

## 7.4. BESİN ELEMENTLERİNİN HÜCRE MEMBRANLARINDA TAŞINMASI


- Bitki hücrelerine besin elementleri **plazma membranlarından** taşınarak girer.
- **Bu nedenle iki lipit molekülü kalınlığında olan plazma membranının besin elementlerinin alınmasındaki önemi büyüktür.**
- **Plazma membranı iyon ve molekül şeklindeki besin elementlerinin hücreye girişini ve atık maddelerin hücreden dışarı atılmasını düzenler.**

- **Plazma membranı ;**

- çevrenin fiziksel durumuna,
- diğer hücrelerden gelen moleküler sinyallere ve
- zarar verebilecek patojenlere ilişkin bilgileri

toplar ve gerekli karşı önlemleri oluşturur.

- Böylece çevreden hücreye besin elementlerinin girişı **plazma membranı tarafından saniye saniye sürekli kontrol edilerek düzenlenir.**

- 
- **Plazma membranından taşınarak çevreden hücre sitoplazmasına giren besin elementleri hücre içindeki öteki membranlardan da benzer ilkelere göre taşınarak değişik kompartmanlara girer.**
  - **Örneğin besin elementleri tonoplasttan (vakuol membranından) taşınarak vakuol sıvısı içerisine girer.**

Biyolojik membranlardan besin elementlerinin taşınması temelde iki şekilde gerçekleşir.

- (a) *Pasif Taşınma ve*
- (b) *Aktif Taşınmadır.*

- **Pasif Taşınma**

Pasif taşınma; *metabolik enerji kullanılmadan, denge oluşuncaya değin, besin elementlerinin konsantrasyon farkına ya da elektrokimyasal gradientine uygun olarak biyolojik membranlardan taşınmasıdır.* Oluşan denge ile birlikte taşınma pratik olarak durur.

Biyolojik membranlardan **pasif taşınma**:

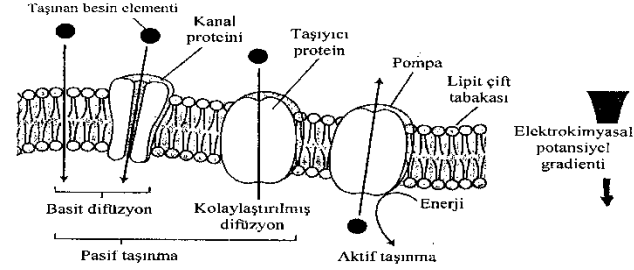
*(a)Basit Difüzyon* ya da

*(b)Kolaylaştırılmış Difüzyon* şeklinde gerçekleşir.

Membranlarda yerleşik *Taşıma Proteinleri* besin elementlerinin taşınmasında büyük önem taşır.

## Basit Difüzyon ile Taşınma


- Lipit çift tabakadan oluşan biyolojik membranlardan basit difüzyon ile **yüksüz moleküller** daha kolay ve daha hızlı taşınırlar
- Basit difüzyon ile biyolojik membranlardan taşınan moleküllerin çeşitlerinin sayısı çok fazla değildir.
- Bunlardan bitki gelişmesi için önemli üç tanesi  $O_2$ ,  $CO_2$  ve  $NH_3$  pasif taşınma ile biyolojik membranların lipit çift tabakasından en yoğun ve en sık şekilde taşınırlar.
- Polariteleri yüksek olan **su ( $H_2O$ ) molekülleri de** biyolojik membranların lipit çift tabakasından basit difüzyon ile taşınır.
- Bunun temel nedeni su moleküllerinin nötr özellikli olmaları yanında molekül hacimlerinin de çok küçük olmasıdır.



Şekil 7-10 Biyolojik membranalarda yerleşik taşıma proteinleri

- Basit difüzyon ile taşınma **Kanal Proteinleri** tarafından oluşturulan kanallar aracılığıyla da gerçekleşir.
- Özelliklerine, hidrasyon çaplarına ve yük miktarlarına göre biyolojik membranalarda **iyonlara özgü** kanalların varlığı belirlenmiştir.
- İyonlara özgü kanallar belirlenirken su ile birlikte difüzyon etmeleri nedeniyle özellikle iyonların hidrasyon çapları dikkate alınmaktadır.
- Günümüzde  $K^+$ ,  $Cl^-$  ve  $Ca^{+2}$  iyonları yanında organik iyonlara özgü kanalların varlığı saptanmış olup diğerleri içinde belirlenmesi mümkündür



- 
- Kanallar açık olduğu zaman difüzyon çok hızlı şekilde gerçekleşir ( $10^8$  iyon/saniye).
  - Kanallar uzun süre açık kalmaz
  - Kanal proteinleri çevreden alınan sinyale göre kanal kapağını kapatabilir
  - Kanalların seçici filtreleri vardır



# Kolaylaştırılmış Difüzyon ile Taşınma


- Biyolojik membranlardan *kolaylaştırılmış difüzyon ile taşınma*, membranlarda yerleşik **Taşıyıcı Proteinlerin** yardımıyla gerçekleştirilir.
- Membranların lipit çift tabakası özellikle elektriki yüke sahip iyonlara ya da besin elementlerine karşı geçirmezlik özelliğine sahiptir.
- Sahip oldukları elektriki yükler yanında hidrasyon sularının fazlalığı da iyonların lipit içerisinde çözünmelerini engelleyerek membrandan taşınmalarını önler
- Bu engel membranlarda yerleşik **Taşıma Proteinlerinin** yardımıyla aşılmaktadır.

- Normalde membrandan difüze olamayan yüklü iyonlar taşıyıcı proteinler aracılığıyla geçer
- Membranlarda çok sayıda olan proteinlerin çoğu taşıyıcı proteinlerdir
- Taşıyıcı proteinlerin kimileri membranalarda çözünme sorunu olan veya yüklü iyonlara destek vererek membrandan difüze olmasını sağladığından kolaylaştırılmış difüzyon denilmiştir
- Basit ya da kolaylaştırılmış difüzyonda taşınma tek yönlüdür ve yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona doğrudur
- Denge oluştuğunda taşınma durur

- Kolaylaştırılmış difüzyon ile taşınmada membranda yerleşik olan ve *Taşıyıcı* olarak da adlandırılan *Taşıyıcı Proteinler*, taşımakla yükümlü oldukları ve dışarıdan aldıkları besin elementini özel yörelerine yükleyerek membrandan taşırlar.
- Bu şekilde görevini tamamlayan taşıyıcılar eski yerlerine gider ve dıştaki besin elementlerini tekrar membrandan taşıma işini sürdürürler.
- Taşıyıcılar ile saniyede 100 ile 1000 kadar iyon ya da molekülün taşındığı saptanmıştır. Kanal içindeki taşınmaya göre taşıyıcılarla anılan şekilde taşınma  $10^6$  kat daha az ve daha yavaştır.

# Aktif Taşınma

- Aktif taşınma, *metabolik enerji kullanılarak besin elementlerinin konsantrasyon farkına ya da elektrokimyasal gradientine **karşıt** yönde olmak üzere biyolojik membranlardan taşınmasıdır.*
- Biyolojik membranlarla yerleşik **taşıyıcı proteinler** aktif taşınmada da görev yaparlar.
- **Hücre enerjisi olarak genelde ATP' nin hidrolizi ile oluşan metabolik enerji kullanılır.**
- **Taşınma hücre içine ya da dışına olmak üzere 2 yönlü**
- Çevrede konsantrasyonu düşük olan besin elementleri aktif taşınma ile hücrede birikir
- Hücrede konsantrasyonu az olan bir element de gerektiğinde aktif taşınma ile hücre dışına taşınır

- Bu görevin yerine getirilmesinde *Pompa* adı verilen taşıyıcı proteinlerden de etkin şekilde yararlanılmaktadır.
- Çoğunlukla pompa proteinleri  $H^+$  ya da  $Ca^{2+}$  gibi iyonların taşınmalarında kullanılmaktadır.
- **Konsantrasyon gradientine karşı aktif taşınım nasıl oluşur?** 

Taşıyıcının özel  
yerine KATYON ve  
ATP nin yerleşmesi

Taşıyıcının hücreye  
balan yönünün  
kapanması dışı  
bakan yanının  
açılması ve  
katyonun dışarıya  
verilmesi

ATP nin  
fosfat  
grubunun  
taşıyıcıya  
geçmesi ve  
fosforilize  
olması

Dış yanın  
kapatılması iç  
yanın  
açılması ve Pi  
nin  
sitoplazmaya  
salınması

## Besin Elementlerinin Bitki Kökleri Tarafından Seçilerek Alınması

- Besin elementleri, bitkilerin hücre membranlarından seçilerek taşınmalarına benzer şekilde bitki kökleri tarafından da *Seçilerek* alınır.
- Yüksek bitkilerde de *Alınan* ve *Biriktirilen* besin elementleri miktarları **bitkilere** ve **besin elementlerinin özelliklerine** göre değişir.



## 7.4.2.2 Elektrokimyasal Gradientler ve İyon Hareketleri

- Yüksüz iyonların bitkide birikimini açıklamak kolaydır çünkü membranın iki yanındaki konsantrasyon farkına göre alınmışlardır.
- Yani **kimyasal potansiyel** yönünden gradientin belirlenmesinde **Konsantrasyon Gradienti** tek başına yeterlidir
- Bu yüzden membranın iç ve dış yanlarında besin elementlerinin konsantrasyonu belirlenerek birikim oranı saptanır

- **Yüklü iyonlarda** ise birikimin pasif mi aktif mi olduğu belirlenemez
- Çünkü yüklü iyonlar **Kimyasal Potansiyel Gradienti** ve **Elektriki Potansiyel Gradientine** göre difüzyon ederler
- Yani **konsantrasyon** kadar **yükler** de etkili olur
- **ÖRNEK:** K geçişini **konsantrasyon** kadar **Elektriki Yük Gradientide** etkiler
- Çünkü membranların her iki yanındaki iyonların difüzyonları her iki yanda elektriki yük dengesi sağlanıncaya kadar sürer

- Yüke sahip **katyon** ve **anyon** miktarlarının farklılığı nedeniyle membranın her iki yanında **voltaj** ya da **potansiyel** farkı oluşur
- ÖRNEK: Sitozol, bağlı ya da difüze olamaz  $R-NH_2^-$  ve  $R-COO^-$  nedeniyle eksi (-) yüke sahiptir
- Metabolik enerji kullanılarak hücre dışına  $H^+$ ,  $Ca^{2+}$  ve  $Na^+$  pompalanır
- Böylece hücrenin her iki yanında katyon miktarındaki farklılık nedeniyle **Potansiyel farkı** ya da **Voltaj farkı** oluşur
- Sitozolde **negatif yükler**, plazmalemma dışında yani hücre duvarı yöresinde ise **pozitif yükler** çoğunluktadır
- Bu da **membran potansiyelini** oluşturur

- Membran potansiyeli VOLTMETRE ile ölçülebilir
- Bitki hücrelerinde membran potansiyelleri -60 mV ile -240 mV arasında değişir
- Membran potansiyel gradienti ile membranın her iki yanındaki iyon dağılımı arasındaki ilişki *Nernst* denklemi ile belirlenir

$$\Delta E_{nj} = \frac{2.3RT}{zF} \times \log \frac{C_{ij}}{C_{oj}}$$

- $\Delta E_{nj}$  = J iyonunun elektriki potansiyel farkı (*Nernst Potansiyeli* olarak da ifade edilmektedir)
- $C_{ij} / C_{oj}$  = J iyonunun hücrenin içindeki ( $C_{ij}$ ) ve dışındaki ( $C_{oj}$ ) molar olarak konsantrasyonu
- R= Gaz sabitesi ( $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )
- T= Sıcaklık (Kelvin olarak)
- F= Faraday sabitesi ( $96500 \text{ J V}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )
- z= J iyonunun elektriki yükü ya da birleşme değeri (Bir değerli katyonların 1, iki değerli katyonların 2 iken, bir değerli anyonların -1 ve iki değerli anyonların -2'dir)
- Değerler yerine konulup sıcaklık  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  'de tutulursa yukarıdaki Nernst eşitliği aşağıdaki şekli alır

$$-z\Delta E_{nj} = 59 \log \frac{C_{ij}}{C_{oj}}$$

- **Bu eşitlik belli tahminlerin yapılmasına olanak verir**
- Tahmin yapabilmek için **membran potansiyeli ile hücre içi ve dışındaki iyon konsantrasyonlarının belirlenmesi gereklidir**

- Hücre içinde;
- Belirlenen iyon konsantrasyonu ile Nernst eşitliği ile hesaplanan iyon konsantrasyonu birbirine
- yakın ise o iyon **PASİF TAŞINMIŞ**
- Ölçülen  $>$  hesaplanan ise **hücre içine AKTİF TAŞINMIŞ**
- Ölçülen  $<$  hesaplanan ise **hücre dışına AKTİF TAŞINMIŞ**

kabul edilir

iyon	Besin çözeltisinin konsantrasyonu mmol L <sup>-1</sup> (Co)	Bitki kökünde konsantrasyon mmol L <sup>-1</sup>		Birikim oranı (Ci/Co)	Ölçülen Ci ----- Hesaplanan Ci	Olası alınımların mekanizması
		Nernst eşitliği ile (hesaplanan Ci)	Analiz sonucuna göre (Ölçülen Ci)			
<b>BEZELYE KÖKÜ</b>						
K <sup>+</sup>	1.0	74	75	75	1.01	Difüzyon ile pasif taşınma
Na <sup>+</sup>	1.0	74	8	8	0.108	Aktif kök dışına taşınma
Ca <sup>2+</sup>	1.0	5400	1.0	1.0	0.00018	Aktif kök dışına taşınma
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.0	0.027	28	14	1037	Aktif kök içine alınma
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1.0	0.014	21	21	1500	Aktif kök içine alınma
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.25	0.000047	9.5	38	202127	Aktif kök içine alınma
<b>YULAF KÖKÜ</b>						
K <sup>+</sup>	1.0	27	66	66	2.4	Difüzyon ile pasif taşınma
Na <sup>+</sup>	1.0	27	1	3	0.11	Aktif kök dışına taşınma
Ca <sup>2+</sup>	1.0	700	1.5	1.5	0.0021	Aktif kök dışına taşınma
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.0	0.076	56	28	741	Aktif kök içine alınma
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1.0	0.038	17	17	447	Aktif kök içine alınma
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.25	0.00036	2	8	5555	Aktif kök içine alınma

Tüm iyonlarda birikim oranı > 1 olması kökte **biriktiğine işarettir**

K iyonu için belirlenen ve hesaplanan oranı 1.0 bezelyede **PASİF ALINDIĞINI**

Yulafta bir ölçüde de olsa **AKTİF ALINMA OLASILIĞINI işarettir**

Na ve Ca analizle belirlenenin küçük olması aktif ve/veya pasif yolla girmiş olanların **AKTİF** olarak **dışarı verildiğine işaret**

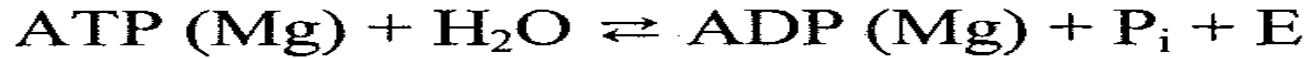
Anyonların belirlenen değerlerinin büyük olması **AKTİF ALINDIĞINA işaret**



# Aktif Taşınmada Enerji Kaynağı

## **ATP'de Saklı Enerji Kullanılarak Aktif Taşınma**

**Taşıyıcı proteinlerle besin elementlerinin taşınmasında enerji kaynağı olarak ATP doğrudan kullanılmaktadır.** Kimi kaynaklarda *Primer Aktif Taşınma* olarak da adlandırılır.



Bu hidroliz tepkimesi yaşayan her hücre membranında fazlaca bulunan bir enzim tarafından katalize edilmektedir.

Bu enzim çoğunlukla *ATPaz* olarak ifade edilen *ATP Fosfohidrolaz* enzimidir. Hücre membranlarında *ATPaz Taşıyıcı Protein* olarak da görev yapar.

Her bir ATP ve ADP molekülü bir Mg<sup>2+</sup> ile kilyetlenmiş olarak bulunur. Bu nedenle bitki gelişmesinde magnezyum (Mg) yaşamsal öneme sahip bir elementtir, Bir mol ATP'nin hidrolizi ile yaklaşık 32 kJ enerji açığa çıkar. İşte aktif taşınmada temelde kullanılan metabolik enerji açığa çıkan bu enerjidir.

- ATP'nin hidrolizi ile açığa çıkan metabolik enerjiden yararlanılmak suretiyle plazma membranından **hücre dışına tek yönlü olarak** yalnızca  $H^+$  ve  $Ca^{2+}$  iyonları H-ATPaz' lar ile pompalanmaktadır.
- Kısaca *Primer Aktif Taşınma* ile öteki bitki besin elementlerinin plazma membranından **hücre içine taşınması olası değildir.**
- Besin elementlerinin elektrokimyasal gradientlerine karşıt yönde hücre içine taşınmalarına gereksinim vardır ve bunun nasıl gerçekleştirildiği de aşağıda açıklanmıştır.

# Proton İtici Güç (PMF) Enerjisi ile Aktif Taşınma

- *Primer Aktif Taşınma* ile plazma membranından hücre dışına  $H^+$ -ATPaz' lar ile yalnızca  $H^+$  ve  $Ca^{2+}$  iyonları taşınmaktadır.
- ATP' nin hidrolizi ile açığa çıkan enerjiden yararlanılarak plazma membranından ve tonoplasttan  $H^+$ -ATPaz' larla proton ( $H^+$ ) taşınması, membranların iç ve dış kısımlarında membran potansiyelinin ve pH gradientinin oluşmasına neden olur.
- Membranların her iki yanında oluşan protonların ( $H^+$ ) elektrokimyasal potansiyel gradienti *Proton İtici Güç (PMF)* olarak adlandırılan önemli bir *Bağımsız Enerji Kaynağının* oluşmasına yol açar.
- İşte elektrojenik olarak  $H^+$  taşınımı ile oluşan proton itici güç enerjisi kullanılmak suretiyle gereksinim duyulan bitki besin elementleri elektrokimyasal gradientlerine karşıt yönde hücre içine taşınırlar.
- Kimi kaynaklarda bu olgu *Sekonder Aktif Taşınma* olarak da ifade edilmektedir.

*Taşıyıcı Protein*, hücre dışındaki bir protonu ( $H^+$ ) özel yerine alır.

Protonun yerleşmesi ile taşıyıcı proteinde taşınacak besin elementi (S) için de özel bir yer hizmete girer. Buraya taşınacak element (S) yerleşir.

Plazma membranındaki taşıyıcının dışa bakan yanı kapanırken hücre içine bakan yanı açılır ve proton ( $H^+$ ) ile birlikte taşınan madde sitozole aktarılır.

Taşıyıcı tekrar ilk şeklini alarak anlatıldığı gibi besin elementlerini taşımayı sürdürür.

Taşıyıcı tarafından proton ( $H^+$ ) ile bitki besin elementi (S) birlikte aynı yöne doğru taşındığı için bu şekildeki taşınma *Simport Taşınma* olarak adlandırılmaktadır.

Proton ( $H^+$ ) ile birlikte besin elementini (S) aynı yöne taşıyan taşıyıcı ise *Simport Taşıyıcı* olarak ifade edilmektedir.

Bir başka şekilde ise plazma membranı üzerinde yerleşik taşıyıcılarla proton ( $H^+$ ) dışardan sitoplazmaya taşınırken sitoplazmadaki besin elementi de (S) elektrokimyasal gradientine karşıt yönde hücre dışına taşınmaktadır. Hücre membranından protonun ( $H^+$ ) taşınma yönüne karşıt yönde besin elementinin taşıyıcı protein ile taşınması olgusu *Antiport Taşınma* olarak adlandırılmaktadır. Antiport taşınmayı gerçekleştiren taşıyıcı ise *Antiport Taşıyıcı* şeklinde ifade edilmektedir.

- Görüldüğü gibi gerek simport taşınmada ve gerekse antiport taşınmada besin elementi, elektrokimyasal gradientine karşıt yönde aktif şekilde taşınmaktadır.
- Ancak bu aktif taşınmada enerji kaynağı ATP değildir.
- Besin elementlerinin simport ve antiport taşınmalarında gerekli enerji proton itici güç (PMF) olarak adlandırılan enerjiden sağlanmaktadır.
- Yapılan araştırmalar sonunda bitkilerde  $\text{Na}^+$  elementinin özel  $\text{Na}^+$  -  $\text{H}^+$  Antiport Taşıyıcılarla hücre dışına taşındığı, buna karşın  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$ , sakkaroz, aminoasitler ve öteki besin elementlerinin özel Simport Taşıyıcılarla hücre içine taşındıkları saptanmıştır.



- Hücre dışında  $K^+$  konsantrasyonunun **çok düşük olduğu** durumlarda aktif olarak  $K^+$  iyonunun *Simport Taşıyıcılar* ile **hücre içine** taşındığı belirlenmiştir.
- Hücre dışında  $K^+$  konsantrasyonunun **yüksek olması** durumunda taşınmanın **özel  $K^+$  kanallarından difüzyon** ile gerçekleştiği saptanmıştır.



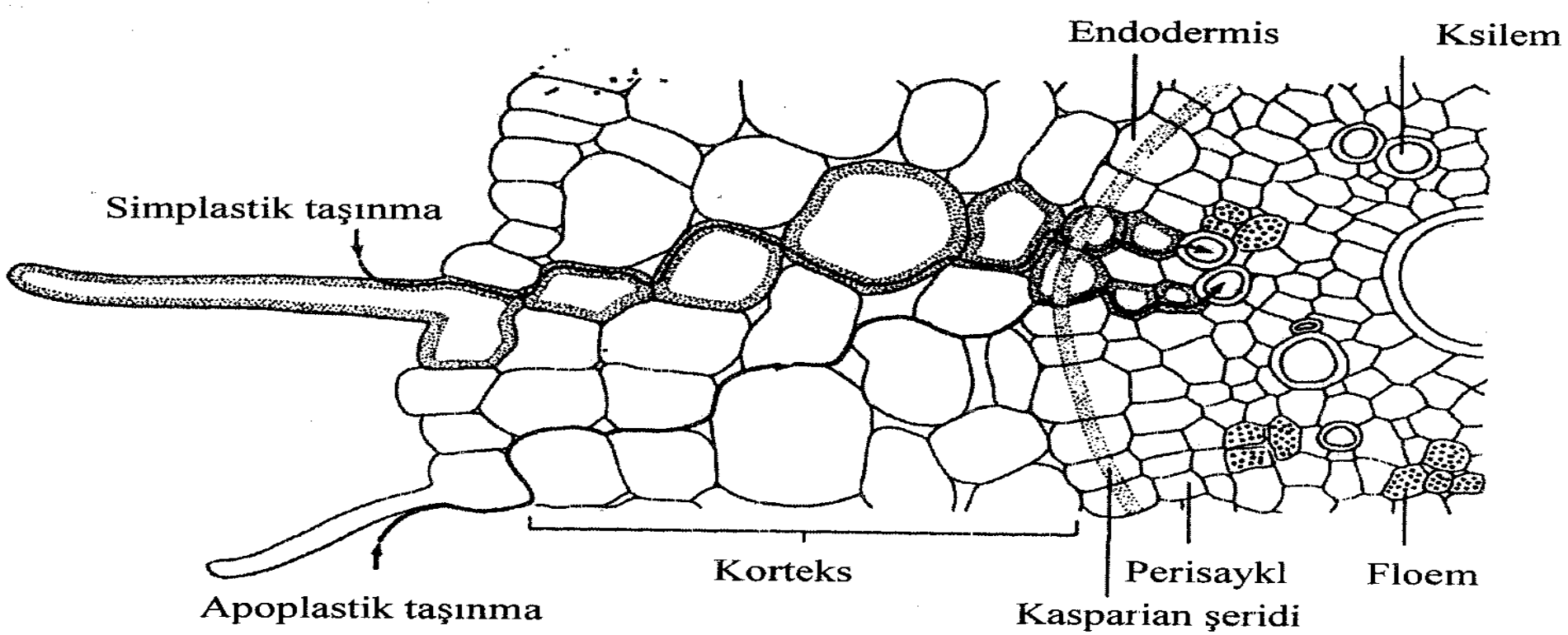
# **BİTKİ KÖKLERİNDE BESİN ELEMENTLERİNİN TAŞINMASI**

## **Besin Elementlerinin Ksileme Radyal Taşınması**

- Buraya değin besin elementlerinin ağırlıklı olarak bitki hücrelerinde taşınması ile ilgili bilgiler sunuldu.
- Köke giren ve radyal olarak taşınarak ksileme yüklenen besin elementleri bitkinin gereksinim duyulan organlarına aktarılmaktadır.
- Daha önce de belirtildiği gibi bitki besin maddelerinin tamamına yakını kök ucundan alınmaktadır.
- Besin maddelerinin kök ucunda meristem ve uzama yörelerine göre kök tüyü yöresinden göreceli olarak daha fazla alındığı kabul edilmektedir.

- Bilindiği gibi bitki hücreleri hücre duvarları tarafından epe evre sarılmış durumdadır.
- Bitki besin elementleri ve küçük moleküllü maddeler polisakkarit kafes aralıklarından difüzyon ederek hücre duvarlarını geçer ve hücrede **Bağımsız Yre** olarak adlandırılan yere girerler.
- Yapılan çeşitli araştırmalar bitkilerde toplam doku hacminin % 5 ile % 20 kadarını hücre duvarlarındaki bağımsız yörelerin oluşturduğunu göstermiştir.
- Bitki köklerinde hücrelerin bağımsız yöreleri tarafından oluşturulan kanala **Apoplast** adı verilmiştir.
- Su ve bitki besin maddelerinin apoplast içinde taşınmasına **Apoplastik Taşınma** denir.

- Kök hücrelerinin sitoplazmaları ise *Plazmodesmata* adı verilen plazma membranlarının boru Şeklindeki uzantılarıyla birbirlerine bağlanır.
- Kök hücrelerinin sitoplazmalarının birbirine bağlayan kanal *Simplast* olarak adlandırılır.
- Besin elementlerinin simplast içerisinde kesintisiz Şekilde radyal olarak ksileme değin taŐınmasına *Simplastik Taşınma* denir.



*Şekil 7-17. Kök tüyü yöresinden köke giren besin elementlerinin ksileme radyal taşınması*

Kök ucundan örneğin kök tüyü hücrelerinden köke giren besin elementleri **Simplastik Taşınma** ve **Apoplastik Taşınma** ile ksileme değin taşınırlar.

**Simplastik taşınma**, hücrelerin sitoplazmaları arasında bağlantıyı oluşturan **plazmodesmata kanallarından gerçekleşir**. Bu yolla besin elementleri epidermis, korteks, endodermis, perisaykıl hücrelerinin içinden geçerek plazma membranı bulunmayan ölmüş hücrelerin oluşturduğu ksilem iletim borularına aktarılır.

- Su ve suda çözünmüş besin elementleri, daha önce de açıklandığı gibi apoplast içerisinde difüzyon ve kitle hareketi ile hiçbir güçlkle karşılaşılmeden endodermise değin taşınır.
- Ancak endodermiste oluşan *Kasparian Şeridi* apoplast kanalını kapattığı için buradan su ve besin elementleri geçemez.
- Buraya değin gelen su ve besin elementleri zorunlu olarak plazma membranlarından, daha önce ayrıntılı olarak açıklandığı şekilde taşınarak endodermis hücrelerine girerler.
- Endodermis hücrelerine giren besin elementleri simplastik taşınma ile ksileme değin taşınırlar.

Simplastik taşınma ile kasparian şeridini geğeren besin elementlerinin geri dđnüşü kesinlikle olası değildir.

Bu besin elementlerinin kasparian şeridini geçerek geriye dđnmelerine olanak yoktur. Çünkü kasparian şeridi besin elementlerinin geriye dđnüşünü önler. Bu nedenle kasparian şeridinden sonra besin elementlerinin konsantrasyonu yüksektir.



# Besin Elementlerinin Ksileme Yükleneşmesi

- Simplasttan ksilem iletim borularına besin elementlerinin aktarılması olgusu *Ksilem Yükleşmesi* olarak ifade edilmektedir.
- Ksilem yükleşme mekanizması üzerinde tartışmalar günümüzde de yoğun şekilde sürmektedir.
- Besin elementleri simplasttan ksileme basit pasif difüzyon ile aktarılır.
- Bitki kökleri tarafından besin elementlerinin alınmasında metabolik enerji yalnızca plazma membranından hücreye taşınma evresinde kullanılır.
- Besin elementleri konsantrasyon gradientlerine uygun olarak simplasttan ksileme aktarılır. Bir görüşe göre de kökün iç kısmında ksileme doğru oksijen azlığı, besin elementlerinin pasif difüzyon ile canlı hücrelerden kolayca geçmesine ve ksileme yükleneşmesine yardımcı olur.




- Araştırma sonuçları, Besin elementlerinin ksileme yükleme olayının basit pasif difüzyon ile gerçekleşmediğini ksilem parankima hücrelerinin plazma membranlarında **H<sup>+</sup>-ATPaz' lar** yardımıyla besin elementlerinin aktif taşınması ve kanallardan geçmesi suretiyle gerçekleştiği görüşünü güçlendirdiğini ortaya koymaktadır.

# BİTKİ YAPRAKLARI İLE BESİN ELEMENTLERİNİN ALINMASI

- Bitkiler topraküstü organları ve özellikle yaprakları aracılığıyla besin elementlerini alarak beslenmelerine katkıda bulunurlar.
- Bitkilerin topraküstü organları bir yandan organik madde üretimi (fotosentez) işlevini yaparken, bir yandan da su ve suda çözünmüş organik ve inorganik maddelerle gaz şeklindeki besin elementlerini ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ) absorbe ederler.

Suda yaşayan (*Aquatic*) bitkilerde besin elementleri kök yerine temelde yapraklar aracılığıyla alınır. Kara bitkilerinde ise topraküstü organlarındaki ve yapraklarındaki epidermal hücrelerin üst kısmında oluşan *Ktin* ve *Mum Tabakası* nedeniyle besin elementi alımı önemli düzeyde ve olumsuz şekilde etkilenir.

Ktin tabakası su ve suda çözünmüş besin elementlerine karşı sınırlı geçirgenliğe sahiptir. **Genellikle karasal bitkilerde yapraklarla absorpsiyonun** kütikül içinde bulunan çatlaklarla ve epidermal hücrelerden ktiklar tabakaya değin yer aldığı görülen, *Ektodesmata* diye adlandırılan, ***Epidermal Hücre Plazmodesmaları* aracılığıyla yapıldığına inanılmıştır.**

- 
- Yaprak hücreleri tarafından bitki besin elementlerinin alınım mekanizması, kök hücreleri tarafından bitki besin elementlerinin alınım mekanizmasıyla temelde özdeştir.
  - Kök hücreleri gibi yaprak hücreleri de bitki besin elementlerinin alınımında apoplast yolunu göreceli olarak daha fazla kullanırlar.

- Püskürtülerek bitki besin elementlerinin uygulanması topraktan besin elementleri alımının sınırlandığı durumlarda yararlıdır. Bu özellikle  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  ve  $Cu^{2+}$  gibi ağır metal elementleri için söz konusudur.
- Anılan metaller çoğu kez toprak parçacıkları tarafından fikse edilmekte ve bunların bitki köklerinden absorpsiyonları güç olmaktadır.

- Püskürtülerek bitki besin elementlerinin uygulanmaları belli koşullarda önemli yarar sağlar.
- Ancak akıldan çıkarılmaması gereken önemli bir nokta, bitkilerin yaprakları aracılığıyla absorbe ettikleri besin elementi miktarları, bitkinin gereksinim duyduğu tüm besin elementleri miktarlarına oranla çok azdır.
- Bu durum özellikle bitkilerin yüksek düzeyde gereksinim gösterdikleri makro bitki besin elementleri yönünden önem taşır.
- O nedenle N, P ve K'un püskürtülerek uygulanması yaygın değildir.