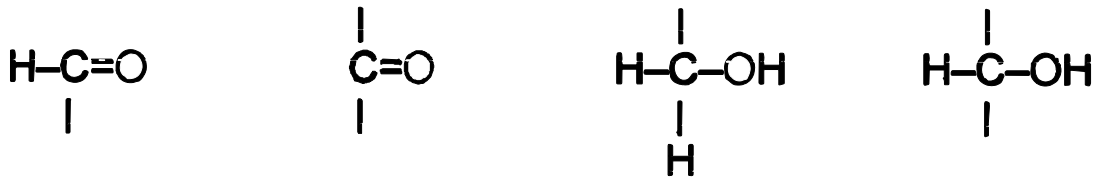


KARBONHİDRATLAR (ŞEKERLER)

Tanım ve karbonhidratların fonksiyonları

Karbonhidratlar, kimyasal olarak polihidroksi aldehit veya ketondurlar veya hidroliz edildiklerinde böyle bileşikler veren maddelerdir. Bu sınıftaki çoğu madde için C : H : O oranı, 1 : 2 : 1 şeklindedir; genel formülleri $(CH_2O)_n$ şeklinde yazılabilir. Bazı karbonhidratlar, $(CH_2O)_n$ genel formülüne uymazlar; aynı zamanda azot, fosfor veya kükürt de içerirler; bu nedenle karbonhidrat yerine *karbohidrat* kelimesini kullanma eğilimi de vardır.

Karbonhidratların yapılarında ya aldehit ya da keton **bir karbonil grubu**; hem primer alkol yapısında hem sekonder alkol yapısında **iki veya daha fazla sayıda hidroksil** grupları bulunur.



Aldehit grubu

Keton grubu

Primer alkol grubu

Sekonder alkol grubu

Karbonil grupları

Alkol grupları

Karbonhidratlar, dünyada en yaygın olarak bulunan biyomoleküllerdir; yeşil bitkiler ve algler tarafından fotosentez ile sürekli olarak CO_2 ve H_2O 'dan sellüloz ve diğer bitkisel ürünler yapılmaktadır.

Karbonhidratların organizmada birçok fonksiyonu vardır: 1) Sofra şekeri ve nişasta gibi bazı karbonhidratlar, dünyanın önemli bir bölümünde insan diyetinin en önemli kısmıdır. 2) Karbonhidratların oksidasyonu, çoğu nonfotosentetik hücrede temel enerji sağlayıcı yoldur. Kan şekeri olarak bilinen ve vücudun en önemli karbonhidratı olan glukoz, memeli dokularının en önemli yakıtıdır. 3) İnsolubl (suda çözünmeyen) karbonhidrat polimerleri, bakteri ve bitkilerin hücre duvarlarında ve hayvanların bağ dokularında yapısal ve koruyucu elemanlar olarak işlev görürler. 4) Bazı karbonhidrat polimerleri, iskelet eklemlerini kayganlaştırırlar ve hücreler arası yapışmayı sağlarlar. 5) Karbonhidratlar, vücutta lipidlerin, bazı amino asitlerin, glikolipidlerin, glikoproteinlerin ve proteoglikanların ön maddesidir. Proteinlere ve lipidlere kovalent olarak bağlı bazı kompleks karbonhidrat polimerleri, molekülün intrasellüler yerini veya metabolik akıbetini belirleyen sinyal olarak etki gösterirler.

Karbonhidratlar, genellikle üç büyük sınıfa ayrılarak incelenirler: 1) Monosakkaritler. 2) Disakkaritler. 3) Polisakkaritler.

Monosakkaritler (basit şekerler)

Monosakkaritler, bir veya daha fazla hidroksil gruplu ya aldehit ya da keton yapısında en basit karbonhidratlardır. Monosakkaritler, hidroliz yoluyla daha küçük moleküllü basit karbonhidratlara ayrışmazlar; oligosakkaritlerin ve polisakkaritlerin alt ünitelerini oluştururlar. *Oligosakkaritler, 2-10 arasında aynı ya da farklı monosakkaritlerin birleşmesiyle oluşurlar; iki mono sakkaritin birleşmesiyle oluşmuş olan disakkaritler dışında serbest olarak bulunmazlar. Polisakkaritler, monosakkarit polimerleridirler; 10 ve daha fazla monosakkarit içerirler.*

Monosakkaritler, renksiz, kristalli katılardır; suda çözünürler, fakat nonpolar çözücülerde çözünmezler. Monosakkaritlerin çoğu tatlıdır.

Monosakkaritlerin sınıflandırılmaları

Monosakkarit moleküllerinin omurgası, tüm karbon atomlarının tek bağlarla bağlandığı dallanmamış bir karbon zinciridir. Karbon atomlarından biri, bir karbonil grubu oluşturmak için bir oksijen atomuna çift bağlıdır; diğer karbon atomlarından her biri bir hidroksil grubu içerir. Karbonil grubu karbon zincirin bir ucunda ise, monosakkarit bir aldehittir ve **aldoz** olarak isimlendirilir; karbonil grubu karbon zincirin bir ucunda değilse monosakkarit bir ketondur ve **ketoz** olarak isimlendirilir.

Monosakkaritler, moleküllerindeki toplam karbon sayılarına göre de sınıflandırılırlar ve karbon sayısının Latince adının sonuna “oz” hecesi getirilerek adlandırılırlar; monosakkaritlerin moleküldeki toplam karbon sayısı 3 olanlar **triozlar**, 4 olanlar **tetrozlar**, 5 olanlar **pentozlar**, 6 olanlar **heksozlar**, 7 olanlar **heptozlardır**:

Karbon sayısına göre	Karbonil grubunun cinsine göre			
	Aldoz		KetoZ	
Trioz (3 karbonlu)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	
	Gliseraldehit		Dihidroksi aseton	
Tetroz (4 karbonlu)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	
	Eritroz		Eritrülöz	
Pentoz (5 karbonlu)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$
	Riboz	Ksiloz	Ribülöz	Ksilülöz
Heksoz (6 karbonlu)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$
	Glukoz	Mannoz	Galaktoz	Fruktoz
				Sorboz

Doğada ve organizmada en yaygın bulunan monosakkaritler, trioz, pentoz ve heksozlardır. Heksozlardan en fazla bulunanları da glukoz, fruktoz, galaktoz ve mannozdur. Kan şekeri

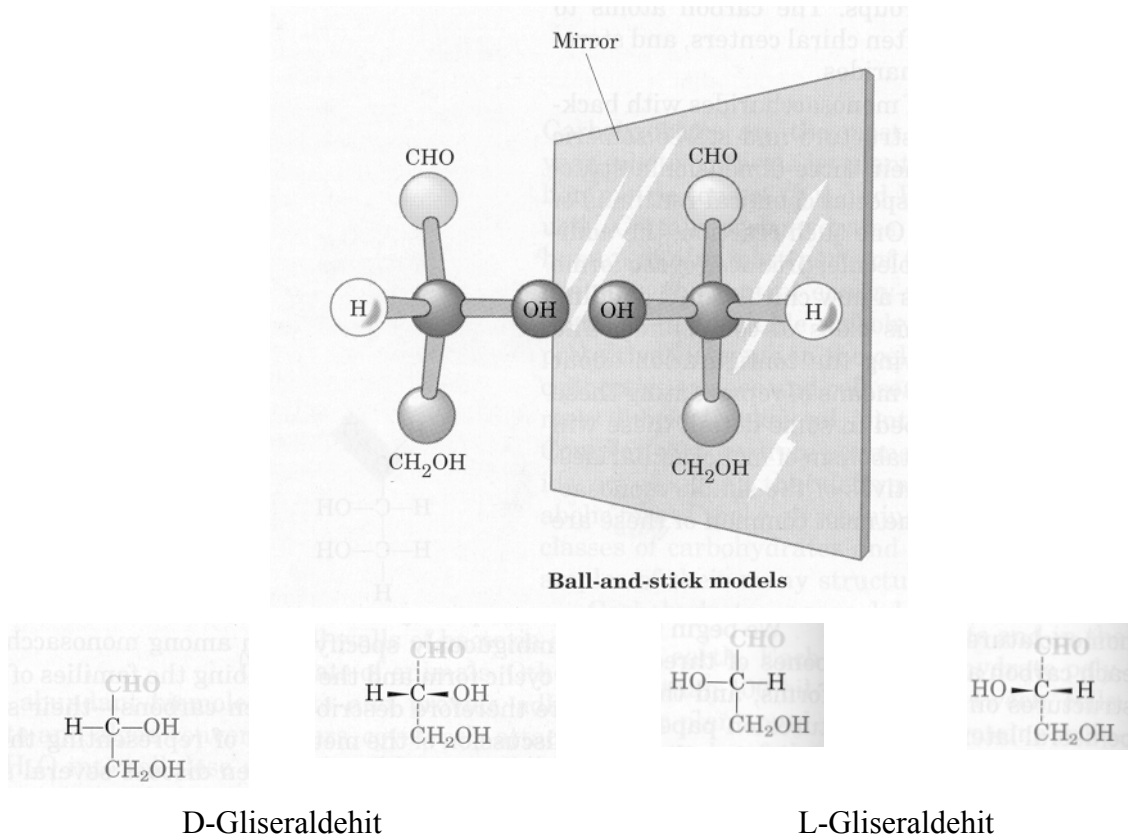
deyince, bir **aldoheksoz** olan glukoz anlaşılır. **Aldopentoz** olan riboz ve 2-deoksiriboz, nükleotitlerin ve nükleik asitlerin komponentleridirler.

Monosakkaritlerin izomerleri

Organik kimya bilgilerimizden biliyoruz ki, karbon atomlarının çevresindeki tek bağların tetrahedral düzenlenmesi, bazı organik bileşiklere önemli özellikler verir. Bir organik moleküldeki bir karbon atomuna dört farklı atom veya fonksiyonel grup bağlanmışsa, karbon atomunun asimetrik (şiral, kiral) olduğu ifade edilir. Asimetrik karbon atomu içeren molekül, uzayda farklı konfigürasyonlara sahip iki farklı formda bulunabilir ve bu formlar, molekülün **stereoizomerleri** olarak tanımlanırlar. Genel olarak, n sayıda *asimetrik karbon atomu* içeren bir molekülün 2^n sayıda stereoizomeri vardır.

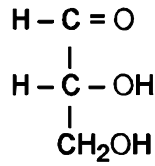
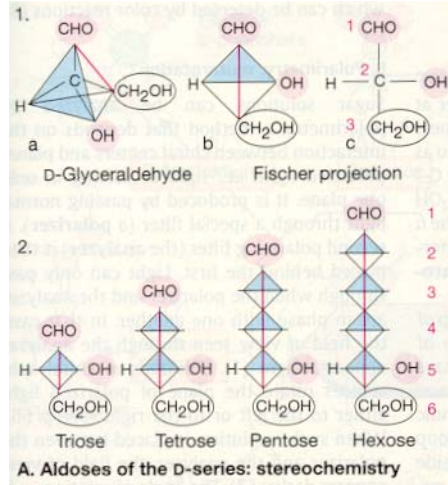
Stereoizomerlerin özel bir sınıfı, **enantiyomerler** olarak adlandırılırlar ki bunlar, birbirinin aynı düzlemde üst üste gelmeyen ayna görüntüleridirler. *Bir bileşiğin iki enantiyomeri, aynı kimyasal özelliklere sahiptirler, fakat polarize ışığın düzlemini çevirme yeteneği gibi karakteristik fiziksel özellikleri farklıdır; enantiyomerlerden birinin çözeltisi polarize ışığın düzlemini sağa (+) çevirir, diğerinin çözeltisi ise aynı derecede sola (-) çevirir. Polarize ışığın düzlemini sağa veya sola çeviren maddelere **optikçe aktif maddeler** veya **optik aktif maddeler** dendiğini biliyoruz.*

Dihidroksi aseton hariç bütün monosakkaritler, bir veya daha fazla asimetrik karbon atomu içerirler; bu nedenle optikçe aktif izomerleri vardır. En basit aldoz olan gliseraldehit, bir asimetrik karbon atomu içerir; bu nedenle de iki farklı enantiyomeri vardır. Gliseraldehitin iki farklı formu, âdet üzerine D-gliseraldehit ve L-gliseraldehit olarak adlandırılırlar:

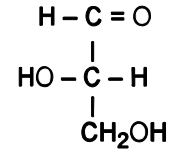


Monosakkaritlerin optikçe aktif izomerlerinin bir sınıfı D- ve L-izomerlerdir. Monosakkaritlerde D- ve L-izomerlerin ayrımı için, karbonil grubundan en uzak olan

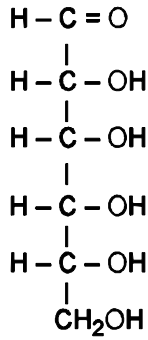
asimetrik karbon atomu referans alınır. Referans karbon atomu üzerindeki hidroksil grubu projeksiyon formülünde sağda ise, monosakkarit D- izomerdir; solda ise L- izomerdir:



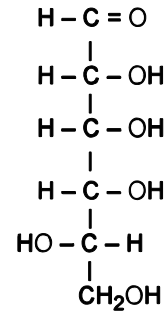
D - Gliser aldehit



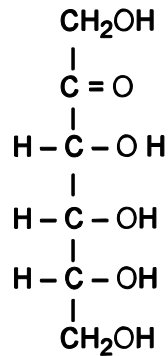
L - Gliser aldehit



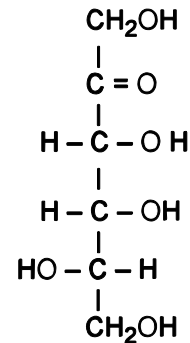
D - Aldoheksoz



L - Aldoheksoz

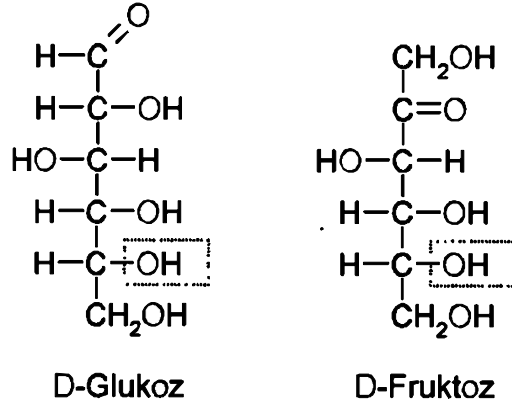


D - Ketoheksoz



L - Ketoheksoz

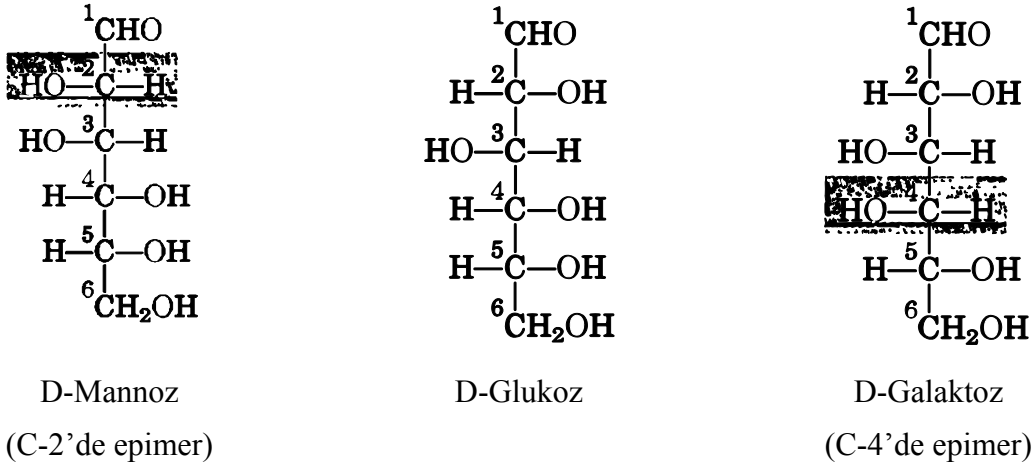
Canlı organizmada bulunan heksozların çoğu D-izomerlerdir; örneğin kandaki glukoz, D-glukozdur:



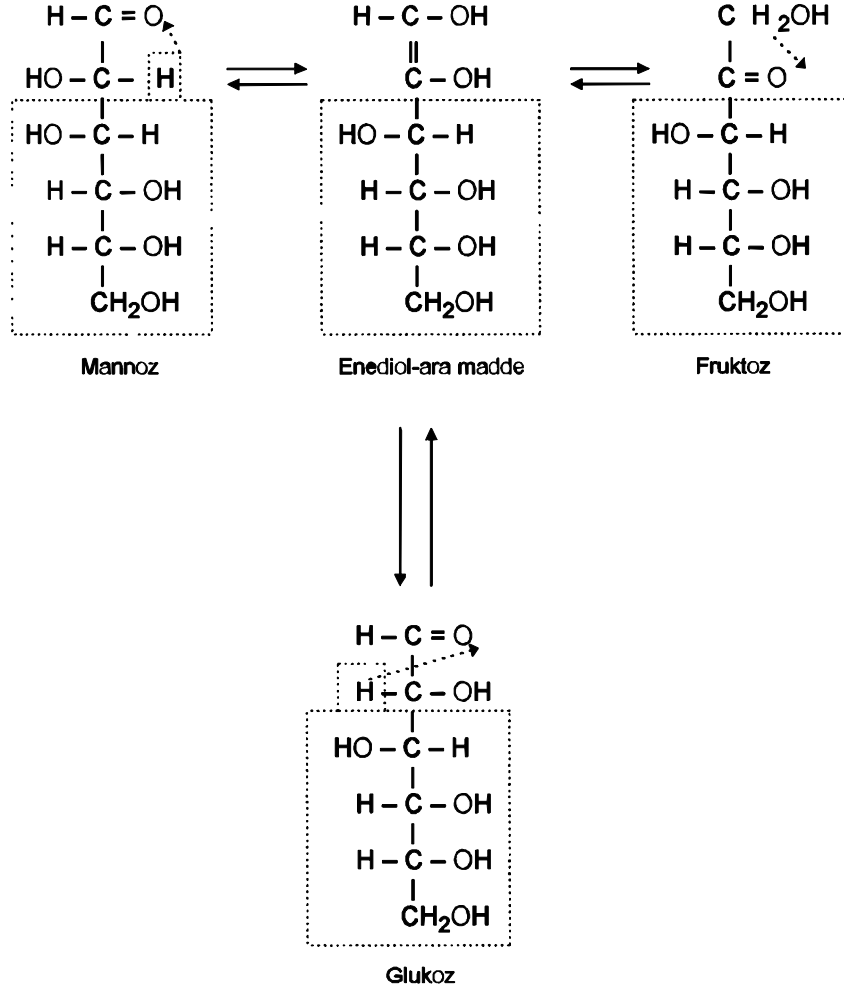
D-fruktoz, polarize ışık düzlemini -92° sola çevirir; D-glukoz ise polarize ışık düzlemini $+52,7^\circ$ sağa çevirir. Glukoz çözeltilerine dekstroz denmesinin nedeni bununla ilgilidir.

*Bir maddenin D- ve L- izomerlerini eşit miktarlarda içeren karışımın optik aktivitesi yoktur; böyle karışımlara **rasemik karışım** veya **rasemat** denir.*

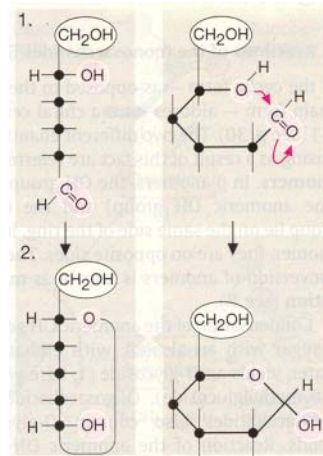
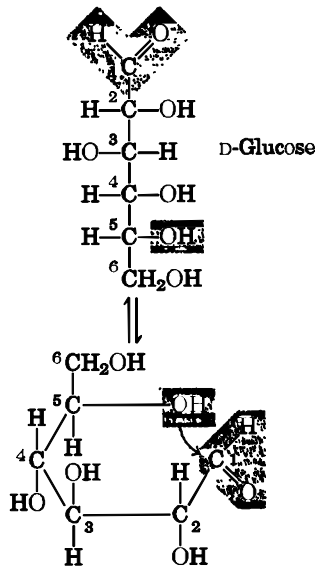
İki monosakkarit yalnızca bir asimetrik karbon atomu etrafındaki konfigürasyon bakımından farklı ise bunlar birbirinin epimerleri olarak isimlendirilir. Monosakkaritlerdeki karbon atomları karbonil grubuna en yakın uçtan başlanarak numaralandığında D-Glukoz ve D-Mannoz, yalnızca 2.karbondaki (C-2) stereokimya bakımından farklıdır; D-glukoz ve D-Galaktoz da yalnızca 4.karbondaki (C-4) stereokimya bakımından farklıdır. Bu nedenle glukozun C-2 de epimeri mannozdur, C-4'de epimeri de galaktozdur denir:



Glukoz, mannoz ve fruktozun 1. ve 2. karbonlarındaki yapılar farklı diğer karbonlarındaki yapılar aynıdır. Glukoz, mannoz ve fruktoz, enolleşme (enolizasyon) ara basamağından geçerek birbirlerine dönüşebilirler; bu nedenle enol şekerler olarak da bilinirler.

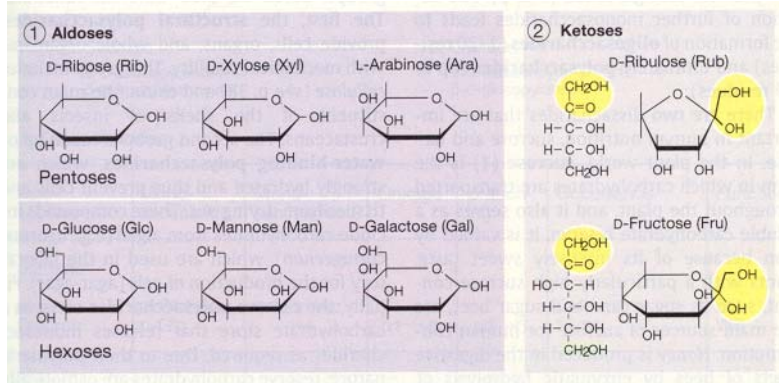
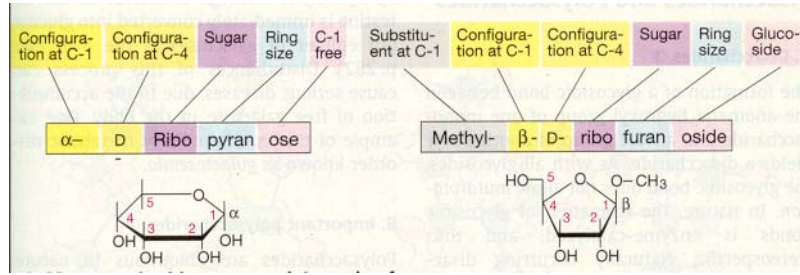


Aldoz ve ketozların 5 ve daha fazla karbonlarının yapılarındaki karbonil grupları ile aynı moleküldeki bir hidroksil grubu, sulu çözeltilerde birbiriyle tepkimeye girer ve böylece halkalı yapılar meydana getirirler:

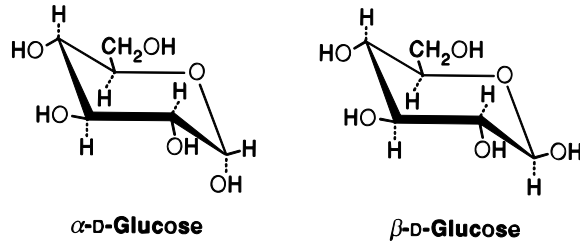


Halkalı yapılarda, karbonil grupları, moleküldeki hidroksil gruplarından birinin oksijeni ile kovalent bağ oluşturmuştur.

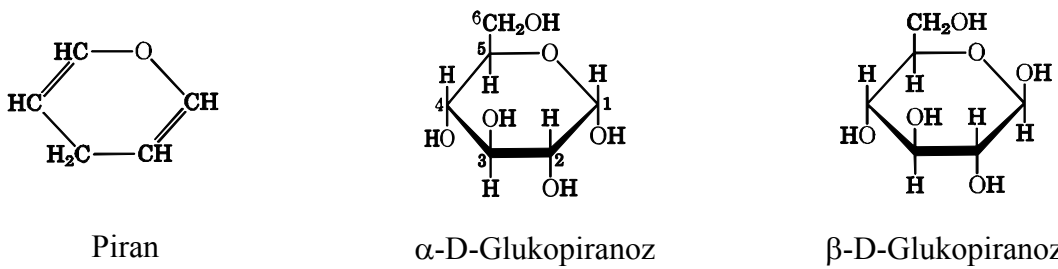
Monosakaritlerin halka formlarını göstermek için, genellikle Haworth perspektif formülleri kullanılır:



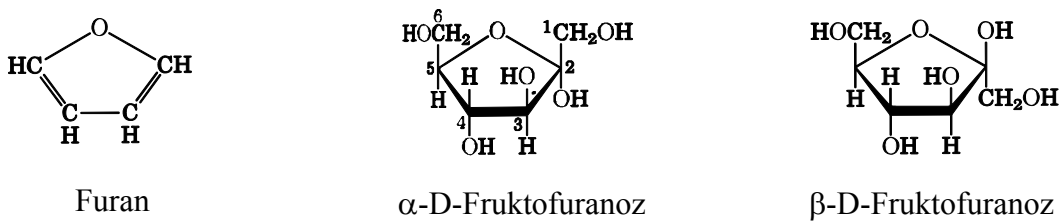
Piranoz halkası, gerçekte düzlemsel değil, sandalye şeklini alma eğilimindedir:



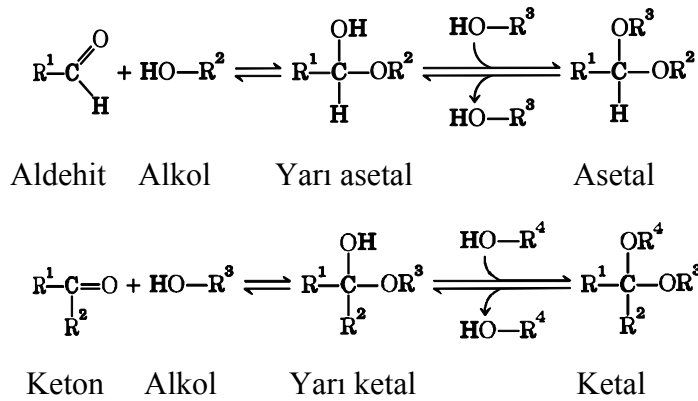
D-Glukoz, piran halkasına benzeyen halkalı yapıda, hafifçe farklı optik özellikleri olan, α -D-Glukopiranoz ve β -D-Glukopiranoz diye adlandırılan iki farklı forma sahiptir:



D-Fruktoz, furan halkasına benzeyen halkalı yapıda, hafifçe farklı optik özellikleri olan, α -D-Fruktofuranoz ve β -D-Fruktofuranoz diye adlandırılan iki farklı forma sahiptir:



Monosakkaritlerde α - ve β - formlarının oluşması, aldehitler ile alkoller arasında yarı asetaller oluşturan veya ketonlar ile alkoller arasında yarı ketaller oluşturan bir genel reaksiyonun sonucudur:

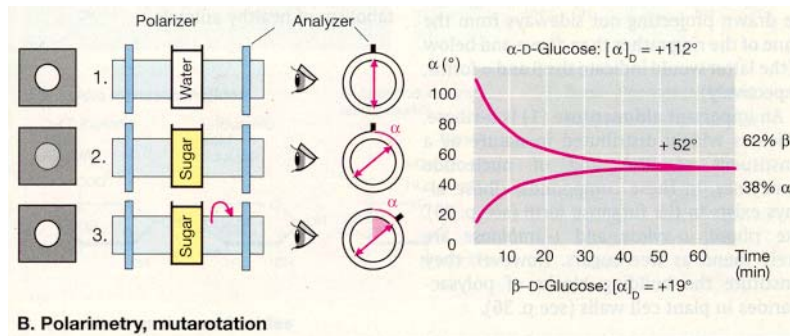


Monosakkaritlerde halkalı yapı oluşmakla fazladan bir asimetrik karbon atomu ortaya çıkmış olmaktadır; bu asimetrik karbon atomları, **anomerik karbon** diye adlandırılırlar ki monosakkaritlerin indirgeyici özellikleri için önemlidirler. Birbirlerinden yalnızca anomerik karbondaki konfigürasyon bakımından farklı α - ve β - formları da **anomerler** diye adlandırılırlar.

Halkalı yapıda 1. karbon atomlarının da asimetrik olması sonucu bir aldoheksozun toplam 5 asimetrik karbon atomu ve dolayısıyla $2^n = 2^5 = 32$ stereoizomeri vardır.

D-Glukozun α - ve β - formları, polarize ışığın düzlemini aynı yöne fakat farklı derecelerde çevirirler. *Optik aktif maddelerin polarize ışığın düzlemini çevirme derecesi, polarimetre denen aletlerle ölçülür. Her optik aktif maddenin polarize ışığın düzlemini çevirme derecesi bellidir; örneğin α -D-Glukoz 112° sağa (+) çevirir; β -D-Glukoz ise 19° sağa (+) çevirir.*

D-Glukozun α - ve β - formları, sulu çözeltide **mutarotasyon** denen bir süreçte birbirlerine dönüşürler. Bir α -D-Glukoz çözeltisi ve bir β -D-Glukoz çözeltisi, en sonunda belirli optik özelliğe sahip aynı denge karışımını oluştururlar. Bu karışım, yaklaşık 1/3 oranında α -D-Glukoz ve 2/3 oranında β -D-Glukoz, çok küçük miktarda da düz zincir formu içerir; bu durumdaki çözelti polarize ışık düzlemini 52° sağa (+) çevirir:

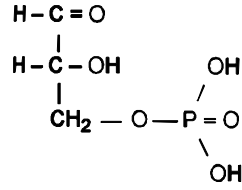


D-Fruktozun iki anomer formundan β -D-fruktoz, daha yaygındır.

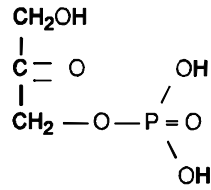
Organizmadaki önemli heksoz türevleri

Glukoz, galaktoz ve mannoz gibi basit heksozların türevlerinde, ana bileşikteki bir hidroksil grubu, bir başka yapı ile yer değiştirmiştir veya bir karbon atomu karboksilik asite okside olmuştur.

1) Şeker fosfatları: Karbonhidratların sentezlerinde ve metabolizmalarında ara ürünler, çok sık olarak monosakkaritlerin kendileri değil, fosforillenmiş türevleridirler. Bir monosakkaritin hidroksil gruplarından biri ile fosforik asidin kondensasyonu, bir fosfat esteri oluşturur:

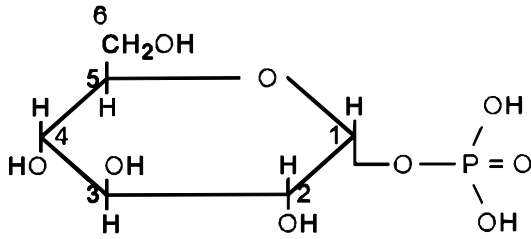


Gliser aldehit - 3 - P

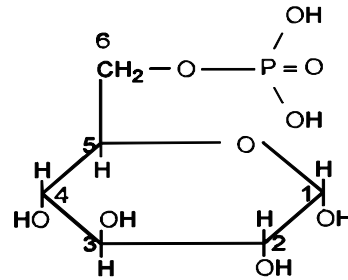


Di-hidroksi aseton - 3 - P

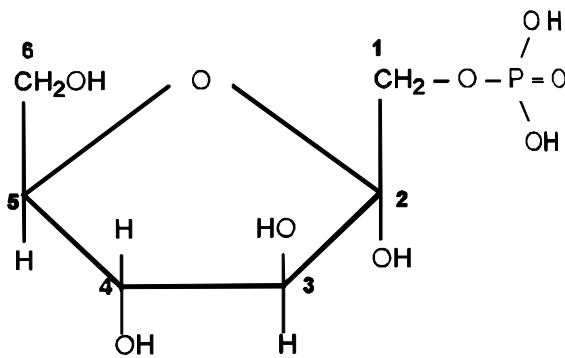
Şeker fosfatları, bir monosakkaritin hidroksil gruplarından biri ile fosforik asidin kondensasyonu sonucu oluşmuş bileşiklerdir:



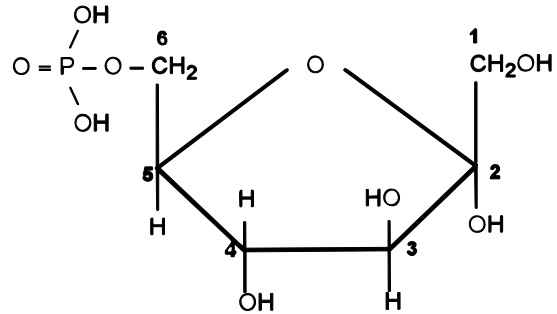
Glukoz-1-P (G-1-P)



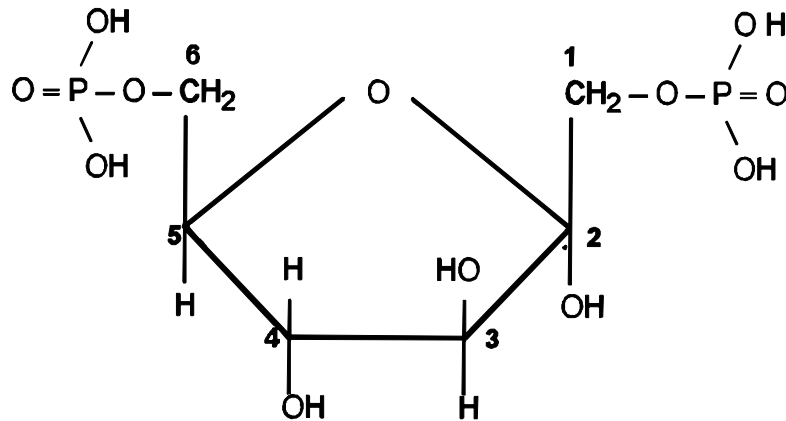
Glukoz-6-P (G-6-P)



Fruktoz-1-P (F-1-P)



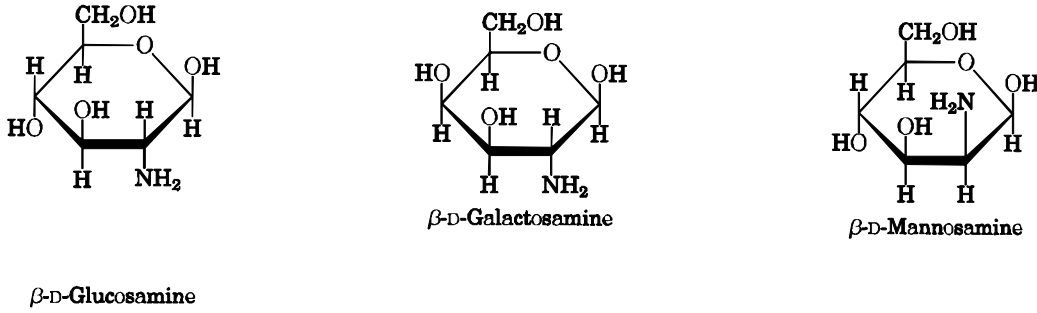
Fruktoz-6-P (F-6-P)



Fruktoz-1,6-bisfosfat

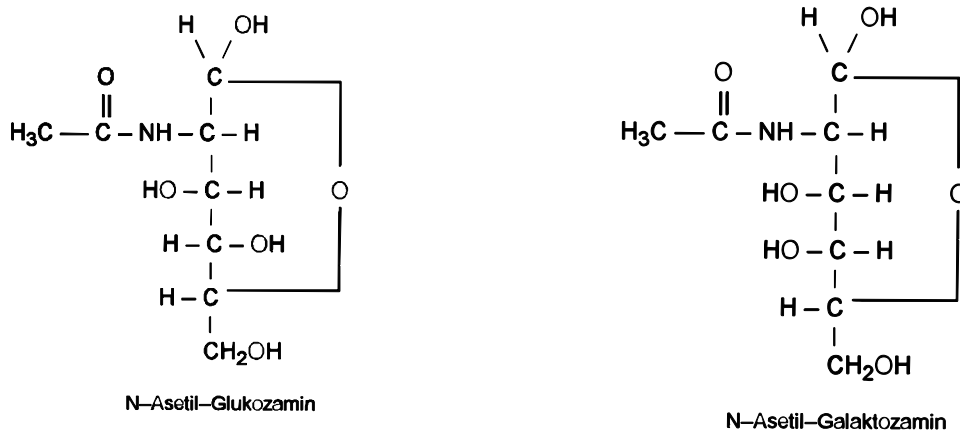
Hücre içinde şeker fosforilasyonunun bir etkisi, şekerin hücre dışına difüzyonunun önlenmesidir. Şeker fosfatları, nötral pH'da nispeten stabildir ve negatif yük taşırlar; yüksek derecede yüklü moleküller de biyolojik membranları, spesifik transport sistemi olmaksızın geçemezler. Şeker fosforilasyonunun bir başka etkisi, şekerlerin sonraki kimyasal değişmeler için aktive olmasını sağlamaktır. Şeker fosfatları, karbonhidratların aktif şekilleridirler; sentez ve metabolizma olaylarında kimyasal değişime uğrarlar.

2) Amino şekerler: Bir monosakkaritteki bir hidroksil grubunun bir amino grubu ile yer değiştirmesi sonucu oluşmuş bileşiklerdir. Glukozamin, galaktozamin ve mannozaminde ana bileşikdeki C-2'na bağlı hidroksil, amino grubu ile yer değiştirmiştir:

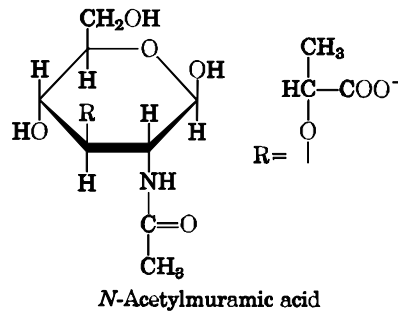


Amino şekerler, eritromisin, karbomisin gibi birçok antibiyotığın yapısında bulunur; vücutta glikozaminoglikanların, glikoproteinlerin ve glikolipidlerin yapı taşlarıdır.

Amino şekerlerin amino gruplarının asetik asit ile kondense olmasıyla bunların da türevleri oluşabilir:

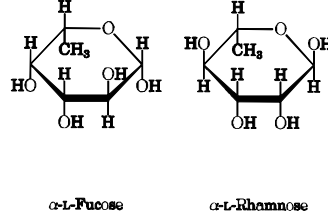


N-asetil glukozaminin C-3'nuna laktik asidin bir eter bağı ile bağlanması sonucu *N-asetil muramik asit* oluşur:

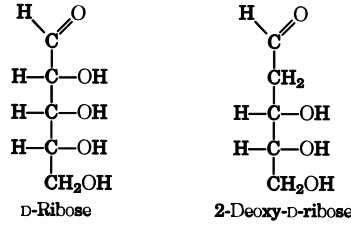


3) Deoksi şekerler: Bir monosakkaritteki bir hidroksil grubunun bir hidrojen ile yer değiştirmesi sonucu oluşmuş bileşiklerdir; içlerindeki oksijen sayısı karbon sayısından azdır.

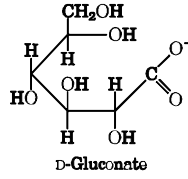
Galaktozun C-6'ndaki hidroksil grubunun yerine bir hidrojen geçmesiyle **fukoz** oluşur; α -L-Fukoz, hücre membranı glikoproteinlerinde bulunur. Mannozun C-6'ndaki hidroksil grubunun yerine bir hidrojen geçmesiyle **ramnoz** oluşur; α -L-Ramnoz, bakterilerin dış membranlarının yapı taşı olan lipopolisakkaritlerde bulunur:



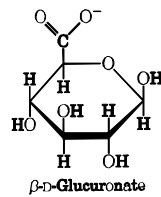
Ribozdan oluşan 2-deoksi-riboz, deoksiribonükleik asitlerde (DNA) bulunur:



4) Aldonik asitler: Bir monosakkaritin aldehit karbonunun karboksilik aside yükseltgenmesiyle oluşan organik asitlerdir; glukozdan oluşan **glukonik asit** önemli bir örnektir:

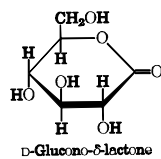


5) Üronik asitler: Bir monosakkaritin aldehit karbonundan uzaktaki primer alkol grubunun karboksilik aside yükseltgenmesiyle oluşan organik asitlerdir; glukozdan oluşan **glukuronik asit** önemli bir örnektir:



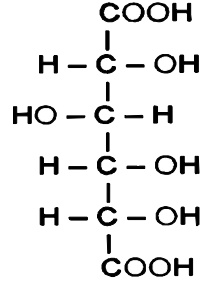
D-glukuronik asit, konjuge bilirubin oluşumunda ve karaciğerde detoksifikasyon (zehirsizleştirme) olaylarında görev alan en önemli şeker asididir. D-glukuronik asit, ayrıca bazı glikozaminoglikanların ve proteoglikanların yapı taşıdır.

Aldonik asitler ve üronik asitler, laktonlar diye isimlendirilen stabil intramoleküler esterler oluştururlar:



Lakton oluşumunda, moleküldeki karboksil grubu, aynı molekül içindeki bir hidroksil grubuyla tepkimeye girmektedir.

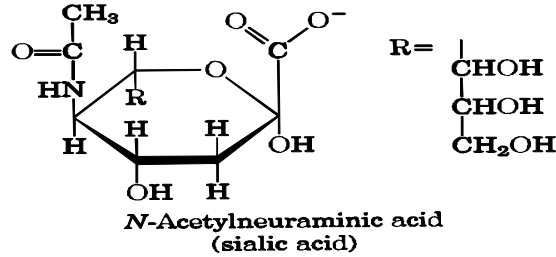
6) **Sakkarik asitler:** Aldozların 1.karbonundaki aldehit grupları ile 6.karbonlarındaki primer alkol gruplarının oksitlenerek karboksil grubuna değişmesiyle oluşan dikarboksilik asitlerdir:



Glukarik asit

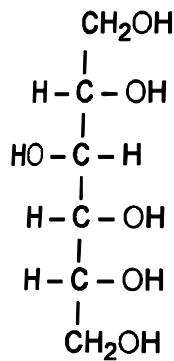
Galaktozun sakkarik asidinin adı **müsik asittir**.

7) **N-asetil nöraminik asit (NANA, sialik asit):** Dokuz karbonlu asidik şeker olan nöraminik asidin asetillenmiş türevidir:

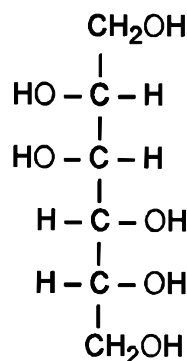


N-asetil nöraminik asit (NANA, sialik asit), glikoproteinlerin ya da glikolipidlerin oligosakkarit yan zincirindeki terminal karbonhidrattır.

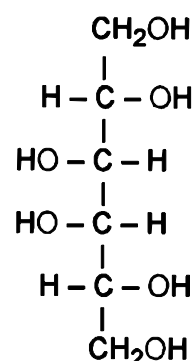
8) **Şeker alkolleri:** Monosakkaritlerin aldehit veya keton gruplarının alkol gruplarına indirgenmesiyle oluşan bileşiklerdir; glukozdan **sorbitol**, mannozdan **mannitol**, galaktozdan **dülsitol** oluşur:



Sorbitol



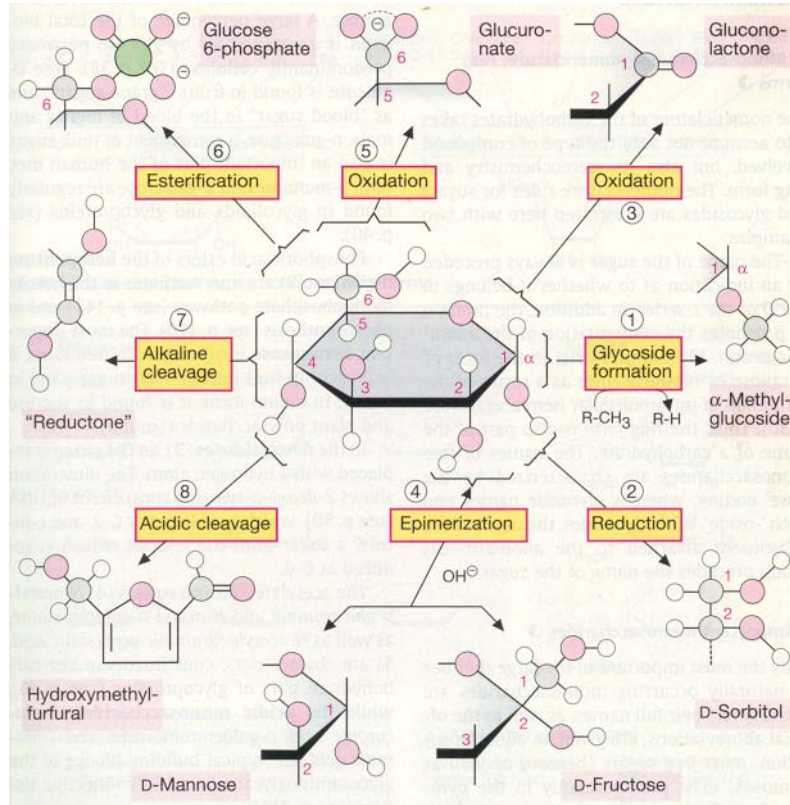
Mannitol



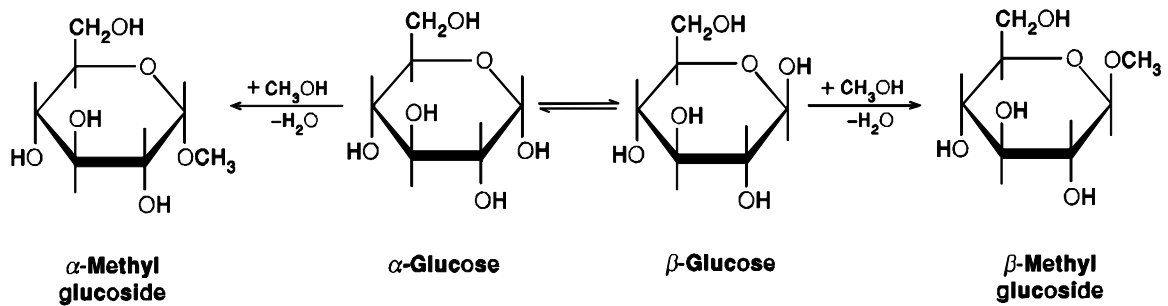
Dülsitol

KontROLSUZ diyabetes mellituslu hastalarda kanda glukoz konsantrasyonu yükselir; hiperglisemi ortaya çıkar. Bu durumda retina, lens, böbrek ve sinir hücrelerine giren glukoz miktarı artar. Bu hücrelerde artan glukoz, aldoz redüktaz enziminin etkisiyle sorbitol'e çevrilir. Sorbitolün güçlü ozmotik etkisi sonucunda hücre içinde su retansiyonu olur ki bu, olasılıkla gözde katarakt oluşmasının nedenlerindedir.

Monosakkaritlerin genel tepkimeleri



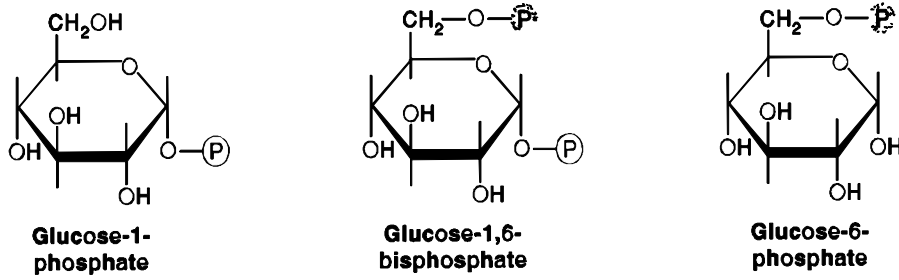
1) Glikozid oluşumu: Monosakkaritlerin yarı asetal $-OH$ grupları (anomerik karbondaki hidroksil grubu) ile bir başka bileşiğin $-OH$ veya $>NH$ grubu arasında bir molekül su çıkışıyla oluşan bağa **glikozidik bağ** denir; oluşan bileşiklere de **glikozidler** denir. Glikozidik bağ, monosakkaritlerin yarı asetal $-OH$ grupları ile alkollerin $-OH$ grupları arasındaki reaksiyonlaşma sonucu oluştuysa **O-glikozidik bağ** olarak tanımlanır; disakkaritlerde, oligosakkaritlerde ve polisakkaritlerde monosakkaritler birbirleriyle O-glikozidik bağlarla bağlanırlar. Glikozidik bağ, monosakkaritlerin yarı asetal $-OH$ grupları ile bir başka bileşiğin $>NH$ grubu arasında reaksiyonlaşma sonucu oluştuysa **N-glikozidik bağ** olarak tanımlanır; N-glikozidik bağları nükleotidlerde bulunur:



Bir glikozidde karbonhidrat olmayan kısma **aglikon** denir; metanol, gliserol, fenol, sterol, pirimidin ya da pürin bazları, aglikon örnekleridirler.

Glikozidler, ilaçlarda, baharatlarda bulunurlar. Kalp üzerine etkili olan glikozidler, kardiyak glikozidleri olarak bilinirler; bunlarda aglikon kısmı steroldür.

2) **Ester oluşumu:** Monosakkaritlerin OH gruplarının asitlerin OH grupları ile reaksiyonlaşmasıdır; şekerlerin özellikle fosforik asitle oluşturdukları **fosfat esterleri**, biyolojik yönden çok önemli maddelerdir:

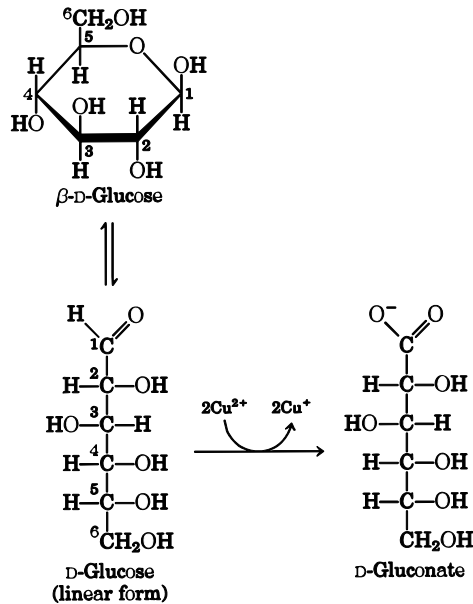


Gliseraldehit fosfat ve dihidroksi aseton fosfat da önemli ara metabolizma maddeleridirler:

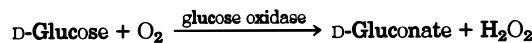


3) **Eter oluşumu:** Monosakkaritlerin OH gruplarında bulunan H'nin alkil grupları ile yer değiştirmesi reaksiyonudur.

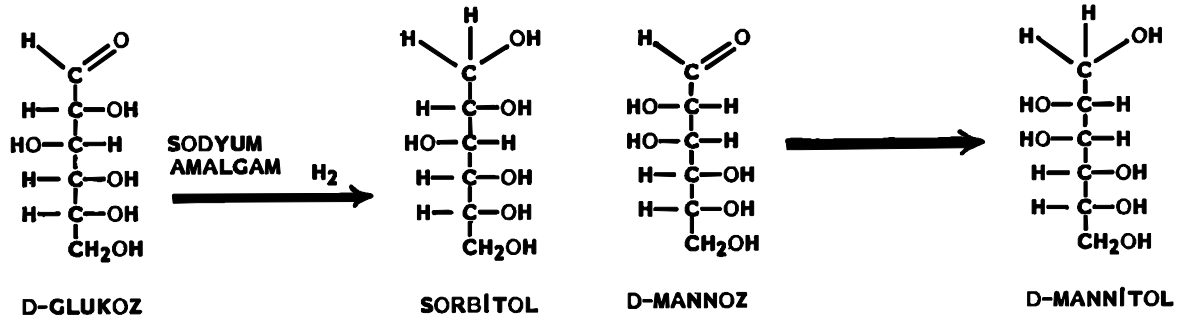
4) **Aldonik asitlerin oluşması:** Serbest yarı asetal hidroksili içeren monosakkaritlerin anomerik karbonunun karboksilik aside yükseltgenmesi (oksidasyonu) reaksiyonudur. Bu reaksiyon sırasında şeker, indirgen olarak etki gösterir; Ag^{2+} , Hg^{2+} , Bi^{3+} , Cu^{2+} gibi iyonları indirger; böyle şekerler, **indirgeyici şeker** olarak tanımlanırlar:



Glukoz, glukoz oksidaz etkisiyle de enzimatik olarak glukonik asite dönüşür:



5) **Şeker alkollerinin oluşması:** Serbest yarı asetal hidroksili içeren monosakkaritlerin anomerik karbonunun alkole indirgenmesi reaksiyonudur; sonuçta sorbitol, mannitol, dulcitol gibi şeker alkolleri oluşur.

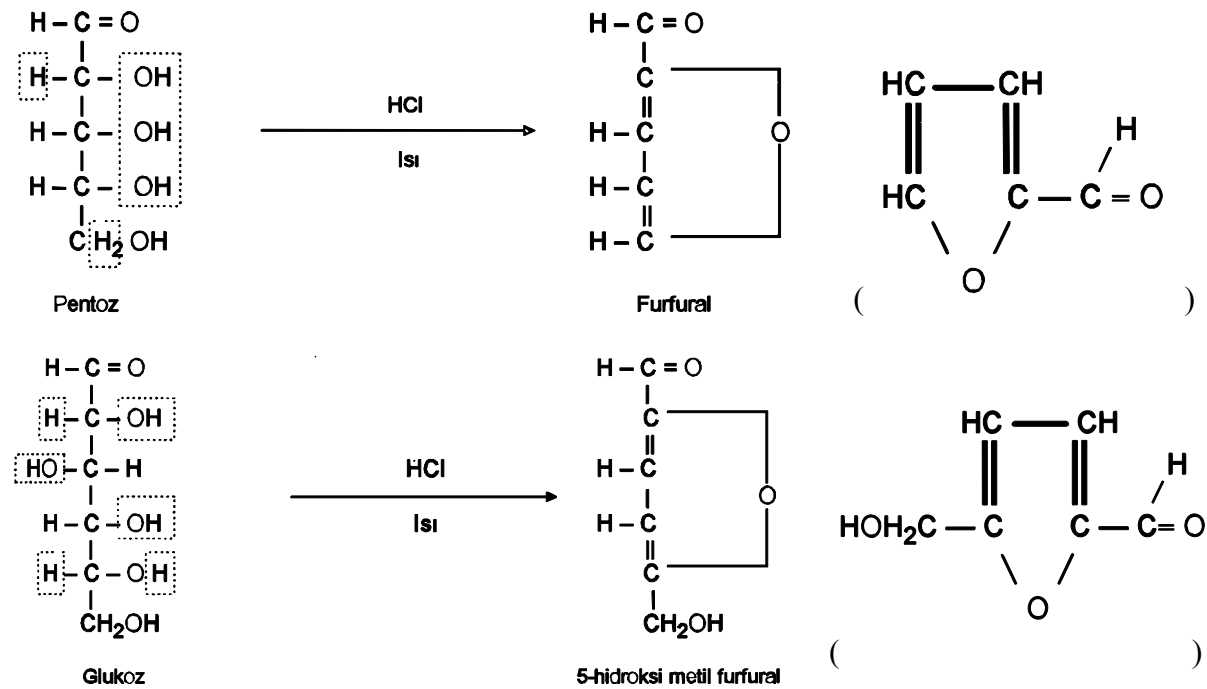


6) **Enolizasyon:** Bir karbon atomundan komşu karbonil grubunun oksijenine bir protonun göç etmesi ile doymamış bir alkol yani *enol* oluşması olayıdır; glukoz, mannoz ve fruktoz, hafif alkali ortamda enol biçimleri üzerinden birbirlerine dönüşürler. *Hafif alkali ortamda glukoz, mannoz ve fruktozdan biri çözülürse ortamda diğerleri de bulunur; yalnızca 1.ve 2.karbonlarındaki konfigürasyonlar farklı olan bu şekerlere enol şekerler denir.*

Glukoz ve mannozun yalnızca 2.karbonlarındaki konfigürasyon farklıdır; bu şekerler, epimer şekerler olarak da bilinirler; epimerizasyon olayı ile birbirlerine dönüşürler.

Yoğun alkali ortamda monosakkarit çözeltileri iyice karıştırıldıktan sonra kaynatılırsa, sarı→ kırmızı→ kahverengi biçiminde bir renk değişmesi görülür ve karamel kokusu hissedilir. Moor testi olarak bilinen bu reaksiyonda renk değişikliği, serbest hale geçen aldehytlerin polimerizasyonu ile reçine özelliğinde maddeler oluşmasından ileri gelir.

7) **Dehidratasyon:** Yoğun asit ortamlarda kaynatılmakla monosakkarit molekülünün üç molekül su kaybetmesi olayıdır. Bunun sonucunda pentozlardan *furfural*, heksozlardan *5-hidroksi metil furfural* meydana gelir:



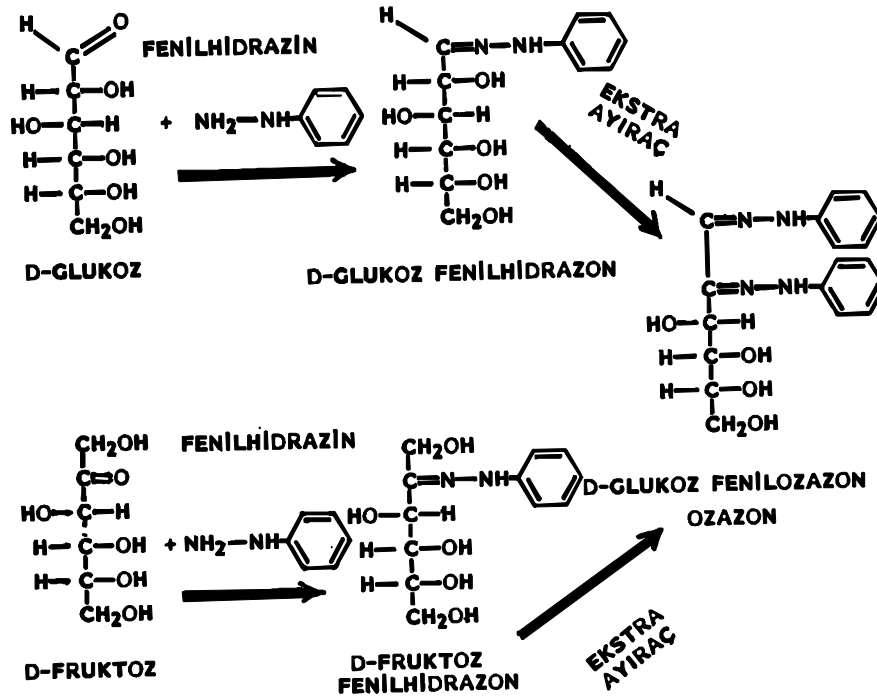
Furfural ve 5-hidroksi metil furfurallerin önemli bir özelliği, orcin, floroglusin, rezorsin, α-naftol, antron, safra asitleri gibi bazı bileşiklerle kondense olarak renk reaksiyonları

vermeleridir. Adı geçen bileşiklerin bazı monosakkaritlerle verdikleri renk reaksiyonları özeldir; o monosakkaritlerin tanınmasında kullanılır.

Monosakkaritler, zayıf asitli ortamda sodyum amalgam ile yüksek değerli alkollere indirgenebilirler.

Monosakkaritler, şiddetli asit ortamda kaynar dereceye kadar ısıtılırlarsa kömürleşerek parçalanırlar.

8) Osazon oluşumu: Monosakkaritin 1.ve 2.karbon atomlarına fenil hidrazinin bağlanmasıyla karakteristik kristalli osazonlar oluşur. Glukoz, fruktoz ve mannoz, yalnızca 2.karbonundaki konfigürasyon bakımından farklıdır; bu karbonlara fenil hidrazinin bağlanmasıyla farklılık ortadan kalkar; dolayısıyla glukoz, fruktoz ve mannoz, sarı renkli ekin demeti görünümünde aynı osazon kristallerini oluştururlar. Galaktozun 4.karbonundaki konfigürasyon farklıdır; 1.ve 2.karbon atomlarına fenil hidrazinin bağlanmasıyla farklılık ortadan kalkmaz; dolayısıyla galaktozun oluşturduğu osazon kristalleri, diğerlerinden farklı olarak koyu sarı renkte at kestanesi görünümündedir. Osazon kristallerinin incelenmesi, galaktozun tanınmasında kullanılır.



Monosakkaritleri tanıma deneyleri

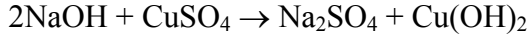
Monosakkaritlerin indirgeyici özellikleri ile ilgili deneyler

Trommer deneyi

Serbest yarı asetal hidroksili içeren monosakkaritlerin, indirgeyici özellikleriyle Cu^{2+} ı Cu^{+} a indirgemeleri prensibine dayanır..

Bir deney tüpüne 2 mL %5'lik glukoz çözeltisi konur. Tüpteki çözeltiye 1 mL %5'lik NaOH çözeltisi eklenir ve karıştırılır. Tüpteki karışıma 1 mL %5'lik CuSO_4 çözeltisi eklenir ve karıştırılır. Tüpteki son karışım, su banyosunda veya bunzen beki alevinde dikkatlice ısıtılır. Isıtılan karışımın sarı veya kırmızı renkli çökelti haline dönüştüğü gözlenir.

Açıklama: Önce NaOH ile CuSO_4 arasında tepkime olur ve suda mavi renkli kaba çökelti halinde $\text{Cu}(\text{OH})_2$ oluşur.

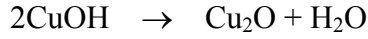


Daha sonra , glukozun serbest yarı asetal hidroksili ile $\text{Cu}(\text{OH})_2$ arasında tepkime olur; glukoz, $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 'i CuOH haline indirger ve kendisi de aldonik asidine (glukonik asit) yükseltgenir.

Oluşan CuOH , suda çözünmez ve sarı renkli çökelti halinde çöker.

Isıtma sırasında CuOH su kaybederek Cu_2O haline dönüşür.

ISI



Oluşan Cu_2O , suda çözünmez ve kırmızı renkli çökelti halinde çöker.

Tüpteki çökelti, içerdiği CuOH ve Cu_2O miktarlarına, bir bakıma da indirgenen bakır miktarına ve dolayısıyla glukoz çözeltisinin konsantrasyonuna bağlı olarak sarıdan kırmızıya kadar değişen renkte olur.

Fehling deneyi

Prensibi, Trommer deneyininkiyle aynıdır; serbest yarı asetal hidroksili içeren monosakkaritlerin, indirgeyici özellikleriyle Cu^{2+} 'ı Cu^+ 'a indirgemeleri prensibine dayanır..

Bir deney tüpüne 1 mL Fehling A çözeltisi (1000 mL'de 35 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ve 5 mL konsantr H_2SO_4) ve 1 mL Fehling B çözeltisi (1000 mL'de 150 g Na-K Tartrat (Seignette tuzu) ve 300 mL %33'lük NaOH) konup karıştırılarak taze Fehling reaktifi hazırlanır. Tüpteki taze Fehling reaktifi üzerine 2 mL %5'lik glukoz çözeltisi eklenir ve karıştırılır. Tüpteki son karışım, su banyosunda veya bunzen beki alevinde dikkatlice ısıtılır. Isıtılan karışımın sarı veya kırmızı renkli çökelti haline dönüştüğü gözlenir.

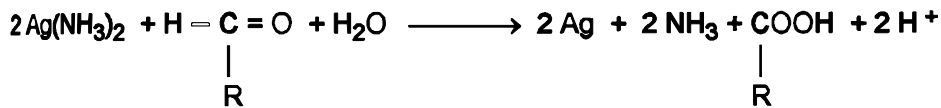
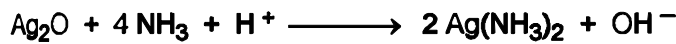
Açıklama: Trommer deneyindeki gibidir. *Seignette tuzu*, $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 'i çözünür hale getirerek glukoz ile daha kolay tepkimeye girmesini sağlar; H_2SO_4 de Fehling A'daki CuSO_4 'ün bozulmasını önler.

Nylander deneyi

Serbest yarı asetal hidroksili içeren monosakkaritlerin, indirgeyici özellikleriyle bizmut tuzu $\text{Bi}(\text{OH})_2\text{NO}_3$ 'ü siyah renkli bizmut oksite veya metalik bizmuta indirgemeleri prensibine dayanır.

Tollens deneyi

Serbest yarı asetal hidroksili içeren monosakkaritlerin, indirgeyici özellikleriyle amonyaklı gümüş nitrati metalik gümüşe indirgemeleri prensibine dayanır:



Monosakkaritlerin renk tepkimeleri ile ilgili deneyler

Molisch deneyi

H_2SO_4 etkisiyle pentozlardan *furfural* heksozlardan *5-hidroksi metil furfural* oluşması, *furfural* ve *5-hidroksi metil furfuralin* de α -naftol ile *mor renkli trifenil metan* oluşturması prensibine dayanır.

Bir deney tüpüne 2 mL %5'lik glukoz çözeltisi ve 1 mL α -naftol çözeltisi konup karıştırılır. Tüpteki karışım üzerine 4 mL konsantre H_2SO_4 , tabaka oluşturacak şekilde tüp kenarından dikkatlice akıtılarak eklenir. Tüpte tabakaların temas yerinde mor renkli halka oluştuğu gözlenir.

Açıklama: Konsantre H_2SO_4 , monosakkaritlerden su çekerek onları dehidre eder; pentozlardan furfural oluşur, heksozlardan ise 5-hidroksimetil furfural oluşur.

Furfural ve 5-hidroksimetil furfural da α -naftol ile tepkimeye girerler ve mor renkli trifenil metan oluştururlar.

Tüpte tabakaların temas yerinde gözlenen mor renkli halka, oluşan trifenilmetandan ileri gelmektedir.

Anilin asetat deneyi

H_2SO_4 etkisiyle pentozlardan ***furfural*** heksozlardan ***5-hidroksi metil furfural*** oluşması, ***furfuralin***, ***anilin asetat*** ile ***koyu kırmızı renk*** maddesi oluşturması, 5-hidroksi metil furfuralin ise anilin asetat ile koyu kırmızı renk maddesi oluşturmaması prensibine dayanır.

Bir deney tüpüne 2 mL %5'lik ksiloz çözeltisi ve 1 mL konsantre H_2SO_4 konup karıştırılır. Tüpteki karışım, bunzen beki alevinde dikkatlice ısıtılır. Bu sırada tüp kenarından içeriye, anilin asetat çözeltisi ile ıslatılmış filtre kağıdından şerit sarkıtılır. Tüp içine sarkıtılan kağıt şeridin koyu kırmızı renk aldığı gözlenir.

Açıklama: Konsantre H_2SO_4 , monosakkaritlerden su çekerek onları dehidre eder; pentozlardan furfural oluşur, heksozlardan ise 5-hidroksimetil furfural oluşur.

Furfural, anilin asetat ile tepkimeye girer ve koyu kırmızı renkli bir madde oluşturur.

Tüp içine sarkıtılan kağıt şeridin koyu kırmızı renk alması, oluşan koyu kırmızı renkli maddeden ileri gelmektedir.

Anilin asetat deneyi, monosakkaritin türünü belirlemek yani pentoz mu yoksa heksoz mu olduğunu anlamak için yararlı bir deneydir.

Bialin orcin deneyi

Kaynatma ve asit etkisiyle pentozlardan ***furfural*** heksozlardan ***5-hidroksi metil furfural*** oluşması, ***furfuralin***, ***orcin*** ile ***mavi renkli madde*** oluşturması, ***5-hidroksi metil furfuralin*** ise ***orcin*** ile ***sarı-kahverengi*** bir kompleks oluşturması prensibine dayanır.

Bir deney tüpüne 1 mL %5'lik ksiloz çözeltisi ve 4 mL Bial reaktifi (0,3 g orcin, 5 damla %10'luk $FeCl_3$ çözeltisi ve 100 mL derişik HCl karıştırılarak hazırlanır) konup karıştırılır. Tüpteki karışım, kaynar su banyosunda 2 dakika ısıtılır. Tüp akan çeşme suyu altında soğutulur. Tüpteki karışımın mavi renge dönüştüğü gözlenir.

Açıklama: Kaynatma ve asit etkisi, monosakkaritlerden su çekerek onları dehidre eder; pentozlardan furfural oluşur, heksozlardan ise 5-hidroksimetil furfural oluşur.

Furfural, orcin ile tepkimeye girer ve mavi renkli bir madde oluşturur.

Tüpteki karışımın mavi renk alması, oluşan mavi renkli maddeden ileri gelmektedir.

Bialin orcin deneyi, monosakkaritin türünü belirlemek yani pentoz mu yoksa heksoz mu olduğunu anlamak için yararlı bir deneydir.

Seliwanoff deneyi

Kaynatma ve asit etkisiyle pentozlardan ***furfural*** heksozlardan ***5-hidroksi metil furfural*** oluşması, ***furfuralin***, ***rezorcin*** ile ***mavi-yeşil*** renkli bir kompleks oluşturması, ***5-hidroksi metil furfuralin*** ise ***rezorcin*** ile ***kırmızı renkli*** bir kompleks oluşturması, fruktoz gibi ketoheksozlarla ***koyu kırmızı renk*** glukoz gibi aldoheksozlarla ise ***açık kırmızı renk*** oluşması prensibine dayanır.

Bir deney tüpüne 1 mL %5'lik ksiloz çözeltisi ve 5 mL Seliwanoff reaktifi (0,15 g rezorcin, 100 mL derişik HCl ve 200 mL distile su karıştırılarak hazırlanır) konup karıştırılır. Tüpteki

karişim, kaynar su banyosunda 5 dakika ısıtılır. Tüp akan çeşme suyu altında soğutulur. Tüpteki karişimin mavi-yeşil renge dönüştüğü gözlenir.

Açıklama: Kaynatma ve asit etkisi, monosakkaritlerden su çekerek onları dehidre eder; pentozlardan furfural oluşur, heksozlardan ise 5-hidroksi metil furfural oluşur.

Furfural, rezorcin ile tepkimeye girer ve mavi-yeşil renkli bir madde oluşturur.

Tüpteki karişimin mavi-yeşil renk alması, oluşan mavi-yeşil renkli maddeden ileri gelmektedir.

Seliwanoff deneyi, monosakkaritin türünü belirlemek yani pentoz mu yoksa heksoz mu olduğunu anlamak ve hatta ketoheksoz mu yoksa aldoheksoz mu olduğunu anlamak için yararlı bir deneydir. Monosakkaritle yapılan Seliwanoff deneyinde tüpteki karişimin mavi-yeşil renk aldığı gözlenirse monosakkarit pentozdur; tüpteki karişimin koyu kırmızı renk aldığı gözlenirse monosakkarit ketoheksozdur; tüpteki karişimin açık kırmızı renk aldığı gözlenirse monosakkarit aldoheksozdur.

Monosakkaritlerin osazon oluşturmalarıyla ilgili deney

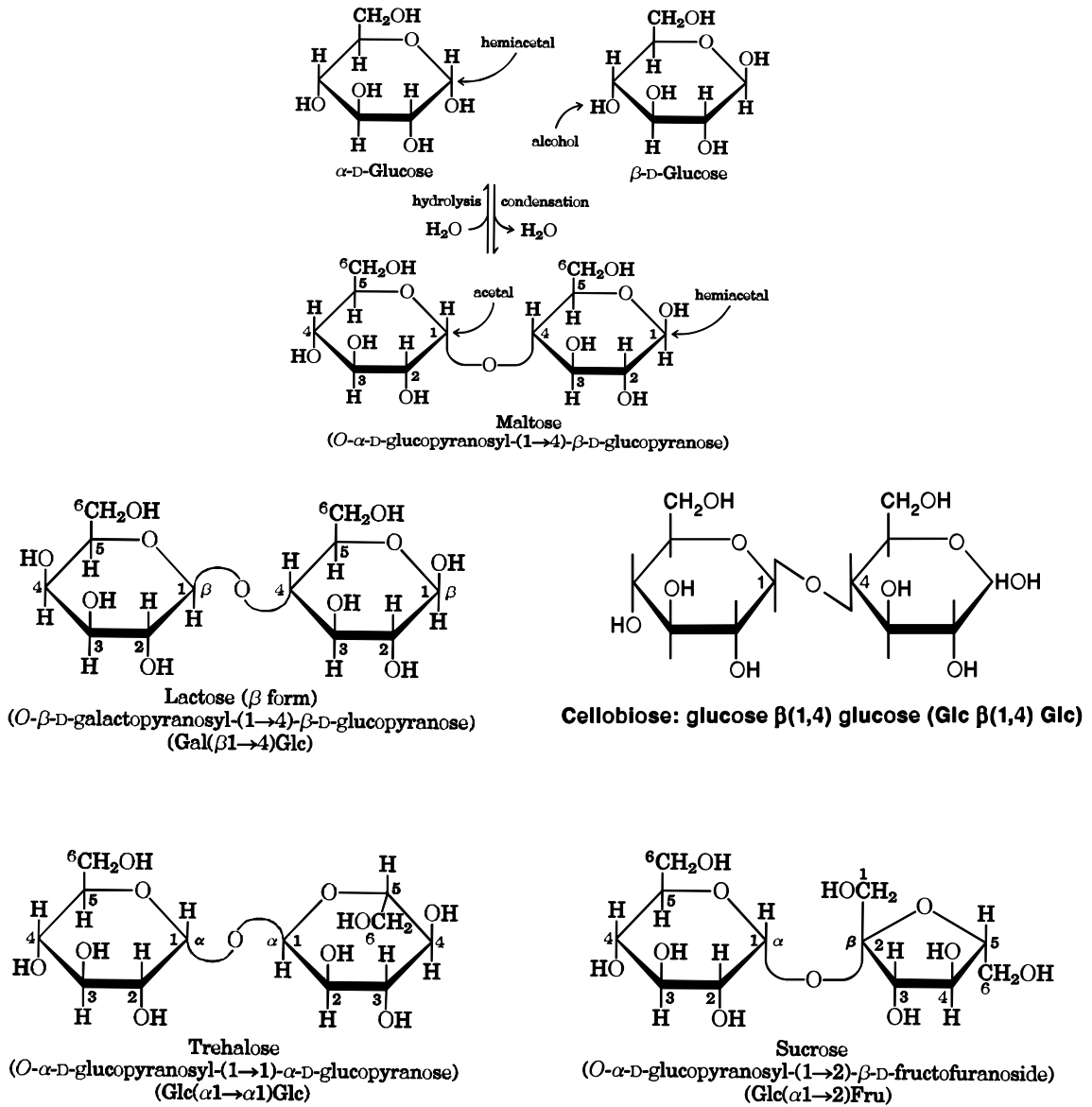
Monosakkaritlerin, fenil hidrazin ile 1. ve 2. karbonlarının katıldığı bir tepkimeye girerek karakteristik osazon kristalleri oluşturmaları prensibine dayanır.

Bir deney tüpüne 5 mL %5'lik glukoz çözeltisi, 5 damla %50'lik asetik asit ve 5 damla fenil hidrazin konup kariştırılır. Tüpteki karişim, kaynar su banyosunda 10-15 dakika tutulur ve bu sırada kristallenme olması için cam bagetle içten tüp kenarına sürme hareketleri yapılır. Tüp akan çeşme suyu altında soğutulur. Tüpteki sarı kristaller mikroskop altında incelenir.

Açıklama: Monosakkaritler, fenil hidrazin ile 1. ve 2. karbonlarının katıldığı bir tepkimeye girerek karakteristik osazon kristalleri oluştururlar. *Glukoz, mannoz ve fruktozun 1.ve 2.karbonlarına bağlı gruplar farklı; fakat 3., 4., 5. ve 6. karbonlarına bağlı gruplar ise aynıdır. 1.ve 2.karbonlarına fenil hidrazinin bağlanmasıyla glukoz, mannoz ve fruktozun tüm karbonlarına bağlı gruplar aynı olmuş olur ve böylece oluşan osazon kristalleri arasında da fark olmaz; ince uzun iğneler şeklinde ve ekin demeti görünümünde kristallerdir. Galaktozun 4.karbonuna bağlı hidroksil grubu glukozdakine göre ters taraftadır; osazon oluşurken 4.karbon tepkimeye katılmadığından oluşan osazon kristalleri de farklı olur; kirli sarı ve at kestanesi görünümünde kristallerdir.*

Disakkaritler

Disakkaritler, bir monosakkarit molekülü üzerindeki anomerik karbon hidroksil grubunun bir diğer monosakkarit molekülü üzerindeki bir hidroksil grubu ile reaksiyonlaşması sonucu oluşturulan bir O-glikozidik bağ vasıtasıyla birbirine bağlanmış iki monosakkarit molekülünden oluşmuş bileşiklerdir:



O-glikozidik bağ, bir yarı asetal ve bir alkolden bir asetal oluşumunu gösterir. Molekülünde bir serbest anomerik karbon atomu bulunan disakkaritler, monosakkaritler gibi indirgeyici özellik gösterdikleri halde molekülünde bir serbest anomerik karbon atomu bulunmayan disakkaritler indirgeyici özellik göstermezler. Maltoz, laktoz ve sellobioz indirgeyici özelliktedirler; sukroz ve trehaloz ise indirgeyici özellikte değildirler.

Glikozidik bağlar, asit vasıtasıyla kolayca hidroliz edilebilirler, fakat baz vasıtasıyla yıkılmaya karşı dirençlidirler. Disakkaritler sulu asit ile kaynatma suretiyle ve enzimatik olarak hidroliz edildiklerinde kendilerini oluşturan monosakkaritler ortaya çıkar. *Sukrozun hidrolizi sonucunda çoğu kez eşit miktarlarda glukoz ve fruktoz karışımı oluşur; bu karışım da invert şeker olarak adlandırılır.*

1) Maltoz: İki glukoz molekülünün **Glc(α 1 \rightarrow 4)Glc** biçiminde kondensasyonu ile oluşmuş molekül yapısına sahip bir disakkarittir. Maltoz, **Malt şekeri** olarak bilinir. Maltoz, serbest yarı asetal hidroksili içerdiğinden indirgeyici özelliktedir; Fehling çözeltisindeki 2+ değerlikli bakırı (Cu^{2+}), 1+ değerlikli bakıra (Cu^+) indirger; yani Fehling pozitif reaksiyon verir. Maltoz, doğada serbest halde bulunmaz; bir polisakkarit olan nişastanın yapısında yer alır; nişastanın enzimatik hidrolizinin başlıca ürünüdür. Maltoz, oldukça tatlıdır ve suda kolaylıkla çözünür.

2) Laktoz: Bir galaktoz molekülü ile bir glukoz molekülünün **Gal(β1→4)Glc** biçiminde kondensasyonu ile oluşmuş molekül yapısına sahip bir disakkarittir. Laktoz, **Süt şekeri** olarak bilinir; önemli miktarda yalnızca sütte bulunur. Laktoz, serbest yarı asetal hidroksili içerdiğinden indirgeyici özelliكتedir; Fehling çözeltisindeki 2+ değerlikli bakırı (Cu^{2+}), 1+ değerlikli bakıra (Cu^+) indirger; yani Fehling pozitif reaksiyon verir. Sütte bulunan çeşitli mikroorganizmalar, laktozu laktik asite çevirebilirler; bu da süütün ekşimesine ve kaynatıldığında kesilmesine neden olur.

Laktoz, ancak ağız yoluyla verildiği zaman vücut tarafından kullanılabilir. Ağızdan alınan laktoz, sindirim kanalında laktaz enzimi etkisiyle parçalanır. Laktaz noksanlığında, bağırsaklarda sindirilip emilemeyen laktoz, bakteriyel fermantasyon ile, asetik asit, laktik asit, propiyonik asit gibi kısa zincirli metabolitlere ve H_2 , CO_2 , CH_4 gibi gazlara çevrilir; ayrıca laktoz ve laktik asidin oluşturduğu ozmotik etki ile diyare (ishal) ortaya çıkar.

3) Sukroz (Sakkaroz): Bir glukoz molekülü ile bir fruktoz molekülünün **Glc(α1→2)Fru** biçiminde kondensasyonu ile oluşmuş molekül yapısına sahip bir disakkarittir. Sakkaroz, **Çay şekeri** veya **sofra şekeri** olarak bilinir. Sakkaroz, serbest yarı asetal hidroksili içermediğinden indirgeyici özellikte değildir; Fehling çözeltisindeki 2+ değerlikli bakırı (Cu^{2+}), 1+ değerlikli bakıra (Cu^+) indirgeyemez; yani Fehling negatif reaksiyon verir. Sakkaroz, doğada başlıca şeker kamışı ve şeker pancarından elde edilir; meyve ve sebzelerin çoğunda da serbest olarak bulunur; oldukça tatlı bir maddedir. Sakkaroz 200°C 'ye kadar ısıtılırsa su kaybeder ve kahverengi amorf bir kütle halini alır; buna **karamel** denir. Sakkaroz, ancak ağız yoluyla verildiği zaman vücut tarafından kullanılabilir; sakkaroz ve glukoz, besinlerimizdeki en önemli şekerlerdir.

4) Trehaloz: İki glukoz molekülünün **Glc(α1→α1)Glc** biçiminde kondensasyonu ile oluşmuş molekül yapısına sahip bir disakkarittir; indirgeyici özellikte değildir. Trehaloz, böceklerin dolaşım sıvısının büyük kısmını oluşturur; enerji depolayan bir bileşik olarak işlev görür.

5) Sellobioz: İki glukoz molekülünün **Glc(β1→α4)Glc** biçiminde kondensasyonu ile oluşmuş molekül yapısına sahip bir disakkarittir; indirgeyici özelliكتedir. Sellobioz, doğada serbest olarak bulunmaz; sellüloz polisakkaritinin disakkarit birimidir.

Disakkaritlerin tanımlanması deneyleri

Sakkarozun asit ile hidrolizi deneyi

Fehling (-) olan sakkarozun, asit ile hidroliz olarak glukoz ve fruktoza parçalanması, glukoz ve fruktozun da Fehling (+) sonuç vermesi prensibine dayanır.

Bir deney tüpüne spatül ucuyla sakkaroz ve 5 mL distile su konup karıştırılarak sakkaroz çözeltisi hazırlanır. Bu çözelti ile Fehling deneyi yapılır ve Fehling (-) sonuç gözlenir. Bir başka deney tüpüne spatül ucuyla sakkaroz ve 1 mL konsantre HCl konur. Tüpteki karışımın üzerine 5 mL distile su eklenir ve karıştırılır. Tüpteki karışım, kaynar su banyosunda veya bunzen beki alevinde dikkatlice ısıtılır. Tüpteki karışıma 2mL %20'lik NaOH çözeltisi eklenir. Tüpteki son karışım ile Fehling deneyi yapılır ve Fehling (+) sonuç gözlenir.

Açıklama: Sakkaroz, bir glukoz molekülü ile bir fruktoz molekülünün **Glc(α1→2)Fru** biçiminde kondensasyonu ile oluşmuş molekül yapısına sahip bir disakkarittir. Sakkaroz, serbest yarı asetal hidroksili içermez ve bu nedenle indirgeyici değildir; Fehling (-) sonuç verir. Sakkaroz, asit ile ısıtma sonucunda hidroliz olarak glukoz ve fruktoz moleküllerine parçalanır. NaOH, hidrolizden sonra ortamı nötrleştirir. Son karışımda bulunan glukoz ve fruktoz, serbest yarı asetal veya yarı ketal hidroksilleri nedeniyle indirgeyici özellikte olduklarından yapılan Fehling deneyinde (+) sonuç gözlenir.

Sakkarozun enzim ile hidrolizi deneyi

Fehling (-) olan sakkarozun, enzim ile hidroliz olarak glukoz ve fruktoza parçalanması, glukoz ve fruktozun da Fehling (+) sonuç vermesi prensibine dayanır.

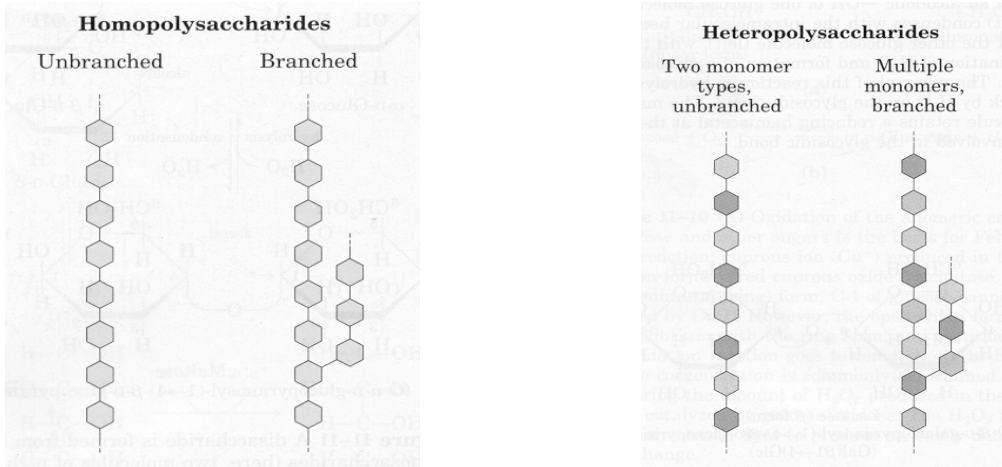
Bir deney tüpüne spatül ucuyla sakkaroz ve 5 mL distile su konup karıştırılarak sakkaroz çözeltisi hazırlanır. Bu çözelti ile Fehling deneyi yapılır ve Fehling (-) sonuç gözlenir. Bir porselen kapsüle 1 mL sakkaroz çözeltisi ve küçük bir parça maya konup ezilerek karıştırılır. Kapsüldeki karışımda hidrolizin gerçekleşmesi için bir süre beklenir. Kapsüldeki son karışım ile Fehling deneyi yapılır ve Fehling (+) sonuç gözlenir.

Açıklama: Başlangıçta Fehling (-) sonuç veren sakkaroz, mayadaki enzimler etkisiyle hidroliz olarak glukoz ve fruktoz moleküllerine parçalanır. Son karışımda bulunan glukoz ve fruktoz, serbest yarı asetal veya yarı ketal hidroksilleri nedeniyle indirgeyici özellikte olduklarından yapılan Fehling deneyinde (+) sonuç gözlenir.

Polisakkaritler (Glikanlar)

Polisakkaritler, pek çok sayıda monosakkarit veya monosakkarit türevi molekülün art arda O-glikozid bağları vasıtasıyla bağlanması suretiyle oluşmuş molekül yapısındaki karbonhidratlardır. Doğada bulunan karbonhidratların çoğu, yüksek moleküler ağırlıklı polimerler olan polisakkaritler halindedirler.

Polisakkaritler birbirlerinden zincirleri boyunca tekrarlayan monosakkarit ünitelerinin benzerliği, bu üniteleri bağlayan bağların tipi ve dallanma derecesi bakımından farklıdır; buna göre homopolisakkaritler ve heteropolisakkaritler olmak üzere iki grupta incelenirler. *Homopolisakkaritler, tek tip monomerik ünite içeren polisakkaritlerdir; heteropolisakkaritler, tekrarlayan iki veya daha fazla farklı tip monomerik ünite içeren polisakkaritlerdir:*



Homopolisakkaritler (homoglikanlar)

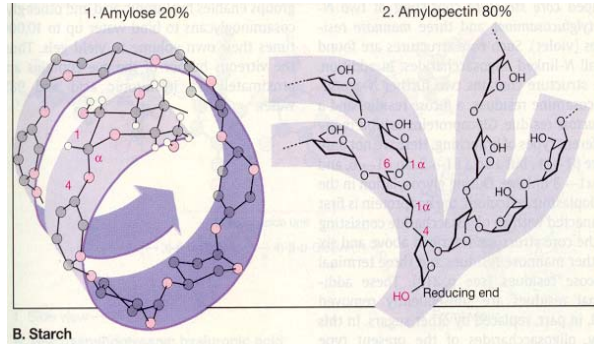
Homopolisakkaritler, tek tip monomerik ünite içeren polisakkaritlerdir. Bunların bazıları, yakıt olarak kullanılan monosakkaritlerin depo formları olarak işlev görürler ve *depo homopolisakkaritler* olarak adlandırılırlar; bazıları ise bitki hücre duvarlarında ve hayvan dış kabuklarında yapısal elemanlar olarak işlev görürler ve *yapısal homopolisakkaritler* olarak adlandırılırlar. Bu iki gruba girmeyen homopolisakkaritler de vardır.

Depo homopolisakkaritler

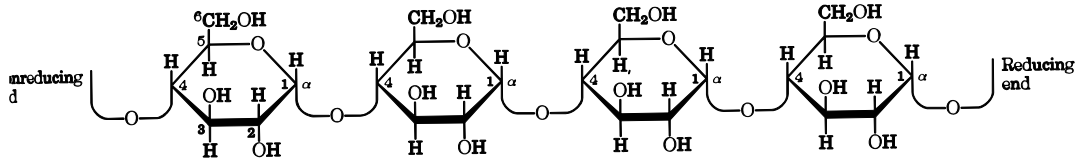
Depo homopolisakkaritler, organizmada yakıt olarak kullanılan monosakkaritlerin depo formları olarak işlev gören polisakkaritlerdir. Doğadaki en önemli depo homopolisakkaritler,

bitki hücrelerinde nişasta, hayvan hücrelerinde glikojendir; her iki polisakkarit de intrasellüler olarak büyük kümeler veya granüller halinde meydana gelirler.

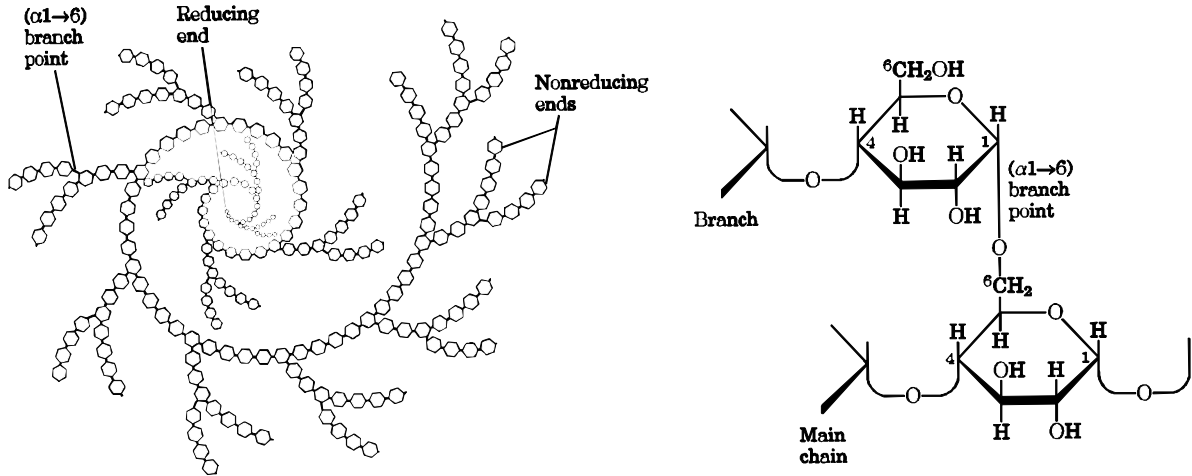
Nişasta: Bitki hücrelerindeki depo homopolisakkarittir; amiloz ve amilopektin olmak üzere iki tip glukoz polimeri içerir:



Amiloz, ($\alpha 1 \rightarrow 4$) bağları vasıtasıyla birbirine bağlanmış glukoz ünitelerinin dallanmamış uzun zincirlerinden oluşmuş bir glukoz polimeridir; zincirde birkaç bin glukoz kalıntısı bulunabilir ve bir ucu indirgeyicidir.



Amilopektin, ($\alpha 1 \rightarrow 4$) bağları vasıtasıyla birbirine bağlanmış glukoz ünitelerinin uzun zincirlerinin her 24-30 glukoz kalıntısında bir dallanması suretiyle oluşmuş bir glukoz polimeridir; dallanma noktalarındaki bağ, ($\alpha 1 \rightarrow 6$) bağıdır ve dolayısıyla molekülde bir indirgeyici uç fakat dal sayısı kadar çok sayıda indirgeyici olmayan uç vardır:



Amilazlar denem enzimler, nişastanın hidrolizini gerçekleştirirler. Gerek nişasta gerekse parçalanma ürünleri, iyot çözeltisiyle karakteristik renkler verirler; bu renkler, çözelti ısıtılınca kaybolurlar soğutulunca tekrar ortaya çıkarlar.

Nişastanın özellikleriyle ilgili deneyler

Nişastanın asit ile hidrolizi deneyi

Fehling (-) olan nişastanın, asit ile hidroliz olarak Fehling (+) glukoz moleküllerine parçalanması olayının incelenmesidir.

Bir deney tüpüne spatül ucuyla nişasta ve 5 mL distile su konup karıştırılarak nişasta çözeltisi hazırlanır. Bu çözelti ile Fehling deneyi yapılır ve Fehling (-) sonuç gözlenir. Bir başka deney tüpüne spatül ucuyla nişasta ve 1 mL konsantre HCl konur. Tüpteki karışımın üzerine 5 mL distile su eklenir ve karıştırılır. Tüpteki karışım, kaynar su banyosunda veya bunzen beki alevinde dikkatlice ısıtılır. Tüpteki karışıma 2mL %20'lik NaOH çözeltisi eklenir. Tüpteki son karışım ile Fehling deneyi yapılır ve Fehling (+) sonuç gözlenir.

Açıklama: Nişasta, amiloz ve amilopektin olmak üzere iki tip glukoz polimeri içerir. **Amiloz**, ($\alpha 1 \rightarrow 4$) bağları vasıtasıyla birbirine bağlanmış glukoz ünitelerinin dallanmamış uzun zincirlerinden oluşmuş bir glukoz polimeridir; zincirde birkaç bin glukoz kalıntısı bulunabilir ve bir ucu indirgeyicidir. **Amilopektin**, ($\alpha 1 \rightarrow 4$) bağları vasıtasıyla birbirine bağlanmış glukoz ünitelerinin uzun zincirlerinin her 24-30 glukoz kalıntısında bir dallanması suretiyle oluşmuş bir glukoz polimeridir; dallanma noktalarındaki bağ, ($\alpha 1 \rightarrow 6$) bağıdır ve dolayısıyla molekülde bir indirgeyici uç fakat dal sayısı kadar çok sayıda indirgeyici olmayan uç vardır. Nişastadaki az sayıda indirgeyici uç, indirgeyici olmayan çok sayıda uç tarafından gizlenir; bu nedenle nişasta, Fehling (-) sonuç verir. Nişasta, asit ile ısıtma sonucunda hidroliz olarak glukoz moleküllerine parçalanır. NaOH, hidrolizden sonra ortamı nötrleştirir. Son karışımda bulunan glukoz da serbest yarı asetal hidroksilleri nedeniyle indirgeyici özellikte olduğundan yapılan Fehling deneyinde (+) sonuç gözlenir.

Nişastanın enzim ile hidrolizi deneyi

İyot ile mavi renk veren nişastanın tükürükteki α -amilaz etkisiyle hidrolitik olarak parçalanmasının incelenmesidir.

Bir deney tüpüne 5 mL nişasta çözeltisi konur. Tüpteki nişasta çözeltisi üzerine 1-2 damla iyot çözeltisi damlatılır; çözeltide mavi bir renk oluştuğu gözlenir. Tüpteki mavi renkli çözeltiye bir miktar tükürük eklenir ve tüp 37°C 'de inkübe edilir; bir süre sonra çözeltideki mavi rengin açıldığı gözlenir.

Açıklama: Nişasta, içerdiği amilopektin nedeniyle gözenekli bir molekül yapısındadır. İyot, nişasta molekülünün boşluklarına girerek çözeltinin mavi renkli görünmesine neden olur. Tükürükteki α -amilaz, nişastayı hidrolitik olarak parçalar; nişasta molekülünün boşluklarına girmiş olan iyot moleküllerinin serbestleşmesine ve sonuçta mavi rengin kaybolmasına neden olur.

Glikojen: Hayvan hücrelerinin temel depo homopolisakkaritidir. Glikojen, amilopektin gibi, glukoz kalıntılarının ($\alpha 1 \rightarrow 4$) bağları vasıtasıyla birbirine bağlanması suretiyle oluşmuş bir α -D- glukopiranoz polimeridir; fakat glukoz ünitelerinin uzun zincirlerinin her 8-12 glukoz kalıntısında bir dallanması nedeniyle daha yoğun bir dallanma gözlenir; dallanma noktalarındaki bağ, ($\alpha 1 \rightarrow 6$) bağıdır ve dolayısıyla molekülde bir indirgeyici uç fakat dal sayısı kadar çok sayıda indirgeyici olmayan uç vardır.

Glikojen, özellikle karaciğerde ve kasta boldur; karaciğerin yaş ağırlığının %7'sini oluşturur. Karaciğerdeki glikojen miktarı, karbonhidrattan zengin yemeklerin ardından yükselir. Hepatositlerdeki glikojen, büyük granüller halinde bulunur; bu granüller, ortalama birkaç milyon moleküler ağırlıklı, yüksek derecede dallanmış daha küçük granüle bileşimlerin kendiliklerinden kümelenmeleri ile oluşmuşlardır. Glikojen granülleri, aynı zamanda sıkıca bağlı şekilde glikojenin sentez ve yıkılımından sorumlu enzimleri de içerirler. Karaciğerdeki glikojenin işlevi, yemek aralarında kana glukoz vererek ya da yemeklerden sonra kanda yükselen glukozu bağlayarak kan glukozunun belirli sınırlar arasında korunmasını sağlamaktır. *Glikojen bir enerji kaynağı olarak kullanılırken, glukoz üniteleri, glikojenin indirgeyici olmayan uçlarından teker teker çıkarılırlar.*

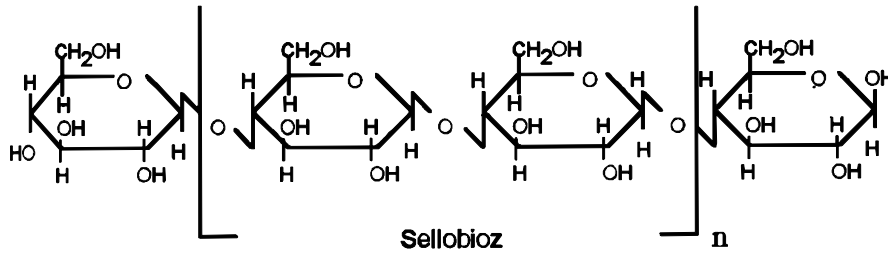
Kas glikojeni de yemeklerin ardından nadiren kasın yaş ağırlığının %1'ine kadar yükselir. Kas glikojeninin işlevi, ATP gereksiniminin arttığı kasılma olayları sırasında anaerobik glikoliz için gerekli olan glukoz-6-fosfatları sağlamaktır.

Diğer hücrelerde az miktarda bulunan glikojen, acil enerji kaynağı olarak kullanılır.

Yapısal homopolisakkaritler

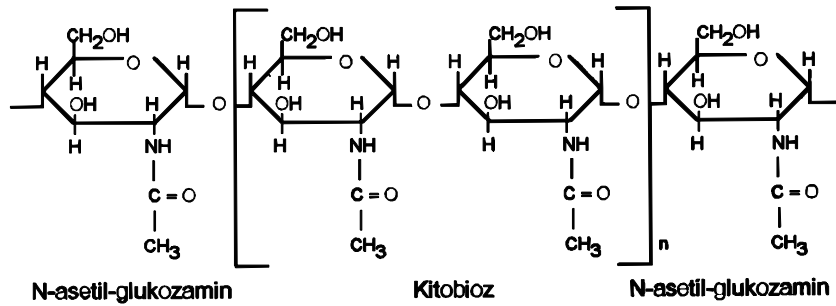
Yapısal homopolisakkaritler, bitki hücre duvarlarında ve hayvan dış kabuklarında yapısal elemanlar olarak işlev gören polisakkaritlerdir; bitkilerin hücre duvarlarında sellüloz, eklem bacaklıların sert dış iskeletlerinde kitin önemlidir.

Sellüloz: ($\beta 1 \rightarrow 4$) bağları vasıtasıyla birbirine bağlanmış glukoz ünitelerinin dallanmamış uzun zincirlerinden oluşmuş bir glukoz polimeridir:



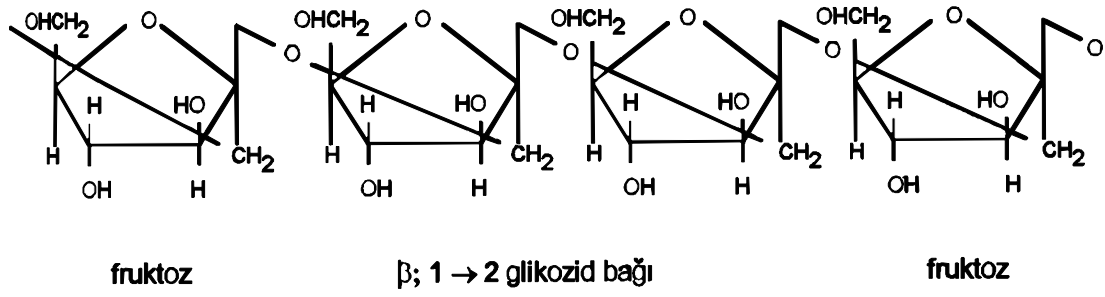
Sellüloz, fibröz, çok sert, suda çözünmeyen bir maddedir; bitkilerin hücre duvarlarında, özellikle yaprak sapları, ağaç gövdeleri ve bitki dokularının odun kısımlarında bulunur. Sellüloz, odun kütlelerinin çoğunu oluşturur; pamuk, hemen hemen saf sellülozdur. Sellülozun insanlar için besinsel değeri yoktur; sadece ruminantlar sellülozdan faydalanabilirler.

Kitin: ($\beta 1 \rightarrow 4$) bağları vasıtasıyla birbirine bağlanmış N-asetil glukozamin ünitelerinin dallanmamış uzun zincirlerinden oluşmuş bir N-asetil glukozamin polimeridir:



Kitin, sellülozunkine benzer şekilde uzayabilen lifler oluşturur; bir milyona yakın eklem bacaklı türünün sert dış iskeletlerinin esas komponentidir ve olasılıkla doğada sellülozdan sonra en bol bulunan polisakkarittir.

İnulin: ($\beta 1 \rightarrow 2$) bağları vasıtasıyla birbirine bağlanmış fruktoz ünitelerinin dallanmamış uzun zincirlerinden oluşmuş bir fruktoz polimeridir:



İnulin, doğada çeşitli bitkilerin köklerinde, enginar, soğan, sarımsak gibi bitkilerin yumrularında bol miktarda bulunur; besinsel değeri yoktur.

Diğer homopolisakkaritler

Galaktoz ünitelerinden oluşan **galaktanlar**, mannoz ünitelerinden oluşan **mannanlar**, pentoz ünitelerinde oluşan **pentanlar** ile **galakturonik ve mannuronik asit polimerleri** de homopolisakkaritlerdendirler.

Agar-agar: Galaktoz ünitelerinden kurulu bir homopolisakkarit yani bir galaktandır; doğada deniz yosunlarından elde edilmektedir; bakteriyolojide kültür vasatlarının hazırlanmasında kullanılır.

Dekstranlar: Glukoz ünitelerinden oluşmuşlardır; mikroorganizmaların sakkaroz üzerine etkileri sonucu meydana gelirler. Dekstranlar, hekimlikte kan kayıplarından sonra plazma yerini tutan ya da plazma hacmini genişleten maddeler olarak, özellikle şok giderici etkileriyle önemlidirler; molekül ağırlıkları 25.000-75.000 kadar olanlar bu amaçlar için kullanılırlar; viskoziteleri yüksek, osmotik basınçları düşüktür, parçalanmaları ve kullanılmaları yavaş olduğundan dolaşım kanında saatlerce kalabilirler.

Dekstranlar, çeşitli kimyasal tekniklerle işlenerek **sephadex** ticari ismi altında laboratuvarlarda kolon kromatografisi ve jel filtrasyon tekniklerinde sıkça kullanılırlar; ayrıca yapay böbrek uygulamalarında önemli yararlar sağlarlar.

Mannanlar: Keçi boynuzunda, hindistan cevizinde, mayada, mantarlarda ve bakterilerde bulunur.

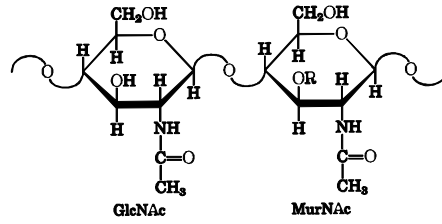
Pektinler: Galakturonik asit ünitelerinin $\alpha 1 \rightarrow 6$ glikozidik bağlarının en az 200 defa tekrarlamasıyla oluşmuşlardır. Pektinler, kısmen etil alkol ile esterleştikten sonra ortamı jelleştirdiklerinden, meyva konserveçiliğinde yaygın olarak kullanılırlar. Pektinler, özellikle turunçgillerin meyvalarında, elma, pancar ve havucun hücre duvarlarında selüloz ile birleşmiş olarak yer alırlar. Pektin, sıcak seyreltik asitlerle hidroliz edildiğinde pektik asit ve metanole ayrılır; heteropolisakkarit olarak da incelenir.

Heteropolisakkaritler (heteroglikanlar)

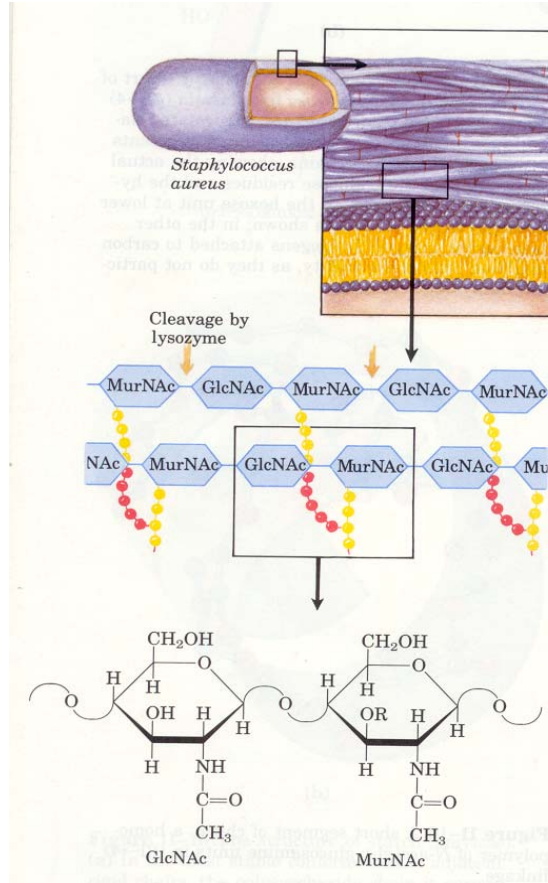
Heteropolisakkaritler, tekrarlayan iki veya daha fazla farklı tip monomerik ünite içeren polisakkaritlerdir. Heteropolisakkaritler, tüm organizmalar için ekstrasellüler destek sağlarlar. Hayvan dokularında ekstrasellüler aralık, tek tek hücreleri bir arada tutan, hücre, doku veya organlara koruma, şekil ve destek sağlayan bir matriks oluşturmak üzere birkaç tip heteropolisakkarit tarafından doldurulur. Bazı heteropolisakkaritler, ekstrasellüler salgıların yüksek viskozite ve kayganlaştırıcı özelliklerinden sorumludurlar.

Peptidoglikan

Peptidoglikan, N-asetil glukozamin (GlcNAc) ve N-asetil muramik asit (MurNAc) ünitelerinin art arda ($\beta 1 \rightarrow 4$) bağları vasıtasıyla birbirine bağlanmasıyla oluşmuş heteropolisakkarittir:



Peptidoglikan, bakteriyel hücre duvarlarının rijid komponentidir. Hücre duvarında birçok düz polimer yan yana uzanır; bu zincirler, tam yapısı bakteriyel türe bağlı kısa peptitler vasıtasıyla çapraz bağlanmışlardır. Çapraz bağlı peptidoglikan, **lizozim** enzimi vasıtasıyla yıkılır; bu olay, GlcNAc ve MurNAc arasındaki glikozidik bağların hidrolizidir:



Lizozim, bazı bakteri virüsleri tarafından, virüsün konak bakteriden çıkmasını sağlamak için üretilir; gözyaşında da bulunan lizozim, gözü bakteriyel enfeksiyonlara karşı korur.

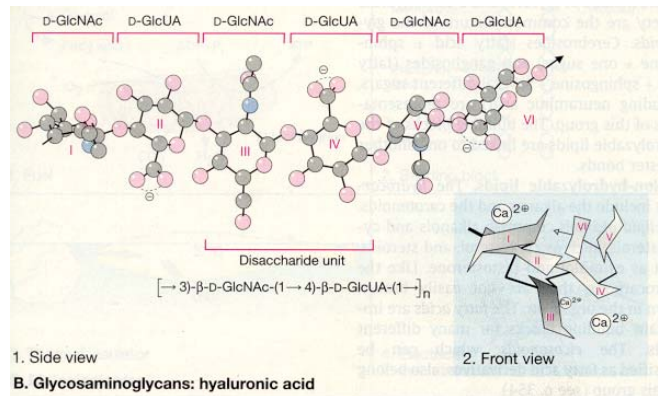
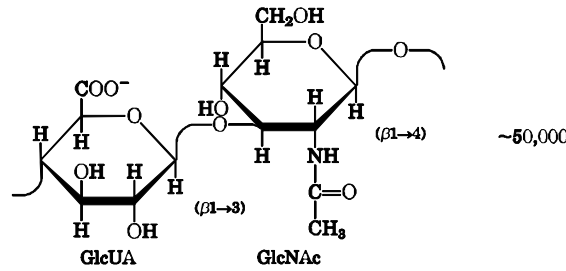
Glikozaminoglikanlar (mukopolisakkaritler)

Glikozaminoglikanlar, tekrarlayan disakkarit ünitelerinin düz polimerlerinden oluşmuş bileşiklerdir. Glikozaminoglikanlarda tekrarlayan disakkarit ünitelerinde iki monosakkarit türünden biri daima ya N-asetil glukozamin (GlcNAc) ya da N-asetil galaktozamin (GalNAc)dir; diğer monosakkarit türü, çoğu durumda genellikle glukuronik asit (GlcUA) olan bir üronik asittir. Glikozaminoglikanlara, yapılarında bulunan üronik asitler ve asit karakterleri nedeniyle **asit mukopolisakkaritler** de denir. Bazı glikozaminoglikanlarda amino

şekerlerin hidrosillerinin biri veya daha fazlası sülfat ile esterleşmiştir. Bazı glikozaminoglikanlarda amino şeker ve monosakaritler bulunur; üronik asitler bulunmaz.

Glikozaminoglikanlar, ait oldukları dokularda kısmen de olsa proteine bağlı bir şekilde ve mukoprotein halinde bulunurlar. Glikozaminoglikanlarda sülfat grupları ve üronik asit kalıntılarının karboksilat grupları, moleküle çok yüksek bir negatif yük yoğunluğu verir. Bu moleküller, çözeltide, komşu yüklü gruplar arasındaki itme gücünü en aza indirmek için uzamış bir yapı alırlar; bunun sonucu olarak da bu uzun ve ince moleküllerin çözeltilerinin viskozitesi çok yüksektir.

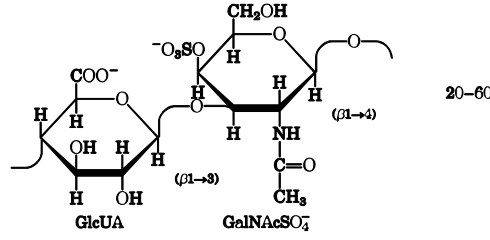
Hiyaluronik asit: Fizyolojik pH'da hiyaluronat halindedir; hayvansal dokuların ekstrasellüler matriksinin glikozaminoglikanıdır. Hiyaluronik asit, glukuronik asit (GlcUA) ile N-asetilglukozamin (GlcNAc) birimlerinin $\beta 1 \rightarrow 3$ ve $\beta 1 \rightarrow 4$ bağları ile birleşmeleriyle oluşan heteropolisakarittir:



Hiyaluronik asit, genel olarak sinoviyal sıvıda, korpüs vitreumda, göbek kordonunda bulunur, bağ doku ve başka dokuların jel benzeri ana maddesinin yapısına katılır. Sinoviyal sıvıdaki hiyaluronik asit, eklem yüzeylerinin ıslak ve kaypak kalmasını sağlar. Hiyaluronik asit, dokularda metabolizma maddelerinin geçmesini sağlayan, bakteriler ve başka enfeksiyon etkenlerinin geçmesini engelleyen bir set oluşturduğu için biyolojik yönden büyük önem taşır.

Bazı patolojik bakteriler, **hiyaluronidaz** enzimi salgırlar; bu enzim de hiyaluronik asitlerin glikozidik bağlarını hidroliz eder ve böylece dokular, bakterilerin yayılmasına daha uygun hale gelirler. Spermdeki benzer bir enzim de, birçok organizma ovumunun dış yüzündeki glikozaminoglikan örtüyü hidrolize eder; böylece sperm, ovuma girebilir.

Kondroitin sülfatlar: Art arda gelen glukuronik asit (GlcUA) ve N-asetil-galaktozamin sülfat (GalNAcSO₄⁻) ünitelerinden kurulmuşlardır:

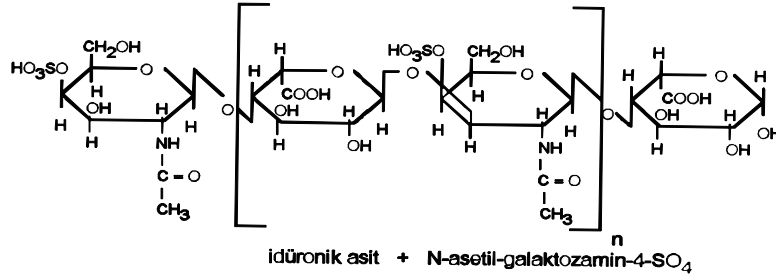


Sülfat grubu (SO₄), kondroitin sülfat A'da 4.karbona bağlanmıştır; kondritin sülfat C'de ise 6.karbona bağlanmıştır.

Kondritin sülfatlar, hayvansal dokunun temel yapı maddeleri arasında yer alırlar; genellikle proteinlere bağlı olarak bulunurlar. Kondritin sülfat A, kıkırdaklarda, yetişkinlerin kemiklerinde ve korneada bulunur; kondritin sülfat C, kıkırdaklarda ve tendonlarda bulunur.

Eskiden kondritin sülfat B diye adlandırılan madde, bugün dermatan sülfat olarak bilinmektedir;

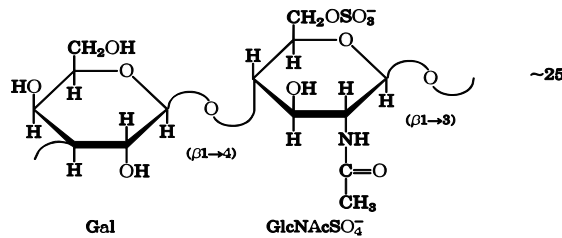
Dermatan sülfat: Art arda gelen idüronik asit (IdUA) ve N-asetil-galaktozamin-4- sülfat (GalNAcSO₄⁻) ünitelerinden kurulmuştur:



Idüronik asit, glukuronik asitin 5-epimeridir.

Dermatan sülfat, eskiden kondritin sülfat B olarak adlandırılırdı; başlıca deride, kalp kapakçıklarında ve tendonlarda bulunur.

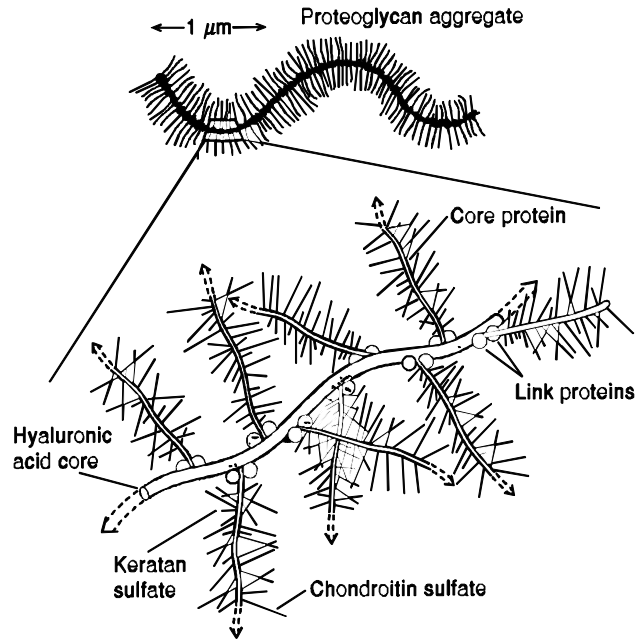
Keratan sülfatlar: Art arda gelen galaktoz (Gal) ve N-asetil-glukozamin-6-sülfat (GlcNAcSO₄⁻) ünitelerinden kurulmuşlardır:



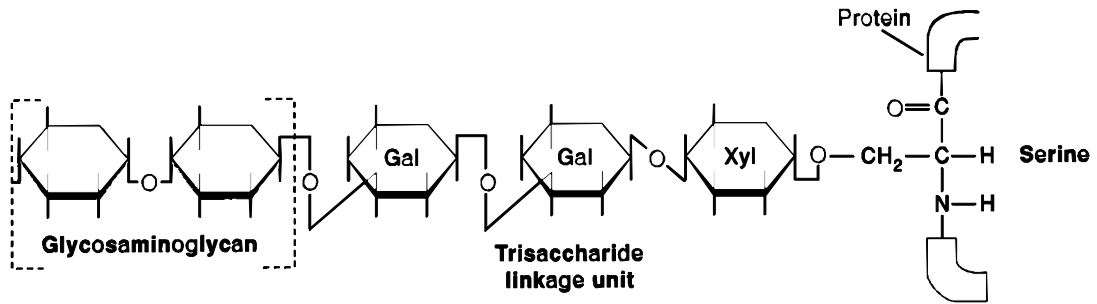
Keratan sülfatlar, proteine bağlı olarak bulunurlar. Keratan sülfat I, N-glikozid bağıyla proteine bağlanmıştır; korneada bulunur. Keratan sülfat II, O-glikozid bağıyla proteine bağlanmıştır; kıkırdakta ve kemikte bulunur.

Proteoglikanlar

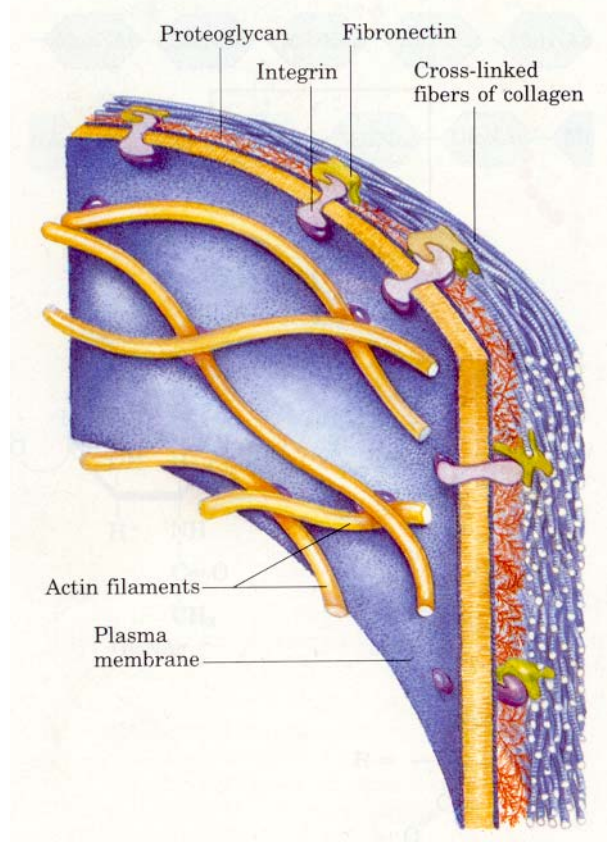
Proteoglikanlar, çok büyük, proteinli agregatlardır. Bir glikozaminoglikan olan hiyalüronatın çok uzun ipliklerine yaklaşık 40 nm aralıklarla ve nonkovalent olarak iç protein moleküllerinin bağlanması ve her iç proteine de kondroitin sülfat, keratan sülfat, heparan sülfat ve dermatan sülfat gibi birçok daha kısa glikozaminoglikan molekülü bağlanmasıyla Proteoglikanlar diye bilinen makromoleküller oluşur:



Glikozaminoglikanlar ve iç protein arasındaki kovalent bağlar, şeker kalıntıları ve proteindeki serin kalıntılarının hidroksil grupları arasındaki glikozidik bağlardır:



İnsan kıkırdağındaki tipik bir proteoglikan, her iç proteine yan zincir olarak kovalent bağlı, her biri 20.000 molekül ağırlığında yaklaşık 150 glikozaminoglikan içerir. Bu muazzam ekstrasellüler proteoglikanlar ile kollajen ve elastin gibi fibröz proteinler, bir çapraz bağ ağ yapıda örülürler; böylece ekstrasellüler matrisin dayanıklılık ve elastikiyeti sağlanır:



Ekstrasellüler matriks, aynı zamanda esas madde olarak da adlandırılır; hayvan dokularında ekstrasellüler aralığı dolduran jel gibi bir materyaldir. Ekstrasellüler matriks, bir dokunun hücrelerini bir arada tutar, besin maddeleri ve oksijenin özel hücrelere difüzyonu için poröz bir yol sağlar. Proteoglikanlar, bazı ekstrasellüler salgıların yüksek viskozite ve kayganlaştırıcı özelliklerinden sorumludurlar.

Heparin ve heparan sülfat: Yapıları en karmaşık ve en tartışmalı glikozaminoglikanlardır; Glukuronik asit (GlcUA), sülfatlanmış ve asetillenmiş olabilen glukozamin (GlcN) ve iduronik asit (IdUA) içerirler. Heparan sülfat, daha çok glukuronik asit kalıntısı, daha az O-sülfat esteri, daha çok N-asetil grubu içerir.

Heparin, karaciğer, akciğer, timus, dalak, geniş çeperli damarların duvarında ve kanda bulunur; birçok hücrenin yüzeyindedir, fakat mast hücrelerinin hücre içi bileşimidir. Heparin, **antikoagulan** yani kanın pıhtılaşmasını önleyici bir maddedir; kalp ve damar hastalıklarında pıhtılaşmayı önleyici olarak kullanılır.

Diğer heteropolisakkaritler

Kan grubu polisakkaritleri: Genellikle glukozamin (GlcN) ya da galaktozamin (GalN) birisi ile basit bir monosakkaritin tekrarlanır biçimde $\beta 1 \rightarrow 3$ ve $\beta 1 \rightarrow 4$ glikozid bağlarıyla birleşmesi sonucu oluşmuş heteropolisakkaritlerdir. Bazen glukozamin ve galaktozamin birlikte de bulunabilir; bu yapı içinde çoğunlukla fukoz ve sialik asit de yer alır.

Kan grubu polisakkaritleri, eritrositlerde, tükürük ve mide mukusu gibi salgılarda, kist sıvılarında ve yeni doğanların dışkıında bulunurlar; az miktarda süt, sperma ve idrarda da saptanmışlardır.

Kan grubu polisakkaritleri proteinlerle birleşerek A, B, O, Rh gibi eritrosit antijenlerini oluştururlar ve kan gruplarının farklılaşmasını sağlarlar.

Arap zamkı: Bitkisel kaynaklı bir heteropolisakarittir; hidroliz edildiğinde galaktoz, arabinoz ya da ksiloz, bazen de bunların bir karışımını verir; ramnoz ve glukuronik asit de içerir. Arap zamkı, eczacılıkta, şekercilikte ve ofset baskı tekniklerinde yaygın olarak kullanılır.

Glikoproteinler

Glikoproteinler, %50'den daha fazla karbonhidrat içerebilen, fakat genelde protein içeriği baskın olan bileşiklerdir:

