

# BESİN MADDELERİNİN ALIM MEKANİZMALARI VE KISA MESAFE TAŞINIMLARI

Toprak ve besin çözeltisindeki mineral madde konsantrasyonu ile bitkilerin mineral madde içeriği ve bileşimi arasında önemli farklılıklar vardır. Kimi zaman topraklar ve besin çözeltileri bitkilerin ihtiyacından daha yüksek miktarlarda besin maddesi içerebilmektedirler.

**Çizelge 2.1.** Yetiştirme ortamındaki iyon konsantrasyonu ile *Nitella* ve *Volania* hücrelerinin özsuyunun iyon konsantrasyonu arasındaki ilişki

İyon	<i>Nitella</i> Konsantrasyon (mM)			<i>Volania</i> Konsantrasyon (mM)		
	A Tatlı su	B Hücre özsuyu	B/A oranı	A Tuzlu su	B Hücre özsuyu	B/A Oranı
K	0.05	54	1080	12	500	42
Na	0.22	10	45	498	90	0.18
Ca	0.78	10	13	12	2	0.17
Cl	0.93	91	98	580	597	1

Bitkiler sınırlı hacme sahip bir besin çözeltisinde yetiştirildiklerinde, yetiştirildikleri çözeltinin konsantrasyonu bir kaç gün içinde değişebilmektedir (Çizelge 2.2).

**Çizelge 2.2.** Belirli bir gelişme süresinden sonra, besin çözeltisinde yetiştirilen mısır ve fasulye bitkisinin iyon konsantrasyonları ve bitki gelişimine bağlı olarak besin çözeltisinde iyon konsantrasyonundaki değişim

İyonlar	Besin çözeltisi konsantrasyonu (mM)		Kök özsuyunun konsantrasyonu (mM)		
	Başlangıç	4 gün sonra	Mısır	Fasulye	
Potasyum	2.00	<b>0.14</b>	<b>0.67</b>	160	84
Kalsiyum	1.00	<b>0.94</b>	<b>0.59</b>	3	10
Sodyum	0.32	<b>0.51</b>	<b>0.58</b>	0.6	6
Fosfat	0.25	<b>0.06</b>	<b>0.09</b>	6	12
Nitrat	2.00	<b>0.13</b>	<b>0.07</b>	38	35
Sülfat	0.67	<b>0.61</b>	<b>0.81</b>	14	6

Yüksek bitki ve algler ile yürütülen bu iki farklı çalışmadan elde edilen sonuçlar iyon alımının aşağıdaki gibi karakterize edilmesini göstermektedir.

**Seçicilik:** Belirli besin maddeleri diğerlerine göre öncelikle alınmaktadır.

**Akümülyasyon:** Kimi zaman bitki hücreesindeki iyonların konsantrasyonu dış ortamdakinden yüksek olabilmektedir.

**Genotip (Çeşit):** İyon alım özellikleri bakımından bitki çeşitleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır.

## İyon ve Yüksüz Moleküllerin Dış Ortamdan Hücreye Taşınımı İyonların apoplazma geçişi

Küçük molekül ağırlıklı maddelerin (Örneğin: iyonlar, organik asitler, aminoasitler ve şekerler gibi) bitkilerin yetiştiği ortamdan, iyon alımında görev yapan hücrelere ve köklere hareketi metabolik bir olay olmayıp, pasif bir işlemdir. **Bu işlem difüzyon veya kitle hareketi ile gerçekleşir.**

Hücre duvarları selüloz, hemiselüloz ve glikoproteinlerden oluşur. Bunlar hücrelerin kuru maddesinde % 5-10' luk bir kısım oluştururlar.

Hücre duvarının bu kompleks yapısı değişik büyüklükteki interfibril ve intermisel boşluklar olarak adlandırılan porları içerir.

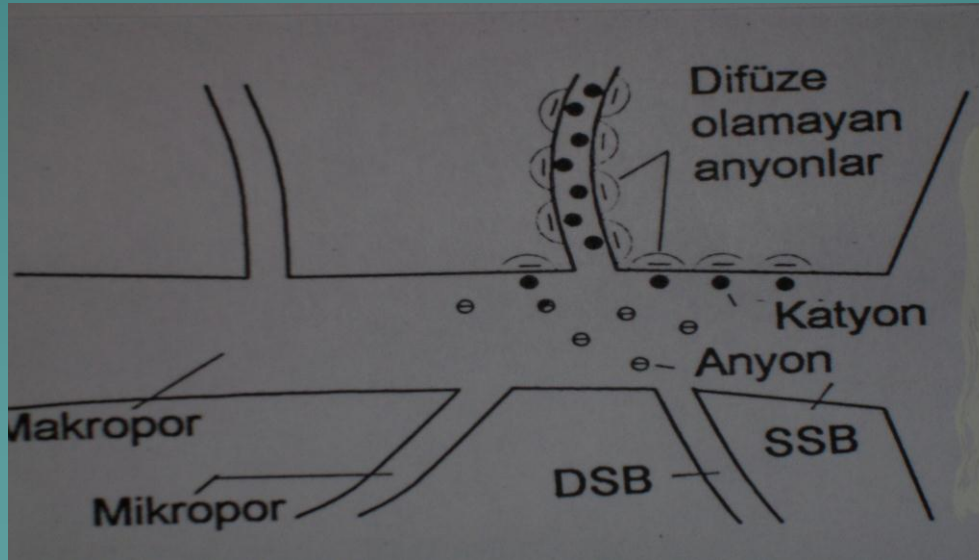
Bu porların büyüklükleri bitkiden bitkiye 3 nm ile 5 nm arasında değişir. Potasyum ve Ca gibi iyonların hidrate çapları por çaplarından % 10-20 oranında daha küçüktür. **Bu nedenle çapları itibariyle boşluklardan iyonların geçişi normal koşullarda bir engel ile karşılaşmamaktadır.**

**Çizelge 2.3.** Değişik bitki hücrelerinde por büyüklükleri ile bazı iyonların büyüklükleri

Bazı hücre ve moleküller	Çap (nm)
Rizodermal hücre duvarı	50-3000
Kortikal hücre duvarı	100-200
Hücre duvarındaki porlar	<5
Sakkaroz	1.0
K <sup>+</sup>	0.66
Ca <sup>+2</sup>	0.82

Mineral besin maddelerinin ve küçük molekül ağırlıklı organik maddelerin aksine, molekül ağırlığı büyük maddeler (Örneğin: metal kleytler, fulvik asitler ve toksinler) veya virüsler ve diğer patojenler kök hücrelerinin serbest boşluklarına geçişte engellenebilmektedir.

Hücre duvarının kompleks oluşumunda pektinler değişen oranlarda poligalakturonik asitten oluşur. Kökler ve hücrelerin duvarları apoplazm adı verilen bir oluşum ile diğer bitkisel dokulara bağlıdır. Köklerin yüzeyinde bulunan **karboksil grupları (R-COO-)** katyon değişimi yapmaktadır. Bu nedenle kökler ortamdan aldıkları katyonları yüzeylerinde metabolik olmayan bir şekilde tutarlarken anyonlar kök yüzeyinden uzakta kalmaktadır



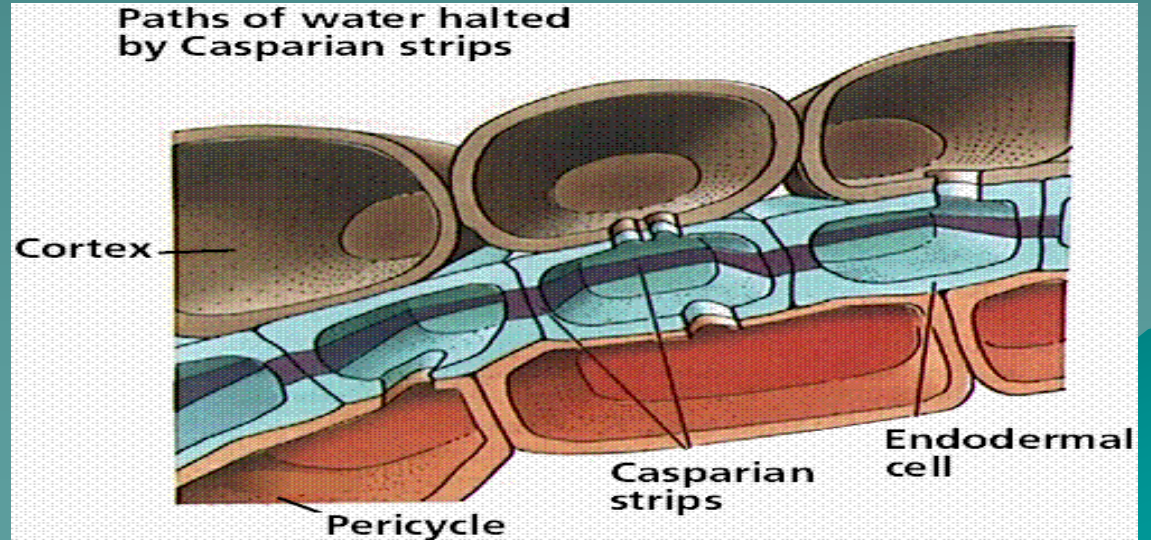
**Şekil 2.1.** İyon alımında boşluk sisteminin şematik görünümü. DSB, Donnan Serbest Bölgesi; SSB, Su Serbest Bölgesi

Genel bir kural olarak KDK, dikotiledon bitkilerde monokotiledon bitkilerden daha yüksektir. Ortam pH' sında düşme oldukça KDK' da düşmektedir.

#### Çizelge 2.4. Değişik bitki köklerinin katyon değişim kapasiteleri

Bitki çeşidi	KDK (meq 100g <sup>-1</sup> , kuru ağırlık)
Buğday	23
Mısır	29
Fasulye	54
Domates	62

İyonlar hücre içerisine geçişte kaspariyan şeridi ve ekzodermis engeli ile karşılaşırlar. Bu engeli sadece katyonlar aşabilmektedir.



**Çizelge 2.5.** Arpa bitkisinin çinko alımı ve çinkonun bitkide taşınımı

Uygulanan Zn formu	24 saatte alınan ve taşınan Zn oranı ( $\mu\text{g Zn g}^{-1}$ kuru ağırlık)	
	Kök	Gövde
ZnSO <sub>4</sub> (1 mg Zn l <sup>-1</sup> )	4598	305
ZnEDTA	45	35

## İyonların sitoplazma ve vakuole geçişleri

Hücre duvarlarının katyon bağlamada seçiciliğine rağmen, temelde alınan katyon ve anyonların seçimi iyon alımı ile ilgili hücrelerin plazma membranında gerçekleşmektedir.

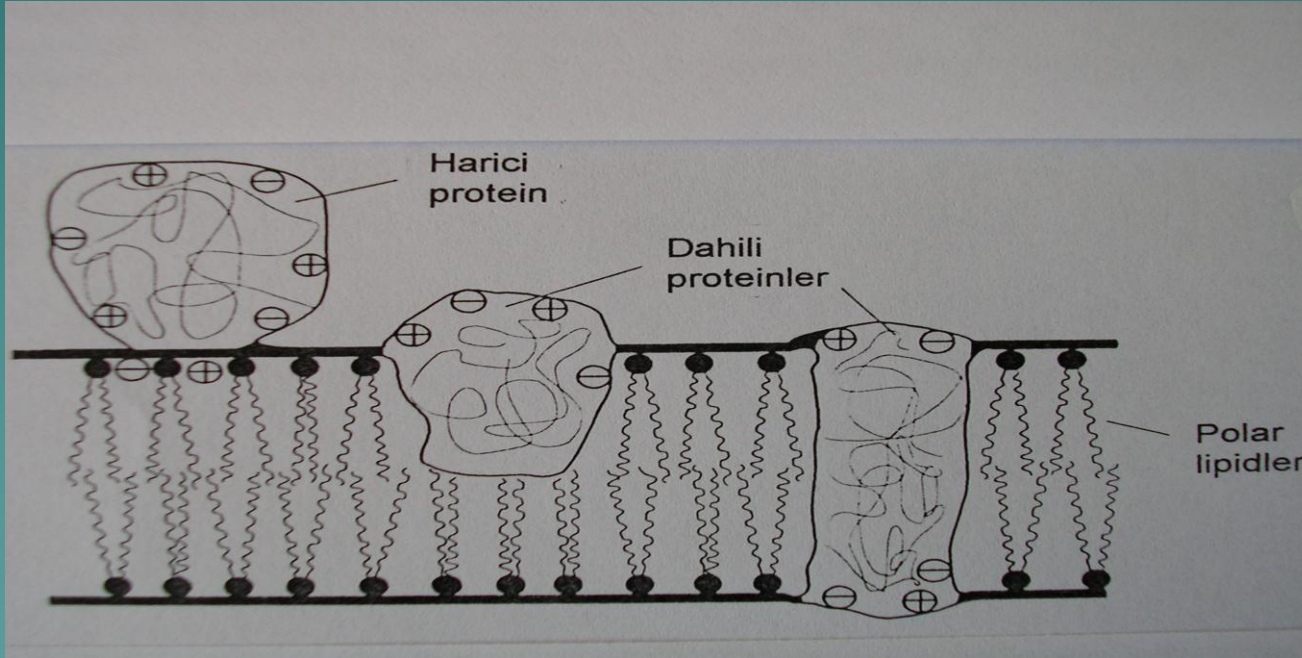
Plazma membranı moleküllerin apoplazmdan sitoplazmaya girişinde ve sitoplazmadan apoplazma difüzyonunda etken bir bariyerdir. Plazma membranı aynı zamanda her iki yöne (giriş-çıkış) aktif taşınım da görev yapmaktadır.

İyonların difüzyonunu engelleyen diğer bariyer ise tonoplast (vakuol membranı) dır. Pek çok yetişkin bitki hücresinde vakuol toplam hücre hacminin % 80-90' ını oluşturur. Vakuoller iyon ve diğer moleküller için merkezi depolama kısmı olarak görev yaparlar.

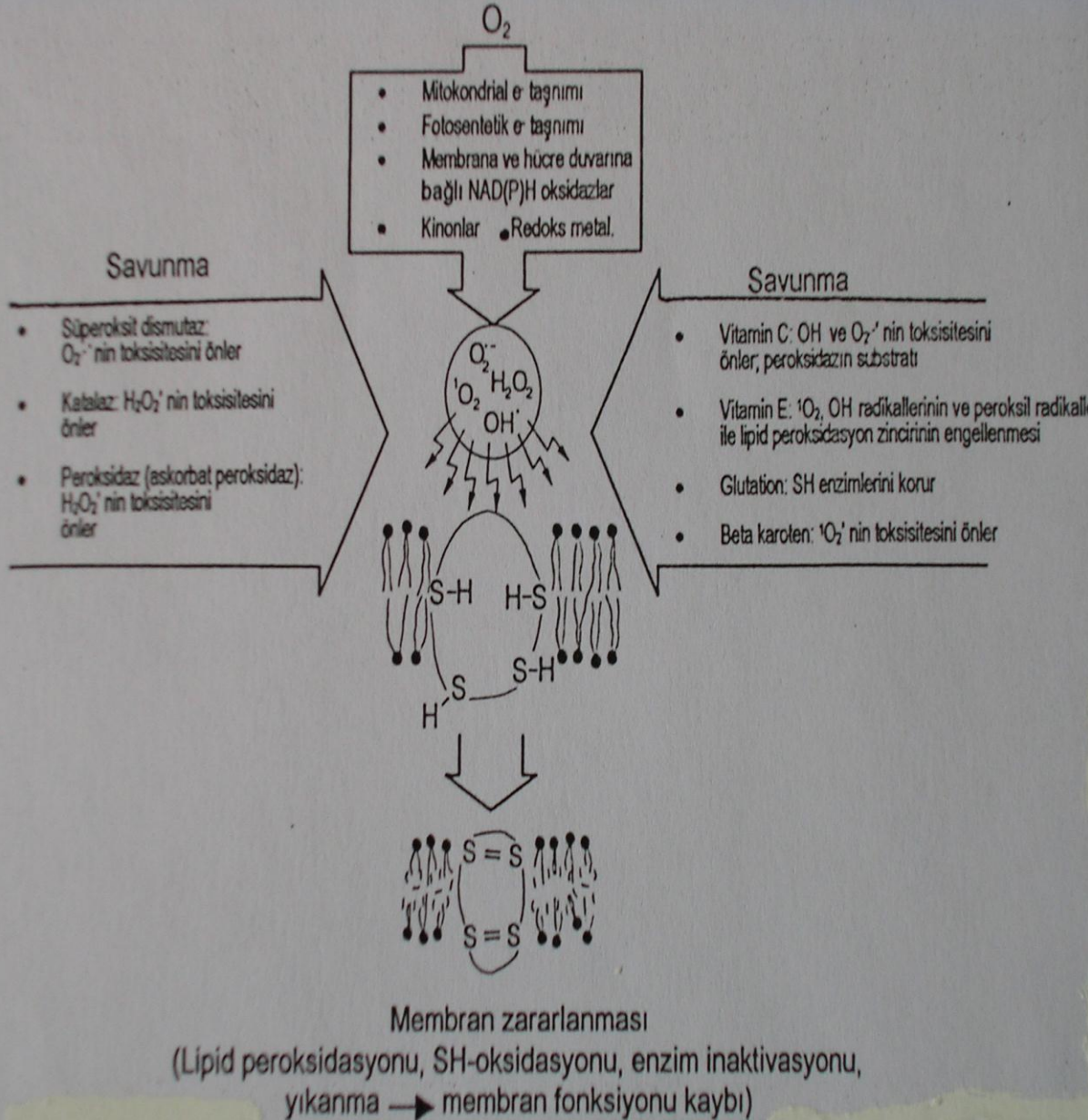


## Membranların Yapısı ve Bileşimi

Hücre membranları büyük molekül ağırlıklı maddelerin geçişini engelleyici etkiye sahiptir. EDTA gibi sentetik kleytler ve demir için spesifik kleyt olan mikrobiyel sidereforlar yüksek moleküler ağırlığa sahiptirler ve bunların hücre membranlarına geçişi kök hücrelerinin plazma membranı tarafından engellenmektedir.



**Şekil 2.3.** Polar lipidli bir biyomembran modeli. Membrana proteinlerin katılımı ve sonuç olarak membranda oluşan protein kanalları



**Toksik oksijen grupları; süperoksit ( $O_2^{\cdot-}$ ), hidroksil (OH.) ve hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) radikalleridir.**

**Bu radikaller oksijenin yer aldığı fotosentez, respirasyon, plazma membranında NADPH veya NADH'ın oksidasyonu gibi pek çok reaksiyon ve metabolik işlemlerde oluşur.**

- ◆ Toksik oksijen gruplarının toksisitesi enzimlerin tiol (-SH) gruplarının ve membranlarının doymamış çoklu yağ asitlerinin peroksidasyonu ile ortaya çıkmaktadır.
- ◆ Bitkiler ve aerobik organizmalar oksijen radikalleri, hidrojen peroksit toksisitesi ve süperoksit dismutaz ( $O_2 \cdot^- \longrightarrow H_2O_2$ ) ve peroksidaz/katalaz ( $H_2O_2 \longrightarrow H_2O$ ) toksisitesine karşı önleyici bir savunma mekanizmasına sahiptirler.
- ◆ Bitkilerin mineral beslenmesi, toksik oksijen gruplarının ve hidrojen peroksitlerin oluşumu ve detoksifikasyonu mekanizmalarını etkileyebilmektedir.

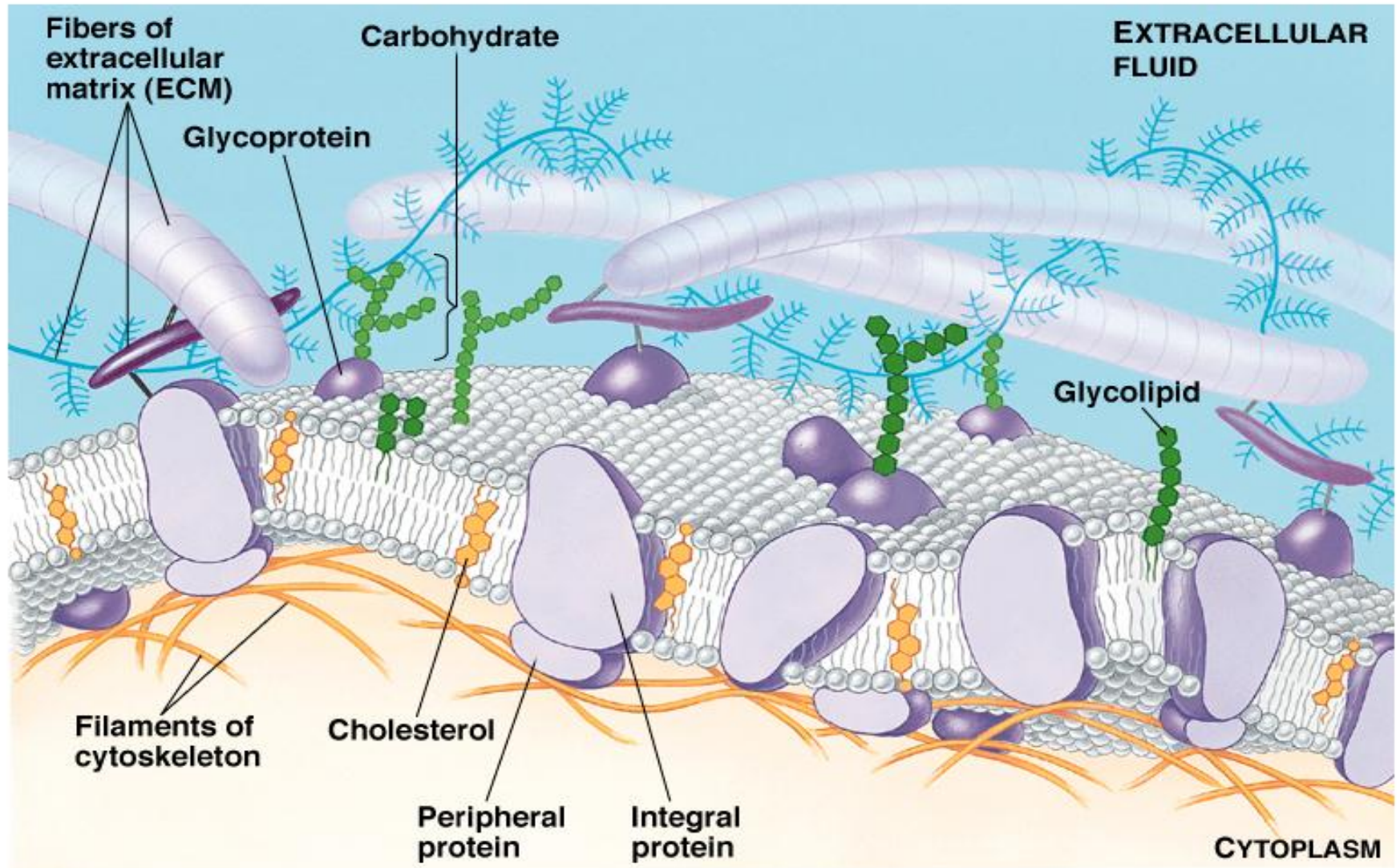
# Moleküllerin Membran Geçişleri

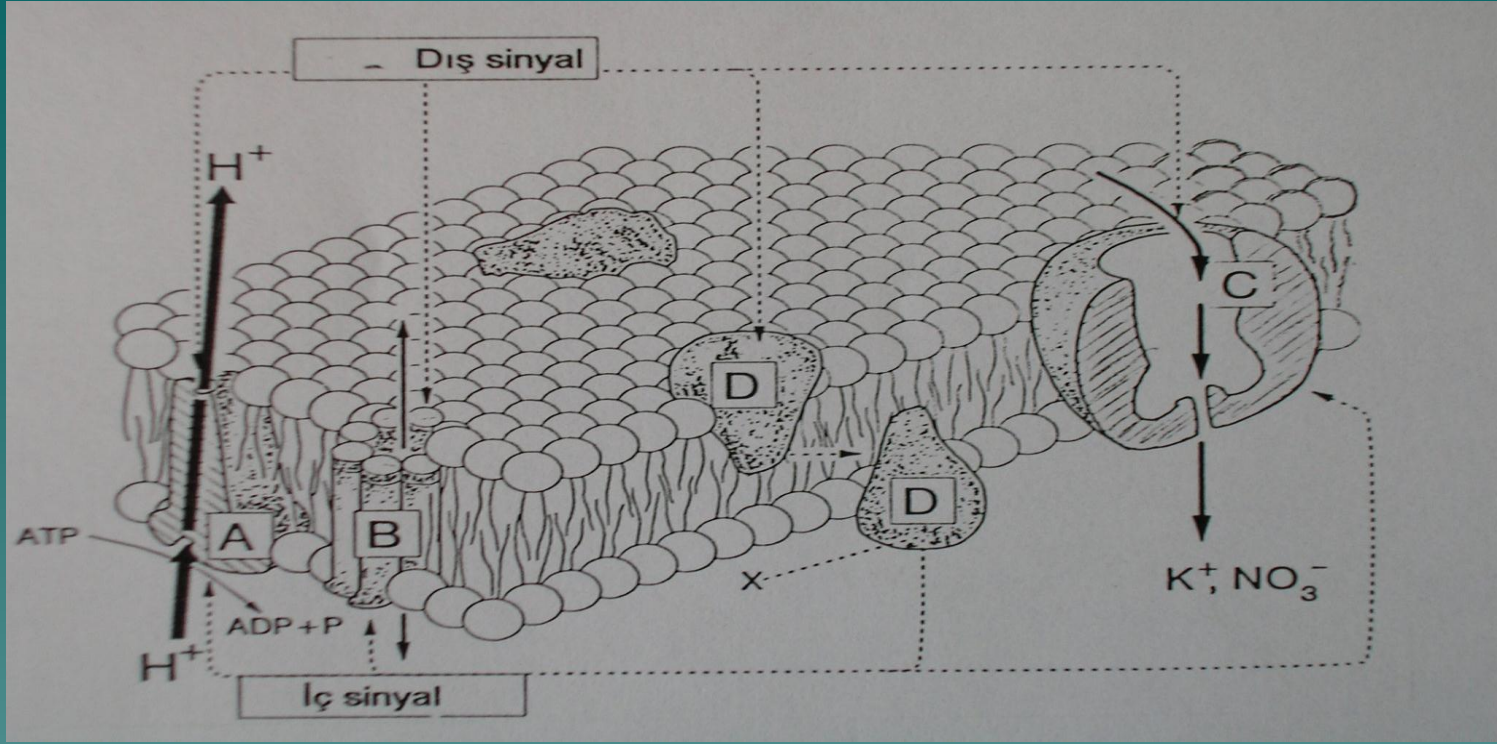
## Moleküllerin taşınımı ve enerji gereksinimi

- ◆ Membranlar, iyonların ve yüksüz moleküllerin girişini engelleyici bariyerlerdir. Bununla birlikte membranlar moleküllerin konsantrasyon gradientine zıt yönde hareketini sağlayan seçici özelliklere de sahiptirler.
- ◆ İyon taşıyıcılar çoğunlukla protein özelliğindedirler. Selektif iyon alımında ve taşınımında enerji bakımından zengin fosfatlar (ATPaz) kullanılmaktadır.
- ◆ Vejetatif gelişmenin hızlı olduğu dönemde köklerin iyon alımı için gereksinim duyduğu enerji miktarı artmaktadır. Respirasyonla kazanılan toplam enerjinin % 36' sı iyon alımında kullanılmaktadır. Bitkinin yaşı büyüdükçe bu enerjiye olan ihtiyaç da giderek azalmaktadır

## Aktif ve pasif iyon alımı

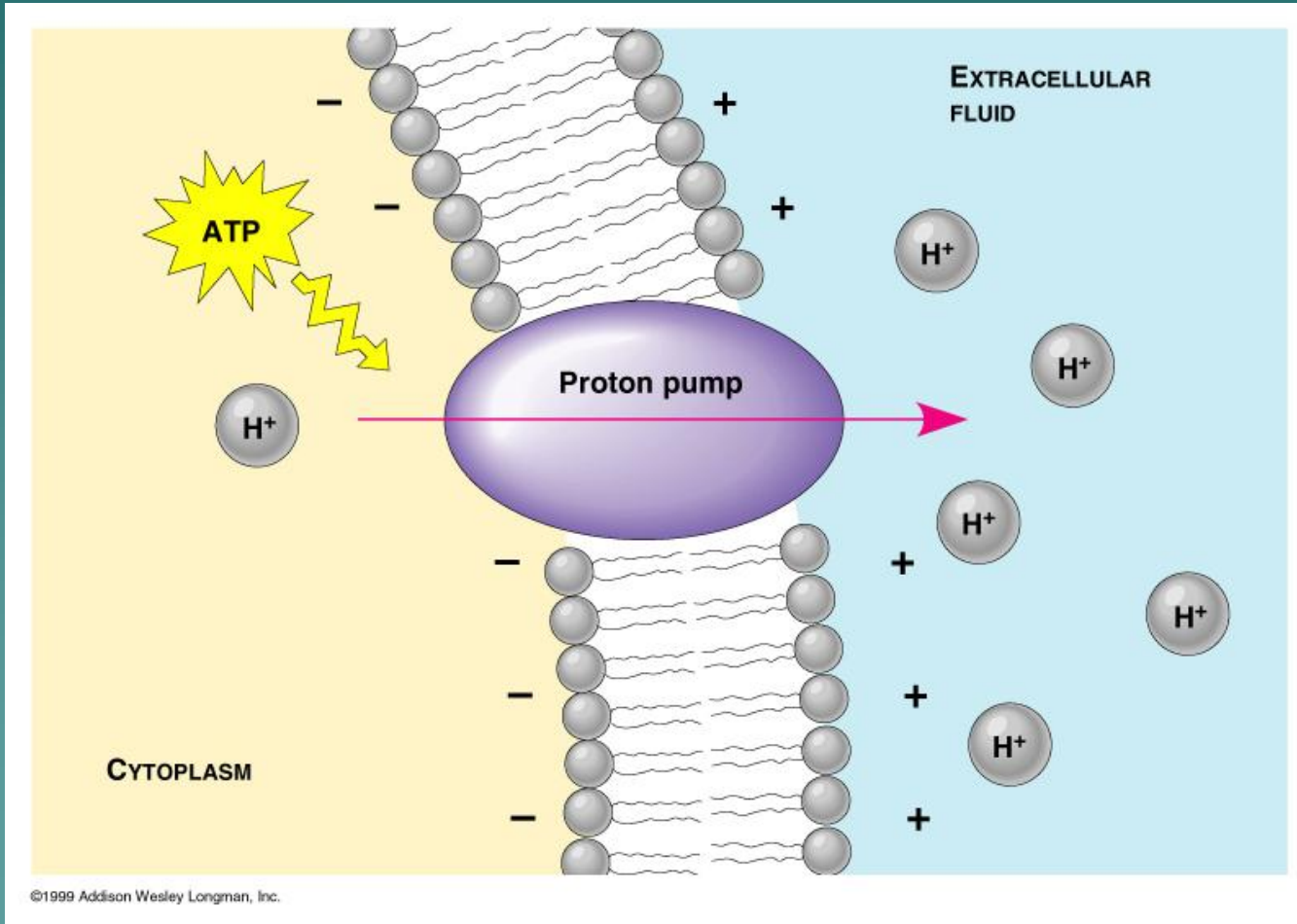
- ◆ Moleküllerin membranı geçerek taşınmaları için aktif proses her zaman gerekli değildir. Moleküllerin bir kısmı dış ortamdan membran içine konsantrasyon farkına bağlı olarak çok yoğun ortamdan az yoğun ortama doğru difüzyon ile taşınabilmektedir. Bu taşınım olayı termodinamik bakımdan pasif bir taşınım şeklidir.
- ◆ Bunun aksine potansiyel enerji gradientine zıt yönde taşınım olayı için mutlaka enerjiye ihtiyaç duyulan (membranda iyon pompası gibi, ATPaz) mekanizmalara gereksinim vardır.
- ◆ ATP' nin yönettiği H<sup>+</sup> pompası H<sup>+</sup>' i membranlar aracılığıyla iç yüzeyden dış yüzeye taşımaktadır. Örneğin H<sup>+</sup>' ler sitoplazmanın plazma membranından apoplazma taşınmaktadır. Böylece pH ve elektropotansiyelde bir gradient oluşmaktadır. **Kasyon ve anyonların gradient yönünde taşınımına iyon seçici taşıyıcılar veya kanallar aracılık etmektedir.**



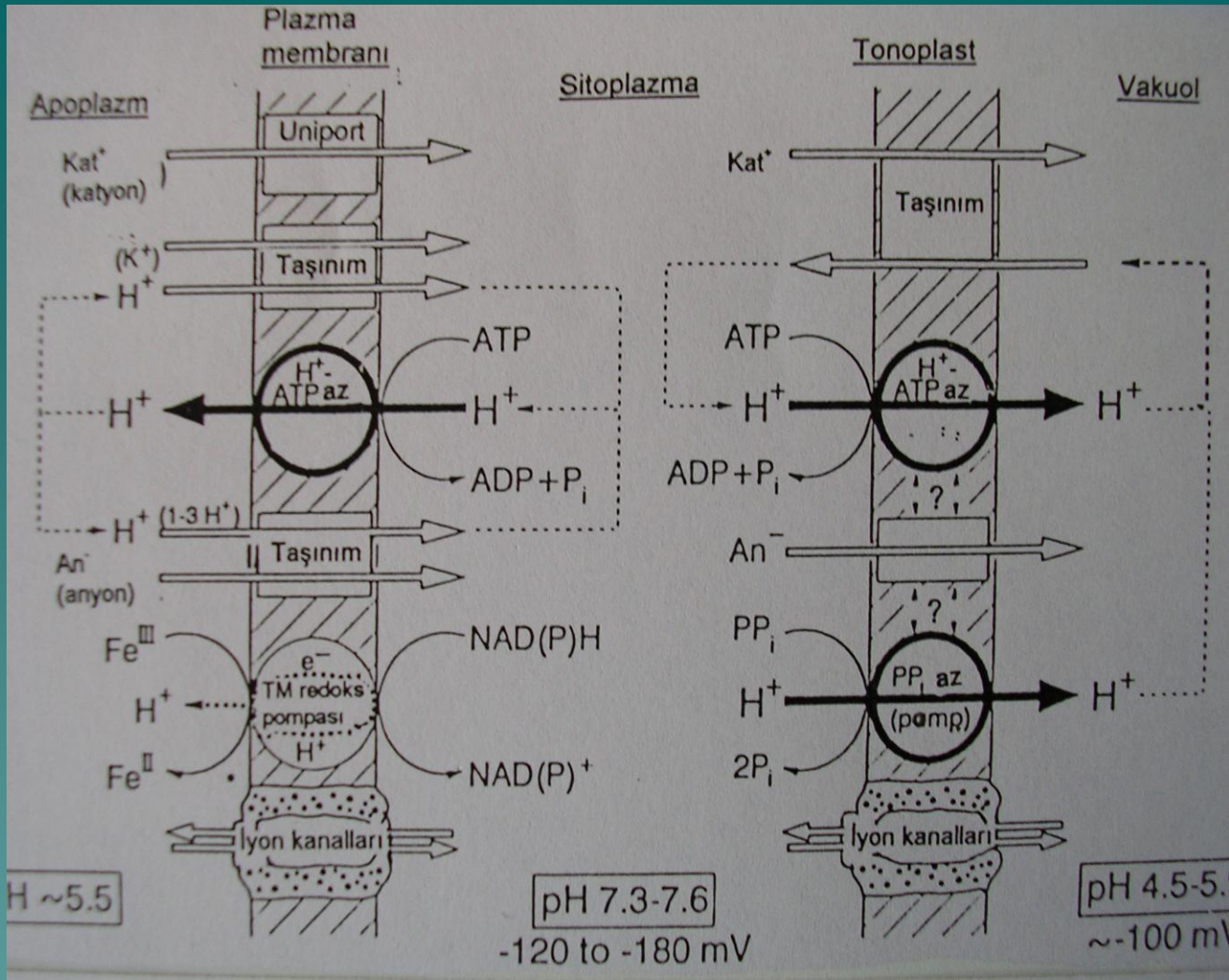


**Şekil 2.7.** Plazma membranlarında iyon taşınımında temel mekanizmalar. A: H<sup>+</sup> pompalayan ATPaz; B: İyon kanalı; C: Taşıyıcı; D: Sinyal alan ve sinyalleri yansıtan proteinler

Bitkilerdeki proton pompaları plazma membranı ve tonoplastta yer almaktadır ve bunlar sitoplazmanın pH' sını düzenlemektedir. Bu protonlar  $H^+$  i plazma membranı aracılığıyla sitoplazmadan apoplazma veya tonoplast aracılığıyla vakuole göndererek bu kısımlar arasında oluşan tipik pH farklılaşmalarını sağlarlar.





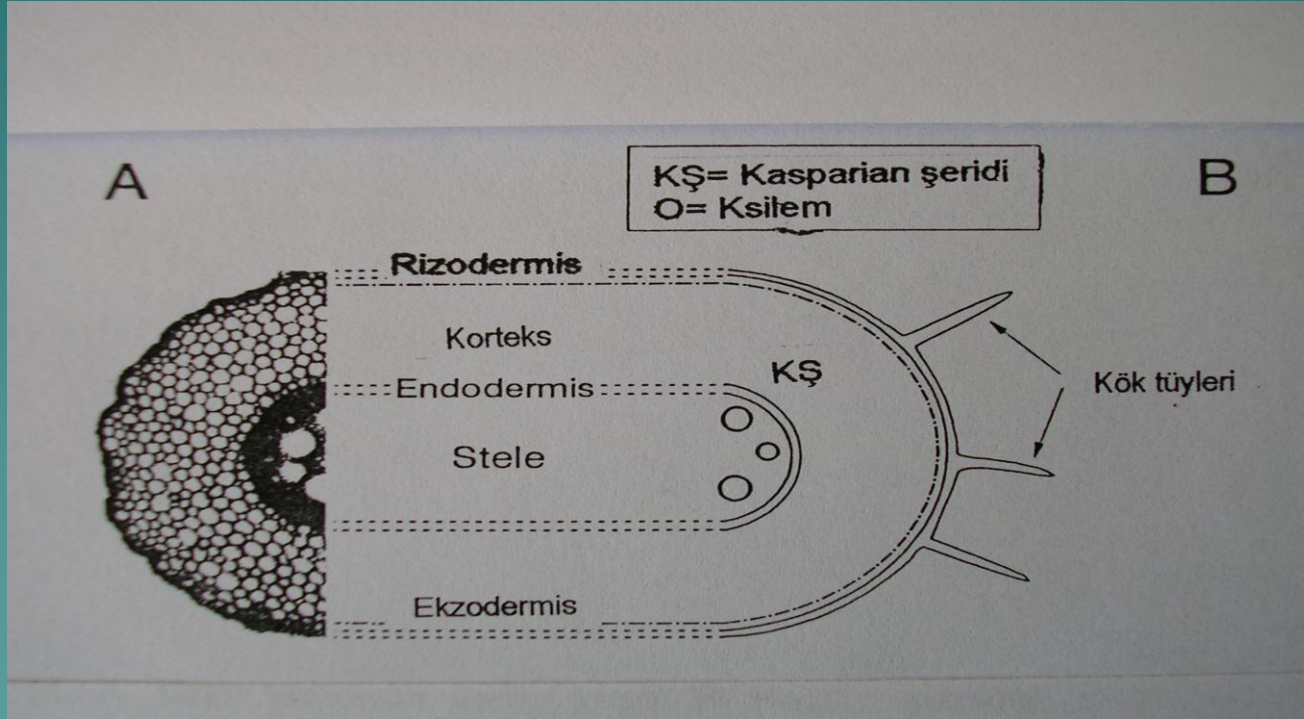


**Şekil 2.8.** Elektrojenik proton pompaları ( $H^+$ -ATPaz,  $PP_i$ az) nın lokasyonu ve fonksiyonları, transmembran redoks pompası (NAD(P)oksidaz), iyon kanalları ve kation ve anyonların plazma membranı ve tonoplastı geçerek taşınımlarına ilişkin model

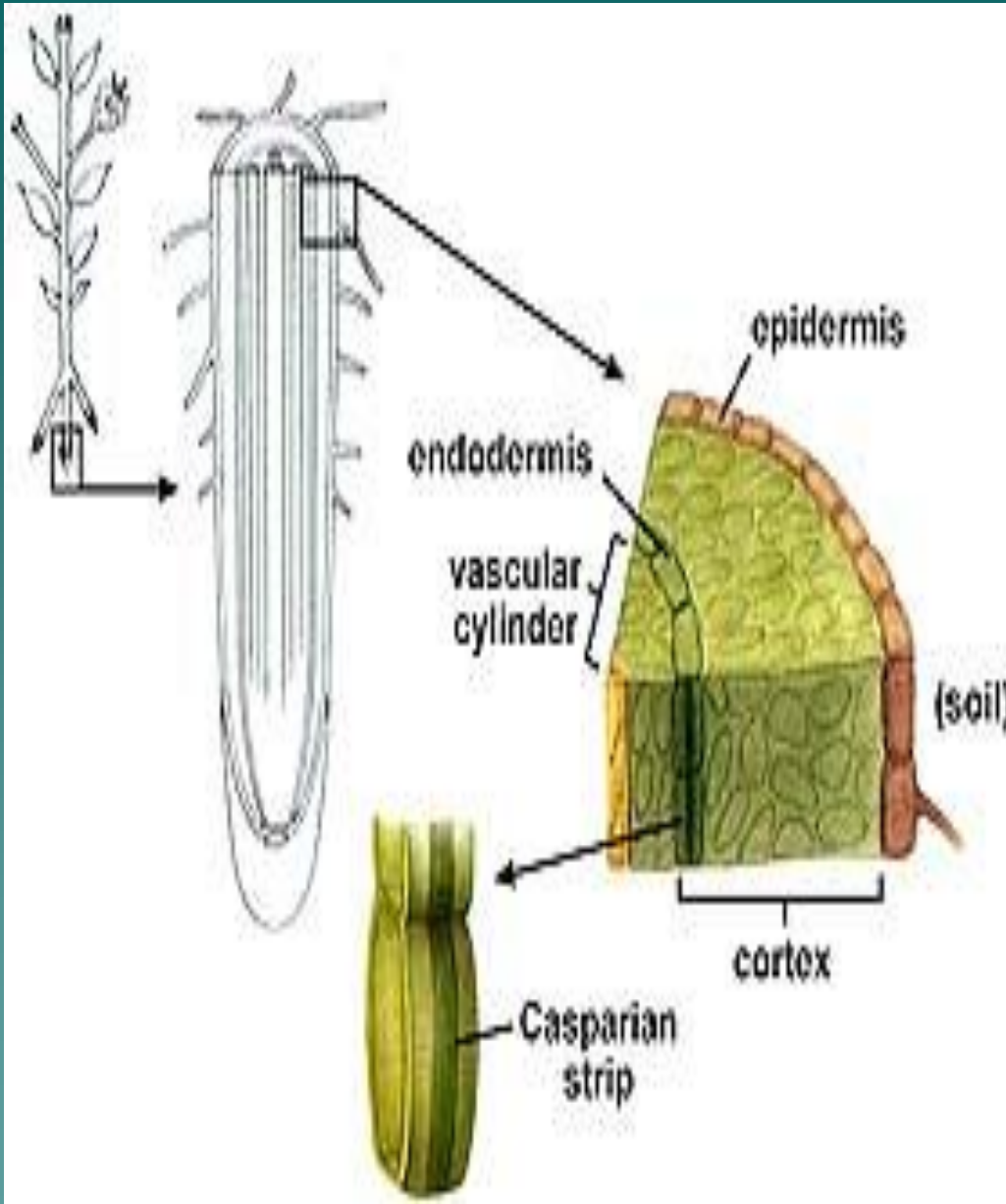
# Köklerin İyon Alım Karakteristikleri

## İyonların apoplazma geçişleri

İyonlar kök hücrelerinin plazma membranına ulaşmadan önce hücre duvarını geçmek zorundadırlar. İyonlar ve diğer küçük molekül ağırlıklı maddelerin difüzyon ve kitle hareketi ile taşınımı köklerin dış yüzeylerinde yer alan rizodermal hücreler tarafından engellenir (Şekil 2.11).



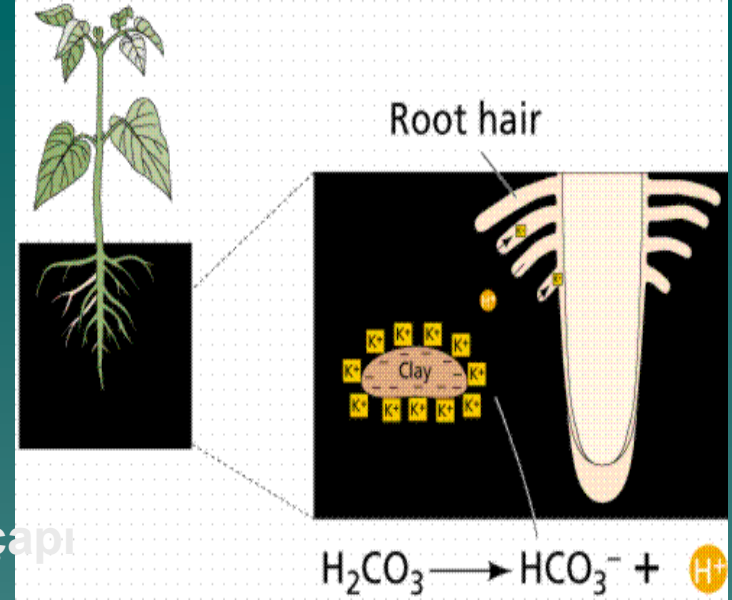
Şekil 2.11. A. Mısır kökünün yatay kesiti B. Kesitin şematik görünümü



Endodermisi enine ve boydan boya çevreleyen hücre duvarları, hidrofobik özellikte olup kaspariyan şeridi adı verilen bu oluşum ile iyonların kökün orta merkezi silindrine (steleye) geçişi engellenir. Ekzodermis iç kabukta mikroorganizmaların kolonizasyonunu engelleyici bariyer fonksiyonuna sahiptir.

# İyonların fizikokimyasal özellikleri ve kök metabolizması

- ◆ Apoplazmanın hücre duvarlarında yüklü iyon grupları arasındaki etkileşimlere rağmen, köklerin iyon alım karakteristikleri iyonların plazma membranını geçişleri ile belirlenir. Membranların dinamik özelliklerine rağmen iyonların çapı ve yükleri gibi fizikokimyasal özellikleri onların membrandan geçişlerini belirlemede dikkate değer bir öneme sahiptir.



## İyon alımında yüklerin önemi

Membranların yapı taşları olan fosfo- ve sülfolipidler ve proteinler elektriksel yüklü grupları içerirler ve iyonlar bu gruplar ile etkileşim halindedir. Genel bir kural olarak, bir etkileşimin gücü aşağıdaki sıralama şeklindedir:

Yüksüz molekül < Kat.+, An.- < Kat.+2, An.-2 < Kat.+3, An.-3

İyonların alınma oranları ise bu sıralamanın tersinedir. Yine iyonların hidrate çapları da bu sıralamayı etkilemektedir.

## ◆ **Metabolik aktivite**

İyonlar ve diğer moleküller konsantrasyon gradientine zıt yönde akümüle olduklarından enerjiye ihtiyaç duyarlar. Bu enerji fotosentez yapmayan doku ve hücrelerde (kökler dahil) respirasyon tarafından sağlanır. Respirasyonu etkileyen bütün faktörler iyonların akümülesyonunu da etkilemektedir.

**Oksijen:** Oksijen tansiyonu düşük olduğunda, potasyum ve fosfat gibi iyonların alımı azalmaktadır. Sonuç olarak oksijen noksanlığı havalanmanın iyi olmadığı ortamlarda bitki gelişimini sınırlandıran faktörlerden birisidir.

**Karbonhidratlar:** Solunumda enerjinin temel kaynağını karbonhidratlar oluşturur. Bu nedenle, kökler ve diğer fotosentez yapmayan dokularda iyon alımı ile bitkilerin karbonhidrat kapsamları arasında önemli ilişki vardır.

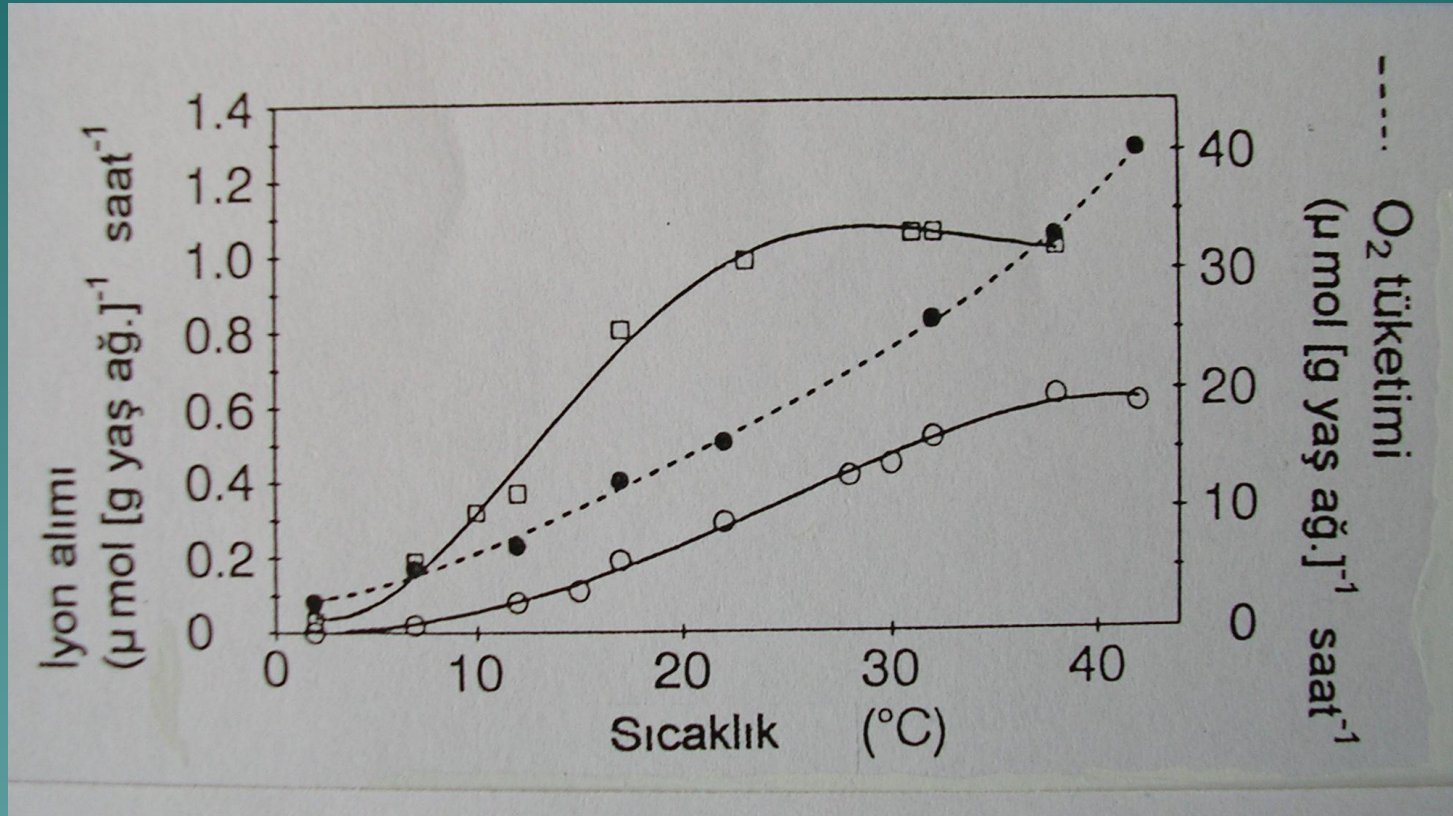
**Çizelge 2.10.** Kök civarında kısmi oksijen basıncının arpa bitkisinin potasyum ve fosfat alımına etkisi

Kısmi oksijen basıncı (%)	Oransal alım	
	Potasyum	Fosfat
20	100	100
5	75	56
0.5	37	30

**Çizelge 2.11.** Köke giden şekerlerin engellenmesi durumunda arpa bitkilerinin solunum ( $O_2$  alımı) ve azot alımı

Zaman (Saat)	Şeker içeriği ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ kuru ağı.)	Net alım ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ kuru ağırlık $\text{dak}^{-1}$ )		
		$O_2$	$NH_4^+$	$NO_3^-$
0	82	4.5	1.8	1.5
3	51	3.3	1.1	1.0

**Sıcaklık:** Kimyasal reaksiyonların büyük bir kısmı sıcaklığa bağımlıdır. Kimyasal reaksiyonların hızı sıcaklığın artmasına paralel olarak artış gösterir. Şekil 2.15' de görüldüğü gibi iyonların alımı sıcaklığa bağlı olarak artış göstermektedir.



Şekil 2.15. Mısır köklerinde sıcaklığın respirasyon oranı (O) ile P (O) ve K (□) alımına etkisi (P ve K, 0.25 mM uygulanmıştır, Brava ve Uribe, 1981)

## İyonlar arasındaki interaksionlar

Bitkilerin yetiştirildikleri ortamlarda katyonlar ve anyonlar değişik form ve konsantrasyonlarda bulunmalarından dolayı, iyon alımı sırasında değişik interaksionlar görülmektedir. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

**Çizelge 2.12.** Mısır köklerinde  $\text{NH}_4$  ve K arasındaki interaksion. K: 0.15 mM düzeyinde uygulanmıştır.

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (mM)	Kökün bileşimi ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ yaş ağırlık)			
	Amonyum		Potasyum	
	-K <sup>+</sup>	+K <sup>+</sup>	-K <sup>+</sup>	+K <sup>+</sup>
0	6.9	6.7	8.2	53.7
0.15	7.3	7.1	6.7	48.4
0.50	17.1	13.5	8.9	41.1
5.00	29.4	31.5	9.3	27.1

**Çizelge 2.13.** Arpa bitkisinin Mg alımı üzerine, K ve Ca' un etkisi (Schimansky, 1981)

	Mg <sup>+2</sup> alımı ( $\mu\text{eq Mg}^{+2} (10\text{g})^{-1}$ yaş ağırlık (8 saat) <sup>-1</sup> )		
	MgCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub> +CaSO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub> +CaSO <sub>4</sub> +KCl
Kök	165	115	15
Gövde	88	25	6.5

Herbir katyonun konsantrasyonu: 0.25 meq l<sup>-1</sup>



**Çizelge 2.14.** Ortamda artan Mn konsantrasyonunun soya' nın Mn ve Mg alımına etkisi

<b>Besin maddesi alımı</b>	<b>Uygulanan Mn (<math>\mu\text{M}</math>)</b>		
	<b>1.8</b>	<b>90</b>	<b>275</b>
Mn	0.5	3.1	4.8
Mg	121.8	81.1	20.2

**Çizelge 2.15.** Arpa bitkilerinin kök ve gövdesinin klor içeriğine besin çözeltisinin nitrat konsantrasyonunun etkisi

<b>Besin çözeltisindeki konsantrasyon (mM)</b>		<b>Klor konsantrasyonu (<math>\mu\text{mol g}^{-1}</math> yaş ağı.)</b>	
<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>Kök</b>	<b>Gövde</b>
1	0	52	93
1	0.2	26	73
1	1.0	13	54
1	5.0	9	46

**Çizelge 2.16.** Besin çözeltilisinde değişik azot kaynakları ile beslenen soğan bitkisinin nitrat alımına ( $\text{mg NO}_3 \text{ kg}^{-1}$  yaş ağırlık) klorun etkisi

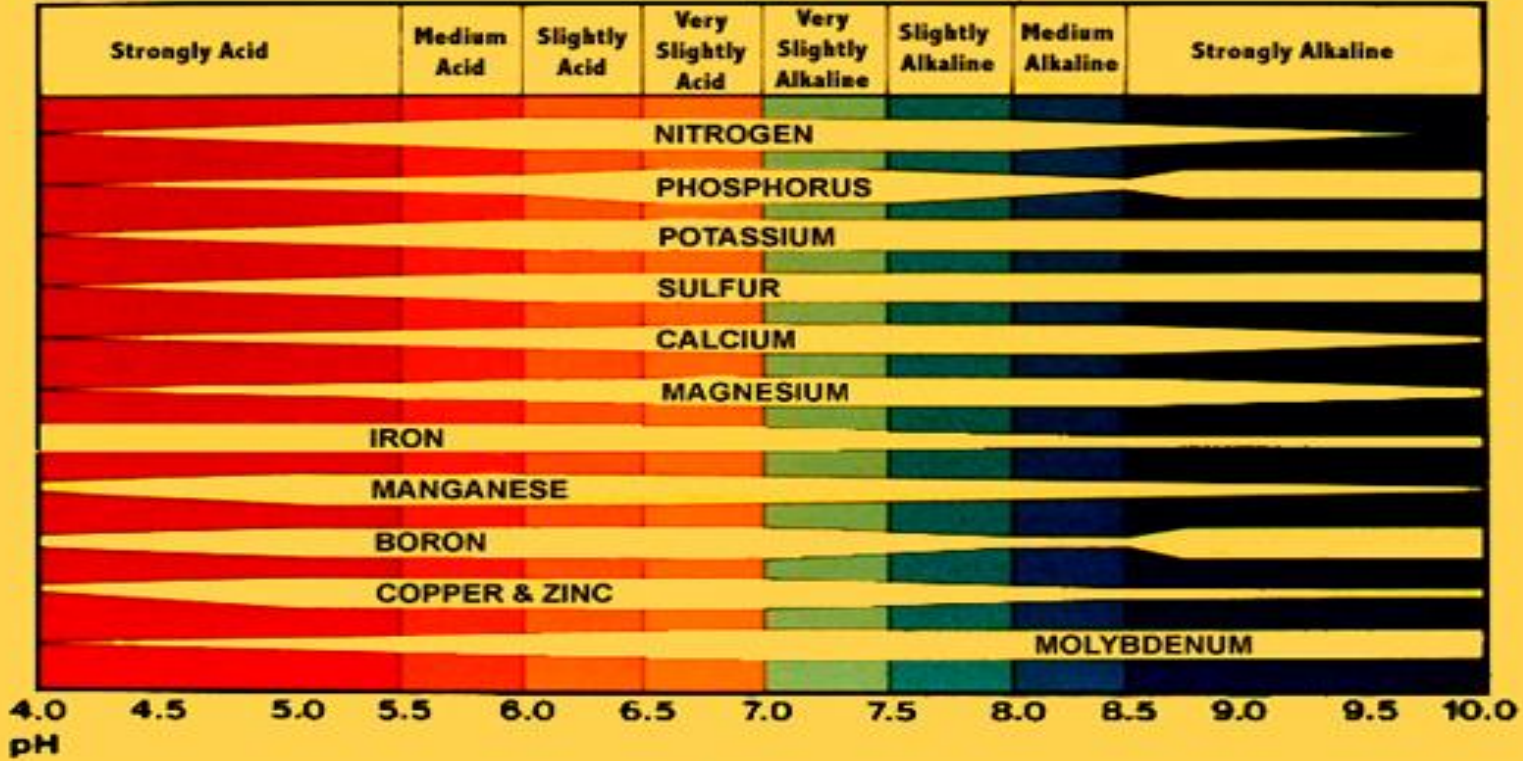
Uygulamalar	Klor uygulaması (10 mM)	
	-	+
<b>Referans</b> (19 mM $\text{NO}_3$ +1.25 mM $\text{NH}_4$ )	6420	4366
<b>Karışık aminoasit (KA)</b> (15.2 mM $\text{NO}_3$ +3.8 mM KA +1.25 mM $\text{NH}_4$ )	4939	3533
<b>Üre</b> (15.2 mM $\text{NO}_3$ +3.8 mM Üre +1.25 mM $\text{NH}_4$ )	5954	4723
<b>Glisin</b> (15.2 mM $\text{NO}_3$ +3.8 mM Glisin +1.25 mM $\text{NH}_4$ )	5950	4573

**Çizelge 2.17.** Hidrofonik sistemde yetiştirilen iki marul çeşidinin nitrat içeriği üzerine değişik form ve oranlarda azot ile beslenmenin etkisi (Güneş vd., 1994)

Besin çözeltilisinde azot formlarının oransal miktarları (%)				Nitrat konsantrasyonu ( $\text{mg NO}_3 \text{ kg}^{-1}$ yaş ağırlık)	
				Çeşitler	
$\text{NO}_3$	$\text{NH}_4$	Üre	Aminoasit	Berlo	Kirsten
94	6	-	-	4579	4332
74	6	20	-	3761	3672
74	6	-	20	3817	3314

## İyon alımında pH' nin rolü

### How Soil pH Affects Availability of Plant Nutrients



Bitkilerin beslenmelerinde protonlar ( $H^+$ ) ile diğer katyonlar arasında ve hidroksil ( $OH^-$ ) veya bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) ile diğer anyonlar arasındaki interaksyonlar genel bir öneme sahiptir. Ortam pH' sı 7.5' in altında olduğunda  $H^+$  nin rolü, 7.5' in üzerinde olduğunda da  $OH^-$  ve  $HCO_3^-$  ün rolü dikkat çekmektedir.

## Katyon-anyon ilişkileri

Katyon ve anyon alımları birbirinden farklı olarak düzenlendiği için, katyon ve anyonlar arasında doğrudan dikkate değer düzeyde önemli miktarlarda interaksiyonlar oluşmaz. Örneğin düşük konsantrasyonlarda katyon alımı üzerine, katyonun anyonunun veya anyon alımı üzerine anyonun katyonunun bir etkisi yoktur (Çizelge 2.20).

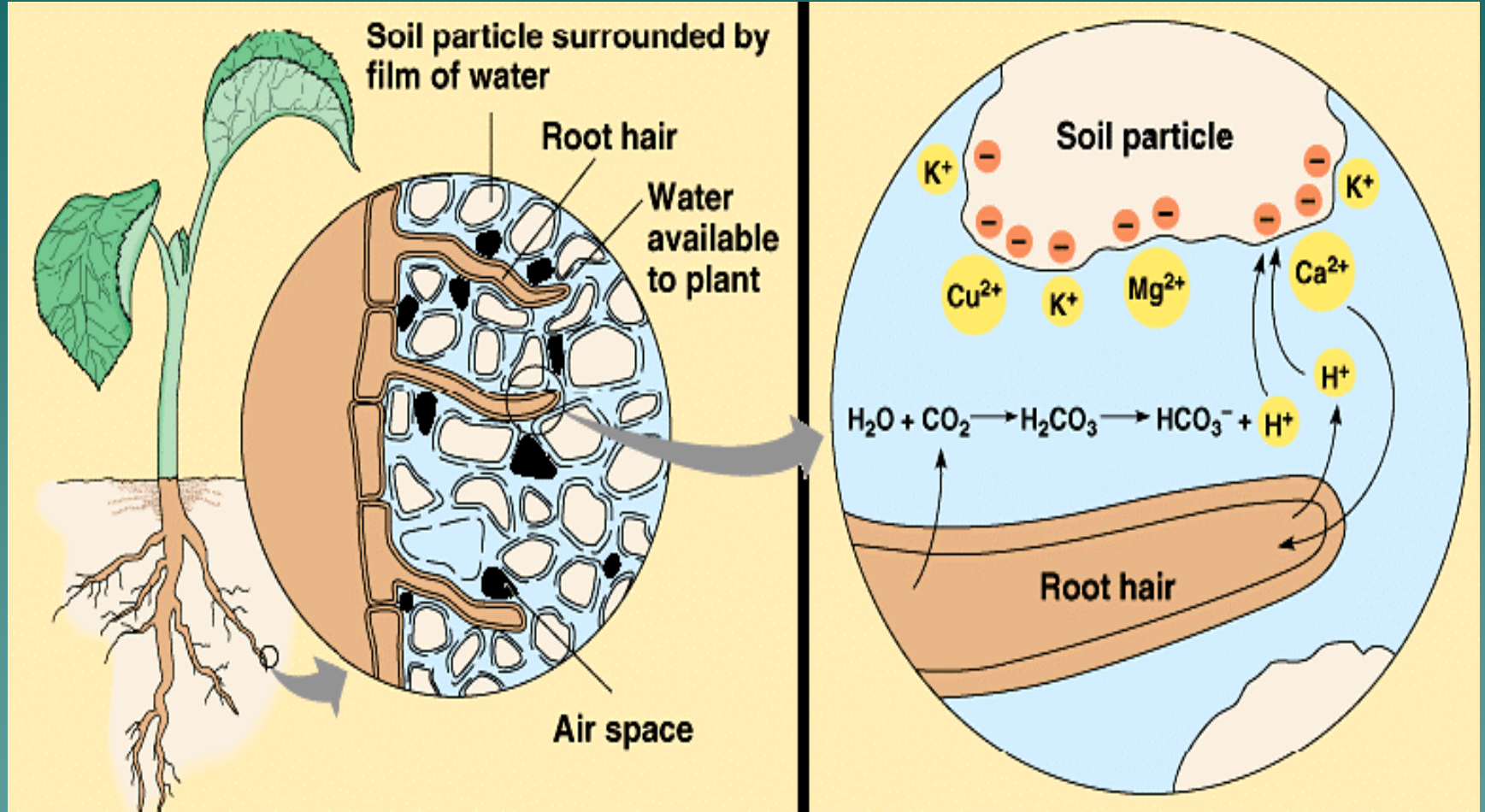
**Çizelge 2.20.** Mısır köklerinin  $K^+$  ve  $Cl^-$  alımına bu iyonların anyon ve katyonlarının etkisi

Konsantrasyon (meq l <sup>-1</sup> )	Alım oranı ( $\mu\text{eq g}^{-1}$ yaş ağı. saat <sup>-1</sup> )			
	Potasyum alımı		Klor alımı	
	KCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KCl	CaCl <sub>2</sub>
0.2	1.6	1.6	0.8	0.7
2.0	2.7	1.9	2.0	1.0
20.0	5.7	2.2	4.3	2.1

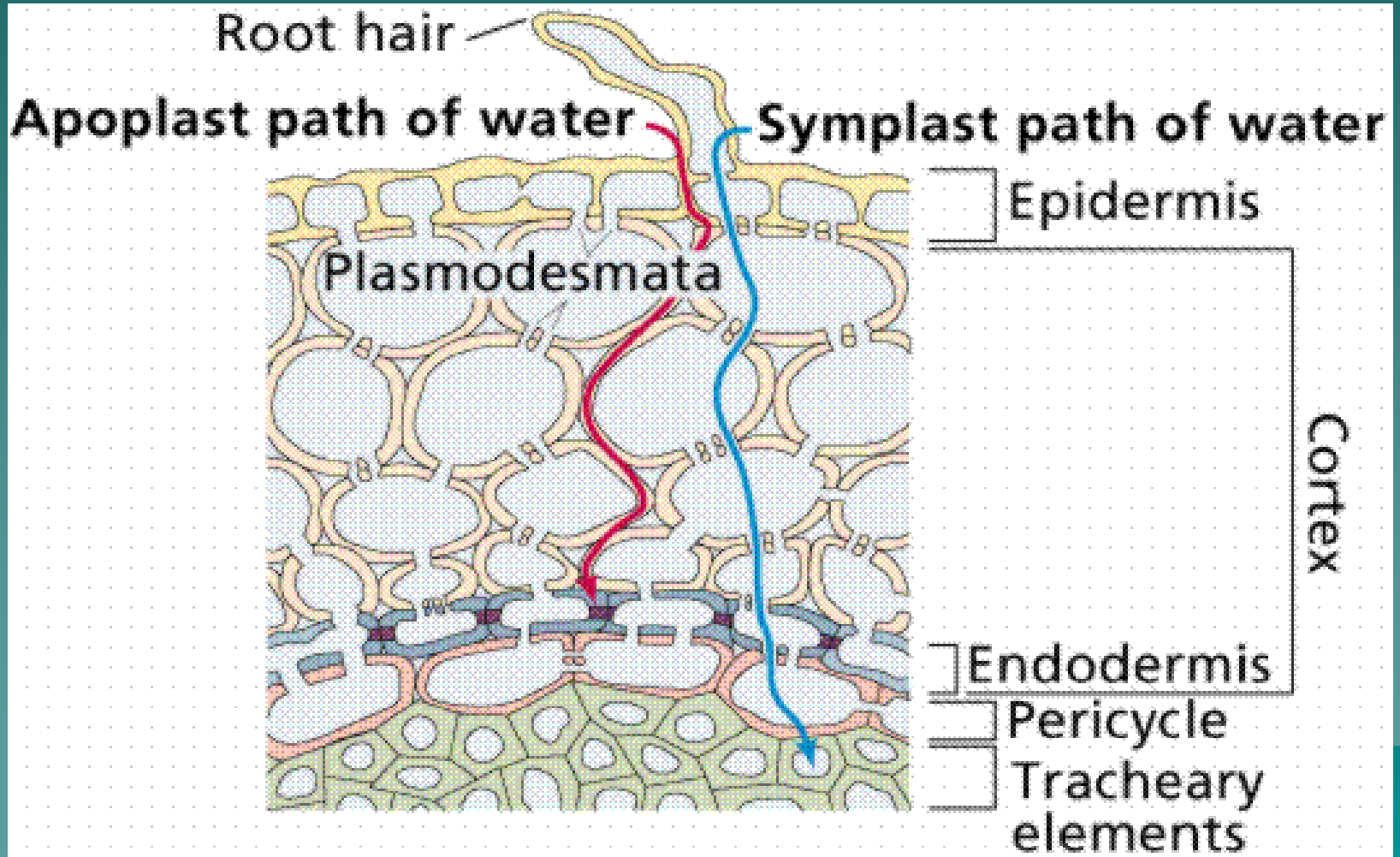
Azot kaynağı ( $NH_4^+$ ;  $NO_3^-$ ;  $N_2$  fiksasyonu) bitkilerde katyon-anyon ilişkileri üzerinde anahtar rol oynar. Bitkiler tarafından alınan anyon ve katyonların % 70' i  $NH_4^+$  veya  $NO_3^-$  tir. Bu nedenle, prensip olarak  $NH_4^+$  ile beslenen bitkilerin katyon-anyon oranı yüksektir, buna karşılık  $NO_3^-$  ile beslenen bitkilerin anyon-katyon oranı yüksektir.

Nitratla beslenen bitkilerde, nitratın kökte indirgenmesi sonucu zamanla ortam pH' sında artışlar görülür. Nitrat ve  $NH_4^+$  karışık olarak uygulandığında, bitkiler öncelikle  $NH_4^+$  u tercih ettiklerinden pH önce düşer daha sonra nitrat beslenmesine bağlı olarak artar.

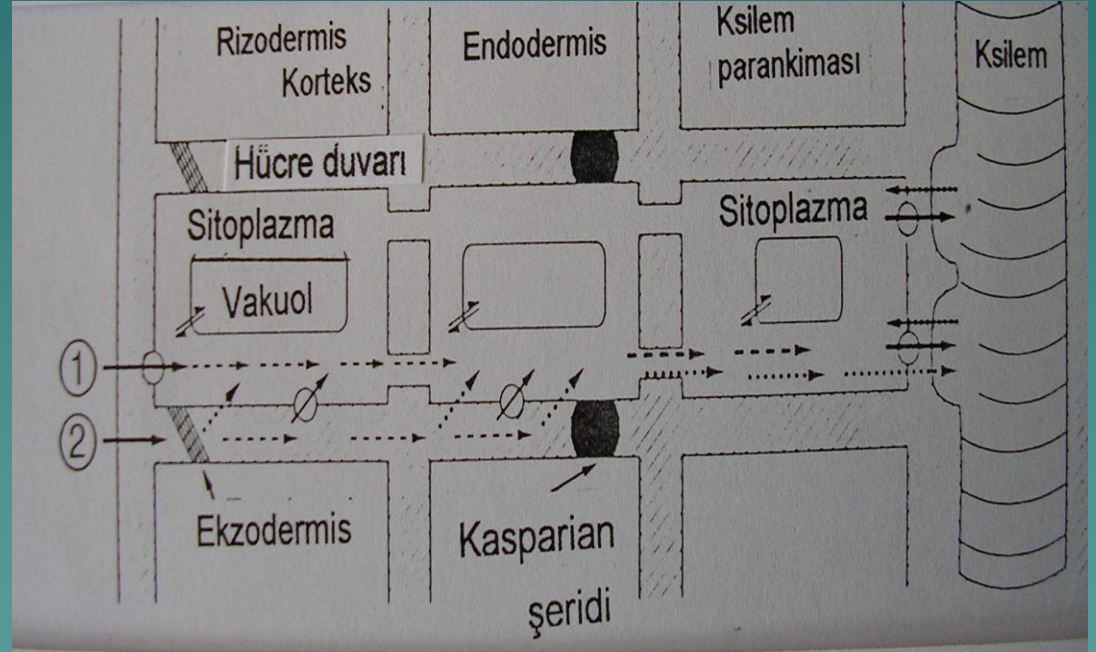
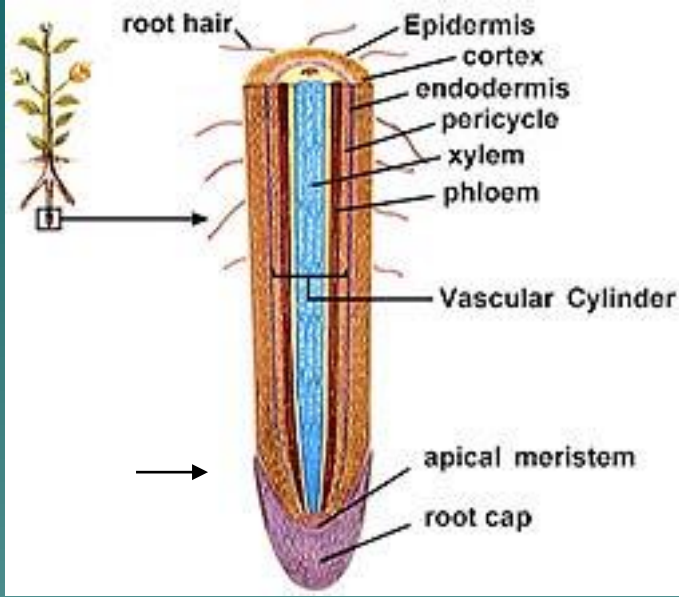
# İyon alımında iyon konsantrasyonunun etkisi



## Su ve İyonların Kök Eksenini Boyunca Alınmaları



## İyonların Ksileme Geçişleri



Şekil 2.32. Simplazmik (1) ve apoplazmik (2) olarak iyonların köklerden ksileme radyal taşınımına ilişkin model. ; aktif taşınım <-----; resorpsiyon (emilme)