

KARBONHİDRATLAR

Dr. Öğr. Üyesi BERRAK DUMLUPINAR

baltinsoy@gelisim.edu.tr

Pek çok karbonhidrat için geçerli olan $(CH_2O)_n$ formülü nedeniyle ‘hidratlanmış karbon’ olarak adlandırılmışlardır. Karbohidratlar esas olarak enerji amaçlı kullanılırlar ve depo şekli glikojen formundadır. Yapısal önemleri olan glikoproteinlerin ve glukozaminoglikanların sentezine katılırlar, trigliseridlerin , NADPH ve riboz üretiminde yer alırlar.

Karbonhidratlar

- Karbonhidratlar **karbon**, **hidrojen** ve **oksijen**den oluşan ORGANİK maddelerdir.
- C ATOM SAYISI KADAR SU MOLEKÜLÜNE SAHİPTİRLER.
- $(CH_2O)_n$
- TATLI BİLEŞİKLERDİR.
- ALDEHİD VE KETON GRUBU İÇERİRLER.

BASİT ŞEKERLER SÜLÜLOZ, GLİKOJEN, NIŞASTA VE
İNÜLİNİ.

FOSFAT, PÜRİN VE PİRİMİDİNE BAĞLANARAK
GLİKOPROTEİNLERİ
LİPİDLERLE GLİKOLİPİDLERİ
ALKOLLERLE GLİKOZİDLERİ, ORGANİK FRUP VE
SÜLFATLARA BAĞLANARAK
MUKOPOLİSAKKARİTLERİ V
HETEROPOLİSAKKARİTLERİ OLUŞTURURLAR.

Karbonhidratlar İNSANDA
GLİKOJEN HALİNDE DEPO
EDİLİRLER. GLİKOJEN KARACİĞER
VE KASLARDA DEPOLANIR.
BİTKİLERDE NIŞASTA, SELÜLOZ
VE İNÜLİN OLARAK DEPOLANIR.

KARBONİL GRUBUNUN KİMYASAL
KARAKTERİNE GÖRE;
ALDOZLAR VE KETozLAR OLARAK
SINIFLANDIRILIR.

KARBON ZİNCİRİNİN UZUNLUĞUNA GÖRE;

DİOZ

TRİOZ

TETROZ

PENTOZ

HEKSOZ

HEPTOZ

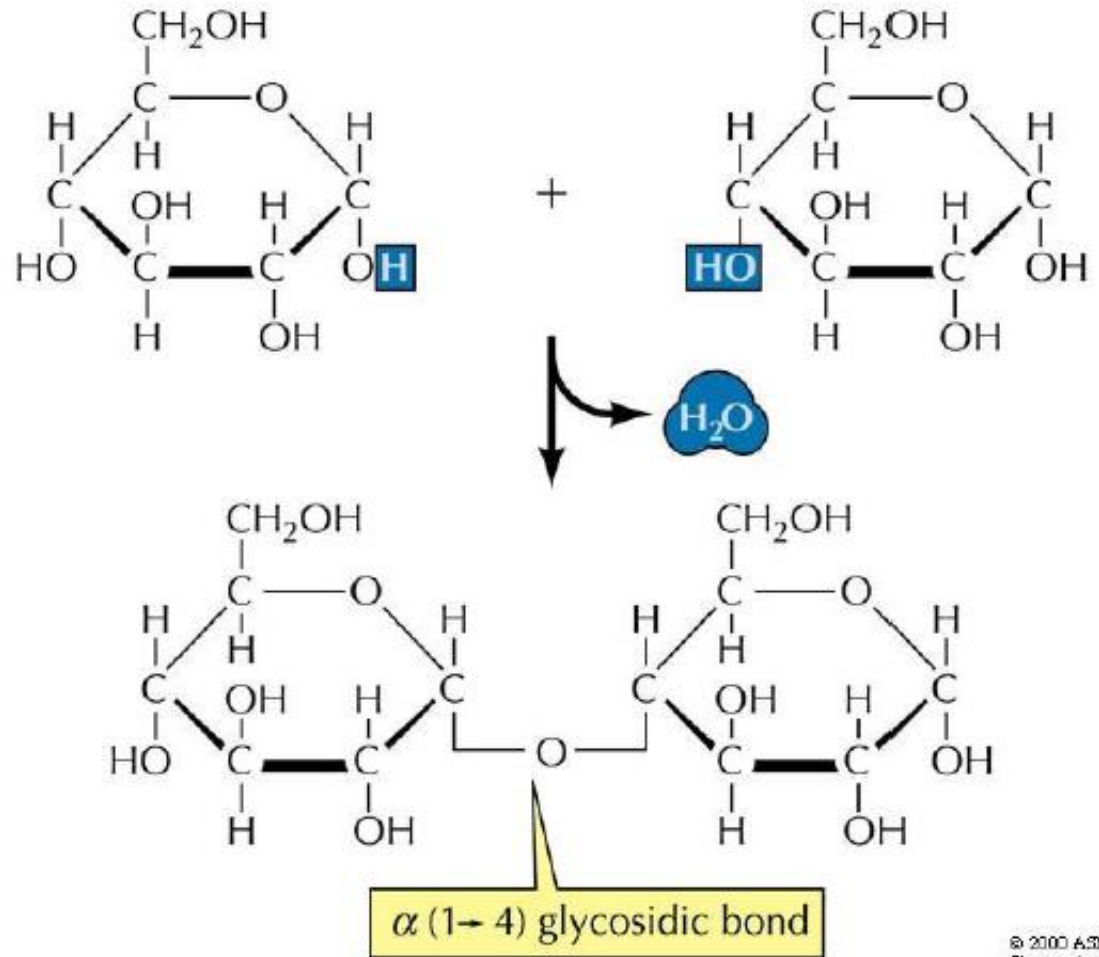
NANOZ

Metabolik yakıt ve enerji
depolarının kaynağıdır.
1 g CHO, 4 kkal verir.

KARBONHİDRATLAR

BASİT ŞEKERLER (DP: 1-2)	Monosakkaritler (DP: 1)	Glikoz, Fruktoz, Galaktoz, Mannoz, Riboloz, Riboz, Arabinoz, Ksiloz
	Disakkaritler (DP: 2)	Sükroz (Sakkaroz), Laktoz, Maltoz
OLİGOSAKKARİTLER (DP: 3-9)	Galaktooligosakkaritler	Rafinoz
	Fruktooligosakkaritler	İnülin
	Maltooligosakkaritler	Maltodekstrin
POLİSAKKARİTLER (DP: 10 ve üzeri)	Nişasta	Amiloz, amilopektin
	Nişasta olmayan polisakkaritler	Hemisellüloz*?, sellüloz*, pektin, sakızlar (gums), müsilaj,
		*çözünmez

Basit
şekerler
kovalan
glikozidik
bağlarla
birleşirler



SINIFLANDIRMA

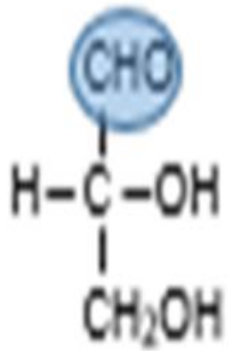
- **Karbonhidratlar yapısal özelliklerine göre 3 gruba ayrılır:**

2 monosakkaridin birleşmesi ile disakkaridler oluşur. Örneğin, sükroz (glukoz+fruktoz), laktoz (galaktoz+glukoz) ve maltoz (glukoz+glukoz). Oligosakkarid (glikoproteinlerde bulunur), 3 ile 10 monosakkaridin birleşmesiyle oluşur. Polisakkaridler, 10'dan fazla monosakkaridin birleşmesiyle oluşur. Homopolisakkarid, yapısında aynı monosakkaridin lineer tekrarı ile oluşur. Glukoz tekrarı ile oluşan hayvan kaynaklı glikojen, bitki kaynaklı nişasta ve β -1,4 bağları ile birbirine bağlı selüloz; fruktoz polimeri olarak ise inulin en yaygın polisakkarid örnekleridir. Polisakkarid olan glikozaminoglikan ise yapısında farklı monosakkarid içeren heteropolisakkaride örnektir.

MONOSAKKARİDLER; İnsanlarda bulunan en yaygın monosakkaritler karbon sayılarına göre; üç karbonlu, triozlar ($C_3H_6O_3$; gliseraldehid, dihidroksiaseton fosfat) ; dört karbonlu, tetrozlar ($C_4H_8O_4$; eritroz, eritruloz); beş karbonlu, pentozlar ($C_5H_{10}O_5$; riboz, ksiloz, ribuloz); altı karbonlu, hekzozlar ($C_6H_{12}O_6$; glukoz, fruktoz, galaktoz ve mannoz); yedi karbonlu, heptozlar ($C_7H_{14}O_7$; sedoheptuloz); dokuz karbonlu, nanozlar ($C_9H_{18}O_9$; nöraminik asit, sialik asit) olarak sayılabilirler . Pentozlar özellikle D-riboz nükleik asitler ve çeşitli koenzimlerin yapısında bulunurlar. Karbonhidratlar, polihidrik alkollerin aldehid veya keton türevleridir. Bu nedenle aldoz ve ketoz şekerler olarakta sınıflandırılabilirler.

En basit şeker birimleridir. Fizyolojik açıdan önemli heksozlar glukoz, galaktoz, fruktoz ve mannozdur. Monosakkaridler, fonksiyonel grubunun bir aldehid veya bir keton oluşuna göre aldoz (glukoz, galaktoz, mannoz, riboz) veya ketoz (fruktoz, ribuloz, ksiloz, sedoheptuloz) olarak adlandırılır

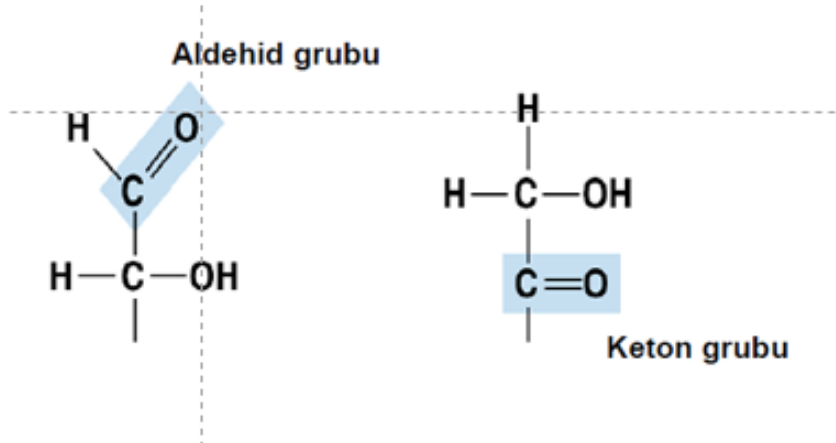
Şeker	Kaynak	Biyokimyasal Önemi	Klinik Anlamı
D-Glukoz	Meyve suları, nişastanın, pancar veya kamış şekerinin, maltozun ve laktozun hidrolizi	Dokular için ana metabolik yakıt “kan şekeri”	Kontrolü iyi olmayan diyabetes mellitusta hipergliseminin bir sonucu olarak idrarda atılır (glukozüri)
D-Fruktoz	Meyve suları, bal, pancar veya kamış şekerinin ve inulinin hidrolizi, gıda ürünlerindeki glukoz şurubunun enzimatik izomerizasyonu	Glukoz aracılığı ile veya doğrudan hızlıca metabolize olur	Hereditör fruktoz intoleransı fruktozun birikmesine ve hipoglisemiye neden olur
D-Galaktoz	Laktazun hidrolizi	Hızlıca glukozla metabolize olur; meme dokusunda sütteki laktozun sentezlenebilmesi için üretilir	Galaktozun metabolize edilmesindeki bozukluk nedeniyle oluşan hereditör galaktozemi katarakta neden olur
D-Mannoz	Bitkisel mannoz gamlarının hidrolizi	Glikoproteinlerin bileşenidir	



D-gliseroz
(D-gliseraldehid)

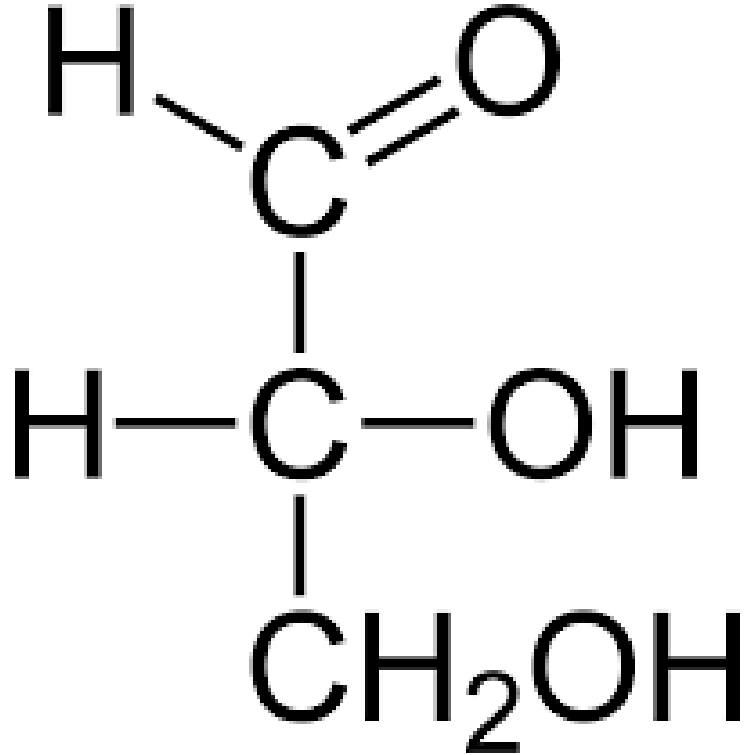


Dihidroksiaseton



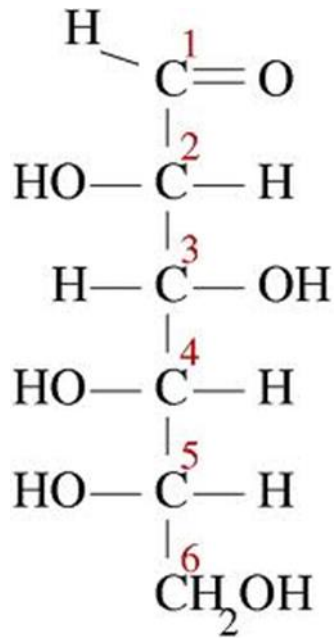
Monosakkaridler bir karbonil grubuna ve çok sayıda hidroksil gruplarına sahiptirler.

- Karbonil grubu sonda ise, şeker bir aldozdur, değilse şeker bir ketozdur.

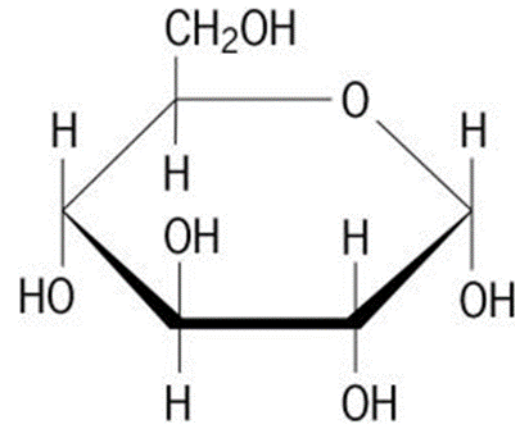


Dört valansına dört ayrı atom veya atom grubu bağlı olan karbon atomuna asimetrik karbon atomu adı verilir. Gliseraldehit bir asimetrik karbon atomuna sahiptir. Bu da ikinci karbon atomudur.

Glikoz (Dekstroz ve üzüm şekeri)



Glikozun açık formülü -
Açık formu



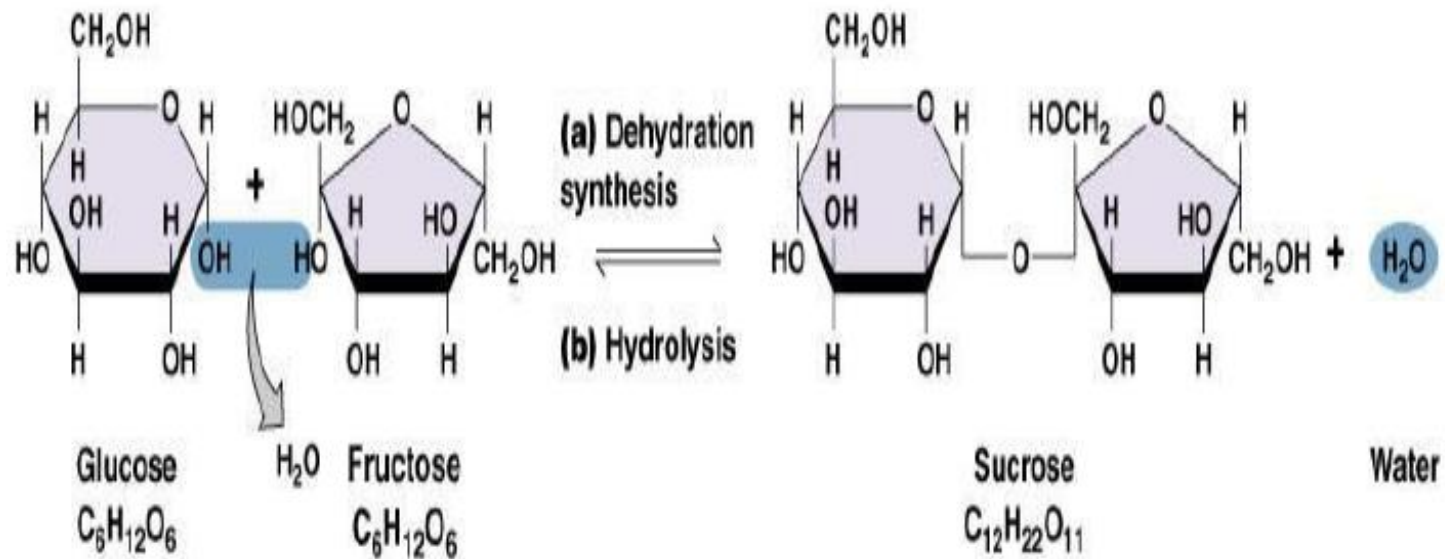
Glikozun kapalı formülü -
Halka formu

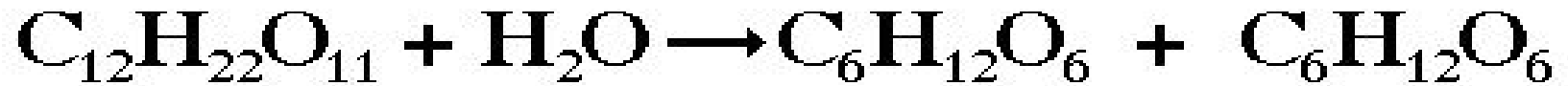
DİSAKKARİTLER

(C₁₂H₂₂O₁₁)

- Sakkaroz – Sükroz – Çay şekeri
- Laktoz – Süt şekeri
- Maltoz – Malt şekeri
- Trehaloz – Mantar şekeri

Disakkaridler iki monosakkaridin **su kaybetmesi ile oluşur (dehidrasyonsentez)**.
Disakkaridler **hidroliz ile parçalanırlar**.





Maltose $\longrightarrow$ Glucose + Glucose

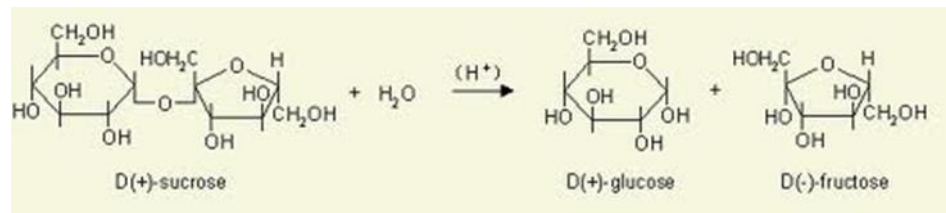
Lactose $\longrightarrow$ Glucose + Galactose

Sucrose $\longrightarrow$ Glucose + Fructose

Sakkaroz - Sükroz

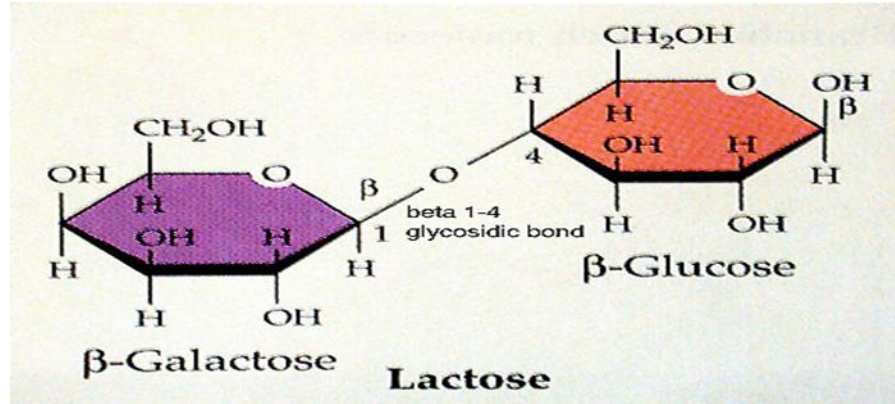
Glikoz ve fruktozun 1-2 glikozit bağı ile birleşmesiyle oluşmuştur. Pancar ve şeker kamışında bulunur.

Çay şekeri %99,6



Laktoz - Süt şekeri

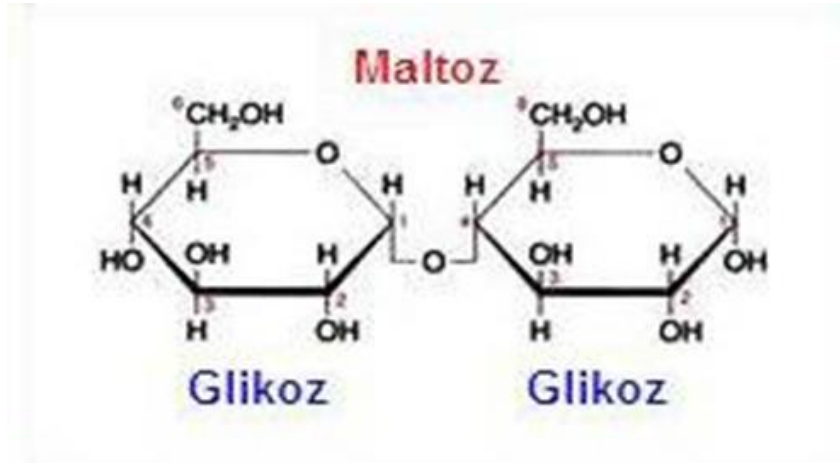
Glikoz ve galaktozun 1-4 glikozit bağı ile birleşmesiyle oluşmuştur.



Anne sütünde %7-8 oranında bulunur.. İnek sütünde %4-5

Maltoz – Malt şekeri

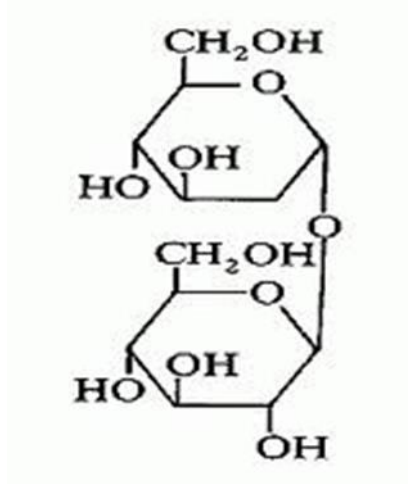
2 molekül glikozun 1-4 glikosit bağı ile birleşmesiyle oluşmuştur.



Çimlenen tahıl (arpa) tanelerinde ve kurubaklagillerde az miktarda bulunur. Nişastanın enzimatik hidrolizi ile elde edilir.

Trehaloz – Mantar Şekeri

2 molekül glikozun 1-1 glikosit bağı ile birleşmesiyle oluşmuştur.



Mantar, böcek ve bakterilerde sentezlenir. Trehalaz enzimi ile glikoza parçalanır. Az miktarda alındığında sindirilir. Suda çözünürlüğü ve tatlılık derecesi süktrozdan daha düşüktür. Nem tutucu özelliğinden dolayı gıda sanayiinde kullanılır.

- Oligosakkaridler 2-20 monosakkarid içerir
- Polisakkaridler ise, yüzlerce-binlerce monosakkaridden kurulurlar.
- Nişasta, glikojen, dekstran ve selüloz glikoz polimerleridirler, farklı kovalan bağlar içerirler.
- Kitin iki şekerin tekrarlanan bir polimeridir

- **Glikojen:** Hayvanların depo polisakkaritidir
- **Nişasta:** Bitkilerde depo polisakkariddir
- **Selüloz** – Dünyada en çok bulunan organik bileşik;
yapısal polisakkarid
 - Bitki hücre duvarında yoğun, odun
 - Sindirilemez, çünkü glikoz monomerlerine ulaşamaz

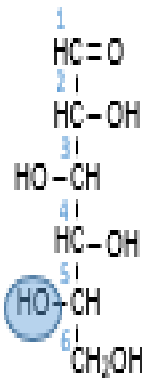
Hayvanlar glikozu da **glikojen** denen bir polisakkaridde depolarlar.

- Glikojen yüksek oranda dallanmıştır, amilopektin gibi.
- İnsanlar ve diğer omurgalılar karaciğer ve kasta glikojen depolarlar fakat sadece bir günlük desteğe sahiptirler.

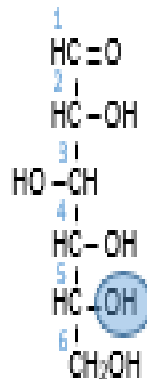
İzomerizm

- Glikoz yapı bakımından 4 asimetric karbon atomuna sahiptir. Bunlar 2.,3.,4., ve 5. karbonlardır.
- Bu nedenle $2^4=16$ izomeri vardır.

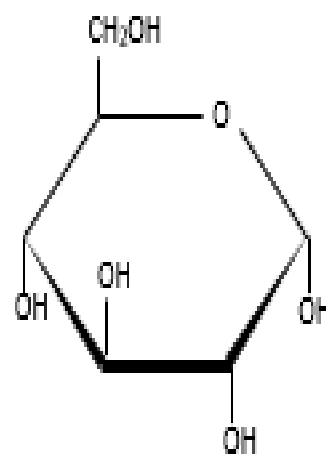
Glikozun oluşturduğu başlıca izomerizm tipleri



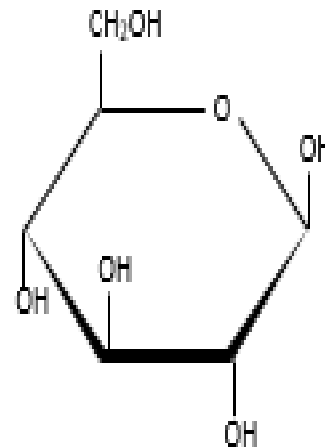
L-Glukoz



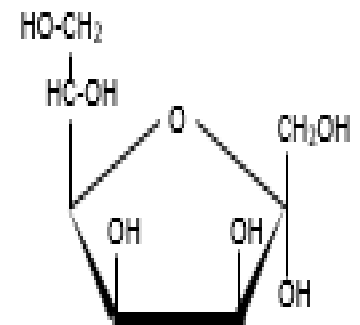
D-Glukoz



α-D-Glukopiranoz



β-D-Glukopiranoz

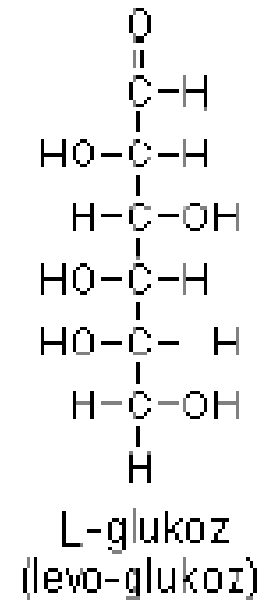
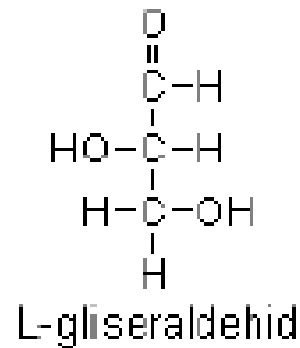
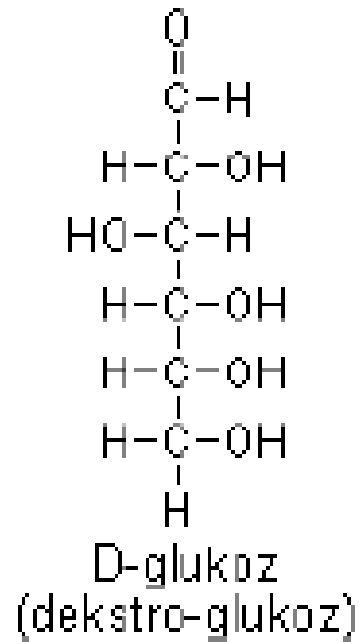
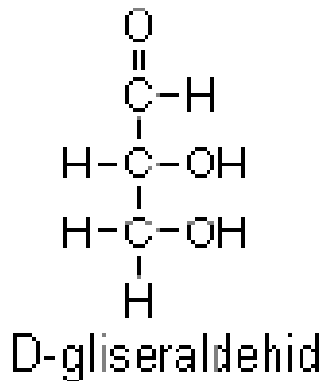


α-D-Glukofuranoz

D ve L izomerleri

- Bu tip izomerler monosakkaridlerin ana karbonhidratı olan **gliseraldehid** 'e benzerlikleri nedeni ile ortaya çıkar.

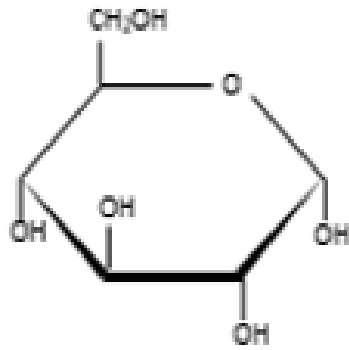
Herhangi bir monosakkaridin konfigürasyonunun D- ve L- ile gösterilmesinde aldozlar için molekülün aldehyd grubu bulunan ucundan en uzaktaki asimetri merkezine bakılır. Bu merkez heksozlarda 5. karbon atomudur. Bu karbon atomundaki konfigürasyon, D-gliseraldehiddeki asimetrik karbon atomunun konfigürasyonuna benziyorsa o monosakkarid D-serisine, L-gliseraldehiddeki asimetrik karbon atomuna benzerse L-serisine dahil edilir.



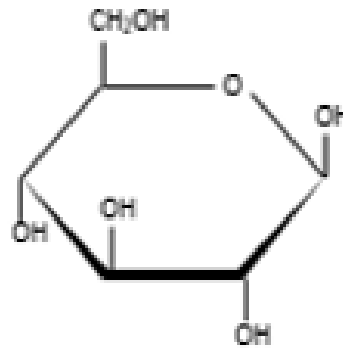
Piranoz ve furanoz halka yapıları: Monosakkaridler düz zincirler halinde (Fischer projeksiyonu) çizilmekle beraber sulu sistemlerde başlıca aldehid veya keton gruplarının aynı moleküldeki bir hidroksil grubuyla reaksiyona girdiği halka yapısında bulunurlar.

Piranoz ve furanoz halkaları sırasıyla beş ve altı üye içerirler ve genellikle Haworth projeksiyonu (piranoz) halinde çizilirler. Çözeltideki glukozun %99'u piranoz formunda bulunur.

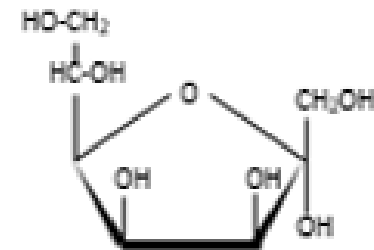
α ve β anomerleri: Bir aldozun halka yapısı, bir aldehid ile bir alkol grubunun birleşmesi ile oluşan hemiasetal iken, benzer şekilde bir ketozun halka yapısı hemiketaldir. Çözeltide siklik yapı korunmasına karşın, anomerik karbon atomunda gözlenen izomerizm ile α -glukopiranoz (%38) ve β -glukopiranozdan (%62) oluşan bir karışım oluşur.



α -D-Glukopiranoz



β -D-Glukopiranoz



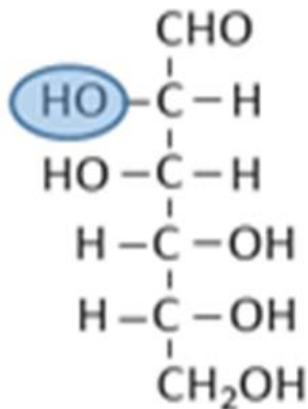
α -D-Glukofuranoz

Epimer nedir?

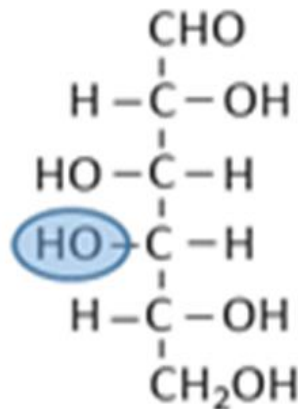
Epimerler: Glukozun 2., 3. ve 4. karbon atomlarına bağlı –OH ve –H gruplarının konfigürasyon farklılığı ile oluşan izomere epimer denir. Biyolojik olarak glukozun en önemli epimerleri C2 epimeri olan mannoz ve C4 epimeri olan galaktozdur

Aldoz ve ketoz izomerizmi: Fruktozun moleküler formülü glukoz ile aynı iken yapısal formülü farklıdır. Glukozun anomerik karbonu olan 1. karbonunda aldehid grubu bulunurken, fruktozun anomerik karbonu olan 2. karbonunda keton grubu vardır

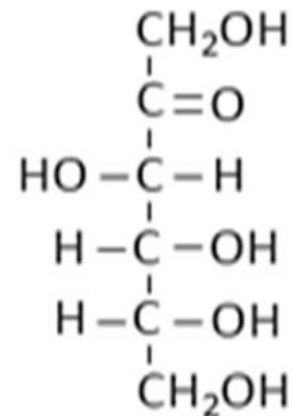
Biri aldohexoz olan glikoz ile
ketoheksoz olan fruktoz arasındaki
izomerizm türüdür



D- Mannoz (C2)



D- Galaktoz (C4)



Fruktoz

D-Glukozun, C-2 ve C-4 epimerleri ve ketoz izomeri

Glikozidler nasıl oluşur?

Karbonhidratlar birbirleri ile veya diğer bileşiklerle biraraya gelerek glikozidleri oluştururlar. Karbonhidratları birbirine bağlayan bağa glikozidik bağ denir. Bu bağlar, UDP-glukoz gibi şeker nükleotidleri substrat olarak kullanan ve glikozil transferazlar olarak bilinen enzimler tarafından bir molekül su çıkmasıyla oluşur. Bu bağlar, bağda yer alan karbonların sayısına ve bağda yer alan şekerlerin anomerik hidroksil gruplarının pozisyonuna göre isimlendirilir. Eğer bu anomerik hidroksil α konfigürasyonda ise bu bağa α bağı, β konfigürasyonda ise beta bağı adı verilir.

Kompleks karbohidratlar: Karbonhidratlar, karbonhidrat olmayan yapılarla glikozid bağı ile birleşerek kompleks karbohidratları oluştururlar. Karbonhidrat olmayan kısma **aglikan**, tüm yapıya **glikozid** denir. Pürin-pirimidinler (nükleik asitler), aromatik halkalar (steroid ve bilirubinde bulunanlar), proteinler (glikoproteinler, proteoglikanlar) ve lipidler (glikolipidler) başlıca aglikan yapılar olarak sayılabilirler.

O ve N-glikozidler: Eğer karbonhidrat olmayan molekülün şekere bağlanan grubu bir $-NH_2$ ise oluşan bağ N-glikozidik bağ; bu grup $-OH$ grubu ise oluşan bağ ise O-glikozidik bağdır. Bütün şeker-şeker glikozidik bağlar, O-glikozidik tipi bağlardır. Şeker polipeptid ile bağlanırken, O-glikozidik bağ yapacaksa serin ve treonin gibi hidroksilli aminoasitlerin oksijenini, N-glikozidik bağ yapacaksa asparajin aminoasidinin yan zincirinin nitrojenini kullanır.

KARBONHİDRAT TÜREVLERİ;

Fosfat grupları karbonhidratlara bağlanabilir. Glukoz ve fruktoz, 1. ve 6. Karbonundan fosforillenebilir. Fosfat grupları UDP-glukozda olduğu gibi şekerleri nükleotidlere bağlayabilirler. **Amino grupları** sıklıkla asetillenerek şekerlere bağlanabilir (örn. glikozamin ve galaktozamin). **Sülfat grupları** şekerlerde sıklıkla bulunur (örn. glikozaminoglikanlar).

Heteropolisakkaridler

Canlılarda hücrelere dışarıdan destek sağlarlar. Bir başka deyişle hücreler arası boşluğu doldururlar. Heteropolisakkaridlerde tekrarlayan birimlerde amino şekerler bulunduğu için bunlara **glikozaminoglikan (mukopolisakkaridler)** denir.

YAPI TAŞLARI AMİNO ŞEKER+ ÜRONİK ASİT

Glikozaminoglikanlar (GAG), negatif

yüklü heteropolisakkarit zincirlerden oluşmuş büyük komplekslerdir. GAG'lar (eski adı asit mukopolisakkaritler), **uzun dallanmamış** ve **genellikler tekrarlayan [asidik şeker-aminoşeker]_n** oluşan heteropolisakkarit zincirlerdir. Aminoşeker olarak, **N-asetil glukozamin** veya **N-asetil galaktozamin** bulunur. Asidik şeker olarak ise, **D-glukuronik asit** veya bu molekülün C-5 epimeri olan **L-idüronik asit** bulunmaktadır. Asidik şekerler fizyolojik pH'da negatif yüklü karboksil ve sülfat grupları ile glikozaminoglikanlara kuvvetli negatif özellik kazandırması; bu moleküllere, sıvı ortamda uzama ve kayganlık fonksiyonunu sağlamaktadır. Asidik şeker içermeyen tek GAG, keratin sülfattır. Hiyalüronik asidin yapısında sülfat bulunmaz. GAG'lar, içerdikleri disakkarit birimlerine ve fonksiyonel önemine göre altı sınıfa ayrılırlar.

Glikozaminglikanların yapısı ve fonksiyonları	
GAG	Disakkarit Ünitesi ve Fonksiyonel Önemi
Kondroitin 4-Sülfat Kondroitin 6-Sülfat	- Disakkarit birimi: N-Asetil galaktozamin D-Glukuronik asit C4 ve C6 sülfat gurubu. - Vücutta en bol bulunan GAG'dır. - Kondroitin 4-Sülfat, kemikte bol bulunur iken; Kondroitin 6-Sülfat ise kıkırdak, kemik ve kalp kapaklarında bol bulunur. - Proteoglikan kümeleri oluşturur. - Kıkırdakta kollajeni bağlar ve lifleri sıkı bir şekilde tutar.
Keratan Sülfat I ve II	- Disakkarit birimi: N-Asetil glukozamin ve D-Galaktoz. - Asit şeker içermez (üronik asit yoktur). - En heterojen GAG'dır. - Kondroitin sülfatla beraber kartilaj proteoglikan agregatlarında bulunur. - Keratan Sülfat I korneada; II ise gevşek bağ dokusu kümelerinde kondroitin sülfatla beraber bulunur.
Hiyalarunik Asit	- Disakkarit birimi: N-Asetil glukozamin ve D-Glukuronik asit. - Diğer GAG'lerden farkları molekül ağırlığı yüksektir (>1000kDa), yapısında hiç sülfat içermez ve proteine kovalent olarak bağlı değildir. - Kayganlık ve darbeleri azaltıcı etkisi vardır. - Eklemlerin sinovyal sıvılarında, gözün vitröz sıvısında, kordon kanında, gevşek bağ dokusu ve kıkırdakta bulunur.
Dermatan Sülfat	- Disakkarit birimi: N-Asetil galaktozamin ve L-iduronik asit (değişik miktarlarda glukuronik asitle beraber). - Deri, kan damarları ve kalp kapakçıklarında bulunur.
Heparin	- Disakkarit birimi: D-Glukozamin ve D-Glukuronik asit veya L-iduronik asit. - En küçük molekül ağırlığına sahip (3-30 kDa) ve en karmaşık yapıya sahiptir. - Glukozamin kalıntılarının çoğu sülfamid bağlarına bağlıdır. Sülfat ayrıca C-3 ve C-6 sında ve üronik asidin C-2'sinde bulunur. - Sülfat bakımından en zengin (disakkarit başına 2,5 S) içerir. - Diğer GAG'lar hücre dışında bulunurken, heparin; özellikle karaciğer, akciğer ve derideki arterlerin iç yüzeyinde bulunan mast hücrelerin içinde bulunur. - Antikoagulan olarak işlev görür.
Heparan sülfat	- Disakkarit birimi: Heparinle aynıdır. - Bazı GAG'ları asetillenmiştir ve daha az sülfat grubu bulunur. Bazal membran ve bütün hücre yüzeylerinde bulunan hücre dışı GAG'dır

GAG'ların fonksiyonları

- Bağ dokusunu temel bileşenidir. Deri, kan damarları , kemik ve kıkırdağın destek molekülleridir (keratan sülfat, dermatan sülfat,kondroidin sülfat) . Kondroidin sülfat vücutta en fazla bulunan GAG'dir. Eklemlerin sinovyal sıvılarında, gözün vitröz sıvısında, kordon kanında ve gevşek bağ dokusu nda yerleşebilirler, kayganlık ve darbeleri azaltıcı etkisi vardır (hiyalüronik asit). Heparin dışındakiler Ekstrasellüler yerleşim gösterirler; heparin intrasellüler yerleşim gösterir ve antikoagulan olarakta fonksiyon görür.

- **PROTEOGLİKANLAR**

Molekül içeriğinin %95'den fazlasını karbonhidratların oluşturduğu heteropolisakkaritlerdir. Proteoglikan monomeri, çekirdek proteini ve buna doğrusal olarak bağlanmış GAG zincirlerini içerir. Bu zincirlerden her biri dışarı doğru uzanan 100'den fazla monosakkarit ünitesinden oluşur.

Glikozaminoglikanlar, proteoglikanları oluştururken, çekirdek proteine bağlanma bölgesine **serin** amino asidinin hidroksil grubu ile bir **trihekzozid (galaktoz-glukoz-ksiloz)** arasında meydana gelir. **Proteoglikanlar, su, mineraller ve fibröz proteinler**(kollajen, elastin, fibronektin, laminin) ile beraber Ekstrasellüler matriksi oluştururlar. Ekstrasellüler matriks hücrelerin birarada tutunmasını, dokularda gerilme ve mekanik travmaya karşı direnç ve esneklik sağlayan dinamik bir dokudur.

Glikoproteinler oligosakkaridlerin kovalent olarak bağlandığı

proteinlerdir. Genellikle 2 -10 şeker

kalıntısı içermektedir. Glikoproteinlerin **karbonhidrat** bölümü; proteoglikanlarınkinden farklı olup, **tekrarlayan disakkarit birimleri içermeyen, daha kısa, sıklıkla dallı**, negatif yüklü olabilir veya olmayabilir. İçerdikleri karbonhidrat miktarı çok değişkendir. Kollajenin ağırlığının %0.5'i, immunglobulinlerde %4, glikoforinde %60, gastrik glikoproteinde (müsin) %80'den fazlasında karbonhidrat bulunur. Bazı enzimler, hormonlar, immunoglobulinler, yapısal proteinler ve plazma proteinlerinin çoğu glikoprotein yapıdadır. Glikoproteinler; glukoz, galaktoz ve bunların amino türevlerine ilave olarak mannoz (Man), L-fukoz (Fuc), ksiloz, N-asetil glukozamin (GlcNAc) ve N-asetilnöraminik asit (NANA) içerir. NANA, sialik asit sınıfının bir üyesidir. Karbonhidrat ve protein arasındaki bağın yapısı N-veya O-glikozidik bağla bağlanabilir. O-glikozidik bağda şeker zinciri proteine **serin veya treonin** hidroksil grupları ile, N-glikozidik **asparajinin** amid azotu ile bağlanır

Yapısında **seramide** bağlanmış halde **glukoz ve galaktoz** birimlerinden bir veya daha fazlasını

içeren lipidlere **glikolipid** denir. Sfingozin; 18 karbonlu iki hidroksil grubuna sahip bir amino alkoldür. Sfingozine bir yağ asidi bağlanması ile oluşan bileşiğe ise seramid adı verilir. Seramide tek bir monosakkarit ile bağlanarak oluşan **serebrozidler**, galaktoz bağlanırsa **galaktozilseramid** ve glukoz bağlanırsa **glukozilseramid** oluştururlar. Vücudumuzda beyin, karaciğer, timus, böbrek, böbreküstü bezi ve akciğerlerde bol bulunmaktadır. **Gangliozidler**, glukozilseramiden türeyen yapılarında bir veya daha fazla **siyalik asit** içeren kompleks glikosfingolipidlerdir. Gangliozidler beyin gri maddesi, hücre membranı dış yüzeyi, eritrositlerde bol bulunur ve suda çözünürler. Tetanoz toksini, kolera toksini, grip virusu gibi spesifik patojenler için reseptördürler. Glikolipidlerin hücre yüzeyinde yerleşmesi, hücre-hücre tanınmasında önemlidir. Eritrosit yüzeyinde, **Rh kan grubu sistemi glikoproteinler** ve **ABO sistemi için glikolipidler** bulunmaktadır. Heterojen oligosakkarid özelliği taşıyan ABO kan grubu maddelerinde sadece glukoz, galaktoz, L-fukoz, N-Asetil glukozamin, N-Asetil galaktozamin birimleri yer alır

MONOSAKKARİT REAKSİYONLARI; OKSİTLENME REAKSİYONLARI;

✓ **Bir aldozun anomerik karbonu** bir asite okside olabilir. Glukoz, önce glukonolakton sonra **glukonik asit** (glukonat) oluşturur. **6-Fosfoglukonat** Pentoz fosfat yolunda bir ara maddedir.

Bir heksozun 6. karbonu bir uronik asite okside olabilir. Uronik asitler, glikozaminoglikanlarda ve proteoglikanlarda bulunur. Glukoz, **glukuronik asiti** oluşturur. Glukuronik asitle konjugasyon, lipid bileşiklerini suda daha çözünür hale getirir. **İNDİRGENME REAKSİYONLARI;**

✓ Bir şekerin aldehid veya keton grubu, bir **poliol** (polialkol) oluşturarak bir hidroksil grubuna indirgenebilir. Glukoz, **sorbitole**; fruktoz, **sorbitol ve mannitole**; galaktoz, **galaktitole** indirgenir.

Karbonhidratların indirgeme özellikleri nelerdir ve önemi nedir?

Karbonil gruplarındaki oksijen herhangi bir yapıya bağlı değilse o şeker indirgeyici bir şekerdir.

İndirgeyici şekerler okside olabilen serbest bir anomerik karbon içerirler. Anomerik karbon okside olduğunda diğer bileşik indirgenir. Bu reaksiyonun indirgenen ürünü renkli bir bileşikse, rengin yoğunluğu, okside edilen indirgeyici şekerin miktarını belirlemede kullanılabilir. Bu reaksiyon, klinik laboratuvarlar tarafından kullanılan indirgeyici şeker testinin esasını oluşturur. İçinde bakır sülfat bulunan **Benedict reaktifi** bu amaçla kullanılır; şeker varlığında bakır sülfat, bakır okside (kırmızı renkli) indirgenir, şeker ise okside olur. Test spesifik değildir. Glukoz gibi aldozlar pozitif test sonucu verirler. Fruktoz gibi ketozlar da indirgeyici şekerlerdir, çünkü test koşullarında aldozlara dönüşürler. Sükroz ise indirgeyici değildir, çünkü glukozun aldehid grubu ile fruktozun keton grubu birbiriyle bağ yapmıştır.

Fizyolojik Önemi Olan Monosakkaridler

GLUKOZ

GALAKTOZ

MANNOZ

FRUKTOZ

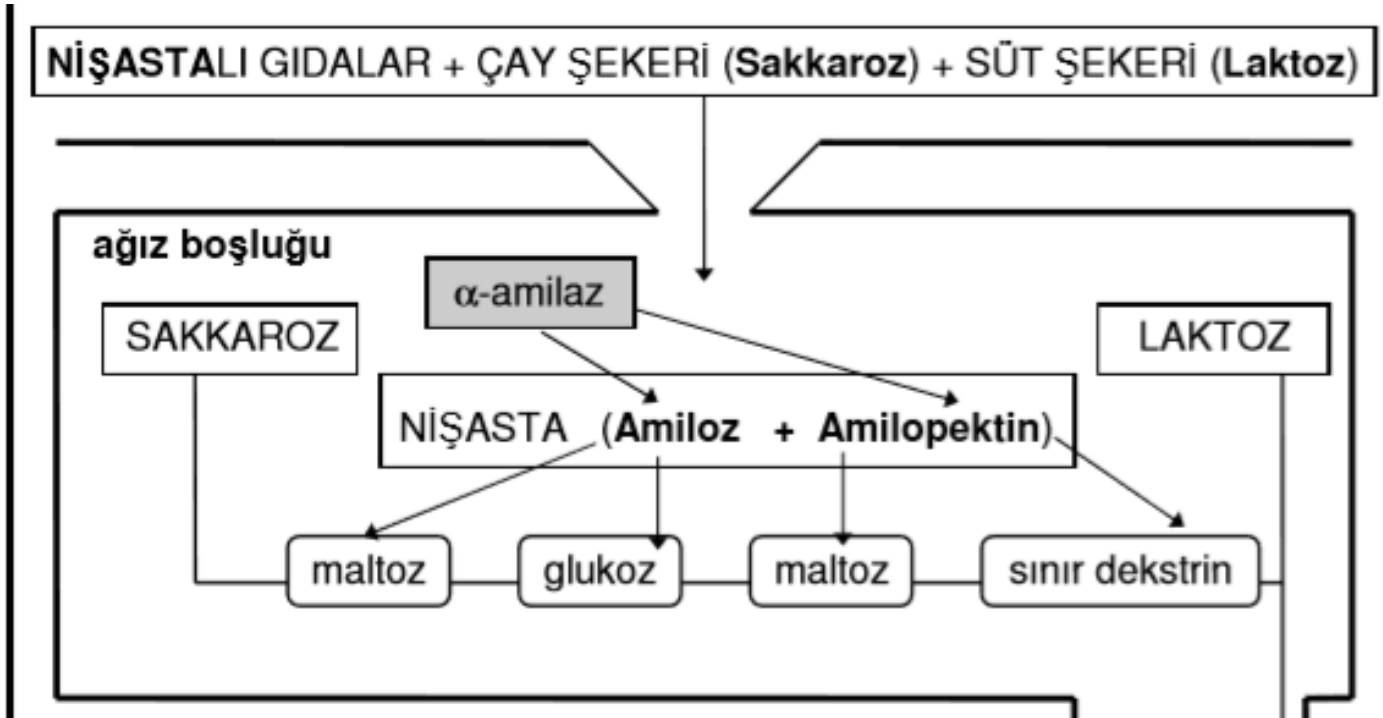
RİBOZ VE DEOKSİRİBOZ

Fizyolojik Önemi Olan Polisakkaridler

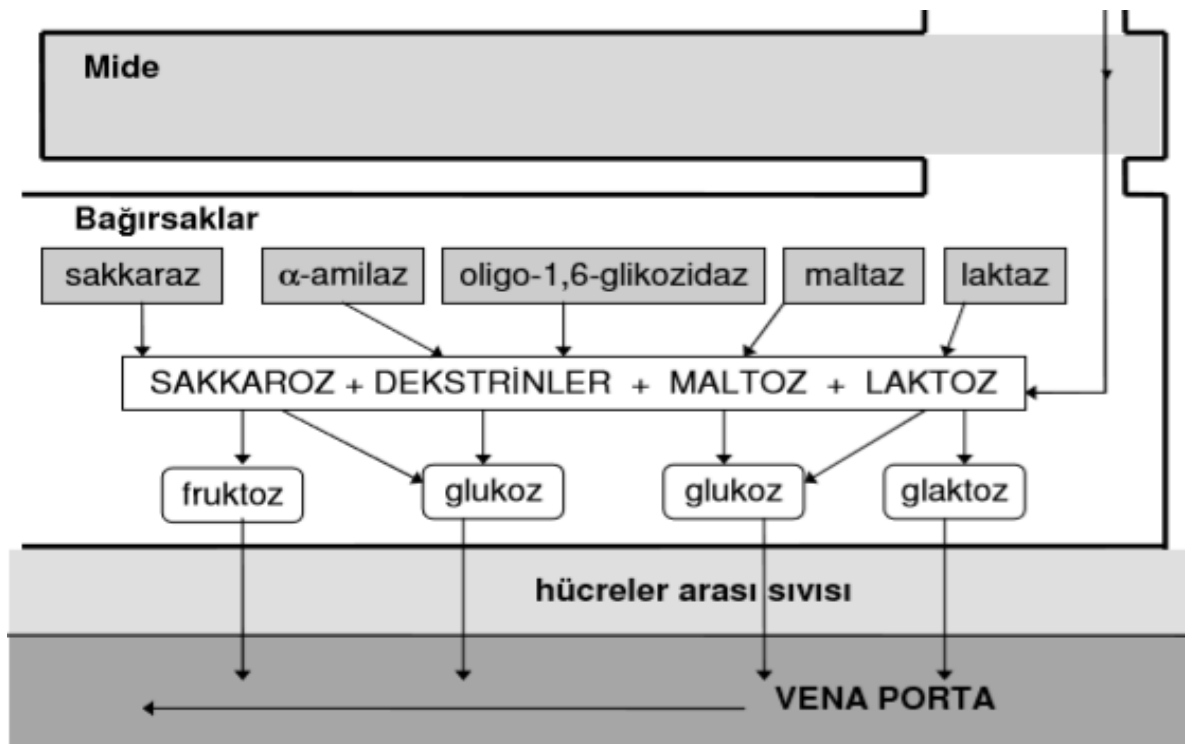
- Fizyolojik önemi olan polisakkaridler; nişasta, glikojen, inulin, dekstrin, selüloz ve kitindir.
- **Nişasta**, amiloz (%13-20) ve amilopektin (%80-87) yalnızca glukoz birimlerinden oluşan bitkisel depo polisakkaridleridir. Amilopektin düz zincirinde α (1→4) bağları ile bağlı 24-30 glukoz kalıntısı, dallanma noktalarında ise α (1→6) bağları ile bağlı glukoz kalıntıları içerir. Tahıllar, patates ve baklagiller diyetdeki en önemli kaynaklarıdır. **Glikojen**, kas ve karaciğerde depolanan hayvansal depo polisakkarididir. Amilopektine göre daha dallı bir yapı olup, α (1-4) glikozid bağları ile birbirine bağlanmış olup 12-14 α - D-glukopiranoz kalıntısı ve α (1-6) bağlarının olduğu dallanma noktalarından oluşur

- **İnulin**, fruktoz polimeridir, suda kolay çözünür ve glomerüler filtrasyon hızını belirlemede kullanılır. Barsak enzimleri tarafından sindirilemez. Enginar, kara hindiba çiçeği gibi bitkilerin yumru ve köklerinde bulunur. **Dekstrinler**, nişastanın hidrolizi sırasında oluşan ara ürünlerdir. **Selüloz**, $\beta(1\rightarrow4)$ glikozidik bağ ile bağlanmış β -D-glukopiranoz kalıntılarından oluşan çapraz hidrojen bağları ile güçlendirilmiştir. İnsan kalın bağırsağında bulunan bazı bakteriler hariç $\beta(1\rightarrow4)$ bağını hidroliz edecek enzim olmadığı için sindirilemeyen bitkisel polisakkaritlerdir. **Kitin**, N-asetil-D-glukozamin birimlerinden oluşur. $\beta(1\rightarrow4)$ bağlarından oluştuğu için sindirilemeyen polisakkaritlerdendir. Kabuklu hayvan ve böcek dış iskeletinde bulunur.

KARBONHİDRATLARIN SİNDİRİMİ



Niştanın sindirimi amilaz enzimi etkisi ile ağızda başlar incebarsakta tamamlanır pankreatik α -amilaz ile maltoz, maltotrioz, ve α -limit dekstrinlere sindirilir. Diyet karbohidratları başlıca polisakkaritler, disakkaritler (laktoz, sukroz) ve çok az miktarda monosakkaritlerden oluşur. Karbohidratların sindirimi ağızda başlar. Çiğneme esnasında tükürük α -amilazı, besinlerdeki nişasta ve glikojene hemen etkiyerek, rastgele bazı α (1-4) bağlarını kırar. Tükürük α -amilazının sindirim etkisi, midenin asidik ortamında sonlandırılır.



Asidik mide içeriği incebarsağa ulaştığında pankreas tarafından salgılanan bikarbonatla nötralize edilir ve pankreatik α -amilaz karbohidrat sindirimini devam ettirir. α -Amilaz, nişastayı α -limit dekstrinler (5-9 glukoz kalıntıları olan dallanmış oligosakkaritler), maltotrioz ve maltoza hidroliz eder.

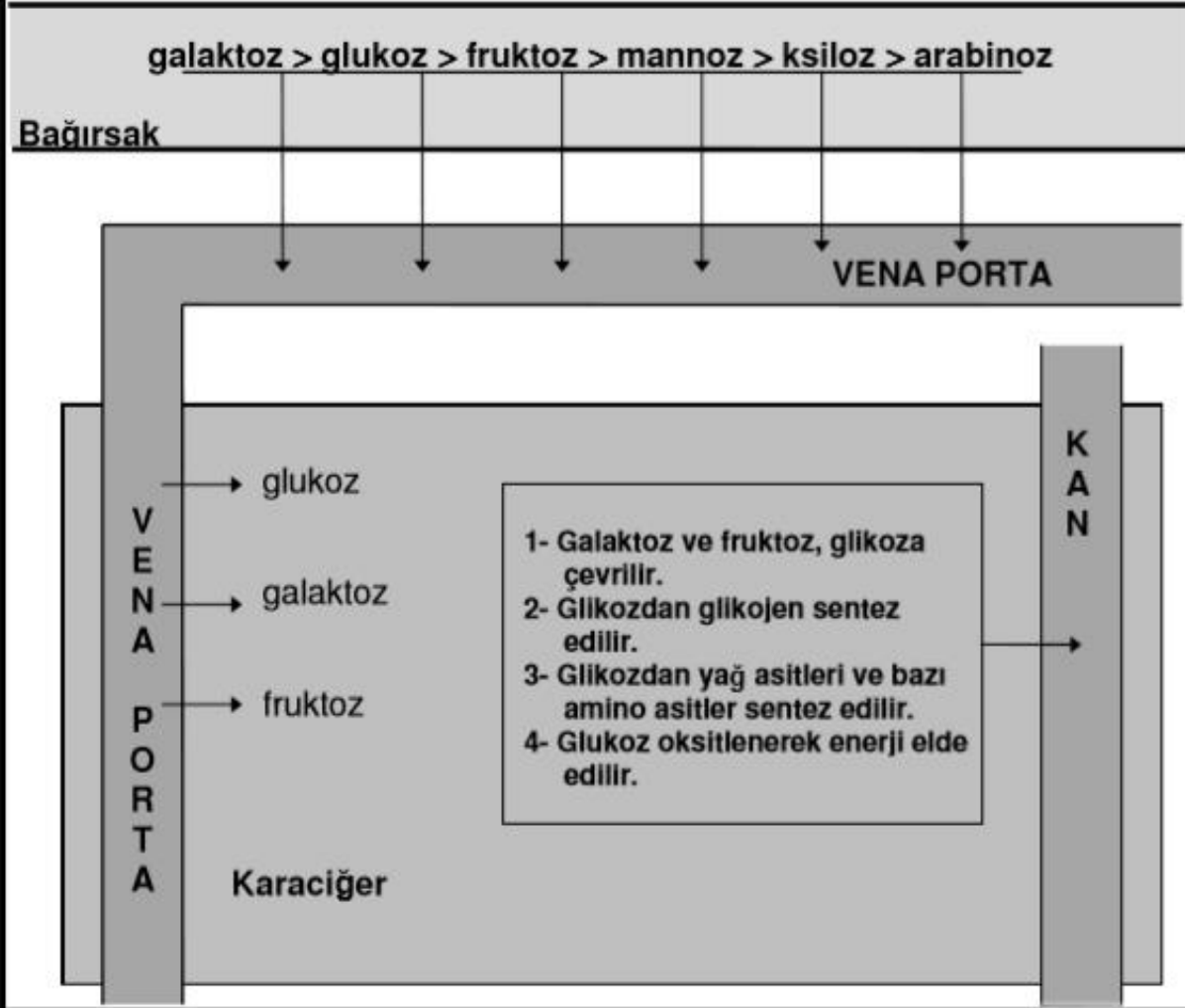
Yani amilozun son ürünü glikoz ve maltozudur. Amilopektin yine amilazın etkisi altında parçalanır.ama amilopektin moleküllerinin sadece alfa 1,4 glikozid bağlarını parçalar. Karşısına 1,6 çıkarsa bunu atlar 1,4 bağlara geçer. Amilopektin sindirimin son ürünü maltozudur. Bu şekilde ağızdaki karbohidrat sindirimi tamamlanır. Sindirilmiş besinler mideye geçer. Midede karbohidratlara etkili hiçbir enzim yoktur. Bu yüzden ağızdan gelen karbohidratlar mideyi geçerek ince barsağa gelir. Bu besinler ince barsakta pankreastan salgılanan alfa amilaz enzimi ile ve barsak bezlerinden salgılanan maltaz, sakkaraz, laktaz gibi enzimlerin etkisi ile sindirilmeye devam eder.

MONOSAKKARİTLERİN EMİLİMİ

<i>Emilim hızları</i>	<i>Emilimi etkileyen faktörler</i>
glukoz 100	1. Bağırsak mukozasının durumu
galaktoz 110	1. Monosakkaritlerin Emilim alanı ile temas süresi.
fruktoz 43	1. Tiroksin hormonunun varlığı.
mannoz 33	1. B vitaminleri.
ksiloz 30	
arabinoz 20	

Burada glikozun Emilim hızını 100 olarak kabul ettiğimizde diğer monosakkaritlerin Emilim hızlarını ve Emilimi etkileyen faktörler. Emilim yüzeyinin yani barsak mukozasının durumu, 2. Emilimi etkileyen faktörlerin başında gelir. Tiroksin hormonu Emilimi artırdığı gibi b vitaminlerinin varlığında Emilimi olumlu etkiler. Bu faktörelrin yetersizliği monosakkaritlerin Emilimini yavaşlatır.

MONOSAKKARİTLERİN KARACİĞERE TAŞINMASI



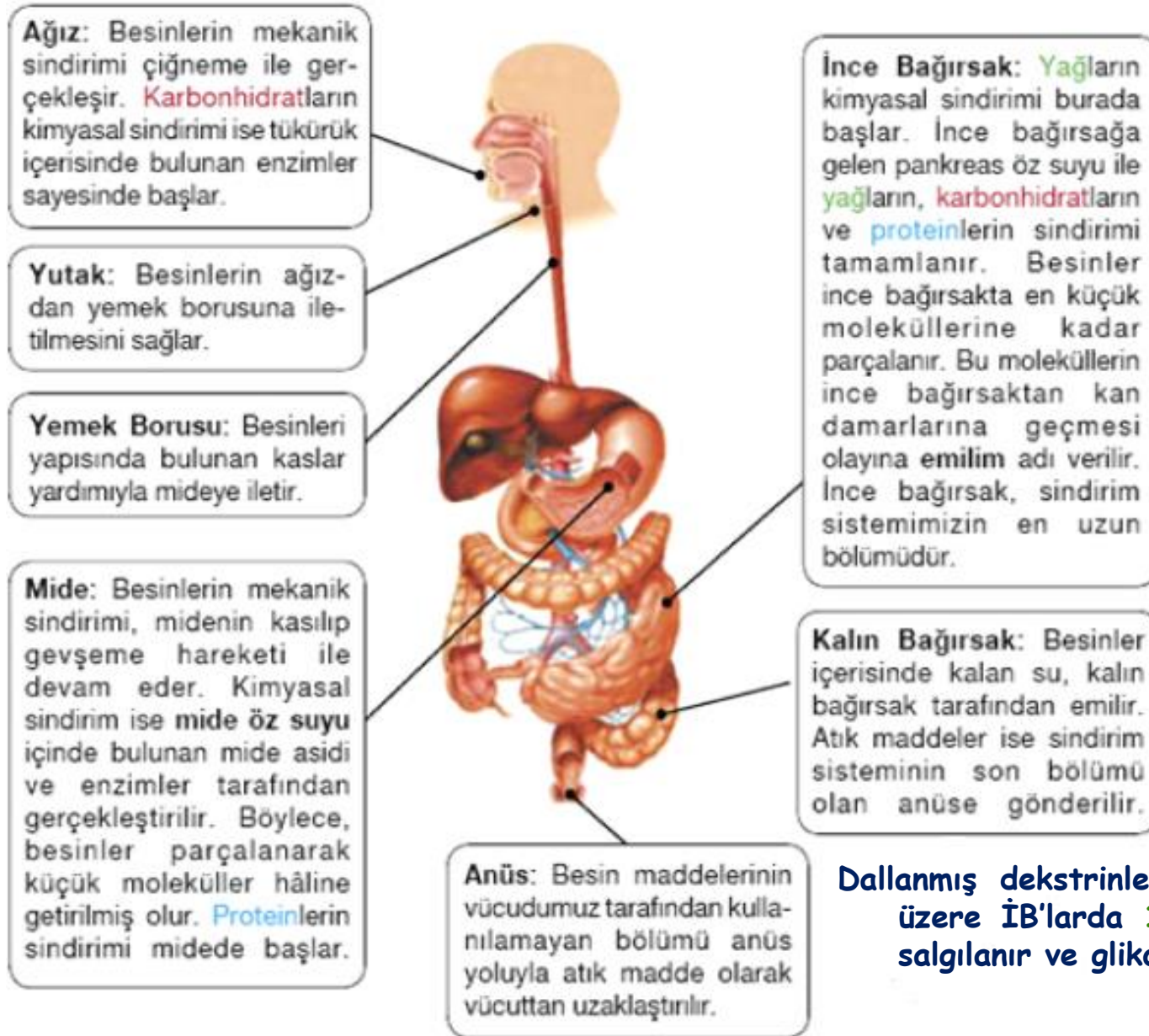
Monosakkaritlerin büyük bir kısmı ince barsak mukozasından emilerek vena porta (Barsak ve dalaktan toplanan kanı karaciğere getiren toplardamar) yolu ile karaciğere taşınır.

Sindirim sonunda yapıt aşlarına yani monosakkaritlerine kadar parçalanmış karbonhidratlar artık emilime hazırdır. Monosakkaritler dışında hiçbir karbonhidrat doğrudan kana geçmez. Organizma tarafından yabancı cisim olarak kabul edilip dışarı atılırlar. Disakkaritler de aynı şekilde dışarıdan damar içine verilirse kullanılmadan dışarı atılırlar.

**Mide
amilazı
inaktive
eder.**

**Pankreastan
salgılanan
Pankreatik α -
Amilaz
(Amilopsin)**

**Niştayı mono,
di ve
oligosakkaritl
ere
parçalamaya
devam eder.**



Nişasta sindirimi

Ağız

Nişasta $\longrightarrow$ Maltoz + Dekstrin
 α -Amilaz

Mide

Amilazın etkisi biraz daha devam eder.

İncebarsaklar

Maltoz $\longrightarrow$ Glikoz + Glikoz
Pankreatik Amilaz

Dekstrin $\longrightarrow$ Maltoz + Maltotrioz + Limit nişasta

Maltaz
 $\downarrow$
2 Glikoz

Maltaz
 $\downarrow$
3 Glikoz

1-6 Disakkaridaz
 $\downarrow$
(Glikoz)_n

Emilim

- ◆ İnce barsak lümeni içindeki glikoz ve galaktoz enerji gerektiren **aktif transportla**, fruktoz ise **basit difüzyonla** (yoğun ortamdan az yoğun ortama) ince barsak epitel hücresi içine alınırlar ve oradan kana, kanla KC'e geçerler.

KARBOHİDRAT METABOLİZMASI YOLLARI

- ◆ **Glikogenez:** Glikozdan glikojen sentezi.
- ◆ **Glikogenoliz:** Glikojenin yıkılması. Bu olayın karaciğerdeki son ürünü **glikoz**, kas dokusundaki son ürünü **glikoz-6-fosfat**ır.
Karaciğerde glikojenolizin amacı kana glukoz sağlamaktır!!!
- ◆ **Glukagon ve epinefrinin glikojenezi yavaşlatırken glikojenolizi hızlandırır, insülinin ise tam tersine glikojenezi hızlandırırken glikojenolizi yavaşlatır.**

Glikoliz (Embden-Meyerhof Yolu): Glikozun **pirüvat** (aerobik şartlarda) veya **laktata** (anaerobik) kadar yıkılması. **Hücrenin sitoplazmasında** 6 karbonlu glikozun, iki molekül 3 karbonlu **pirüvata** **yıkılması olayıdır.** Hücre sitoplazmasında meydana gelir.

◆ **Pirüvat Metabolizması:** Pirüvatın **asetil-KoA** ya dönüşümü

◆ **Trikarboksilik Asit (TCA) Siklüsü (Krebs Siklüsü) :**

Asetil-KoA içindeki **asetil kısmının CO_2 'ye parçalanması** ve bu sırada redükte **koenzimlerin** oluşumu.

◆ **Pentoz Fosfat Yolu:** Glikozun bir başka şekilde oksidasyonu ile NADPH ve pentoz sentezi.

◆ **Glikoneogenesis:** **Karbonhidrat olmayan maddelerden** glikoz sentezi

Yağ dokusunda ve eritrositlerde bol miktarda meydana gelen **laktat**, yağların yıkımı ile oluşan **gliserol**, amino asitlerin parçalanışı sırasında açığa çıkan glikojenik karbon iskeletleri ve propiyonat (glikojenik olan yegane yağ asidi) glikoneojenez için kaynak oluştururlar.

Glukuronik Asit Yolu: Glikozdan **glukuronik asit** sentezi.

KAYNAKLAR

1. Ademoğlu E. Karbonhidratlar. Tıbbi Biyokimya. Ed: Gürdöl. F. Nobel Tıp Kitabevleri. 2015, 17-29.
2. Afratis N, Gialeli C, Nikitovic D, et al. Glycosaminoglycans: key players in cancer cell biology and treatment. Febs Journal. 2012; 279(7): 1177-1197.
3. Bender DA, Mayes PA. Carbohydrates of Physiological Significance. Harper's Illustrated Biochemistry 30thed. Eds: Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ and Weil PA. Lange Medical Books/McGraw-Hill. 2015, 152-160.
4. Carbohydrates and Glycobiology Lehninger Principles of Biochemistry 5th ed. Eds: David L. Nelson DL and Cox MM. W. H. Freeman and Company. 2008, 235-270.
5. Harvey RA and Ferrier. Glycosaminoglycans, Proteoglycans, and Glycoproteins. Lippincott's Illustrated Reviews: Biochemistry 5th ed. Eds: Harvey RA and Ferrier DR. Lippincott Williams & Wilkins. 2011, 157-172.
6. Elbein AD. And Honke K. Complex Carbohydrates: Glycoproteins. Medical Biochemistry 4th ed. Eds: Baynes JW and Dominiczak MH. Elsevier Health Sciences. 2014,