

Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği İklim Faktörünün Ulusal Ölçekte Belirlenmesi

Kenan İnce^{1*} Suat Şahin¹ Günay Erpul²

¹T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara
²Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Beslenme Bölümü, Ankara

*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail): kenan.ince@tarimorman.gov.tr

Geliş tarihi (Received): 24.05.2018

Kabul tarihi (Accepted): 19.07.2018

DOI: 10.21657/topraksu.460715

Öz

Türkiye’de toprak ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve etkin kullanımı kapsamında rüzgâr erozyonuna maruz alanları belirlemek üzere ulusal ölçekte rüzgâr erozyonunun tahmin edilebilmesi için kapsamlı, dinamik ve güncellenebilir veri kümelerinin oluşturulması kaçınılmazdır. Bu maksatla Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) tarafından Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği (RWEO: Revised Wind Erosion Equation) kullanılarak ülkemizde rüzgâr erozyonu modelleme çalışmaları başlatılmıştır. Genel olarak iklim, toprak, topoğrafya, bitki örtüsü ve yönetim değişkenlerinden oluşan RWEO modelinin, iklim parametresi (W_F : Weather Factor) birim mesafeden kaybolan ilk tahmini toprak kaybı (kg m^{-1}) yaklaşımının ayrıntıları bu yayında verilmiştir. Türkiye’de farklı konumlarda dağılım gösteren 312 Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu (OMGİ) tarafından düzenli olarak kayıt edilen uzun yıllara ait yarım saatlik ortalama rüzgâr hızı verileri temel veri altlığı olarak kullanılmıştır. Yapılan analizlere göre ülkemizde yıllık ortalama 27 gün rüzgâr erozyonuna neden olabilecek rüzgârlı gün sayısı olduğu belirlenmiştir. Ulusal ölçekte uzun yıllar veri kümelerinin değerlendirilmesiyle, W_F etmeni 16 yönde ve aylık olarak ayrıntılı bir şekilde haritalandırılarak ortaya konulmuştur. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen ülkesel hesaplamalar sonucunda Ortalama Yıllık W_F etmenine göre ülkemizin iç ve güney doğu kısımlarının rüzgâr erozyonuna en duyarlı alanlar olduğu, ortalama aylık değerlendirmelere göre ise Mart ayının (54.398 kg m^{-1}) rüzgâr erozyonu riski açısından en riskli ay olduğu belirlenmiştir. Netice olarak, RWEO modeli birinci aşama tahmini toprak kaybı miktarları, belirli zaman ölçekleri için konumsal olarak ortaya konulmuştur. Modele ait diğer parametre çözümlerinin de devreye sokulması ile Türkiye’de rüzgâr erozyonu sonucu taşınan sediment miktarı belirlenebileceği gibi rüzgâr erozyonunun zamansal ve mekânsal değişimi de değerlendirilebilecektir.

Anahtar Kelimeler: modelleme, RWEO, W_F , rüzgâr erozyonu

Revised Wind Erosion Equation Determination of Weather Factor at National Scale

Abstract

In terms of sustainable and efficient use of the soil and water resources in Turkey, it is inevitable to constitute comprehensive and dynamic datasets, which can be easily updateable, to predict wind erosion risk at the national scale. For this purpose, the General Directorate of Combating Desertification and Erosion (ÇEM) has recently initiated wind erosion modeling works, using the Revised Wind Erosion Equation (RWEO). In this paper the weather factor (W_F) of the RWEO model, which on the whole comprises climate, soil, topography, and vegetative cover and management variables to estimate soil

losses by wind erosion, is particularly given as the first approximation of soil loss per unit width (W_F , kg m^{-1}). The long term average 30-minute wind speed datasets regularly recorded by the 312 Automatic Meteorological Observation Stations (OMGi) spatially distributed in different locations over Turkey were used as a basic analytical data layer. Analytically evaluating the dataset hereunder provided that the mean annual number of days when erosive winds blow and a wind erosion event would be accordingly expected were 27 days in Turkey, and the monthly W_F maps of 16 wind direction sectors. All computations conducted at the national level in the framework of this study to designate spatial wind erosion vulnerability regarding mean annual W_F as climatic factor revealed that Central and South Eastern parts of Turkey are locationally very prone to the wind erosion and the month of March (54.398 kg m^{-1}) was found to be the most precarious month when temporal analysis was performed with average monthly data of W_F . Eventually, the countrywide first approximation of soil loss by wind erosion using RWEO W_F set spatially out by mappings for given timely intervals. After enabling the analytical works of other model parameters of soil, topography, vegetation and management by running RWEO throughout the rate of national sediment transport by wind erosion would not be only determined but its spatial and temporal variations would be also put forth in Turkey.

Key words: modelling, RWEO, W_F , wind erosion

GİRİŞ

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de en yaygın olarak görülen erozyon tipinin su erozyonu olmasına rağmen, rüzgâr erozyonu özellikle kurak ve yarı kurak bölge ekosistemlerini sürdürülebilir bağlamda işlevsiz hale getirebilmektedir. Gerek ülkemizde gerekse dünyada rüzgâr erozyonundan etkilenen alanların miktarı ve etkilenme düzeyleri konusunda kesin bilgileri bulunmamaktadır; ama iklimsel farklılaşmaların belirginleşmesiyle birlikte rüzgâr erozyonunun etki alanını oldukça önemli düzeyde artıracığı ön görülmektedir.

Yapılan çalışmalara göre dünya genelinde 432.2 milyon ha'lık bir alanın rüzgâr erozyonu tehlikesi ile karşı karşıya olduğu ve bu alanların kıtalara, iklim koşullarına vb. göre farklılık gösterdiği belirtilmektedir. En yüksek erozyon tehdidi 235.2 milyon ha ile kurak bölge toprakları için belirtilmiş olup yarı kurak ve yarı nemli alanlar için sırasıyla 150.2 ve 46.8 milyon ha olduğu belirlenmiştir (Midletton vd., 1986).

Ülkemizdeki rüzgâr erozyonu tehlikesi ise dünyanın birçok bölgesinde olduğu kadar yaygın olmamakla birlikte, sebep olduğu problemler bölgeler itibariyle farklılıklar göstermektedir ve bazen ciddi sorunlara neden olmaktadır. Rüzgâr erozyonuna duyarlı alanların dağılımına bakıldığında, erozyon tehlikesinin en çok Orta Anadolu bölgesini etkilediği görülmektedir. Rüzgâr erozyonunun başlıca arazi bozulması problemi olduğu yer ise Konya ili olup, ülke genelinde 465913 ha'lık alanı etkileyen tehlikenin

% 69.22'lik kısmı (322474 ha) Konya ilinin sınırları içerisinde gerçekleşmektedir (Acar, 2010).

Rüzgârla birlikte verimli olan mineral ve organik madde kapsamları açısından oldukça zengin üst toprak katmanının ortamdaki uzaklaşması ile toprakların tarımsal üretim potansiyelinin önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Tarım arazilerinde uçma ile sürüm kaynaklı toz taşınmaları da gizli bir tehdit olarak devam etmektedir. Rüzgâr erozyonu ile bitki örtüsü arasındaki ilişki göz önüne alındığında, sadece düzenli olarak işlenen tarım arazilerinde değil, ülkemizde sürdürülebilir bir şekilde yönetilemeyen zayıf çayır ve mera alanlarında da rüzgâr ile oluşan toprak taşınma tehlikesi mevcuttur. Anadolu'daki, yüksek bitkisel örtüye sahip taban arazi otlakları hariç, kurak ve yarı-kurak bölge bozkır ekosistemleri içten-içe rüzgâr erozyonu tehdidi altındadır. İklim değişikliği ve kuraklık etkisi altında olan meralar kalite ve iyi cins bitkilerin oranı yönüyle iyi durumda olmadıklarından kendilerinden beklenen yararları sağlayamamakta (Tekeli ve ark., 2005) ve bunun sonucu olarak da rüzgâr erozyonunun şiddetini gün geçtikçe artırması beklenilmektedir.

Ulusal ölçekte rüzgâr erozyonu değerleri ortalama olarak verilmekte ve herhangi bir yöntem veya modele dayalı olarak, su havzaları, alt havzalar ve mikro havzalar ölçeğinde konumsal dağılımı bilinmemektedir. Diğer bir deyişle, potansiyel rüzgâr erozyonu tehlikesini gösteren alanlar güncel ve tam olarak tespit edilmiş değildir. İklim

Değişikliği, Havza Bazlı İzleme Sistemleri ve Arazi Bozulmasının Dengelenmesi (Land Degradation Neutrality [LDN]) gibi değerlendirmelerin önem kazandığı günümüzde, toprak kayıpları, bağımsız kritik bir gösterge olarak kullanıldığı gibi, Arazi Verimlilik İndeksi, Toprak Organik Karbon Stoğu vb. indis ve parametrelerinin de elde edilmesi, değerlendirilmesi ve izlenebilmesi için önem arz etmektedir. Bunlara ek olarak, Sürdürülebilir Toprak Yönetimi (STY) ve Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY) açısından da erozyon kontrol çalışmalarını planlamak, korumalı doğal kaynak kullanımını sağlamak, mühendislik çalışmalarında kullanılmak üzere belirli konumsal ölçeklerde bilimsel ve model tabanlı erozyon risk değerlendirme çalışmalarının yapılması zorunluluk haline gelmiştir. Erpul vd. (2016), Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (YETKE) su erozyonu modeli iklim parametresi belirleme çalışmalarını başarı ile tamamlamıştır (Panagos vd., 2017); ayrıca Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği (YREE) iklim (rüzgâr) parametreleri için de benzer sürdürülebilir sistematik bir çalışma Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) tarafından başlatılmıştır (İnce, 2017).

Etkilediği alanlar ve yaptığı tahribatı göz önüne aldığımızda rüzgâr erozyonunun ölçülmesi ve izlenmesi, alınacak mühendislik önlemleri açısından son derece büyük öneme sahiptir.

Rüzgâr erozyonunun ilk ölçümleri Bagnold (1941) tarafından kendi geliştirdiği pasif bir tutucu ile yapılmıştır. Müteakiben çoğunluğu pasif tuzaklar olmak üzere, onlarca aktif ve pasif ölçüm cihazı tasarlanarak kullanılmaya başlanmıştır (Wilson ve Cooke, 1980; Fryrear, 1986; Cornelis ve Gabriels, 2003; Basaran vd., 2011).

Wilson and Cooke ve Big Spring Number Eight tuzaklar, pasif tuzaklar içerisinde en çok bilinen ve yaygın olarak kullanılanlardır (Acosta-Martinez vd., 2015). Başaran ve Erpul Sediment Tutucu (BEST) ise TÜBİTAK tarafından desteklenen 109O030 numaralı proje kapsamında geliştirilmiş ve yeni yeni Türkiye’de ve dünyanın birçok bölgesinde rüzgâr erozyonu ölçümlerinde kullanımı yaygınlaşan pasif tuzaklardandır (Basaran vd., 2011; Temur vd., 2012; Poortinga vd., 2013; Basaran vd., 2016; Çarman vd., 2016; Uzun vd., 2017; Basaran vd., 2017).

Son dönemlerde parsel boyutundan

havyaya kadar değişen farklı ölçeklerde tahmin yapabilecek, fiziksel ve matematiksel modellerin geliştirilmesine olan ilginin artmasıyla birlikte gayet büyük ölçeklerde rüzgâr erozyonu değerlendirme çalışmaları yapılmıştır (Zobeck vd., 2000; Visser vd., 2005; Youssef vd., 2012; Guo vd., 2013; Gong vd., 2014).

Dünya genelinde gerçekleştirilen rüzgâr erozyonu modelleme çalışmalarından ilki ise Woodruff ve Siddoway (1965) tarafından geliştirilen ilk arazi ölçekli ‘Rüzgâr Erozyonu Eşitliği (WEO)’dir. Daha sonra, WEO modeli tekrar gözden geçirilmiş ve ‘Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği (RWEO)’ olarak 1998 yılında sunulmuştur. Ülkemizde yürütülen ilk sistematik bölgesel rüzgâr erozyonu çalışması ise TÜBİTAK tarafından desteklenen, Bölgesel Ölçekte Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği (YREE / RWEO) ile Konya ili Karapınar ilçesi için Rüzgâr Erozyonu Risk Değerlendirilmesi çalışmasıdır (Erpul, 2012).

Adı geçen proje; rüzgâr erozyonu kaynaklı arazi bozulumu değerlendirmelerinin alt ve üst ölçeklerde kapsamlı ve sistematik olarak yapılma zorunluluğunu ortaya koymuştur. Bu yüzden, Türkiye’de hem nokta ölçümlerine dayalı hem de parsel ve bölgesel ölçeklerde çalışmalar yapılmasının gerekliliği ortadadır.

Bütün bunları göz önüne aldığımızda rüzgâr erozyonunun ulusal ölçekte tahmin edilmesi ve izlenebilirliğinin sağlanabilmesi için oldukça kapsamlı, dinamik ve güncellenebilir veri kümelerine ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmaktadır. Ancak bu şekilde etkin korunma yöntemlerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir kaynak kullanımının bu bölgeler için yaygınlaştırılabilmesi mümkün olabilecektir. Hali hazırda Türkiye’de, rüzgâr erozyonunu bölgeselden ziyade ulusal ölçekte değerlendirebilecek detaylı ölçüm ve araştırma bulunmamaktadır.

Rüzgâr erozyonuyla etkin mücadelede edebilmek ve etkili gelecek planlaması ile oluşabilecek zararları en aza indirmek amacıyla öncelikle olası erozyon tehditlerinin doğru senaryolar altında tahmin edilmesi ve değerlendirmelerin noktasaldan ziyade bölgeselden ulusala doğru artan ölçeklerde ortaya konulması gerekmektedir. Bu nedenle Türkiye’de rüzgâr erozyonu potansiyeline sahip alanlar ile rüzgâr erozyonuna maruz kalan alanların dinamik

bir sistemle tespit edilerek bu alanlarda alınacak önlemlerin belirlenmesinde ilgili planlayıcı devlet kuruluşlarınca da kullanılmak üzere model temelli sistemlerin kurulması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Türkiye ölçeğinde rüzgâr erozyonu sonucu taşınan sediment miktarının modellenmesinde RWEQ (Fryrear vd., 2000) esas alınarak ÇEM tarafından değerlendirme çalışmalarına yönelik olarak 'Ulusal Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Risk Haritasının Hazırlanması Projesi' başlatılmıştır (ÇEM,2016).

Bu yayında, ilgili proje (ÇEM, 2016) kapsamında gerçekleştirilen rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü değerleri modelleme çalışmaları ve oluşturulan altlıklar hakkında bilgi verilmiştir. Ulusal ölçekteki çalışma alanlarında rüzgârla taşınan sediment miktarının değerlendirilmesinde kullanılan RWEQ eşitliğine ait Rüzgâr Erozyonu İklim Faktörü (W_F) ($kg\ m^{-1}$) değerlendirme sonuçları ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmuştur.

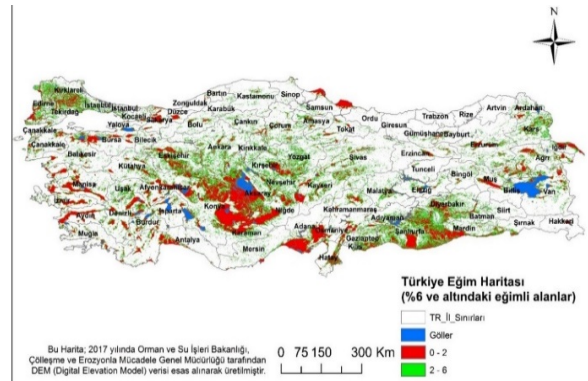
MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

Rüzgâr erozyonu, özellikle kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgelerde yeterli bitki örtüsü bulunmayan oldukça düz ve geniş arazilerde, gevşek kuru yapıdaki, kum ve silt miktarı fazla olan toprağın şiddetli rüzgârların etkisi ile parçacıklar halinde yerinden oynatılarak, taşınması ve birikmesi sürecidir. Düz ve düze yakın açık arazilerde rüzgâr hızını kesecek ya da yavaşlatacak fazla engebe, ağaçlar vb. olmadığında; yani farklı arazi ve toprak pürüzlülük unsurlarının bulunmadığı koşullarda rüzgâr hız parametrelerinin erozyon süreçleri üzerindeki etkisi bilakis daha şiddetli olmaktadır.

Bu maksatla rüzgâr erozyonunun genellikle yüzde altı (% 6) ve altındaki eğimde düz ve düze yakın arazilere sahip geniş alanlarda meydana geldiği genel kabulünden yola çıkarak tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde %6 ve altındaki eğime sahip alanlar Sayısal Yükseklik Modeline (SYM) (DEM: Digital Elevation Model) göre belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeye göre (Şekil 1) Türkiye'de % 0-2 arasındaki eğime sahip kara alanı yaklaşık 9.7 milyon ha; % 2-6 arasında eğime sahip kara alanı ise yaklaşık 9.5 milyon ha olarak belirlenmiştir.

Bu eğim sınıflarına ait arazilerde genellikle tarım yapılmaktadır. Bu yüzden, uygulanan kurak ve



Şekil 1. Türkiye Eğim Haritası (% 6 ve altındaki eğimli alanlar)

Figure 1. Slope Map of Turkey (sloping fields ≤ 6%)

yarı-kurak bölge toprak işleme ve bitkisel üretim münavebe şekillerine bağlı zamansal veya mevsimsel bitkisel pürüzlülük değişimleri göz önünde bulundurulduğunda, bu alanlarda rüzgâr erozyonu için duyarlı koşulların oluştuğu sonucuna kolaylıkla varılabilir. Rüzgâr erozyonunun iklimsel etkisinin değerlendirildiği bu aşamada zamansal bitki örtüsü değişimi dikkate alınmamış olsa da, RWEQ model yaklaşımı bu tür dinamik değişimleri farklı toprak ve bitki pürüzlülük değişkenleri ile dikkate almaktadır.

Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği Modeli (RWEQ)

İlk arazi ölçekli rüzgâr erozyonu tahmin çalışması olan WEO (Wind Erosion Equation) (Woodruff and Siddoway, 1965), tekrar gözden geçirilerek RWEQ olarak kullanıma sunulmuştur; RWEQ, ABD'deki tarım alanlarında toprak kaybını tahmin etmek için geliştirilen deneye dayalı ve süreç temelli modelleme teknolojilerinin bir bileşkesidir (Fryrear vd., 1998; Fryrear vd., 2000).

Ayrıca RWEQ büyük ölçekte uygulanıp test edilen ilk modeldir. Denklem, belirlenen bir süre boyunca yerden 2m yükseklik içinde rüzgârla aşınmış ve taşınan toprak miktarını tahmin etmektedir. Denklem nispeten basittir ve farklı ölçeklere uyarlanarak kolaylıkla kullanılabilen ve hem olay esaslı hem de yıllık eklemeli toprak kayıplarını küçük parsellerde yüksek doğrulukta hesaplayabilmektedir (Fryrear vd., 1998; Fryrear vd., 1999; Saleh vd., 2000; Zobeck vd., 2000; Zobeck vd., 2001; Buschiazzo & Zobeck, 2008; Youssef vd., 2012; Panebianco & Buschiazzo, 2013; Guo vd., 2013; Borelli vd., 2014; Borelli vd., 2016).

Bölgesel ölçekli rüzgâr erozyonu sahalarında

RWEO'in kullanılabilmesi için, toprak özellikleri, bitki örtüsü kapallığı ve yüksekliği, arazi pürüzlülüğü, toprak nem içeriği ve toprak yüzeyinde oluşan logaritmik rüzgâr hız profilinde oluşacak konumsal değişimler ve arazi kullanım değişimlerinin belirlenmesi gerekliliği vardır. Potansiyel erozyon riskini belirlemek amacıyla, RWEO modeli, diğer taşınma eşitliklerinde olduğu gibi, ya sürtünme hızının küpünü veya referans yükseklikteki rüzgâr hızının küpünü iklimsel parametre olarak kullanmaktadır.

RWEO modeli, sürtünme hızı (friction velocity, shear velocity [kesme hızı]) yerine 2m yükseklikteki rüzgâr hızını kullanmaktadır. Bunun yanında, eşik rüzgâr hızı (threshold wind velocity: toprak taneciklerinin parçalanması ve sürekli taşınmaları için gerekli minimum rüzgâr hızı) potansiyel rüzgâr erozyonunu hesaplamalarında değerlendirilmektedir.

Arazi koşullarında, gerçek eşik rüzgâr erozyonu hızı, rüzgâr olayı esnasında, toprak yüzey koşulları değişirken farklılık gösterir; yani, toprak ıslaklığı, arazi pürüzlülüğü, ürün artığı oranları ve rüzgâr deseni ile değişiklik gösterir. Arazi yüzeyi değişim dinamiklerinin eşik rüzgâr hızları üzerindeki etkilerini hesaplamak ve tanımlamak için güvenilir yöntemler geliştirilene kadar, özellikle bölgesel ve ulusal ölçekte, RWEO, 2m yükseklikteki 5 m sn⁻¹ rüzgâr hızını, eşik rüzgâr hızı olarak kabul etmektedir. Rüzgâr erozyonu iklim faktörü (W_F) modelinin en önemli değişkenini oluşturmakta ve birim arazi genişliğinde kaybolan toprak miktarının (kg m⁻¹) (Eş. [5]) birinci tahmini olarak hesaplanmaktadır. Diğer bir deyişle, RWEO modeli ilk önce birim alandan taşınan toprak kütesini (kg m⁻²) tahmin ettikten sonra, toplam arazi uzunluğu ile integral etmektedir (kg m⁻²).

Türkiye'ye ait elde edilen W_F değerleri, Borelli vd., (2016) tarafından verilen RWEO'in CBS ile uyumlandırılmış Eşitlik [1], [2], [3] ve [4] hesaplamalarında temel veri altlığı olarak kullanılacaktır.

$$Q_x = Q_{max} [1 - e^{-\left(\frac{x}{s}\right)^2}] \quad [1]$$

Burada Q_x, x mesafesinde taşına Toplam Toprak Miktarı (kg m⁻¹); Q^{max}, Maksimum Taşıma Kapasitesi (kg m⁻¹); x, alanın aşınmaz kenarından rüzgâr erozyonuna olan uzaklığı (m) ve s, azami

taşıma kapasitesinin %63'üne ulaşma noktası veya kritik alan uzunluğudur (m)

$$S_L = \frac{2x}{s^2} Q_{max} e^{-\left(\frac{x}{s}\right)^2} \quad [2]$$

Burada S_L, birim alandan taşınan Toprak Kaybıdır (kg m⁻²).

Maksimum taşıma kapasitesi (Q_{max}) ve kritik alan uzunluğunun (s) hesaplanması Eş. [3] ve Eş. [4]'de sırasıyla verilmiştir.

$$Q_{max} = 109,8 (W_F * E_F * S_{CF} * K * C_{OG}) \quad [3]$$

$$s = 150,71 (W_F * E_F * S_{CF} * K * C_{OG})^{-0,3711} \quad [4]$$

Burada W_F, Rüzgâr Erozyonu İklim Faktörü; E_F, Toprağın Rüzgâr Erozyonuna Duyarlılık Faktörü; S_{CF}, Rüzgâr Erozyonu Örtü Kabuğu Faktörü; K, Arazi Pürüzlülük Faktörü ve C_{OG}, Kombine Ürün Faktörüdür.

Kavramsal Düzen

RWEO modelinin orijinal sürümünde (Fryrear vd., 2000), modelin benzetim ünitesi boyut, şekil, yönlendirme, iklim ve bitki örtüsü dinamikleri ile belirli bir alandır. Ülkesel ölçekte CBS ortamında (Borelli vd., 2016) W_F'nin hesaplanmasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından Şekil 2'de gösterildiği gibi Türkiye'de dağılım gösteren 312 OMGI'den kayıt edilen uzun yıllık (2006-2015) ve yarım saatlik ortalama rüzgar hızı verileri temel altlık olarak kullanılmıştır.



Şekil 2. Türkiye'de Dağılım Gösteren 312 OMGI Konum Haritası

Figure 2. The Map of 312 OMGI Locations Distributed over Turkey

Model Uygulaması

W_F değişkeni, rüzgâr hızı, toprak nemi ve kar kaplama değişkenlerinin bir bağıntısı olarak hesaplanmaktadır (Eş.[5]). Ayrıca denklemde hava yoğunluğu ve yer çekimi ivmesi (p/g) ($kg\ m^{-3}/m\ s^{-2}$) akışkan taşıma kapasitesi ile ilgili sabiteler olarak yer almaktadır.

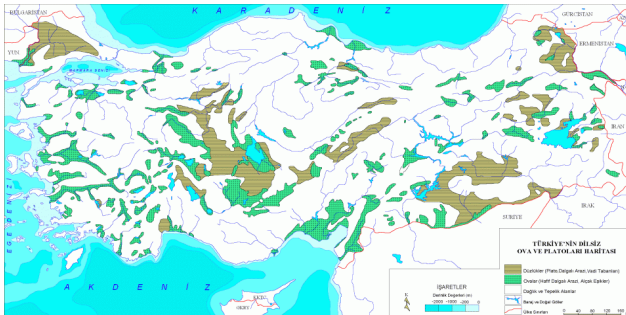
$$WF = \frac{\sum_{i=1}^N U_2(U_2 - U_1)^2 \times N_d \rho}{N \times g} \times SW \times SD \quad [5]$$

Burada W_F , İklim Faktörü ($kg\ m^{-1}$); u_2 , 2 m deki Rüzgâr Hızı ($m\ s^{-1}$); u_1 , 2m deki Eşik Rüzgâr Hızı ($m\ s^{-1}$); N , Rüzgâr Hız Gözlemlerinin Sayısı; N_d , İlgili Zaman Aralığındaki Günlerin Sayısı; ρ , Hava Yoğunluğu ($\rho = 1.2754\ kg\ m^{-3}$); g , Yerçekimi İvmesi ($9.81\ m\ s^{-2}$); S_W , Toprak Islaklığı ve S_D , Kar Örtüsü Faktörüdür. W_F faktörünün hesaplanmasında gerekli olan Toprak Nemi ve Kar Örtüsü Faktörü değerleri üretilemediği için söz konusu iki değerde bir (1) olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye’de, ilk potansiyel tahmin olarak, rüzgâr erozyonu sonucu kaybolan toprak miktarı (WF , $kg\ m^{-1}$) 10m x 10m hücre boyutunda yaklaşık 19.2 milyon ha alanda RWEQ model yaklaşımı (Eş. [5]) esas alınarak 12 ay ve 16 yöne göre toplam 192 harita ArcGIS ortamında üretilebilir hale gelmiştir. Yapılan bu çalışma kapsamında Şekil 1’de bulduğumuz ve Türkiye Ova ve Platolarını Gösterir Şekil 3 ile de büyük benzerlikler gösteren 19.2 milyon ha alan için yapılan değerlendirmeler sonucunda rüzgâr erozyonu tehlikesinin zamansal ve yönsel farklılıklarını gösteren haritalar üretilmiştir.

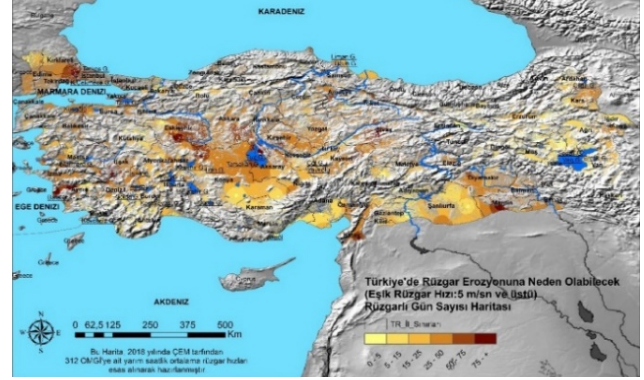
RWEQ model yapısı gereği kullanılan 2m yükseklikteki eşik rüzgâr hızı ($=5\ m\ sn^{-1}$ ve üzerindeki rüzgâr hızları) dikkate alınarak 312



Şekil 3. Türkiye Ova ve Platolarını Gösterir Harita (Saygılı, 2008)

Figure 3. The Map of Plains and Plateaus in Turkey

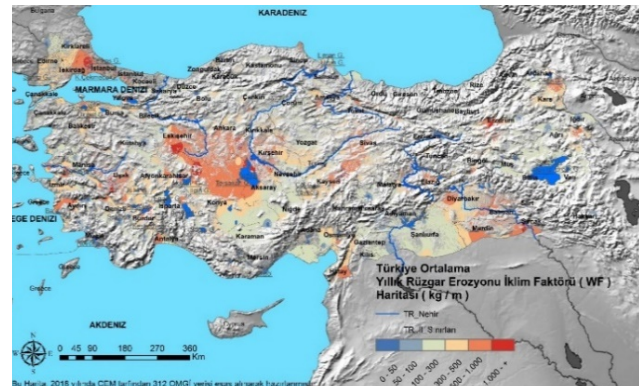
OMGi için Şekil 4 oluşturulmuştur. Buradan da açıkça görülebileceği gibi oldukça geniş ve düz arazilere sahip ülkemizin iç ve güney doğu kesimleri başta olmak üzere tüm yurttan en az 2 gün en fazla 138 gün süre ile rüzgâr erozyonuna neden olabilecek rüzgâr hızlarının meydana geldiği analizi yapılmıştır.



Şekil 4. Türkiye’de Rüzgâr Erozyonuna Neden Olabilecek Rüzgârlı Gün Sayısı Haritası

Figure 4. The Map of Windy Days Which May Cause Wind Erosion in Turkey

RWEQ modeli, eşik rüzgâr hızı ($5\ m\ s^{-1}$) kabulü doğrultusunda üretilen ‘Türkiye’de Rüzgâr Erozyonuna Neden Olabilecek Rüzgârlı Gün Sayısı Haritası’ (Şekil 4), Şekil 1 ve Şekil 3 ile karşılaştırıldığında, haritalar arasında oldukça yüksek uyum olduğu belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmelere göre ova ve platolar başta olmak üzere ülkemizde, tüm yıl içerisinde erozyon oluşturma gücüne sahip rüzgârlı gün sayısının ortalama 27 olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, rüzgâr erozyonu tehdidi ve tehlikesinin hiç de hafife alınacak ya da diğer bir ifade ile önemsenmeyecek düzeyde olmadığını analitik olarak da göstermiştir.

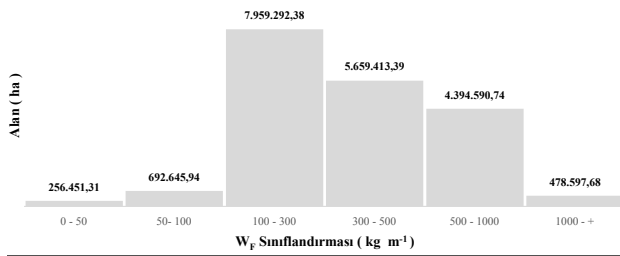


Şekil 5. Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Erozyonu İklim Faktörü (WF) Haritası

Figure 5. The Map of Average Annual Wind Erosion Weather Factor (WF) of Turkey

Üretilen 192 adet haritadan örnek olarak seçilen Şekil 5, toplam verinin eklemeli W_F değerlerini veren ve dolayısıyla iklimsel olarak rüzgâr erozyonunun potansiyel toplam etki dağılımını ülkesel ölçekte gösteren Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Erozyonu İklim Faktörü Haritasıdır. İlgili W_F değerleri, veri işletim sisteminden gerektiğinde konumsal olarak istenilen Ay'a ve istenilen yöne bağlı ve ya mevsimsel olarak da üretilebilmektedir.

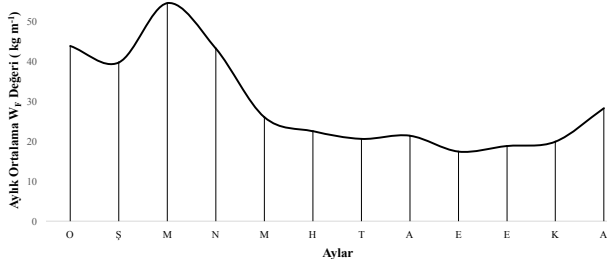
Türkiye'de, topografya etkisi ile ilişkili konumsal sınırlama olarak yaptığımız kabuller doğrultusunda (Şekil 1) Türkiye Ortalama Yıllık Rüzgâr Erozyonu İklim Faktörü Haritası için W_F sınıflandırmasına göre yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen rüzgâr erozyonuna duyarlı alanların dağılımları olarak Şekil 6'da verilmiştir. Buradan da açıkça görülebileceği üzere ülkemizde sadece iklim verileri açısından bakıldığında W_F değerleri sınıflandırmasına göre alansal olarak sırasıyla 100-300, 300-500, 500-1000, 50-100, 1000-+ ve 0-50 $kg\ m^{-1}$ şeklinde dağılım gösterdiği bulunmuştur.



Şekil 6. Türkiye Uzun Yıllar Yıllık Ortalama W_F Sınıflarına Göre Alansal Dağılım Grafiği

Figure 6. Spatial Distribution Graph for Long-term Average Annual W_F Classes in Turkey

Ülkemizde sadece rüzgâr erozyonu iklim faktörüne bağlı olarak ay bazında yapılan değerlendirmelere göre ise en duyarlı ayların Şubat, Mart ve Nisan ayları olduğu Şekil 7'den de açıkça görülebilmektedir.



Şekil 7. Uzun Yıllar Aylık Ortalama W_F Değerleri Grafiği

Figure 7. The Graph of Long-term Monthly Average W_F Values

Yapılan tüm bu değerlendirmelerin yanı sıra RWEQ modeli yardımıyla rüzgâr erozyonu sonucu taşınan sediment miktarının gerçeğe yakın şekilde hesaplanabilmesi için rüzgâr erozyonu sahalarında W_F etmenine ek olarak toprak özellikleri, bitki örtüsü kapallığı ve yüksekliği, arazi pürüzlülüğü, toprak nem içeriği ve toprak yüzeyinde oluşan logaritmik rüzgâr profilindeki konumsal değişimler ve arazi kullanım değişimleri gibi değişkenlerinde modele bütünleşik hale getirilmesi gerekmektedir. Büyük ve orta ölçekli parsellerde eşitliği oluşturan ana ve alt parametrelerin konumsal dağılımları uygun istatistik ve matematiksel yöntemler ile belirlenebilirse, rüzgâr erozyonu tahminleri çok küçük parsellerden çok daha büyük parsellere kadar değişen ölçeklerde yüksek doğrulukla yapılabilecektir.

SONUÇLAR

ÇEM tarafından Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği (RWEQ) kullanılarak model-tabanlı, dinamik ve sürekli güncellenebilir bir rüzgâr erozyonu iklim faktörü (W_F , $kg\ m^{-1}$) sistemi hâlihazırda kurulmuştur; sistem farklı zamansal ve konumsal ölçeklerde iklimsel rüzgâr erozyonu tehlikesi gösterir tahmin haritaları üretebilmektedir. Yapılan ilk değerlendirmelere göre Türkiye Uzun Yıllar Yıllık Ortalama W_F değerinin $355.281\ kg\ m^{-1}$ olduğu ve Uzun Yıllar Aylık Ortalama W_F değerinin $54.398\ kg\ m^{-1}$ ile Mart ayında en yüksek, $17.380\ kg\ m^{-1}$ ile Eylül ayında en az olduğu yine Uzun Yıllar Aylık W_F değeri açısından bakıldığında ise Mart ayında en yüksek değer olan $407.5102\ kg\ m^{-1}$ olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca Türkiye'de hububat ekimine bağlı olarak kar örtüsünün kısmen ya da tamamen kalktığı Şubat ayından itibaren toprak yüzeyi, kardeşlenmenin tamamen gerçekleşeceği ve yüzey kapallığının yüzde yüz olacağı Mayıs ayına kadar, kaplama oranına bağlı olarak korumasız kalmaktadır. Yapılan değerlendirmelere göre Şubat-Mayıs ayları arasındaki dönemde Uzun Yıllar Ortalama W_F değerinin $45.6904\ kg\ m^{-1}$ olduğu ortaya konulmuştur.

Türkiye koşullarında rüzgâr erozyonu potansiyeline sahip alanlarının belirlenmesi ve söz konusu alanların dinamik bir sistemle izlenmesi bakımından hesaplanan W_F değerleri başlangıç parametresi olarak kullanılacaktır. Elde edilen tüm sonuçlar, ülkemizde başta üst ölçekte olmak

üzere, her ölçekteki rüzgâr erozyonuna maruz kalan alanların modellenmesinde kullanılmak amacıyla, her yıl yeni verilerle desteklenebilir ve böylece sürekli güncellenebilir 'rüzgâr üretici bilgi sistemi' olarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Türkiye RWEQ model-tabanlı rüzgâr erozyonu tehlike tahmin teknolojisi uğraşları, toprak ve bitki örtüsü parametrelerinin üretilmesi (Eş. [3] ve Eş. [4]) çalışmaları ile devam etmektedir. Sonuç olarak, iklimsel W_F parametresi ile birlikte, diğer parametre yüzeylerinin benzer zamansal ve konumsal ölçeklerde elde edilmesi tamamlandıktan sonra, tüm sistemin, ilişkili uzman kişi ve kuruluşların kullanımına açılması yakın gelecekte planlanmaktadır. Özellikle, bu tahmin sistemi ve ürettiği analitik veri altlıklarının, rüzgâr erozyonu ile arazi tahribatının görüldüğü bölgelerde, Sürdürülebilir Toprak Yönetimi (STY) ve Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY)'ni hedefleyen arazi kullanım planlamalarının hayata geçirilmesinde çok büyük öneme sahip olacağı beklenilmektedir.

KAYNAKLAR

- Acar, R., Dursun, S., 2010. Vegetative Methods to Prevent Wind Erosion in Central Anatolia Region Int. J. of Sustainable Water & Environmental Systems, Volume 1, No. 1 25-28.
- Acosta-Martinez, V., Van Pelt, S., Moore-Kucera, J., Baddock, M.C., Zobeck, T.M., 2015. Microbiology of wind-eroded sediments: Current knowledge and future research directions. Aeolian Research, pp. 99-113.
- Bagnold RA. 1941. The physics of blown sand and desert dunes. Methuen and Company: London.
- Basaran M., O. Uzun, G. Erpul. 2017. Evaluation of Field Performance of BEST Aeolian Sediment Catcher in Sandy-loam Soil of Arid Zone of Turkey", Soil And Water Research, vol.12, pp.96-105.
- Basaran, M., Erpul, G., Uzun, O., Gabriels, D., 2011. Comparative efficiency testing for a newly designed cyclone type sediment trap for wind erosion measurements. Geomorphology, 130(3-4): 343-351.
- Basaran, M., O. Uzun, S. Kaplan, F. Gormez, G. Erpul. 2017. Tillage-induced Wind Erosion in Semi-arid Fallow Lands of Central Anatolia, Turkey", Soil And Water Research, vol.12, pp.144-151.
- Basaran, M., Uzun, O., Cornelis, W.M., Gabriels, D, Erpul, G., 2016. Potential Use of BEST® Sediment Trap in Splash - Saltation Transport Process by Simultaneous Wind and Rain Tests, PLoS ONE 11(11):e0166924.
- Borrelli P., Ballabio C., Panagos P., Montanarella L., 2014. Wind erosion susceptibility of European soils. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Via E. Fermi, 2749, I-21027 Ispra, VA, Italy.
- Borrelli P., Lugato E., Montanarella L., Panagos P., 2016. A New Assessment of Soil Loss Due To Wind Erosion in European Agricultural Soils Using a Quantitative Spatially Distributed Modelling Approach 28: 335-344 (2017). DOI:10.1002/ldr.2588.
- Buschiazzo DE, Zobeck TM. 2008. Validation of WEO, RWEQ and WEPS wind erosion for different arable land management systems in the Argentinean Pampas. Earth Surface Processes and Landforms 33:1839-1850. DOI:10.1002/esp.1738.
- Cornelis, W., Gabriels, D., 2003. The effect of surface moisture on the entrainment of dune sand by wind: an evaluation of selected models. Sedimentology 50, 771-790.
- Çarman K. , Marakoğlu T., Taner A., Mikailsoy F. 2016. Measurements and modelling of wind erosion rate in different tillage practices using a portable wind erosion tunnel. ISSN 1392-3196 / e-ISSN 2335-8947 Zemdirstyeste-Agriculture, vol. 103, No. 3 (2016), p. 327-334 DOI 10.13080/z-a.2016.103.042
- ÇEM. 2016. 'Ulusal Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Risk Haritasının Hazırlanması Projesi', Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Erpul, G. 2012. Erozyonla Mücadele ve Ağaçlandırma Mastır Planı, Mevlana Kalkınma Ajansı, Proje No.: TR52-11-TD01/74, Konya, s. 18 – 22.
- Erpul, G., Şahin, S., Akgöz, R., İnce, K., Güden, A., Çetin, E., 2016. Türkiye Yağışlarının Özellikleri ve Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (YETKE) R Faktörü, Ankara, s:10-22.
- Fryrear DW, Bilbro JD, Saleh A, Schomberg H, Stout JE, Zobeck TM. 2000. RWEQ: improved wind erosion technology. Journal of Soil and Water Conservation 55: 183-189.
- Fryrear DW, Saleh A, Bilbro JD, Schomberg HM, Stout JE, Zobeck TM. 1998. Revised Wind Erosion Equation (RWEQ). Technical Bulletin 1, Southern Plains Area Cropping Systems Research Laboratory, Wind Erosion and Water Conservation Research Unit, USDA-ARS.
- Fryrear DW, Sutherland PL, Davis G, Hardee G, Dollar M. 1999. Wind erosion estimates with RWEQ and WEO. In Proceedings of conference sustaining the global farm, Stott DE, Mohtar RH, Steinhardt GC (eds). The 10th International Soil Conservation Organization Meeting: Purdue University; 760-765.
- Fryrear, D.W. 1986. A Field Dust Sampler. Journal of Soil and Water Conservation, 41, 117-120.
- Gong G, Jiyuan L, Quanqin S, Jun Z. 2014. Sand-fixing function under the change of vegetation coverage in a wind erosion area in northern China. Journal of Resources and Ecology 5: 105-114. DOI:10.5814/j.issn.1674-764x.2014.02.002.
- Guo Z, Zobeck TM, Zhang K, Li F. 2013. Estimating potential wind erosion of agricultural lands in northern China using the Revised Wind Erosion Equation and geographic information systems. Journal of Soil and Water Conservation 68: 13-21. DOI:10.2489/jswc.68.1.13.

İnce, K. 2017. Ulusal Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Modellemesinde Rüzgâr Hızı ve Rüzgâr Yönü Parametrelerinin Elde Edilmesi. Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara.

Middleton, N.J., Goudie, A.S., and Wells, G.L. 1986. The frequency and source areas of dust storms. 17th annual, In: Mickling, W.G. (ed.) Aeolian Geomorphology. Allen and Unwin, London, pp 237–259.

Panagos, P. et al. 2017. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. Scientific Reports 7: 4175 | DOI:10.1038/s41598-017-04282-8.

Panebianco JE & Buschiazzo DE., 2013. Effect of temporal resolution of wind data on wind erosion prediction with the revised wind erosion equation (RWEQ).

Poortinga, A., van Minnen, J., Keijsers, J., Riksen, M., Goossens, D., 2013. Measuring Fast-Temporal Sediment Fluxes with an Analogue Acoustic Sensor: A Wind Tunnel Study. PLoS ONE 8(9): e74007.

Saleh A, Zobeck TM, Schomberg H, 2000. RWEQ: Improved wind erosion technology. Article in Journal of Soil and Water Conservation · June 2000.

Saygılı, R. 2008. https://yadi.sk/d/6wnRjZ_Z2n7vS. 03 Nisan 2018'de erişildi.

Tekeli A S, Baytekin H, Şilbır Y, Kendir H, Deveci M, Tan A, Ateş E (2005). Meraların Korunma ve Kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği, VI. Teknik Tarım Kongresi, 3-7 Ocak., 2005, Ankara, s 179-190.

Temur C., Tiryaki O., Uzun O., Başaran M. 2012. Adaptation and Validation Of Quechers Method For The Analysis Of Trifluralin In Wind-Eroded Soil, J. Environ. Sci. and Health, Part B., vol.47, no.9, pp.842-850.

Uzun, O., Basaran, M., Kaplan, S., Özcan, A.U., Saygin, S.D., Youssef, F., Nouri, A., Erpul, G., 2017. Spatial distribution of wind-driven sediment transport rate in a fallow plot in Central Anatolia, Turkey ", Arid Land Research And Management, vol.31, pp.125-139, 2017.

Uzun, O., Kaplan, S., Erpul, G., İnce K., Basaran, M. 2017. The Wind Erosion Intensity over Different Land Use in Altınova, Turkey. IV. IMCOFE International Multidisciplinary Congress of Euroasia, August 23-25, Rome, Italy.

Visser SM, Sterk G, Karssenberg D. 2005. Wind erosion modelling in a Sahelian environment. Environmental Modelling & Software 20: 69–84. DOI:10.1016/j.envsoft.2003.12.010.

Wilson, S., Cooke, R., 1980a. Wind erosion.

Woodruff, N.P. and Siddoway, F.H. 1965. A wind erosion equation. Soil Science Society of America Journal. Proc. Vol 29; pp 602-608.

Youssef F, Visser S, Karssenberg D, Bruggeman A, Erpul G. 2012. Calibration of RWEQ in a patchy landscape; a first step towards a regional scale wind erosion model. Aeolian Research 3: 467–476. DOI:10.1016/j.aeolia.2011.03.009.

Zobeck TM, Parker NC, Haskell S, 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: 247–259. DOI:10.1016/S0167-8809(00)00229-2.

Zobeck TM, Parker NC, Haskell S, 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: 247–259. DOI:10.1016/S0167-8809(00)00229-2.

Zobeck TM, Pelt SV, Stout JE, Popham TW, Flanagan DC. 2001. Validation of the Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) for single events and discrete periods. In Soil erosion research for the 21st century. Proceedings of the International Symposium, Honolulu, Hawaii, USA, 471–474.