

## 5. SU METABOLİZMASIYLA İLGİLİ OLAYLAR

Bitki fizyolojisi bitkilerin hayatları süresince meydana gelen çeşitli hayati olay ve belirtilerini inceleyen bir bilimdir. Bitkilerde meydana gelen hayat olayları ise, hücrenin canlı maddesindeki kimyasal ve fiziksel değişimlerden ibarettir. Şu halde daha genel bir deyimle canlılarda meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler sonucunda beliren olaylar fizyolojik olaylardır. Bu fizyolojik olayların nasıl ve niçin belirdikleri sorusuna da bitki fizyolojisi cevap vermeye çalışır.

### Bitki Fizyolojisinin Bölümleri

Canlılarda ve aynı şekilde bitkilerde gerek yapı ve gerekse bileşim devamlı bir değişim halindedir. Bu devamlı değişme, canlılık için tipik bir harekettir. Bundan dolayı bir bitkinin sadece yapı ve bileşimini incelemek bize hayat olaylarının, yani fizyolojik olayların tam bir açıklamasını vermez. Bitkiyi oluşturan maddelerin değişimini ve her bitkide özel olan şekil değişimlerini de incelemek gerekir. Bitkilerdeki maddelerin değişimi olaylarının tümü genel anlamı ile metabolizma diye adlandırılır. Metabolizmayı inceleyen bitki fizyolojisine de metabolizma fizyolojisi denir. Bitkilerde büyüme, gelişme ve hareketi inceleyen bitki fizyolojisine de büyüme, gelişme ve hareket fizyolojisi denir.

### 1.2. Metabolizma Fizyolojisi

Bitki hücrelerinde meydana gelen kimyasal olaylara metabolizma denir. Metabolizma iki çeşittir. Hücre içindeki yapım olaylarını inceleyen metabolizmaya **anabolizma** (asimilasyon), yıkım olaylarına inceleyen metabolizmaya **katabolizma** (disimilasyon) denir.

Bitki hücrelerinde gerçekleşen olayları incelemeyen önce, bir bitkinin yapısına hangi elementlerin katıldığı ve bunların bitki hayatı için önemlerinin ne olduğunu öğrenelim.

#### 1.2.1. Bitkiyi Oluşturan Elementler

##### 1.2.1.1. Su

Bitki ve bitki organlarının büyük bir kısmını su oluşturur. Su, bitkilerin bütün hayati faaliyetleri için zorunlu bir maddedir. Hücre sitoplazmasının yaklaşık % 82'sini su oluşturur. Ayrıca bitkilerin hayatında çok önemli rolleri olan, çeşitli besleyici madensel maddelerin eriticisi olması bakımından da önemlidir. Bundan başka bütün metabolik faaliyetlerin olması için de su gerekir.

##### 1.2.1.2. Kuru Madde

Bitkiyi oluşturan kuru madde organik ve inorganik bileşiklerden oluşur. Organik bileşikler, karbonhidratlar, proteinler ve yağlardır. İnorganik bileşikler ise çeşitli minerallerdir.

Yapılan araştırmalar bitkilerin yapısında yeryüzünde bulunan 92 elementin de bulunabileceği yönündedir. Ancak bunlardan özellikle 10 elementin esas oldukları anlaşılmıştır. Bu elementlere esas elementler ya da **makro elementler** denir. Bu elementler C, H, O, N, K, Ca, Mg, Fe, S, P'dir.

Bitki fizyologlarının yaptığı araştırmalarda B, Zn, Cu, Mn, Mo ve Cl da bitkiler için gerekli olduğu anlaşılmıştır. Ancak bu elementlerin daha az miktarlarının bitkiler için yeterli oldukları anlaşıldığından bunlara **mikro elementler** denmiştir.

Yukarıda mikro element diye tanımlanan elementlerle bunların dışında daha birçoğ başka elementlerin de bitkilerde çok az yoğunluklarda buldukları ve belli bazı etkilerle bitki metabolizmasını etkiledikleri anlaşılmıştır. Bu elementlere de **iz elementler** denir.

### **Makro elementlerin görevleri şunlardır;**

**Karbon:** Karbonhidratların temel elementidir.

**Azot:** Protein yapısında yer alır.

**Fosfor:** Bazı proteinlerin yapısında yer alır. Ayrıca hücrede ATP, DNA, RNA'nın yapısına katılır. Hücre çekirdeğini oluşturan yapıtaşları için zorunlu olduğu, ayrıca karbonhidrat metabolizmasında da görev aldığı bilinmektedir.

**Kükürt:** Bazı proteinlerin yapısına katılır.

**Magnezyum:** Klorofil yapımında kullanılır.

**Demir:** Klorofil yapımında enzimatik faktör olarak görev yapar.

**Kalsiyum:** Hücre çeperi yapımı için zorunlu bir maddedir.

**Potasyum:** Bu elementin büyüme ve bölünme olaylarında iş gördüğu, klorofil yapımı ve karbonhidrat metabolizmasında enzimatik etki gösterdiği bilinmektedir.

#### 1.2.1.3. Minimum Yasası

Bir bitkinin hayatı olaylarını normal şekilde sürdürebilmesi için gerekli elementleri bulması gerekir. Ancak gerekli olan elementlerden yalnız biri bile yeterli olmazsa bitkinin gelişmesi bu elemente bağlı olarak sınırlanır. Tıpkı birçoğ dilimden yapılmış fiçinin sadece bir dilimi yarım olursa, yarım olan kısmı kadar su alır. Minimum yasa da bu şekilde açıklanabilir.

#### 1.2.2. Su ve Suda Erimiş Maddelerin Alınması

Su bitkileri ile havada bulunan sudan yararlanabilme yeteneğinde olan birkaç bitki hariç, diğer bütün bitkiler suyu topraktan almak zorundadır. Su toprakta, toprak taneciklerine yapışmış ve tanecikler arasındaki boşlukları doldurmuş halde bulunur. Bu nedenle, toprak taneciklerinin büyüklükleri, bileşimleri toprağın su tutma kapasitesini farklılaştırır.

Toprak tanecikleri arasındaki suyu bitkilerin alabilmesi için, bitkilerin emme kuvvetine sahip olmaları gerekir. Bitkiler bu emme kuvvetini iki şekilde sağlar.

Bitkilerin yapısını oluşturan maddelerin şişme yetenekleri,

Bitki hücrelerinin öz sularının yoğunluğu

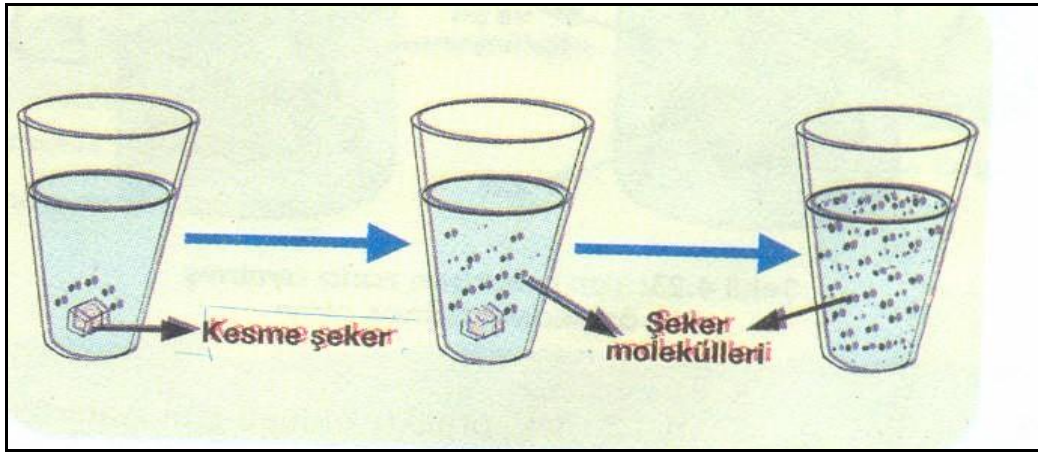
Bitkilerde su ve suda erimiş maddelerin alınmasını incelemeyen önce emme kuvvetini ortaya koyan fiziksel kuralları inceleyelim.

#### 1.2.2.1. Şişme

Tamamen su dolu bir testinin ağzı kuru ağaçtan bir tıpa ile kapatılırsa bir müddet sonra tıpanın testinin ağzına sıkıştığı görülür. Bu duruma tıpa şişti deriz. Şişme denince, kolloid cisimlerin özellikleri olan katı yapılarını kaybetmeden su almaları ve hacimlerinin artması anlaşılır. Kolloid cisimler, birçok molekülün bir araya gelmesiyle oluşan yapılardır. Kolloidleri oluşturan birçok molekülün bir araya gelmesiyle oluşan yapılara da misel adı verilir. Miseller arasındaki boşluklara da miseller arası alanlar denir. Böyle kolloid yapıda bir madde su alınca, su miseller arasını doldurur ve miseller birbirinden uzaklaşır. Bunun sonucunda da şişen maddenin ilk hacmi artmış olur. Bazen bitkisel yapılarda şişme ile ilk hacmin 15- 100 katına ulaştığı görülür. Her bitki organının şişme kapasitesi farklıdır. En çok şişme tohumlarda görülür.

#### 1.2.2.2. Difüzyon

Madde molekülleri, bulunduğu ortamda kendi kinetik enerjisiyle hareket eder. Bu hareket maddenin gaz, sıvı ve katı oluşuna göre değişir. Gaz molekülleri, sıvı ve katı moleküllere göre daha hareketlidir.



#### Difüzyon

Moleküllerin, yoğunluklarının çok olduğu yerden az olduğu yere yayılmasına **difüzyon** denir. Hücre madde alışverişinin önemli kısmını difüzyonla yapar. Difüzyon olayı, hücre zarının kontrolü altında yapılır. Yani hücre zarından geçebilecek büyüklükteki maddeler, difüzyon ile

alınır ya da verilir. Örneğin; oksijen, karbondioksit, aminoasit ve yağ asitleri gibi küçük moleküller difüzyon ile alınıp verilirken, nişasta ve glikojen gibi büyük maddeler difüzyonla alınıp verilemez. Difüzyon hızına etki eden faktörler şunlardır:

**Yoğunluk farkı:** Hücrenin içindeki ve dışındaki madde moleküllerinin arasındaki yoğunluk farkı yoksa difüzyon olmaz. Yoğunluk farkı arttıkça difüzyon hızı artar.

**Sıcaklık:** Sıcaklık artışı moleküllerin kinetik enerjisini artırdığından difüzyonu hızlandırır.

**Molekül büyüklüğü:** Moleküller küçüldükçe difüzyon hızlanır. Büyüdükçe yavaşlar.

**Yüzey genişliği:** Yüzey arttıkça difüzyon hızlanır.

Hücrelerde difüzyon hızının yeterli olmadığı hallerde, difüzyon hızının artırılması gerekebilir. Hücreler bazı maddelerin geçişini hızlandırabilmek için hücre zarındaki taşıyıcı proteinleri kullanır. İşte glikoz gibi maddelerin hücre zarından taşıyıcı proteinler yardımıyla geçişine **kolaylaştırılmış difüzyon** denir.

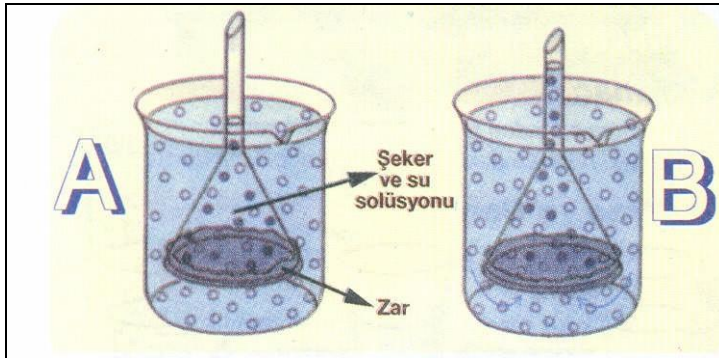
### 1.2.2.3. Ozmos

Su moleküllerinin yarı geçirgen bir zarın kontrolü altındaki difüzyonuna **ozmos** denir. Ozmos çözen maddenin yarı geçirgen zardan geçişidir. Ozmos olayını kavrayabilmemiz için çözeltileri tanımamız gerekir. Çözeltiler, çözücü madde ile çözünen maddeden oluşur. Hücre içindeki çözeltilere yani hücre öz suyuna göre üç tip çözelti vardır.

**İzotonik çözelti:** Çözünen madde konsantrasyonu, hücre öz suyu ile eşit olan çözeltidir.

**Hipotonik çözelti:** Hücreye göre çözünen madde konsantrasyonu az olduğu çözeltidir.

**Hipertonik çözelti:** Hücreye göre çözünen madde konsantrasyonunun daha fazla olduğu çözeltidir.



Şekil 1.2: Yarı geçirgen zarla ayrılmış iki çözeltideki ozmos olayı

Difüzyonun özel bir şekli olan ozmos olayında su molekülleri, çok yoğun oldukları ortamdan az yoğun ortama geçer. Aralarında yarı geçirgen zar bulunan iki çözeltiden, içinde çözüneni çok olan, çözüneni az olan taraftan su emer. İşte bu emme kuvvetine **ozmotik basınç** denir. Ozmotik basınç hücrede su miktarı arttıkça düşer, su miktarı azaldıkça yükselir. Ozmotik basınç, çevreden hücre zarına doğru yapılır. Buna karşılık bir de hücre içinden çepere doğru

yapılan basınç vardır. Bu basınca da **turgor basıncı** denir. Turgor basıncının nedeni hücre içine giren sudur. Hücreye su girdikçe turgor basıncı artar, ozmotik basınç ise azalır. Ozmotik basınç, turgor basıncından büyükse hücre su alır. Ozmotik basınç ile turgor basıncı arasındaki fark emme kuvveti olarak adlandırılır. Ozmotik basınç ile turgor basıncı eşit ise hücre ozmotik denge halindedir.

### 1.2.3. Bitki Hücresindeki Ozmotik Durum

Bitki hücreleri buldukları ortamdan su ve suda çözülmüş maddeleri alır. Canlı hücrede yarı geçirgen bir zar, selüloz, hücre çeperi, az veya çok yoğun bir eriyikle dolu koful bulunur. Canlılar ozmotik kurallara göre madde alışverişi yapar. Ozmos olayı yoğunluk eşitliği halinde sona erer. Hücrenin canlı kalabilmesi için ozmosun devam etmesi gerekir. Bu da metabolik faaliyetlerle sağlanır.

**Emme kuvveti (E.K), bir hücre için hücrenin ozmotik basıncı (O.B) ile turgor basıncı (T.B) arasındaki farka eşittir.**

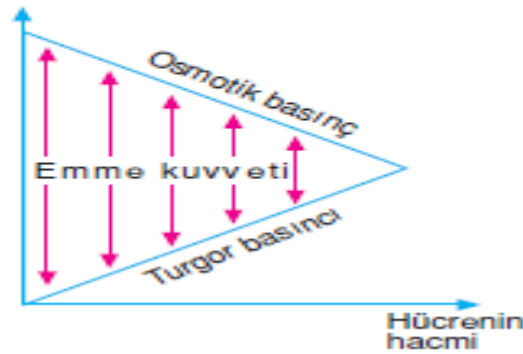
$$E.K = O.B - T.B$$

**Bir hücrenin ozmotik basıncı yüksekse emme kuvveti de yüksektir.**

**Hücre içinde ozmotik basınç ve turgor basıncı birbirine zıt çalışır.**

**Hücre su aldıkça ozmotik basınç azalırken turgor basıncı artar.**

**Hücre su kaybettiğinde ozmotik basınç artarken, turgor basıncı azalır.**



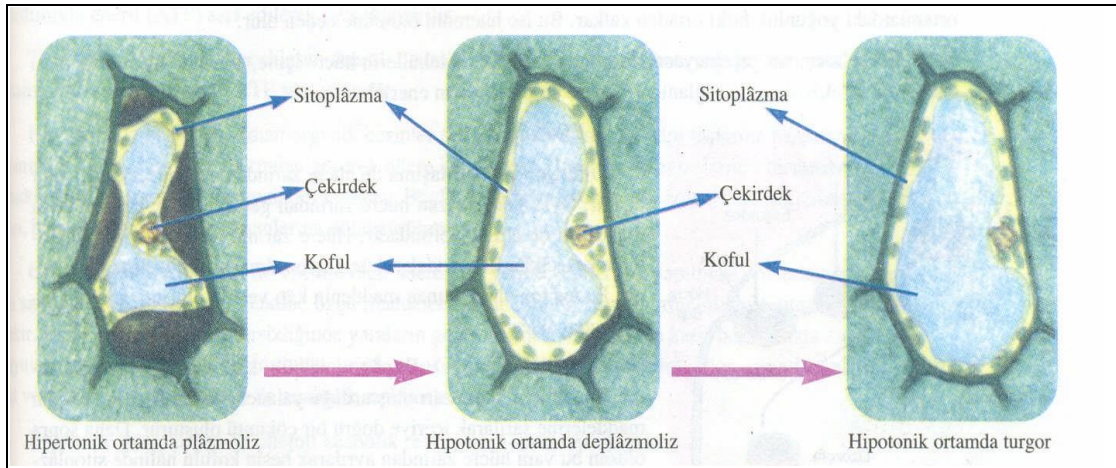
#### 1.2.3.1. Turgor

Hücrenin su alarak zarının gerilmesine **turgor** denir. Hücre içinde oluşan bu basınca da **turgor basıncı** denir. Turgor basıncı otsu bitkilerde, bitkiye direnç ve diklik kazandırır. Evimizdeki saksı çiçeklerinin susuz kaldıklarında yapraklarının pörsümesi, su verilince yeniden

eski haline dönmesi bu nedenledir. Bitkilerde her dokunun su alabilme yeteneği farklıdır. Bir organın iç ve dış dokularında farklı su alabilmeleri sonucu farklı turgor basınçları oluşur. Bu durum asimetric gerginlik oluşturarak kıvrılma, yönelim ve ırganım hareketleri oluşturur.

#### 1.2.3.2. Plazmoliz

Bitki hücresi kendi koful öz suyunun yoğunluğundan daha yoğun bir eriyiğın içine konursa o zaman hücre yavaş yavaş su kaybeder ve dış ortama su verir. Bunun sonucu olarak hücre büzülür. Bu olay hücre öz suyunun yoğunluğu ile dış ortamın yoğunluğu eşit olana kadar sürer. Bu duruma **plazmoliz** denir.



**şekil 1.3: Bitki hücresinde plazmoliz olayı**

Bu şekilde plazmolize uğramış hücre, saf suyun içine konursa su alarak eski haline döner. Bu duruma da deplazmoliz denir.

#### 1.2.3.3. Permeabilite (geçirgenlik)

Hücrede belli maddelerin alınıp verilmesi onun hayatiyetinin temel fizyolojik olaylarından biridir. Bitki ve hayvan hücreleri zarları her maddenin geçmesine aynı derecede izin vermez. İşte zarların belli maddeleri kendi içlerinden geçmelerini tayin eden bu özelliklerine **permeabilite** (geçirgenlik) denir. Bazı zarlar her maddeyi geçirir. Bunlara tam geçirgen zar denir. Bitki ve hayvan hücrelerinin zarları ise her maddeyi geçirmez. Bazı maddeler geçer, bazıları ise geçmez. Bu zarlara da yarı geçirgen zar denir.

#### 1.2.3.4. Ekzosmozis

Protoplazmik zarların geçirgenlik özelliği hücrenin hayatiyetiyle ilgilidir. Hücre hayatiyetinin çeşitli sebeplerle zarar görmesi hücre zarının seçici geçirgenlik özelliğinin değişime uğramasına sebep olur. Genel olarak hücrenin ölmesiyle geçirgenlik artar. Hücre kofullarındaki maddeler dışarı çıkar. Bu duruma **ekzosmozis** denir. Örnek; kaynamakta olan suyun içine çiçek veya meyve atılırsa renkleri hemen suya geçer. Oysa soğuk suda böyle bir durum görülmez. Sıcak su bitkinin ölmesine sebep olmuş ve geçirgenlik artmıştır.

#### 1.2.3.5. İyon Birikimi

Bitkiler için mineral tuzlarının önemi büyüktür. Bazı mineral tuzları bitki hücresinde çok kullanılırken, bazı mineral tuzlarının çok az miktarı bitkinin yaşaması için yeterlidir. Suyla birlikte alınan mineral tuzlarının hücrede fazla birikmeleri sakıncalı olabilir. Ozmotik kurallara göre belli bir iyonun hücrede yoğunluğu dış ortamdakine eşit olunca alınması durur. Ancak bazı iyonlar hücrede, içinde buldukları ortamdan çok daha yüksek yoğunluğa kadar koful içinde birikir. Bu durum hücrenin ozmotik basıncını artırır. Bu duruma **iyon birikimi** denir. Örnek olarak lamaninaria verilebilir. Deniz suyunda iyot oranı %0,0002'dir. Denizde yaşayan lamaninaria bitkisinde ise iyot oranı %0.06'dır.

Canlı olmayan hücrelerde iyon birikimi durur. Bu nedenle olayın canlılıkla ve dolayısıyla enerji isteyen özellik taşıdığı solunumla ilişkisi anlaşılmıştır. İyon birikimi aktif taşınma sayesinde gerçekleşir.

#### 1.2.3.6. İyon Antogonizmi (Zıtlama)

Bitkinin yaşadığı ortamda birçok tuzların iyonları tek başlarına buldukları zaman bitki için zehirli etkiler yaptıkları halde, aynı iyon başka bir iyonla birlikte bitkiye verildiğinde zehir etkisi görülmez. Bu durumda ikinci iyon birincinin zehir etkisini ortadan kaldırmış olur. Buna **iyon antogonizmi** denir. Örneğin, buğday fidelerine sodyum klorür ve kalsiyum klorür ayrı ayrı verildiklerinde fidelerin gelişmediği görülür. İki tuz belli oranlarda karıştırılıp verildiğinde ise fidelerin normal geliştiği görülmektedir.

### **ÖZET: Bitkilerde Su ve Minerallerin Taşınması**

Su ve suda çözülmüş minerallerin kökten yapraklara kadar taşınmasını **ksilem** adı verilen iletim dokusu sağlar. Ksileme taşıma aşağıdan yukarıya doğru tek yönlüdür. Yapılan araştırmalar en fazla ve en hızlı su alımının kök ucunun emici tüy(kök tüyü) bölgesinde olduğunu göstermiştir. Emici tüyler epidermis hücrelerinin toprak içine doğru uzantıları olup toprak parçacıklarıyla temas yüzeyini artırırlar.

Emici tüyler ihtiyaç duyulan mineralleri enerji harcamadan (kolaylaştırılmış difüzyonla) alabilir. Ancak minerallerin topraktaki derişimi genellikle hücredekenden azdır. Bu durumda mineraller aktif taşınmayla emici tüylere alınır. Minerallerin kökteki ksileme ulaşması için iki yol vardır. Birinci yolda su ve mineraller hücreye girmeden, hücreler arası boşluklardan geçerek; ikinci yolda ise hücreden hücreye uzanan sitoplazma bağlantıları aracılığıyla taşınır.

### **Suyun Gövdede Taşınmasını Sağlayan Mekanizmalar**

Su ve minerallerin ksilemde taşınmasını açıklamak amacıyla araştırmacılar tarafından "**kök basıncı**", "**terleme çekim teorisi**" ve "**kılcallık**" adı verilen görüşler ileri sürülmüştür.

**Kök Basıncı:** Bitki kökleri tarafından toprak çözeltisinden alınan mineraller merkezi silindire taşınır. Merkezi silindirde biriken çözünmüş mineraller bu bölgenin su potansiyelini düşürür. Bu durumda ozmotik kurallara göre dışarıdaki su kökün içine girer ve ksileme doğru ilerler. Bitki köküne hızla giren suyun oluşturduğu hidrostatik basınç suyun ksilemde hareketini sağlar.

Toprakta yeterince su bulunduğu ve geceleri nem düzeyi yüksek olduğu zaman ksilemdeki su, kök basıncının etkisiyle hidatoddan damlalar halinde dışarı çıkar. Bu olay damlama (gutasyon) olarak adlandırılır.

### **Terleme-Çekim Teorisi:**

Yapraklardan suyun buharlaşması (terleme) sonucu yaprak hücrelerinin ozmotik basıncı artar. Bunun sonucu bitkinin üst kısımlarında bir emme kuvveti ortaya çıkar ve ksilemdeki su sütunu yukarı doğru çekilir. Su moleküllerinin kimyasal bağlarla birbirine tutunma özeliği olan kohezyon ise ksilem içindeki su sütununun kopmasını ve araya hava kabarcıklarının girmesini önler.

Suyun yukarı doğru taşınmasında en fazla kabul edilen görüş terleme – çekim teorisidir.

**Kılcallık:** İnce bir hidrofilik (suya karşı çekim gösteren) tüp içinde suyun yükselme eğilimidir. Bitkilerin ksilemi gözle görülemeyecek kadar ince kılcal borulardan meydana gelmiştir. Bu olayda ksilem çeperlerinin su moleküllerini çekmesiyle, suyun yukarı doğru yükselmesi söz konusudur. Ancak yapılan araştırmalar, suyun yükselmesinde kılcallığın diğer faktörlere göre daha etkisiz olduğunu göstermiştir.

### **Suyun Taşınmada Stomaların Rolü**

Epidermis hücrelerinin farklılaşmasıyla oluşan stomalar, bitkide terleme ve gaz alışverişin düzenler. Bir stoma; bekçi ya da kilit hücresi denilen iki adet stoma hücresi ile bunların arasındaki stoma açıklığından (stoma porundan) oluşur. Stoma hücrelerinin önemli bir özelliği kloroplast içermeleridir. Bunların yanlarında bulunan epidermis hücreleri komşu hücreler adını alır. Komşu hücrelerde kloroplast bulunmaz.

Bekçi hücrelerinin stoma poruna bakan iç çeperleri, epidermis hücrelerine bakan dış çeperlerine göre daha fazla kalındır. Bu kalınlık farkı stomaların açılıp kapanmasında önemli rol oynar.

Stomaların açılıp kapanması bekçi hücrelerindeki turgor basıncı değişimiyle kontrol edilir. Stomalar genel olarak gündüz açık, geceleri kapalıdır. Gündüz bekçi hücrelerinde fotosentezle glikoz yoğunluğu arttığı gibi komşu hücrelerden bekçi hücrelerine potasyum iyonları pompalanır. Çözünmüş maddedeki artış, bekçi hücrelerindeki su potansiyelini düşürür. Bunun sonucunda bekçi hücrelerine ozmos yoluyla su girer ve bu hücrelerin turgor basıncı artacağından stomalar açılır. Geceleyin olaylar tersine işler ve stomalar kapanır.

Çevresel faktörler, stomaların açılıp kapanmasını etkilemektedir. Normal olarak stomalar gündüz açık olmasına rağmen, su kıtlığı stomaların kapanmasına yol açabilir. Bu olayda absisik asit

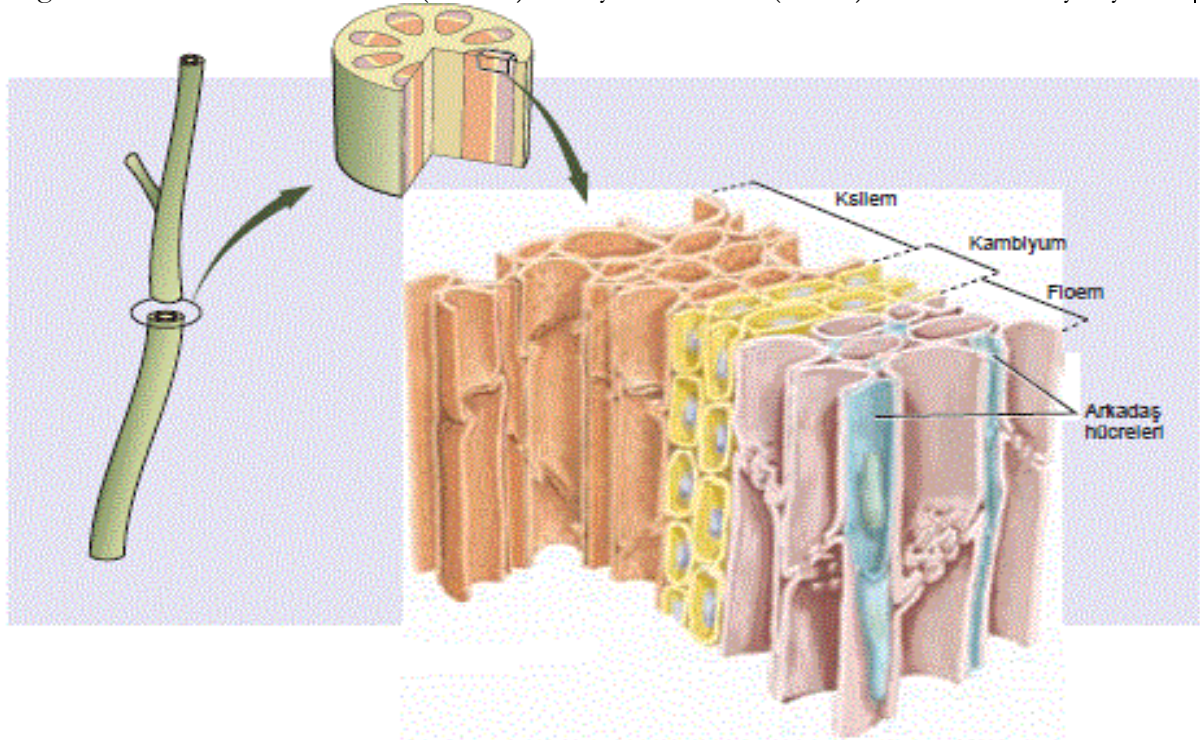


hormonu rol oynar. Mezofil dokusunun içindeki karbondioksit konsantrasyonunun artması da stomaların kapanmasına neden olur.

Yaprakları su üstünde yüzen bitkilerin alt yüzeyi su ile temasta olduğundan, stomalar sadece üst epidermiste bulunur. Tamamen su altında kalan yapraklarda stoma yoktur. Kurak ortamda yaşayan bitkilerde stomalar çoğunlukla yaprağın alt epidermiste ve epidermise göre daha derinde yer alır.

## Ksilem ile Floem Karşılaştırması

Yüksek yapılı bitkilerin yapraklarında fotosentezle meydana gelen organik bileşiklerle topraktan alınan su ve suda çözülmüş maddeler, çeşitli organlara bu dokularla iletilir. İletim dokusu, yapı ve görev bakımında odun borusu (**ksilem**) ve soymuk borusu (**floem**) olmak üzere ikiye ayrılır.



### ➤ **KSİLEM**

- Diğer bir adı odun borusudur.
- Kökten alınan **su** ve suda çözünen **minerallerin** gövde, yaprak gibi kısımlara taşınmasını sağlar.
- Ksilemde taşınma, aşağıdan yukarıya doğru tek yönlüdür.
- Floem'e göre madde iletimi hızlıdır
- Cansız hücrelerden oluşur.
- Hücreler arasındaki enine zarlar eriyerek kaybolur. Böylece, ince bir boru şeklindeki odun boruları oluşur.
- Büyüme halkası oluşumunda rol alır.
- Tek çenekli bitkilerin köklerinde bulunan merkezi silindirik rastgele dizilirler. Çift çenekli bitkilerin

### ➤ **FLOEM**

- Diğer bir adı soymuk borusudur.
- fotosentez sonucu üretilen organik maddeleri yeni sürgün oluşumunda kullanmak üzere veya depo organlarında biriktirmek üzere ileten borucuklardır.
- Tek sıra halinde üst üste dizilmiş canlı hücrelerden oluşur.
- Hücreleri canlıdır.
- Madde iletimi çift yönlü fakat yavaştır.
- Tek çenekli bitkilerin köklerinde bulunan merkezi silindirik rastgele dizilirler. Çift çenekli bitkilerin köklerinde bulunan merkezi

köklerinde bulunan merkezi silindirde ise daha düzenli bir yapıda bulunur.

silindirde ise daha düzenli bir yapıda bulunur.

- Soymuk borularının yanında arkadaş hücreleri bulunur.

## Aktif ve Pasif Taşıma Karşılaştırması

Aktif Taşıma	Pasif Taşıma
<ul style="list-style-type: none"><li>• Enerji <b>harcanarak</b> maddelerin seçici geçirgen zarından az yoğun ortamlardan çok yoğun ortamlara taşınmasıdır.</li><li>• Canlı hücreler yapar.</li><li>• Aktif taşımanın hızı sıcaklığa, pH değişimlerine, oksijen miktarına göre değişir ve aktif taşıma inhibitörlere duyarlıdır (enzimler görev aldığı için).</li></ul> <p>Enerji harcanarak maddelerin seçici geçirgen zarından az yoğun ortamlardan çok yoğun ortamlara taşınmasına aktif taşıma denir. Aktif taşıma sırasında enerji harcanır. Yani aktif taşıma yapan hücre kesinlikle canlı olmalıdır. Aktif taşımanın hızı sıcaklığa, pH değişimlerine, oksijen miktarına, inhibitörlere duyarlıdır (enzimler görev aldığı için). Aktif taşımada, hücre zarı üzerindeki porlardan geçebilecek büyüklükteki moleküller, taşıyıcı protein ve taşıyıcı enzimler yardımıyla taşınır. Hücre içinden hücre dışına, hücre dışından hücre içine olmak üzere her iki yönde de gerçekleşebilir.</p> <p>Taşınan madde hücre zarından geçemeyecek kadar büyükse 2 şekilde taşınabilir. Bu taşıma yöntemlerinde sitoplazma ve dış ortamdaki maddenin yoğunluk</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maddelerin enerji <b>harcanmadan</b> yoğunluk farklarından dolayı hücre zarından doğrudan geçmeleridir.</li><li>• Canlı cansız bütün hücreler yapabilir.</li><li>• Pasif taşımanın hızı ortamlar arası yoğunluk farkına bağlı olarak değişir.</li><li>• Difüzyon ve osmoz olmak üzere 2 çeşitten oluşur.</li></ul> <p><b>1) Difüzyon</b></p> <p>Maddelerin çok yoğun ortamlardan az yoğun ortamlara kendi kinetik enerjileri ile yayılmalarına denir. Enerji ve enzim kullanılmaz. Sıcaklık ve hareket gibi faktörler difüzyonu hızlandırır. Difüzyon iki ortam arasında yoğunluk farkı ortadan kalkıncaya kadar devam eder.</p> <p><b>Difüzyon hızına etki eden faktörler:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• İki ortam arasında yoğunluk farkı arttıkça difüzyon hızı artar.</li><li>• Sıcaklık ve hareket difüzyonu hızlandırır.</li><li>• Hücre zarındaki por sayısı ve por genişliği arttıkça difüzyon hızı artar.</li><li>• Molekül büyüklüğü arttıkça difüzyon hızı azalır.</li><li>• Basınç farkı difüzyonu hızlandırır.</li></ul> <p><b>Kolaylaştırılmış difüzyon:</b> Maddeler hücre zarından bir taşıyıcı yardımıyla geçiyorlarsa buna kolaylaştırılmış difüzyon denir. Enzimler kolaylaştırılmış difüzyonda görev alır ancak enerji harcanmaz. Kolaylaştırılmış difüzyon canlı ortamlarda gerçekleşir. Suda çözünen maddeler hücrelere sıklıkla kolaylaştırılmış difüzyon ile girer.</p>

farkı önemli değildir. Aynı taşıma yöntemleri organel zarlarında da görülebilir.

### 1) Endositoz

Hücre zarından difüzyonla veya aktif taşımayla geçemeyecek büyüklükteki moleküllerin hücre içine alınış yöntemidir. Endositoz ile içeri alınan madde katıysa *fagositoz*, sıvı ise *pinositoz* olarak adlandırılır.

**Fagositoz:** Katı moleküllerin hücre içine alınması işlemine denir. Bu olay sırasında alınacak molekül hücre zarına temas ettiğinde ilk olarak yalancı ayaklarla (pseudopodia) etrafı sarılır ve besin kofulu olarak hücre içine alınır. Besin kofulunun lizozom ile kaynaşması sonucu içerideki besin sindirilir ve hücre içine alınır.

**Pinositoz:** Sıvı veya sıvıda çözülmüş moleküllerin alınması işlemine denir. Sıvı maddeler yalancı ayaklarla sarılamadığı için bu yöntemle hücre içine alınmaz. Bunun yerine hücre zarında minik cepler oluşturularak madde alınır.

### 2) Ekzositoz

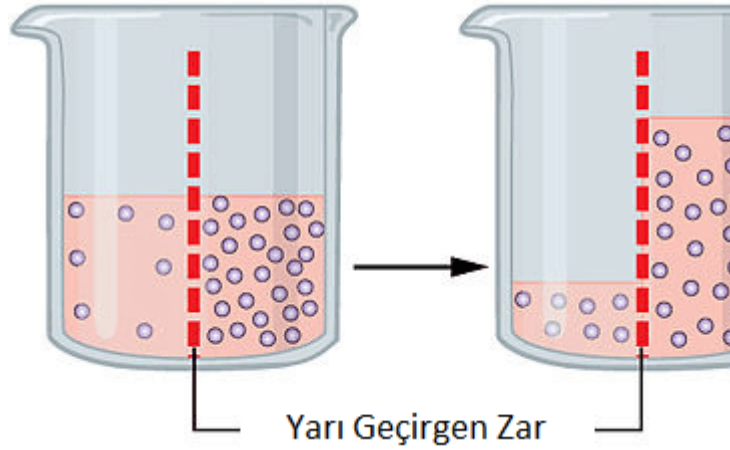
Hücre içindeki büyük moleküllerin hücre dışına atılmasını sağlayan taşıma şeklidir. Hücre içindeki moleküllerin sindirilemeyen atıkları koful içinde hücre zarına getirilip koful zarı ve hücre zarının birleşmesi yoluyla atılır. Koful zarı birleşim yerinden açılarak atık maddeleri dışarı atar.

*Difüzyonla hücre zarından alınabilen maddeler:* Su, oksijen, karbondioksit, iyot, etil alkol, glikoz, galaktoz, fruktuz, aminoasit, yağ asiti, gliserol, Na . K gibi iyonlar mineraller.

*Difüzyonla hücre zarından alınamayan maddeler:* Proteinler, yağlar, disakkaritler, lipoprotein, polisakkarit, virüs, bakteri, ATP.

### 2) Osmoz

Osmoz, çözücü maddelerin az yoğun ortamdan çok yoğun ortama, seçici geçirgen bir zardan enerji harcanmadan geçişidir. Canlı sistemlerde çözücü madde su olduğu için, biyoloji bilminde osmoz terimi ile kastedilen, suyun az yoğun ortamdan çok yoğun ortama seçici geçirgen bir zardan enerji harcanmadan geçişidir.



Yukarıdaki görselde meydana gelen olay osmoz olayına bir örnektir. Yoğun olan kısım diğer kısma bir emme kuvveti uygular ve emme kuvvetleri eşitleninceye kadar su geçişi devam eder. Bu emme kuvvetine *osmotik basınç* denmektedir. Osmotik basınç bitkilerin besin alışverişinde kritik bir role sahiptir.

Hücreler farklı yoğunluktaki durumlarda dış ortama farklı tepkiler verir; bu tepkiler plazmoliz, deplazmoliz olarak adlandırılır. Bu tepkilerde turgor basıncı (su alma isteği) ve osmatik basınç (su verme isteği) etkilidir.

**Plazmoliz:** Bitki hücresinin kendinden daha yoğun(hipertonik) ortama konulduğunda su kaybederek büzülmesidir. Bu büzülme uzun süre devam ederse bitki hücresi ölür.

**Deplazmoliz:** Plazmolize uğramış hücrenin kendinden daha az yoğun (hipotonik) ortama konulduğunda su alarak şişmesidir.

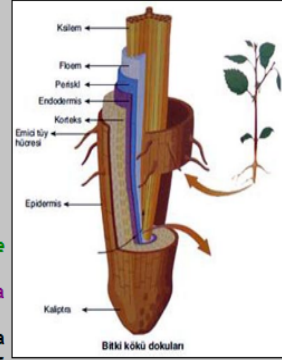
## KÖK

### Görevi

- ✓ Toprağın derinliklerine kadar uzanıp, bitkiyi toprağa bağlar.
- ✓ Bitkinin dik durmasını sağlar.
- ✓ Toprakta su ve madensel tuzları alır.

### Yapısı

- > Her kökün ucu yüksük (kaliptra) şeklinde koruyucu bir hücre kılıfı ile örtülmüştür. Bu kılıf çok hızlı büyüyen meristematik bölgeyi korur.
- > Kökteki, büyüme bölgesi sürekli bölünen meristematik hücrelerden oluşur. Bu hücrelerin bölünmesiyle kökteki diğer dokular meydana gelir.
- > Büyüme bölgesinin ardından gelen bölge uzama bölgesidir. Bu bölgenin hücreleri farklılaşmadan önce bol su alarak hızla boyuna uzarlar. Büyüme ve uzama bölgesi beraberce kökün boyca uzamasını sağlar.
- > Uzama bölgesinin üzerinde farklılaşma bölgesi yer alır. Bu bölgedeki hücreler devamlı farklılaşma gösterirler.
- > Kökü dıştan sararak örten hücre sırası epidermistir. Farklılaşma bölgesindeki epidermis hücreleri dışa doğru uzayıp, emici tüyleri oluştururlar. Böylece su ve madensel tuzların emilmesi için yüzey genişletmiş olurlar.
- > Kök epidermisinde kütikula ve stoma bulunmaz. Geçişmeler difüzyonla olur.
- > Epidermin hemen üst kısmında kabuk (korteks) yer alır. Kabuk ince çeperli küre şeklinde, hücreler arası boşlukları fazla olan hücrelerden oluşmuş, çok tabakalı özellik gösterir.
- > Kabuk hücreleri nişasta gibi besin maddelerini depo edip su ve madensel tuzları iç tabakalara iletir.
- > Kabuk içte, tek hücre sırasından oluşan endodermis ile sınırlanır. Bu tabaka ile öz bölgesi, kabuktan ayrılır.
- > Öz bölgesinin orta kısmı ksilem (odun) ve floem (soymuk) diye ayrılan iki çeşit iletim dokusundan oluşur. Ksilem su iletimiyle görevli trake ve trakeitlerden meydana gelir. Ksilem demetleri arasında floem demetler bulunur. Daha küçük ve ince çeperli floem hücreleri ile ksilem arasında tek sıra hücreden oluşan kambiyum halkası yer alır.



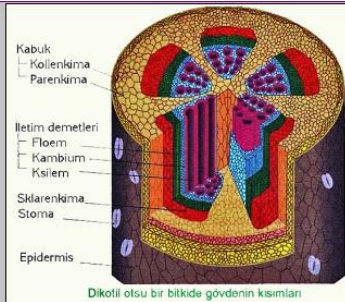
Bitki kökü dokuları



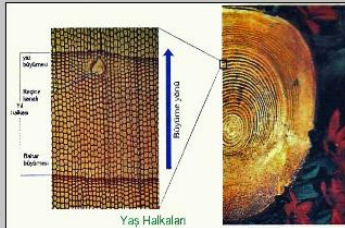
Kök Çeşitleri

## GÖVDE

- ✦ Tomurcuk, dal ve sürgünlerden oluşan gövde su ve madensel tuzların bitkiye alındığı köklerle, besin maddelerinin sentez yeri olan yapraklar arasında bağlantıyı sağlar.
- ✦ Yapraklara destek olur.
- ✦ Eşeyli üreme için gerekli olan çiçek ve meyveyi uygun şekilde tutarlar.
- ✦ Klorofil içeren hücreleriyle fotosentez yapıp, besin depo edebilirler.
- ✦ Bitki gövdeleri otsu yada odunsu olabilir.
- ✦ Gövdesi yumuşak olup, çabuk kırılabilen ve genellikle turgor basıncı sayesinde dik durabilen bitkilere ot denir. Bunlar bir ya da iki yıllık olabilirler. Genellikle yıllık olan bu bitkilerde gövdedeki iletim demetleri kambiyumsuzdur ve iletim demetleri dağınık bir durum gösterir.
- ✦ Eğrelti ve otlarda, rizom denen toprakaltı gövdeleri bulunur.
- ✦ Toprak altında besin depo eden gövdelere yumru gövde denir.
- ✦ Gövdeler yaprak gelişmesini sağlayan nodyumlar (düğüm) taşırlar.



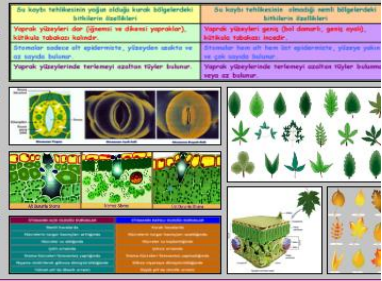
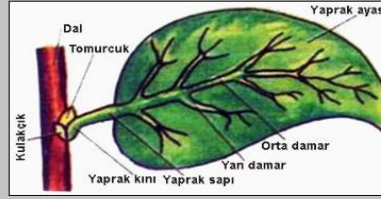
Dikotil otsu bir bitkide gövdenin kısımları



Yaş Halkaları

## YAPRAK

- >Fotosentezle besin üreten organdır.
- >Güneş ışınlarını iyi alabilmek, karbondioksit, su ve oksijen alışverişlerini yapabilmek için genellikle geniş bir yüzeye sahiptir.
- >Yapraklar, gövdenin yan tomurcuklarından oluşur.
- >Büyümesi sınırlı olup ömrü kısadır.En fazla iğne yapraklılarda 3-4 yıl yaşayabilirler.
- >Bir dikotiledon yaprağı, yaprak sapı ve yaprak ayasından oluşur.
- >Yaprağın yapısı ve şekli, bitkinin yaşadığı çevresel koşullara uygunluk gösterir.
- >Yaprakta iletim demetleri bulunur. Ayadaki iletim demetleri çatallanarak damarları meydana getirir.
- >Yapraktan alınan enine kesitte, alt ve üst yüzeyde epidermise rastlanır. Koruyucu epidermis hücreleri kütin salgılar. Kütin maddesi yaprağın su kaybını engeller fakat ışık emilmesine engel olmaz.
- >Alt ve üst epidermis arasındaki bölgeye mezofil denir.
- >Üst epidermise yakın silindirik şeklindeki hücrelerden oluşan tabakaya palizat parankimasi, alt epidermis tarafındaki gevşek sıralanmış, hücreler arasındaki boşlukları fazla olan tabakaya sünger parankimasi denir. Sünger parankimasi hücreleri arasındaki boşluklar, karbondioksit deposu olarak görev yapar.
- >Epidermis hücreleri arasında stoma (gözenek) denen açıklıklara rastlanır.



## TERLEME

- Bitkilerin stomalarından su kaybetmelerine terleme denir.
- >Bitkilerde solunum ve fotosentez olaylarının gerçekleşmesi için havanın bitkilerin iç dokularına girip çıkması ve su miktarının terleme ile ayarlanması gerekir. Bu stomalar ile sağlanır.
- >Havanın neme doymuş olduğu zamanlarda terleme güçleşeceğinden hidatod (su savağı) adı verilen yapılar yardımı ile damlama (gutasyon) yapılır.



Kurak ve Nemli Bölge Bitkilerinin Özellikleri

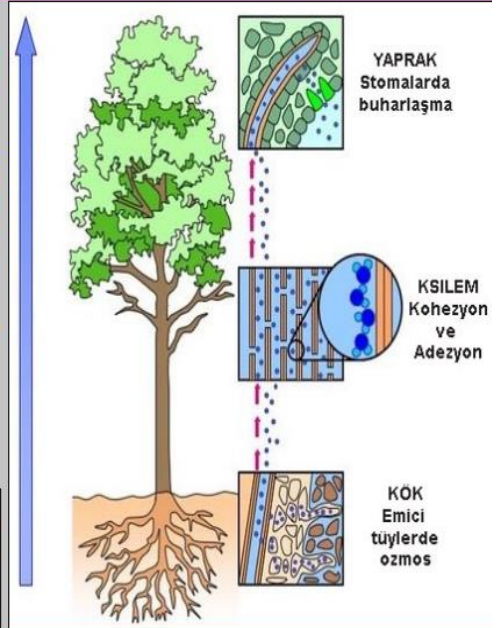
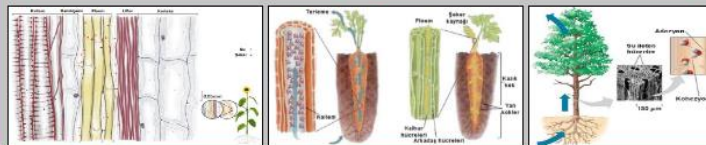
Bitkilerde Terleme Hızını Etkileyen Faktörler

## BİTKİLERDE SUYUN TAŞINMASI

- ❖Topraktaki su ve mineraller, kökteki emici tüyler tarafından difüzyon ile alınarak odun borularına getirilir.
- ❖Topraktan alınan su, odun boruları ile yapraklara taşınır. Çeperleri, lignin (odun özü) ile kalınlaşan odun boruları cansız olup kılcal boru özelliği gösterir. Odun borularının bu özellikleri suyun hızlı taşınmasını sağlar.
- ❖Odun borularında su tek yönlü olarak kökten yapraklara doğru taşınır.
- ❖Bitkilerde suyun taşınmasında etkili olan faktörler:

Kök Basıncı

Terleme ve Kohezyon Kuvvetleri



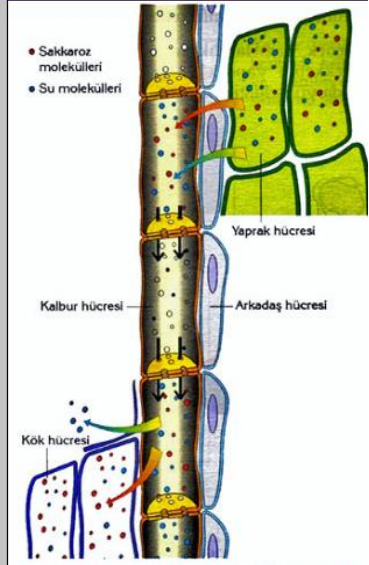
## BİTKİLERDE BESİNİN TAŞINMASI

Bitkilerin yapraklarında fotosentez ile oluşturulan glikoz ile köklerinde sentezlenen aminoasit gibi organik besinler bitkinin diğer kısımlarına soymuk borularıyla taşınır.

Yapraklarda fotosentezle oluşan glikoz ve diğer organik maddeler, bitkinin köküne ve diğer organlarına taşınırken kökte sentezlenen aminoasitler bitkinin üst kısımlarına taşınır. Böylece soymuk borularında aynı anda iki yönlü organik madde taşınır.

Soymuk boruları canlı olduklarından madde taşınması odun borularına göre daha yavaştır.

Soymuk borularında organik madde taşınmasını açıklamaya çalışan teori, bitkinin değişik kısımları arasındaki organik madde yoğunluğunun farklılığına dayanır. Madde iletimi difüzyonun yanı sıra aktif taşımayla da olur.



Floem borularında organik moleküllerin yaprakтан köke taşınması sıvı basıncı ile olmaktadır.

## Bitkilerde Besin Tuzlarının Önemi

Bitkiler büyüme ve gelişme için çeşitli besin tuzlarına ihtiyaç duyarlar. Besin tuzlarını oluşturan elementler makro ve mikro elementler olarak adlandırılır. **Bitkilerin fazla miktarda ihtiyaç duyduğu azot, potasyum, kalsiyum, magnezyum, fosfor, kükürt, silisyum makro elementlerdendir.**

**Bitkilerin çok az gereksinim duyduğu klor, demir, bor, mangan, sodyum, çinko, bakır, nikel, molibden mikro elementlerdir.**

**Bitkilerde bu elementler:**

>Bileşiklerin yapısına katılır.

>Enzim faaliyetlerinde görev yapar.

>Bitki hücrelerinde ozmotik basıncın düzenlenmesinde görev yapar.

Bitkiler besin elementlerinin optimum düzeyde bulunduğu ortamlarda en iyi şekilde büyür ve gelişir.

**Makro ve mikro elementler bitkilerde büyüme ve gelişmede görevlidir.**

**Bu elementlerin eksikliklerinde bitkilerde çeşitli gelişim bozuklukları görülür.**

**Bitki Beslenmesindeki Elementlerin Bazıları ve Görevleri**

Azot
Potasyum
Magnezyum
Klor
Demir
Çinko



Minimum Yasası
Gübre
Nodül
Mikoriza

### Minimum Yasası

Mineral tuzlar köklerle alınıp yapraklara kadar taşınırlar. Bu minerallerden birinin toprakta yeteri kadar olmaması halinde, diğer mineraller ne kadar çok olursa olsun, bitki diğer minerallerden de miktarı az olan mineral oranında yararlanacağı için gelişme yavaşlar.

Buna **minimum yasası** denir.

**Minimum yasası, bitkilerin beslenmesinde bazı elementlerin gerekli olduğunu belirtmek amacıyla Liebig tarafından ilk kez 1840 yılında ortaya atılmıştır. İlk olarak sadece bitkiler tarafından ortaya konan bu kural daha sonra tüm canlılar ve ekolojik faktörler için genellenmiştir.**

### Gübre

Bitkilerin büyüme ve gelişmesinde ortamda her zaman yeterli besin elementi bulunmayabilir. Bitkide yeterli büyüme ve gelişmenin sağlanması için bitki beslenmesinde gerekli olan elementleri içeren doğal veya yapay maddeye **gübre** denir.

Bitkilerde metabolik olaylarda kullanılan besin maddeleri madde döngüleri sayesinde toprakta her zaman bulunur. Ancak erozyon, yanlış sulama gibi nedenlerle topraktaki besin elementlerinin bir kısmı kayba uğrayabilir. Bunların toprağa yeniden kazandırılması **gübrelemeyle olur**. Gübrelerin bir kısmı azot, fosfor, potasyum vb. elementlerden kimyasal yollarla yapay olarak üretilirken bir kısmı da bitki ve hayvanların kalıntılarının ayrışmasıyla doğal yollardan **üretilir**.



### Nodül

Bezelye, fasulye, yer fıstığı, soya fasulyesi, yonca gibi bazı bitkilerle toprakta bulunan **Rhizobium** adlı azot bağlayıcı bakteriler arasında ortak yaşam görülür. Azot bağlayan bakterilerin kök hücrelerine girmesiyle kökte **nodül** olarak adlandırılan yumrular oluşur. **Nodüldeki bakteriler ortamdaki azotu bağlayarak amino asit ve protein sentezine katkıda bulunur.**



### Mikoriza

Bitkilerin çoğu, topraktan su ve minerallerin emilmesi sırasında ortak yaşadıkları mantarlarla iş birliği yapar. Canlı bitki kökleri ile mantar hifleri arasındaki bu mutualist birliğe **mikoriza** denir.

Kökler yalnızca uygun mantar türleriyle mikorizayı oluşturur. Mantar hifleri; su ve minerallerin, özellikle fosfatın emilmesi için bitkiye geniş bir yüzey sağlarken aynı zamanda bitkinin fotosentez ürünlerinden yararlanır. Hemen hemen bütün damarlı bitkilerde mikoriza bulunur. Bu tür bitkiler doğada daha iyi rekabet eder, daha iyi gelişir ve bol ürün verir.

## 2. BİTKİLERDE SU KAYBI

### 2.1. Transpirasyon (Terleme)

Bitkilerde bitki yapısına alınan su, çeşitli hayat belirti ve faaliyetlerinde çok önemli rol oynar. Bununla beraber alınan bu suyun büyük bir kısmının herhangi bir şekilde bitkiden dışarıya verildiği de bilinmektedir. Genellikle bitkilerde su kaybı diye bilinen bu olay suyun bitkilerden buhar halinde havaya verilmesi veya sıvı halinde çıkışı şeklindedir.

Biliyorsunuz ki, havanın kurak ve nemli oluşuna göre değişen, belli bir su buharını emme kuvveti vardır. Çamaşırların kurumaması da havanın bu emme kuvveti sayesinde olur. Havanın emme kuvveti, nemli havada az olduğundan böyle havada çamaşırlar kurumaz. Hâlbuki kurak havada havanın emme kuvveti fazla olduğu için çamaşırlar çabuk kurur. İşte havanın emme kuvveti sayesinde bitkinin hava ile temasta olan kısımlarından su buharının dışarıya verilmesine **transpirasyon** (terleme) denir.

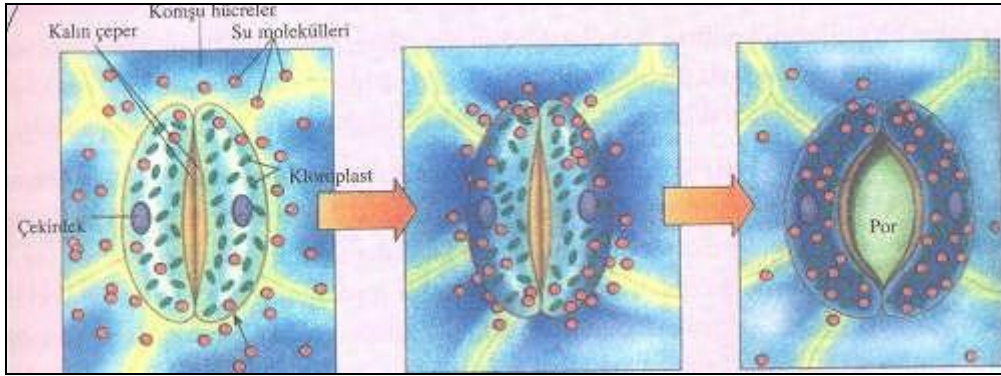
Transpirasyon olayı sadece fiziksel bir buharlaşma olayı değil, aynı zamanda bitkinin canlılığı ile ilgili fizyolojik bir olaydır. Buharlaşma geniş yüzeyler üzerinde fazla olduğundan, bitkilerde de yüzeylerinin geniş olması nedeniyle terleme öncelikle yapraklar tarafından yapılmaktadır. Terleme sonucu bir miktar su kaybeden her yaprak hücresinin yoğunluğu artar ve dolayısıyla emme kuvveti artmış olur. Emme kuvveti artan yaprak hücreleri gövdenin iletim borularından su emer. Böylece odun borularının üst kısımları ile alt kısımları arasında su yüzey gerilimi bakımından ortaya çıkan değişiklik suyun yukarı doğru çekilmesini sağlar ve bunun sonucunda gövde kökten su emer. Kökte yeniden topraktan su alabilecek duruma gelir.

#### 2.1.1. Transpirasyonda Stomaların Rolü

Bildiğiniz gibi yaprak ve diğer organların dış yüzeyi, genel olarak kütikula ile örtülüdür. Kütikuladan yapılan terleme çok azdır. Transpirasyon temelde yaprakların genellikle alt yüzeyinde, bazen üst yüzeyinde, bazen de hem alt hem üst yüzeyinde bulunan stoma = gözenek adı verilen yapılarla olur. Stomalar ayrıca bitkinin gaz alışverişini de sağlar. Stomalar çeşitli



durumlara göre açılıp kapanarak terlemeyi ayarlar. Bu suretle bitkinin fazlaca su kaybına uğraması engellenir.



### Stomaların Açılıp-Kapanması

Stomalar iki kapatma hücresi ile komşu hücrelerden oluşur. Stoma hücreleri bol kloroplastlı olup, sırt çeperleri ince, karın çeperleri kalındır. Kapatma hücreleri arasında delik bulunur.

Bol kloroplastlı stoma hücreleri, ışıklı ortamda yoğun bir şekilde fotosentez yaparak glikoz sentezler. Böylece stoma hücrelerinin ozmotik değerleri artarak komşu hücrelerden stoma hücrelerine yoğun su girişi olur. Bunun sonucunda artan turgor basıncı, stoma hücrelerinin ince sırt çeperlerini gererek stomaların açılmasını sağlar. Böylece gözenek boşluğundaki su buharı havaya verilir.

Stoma hücreleri karanlıkta fotosentez yapmadığından glikoz yoğunluğu düşerek ozmotik değerleri azalır. Bu durumda stoma hücrelerindeki su, komşu hücelere geçer. Su kaybeden stoma hücresi büzülerek kapanır. Bu da su buharı çıkışını durdurur.

#### 2.1.2. Transpirasyonu Etkileyen Etmenler

Terlemeyi etkileyen etmenleri ikiye ayırarak inceleyebiliriz.

**Genetik faktörler:** Stomaların yapısı, buldukları yerler, stomaların sayısı ve kütikula kalınlığı, yapraktaki tüy miktarı, yaprak alanı, yaprak hücrelerinin ozmotik basıncı genetik faktörler içinde yer alır.

**Çevresel faktörler:** Havanın nemi, rüzgâr, ışık ve ısı, topraktaki su miktarı çevresel faktörlerin içinde yer alır.

#### 2.1.3. Transpirasyonun Önemi

Traspirasyonun bitkiler için önemini iki ana başlıkta toplayabiliriz.

Bitkiye devamlı su ve suda çözünmüş madde sağlamak

Bitkinin aşırı ısınmasını engelleyerek şiddetli ışınlam zararlarından bitkiyi korumak

### 2.2. Kök Basıncı

Kök hücrelerinin su yoğunluğu, toprağın su yoğunluğundan azdır. Bu yoğunluk farkından doğan ozmotik basınç nedeniyle topraktan kök hücrelerine yoğun su girişi olur. Böylece suyla dolan kök hücrelerinden odun borularına doğru bir su basıncı oluşur. Kökte oluşan bu kuvvete **kök basıncı** denir. Bir bitkinin gövdesi, su emiliminin yüksek olduğu zamanlarda toprağa yakın bir yerden kesilirse bu bölgeden sıvı çıktığı görülür. Bu sıvı kök basıncının varlığını kanıtlar. Kök basıncı, suyu en fazla 25–30 metre yükseğe çıkarabilir.

### 2.3. Bitkilerde Sıvı Halde Su Kaybı

Bitkilerde su kaybı her zaman buhar halinde olmaz. Bitkiler de azda olsa sıvı halde su kaybeder. Sıvı halde su kaybetme iki şekilde olur.

#### 2.3.1. Yaşarma

Açılan yaralardan (budama) kök basıncı etkisiyle sıvı olarak su kaybına **yaşarma** denir. Bilhassa bağ budamada birçok kimsenin açıkça gördüğü bu olay kök basıncının suyu aşağıdan yukarıya itmesiyle belirir.

#### 2.3.2. Damlama (gutasyon)

Kök basıncının suyu yukarıya doğru itmesi, doğal durumlarda bazı bitkilerin yapraklarında hidatot adı verilen özel yapılardan suyun damlacıklar halinde çıkmasına sebep olur. Özellikle sabahın erken saatlerinde birçok bitkide gayet iyi görülebilen ve kök basıncının etkisiyle beliren bu olaya **gutasyon** (damlama) denir.

Kısaca açıkladığımız damlama ve yaşarma olayları da kökün alınan suyun yukarıya çıkmasını sağlayan itici bir güce sahip olduğunu ispat etmektedir.

## Bitkilerde Terleme Yolu ile Su Kaybı Nasıl Gerçekleşir-?

Bitkiler kök aracılığı ile su aldığı gibi bir yandanda sürekli su kaybederler. Bu su kaybının mekanizmalarından biride terlemedir. (Transpiration) Bitki su kaybedeceği zaman bitkiden dışarı edilecek su hücrelerden hücrelerarası alana (interselüler alan), oradan da stoma hücrelerine ve stoma aracılığı ile atmosfere çıkar. Bitkilerde su kaybının %95'i stoma aracılığı ile, %5'i ise yaprak epidermisi yani yaprak yüzeyi ile gerçekleşir.

### BİTKİLERDE SU DENGESİ

Dünya atmosferinde yaşam, karasal bitkiler için çetin bir mücadele gerektirir. bir yandan, atmosfer fotosentezde gerekli karbondioksitin kaynağı olduğundan bitkilerin atmosferle kolayca temas sağlamaları gerekir. diğer yandan, atmosfer nispeten kuru olup, bitkilerde su kaybına neden

olabilir. bitkiler su kaybını en aza indirip, karbondioksit alımını maksimuma çıkarma gereksiniminin yarattığı çelişkiyi ortadan kaldırmak için, yapraklardan atmosfere kaybedilen suyu denetlemek ve tekrar yerine koymak için değişik uyumlar geliştirmişlerdir.

Bu bölümde bitkide ve bitki ile ortam arasında suyun taşımını yöneten kuvvetleri ve mekanizmaları inceleyeceğiz. Yapraktan transpirasyonla su kaybına, su buharı konsantrasyonundaki gradient neden olur. Toprakta suyun taşımını da kapsayan, ksilemdeki uzun mesafeli taşınım ise, basınç gradiyenti tarafından yönetilir. Kök korteksi gibi hücre tabakalarından suyun taşımını daha karmaşıktır, ancak bu, dokunun karşılıklı iki tarafındaki su potansiyeli gradiyenti ile çözümlenir.

Su, bu yolculuk sırasında pasif olarak taşınır. Dolayısıyla, hareket ettikçe serbest enerjisi azalır. Su taşımını pasif olmasına rağmen, bitki tarafından su kaybını en aza indirecek biçimde, incelikte düzenlenir. Bu da genellikle, transpirasyonun düzenlenmesiyle gerçekleştirilir. Suyun taşımını üzerindeki incelemelerimize topraktaki suya odaklanarak başlayacağız.

## Toprak ve Su İlişkisi

### TOPRAK NEDİR-?

Toprak minerolojik,kimyasal,fiziksel ve morfolojisiyle bulunduğu ana kayaya benzeyen ve farklı yoğunluktaki mineral içeriklerden oluşan doğal bir katmandır.Bu doğal katmanda yaşayan karasal canlılar içinde toprak,bir yaşam alanı,barınma,beslenme gibi ihtiyaçlarını karşılayan ana katmandır.

Toprak iklimsel olaylar ve erozyon gibi doğal oluşum süreçlerini içeren çevresel faktörler ile kayaların parçalanması ile oluşur.Toprak yaşamın oluşumu ve devamı için gerekli olan organik ve inorganik maddeler ile hava ve su içerir.Toprağın inorganik bölümünde toprağı oluşturan partiküllerin çapları baz alınarak toprak tipleri tanımlanmıştır.Aşağıdaki tabloda toprak tiplerini görebilirsiniz.

Toprak Çeşidi	Toprak Partikül çapları
Killi Toprak	0.002 mm'den küçük
Alüvyonlu Toprak	0.002 - 0.05 mm arasında
Çok İnce Kumlu Toprak	0.05 - 0.10 mm arasında
İnce Kumlu Toprak	0.10 - 0.25 mm arasında
Orta Kalınlıkta Kumlu toprak	0.25 - 0.50 mm arasında
Kalın kumlu toprak	0.50 - 1.00 arasında

Çok Kalın Kumlu Toprak

1.00 - 2.00 mm arasında

İnce ve Kalın Çakıl

2.00 mm 'den büyük

Kumlu toprakların partikül çapları 1 mm yada daha büyüktür ve kumlu toprak partikülleri yüzey alanları diğer toprak türlerine göre daha azdır,partiküller arası boşluklar ve kanallar ise daha fazladır.Bu kumlu toprakların su tutma kapasitesinin daha az olacağı anlamına da gelir.

Diğer bir yaygın toprak türü olan killi toprakların partikül çapları 0.002 mm olup toprak partikül yüzey alanları daha fazladır,partiküller arası boşluklar ve kanallar ise daha azdır.Bu özellikler killi toprağın daha fazla su tutmasını sağlar.

Kumlu toprak ve killi toprak özelliklerinden bahsederken sıkça her iki toprak türünde partiküller arası boşluklar ve kanallardan söz ettik.Topraktaki partiküller arası boşluklar hava ve su ile doludur ve bu doluluk oranları toprak tipine göre değişir.Yağmur ve sulama ile ıslanan toprakta su partiküller arası boşluklara ve su kanallarına doğru ilerler.Su toprak partiküllerine bir film zarı gibi yapışarak tutunur ,aynı zamanda boşluklar da su ile dolar.Su killi topraklarda rahatça süzülüp yeraltına akamaz ve suyun büyük çoğunluğu tutulur.Bu özelliğe toprağın nem yada su tutma kapasitesi yada '**Tarla Kapasitesi**' denir.Toprak su ile doyduğunda toprak tipine göre fazla su yeraltı sularına ve yüzey akıntılarına karışır,yada toprak çamurlaşır su birinkileri ve gölcükler oluşur.İste tarla kapasitesi yağmurdan yada sulamadan sonra süzülen,yüzey akıntıları ile giden sudan geriye kalan topraktaki su miktarını gösterir.

## TOPRAKTA SU

Toprakta su içeriği ve suyun taşınım hızı büyük ölçüde toprak tipine ve yapısına bağlıdır. Tablo 4.1, farklı toprakların fiziksel özelliklerinin büyük ölçüde değişebildiğini göstermektedir. Bu tabloya göre, bir uçta partikül büyüklüğü bir milimetre ya da daha fazla olabilen kum bulunur. Kumlu topraklar gram toprak başına nispeten düşük bir yüzey alanına sahip olup, partiküller arasında büyük boşluklara ve kanallara sahiptir. Diğer uçta ise, partikülleri 2 µm'den daha küçük olan kil yer alır. Killi toprakların yüzey alanı büyüktür. Partiküller arasındaki kanallar ise daha küçüktür. Kil partikülleri, humus (ayrışmış organik madde) gibi organik maddelerin yardımı ile kümeler oluşturur. Bu kümeler suyun sızmasını ve toprağın havalanmasını iyileştirir.

Bir toprak yağmur suyu ya da sulama suyu ile aşırı sulandığında, su toprak partikülleri arasındaki boşluklardan yerçekimi ile aşağıya süzülür. Bu sırada su kanallardaki hava ile kısmen yer değiştirir. Bazı durumlarda kanallardaki hava buna engel olur. Topraktaki su, toprak partiküllerinin yüzeyine yapışmış ince bir tabaka halinde ya da partiküller arasındaki kanallarda bulunabilir. Kumlu topraklarda partiküller arasındaki boşluklar çok büyük olduğundan su süzülme eğilimindedir. Yalnızca partikül yüzeylerinde ve partiküllerin kesişme noktalarında kalır. Killi

topraklarda ise kanallar çok küçüktür. Dolayısıyla suyun serbestçe süzülmesine izin vermeyip, suyu sıkıca tutarlar (Bkz. Web Konusu 4.1). Toprakların nem tutma kapasitesi tarla kapasitesi olarak isimlendirilir. Suyla doymuş toprakta fazla su aktıktan sonra, toprakta kalan su miktarına tarla kapasitesi denir. Killi topraklar ile humus miktarı yüksek toprakların tarla kapasitesi büyüktür. Böyle topraklar doymunluğa eriştikten birkaç gün sonra, hacimlerinin %40'ı kadar suyu alıkoyabilirler. Kumlu topraklarda ise, bu oran yalnızca %3'tür.

Aşağıdaki kısımlarda, toprak suyunun negatif basıncının toprak su potansiyelini nasıl değiştirdiğini, toprakta suyun nasıl hareket ettiğini ve bitkilerin gereksinim duyduğu suyun kökler tarafından nasıl emildiğini inceleyeceğiz.

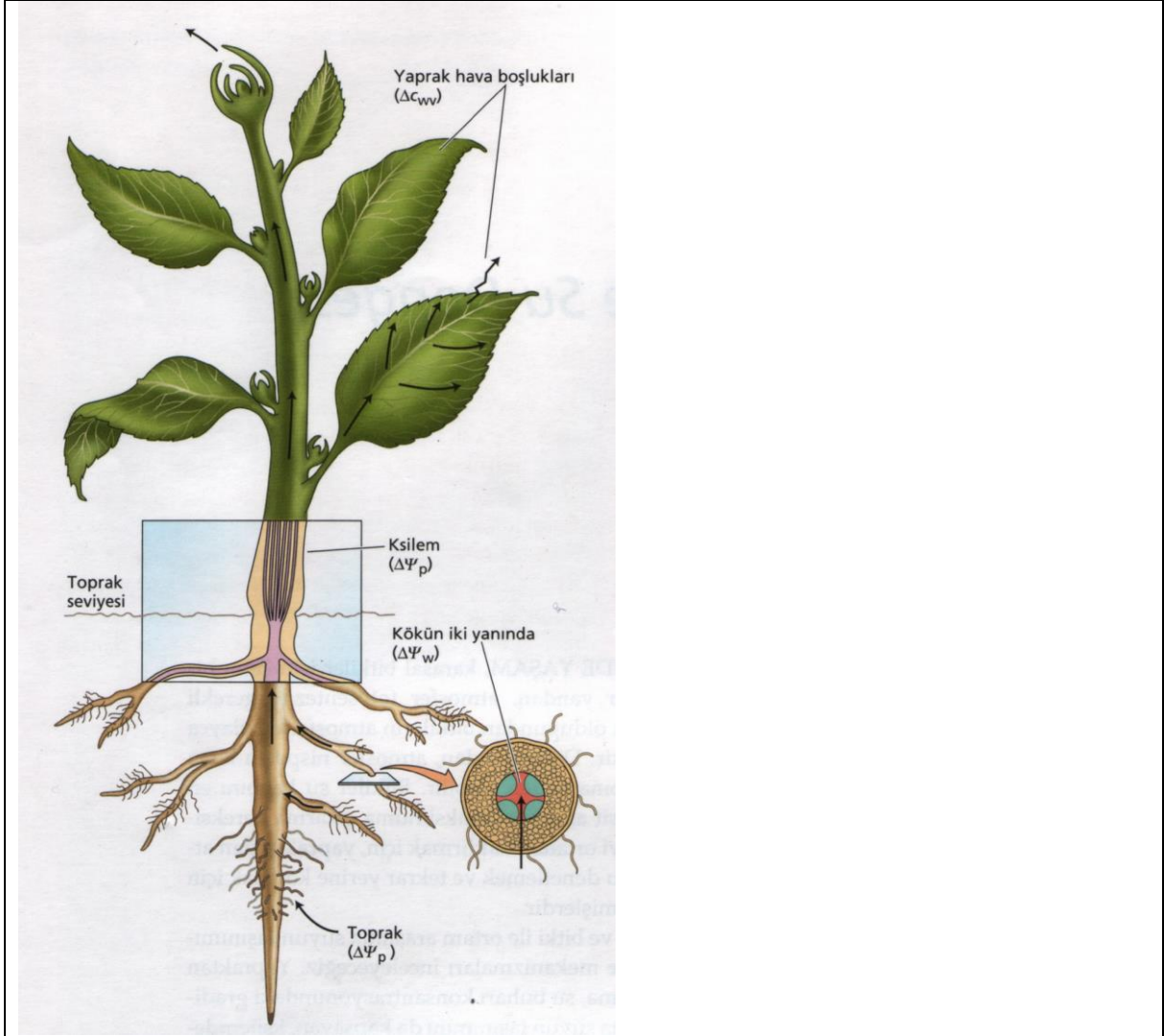
### **Topraktaki Suyun Negatif Hidrostatik Basıncı Toprağın Su Potansiyelini Düşürür**

Bitki hücrelerinin su potansiyelinde olduğu gibi, toprağın su potansiyelinin de iki bileşeni vardır. Bunlar, ozmotik potansiyel ve hidrostatik basınçtır. Toprak suyunun ozmotik basıncı ( $\Psi_s$ ; Bkz. 3. Bölüm), madde konsantrasyonu düşük olduğu için genellikle önemsenebilir; bu değer tipik olarak -0.02 MPa'dır. Ancak, yüksek konsantrasyonlarda tuz içeren topraklar- da ise  $\Psi_s$  önemlidir. Bu tür topraklarda  $\Psi_s$  -0.2 MPa ya da daha düşük olabilir.

Toprak su potansiyelinin ikinci bileşeni, hidrostatik basınçtır ( $\Psi_p$ ) (Şekil 4.1). Nemli topraklarda,  $\Psi_p$  sıfıra çok yakındır. Toprak kurudukça  $\Psi_p$  azalır ve tamamen negatif olur. Toprak suyundaki negatif basıncının kaynağı nedir?

3. Bölüm'deki, kapillarite ile ilgili tartışmalarımızdan, suyun, hava-su ortak yüzeyini en aza indiren yüksek bir yüzey gerilimine sahip olduğunu hatırlıyoruz. Toprak kurudukça, su öncelikle partiküller arasındaki en büyük boşlukların merkezinden uzaklaşır. Adezyon kuvvetleri nedeniyle su, toprak partiküllerinin yüzeyine yapışma eğiliminde olduğundan, toprak suyu ve toprak havası arasında büyük bir yüzey alanı oluşur (Şekil 4.2).

Toprağın su içeriği azaldıkça, su toprak partikülleri arasındaki çatlaklardan geri çekilir ve hava su yüzeyi, kavisli bir hava-su ortak yüzeyine dönüşür.



**TABLO 4.1**  
Farklı toprakların fiziksel özellikleri

Toprak	Partikül büyüklüğü (μm)	Bir gram toprağın yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
Çakıl taşı	2000-200	<1-10
İnce kum	200-20	
Mil	20-2	10-100
Kil	<2	100-1000

ŞEKİL 4.1 Topraktan bitkiye, oradan atmosfere su akışını sağlayan başlıca sürükleyici kuvvetler: su buharı konsantrasyonundaki farklılık ( $\Delta\Psi_{wv}$ ) hidrostatik basınç ( $\Delta\Psi_p$ ) ve su potansiyeli ( $\Delta\Psi_w$ ).

Bu kavisli yüzeylerin altındaki su, negatif bir basınç yaratır. Bu, aşağıdaki formülde gösterilmektedir.

$$\Psi_p = \frac{-2T}{r} \quad (4.1)$$

burada T suyun yüzey gerilimi ( $7.28 \times 10^{-8}$  MPa m), r ise hava-su ortak yüzeyinin oluşturduğu kavisin yarıçapıdır.

Kuruyan topraklarda hava su yüzeylerinin oluşturduğu kavisin yarıçapı çok küçük olacağına, toprağın  $\Psi_p$  değeri çok negatif olabilir. Örneğin, bir kavisin yarıçapının  $r = 1 \mu\text{m}$  (yaklaşık en büyük kil partikülü boyutunda) olması, -0.15 MPa'lık bir  $\Psi_p$  değerine karşılık gelir. Hava-su ortak yüzeyinin, kil partikülleri arasındaki daha küçük çatlaklara doğru geri çekilmesiyle,  $\Psi_p$  değeri kolayca -1 ve -2 MPa'a ulaşabilir.

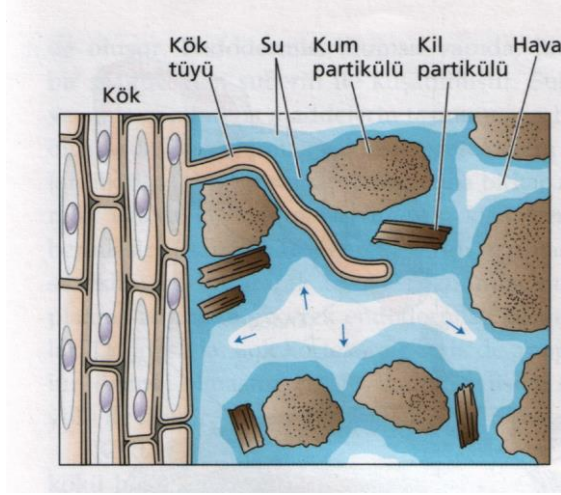
Toprak bilimcileri genellikle toprak su potansiyelini, matris potansiyeli açısından tanımlarlar (Jensen ve ark. 1998). Su potansiyeli ve matris potansiyeli arasındaki ilişkiyle ilgili bir tartışma için Bkz. Web Konusu 3.3.

### **Su Toprakta Kütleli Akışla Hareket Eder**

Su, toprakta genellikle kütle akışıyla taşınır. Bu akış basınç gradiyenti ile oluşur. Ayrıca, su buharının difüzyonu da toprakta suyun taşınmasına bir ölçüde yardım eder. Bitkiler topraktan suyu absorbladıkça, kök yüzeylerine yakın topraktaki su tükenir. Bu durum, kök yüzeyi yakınında, suyun  $\Psi_p$  değerini düşürerek  $\Psi_p$ 'i daha yüksek olan, yakındaki komşu toprak bölgelerine göre bir basınç gradiyenti oluşturur. Topraktaki su dolu gözenekler birbiriyle bağlantılı olduğundan, su, bu kanallardan basınç gradiyenti yönünde kütleli akışla kökün yüzeyine doğru taşınır.

Topraklarda su akış hızı iki faktöre bağlıdır: toprak içindeki basınç gradiyentinin büyüklüğü ve toprağın hidrolik iletkenliği. Toprağın hidrolik iletkenliği suyun toprakta taşınma kolaylığının bir ölçüsü olup, su içeriğine ve toprak tipine bağlı olarak değişir. Parti- külleri arasında büyük boşluklara sahip kumlu toprakların hidrolik iletkenliği büyük, boşlukları küçük olan killi toprakların hidrolik iletkenliği ise çok düşüktür. Bir toprağın su içeriği (dolayısıyla su potansiyeli) azaldıkça, hidrolik iletkenliği belirgin olarak azalır (Bkz. Web Konusu 4.2). Toprak hidrolik iletkenliğindeki bu düşüş, toprak porlarının daki suyun yerini havanın almasından kaynaklanır. Toprağın, önceden suyla dolmuş bir kanala hava girince su o kanalın yalnızca dış kısımlarında hareket eder. Giderek daha fazla boşluk hava ile doldukça, su daha az sayıda ve daha dar kanallardan akabilir ve hidrolik iletkenlik azalır.

Çok kuru topraklarda, su potansiyeli ( $\Psi_w$ ) daimi solgunluk noktası olarak adlandırılan bir değerin altına düşebilir. Bu noktada toprağın su potansiyeli çok düşük olduğundan, transpirasyonla tüm su kaybı durdurulsa bile, bitkiler turgor basınçlarını yeniden kazanamazlar. Bu durumda, toprağın su potansiyeli ( $\Psi_w$ ), bitkinin ozmotik potansiyeline ( $\Psi_s$ ) eşit ya da daha



düşüktür. Hücre  $\Psi_s$  i bitki türlerine göre değişir. Bu nedenle, daimi solgunluk noktası yalnızca toprağın bir özelliği olmayıp, bitki türlerine göre de değişebilir.

ŞEKİL 4.2 Kök tüyleri toprak partikülleri ile yakın temas sağlar ve tarafından suyun absorblanmasında kullanılmak üzere yüzey alanını büyük ölçüde artırır. Toprak, partiküller (kum, kil, mil ve organik su, suda çözülmüş

maddeler ve havadan oluşan bir karışımdır.

Su, toprak partiküllerinin yüzeyince absorbe edilir. Su bitki tarafından absorbe edildikçe toprak çözeltisi toprak partikülleri arasındaki daha küçük paketlere, kanallara ve açıklıklara doğru çekilir. Hava-su yüzeylerinde bu çekilme toprak çözeltisinin bir kavisi (şekilde oklarla gösterilen, su ve hava arasındaki kesişme yüzeyi) oluşturmasına neden olur ve yüzey gerilimi sonucu çözeltinin gerilim altına girmesini sağlar (negatif basınç). Topraktan daha fazla su uzaklaştıkça kavisin derinliği, dolayısıyla gerilim daha da artar (negatif basıncın düşmesi).

## KÖKLER TARAFINDAN SUYUN ABSORBSİYONU

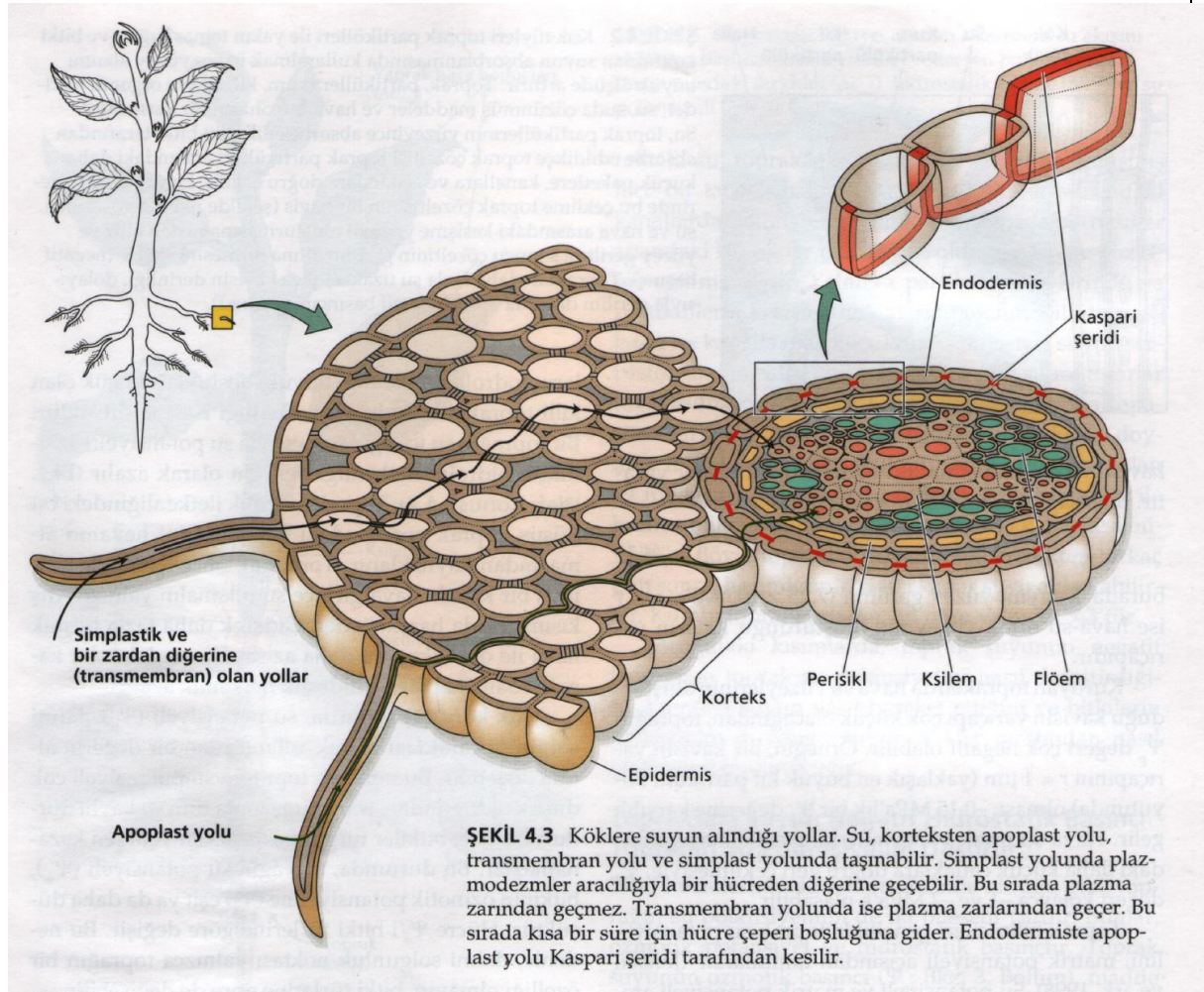
Köklerden suyun etkili bir şekilde emilimi için kök yüzeyi ve toprak arasında yakın temas gereklidir. Su alınımı için gerekli yüzey alanını sağlayan bu temas, toprak içinde kök ve kök tüylerinin büyümesi sonucu en üst düzeye çıkar. Kök epidermis hücrelerinin uzantısı olan kök tüyleri, kökün yüzey alanını büyük ölçüde arttırarak topraktan su ve iyonların absorpsiyon kapasitesini arttırır. 4 aylık çavdar (*Secale*) bitkilerinin kök tüylerinin, köklerin yüzey alanının %60'ından fazlasını oluşturduğu saptanmıştır (Bkz. Şekil 5.6).

Su köke, genellikle kök tüylerini de içine alan kökün apikal bölgesinden girer. Kökün daha olgun bölgenin ekzodermis veya hipodermis olarak adlandırılan koruyucu dokudan oluşmuş bir dış tabakaya sahiptir. Hücre çeperleri hidrofobik maddeler içeren bu tabakalar suya nispeten geçirimsizdir.



Toprak ve kök yüzeyi arasındaki yakın temas toprak karıştırıldığında kolayca bozulur. Bu nedenle, başka bir yere nakledilen fideler ya da bitkilerin nakilden sonra ilk birkaç gün su kayıp etmeleri önlenmelidir. Daha sonra, toprakta yeni kökler gelişerek toprak-kök teması yeniden kurulur ve bitki su stresine daha iyi karşı koyabilir.

Şimdi, köklerde suyun alınım hızını belirleyen faktörler ve kök içinde suyun nasıl taşındığını inceleyelim.



### Su Apoplast, Transmembran ve Simpiast Yoluyla ile Kökte Hareket Eder

Su, toprakta çoğunlukla kütleli akışla taşınır. Ancak su kök yüzeyi ile temas edince, suyun taşınma biçimi oldukça karmaşıklaşır. Su kök epidermisinden endodermise üç yolla akabilir (Şekil 4.3). Bunlar; apoplast, transmembran, simpiastik yollardır.

1 . Apoplast yolunda, su herhangi bir zardan geçmeksizin yalnızca hücre çeperleri boyunca hareket eder. Apoplast, hücre çeperleri ve hücreler arası hava boşluklarının oluşturduğu süreklilik oluşturan bir sistemdir.

2. Transmembran yolunda, su bir hücrenin bir tarafından girip diğer tarafından çıkar ve daha sonra sıradaki hücreye girer. Bu yolda su, yolu üzerindeki (giriş ve çıkış sırasında plazma zarını geçer) her bir hücreden geçerken en az iki zardan geçer. Tonoplastın bir yanından diğer yanına geçmek gerekebilir.

3. Simpiast yolunda su, plazmodezmler aracılığıyla bir hücreden diğerine taşınır (Bkz. 1. Bölüm). Simpiast, plazmodezmlerle birbirine bağlanan hücre sitoplazma ağından oluşmuştur.

Apoplast, transmembran ve simplast yolların nispi önemleri henüz tam olarak bilinmemektedir. Basınç sondaj tekniği ile yapılan deneyler (Bkz. Web Konusu 3.6) apoplast yolunun, genç mısır köklerine suyun alınımında özellikle önemli olduğunu göstermiştir (Frensch ve ark. 1996; Steudle ve Frensch 1996).

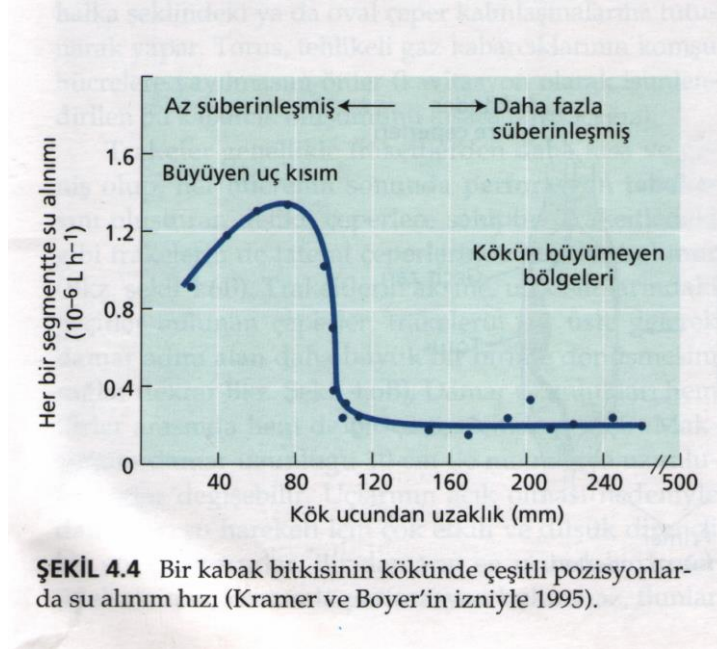
Endodermiste, apoplasttan ilerleyen su iletimi Kasparyan şeridi tarafından durdurulur (Bkz. Şekil 4.3). Kasparyan şeridi endodermisin ışınal hücre çeperlerinin Apoplast de oluşur. Endodermis, mumsu yapıda, hidrofobik bir madde olan suberin ile kuşatılmıştır. Suberin su ve suda çözülmüş maddelerin taşınımı için bir engel oluşturur. Endodermis, yaklaşık protoksilem elemanları ilk olgunlaştığı zaman, kök ucuna birkaç milimetrelik uzaklıkta, kökün büyüyen kısımlarında süberinleşir (Esau 1953). Kasparyan şeridi apoplast yolunun sürekliliğini bozarak su ve çözülmüş maddeleri plazma zarından geçerek endodermise geçmeye zorlar. Dolayısıyla, kök korteksi ve stele de apoplast yolunun önemli olmasına karşın, endodermisten simplast yolu ile taşınır.

Kökten suyun hareketini anlamak için diğer bir yolu, kökü bir tek hidrolitik iletkenliğe sahip olan tek yol olarak varsaymaktır. Böyle bir yaklaşım, kök hidrolik iletkenliği kavramının ortaya çıkarmıştır (ayrıntılar için Bkz. Web Konusu 4.3).

Kökün apikal bölgesi suya çok geçirgendir. Bu bölgenin dışında, endodermis süberinleştiği için su alınımı sınırlanır (Şekil 4.4). Buna rağmen, daha yaşlı köklerden de bir miktar su alınabilir. Bu tür bir su alınımı olasılıkla sekonder büyümenin etkisiyle kortekste oluşan parçalanmalardan gerçekleşir.

Kökler düşük sıcaklık ve anaerobik koşullara ya da solunumu engelleyicilerine (siyanür gibi) maruz bırakılınca su alınımı azalır. Bu uygulamalar kök solunumunu engeller ve kökler daha az su taşır. Bu etki henüz ayrıntılı olarak açıklanamamıştır. Suyla dolmuş topraklarda yaşayan bitkilerin solma nedeni kök hidrolik iletkenliğindeki azalmadır. Suyla batık kökler, normalde

topraktaki hava boşluklarından difüzyonla gelen (gazlarda difüzyon suyun içindekinden 10 kat daha hızlıdır) oksijenden yoksun kalır. Anaerobik kökler sürgünlere daha az su gönderir. Net su akışının azalması solgunluğun başlamasına neden olur.



### **Ksilemde Çözünmüş Madde Birikimi “Kök Basıncı” Oluşturabilir**

Bitkilerde bazen kök basıncı olarak belirtilen bir olgu görülür. Örneğin, tam toprak seviyesinin üzerinden kesilen genç bir bitkinin kesik gövdesinin ksileminden özsuyu saatlerce dışarı sızar. Eğer kesik uca bir monometre konulursa, oluşan pozitif basınç ölçülebilir. Bu basınçlar 0.05 MPa ile 0.5 MPa'ya kadar yükselebilir.

Kökler seyreltik toprak çözeltisinden iyonları absorblayıp ksilemle taşıyarak pozitif bir hidrostatik basınç oluştururlar. Ksilem öz suyunda biriken çözünmüş maddeler ksilemin ozmotik basıncında ( $\Psi_s$ ) bir artışa, dolayısıyla ksilem su potansiyelinde ( $\Psi_w$ ) de bir düşüşe neden olurlar. Ksilemin  $\Psi_w$  deki bu düşüş, suyun absorpsiyonu için gereken sürükleyici gücü sağlar. Bu güç ise, ksilemde pozitif bir hidrostatik basınç yaratır. Sonuçta, tüm kök ozmotik bir hücre gibi davranır; ozmotik bir zar gibi davranan çok hücreli kök dokusu, çözünmüş maddelerin birikmesine yanıt olarak ksilemde pozitif bir hidrostatik basınç yaratır.

Kök basıncı çoğunlukla, toprak su potansiyeli yüksek ve transpirasyon hızı düşük olduğunda oluşur. Transpirasyon hızı yüksek olduğunda su yapraklar tarafından çok hızlı alınır ve atmosfere verilir. Bu nedenle ksilemde hiçbir zaman pozitif bir basınç oluşmaz.

Kök basıncı geliştiren bitkiler, yapraklarının uç kısımlarında sıvı damlacıklar üretirler. Bu olay gutasyon olarak bilinir (Şekil 4.5). Pozitif ksilem basıncı, ksilem öz suyunun hidatodlar olarak

isimlendirilen özelleşmiş (deliklerden) porlar çıkmasına neden olur. Hidatodlar yaprak ayasındaki damarların uç kısımları ile bağlantılı, özelleşmiş porlardır. Sabahları çim yapraklarının uçlarında görülen “çiğ damlaları”, aslında bu tür özelleşmiş porlardan sızan gutasyon damlalarıdır. Transpirasyon baskılandığı ve geceleri nem yüksek olduğunda gutasyon çok belirginleşir.



**ŞEKİL 4.5** Çilek (*Fragaria grandiflora*) bitkisinin yapraklarında gutasyon. Yapraklar sabahın erken saatlerinde su damlalarını hidatotlardan dışarı verirler. Hidatotlar yaprakların kenarlarında bulunur. Genç çiçekler de gutasyon yapabilirler (Resim, R. Aloni tarafından çekilmiştir).

### **KSILEMDE SU TAŞINIMI**

Bitkilerin çoğunda, ksilem su taşınım yolunun en uzun kısmını oluşturur. 1 m uzunluktaki bir bitkide su taşınım yolunun %99.5'den fazlası ksilem de bulunur. Uzun boylu ağaçlarda ksilem, yolun en büyük bölümünü oluşturur. Kökün bir ucundan diğer ucuna karmaşık olan yol ile karşılaştırılınca, ksilem, direnci düşük olan basit bir yoldur. Bundan sonraki kısımlarda, köklerden yapraklara suyun taşınımı için ksilemde suyun hareketinin nasıl kolaylaştırıldığını ve yaprakta transpirasyona sonucu oluşan negatif hidrostatik basıncın, suyun ksilemden yukarı çekilmesini nasıl sağladığını inceleyeceğiz.

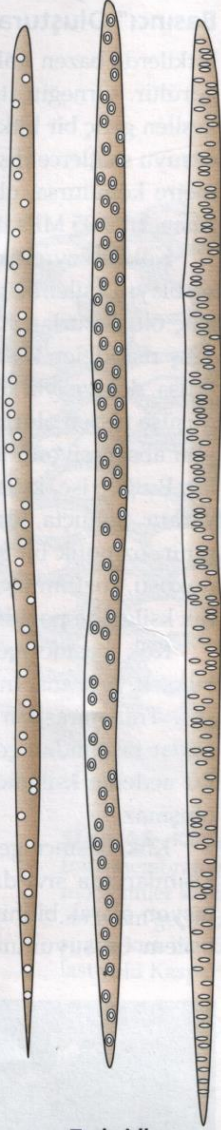
### **Ksilem İki Tip Trakeal Elemandan Oluşmuştur**

Ksilemdeki iletim hücreleri, özelleşmiş bir anatomiye sahiptirler. Bu özellik, büyük miktarlardaki suyu büyük bir verimlilikle taşımalarını sağlar. Ksilemde trakeidler ve trakeler olmak üzere başlıca iki tip trakeal eleman bulunur: (Şekil 4.6).Trakeler yalnızca angiospermlerde, Gnetales olarak isimlendirilen küçük bir gimnosperm grubunda ve bazı eğreltilerde bulunur. Trakeitler ise hem angiosperm hem de gimnospermlerde, eğreltilerde ve diğer iletim demetli bitki gruplarında

mevcuttur. Trakeit ve trakeler ölü hücrelerden oluşur. Bu nedenle işlevsel olarak su ileten hücrelerin zarları ve organelleri yoktur. Kalın ve ligninleşmiş hücre çeperleriyle, içlerinden suyun nispeten kolay akabildiği içi boş tüpler oluştururlar.

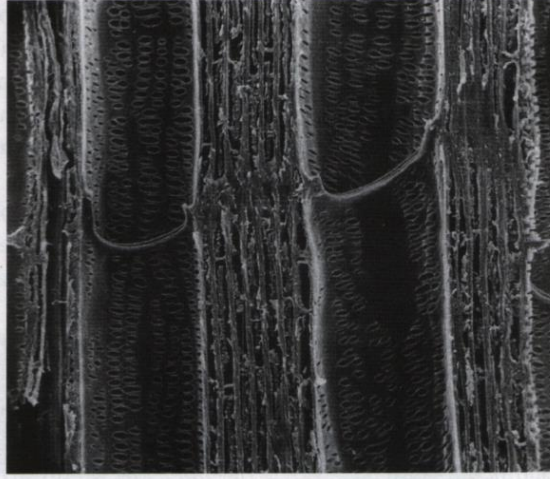
Trakeitler, üst üste gelerek dikey olarak dizilmiş, i biçimindeki hücrelerdir. Su, trakeitlerin lateral çeperlerinde bulunan çok sayıda geçit aracılığı ile bir trakeitten diğerine akar (Şekil 4.6B). Mikroskopik olan bu geçitlerde sekonder çeper bulunmaz. Primer çeper ise ince ve porludur (Şekil 4.6C). Bir trakeitin geçitleri, komşu trakeitin tam karşısında bulunur. Böylece geçit çiftleri oluştururlar. Geçit çiftleri, trakeitler arasında su geçişi için direnci az ohm bir yoldu oluştururlar. Geçit çiftleri arasındaki porlu tabaka iki primer çeper ve bir orta lamelden yapılmıştır. Bu bölge geçit zarı olarak isimlendirilir.

(A)



Trakeidler

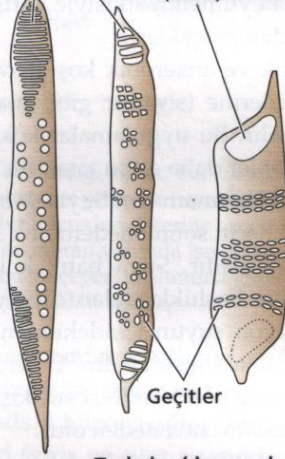
(B)



Perforasyon plağı (bileşik)

Perforasyon plağı (basit)

Geçitler



Trakeler (damar elemanları)

(C)

Geçit çifti

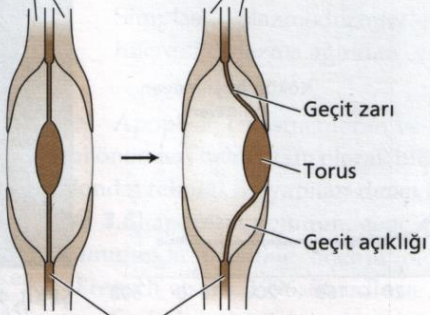
Sekonder hücre çeperleri

Geçit zarı

Torus

Geçit açıklığı

Primer hücre çeperleri



ŞEKİL 4.6 Damar elemanları ve bağlantıları. (A) Trakeitlerin ve trakelerin yapılarının karşılaştırılması, ksilemde su taşınımında ksilemin iki elemanı katılır. Trakeitler uzun, içi boş, çeperleri oldukça ligninleşmiş ölü hücrelerdir. Çeperlerinde çok sayıda geçit bulunur. Geçit bölgelerinde sekonder çeper bulunmaz; ancak primer çeper varlığını sürdürür. Çeperdeki geçitlerin biçimi ve özelliği türe ve organlara göre değişiklik gösterir. Trakeitler iletim demetli bitkilerin tümünde bulunur. Trakeler iki ya da daha fazla trakenin bir araya gelmesiyle bir yığın oluşturur. Trakeitler gibi trakeler de ölü hücreler olup, birbirlerine perforasyon plaklarıyla bağlanmışlardır. Perforasyon plakları porların ve boşlukların olduğu bölgelerdir. Trakeler diğer trakelere ve trakeidlere geçitlerle bağlanmışlardır. Trakeler çoğunlukla angiospermlerde bulunurlar. Gimnospermlerin çoğunda bulunmazlar. (B) Bir trakenin bir bölümünü oluşturan, iki trake elemanını gösteren bir meşe gövdesinin tarama elektron mikroskopik görünümü. Yandaki çeperlerde büyük geçitler görülmektedir. Uçtaki çeperler perforasyon plağı bölgelerinde açıktır. (420X) (C) Toruslu bir kenarlı geçitin şekli. Torus ya merkezde bulunur ya da açıklığın bir tarafına geçerek akışı önler. (B G. Shih-R. Kessel/ Visulas Unlimited; C. Zimmerman'ın izniyle).

Bazı konifer türlerinin trakeitlerindeki geçit zarları torus olarak isimlendirilen merkezi bir kalınlaşma gösterirler. (çoğulu tori) (Bkz. Şekil 4.6C). Torus, geçidi kapatan bir vaif olarak iş görür. Bunu, geçitlerin çevresindeki halka şeklindeki ya da oval çeper kalınlaşmalarına tutunarak yapar. Torus, tehlikeli gaz kabarcıklarının komşu hücrelere yayılmasını önler (kavitasyon olarak isimlendirilen bu kabarcık oluşumunu kısaca tartışacağız).

Trakeler genellikle trakeitlerden daha kısa ve geniş olup, her hücrenin sonunda perforasyon tabaka oluşturan delikli çeperlere sahiptir. Trakeitledeki trakelerin de lateral çeperlerinde geçitler bulunur (Bkz. şekil 4.6B). Trakeitlerin aksine, uç kısımlarındaki geçitler bulunan çeperler, trakelerin üst üste gelerek damar adını alan daha büyük bir birime dönüşmesini sağlar (tekrar Bkz. Şekil 4.6B). Damar uzunlukları hem türler arasında hem de bir türün içinde değişir. Maksimum damar uzunluğu 10 cm ile metrelerce uzunluğa kadar değişebilir. Uçlarının açık olması nedeniyle damarlar, su hareketi için çok etkili ve düşük dirençli yol oluştururlar. Bir damarın en ucundaki damar üyelerinin uç kısmında perforasyon bulunmaz. Bunlar komşu damarlarla geçit çiftleri yardımıyla iletişim kurarlar.

### **Ksilemden Su Taşınımı Canlı Hücrelerle Su Taşınımına Göre Daha Az Basınç Gerektirir**

Ksilem, su taşınımı için, direnci düşük bir yol oluşturur. Dolayısıyla, topraktan yapraklara suyun taşınımı için gerekli basınç gradiyentini azaltır. Bazı sayısal değerler ksilemin olağanüstü

etkinliğini anlamamıza yardımcı olacaktır. Ksilemden belirli bir hızda, suyun taşınımı için gerekli sürükleyici kuvveti hesaplayacak ve bu değeri bir hücreden diğerine suyun taşınımı için gerekli olan sürükleyici kuvvet ile karşılaştıracaktır. Bu karşılaştırmayı yaparken, ksilem taşınım hızını  $4 \text{ mm s}^{-1}$ , damarın yarıçapını ise  $40 \mu\text{m}$  varsayacağız. Bu değer, böylesi dar bir damar için yüksek bir hızdır. Dolayısıyla, ksilemde su akışını desteklemek için gerekli basınç gradiyentini abartılı gösterecektir. Poiseuille eşitliğinin (Bkz. Eşitlik 3.2) bir versiyonunu kullanarak, iç çapı  $40 \mu\text{m}$  olan ideal bir tüpten suyun  $4 \text{ mm s}^{-1}$  hızla taşınımı için gerekli basınç gradiyentini hesaplayabiliriz. Hesaplama sonunda bu basıncın  $0.02 \text{ MPa m}^{-1}$  olduğunu buluruz. Varsayımların ayrıntılarını, eşitlikler ve hesaplamaları Web Konusu 4.4'de bulabilirsiniz.

Kuşkusuz gerçek ksilem elemanlarının iç çeper yüzeyi düzensizdir ve suyun perforasyon tabakası ve geçitlerden akışı ek bir direnç oluşturur. İdeal bir boruda olmayan bu sapmalar, Poiseuille eşitliğine göre, yukarıda hesaplanan sürtünmeye bağlı engellenmeyi artıracaktır. Bununla birlikte ölçümler, gerçek direncin yaklaşık 2 faktör kadar büyük olduğunu göstermektedir (Nobel 1999). Dolayısıyla, hesaplamış olduğumuz  $0.02 \text{ MPa m}^{-1}$  değeri gerçek bir ağaçta bulunan basınç gradiyentlerinin içinde bulunmaktadır.

Şimdi bu değeri ( $0.02 \text{ MPa m}^{-1}$ ), suyun aynı hız- da plazma zarından, bir hücreden diğerine geçmesi için gerekli sürükleyici kuvvetle karşılaştıralım. Web Konusu 4.4 de belirtildiği gibi, Poiseuille eşitliği kullanılarak suyun hücre tabakalarından  $4 \text{ mm s}^{-1}$  lik bir hızla taşınması için gerekli sürükleyici kuvvet  $2 \times 10^8 \text{ MPa m}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer  $40 \mu\text{m}$ -yarıçaplı ksilem damarından suyun taşınması için gerekli sürükleyici kuvvetten onlarca kat daha büyüktür. Hesaplamalarımız, suyun canlı hücrelerin zarlarından taşınmasına göre, ksilemden taşınmasının, son derece hızlı olduğunu açıkça göstermektedir.

### **Suyu 100 m'lik Bir Ağacın Tepesine Çıkarmak İçin Ne Kadar Bir Basınç Farkı Gerekir**

Daha önce verilen örneği akılda tutarak, çok uzun bir ağacın tepesine kadar suyun taşınımı için ne büyüklükte bir basınç gradiyenti gerektiğini inceleyelim. Dünyadaki en uzun ağaçlar, Kuzey Amerika'nın kıyı bölgelerinde yetişen redwoodlar (*Sequoia sempervirens*) ve Avustralya'daki *Eucalyptus regnans*'lardır. İki türün bireyleri 100m den fazla uzayabilir. Eğer bir ağacın gövdesi uzun bir boru olarak düşünürsek, yerden ağacın tepesine kadar suyun taşınımındaki sürtünme kuvvetini yenmek için gerekli basınç farkını bulabiliriz. Bunu ağacın yüksekliğiyle  $0.02 \text{ MPa m}^{-1}$ lık basınç gradiyentimizi çarparak elde edebiliriz ( $0.02 \text{ MPa m}^{-1} \times 100\text{m}=2\text{MPa}$ ).

Sürtünme direncine ek olarak, yer çekimini de dikkate almalıyız. 100 m uzunluğunda dik duran bir su sütununun ağırlığı, su sütununun tabanında  $1 \text{ MPa}$ 'lık bir basınç yaratır ( $100 \text{ m} \times$



0.01 MPa m<sup>-1</sup>). Yerçekimine bağlı bu basınç gradiyenti ksilemden suyun taşınımını sağlamak için gerekli olan basınç gradiyentine eklenmelidir. Böylelikle kaideden dallara, en uzun boylu ağaçların tepesine kadar, suyu taşımak için yaklaşık 3 MPa'lık bir basınç farkının gerekli olduğunu bulmuş oluruz.

### **Suyun Ksilemde Taşınımı, Kohezyon-Gerilim Teorisi İle Açıklanmaktadır**

Kuramsal olarak, ksilemden suyun taşınımı için gerekli basınç gradiyentleri, bitkinin kaidesinde oluşan pozitif basınçlardan ya da bitkinin tepe kısmında oluşan negatif bir basınçlardan kaynaklanır. Daha önce bazı köklerin ksilem kök basıncı adı verilen pozitif bir hidrostatik basınç geliştirdiklerini belirtmiştik. Ancak kök basıncı 0.1 MPa'dan düşüktür. Ayrıca transpirasyon hızı yüksek olduğunda ortadan kalkar. Dolayısıyla suyu uzun boylu bir ağacın üst kısımlarına göndermek için yetersizdir.

Bunun yerine, ağaçların tepesindeki su büyük bir gerilim (negatif bir hidrostatik basınç) yaratır ve bu gerilim suyu ksileme doğru çeker. İlk olarak on dokuzuncu yüzyılın sonlarına doğru önerilen bu mekanizma, özsuynun yükselmesine ilişkin kohezyon-gerilim teorisi olarak isimlendirilmiştir. Çünkü ksilemde su sütunundaki büyük gerilimin sürdürülebilmesi için suyun kohezyon özelliklerine gereksinim duyulur (su taşınımıyla ilgili araştırmaların tarihçesiyle ilgili ayrıntılar için, Bkz. Webte Deneme 4.1).

Kohezyon-gerilim teorisi ilgi çekmişse de, bir yüz- yıldan daha uzun bir süredir tartışmalıdır. Başlıca tartışma konusu, ksilemdeki su sütununun suyun uzun boylu ağaçlarda yükselebilmesi için gerekli büyük gerilimi (negatif basınç) yaratıp yaratamayacağıdır.

Araştırmacıların, ksilem damarlarındaki gerilimi doğrudan ölçebildikleri, hücre basınç sondaj tekniğini değiştirmeleri, yeni tartışmalar başlatmıştır (Balling ve Zimmermann 1990). Bu gelişme gerçekleşmeden önce, ksilemdeki basınçlar esas olarak yaprakların basınç odasında ölçülmesiyle hesaplanıyordu (basınç odası yönteminin tanımını için Bkz. Web Konusu 3.6).

Başlangıçta, ksilem basınç sondası ile yapılan ölçümler beklenen büyüklükte negatif basınç elde edilmesini sağlayamamıştır. Olasılıkla bu durum basınç sondasının cam kapiler borusunun ksilem çeperini delmesi sonucu oluşan minik gaz kabarcıklarının yarattığı kavitasyondan ileri gelmekteydi (Tyree 1997). Bununla birlikte tekniğin dikkatlice düzeltilmesiyle basınç odasıyla ölçülen gerilim ve basınç sondası ölçümleri arasında iyi bir uyum olduğu gösterilmiştir (Melcher ve ark. 1998; Wei ve ark. 1999). Ayrıca, birbirinden bağımsız olarak yapılan çalışmalarla, ksilemdeki suyun büyük negatif gerilimleri koruyabileceğini (Pockman ve ark. 1995) ve transpirasyon yapmayan yapraklarda yapılan basınç odası ölçümlerinin ksilemdeki gerilimi doğru yansıttığını ortaya çıkarmıştır (Holbrook ve ark. 1995).

Böylece, araştırıcıların çoğu, kohezyon-gerilim teorisinin güvenilir olduğuna karar vermişlerdir (Steudle 2001) (alternatif hipotez için Bkz. Canny (1998), ve Webte Deneme 4.1 ve 4.2). Transpirasyon yapan bir bitkinin gövde yüzeyine bir damla mürekkep damlatıp mürekkebin sağlam bir ksileme delinerek aktarılmasıyla ksilem gerilimi kolayca gösterilebilir. Ksilemdeki gerilimin azalması sonucu mürekkep hızla ksileme çekilir. Bu sırada gövde boyunca gözle görülebilen çizgiler oluşur.

### **Ağaçlarda Su Ksilemde Taşınırken Fiziksel Engellerle Mücadele Etmek Zorundadır**

Ağaçların (Bkz. Webte Deneme 4.3) ve diğer bitkilerin ksileminde ortaya çıkan büyük gerilimler bazı sorunlar yaratır. Birinci sorun, gerilim altındaki suyun ksilemin iç duvarlarına doğru bir basınç yapmasıdır. Eğer hücre çeperleri zayıf ya da yumuşak olsaydı, bu gerilimin etkisiyle çökebilirlerdi. Trakeitler ve trakelerin ligninleşmesi ve sekonder çeper kalınlaşmaları bu çöküşü engelleyen uyumlardır.

Bu tür gerilimler altındaki suyun fiziksel olarak kararsız bir halde bulunması ise ikinci bir sorun yaratır. Uçüncü bölümde, gazlarından arındırılmış suyun (içerdiği gazları uzaklaştırmak için su kaynatılmış) de- neysel olarak belirlenmiş kırılma kuvvetinin (gerilme direnci) 30 MPa'dan daha büyük olduğunu bildirmiş- 6k. Bu değer, en uzun boylu ağaçlara suyun çekilmesi için gerekli 3MPa'lık bir gerilimden çok daha büyük- tür. Bu nedenle, ksilemdeki su çoğunlukla kararsız hale gelecek gerilimlere ulaşmaz.

Bununla birlikte, sudaki gerilim arttıka, hava ksilemin hücre çeperlerindeki mikroskobik porlara doğru çekilir. Bu olay air seeding olarak isimlendirilir. Ksilemde kabarcık oluşmasının ikinci biçimi, gazların buzun için- de çözünürlüğünün azalması sonucu ortaya çıkar (Davis ve ark. 1999): ksilem borularının donması kabarcık oluşumuna yol açabilir. Gerilim altındaki su sütununda bir gaz kabarcığı oluşunca bu kabarcık genişler. Çünkü gazlar gerilim kuvvetlerine dayanamaz. Bu kabarcık oluşumu, kavitasyon veya embolizm olarak bilinir. Bu bir otomobilin yakıt borusunun buharla kapanması veya kan damarındaki emboliye benzer. Kavitasyon su sütununun devamlılığını kırar ve ksilemde su taşınımını engeller (Tyree ve Sperry 1998; Hacke ve ark. 2001).

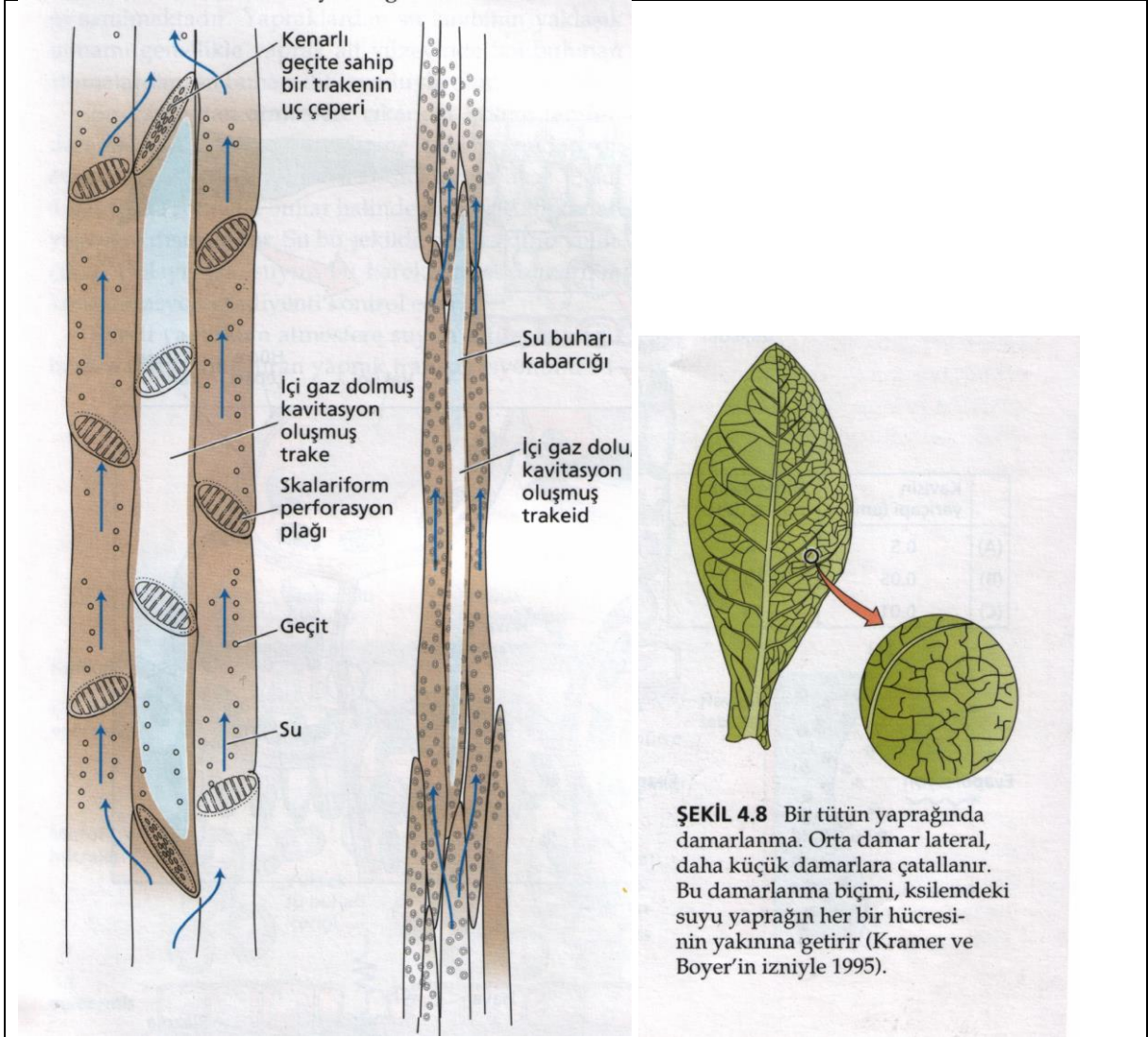
Bitkilerde su sütununun bu şekilde kesintiye uğratılması olağandır. Uygun cihazlar kullanılarak su sütunundaki kopmalar duyulabilir (Jackson ve ark. 1999). Bitkiler susuz kalınca, ses dalgaları saptanabilir. Dalgalar ya da çıtırtıların, ksilemdeki hava kabarcıklarının oluşumunu ve bu kabarcıkların hızla genişlemesi sonucu oluşturdukları düşünölmektedir. Bunlar, bitkinin diğer kısımlarında yüksek frekanslı akustik çok dalgalarına neden olur. Onarılmadıkları takdirde,

Ksilemin su sütunundaki bu kırılmalar bitkiye zarar verebilir. Bu tür amboliler suyun ana taşınma yolunu durdurarak yapraklarda kurumaya ve ölüme neden olabilir.

### **Bitkiler Ksilemde Oluşan Kaviteleşmenin Etkisini En Aza İndirirler**

Ksilemde kaviteleşme oluşumunun bitkiler üzerindeki etkisi bazı yollarla en aza indirilir. Ksilemdeki damar elemanları birbirleriyle bağlantılı olduklarından ilke olarak bir gaz kabarcığı taşınım ağının tamamını dolduracak şekilde genişleyebilir. Pratikte ise, genişlemiş gaz kabarcıkları geçit zarlarındaki küçük porlardan kolayca geçemeyeceğinden, fazla yayılamazlar. Ksilemdeki kılcallar, borular birbirleri ile bağlantılı olduklarından, bir gaz kabarcığı su akışını tamamen durdurmaz. Bunun yerine, komşu iletim elemanlarına geçerek kesintiye uğramış noktanın çevresinden dolaşır (Şekil 4.7). Dolayısıyla, ksilemdeki trakeler ve trakeidlerin sınırlı uzunlukta olması, su akışına karşı direnci artırırken, kaviteleşmenin engellenmesi için bir yol oluşturur.

Ayrıca gaz kabarcıkları ksilemden yok edilebilir. Geceleri, transpirasyon düşük olduğunda, ksilemin  $\Psi_p$  si artar ve su buharı ile gazlar basit bir biçimde ksilemin çözeltisinde tekrar çözünür. Bunun ötesinde, daha önce gördüğümüz gibi, bazı bitkiler ksilemde pozitif basınçlar (kök basınç) geliştirir. Bu tür basınçlar gaz kabarcığını küçültür ve gazın çözünmesine neden olur. Son çalışmalar, kaviteleşmenin su ksilemde geri- lim altında olsa bile onarılabileceğini göstermektedir (Holbrook ve ark. 2001). Böyle bir onarma mekanizması henüz bilinmemekte olup aktif olarak araştırılmaktadır (Bkz. Webte Deneme 4.4). Son olarak, pek çok bitki her yıl yeni ksilemin oluşması sonucu sekonder büyüme gösterir. Bitki tarafından salgılanan maddeler yardımıyla gaz kabarcıkları emildiği için yeni ksilem eski ksilemin işlevi bitmeden önce işlevsel kazanır.



**ŞEKİL 4.8** Bir tütün yaprağında damarlanma. Orta damar lateral, daha küçük damarlara çatallanır. Bu damarlanma biçimi, ksilemdeki suyu yaprağın her bir hücresinin yakınına getirir (Kramer ve Boyer'in izniyle 1995).

ŞEKİL 4.7 Trakeitler (sağda) ve Trakeler (solda) suyun taşınımı için birbirine paralel ve bağlantılı yollar oluştururlar. Kaviteye suyun taşınımını durdurur; çünkü içerik gazla dolu kabarcıklar (ambolize olmuş) oluşur. Ksilem boruları, kaim sekonder çeperlerindeki açıklıklar (“kenarlı geçitler”) aracılığıyla birbirine bağlandığından, su komşu trake elemanlarından taşarak kapanmış trakenin çevresinden turlar. Geçit zarlarındaki çok küçük porlar, ambolizmin ksilem borularına yayılmasını önler. Bu nedenle, sağdaki şekilde gaz, kaviteye yapmış bir tek trakeitte bulunmaktır. Soldaki şekilde ise gaz, kaviteye yapmış tüm trakenin içeriğini doldurmuştur. Buradaki kaviteye yapmış trake üç trakeden oluşmuştur. Bunların herbiri skalariform plaklarıyla birbirinden ayrılmıştır. Doğada, trakeler çok uzun olabilir (birkaç metre uzunluğunda). Dolayısıyla pek çok trakeden yapılmışlardır.

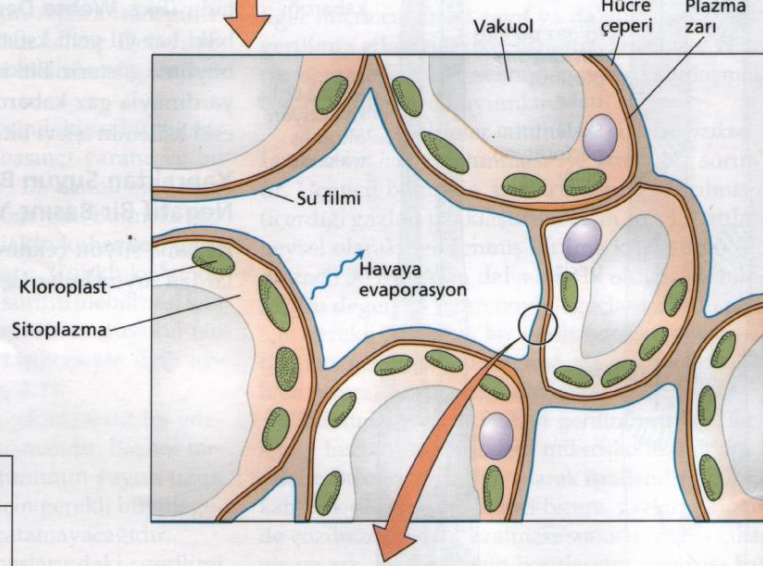
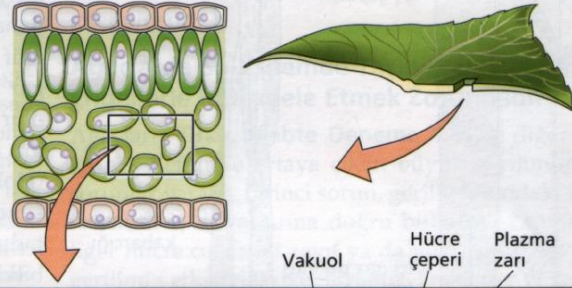
### Yapraktan Suyun Buharlaşması Ksilemde Negatif Bir Basınç Yararır

Ksileme suyun çekilmesi için gerekli gerilim yapraklardan suyun buharlaşmasıyla sağlanır. Bütünlüğü bozulmamış bir bitkide su yaprak iletim demetlerindeki (Şekil 4.1) ksilemlerin yardımıyla yapraklara getirilir (Şekil 4.8). Yaprak iletim demetleri çok ince dallanır; bazen de tüm yaprak boyunca karmaşık ağ oluşturur. Bu damarlanma biçiminde, damarlar çok küçük damarları oluşturmak üzere çatallanmıştır. Dolayısıyla yapraktaki hücrelerin çoğu küçük bir damarın 0.5 mm yakınında yer alır. Su ksilemden yaprak hücrelerinin içine ve hücre çeperleri boyunca çekilir.

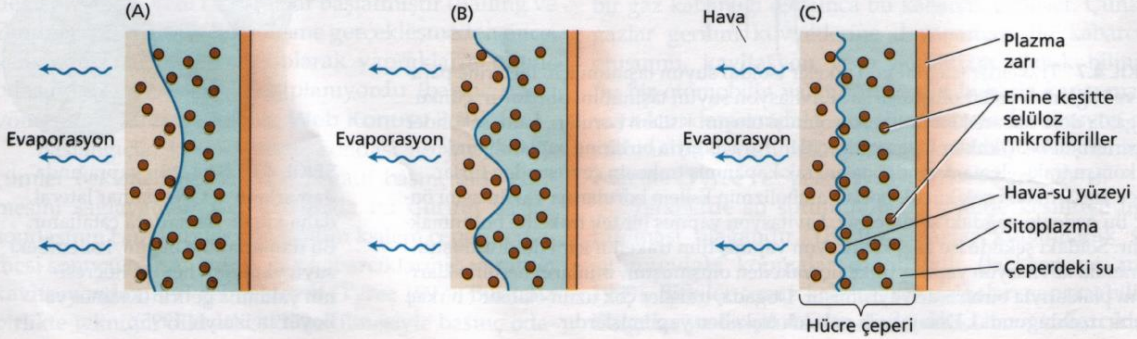
Ksilemde suyun yükselmesine neden olan negatif basınç yaprağın hücre çeperlerinin yüzeyinde gelişir. Bu durum topraktakiyle aynıdır. Hücre çeperi içi suyla dolu, çok ince, kılcal bir fitil gibi iş görür. Su, çeperdeki selüloz mikrofibrillerine ve diğer hidrofilik elemanlara tutunur. Yapraktaki mezofil hücreleri, geniş bir hücreler arası hava boşluğu sistemi sayesinde, atmosferle doğrudan temas halindedir.

Başlangıçta su, bu hava boşluklarını örten ince bir film halindeki tabakadan buharlaşır. Su havaya yeni- dikçe, kalan suyun yüzeyi, hücre çeperindeki (Şekil 4.9) açıklıklara doğru çekilir. Burada kavisli hava-su yüzeyini oluşturur. Suyun yüzey geriliminin yüksek olması nedeniyle ortak yüzeyde oluşan bu kavis, suda negatif bir basınç ya da gerilim yaratır. Hücre çeperinden uzaklaşan su miktarı arttıkça, kavis oluşturan hava-su ortak yüzeyinin yarıçapı azalır ve su basıncı daha negatif hale gelir (Bkz. Eşitlik 4.1). Dolayısıyla, ksilem taşınımı için gerekli itici güç yaprak içindeki hava-su ortak yüzeyinde yaratılır.

**ŞEKİL 4.9** Yapraklarda gerilim veya negatif basınçlar oluşur. Su, mezofil hücrelerinin hücre çeperlerini örten yüzey filminden evaporasyon yaptıkça, hücre çeperinin daha derinliklerine çekilir ve yüzey gerilimi sıvı fazda negatif bir basınçta neden olur. Eğrinin yarıçapı azaldıkça, 4.1 No'lu denklemden de hesaplanabileceği gibi, basınç azalır (daha negatif olur).



	Kavisin yarıçapı ( $\mu\text{m}$ )	Hidrostatik basınç (MPa)
(A)	0.5	-0.3
(B)	0.05	-3
(C)	0.01	-15



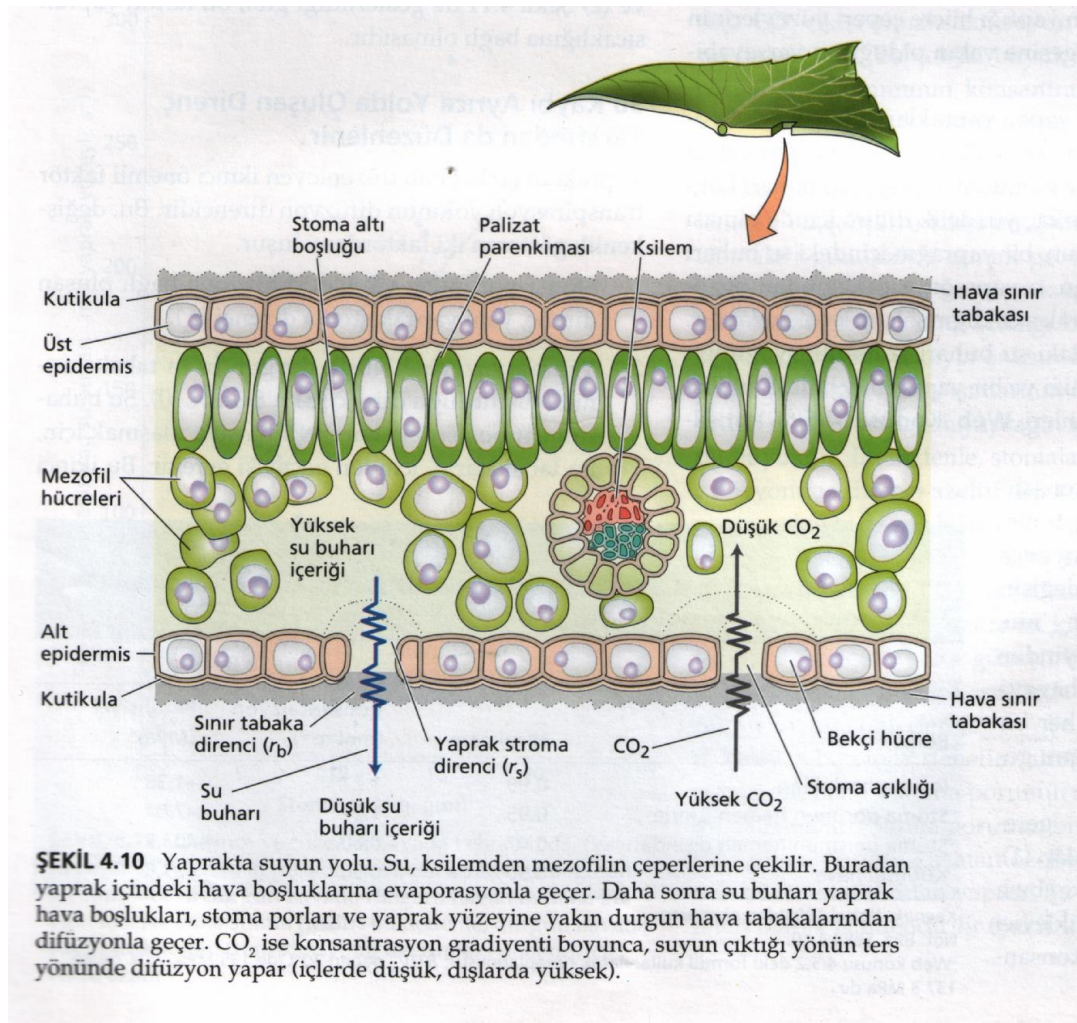
## SU YAPRAKTAN ATMOSFERE GEÇER

Hücre yüzeyinden hücreler arasındaki hava boşluklarına buharlaştıktan sonra su yapraktan dışarıya difüzyonla çıkar. Yaprak yüzeyini örten mumsu kütikula suyun hareketi için çok etkili bir engeldir. Yapraklardan suyun yaklaşık %5'inin kütikuladan kaybedildiği

sanılmaktadır. Yapraklardan su kaybının yaklaşık tamamı genellikle yaprak alt yüzeyinde bol bulunan stomalardan, su buharı difüzyonuyla olur.

Su yapraktan atmosfere çıkarken ksilem tarafından mezofilin hücre çeperlerine çekilir; oradan da evaporasyonla yaprak hava boşluklarına akar (Şekil 4.10). Daha sonra da buhar halinde stoma açıklığından yaprağın dışına çıkar. Su bu şekilde başlıca difüzyonla çıkar. Dolayısıyla, suyun bu hareketini su buharının konsantrasyon gradiyenti kontrol eder.

Şimdi yapraktan atmosfere suyun difüzyonu için başlıca direnç oluşturan yaprak transpirasyonunu sürükleyen kuvveti ve transpirasyonu düzenleyen yaprak anatomik özelliklerini inceleyeceğiz.



### Su Buharı Havada Hızlı Difüzyon Yapar

3. Bölümde sıvılarda difüzyonun yavaş ve bu nedenle yalnızca hücre boyutlarında etkili olduğunu görmüştük. Bir su molekülünün yaprağın içindeki hücre yüzeylerinden yaprak dışındaki atmosfere difüzyonu ne kadar sürer? 3. Bölümde, bir molekülün L mesafesini difüzyonla geçmek için gerekli ortalama sürenin  $L^2/D_s$ 'ye eşit olduğunu görmüştük. Burada  $D_s$  difüzyon

katsayıdır. Bir su molekülünün yaprak içerisinde evaporasyon bölgesinden dıştaki havaya difüzyonla geçmesi gereken uzaklık yaklaşık 1 mm ( $10^{-3}$  m)'dir. Havada suyun difüzyon katsayısı  $2.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ 'dir. Böylece bir su molekülünün yapraktan çıkışı için gerekli ortalama süre yaklaşık 0.042 s'dir. Dolayısıyla, difüzyonun su buharını yaprağın gaz fazından hareket ettirmeye yeterli olduğunu görebiliriz. Bu sürenin, 3. Bölümde hesapladığımız, bir glukoz molekülünün 50 pm'lik bir hücreden difüzyonla geçmesi için gereken 2.5 s'lik süreden çok daha kısa olmasının nedeni difüzyonun gaz da sıvıya göre çok daha hızlı olmasıdır.

Yapraktan transpirasyon başlıca iki faktöre bağlıdır: (1) yaprak hava boşlukları ve dış hava arasındaki su buharı konsantrasyonunun farkı ve (2) bu yolun difüzyon direnci ( $r$ ). İlk olarak su buharı konsantrasyonundaki farkın transpirasyon hızlarını nasıl etkilediğini göreceğiz.

### **Suyun Kaybı İçin Gerekli Sürükleyici Kuvvet Su Buharı Konsantrasyonundaki Farklılıktır**

Su buharı konsantrasyonundaki farklılık  $c_{wv(\text{yaprak})} - c_{wv(\text{hava})}$  olarak ifade edilir. Kütle halindeki havanın su buharı konsantrasyonu ( $c_{wv(\text{hava})}$ ) kolaylıkla ölçülebilir; ancak yaprağınkini ( $c_{wv(\text{yaprak})}$ ) ölçmek daha zordur.

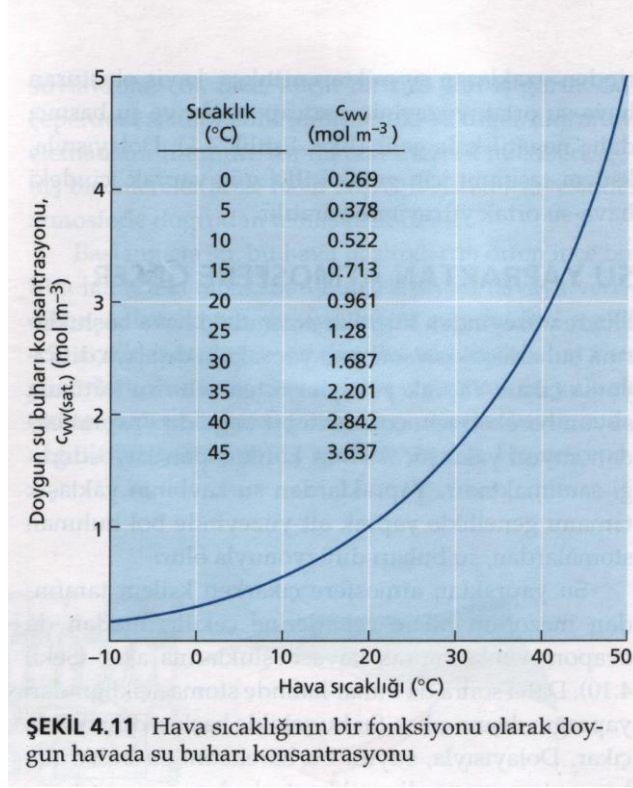
Yaprak içindeki hava boşluklarının hacmi küçük olmasına karşın, suyun evaporasyonla çıktığı nemli yüzey nispeten büyüktür (Hava boşluğunun hacmi, çam yapraklarının toplam yaprak hacimlerinin yaklaşık %5'ini, mısır yapraklarının %10'unu, arpanın %30 ve tütün yapraklarının %40'ını oluşturur). Hava boşluklarının aksine, suyun evaporasyon yaptığı içsel yüzey alanı dışsal yüzey alanının 7 ila 30 katı kadar olabilir. Hacme göre yüksek olan bu yüzey alanı, yaprak içinde hızlı bir buhar dengesi oluşturur. Dolayısıyla, yaprak içindeki hava boşluğunun, sıvı haldeki suyun evaporasyon yaptığı hücre çeperi yüzeylerinin su potansiyeli dengesine yakın olduğunu varsayabiliriz.

Transpirasyon yapan yapraklarda görülen su potansiyeli aralığında (genellikle 2.0 MPa), dengedeki su buharı konsantrasyonunun doygun su buharı konsantrasyonunun birkaç yüzdelik dilimi içinde olması önemlidir. Bu durum, bir yaprağın içindeki su buharı konsantrasyonunun, o yaprağın sıcaklığından ölçülmesini sağlar. Yaprak sıcaklığını ölçmek çok kolaydır. Hava boşluklarındaki su buharı konsantrasyonunun nasıl ölçebileceğimizi ve bir yaprağın içindeki su ilişkilerinin diğer yönleri Web Konusu 4.5'te tartışılmaktadır).

Su buharı konsantrasyonu, yani  $c_{wv}$ , transpirasyon yolu boyunca birkaç noktada değişir. Tablo 4.2'den,  $c_{wv}$ 'nin, hücre çeperi yüzeyinden yaprak dışındaki havaya ulaşıncaya değin her bir basamakta azaldığını görebiliriz.



Hatırlanması gereken önemli noktalar (1), yapraktan su kaybına neden olan sürükleyici kuvvetin mutlak konsantrasyon farkı ( $c_{wv}$ 'de  $\text{mol m}^{-3}$  cinsinden oluşan fark)'na ve (2) Şekil 4.11'de gösterildiği gibi, bu farkın yaprak sıcaklığına bağlı olmasıdır.



**ŞEKİL 4.11** Hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak doygun havada su buharı konsantrasyonu

### Su Kaybı Ayrıca Yolda Oluşan Direnç Tarafından da Düzenlenir

Yapraktan su kaybını düzenleyen ikinci önemli faktör transpirasyon yolunun difüzyon direncidir. Bu, değişkenlik gösteren iki faktörden oluşur.

1. Stoma porundan yapılan difüzyona bağlı oluşan direnç, yani yaprak stoma direnci ( $r_s$ ).
2. Yaprak yüzeyine bitişik durgun hava tabakalarının oluşturduğu direnç (Bkz. Sekil 4.10).

Su buharının atmosferdeki hareketli havaya ulaşmak için, bu tabakaların, içinden geçmesi gerekir. Bu ikinci direnç, yani  $r_b$ , sınır tabaka direnci olarak isimlendirilir. İlk olarak bu ikincisini inceleyeceğiz.

**TABLO 4.2****Bir yapraktan su kaybı sırasında dört noktada nispi nem, mutlak su buharı konsantrasyonu ve su potansiyeli**

Bölge	Nispi nem	Su Buharı	
		Konsantrasyon (mol m <sup>-3</sup> )	Potansiyel (MPa) <sup>a</sup>
İç hava boşlukları	0.99	1.27	-1.38
Stoma porunun hemen içinde	0.95	1.21	-7.04
Stoma porunun hemen dışında	0.47	0.60	-103.7
Kütleli hava	0.50	0.50	-93.6

Kaynak: Nobel 1999'dan alınmıştır.

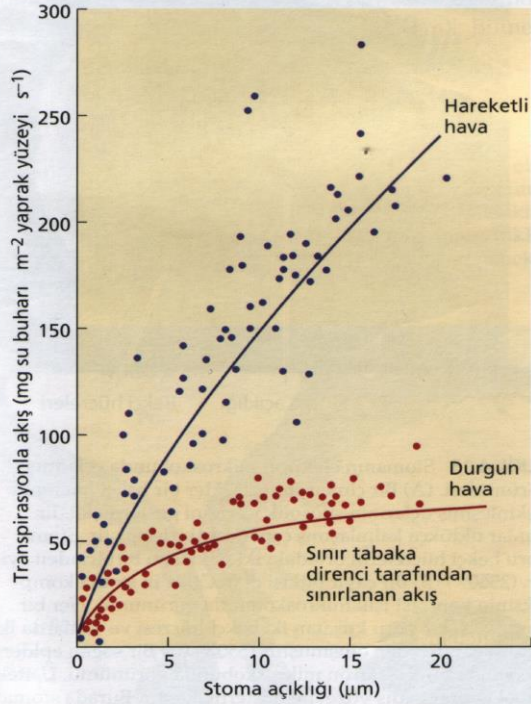
Not: Bkz. Şekil 4.10.

<sup>a</sup>Web konusu 4.5.2'deki formül kullanılarak hesaplanmıştır;  $RT/\bar{V}_w$  değeri 20°C'de 135 MPa, 25°C'de ise 137.3 MPa'dır.

Sınır tabakanın kalınlığını esas olarak rüzgarın hızı belirler. Yaprığı kuşatan hava çok durgun olduğunda, yaprak yüzeyindeki durgun hava, yapraktan su kaybının başlıca belirleyicisidir. 0 tür koşullar altında, stoma açıklığındaki artışların transpirasyon hızı üzerinde etkisi küçüktür (Şekil 4.12) (her ne kadar stomaların tamamen kapanması transpirasyonu azaltırsa da).

Şiddetli rüzgar altında hareketli hava yaprak yüzeyindeki sınır tabakanın kalınlığını azaltarak direnci düşürür. 0 tür koşullarda, yapraktan suyun kaybını büyük ölçüde stoma direnci denetler.

Yaprığın bazı anatomik ve morfolojik özellikleri sınır tabakanın kalınlığını etkileyebilir. Yaprakların yüzeyindeki tüyler mikroskobik rüzgar kırıcılar olarak iş görür. Bazı bitkilerin stomaları gömüktür. Bunlar stoma porunun dışında bir gölge oluşturur. Yaprakların büyüklüğü ve şekli de yaprak yüzeyinden rüzgarın geçme şeklini etkiler. Her ne kadar bu ve diğer faktörler sınır tabakaları etkilerse de, bu özellikler saat başı, hatta günden güne değişen özellikler değildir. Kısa dönemde, bekçi hücreleri tarafından stoma açıklığının düzenlenmesi yaprak transpirasyonunun düzenlenmesinde yaşamsal bir rol oynar.



**ŞEKİL 4.12** Durgun ve rüzgarlı havada zebra bitkisi (*Zebra pendula*) nde transpirasyonun stoma açıklığına bağlılığı. Sınır tabaka durgun havadan rüzgarlı havadan daha büyük, hızı ise daha sınırlayıcıdır. Bu nedenle, durgun havada stoma açıklığının transpirasyonu üzerindeki denetleyici etkisi azalır.

### Stomalar, Fotosentezin ve Yaprak Transpirasyonun Eş Zamanlı Yapılmasını Denetlerler

Yaprağı kuşatan kütikula neredeyse suya tamamen geçirimsiz olduğundan, yapraklardan transpirasyonun büyük bir bölümü stomalardan gerçekleşir (Bkz. Şekil 4.10). Gazların epidermis ve kütikuladan difüzyonla geçişinde mikroskobik stoma porları düşük direnci düşük bir yol oluşturur; yani, stoma porları yapraklardan su kaybında direnci düşürür. Stoma direncindeki değişiklikler, bitkiden su kaybının düzenlenmesi ve fotosentez sırasında CO<sub>2</sub> fiksasyonunun sürdürülmesi için gerekli karbon dioksit alım hızının denetlenmesinde önemlidir.

Karasal bitkilerin tümü, bir yandan su kaybını azaltılırken diğer yandan atmosferden CO<sub>2</sub> alınımına gereksinim duyulması sorunu ile karşılaşır. Atmosferle temas halindeki bitki yüzeylerini örten kütikula, su kaybına karşı etkili bir engel oluşturarak bitkilerin kurumasını önler; ancak eş zamanlı olarak yapraktan dışa CO<sub>2</sub> çıkışı olmaksızın suyun dışarıya difüzyonunu önleyemez. Bu çelişki büyük bir sorun oluşturur; çünkü CO<sub>2</sub> alınımının konsantrasyon gradiyenti, su kaybını sağlayan konsantrasyon gradiyentinden çok daha küçüktür.

Su bol olduğunda, stomalar geçici olarak düzenlenerek bu çelişkiye karşı bir çözüm getirilir. Çözüm, stomaları gündüzleri açmak geceleri ise kapamaktır. Geceleri, fotosenteze ve yaprak içinde CO<sub>2</sub>'e gereksinim olmadığında stoma açıklığı küçük tutulur. Böylece gereksiz yere su kaybı önlenmiş olur. Suyun bol ve yaprağa ulaşan güneş ışınlarının fotosentezi kolaylaştırdığı

güneşli bir sabah yaprağın içinde CO<sub>2</sub> gereksinimi büyüktür. Bu nedenle, stomalar geniş açılarak CO<sub>2</sub> difüzyonuna direnci azaltır. Bu koşullarda transpirasyonla su kaybı da çok büyüktür; ancak bol su bulunduğundan, bitkinin suyu, büyüme ve üreme için önemli olan fotosentez ürünleri için harcaması avantajlıdır.

Diğer taraftan, toprakta su kıt olduğunda stomalar daha az açılır, hatta güneşli bir sabah bile kapalı kalırlar. Bitkiler kurak koşullarda stomalarını kapatarak su kaybını önlerler. ( $c_{wv(yaprak)} - c_{wv(hava)}$ ) ve  $r_b$  değerleri kolayca biyolojik denetim altında değildir. Ancak, stoma direnci (I) stoma porunun açılıp kapanmasıyla düzenlenebilir. Stoma porunun biyolojik olarak denetimi stoma porunu kuşatan özelleşmiş bir çift epidermis hücresi tarafından yapılır. Bu hücreler bekçi hücreleri olarak isimlendirilir (Şekil 4.13).

### **Bekçi Hücrelerinin Hücre Çeperleri Özgündür**

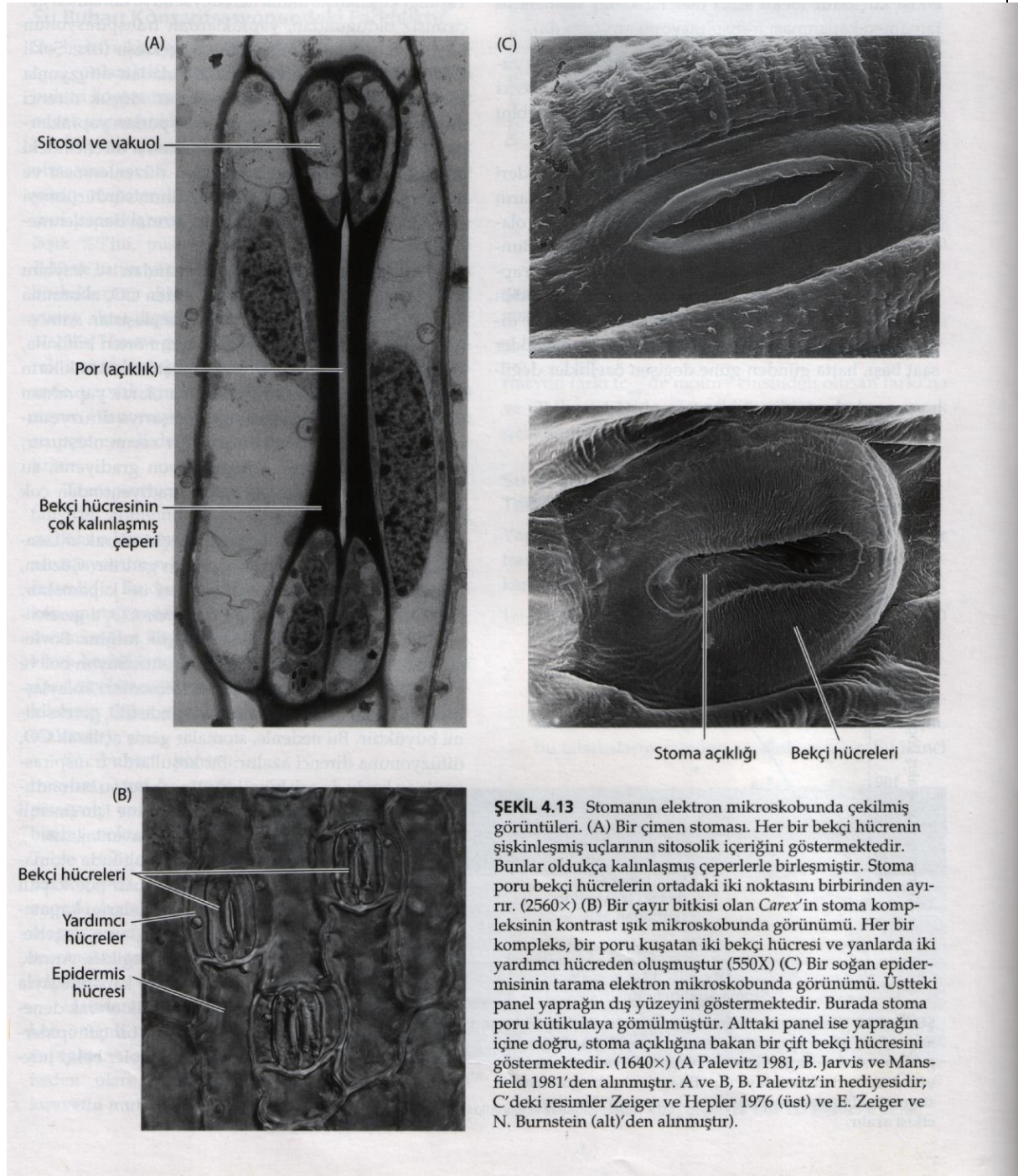
Bekçi hücreleri tüm iletim demetli bitkilerin yapraklarında bulunurlar. Ayrıca ciğerotları ve karayosunları daha ilksel bitkilerin organlarında da mevcuttur (Ziegler 1987). Bekçi hücreleri önemli morfolojik göstermekle birlikte, iki tipe ayrılırlar: Birinci tip, çimenler ve palmyeler gibi bazı monokotillere özgüdür. İkinci tip ise, tüm dikotillerde, pek çok monokotilde, karayosunlarında, eğreltilerde ve gimnospermlerde bulunur.

Çimenler (Bkz. Şekil 4.13A)'de bekçi hücreleri, karakteristik olarak dambıl şeklinde olup, uçlar şişkinleşmiştir. Por, dambılın iki eli arasında yerleşmiş uzun bir açıklık şeklindedir. Bekçi hücreleri farklılaşmış bir çift epidermis hücresi tarafından kuşatılmıştır. Stoma porlarını kontrol eden bu hücelere yardımcı hücreler denir (Bkz. 4.13C). Yardımcı hücreler stomaları böbrek şeklinde olan bitkilerde yaygın olmakla birlikte, bu hücreler bazen bulunmayabilir. Bu durumda bekçi hücreleri bilinen epidermis hücreleri tarafından kuşatılır.

Çeperlerinin özelleşmiş yapıda olması bekçi hücrelerinin ayırt edici bir özelliğidir. Bu çeperlerin bölümleri önemli ölçüde kalınlaşmıştır (Şekil 4.14). Kalınlıkları 5 µm olabilir. Buna karşılık, tipik epidermis hücrelerinininki 1 ila 2 µm'dir. Böbrek şeklindeki bekçi hücrelerinde, farklı bir kalınlaşma görülür. Bunlarda iç ve dış (lateral) çeperler çok kalın, dorsal çeper (epidermis hücreleri ile temas halindeki çeper) incedir. Bir ölçüde ventral (por) çeper de kalınlaşmıştır (Bkz. 4.14). Çeperin atmosfere bakan kısımları iyi gelişmiş düz çıkıntılar şeklinde uzanır. Bunlar poru oluşturur.

Selüloz mikrofibrilleri (Bkz. 15. Bölüm) bir araya toplanarak stoma porunun açılması ve kapanmasında önemli bir rol oynar. Hücre çeperlerini sağlamlaştıran selüloz mikrofibriller hücrenin şekli üzerinde önemli bir belirleyicidir (Bkz. 15. Bölüm). Bilinen hücrelerde mikrofibril düzenlenişi farklıdır. Böbrek biçimindeki bekçi hücreleri, pordan ışınsal olarak dışa uzanan

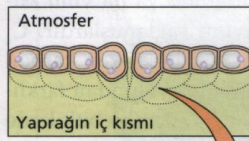
selüloz mikrofibrillere sahiptir (Şekil 4.15A). Böylece hücrenin çapı çelik kuşaklı ışınsal bir lastik gibi sağlamlaştırılır. Bekçi hücreleri stoma açılması sırasında dışa doğru eğilir (Sharpe ve ark. 1987). Çimenlerde, dambıl şeklindeki bekçi hücreleri uçları şişebilen ışınlar gibi iş görür. Bu hücrelerin şişkinleşmiş uç kısımları hacimce artıp şişkinleştikçe, ışınlar birbirinden ayrılır ve aralarındaki açıklık genişler (Şekil 4.15B).



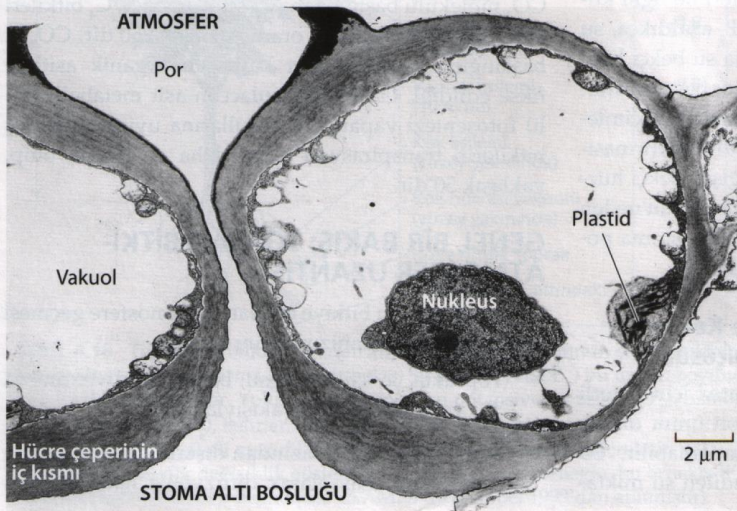
**Bekçi Hücre Turgorundaki Artış Stomaları Açılmaya Zorlar**

Bekçi hücreleri birden fazla algılayıcısı olan hidrolik valfler gibi iş görür. Işık şiddeti ve kalitesi, sıcaklık, nispi nem ve hücre içi CO<sub>2</sub> konsantrasyonları bekçi hücreleri tarafından algılanır. Bu sinyaller iyi bilinen stoma yanıtına dönüştürülür. Karanlıkta tutulan yapraklar aydınlatılırlarsa, ışık uyarıtısı bekçi hücreleri tarafından bir açılma sinyali olarak algılanır. Bu sinyal, stoma porunun açılmasını sağlayan bir dizi yanıtın verilmesine neden olur.

Bekçi hücrelerinde, sinyalin alınmasından sonra ilk olarak iyon alınımı ve diğer metabolik işlemler değişir. Bu değişimler 18. Bölümde ayrıntılı olarak incelenecektir. Burada biz, bekçi hücrelerinde iyon alınımı ve organik moleküllerin sentezlenmesi sonucu, ozmotik potansiyel ( $\Psi_s$ )'in azalmasına bağlı etkileri göreceğiz. Bekçi hücrelerinde su ilişkileri ile ilgili kuralla diğer hücrelerdekilerle aynıdır.  $\Psi_s$  azaldıkça, su potansiyeli azalır ve bunun sonucunda su bekçi hücrelerine girer. Hücreye su girdikçe turgor basıncı artar. Çeperlerinin esnek olması, bekçi hücrelerinin hacimlerini geriye dönüşebilir olarak %40 ila %100 arttırmasını sağlar. Bu artış türe bağlı olarak değişir. Bekçi hücrelerinin çeperlerinin farklı kalınlıkta olmasının neden olduğu hücre hacmindeki bu değişiklikler, stoma porunun açılması ya da kapanmasını sağlar.



**ŞEKİL 4.14** Bir dikotil olan *Nicotiana tabacum* (tütün)'dan bir çift bekçi hücrelerinin elektron mikroskopunda görünümü. Kesit, yaprak ana yüzeyine dikey alınmıştır. Por atmosfere, kaide ise yaprak içindeki stoma altı boşluğa bakmaktadır. Çeperlerin eşit olmayan biçiminde kalınlaştığına dikkat ediniz. Bu eşit olmayan kalınlaşma, stomaların açılması sırasında hacimleri artan bekçi hücrelerinin asimetric şekil kaybını belirler (Sack 1987'den, F. Sack'in hediyesi).



### Transpirasyon Oranı, Su Kaybı ve Karbon Kazancı Arasındaki İlişkinin Bir Ölçüsüdür

Bitkilerin, su kaybını azaltılıp fotosentez için yeterli CO<sub>2</sub> alabilme yetenekleri transpirasyon oranı olarak isimlendirilen bir parametre ile hesaplanabilir. Bu değer, bitkiden

transpirasyonla kaybedilen su miktarı olarak tanımlanabilir. Transpirasyon oranı, kaybedilen suyun fotosentezle özümlenen karbon dioksit miktarına bölünmesiyle elde edilir.

Karbon fiksasyonunun ilk kararlı ürünü üç karbonlu bir bileşik olan bitkiler (bu tür bitkiler C3 bitkileri olarak isimlendirilir; Bkz. 8. Bölüm), fotosentezle fikse ettikleri her bir CO<sub>2</sub> molekülü için yaklaşık 500 molekül su kaybeder. Dolayısıyla bu bitkilerde transpirasyon oranı 500'dür. (Bazen transpirasyon oranı yerine, su kullanma verimliliği terimi kullanılır. Transpirasyon oranı 500 olan bitkilerin su kullanma verimlilikleri 1 /500 ya da 0.002'dir).

H<sub>2</sub>O çıkışının CO<sub>2</sub> girişine göre daha büyük olmasına üç faktör neden olur:

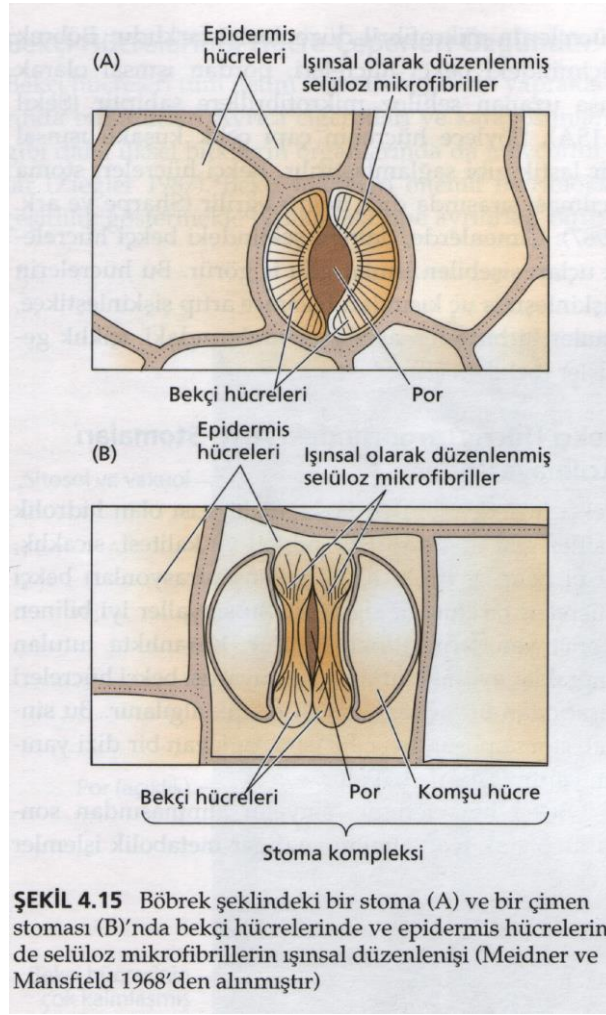
1. Su kaybına neden olan konsantrasyon gradiyenti, CO<sub>2</sub> girişini sağlayan konsantrasyon gradiyentinden 50 kat daha fazladır. Bu farkın nedeni, havadaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun düşük (yaklaşık %0.03) ve yaprağın içindeki su buharı konsantrasyonunun nispeten yüksek olmasıdır.

2. CO<sub>2</sub> havada sudan 1.6 kat daha yavaş difüzyon yapar (CO<sub>2</sub> molekülü H<sub>2</sub>O'dan daha büyük, difüzyon katsayısı ise daha küçüktür).

3. CO<sub>2</sub>'in, kloroplastlarda özümlemeden önce plazma zarı, sitoplazma ve kloroplast zarını geçmesi gerekir. Bu zarlar CO<sub>2</sub> difüzyon yolundaki direnci artırır.

Bazı bitkiler özellikle kurak ortamlar ya da yılın kurak mevsiminde yaşamaya uyum sağlamışlardır. C4 ve CAM bitkileri olarak bilinen bu bitkilerde karbon dioksit fiksasyonu bilinen fotosentez yolundan farklılık gösterir. C4 fotosentezi yapan bitkiler (bu bitkilerde fotosentezin ilk kararlı ürünü dört karbonlu bir bileşiktir; Bkz. 8. Bölüm), genel olarak fikse edilen her bir CO<sub>2</sub> molekülü başına daha az su kaybeder. C4 bitkileri için tipik transpirasyon oranı yaklaşık 250'dir. CO<sub>2</sub>'in başlangıçta geceleri dört karbonlu organik asitlere fikse edildiği, CAM (Crassulacean asit

metabolizmalı) fotosentezi yapan, çöl koşullarına uyum sağlamış bitkilerin transpirasyon oranı



daha da düşük olup, yaklaşık 50'dir.

### GENEL BİR BAKIŞ: TOPRAK-BİTKİ-ATMOSFER UZANTISI

Suyun topraktan bitkiye oradan da atmosfere geçmesi farklı taşınım mekanizmalarını kapsar:

Toprakta ve ksilemde, su, basınç gradiyentine ( $\Delta\Psi_p$ ) yanıt olarak kütle akışıyla taşınır.

Buhar halde su en azından dıştaki havaya ulaşıncaya değin esas olarak difüzyonla hareket eder.

Dış havada konveksiyon (kütle akışının bir formu) baskındır.

Su zarlardan taşınması sırasında, zarın iki yanında oluşan su potansiyelindeki farklılığa bağlı olarak taşınır. Hücreler suyu absorbladıklarında ve kökler suyu topraktan ksileme taşıdıklarında bu tür bir ozmotik etki oluşur.

Tüm bu koşullarda, su, su potansiyeli veya serbest enerjisi düşük olan bölgeye hareket eder. Bu olgu Şekil 4. 16'da gösterilmiştir. Burada su potansiyeli ve su taşınım yolundaki çeşitli noktalarda su potansiyeli bileşenlerinin değerleri verilmektedir.

Su potansiyeli topraktan yapraklara doğru sürekli olarak azalır. Bununla birlikte, su potansiyelinin bileşenleri yolun değişik noktalarında farklılık gösterebilir. Örneğin, mezofildeki gibi, hücrelerin



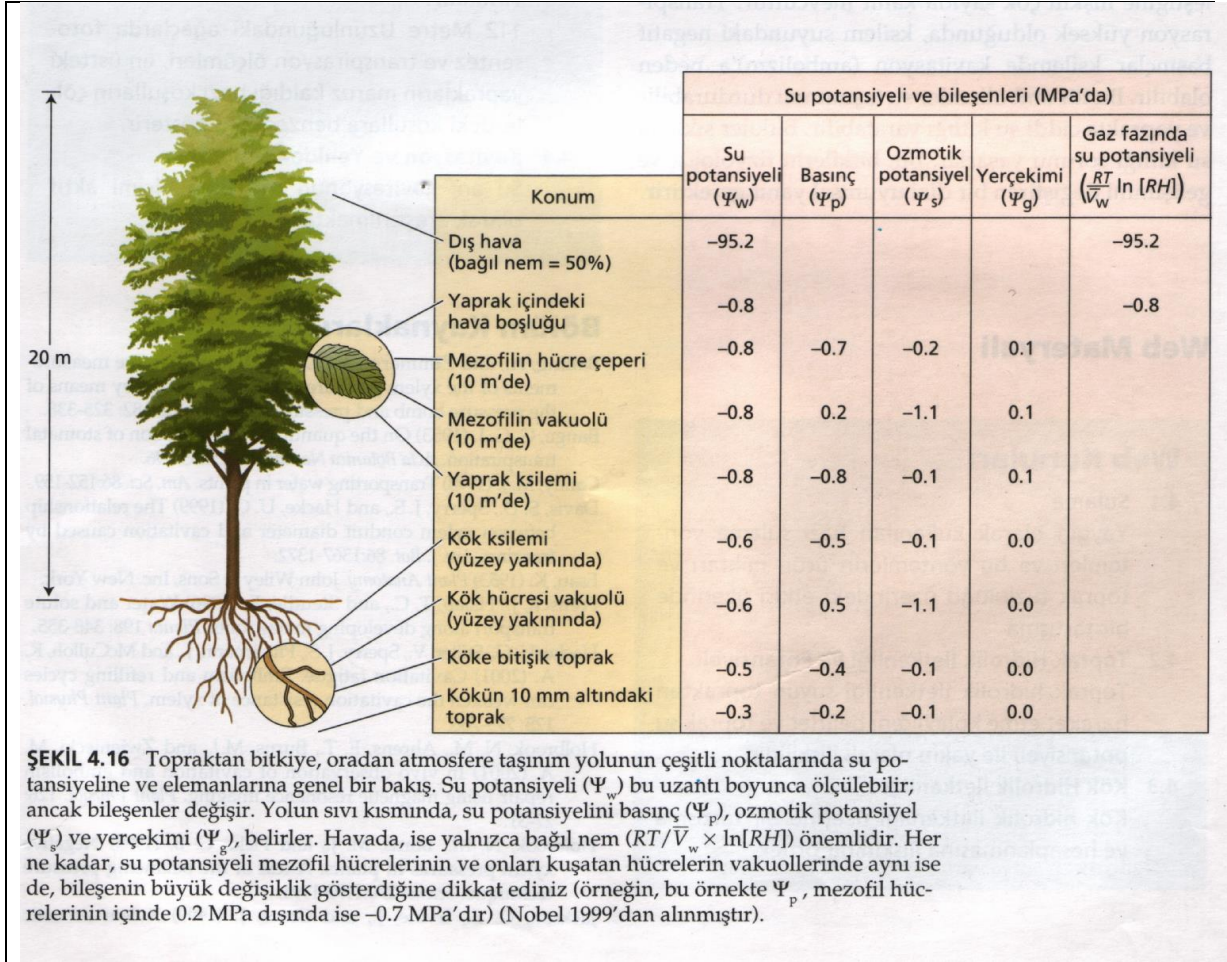
içinde su potansiyeli komşu ksilemdeki ile yaklaşık aynıdır. Buna karşın  $\Psi_w$  bileşeni hala farklıdır. Ksilemde  $\Psi_w$  nin baskın bileşeni negatif basınç olmasına karşın, yaprak hücresinde  $\Psi_p$ , genel olarak pozitifdir.  $\Psi_p$ 'deki bu büyük farklılık yaprak hücrelerinin plazma zarının yanında oluşur. Yüksek konsantrasyondaki çözülmüş madde (düşük  $\Psi_s$ ) yaprak hücrelerinin içindeki su potansiyelini düşürür.

### ÖZET

Su yaşam için önemli bir ortamdır. Kara bitkileri atmosfere su kaybettikleri için potansiyel olarak ölüme yol açan su kaybı sorunu ile karşılaşılırlar. Yaprakların yüzey alanlarının geniş olması, yüksek miktarda güneş enerjisi almaları ve CO<sub>2</sub> alınımı için açık bir yola gereksinim duymaları bu sorunu ağırlaştırır. Dolayısıyla, suyun korunması ve CO<sub>2</sub> özümlemesine gereksinim duyulması arasında bir çelişki doğmaktadır.

Bu önemli çelişkinin çözümlenmesine duyulan gereksinim, kara bitkilerinin yapısını büyük ölçüde belirlemiştir: (1) topraktan suyun alınımı için yaygın bir kök sisteminin geliştirilmesi; (2) suyu yapraklara ulaştırmak için ksilemin trake ve trakeitlerinde düşük bir direnç yolu; (3) evaporasyonu azaltmak için bitki yüzeylerini örten hidrofobik bir kütikula; (4) gaz alış- verişine izin veren yaprak yüzeyindeki mikroskopik stomalar; ve (5) stoma açıklığının boyutunu (ve difüzyon direncini) düzenleyen bekçi hücrelerinin varlığı önemli yapısal özelliklerdendir.

Bu yapısal özellikler, suyu topraktan atmosfere tamamen fiziksel kuvvetlere yanıt vererek taşıyan bir organizmanın ortaya çıkmasını sağlar. Bitkiler suyu taşımak için doğrudan enerji harcamazlar. Bunun yerine, enerji, etkili ve kontrollü bir su taşınımı için gerekli yapıların üretimi ve korunmasında kullanılır.



Topraktaki suyu bitkiden atmosfere taşıyan mekanizmalar difüzyon, kütle akışı ve ozmozisi kapsar. Bu işlemlerin her biri farklı sürükleyici kuvvetlere eşlik eder.

Bitkideki su, süreklilik gösteren bir hidrolik sistem olarak görülebilir. Bu hidrolik sistem topraktaki suyu atmosferdeki su buharı ile birleştirir. Transpirasyon ilke olarak bekçi hücreleri tarafından düzenlenir. Bekçi hücreleri atmosfere çıkan su miktarını en aza indirirken, fotosentez için gerekli CO<sub>2</sub> gereksinimini karşılamak için stoma açıklığının büyüklüğünü düzenler. Yaprak mezofil hücrelerinin hücre çeperlerinden suyun evaporasyonu, apoplasttaki suda negatif basınçlar (veya gerilimler) yaratır. Bu negatif basınçlar ksileme geçirilir. Böylece ksilem, uzun ksilem borularında suyu çeker.

Özsuyunun yükselişi ile ilgili kohezyon-gerilim teorisinin bazı yönleri tartışmalı ise de, ksilemde su taşınımının basınç gradientlerine bağlı olarak gerçekleştiğine ilişkin çok sayıda kanıt mevcuttur. Transpirasyon yüksek olduğunda, ksilem suyundaki negatif basınçlar ksilemde kavitasyon (ambolizm)'a neden olabilir. Bu tür ambolizmler su taşınımını durdurabilir yaprakta ciddi su kıtlığı yaratabilir. Bitkiler sıklıkla kıtlığı sorunu yaşarlar. Bu, bitkilerin fizyolojisi ve gelişimini değiştiren bir dizi uyumsal yanıt gerektirir.