

# METEOROLOJİ, TOZ TAŞINIMI, ÇÖLLEŞME VE EROZYONLA MÜCADELE

Tarım Alanlarında Rüzgar Erozyonu Önleme Çalışmaları

Prof. Dr. Günay ERPUL  
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Toprak Bilimi Ana Bilim Dalı

# RÜZGAR EROZYONU NEDİR?

- Rüzgar gücü ile toprak taneciklerinin *parçalanma*, *taşınma* ve *birikmesi* sürecidir.
- Bunun bir sonucu olarak üst toprak katmanı ve besin elementlerinin taşınmakta ve toprakların verim gücü kaybolmaktadır.
- Rüzgar erozyonu zararı *saha-içi* ve *saha-dışı* olmak üzere iki başlık altında toplanabilir.

# SAHA İÇİ ZARARLARI

- ✘ Rüzgar erozyonu sahası içerisinde toprak kaybı
- ✘ Organik madde ve besin elementleri kaybı
- ✘ Fiziksel toprak özelliklerinde kötüleşme
- ✘ Ürün kaybı



İğdir Aralık Bölgesi (CEM Arşivi)



# SAHA DIŞI ZARARLARI

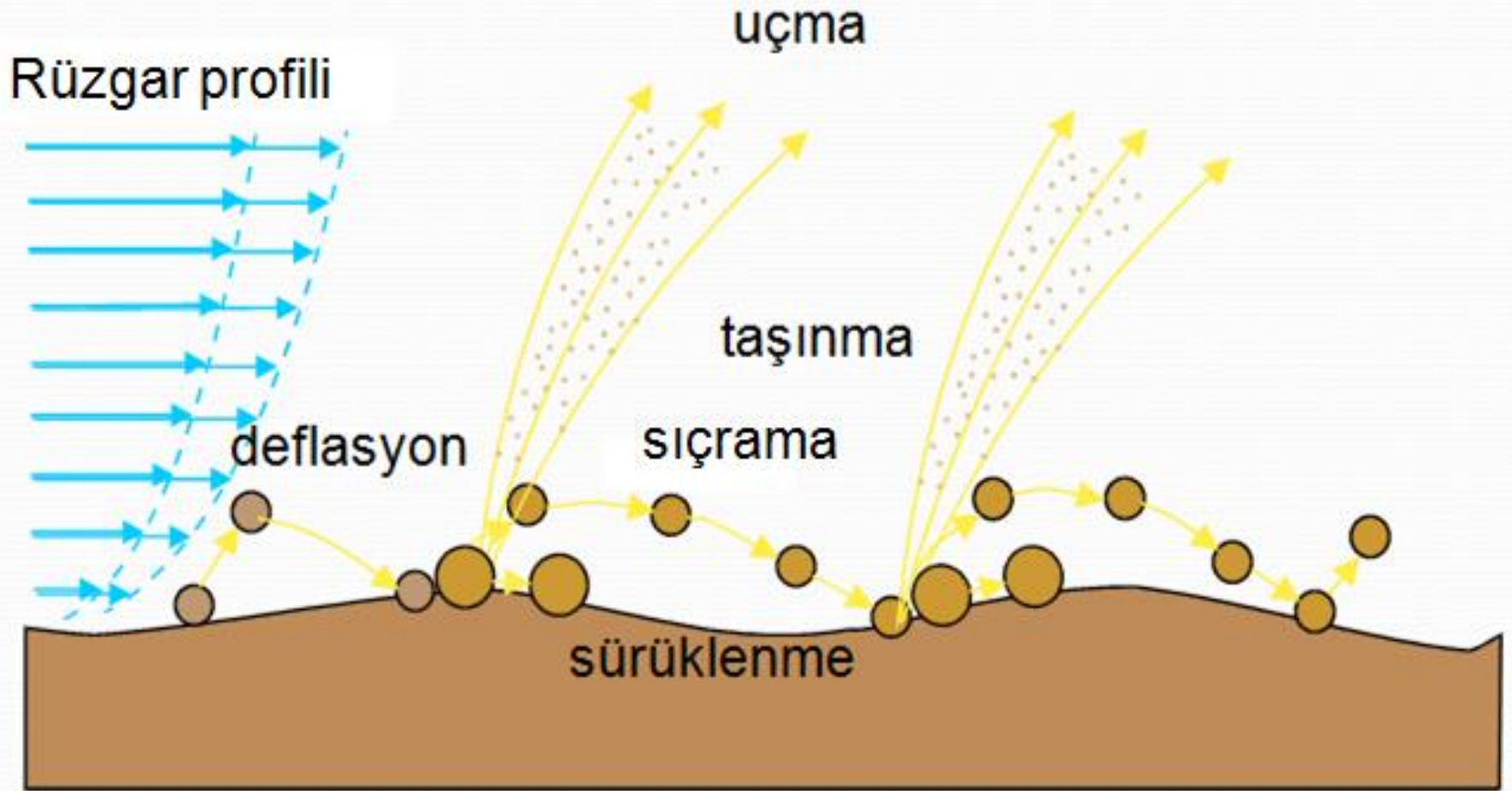
- ✘ Hava kalitesinin bozulması
- ✘ Yolların kapanması
- ✘ Sulama kanallarının dolması
- ✘ Trafik kazaları
- ✘ Elektronik aletlere zararları
- ✘ Ölümcül sağlık sorunlarına neden olması (akciğer ve deri kanseri, astım, enfeksiyon hastalıkları)



# RÜZGAR EROZYONU SÜRECİ

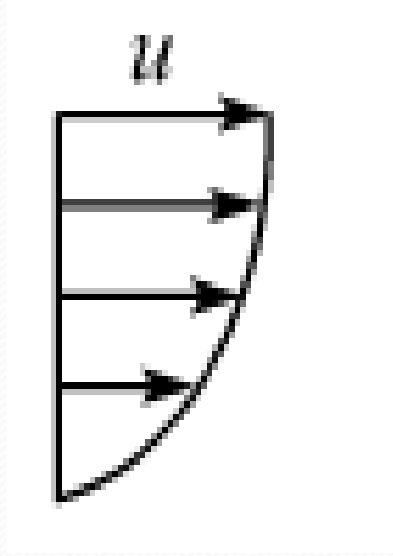
- ✘ **Rüzgar süpürmesi** (deflasyon, deflation): rüzgarın türbülanslı girdap (burgaç) (*turbulent eddy*) hareketi ile gevşek ince taneli toprak taneciklerinin uzaklaştırılması veya harekete geçirmesi aşamasıdır.
- ✘ **Aşındırma, parçalama** (abrasyon, abration): rüzgar ile taşınan taneciklerin sürtme eylemi ve kum tanecikleri darbeleri (*sandblasting*) ile toprak yüzeyini aşındırılması aşamasıdır.

# RÜZGAR EROZYONU MEKANİĞİ

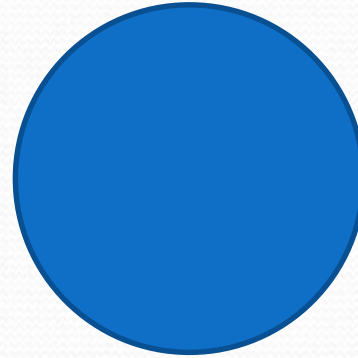


# GİRDAP (BURGAÇ) OLUŞUMU (deflasyon)

Rüzgar hız profili  
(logaritmik hız profil)



$$\bar{u} = \frac{u_{a*}}{K} \ln \frac{z}{z_0}$$



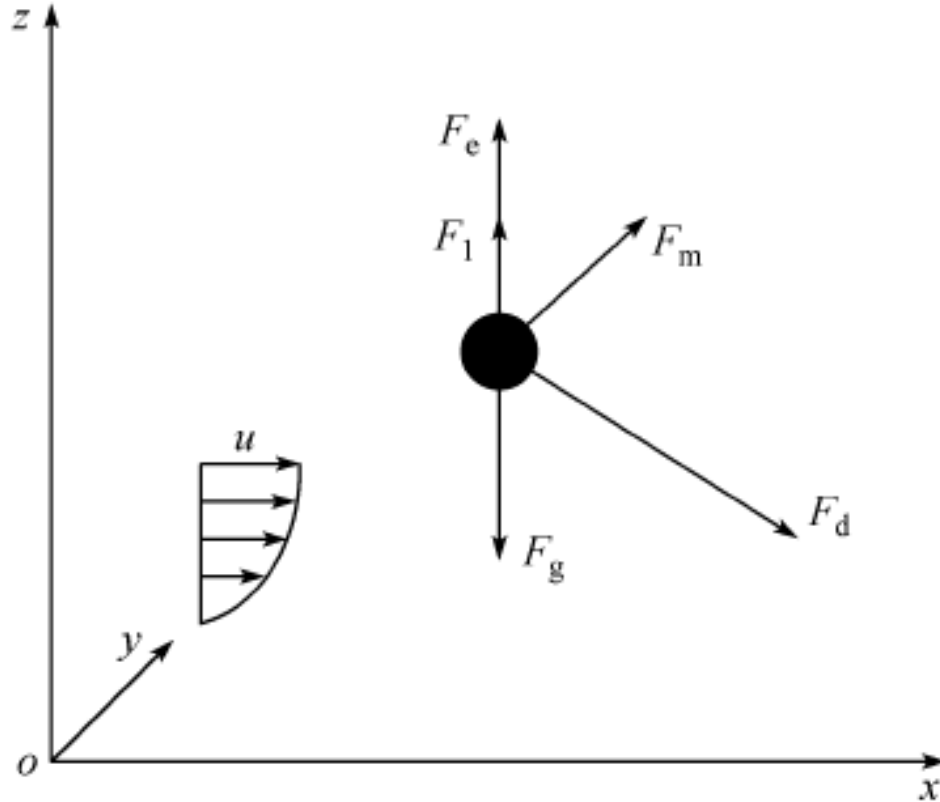
Kum taneciği

$$z = ae^{bu}$$

Bir kum taneciği yüzeyindeki kuvvetlerin dağılımı

# GİRDAP (BURGAÇ) OLUŞUMU (deflasyon)

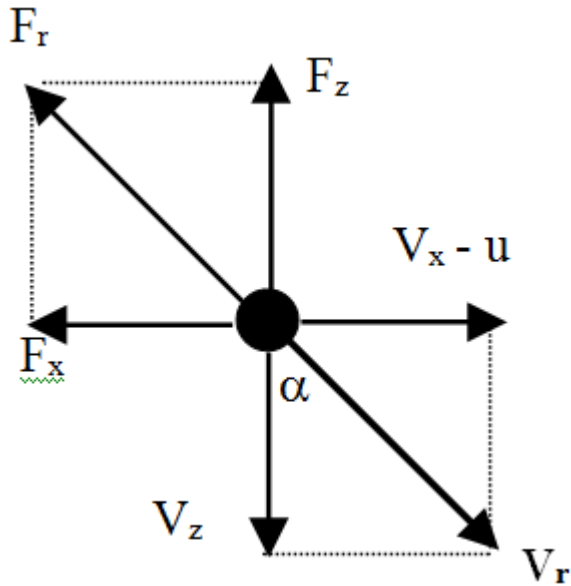
Rüzgarın türbülanslı girdap (burgaç) hareketi ile gevşek ince taneli toprak taneciklerinin uzaklaştırılması veya harekete geçirmesi



Bir kum taneciği üzerine etki eden kuvvetler



## Kum taneciği üzerine etki eden kuvvetler [yerçekimi, kaldırma, sürüklenme ve sürtünme]



$$F_z = m \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = mg - \rho_a g \nabla - \frac{1}{2} C_d \rho_a \left( \frac{\partial z}{\partial t} \right)^2 A$$

$$F_x = m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = -\frac{1}{2} C_d \rho_a \left( \frac{\partial x}{\partial t} \right)^2 A$$

**$F_x$** : kuvvetlerin x bileşenleri toplamı;  **$F_z$** : kuvvetlerin x bileşenleri toplamı;  **$V_x$** : toprak taneciği yatay hızı;  **$V_z$** : toprak taneciği düşey hızı;  **$V_r$** : toprak taneciği bileşke hızı;  **$F_r$** : bileşke kuvvet;  **$u$** : yatay rüzgar hızı;  **$(V_x - u)$** : ekseni boyunca bağıl hız;  **$\alpha$** : toprak taneciğinin düşeyle yapmış olduğu eğim açısı

# AŞINDIRMA (PARÇALANMA) (abrazyon)

Rüzgar ile taşınan taneciklerin sürtme eylemi (yatay jetler) ve kum tanecikleri darbeleri ile toprak yüzeyini aşındırılması

Bagnold (1941)

$$N = ma = kg \frac{m}{s^2} \longrightarrow \frac{N}{m^2} = \tau_o = \rho_a u_a^2$$

$\rho_a$ : hava yoğunluğu ( $1,177 \text{ kg m}^{-3}$ ) ( $25^\circ\text{C}$ )

$u_a$ : rüzgar hızı ( $\text{m s}^{-1}$ )

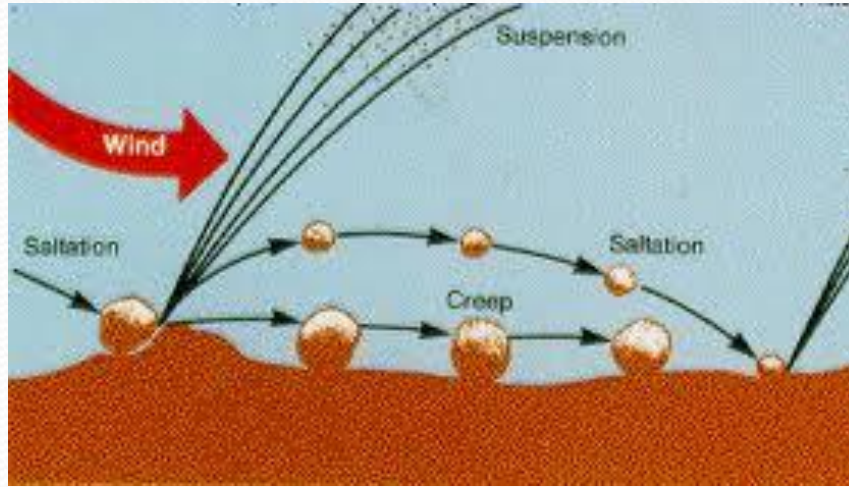
$\rho_k$ : kum yoğunluğu ( $2650 \text{ kg m}^{-3}$ )

$u_k$ : kum tanesi hızı ( $\text{m s}^{-1}$ ) =  $f(u_a)$

$$\frac{\rho_k}{\rho_a} = \frac{2650}{1,177} = 2251,49 \cong 2250$$

# RÜZGAR EROZYONU SÜRECİ

- ✘ Toprak taneciğinin ilk hareketini başlatan rüzgar hızına **eşik sürüklenme hızı** adı verilir. İlk tanecik hareketi ile birlikte **Sürüklenme**, **Saltasyon** (Sıçrama) ve **Süspansiyon** (Uçma) şeklinde taşınma ve **Birikme** ile sonuçlanan rüzgar erozyonu süreci başlamış olur.



# SALTASYON (Sıçrama)

- $50 \mu\text{m} < d < 500 \mu\text{m}$
- Saltasyon ile taneciklerin % 60'ı 5 cm'lik bir uzaklığa taşınır
- %90'ı 25 cm'ye
- %1'e yakını ise 1 m'den daha uzağa taşınır
- Toplam rüzgar erozyonununun %50 - %70'i saltasyon ile olur.



# SALTASYON (Sıçrama)

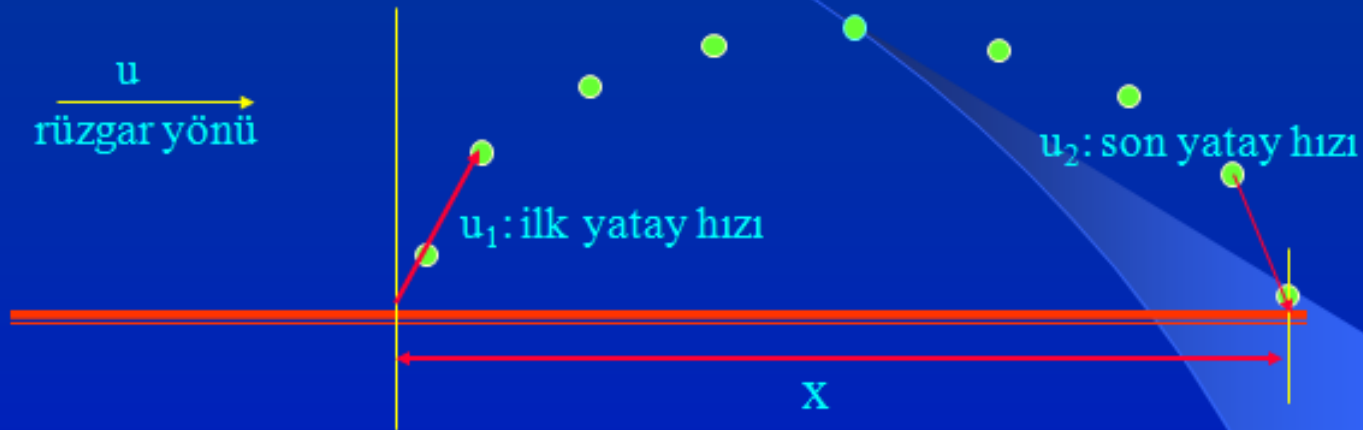
## Rüzgar erozyonu mekaniği



# SALTASYON (Sıçrama)

Bagnold (1941)

Rüzgar erozyonu mekaniği



Havadaki momentum kaybı

$$m(u_2 - u_1)$$

Taşınım mesafesindeki  
momentum kaybı

$$\frac{m(u_2 - u_1)}{x}$$

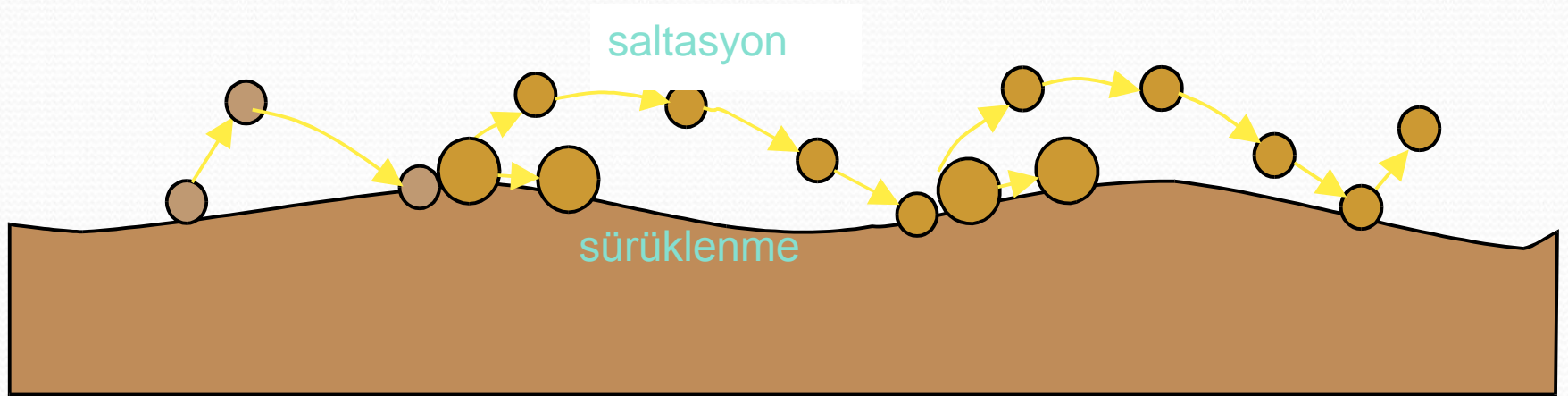
# SÜSPANSİYON (Uçma)

- $d < 100 \mu\text{m}$
- Tanecikler kilometrelerce yükseklikte çok uzak mesafelere taşınabilir
- Toplam rüzgar erozyonunun %10 - %25'i süspansiyon ile olur



# SÜRÜKLENME

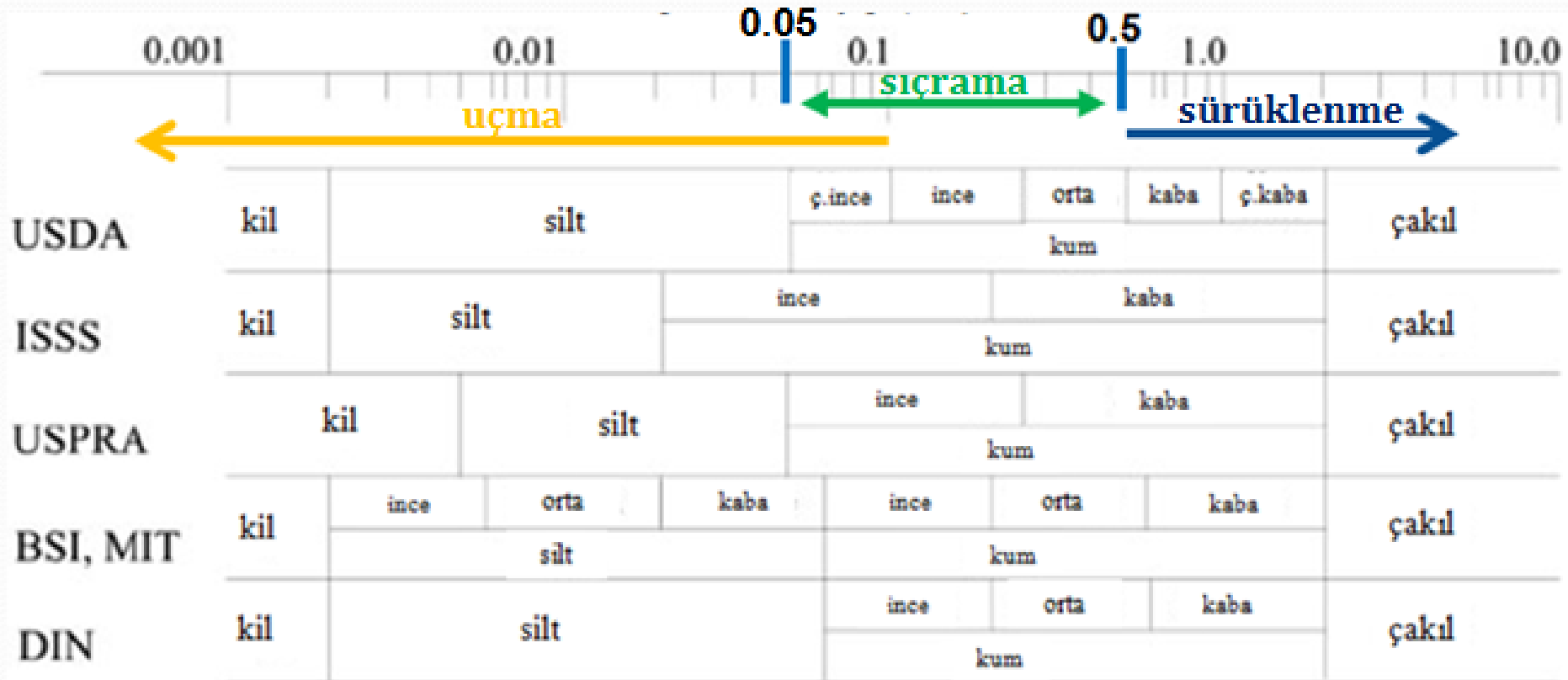
- $d > 500 \mu\text{m}$
- Tanecikler toprak yüzeyinde yuvarlanarak hareket eder
- Toplam rüzgar erozyonununun %15 - %25'i yüzey sürüklenmesi ile olur





# Tane büyüklük çaplarına göre toprak taneciklerinin sınıflandırılması

Toprak Tanecik Çapı (mm)



0.05 – 0.1 (kısa dönemli uçma)

## Tane büyüklük çaplarına göre toprak taneciklerinin sınıflandırılması

**USDA** (United States Department of Agriculture):  
ABD Tarım Bakanlığı;

**ISSS** (International Soil Science Society): Uluslar arası Toprak Bilimi Derneği;

**USPRA** (United States Public Road Administration):  
ABD Devlet Karayolları;

**BSI, MIT** (British Standard Institute, Massachusetts Institute of Technology): İngiliz Standartları Enstitüsü, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü;

**DIN** (German Standards): Alman Standartları

# RÜZGAR EROZYONUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

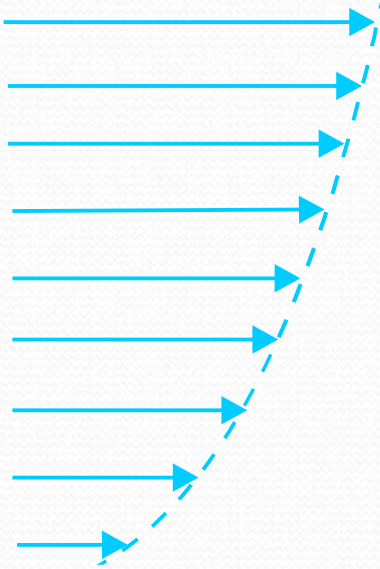
- Vejetasyon kapalılığı
- Gevşek toprak materyali derinliği
- Toprak nem içeriği
- Mikro topografya
- Rüzgara maruz kalan alanın genişliği
- Toprak özellikleri (Agregat büyüklük dağılımı, organik madde kapsamı, toprak bünye özellikleri)

# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL İÇİN TEMEL İLKELER

- Toprak yüzeyinde pürüzlülük yaratmak
- Kesekli toprak yüzeyi oluşturmak
- Rüzgar bariyerleri ile rüzgara açık alanı küçültmek
- Yeterli bitkisel kapalılık sağlamak ve bunu sürdürmek

# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

✦ **Acil sürüm:** hakim rüzgar yönüne dik yapılan bir işlem olup, amaç kesekler ve sırtlar oluşturarak rüzgar profilini değiştirecek yüzey pürüzlülüğü sağlamaktır.

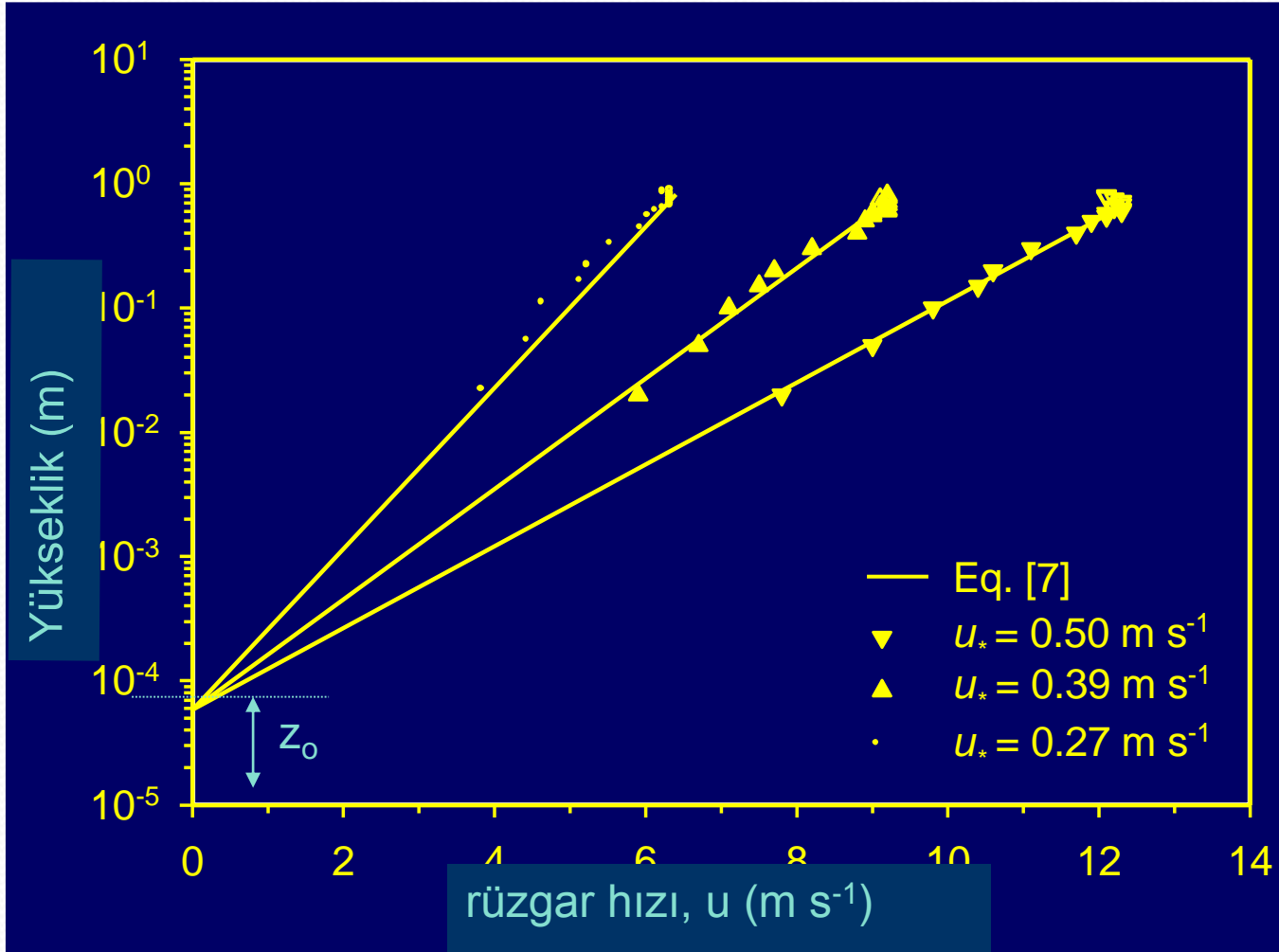


# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

- ***Sırtlı toprak hazırlığı***: Woodruff and Siddoway (1965) sırtlı toprak hazırlığı için sırt yüksekliği ile sırt aralığı arasında 1:4 oranının en iyi etkinliğe sahip olduğunu bildirmişlerdir.
- Sırt yüksekliğinin 6 cm olduğu durumlarda rüzgar erozyonundan %50 oranında korunmak mümkün olabilir.



# Rüzgar hız profili pürüzlülük yüksekliğinin ( $z_o$ , m) artırılması



$$\bar{u} = \frac{u_{a*}}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0}$$

$$z_0 \uparrow \Rightarrow \frac{z}{z_0} \downarrow$$

$$\ln \frac{z}{z_0} \downarrow \Rightarrow \bar{u} \downarrow$$

Deflasyon



# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

- ✘ **Anızlı tarım ya da bitki atıklarının kullanımı:** özellikle dekara 500- 700 kg da<sup>-1</sup> saman veya sap ile yüzeyin kapanması suyun korunması ve rüzgarın toprak yüzeyinden saptırılmasında etkili olabilir.



Deflasyon



Abrasyon







*Yüzeyi pürüzlendirmek ve anıza bırakmak tarım alanlarındaki rüzgar erozyonunun önlenmesinde büyük öneme sahiptir*



*Modern toprak işleme aletleri anız üzerine ekim yapmayı kolaylaştırır*

*Anız örtüsü ve ağaç şeritler ile rüzgar erozyonu kontrolü*

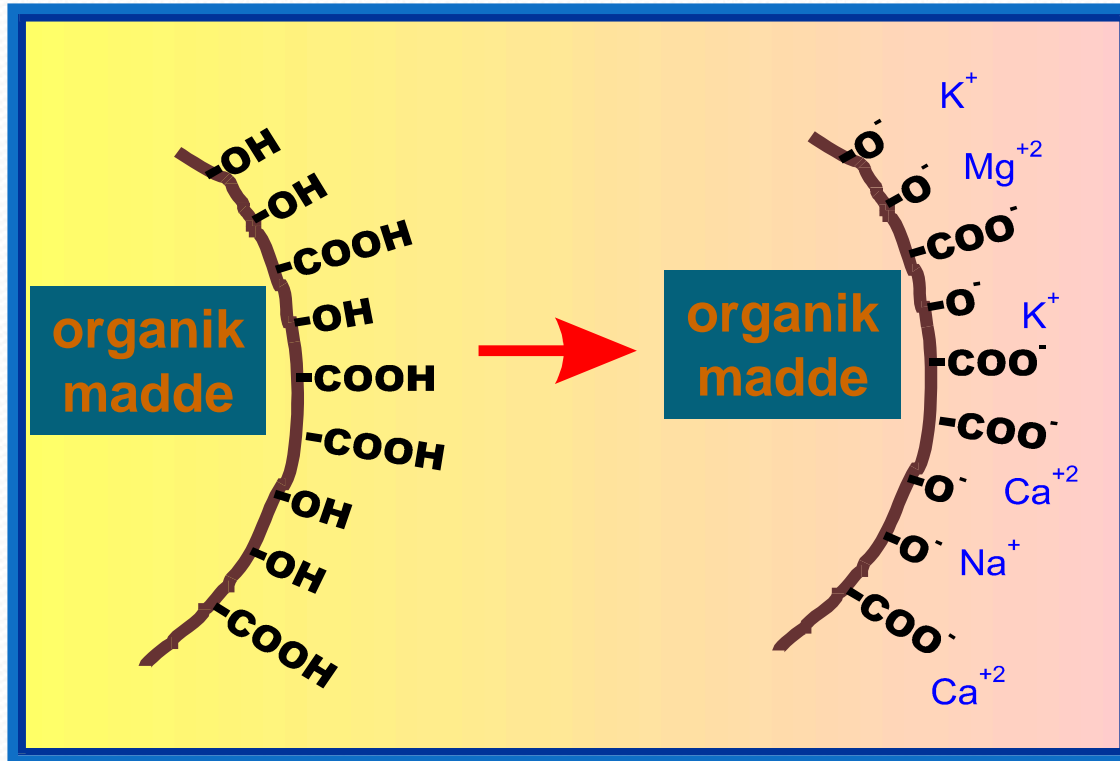


# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

- ***Yüzeye çiftlik gübresi serilmesi:*** sap saman kullanımını ile benzer şekilde hem toprakta suyun tutulması hem de rüzgarın yüzeyden saptırılmasında etkili bir yöntemdir.
- Bitki çıkışlarını da güçlendirdiği için 2.5-3 ton da<sup>-1</sup> uygulama maksimum fayda sağlayacaktır.



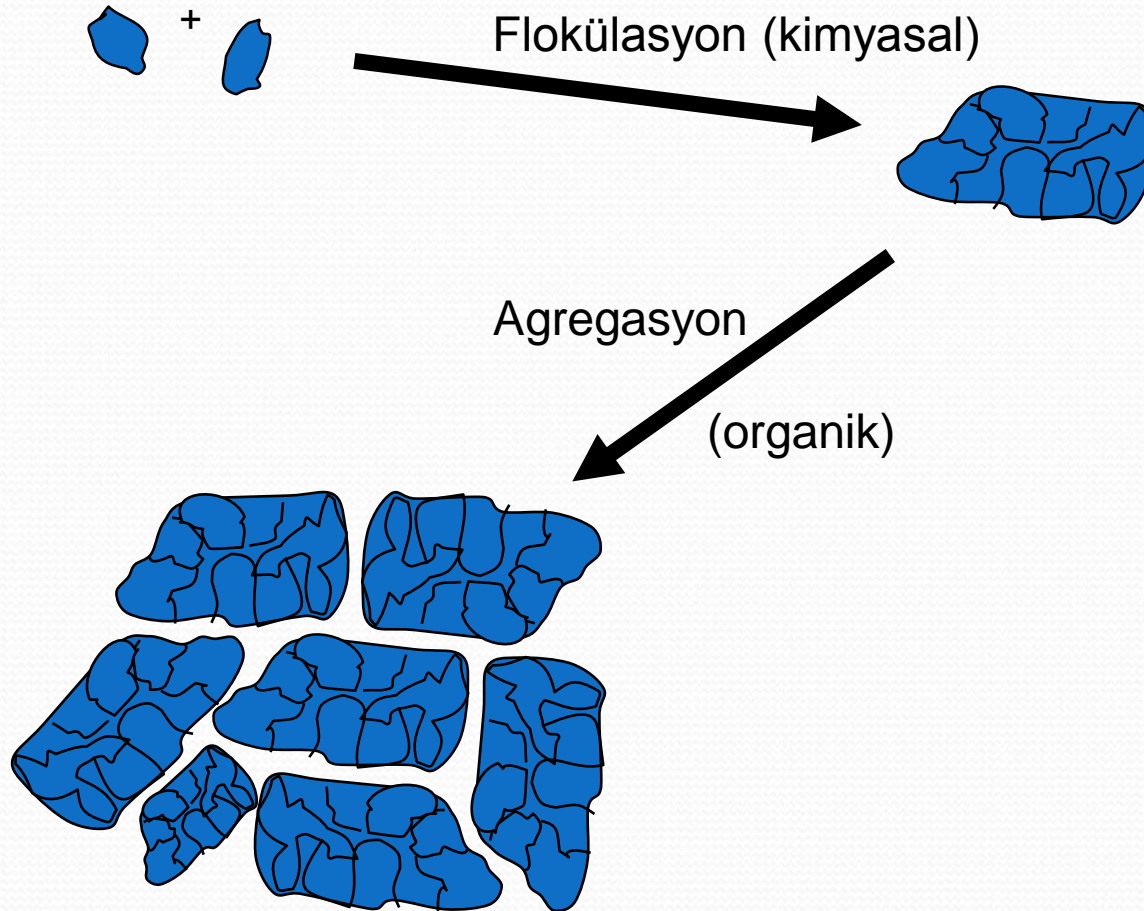
# Organik Madde



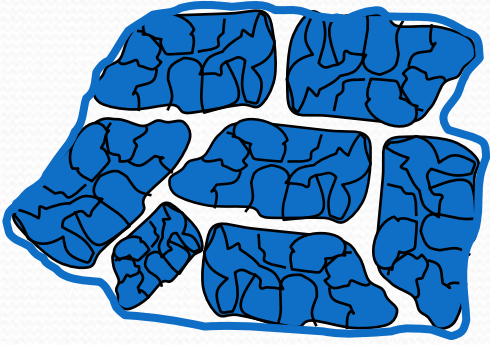
- tepkisel fonksiyonel gruplar: karboksil, hidroksil, fenolik

\* Humus, Humik Asid, Fulvik Asid

# Kümeleşme (Flokülasyon ve Agregasyon)



# Organik Madde Destekli Kümeleşme

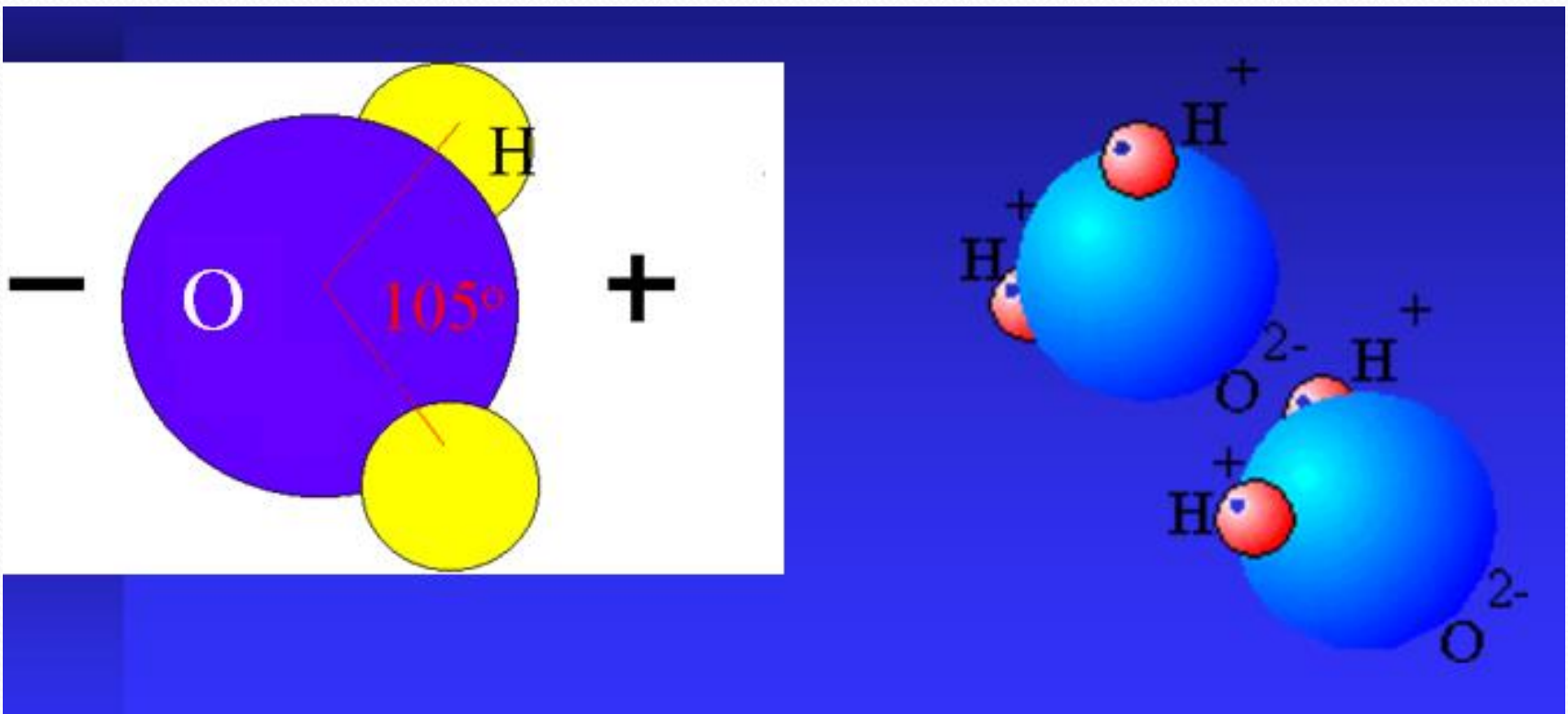


# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

- **Acil sulama:** rüzgar erozyonunun yeni çıkan bitkilere zarar vereceği boyutlara ulaştığında yüksek intensite ile yapılması gereken bir uygulamadır.
- Toprak yüzeyinin kuru olduğu dönemlerde damlacıklar agregatları parçalayacağı için rüzgar erozyonunu hızlandırabilir. Bu nedenle dikkatli uygulanması gereken bir yöntemdir.



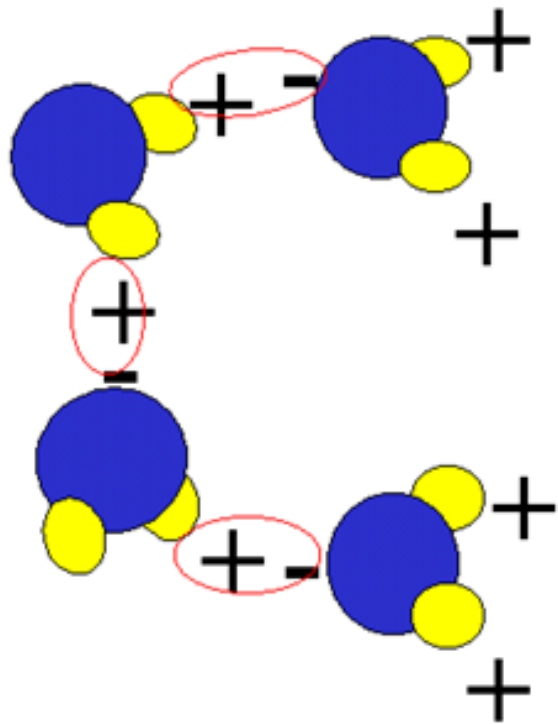
# Polarite (kutupsallık) ve Hidrojen bağı



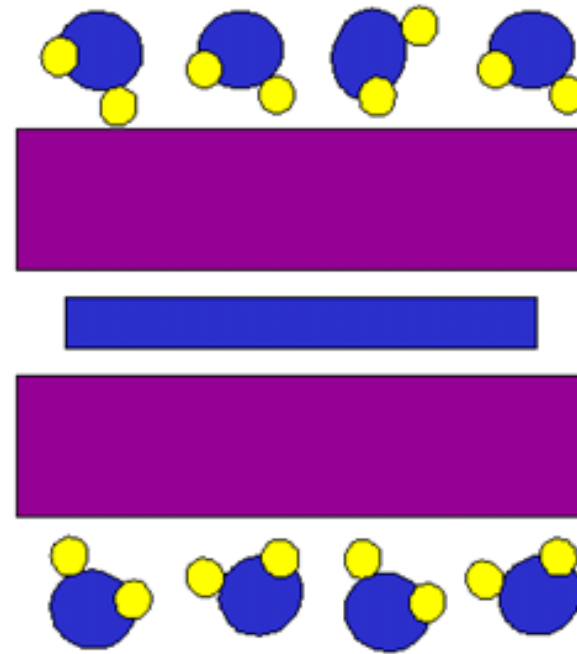


# Sulama

## Adezyon ve Kohezyon



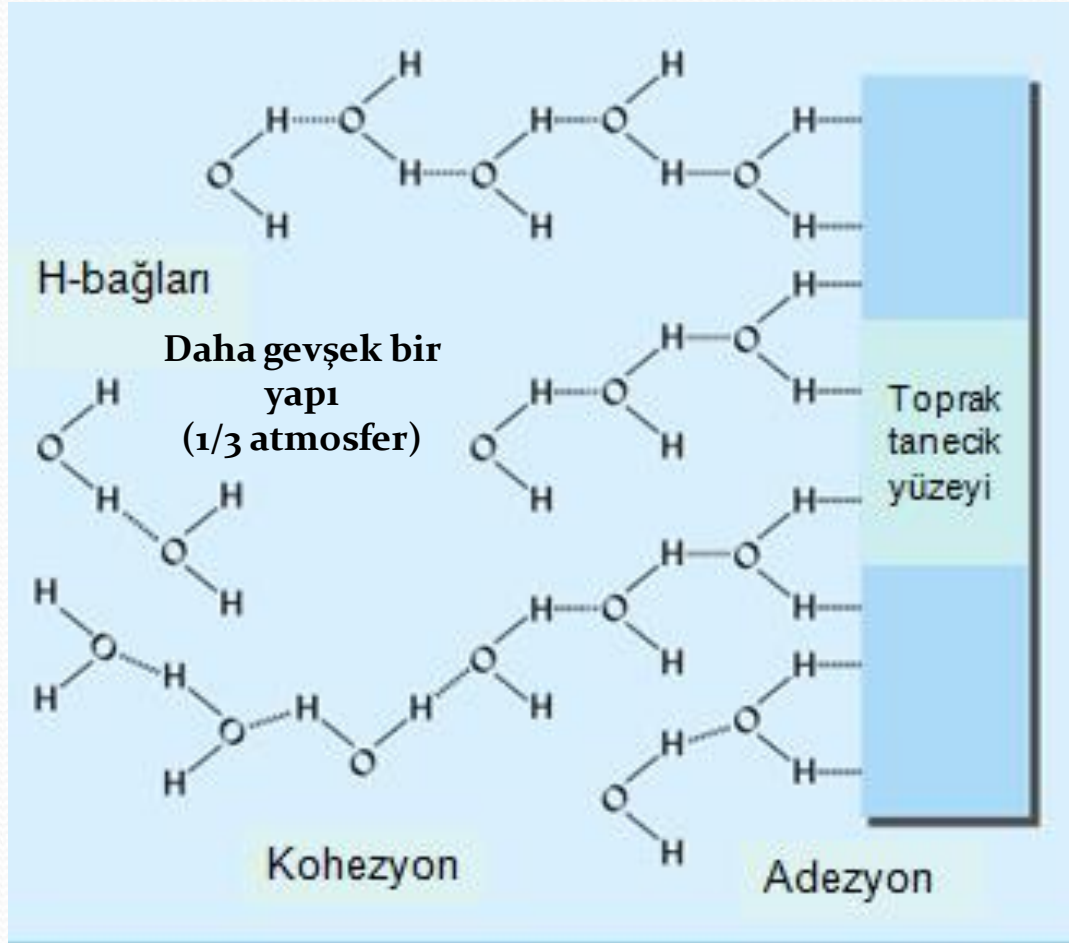
Kohezyon



Kil minerali

Adezyon

# Kohezyon



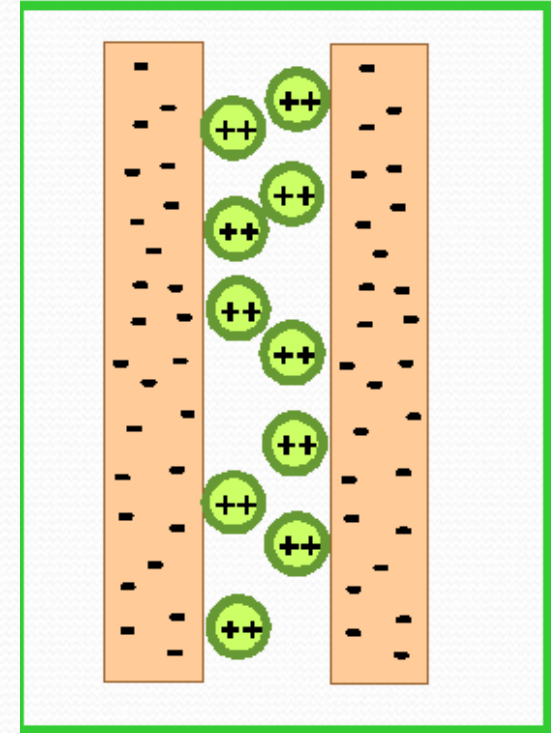
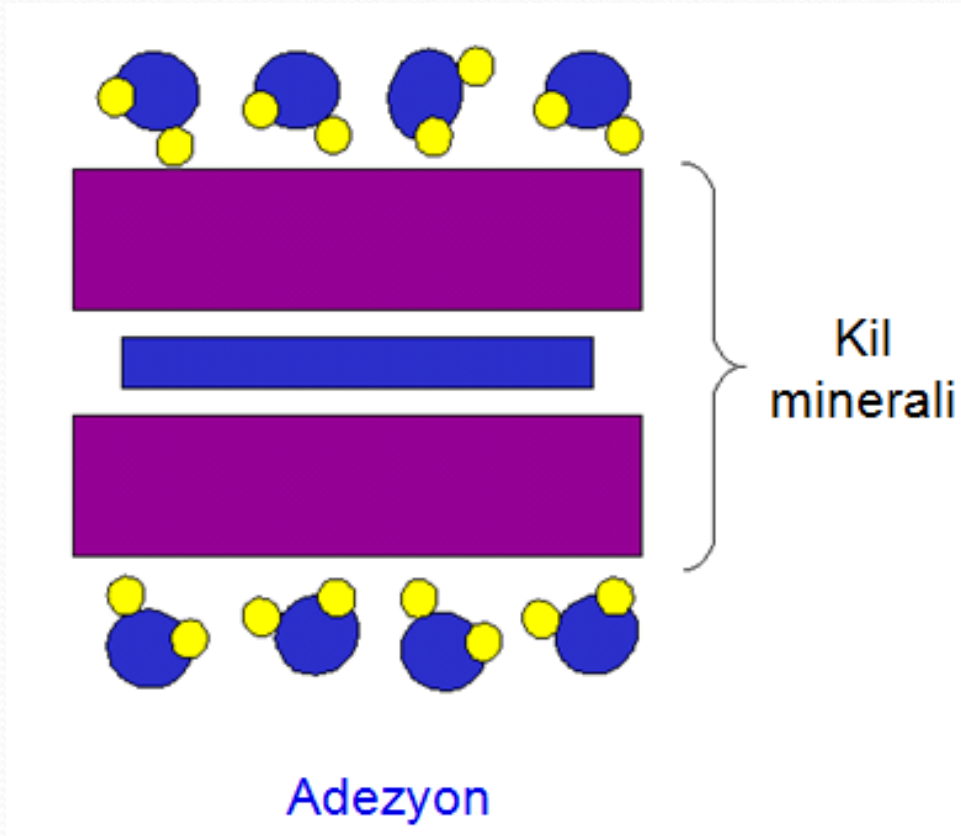
Bir toprak su sisteminde kohezyon (su molekülleri arasında) ve adezyon (su ve katı yüzey arasındaki) kuvvetler. Kuvvetler büyük oranda H-bağlarının bir sonucudur. Adeziv veya yüzeyde tutucu (adsorptif) güç katı yüzeyden uzaklaştıkça hızla azalır.

# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

- ***Toprak yüzey stabilizatörleri:*** Toprak yüzeyinde tanecikler arasında adezyonu güçlendirecek petrol türevi veya melas gibi organik ürünler rüzgar erozyonun önüne geçebilir.
- Teorikte etkili bir yöntem olmasına karşın pahalıdır. Yüksek getirisi olan ürünlere gelebilecek potansiyel zararın azaltılmasında kullanılabilir.



# Toprak yüzey stabilizatörleri



→ agregatlaşma ←

# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

Her hangi bir maddenin stabilizatör olarak kullanılabilmesi için aşağıda ki şartları sağlaması gerekir

- ✘ Toprak yüzeyini % 100 kapatabilmelidir
- ✘ Bitki gelişimi veya verim üzerine olumsuz etki yapmamalıdır
- ✘ Erozyonun başlamasını engellemeli ya da şiddetinden doğabilecek zararı azaltabilmelidir
- ✘ Uygulaması kolay ve ucuz olmalı (Armbrust and Lyles, 1975)

# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

- **Rüzgar perdeleri:** Rüzgar perdeleri rüzgar erozyonunun önlenmesinde en etkili yöntemlerden bir tanesidir.
- Chepil, (1957)'e göre sediment akış oranı rüzgara açık alanın uzunluğu ile birlikte artış göstermekte ve arazinin büyüklüğüne göre bilinen bir rüzgar hızında maksimum değere kadar yükselmektedir.



# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

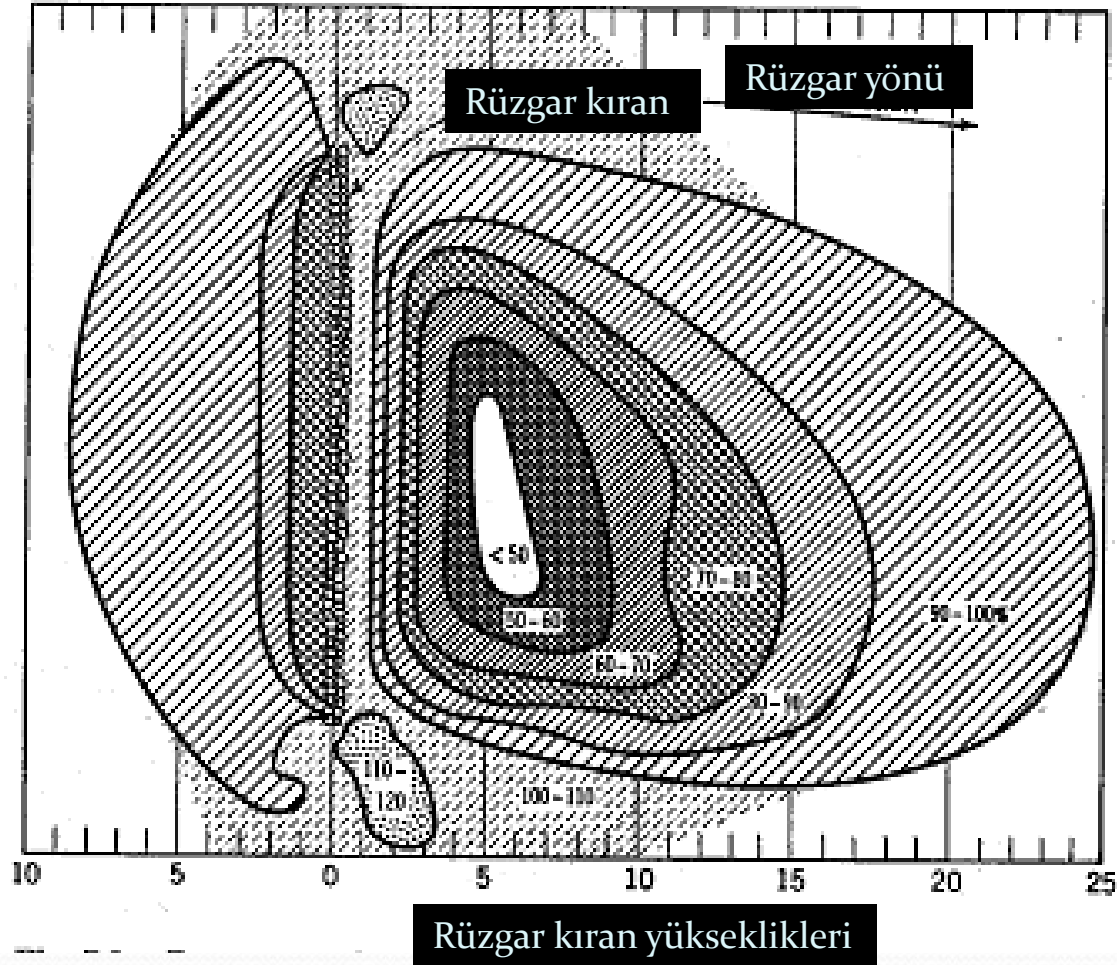
- ✘ Rüzgarın sabit bir yönde estiği kabul edildiğinde doğru yöne yerleştirilmiş rüzgar perdeleri rüzgarın gücünü %50 oranında azaltabilmekte ve rüzgar perdesinden sonra 20 h veya 17 h uzaklıkta bir alanı %50 oranında rüzgarın gücünden koruyabilmektedir.





Rüzgar kıranlar (ağaç şeritler – perdeler) rüzgar erozyonunu engeller ve toprak nemini muhafaza ederler





Ortalama sıklığı %50 olan bir rüzgar kırıcının önünde ve arkasındaki rüzgar hızları oranı

$$d = 17h \left( \frac{V_m}{V} \right) \cos \theta$$

**d:** rüzgar kırıcı tarafından korunan alanın uzunluğu (m),

**h:** rüzgar kırıcının yüksekliği (m),

**$V_m$ :** erozyona en duyarlı toprak taneciklerini harekete geçirmek için 15 m yükseklikte olması gerekli minimum rüzgar hızı (km saat<sup>-1</sup>),

**V:** 15 m yükseklikteki gerçek rüzgar hızı (km saat<sup>-1</sup>),

**$\theta$ :** Rüzgarın kırıcı ile oluşturduğu açı (dikmeden olan sapma) (°)

## Örnek

Rüzgar yönüne dik ( $\theta = 0$  ve  $\cos \theta = 1$ ) 10 m yüksekliğinde bir rüzgar kırıcı inşa edilmiştir. En duyarlı toprak taneciklerini harekete geçiren ve 15 m yükseklikte ölçülen minimum rüzgar hızı  $35 \text{ km saat}^{-1}$  ve gerçek rüzgar hızı  $65 \text{ km saat}^{-1}$ 'tir. Rüzgar kırıcı tarafından korunan alanın uzunluğunu (m) bulunuz?

$$d = 17h \left( \frac{V_m}{V} \right) \cos \theta = 17(10) \left( \frac{35}{65} \right) (1) = 91,5m$$

$$\lim_{V_m \rightarrow V} d = 170m$$

$$\lim_{\theta \rightarrow 0^\circ} d = 170m$$

# Ölçümler V & $\theta$

Land Degradation & Development

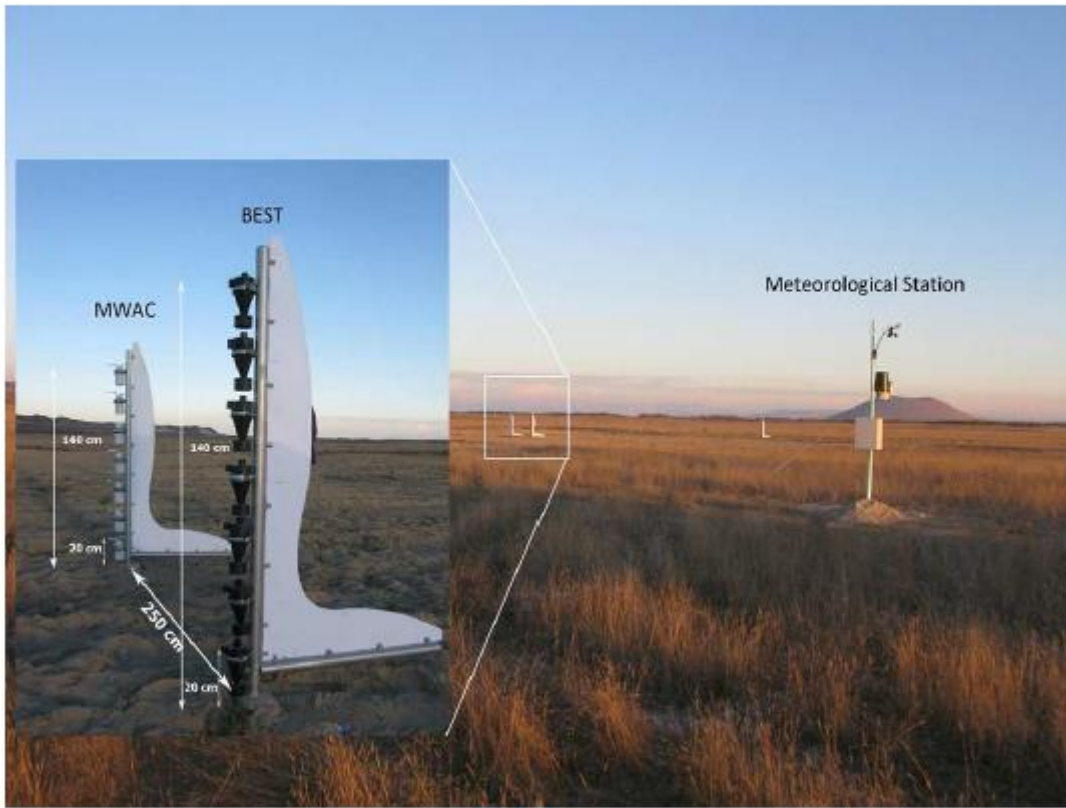


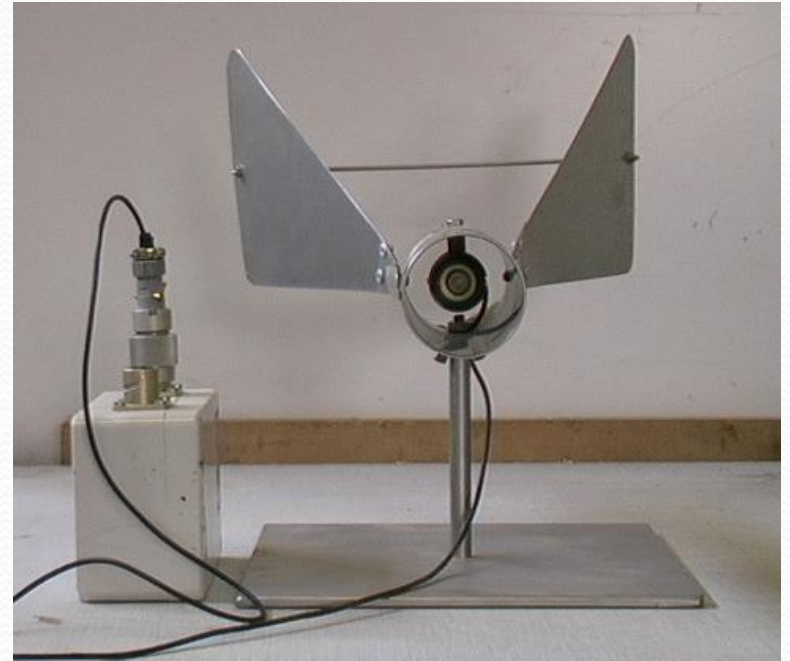
Figure 3. A view of the disturbed research plot to incite wind erosion during experiments with the BEST and MWAC traps along with a meteorological station

# $V_m$ 'nin belirlenmesi

Sensit



Saltifon



# Toprak Neminin Ölçülmesi

## TDR (Dalga yayılım zamanı)



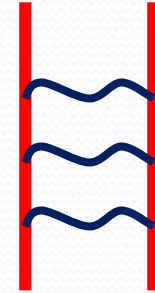
Taşıma (iletim) hattı boyunca elektrik dalgalarının yayılım zamanının belirlenmesi



10 – 30 cm uzunluğunda iki metal çubuk (iletim hattı)

# Toprak Neminin Ölçülmesi

## TDR (Dalga yayılım zamanı)



# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

Diğer etkili bir önlemler bileşkesi, şerit üzerine ekimin, eş yükselti eğrilerine paralel sürüm ve nöbetleşe ekim ile birlikte yapılmasıdır. Sıra bitkileri ile toprağı koruyan bitkiler şeritler üzerinde yetiştirilir.





**Şerit üzerine ekim**, eş yükselti eğrilerine paralel sürüm ve almaşık ekimin (nöbetleşe ekim) bir bileşkesidir. Sıra bitkileri ile toprağı koruyan bitkiler (çim) şeritler üzerinde yetiştirilir. Hakim rüzgar yönüne dik yapılırlar. Sıra bitkileri arazilerinde parçalanan toprak tanecikleri, yüksek düzeyde örtü sağlayan toprak koruyucu ot-çim şeritlerinde rüzgar hızlarının düşmesi ile tutulur. Rüzgar hızı bu şeritlerde kesintiye uğratılır.



Rüzgar erozyonunu önlemede kullanılan şeritlerin genişlikleri toprak bünyesine göre belirlenir ( $L = 800 \text{ m}$ )

Farklı topraklar için önerilen şerit genişlikleri

Toprak bünyesi	Şerit Genişliği (m)	Şerit sayısı (#)
Kum	Yıllık veya çok yıllık yem bitkileri tarımı	
Kumlu Tın	50	16
Ağır Kil	80	10
Tınlı	100	8

Çok kumlu topraklarda etkili bir rüzgar erozyonu kontrolü için dar şeritlere gereksinim olduğundan, şeritvari ekim pek uygulanabilir bir önlem değildir. Bu yüzden, uygun sürüm teknikleri kullanılarak bu topraklar üzerinde ya yem bitkileri tarımı yapılmalı ya da devamlı bitki örtüsü altında bırakılmalıdır.



# RÜZGAR EROZYONU ÖNLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

- ✘ Uygun bitkisel ya da mekanik yöntemlerin birbirlerini tamamlayacak ölçüde planlanması ile açık alanlarda rüzgar erozyonu tehlikesi azaltılabilir.



## Hangi yöntem(ler) seçilmelidir?

- Öncelikle o bölge için izin verilebilir toprak kayıpları miktarını (ton/ha/yıl) belirle
- Potansiyel toprak kayıpları miktarını (ton/ha yıl) hesapla
- İzin verilebilir toprak kayıpları miktarını sağlayacak kontrol yöntemini seç

# Potansiyel toprak kayıpları miktarının belirlenmesi

- WEQ (Rüzgar Erozyonu Eşitliği)
- RWEQ (Yenilenmiş Rüzgar Erozyonu Eşitliği)
- WEPP (Rüzgar Erozyonu Tahmin Sistemi)
- ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

## Potansiyel toprak kayıpları miktarının belirlenmesi

- ✘ Rüzgar erozyonunun önlenmesi ve kontrolü için gerekli olan ilkeler rüzgar erozyonu eşitliğinde (WEQ) de özetlenmiştir (Woodruff and Siddoway (1965);

$$E = f(I, K, C, L, V)$$

## Rüzgar Erozyonu Eşitliği

$$E = f(I, K, C, L, V)$$

Eşitlikte;

**E:** kaybolan toprak kayıpları miktarını ( $\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ),

**I:** erozyona duyarlılık indeksini,

**K:** yüzey pürüzlülük faktörünü,

**C:** iklim faktörünü,

**L:** rüzgara maruz kalan korumasız arazi uzunluğunu ve

**V:** bitkisel örtü faktörünü ifade etmektedir.



## Strateji ne olmalıdır?

- ❖ Rüzgar erozyonundan etkilenen alanlarda havza yönetim stratejileri geliştirilmeli
- Arazi kullanım planlaması
- Rüzgar erozyonuna neden olan bölgesel problemler belirlenmeli (tarım, otlatma, toprak özellikleri; organik madde, bünye, değişebilir sodyum yüzdesi)
- Sosyo-ekonomik nedenlerin belirlenmesi ve çözümlenmesi
- Kırsal nüfusun eğitilmesi

## Strateji ne olmalıdır?

- ❖ Havza esaslı rüzgar erozyonu izleme ve değerlendirme sisteminin geliştirilmesi
- Denenmiş uluslararası model veya eşitlikler havza esaslı kalibre edilmeli,
- İzleme için gerekli parametrelerin ne olduğu belirlenmeli

TEŞEKKÜRLER