

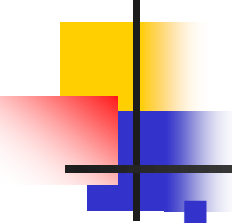
SU YİTMESİ

Bitkilerde su başlıca iki şekilde yiter:

- (a) Buhar şeklinde su yitmesi ve
- (b) Sıvı şekilde su yitmesidir.

BUHAR ŞEKLİNDE SU YİTMESİ (TRANSPİRASYON)

- Bitkilerden buharlaşma (*evaporasyon*) yoluyla suyun yitmesine *Transpirasyon* denir.
- Ancak transpirasyon, bağımsız yüzeylerden suyun buharlaşması (evaporasyonu) şeklinde düşünülmemelidir.
- Transpirasyonda su gözeneklerden (stomalardan) ve yaprağın kütikula ile kaplı epidermisinden geçerek buhar şeklinde yiter.
- Transpirasyon yalın, basit fiziksel bir buharlaşma değil, fizyolojik ve yaşamsal etmenlerin de etkilediği karmaşık bir olaydır.

- 
- Bitki kökleri aracılığıyla topraktan alınan su, ksilem iletim dokusu ile yaprakların mezofil hücrelerine taşınmaktadır.

- İnce duvarlı olan mezofil hücreleri, aralarındaki geniş boşluklar aracılığıyla hücre yüzeylerinden suyun buhar şeklinde yitmesi için çok uygun bir yapıya sahiptir.
- Bu arada bitki yapraklarının epidermal yüzlerinin bir bölümünü de gözenek (*stoma*) adı verilen olağanüstü çok sayıda mikroskobik delikler kaplamıştır.
- Yaprakların hücreler arası boşluklarına açılmak suretiyle stomalar yaprağın içi ile çevre arasında kesintisiz bir bağlantı sağlarlar.
- Böylece transpirasyon, köklerle topraktan alınan, ksilem dokusu ile yapraklara taşınan ve mezofil hücrelerden gözenekler aracılığıyla buhar şeklinde yiten kesintisiz bir su akımıdır.



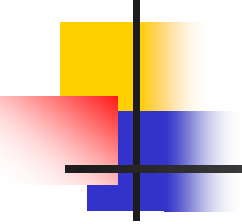
Tüm bitki organlarında transpirasyon olabilir.

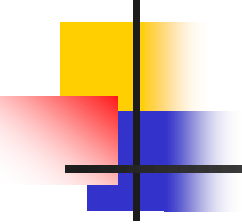
Yapraklar transpirasyonun oluştuğu asal organdır.

Yapraklarda transpirasyon, gözenekler (*Stomalar*) aracılığıyla olmaktadır.

Buna **Gözeneksel Transpirasyon** denir.

Genel olarak bitkilerde suyun % 90' indan fazlası gözeneksel transpirasyon ile yiter.

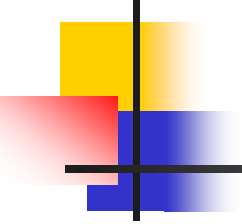
- 
- Bitki yapraklarının havaya değinen tüm yüzleri *Kütin* ismi verilen ve mumsu bir madde ile kaplanmıştır. Bu tabaka suyu kolay geçirmediği gibi epidermal hücrelerden doğrudan transpirasyonu da önler.
 - Bitki yaprakları kalın kütin tabakaları ile kaplanmış olsa da kütin tabakalarında bulunan küçük geçitler aracılığıyla epidermal hücrelerden buhar şeklinde az da olsa su yitirilir.
 - Buna *Kütiküler Transpirasyon* denir. Kimi otsu bitkilerin gövde, çiçek ve meyvelerinde de kütiküler transpirasyon cereyan eder. Çoğu bitkilerde suyun yaklaşık % 5'i kütiküler transpirasyon ile yiter.

- 
-
- Çok az da olsa su, bitkilerin gövde, meyve ve dallarını kaplayan mantarimsı dokularda bulunan küçük aralıklardan da (*Lentisellerden*) buhar şeklinde yiter. Buna ***Lentiküler Transpirasyon*** denir.
 - Bitkilerde buhar şeklinde yitirilen toplam suyun ancak **% 0.1'i** lentiküler transpirasyon ile olur.



Transpirasyon Mekanizması

- Normal su buharlaşmasına göre fizyolojik bir işlemdir.
- İki aşamada gerçekleşir;
 - 1) Su buharının hücre duvarından hücreler arası boşluğa geçmesi
 - 2) Atmosfere geçmesi
- Normal su buharlaşmasına göre transpirasyonda yaprak özellikleri nedeniyle su buharı difüzyonuna karşı direnç oluşur.



Konsantrasyon Farkına bağlı olarak yaprağın içindeki su buharı yaprağın çevresindeki atmosfere difüzyon eder.

Benzer şekilde konsantrasyon farkına göre yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona doğru CO₂ atmosferden yaprağa difüzyon eder.

Yapraktan transpirasyon ile su yitmesini:

- (a) Yaprağın içindeki hava boőluėu ile dıőındaki atmosfer arasındaki *Su Buharı Konsantrasyon Farkı*,
- (b) *Hava Sıcaklığı (°C)* ve
- (c) *Su moleküllerinin difüzyonuna karşı engeller*

etkiler.

Yapraktan Atmosfere Su Buharının Difüzyonunda Karşılaşılan Engeller

- **A) Yaprak Stoma Direnci** (r_s)
- **B) Bitki yapraklarının çevresinde oluşan direnç**
Bu direnç *Yaprak Çevresi Direnci* (r_b) olarak ifade edilir.

Stomalar, epidermis ve kütinden geçerek suyun buhar şeklinde yitirilmesinde karşı direnci en aza indirebilme özelliğine sahiptir.

Mikroskobik stoma delikçiklerinin açılıp kapanmaları ile suyun buhar şeklinde atmosfere yitirilmesi ve fotosentezde kullanılmak üzere atmosferden CO_2 'in yaprağa girişi düzenlenmektedir



Mikroskobik stoma delikçiklerinden difüzyon eden su buharı yaprak çevresini saran havadan da geçtikten sonra atmosfere karışmaktadır.

Yaprağı çepe çevre saran hava tabakasının kalınlığı ölçüsünde su buharının yapraktan atmosfere geçişine karşı *yaprak çevresi direnci* (r_b) artar.

Yaprak çevresindeki hava tabakasının kalınlığı ise temelde rüzgarın hızı ile orantılıdır.

Rüzgarsız havalarda yapraklarının hemen üzerindeki hava tabakasında su buharı konsantrasyonunun artması sonucu buhar şeklinde su yitmesi de azalır.

Rüzgar bitki yaprağının hemen üzerindeki su buharı moleküllerini uzaklaştırarak yapraktan dışarı doğru su buharı konsantrasyon farkının büyümesine ve dolayısıyla buhar şeklinde yiten su miktarının artmasına neden olur.

Esen rüzgar, yalnızca yaprağın hemen üzerindeki su buharı içeriği yüksek olan havayı sürükleyip yerine kuru havayı getirmekle de kalmaz aynı zamanda yaprakları da hareket ettirdiği için buhar şeklinde yiten su miktarının artmasına yol açar.

Hafif fakat sürekli esen rüzgar ansızın çıkan ve güçlü esen rüzgara göre buhar şeklinde yiten su miktarını daha fazla artırır.

Ani ve hızlı rüzgarda mezofil hücrelerine ksilem iletim borularından aktarılan su yeterli olamayacağı için stomalar kapanır ve buhar şeklinde yitirilen su miktarı da azalır.

Rüzgar, yapraklarda önemli ölçüde serinletici etki yaparak yapraklardan dışa doğru su buharı konsantrasyon farkını düşürmek suretiyle buhar şeklinde yitirilen su miktarının da azalmasına neden olur.

Bitki yapraklarının **anatomik** ve **morfolojik** özellikleri de yaprak çevresindeki hava tabakasının kalınlığını etkiler.

Örneğin yaprakların üzerindeki **tüyler** rüzgara karşı mikroskobik hız kırıcı görevi yaparlar.

Kimi bitki yapraklarında stomalar yaprak içine gömülmüş durumdadır. Bu şekildeki stomalar rüzgardan daha az etkilendikleri için yiten su miktarı, konumu yüzeysel olan stomalara göre daha azdır.

Bitki yaprağının şekli ve boyutu ile rüzgar tarafından yaprak üzerindeki hava tabakasının uzaklaştırılması arasında yakın ilişki vardır.

Yapraklarda transpirasyonun düzenlenmesinde esas etken **Bekçi Hücreleri (guard cells)** aracılığıyla stomaların açılıp kapanması olgusudur.

Transpirasyon Birimi, Hızı ve Oranı

- Transpirasyon ifade Şekilleri;
 - birim yaprak alanı,
 - birim kuru ya da yaş bitki ağırlığı,
 - tek olarak bitki ya da
 - tarla veya orman alanı ilkesi
- Belli zamanda ölçülen ve belli ilkeye göre ifade edilen transpirasyon *Transpirasyon Hızı* olarak tanımlanır.



- Transpirasyon hızı;

- saat,
- gün,
- mevsim ya da
- yıl gibi

zaman aşamaları ilkesine göre belirlenir.

- Transpirasyon hızı ve miktarı bitkiden bitkiye olduğu kadar değişik koşullar altında yetiştirilen aynı bitkiler arasında bile önemli ayrımlılıklar gösterir.

- **Transpirasyon Oranı :** Alınan toplam suya karşılık oluşturulan kuru madde

- **ÖRNEK:** Transpirasyon oranı 450 denildiğinde bitkinin 1 g kuru maddeyi oluşturabilmek için 450 g suyu kullanmış (almış ve yitirmiş) olduğu anlaşılır.

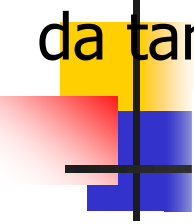
- Transpirasyon oranı = **Su Kullanım Etkinliği (WUE)**

- **Su kullanım etkinliği (WUE);** Evapotranspirasyonda kullanılan birim su miktarına karşı oluşturulan kuru madde ya da ürün miktarıdır.

$$\text{Su Kullanım Etkinliği (WUE)} = \frac{\text{Kuru madde ya da ürün miktarı (kg/ha)}}{\text{Evapotranspirasyonda kullanılan su miktarı (kg/ha)}}$$

- **Evapotranspirasyon:** Toprak yüzeyinden buharlaşma (evaporasyon) ile bitkiden transpirasyon yoluyla birlikte yitirilen toplam su miktarıdır.

Transpirasyon Oranı: Fotosentezde fikse edilen birim CO₂ miktarına karşı transpirasyonla yitirilen birim su miktarı olarak da tanımlanır


$$\text{Transpirasyon oranı} = \frac{\text{Transpirasyonda yitirilen H}_2\text{O miktarı, mol}}{\text{Fotosentezde fikse edilen CO}_2 \text{ miktarı, mol}}$$

ÖRNEK: C₃ bitkisi fotosentezde fikse edilen her 1 mol CO₂ için yaklaşık 500 molekül suyu transpirasyonla yitirir.

C₃ bitkilerinde transpirasyon oranı 500

C₄ bitkilerinde transpirasyon oranı 250

KAM bitkilerinde transpirasyon oranı 50

CO₂'e karşılık yitirilen suyun fazla olmasının nedenleri

1) Su buharı konsantrasyon farkının CO₂ konsantrasyon farkından yüksek (50 kat) olması

2) CO₂ molekülünün sudan ağır ve difüzyon katsayısının düşük olması

3) CO₂'in özümleme yerine gideceği mesafenin uzun olması

Stomaların Açılıp Kapanma Mekanizması

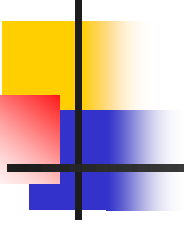


■ Stomaların Yapısı

Stomalar bitkilerin epidermisinde bulunan olağanüstü küçük mikroskopik delikçiklerdir.

Özel bir yapıya sahip olan stomalar *Bekçi Hücreleri* (guard cells) adı verilen iki özel epidermal hücreye sahiptirler.

Kök dışında bitkinin tüm organlarında bulunurlarsa da asal olarak yaprak epidermisinde yoğun şekilde yer alırlar.



Bekçi hücrelerinin hemen yanında *Yardımcı Hücreler* (subsidiary cells) adı verilen farklılaşmış epidermal hücreler bulunur.

Yardımcı hücreler stoma delikçiklerinin açılıp kapanmasında bekçi hücrelerine yardım ederler.

Bekçi hücreler, yardımcı hücreler ve stoma delikçikleri birlikte *Stoma Kompleksini* oluştururlar.

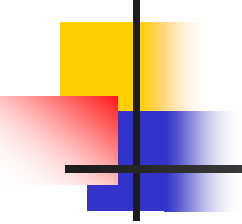
Stomaların büyüklükleri ve dağılımları

Yaprak altında daha fazla ve daha büyük

Stoma delikçikleri gazlardan büyük olduğundan gazlar kolay diffüze olur.
Su molekülü = 0.00054 μm

Stomaların Açılıp Kapanmasına Etki Eden Etmenler

- Stomaların açılıp kapanmaları, bekçi hücrelerindeki osmotik potansiyelin (Ψ_s) azalıp artmasına bağlıdır.
- Osmotik potansiyeldeki (Ψ_s) değişiklikler su potansiyelindeki (Ψ_w) değişikliklere de yol açarak suyun bekçi hücrelerine girişine ve çıkışına neden olur.
- Bekçi hücreleri su alıp turgor durumuna geçince stomalar açılır ve su yitirip pörsüdükçe (plazmoliz oldukça) kapanırlar.

- 
-
- Bekçi hücrelerinde osmotik potansiyele bağlı olarak su potansiyelinin azalması yardımcı ve epidermal hücrelerden bekçi hücrelerine doğru su potansiyeli gradientinin büyümesine ve dolayısıyla bekçi hücrelerine suyun girişine yol açar.
 - Böylece bekçi hücreleri turgor durumuna geçer ve stomalar açılır.
 - Ters durumda stomalar kapanır



Işık

- Genel olarak ışık altında bir bitki yaprağının stomaları açık durumdadır. Öteki koşullar uygun olduğu sürece ışık altında stomalar açık durumlarını sürdürürler.
- Karanlıkta ise stomalar kapanır.
- Işık miktarı bitkiden bitkiye değişse de fotosentez için gereksinilenden azdır.

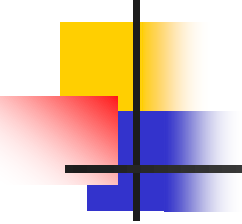
Işıktta açık, karanlıkta kapalı olmaya uymayan durumlar

Patates, Balkabağı, Soğan, Lahana	Güneş battıktan sonra 3 saat açık
At kuyruğı	Solma evresinde bile sürekli açık
Çoğu tahıllarda	Gün boyu yalnızca 1-2 saat açık
Kurak yörede yetişen çoğu çayır bitkilerinde	kapalı



Stoma açılmasında ışık önemli bir faktördür
Dalga boyu da önemli
UV ve IR \longrightarrow KAPALI
Kırmızı ve Mavi \longrightarrow AÇIK

Gün içinde ışık yoğunluğunun artıp azalmasına (üst sol) bağlı olarak stoma açıklığı (alt sol) da artıp azalmıştır.



Stoma açılmasında **kırmızı** ışığa göre **mavi** ışık daha etkilidir

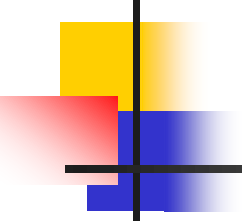
Mavi ışık bekçi hücrelerinin protoplazma hacmini artırmaktadır. Bekçi hücrelerinde protoplazma hacminin artması **TURGOR SUBABI** görevi yapar.

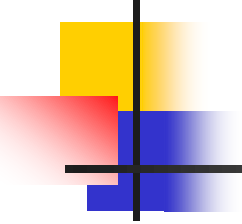


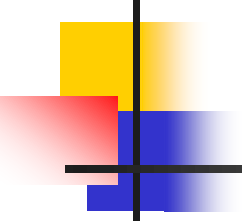
Osmotik Düzenleyiciler

- Stomaların açılıp kapanmalarında etkili etmenlerden biri de bekçi hücrelerinde osmotik potansiyele (Ψ_s) etki yapan osmotik düzenleyicilerdir.
- Bekçi hücrelerinde osmotik düzenleyiciler arasında
 - proton (H^+),
 - potasyum (K^+),
 - klor (Cl^-),
 - malik asit (anyonlu malat⁻²) ve
 - sakkaroz

yer alır.

- 
-
- Işıқта bekçi hücrelerinde K katyonuna karşı malat ve Cl anyonları **stomalar açık** olduğunda **birikmekte**, **kapalı** olduğunda **azalmaktadır**.
 - Stoma kapalı bekçi hücrede K 100 mM
 - Stoma açık bekçi hücrede K 400-800 mM

- 
-
- Ozmotik düzenleyiciler bekçi hücrelerine taşınıp ozmotik potansiyeli artırarak çevre hücrelerdeki suyun da ozmosis ile buraya taşınarak stomaların açılmasına neden olmaktadır.
 - Tersisi durumda ise kapanmaya neden olmaktadır.

- 
-
- Osmotik düzenleyici olarak stoma açılmasına temel görev K alımı ile
 - Kapanmasında temel görev sakkaroz azalması ile sağlanmaktadır.



- Bekçi hücrelerindeki ozmotik düzenleyicilerin kaynağı?

- A) Bekçi hücreleri tarafından K ve Cl iyonlarının alınması ve biyosentez sonucu malat oluşması
- B) Nişasta hidrolizi ile sakkaroz oluşumu
- C) CO₂ asimilasyonu sonucu bekçi hücrelerinde sakkaroz oluşumu
- D) Mezofil hücrelerinde fotosentez sonucu oluşan sakkarozun bekçi hücrelerince alınması

CO₂ Konsantrasyonu

- Stomalar CO₂ konsantrasyonundaki değişikliğe karşı çok duyarlıdır.
- Örneğin CO₂ konsantrasyonunun atmosferin CO₂ konsantrasyonundan biraz daha yüksek olması ışık altında bile bitkilerde stomaların kapanmasına neden olur.
- Yaprak yüzeyine nefes verilmesi bile stomaların kapanmasına yol açar.
- Hücre içi CO₂ konsantrasyonu daha etkili
- **Pratikte ışık-CO₂ etkisi karıştırılmakta ayırım güç olmaktadır**

Su Noksanlığı ve Absisik Asit (ABA)

- Güneşli, açık ve sıcak günlerde bitkilerde içsel su noksanlığı çok sık oluşur. Bunun nedeni transpirasyonla yitirilen suyun topraktan yeteri düzeyde alınamamasıdır.
- Bu durum eşit düzeyde olmamakla beraber hücrelerde su potansiyelinin azalmasına yol açar.
- Su potansiyeli azalan bekçi hücreleri stoma delikçiklerinin kapanmasına neden olurlar.
- Su stresinde stomaların kapanması ile sentezlenen ABA miktarı artar. Sentezlenen ABA'da stoma delikçiklerinin daha uzun süre kapalı kalmasına neden olur.

Sıcaklık

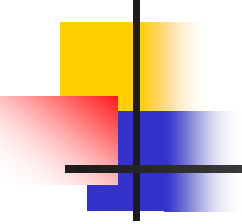


- Öteki etkenler aynı kalmak koşuluyla belli düzeye değin sıcaklık arttıkça bitkilerde gözenekler açılmaktadır.
- Ortam sıcaklığı 30°C` nin üzerine çıktığında stomaların kapanması, bitkide solunum artması sonucu hücreler arası boşluklarında CO₂ konsantrasyonunun yükselmesi ile açıklanmıştır.



Transpirasyonu Azaltma Yöntemleri

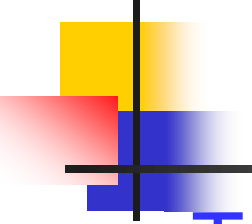
- Yüksek transpirasyon sonucu oluşan zarar bitkilerden buhar şeklinde yiten suyun azaltılmasını zorunlu kılmıştır

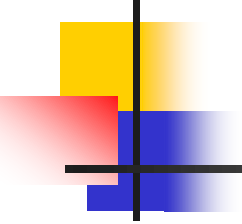


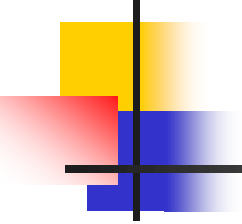
■ Neden Transpirasyonu Azaltma Gereği duyarız?

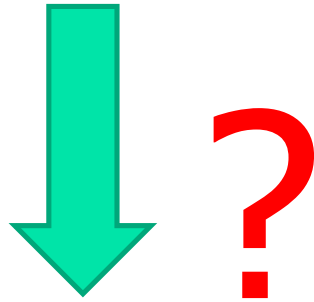
- a) Tarlaya aktarılan bitkilerde kök sistemi görev yapabilecek duruma gelinceye değin bitkide turgor durumunu koruyabilmek için,
(köklerle alınan su yitirilen sudan az ise bitki solar)
- (b) Kurak dönemlerde zararlanmayı en aza indirebilmek için ve
- (c) Birim sudan en yüksek düzeyde verim alınabilecek şekilde su kaynağından yararlanmayı sürdürebilmek için

Su randımanını artırmak için (See: WUE)

- 
-
- **Transpirasyonu azaltma yöntemleri**
 - temelde örtü görevi yapabilecek su geçirmez maddelerin uygulanması ya da
 - stomaların kapanmasına neden olabilecek maddelerin uygulanması **ilkesine dayanır.**
 - Transpirasyonu azaltıcı maddeler ise ***Antitranspirant*** maddeler olarak isimlendirilir.
 - ***Lateks Emülsiyonu, Polivinil, Polietilen, Vinil Akrilat , ABA, Silikon***

- 
-
- Vejetatif gelişmeye bağlı olarak uygulama tekrarı zorunluluğu vardır.
 - Fotosentezi de olumsuz etkilerler
 - Fotosentez azalmasına rağmen transpirasyon azalması gerekli ise uygulama yararlıdır
 - Meyve iriliğini artırmak ve hasat sonrası kaliteyi korumak için etkilidirler

- 
-
- Stomaları kapatarak fotosenteze daha az zarar veren maddeler vardır (**Fenil merkürik asetat**)



ÇEVRE

Transpirasyonun Belirlenmesi

- **ESAS:** Bitki tarafından **absorbe edilen** ya da bitki tarafından **buhar şeklinde yitirilen** su miktarının belirlenmesidir.
- **Bu yöntemler 3 grupta incelenir**
 - (a) Bitki ya da bitki organlarında **ağırlık azalmasının belirlendiği** (tartı) yöntemleri,
 - (b) Bitkiler tarafından **yitirilen su buharının belirlendiği** yöntemler ve
 - (c) Bitkiler tarafından **absorbe edilen su miktarının belirlendiği** (Potometre) yöntemleridir.



Tartı Yöntemleri:

- **Esas:** Bitkinin tamamında ya da belli organlarında yitirilen su nedeniyle ağırlık azalmasının belli süreler sonunda belirlenmesi

Saksıda yetiştirilen bitkilerde transpirasyon belirlenmesi

Lisimetrelerde yetiştirilen bitkilerde transpirasyon belirlenmesi

Bitki ağırlığındaki değişim???

Tartılı lisimetrelerde doğal koşullarda bitki ve topraktan buhar şeklinde yiten su (evapotranspirasyon) belirlenmesidir

Bitki organlarında transpirasyon belirlemesi

Potometre Yöntemi

ESAS: Absorbe edilen su
yitirilen suya eşit

????????????

Koparıma öncesi
transpirasyon = sonrası
????????????

Su buharının tutulduğu ve belirlendiği yöntem

ESAS: kapalı bir sistem içerisine alınan bitkinin transpirasyonla yitirdiği su buharını, ağırlığı belli kimyasal bir tutucu içerisinde tutmak ve tutulan su buharının ağırlığını belirlemek

- pompa yardımıyla emilmek suretiyle bitkinin üzerinden ve U tüpünden **nem içeriği belli olan hava** geçirilir. Denemenin başında ağırlığı belirlenmiş olan U tüpünde ise CaCl_2 , P_2O_5 vb. su absorbe edici maddeler bulunmaktadır

Bitki konulmak suretiyle ve bitki konulmadan hazırlanan kapalı iki özdeş sistemde belli bir süre sonunda U tüplerinin ağırlıkları arasındaki ayırmadan bitkinin transpirasyonla yitirdiği su buharı miktarı belirlenir.

Küvet yöntemi

ESAS: Bir önceki yöntemle aynı, fark tek bir yaprak kullanımı

- Giren ve çıkan havanın nispi nemleri arasındaki fark
- Tarla koşullarında **çadır odaları** kullanılır

Kobalt klorür yöntemi

ESAS: % 3' lük CoCl_2 çözeltisine daldırılmış, kurutulmuş filtre kağıdının ıslanması nedeniyle renk değiştirmesi

- Kuru halde iken rengi **mavi** olan böyle bir filtre kağıdı transpirasyonu ölçülecek yaprak yüzeyine yerleştirilir.
- Transpirasyon sonucu yitirilen suyun etkisiyle filtre kağıdının rengi giderek **maviden pembeye** dönüşür.
- Rengin dönüşme hızı transpirasyonun bir ölçüsü olarak değerlendirilir.



Sıvı Şekilde Su Yitmesi

- **Gutasyon:** Yaralanmamış bitkilerin yapraklarından sıvı şekilde su yitirmeleri, ***Gutasyon (Damlama)*** olarak tanımlanmaktadır.
- Gutasyon olayı çoğunlukla su alımının hızlı ve buhar şeklinde yitirilen suyun az olduğu koşullarda ortaya çıkar.
- Gutasyon olayı yağışlı günlerde gecelerin ve sabahın erken saatlerinde olur.
- Çiğden farkı, çiğın yaprak üst yüzeyinde oluşmasıdır
- Su çıkışı **Hidatot** adı verilen delikçiklerden olur



Eksüdashyon

- Bitkilerde diğer bir Şekilde sıvı halde su kaybı da söz konusudur. Bitkilerin herhangi bir mekanik etkiyle yararlanması sonucu bu yara bölgesinden sıvı Őeklindeki su kaybına *Eksüdashyon* (Yaşarma) denir. Özellikle asmalarda budama işlemi sonrasındaki su kaybı eksüdashyona en güzel örnek oluşturmaktadır.