

## RÜZGAR EROZYONU

Mücahit KARAOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Iğdır University, Iğdır Agricultural Faculty, Soil Science and Plant Nutrition Department, Iğdır-Turkey.*

Geliş tarihi: 20.12.2018 Kabul tarihi: 29.12.2018

### ÖZET

Aeolian veya eolian olayların bir sonucu veya bir alt çalışma konusu olarak ifade edilen rüzgar erozyonu Türkiye ve dünyada kurak ve yarı kurak bölgelerin tipik olaylarından birisidir. Düzensiz ve yetersiz yağış, yüksek sıcaklık farkları, yüksek yaz mevsimi sıcaklık ortalamaları, frekansı yüksek yaz günleri, aşırı buharlaşma değerleri ve kuvvetli rüzgarlar rüzgar erozyonunun en önemli göstergeleridir. Rüzgar erozyonu aşındırdığı alanın toprak özelliklerinde değişikliğe sebep olduğu gibi, taşıma esnasında geçtiği bölgelerde olumsuz etkiler yapar (su kanalları, drenaj sistemleri, makineler, canlılar), gücünün azaldığı yerde taşıdığı sedimenti bıraktığı yerin toprak özelliklerinde de değişikliğe sebep olur. Bu derece doğrudan ve dolaylı olumsuz etkileri olan rüzgar erozyonunun iyi bilinmesi ve zararlı etkilerinin azaltılması oldukça önemlidir. Çünkü koruma tedbiri uygulamak, meydana gelen zararı telafi etmekten daha ucuzdur. Bu çalışmada rüzgar erozyonu etkileri, rüzgar ve toprak özellikleri genel olarak tanıtılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Rüzgar erozyonu, rüzgar erozyonu etkileri, rüzgar ve toprak özellikleri.

## WIND EROSION

### ABSTRACT

Wind erosion which is expressed as a result or sub-discipline of aeolian or eolian is one of the typical events in arid and semiarid region of the world and Turkey. Irregular and inadequate precipitation, high temperature amplitudes, high summer temperature averages, high frequency summer days, excessive evaporation values and strong winds are the most important indicators of wind erosion. The wind erosion causes a change in the soil properties of the area it erodes, as well as the negative impacts in the areas where it passes during transportation (water channels, drainage systems, machines, organisms), and causes a change in the soil properties of the place where its power decreases and leaves its sediment. It is very important to know well direct and indirect negative effects of wind erosion and to reduce the harmful effects of it. Because implementing a protection measure is cheaper than compensating for the damage. In this study, effects of wind erosion, properties of wind and soil were introduced in general.

**Key words:** Wind erosion, wind erosion effects, properties of wind and soil.

## 1. GİRİŞ

Rüzgar etkisiyle toprak parçacıklarının (sediment) ayrışması, taşınması ve rüzgar gücünün azaldığı yerde birikmesi olaylarına rüzgar erozyonu adı verilir. Jeomorfologlar ve diğer yerbilim uzmanları genellikle rüzgar erozyonunu, rüzgarla oluşan olayların (aeolian veya eolian) özel bir alt disiplini olarak düşünürler. Rüzgarla oluşan olaylar, rüzgar gücü ile yüzey özelliklerinin etkileşimleri sonucu ortaya çıkan durumları kapsar.

Rüzgar etkisiyle sediment hareketi, çok eski kumtaşı anakayasının rüzgârla uçurulan kumları sonucu ortaya çıkan aeolian geçiş tabakaları (cross-bedding) tarafından gösterildiği gibi, binlerce yıldır meydana gelmektedir. Löss tortuları, buzul birikimleri veya çöl birikimleri veya kuru göller üzerinde rüzgar hareketi ile oluşturulan silt ve daha küçük miktarlarda kil ve kum aeolian sedimentlerinin her yerde birikmesidir. Dünya üzerindeki büyük kumul sahaları ve kum denizleri güncel ve geçmiş aeolian çevre ile ilgili daha fazla bulgu sağlarlar. Sabit veya dengeli kum tepeleri mevcut iklimde artık işlevsel değildir. Ancak geçmişte işlevsel kum denizleri veya kumul alanları olmuşlardır (Zobeck and Van Pelt, 2014).

Rüzgar erozyonu düz, kuru ve çıplak, kumlu topraklar veya gevşek toprak, kuru ve ince taneli toprakların bulunduğu herhangi bir yerde yaygındır. Kumlu topraklar erozyona karşı çok hassastır, ancak güçlü toprak işleme ile inceltilmiş killi topraklar da çok kuru oldukları zaman rüzgar erozyonuna karşı hassastır (DPIPWE, 2018).

Rüzgâr erozyonu rüzgâr kesmesine (wind shear) karşı iyi korunmamış topraklarda görülür. Rüzgâr erozyonunu artıran sebepler, rüzgar kesmesine karşı toprak yüzeyini koruyacak yeterli bitki örtüsünün olmaması, düşük organik madde düzeyi, kurak ve yarı kurak bölgelerde düşük yağış ve yüksek buharlaşma oranları (tipik karasal iklim özellikleri) olarak ifade edilebilir. Ancak toprakta agregatlaşma, yüzeyde kabuk oluşumu, toprak ve hava nemi erozyonu azaltabilecek etkenlerdir (Karaoğlu, 2014; 2016). Rüzgâr erozyonu ormanlardan çöllere kadar çok farklı alanlarda görülebilir ve topraktan verimli parçacıkları ayıklayarak verimi düşürür, hendeklerde ve suyollarında sediment biriktirir, havayı kirletir, görüş mesafesini düşürür ve mekanik aletlere zarar verir (Hagen ve ark., 2010).

Rüzgar erozyonu hafif bir rüzgar tarafından oluşturulabilir. Hafif rüzgar önce toprak parçacıklarını yüzey boyunca yuvarlar ve bir kuvvetli rüzgar vasıtasıyla toprak parçacıklarının büyük bir kısmı havaya kaldırılarak toz fırtınaları oluşturulur (NSW, 2018). Rüzgar erozyonu, dünya çapında 500 milyon hektardan fazla araziye etkileyen ve yılda 500 ila 5000 Tg (Tera gram) kaçak toz oluşturan bir toprak ayrıştırma sürecidir (Grini et al., 2003).

Bu çalışmada rüzgar erozyonunun tanımı, yerinde ve uzaktaki etkileri, işleyişi, rüzgar özellikleri, toprak yüzey şartları (bünye, nem içeriği, yüzey pürüzlülüğü, agregat özellikleri, yüzey kabukları), konularında genel bilgiler verilmiştir.

## 2. RÜZGAR EROZYONUNUN SEBEPLERİ

Ülkemizde rüzgar erozyonunun sebepleri, iklim etkileri dışında, insan kaynaklıdır ve genellikle yanlış ve ihmalkar davranışların sonuçlarıdır. Rüzgar erozyonunu hazırlayan sebepler azaldıkça hızlandırılmış erozyonda azaltılacaktır. Başlıca sebepler:

1- Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki yetersiz ve düzensiz yağış, yüksek sıcaklıklar sebebiyle aşırı buharlaşma, kuvvetli rüzgarların taşınması sonucu düşük nem miktarı,

2- Ziraat sahalarında geniş arazilerin topyekun örtüsüz nadasa bırakılmaları,

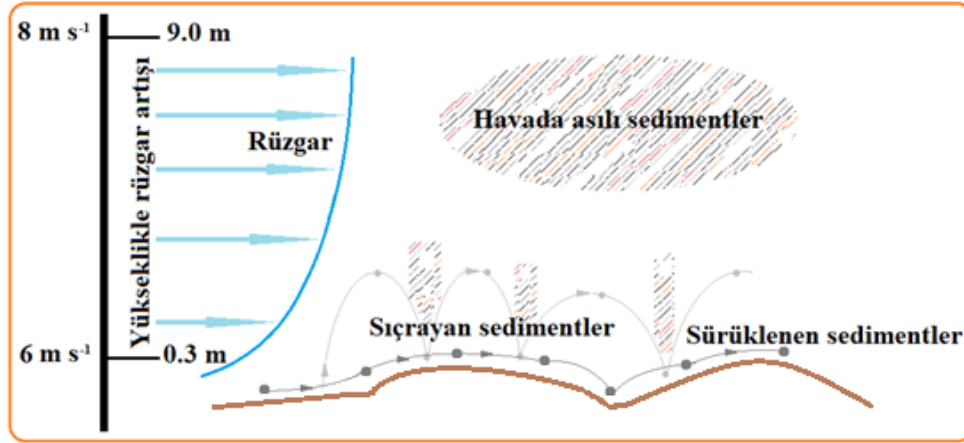
3- Geniş kültür sahalarının organik maddece fakirliği ve bu gibi arazilerin çok derin olarak sürülmeleri,

4- Modern sürüm aletleri ile toprağın alt üst edilerek ve iri kesekler meydana getirmeden sürülmeleri,

- 5- Sürüm zamanına ve özellikle kuvvetli rüzgar dönemlerine dikkat edilmemesi,
- 6- Lastik tekerlekli traktörlerin kullanılmaları, bu suretle toprak yapısının bozularak ince toz haline gelmesi ve dolayısıyla rüzgarla kolayca taşınabilir hale gelmesi,
- 7- Mekanizasyonun gelişmesiyle geniş mera sahalarının pulluk altına alınması,
- 8- Anızlı tarlaların yakılması olarak özetlenebilir.

### 3. RÜZGAR EROZYON MEKANİĞİ

Rüzgar erozyonu, rüzgârın toprak yüzeyiyle etkileşimi sonucu ayrışmaya (entrainment), taşınmaya ve nihayet toprak parçacıklarının birikmesine sebep olan olaylar zinciridir. Rüzgar, toprak yüzeyinde parçacıkları tutan yerçekimi ve birbirini çekme kuvvetlerini yenmek için sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri uyguladıkça ayrışma meydana gelir (Toy et al., 2002). Ayrışma aynı zamanda, yuvarlanan veya sıçrayan parçacıklar, darbeler veya aşınma sonucu serbest kalacak diğer parçacıkları etkilediği sürece oluşmaya devam edecektir (Şekil 1). Toprak yüzeyinde parçacıkların veya sedimentin hareket etmeye başladığı andaki rüzgar hızı eşik rüzgar hızı olarak adlandırılır. Rüzgar hızları, toprak yüzeyinden 0.3 m yüksekte  $6 \text{ m s}^{-1}$  değerine ve 9 m yüksekte  $8 \text{ m s}^{-1}$  değerine ulaştığı zaman aşındırıcı (erosive) olarak değerlendirilir (USDA-NRCS, 2002).



Şekil 1. Rüzgar erozyon mekaniği

Rüzgar, eşik hız değerini aştıktan sonra, toprak parçacıkları veya küçük kararlı agregatlar, taşınmanın üç temel yol veya yöntemiyle hareket etmeye başlarlar. Bunlar; sürüklenme (creep), sıçrama (saltation) ve havada asılı kalma (suspension) olaylarıdır. Sürüklenme hareketi yapan parçacıklar veya agregatlar 0.5-1 mm çapındadır ve doğrudan rüzgar gücü etkisiyle itilerek veya sıçrama yapan parçacıkların bu parçacıklara çarpmasıyla toprak yüzeyi boyunca yuvarlanırlar veya hızlıca yer değiştirirler. Bireysel sıçrama yapan parçacıklar veya agregatlar 0.1-0.5 mm çapındadır ve toprak yüzeyinde sıçrayarak hareket ederler, nadir olarak birkaç metre yüksekliği aşarlar.

Bu parçacıklar rüzgar kuvveti ile toprak yüzeyinden direkt olarak kaldırılabilir veya diğer sıçrayan parçacıklar bu parçacıkları yerinden oynattıkça toprak yüzeyinden dışarı atılabilir. Bu parçacıklar toprak yüzeyi boyunca sıçradıkça daha fazla miktarda sıçrayacak parçacıkları yerinden oynatır, çığ etkisi oluşturur. Sıçrayan sediment zıpladıkça veya birbirlerine veya kabuklanmış toprak yüzeyine çarptıkça aşınmaya sebep olabilir veya bu parçacıklar toprak yüzeyine yerleştirilir.

Havada asılı sediment genellikle 0.1 mm çapından daha küçüktür. Bu büyüklükteki bazı parçacıklar toprakta hazır olmasına rağmen, bunlar rüzgar gücü tarafından doğrudan ayrıştırılmaya daha az hassastırlar. Havada asılı parçacıklar çoğunlukla, sıçrayan parçacıkların büyük agregatları

aşındırmasıyla veya kum püskürtmesine (sandblasting) benzer bir süreç içinde parçacıkların toprak yüzeyine çarpmasıyla oluşturulur. Sıçrayan parçacıklar yüzeye kütlelerinin ve hızlarının bir işlevi olan bir kuvvetle çarparlar. Çapları 0.1 mm den daha küçük parçacıklar havada asılı kalabilmesine rağmen, çapları 0.02 mm den daha büyük parçacıkların sediment kaynağından 30 km uzağa uçurulması mümkün değildir, hava burgacı (turbulence) kuvvetli rüzgarların azaltılması ile ilişkili olduğu zaman bu tip parçacıklar çok çabuk yüzeye geri yerleşirler (Pye, 1987). Daha ince havada asılı sedimentler hava burgaçlı girdaplarla (turbulent eddies), daha önce de değinildiği gibi yüzeye yerleşmeden önce kilometrelerce taşınır. Aksine, sürüklenme ve sıçrama yapan sedimentler genel olarak sediment kaynağı arazinin yakınlarında yeniden biriktirilirler.

#### 4. RÜZGAR EROZYONU ETKİLERİ

Rüzgar uçuşmasıyla havada asılan büyük miktarlardaki toz aeolian sedimentin hareketi bugün hala belirgindir ve çarpıcı bir şekilde yerinde ve uzakta etkiler üretir (Zobeck and Van Pelt, 2014).

##### 4.1. Yerinde Rüzgar Erozyonu Etkileri

Rüzgar erozyonu daha ince parçacıkları, toprağın kimyasal olarak daha işlevsel unsurlarını, özellikle bitki gelişimini etkileyen besin elementlerini savurarak ayırır (Lyles, 1975; Sterk et al., 1996; Stetler et al., 1994; Van Pelt and Zobeck, 2007; Zobeck and Fryrear, 1986a,b). Toprak verimliliği bozulmasına ek olarak, toprak organik karbonunun ve ince toprak parçacıklarının orantısız kaybı (Van Pelt and Zobeck, 2007) toprağın su infiltrasyonunu ve su tutma kapasitesini, yarı kurak bölgelerde ise toprak verimliliğini daha da fazla etkileyebilir.

Ekonomik değeri yüksek tarım arazilerinden ve hassas doğal ekosistemlerden meydana gelen toprak kaybına ek olarak, rüzgar erozyonu bazı önemli ekonomik problemlere sebep olur. Sediment kaynağı olan arazilerde, hareketli toprak parçacıkları kültür bitkilerine kum püskürtür ve bir fide alanına ciddi zarar verebilir (Fryrear and Downes, 1975; Armbrust, 1968; Skidmore, 1966). Bu zarar genellikle üreticiler için yeniden bitki dikim kararları ile sonuçlanır (Fryrear, 1973). İlave olarak, belirli ürünler ve belirli gelişme devrelerinde, kum püskürtmesi yaralanmaları hayatta kalan bitkilerde artan büyüme oranları ile sonuçlanabilir (Şekil 2; Baker, 2007). Rüzgarla uçurulan toprak parçacıklarının ürünler üzerindeki birikimi, onların verimini düşürür ve onların hasat ve sonrası işlenmelerini engeller (Farmer, 1993).

Yatay görüş uzaklığında aniden meydana gelebilecek azalmalar, sediment kaynağı olan arazilere yakın otoyollar üzerinde ulaşım ve ticaretin zarar görmesiyle sonuçlanabilir. Toz fırtınaları genellikle yatay görüş uzaklığını 10 metreden daha aşağı düşürür ve gelişmiş ülkelerde çok sayıda trafik kazasına ve ölümlere sebep olmaktadır. Çok sayıda kaza doğrudan rüzgarla sürülen kum ve tozlarla ilişkilendirilmiştir (Skidmore, 1994).



Şekil 2. Pamukta kum aşındırması (soldan sağa 0, 5, 10, 20, 30, 40 dk.) (Baker, 2007).

Rüzgarla sürülen kumun, özellikle yabancı ot çitleri boyunca ve drenaj hendeklerinde birikmesi, arazi sahipleri ve hükümet yetkilileri için, tekrar eden oldukça masraflı bakım görevlerine yol açar. Son dönem araştırma sonuçlarına göre rüzgarla aşındırılan toprağın çoğu sediment kaynağına çok yakın yerde biriktirilmiştir (Hagen et al., 2007) Arazi kenarları boyunca biriktirilmeyen aşınmış toprak, havada asılı hale gelir ve hava burgaçlı (türbülans) sınır tabakasında on metreden binlerce metre yüksekliğe kadar kaldırılabilir ve kaçak toz olarak adlandırılır (Gillett et al., 1997; Chen and Fryrear, 1996; Zobeck and Van Pelt, 2006).

#### 4.2. Uzakta Rüzgar Erozyonu Etkileri

Rüzgarın etkisiyle hareket eden tozlar, rüzgar altı tarafında, onlarca kilometrelerden yüzlerce kilometrelere kadar çevreyi, hayvanları ve insan sağlığını hem de sanayii, ulaşımı ve ticareti etkiler. Rüzgar akımları ve dolaşım modelleri kıtalar arasında daha küçük çaplı kaçak tozları taşıyabilmektedir. Afrika Sahra Çölünden uçurulan tozların Avrupa'ya (Goudie, 1978), Güney Amerika'ya (Talbot et al., 1990), Karayib Denzine (Delany et al., 1967), Kuzey Atlas Okyanusuna (Prospero, 1996), ve Kuzey Amerika'nın içlerine kadar kaynak bölgeden 9000 km den daha fazla uzağa (Gatz and Prospero, 1996) düştüğü kaydedilmiştir. Benzer olarak, Kuzey Çin Çöllerinden uçurulan tozlar Kore'de (Chung et al., 2003), Japonya'da (Lee et al., 2003), Kuzey Amerika'da (Shao, 2000), Alaska'da (Rahn et al., 1981), ve Hawaii'de (Braaten and Cahill, 1986) kaydedilmiştir. Mineral analiz sonuçlarına göre Greenland'in buzullarındaki toz tortularının önemli bir kısmı Doğu Asya kaynaklıdır (Svensson et al., 2000). Tozlar toprak ana materyalinin (Gile and Grossman, 1979; Reynolds et al., 2006), bitki besin elementlerinin, iz metallerin (Van Pelt and Zobeck, 2007), toprak canlılarının (Delany et al., 1967) ve insan kaynaklı zehirlerin (Larney et al., 1999) ekosistemler ve havzalar arasında taşınması için önemli bir etkidir. Dünyanın farklı bölgelerinde yer alan büyük lös tortuları aeolian tortulardandır (Tsoar and Pye, 1987) ve aeolian sedimentlerin daha az miktarlarının çökmesi anakayadan aşınmış veya nehir tortularından oluşan toprakların özelliklerini etkileyebilir (Rabenhorst et al., 1984). Toprak tozunun mineralojik, kimyasal ve canlı özellikleri yüklendiği yüzey tarafından belirlenir (Reheis and Kihl, 1995). Hastalık yapıcı mikroplar tozlar üzerinde taşınabilir ve uzak ekosistemleri ve insan sağlığını etkileyebilir (Leathers, 1981).

Taşınma süresince, tozlar çok sayıda kimyasal reaksiyonlara girebilir ve atmosferdeki insan kaynaklı parçacıkların reaksiyonlarını kolaylaştırır.  $\text{CaCO}_3$ , yarı kurak ve kurak bölgelerde yaygın bir toprak oluşturu ve böylece yaygın bir toprak tozu oluşturu (Gile and Grossman, 1979). Asit yağmuru dünya çapında bir problemdir, fakat bulutlarda veya etkilenmiş havzaların topraklarındaki asit türleri ile etkileşen karbonatça zengin tozların olduğu belli bölgelerde kısmen iyileştirme sağlanır (Litaor, 1987; Trochkin et al., 2003). Sülfür ve azotun insan yapımı oksitlerinden uzak bölgelerde, tozlardaki karbonatlar normal olarak hafif asitli yağmur suyunu alkaline yapabilir (Zhang et al., 2003).

Atmosfer asitleriyle reaksiyona giren  $\text{CaCO}_3$  parçacıkları daha çok su emerler (higroskopik) ve daha etkili yoğunlaşma çekirdekleri oluşturma eğilimindedirler (Krueger et al., 2004). Bu nemlenmiş toprak aerosolleri gazları ve diğer aerosolleri yakın atmosferden çekebilir, yağış için uygun durumdadır ve etkili bir şekilde atmosferi temizler. Toprak tozları üzerindeki hümik asit varlığı atmosferdeki nem tutamayan (hidrofobik) organik türler için oldukça çekicidir (Chiou, 1989). Hümik asit kaplı toprak tozlarının atmosferdeki kolaylaştırıcı (katalitik) etkisi, yüksek bağıl nemlerde hümik asitin nem tutamayan yapısına baskın gelir ve parçacıklar ince bir su tabakası emerler (Brooks et al., 2004). Ek olarak, güneş ışığının varlığında humusun etkili bir kolaylaştırıcı olması, organik kirletici maddelerin oksitlenmesinde etken olan oksijenin yüksek derecede tekrar işlevsel serbest radikallerini oluşturur (Miller et al., 1989).



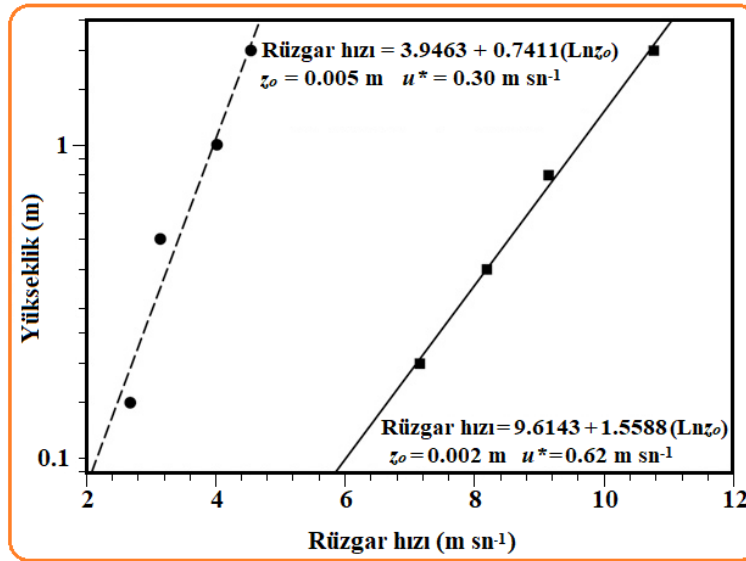
## 5. RÜZGAR EROZYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

### 5.1. Rüzgar

Rüzgâr, dünya yüzeyi ile etkileşime girdiğinde, yeryüzeyi rüzgara bir sürtünme direnci uygular ve yüzeye yakın seviyelerdeki rüzgar hızını azaltır (Şekil 1). Kuvvetli rüzgar olayları süresince, yeryüzeyine yakın sınır tabakası genellikle istatistiksel olarak sıfırdır ve rüzgar hızının düşey kesiti iyi bilinen yarı logaritmik eşitlik yardımıyla açıklanabilir:

$$u(z) = \frac{u^*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad [1]$$

Burada,  $u(z)$ ,  $z$  yüksekliğindeki rüzgar hızı;  $u^*$ , sürtünme (veya kesme) hızı;  $k$ , von Karman sabiti (0.4) ve  $z_0$  aerodinamik pürüzlülük yüksekliğidir. Sürtünme hızı yüzey üzerindeki kesme gerilmesinin bir ölçüsüdür ve rüzgar erozyonu için sürülme gücü olarak tahmin modellerinde kullanılmaktadır. Sürtünme hızı atmosferik hava burgacının göstergesidir ve yükseklik bir logaritmik ölçekte (Şekil 3) sunulduğunda rüzgar hız kesitinin eğimine orantılıdır.



Şekil 3. Rüzgar kesitleri

Aerodinamik pürüzlülük yüksekliği, yüzeye yakın rüzgar hızının sıfıra düştüğü ve yüzey özelliklerine bağlı olduğu teorik yüksekliği ifade eder.  $z_0$  değeri yaklaşık olarak pürüzlülük unsurları yüksekliğinin 1/30 değerine eşittir. Bitki örtüsüne sahip yüzeylerde,  $z_0$  değeri, bitki örtüsü rüzgarda bükme yaptıkça, rüzgar hızı ile birlikte değişiklik gösterebilir. Gerçekte, aerodinamik pürüzlülük yüzeyin momentumu emme kapasitesinin bir ifade şekli ve rüzgar erozyon çalışmalarında da önemli bir miktardır (Shao, 2000). Uygulamada, eğer biz y eksenine rüzgar hızı ve x eksenine yüksekliğin logaritmik değerini işaretlersek, normal olarak, eğim  $u^*/k$  ve sınırlanan kısım  $(u^*/k)\ln(z_0)$  ile düz bir hat elde ederiz. Rüzgar, erozyona sebep olmak için enerji sağlamasına rağmen, toprak yüzeyinin özellikleri ve şartları sonuçta erozyonun meydana gelip gelmediğini ve onun genişliğini kontrol edecektir.

## 5.2. Toprak Yüze Şartları

Topraklar, zaman içinde farklılık gösteren dinamik veya geçici özellikleri çok yavaş değişen, gerçek veya doğal özelliklere sahip madde olarak tanımlanır. Dinamik toprak özellikleri hava olayları, toprak işleme veya diğer yönetim işlemlerine tepki olarak çok hızlı bir şekilde değişebilir ve hacim yoğunluğu ve kuru agregat büyüklük dağılımı gibi özellikleri içerir. İç toprak örnekleri özellikleri, toprak dokusu, organik madde içeriği ve mineralojidir.

## 5.3. Toprak Tekstürü

Toprak tekstürü, rüzgar erozyonuna karşı toprağın duyarlılığını etkileyen en önemli toprak özelliğidir. USDA-NRSC, toprakların  $\text{CaCO}_3$  içerikleri ve tekstürlerine göre yıllık rüzgar erozyon aşınabilirliklerini bildirmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1. Toprak tekstürü ile toprak aşınabilirliği arasındaki ilişki (USDA-NRCS, 2002).**

TT	Yüzye tabakasının baskın toprak tekstür sınıfı	RAG	TAG
K	Çok ince kum (çakılsız)	1	694
	İnce kum, kum		560
	Kesin olmayan durumlarda		493
	Kaba kum (çakıllı)		403
	Kaba kum (çakıllı)		358
K	Tınlı çok ince kum, tınlı ince kum, tınlı kum, tınlı kaba kum veya saprik organik toprak materyalleri	2	300
K	Çok ince kumlu tın, ince kumlu tın, kumlu tın veya kaba kumlu tın	3	193
İ	Kil, siltli kil, kireçsiz killi tın veya siltli killi tın (kil oranı > %35)	4	193
O	Kalkerli tın ve siltli tın veya kalkerli killi tın ve siltli killi tın	4L	193
O	Kalkersiz tın ve siltli tın (kil oranı < %20) veya kumlu killi tın, kumlu kil ve hemik organik toprak materyalleri	5	125
O	Kalkersiz tın ve siltli tın (kil oranı > %20) veya kalkersiz killi tın (kil oranı < %35)	6	108
O	Silt, kalkersiz siltli killi tın (kil oranı < %35) ve fibrik organik toprak materyalleri	7	85
-	Kaba yüzey parçacıkları veya nemlilik sebebiyle rüzgar erozyonuna hassas olmayan topraklar	8	-

TT: Toprak tekstürü; K: Kaba; O: Orta; İ: İnce. RAG: Rüzgar aşınabilirlik grubu.

TAG: Toprak aşınabilirlik göstergesi;

Genel olarak, kumlar gibi kaba bünyeli topraklar, killi tın gibi daha ince bünyeli topraklardan daha fazla aşınabilir topraklardır. Kireçli topraklar, kireçsiz topraklara göre daha fazla aşınabilir topraklardır. Kalkerli topraklar yeterli  $\text{CaCO}_3$  içerirler, seyreltik asit uygulandığında köpürme meydana gelir. Toprak tekstürü ve  $\text{CaCO}_3$  içeriği zaman içinde çok yavaş değişen doğal toprak özellikleridir. Yine de, bu tekstürün değişmesinin imkansız olduğu anlamına gelmez. Uzun süre rüzgar erozyonuna maruz toprakların yüzeylerinin daha önceki orjinal toprak haritalarına göre şu anda daha kaba tekstüre sahip olduğu bazı araştırmalarla ortaya konmuştur. Zaman içinde kum içeriğindeki bağıl artış, daha ince parçacıkların rüzgar erozyonu ile topraktan savrulularak uzaklaştırılması sonucu ortaya çıkmıştır.

## 5.4. Toprak Nemi

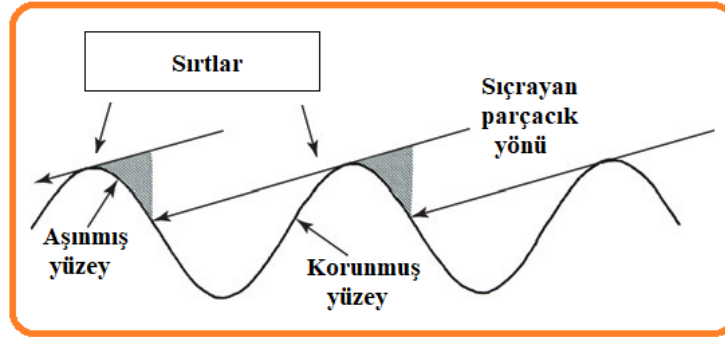
Yüzey toprak nem içeriği rüzgarla sediment aşınma ve taşınmasını birlikte kontrol eden son derece önemli bir değişkendir (Nickling, 1994). Rüzgar tüneli denemelerinde toprak nem içeriği açık bir şekilde, parçacıkların harekete başladığı andaki rüzgar eşik sürtünme hızını etkiler (Belly, 1964; Bisal and Hsieh, 1966; Chepil, 1956). Gravimetrik nem kapsamının %5 değerinden fazla olduğu kum büyüklüğündeki materyal, çoğu doğal rüzgarların aşındırmasına karşı doğal olarak

dirençlidir (Nickling, 1994). Rüzgarla toprağın aşındırılması, nemin etkilerine oldukça hassastır, hatta bağıl hava nemindeki farklılıklar bile parçacık eşik rüzgar hızını değiştirir (McKenna-Neuman and Sanderson, 2008; Ravi et al., 2006a,b).

### 5.5. YüzeY Pürüzlülüğü

Aerodinamik pürüzlülük uzunluğu rüzgar kesitinden belirlenir ve yüzeY üzerinde ortalama rüzgar hızının sıfır olduğu yüksekliktir. Bu değer deneysel olarak türetilen değer toprak yüzeYindeki pürüzlülük elemanlarıyla (kesekler, kayalar, bitkiler) hem de yüzeY mikrotopografyası veya mikroröliyefi ile ilişkilidir. Toprak yüzeY mikroröliyefi, yönetim veya hava şartları yüzünden hızlıca değişebilen dinamik bir toprak özelliğidir.

Sürülen tarım topraklarında, sürüm, toprak boyunca sürüm aletinin çekmesiyle sebep olunan, sürüm yönüne paralel olarak, doğrultulu bir pürüzlülük veya sırtlar üretir. Buna ilaveten, yüzeYdeki agregatların veya keseklerin rastgele yönlendirilmesinden üretilen bir rastgele pürüzlülük vardır. Rüzgar erozyonu, rastgele ve yönlendirilmiş pürüzlülüklerin her ikisine de hassastır. Sürümün sebep olduğu pürüzlülük,  $z_0$  değerini değiştirmek ve de toprak yüzeYini aşındırıcı parçaların etkisinden korumak için rüzgar kesitinin etkisini azaltacaktır. Genel olarak, keseklerin veya sırtların büyüklüğü arttıkça aerodinamik pürüzlülük uzunluğu artar. Değişimin miktarı sırtlar ve keseklerin büyüklüğü ve boşluğu ile bağlantılıdır. Ek olarak, sürümün oluşturduğu pürüzlülüğün rüzgar erozyonu üzerindeki etkileri, sırtlar mevcut olduğu zaman rüzgar yönüne bağlı kalacaktır. Aşındırıcı rüzgarlar çıplak bir toprak yüzeYine dik olarak estiği zaman, sırtlar toprak yüzeYinin bir parçasını fiziksel olarak koruyacaktır (Şekil 4).



Şekil 4. Sırtların fiziksel işlevleri

Rüzgar sürüme paralel yönde estiğinde sırtlar küçük bir etkiye sahiptir. Yığılımlı siper açığı dağılımı (CSAD) adı verilen bir mikroröliyef göstergesi, sıçrayan tanelerce aşındırmaya hassas sürülmüş toprak kısmını tahmin etmek için kullanılır (Potter and Zobeck, 1990). Bu göstergenin sürüm aletlerine, yağışa ve rüzgar yönüne hassas olduğu ortaya konmuştur.

### 5.6. Agregat Özellikleri

Toprak agregatları veya pedler doğal olarak birincil toprak parçacıklarının yapısal birimler oluşturmasıyla meydana gelirler. Doğal toprak gelişiminin bir sonucu olarak şekillenirler. Agregatlar içindeki kohezyon kuvvetleri komşu agregatlar arasındaki kohezyon kuvvetlerinden daha büyüktür. Böylece, basınç, toprağı zayıf yüzeylerinden parçalamak için etkilediği zaman agregatlar oluşturulur. Toprak kesekleri agregatlara benzerler ve toprak idare işlemleri tarafından üretilir ve pek çok agregatları kapsayabilirler.



### 5.6.1. Kuru agregat büyüklük dağılımı

Toprak yüzeyinde mevcut olan büyüklük sınıfına göre kütle bazında hava kurusu agregatların ve keseklerin bağıl miktarını ifade eder (Zobeck, 1991a). Bir rotar eleği kuru agregat dağılımını belirlemek için kullanılır (Chepil, 1962). Rüzgar erozyonu aşındırılmayan agregatlar olarak adlandırılan 0.84 mm çapından büyük agregatların miktarı ile bağlantılıdır. Çizelge 2 de I değeri olarak adlandırılan, aşındırılmayan agregatların yüzdesinin bir işlevi olarak toprak rüzgar aşınabilirliği verilmiştir. Kuru agregat büyüklük dağılımı yaygın olarak, bir Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametreleri olarak veya bir lognormal dağılımdan türetilen geometrik ortalama ve geometrik standart sapma olarak açıklanır. Weibull dağılımı sürülmüş topraklar için kuru agregat büyüklük dağılımının açıklanmasında daha doğru ve hassas olduğu gösterilmiştir (Zobeck et al., 2003).

**Çizelge 2. Toprak erozyon aşınabilirliği (> 0.84 mm, %)**

Birlik →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Onluk ↓	Mg ha <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup>									
0	-	694	560	493	437	403	381	358	336	314
10	300	293	287	280	271	262	253	244	237	228
20	220	213	206	202	197	193	186	181	177	170
30	166	161	159	155	150	146	141	139	134	130
40	125	121	116	114	112	108	105	101	96	92
50	85	81	74	69	65	60	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 5.6.2. Kuru agregat dayanıklılığı

Fiziksel kuvvetlerin sebep olduğu parçalanmaya karşı toprak agregatlarının direnci olarak açıklanır. Agregat içindeki bağlayıcı elemanların bağlama kuvvetinin bir ölçüsüdür (Skidmore and Powers, 1982). Agregat dağılmasına sebep olan fiziksel kuvvetler sürümün bir sonucu olarak meydana gelebilir fakat sıçrayan tanelerin etkisiyle ortaya çıkan fiziksel kuvvetleri de kapsayabilir. Sürülmüş topraklarda örneklerin kuru agregat dayanıklılığı, rotar eleği kullanılarak tekrarlanan elemeler tarafından belirlenmiştir (Chepil, 1958). Bu durumda, kuru agregat dayanıklılığı parçacıkların ağırlığı veya ikinci elemenden sonra 0.84 mm den büyük agregatların, birinci eleme sonunda 0.84 mm den büyük agregatların veya parçacıkların ağırlığına bölünmesiyle hesaplanır. Bireysel toprak agregatlarının dayanıklılığı, bilinen bir son noktada agregatı parçalamak için gerekli olan kuvvetin ölçülmesiyle belirlenir (Hagen et al., 1995). Bu durumda, yaklaşık 15 mm çapındaki bir agregatı parçalamak için gerekli olan enerji **parçalama enerjisi** (crushing energy) olarak adlandırılır. Kuru agregat dayanıklılığının, yüzey aşınmasından toprak erozyonunun baskın bir belirleyicisi olduğu gösterilmiştir (Hagen, 1991). Agregat kil içeriği ve solma noktasındaki su içeriği ortalama agregat dayanıklılığının iyi bir belirteçlerdir (Skidmore and Layton, 1992).

### 5.7. Yüzey Kabuklanması

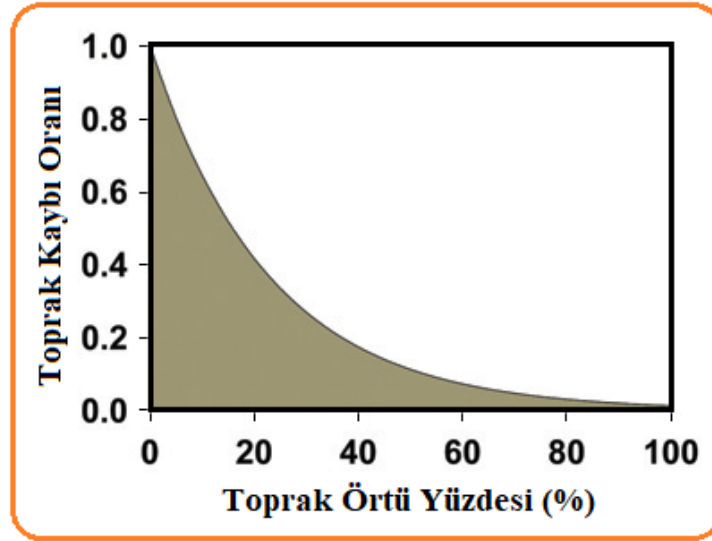
**Yüzey kabuklanması** ince pekişmiş bir toprak yüzeyini veya **kaymak**, daha sıkışmış ve hemen altındaki materyalden daha yapışkan bir yüzeyi ifade eder. Kabuklar oluştuğu zaman, parçacıklar birlikte bağlanır ve uçurularak aşınmaya kabuk altındaki daha az kararlı materyalden daha az hassastır. Doğal şartlar altında, kabuklar fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların bir

çeşidinden oluşur (Neave and Rayburg, 2007). Meralarda, biyolojik kabuklar, küçük parçacıklar daha büyük aşınmayan agregatlara bağlanarak toprağın sabitlenmesinde kısmen etkili olabilir ve toprak, rüzgar erozyonundan korunabilir (Eldridge and Greene, 1994; Leys and Eldridge, 1998).

Ürün yetiştirilen topraklarda, ilk sürüm yüzeyi karıştırır ve gevşetir. Yağış, sürümden sonra kabuk veya kaymak oluşturan birincil etkidir. Yağışın kabuk oluşumu üzerindeki etkileri üzerine yıllardır çalışılmaktadır. **Kabuk sabitliği** olarak bilinen aşınan parçacıklara karşı kabuk direnci, toprak özellikleri ve yağış oranı veya kabuk oluşturmak için kullanılan enerji ilgilidir (Zobeck, 1991b).

Kumlu topraklarda, yağıştan sonra kabukta gevşek, pekiştirilmemiş aşınabilir materyal (**LEM**) kalabilir ve rüzgar erozyonuna oldukça duyarlıdır. LEM zıpladıkça veya sıçradıkça roket veya mermi gibi davranır ve yüzeyi kum püskürtmesiyle aşındırır. Kabuklaşmış topraklardaki LEM kütlelerini doğal toprak özellikleri, yönetim ve iklim faktörleri etkiler (Zobeck, 1991b).

Taşlar, sabit aşınmayan agregatlar, bitki ve diğer aşınmayan materyaller fiziksel olarak toprak yüzeyini rüzgarın direk gücünden ve aşınan kum parçacıklarından korur veya zırh gibi kaplar. Koruma etkisi, yüzeydeki aşınmayan materyalin miktarı ile ilgilidir. Toprak kayıpları oranı (Şekil 5) çıplak, korunmamış topraklarda erozyon tarafından bölünen korunmuş toprak için gözlenen erozyonun oranıdır. %20 aşınmayan materyal ile kaplı toprak, kayıpları %57; %50 aşınmayan materyal ile kaplı toprak, kayıpları %95 azaltmıştır (Fryrear, 1985).



Şekil 5. Toprak kaybı oranı

## 6. ALINACAK ÖNLEMLER

Rüzgar erozyonunun kontrolünde alınacak bütün kültürel önlemler ancak belli ve geçici bir dönem için etkilidir. Erozyonun başlamasına engel olmak, durdurulmasından daha kolaydır ve genellikle daha ucuzdur. Bu yüzden önlemlerin erozyon başlamadan önce alınması zaman, para, iş gücü gibi etkenlerin daha verimli kullanılmasını sağlar.

Başlıca koruma önlemleri, toprağı özelliklerine göre en doğru şekilde kullanmak, en uygun bitki desenini ve nöbet sistemini belirlemek, gerekirse en ucuz ve en etkin fiziksel önlemleri almak, yüzeyin bitki örtüsünü ve direncini artırmak, tarım yapılamayn arazilerde doğal şartları korumak ve teşvik etmek olarak özetlenebilir.

## 7. SONUÇLAR

Rüzgar erozyonu yanlış uygulamalar sonucu hızlandırılan doğal bir olaydır ve hatta bazen de doğal bir afettir. Yaptığı zararlardan korunabilmek veya bu zararları azaltabilmek için rüzgar erozyonu ve etkilerinin iyi bilinmesi gerekir. Rüzgar erozyonunu teşvik eden olaylar ve bu olaylara direkt veya dolaylı karşı koymalar tüm dünyanın problemi ve çözmesi gereken ödevidir. Kimsenin bana bir şey olmaz demeye hakkı yoktur. Önlem alınmazsa bir gün hepimizin kapısını gelip çalacaktır. Rüzgar erozyonu ile mücadelede ilk adım onun tanınması ve belli özelliklerinin belirlenmesidir. Bu şekilde yapılacak çalışmalar daha az maliyetler ve daha güvenilir sonuçlar ortaya koyacak ve ileriye dönüş çalışmalarına yardımcı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Armbrust, D.V., 1968. Windblown soil abrasive injury to cotton plants. *Agron. J.*, 60, 622-625.
- Baker, J.T., 2007. Cotton seedling abrasion and recovery from windblown sand. *Agron. J.*, 99, 556-561.
- Belly, P.Y., 1964. Sand movement by wind. Tech. Memor. 1. U.S. ARMY Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Bisal, F., J. Hsieh, 1966. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 102, 143-146.
- Braaten, D.A., T.A. Cahill, 1986. Size and composition of dust transported to Hawaii. *Atmos. Environ.*, 20, 1105-1109.
- Brooks, S.D., P.J. DeMott, S.M. Dreidenweis, 2004. Water uptake by particles containing humic materials and mixtures of humic materials with ammonium sulfate. *Atmos. Environ.*, 38, 1859-1868.
- Chen, W., D.W. Fryrear, 1996. Grain-size distributions of wind-eroded material above a flat bare soil. *Phys. Geogr.*, 17, 554-584.
- Chepil, W.S., 1956. Influence of moisture on erodibility of soil by wind. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 20, 288-292.
- Chepil, W.S., 1958. Soil conditions that influence wind erosion. USDA Tech. Bull. 1185. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Chepil, W.S., 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 26, 4-6.
- Chiou, C.T., 1989. Theoretical considerations of the partition uptake of nonionic organic compounds by soil organic matter. p. 1-30. In B.L. Sawhney and K. Brown (ed.) Reaction and movement of organic chemicals in soils. SSSA Spec. Publ. 22. SSSA, Madison, WI.
- Chung, Y.S., H.S. Kim, J. Dulam, J. Harris, 2003. On heavy dustfall observed with explosive sandstorms in Chongwon-Chongju, Korea in 2002. *Atmos. Environ.*, 37, 3425-3433.
- Delany, A.C., A. Claire Delany, D.W. Parkin, J.J. Griffin, E.D. Goldberg, B.E.F. Reimann, 1967. Airborne dust collected at Barbados. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31, 885-909.
- DPIPWE, 2018. Erişim tarihi: 16.12.2018.  
<https://dripwe.tas.gov.au/agriculture/land-management-and-soils/soil-management/soil-erosion/soil-erosion-types/wind-erosion>.
- Eldridge, D.J., R.S.B. Greene, 1994. Microbiotic soil crusts: A review of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 32, 389-415.

- Farmer, A.M., 1993. The effects of dust on plants: A review. *Environ. Pollut.*, 79, 63-75.
- Fryrear, D.W., 1985. Soil cover and wind erosion. *Trans. ASAE*, 28, 781-784.
- Fryrear, D.W., 1973. Wind damage....should I replant? *Am. Cotton Grower* May, p. 12-25.
- Fryrear, D.W., J.D. Downes, 1975. Estimating seedling survival from wind erosion parameters. *Trans. ASAE*, 18, 888-891.
- Gatz, D.F., J.M. Prospero, 1996. A large silicaluminum aerosol plume in central Illinois: North African dust? *Atmos. Environ.*, 30, 3789-3799.
- Gile, L.H., R.B. Grossman, 1979. The desert project soil monograph: Soils and landscapes of desert region astride the Rio Grande Valley near Las Cruces, New Mexico. USDA-SCS, U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Gillette, D.A., D.W. Fryrear, T.E. Gill, T. Ley, T.A. Cahill, E.A. Gearhart, 1997. Relation of vertical flux of particles smaller than 10  $\mu\text{m}$  to total aeolian horizontal mass flux at Owens Lake. *J. Geophys. Res.*, 102, 26009-26015.
- Goudie, A.S., 1978. Dust storms and the geomorphological implications. *J. Arid Environ.*, 1, 291-310.
- Grini, A., G. Myhre, C.S. Zender, J.K. Sundet, I.S.A. Isaksen, 2003. Model simulations of dust source and transport in the global troposphere: Effects of soil erodibility and wind speed variability. Institute Report Ser., 124. Dep. of Geosciences, Univ. of Oslo.
- Hagen, L.J., S. Van Pelt, B. Sharratt, 2010. Estimating the saltation and suspension components from field wind erosion. *Aeolian Research*, 1, 147-153.
- Hagen, L.J., S. Van Pelt, T.M. Zobeck, A. Retta, 2007. Dust deposition near an eroding source field. *Earth Surf. Process. Landforms*, 32, 281-289.
- Hagen, L.J., B. Schroeder, E.L. Skidmore, 1995. A vertical soil crushing-energy meter. *Trans. ASAE*, 38, 711-715.
- Hagen, L.J., 1991. Wind erosion mechanics: Abrasion of aggregated soil. *Trans. ASAE*, 34, 831-837.
- Karaoğlu, M., 2016. Erozyon mu? *Avrasya Terim Dergisi*, ISSN: 2147-7507, 4(1), 39-44.
- Karaoğlu, M., 2014. Erozyon, rüzgâr erozyonu ve İğdır-Aralık örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, ISSN: 2148-3647, 1(2), 167-172.
- Kennedy, A.C., 1998. Biological fingerprinting of dust aerosols. p. 49-50. In A. Busacca (ed.) *Dust Aerosols, Loess Soils, and Global Change*. Proc. Washington State Univ. Workshop October 11-14, 1998 Seattle, WA. Misc. Publ. MISC0190. College of Agriculture and Home Economics, Washington State Univ., Pullman.
- Krueger, B.J., V.H. Grassian, J.P. Corwin, and A. Laskin, 2004. Heterogeneous chemistry of individual mineral dust particles from different dust source regions: The importance of particle mineralogy. *Atmos. Environ.*, 38, 253-6261.
- Larney, F.J., J.F. Leys, J.F. Muller, G.H. McTainsh, 1999. Dust and endosulfan deposition in cotton-growing area of northern New South Wales, Australia. *J. Environ. Qual.*, 28, 692-701.
- Leathers, L.H., 1981. Plant components of desert dust in Arizona and their significance for man. In T.L. Pewe (ed.) *Desert dust: Origin, characteristics, and effect on man*. Spec. Publ. 186. Geological Society of America, Boulder, CO.
- Lee, H.N., T. Tanaka, M. Chiba, Y. Igarashi, 2003. Long range transport of Asian dust from dust storms and its impact on Japan. *Water Air Soil Pollut. Focus*, 3, 231-243.

- Leys, J.F., and D.J. Eldridge. 1998. Influence of cryptogamic crust disturbance to wind erosion on sand and loam rangeland soils. *Earth Surf. Process. Landforms*, 23, 963-974.
- Litaor, M.I., 1987. The influence of eolian dust on the genesis of alpine soils in the Front Range, Colorado. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51, 142-147.
- Lyles, L., 1975. Possible effects of wind erosion on soil productivity. *J. Soil Water Conserv.*, 30, 279-283.
- McKenna-Neuman, C.M., W.G. Nickling, 1989. A theoretical and wind tunnel investigation of the effect of capillary water on the entrainment of sediment by wind. *Can. J. Soil Sci.* 69:79-96.
- Miller, G.C., V.R. Herbert, W.W. Miller, 1989. Effect on sunlight on organic contaminants at the atmosphere-soil interface. p. 99-110. In B.L. Sawhney and K. Brown (ed.) *Reaction and movement of organic chemicals in soils*. SSSA Spec. Publ. 22. SSSA, Madison, WI.
- Neave, M., S. Rayburg, 2007. A field investigation into the effects of progressive rainfall-induced soil seal and crust development on runoff and erosion rates: The impact of surface cover. *Geomorphology*, 87, 378-390.
- Nickling, W.G., 1994. Aeolian sediment transport and deposition, p. 293-350. In K. Pye (ed.) *Sediment transport and depositional processes*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- NSW, 2018. Erişim tarihi: 16.12.2018.  
<https://www.environment.nsw.gov.au/topics/land-and-soil/soil-degradation/wind-erosion>.
- Potter, K.N., T.M. Zobeck, 1990. Estimation of soil microrelief. *Trans. ASAE*, 33, 156-161.
- Prospero, J.M., 1996. Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean and Mediterranean: An overview. p. 131-151. In S. Guerzoni and R. Chester (ed.) *The impact of desert dust across the Mediterranean*. Kluwer Academic Press, the Netherlands.
- Pye, K., 1987. *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich, New York.
- Rabenhorst, M.C., L.P. Wilding, C.L. Girdner, 1984. Airborne dusts in the Edwards Plateau region of Texas. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 621-627.
- Rahn, K.A., R.D. Borys, G.E. Shaw, 1981. Asian dust over Alaska: Anatomy of an Arctic haze episode. p. 37-70. In T.L. Pewe (ed.) *Desert dust: Origin, characteristics, and effect on man*. Spec. Publ. 186. Geological Society of America, Boulder, CO.
- Ravi, S., P. D'Odorico, B. Herbert, T. Zobeck, T.M. Over, 2006a. Enhancement of wind erosion by fire-induced water repellency. *Water Resour. Res.* 42:W11422, doi:10.1029/2006WR004895.
- Ravi, S., T.M. Zobeck, T.M. Over, G.S. Okin, and P. D'Odorico. 2006b. On the effect of moisture bonding forces in air-dry soils on threshold friction velocity of wind erosion. *Sedimentology*, 53, 597-609.
- Reheis, M.C., R. Kihl, 1995. Dust deposition in southern Nevada and California, 1984-1989: Relations to climate, source area, and source lithology. *J. Geophys. Res.*, 100, 8893-8918.
- Reynolds, R., J. Neff, M. Reheis, P. Lamothe, 2006. Atmospheric dust in modern soil on aeolian sandstone, Colorado Plateau (USA): Variation with landscape position and contribution to potential plant nutrients. *Geoderma*, 130, 108-123.
- Shao, Y., 2000. *Physics and modelling of wind erosion*. Kluwer Academic Publ., Boston.
- Skidmore, E.L., 1994. Wind erosion. p. 265-293. In R. Lal (ed.) *Soil erosion research methods*. 2nd ed. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, IA.



- Skidmore, E.L., 1966. Wind and sandblast injury to seedling green beans. *Agron. J.*, 58, 311-315.
- Sterk, G., L. Hermann, A. Bationo., 1996. Wind-blown nutrient and soil productivity changes in southwest Niger. *Land Degrad. Devel.*, 7, 325-335.
- Skidmore, E.L., D.H. Powers, 1982. Dry soil-aggregate stability: Energy-based index. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, 1274-1279.
- Stetler, L.D., K.E. Saxton, D.W. Fryrear., 1994. Wind erosion and PM<sub>10</sub> measurements from agricultural fields in Texas and Washington. 87th. Paper 94-FA145.02. Air and Waste Management Assoc., Cincinnati, OH.
- Svensson, A., P. E. Biscaye, F. E. Grousset, 2000. Characterization of late glacial continental dust in the Greenland Ice Core Project ice core. *J. Geophys. Res.*, 105(D4), 4637-4656.
- Talbot, R.W., M.O. Andreae, H. Berresheim, P. Artaxo, M. Garstang, R.C. Harriss, K.M. Beecher, S.M. Li, 1990. Aerosol chemistry during the wet season in central Amazonia: The influence of long-range transport. *J. Geophys. Res.*, 95, 16955-16969.
- Toy, T.J., G.R. Foster, K.G. Renard, 2002. Soil erosion: Processes, prediction, measurement, and control. John Wiley and Sons, New York.
- Trochkin, D., Y. Iwasaka, A. Matsuke, M. Ymada, Y.S. Kim, D. Zhang, G.Y. Shi, Z. Shen, G. Li, 2003. Comparison of the chemical composition of mineral particles collected in Dunhuang, China and those collected in the free troposphere over Japan: Possible chemical modification during long-range transport. *Water Air Soil Pollut. Focus*, 3, 161-172.
- Tsoar, H., K. Pye, 1987. Dust transport and the question of desert loess formation. *Sedimentology*, 34, 139-153.
- USDA-NRCS. 2002. National agronomy manual. 3rd ed. Available at <http://www.nrcs.usda.gov/technical/agronomy.html> (verified 7 Dec. 2010). USDA-NRCS.
- Van Pelt, R.S., and T.M. Zobeck. 2007. Chemical constituents of fugitive dust. *Environ. Monit. Assess.*, 130, 3-16.
- Zhang, D.D., M. Peart, C.Y. Jim, Y.Q. He, B.S. Li, J.A. Chen, 2003. Precipitation chemistry of Lhasa and other remote towns, Tibet. *Atmos. Environ.*, 37, 231-240.
- Zobeck, T.M., R.S. Van Pelt, 2014. Wind Erosion. USDA Agricultural Research Service. Lincoln, Nebraska. Publications from USDAARS/UNL Faculty. Paper 1409, 209-227.
- Zobeck, T.M., R.S. Van Pelt, 2006. Wind-induced dust generation and transport mechanics on a bare agricultural field. *J. Hazard. Mater.*, 132, 26-38.
- Zobeck, T.M., T.W. Popham, E.L. Skidmore, J.A. Lamb, S.D. Merrill, M.J. Lindstrom, D.L. Mokma, R.E. Yoder, 2003. Aggregate-mean diameter and wind-erodible soil predictions using dry aggregate-size distributions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 425-436.
- Zobeck, T.M., 1991a. Soil properties affecting wind erosion. *J. Soil Water Conserv.* 46, 112-118.
- Zobeck, T.M., 1991b. Abrasion of crusted soils: Influence of abrader flux and soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 1091-1097.
- Zobeck, T.M., D.W. Fryrear, 1986a. Chemical and physical characteristics of windblown sediment. I. Quantities and physical characteristics. *Trans. ASAE*, 29, 1032-1036.
- Zobeck, T.M., D.W. Fryrear, 1986b. Chemical and physical characteristics of windblown sediment. II. Chemical characteristics and total soil and nutrient discharge. *Trans. ASAE*, 29, 1037-1041.