

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TOPRAKLARIN RÜZGAR EROZYONUNA DUYARLIĞININ ELEME VE
TAŞINMA ORANI YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ**

Feras YOUSSEF

TOPRAK ANABİLİM DALI

ANKARA

2006

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAKLARIN RÜZGAR EROZYONUNA DUYARLIĞININ TAŞINMA ORANI VE ELEME YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Feras YOUSSEF

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa R. ÇANGA

Rüzgar erozyonu ölçümlerinde, sediment yakalayıcılarının verimliliklerinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmanın amaçları; VS (Vazelin preparatları) ve MWAC (Wilson ve Cooke şişeleri) yakalayıcılarının verimliliklerinin tayini, aynı zamanda; hem rüzgar tüneli hem de eleme yöntemi ile toprakların rüzgar erozyonuna duyarlılığının belirlenmesidir. Çalışmada farklı boyutta kum taneleri (<50, <75, 50-75, 200-400, and 400-500µm), sabit rüzgar hızında (13.3 ms^{-1}) ve farklı toprak türlerinde, farklı rüzgar hızlarında (10.3, 12.3, and 14.3 ms^{-1}) test edilerek VS ve MWAC yakalayıcılarının verimlilikleri tayin edilmiştir. Yakalayıcıların verimlilikleri kum tanelerinin büyüklüklerine, toprak türüne ve rüzgar hızına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. İnce tanecikler kullanıldığında VS yakalayıcısının verimliliği yüksek, MWAC yakalayıcısının verimliliği düşük; kaba tanecikler kullanıldığında ise VS yakalayıcısının verimliliği düşük, MWAC yakalayıcısının verimliliği yüksek çıkmıştır. 50 µm'den küçük tanecikler kullanıldığında VS'nin verimliliği % 92 iken MWAC için aynı değer % 0 olarak hesaplanmıştır. 400-500 µm arasında tanecikler kullanıldığında MWAC'nin verimliliği % 67.57 iken, VS için aynı değer % 2.2 olarak hesaplanmıştır.

Toprakların rüzgar erozyonuna duyarlılığı tayininde eleme yöntemi ve rüzgar tüneli kullanılmıştır. Yapılan elemeler sonucunda kumlu toprağın en duyarlı toprak, killi tın toprağın ise en dirençli toprak olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu sonuçları, rüzgar tüneline alınarak elde edilen sonuçlar da en duyarlı toprak açısından desteklemiştir, fakat en dirençli toprak açısından sonuçlar farklı bulunmuştur. Rüzgar tüneli analizine göre tınlı toprak (Efp) ve kumlu tınlı toprak (Lda) en dirençli topraklar olarak tespit edilmiştir.

2006, 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Toprakların rüzgar erozyonuna duyarlılığı , Wilson and Cooke şişeleri , vazelin preparat yakalayıcıları, duyarlılık eleme yöntemi

ABSTRACT
Master. Thesis

**DETERMINATION OF WIND ERODIBILITY OF SOILS BY SEIVING AND
TRANSPORT RATE METHODS**

Feras YOUSSEF

Ankara University
Graduate School Of Natural And Applied Sciences
Department of Soil

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa R. ÇANGA

In wind erosion measurements, it is very important to know the trap efficiency, and in many cases suspension trap efficiencies at high wind speeds are still unknown. Generally, the sediment trap efficiency changes a lot with particles size and with wind speed. Firstly, in this study, the efficiencies of Vaseline Slide (VS) and Modified Wilson and Cooke (MWAC) catchers were determined with different sand particle sizes (<50, <75, 50-75, 200-400, and 400-500 μm) at the fixed wind velocity (13.3 ms^{-1}). The traps were placed at different heights (4, 6.5, 13, 20, 120, and 192 cm for VS) and (1.5, 3, 5, 8, 11, and 30 cm for MWAC) to catch saltating and suspended sediments. The efficiency of VS catcher was 92 per cent with particles smaller than 50 μm at 13.4 ms^{-1} and decreased with increasing particles size as it declined 2.2 per cent with 400-500 μm particle size at 13.4 ms^{-1} . The MWAC's efficiency was 0 percent with particles smaller than 50 μm at 13.4 ms^{-1} and increased with increasing particle size to 69.5 percent at 400-500 μm . Secondly, the efficiencies of those catchers were also measured using different soil textures at three wind speeds (10.3, 12.3, and 14.3 ms^{-1}). The results indicated that the efficiency significantly changed with soil and wind speed. It also varied a lot with the methods that were used, for instance, for sand (S), the MWAC efficiency was very high (67.4, 113.4, and 90.5 per cent at 10.3, 12.3, and 14.4 ms^{-1} , respectively) while the efficiency of VS was relatively very low (5.2, 4.4, and 1.9 per cent at 10.3, 12.3, and 14.4 ms^{-1} , respectively).

Soils erodibilities were determined using sieving method and wind tunnel experiments, according to sieving experiments the most sensitive soil was the sandy one (Zdc), and the most resistant one was the heavy clay soil (Ugp). The wind tunnel experiments emphasize that the most sensitive soil was the sandy soil, but according to the results of this previous experiments showed that the most resistant soils were the loam soil (Efp) and the sandy loam soil (Lda).

2006, 54 pages

Key Words: Trap efficiency, vaseline slide, Wilson & Cooke, wind erosion, erodibility, sieve method

TEŐEKKÖR

Bu alıŐma boyunca hiçbir yardımını esirgemeyen danıŐmanım Prof. Dr. Mustafa R. ÇANGA hocama ayrıca bu çalışmada her zaman bana destek veren ve önemli bir rol oynayan sayın hocam Doç. Dr. Günay ERPUL'a, Belçika'da bulunduğum süre içinde her türlü desteğini aldığım Prof. Dr. Donald GABRIELS'e, Dr.Wim CORNELIS'e ve Piter BOGMAN'a sonsuz teŐekkürlerimi borç bilirim.

Feras YOUSSEF
Ankara Eylül, 2006

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLERİ LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1 Materyal.....	8
3.1.1 Toprak alınması ve hazırlanması.....	8
3.2 Yöntem.....	8
3.2.1 Rüzgarla toprak hareketi.....	8
3.2.2 Rüzgar erozyonu araştırmalarında gerekli ölçümler.....	9
3.2.2.1 Arazinin geometrisi.....	9
3.2.2.1.1 Arazilerin şekli	9
3.2.2.1.2 Arazi sınırları.....	9
3.2.2.1.3 Arazi uzunluğu	9
3.2.2.2 Üst toprak özellikleri.....	10
3.2.2.2.1 Üst toprak nemi.....	10
3.2.2.2.2 Üst toprak pürüzlülüğü.....	11
3.2.2.2.3 Kuru agregat hacim dağılımı (KAHD).....	11
3.2.2.2.4 Kuru agregat dayanıklılığı	11
3.2.2.2.5 Kabuk biçimleri.....	12
3.2.2.2.6 Toprağın yüzeyindeki aşındırılmayan örtü.....	12
3.2.2.3 Meteorolojik ölçümler.....	12
3.2.2.4 Rüzgar erozyonuna karşı toprağın gösterdiği duyarlılık.....	12
3.2.2.4.1 Rüzgara karşı kuru agregatların duyarlılıkları.....	12

3.2.2.4.2 Toprağın rüzgara karşı duyarlılığında yüzeye yakın bulunan suyun etkisi.....	12
3.2.3 Rüzgar tüneli	13
3.2.4 MWAC (modified by Wilson and Cooke) şişeleri.....	17
3.2.5 Vazelin preparat tutucusu.....	18
3.2.6 Rüzgar profili tayini	20
3.2.7 Kullanılan sediment yakalayıcılarının verimliliklerinin tayini.....	20
3.2.8 Eleme yöntemi (elektrikli elek) ile toprağın rüzgara karşı duyarlılığının tayini.....	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	28
4.1 Araştırma Toprakların Bazı Özellikleri.....	28
4.2 Farklı Büyüklükte Kum Taneleri Kullanılarak Yakalayıcıların Verimlilikleri Tayini	28
4.3 Farklı Topraklarla ve Farklı Rüzgar Hızı Uygulanarak Yakalayıcıların Verimlilikleri Tayini	32
4.4 Eleme Analizlerinin Sonuçları.....	38
4.5 Rüzgar Tüneli Analizinden ve Eleme Analizinden Toprak Kayıp Miktarı Açısından Alınan Sonuçlarının Karşılaştırması.....	40
5. SONUÇ.....	43
EKLER.....	48
Ek 1 Dünya Rüzgar Erozyonu Haritası.....	49
Ek 2 Dünya kuraklık haritası haritası.....	50
Ek 3 Dünyadaki Rüzgar ve Su Erozyonu Dağılımı (Middleton and Thomas 1997).....	51
Ek 4 Türkiye’de Rüzgar Erozyonu Alanlarının Dağılımı (Anonim 1998).....	52
Ek 5 Rüzgar ile Toprak Tanelerin Hareketleri (USDA 1989).....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54

SİMGELER DİZİNİ

MWAC	Modified by Wilson and Cooke
NERS	Natural Resources Conservation Service
USDA	United States Department of Agriculture
VS	Vaseline Slide
Zdc	Kum
Efp	Kumlu tın
Lda	Kumlu tın
Aba	Kumlu tın
Sdm	Tınlı kum
Ugp	Killi tın
Pdc	Tınlı kum

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Rüzgar tüneli.....	14
Şekil 3.2 Tünelin jeneratörü.....	15
Şekil 3.3 Rüzgar tüneline rüzgar hızını ölçer anemometreler.....	16
Şekil 3.4 Anemometrelerin bilgisayar bağlandığı.....	16
Şekil 3.5 Wilson ve Cooke yakalayıcısının şeması.....	17
Şekil 3.6 Tünelde Wilson ve Cooke yakalayıcısının görünümü.....	18
Şekil 3.7 a. Deneme yapılmadan önce vazelin preparat tutucusu, b. Deneme yapıldıktan sonra tutucu.....	19
Şekil 3.8 Vazelin preparat yakalayıcısı ve üzerindeki toprak taneleri.....	19
Şekil 3.9 Üç farklı rüzgar hızında (9 ms^{-1} , 11 ms^{-1} ve 13 ms^{-1}) rüzgar profili tayini.....	20
Şekil 3.10 Tünelin içindeki toprak tavaşı ve yakalayıcıların üstten görünümü.....	21
Şekil 3.11 Tünelde yakalayıcıların yerleştirilmesinin şematik olarak görünümü.....	21
Şekil 3.12 Anemometre ile Wilson ve Cooke şişeleri.....	22
Şekil 3.13 Üssel-azalan modeli sediment taşıma oranının yüksekliğe karşı değişimi.....	25
Şekil 3.14 parametrelili bir modelde sediment taşıma oranının yüksekliğe karşı değişimi.....	25
Şekil 3.15 Elektrikli elek.....	27
Şekil 4.1.a. Farklı kum taneleri kullanılarak eşitlik [8] ile hesaplanan VS yakalayıcılarının verimlilikleri, b. Farklı kum taneleri kullanılarak eşitlik [9] ile hesaplanan VS yakalayıcılarının verimlilikleri	30
Şekil 4.2. Farklı boyutta kum taneleri ile MWAC yakalayıcılarının verimlilik değerleri.....	31
Şekil 4.3 Farklı topraklarda VS yakalayıcısının verimliliği a. 10.3 ms^{-1} , b. 12.30 ms^{-1} , c. 14.3 ms^{-1}	34
Şekil 4.4 Farklı topraklarla MWAC yakalayıcısının verimliliği a. 10.3 ms^{-1} , b. 12.30 ms^{-1} , c. 14.3 ms^{-1}	37
Şekil 4.5 Her topraktan tahmin edilen erozyon miktarı (ton/ha/yıl).....	40

ÇİZELELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Pipet yöntemi ile bünye tayini sonuçları.....	28
Çizelge 4.2 Farklı kum taneleri ile VS yakalayıcılarının verimlilikleri.....	29
Çizelge 4.3 Farklı kum taneleri ile MWAC yakalayıcılarının verimlilikleri.....	31
Çizelge 4.4 Farklı topraklarla VS yakalayıcının verimliliği.....	33
Çizelge 4.5 Farklı topraklarla MWAC yakalayıcısının verimliliği.....	36
Çizelge 4.6 Toprak grupları ve yüzdeleri.....	38
Çizelge 4.7 Toprakların rüzgar erozyonu indeksi (USDA- NRCS 2002).....	39
Çizelge 4.8 % 0,84'ten büyük agregatların yüzdeleri ve tahmin edilen yıllık erozyon miktarı (ton/ha/yıl)	39
Çizelge 4.9 Toprak kaybı açısından rüzgar tüneli ve eleme analizinden alınan sonuçlarının karşılaştırması.....	42

1. GİRİŞ

Milyarlarca yıllık bir geçmişe sahip olan dünyamız üzerinde barındırdığı canlılarla evrende henüz eşine rastlanmayan bir gezegendir. Son derece dinamik bir gezegen olan dünya, oluşumunu henüz tamamlamamış olmakla beraber canlıların yaşaması ve soylarını devam ettirebilmesine olanak sağlayan şartları sağlamıştır. Dünya üzerinde canlıların yaşayabilmesi için gerekli olan unsurların en önemlilerinden biri de topraklardır. Bu nedenle toprakların varlığının ve sürdürülebilirliğinin önemi son derece büyüktür.

İnsan, kendi yaşama kaynağının çok önemli bir unsuru olan toprağa bazı olumsuz etkilerde bulunmuştur. Bunlardan en tehlikeli olanı toprak erozyonudur olup insan ekolojisi ve ekonomisi bakımından çok önemli etkilere sahiptir.

Erozyon toprağın aşınmasını önleyen bitki örtüsünün yok edilmesi sonucu koruyucu örtüden yoksun kalan toprağın başta su ve rüzgarın etkisiyle aşınması ve bulunduğu yerden başka yerlere taşınması olayıdır.

Erozyonun başlıca nedeni, toprağı koruyan bitki örtüsünün yok olmasıdır. Arazi eğimi, toprak yapısı, yıllık yağış miktarı, iklim faktörleri, bitki örtüsü, toprak ve bitkiye yapılan çeşitli müdahaleler, erozyonun şiddetini belirleyen öğelerdir.

Rüzgar erozyonu kuru ve yarı kuru iklime sahip bölgelerde büyük bir tehlike arz etmektedir. Son derece kurak iklime sahip Afrika, rüzgar erozyonu açısından dünyada en fazla etkilenen kıtadır.

Türkiye’de rüzgar erozyonunun yaygın olduğu alanlar genellikle kurak ve yarı-kurak olan Orta Anadolu’nun güney yarısı (özellikle Konya, Niğde, Kayseri) ile doğuda Iğdır ili sınırları içindedir. Türkiye’de kara kumulu olarak 456 913 hektar alanda, hafiften çok şiddetliye kadar rüzgar erozyonu problemi vardır. Bu alanın 103 000 hektarı Konya’nın

Karapınar ilçesinde bulunmakta olup, burası ÷lke düzeyindeki rüzgar erozyonu alanının %22,1'nin teşkil etmektedir (Tarım ve Köyişleri Bakanlığı 2004).

Günümüzde toprakların varlığını tehdit eden en önemli öğe kuşkusuz ki erozyondur. Özellikle Türkiye topraklarını tehdit eden erozyon konusu fevkalade önemlidir. Erozyon konusunda yapmış olduğum bu çalışmanın konuyla ilgili olan araştırmacılara yararlı olması ümidini taşımaktayım.

Bu çalışmanın amaçları; VS (Vazelin preparatları) ve MWAC (Wilson ve Cooke şişeleri) yakalayıcılarının verimliliklerinin tayini, aynı zamanda; hem rüzgar tüneli hem de eleme yöntemi ile toprakların rüzgar erozyonuna duyarlılığının belirlenmesidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Dünyada çoğu yerde rüzgar erozyonu ciddi bir problemdir. Erozyonla topraktan uzaklaşan elementler toprak verimliliğinin azalmasına sebep olurken, rüzgar erozyonu da toprağı ve tarlayı tahrip eder (Wassif 1998). Rüzgar erozyonuyla harekete geçen toprak taneleri, zararlı kimyasal maddeleri bir kaç km uzağı taşıyabilir, bu da çevresel problemlere yol açar (Goudie 1983, Middleton *et al.* 1986). Aslında çoğu topraklarda rüzgar erozyonu 50-100 µm büyüklükteki agregatları tahrip eder ve kaba taneli olan agregatlar yüzeyde kalırlar (Lyles and Tatarko 1986). Sedimentin rüzgar erozyonu ile hareketinin prensibi WMO (1983) tarafından iyi bir Şekilde anlatılmıştır. Zobeck *et al.* (2003) ve Kjelgaard (2002)'de belirttiğı gibi sedimentlerin süspansiyonunun sebebi sadece sıçrama değildir, doğrudan süspansiyon olayları da oluşabilmektedir. Buna rağmen, Gillette (1977), Shao *et al.* (1996), Alfaro and Gomes (2001)'e göre çoğu zaman düşey sedimentlerin akımı sadece sıçrama olaylarıyla oluşur.

Toz fırtınasının meydana getirdiğı olumsuz sağlık problemleri nedeniyle, bu tür kıyaslamalar daha fazla önem taşımaktadır (Pietersma *et al.* 1996, McKie 2001). PM₁₀ ve PM₂₅ zerrelere serbest kaldığında, toprağın üst kısmından rüzgar ile uzak mesafelere gidebilmektedir (Kind 1992, Loosmore and Hunt 2000). Aerosol tanelerinin oluşumu, ya yüzey topraklarındaki agregatların aşındırması yoluyla ya da doğrudan küçük agregatlardan türbülanslı hava ile meydana gelir.

Havaya uçan elementlerin miktarını ve tipini birkaç faktör etkilemektedir. Bunlar, İnce tanelerin toplam toprağı oranı, toprağın bünyesi, rüzgar hızı ve meteorolojik koşullardır (Chepil and Woodruff 1963, Gillett 1977). Son tahmin modellerine göre havadaki sedimentin yaklaşık % 50'si, kùltivasyon, orman tahribi, erozyon ve sürekli bitki örtüsü azalmasıyla meydana gelmektedir (Tegen and Fug 1995).

Yatay kütle akışının düşey dağılımı literatürde anlatılmıştır (Zobeck and Fryrear 1986, Vories and Fryrear 1991, Streck and Raats 1996). Taşınan bütün materyallerin

ölçümünde iki yöntem vardır: Birincisi doğrudan sedimentin yakalayıcısının kullanımı, ikincisi ise dolaylı yakalayıcılardır (saltiphone yada sensit gibi). Kesin ve doğrudan ölçümler iki ana amaçla yapılır, birincisi: Bazı sedimentlerin akış eşitleri doğrulamak için (Nickling and McKenna Neuman, 1997), diğeri ise belli bir çevrede havalı olayların yoğunluğunu tayin etmek içindir. Goossens *et al.* (2000) ve Drew *et al.* (1978) tarafından belirtildiği gibi; yakalayıcıların iyi olabilmesi için yüzde yüz verimliliğe sahip olması şart değildir, hatta düşük verimliliğe sahip olan bazı yakalayıcılar da yararlı olabilir. Arazi ortamında birçok sediment yakalayıcı kullanılır. Bagnold (1954), Leatherman (1978), De Ploey (1980) ve Wilson *et al.* (1980)'un geliştirdikleri yakalayıcılar günümüzde en çok kullanılan yakalayıcılardır.

Tutulacak sedimentlere göre sediment yakalayıcı türü değişir. İki farklı yakalama yöntemi kullanılır. Bunlar basit ve aktif yöntemlerdir. Basit yöntem, sediment tutmak için hava şartlarına bağlıdır, aktif yöntem ise belli bir mekanizmaya sahiptir. Bu mekanizmada iki giriş vardır. Girişlerden biri sedimentler, diğeri ise hava boşaltmak içindir. Aktif yakalayıcıların süspansiyon edilmiş sedimentleri yakalamak için kullanılır (Zobeck 2002, Gillette 1977). Genel olarak yakalayıcıların verimliliği, rüzgar hızı ve agregat hacmine göre değişir. Belli bir toprak kütesinde toprak yüzeyinde kuru agregat hacim dağılımı, hava kuru agregat miktarına bağlıdır (Zobeck 2000). Toprağın rüzgara karşı gösterdiği duyarlılığı 0,84 mm büyüklükteki agregat yüzdesine bağlıdır. Erozyonuna karşı dirençli topraklarda bu agregatların oranı yüksektir (Chepil 1942). Genellikle agregat hacmine göre ayırmak için eleme yöntemi kullanılır.

Süspansiyonla hareket eden tanelerin yakalanması; sıçrama ile hareket eden tanelere nazaran daha zordur. Çünkü o küçük taneler rüzgarla daha kolay taşınabilir ve sonra yakalayıcı ağızına girmesi daha zor olabilir (Zobeck *et al.* 2003). BSNE (Big Spring Number Eight) ve MWAC (Modified by Wilson And Cook) yakalayıcılarının verimlilikleri düşük rüzgar hızı ve siltli topraklardan (%95 silt) faydalanarak tesbit edilmiştir. Bu tesbitlerden alınan sonuçlara göre BSNE verimliliği %40 ve MWAC %80 verimliliği çıkmıştır (Goossens and Offer 2000). Çoğu rüzgar erozyonu olayları rüzgar tüneline araştırılabilir. Hagen'e (1999) göre rüzgar tüneline alınan sonuçlar arazide kullanması için bazı şartlar ve parametrelerin göz önünde bulundurulması gerekir. Bu

çalışmanın amacı rüzgar tüneli denemeleri ile VS ve MWAC yakalayıcıların verimliliklerinin farklı büyüklükte agregatlar ve farklı bünyeye sahip topraklar kullanarak değişik rüzgar hızı ile tayin etmektir.

Rüzgar erozyonu bir kaç faktörden etkilendiği için kullanılan erozyon tahmin modelleri iki önemli şart gerektirmektedir: (i) araştırmada kullanılan malzemeler ve faktörler arasındaki ilişkinin yansıtılması, (ii) sonuçlar rüzgar erozyonu tehlikesini ortaya çıkartmalı ve rüzgar erozyonunun kontrol ölçümleri değerlendirilmelidir.

Dünyada rüzgar erozyonunun tahmininde WEQ (Woodruff ve Siddoway, 1965; Skidmore *et al.* 1970), RWQ (Fryear *et al.*, 1998), WEPS (Hagen, 1991), EPIC (Williams, 1994), TEAM (Singh *et al.*, 1999) ve WEMA (Shao *et al.* 1996) en çok kullanılan modellerdir.

Günümüzde erozyon tahmininde WEQ modeli en çok kullanılan model olup aşağıda açıklanmıştır:

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

İlişkide:

E = tahmin edilen toprak kayıp miktarı (ton/da/yıl)

I = rüzgara karşı toprağın duyarlılığının indeksi (ton/ac/yıl)

Rf = sırt ya da engebe faktörü

C = iklim faktörü (%)

L = korunmayan arazinin uzunluğu (feet)*

*1 $ft = 0,3048m$

V = bitki örtüsü faktörü

Rüzgar erozyonu araştırmalarında kullanılan yakalayıcı tipleri, yakalanacak olan sedimente göre değişir. Yakalayıcıların tuttuğu sediment miktarının toplam sediment kaybına bölümü ile elde edilen sonuç, yakalayıcıların verimliliğini belirtmektedir. Yakalayıcılar, yakaladıkları sedimente göre üç gruba ayrılır: Bunlar;

1- Yüzey sürüklenme ile hareket eden sedimentleri yakalayıcılar.

Çok basit malzemelerden yapılabilir daire şeklinde, toprak yüzeyi ile aynı yükseklikte olduğundan sürüklenme ile hareket eden taneler kolayca yakalayıcı tarafından tutulabilir.

2- Sıçrama ile hareket eden sedimentleri yakalayıcılar

En çok kullanılanlardır, bunlardan BSNE yakalayıcılar ve MWAC şişeleri en çok bilinenlerdir.

3- Süspansiyon halde hareket eden sedimentleri yakalayıcılar

Bu yakalayıcıların yüksek yerlerde sabit bir şekilde durması gerektiğinden, en büyük sıkıntıları kurulma aşamalarıdır. Sıçrama ve süspansiyon ile hareket eden sedimentler için çoğu zaman aynı yakalayıcı tipi kullanılabilir.

BSNE (Big Spring Number Eight), 1986'da D.W.Fryear tarafından yapılmıştır. Havada uçan küçük taneleri yakalaması amacıyla yapılmasına karşın, günümüzde farklı büyüklüklerdeki kum tanelerinin yakalanması için de kullanılmaktadır. Yakalayıcının içinde rüzgar hızının düşmesiyle havayla taşınan sedimentler yakalayıcının içinde kalmaktadır (Goossens *et al.* 2000).

Sustra, W. Jannsen ve G. Tetlaff tarafından yapılan bu yakalayıcı sadece süspansiyon ile taşınan çok ince tanelerin yakalanması amacıyla düzenlenmiş, daha sonra değişik kum ve benzeri sedimentlerin yakalanmalarında da kullanılmıştır (Goossens *et al.* 2000).

Polca yakalayıcısı; Pollet (1995) tarafından düzenlenmiş olup, kum tanelerinin yakalanmasında kullanılır (Goossens *et al.* 2000).

Saltiphone; 1985 yılında Van Den Linden tarafından denenmiştir. Cihazın prensibi yukarıda bahsedilen diğer yakalayıcılarıkinden farklıdır; hatta tam bir yakalayıcı bile sayılmaz. Bu sesli bir cihazdır. Sıçramış toprak taneleri cihaza çarptığı anda otomatik olarak bir ses kaydı yapılır ve bundan sonra belli bir sayı alındıktan sonra matematiksel bir formülle toprak kayıp miktarı hesaplanır (Goossens *et al.* 2000).

Sartorius, piyasalarda bulunan aktif yakalayıcılardandır. Ancak cihazın içinde rüzgar hızı da ölçülebilir (Goossens *et al.* 2000).

MWAC (Modified by Wilson and Cooke), Wilson ve Cooke şişeleri, 1980 yılında Wilson ve Cooke tarafından hazırlanmıştır. Plastikten yapılan küçük şişelerin ağızlarında iki çıkış vardır (Wilson *et al.* 1980).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Toprak alınması ve hazırlanması

Bu teze ait denemeler Belçika'da Gent Üniversitesi'nde yürütüldüğü için kullanılan toprak örnekleri Belçika'da 7 farklı bünyeye sahip topraklardan alınmıştır. Her topraktan yaklaşık 50 kg alınarak, hava ile kurutulduktan sonra 3 milimetrelik elekten geçirilmiştir. Hazırlanan topraklar nemden koruyan torbalarda getirilip, analizler için hazırlanmıştır. Toprak bünyesi pipet yöntemi (Day 1965) ile tayin edilmiştir. Pipet yöntemi ile toprak taneleri çapına göre (0-2, 2-10, 10-20, 20-50, 50-100, 100-200, 200-500, >500 μ m) 8 gruba ayrılmıştır. Humus ve kireç oranları da tayin edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Rüzgarla toprak hareketi

Toprak taneleri büyüklüklerine bağlı olarak üç farklı şekilde hareket oluşturmaktadır. Bunlar; süspansiyon, sıçrama ve yüzey sürüklenmesi hareketleridir. Rüzgar erozyonunda taşınan tanelerin büyük bir kısmı sıçrama hareketinin sonucudur. Sıçramada, ince toprak taneleri rüzgar tarafından havaya sıçratılır ve yatay olarak toprak yüzeyi boyunca taşınır. Bu yolla taneler, yüksekliklerinin yaklaşık olarak 4 katı mesafeye taşınabilirler. Yüzeğe yeniden düştüklerinde ya tekrar havaya sıçrarlar ya da diğer toprak tanelerinin sıçramasına sebep olarak toprak yüzeyi ve bitki örtüsünde şiddetli yaralanmalara neden olabilir.

Genel olarak 100 μ m'den küçük olan taneler süspansiyon ile hareket ederken, 50-500 μ m çapında taneler sıçrama ile hareket etmektedir. 500 μ m'den 1-2 mm(1000-2000 μ m) ye kadar çapa sahip olan taneler ise yüzey sürüklenmesi hareketi ile taşınırlar (Çanga 1995).

3.2.2 Rüzgar erozyonu araştırmalarında gerekli ölçümler

3.2.2.1 Arazinin geometrisi

3.2.2.1.1 Arazilerin şekli

Bu karakter rüzgar erozyonunu açısından çok önemlidir. Çünkü, örneklerin alınmasında ve bilgilerin analizinin yapılmasında arazi şekli göz önünde tutulmalıdır. Arazi daire şeklinde olduğu zaman, örnekler alınırken büyük bir fark olmadığı, ancak, daire şeklinde sürüm yapılırsa, sürüm yüzünden oluşan sırtlar rüzgara dört yandan dik olduğu için, bu sırtların etkisi kolayca hesaplanır. Arazi dikdörtgen ya da kare şeklinde olduğu zaman hakim rüzgar yönünde arazi uzunluğu çok önemlidir.

3.2.2.1.2 Arazi sınırları

Arazi sınırları ölçüm aletlerinin kurulmasında çok önemlidir. Belli bir alanda erozyon oranı tahminleri yapılması için sabit ve erozyona karşı dayanıklı bir kenar germektedir. Bu kenarlar sürümle sağlanabilir ama rüzgar döneminde yapılmaması gerekir. Ancak, kumlu toraklarda bitki kalıntıları bırakılması tavsiye edilir, çünkü kumlu topraklarda sürümle oluşturulan sırtlar dayanıklı değildir. Ancak, ortamda bitki kalıntıları yoksa, toprak düzenleyicilerle kenar yapılır.

3.2.2.1.3 Arazi uzunluğu

Arazi uzunluğu toplam sediment akışına etki yapar. En yüksek sediment transferi hesaplanırken erozyon modelleri kullanılıyor ise bu modellerde arazi uzunluğu yer almalıdır (Zobeck *et al.* 2003).

$$f(x, z) = f_{mx}(z)(1 - e^{-x/b(z)}) \quad [1]$$

Yukarıdaki formüle göre $f(x,z)$: (x) uzunluğuna ve (z) yüksekliğine sahip alanlarda sıçrama ile hareket eden toprak miktarıdır. f_{mx} , z yükseklikte en yüksek sıçrama akış kapasitesi, $b(z)$: arazi uzunluğunun parametresi. Sıçrama ile taşınma kapasitesinin tahmini için aşağı yukarı 300 m arazi uzunluğu olmalıdır. Bu uzunluk arazi özelliğine göre değişebilmektedir; duyarlı topraklar için bu mesafe daha kısadır. Süspanse halde taşınma kapasitesinin tahmini için daha uzun bir mesafe gerekmektedir. İnce kumlu yapıya sahip araziler için yaklaşık 350 m gerekirken, kuru siltli yapıya sahip topraklar için 1560 m gerekmektedir (Zobeck *et al.* 2003).

3.2.2.2 Üst toprak özellikleri

Üst toprak özelliklerini iki ayrı gruba ayırmak mümkündür. Bunlar, değişmeyen ya da çok zor değişebilir özellikler (toprak bünyesi, organik madde oranı, kireç oranı v.b) ve değişen özelliklerdir (toprak nemi ve üst toprak pürüzlülüğü, kuru agregat dağılımı ve kuru agregat stabilitesi vb). Aşağıda değişen üst toprak özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

3.2.2.2.1 Üst toprak nemi

Üst toprak nemi toprağın rüzgara karşı gösterdiği duyarlılıkta çok etkilidir, özellikle 2-3 cm derinlikte nem çok önemlidir, ancak, çoğu çalışmalara göre nem yoluyla taneler arasında oluşan bağlar toprakların rüzgara karşı gösterdiği duyarlılığın azalmasına neden olur (Chepil 1956, Bisal and Hsieh 1966, Azizov 1977). Araştırma sonuçlarına göre aynı nem oranında değişik bünyeye sahip topraklarda tanelerin bağları da değişir, örnek olarak %15 nem kumlu ve tınlı topraklarda, kumlu topraklar erozyona daha duyarlıdır. Rüzgar erozyonu araştırmalarında bir kaç cm derinlikteki toprak nemi değerlendirilmesi yeterlidir.

3.2.2.2.2 Üst toprak pürüzlülüğü

Üst toprak pürüzlülüğü rüzgar erozyonu için çok önemli bir parametredir. Çünkü büyük agregatlar, taşlar ve toprak üzerinde bulunan bitki kalıntıları toprağın rüzgara karşı dayanımında önemli faktörlerdir.

3.2.2.2.3 Kuru agregat hacim dağılımı (KAHD)

Bu özellik, belli bir toprak kütleindeki hava-kuru agregatların oranını tanımlamaktadır. Günümüzde, yaklaşık 5400 KAHD analizleri sonucunda (Wiebull) agregat dağılımı Wiebull tarafından kesin olarak saptanmıştır. Wiebull KAHD modeli, aşağıdaki formüllerle ifade edilmiştir (Zobbek vd. 2003).

$$x = \frac{M(x < X)}{M_T} = 1 - e^{-(x/b)^c} \quad [2]$$

İlişkide:

$M(x < X)$; eleme X ' den geçirilen toprak ağırlığı, M_T ; alınan toprak örnek miktarı ve b ; ölçüm parametresi ve c Şekil parametresi.

3.2.2.2.4 Kuru agregat dayanıklılığı

Kuru agregat dayanıklılığı; agregatların mekanik bir kuvvete karşı kırılma dayanımıdır (Skidmore and Powers 1982). Rüzgar erozyonunda sıçrama olayında agregat büyük bir kuvvet altında kalır ve erozyona karşı gösterdiği direnç agregat dayanımına bağlıdır (Hagen 1984). Belli bir toprak kütleinde bulunan, aşağı yukarı 15 mm çapında agregatların kırılması için gerekli enerji, kırılma enerjisidir.

3.2.2.2.5 Kabuk biçimleri

Genel olarak rüzgar erozyonuna karşı, kabuk tabakası alt toprağa göre daha dayanıklıdır. Rüzgar erozyonunda kabuk etkisi, rüzgar tüneline ve arazilerde araştırılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda kabuklu toprakların kabuklu olmayan topraklara göre 40–70 kez daha dayanıklı olduğu, ayrıca kabuk kalınlığının dayanım açısından çok önemli olduğu saptanmıştır.

3.2.2.2.6 Toprağın yüzeyindeki aşındırılmayan örtü

Toprak yüzeyinde bulunan, rüzgarla taşınmayan bütün materyaller (taş, bitki, vb), rüzgarın taşıyıcı etkisinden toprağı korurlar.

3.2.2.3 Meteorolojik ölçümler

Rüzgar erozyonu atmosferik bir olay olduğundan dolayı meteorolojik ölçümler gereklidir. Rüzgar erozyonu açısından bir meteoroloji istasyonunda; anemometre, rüzgar gülü, hava ve toprak sıcaklığı, güneş radyasyonu ve nemi ölçer malzemelerin bulunması gerekmektedir. Yukarıda adı geçen malzemeler kolaylıkla piyasalarda bulunur. Çoğu araştırmacılara göre, meteorolojik aletler 10 m yükseklikte kurulmalı, ancak rüzgar erozyonunun görüldüğü, düz ve çok kısa bitki örtüsüne sahip arazilerde 2 m yükseklikte kurulması daha uygundur.

3.2.2.4 Rüzgar erozyonuna karşı toprağın gösterdiği duyarlılık

3.2.2.4.1 Rüzgara karşı kuru agregatların duyarlılıkları

Toprak tanelerinin harekete başlaması için gerekli rüzgar kesme hızı, agregatların rüzgara karşı duyarlılığını gösterir. Agregatların rüzgara karşı dayanmaları iki sebepten oluşmaktadır. Bunlar, yerçekimi ya da agregat ağırlığı ve kuru bağ kuvvetidir (Cornelis

et al. 2004). Ancak yer çekimi agregatların ağırlığına bağlıdır, kuru bağ kuvveti ise taneler arasındaki elektrostatik kuvvetlere ve Van-der-Waals bağlarına bağlıdır. (Harnby 1992; Cornelis *et al.* 2004). Buna göre dayanma kuvveti, toprakların statik ve dinamik özelliklerinden okunabilir. Bagnold, 1941 yılında rüzgar hızı ile dayanma kuvveti arasında bir eşitlik geliştirmiştir (Bagnold *et al.* 1941):

$$u_{*t} = A \sqrt{\frac{p_s - p_f}{p_f} g d} \quad [2]$$

İlişkide:

U_{*t} : sıçrama eşik kesme hızı, p_s tanelerin yoğunluğu ($Mg m^{-3}$), g : yer çekimi ivmesi (ms^{-2}), ve d : tanecik çapı (m), A : parametresi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır

$$A = \sqrt{A_1 \left[1 + A_2 \frac{1}{(p_s - p_f) g d^2} \right]} \quad [3]$$

İlişkide:

A_1 ve A_2 modelin katsayıları

Cornelis ve Gabriels (2004) yaptıkları araştırmada $A_1=0,013$, $A_2=1,7*10^{-4}$ olarak bildirmişlerdir. Yukarıdaki eşitliklerde taneler küresel olarak kabul edilmişlerdir. Çoğu çalışmalara göre, 80-100 μm çapına sahip olan agregatlar en duyarlıdır, ancak daha küçük taneler iç bağlantı yüksek olduğundan erozyona karşı dayanımları daha fazladır. 100 μm çapından daha büyük tanelerin dayanımları ise yer çekimine ya da ağırlıklarına bağlıdır.

3.2.2.4.2 Toprağın rüzgara karşı duyarlılığında yüzeye yakın bulunan suyun etkisi

Su toprak taneleriyle karıştırıldığı zaman onların hem ağırlıklarını artırır hem de taneler arasındaki bağlantıyı kuvvetlendirir. Sonuç olarak, toprağın erozyona karşı dayanıklılığı artar. Ancak bu su kaynakları iklime göre: yağmur suyu, sulama suyu, çiğ, atmosferin nemi, akarsulardaki su seviyelerinin değişimleri ve taşkınlar gibi nedenlerle değiştiğinden yüzeye yakın su miktarı sürekli olarak azalıp çoğalmaktadır. Ancak, toprakta bulunan suyun buharlaşması ise rüzgar kesme hızına, nem oranına ve güneş

ışığına bağlıdır. Hatta sıçrama ve tanelerin hafif hareketleri yüzeye yakın su miktarına da etki yapar.

3.2.3 Rüzgar tüneli

Rüzgar erozyonu araştırmaları çoğunlukla rüzgar tüneline yapılır. Bu çalışmada yapılması önerilen analizler Belçika Gent Üniversitesi'nde rüzgar tüneline yürütülmüştür. Rüzgar tüneli hakkında bazı bilgiler aşağıda verilmiştir. Rüzgar tüneli metal tabakalardan oluşan kapalı bir sistem olup, 1,5 m çapında ve 16 esnek metal yapraktan oluşan bir jeneratör ile hava üretilmektedir (Şekil 3.1 ve 3.2).



Şekil 3.1 Rüzgar tüneli



Şekil 3.2 Tünelin jeneratörü

Rüzgar hızı jeneratörün yaprak açılarının değiştirilmesiyle ayarlanmaktadır. Bu ayarlama ile rüzgar hızı en az $5, 6 \text{ ms}^{-1}$ 'ye düşürülebilmektedir. Ancak bu hızın jeneratör ve çalışma alanı arasına bir ekran yerleştirilmesiyle daha fazla düşürülebilmesi mümkündür. Çalışma alanı 12 m uzunlukta ve 1.2 m genişlikte olup çatı yüksekliği 1,8 m den 3,2 m ya kadar değişmektedir. Toprağın yerleştireceği tava üzerinde yapay yağmur malzemeleri hazırlanarak istenilen yağmur yağdırılabilmektedir.

Çalışma alanında farklı yükseklikte ve istenilen rüzgar hızlarını ölçebilecek 6 adet anemometre vardır. Bu anemometreler, rüzgar hızını otomatik olarak ekranda verebilen TESTO adlı bir programla bilgisayara bağlı olarak çalışırlar. Şekil 3.3 ve 3.4'te anemometre örneği verilmiştir.

Rüzgar tüneline hava uygulandıktan yaklaşık 50-75 saniye sonra hız okumalarına başlanır. Çünkü havanın ilk uygulandığı zaman alınan hız değerleri, türbülans olduğu için gerçek hız değerinden farklıdır.



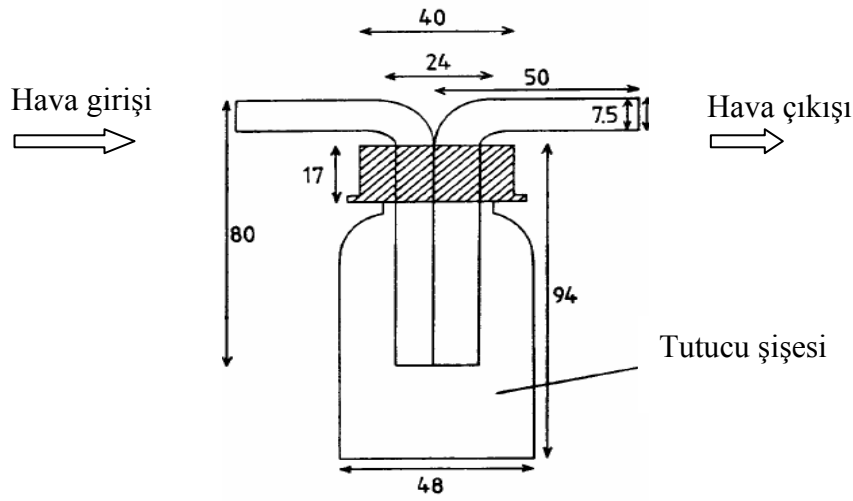
Şekil 3.3 Rüzgar tüneline rüzgar hızını ölçer anemometreler



ŞEKİL 3.4 Anemometrelerin bağlandığı bilgisayar ünitesi

3.2.4 MWAC (modified by Wilson and Cooke) şişesi

MWAC şişesi 1980 yılında Wilson ve Cooke tarafından hazırlanmıştır. Plastikten yapılan küçük şişelerin ağızlarında iki çıkış vardır, bu çıkışlardan biri sedimentlerin girişini, diğeri ise şişe içerisindeki havanın çıkışını sağlar. Şekil 3.5’de yakalayıcının şeması verilmiştir.



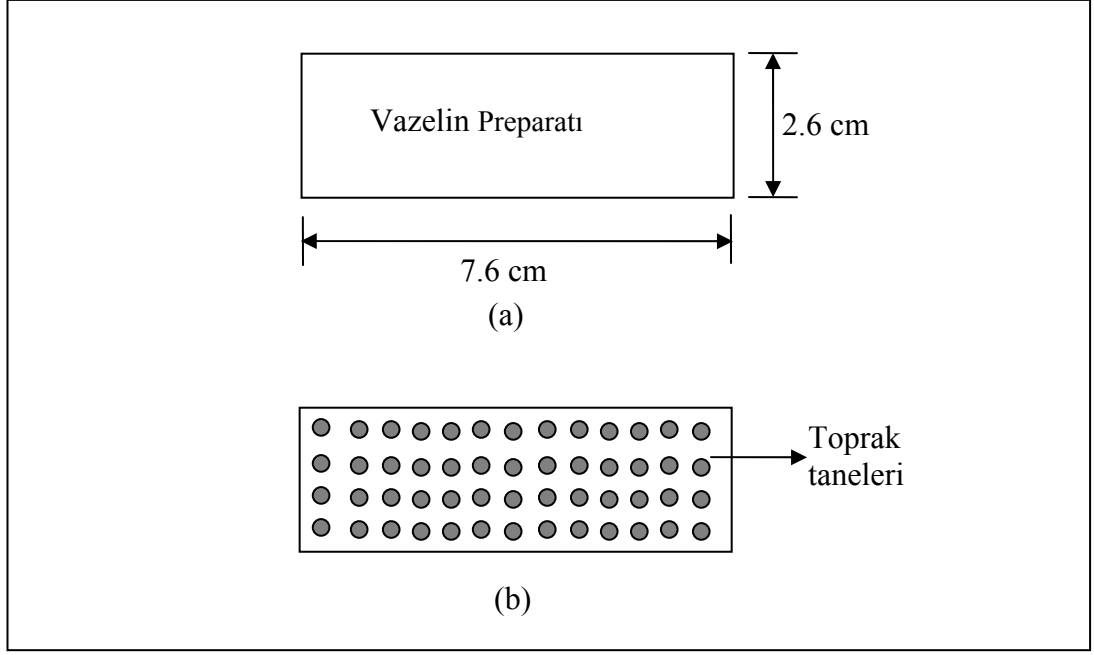
Şekil 3.5 Wilson ve Cooke yakalayıcısının şeması



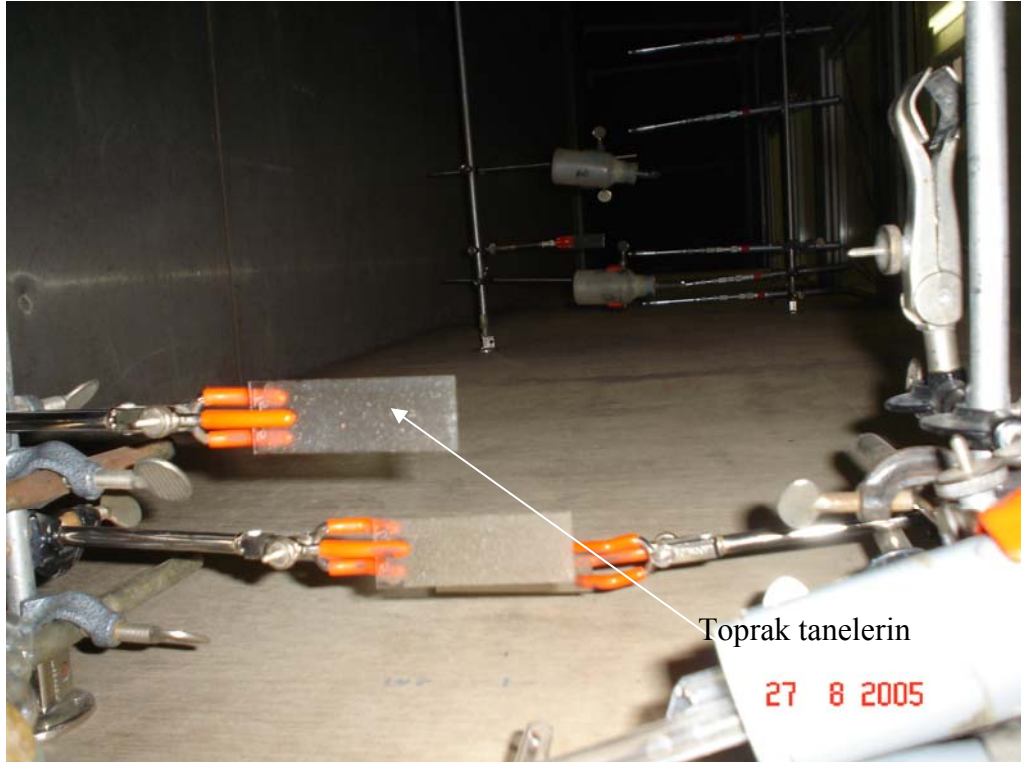
Şekil 3.6 Tünelde Wilson ve Cooke yakalayıcısının görünümü

3.2.5 Vazelin preparat tutucusu

Şeffaf camdan, 10 cm uzunluğunda ve 2 cm genişliğinde küçük bir levha olup Şekil 3.7'de şematik olarak gösterilmiştir. Toprak tanelerini yakalamak için bir yüzüne vazelin sürülmüş diğer yüzü ise hiç bir şey yapılmadan bırakılmıştır. Bu tutucular tünelde rüzgara karşı farklı yüksekliklerde yerleştirilmiştir. Preparat üzerine rahatça vazelinin sürülebilmesi için öncelikle vazelin kutusu fırında 80 derecede bir saat bırakılmalıdır.. Şekil 3.8' de ise vazelin preparat yakalayıcısı ve üzerindeki toprak taneleri görülmektedir.



Şekil 3.7 a. Deneme yapılmadan önce vazelin preparat tutucusu, b. Deneme yapıldıktan sonra tutucu



Şekil 3.8 Vazelin preparat yakalayıcısı ve üzerindeki toprak taneleri

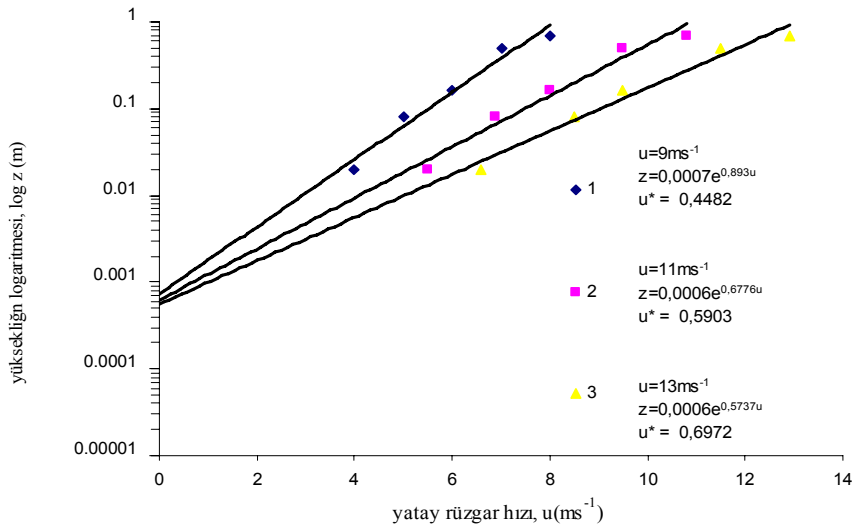
3.2.6 Rüzgar profili tayini

Rüzgar tüneline Von Karman eşitliği ile rüzgar profili tayin edilmiştir.

$$u(z) = \left(\frac{u_*}{k}\right) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad [3]$$

$U(z)$ $z(m)$ yükseklikte rüzgar hızı(ms^{-1}), Z_0 (m) aerodinamik engebe yüksekliği, U_* rüzgar kesme hızı(ms^{-1}), ve k Von Karman katsayısı.

Üç farklı rüzgar hızı uygulanarak ve toprak tavası üzerinde havanın sınır tabakası 0,3 m kabul edilerek Von Karman eşitliği ile 3 rüzgar profili tayin edilmiştir. Şekil 3.9'da çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

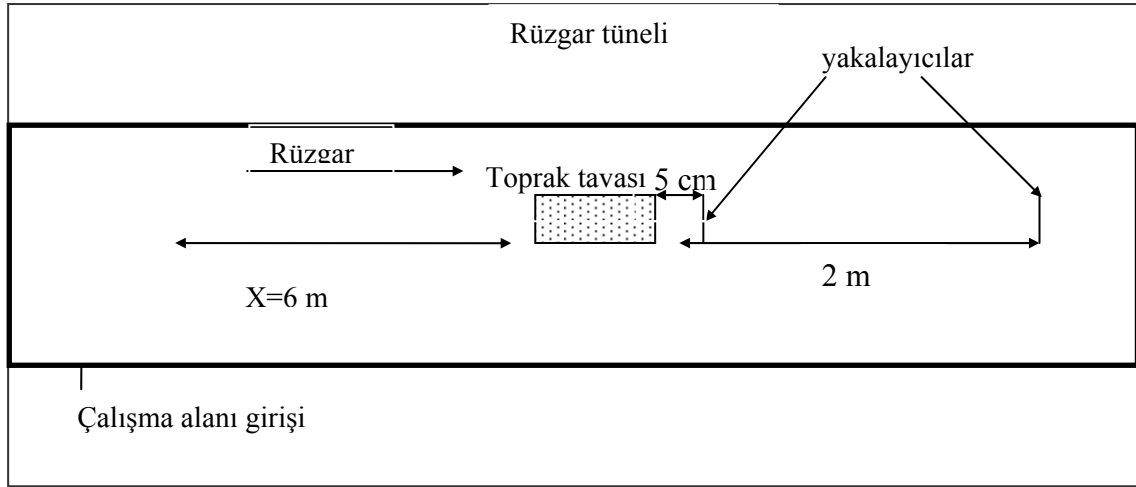


Şekil 3.9 Üç farklı rüzgar hızında (9 ms^{-1} , 11 ms^{-1} ve 13 ms^{-1}) rüzgar profili tayini

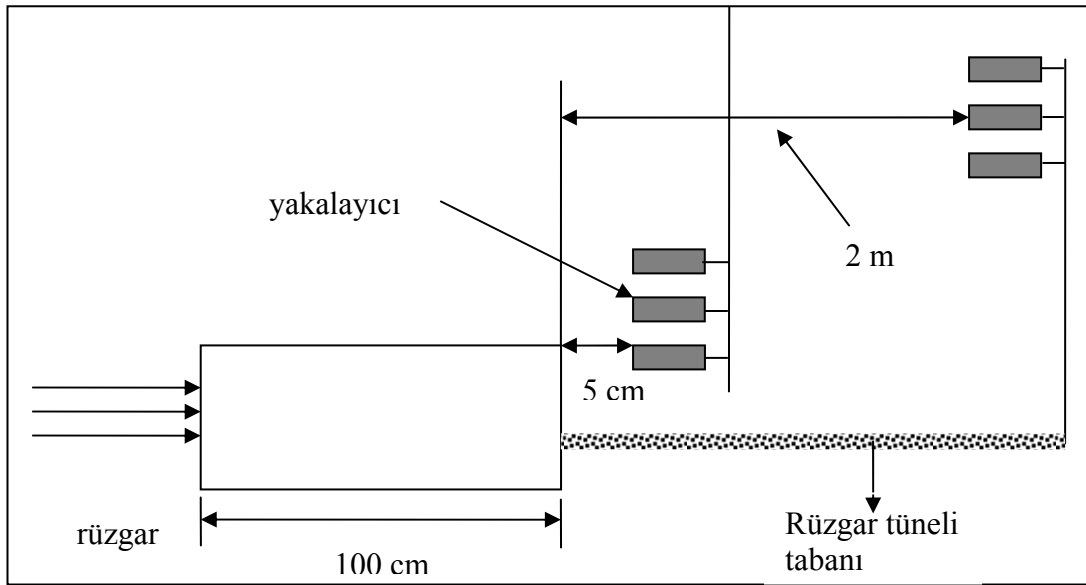
3.2.7 Kullanılan sediment yakalayıcılarının verimliliklerinin tayini

Denemelere başlamadan önce kullanılacak yakalayıcıların verimliliğinin tayini çok önemlidir. Çünkü verimlilik toprak tanelerine ve denemelerin şartlarına göre değişmektedir. Bu çalışmada Wison ve Cooke şişeleri ve vazelin preparatlarının

verimlilikleri saptanmıştır. Bunun için (<50, <75, 50-75, 200-400 ve 400-500 μ m) çapında kum taneleri kullanılarak, sabit bir rüzgar hızı (13 ms⁻¹) uygulanmıştır. Tünelde çalışma alanının girişinden 6 m.lik uzaklığa yerleştirilen ve 5 kg toprak ile doldurulan tava bulunmaktadır. Yakalayıcılar iki sütun halinde yerleştirilmiştir. VS yakalayıcısı 4, 6.5, 13, 20, 120, ve 192 cm yüksekliklerde, ve MWAC yakalayıcısı ise 1.5, 3, 5, 8, 11, ve 30 cm yükseklikte asılmıştır. İlk sütun toprak tavaşından 5 cm uzaklıkta, diğeri ise yaklaşık 2 m uzaklıkta kurulmuştur (Şekil 3.10 ve 3.11).

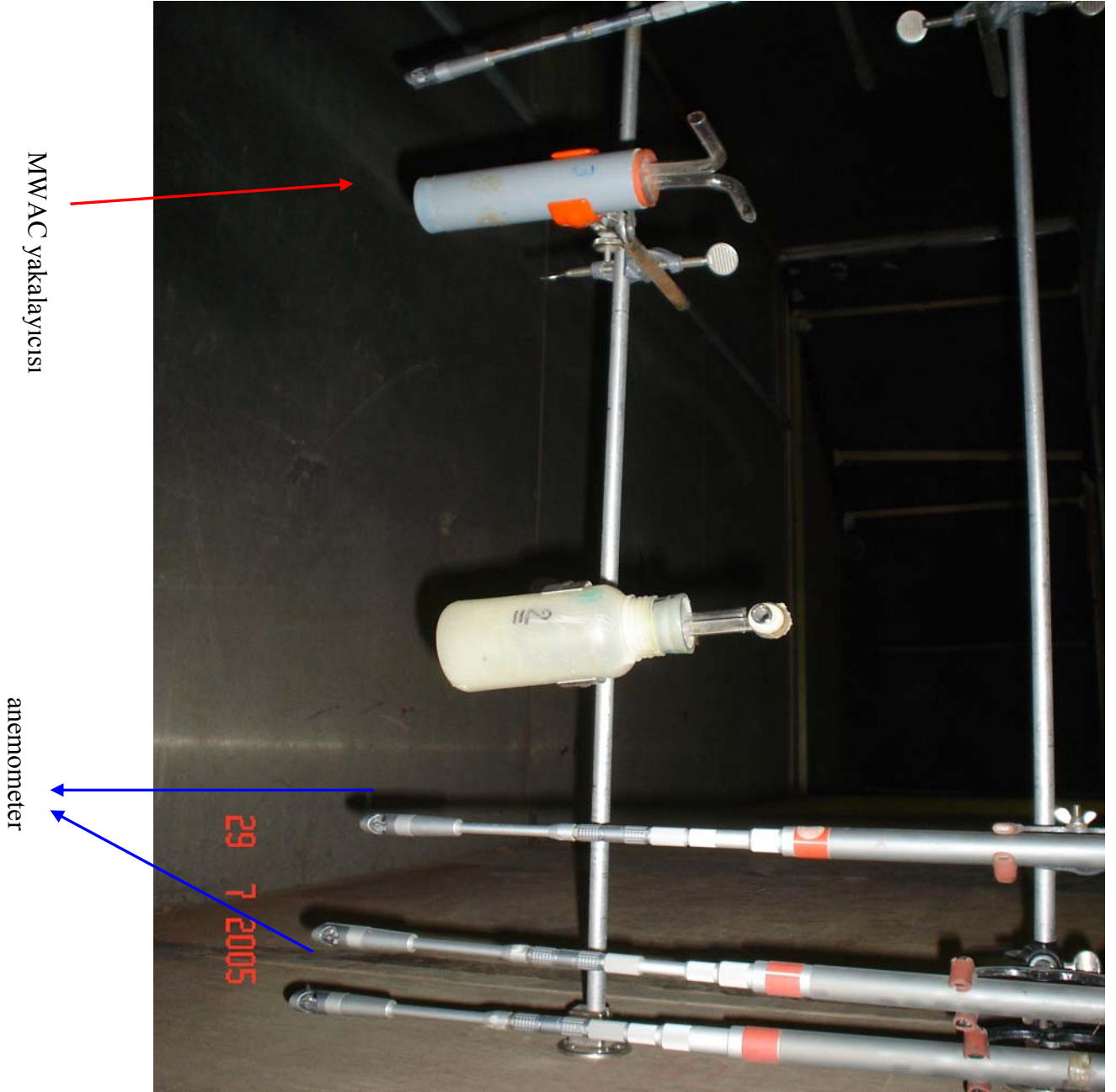


Şekil 3.10 Tünelin içindeki toprak tavaş ve yakalayıcıların üstten görünümü



Şekil 3.11 Tünelde yakalayıcıların yerleştirilmesinin şematik olarak görünümü

Farklı yükseklikteki rüzgar hızını ölçmek için anemometreler farklı yükseklikte kurulmuştur (Şekil 3.12)



Şekil 3.12 Anemometre ile Wilson ve Cooke şişeleri

Vazelin preparatlarının verimliliğinin tayininde levhanın üzerinde yapışmış olan taneler sayılmıştır. Elde edilen verilerden alınan rakamlar ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla ağırlık olarak ifade edilmiştir (Cornelis *et al.* 1998).

$$I = \rho \cdot \frac{1}{n \cdot A} \cdot \frac{1}{D} \cdot 10^{12} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} \cdot V_j \quad [4]$$

İlişkide:

ρ : tanelerin yoğunluğu

A: levhada okuma alanı ($2,545 \cdot 10^{-6}$),

d: denemelerin gün sayısı bizim denemelerimiz için d=1 kabul edildi

n: levhada okuma alanı sayısı (genel olarak 10 adet ancak denemelerimizde sadece 5 adet)

m: tane çaplarının grup sayısı

X_{ij} : tanelerin çaplarının grup sayısı (1.....m)

V_j = j çapındaki tanelerin hacmi (m^3)

$$V_j = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d_j}{2} \right)^3 \quad [5]$$

İlişkide:

d_j = tanelerin en çok görülen çapı

Yakalayıcıların verimliliği hesaplanmasında farklı yükseklikteki şişelerin ve preparatların tuttuğu sedimentin miktarı ($mg \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) olarak hesaplanmalı, daha sonra yakalayıcıların verimliliği aşağıdaki eşitlik (6) kullanılarak bulunmaktadır.

$$\eta = \frac{Q}{Q_t} \quad [6]$$

İlişkide:

Q: yakalayıcının tuttuğu sediment miktarı, (gr)

Q_t : her denemedeki toplam sediment kayıpları (gr). Tavada denemeden önce ve denemeden sonraki ağırlık farkı hesaplanacaktır. Farkı hesaplamak için Q_t değeri elde edilecektir.

$$Q_t = A_{\delta} A_s$$

İlişkide: [7]

A_{δ}, A_s sırasıyla, denemeden önceki ve sonraki toprak ağırlığı

Yakalayıcının tuttuğu sediment miktarının (Q) hesaplanmasında farklı yükseklikteki kütle ve toprak miktarı $q(z)$ ($\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) kullanılmıştır. Daha sonra en yüksek süspansiyon sınırına kadar eşitlik (6)'dan alınan entegral sonucunda z yüksekliğindeki toplam taşınan miktar Q_z ($\text{g cm}^{-1} \text{s}^{-1}$) elde edilmiştir.

$$Q_z = \int_0^h q(z) dz$$
 [8]

İlişkide:

h : maksimum süspansiyon yüksekliği. Denemede 180 cm kabul edilmiştir.

Toprak tavaasının genişliği (L,m) ve deneme süresi (T,s) toplam kayıp sediment miktarının (Q, g) elde edilmesini sağlayacaktır.

$$Q = Q_z LT$$
 [9]

İlişkide:

$q(z)$ 'nın hesaplanması için yüksekliğe bağlı olarak elde edilen sediment dağılımının üssel-azalan eşitliği ve 4 parametrelili bir model eşitliği (Sterk and Raats 1996) kullanılmıştır

$$q(z) = q_0 e^{-\alpha z}$$
 [10]

İlişkide:

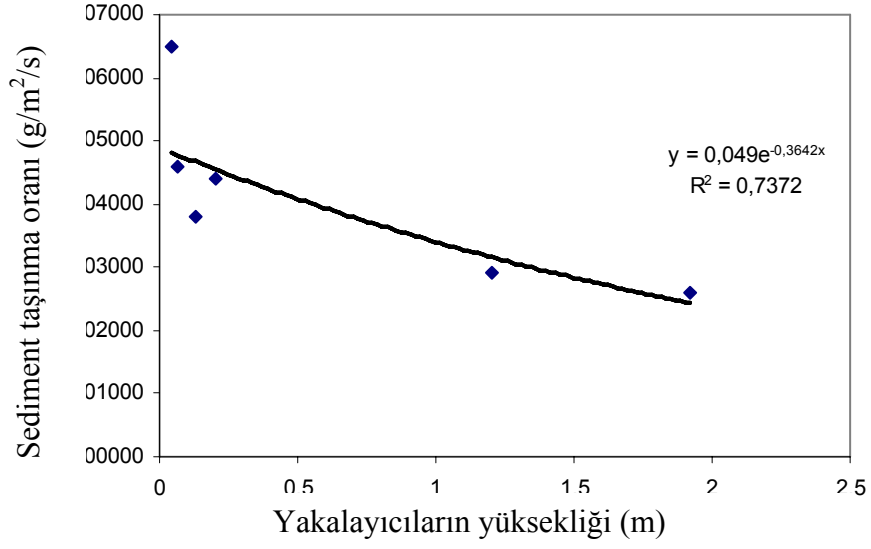
q_0 ($\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$): $z = 0$ yükseklikte taşınan sediment toplam kütlesi, ve α eğim faktörü

$$q(z) = a(z + 1)^b + ce^{-\frac{z}{d}}$$
 [11]

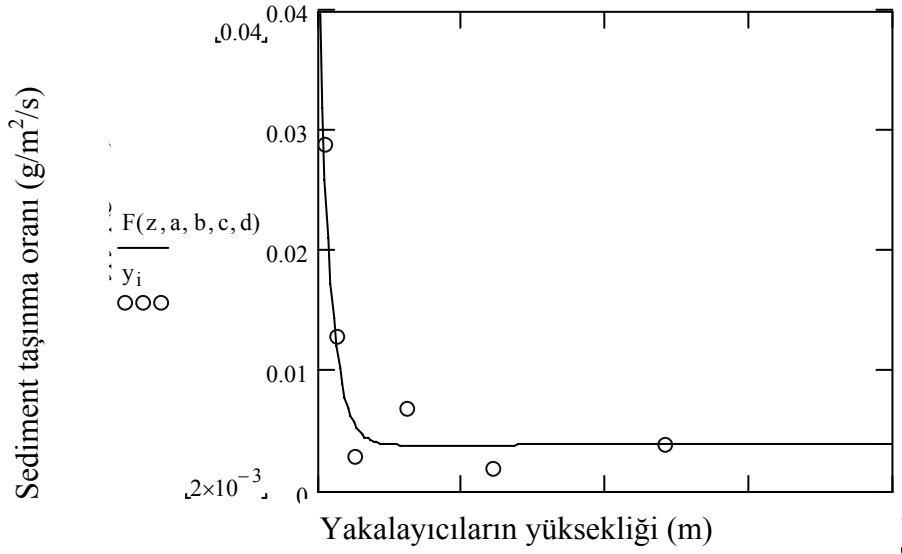
İlişkide:

$a, b, c,$ ve d regresyon katsayıları

ŞEKİL 3.13'de üssel-azalan bir fonksiyon olarak sediment taşınmaları ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ve yükseklik arasındaki ilişki verilmiştir, Şekil 3.14 ise 4 parametrelili bir model (Sterk and Raats 1996) yardımıyla sediment taşınması ile yükseklik arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 3.13 Üssel-azalan modelde sediment taşıma oranının yüksekliğe göre değişimi



Şekil 3.14 Sediment taşıma oranının 4 parametrelili bir modelde yüksekliğe göre değişimi

3.2.8 Eleme yöntemi ile toprağın rüzgara karşı duyarlılığının tayini

Eleme yöntemi ile toprağın rüzgara karşı duyarlılığının tayinini yapmak için 250 gr hava-kuru toprak alınarak, elektrikle çalışan 7 elekli bir düzenele(2-3, 1-2, 0.5-1, 0.2-0.5, 0.1-0.2, 0.075-0.1, <0.075 mm) 7 gruba ayrılmıştır. Deneme iki aşamada tamamlanmıştır: İlk aşamada sırasıyla 2, 1, 0.5, 0.2 mm genişliğe sahip 4 elek üst üste yerleştirilmiş ve en üstteki eleğe toprak koyularak kapak iyi bir şekilde kapatılmıştır. 5 dakika eleme yapıldıktan sonra her elekte biriken toprak miktarı ölçülerek toprak 4 gruba ayrılmıştır. İkinci aşamada 0,2 mm elek açıklığına sahip elekte kalan toprak sırasıyla 0.2, 0.1 ve 0.075 mm.lik 3 eleğin üst üste yerleştirildiği set kullanılarak toprak 3 gruba ayrılmıştır. Sonuç olarak agregat hacmine göre elimizde 7 farklı agregat grubu olmuş ve her gruptaki 250'şer gr.lık toprağın yüzdesi hesaplanmıştır. Her toprak için üç ayrı deneme yapılmış ve toprak duyarlılığı sınıfı değerlendirilirken denemelerin ortalamaları kullanılmıştır. Şekil 3.15'de elektrikli eleğin resmi verilmiştir. Alınan grupların eklemeli yüzdeleri hesaplanarak grup çapları ve eklemeli yüzde oranları bir doğrusal eğri ile temsil edilmiştir.



Şekil 3.15 Elektrikli elek

Çizelge 4.7'yi kullanarak, interpolasyon ile 0.84 mm.den büyük olan agregatların yüzdeleri hesaplanmış ve USDA (United States Department of Agriculture) ve NRCS (Natural Resources Conservation Service) tarafından hazırlanmış olan toprak duyarlılık indeksi kullanılarak yıllık toprak kayıp miktarı belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Araştırma Toprakların Bazı Özellikleri

Araştırma için alınan toprak örneklerinde pipet yöntemi ile toprak bünyesi tayini yapılmış ayrıca organik madde ve kalsiyum karbonat miktarları da belirlenmiştir. Çizelge 4.1’de analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.1 Pipet yöntemi ile bünye tayini sonuçları

Toprak	Tanelerinin hacimlerine göre yüzdeleri (%)								%	
	0-2 µm	2-10 µm	10-20 µm	20-50 µm	50-100 µm	100-200 µm	200- 500 µm	>50 0 µm	OM	CaCO ₃
Zdc	6.8	0.1	0.8	4.2	22.2	46.3	17.3	2.4	4.2	0.1
Sdm	8.8	0.5	3.5	12.4	30.8	34.7	8.7	0.6	2.6	0.0
Lda	8.9	2.8	10.1	33.7	30.8	10.3	3.0	0.5	2.7	0.0
Aba	10.7	3.0	12.4	41.9	20.8	7.2	3.1	0.7	2.0	0.0
Pdc	8.4	0.4	5.8	12.0	28.0	32.6	11.2	1.7	2.8	0.0
Efp	18.6	1.0	6.3	19.3	22.3	22.2	10.0	0.2	3.5	0.0
Ugp	39.0	7.1	8.6	14.3	11.6	14.3	4.6	0.6	10.2	0.3

4.2 Farklı Büyüklükte Kum Taneleri Kullanılarak Yakalayıcıların Verimliliklerinin Tayini

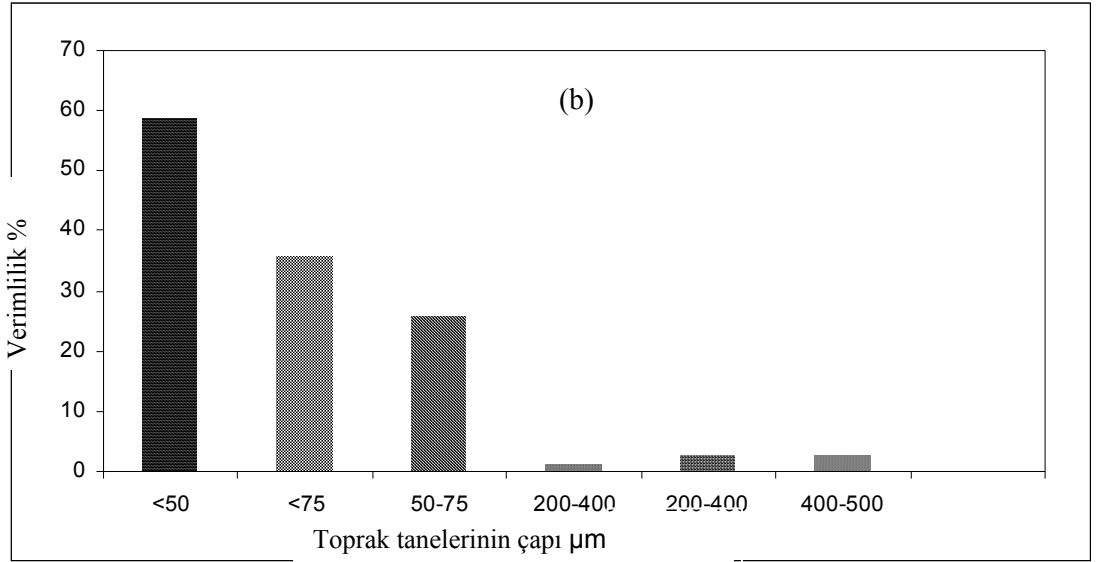
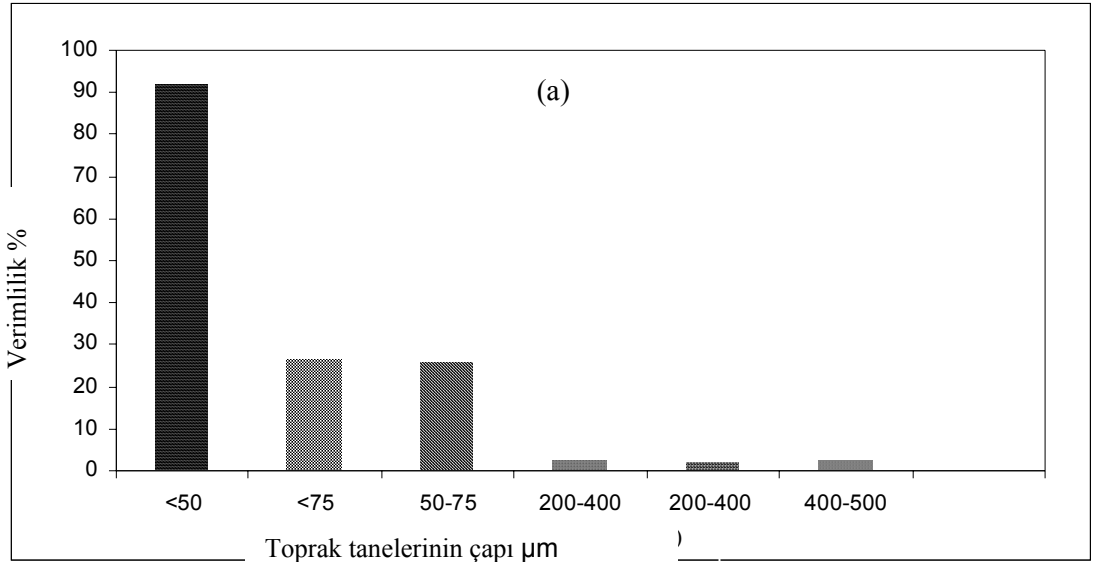
VS ve MWAC yakalayıcılarının Çizelge 4.2 ve 4.3 ile Şekil 4.1 ve 4.2’de sırayla verimlilikleri gösterilmiştir. Çizelge 4.2 incelediğinde kum tanelerinin boyutlarındaki artışa bağlı olarak VS verimliliğindeki düşüş görülmektedir. Bu düşüş, preparatların yakalama kapasitelerinin sınırlı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Çünkü sedimentler, vazelin preparatlarının yüzünü işgal ettikten sonra preparatların bundan daha fazla sediment yakalama şansı kalmaz. Buna göre büyük kum taneleri (200-400, 400-500µm) kullanıldığı zaman VS verimlilikleri düşük, ama küçük kum taneleri (<50, <75, 50-75) kullanıldığında VS verimlilikleri daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.3’ de MWAC yakalayıcısı verimliliklerinin değişimi görülmektedir. Çalışmada kullanılan kum tanelerinin hacmi büyüdükçe MWAC yakalayıcısının verimliliğinde artış meydana gelmekte, ancak 200-400 µm hacim değeri aralığından sonra MWAC yakalayıcısının verimliliğinde hiç bir artış gözlenmemektedir. İnce kum taneleri halinde MWAC yakalayıcısının verimliliğinin çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Hatta <50 µm boyutunda kum taneleri kullanıldığında verimlilik sıfır olmaktadır. Bu sonuçların sebebi daha önce bahsedildiği gibi şişelerin ağzında iki çıkış vardır. Deneme sırasında toprak tanelerinin şişeye girerken kullandığı borunun ağzında rüzgar nedeniyle yüksek basınç oluşur. Basınç olduğundan ince tanelerin girmesi zor olup havayla uçuşması ihtimali daha yüksek olmaktadır. Büyük tanelerin durumu ise tam tersine olup ağırlıklarından dolayı havayla uçuşması daha zor ve şişeye girme ihtimalleri daha yüksektir.

Çizelge 4.2 Farklı kum taneleri ile VS yakalayıcılarının verimlilikleri

Çapı (µm)	Rüzgar hızı (ms ⁻¹)	Eşitlik [8] ile hesaplanan verimlilik (%)	Eşitlik [9] ile hesaplanan verimlilik (%)
<50	13.4	58.56	92.0
<75	13.4	35.75	26.4
50-75	13.4	25.71	25.3
200-400	13.4	1.00	2.0
200-400*	13.4	2.34	1.7
400-500	13.4	2.52	2.2

* Toprak örneklerinde 200-400 µm çapında tanelerin miktarı fazla olduğundan bu tanelerle yapılan deney iki kez tekrarlanmıştır.

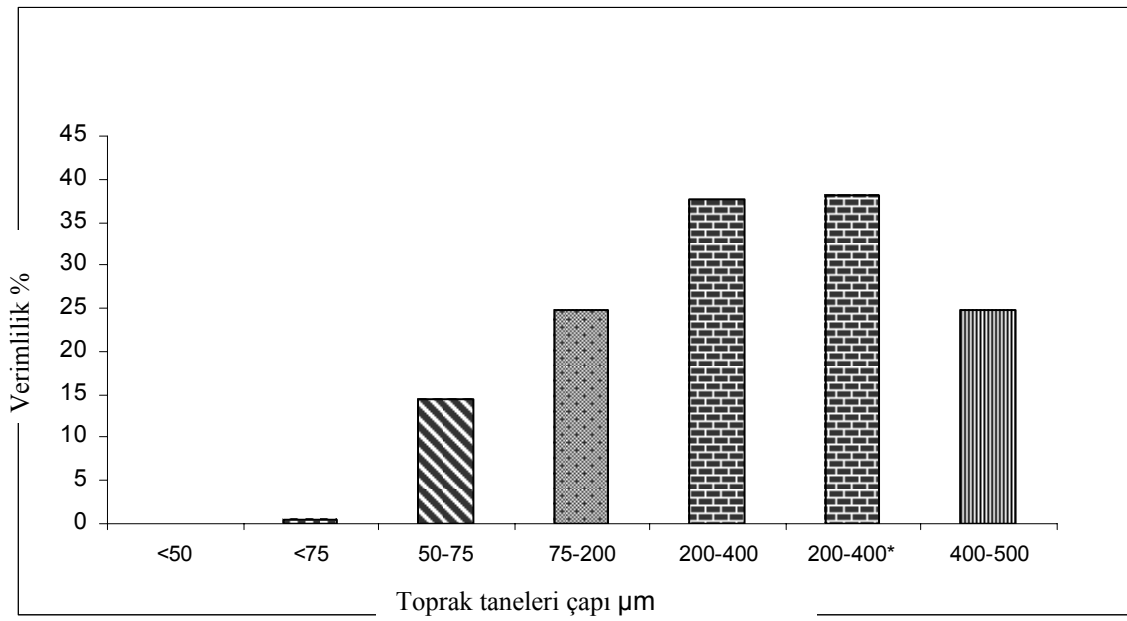


Şekil 4.1. a. Farklı kum taneleri kullanılarak eşitlik [8] ile hesaplanan VS yakalayıcılarının verimlilikleri, b. Farklı kum taneleri kullanılarak eşitlik [9] ile hesaplanan VS yakalayıcılarının verimlilikleri

Şekil 4.1’de eşitlik [8] ve [9]’dan alınan sonuçların benzer olduğu ve toprak tanelerinin çaplarındaki artışa bağlı olarak verimliliğin azaldığı görülmektedir. Büyük taneler (200–400, 400–500 μm) arasında verimlilik pek fazla değişmediği halde; küçük taneler (<50, <75 ve 50–75 μm) arasında verimliliğin çok fazla değiştiği sonucu da Şekil 4.1’den elde edilebilecek veriler arasında yer almaktadır.

Çizelge 4.3 Farklı kum taneleri ile MWAC yakalayıcılarının verimlilikleri

Çap (µm)	Rüzgar hızı (ms ⁻¹)	Eşitlik [8] ile hesaplanan verimlilik (%)
<50	13.4	0.0
<75	13.4	0.5
50-75	13.4	14.5
75-200	13.4	24.8
200-400	13.4	37.6
200-400	13.4	38.1
400-500	13.4	24.8



Şekil 4.2. Farklı boyutta kum taneleri ile MWAC yakalayıcılarının verimlilik değerleri

4.3 Farklı Topraklarla ve Farklı Rüzgar Hızı Uygulanarak Yakalayıcıların Verimliliklerinin Tayini

a. VS yakalayıcısının verimliliği

Farklı topraklarla (7 tane toprak örnekleri), 10.3, 12.3, 14.3 ms⁻¹ rüzgar hızında VS yakalayıcısının verimliliği tayin edilmiştir (Çizelge 4.4, Şekil 4.3). VS yakalayıcısının verimliliğinin toprak türüne göre nasıl değiştiği net bir şekilde görülebilmektedir.

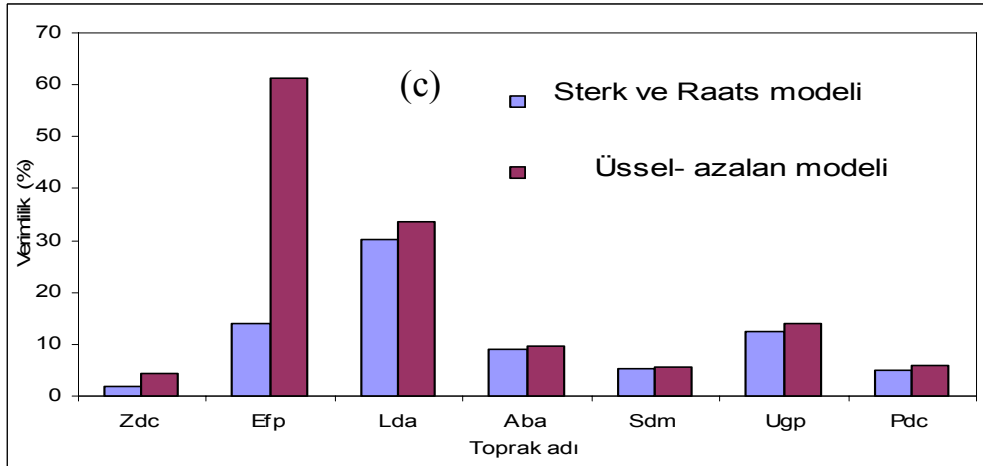
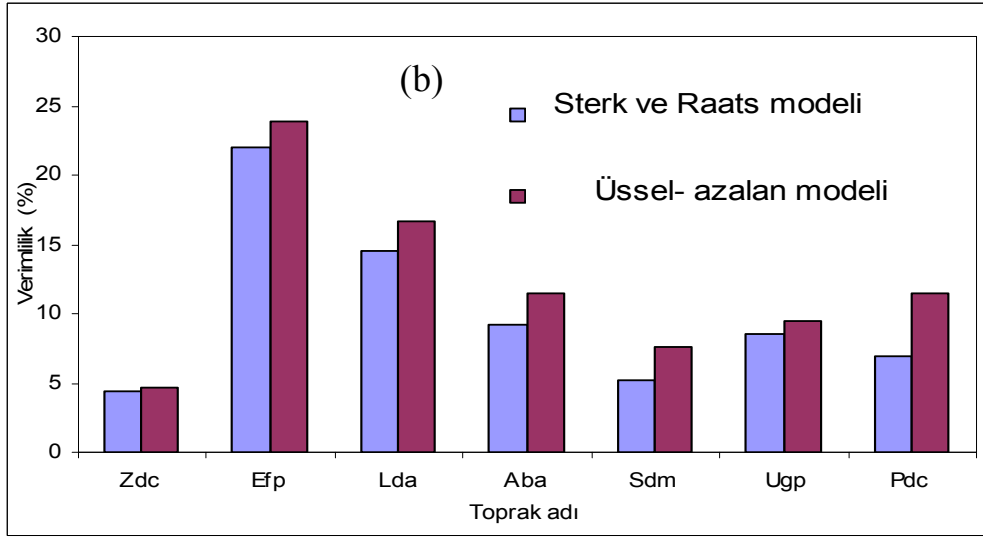
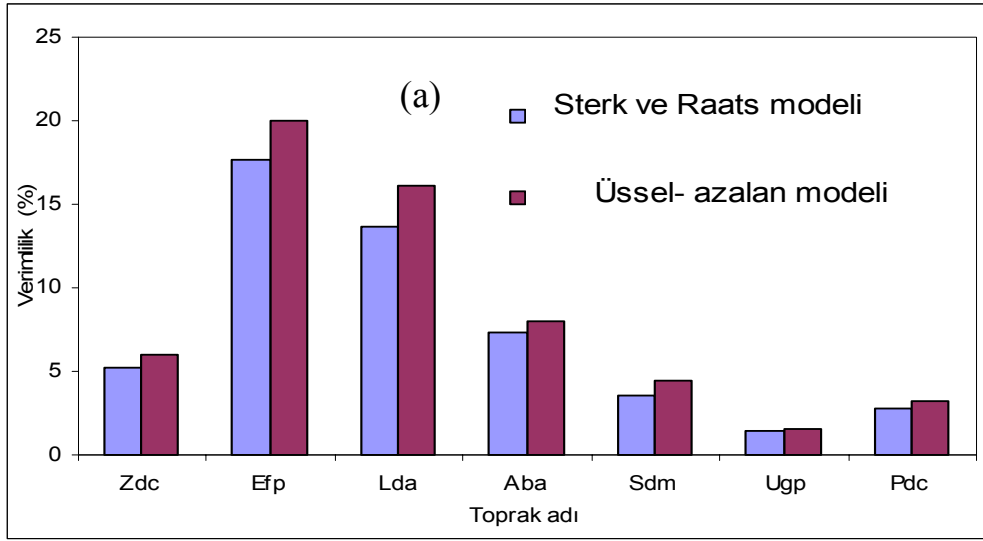
Buradan hareketle farklı toprakların, toprak tipine bağılı olarak, farklı agregat dağılımı gösterdiği ve bu farklı agregat dağılımının da rüzgar kesme hızını değiştirdiği sonucu elde edilmektedir.

Çizelge 4.3' de toplam toprak kayıp miktarı verilmiştir. Ancak toprağın rüzgara karşı gösterdiği direnç, 0.84 mm.den büyük olan agregatların toprakta bulunma yüzdelerine bağılıdır. Buna göre toprakların toplam kayıp miktarlarının nasıl değiştiği görülmektedir. Sonuçlara göre, kumlu toprak (Zdc) en duyarlı ve killi toprak (Efp) ise en dirençli topraklardır.

VS Yakalayıcısının verimliliğinin, toprak kayıp miktarındaki (Q_t) artış ve rüzgar hızındaki artma ile azaldığı görülmektedir. Örnek olarak rüzgar hızının sırayla 10.3, 12.3 ve 14,3 ms^{-1} olduğu ve kumlu toprağın (Zdc) kullanıldığı deneyde VS verimliliği sırayla %5,2, %4.4, ve % 1,9 olmuştur. VS yakalayıcısı sınırlı bir yakalama kapasitesine sahip olduğundan, duyarlı topraklarla yapılan deneylerde VS verimliliği düşük olmaktadır. Dayanıklı topraklarda ise rüzgar hızının artması ile verimlilik artmakta, örnek olarak kumlu killi toprak örneğinde (Lda) VS verimliliği 10.3, 12.3 ve 14,3 ms^{-1} rüzgar hızlarında sırayla %2.1, %14.6, ve % 30.1 olmaktadır. Aynı Şekilde killi tın topraklarda (Ugp) VS verimliliği, 10.3, 12.3 ve 14,3 ms^{-1} rüzgar hızlarında sırasıyla %1.5, %8.6, ve % 12.4 olmaktadır. Deneylerde dayanıklı topraklar kullanıldığında (Lda, Ugp) 10.3 ms^{-1} rüzgar hızında preparatlar henüz yakalama limitine ulaşamamış, 12.3 ms^{-1} rüzgar hızında ise yakalama miktarı daha fazla olmuş, 14.3 ms^{-1} rüzgar hızında ise yakalama kapasitesi hala mevcut ve verimlilik daha yüksek olmuştur. Bazı topraklarda en iyi verimlilik 12.3 ms^{-1} rüzgar hızında elde edilmiştir. Bunu açıklamak gerekirse, preparatların yakalama kapasitelerini 12.3 ms^{-1} lik rüzgar hızında tamamladıkları söylenebilmekte ve bu hız değerinden daha yüksek hız değerlerinde de verimlilik azalması ortaya çıkmaktadır. Efp, Aba, Pdc topraklarından alınan değerler örnek olarak verilebilir.

Çizelge 4.4 Farklı topraklarla VS yakalayıcının verimliliği

Rüzgar hızı ms^{-1}	Topraklar	Eşitlik [8] ile hesaplanan verimlilik (%)	Eşitlik [9] ile hesaplanan verimlilik (%)	Eşitlik [5] ile hesaplanan toplam kayıp miktarı Q_t (g)
10.3	Zdc (kum)	6.0	5.2	45.0
	Efp (kumlu tın)	20.0	17.7	14.0
	Lda (kumlu tın)	16.1	2.1	18.0
	Aba (kumlu tın)	8.0	7.3	15.0
	Sdm (tınlı kum)	4.4	3.6	43.4
	Ugp (killi tın)	1.6	1.5	40.0
	Pdc (tınlı kum)	3.3	2.8	55.0
12.3	Zdc (kum)	4.7	4.4	182.0
	Efp (kumlu tın)	23.9	22.0	21.0
	Lda (kumlu tın)	16.6	14.6	34.0
	Aba (kumlu tın)	11.5	9.2	41.6
	Sdm (tınlı kum)	7.6	5.2	48.0
	Ugp (killi tın)	9.5	8.6	45.0
	Pdc (tınlı kum)	11.5	6.9	67.0
14.3	Zdc (kum)	4.4	1.9	335.0
	Efp (kumlu tın)	61.2	13.9	43.8
	Lda (kumlu tın)	33.7	30.1	34.4
	Aba (kumlu tın)	9.7	9.0	86.0
	Sdm (tınlı kum)	5.5	5.2	95.7
	Ugp (killi tın)	13.9	12.4	50.0
	Pdc (tınlı kum)	6.0	5.1	160.0



Şekil 4.3 Farklı topraklarda VS yakalayıcısının verimliliği a. 10.3 ms^{-1} , b. 12.30 ms^{-1} , c. 14.3 ms^{-1}

b. MWAC yakalayıcısının verimliliği

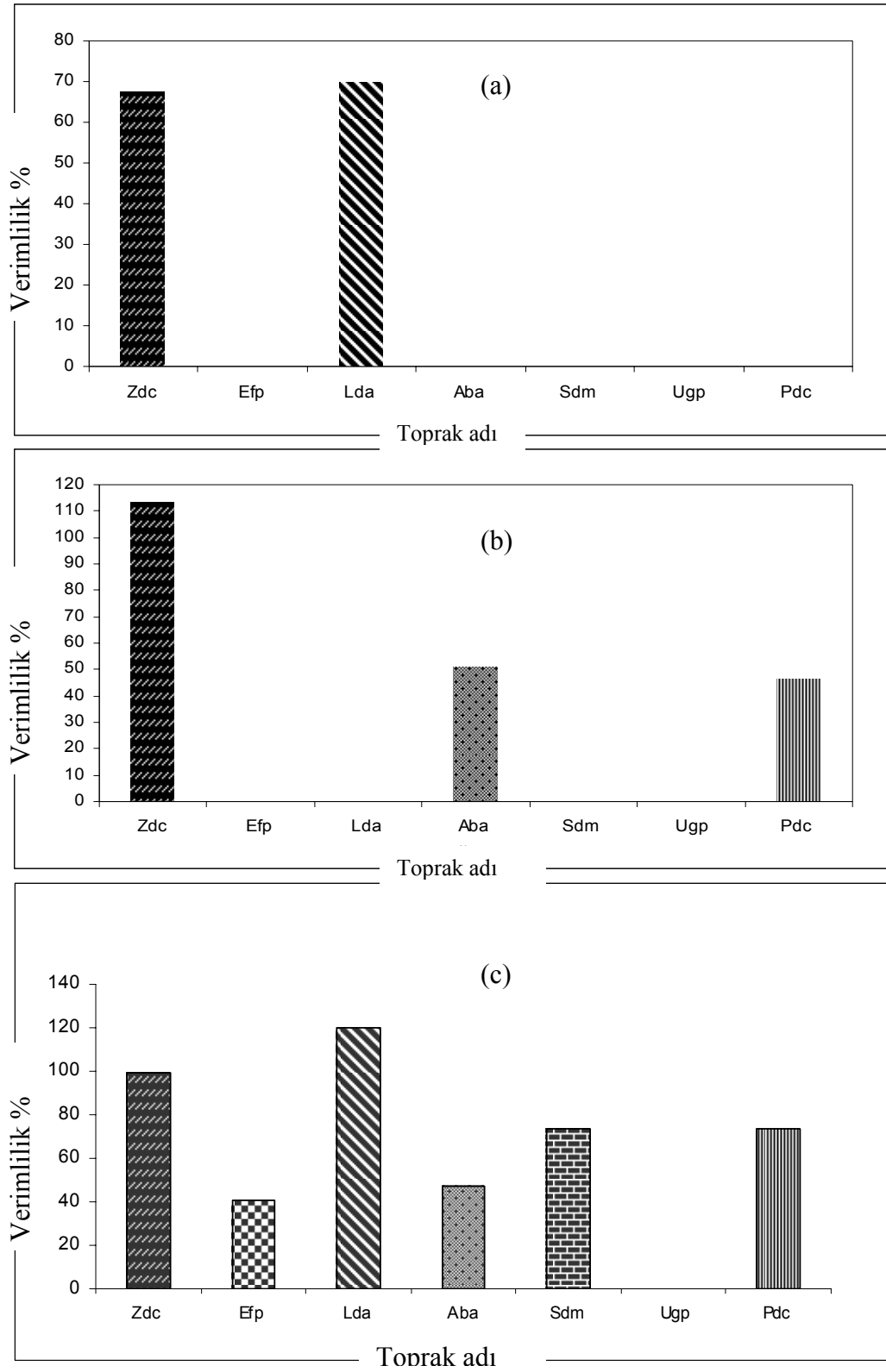
Farklı topraklarla (7 tane toprak örnekleri), 10.3, 12.3, 14.3 ms⁻¹ rüzgar hızında MWAC yakalayıcısının verimliliği tayin edilmiştir (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.4). Alınan sonuçlara göre yakalayıcının verimliliği toprak türüne ve rüzgar hızına göre değişmekte, genel olarak MWAC'nin verimliliği rüzgar hızının artması ile artmaktadır (Çizelge 4.5). 10.3 ms⁻¹ rüzgar hızında kumlu (Zdc) ve kumlu tın (Lda) topraklarda yakalayıcının verimliliği sırayla %67.4 ve % 69.8 olarak bulunurken, diğer topraklarda (Efp, Aba, Sdm, Ugp ve Pdc) yakalayıcının verimliliği 0 çıkmıştır. 14.3 ms⁻¹ rüzgar hızında aşırı killi toprak hariç, bütün topraklarda yakalayıcının verimliliği makul çıkmıştır. Kumlu (Zdc) ve tınlı kum(Aba) topraklarda yakalayıcının verimliliği 12.3 ms⁻¹ rüzgar hızında, 10.3 ms⁻¹ ve 14.3 ms⁻¹'den alınan verimlilikten daha yüksek, fakat killi tın (Ugp), kumlu tın (Efp) ve tınlı kum (Sdm) topraklar kullanıldığında 12.3 ms⁻¹ rüzgar hızında 0 çıkmıştır.

Alınan sonuçlar MWAC yakalayıcısının verimliliğinin toprak türüne ve rüzgar hızına bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca söz konusu yakalayıcı yapılan deneylerde belirli sedimentleri tutması, daha önce bu yakalayıcı hakkında belirli sedimentleri yakaladığı yönünde belirtilen fikirleri destekler niteliktedir. Yakalayıcının belirli sedimentleri yakalama konusundaki özelliği ise tanelerin hacmi ve şekliyle yakından ilgilidir.

Çizelge 4.5 Farklı topraklarla MWAC yakalayıcısının verimliliği

Rüzgar hızı ms^{-1}	Topraklar	Eşitlik [8] ile hesaplanan verimlilik (%)	Eşitlik [5] ile hesaplanan toplam kayıp miktarı Q_t (g)
10.3	Zdc (kum)	67.4	45.0
	Efp (kumlu tın)	0.0	14.0
	Lda (kumlu tın)	69.8	18.0
	Aba (kumlu tın)	0.0	15.0
	Sdm (tınlı kum)	0.0	43.4
	Ugp (killi tın)	0.0	40.0
	Pdc (tınlı kum)	0.0	55.0
12.3	Zdc (kum)	113,4	182.0
	Efp (kumlu tın)	0.0	21.0
	Lda (kumlu tın)	0*0	34.0
	Aba (kumlu tın)	50,7	41.6
	Sdm (tınlı kum)	0.0	48.0
	Ugp (killi tın)	0.0	45.0
	Pdc (tınlı kum)	45..9	67.0
14.3	Zdc (kum)	99.3	335.0
	Efp (kumlu tın)	41.0	43.8
	Lda (kumlu tın)	120.2	34.4.0
	Aba (kumlu tın)	47.2	86.0
	Sdm (tınlı kum)	73,8	95.7
	Ugp (killi tın)	0.0	50.0
	Pdc (tınlı kum)	73.8	160.0

* Lda toprağı kullanıldığında 12.3 ms^{-1} rüzgar hızında toprak miktarı yetmediği için, 10.3 ms^{-1} rüzgar hızında kullanılmış toprak örneği 12.3 ms^{-1} rüzgar hızında yeniden kullanılmıştır. Bu sebeple VS'nin verimliliği 12.3 ms^{-1} rüzgar hızında düşük çıkmıştır



Şekil 4.4 Farklı topraklarla MWAC yakalayıcı verimliliği a.10.3 ms⁻¹, b. 12.30 ms⁻¹, c. 14.3ms⁻¹

4.4 Eleme Analizlerinin Sonuçları

Elektrikli elek setinde 6 adet elek kullanılarak agregatlar 7 farklı gruba ayrılmış, her toprak için 3 ayrı deneme yapılmış ve sonuçların ortalaması alınmıştır (Çizelge 4.6). Alınan sonuçlardan interpolasyon yapılarak 0.84 mm.den büyük olan agregat yüzdeleri hesaplanmış ve toprakların rüzgar erozyonu indeksi (Çizelge 4.7) kullanılarak rüzgar erozyonuyla olan toprak kaybı miktarları (ton/ha/yıl) ortaya çıkartılmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.6 Toprak grupları ve yüzdeleri (Pdc toprağı örnek olarak verilmiştir)

Grup (mm)	(Gram)	%	Eklemeli
Hacim<0.075	54,45	21,90	21,9031
0.075<hacim<0.1	13,17	5,23	27,20087
0.1< hacim <0.2	75,05	30,19	57,39053
0.2< hacim <0.5	50,04	20,13	77,51966
0.5< hacim <1	21,60	8,69	86,20849
1< hacim <2	29,40	11,82	98,03295
hacim >2mm	4,89	1,97	100,000
Toplam	248,6	100	

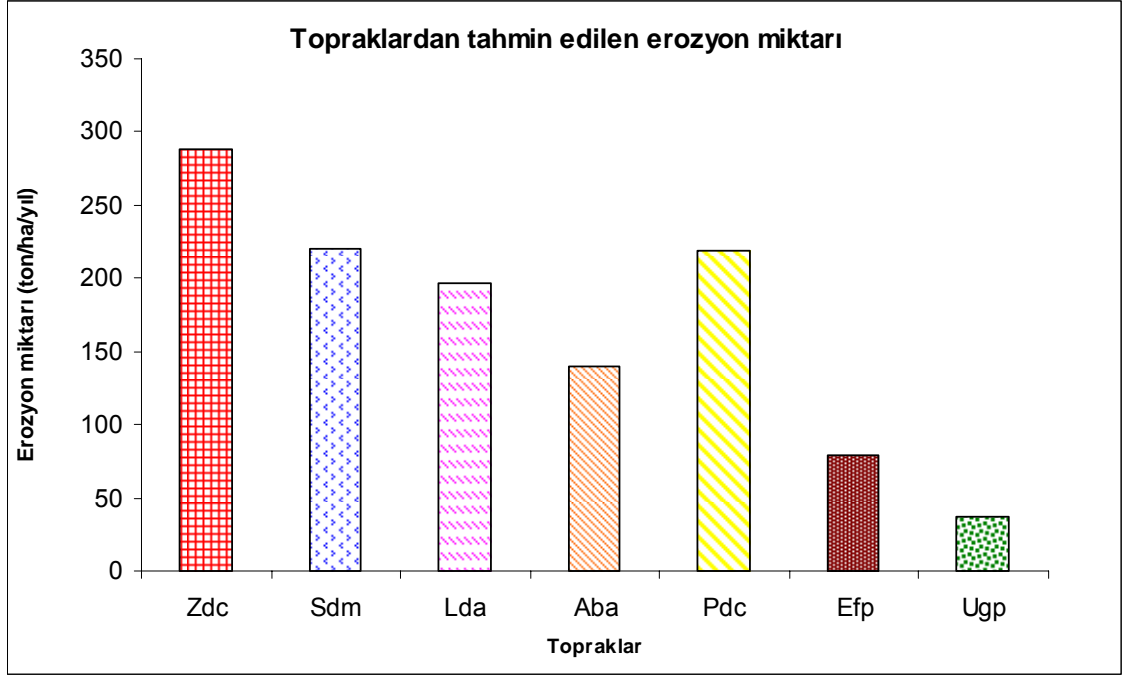
Çizelge 4.7 Toprakların rüzgar erozyonu indeksi (USDA- NRCS 2002)

%Birim	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
>0,0840mm Agregat %si	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha
0	0	695	561	493	437	404	381	359	336	314
10	300	294	287	280	271	262	253	244	238	229
20	220	213	206	202	197	193	186	182	177	170
30	166	161	159	155	150	146	141	139	135	130
40	126	121	117	114	112	108	105	101	96	92
50	85	81	74	70	65	61	56	54	52	49
60	47	45	43	40	38	36	36	34	31	29
70	27	25	22	18	16	13	9	7	7	4
80	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge 4.8 % 0,84 mm.den büyük agregatların yüzdeleri ve tahmin edilen yıllık erozyon miktarı (ton/ha/yıl)

Toprak	>0,84 mm agregat % leri	Toprak kaybı (ton/ha/yıl)
Zdc	11,8	288,40
Sdm	20,0	220,00
Lda	24,14	196,80
Aba	29,77	139,44
Pdc	20,21	219,50
Efp	51,26	79,25
Ugp	64,41	37,20

Çizelge 4.8’de verilen toprak kaybı miktarları Şekil 4.5 de grafik halinde gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Farklı topraklardan tahmin edilen erozyon miktarları (ton/ha/yıl)

Çizelge 4.8 ve Şekil 4.5'te Zdc (kumlu) rüzgara karşı en duyarlı toprak (288,4 ton/ha/yıl) iken, Ugp (killi tın)'nin en dirençli toprak olduğu (37,2 ton/ha/yıl) görülmektedir.

Bunun sebebi kumlu topraklarda, taneler arasındaki bağ kuvvetlerinin son derece zayıf, killi topraklarda ise çok yüksek olmasıdır. Bundan dolayı Ugp (killi tın) rüzgara karşı çok fazla dirençli olarak bulunmuştur. Ayrıca Sdm ve Pdc'nin nispeten duyarlı (sırayla 219.5 ve 220 ton/ha/yıl) ve Efp'nin da nispeten dirençli (79,25 ton/ha/yıl) olduğu söylenebilir. Lda ve Aba'dan olan toprak kaybı sırayla 196,8 ve 39,44 ton/ha/yıldır. Görüldüğü gibi bu son iki topraktan olan kayıpların orta seviyede olduğu söylenebilir.

4.5 Toprak Kayıp Miktarı Açısından Rüzgar Tüneli ve Kuru Eleme Analizinden Alınan Sonuçlarının Karşılaştırması

Çizelge 4.9'de rüzgar tüneli ve eleme analizinden tahmin edilen toplam toprak kayıp miktarları verilmiştir. 10.3,12.3, 14.3 ms⁻¹ olmak üzere rüzgar tüneli analizinde üç farklı rüzgar hızı uygulanmıştır ve her toprak için tahmin edilen toprak kayıp miktarı

çıkartılmıştır. Bu Çizelgede toprak tipine ve rüzgar hızına bağlı olarak eleme analizinden ne kadar gerçeğe yakın ve güvenli sonuçlar alınabildiği görülmektedir. Örneğin, kumlu ve killi tın topraklar kullanıldığında alınan sonuçlara bakılacak olursa; Zdc (kumlu) kullanıldığında rüzgar tüneli analizinden 10.3 ms^{-1} rüzgar hızında toprak kayıp miktarı, eleme analizinden alınan sonuçlara göre düşük iken, 12.3 ms^{-1} ve 14.3 ms^{-1} rüzgar hızında alınan sonuçlar toprak kayıp miktarı, eleme analizinden alınan sonuçlara göre çok yüksek çıkmıştır. Killi tın toprak kullanıldığında ise 10.3 , 12.3 ve 14.3 ms^{-1} rüzgar hızında rüzgar tünelin sonuçları, eleme analizinden alınan sonuçlar birbirine ciddi bir fark göstermediği görülmektedir. Bu şekilde hangi toprak için ve hangi rüzgar hızı için eleme yönteminin uygun olup olmadığına karar verebiliriz.

Çizelge 4.9 Toprak kaybı açısından rüzgar tüneli ve eleme analizinden alınan sonuçlarının karşılaştırması

Rüzgar tüneli analizinden tahmin edilen toplam toprak kayıp miktarı ton/ha/yıl			Eleme analizinden tahmin edilen toplam toprak kayıp miktarı ton/ha/yıl
Rüzgar hızı ms ⁻¹	Topraklar	ton/ha/yıl	
10.3	Zdc (kum)	116,8	288,4
10.3	Efp (kumlu tın)	36,3	220,0
10.3	Lda (kumlu tın)	46,7	196,8
10.3	Aba (kumlu tın)	38,9	139,4
10.3	Sdm (tınlı kum)	112,7	219,5
10.3	Ugp (killi tın)	103,8	79,3
10.3	Pdc (tınlı kum)	142,8	37,2
12.3	Zdc (kum)	472,5	288,4
12.3	Efp (kumlu tın)	54,5	220,0
12.3	Lda (kumlu tın)	88,3	196,8
12.3	Aba (kumlu tın)	108,0	139,4
12.3	Sdm (tınlı kum)	124,6	219,5
12.3	Ugp (killi tın)	116,8	79,3
12.3	Pdc (tınlı kum)	173,9	37,2
14.3	Zdc (kum)	869,7	288,4
14.3	Efp (kumlu tın)	113,7	220,0
14.3	Lda (kumlu tın)	89,3	196,8
14.3	Aba (kumlu tın)	223,3	139,4
14.3	Sdm (tınlı kum)	248,4	219,5
14.3	Ugp (killi tın)	129,8	79,3
14.3	Pdc (tınlı kum)	415,4	37,2

5. SONUÇ

Çalışmada farklı boyutta kum taneleri, sabit rüzgar hızında ve farklı toprak türlerinde, farklı rüzgar hızlarında test edilerek VS ve MWAC yakalayıcılarının verimlilikleri tayin edilmiştir. Alınan sonuçlara göre yakalayıcıların verimlilikleri kum tanelerinin büyüklüklerine, toprak türüne ve rüzgar hızına bağlı olarak değişmiştir. İnce taneler kullanıldığında VS yakalayıcısının verimliliği yüksek, MWAC yakalayıcısının verimliliği düşük; kalın taneler kullanıldığında ise VS yakalayıcısının verimliliği düşük, MWAC yakalayıcısının verimliliği ise yüksek çıkmıştır. 50 µm'den küçük taneler kullanıldığında VS'nin verimliliği % 92 iken, MWAC için aynı değer % 0 olarak hesaplanmıştır. 400-500 µm arasında taneler kullanıldığında MWAC'nin verimliliği % 67.57 iken VS için aynı değer % 2.2 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, süspans halde hareket eden tanelerin (<100 mµ) yakalanmasında VS yakalayıcısı daha uygun ve verimliliği yüksektir. Sıçrama ile hareket eden tanelerin (100-840 µm) yakalanmasında MWAC yakalayıcısının verimliliği yüksek, süspans halde hareket eden taneleri yakalamasında ise düşük çıkmıştır.

Toprakların rüzgar erozyonuna karşı duyarlılığının tayininde eleme analizleri kullanılmıştır. Yapılan analizler kumlu toprağın en duyarlı toprak, killi tın toprağın ise en dirençli toprak olduğunu ortaya çıkartmıştır. Bu sonuçları, rüzgar tüneli analizinden alınan sonuçlar da en duyarlı toprak açısından desteklemiştir, fakat en dirençli toprak açısından sonuçlar farklıdır; Efp ve Lda rüzgar tüneli analizine göre en dirençli olarak görülmektedir. Bunun nedeni muhtemelen bu topraklarda kuvvetli agregatların varlığıdır.

KAYNAKLAR

- Alfaro, S. C. and Gomes, L. 2001. Modeling mineral aerosol production by wind erosion: Emission intensities and aerosol size distributions in source areas. *Journal of Geophysical Research* 106(D16):18075-18084.
- Anonim, 1998. Tarım ve Mera Arazilerinin Yöntemi. Ulusal Çevre Eylem Planı. DPT, Ankara.
- Azizov, A. 1977. Influence of soil moisture on the resistance of soil to wind erosion. *Pochvovedeniye* (1):102-105. (in Russian)
- Bagnold, R. A. 1941. *The physics of blown sand and desert dunes*. London: Methuen, 265 pp.
- Bagnold, R. A. 1954. Physical aspects of dry deserts. In: Cloudsley-Thompson, J.L. (ed). *Biology of Deserts*, pp. 7-12.
- Bisal, F., and Hsieh, J. 1966. Influence of moisture on erodibility of soil by wind, *Soil Sci.*, 102, 143-146, 1966.
- Chepil, W. S. 1942. Measurement of wind erosiveness of soils by the dry sieving procedure. *Scientific Agriculture* 23(3):154-160. (in English).
- Chepil, W. S. 1956. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. *Soil Science Society of America Proceedings* 20(2):288-292.
- Chepil, W. S. and Woodruff, N.P. 1963. *The physics of wind erosion and its control*. *Advances in Agronomy* 15:211-302.
- Cornelis, W. M. Hartmann, R. and Gabriels, D. (1998). Assessing and controlling dust pollution in the harbour of Ghent. In: D. Gabriels and W.M. Cornelis (Eds.). *Proceedings of the International Workshop on Technical aspects and use of wind tunnels for wind-erosion control, Combined effect of wind and water on erosion processes, November 17-18, 1997, Ghent, Belgium*. 25-32
- Cornelis, W. M., Gabriels, D. and Hartmann, R. 2004. A parameterisation for the threshold shear velocity to initiate deflation of dry and wet sediment. *Geomorphology* 59(1-4):43-51.
- Çanga, M. 1995. *Toprak ve Su Koruma*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1386. Ders Kitabı: 400. Ankara
- Day, P. R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis, in Black, C.A., ed., *Methods of soil analysis, Part 1: American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin*, p. 545-567.
- De Ploey, J. 1980. Some field measurements and experimental data on wind-blown sands. In: de Boodt, M. and Gabriels, D. (eds), *Assessment of erosion*, Chichester: New York: John Wiley and Sons, pp. 541-552.
- Drew, R. T. and Lippmann, M. 1978. Calibration of air sampling instruments. In: *Air sampling instruments for evaluation of atmospheric contaminants (5th Edition)*, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, I, pp. 1-138.
- Fryrear, D. W. 1998. Modelling wind erosion. In: Sivakumar, M.V.K., Zobisch, M.A., Koala, S. and Maukonen, T. (eds), *Wind erosion in Africa and west Asia: problems and strategies*, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, pp. 143-154.
- Gillette, D. A. 1977. Fine particle emissions due to wind erosion. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 20(5):890-897.

- Goudie, A. S. 1983. Dust storms in space and time. *Progress in Physical Geography* 7(4):502-530.
- Goossens, D. and Offer, Z.Y. 2000. Wind tunnel and field calibration of six aeolian dust samplers. *Atmospheric Environment* 34(7):1043-1057.
- Goudie, A. S. 1983. Dust storms in space and time. *Progress in Physical Geography* 7(4):502-530.
- Jackson, D. W.T. 1996. A new, instantaneous aeolian sand trap design for field use. *Sedimentology* 43(5):791-796
- Hagen, L. J. 1984. Soil aggregate abrasion by impacting sand and soil particles. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 27(3):805-808.
- Hagen, L. J. 1991. Wind erosion mechanics - abrasion of aggregated soil - correction. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 34(4):831-837.
- Hagen, L. J. 1999. Assessment of wind erosion parameters using wind tunnels. In: Stott, D.E., Mohtar, R.H. and Steinhardt, G.A. (eds), *Sustaining the Global Farm, Proceedings of 10th International Soil Conservation Organization Conference, May 24-29, Purdue University, West Lafayette, IN*, pp. 742-746.
- Harnby, N. 1992. The mixing of cohesive powders, in *Mixing in the Process Industries*, edited by N. Harnby et al., pp. 79–98, Elsevier, New York.
- Kind, R. J. 1992. One-dimensional aeolian suspension above beds of loose particles – a new concentration-profile equation. *Atmospheric Environment A* 25(5):927-931.
- Kjelgaard, J., Chandler, D. and Saxton, K. 2002. Evidence for direct suspension of loessial soils. p. 38. In J.A. Lee and T.M. Zobeck (eds.) *Proceedings of ICAR5/GCTE-SEN Joint Conference, International Center for Arid and Semiarid Lands Studies, Texas Tech University, Lubbock, TX, USA* Publication 02-2.
- Leatherman, S. P. 1978. A new aeolian sand trap design. *Sedimentology* 25(2):303-306.
- Loosmore, G.A. and Hunt, J.R. 2000. Dust resuspension without saltation. *Journal of Geophysical Research* 105(D16):20663-20672.
- Loosmore, G. A. and Hunt, J.R. 2000. Dust resuspension without saltation. *Journal of Geophysical Research* 105(D16):20663-20672.
- Lyles, L. and Tatarko, J. 1986. Wind erosion effects on soil texture and organic matter. *Journal of Soil and Water Conservation* 41(3):191-193.
- McKie, R. 2001. Deadly dust 'brought foot and mouth here. *Guardian Unlimited Archive*. [Http://www.Guardian.co.uk/archive/article/0,4273,4253037,00.html](http://www.Guardian.co.uk/archive/article/0,4273,4253037,00.html)
- Middleton, N. J., Goudie, A.S. and Wells, G.L. 1986. The frequency and source areas of dust storms. In: Nickling, W.G. (ed), *Aeolian Geomorphology, 17th Annual Binghampton Geomorphology Symposium, London: Allen and Unwin*, pp. 237-259.
- Middleton, N. J. 1997. Desert dust. In: Thomas, D.S.G. (ed), *Arid zone geomorphology: Process, form and change in drylands, Chichester: Wiley*, pp. 413-436
- Nickling, W. G. and McKenna Neuman, C. 1997. Wind tunnel evaluation of a wedge-shaped aeolian sediment trap. *Geomorphology* 18(3-4):333-345.

- Pietersma, D., Stetler, L.D. and Saxton, K.E. 1996. Design and aerodynamics of a portable wind tunnel for soil erosion and fugitive dust research. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 39(6):2075-2083.
- Shao Yaping, Raupach, M.R. and Leys, J.F. 1996. A model for predicting aeolian sand drift and dust entrainment on scales from paddock to region. *Australian Journal of Soil Research* 34(1):309-342. (in English).
- Skidmore, E. L. and Hagen, L.J. 1970. Evaporation in sheltered areas as influenced by windbreak porosity. *Agricultural Meteorology* 7(5):363-374.
- Skidmore, E. L. and Powers, D.H. 1982. Dry soil-aggregate stability: energy-based index. *Soil Science Society of America Journal* 46(6):1274-1279.
- Singh, U.B., Gregory, J.M. and Wilson, G.R. 1999. Texas erosion analysis model: theory and validation. In: Skidmore, E.L. and Tatarko, J. (eds), *Wind Erosion - Proceedings of an International Symposium/Workshop, 3-5 June 1997, Manhattan, Kansas*. United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service, Wind Erosion Research Unit, Kansas State University, 23 pp. (CD-Rom).
- Spaan, W. P. and van den Abeele, G.D. 1991. Wind-borne particle measurements with acoustic sensors. *Soil Technology* 4(1):51-63.
- Sterk, G. and Raats, P.A.C. 1996. Comparison of models describing the vertical distribution of wind-eroded sediment. *Soil Science Society of America Journal* 60(6):1914-1919.
- Tarım ve Köyişleri Bakanlığı 2004. <http://www.tarim.gov.tr>
- Tegen, I. and Fung, I. 1995. Contribution to the atmospheric mineral aerosol load from land surface modification. *Journal of Geophysical Research* 100(D9):18707-18726.
- United States Department of Agriculture Agricultural Research Service 1998. Wind erosion simulation models.
- Vories, E. D. and Fryrear, D.W. 1991. Vertical distribution on wind-eroded soil over a smooth, bare field. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 34(4):1763-1768.
- Wassif, M. M. 1998. Some observations on wind erosion in Egypt. In: Sivakumar, M.V.K., Zobisch, M.A., Koala, S. and Maukonen, T. (eds), *Wind erosion in Africa and west Asia: problems and strategies*, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, pp. 59-80.
- Williams, J. J., Butterfield, G.R. and Clark, D.G. 1994. Aerodynamic entrainment thresholds: Effects of boundary layer flow conditions. *Sedimentology* 41(2):309-328.
- Wilson, S. J. and Cooke, R.U. 1980. Wind Erosion, in *Soil erosion*, Eds. Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C., John Wiley and Sons, Chichester, 217-252.
- WMO World Meteorological Organization 1983 Meteorological aspects of certain processes affecting soil degradation-especially erosion. Technical note no 178, WMO no. 591. WMO, Geneva.
- Woodruff, N. P. and Siddoway, F.H. 1965. A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Proceedings* 29(5):602-608.
- Zobeck, T. M. and Fryrear, D.W. 1986. Chemical and physical characteristics of windblown sediment. II. Chemical characteristics and nutrient discharge.

- Transactions of the American Society of Agricultural Engineers
29(4):1037-1041.
- Zobeck, T. M., Parker, N.C., Haskell, S. and Guoding, K. 2000. Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 82(1-3):247-259.
- Zobeck, T. M. 2002. Field measurement of erosion by wind. *Encyclopedia of Soil Science*, New York: Marcel Dekker, pp. 503-507.
- Zobeck, T. M., Sterk, G., Funk, R., Rajot, J.-L., Stout, J.E. and Van Pelt, R.S. 2003. Measurement and data analysis methods for field-scale wind erosion studies and model validation. *Earth Surface Processes and Landforms* 28(11):1163-118.

EKLER

Ek 1 Dünya Rüzgar Erozyonu Haritası

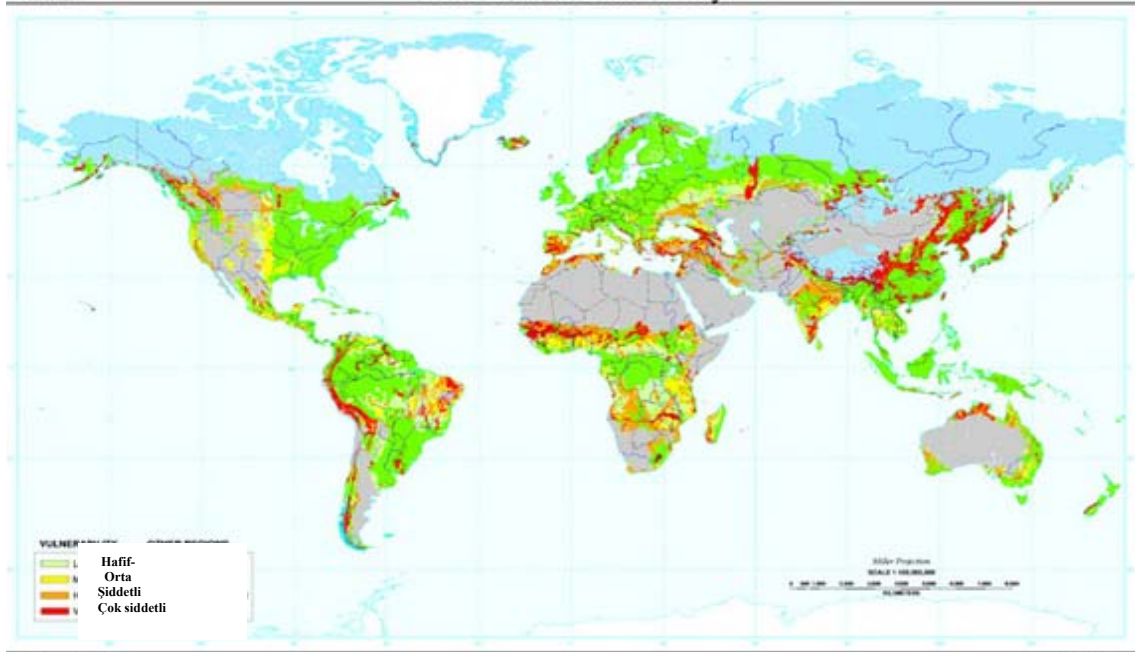
Ek 2 Dünya kuraklık haritası haritası

Ek 3 Dünyadaki Rüzgar ve Su Erozyonu Dağılımı (Middleton and Thomas 1997)

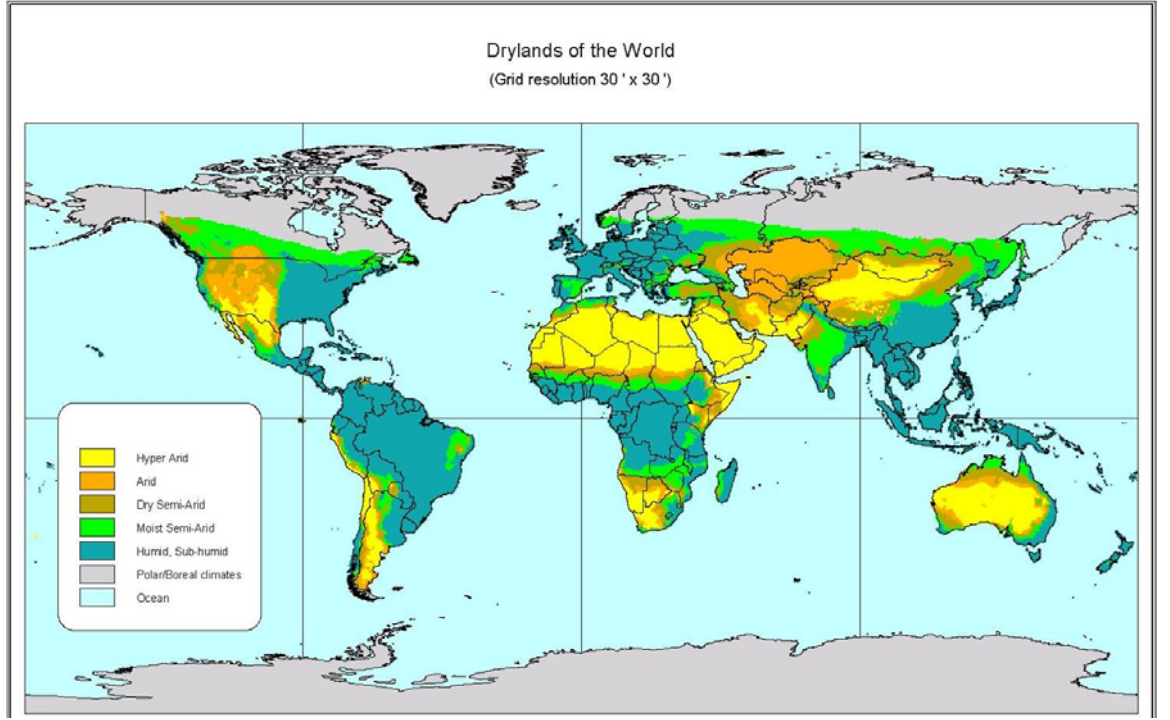
Ek 4 Türkiye’de Rüzgar Erozyonu Alanlarının Dağılımı (Anonim 1998)

Ek 5 Rüzgar ile Toprak Tanelerin Hareketleri (USDA 1989)

Ek 1 Dünya Rüzgar Erozyonu Haritası



Ek 2 Dünya kuraklık haritası haritası



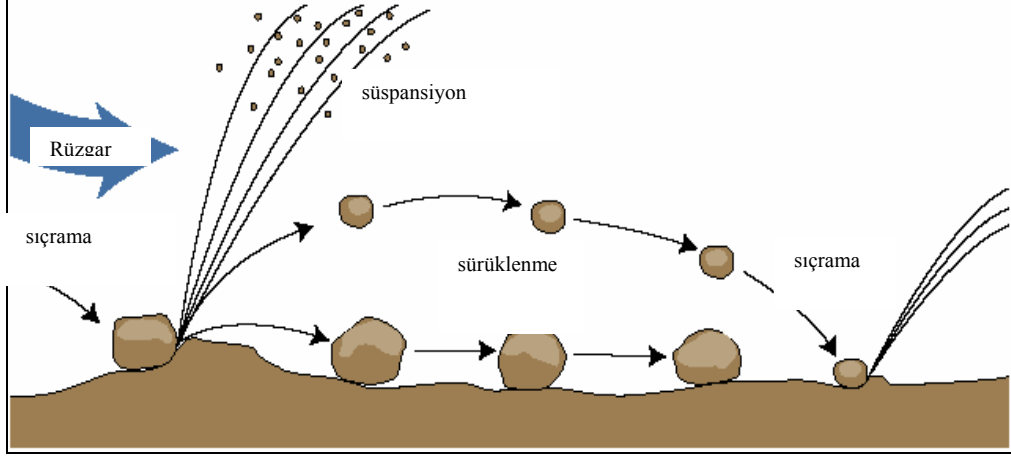
Ek 3 Dünyadaki Rüzgar ve Su Erozyonu Dağılımı (Middleton and Thomas 1997)

kıta	Su erozyonu (milyon ha)			Rüzgar erozyonu (milyon ha)		
	Kurak- yarı nemli	Yarı kurak	kurak	Kurak yarı nemli	Yarı kuru	kurak
Afrika	25.1	59.2	34.8	1.6	30.7	127.5
Asya	54.9	69.9	32.7	15.1	52.1	85.9
Avustralya	4.1	26.3	39.3	0	6.4	9.5
Avrupa	34.7	12.8	0.6	17.4	17.3	4.0
K. Amerika	10.7	24.4	3.3	6.8	27.3	3.7
G. Amerika	11.5	20.6	2.5	5.9	16.4	4.6
Toplam	141.0	213.2	113.2	46.8	150.2	235.2
Toplam	467.4			432.2		

Ek 4 Türkiye’de Rüzgar Erozyonu Alanlarının Dağılımı (Anonim 1998)

Rüzgar erozyonu sınıfı	Alan (ha)	%
Hafif	165 664	32,7
Orta	231 041	45,6
Şiddetli	104 981	20,7
Çok şiddetli	4 823	0,1
Toplam	506 309	

Ek 5 Rüzgar ile Toprak Tanelerinin Hareketleri (USDA 1989)



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Feras YOUSSEF

Doğum Yeri : Latakia – Syria

Doğum Tarihi : 10.06.1974

Medni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce, Türkçe

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Suriye – Al İkhaa Alarabi Lisesi

Lisans : Tishreen Üniversitesi Ziraat Fakültesi Orman Bölümü 1993-1998

Yüksek Lisans : Aleppo Üniversitesi Ziraat Fakültesi Orman Bölümü 1998-1999

Yayınlar (SCI ve diğeri)

Youssef, F., Hamad, G., Kanım, V. 1998. Fidanlıkta köklerin gelişiminde kullanılan torbalarının etkilerini belirlenmesi (yayınlanmamış bitirme tezi).

Mudawar, A., Thabit, A., Youssef F. 1999. Tel Aldu havzasında GBS teknikleri kullanılarak akar sularının değerlendirilmeleri (yayınlanmamış bitirme tezi).

Youssef, F., Erpul, G., Cornelis., W., Gabriles, D., Çanga, M. 2006. Determination of efficiencies of vaseline slide and Wilson and Cooke catchers by wind tunnel experiments. International soil meeting 22-26 Mayıs 2006 Şanlıurfa-Turkey.