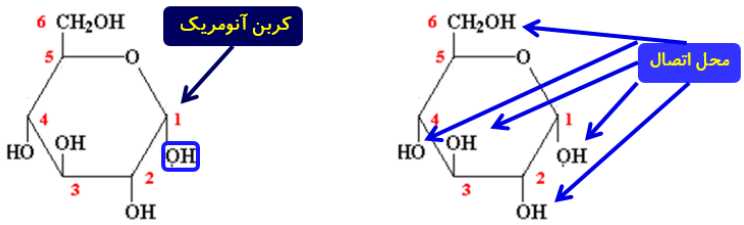
تمام منوساکاریدهایی که دارای کربن آنومریک آزاد هستند خاصیت احیاکنندگی دارند. قندهای احیاکننده در محلول‌های قلیایی ضعیف حاوی یون مس دو ظرفیتی (معرف بندیکت و معرف فهلینگ) در صورتی که گرم شوند توانایی ایجاد رسوب اکسید مس I را دارند. رسوب اکسید مس I به رنگ قرمز آجری است.

دی‌ساکاریدها

دی‌ساکاریدها از دو واحد منوساکاریدی ساخته شده‌اند. واحدهای منوساکاریدی توسط پیوند کووالان O – گلیکوزیدی به هم متصل می‌شوند.

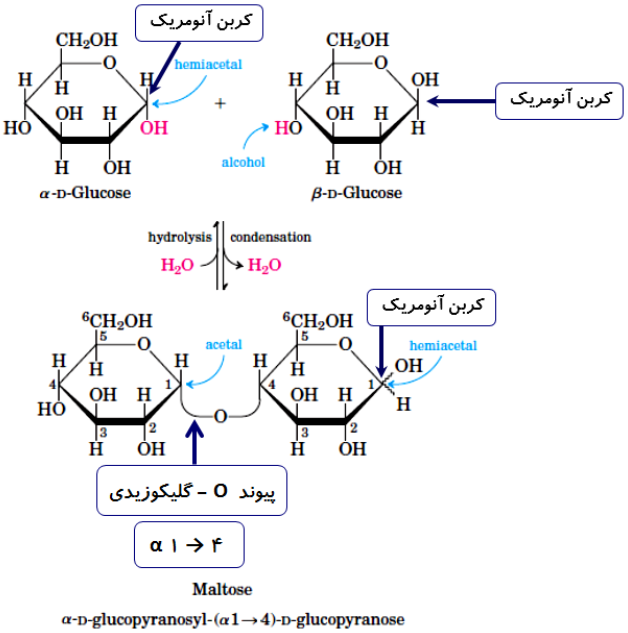
پیوند گلیکوزیدی[8] از واکنش گروه هیدروکسیل متصل به کربن آنومریک با گروه هیدروکسیل (پیوند O – گلیکوزیدی) یا گروه آمین (پیوند N – گلیکوزیدی) به وجود می‌آید. پیوند گلیکوزیدی توسط اسید آبکافت (هیدرولیز) می‌شود و به آبکافت (هیدرولیز) توسط بازها مقاوم است. جوشاندن محلول حاوی دی‌ساکارید در محیط اسیدی به سهولت سبب آبکافت (هیدرولیز) آن می‌شود.

گلیکوزیدها از پیوند بین گروه هیدروکسیل کربن آنومریک یک منوساکارید (بخش همی‌استال یا همی‌کتال) با ترکیب دیگری تشکیل می‌شوند که می‌تواند منوساکارید دیگری یا ترکیب غیرقندی (آگلیکون) باشد. اگر قسمت همی‌استال گلوکز باشد، ترکیب حاصل گلوکوزید است و اگر گالاکتوز باشد گالاکتوزید است.



شکل ۳۷ – چگونگی ایجاد پیوند O – گلیکوزیدی بین منوساکاریدها

[6] Alditol
[7] Diabetes mellitus (DM)
[8] Glycosidic bond



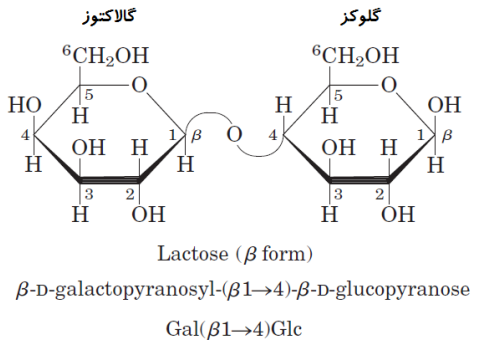
شکل ۳۸ – نحوه تشکیل دی‌ساکارید مالتوز (۶)

دی‌ساکاریدها، احیاکننده (مانند مالتوز، ایزومالتوز، لاکتوز و سلوبیوز) یا غیراحیاکننده (مانند ساکاروز یا سوکروز و ترهالوز) هستند. دی‌ساکاریدهای احیاکننده دارای گروه همی‌استال آزاد (کربن آنومریک) و خاصیت موتاروتاسیون هستند.

جدول ۴ – واحدهای سازنده دی‌ساکاریدهای مهم

دی‌ساکارید	واحد سازنده	نوع اتصال	واحد سازنده
مالتوز (احیاکننده)	D- گلوکز	α ۱ → ۴	آلفا – D – گلوکز
سلوبیوز (احیاکننده)	D- گلوکز	β ۱ → ۴	بتا – D – گلوکز
لاکتوز (احیاکننده)	D- گلوکز	β ۱ → ۴	بتا – D – گالاکتوز
لاکتولوز (احیاکننده)	D – فروکتوز	α ۱ → ۴	آلفا – D – گالاکتوز
ایزومالتوز (احیاکننده)	D- گلوکز	α ۱ → ۶	آلفا – D – گلوکز
ساکاروز یا سوکروز (غیراحیاکننده)	بتا – D – فروکتوز	β → ۱ α ۲	آلفا – D – گلوکز
ترهالوز (غیراحیاکننده)	آلفا – D – گلوکز	α → ۱ α ۱	آلفا – D – گلوکز

در هنگام ترکیب شدن منوساکاریدها جهت ایجاد دی‌ساکارید اگر گروه هیدروکسیل کربن‌های آنومر دو منوساکارید با هم ترکیب شوند قند حاصل فاقد خاصیت احیاکنندگی است. اگر گروه هیدروکسیل کربن آنومر یک منوساکارید با گروه هیدروکسیل عامل الکلی منوساکارید دیگر ترکیب شود خاصیت احیاکنندگی (کاهندگی) حفظ می‌شود. دی‌ساکاریدهای احیاکننده دارای بخش (انتهای) احیاکننده و بخش (انتهای) غیراحیاکننده هستند.



شکل ۳۹ – ساختار لاکتوز (۶)

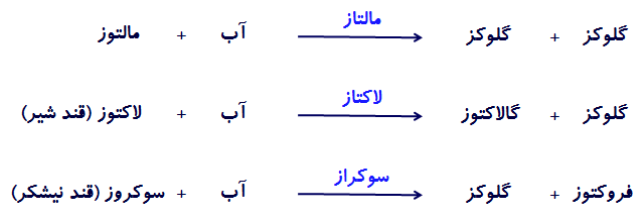
دی‌ساکاریدها به وسیله آنزیم‌های دی‌ساکاریداز آبکافت (هیدرولیز) می‌شوند. آنزیم مالتاز روی مالتوز، آنزیم لاکتاز روی لاکتوز (قند شیر) و آنزیم سوکراز روی ساکاروز یا سوکروز (قند نیشکر) اثر می‌کند و آن‌ها را به واحدهای سازنده (منوساکارید) تبدیل می‌کنند.

آنزیم لاکتاز (بتا گالاکتوزیداز) لاکتوز را به گلوکز و گالاکتوز تجزیه می‌کند. اختلال در عملکرد لاکتاز سبب اختلال در هضم و جذب لاکتوز (نقص ارثی لاکتاز و عدم تحمل لاکتوز) می‌شود. در این اختلال، لاکتوز در روده باقی می‌ماند و توسط باکتری‌های موجود در روده مصرف می‌شود و مواد فعال اسمزی، گاز هیدروژن و دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود. این وضعیت سبب اسهال، نفخ و درد شکم بعد از مصرف مواد غذایی حاوی لاکتوز به خصوص شیر در فرد مبتلا به اختلال در عملکرد لاکتاز می‌شود.

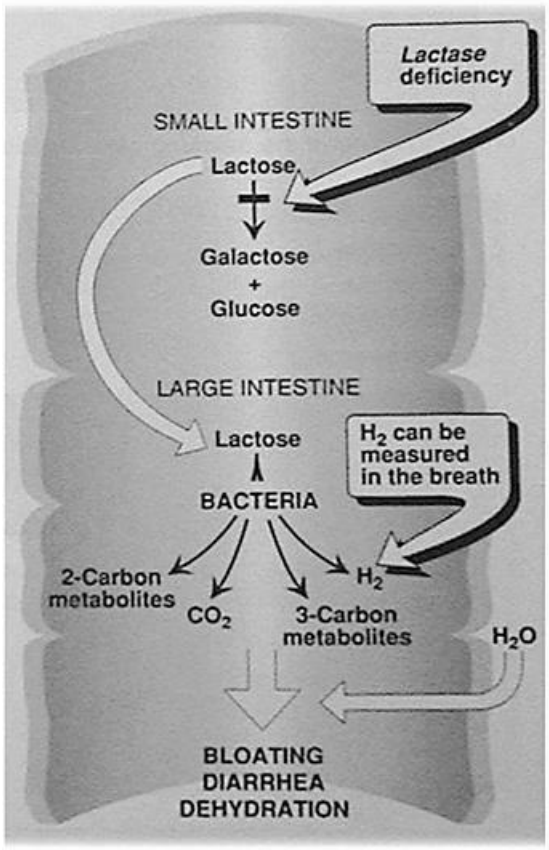
در نقص ارثی لاکتاز[9] با نوزادی مواجه هستیم که آنزیم لاکتاز در جدار سلول‌های روده این نوزاد بیان نمی‌شود. عدم تحمل لاکتوز[10] (کمبود اولیه لاکتاز[11]) به طور معمول در دهه سوم عمر فرد رخ می‌دهد و در نژاد آسیایی رایج‌تر است. در این اختلال، مصرف لاکتوز باقی‌مانده در روده توسط باکتری‌های موجود در روده ایجاد مواد فعال اسمزی، گاز هیدروژن و دی‌اکسیدکربن می‌کند. در این افراد میزان گاز هیدروژن در بازدم افزایش می‌یابد. در این افراد بعد از مصرف مواد غذایی حاوی لاکتوز به خصوص شیر اسهال، نفخ و درد شکم مشاهده می‌شود.

از طریق پیوند گلیکوزیدی، ترکیبات غیرقندی نیز می‌توانند به کربوهیدرات متصل شوند که در این حالت قسمت متصل شده را ریشه آگلیکون[12] می‌نامند. این ساختار را می‌توان در نوکلئوزیدها و نوکلئوتیدها مشاهده کرد. در نوکلئوزید آدنوزین، قسمت غیرقندی آدنین از طریق پیوند N – گلیکوزیدی به منوساکارید ریبوز متصل شده است.

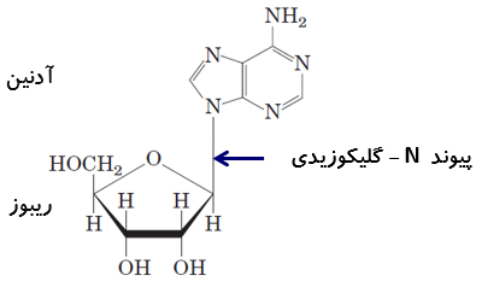
گلیکوزیدها به صورت گسترده‌ایی در طبیعت یافت می‌شوند. قسمت آگلیکون در این گلیکوزیدها ممکن است متانول، گلیسرول، استرول، فنل یا بازی مانند آدنین باشد. گلیکوزیدهایی که



شکل ۴۰ – عملکرد برخی از آنزیم‌های دی‌ساکاریداز



شکل ۴۱ – پیامدهای اختلال در عملکرد لاکتاز (۴)



شکل ۴۲ – پیوند N – گلیکوزیدی در نوکلئوزید آدنوزین

[9] Congenital lactose deficiency
[10] Lactose intolerance
[11] Primary lactase deficiency
[12] Aglycone

به دلیل اثرشان بر قلب در پزشکی مهم هستند (گلیکوزیدهای قلبی) همگی دارای قسمت آگلیکونی استروئیدی است. از این ترکیبات می‌توان به مشتقات دیژیتالیس و استروفانتوس از جمله اوابائین[۱۳] اشاره کرد که بازدارنده پمپ $Na^+K^+ATPase$ غشای سلولی است. از گلیکوزیدهای دیگر می‌توان به برخی از آنتی‌بیوتیک‌ها از جمله استرپتومایسین اشاره کرد.

ساکاروز یکی از ارزان‌ترین شیرین‌کننده‌ها است که در تولید انرژی هم نقش دارد. خاصیت شیرین‌کنندگی فروکتوز از ساکاروز بیش‌تر است. از شیرین‌کننده‌های قندی دیگر، می‌توان به گزیلیتول[۱۴] و سوربیتول[۱۵] اشاره کرد. گزیلیتول از احیای گزیلوز حاصل می‌شود که منوساکاریدی پنج کربنه است و سوربیتول که از احیای گلوکز حاصل می‌شود توسط باکتری‌های پلاک‌های دندانی قابل استفاده نیستند. مصرف زیاد گزیلیتول و سوربیتول می‌تواند در برخی از افراد ایجاد اسهال اسمزی کند.

شیرین‌کننده مصنوعی آسپارتام[۱۶] که ساختار پپتیدی دارد و از دو اسیدآمین اسیدآسپارتیک و فنیل‌آلانین ساخته شده است قدرت شیرین‌کنندگی بسیار بیش‌تری از ساکاروز دارد (۱۸۰ برابر).

جدول ۵ – ویژگی‌های برخی از دی‌ساکاریدهای مهم

قند	ترکیب	منبع	اهمیت بالینی
مالتوز	O-α-D-glucopyranosyl-(1→4)-α-D-glucopyranose	هیدرولیز آنزیمی نشاسته (آمیلاز)، غلات در حال جوانه زدن و مالت	
ایزومالتوز	O-α-D-glucopyranosyl-(1→6)-α-D-glucopyranose	هیدرولیز آنزیمی نشاسته (محل‌های شاخه در آمیلوپکتین)	
لاکتوز	O-β-D-galactopyranosyl-(1→4)-β-D-glucopyranose	شیر (و بسیاری از ترکیبات دارویی به عنوان پرکننده)	کمبود لاکتاز (آلاکتازی) منجر به عدم تحمل لاکتوز می‌شود که همراه با اسهال و نفخ است. ممکن است در بارداری از طریق ادرار دفع شود.
لاکتولوز	O-α-D-galactopyranosyl-(1→4)-β-D-fructofuranose	شیر گرم شده (مقدار کم)، به طور عمده مصنوعی	توسط آنزیم‌های روده هیدرولیز نمی‌شود اما می‌تواند توسط باکتری‌های روده تخمیر شود. به عنوان یک مُلین اسموتیک ملایم استفاده می‌شود.
سوکروز	O-α-D-glucopyranosyl-(1→2)-β-D-fructofuranoside	قند نیشکر و چغندر، ذرت و برخی میوه‌ها و سبزیجات	کمبود ژنتیکی سوکراز که نادر است منجر به عدم تحمل سوکروز می‌شود که همراه با اسهال و نفخ است.
ترهالوز	O-α-D-glucopyranosyl-(1→1)-α-D-glucopyranoside	مخمرها و قارچ‌ها، قند اصلی هُمولنف حشرات، کمک به پایداری ساختار پروتئین‌ها	

[13] Ouabain
[14] Xylitol
[15] Sorbitol
[16] Aspartame

الیگوساکاریدها

الیگوساکاریدها از سه تا ده واحد منوساکاریدی تشکیل شده‌اند. پیوند بین واحدهای منوساکاریدی در آن‌ها از نوع O – گلیکوزیدی است.

پلی‌ساکاریدها

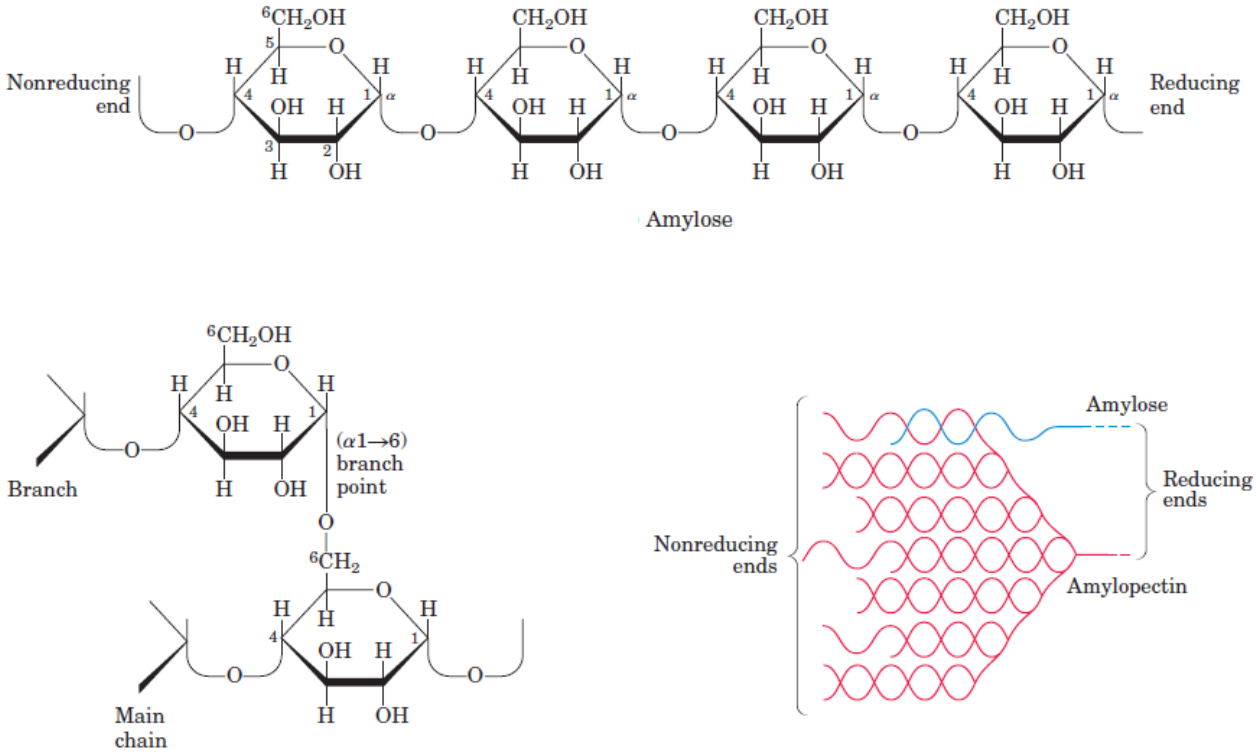
پلی‌ساکاریدها کربوهیدرات‌هایی هستند که دارای بیش از ده واحد منوساکاریدی هستند و نقش ذخیره‌ای و ساختمانی دارند. پلی‌ساکاریدها را به دو گروه هُموپلی‌ساکارید و هِتروپلی‌ساکارید تقسیم می‌کنند. همه پلی‌ساکاریدها غیراحیاکننده هستند.

هُموپلی‌ساکاریدها

هُموپلی‌ساکاریدها مانند نشاسته، گلیکوژن، سلولز، کیتین و اینولین از واحدهای یکسان ساخته شده‌اند. هُموپلی‌ساکاریدهایی که از واحدهای گلوکز تشکیل شده‌اند گلوکوزان و آن‌هایی که از واحدهای فروکتوز ساخته شده‌اند مانند اینولین فروکتوزان می‌نامند.

نشاسته

نشاسته پلیمری از واحدهای D – α – گلوکز است که در گیاهان به عنوان ذخیره‌کننده گلوکز عمل می‌کند. نشاسته از دو نوع زیرواحد به نام آمیلوز و آمیلوپکتین ساخته شده است. در آمیلوز تنها اتصالات O – گلیکوزیدی آلفا ۱ به ۴ بین واحدهای D – α – گلوکز مشاهده می‌شود و ساختمان آن به صورت خطی (بدون انشعاب) است. آمیلوپکتین به صورت شاخه‌دار است و در آن علاوه بر اتصالات آلفا ۱ به ۴، اتصالات آلفا ۱ به ۶ نیز دیده می‌شود که سبب انشعاب می‌شود. به طور معمول، بین هر دو انشعاب حدود ۲۴ الی ۳۰ واحد گلوکز مشاهده می‌شود. حدود ۲۰ درصد نشاسته دارای ساختار آمیلوز و ۸۰ درصد به صورت آمیلوپکتین است. وزن مولکولی نشاسته حدود چند میلیون است. محلول لوگل (ید در محلول یدیدپتاسیم) در مجاورت نشاسته رنگ آبی ایجاد می‌کند.



شکل ۴۳ – ساختار نشاسته (۶)

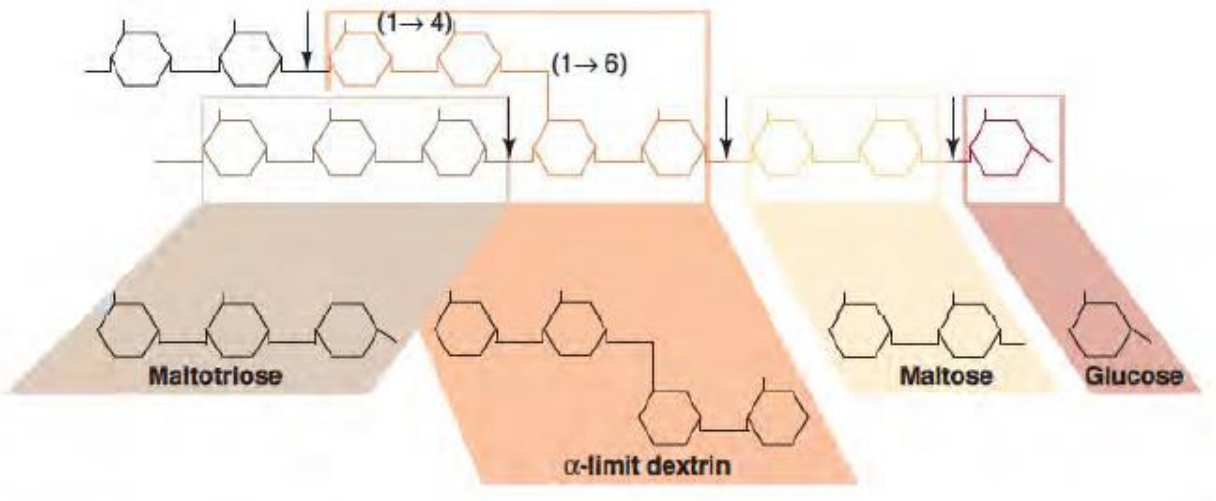
آمیلاز آنزیمی است که می‌تواند پیوندهای O – گلیکوزیدی آلفا ۱ به ۴ را در نشاسته آبکافت (هیدرولیز) کند و مالتوز ایجاد کند اما توانایی آبکافت پیوندهای O – گلیکوزیدی آلفا ۱ به ۶ را ندارد.

آنزیم آلفاآمیلاز موجود در شیره لوزالمعده و بزاق می‌تواند روی آمیلوز اثر کند و در صورت آبکافت (هیدرولیز) کامل آمیلوز مخلوطی از گلوکز و مالتوز ایجاد کند.

از اثر آنزیم آلفاآمیلاز موجود در شیره لوزالمعده و بزاق روی آمیلوپکتین مخلوطی از ترکیبات مختلف ایجاد می‌شود.

جدول ۶ – مشخصات آمیلوز و آمیلوپکتین

	آمیلوز	آمیلوپکتین
درصد	۱۵ -۲۰	۸۵-۸۰
ساختمان	مارپیچی بدون انشعاب	شاخه‌دار
نوع اتصالات	α ۱→ ۴	α ۱→ ۴ α ۱→ ۶
واکنش با ید	آبی رنگ	قرمز رنگ



شکل ۴۴ – ترکیبات حاصل از اثر آلفاآمیلاز موجود در شیره لوزالمعده و بزاق روی آمیلوپکتین (۳)

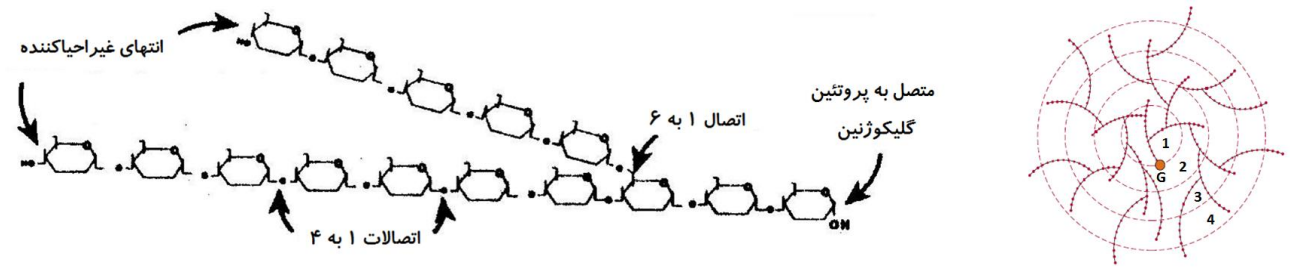
میزان هیدرولیز نشاسته موجود در غذا توسط آمیلاز به ساختار آن، میزان تبلور یا هیدراتاسیون و محصور شدن آن در دیواره سلولی دست نخورده (و غیرقابل هضم) گیاهان بستگی دارد.

شاخص گلایسمی (ایندکس گلایسمیک[۱۷]) یک غذای حاوی کربوهیدرات معیاری در ارتباط با قابلیت هضم آن است که بر اساس میزان افزایش غلظت گلوکز خون پس از مصرف آن در مقایسه با مقدار معادل گلوکز یا یک غذای مرجع مانند نان سفید یا برنج آب‌پز تعیین می‌شود. شاخص گلایسمی از ۱ (یا ۱۰۰ درصد) برای نشاسته‌هایی که به راحتی در روده کوچک هیدرولیز می‌شوند تا صفر برای آن‌هایی که به هیچ وجه هیدرولیز نمی‌شوند متغیر است.

گلیکوژن

گلیکوژن کربوهیدرات ذخیره‌ای در بافت‌های حیوانی است که آن را نشاسته حیوانی نیز می‌نامند. مانند نشاسته از واحدهای تکراری α – D– گلوکز ساخته شده است و مانند آمیلوپکتین ساختمانی شاخه‌دار دارد (آمیلوپکتین و گلیکوژن هر دو ساختار شاخه‌ای دارند). به طور معمول، بین هر دو انشعاب در گلیکوژن حدود ۱۲ الی ۱۵ واحد گلوکز مشاهده می‌شود.

[17] Glycemic index



شکل ۴۵ – ساختار گلیکوژن. در شکل G نماد پروتئین گلیکوژنین است. در شکل فقط ۴ لایه متحدالمرکز نشان داده شده است (۷).

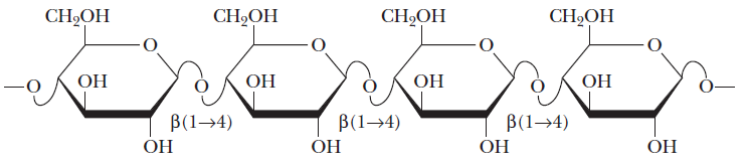
گلیکوژن مولکول کره‌ایی شکل با قطر ۲۱ نانومتر است که توسط میکروگراف‌های الکترونی قابل مشاهده است. جرم مولکولی آن حدود $۱۰^{۷}$ دالتون است. زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی تشکیل دهنده آن در ۱۲ لایه متحدالمرکز قرار گرفته‌اند. در بیوسنتز گلیکوژن اولین مولکول D – α – گلوکز از طریق کربن آنومر خود به پروتئین گلیکوژنین[۱۸] متصل می‌شود. سپس، واحد بعدی گلوکز به این گلوکز اضافه می‌شود. بنابر این، در سلول گلیکوژن متصل به پروتئین گلیکوژنین است.

در بدن انسان و حیوانات، گلیکوژن به طور عمده در دو بافت کبد و عضلات ذخیره می‌شود. گلیکوژن فاقد خاصیت احیاکنندگی است و در مجاورت محلول لوگل رنگ قهوه‌ای ایجاد می‌کند.

گرانول‌های گلیکوژن در عضلات یا گلیکوژن عضلانی (اجزای بتا) کروی هستند و تا ۶۰۰۰۰ واحد گلوکز دارند. گرانول‌های گلیکوژن در کبد مشابه گرانول‌های گلیکوژن عضلانی هستند. تجمعات گُل مانند گرانول‌های گلیکوژن مانند اجزای بتای تجمع‌یافته مشاهده می‌شوند.

به انتهای شاخه‌های گلیکوژن، انتهای غیراحیاکننده گلیکوژن اطلاق می‌شود. در سلول، واحدهای گلوکز از سمت انتهای غیراحیاکننده به مولکول گلیکوژن اضافه می‌شوند و به هنگام تجزیه مولکول گلیکوژن نیز واحدهای گلوکز از انتهای غیراحیاکننده گلیکوژن جدا می‌شوند.

سلولز



شکل ۴۶ – ساختار سلولز

سلولز از اجزای اصلی اسکلت دیواره سلول‌های گیاهی است. سلولز از واحدهای تکراری بتا – D – گلوکز با اتصالات ۱ به ۴ تشکیل شده است. رشته‌های سلولز از لحاظ ساختاری به صورت زنجیره‌های مستقیم هستند که با تشکیل پیوندهای هیدورژنی بین این رشته‌ها مستحکم و پایدار می‌شوند. رشته‌های سلولز قرار گرفته در کنار یک‌دیگر می‌توانند با ایجاد پیوند هیدروژنی بین خود، صفحه‌ای را به وجود آورند در حالی که، آمیلوز در محیط آبی به صورت میسلی مارپیچی مشاهده می‌شود.

سلولاز آنزیم تجزیه کننده سلولز است که در دستگاه گوارش انسان وجود ندارد. پستانداران فاقد هرگونه آنزیمی هستند که پیوندهای β1 → 4 را در سلولز هیدرولیز می‌کند و بنابراین نمی‌توانند سلولز را هضم کنند. مصرف سلولز در غذای انسان سبب حجیم شدن محتویات روده و تسهیل عمل دفع می‌شود.

کیتین

[18] Glycogenin

کیتین از واحدهای تکراری β - D - N – استیل‌گلوکزآمین ساخته شده و در پوشش خارجی سخت‌پوستان و حشرات وجود دارد.

اینولین

اینولین از واحدهای تکراری فروکتوز تشکیل شده است، لذا فروکتوزان است. اینولین از واحدهای β - D – فروکتوفورانوز با اتصالات O – گلیکوزیدی بتا ۲ به ۱ ساخته شده است و در ریشه برخی گیاهان مثل سیر، پیاز و کوکب وجود دارد.

از اینولین برای اندازه‌گیری میزان سرعت فیلتراسیون گلومرولی[19] (GFR) در کلیه‌ها استفاده می‌کنند. با اندازه‌گیری کلیرانس[20] برخی از مواد توسط کلیه‌ها می‌توان میزان GFR را ارزیابی کرد. کلیرانس به مقداری از سرم یا پلاسما اطلاق می‌شود که در واحد زمان (یک دقیقه) به طور کامل از یک ماده به خصوص پاک‌سازی می‌شود. اندازه‌گیری GFR با استفاده از آزمایش کلیرانس مستلزم تعیین غلظت پلاسمایی و ادراری ماده‌ای است که در گلومرول‌های کلیه فیلتر می‌شود اما، دوباره توسط توبول‌های کلیه جذب و ترشح نمی‌شود. غلظت این ماده در پلاسما باید در طول دوره جمع‌آوری ادرار ثابت باشد. برای اندازه‌گیری کلیرانس از این رابطه استفاده می‌شود:

$$\text{Clearance (mL/min)} = \frac{U\ (mg/dL)}{S\ (mg/dL)} \times V\ (mL/min)$$

V : (mL/min) سرعت تولید ادرار (حجم ادرار در واحد زمان)

U : (mg/dL) غلظت ماده در ادرار

S : (mg/dL) غلظت ماده در سرم

دکستران

دکستران‌ها، هموپلی‌ساکاریدی از واحدهای D–گلوکز هستند که توسط باکتری و مخمر ساخته می‌شوند. در این ترکیبات اتصالات O – گلیکوزیدی آلفا یک به شش، آلفا یک به چهار، آلفا یک به سه و آلفا یک به دو در بین واحدهای گلوکز مشاهده می‌شود. باکتری‌های رشدکننده در سطح دندان ایجاد پلاک دندان را می‌کنند که یکی از مهم‌ترین اجزای آن دکستران‌ها هستند. وجود دکستران در پلاک دندان ایجاد سطح چسبنده‌ایی را می‌کند که سبب اتصال باکتری‌ها به سطح دندان و نیز کنار هم قرار گرفتن آن‌ها می‌شود. دکستران موجود در پلاک دندان منبعی از گلوکز است که می‌تواند توسط باکتری‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

هِتروپلی‌ساکاریدها

در ساختمان هِتروپلی‌ساکاریدها بیش از یک نوع منوساکارید وجود دارد. هِتروپلی‌ساکاریدها از واحدهای متفاوتی ساخته شده‌اند. از جمله هِتروپلی‌ساکاریدهای مهم می‌توان به قسمت کربوهیدراتی دیواره سلولی باکتری، آگار، آگاروز، اسید هیالورونیک، کُندروئیتین سولفات، درماتان سولفات، کراتان سولفات، هپاران سولفات و هپارین اشاره کرد.

قسمت کربوهیدراتی دیواره سلولی باکتری

دیواره سلولی باکتری از قسمت کربوهیدراتی و پپتیدی تشکیل شده است. قسمت کربوهیدراتی دیواره سلولی باکتری از واحدهای β - D - N - استیل‌گلوکزآمین (GlcNAc) و β - D - N - استیل‌اسید مورامیک با اتصالات O – گلیکوزیدی بتا یک به چهار ساخته شده است که به صورت متناوب تکرار شده‌اند. رشته‌های کربوهیدراتی دیواره سلولی باکتری توسط پپتیدها به وسیله پیوند عرضی به هم متصل می‌شوند و شبکه کیسه مانند را ایجاد می‌کنند. آنزیم لیزوزیم پیوند O – گلیکوزیدی بتا یک به چهار را در این ساختار آبکافت می‌کند. آنتی‌بیوتیک پنی‌سیلین از ساخته شدن این دیواره ممانعت می‌کند.

آگار

[19] Glomerular filtration rate (GFR)

[20] Clearance

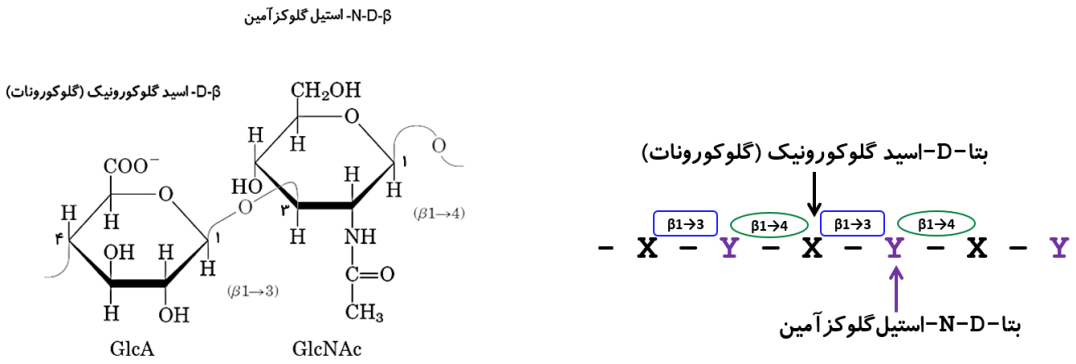
آگار در برخی از جلبک‌های دریایی قرمز وجود دارد و در ساختار آن D – گالاکتوز و مشتقی از L – گالاکتوز وجود دارد. به برخی از واحدهای سازنده آگار سولفات و پیروات متصل است. از آگار در آزمایشگاه جهت ایجاد سطحی برای رشد کلونی‌های باکتری استفاده می‌شود.

آگاروز

آگاروز از اجزای تشکیل‌دهنده آگار است که حداقل گروه‌های باردار سولفات و پیروات را دارد و در آزمایشگاه از آن جهت تهیه ژل برای الکتروفورز استفاده می‌شود.

اسید هیالورونیک

اسید هیالورونیک (هیالورونان) هِتروپلی‌ساکاریدی است که از واحدهای β - D - N - استیل‌گلوکزآمین (GlcNAc) و β - D - اسید گلوکورونیک (GlcA) ساخته شده است. این ترکیب حاوی بیش از صدهزار واحد منوساکاریدی است و جرم مولی آن چند میلیون است. محلول حاوی این ترکیب شفاف با ویسکوزیته زیاد است. این ترکیب در بافت همبند مهره‌داران (غضروف و تاندون) وجود دارد و هم‌چنین در مفاصل به عنوان ماده روان‌کننده مفصل (در مایع سینوویال مفصل) عمل می‌کند. این ترکیب باعث حالت ژله مانند در زجاجیه چشم انسان می‌شود. اسید هیالورونیک یکی از اجزای مهم ماده زمینه‌ای (ماتریکس) خارج سلولی[۲۱] (ECM) است. اسید هیالورونیک از جمله هِتروپلی‌ساکاریدهای فاقد گروه سولفات است. آنزیم هیالورونیداز این اسید را آبکافت می‌کند.



شکل ۴۷ – ساختار اسید هیالورونیک (۸)

کندروئیتین‌سولفات

ساختار کندروئیتین‌سولفات تا حدودی مشابه اسید هیالورونیک است اما از واحدهای β - D - N - استیل‌گالاکتوزآمین و β - D - اسید گلوکورونیک ساخته شده است. کربن شماره چهار یا شش واحدهای β - D - N - استیل‌گالاکتوزآمین در کندروئیتین‌سولفات می‌توانند سولفاته شوند. کندروئیتین‌سولفات در ایجاد قدرت کشسانی غضروف، تاندون، رباط و دیواره آئورت نقش دارد.

پروتئوگلایکان‌ها

پروتئوگلایکان‌ها از قسمت پروتئینی و کربوهیدراتی ساخته شده‌اند. اسید هیالورونیک و کندروئیتین سولفات‌ها از اجزای ساختمانی پروتئوگلایکان‌ها هستند. به قسمت کربوهیدراتی این ترکیبات، موکوپلی‌ساکارید یا گلایکوزآمینوگلایکان[۲۲] (GAG) می‌گویند.

پروتئوگلایکان‌ها ماده زمینه‌ایی یا متصل‌کننده بافت همبند را فراهم می‌کنند. پروتئوگلایکان‌ها به دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیل زیاد و بارهای منفی روی مولکول که با نیروی دافعه بین خود سبب دور نگه داشته شدن زنجیره‌های کربوهیدرات از هم می‌شوند مقادیر زیادی آب را در کنار خود نگه می‌دارند و فضا اشغال می‌کنند و موجب لغزنده‌شدن یا روانکاری سایر قسمت‌ها می‌شوند.

---

[21] Extracellular matrix (ECM)

[22] Glycosaminoglycan

در پروتئوگلایکان‌ها قسمت کربوهیدراتی حجم وسیعی از مولکول را تشکیل می‌دهد. گاهی اوقات تا ۹۵ درصد وزن پروتئوگلایکان‌ها را قند تشکیل می‌دهد.

تمام هِتروپلی‌ساکاریدهای موجود در پروتئوگلایکان‌ها که به آن‌ها گلایکوزآمینوگلایکان گفته می‌شود، به جز اسید هیالورونیک، از طریق پیوند کووالانسی به قسمت پروتئینی متصل هستند.

به طور معمول گلایکوزآمینوگلایکان‌ها از واحدهای تکراری دی‌ساکاریدی (قند آمین‌دار + اسید اورونیک) تشکیل می‌شوند:

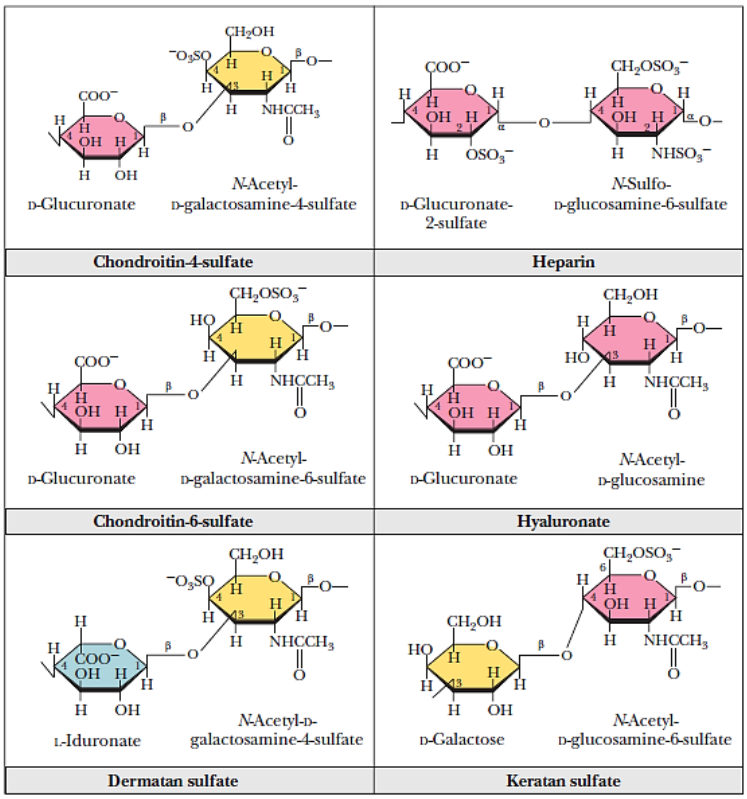
اسید هیالورونیک ← $_n$(N– استیل‌گلوکزآمین + گلوکورونیک اسید)

کندروئیتین‌سولفات ← $_n$(N– استیل‌گالاکتوزآمین‌سولفات + گلوکورونیک اسید)

درماتان‌سولفات ← $_n$(N– استیل‌گالاکتوزآمین‌سولفات + ایدورونیک اسید)

هپاران‌سولفات ← $_n$(N– استیل‌گلوکزآمین‌سولفات + گلوکورونیک/ آیدورونیک اسید)

کراتان‌سولفات ← $_n$(N– استیل‌گلوکزآمین‌سولفات + گالاکتوز)



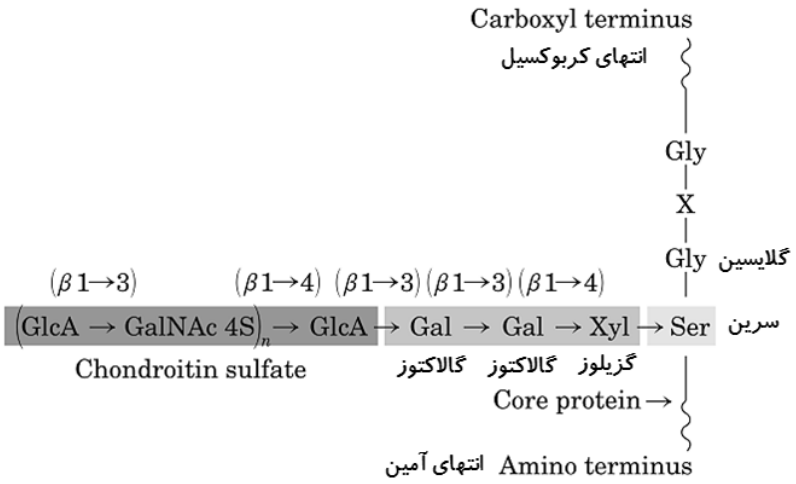
شکل ۴۸ – ساختار برخی از گلایکوزآمینوگلایکان (۵)

می‌توان در نظر گرفت که در کراتان‌سولفات واحدهای لاکتوز (که در آن گلوکز به N – استیل‌گلوکزآمین‌سولفات تبدیل شده است) در حال تکرار شدن هستند چنان که می‌توان آن را به صورت مشتقی از واحدهای لاکتوز یا – $_n$(لاکتوز) – در نظر گرفت.

درماتان‌سولفات در انعطاف‌پذیری پوست نقش دارد و در عروق خونی و دریچه‌های قلبی نیز وجود دارد. کراتان‌سولفات در قرنیه، غضروف، استخوان و بافت‌های شاخی (شاخ، مو، سُم، ناخن و چنگال) وجود دارد.

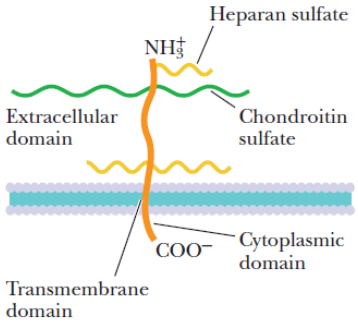
هپارین تا حدودی مشابه هپاران سولفات است اما گروه‌های سولفات در آن بیش‌تر است. هپارین که دارای خاصیت ضدانعقادی است، به دلیل حضور اسید اورونیک و سولفات در ساختارش بیش‌ترین چگالی بار منفی را در میان تمامی ماکرومولکول‌های شناخته شده دارد و خاصیت اسیدی آن از بقیه بیش‌تر است.

پروتئوگلایکان‌ها ماکرومولکول‌هایی در سطح سلول یا ماده زمینه‌ای (ماتریکس) خارج سلولی هستند که در آن‌ها یک یا چند زنجیره گلایکوزآمینوگلایکانی به طور کووالان به یک پروتئین غشایی یا ترشحی اتصال یافته است. در این ماکرومولکول‌ها، یک رابط تری‌ساکاریدی، گلایکوزآمینوگلیکان را (از طریق کربن آنومری قند گزیلوز) به ریشه اسید آمینه سرین موجود در بخش پروتئینی متصل می‌کند.



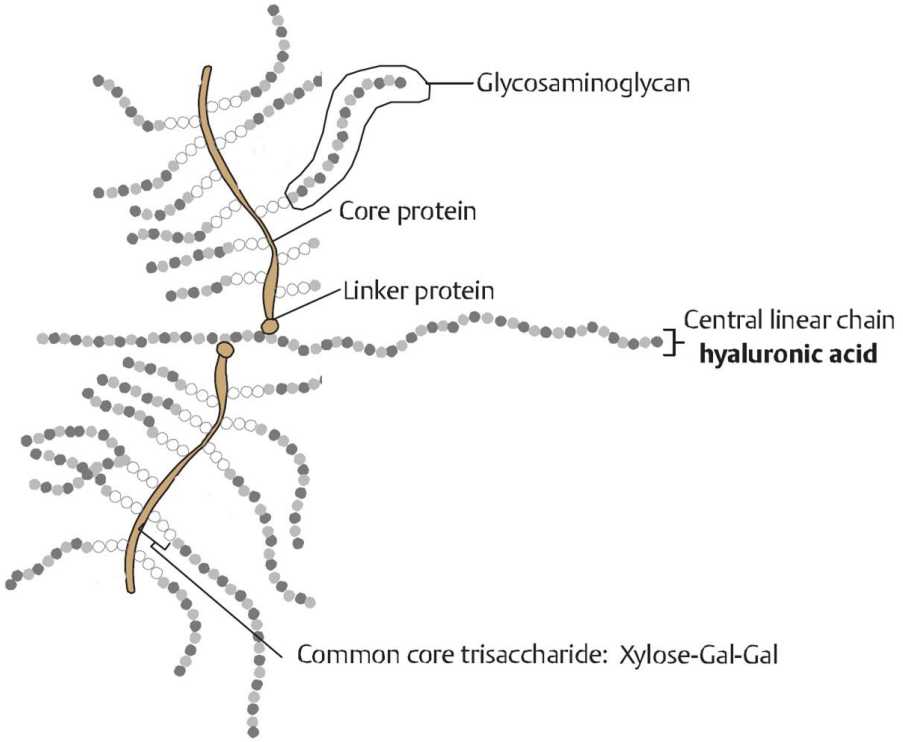
شکل ۴۹ – نحوه اتصال گلایکوزآمینوگلایکان به پروتئین در پروتئوگلایکان‌ها (۶)

سیندکان‌ها[۲۳] و گلیپیکان‌ها[۲۴] دو خانواده مهم از پروتئوگلایکان‌های غشایی حاوی هپاران‌سولفات هستند. در سیندکان‌ها علاوه بر هپاران‌سولفات کندروئیتین‌سولفات نیز وجود دارد. گلیپیکان‌ها به وسیله یک لنگر لیپیدی که مشتقی از لیپید غشایی فسفاتیدیل‌اینوزیتول است به غشا متصل می‌شوند. این پروتئوگلایکان‌ها در ماده زمینه‌ای (ماتریکس) خارج سلولی[۲۵] (ECM) نیز وجود دارند. پروتئازی در ECM روی قسمت خارج سلولی سیندکان‌ها نزدیک غشای سلولی اثر می‌گذارد و سبب آزاد شدن قسمت خارج سلولی این پروتئوگلایکان‌ها به ECM می‌شود. در مورد گلیپیکان‌ها آنزیم فسفولیپاز این کار را انجام می‌دهد.



شکل ۵۰ – ساختار سیندکان‌ها (۵)

[23] Syndecans
[24] Glypicans
[25] Extracellular matrix (ECM)



شکل ۵۱ – ساختار تجمعات پروتئوگلایکانی

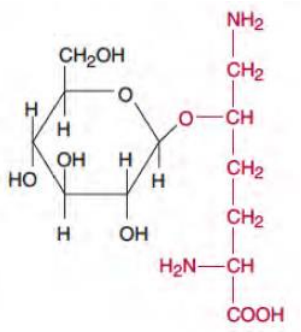
برخی از پروتئوگلایکان‌ها می‌توانند تجمعات پروتئوگلایکانی را در ماده زمینه‌ای (ماتریکس) خارج سلولی به وجود آورند. در این تجمعات تعداد زیادی از پروتئوگلایکان‌ها (پروتئین‌های مرکزی) در کنار اسید هیالورونیک قرار می‌گیرند. این هسته‌های پروتئینی پروتئوگلایکانی با کمک پپتیدهای اتصالی در کنار اسید هیالورونیک قرار می‌گیرند.

موکوپلی‌ساکاریدوز

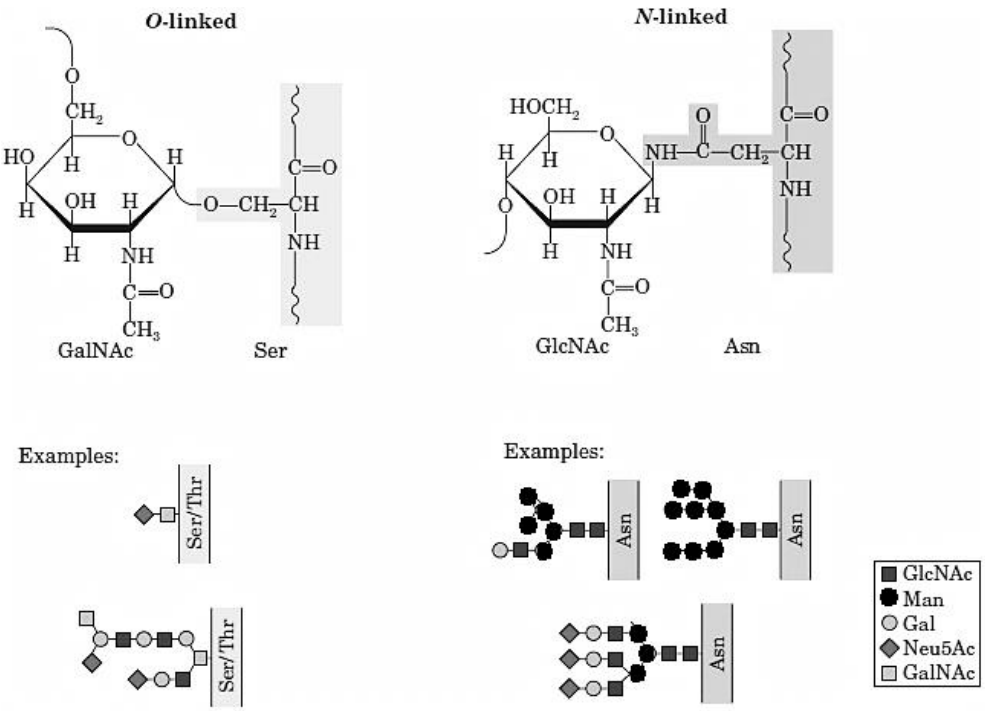
به بیماری‌هایی که در آن‌ها اختلالاتی در متابولیسم موکوپلی‌ساکاریدها مشاهده می‌شود مانند سندروم هورلر، سندروم هانتر، سندروم سان‌فیلیپو و سندروم مورکیو، موکوپلی‌ساکاریدوز گفته می‌شود. موکوپلی‌ساکاریدوز بیماری است که در آن ناتوانی در تخریب گلایکوزآمینوگلایکان‌ها مشاهده می‌شود. اغلب این بیماران دچار صورت خشن، کدورت قرنیه، سفتی مفاصل و عقب‌ماندگی ذهنی هستند. سندروم سان‌فیلیپو رایج‌ترین نوع موکوپلی‌ساکاریدوز و سندروم هورلر شدیدترین نوع موکوپلی‌ساکاریدوز هستند.

گلیکوپروتئین‌ها

گلیکوپروتئین‌ها مولکول‌هایی هستند که در آن‌ها یک یا چند اولیگوساکارید با اتصال کووالان به پروتئین اتصال دارند. در این مولکول‌ها، بخش‌های کربوهیدراتی کوچک و از نظر ساختمانی متنوع هستند. این اتصال به عنوان یک اتصال گلیکوزیدی بین کربن آنومریک قند و گروه هیدروکسیل اسید آمینه سرین (Ser)، تره‌اونین (Thr) و یا ۵ – هیدروکسی لیزین (اتصال از نوع O - Link) یا نیتروژن آمیدی اسید آمینه آسپاراژین (Asn) (اتصال از نوع N - Link) در پروتئین صورت



شکل ۵۲ – اتصال ۵ – هیدروکسی لیزین به کربوهیدرات (۳)

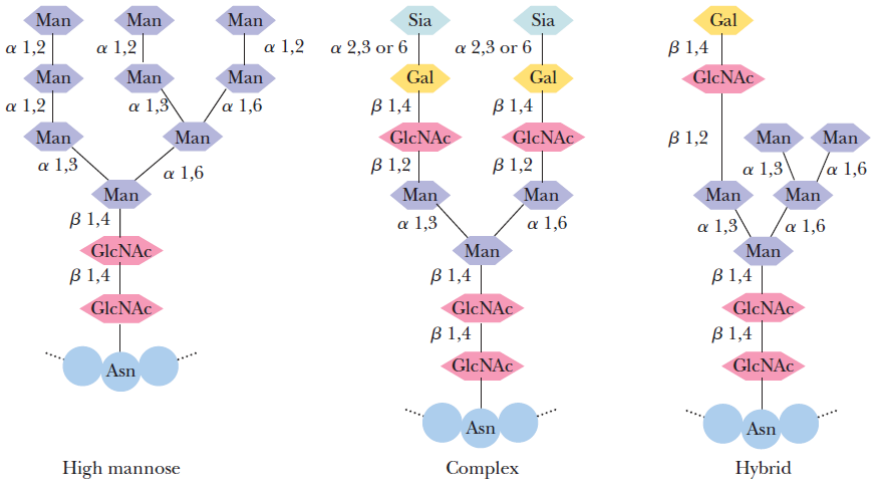


شکل ۵۳ – اتصالات O - Link و N - Link در گلیکوپروتئین‌ها (۶)

می‌گیرد. زنجیر جانبی اسید آمینه آسپاراژین زمانی می‌تواند در یک پروتئین به قسمت کربوهیدراتی از طریق اتصال N - Link متصل شود که اسید آمینه آسپاراژین (Asn) در توالی Asn-X-Ser یا Asn-X-Thr قرار داشته باشد که در آن X هر اسید آمینه‌ایی به جز پرولین است.

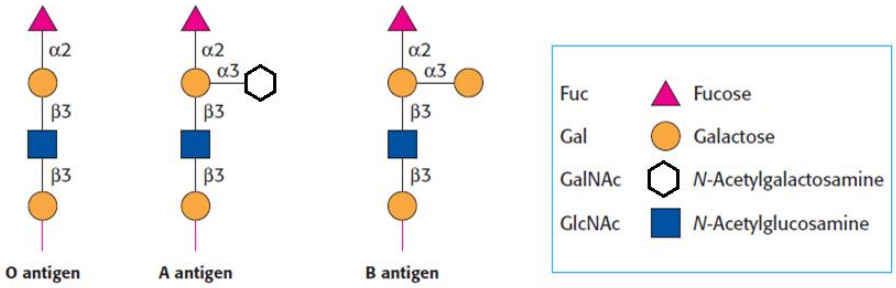
گلوکز (Glc)، گالاکتوز (Gal)، مانوز (Man)، N – استیل‌گلوکزآمین، N – استیل‌گالاکتوزآمین و β – L – فوکوز در ناحیه کربوهیدراتی گلیکوپروتئین‌ها مشاهده می‌شوند.

گلیکوپروتئین‌هایی که دارای اتصالات N – Link هستند دارای بخش الیگوساکاریدی متنوع هستند و انواع مختلفی از گلیکوپروتئین‌ها از جمله دارای مانوز زیاد[۲۶]، کمپلکس[۲۷] و هیبرید[۲۸] را ایجاد می‌کنند.



شکل ۵۴ – انواع گلیکوپروتئین‌های دارای اتصال از نوع N - Link (۵)

[26] High mannose
[27] Complex
[28] Hybrid



شکل ۵۵ – ساختار آنتی‌ژن گروه‌های خونی ABO (۲)

گلیکوزیل‌ترانسفرازها آنزیم‌های اختصاصی هستند که در ایجاد پیوندهای O – گلیکوزیدی در قسمت الیگوساکاریدی گلیکوپروتئین‌ها و گلیکولیپیدها مشارکت دارند. نقش این آنزیم‌ها در ایجاد گروه‌های خونی ABO بسیار مهم است. در این گروه‌های خونی قسمتی از الیگوساکارید موجود در برخی از گلیکوپروتئین‌ها و گلیکولیپیدهای سطح گلبول قرمز مشترک است که به آن آنتی‌ژن O گفته می‌شود. آنتی‌ژن A و آنتی‌ژن B به وسیله اضافه شدن یک منوساکارید به این پایه مشترک الیگوساکاریدی ساخته می‌شوند. آنتی‌ژن A به هنگام اضافه شدن N – استیل‌گالاکتوزآمین و آنتی‌ژن B به هنگام اضافه شدن گالاکتوز به این پایه مشترک الیگوساکاریدی ایجاد می‌شوند.

حدود ۵ درصد وزن غشای سلولی را کربوهیدرات‌ها تشکیل می‌دهند که گلایکوکالیکس[۲۹] نامیده می‌شود. گلیکوفورین[۳۰] گلیکوپروتئین سرتاسری (اینتگرال) اصلی در غشای گلبول قرمز انسان است. این گلیکوپروتئین حاوی ۱۳۰ اسیدآمینه است. قسمت‌های کربوهیدراتی در گلیکوفورین به ناحیه انتهای آمین متصل هستند که در خارج سلول قرار دارد.

بیماری سلول I (موکولیپیدوز نوع II)[۳۱] از جمله بیماری‌های ذخیره لیزوزومی است که اختلال متابولیک ارثی نادر است که با ویژگی چهره خشن، ناهنجاری‌های اسکلتی و عقب‌ماندگی ذهنی مشخص می‌شود. این بیماری ناشی از نقص در آنزیم فسفوترانسفراز در دستگاه گلژی است. این آنزیم فسفات را به مانوز موجود در گلیکوپروتئین‌های خاصی در دستگاه گلژی منتقل می‌کند. این پروتئین‌ها به عنوان آنزیم‌های کاتابولیک برای تجزیه طبیعی مواد در لیزوزوم‌ها عمل می‌کنند. مانوز–۶–فسفات به عنوان نشانگری عمل می‌کند که بیان‌گر این است که پروتئین مورد نظر به لیزوزوم‌های درون سلول منتقل شود. بدون این نشانگر، پروتئین به خارج از سلول ترشح می‌شود که مسیر پیش‌فرض پروتئین‌هایی است که در دستگاه گلژی قرار دارند. این بیماری به دلیل عدم تبدیل مانوز به مانوز–۶–فسفات در قسمت الیگوساکاریدی برخی از گلیکوپروتئین‌ها در دستگاه گلژی ایجاد می‌شود.

لکتین

لکتین‌ها از جمله پروتئین‌های گیاهی هستند که دارای تمایل جهت اتصال به کربوهیدرات‌ها هستند. لکتین‌ها می‌توانند به قسمت کربوهیدراتی گلیکوپروتئین‌ها متصل شوند. لکتین‌ها در حیوانات در تسعیل تعامل سلول با سلول نقش دارند. کانکاناوالین A[۳۲] نوعی لکتین گیاهی است که به واحدهای آلفا–D–گلوکز و آلفا–D–مانوز تمایل دارد.

[29] Glycocalyx
[30] Glycophorin
[31] I-cell disease (mucolipidosis II)
[32] Concanavalin A

منابع

۱ – اسدی‌کرم غ، سیرتی‌ثابت م. بیوشیمی عمومی. کرمان: معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمان؛ ۱۴۰۲

2. Berg JM, Tymoczko JL, Gatto GJ ,Stryer L. Biochemistry (Stryer). 9th ed. NewYork: WH Freeman; 2019.
3. Devlin TM. Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations. 7th ed. United States of America: John Wiley & Sons Inc; 2011.
4. Abali EE, Cline SD, Franklin DS, Viselli SM. Lippincott Illustrated Reviews: Biochemistry (Lippincott Illustrated Reviews Series). 8th ed. NewYork: LWW; 2021.
5. Garrett RH, Grisham CM. Biochemistry. 5th ed. Australia: Brooks/Cole; 2013.
6. Nelson DL, Cox MM. Lehninger Principles of Biochemistry. 8th ed. NewYork: WH Freeman; 2021.
7. Kennelly PJ, Botham KM, McGuinness O, Rodwell VW, Bender DA, Weil PA. Harper's Illustrated Biochemistry. 32th ed. NewYork: McGraw-Hill; 2022.
8. King MW. Integrative medical biochemistry - examination and board review. NewYork: McGraw-Hill; 2014.

سوالات چهارگزینه‌ای

۱- چند کربن نامتقارن در ساختار خطی گلوکز وجود دارد؟

۱- یک ۲ – دو

۳- سه ۴ - چهار

۲- ترکیبی با آرایش R - CH(OR') - OH چه نام دارد؟

۱ - همی‌استال ۲ - استال

۳ - همی‌کتال ۴ - کتال

۳- کدام گزینه یک آلدوپنتوز است؟

۱ – مانوز ۲ – گالاکتوز

۳ – ریبوز ۴ – فروکتوز

۴- کدام قند کتوهگزوز است؟

۱ – مانوز ۲ – گالاکتوز

۳ – ریبوز ۴ – فروکتوز

۵- کدام منوساکارید کربن نامتقارن بیش‌تری نسبت به بقیه دارد؟

۱ – گالاکتوز ۲ – اریتروز

۳ – ریبوز ۴ – فروکتوز

۶- موتاروتاسیون کدام مورد است؟

۱ - تبدیل فرم D به L ۲ - تبدیل فرم آلفا به بتا

۳ – ایجاد مخلوط راسمیک ۴ – ایجاد قند دِاُکسی

۷- وقتی آلدوهگزوزها با ایجاد پل اکسیژنی بین عوامل کربن شماره یک و پنج تشکیل حلقه می‌دهند تعداد کربن نامتقارن آن‌ها چه تغییری می‌کند؟

۱ - یکی کم می‌شود ۲ - تغییری نمی‌کند

۳ - یکی زیاد می‌شود ۴ - دو عدد کم می‌شود

۸- کدام یک از دو زوج قند نامبرده اپیمر هم هستند؟

۱ - آلفا - D - گلوکز و آلفا – D - مانوز

۲ - آلفا - D - گلوکز و آلفا - D - فروکتوز

۳ - آلفا - D - گلوکز و آلفا – L - گلوکز

۴ - بتا - D - گالاکتوز و بتا - D - مانوز

۹- در ساختمان فروکتوز عوامل متصل به کدام کربن تعیین‌کننده نوع آنومر است؟

۱ - کربن شماره یک ۲ - کربن شماره دو

۳ - کربن شماره پنج ۴ - کربن شماره شش

۱۰- کدام کربوهیدرات دارای عامل کتونی است؟

۱- گالاکتوز ۲- آرابینوز

۳- گزیلوز ۴- سدوهپتولوز

۱۱- کدام قند در محیط آبی به صورت حلقوی دیده نمی‌شود؟

۱- گزیلوز ۲- فوکوز

۳- گلیسرآلدهید ۴- مانوز

۱۲- اسیدهای آلدونیک در قندها از اکسیداسیون چه عامل یا عواملی به وجود می‌آیند؟

۱- عامل آلدهیدی ۲ - گروه الکلی نوع اول

۳ - گروه الکلی نوع اول و گروه آلدهیدی ۴ - عامل ستونی

۱۳- اسید موسیک از کدام قند به دست می‌آید؟

۱ – مانوز ۲ – فروکتوز

۳ – گالاکتوز ۴ - گلوکز

۱۴- اسیدهای اورونیک در قندها از اکسیداسیون چه عامل یا عواملی به وجود می‌آیند؟

۱ - عامل آلدهیدی ۲ - گروه الکلی نوع اول

۳ - گروه الکلی نوع اول و گروه آلدهیدی ۴ - عامل ستونی

۱۵- اگر عامل الکلی نوع اول در ساختمان گلوکز اکسید شود کدام ترکیب به دست می‌آید؟

۱ - اسید گلوکونیک ۲ - اسید ساکاریک

۳ - گلوکوساکاریک ۴ - اسید گلوکورونیک

۱۶- کدام گزینه فرم اکسید شده یک قند است؟

۱- گلوکورونات ۲ - مانیتول

۳ - گلوسیتول ۴ - سدوهپتولوز

۱۷- در اثر احیای فروکتوز چه جسمی حاصل می‌شود؟

۱- فقط سوربیتول ۲ - فقط مانیتول

۳ - گلوسیتول و ریبیتول ۴ - گلوسیتول و مانیتول

۱۸- فوکوز به کدامیک از دزوکسی مونوساکاریدهای زیر گفته می‌شود؟

۱ – مانوز ۲ – ریبوز

۳ – گالاکتوز ۴ – فروکتوز

۱۹- کدام قند قادر به احیای یون مس دو ظرفیتی است؟

۱ – فوکوز ۲ – سلولز

۳ – سوکروز ۴ - هیالورونات

۲۰- مشتق آمینه کدام قند در ساختمان اسید سیالیک وجود دارد؟

۱ – گلوکز ۲ – مانوز
۳ – گالاکتوز ۴ - فروکتوز

۲۱- پیوند گلیکوزیدی موجود در لاکتوز از کدام نوع است؟
۱- آلفا یک به چهار ۲- آلفا یک به دو
۳ - بتا یک به دو ۴ - بتا یک به چهار

۲۲- گالاکتوز در کدام جسم وجود دارد؟
۱- مالتوز ۲ – لاکتوز
۳ – ساکاروز ۴ - سلوبیوز

۲۳- کدام دی‌ساکارید داده شده فاقد کربن آنومریک آزاد است؟
۱- مالتوز ۲ – لاکتوز
۳ – ساکاروز ۴ - سلوبیوز

۲۴- موتاروتاسیون در محلول آبی همه کربوهیدرات‌های زیر اتفاق می‌افتد به جز:
۱- سوکروز ۲ – سلوبیوز
۳ – مالتوز ۴ - لاکتوز

۲۵- نام دی ساکارید مقابل کدام است؟

α - D - glucopyranosyl α 1 ----> 4 α - D – glucopyranose

۱ – سلوبیوز ۲ – ساکاروز
۳ – لاکتوز ۴ - مالتوز

۲۶- در کدام دی‌ساکارید پیوند گلیکوزیدی بین کربن‌های آنومر وجود دارد؟
۱ – ایزومالتوز ۲ – ساکاروز
۳ – مالتوز ۴ - لاکتوز

۲۷- پیوند گلیکوزیدی موجود در ترهالوز از کدام نوع است؟
۱ - یک‌بتا یک به آلفا یک ۲ - آلفا یک به چهار
۳ - بتا یک به بتا یک ۴ - آلفا یک به آلفا

۲۸- از ترکیب دو مولکول بتا - D - گلوکز در مجموع چند دی‌ساکارید غیراحیاکننده حاصل می‌شود؟
۱ - ۱ ۲ – ۲
۳ - ۳ ۴ - ۴

۲۹- کدام ترکیب دارای پیوند ۶ ⟵ ۱ است ؟
۱ - سلولز ۲ - اسید هیالورونیک
۳ - گلیکوژن ۴ - آمیلوز

۳۰- کدام قندها بعد از مصرف شیر حاوی ساکاروز در جریان خون افزایش می‌یابند؟
۱ – گلوکز، گالاکتوز ۲ – گالاکتوز، مانوز، فروکتوز
۳ – گالاکتوز، گلوکز، فروکتوز ۴ - گالاکتوز، فروکتوز

۳۱- در کدام ترکیب پیوندهای گلیکوزیدی بتا یک به چهار دیده نمی‌شود؟
۱ - آمیلوز ۲ – سلولز
۳ - اسید هیالورونیک ۴ - کیتین

۳۲- هیالورونیک اسید از کدام واحدها تشکیل شده است؟
۱- N- استیل‌گلوکزآمین و N- استیل گلوکورونیک اسید
۲- N- استیل‌گلوکزآمین و گلوکورونیک اسید
۳- N- استیل‌گالاکتوزآمین و N- استیل گلوکورونیک اسید
۴- N- استیل‌گالاکتوزآمین و گالاکتوزآمین

۳۳- کدام ماده هتروپلی‌ساکارید است؟
۱- سلولز ۲- نشاسته
۳- گلیکوژن ۴- هپارین

۳۴- کدام پلی‌ساکارید زیر پلیمری از آلفا - D - گلوکز نیست؟
۱ – آمیلوز ۲ - گلیکوژن
۳ - سلولز ۴ - آمیلوپکتین

۳۵- اتصال گلیکوزیدی بین دو واحد گلوکز در کدام مورد خاصیت احیاکنندگی مولکول را از بین می‌برد؟
۱ - ۱و۴ ۲ - ۱و۶
۳ - ۱و۳ ۴ - ۱و۱

۳۶- در اثر هیدرولیز کدام کربوهیدرات فقط یک نوع منوساکارید تولید می‌شود؟
۱ – لاکتوز ۲ - هپارین
۳ - اینولین ۴ - هیالورونیک اسید

۳۷- در فقدان آنزیمی که پیوند بتا یک به چهار را هیدرولیز می‌کند، تجزیه کدام کربوهیدرات دچار مشکل می‌شود؟
۱ – لاکتوز ۲ - مالتوز
۳ - آمیلوز ۴ - زنجیرهای جانبی گلیکوژن

۳۸- قسمت کربوهیدراتی پروتئوگلایکن‌ها را چه می‌نامند؟
۱ – آمینوگلایکان ۲ - موکوپلی‌ساکارید
۳ - پپتیدوگلایکن ۴ - گلوکوزان

۳۹- برای ارزیابی سرعت فیلتراسیون گلومرولی از چه ماده‌ای

می‌توان استفاده کرد؟

۱ – لاکتوز ۲ – سلولز

۳ – اینولین ۴ – کیتین

۴۰- در اتصال از نوع N - Link در گلیکوپروتئین‌ها قسمت کربوهیدراتی به ریشه جانبی کدام اسید آمینه متصل می‌شود؟

۱- سرین ۲ – آسپاراژین

۳ – ترهاونین ۴ – ۵ – هیدروکسی لیزین

۴۱ – کدام گزینه فرم اکسید شده یک قند است؟

۱- فوکوز ۲ – ریبیتول

۳ – گلوکورونات ۴ – سوربیتول

۴۲ – در مورد قندهای داده شده کدام مورد درست است؟

۱ – ریبوز: هگزوز، آلدوز، احیاکننده

۲ – لاکتوز: متشکل از گلوکز و مانوز، احیاکننده

۳ – ساکاروز : متشکل از فروکتوز و گلوکز، غیراحیاکننده

۴ – فروکتوز: هگزوز، آلدوز، احیاکننده

۴۳ – کدام مورد قند اصلی هُمولنف حشرات است؟

۱- ترهالوز ۲ – لاکتولوز

۳ – فوکوز ۴ – رامنوز

۴۴ – داروی آکاربوز مهارکننده آلفاآمیلاز است که در درمان دیابت تجویز می‌شود. این دارو از تجزیه تمام قندهای زیر جلوگیری می‌کند به جز:

۱- مالتوز ۲ – آمیلوز

۳ – لاکتوز ۴ – گلیکوژن

۴۵ – موتاروتاسیون در محلول آبی همه کربوهیدرات‌های زیر اتفاق می‌افتد به جز:

۱ – ایزومالتوز ۲ – ساکاروز

۳ – مالتوز ۴ – لاکتوز

۴۶ – چند مورد از موارد زیر در خصوص گالاکتوز درست است؟

الف –آلدوهگزوز است

ب – دارای خاصیت احیاکنندگی است.

ج – در ساختار دی‌ساکارید لاکتوز وجود دارد.

د – بتا – D - گالاکتوز اپیمر کربن شماره ۲ بتا – D - گلوکز است

۱ - ۱ ۲ – ۲

۳ - ۳ ۴ - ۴

۴۷ – در خصوص موارد ذکر شده در جدول در مورد خصوصیت دی‌ساکاریدها، پاسخ صحیح کدام گزینه است؟

پاسخ	خصوصیت دی‌ساکارید
الف	از واحدهای گلوکز ساخته شده است
ب	کمک به پایداری ساختار پروتئین‌ها می‌کند
ج	در شیر وجود دارد

۱ – الف: مالتوز، ب: ساکاروز، ج: ترهالوز

۲ – الف: لاکتوز، ب: ترهالوز، ج: ایزومالتوز

۳ – الف: مالتوز، ب: ترهالوز، ج: لاکتوز

۴ – الف: ایزومالتوز، ب: لاکتوز ، ج: ترهالوز

۴۸ – در خصوص موارد ذکر شده در جدول در مورد خصوصیت آنزیم‌های دی‌ساکاریداز، پاسخ صحیح کدام گزینه است؟

پاسخ	خصوصیت دی‌ساکاریداز
الف	هیدرولیز پیوند گلیکوزیدی آلفا یک به چهار بین دو مولکول گلوکز
ب	هیدرولیز پیوند گلیکوزیدی آلفا یک به بتا دو بین مولکول گلوکز و فروکتوز
ج	هیدرولیز پیوند گلیکوزیدی بتا یک به چهار بین مولکول گالاکتوز و فروکتوز

۱ – الف: مالتاز، ب: سوکراز، ج: لاکتاز

۲ – الف: لاکتاز ، ب: سوکراز، ج: مالتاز

۳ – الف: مالتاز، ب: لاکتاز ، ج: سوکراز

۴ – الف: سوکراز ، ب: مالتاز ، ج: لاکتاز

۴۹ – کدام ماده پلی‌ساکارید نیست؟

۱- سلولز ۲- نشاسته

۳- کیتین ۴- مالتوز

۵۰ – کیتین از چه واحدهایی ساخته شده است؟

۱- ریبوز ۲- فروکتوز

۳- N – استیل‌گلوکزآمین ۴- N – استیل‌گالاکتوزآمین

پاسخنامه

	۱	۲	۳	۴
۱				✓
۲	✓			
۳			✓	
۴				✓
۵	✓			
۶		✓		
۷			✓	
۸	✓			
۹		✓		
۱۰				✓
۱۱			✓	
۱۲	✓			
۱۳			✓	
۱۴		✓		
۱۵				✓
۱۶	✓			
۱۷				✓
۱۸			✓	
۱۹	✓			
۲۰		✓		
۲۱				✓
۲۲		✓		
۲۳			✓	
۲۴	✓			
۲۵				✓
۲۶		✓		
۲۷				✓
۲۸	✓			
۲۹			✓	
۳۰			✓	
۳۱	✓			
۳۲		✓		
۳۳				✓
۳۴			✓	
۳۵				✓
۳۶			✓	
۳۷	✓			
۳۸		✓		
۳۹			✓	
۴۰		✓		
۴۱			✓	
۴۲			✓	
۴۳	✓			
۴۴			✓	
۴۵		✓		
۴۶			✓	
۴۷			✓	
۴۸	✓			
۴۹				✓
۵۰			✓	