

# **B.102 GENEL BİYOLOJİ**

## **Bölüm 21. BESLENME, SİNDİRİM VE BOŞALTIM**

Ders Kitabı: Biology: Life on Earth  
Audesirk, T., Audesirk, G., Byers, B.E.

- İnsan sindirim sistemi çok çeşitli besin kaynaklarını kullanmak için evrim tarafından düzenlenmiş olup nispeten özelleşmemiştir.
- Bu sistemin besini işleme tarzı, oldukça otomatikleşmiş bir montaj fabrikasına benzer.
- Besin, ağızdan anüse yolculuk eder; bu dolambaçlı yolda, dikkatle düzenlenmiş bir dizi sindirim işlemine maruz kalır.
- Geçitleri tamamlayıncaya kadar, besin güçlü kimyasallarda doğranır, ezilir, karıştırılır, çalkalanır ve yıkanır.
- Değerli olan her şey çıkarılır ve kalanı atılır.
- Besin maddelerinin bu parçalanma basamakları, sindirim sistemini oluşturan yapıların koordineli etkisini gerektirir.

# Hayvanların ihtiyaç duydukları besinler nelerdir?

**Beslenme** besinlerin kullanılabilir forma getirilmesi ve kazanılması işlemidir.

Hayvan besinleri beş ana gruba ayrılır:

1. Lipitler,
2. Karbonhidratlar,
3. Proteinler,
4. Mineraller,
5. Vitaminler

Bu maddeler vücudun temel ihtiyaçlarını sağlar:

- Hücresel metabolizma ve aktivitelere yakıt için enerji;
- Her hayvana gerekli kompleks molekülleri yapmak için amino asit vb. kimyasal yapı taşları;
- Çeşitli metabolik reaksiyonlara katılan mineraller ve vitaminler.

# Başlıca enerji kaynakları karbonhidratlar ve yağlardır

- Üç besin hayvanlar için enerji sağlar: Yağlar, karbonhidratlar ve proteinler.
- "Tipik" bir Amerikan diyetinde, enerjinin %38'ini yağlar, %46'sını karbonhidratlar ve %16'sını proteinler sağlar.
- Bu moleküller, hücresel solunum sırasında parçalanır ve bunlardan sağlanan enerji ATP üretimi için kullanılır.

- Besinlerdeki enerji kaloriyle ölçülür.
- Bir **kalori**, 1 gr suyun sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli olan enerji miktarıdır.
- Besinlerin kalori miktarı 1000 kalori (kilokalori) birimiyle ölçülür (K ile gösterilir).
- Dinlenme halinde, insan vücudu günde yaklaşık 1550 Kalori yakar (erkekler daha fazla, kadınlar daha az). Egzersiz, kalori gereksinimini önemli derecede artırır. İyi antrenman yapan atletler enerji tüketimlerini, dinlenme durumunda dakikada 1 kaloriden, kuvvetli egzersiz sırasında dakikada 20 kaloriye arttırabilirler.

Tablo 21 - 1. Bir kişinin farklı aktivitelerde tükettiği yaklaşık enerji.

Aktivite	Kalori/dk	500 Kalori	300 Kalori	70 Kalori
		Cheeseburger	Dondurma	Elma
Kır koşusu	12	42 dk	25 dk	6dk
Kürek çekme	11	45 dk	27 dk	6dk
Jogging	11	45 dk	27 dk	6dk
Bisiklet	7	1 sa10dk	43 dk	10 dk
Dans	7	1 sa10dk	43 dk	10 dk
Bahçede çalışma	6.5	1 sa17dk	46 dk	11 dk
Yüzme	5	1 sa 40 dk	1 sa	14 dk
Yürüyüş	3.8	2sa12dk	1 sa19dk	18 dk
Hareketsiz oturma	1.7	4 sa 54 dk	2 sa 56 dk	41 dk

# Lipitler

## Yağları, Fosfolipitleri ve Kolesterolü İçerirler.

- **Lipitler** genellikle uzun zincirli karbon atomları içeren ve suda çözünmeyen farklı bir molekül grubudur.
- Başlıca lipit tipleri:  
*yağlar* veya *trigliseritler*, *fosfolipitler*, ve *kolesteroldür*.
- **Yağlar**, başlıca enerji kaynağı olarak kullanılır.
- **Fosfolipitler** hücre zarlarının önemli bileşenleridir ve ayrıca nöronları kaplayarak yalıtımlarını sağlar.
- **Kolesterol** hücre zarlarının, safranın ve bazı hormonların sentezinde kullanılır.

Bazı hayvan türleri ihtiyaç duydukları özelleşmiş lipitlerin hepsini sentezleyebilir. Diğerleri **temel yağ asitleri** denilen özel tipteki lipit yapı taşlarını besinlerden almak zorundadır. Örneğin; insanlar bazı fosfolipitlerin sentezi için gerekli olan linoleik asiti sentezleyemezler, bu yüzden bu temel yağ asitini yiyeceklerimizden elde etmek zorundayız.



- İnsanlar ve bir çok hayvan, enerjiyi genellikle yağ olarak depo ederler. Bir hayvanın diyeti, harcadığından daha fazla enerji sağladığı zaman, karbonhidrat, yağ ve proteinin fazlası, depolamak için yağa dönüştürülür.
- Yağın her bir libesinde (pound= 0,454g) yaklaşık 3600 K depolanır.
- Yağlar, enerji depo molekülü olarak iki temel avantaja sahiptir.

Birincisi, yağlar, karbonhidrat ve proteinlerin birim ağırlığı başına iki katından daha fazla enerji içeren en yoğun enerji kaynağıdır. (Yağların gramı başına 9 Kalori, protein ve karbonhidratların gramı başına 4 Kalori).

İkincisi, lipitler hidrofobiktirler- yani suyla karışmazlar. Bu yüzden yağ birikintileri vücutta ekstra su birikimine sebep olmazlar.

- Bu sebeplerle yağlar, diğer moleküllerde olduğundan daha az ağırlıkla, daha fazla kalori depo eder. Ağırlığının az olması, hayvanın daha hızlı hareketini sağlar ve hareket için daha az enerji kullanılmasını sağlar.
- Yüksek vücut sıcaklığına sahip olan memeliler, genel olarak enerji depolamak kadar, yalıtımlarını sağlamak için de yağ birikimi yaparlar. Yağlar derinin alt tabakasında depolanır. Orada vücudu yalıtırlar, çünkü yağlar sıcaklığı diğer vücut dokularına oranla sadece 1/3 oranında iletirler. Kuzey ve Güney kutuplarında ve soğuk okyanus sularında yaşayan memeliler özellikle bu yalıtım tabakalarına bağımlıdır, bu tabaka onların ısıyı muhafaza etmek için harcamak zorunda oldukları enerji miktarını azaltır.

# Şekerleri ve Nişastaları İçeren Karbohidratlar Hızlı Bir Enerji Kaynağıdır.

- Karbohidratlar, **polisakkarit** denilen uzun zincirli şekerler kadar, **monosakkarit** ve **disakkarit** şekerlerinden oluşur.
- Polisakkaritler, bitkilerin başlıca enerji depo materyali olan **nişastayı**, hayvanların kısa süreli enerji depo molekülü olan **glikojeni** ve bitki hücre duvarlarının temel yapı bileşeni olan **selülozu** içerir.
- Sindirim sırasında, karbonhidratlar şekerlere parçalanır ve absorbe edilir. Vücut hücreleri enerjilerini basit bir şeker olan glukozdan elde ederler. Glukoz, tüketilen yiyeceklerdeki yağlardan, aminoasitlerden ve karbohidratlardan da elde edilebilir.
- İnsanlar ve hayvanlar karaciğer ve kaslarında bir karbonhidrat olan **glikojeni** depolar (glikojen büyük ve çokça dallanmış olan glukoz moleküllerinin bir zinciridir). İnsanlar yüzlerce librelük yağ depolamalarına rağmen, bir librenin yarısından daha az glikojen depolar

# Amino Asitlerden Oluşan Proteinler Vücutta Birçok Fonksiyon Yaparlar

- İnsan vücudu her gün kendi proteinlerinin 20-30 gramını parçalar ve enerji için kullanır. Bu proteinlerin yerini, yiyeceklerle alınan protein alır, ve amino asitlerin fazlası ya parçalanır ve enerji için kullanılır ya da yağ olarak depo edilir. Proteinlerin parçalanmasıyla oluşan, artık ürün olan **üre** böbrekler tarafından kandan süzülür. Yiyeceklerdeki proteinlerin başlıca rolü yeni moleküller yapmak için amino asit kaynağı olmasıdır.
- Amino asitler hormonları, nörotransmitterleri ve yeni proteinleri sentezlemek için kullanılır.

Bu proteinler vücutta çeşitli rollere sahiptir;

enzim olarak,

hücre zarlarında reseptör olarak,

oksijen taşıma molekülleri (hemoglobin),

yapısal bileşenler (saç ve tırnaklar),

hormonlar,

antikorlar ve

kas proteinleri olarak görev yaparlar.

- Yiyeceklerdeki protein sindirim kanalında amino asit alt ünitelerine parçalanır. Amino asitler, sonra vücut hücrelerinde yeni proteinleri oluşturmak için spesifik dizilere bağlanırlar.
- İnsan karaciğeri, proteinlerde kullanılan 20 farklı amino asitin 9'unu (diğer amino asitlerden) sentezleyebilir.
- Sentezlenemeyenler ve **temel amino asitler** adını alanlar et, süt, yumurta, mısır, fasulye, soya fasulyesi gibi yiyeceklerden sağlanmalıdır. Bir çok bitki proteini temel amino asitlerin bazısından yoksun olduğu için, vejeteryan olan kişiler, 9 amino asitin hepsini birlikte sağlayacak olan çeşitli proteinlere sahip bitkileri yemek zorundadır, yoksa onlar protein eksikliği riski taşırlar.

# Temel (esansiyel) amino asitler

## Fasulye ve diğer baklagiller

İzolösin

Lizin

## Baklagiller ve tahıllar

Valin

Histidin

Treonin

Fenilalanin

Lösin

## Mısır ve diğer hububatlar

Triptofan

Methionin

# Mineraller

- Hayvanlar çok çeşitli minerallere ihtiyaç duyar, **mineraller**, elementler ve küçük inorganik moleküllerdir.
- Mineraller, vücut onları yapamadığı için ya besinlerle ya da içme suyunda çözünmüş olarak diyetle alınmak zorundadır.
- Gerekli mineraller, örneğin;
  - kemikler ve dişlerin ana bileşenleri olan **kalsiyum, magnezyum ve fosfor**
  - kas kasılması ve sinir impulslarının iletilmesi için **sodyum ve potasyum**
  - hemoglobin yapımında **demir**,
  - tiroid bezi tarafından üretilen hormonlarda **iyot**,
  - enzimlerin aktivasyonu için **çinko, bakır ve selenyum vb.** bir kaç mineralin iz miktarları

# İnsan su ve mineral gereksinimleri

Mineral	günlük mg	Besin kaynakları	Vücutta başlıca fonksiyonları	Eksiklik belirtileri
Su	1.5 lt/gün	katı besinler, sıvılar, içme suyu	Besinlerin taşınması, Sıcaklığın düzenlenmesi, Metabolik reaksiyonlar	Susama, dehidrasyon
Kalsiyum	800	Süt, peynir, yeşil sebzeler, baklagiller	Kemik ve diş oluşumu, kan pıhtılaşması, sinir impuls iletimi	Büyümede gecikme, raşitizm, osteoporoz, kasılmalar
Fosfor	800	Süt, peynir, et, kümes hayvanları, tahıllar	Kemik ve diş oluşumu, asit-baz dengesi	Zayıflık, kemik demineralizasyonu, kalsiyum kaybı
Potasyum	2500	Etler, süt, meyveler	Asit-baz dengesi, vücut su dengesi, sinir fonksiyonu	Kas zayıflığı, paraliz
Klor	2000	Sofra tuzu	Gastrik sıvı oluşumu, asit-baz dengesi	Kas krampları, hissizlik, iştah kaybı
Sodyum	2500	Sofra tuzu	Asit-baz dengesi, vücut su dengesi, sinir fonksiyonu	Kas krampları, hissizlik, iştah kaybı
Magnezyum	350	Bütün tahıllar, yeşil yapraklı sebzeler	Protein sentezindeki Enzimlerin aktivasyonu	Büyüme yetersizliği, Davranış bozuklukları, zayıflık, spazmlar
Demir	10	Yumurta, etler, baklagiller, Bütün tahıllar, yeşil sebzeler	Hemoglobinin ve Enerji metabolizması enzimlerinin bileşeni	Demir eksikliği anemisi, zayıflık, enfeksiyonlara azalan direnç
Flor	2	Florlanmış su, çay, deniz ürünleri	Kemik yapısının korunmasında	Dişlerin gecikmesi
Çinko	15	Birçok besinde	Sindirim enzimlerinin bileşeni	Büyüme yetersizliği, Küçük eşey bezleri
İyot	0.14	Deniz ve süt ürünleri, sebzeler, iyotlu tuz	Tiroid hormonlarının bileşeni	Guatr
Bakır Silikon Vanadyum Kalay Nikel Selenyum Manganez	İz miktarlar	Birçok besinde	Bazısı bilinmiyor, bazıları enzimlerle birlikte çalışır	Bilinmiyor



# Vitaminler

**Vitaminler**, hayvanların az miktarlarda gereksinim duyduğu farklı bir organik bileşik grubudur.

Genelde vücut, vitaminleri sentezleyemez, bu yüzden besinlerden elde edilmek zorundadır.

Derimiz güneş ışığına maruz kaldığı zaman biraz **vitamin D** yapabilir, fakat çoğumuz zamanımızın çoğunu içeride geçirdiğimiz için, D vitaminini yeterince sentezleyemeyiz ve onu yiyeceklerimizden sağlamak zorunda kalırız.

- İnsan vitaminleri genellikle iki kategoride sınıflandırılır;
- Suda çözünenler ve Yağda çözünenler.

# Suda çözünen vitaminler

- C Vitamini
- B Vitamin kompleksini oluşturan 11 bileşik

Bu maddeler, kan plazmasının suyunda çözünür ve böbrekler tarafından atılır. Vücutta fark edilecek miktarda depo edilmezler. Suda çözünen vitaminler genellikle enerji sağlayan veya materyal sentezleyen kimyasal reaksiyonları hızlandırmak için enzimlerle birlikte çalışırlar. Her bir vitamin bir kaç metabolik işleme katıldığı için, tek bir vitaminin eksikliği geniş çapta etki yapabilir.

# Yağda çözünen vitaminler

- Yağda çözünen vitaminler **A, D, E** ve **K**, daha değişik rollere sahiptir. Örneğin,
- **K vitamini** kan pıhtılaşmasını düzenlemeye yardım eder,
- **A vitamini**, görme pigmenti (gözün retinasında ışığı tutan molekül) yapımında kullanılır.
- Yağda çözünen vitaminler, vücut yağında depo edilebilir ve zamanla vücutta birikebilir. Bu sebeple, eğer aşırı yüksek dozlarda tüketilirse yağda çözünen vitaminler toksik olabilir.

Tablo 21-4. İnsan vitamin gereksinimleri

Vitamin	Ergin insanda günlük mg	Besin kaynakları	Vücutta başlıca fonksiyonları	Eksiklik belirtileri
Suda çözünenler				
Vitamin B <sub>1</sub> (thiamin)	1.9	Süt, et, ekmek	Metabolik reaksiyonlarda koenzim	Beriberi (kas zayıflığı, periferel sinir değışiklikleri, ödem, kalp yetersizliği)
Vitamin B <sub>2</sub> (riboflavin)	1.8	Birçok besinde	Enerji metabolizması koenzimlerinin bileşeni	Kızarmış dudaklar, ağız kenarında çatlaklar, göz lezyonları
Niacin	20	Karaciğer, yağsız etler, tahıl, baklagil	Enerji metabolizmasında iki koenzimin bileşeni	Pelagra (deri, gastrointestinal lezyonlar, sinir, ve mental hastalıklar)
Vitamin B <sub>6</sub> (pyridoxine)	2	Etler, sebzeler, tahıllar	Amino asit metabolizmasında koenzim	Çırpınma, sinirlilik, kas seğirmesi, dermatitis, böbrek taşları
Pantotenik asit	5-10	Süt, et	Enerji metabolizmasında rol alan koenzim A'nın bileşeni	Yorgunluk, koordinasyon ve uyku bozuklukları
Folacin	0.4	Baklagiller, yeşil sebzeler, buğday	Nükleik ve aa metabolizması koenzimleri	Anemi, gastrointestinal bozukluklar, ishal, kırmızı dil
Vitamin B12	0.003	Et, yumurta, süt ürünleri	Nükleik asit metabolizmasında koenzim	Pemisiyoz anemi, nörolojik hastalıklar
Biotin	0.15-0.3	Baklagiller, sebzeler, etler	Yağ sentezi, aa metabolizması ve glikojen oluşumu için gerekli koenzimler	Yorgunluk, depresyon, bulantı, dermatitis, kas ağrıları

Kolin	Belirlenmemiş	Yumurta sarısı, tahıl, baklagil	Fosfolipitlerin ve asetilkolinin bileşeni	İnsanlarda rapor edilmemiş
Vitamin C (ascorbic acid)	45	Turunçgiller, domates, yeşil biber	Kıkırdak, kemik ve dentinin korunması, kollagen sentezi	İskorbüt (deri, diş ve kan damarlarının dejenerasyonu epitelyal kanamalar
Yağda çözünenler				
Vitamin A (retinol)	1	Yeşil, sarı ve kırmızı sebzelerdeki beta karoten, süt ürünlerine eklenen retinol	Görme pigmentinin bileşeni, epitel dokuların bakımı	Gece körlüğü ve kalıcı körlük
Vitamin D	0.01	Balık karaciğer yağı, süt ürünleri	Kemik gelişimi ve mineralizasyonun a yardım eder, Ca absorpsiyonunu artırır.	Çocuklarda raşitizm, iskelet bozuklukları
Vitamin E (tocopherol)	15	Tohumlar, yeşil yapraklı sebzeler, margarinler	Antioksidan, hücresel bozuklukları önler	Muhtemelen anemi
Vitamin K	0.03	Yeşil yapraklı sebzeler, Bağırsak bakterileri üretir	Kan pıhtılaşmasında önemli	Kanama, iç kanamalar

# Tavsiyelerin Özeti

1. Meyve, sebze ve tahıl tüketiminde artış
2. Rafine şeker tüketiminde azalma
3. Yağ tüketiminde azalma, doymamış yağları doymuş yağlara tercih etme
4. Kümes hayvanları ve yağsız etleri seçerek hayvansal yağ tüketimini azaltma
5. Tereyağı ve yumurta gibi yüksek kolesterollü yiyecek tüketimini azaltma
6. Tuz ve tuz içeriği yüksek yiyecek tüketimini azaltma
7. İstenen kilonun devamı için kalori alımını azaltma

# Sindirim Nasıl Yapılır ?

- Besinlerin fiziksel olarak öğütülmesi ve kimyasal olarak parçalanması olan **sindirim** olayı sindirim sisteminde gerçekleşir.
- Hayvanların sindirim sistemi besinlerdeki kompleks molekülleri içeriye alır ve sonra absorbe edilebileceği daha basit moleküllere parçalar. Kullanılmayan veya parçalanmış olan materyal sonra vücuttan çıkarılır.

- **1. Yemek yemek (Ingestion: mideye indirmek).** Besin genellikle **ağız** adını alan bir açıklıkla sindirim kanalına getirilmelidir.
- **2. Mekanik Parçalanma :** Besin fiziksel olarak küçük parçalara parçalanmalıdır. Bu, sindirim boşluğunun kendisinin çalkalama etkisiyle olduğu kadar **dişler** ve **taşlıklarla** (kuşlarda **katı**) yapılır.
- **3. Kimyasal Parçalanma :** Besin partikülleri, büyük moleküllerin daha küçük alt ünitelere parçalandığı sindirim enzimleri ve diğer sindirim sıvılarına maruz kalmalıdır.
- **4. Absorbsiyon :** Küçük moleküller sindirim boşluğunun dışına ve hücrelere taşınmalıdır.
- **5. Eliminasyon :** Sindirilemeyen materyaller vücuttan çıkarılmalıdır.



# Sindirim Sistemleri Her Hayvanın Yaşam Şekline Adapte Olmuştur.

## Tek Hücreler İçindeki Sindirim, Süngerlerde Görülür.

- **-Hücre içi sindirimde;**

bir hücre, mikroskobik besin partiküllerini bir girdap şeklinde yuttuktan sonra, yutulan besin, bir **besin vakuolü** ile kapatılır, bu vakuol geçici bir mide olarak görev yapar. Vakuol, **lizozom** denilen küçük sindirim enzimi paketleriyle birleşir ve besin, vakuol içinde daha küçük moleküllere parçalanır. Sindirilmemiş artıklar vakuolde kalır, sonra hücre dışına atılır. Hücre içi sindirim, tek hücreli protistlerde ve en basit hayvanlarda görülür. Örneğin süngerler tamamen hücre içi sindirimine bağımlıdır. Bu işlem onların menüsünü protistlerde olduğu gibi, mikroskobik besin partikülleriyle sınırlar, protistler özel **yaka (collar) hücrelerinin** kalbur/elek benzeri "collarıyla" ("yakalarıyla") çevrelerindeki denizden besin partiküllerini filtre ederler.

## Kese, Tek Açıklığıyla En Basit Sindirim Sistemini Oluşturur.

- Daha büyük, daha kompleks organizmalar vücutları içinde bir oda geliştirmişlerdir, bu odacıkta besin topakları hücre dışında etki gösteren enzimler tarafından parçalanabilmektedir. Bu işleme **hücre dışı sindirimi** adı verilir.
- Bu odacıkların en basit olanlarından biri deniz laleleri, hidra ve deniz anası gibi Cnidaria'larda bulunmuştur. Bu hayvanlar **gastrovasküler boşluk** adı verilen bir sindirim kesesine sahiptirler, bu kese besinin alındığı ve artıkların atıldığı tek bir açıklığa sahiptir.
- Genellikle ağız olarak ifade edilmesine rağmen bu açıklık aynı zamanda anüs olarak da görev yapar.
- Yakıcı tentaküllerle yakalanan besin gastrovasküler boşluğa sevk edilir, burada enzimler besini parçalar. Boşluğu döşeyen hücreler, besinleri absorbe eder ve küçük besin partiküllerini içine çekip yutar.
- Daha fazla sindirim hücre içi sindirim aracılığı ile gerçekleşir. Sindirilmemiş artıklar girdikleri aynı açıklıktan dışarı çıkarılır.

# **Bir Tüpteki Sindirim, Daha Sık Yemeyi Sağlar.**

- Nematod kurtlarından, toprak solucanlarına, mollüsklere, artropodlara, ekinodermlere ve omurgalılara kadar bir çok hayvan vücut içinde tüp şeklinde olan bir sindirim sistemine sahiptir.
- Tübüler bir sindirim kanalı hayvanın sıkça yemesine izin verir. Dahası, besinin sıralı olarak işlendiği bir dizi özelleşmiş bölgeden oluşur:
  - önce fiziksel olarak öğütülür,
  - sonra kimyasal olarak parçalanır,
  - daha sonra küçük besin molekülleri vücut hücrelerine absorbe olur.

- Özelleşmiş tübüler sindirim kanalları, çok çeşitli besinleri yemek ve bunlardan maksimum miktarda besin ekstrakte etmek için farklı hayvan tiplerine adapte olmuştur.
- En basit formu, iplik benzeri nematod kurtlarında görülür
- Toprak solucanı gibi daha kompleks organizmalarda, tüp her birinin besini parçalamada spesifik bir rolü olduğu bir dizi kompartımandan oluşur
- Toprak solucanında yenen toprak ve bitki parçaları, ağız, farinks ve özofagustan sonra, ince duvarlı bir depo organı olan **kursaka** geçirilir. Kursak besini toplar ve dereceli olarak **kati**'ya (**taşlık**) geçirir. Burada, kasların kasılması besini küçük partiküllere parçalar. Besin sonra bağırsağa geçer, burada enzimler, onları bağırsağı kaplayan hücreler tarafından absorbe edilebilecek basit moleküllere parçalar.

- Toprak solucanı gibi, insanlar ve diğer omurgalılar da bir kaç kompartımanlı túbüler sindirim bölgesine sahiptir.
- Túbüler sindirim sistemli hayvanlar besinlerini parçalamak için **hücre dışı sindirimi** kullanırlar.
- Omurgalı sindirim bölgeleri hayvanların özel diyetleri için özelleşmiştir. Örneğin, tohum yiyen kuşlar, kabuklu omurgasızlar veya avlanan memeli av hayvanları tipik olarak büyük, oldukça kaslı bir taşlığa sahiptirler Bu dirençli besinler daha fazla işlenmek için bağırsaklara geçmeden önce taşlıkta öğütülür.
- Dişlerden yoksun olan kuşlar ise, sindirim komponentlerini öğütemek için başka araçlar geliştirmişlerdir.

## Adaptasyonlar Geviş Getirenlerin Selülozu Sindirmesine Yardım Eder

- Selüloz da, nişasta gibi, uzun glukoz zincirlerinden oluşur, fakat bu moleküller hayvanların sindirim enzimlerinin saldırısına dirençli bir şekilde birbirine bağlanmıştır. Selüloz her bir bitki hücresini çevrelediği için, potansiyel olarak yeryüzündeki en bol besin enerji kaynaklarından biridir.
- Geviş getiren hayvanlar -inekler, koyunlar, keçiler, develer ve atlar- selülozu parçalayabilmek için düzenlenmiş sindirim sistemleri geliştirmişlerdir.
- **Geviş getirme** besini kusma (geri çıkartma) ve onu yeniden çiğneme işlemidir.
- Geviş getirenlerin mideleri dört odacıktan oluşur. Birinci oda olan rumen-**işkembe** büyük bir fermentasyon teknesi şeklindedir. Burada bir çok bakteri ve silyatlar, geviş getirenle karşılıklı olarak yararlı ilişkiler içindedir. Bu mikroorganizmalar selülozu şeker bileşenlerine parçalayan **selülaz** enzimi üretirler. Bitki materyali işkembede işlem gördükten sonra (buna artık **geviş** denir) kusulur, çiğnenir ve yeniden yutulur. Geviş getirilen madde, sonra daha fazla parçalanma için kalan üç odacığa dereceli olarak serbest bırakılır.

# İnsan Besinleri Nasıl Sindirir?

- İnsan sindirim sistemi, çok çeşitli besinlerin işlenmesi için adapte olmuştur ve özelleşmemiştir.
- Herbivorlar sadece bitki yiyen hayvanlardır;
- Karnivorlar sadece diğer hayvanları yiyen hayvanlardır.
- İnsanlar omnivordur, hem hayvan hem de bitki kaynaklı besinleri tüketebilirler (fungus ve protistler dahil).

- Besinlerin mekanik ve kimyasal parçalanması ağızda başlar. Memelilerde mekanik parçalama büyük ölçüde dişler tarafından yapılır.
- Ağızın ön tarafındaki **kesici dişler** besin parçalarını keser, bunların yanındaki sivri **köpek dişleri** parçaların koparılması için yararlıdır ve ağızın arkasındaki **azı** ve **ön azı (molar, premolar)** dişleri besini bir hamura (lapaya) öğütmek için düz yüzeylidir.
- Farklı memeli türlerinde dişler hayvanın yiyeceğine göre özelleşmiştir. Ergin insanlarda değişik büyüklük ve şekildeki 32 diş, besini küçük parçalara keser ve öğütür.



- Besin dişler tarafından ezilirken, üç çift **tükrük bezi** koklama, hissetme, tatma ve hatta (eğer açsanız) besini düşünmeye cevap olarak tükrük salgılarken kimyasal sindirimin ilk fazı gerçekleşir.
- Tükrük, nişastanın şekere parçalanmasını başlatan bir sindirim enzimi olan **amilazı** içerir.
- Tükrük bundan başka fonksiyonlara da sahiptir:
- Enfeksiyonlara karşı korunmada yardımcı olan bakteri öldürücü enzimler ve antikorlar içerir.
- Ayrıca yutmayı kolaylaştırmak için besini kayganlaştırır, asit ve şeker gibi bazı besin moleküllerini çözer ve onları dil üzerindeki **tat tomurcuklarına** taşır. Tat tomurcuklarında besinin tipini ve kalitesini tanımaya yardım eden duyuşal reseptörler vardır.

Tablo 21-6. Sindirim yapıları ve salgıları

Sindirim yeri	Salgısı	Salgı kaynağı	Sindirimdeki rolü
Ağız	Amilaz Mukus, su	Tükrük bezleri Tükrük bezleri	Niştayı disakkaritlere parçalar Besini yağlar, çözer
Mide	HCl  Pepsin  Mukus	Mide duvar hücreleri  Mide duvar hücreleri  Mide duvar hücreleri	Pepsinin çalışmasını sağlar, bakterileri öldürür, mineralleri solubilize eder. Proteinleri büyük peptitlere parçalar. Midneyi korur.
Ince bağırsak	Sodyum bikarbonat  Amilaz Peptidaz  Tripsin  Kimotripsin  Lipaz  Safra Peptidazlar  Disakkaridazlar	Pankreas  Pankreas Pankreas  Pankreas  Pankreas  Karaciğer İnce barsak duvarı hücreleri  İnce barsak duvarı hücreleri	Midedeki asidik kimusu nötralize eder. Niştayı disakkaritlere parçalar. Büyük peptitleri küçük peptitlere ayırır. Proteinleri büyük peptitlere parçalar. Proteinleri büyük peptitlere parçalar. Lipitleri yağ asitleri ve gliserole parçalar. Lipidleri emülsiyeye eder. Küçük peptitleri amino asitlere ayırır. Disakkaritleri monosakkaritlere ayırır.

- Kaslı dilin yardımıyla, besin bir küme haline getirilir ve ağızla özofagusu bağlayan kaslı bir boşluk olan **farinks**in arkasına doğru itilir.
- Farinks ayrıca, **larinks** yoluyla, akciğerlere hava taşıyan trake ile burun ve ağıza bağlıdır. Bu düzenlenme bazen problemlere sebep olur, nefes yoluna besin parçası tıkanan birini örnek verebiliriz. Bununla beraber, normal olarak yutma refleksi larinksi yukarı doğru yükseltir. Böylece solunum geçidini kapatan doku kapağı olan **epiglottis**le karşılaşılır. Bu sayede besin trake yerine özofagusa yönelir

# Özofagus Besini Mideye İletir, Burada Sindirim Devam Eder.

- Özofagus, besini ağızdan mideye iten kaslı bir tüptür.
- Özofagusu çevreleyen halkasal kaslar yukarıdan yutulan besin kütlelerini mideye doğru itecek şekilde kasılır. **Peristalsis** denilen bu kas etkisi, mide ve bağırsaklarda da gerçekleşir ve sindirim bölgesi boyunca besinin hareketine yardım eder.
- Özofagusu kaplayan hücreler tarafından salgılanan **mukus**, geçiş sırasında besini kayganlaştırır ve özofagusun aşınmasını önler.

# MİDE

- İnsanlarda **mide**, besin ve sıvıları 2-4 litre alma kapasitesinde genişleyebilen kaslı bir kesedir.
- Besin, midenin alt kısmını ince bağırsağın üst kısmından ayıran bir halkasal kas çemberi sayesinde midede tutulur. **Pilorik sfinkter** denilen bu kas, besinin ince bağırsağa geçişini düzenler.
- Midenin üç temel fonksiyonu vardır:
- Birincisi, mide besini depolar, uygun sindirim ve absorpsiyon için uygun bir oranda onu dereceli olarak ince bağırsağa serbest bırakır. Bu yüzden, mide, bizim bol ve seyrek yememizi sağlar.
- Midenin ikinci fonksiyonu, besinin mekanik parçalanmasına yardım etmektedir. Peristalsise ilaveten, midenin kaslı duvarı besinin parçalanmasına yardım eden çeşitli kasılma ve çalkalama hareketleri yapar.
- Son olarak, midedeki bezler besinin kimyasal parçalanmasını kolaylaştıran enzimleri ve başka maddeleri salgılar.  
Bunlar; gastrin, HCl, pepsinojen ve mukustur.

# MİDE SALGILARI

- **Gastrin**, özelleşmiş mide hücreleri tarafından HCl salınmasını uyaran bir hormondur.
- Diğer hücreler **pepsinojen** salgılar, pepsinojen protein parçalayan **pepsin** enziminin inaktif formudur. Pepsin bir **proteaz**dır, proteinleri peptit denilen kısa zincirli amino asitlere parçalayan bir enzimdir. Pepsin, onu üreten hücrelerin parçalanmasını engellemek için inaktif formda salınmalıdır. Dayanıklı olan midedeki yüksek asidik durumlar (pH 1-3) pepsinojeni asidik çevrede iyi fonksiyon yapan pepsine dönüştürür.

# MİDE SALGILARI

- Dikkat ederseniz, mide kendisini sindirmek için gerekli her şeyi üretir. Bununla beraber, mideyi kaplayan hücreler normal olarak kendini sindirmesine bir bariyer olarak iş gören ve mide duvarını kaplayan çok miktarda kalın bir **mukus** üretir. Bununla beraber bu koruma kusursuz değildir, ve mide duvarındaki hücrelerin bir kısmı sindirilir ve her birkaç günde bir, yerine yenileri konmalıdır.

- Midedeki besin dereceli olarak, kısmen sindirilmiş besin ve sindirim salgılarından oluşan ve **kimus** adı verilen koyu, asidik bir sıvıya dönüştürülür. Peristaltik dalgalar sonra kimusu ince bağırsağa doğru iter. Pilorik sfinkter 20 saniyede bir gerçekleşen kasılmasıyla sadece bir çay kaşığı kadar kimusun çıkarılmasına izin verir. Midenin tam olarak boşalması yemek miktarına bağlı olarak 2-6 saat alır. Boş bir midenin devam eden çalkalama hareketleri 'açlık sancısı-spazmı' olarak hissedilir.
- Su, bazı ilaçlar ve alkol gibi sadece bir kaç madde mide duvarını geçerek kan akışına girebilir. Mide boşken tüketilen alkol hemen kan akışına geçer, güçlü ve hızlı etkilere sebep olur. Midedeki besin, alkol absorpsiyonunu yavaşlatacağı için 'asla boş mide ile içme' tavsiyesi gerçek fizyolojik prensiplere dayalıdır



# Sindirimin Çoğu İnce Bağırsakta Gerçekleşir

- **İnce bağırsak** yaklaşık 3 metre uzunluğunda katlanmış dar bir tüptür.
- Ergin bir insanda çapı 2-5 cm arasında değişir. İnce bağırsak iki temel fonksiyona sahiptir:
  1. besini küçük moleküllere parçalamak ve
  2. bu molekülleri absorbe etmek ve onları kan akışına geçirmek.
- İnce bağırsağın birinci rolü olan sindirim üç kaynaktan gelen sindirim salgılarının yardımıyla yapılır:
  1. Karaciğer, 2. Pankreas ve 3. İnce bağırsağın kendi hücreleri.

# Karaciğer ve Safra Kesesi Yağ Parçalanmasında Önemli Olan Safraı Sağlar

- **Karaciğer** belki de vücuttaki en yetenekli organdır. Karaciğer, enerji için yağ ve karbonhidratların depolanması, kan glukoz seviyesinin düzenlenmesi, kan proteinlerinin sentezi, demir ve bazı vitaminlerin depolanması, amino asitlerin parçalanmasıyla serbest kalan toksik amonyanın üreye dönüşümü, ve nikotin, alkol gibi diğer zararlı maddelerin detoksifikasyonu gibi birçok fonksiyon yapar.
- Karaciğerin sindirimdeki rolü safra üretmektir, **safra**, safra kesesinde depolanan ve konsantre edilen bir sıvıdır ve **safra kanalı** adı verilen bir tüple ince bağırsağa salgılanır.

- **Safra, safra tuzları**, su, diğ er tuzlar ve kolesterolden oluşan kompleks bir karışımdır.
- Safra tuzları, karaciğ erde kolesterol ve amino asitlerden sentezlenir. Safra tuzları yağları parçalamaya yardım etmesine rağmen enzim değildir.
- Daha doğrusu, safra tuzları kimustaki yağ kürelerini mikroskobik partiküllere ayıran deterjanlar veya emülsiyon ajanları olarak etki gösterirler. Bu partiküller, pankreas tarafından üretilen ve lipit sindiren enzimler olan **lipazların** saldırısı için geniş yüzey alanları sergiler.

# Pankreas İnce Bağırsağa Birkaç Sindirim Salgısı Sağlar.

- Pankreas, mide ve ince bağırsak arasındaki bir ilmekte bulunur.
- İki temel tip hücreden oluşur:
- Bir tipi, kandaki şekeri düzenleyen hormonları (insülin-glukagon) üretir,
- diğeri **pankreas sıvısı** denilen ince bağırsağa salınan bir sindirim salgısı üretir.

# Pankreas

- Pankreatik sıvı, asidik kimusu nötralize eder ve karbonhidratları, lipitleri ve proteinleri parçalar.
- Her gün yaklaşık 1 litre pankreatik sıvı ince bağırsağa salgılanır. Bu salgı su, sodyum karbonat ve bir kaç sindirim enzimi içerir.
- Sodyum bikarbonat ince bağırsaktaki asidik kimusu nötralize eder, hafifçe bazik pH oluşturur.
- Pankreatik sindirim enzimleri, asidik pH'a ihtiyaç duyan midedeki sindirim enzimlerinin tersine özel fonksiyonları için bu bazik pH'a gereksinim duyar.

# Pankreatik sindirim enzimleri üç temel tip besini parçalar :

1. **Amilaz** karbonhidratları parçalar,
2. **Lipazlar** lipitleri sindirir,
3. Bir kaç **proteaz**, proteinleri ve peptitleri parçalar. Pankreatik proteazlar; **tripsin**, **kimotripsin** ve **karboksipeptidazları** içerir. Hem tripsin hem de kimotripsin, proteinleri ve peptitleri daha kısa peptit zincirlerine parçalar. Sonra karboksipeptidaz, peptit zincirinin sonundan amino asitleri ayırarak protein sindirimini tamamlar. Bu proteazlar, inaktif formda salgılanırlar ve ince bağırsağa ulaştıktan sonra aktive olurlar.

# Bağırsak Duvarı Sindirim İşlemini Tamamlar

- İnce bağırsağın duvarı sindirim işlemini tamamlamak ve sonuçta küçük molekülleri absorbe etmek için özelleşmiş hücrelerle donatılmıştır.
- Bu hücreler, ince bağırsağın duvarını oluşturan dış zarları üzerinde çeşitli enzimlere sahiptirler. Bu enzimler peptitlerin aminoasitlere parçalanmasını tamamlayan **proteazlar** ve disakkaritleri monosakkaritlere parçalayan **sükraz, laktaz** ve **maltaz**dır. **Lipazın** küçük miktarları da lipitleri sindirir. Bu enzimler, gerçekte ince bağırsak duvarındaki hücrelerin zarlarında gömülü oldukları için, sindirimin bu son fazı besin hücreye absorbe olurken gerçekleşir. Mide gibi, ince bağırsak da duvarındaki özelleşmiş hücrelerden salgılanan büyük miktarlardaki mukusla kendini sindirilmekten korur.

# Absorpsiyonun Çoğu İnce Bağırsakta Gerçekleşir.

- İnce bağırsak sadece sindirim yeri değildir, ayrıca kana besin absorpsiyonunun da başlıca yeridir.
- İnce bağırsak çok sayıda katlanmalara ve çıkıntılara sahiptir, aynı uzunluktaki düz bir tüpten 600 kat daha fazla bir iç yüzey alanı sağlar.
- Duvarın bütün katlanmış yüzeyini kaplayan küçük parmak gibi çıkıntılara **villus** adı verilir. Villuslar 0,5 - 1,5 mm uzunluğundadır, bağırsak duvarına çıplak gözle kadife gibi görüntü verirler. Bunlar, bağırsağı geçen kimusu yavaşça ileri geri hareket ettirir.
- Bu hareket, onların sindirilen ve absorbe edilen moleküllere maruz kalmasını arttırır. Ayrıca villuslardaki her bir hücre mikrovillus denilen saçak gibi mikroskobik çıkıntılara sahiptir. Hepsi dikkate alındığında, ince bağırsak duvarındaki bu özelleşmeler ona yaklaşık 250 metre karelik bir yüzey alanı sağlar.



- Bağırsağın halkasal kaslarının **segmentasyon hareketleri**, kimusu ileri geri çalkalar, besinleri ince bağırsağın absorpsiyon yüzeyi ile temas ettirir. Absorpsiyon tamamlandığı zaman, koordineli peristaltik dalgalar, artıkları **kalın bağırsağa** iletir.
- İnce bağırsak tarafından absorbe edilen besinler; su, monosakkaritler, amino asitler ve kısa peptitler, lipit sindirimiyle oluşan yağ asitleri, vitaminler ve minerallerdir.

Bunların absorpsiyonlarındaki mekanizmalar değişik ve komplekstir. Bir çok durumda besinlerin ince bağırsağa geçişi için enerji harcanır. Su ozmozla geçer.

Besinler sonra, bağırsak hücrelerinin dışındaki doku arası (intersitisyel) sıvıya difüze olur, buradan kan akışına girer.

İnce bağırsağın her bir villüsünde, absorbe edilen besinleri taşıyan ve onları tüm vücuda dağıtan zengin bir kan kapiller ağı ve **lakteal** denilen tek bir lenf kapilleri bulunur.

Besinlerin çoğu kapillerlerden kan akışına girer, fakat yağ alt üniteleri farklı bir yol izler. Bunlar epitel hücrelerine difüze olduktan sonra diğer moleküllerle birleşerek yeniden yağlara sentezlenirler ve sonra doku arası sıvıya damlalar şeklinde serbest bırakılırlar. Bu yolla lenf kapillerine girerler ve en sonunda lenf damarları venlere boşaldığı zaman kan akışına katılırlar.

# Kalın Bağırsakta Su Absorbsiyonu olur ve Dışkı (Feçes) oluşur

- Ergin bir insanda kalın bağırsak, yaklaşık 1,5 metre uzunluğunda ve yaklaşık 7,5 cm çapındadır.
- Kalın bağırsak iki kısımdan oluşur: Uzunluğunun çoğuna **kolon** adı verilir, fakat son 15 cm.si **rektum** olarak adlandırılır.
- Sindirim artıkları kalın bağırsağa akar; bunlar su, sindirilmemiş yağlar ve proteinler, sebze ve meyvelerin hücre duvarları gibi sindirilemeyen fibrillerin bir karışımıdır..

- Kalın bağırsak, sindirilmeyen besinler üzerinde yaşayan iyi bir bakteri popülasyonu içerir.
- Bu bakteriler, **vitamin B12, riboflavin, tiamin**, ve en önemlisi normal diyetle eksik olan **K vitamini**ni sentezlerler.
- Kalın bağırsak hücreleri, artıktaki su ve tuzlar kadar bu vitaminleri de absorbe ederler. Absorpsiyon tamamlandıktan sonra yarı katı **feçes (dışkı)** oluşur.
- **Dışkı**, sindirilemeyen atıklar ve dışkının kuru ağırlığının yaklaşık üçte birini oluşturan bakterilerin ölü vücutlarından oluşur.
- Dışkı rektuma ulaşıncaya kadar peristaltik hareketlerle taşınır. Bu odanın genişlemesi boşaltma isteğini uyarır. Boşaltma bir refleks olmasına rağmen yaklaşık iki yaşından sonra gönüllü olarak başlatılır

# Sindirim, Sinir Sistemi ve Hormonlar Tarafından Kontrol Edilir.

- Yediğiniz “şefin salatası”nın amino asit ve peptitlere, şekerlere, yağ asitlerine, vitaminlere, minerallere ve sindirilemeyen selüloza parçalanması önemli bir koordinasyon gerektirir.
- Ağzınız ilk lokmaya cevap verirken, mideniz yolda olan besin için uyarılmalıdır.
- Ayrıca mide ve ince bağırsak enzimleri, özel fonksiyonları için farklı çevrelere gereksinim duyar (midede oldukça asidik, ince bağırsakta hafifçe bazik) ve sindirim kanalının çeşitli kısımlarındaki salgılar besinin gelmesiyle koordine edilmelidir.
- Sindirim kanalının salgıları ve aktivitesinin hem **sinirler** hem de **hormonlar** tarafından koordine edilmesi şaşırtıcı değildir.

- Sindirimin başlangıç fazı, sinir sisteminin kontrolü altındadır ve beyinden gelen sinyallere cevabı içerir.
- Bu sinyaller, çiğneme kas aktivitesi kadar, görme, koklama, tatma ve bazen besinin düşünülmesini kapsar.
- Bu uyarılara cevap olarak, sinir sinyalleri, mide duvarında **asit** ve daha fazla asit salgısını uyararak **gastrin** hormonu salgılamasını uyarırken, ağıza tükürük salgılanır.
- Asit konsantrasyonu, negatif geribildirim mekanizmasıyla düzenlenir. Asit seviyesi belli bir noktaya ulaştığı zaman, gastrin salgısını inhibe eder, böylece daha fazla asit üretimi engellenir.

- Besinin mideye gelişi sindirimin ikinci fazını tetikler.
- Mide duvarının uyarılması büyük miktarda mukus üretimine sebep olur, bu da mideyi kendini sindirmesine karşı korur.
- Midenin asitliği pepsinojeni aktif formu olan pepsine dönüştürür, pepsin protein sindirimine başlar. Bununla beraber, besindeki protein, mide asit konsantrasyonunu azaltır.
- Böylece, protein parçalanırken asitlik düşer ve artık gastrin salgılanması engellenmez; gastrin tekrar serbest bırakılır ve daha fazla asit üretimini uyarır. Mide asiti salgılayan hücreler midenin genişlemesiyle ve protein parçalanması sonucu oluşan peptitlerin varlığıyla da aktive edilir.

- Kimus sıvısı, ince bağırsağa dereceli olarak serbest bırakılırken, onun asiditesi üst ince bağırsak hücreleri tarafından kan akışına ikinci bir hormon olan **sekretin**'in serbest bırakılmasını uyarır.
- **Sekretin**, pankreasın ince bağırsağa sodyum bikarbonat dökmesine sebep olur. Sodyum bikarbonat gelen kimusun asiditesini nötralize eder ve pankreatik enzimlerin fonksiyon yapabileceği bir ortam yaratır.
- Üçüncü bir hormon olan **kolesistokinin** de kimusun varlığına cevap olarak üst ince bağırsak hücreleri tarafından üretilir. Bu hormon ince bağırsağa çeşitli sindirim enzimleri salgılaması için pankreası uyarır. Bu hormon ayrıca safra kesesinin kasılmasını da uyarır, safranın safra kanalıyla ince bağırsağa dökülmesini sağlar.
- Kimusdaki yağ asitleri ve şekerlerin varlığına cevap olarak ince bağırsak tarafından bir hormon olan **gastrik inhibitör peptid (GIP)** salgılanır, bu hormon midedeki asit üretimini ve peristalsisi inhibe eder. Bu inhibisyon kimusun ince bağırsağa dökülme hızını yavaşlatır, sindirim ve absorpsiyon olması için ilave bir zaman verir.



Tablo 21-7. Bazı Önemli Sindirim Hormonları

Hormon	Üretim yeri	Üretim için uyarı	Etkisi
Gastrin	Mide	Ağızdaki besin Midenin gerilmesi Midedeki peptitler	Midedeki hücrelerde asit salgısını uyarır
Sekretin	İnce bağırsak	İnce barsaktaki asit	Pankreas ve karaciğerde bikarbonat üretimini uyarır, karaciğerden safra çıkışını artırır.
Kolesistokinin	İnce bağırsak	İnce barsaktaki amino asitler ve yağ asitleri	Pankreatik enzimlerin salgısını ve safra kesesi tarafından safranin serbest bırakılmasını uyarır.
Gastrik inhibe edici peptit	İnce bağırsak	İnce barsaktaki yağ asitleri ve şekerler	Mide hareketlerini ve mide asidinin serbest bırakılmasını inhibe eder.

# Boşaltım sistemi

- Boşaltım sistemi **homeostasiste** önemli rol oynar.
- **Böbrekler**, kanın sıvı kısmının toplandığı organlardır. Bu sıvıdan, su ve önemli besin maddeleri yeniden kana geri emilirken, toksik maddeler, hücresel atık ürünler, vitaminler, tuzlar, hormonlar ve suyun fazlası **idrara** olarak çıkarılır.
- Üriner sistemin kanalları, idrarı vücuttan çıkarılincaya kadar depolar, bu işleme **boşaltım** adı verilir.

Memeli boşaltım sistemi homeostasisin devamını şu şekilde sürdürür:

- 1-  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , ve  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{Ca}^{++}$  gibi iyonların kandaki seviyelerini düzenler.
- 2- Kanın su miktarını düzenler.
- 3- Kanın pH değerinin devamını sağlar.
- 4- Glukoz ve aminoasit gibi önemli besin maddelerinin kanda kalmasını sağlar.
- 5- Eritrosit üretimini uyaran **eritropoietin** gibi hormonların salgılanmasını sağlar.
- 6- **Üre** gibi hücreSEL artık ürünlerin vücuttan atılmasını sağlar.

- **Üre**, amino asit metabolizması ürünüdür.
- Sindirim sistemi, proteinleri amino asitlere parçalar ve amino asitler absorbe edilir. Amino asitler, hücrede ya yeni proteinlerin sentezinde kullanılır ya da enerji kaynağı olarak kullanılır. Enerji kaynağı olarak kullanılacaksa amino ( $\text{NH}_2$ ) grupları uzaklaştırılır ve daha sonra amino grubu **amonyak** ( $\text{NH}_3$ ) olarak bırakılır.
- Amonyak, toksik bir maddedir. Memelilerde amonyak, kandan karaciğere taşınır, burada daha az toksik olan **üre**ye çevrilir. Üre, böbrekler tarafından kandan filtre edilir, ve suda çözülmüş olarak **idrara** ile atılır.
- Böylece memeli hayvanlar, amonyağın akut zehirinden korunmuş olurlar. Ancak bu hayvanlar bu evrimsel stratejinin bedelini ödemektedirler. Üre üretimi, enerji ve metabolik olarak faydalı olan karbon ve oksijeni tüketir, üre atıldıktan sonra bu faydalı maddeler ve enerji de kaybolmuş olur. Daha da önemlisi, su kaybı dezavantaj olsa bile, üre ile beraber su da atılmalıdır.
- Sürüngen ve kuşlar bu problemi **ürük asitle** çözmüşlerdir. Ürik asit çok çözülebilir bir madde değildir; çok az su kaybıyla kristal şeklinde atılabilir.

# Basit Yapılı Hayvanlarda Boşaltım

- Basit yapılı olan omurgasız hayvanlarda bile, boşaltım sistemi omurgalılarınkine benzer fonksiyonları yerine getirir. Onlar vücut sıvısını toplar ve filtre eder, besin maddelerini alıkoyar ve atıkları atar.
- Hayvanlarda ilk evrimleşmiş özel boşaltım yapıları **protonefridyumlardır**. Yassı kurtlar protonefridyumlara sahiptirler. Yassı kurtların boşaltım sistemi, bütün vücuda dallanan bir tüp şebekesinden oluşmuştur. Aralıklarla, tüpler **alev hücreleri** adı verilen kapalı uçlarla son bulur. Alev hücrelerinde hareketli siller bulunur. Sillerin hareketi, bu yapılara alev görüntüsü verir.
- Su ve suda çözülmüş bazı atık maddeler, bu kapalı uçların içine doğru filtre edilir, burada hareketli siller, sıvıyı tüplere gönderen bir akıntı oluşturur. Orada daha fazla atık ürün ilave edilir ve besinler geri alınır. Nihayet, atık sıvı dışarıya açılan sayısız **porlardan** birine ulaşır. Ayrıca yassı kurtlar büyük bir deri yüzeyine sahiptir. Böylece difüzyonla da bir miktar atık madde vücuttan atılır.

- Toprak solucanları, yumuşakçalar ve diğer bazı omurgasızlar **nefridyum** adı verilen böbrek benzeri basit yapılara sahiptirler.
- Toprak solucanında, sıvı, vücut boşluğu ya da iç organları saran **söloma** doldurulur. Bu sölomik sıvı, kan ve dokulardan hem atık maddeleri hem de besin maddelerini toplar. Sıvı, **nefrostrom** adı verilen huni şeklindeki açıklıklara gönderilir ve dar tüplerdeki sillerde temizlenir. Oluşan idrar, nefridyumun kese benzeri genişleyen kısmında toplanır ve daha sonra bir açıklıkla dışarı boşaltılır. Vücut duvarındaki bu açıklıklara **boşaltım porları** denir. Toprak solucanının vücudu segmentlerden oluşur. Her biri bir çift nefridyum içerir.
- Böceklerde ise boşaltım sistemi **Malpighi Tübülleri** dir

# İnsan Boşaltım Sistemi

- Vücuttan atık maddelerin uzaklaştırılması için suya gereksinim duyulur, fakat su dengesini devam ettirmek için de suyun geriye emilmesi gerekir.
- Metabolitlerin içinde çözündüğü su, besin maddeleri ve tuzları da içerir.
- Metabolitler, su ve vücut için gerekli moleküller kayıp edilmeden vücuttan atılabilir mi?
- **Böbrekler** boşaltım sisteminin bir çok kısmından biridir. Böbrekler idrar üretir, sistemin diğer kısımları ise idrarı taşır, depolar ve süzme görevini yerine getirirler.

- İnsan böbrekleri bir çifttir. Bel kemiğinin her iki yanına yerleşmiş olan fasulye şeklinde organlardır.
- Her biri yaklaşık 13 cm. uzunluğunda, 8 cm. genişliğinde, 2,5 cm. kalınlığındadır.
- Çözünmüş maddeleri taşıyan kan, her bir böbreğe birer **böbrek arteri (renal arter)** ile girer. Kan, filtre edildikten sonra, böbrek toplardamarına (renal ven) ulaşır.
- İdrar, böbreği **üreter** adı verilen dar, kaslı bir tüple terk eder. Üreter kasılmalarla, idrarı, **idrar kesesine (mesane)** gönderir. Bu kaslı kese ise idrarı toplar ve biriktirir.
- Yetişkin bir kişinin idrar kesesi yaklaşık 500 ml idrar depolar.
- İdrar, **üretra** ile dışarı bırakılır. Üretra tek bir dar tüp şeklindedir, dişilerde 3,8 cm, erkeklerde ise 20 cm. uzunluğundadır.



# İdrar Böbreklerde Oluşturulur

- Her bir böbrekte solid bir dış tabaka vardır, idrar burada oluşturulur. Ve **böbrek pelvisi** (renal pelvis) adı verilen içi boş bir iç odacık içerir.
- Pelvis, dallanmış bir toplama odasıdır ve idrarı üretere transfer eder.
- Böbreğin dış tabakası, **medulla** ve **korteks** olmak üzere 2 kısımdan oluşur.
- Bu kısımlarda mikroskobik yapılar vardır ve bunlara **nefron** adı verilir. Her bir böbreğin korteks kısmında, 1 milyondan daha fazla nefron bulunur. Nefronlar medullaya doğru uzanır.

# NEFRON

**Nefron** 3 kısımdan oluşur:

1. **Glomerulus:** Kandan sıvıların filtre edildiği kılcal damar yumağıdır.
  2. **Bowman kapsülü :** Glomerulusu kuşatır.
  3. **Uzun tübül :**
    - **proksimal tüp**
    - **Henle kulpu**
    - **distal tüp**
- Bu tübüller **toplama kanalına** birleşir. Tübülde, besin maddeleri seçilerek kana geri absorbe edilir ve metabolizma atıkları ile biraz da su, idrar oluşturmak üzere tübülü terk eder.

# Glomerulus Kanı Filtre Eder

- Kan, arterden dallanan bir arteriolla her bir nefrona ulaştırılır.
- Bowman kapsülü içinde, arteriol, glomerulusu oluşturmak üzere çok sayıda mikroskobik kılcallara dallanır.
- Glomerulusu oluşturan kılcal damarların duvarı, suya ve küçük moleküllere geçirgendir, fakat büyük protein moleküllerinin geçişini engeller. Bu gibi moleküllerin başında albümin gelir.
- Glomerulustan çıkarken kılcal damarlar, çapı **gelen arteriolden** daha küçük olan bir arteriol oluşturmak için yeniden birleşirler. Giren ve çıkan arteriollerin çaplarındaki farklılık, glomerulus içinde basınç oluşturur, bu basınç, kandaki su ve çözülmüş maddelerin çoğunu kılcal damar duvarları üzerinden dışarı iter. Bu işleme **filtrasyon** denir.
- Filtre edilen sıvıya **filtrat** denir. Sulu filtrat, proteinler hariç kan plazmasına benzer ve nefron üzerinden taşınmak üzere Bowman kapsülünde toplanır.

- Filtratın uzaklaştırılmasıyla, glomerulustan ayrılan arterioldeki kan, çok daha yoğundur.
- İçerisinde glomerulus kılcal damarlarının duvarından geçemeyen kan hücreleri, büyük proteinler ve yağ damlacıkları bulunur.
- Arteriol, glomerulustan ayrıldıktan sonra, çok daha ince ve porlu çeperlere sahip olan kılcal damarlara yeniden dallanır.
- Bu kılcal damarlar, tübülün etrafını sarar ve tübülle yakın temas kurarlar.
- Bu temas noktalarında, filtrat içinde kalan su ve besin maddeleri, nefronlardan geçerken geriye absorbe edilir ve kana geri dönerler, ayrıca filtrasyondan sonra kanda kalan atık maddeler de filtrata geçerler.

# Filtrat Nefronda İdrara Çevrilir

- Bowman kapsülünde toplanan filtrat, hem atık maddeleri hem de temel besin maddelerini ve kanın hayatsal suyunun çoğundan oluşan bir karışımı içerir. Nefron, besin ve suyun çoğunu kana geri verirken, atık maddeleri tutar.
- Bu, iki işlemle gerçekleştirilir:
  - 1- Tübüler reabsorbsiyon
  - 2- Tübüler sekresyon

# 1- Tübüler reabsorbsiyon:

- Bu işlemde, proksimal kanal hücreleri, kanal içindeki filtrattan su ve besin maddelerini uzaklaştırır ve onları kana geri verir.
- Tuz, amino asit ve glukoz gibi diğer besin maddelerinin geriye absorpsiyonu, genellikle aktif taşıma ile olur. (Kanal hücreleri bu besin maddelerini kanalın dışına taşımak için enerji harcar).
- Daha sonra bu besin maddeleri, diffüzyonla etraftaki kılcal damarlara girer.
- Besin maddelerini, suyun ozmozla kanalın dışına çıkışı izler.
- Üre gibi atıklar kanalda kalır ve suyun kanalı terk etmesiyle daha da yoğunlaşır.

## 2- Tübüler Sekresyon :

- Bu işlemde, daha önce Bowman kapsülünün içine filtre edilmemiş olan atık maddeler ve fazlalık maddeler, **ekskresyon** için kandan uzaklaştırılır
- Bu atık maddeler, kanal hücreleri tarafından aktif olarak distal kanala salgılanır.
- Salgılanan maddeler **hidrojen, potasyum iyonları, amonyak** ve **bazı ilaçları** içerir.

# Henle Kulpu İdrarın Yoğunlaşmasını Sağlar

- Memeli hayvan ve kuşların böbrekleri, kendi kanlarından daha yoğun (daha yüksek ozmotik basınca sahip) idrar oluşturma özelliğindedirler.
- İdrarı yoğunlaştırma yeteneği, hem nefron hem de birkaç nefronun içine boşaldığı toplama kanallarının özelliğine bağlıdır.
- İdrar yoğunlaşabilir. Çünkü, Henle kulpunun etrafını saran sıvıdaki tuz ve ürenin, ozmotik konsantrasyon gradienti vardır. Bu gradient, medulla içinde yer alan Henle kulpu tarafından oluşturulur. En fazla yoğun olan sıvı, Henle kulpunun dip tarafını çevreler.
- Toplama kanalı, bu ozmotik gradient içinden geçer. Filtrat, ozmotik olarak yoğun olan sıvı tarafından çevrilen toplama kanalı kısmından geçerken, suyun fazlası ozmozla filtrattan ayrılır, fakat atıklar filtratta kalır.
- Bu nedenle, filtrat toplama kanalından akarken idrar haline gelmiştir, çevredeki sıvının konsantrasyonuna ulaşarak ozmotik bir dengeye ulaşabilir. Geri kalan kısım, suyun girmesine ya da ürenin kaçmasına müsaade etmeyeceği için idrar yoğunluğunu sürdürür. İdrarın yoğunluk derecesi **antidiüretik hormonun (ADH)** miktarıyla kontrol edilir.



# **Böbrekler, Homeostasis İçin Önemli Organlardır**

- İnsan vücudunda bulunan kanın her bir damlası, bir günde yaklaşık 350 kez bir böbrekten geçer.
- Böylece böbrek, kan kompozisyonunu ayarlar ve homeostasisin devamına yardımcı olur.

## **Böbrekler Kanın Su İçeriğini Düzenler**

- Böbreğin en önemli fonksiyonlarından biri, kanın su içeriğini düzenlemesidir.
- İnsan böbrekleri, her bir dakikada 125 ml. sıvıyı filtre ederler.
- Eğer su, geri kana emilmezse, insan bir günde 180 litre idrar oluşturacaktır.
- Filtrat, tübüller ve toplama kanalından geçerken, su pasif olarak ozmozla geri absorbe edilir.

- Suyun kana geri absorpsiyonu, negatif geri bildirimle kontrol edilir. Geribildirim, kanda dolaşan **antidiüretik hormonun (ADH; vazopressin** de denir) miktarı ile çalışır. Bu hormon, distal tübül ve toplama kanalının suya karşı permeabilitesini artırır. Böylece idrardan daha fazla su geri emilir.
- ADH, hipotalamus hücreleri tarafından üretilir ve posterior hipofiz bez tarafından serbest bırakılır.
- Serbest bırakılan ADH, hipotalamustaki ve kalpteki reseptör hücreleri tarafından düzenlenir.
- Hipotalamus, kanın ozmotik yoğunluğunu kontrol eder.
- Kalpteki reseptör hücreleri ise kan hacmini kontrol eder.
- Örneğin, çöl sıcaklığında dehidratasyon olur, suyun kaybıyla kanın ozmotik yoğunluğu artar, kan hacmi azalır, bu da daha fazla ADH'nin bırakılmasını tetikler. Bırakılan ADH, suyun geriye absorpsiyonunu artırır ve kandan daha yoğun idrar oluşturur.

# Memeli Hayvan Böbrekleri Farklı Habitatlara Uyum Sağlamıştır

- ADH hormonunu kullanarak su dengesini ayarlamaya ilave olarak, bir çok memeli hayvan, yaşadıkları doğal habitatlarındaki suyun durumuna uyum sağlamış olan böbreklere sahiptirler.
- Suyu muhafaza etmek zorunda olan memeliler, kendi kanlarından daha yoğun idrar oluşturarak bunu yaparlar.
- Yoğunluk derecesi, Henle kulpunun uzunluğuyla belirlenir. Henle kulpu ne kadar uzun olursa, onu çevreleyen sıvıda oluşturulan tuz yoğunluğu o kadar yüksek olur.
- Tuz yoğunluğu ne kadar yüksek olursa, idrar toplama kanalından geçerken ozmozla idrardan uzaklaştırılan su miktarı o kadar fazla olur ve idrar o kadar fazla yoğunlaştırılır.
- Beklendiği gibi, kurak iklimlerde yaşayan hayvanlar en uzun Henle kulpuna sahiptirler, halbuki sulak alanlarda yaşayanlar nispeten kısa Henle kulpuna sahiptirler.

- Örneğin, Kunduzlar kısa kulplu nefronlara sahiptirler, idrarlarını kendi plazma yoğunluklarının iki katından daha fazla yoğunlaştıramazlar.
- İnsan böbrekleri kısa ve uzun kulplu nefronların karışımına sahiptir ve idrarlarını kendi plazmalarından 4 kat daha fazla yoğunlaştırabilirler.
- **Kanguru rat** gibi çöl kemiricileri ise, kendi plazma yoğunluklarınının 14 katı kadar daha yoğun idrar üretirler. Kanguru ratlar çok uzun kulplu nefronlara sahiptirler.

# Böbrekler, Kan Basıncının ve Kanın O<sub>2</sub> Miktarının Düzenlenmesine Yardımcı Olur

- Böbrekler tarafından üretilen iki hormon, kan basıncını ve kanın O<sub>2</sub> taşıma kapasitesini düzenlemede önemlidir.
- Kan basıncı düştüğü zaman, böbrekler dolaşıma **renin** salgılar. Renin, kanda dolaşan bir proteinden, ikinci bir hormon olan **angiotensin**'in oluşumunu katalizleyen bir enzim olarak etki yapar.
- Angiotensin, arteriollerin daralmasına sebep olur ve böylece kan basıncını artırır. Böbreklere kanı taşıyan arteriollerin daralması, kanın filtrasyon miktarını azaltır ve kandan uzaklaştırılacak su miktarının azalmasına sebep olur. Kanda suyun tutulması da, kan hacminin artışına yol açar ve sonuçta da kan basıncı artar.
- Böbrekler ikinci bir hormon salgılar, bu hormon **eritropoietin**'dir. Bu hormon, kan yoluyla kemik iliğine ulaştırılır ve burada, daha fazla eritrosit üretimini uyarır. Böylece, daha fazla eritrosit, daha fazla O<sub>2</sub> taşınmasını sağlayacaktır.

- Böbrekler, suya ilave olarak, kanın kompozisyonununun sabit kalması için glukoz, amino asit, vitaminler, üre,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{SO}_4^-$  miktarlarını da düzenler.
- Böbrekler, hidrojen ve bikarbonat iyonlarının miktarını düzenleyerek, kan pH'sının da sabit kalmasını sağlar.
- Bu mükemmel organ, potansiyel olarak zararlı olan bazı ilaçları, penisilini ve nikotini elimine eder.

# Nefron ve İdrar Oluşumu

- Nefronun kompleks yapısı onun fonksiyonuna uyum sağlamıştır.
- **1. Filtrasyon:** Su ve çözünmüş maddeler, glomerular kapillerin dışına, oradan da Bowman kapsülüne geçer, buradan da proksimal tübüle girerler.
- **2. Tübüler reabsorbsiyon:** Proksimal tübülde, filtratta bulunan önemli besinlerin çoğu, tübülün duvarı boyunca aktif olarak pompalanır ve kana geri emilir. Bu besinler, amino asitler, şekerler ve vitaminler kadar tuzların %75'ini içerir. Proksimal tübül suya oldukça geçirgendir, bu yüzden su, besinleri takip eder, tübülün dışına geçer ve ozmozla kana geri döner.



- **3.** Kuşlarda ve memelilerde eşsiz olan **Henle kulpu, idrarın yoğunlaştırılması** için önemlidir. Henle kulpu, çevresindeki ekstrasellüler sıvıda, kulpun altında en yüksek konsantrasyonda olacak şekilde, bir **tuz konsantrasyon gradienti** oluşturur. Henle kulpunun aşağı doğru inen kısmı, suya çok geçirgendir, fakat tuza ve diğer çözünmüş maddelere geçirgen değildir. Filtrat, aşağı doğru inen kısımdan geçerken, çevredeki sıvının konsantrasyonu arttıkça, su ozmozla tüpü terk eder.
- **4. Henle kulpunun yukarı çıkan ince kısmı**, suya ve üreye nispeten geçirgen değildir, fakat tuza geçirgendir, tuz diffüzyonla filtrattan uzaklaşır. Niçin? Tübülün içindeki ve dışındaki ozmotik konsantrasyon yaklaşık eşit olmasına rağmen, bu evrede ürenin seviyesi dış tarafta yüksektir, tuzun seviyesi ise iç tarafta yüksektir. Bu yüzden, konsantrasyon gradienti tuzun dışarı hareketine neden olur. Su, onu takip edemediği için, filtrat şimdi çevresinden daha az yoğun olmuştur.

- **5. Henle kulpunun yukarı çıkan kalın kısmı** da, su ve üreye geçirgen değildir. Burada, tuz aktif olarak filtratın dışına pompalanır, suyu ve atıkları geride bırakır.
- **6. Tuzu az, fakat üre gibi atıkları bulunduran sulu filtrat şimdi tübülün distal kısmına** gelmiştir, burada daha fazla tuz dışarı pompalanır. Bu kısım suya geçirgen olduğu için, su ozmozla tuzu takip eder. Tübüler sekresyon, tübül boyunca meydana gelmesine rağmen, özellikle distal kısımda aktiftir. Burada, K<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, NH<sub>3</sub> gibi bazı maddeler, bazı ilaçlar ve toksinler aktif olarak tübül içine pompalanır.

- **7. Filtrat toplama kanalına ulaşıncaya kadar, çok az tuz kalır ve suyun yaklaşık %99'u kana geri emilmiştir. Toplama kanalı, artık idrar adı verilen sıvıyı, Henle kulpu tarafından oluşturulan, artan konsantrasyon gradienti boyunca aşağıya taşır. Toplama kanalı, Antidiüretik hormon (ADH) bulunduğu zaman, suya çok geçirgendir, böylece su, dışarıdaki sıvının konsantrasyonu artarken ozmozla dışarı hareket eder. Eğer ADH yoksa, toplama kanalı suya geçirgen olmaz ve idrar, sulu ve seyreltik olur.**
- **8. Toplama kanalının aşağıdaki kısmı da, üreye geçirgendir. Böylece, filtrat, toplama kanalından aşağı doğru giderken, ürenin bir kısmı dışarı diffüze olur ve çevredeki sıvının ozmotik konsantrasyonuna katkıda bulunur. Su (ADH olduğu zaman) ve üre dışarı çıkarken, toplama kanalı içindeki idrarda çözünmüş artıkların konsantrasyonu, dışarıdaki sıvının yüksek ozmotik konsantrasyonu ile dengeye ulaşır.**