

Türkiye’de Rüzgâr Erozyonuna Bağlı Toprak Kayıplarının Konumsal ve Zamansal Değişiminin Tahmin Edilmesi

Kenan İNCE^{1*}, Reşat AKGÖZ², Günay ERPUL²

ÖZET: Küresel ısınma ve iklim değişikliğine bağlı olarak kuraklığın ciddi bir arazi tahribatına neden olduğu bölgelerde, Sürdürülebilir Toprak Yönetimi (STY) ve Sürdürülebilir Arazi Yönetiminin (SAY) etkin bir şekilde uygulanamaması durumunda, rüzgâr erozyonunun etki alanını ve şiddetini giderek artırması beklenmektedir. Bu kapsamda farklı konumsal ve zamansal ölçeklerde model tabanlı rüzgâr erozyonu tehlikesi tahmin haritalarının üretilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma ile rüzgâr erozyonu dinamikleri, kurak ve yarı kurak havzalar temelinde ulusal ölçekte değerlendirilerek karar vericiler için daha somut bir planlama veri tabanı olarak kullanıma hazır hale getirilmiş ve çok daha küçük alan ölçeğinde çalışma yapan araştırmacılar için de önemli bir uygulama althığı olarak kullanıma sunulmuştur. Ulusal ölçekte rüzgâr erozyonunun tahmin edilebilmesi için kapsamlı, dinamik ve güncellenebilir veri kümeleri toplanmış ve Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği (Revised Wind Erosion Equation [RWEQ]) kullanılarak bir tahmin sistemi inşa edilmiştir. RWEQ modeline ait ana parametreler ve bunlara bağlı alt bileşenler matematiksel olarak analiz edilmiş ve Türkiye ölçeğinde rüzgâr erozyonu sonucu taşınan sediment miktarı ve rüzgâr erozyonunun etkilediği alanlara ait ara sonuçlar başarıyla üretilmiştir. Böylece aylık ve yıllık toprak kayıplarını tahmin etmek için 30mx30m mekânsal çözünürlükle üretilen model sonuçları yardımıyla STY ve SAY uygulamalarının stratejik olarak önceliklendirileceği alanlar belirli istatistiksel değişim aralığı içerisinde belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Erozyonu, RWEQ Modeli, Zamansal ve Mekânsal Analiz

Predicting Spatial and Temporal Changes in Soil Loss by Wind Erosion in Turkey

ABSTRACT: In areas where drought has caused serious land degradation due to global warming and climate change, the inability to effectively implement the Sustainable Soil Management (SSM) and the Sustainable Land Management (SLM) is very likely to result in increased impact and intensity of wind erosion. In this context, the production of model-based estimation maps for wind erosion hazard at different spatial and temporal scales are more important. With this study, by assessing the wind erosion dynamics at a national scale on the basis of arid and semi-arid basins, a more concrete planning database for decision makers was prepared, readily available as an applicative map layer as well for the researchers working at a much smaller scales. For estimating wind erosion at the national scale, comprehensive, dynamic and updatable data sets were collected and a predictive system was constructed by using the Revised Wind Erosion Equation (RWEQ). The principal parameters and related sub-components of the RWEQ model were analyzed mathematically; and the amount of sediment transported by the wind erosion processes and interim results for the areas affected by the wind erosion were successfully predicted and produced at the national scale in Turkey, respectively. Thus, by means of using the model results designed to produce 30mx30m spatial resolution to estimate the monthly and annual soil losses, the potential areas where the SSM and SLM applications would be strategically prioritized were determined within a certain statistical change interval.

Keywords: Wind Erosion, RWEQ Model, Temporal and Spatial Analysis

¹ Kenan İNCE (Orcid ID: 0000-0002-7555-0248), T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara,

² Reşat AKGÖZ (Orcid ID: 0000-0002-4618-4103), Günay ERPUL (Orcid ID: 0000-0002-3797-6969), Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Kenan İNCE, e-mail: kenan.ince@tarimorman.gov.tr

GİRİŞ

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 (Zobeck ve ark., 2014).

Avrupa Birliğine üye 28 ülke için yürütülen rüzgâr erozyonu çalışmalarına göre ise ekilebilir tarım alanlarının %9.70’nin orta ve yüksek derecede rüzgâr erozyonundan etkilendiği ortaya konulmuştur (Borrelli ve ark., 2016).

Saha ölçümleri ve gözlemlere bağlı olarak yürütülen çalışmalara göre de, Türkiye’de hafiften çok şiddetliye kadar değişen oranlarda yaklaşık 500 bin ha alanda rüzgâr erozyonunun yaşandığı ifade edilmiştir. Bu alanın da yaklaşık %70’inin Konya ili sınırları içerisinde olduğu belirtilmiştir (Acar ve Dursun., 2010). Diğer bir çalışmaya göre ise, sadece Karapınar’da 100 bin ha alanın rüzgâr erozyonundan etkilendiği belirtilmiştir (Okur, 2010).

Türkiye’de elde edilen değerler ortalama olarak verilmekte ve herhangi bir yöntem veya modele dayalı olarak alt havza, havza veya bölge ölçeğinde konumsal dağılıma ait ayrıntılı bir bilgi sunamamaktadır. Yine rüzgâr erozyonunun yıl-ıç ve yıllar-arası konumsal ve zamansal dağılımı konusunda birkaç çalışma dışında (Başaran ve ark., 2017), pek fazla bir istatistik bulunmamaktadır.

Olası erozyon tehditlerinin doğru senaryolar altında tahmin edilmesi, hem belirli istatistiklerin üretilmesi hem de koruyucu Sürdürülebilir Toprak Yönetimi (STY) ve Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY) uygulamaları açısından önemli görülmektedir. İyi uygulamaların etkinlikle yaygınlaştırılması için yapılacak değerlendirmelerin noktasal değil de bölgesel veya ülke ölçeğinde gerçekleştirilmesi ayrıca önem taşımaktadır.

Gıda güvenliği ile çok yakından alakalı olarak başta tarım alanları olmak üzere, Türkiye’de iklim değişimi sonucu kuraklık tehlikesinin arttığı ve buna paralel biçimde rüzgâr erozyonu

şiddetinin ve etkilediği alan miktarının da arttığı yakın dönemde gözlenmektedir. Bu maksatla ulusal ölçekte rüzgâr erozyonu sonucu taşınan sediment miktarının model tabanlı olarak izleme ve değerlendirmesine yönelik eksikliğin giderilmesi amacıyla, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEMGM) tarafından RWEQ model yapısını (Fryrear ve ark., 2000) esas alan izleme ve değerlendirme çalışmaları 2016 yılında başlatılmıştır. Böylece, Türkiye’de rüzgâr erozyonu potansiyeline sahip alanlar ile rüzgâr erozyonuna maruz kalan alanların dinamik bir sistemle tespit edilmesi mümkün bir hale gelmiştir. Elde edilecek sonuçlar yardımıyla, bu alanlarda alınacak önlemlerin belirlenmesinde ilgili planlayıcı devlet kuruluşlarınca da kullanılmak üzere sürekli güncellenebilir bir doğal kaynak veri tabanı oluşturulmuştur.

Bu çalışmada ana havzalar, alt havzalar ve mikro havzalar ölçeğinde, bir model hesaplama ve tahmin yöntemine dayalı rüzgâr erozyonu tehlikesinin hem konumsal hem de zamansal dağılımı belirli istatistiksel değişim aralığı ile harita yüzeyleri şeklinde üretilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli ve İzleme Sistemi (UDREMİS), ülkesel düzeyden mikro havza ölçeğine kadar değişen boyutlarda, rüzgâr erozyonunun şiddeti ve etkilediği alan miktarı üzerinde zamansal izleme ve değerlendirme yapmaktadır.

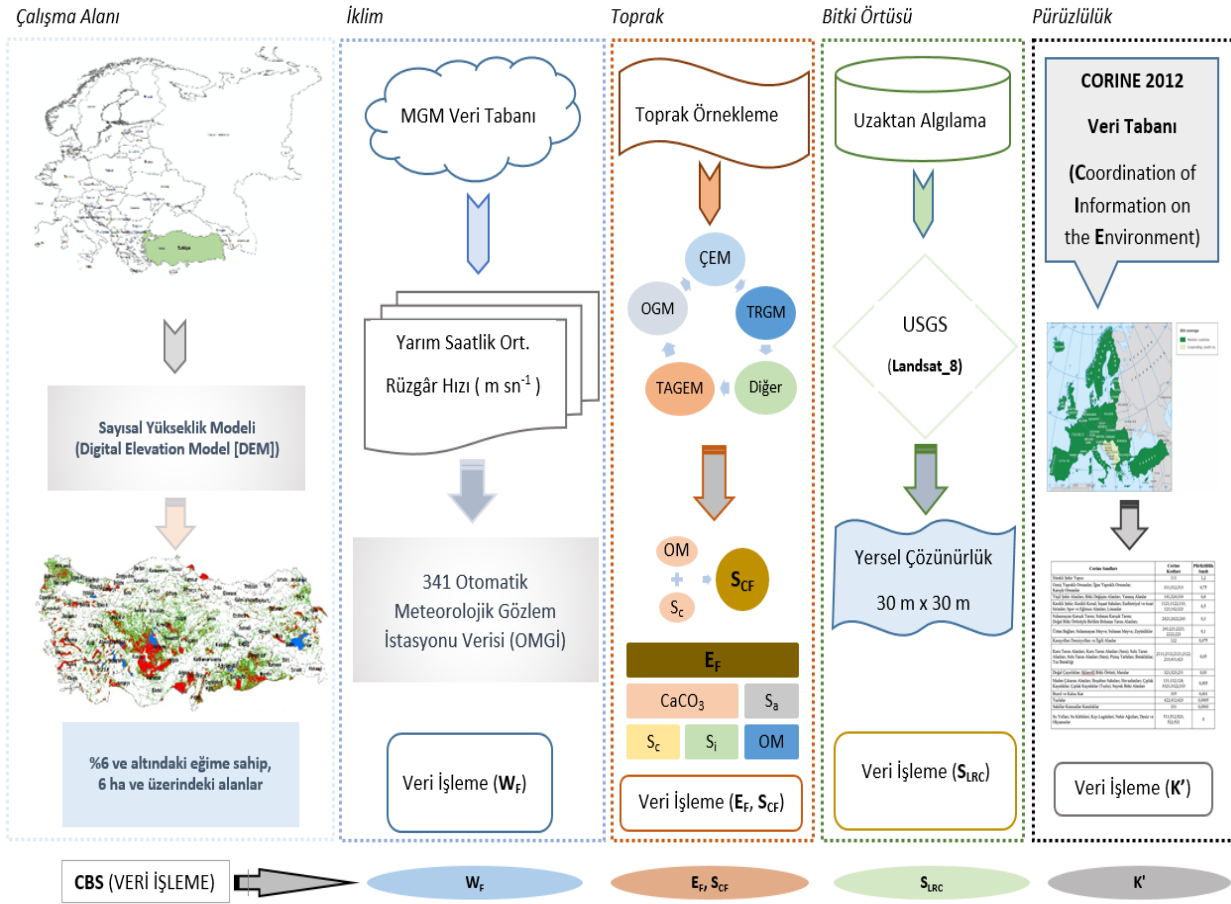
Çalışma Alanı

Türkiye’de düz ve düze-yakın yaklaşık 17 milyon ha alan model tabanlı olarak rüzgâr erozyonu izleme ve değerlendirme analizleri için çalışılmıştır (İnce ve ark., 2018). Ayrıca, bu alanlardaki ortalama işletme büyüklüğü (Boztoprak, 2015) için ≥ 6 hektarlık bir alan en küçük planlama birimi olarak kabul edilmiştir.

Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği Modeli (RWEQ)

RWEQ rüzgâr erozyon modeli, dört ana parametre ve ilişkili alt parametreleri

hesaplayarak birim alandan taşınan potansiyel sediment miktarını ($\text{kg m}^{-2} \text{yıl}^{-1}$) tahmin etmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. RWEQ modeli ana parametrelerine ait veri tabanları

RWEQ modeli, diğer taşınma eşitliklerinde olduğu gibi, ya sürtünme hızının küpünü ya da referans yükseklikteki rüzgâr hızının küpünü kullanmaktadır. Eşik rüzgâr hızlarını hesaplamak ve tanımlamak için de 2 m yükseklikteki 5 m s^{-1} değerindeki bir rüzgâr hızını, model eşik rüzgâr hızı olarak kabul etmektedir (İnce, 2017; İnce ve ark., 2018). Bu çalışmada Eşitlik 1., 2., 3. ve 4. (Borrelli ve ark., 2016) RWEQ hesaplamalarında temel altlık olarak kullanılmıştır (Şekil 2).

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

Burada Q_x , x Mesafesinde Toplam Taşınan (kg m^{-1}); Q_{\max} , Maksimum Taşıma Kapasitesi (kg m^{-1}); x, Alanın aşınmaz kenarından rüzgâr

erozyonuna olan uzaklığı (m) ve s, Maksimum taşıma kapasitesinin %63'üne ulaşma noktası, kritik alan uzunluğudur (m).

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

$$Q_{\max} = 109.8 (W_F * E_F * S_{CF} * K' * S_{LRC}) \quad [3]$$

$$s = 150.71 (W_F * E_F * S_{CF} * K' * S_{LRC})^{-0.3711} \quad [4]$$

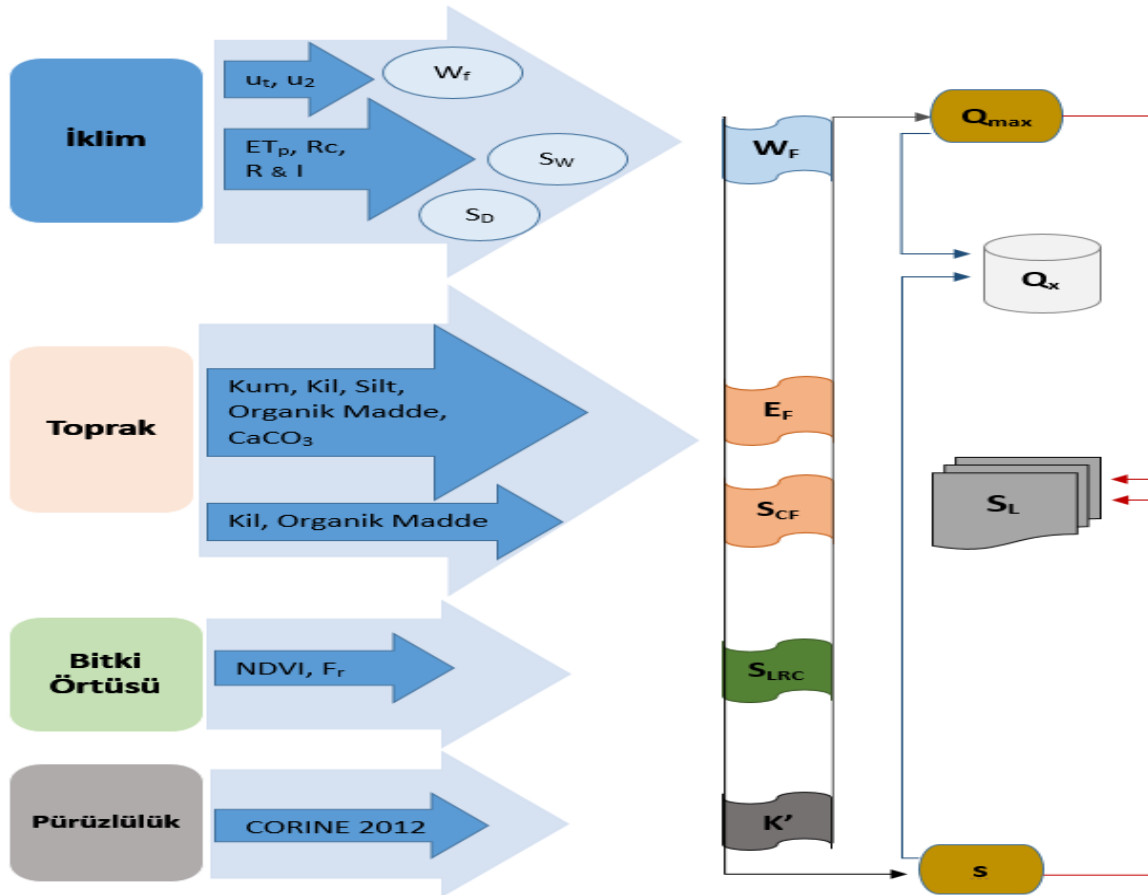
Burada S_L , Toprak Kaybı (kg m^{-2}); W_F , Rüzgâr Erozyonu İklim Faktörü; E_F , Toprağın Rüzgâr Erozyonuna Duyarlılık Faktörü; S_{CF} , Rüzgâr Erozyonu Toprak Kabuklanma Faktörü; K' , Toprak Pürüzlülüğü Faktörü ve S_{LRC} , Bileşke Ürün Faktörünü ifade etmektedir.

RWEQ Modeli Ana ve Alt Parametrelerinin Elde Edilmesi ve Değerlendirilmesi

RWEQ modeli için gerekli ana parametrelerden iklime ait olan Rüzgâr Erozyonu İklim Faktörü (W_F , kg m^{-1}) tüm Türkiye’de farklı noktalarda konumlandırılmış ve uzun yıllar veri

seti olarak değerlendirilebilecek 332 adet Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonuna (OMGİ) ait yarım saatlik ortalama rüzgâr hızlarından elde edilmiştir (Eşitlik 5.).

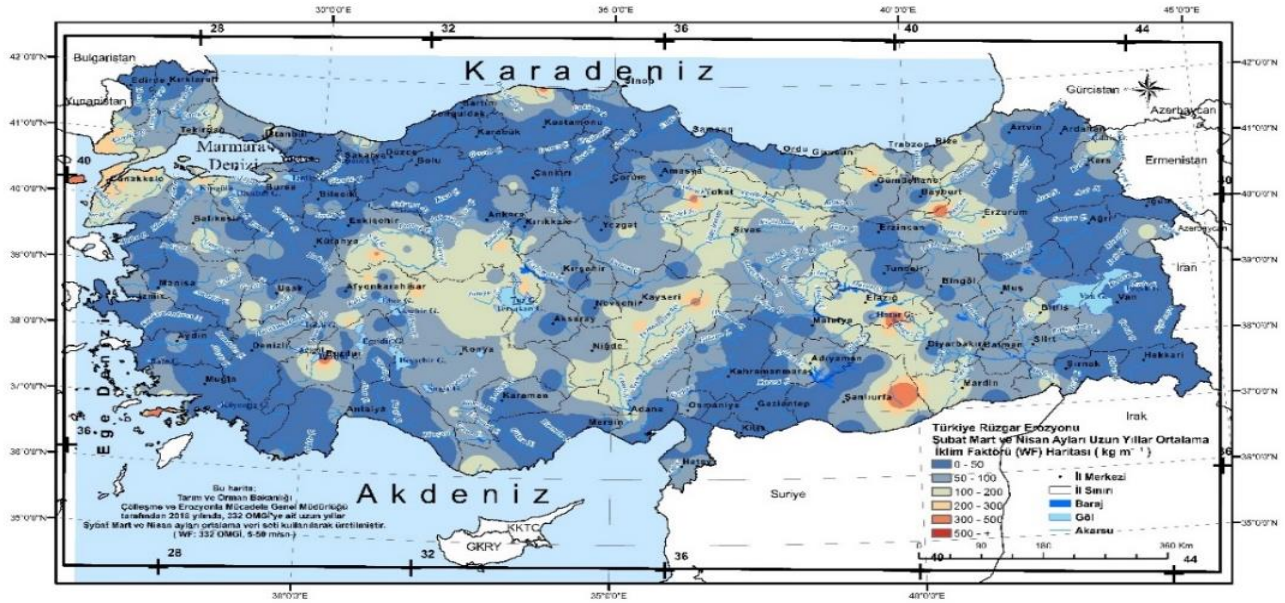
$$W_F = \frac{\sum_{i=1}^N U_2(U_2 - U_t)^2 \times N_d \rho}{N \times g} \times S_W \times S_D \quad [5]$$



Şekil 2. RWEQ model yapısı ana ve alt parametreleri ile eşitlik hesaplamaları akış şeması (Fryrear ve ark., 1998; Youssef ve ark., 2012)

Burada u_2 , 2 m Yükseklikteki Rüzgâr Hızı (m s^{-1}); u_t , 2 m Yükseklikteki Eşik Rüzgâr Hızı (m s^{-1}); N , Rüzgâr Hız Gözlemlerinin Sayısı; N_d , İlgili Zaman Aralığındaki Günlerin Sayısı; ρ , Hava Yoğunluğu (kg m^{-3}); g , Yerçekimi İvmesi (m s^{-2}); S_w , Toprak Islaklığı (birimsiz) ve S_D , Kar Örtüsü Faktörünü ifade etmektedir.

RWEQ modeli esas alınarak yürütülen çalışmalarda W_F 'ye bağlı olarak toprak kayıplarının Şubat, Mart ve Nisan aylarında zirvede olduğu ve ilkbaharla birlikte aylık toprak kaybı değerlerinin bitki örtüsüne bağlı olarak düştüğü ortaya konulmuştur (İnce ve ark., 2018).



Şekil 3. Türkiye uzun yıllar şubat-mart-nisan ayları ortalama W_F (kg m^{-1}) haritası

Ay bazında ayrı ayrı değerlendirme yapılabilmesinin yanında bu çalışmada W_F faktörünün aylık ortalama en yüksek değerlere sahip olduğu uzun yıllar Şubat, Mart ve Nisan ayları ortalama verileri kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır (Şekil 3).

Toprağın Rüzgâr Erozyonuna Duyarlılık Faktörü (E_F) ile yine toprak faktörü içerisinde

değerlendirilen Rüzgâr Erozyonu Toprak Kabuklanma Faktörü (S_{CF})'nin hesaplanmasında farklı kurum ve kuruluşlar tarafından elde edilmiş koordinatlı, noktasal 14 801 toprak yüzey örneklemelerine ait veri kümesi kullanılmıştır (Çizelge1) (İnce ve ark., 2019).

Çizelge 1. Türkiye topraklarının E_F ve S_{CF} değerlerine ait korelasyon sonuçları karşılaştırma çizelgesi (İnce ve ark., 2019)

Korelasyon	E_F Hesaplanan- E_F IDW	E_F Hesaplanan- E_F Kriking	S_{CF} Hesaplanan- S_{CF} IDW	S_{CF} Hesaplanan- S_{CF} Kriking
Pearson	0.558	0.561	0.458	0.467
Spearman	0.551	0.554	0.510	0.507
RMSE	0.110	0.109	0.172	0.166

Rüzgâr Erozyonu Bitki Örtüsü Faktörünün (S_{LRC}) belirlenmesi için USGS (United States Geological Survey) tarafından 2016 yılında üretilen, 30mx30m mekânsal ve 16 gün zamansal çözünürlüğe sahip Landsat_8 uydu görüntüleri kullanılarak bitki örtüsü kapallığına bağlı toprak kayıpları oranı belirlenmiştir.

İlgili yıla ait uydu görüntüleri değerlendirilerek sırasıyla Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksleri (Normalized Difference Vegetation Index [NDVI]), vejetasyon (Fr) ve toprak kayıpları oranı (S_{LRC}) (%)

belirlenmiştir. Elde edilen uydu görüntülerinden gerekli bantlar kullanılarak ilk aşamada NDVI Eşitlik 6. ya göre elde edilmiştir.

$$NDVI = \frac{\text{(Yakın Kızıl Ötesi - Kırmızı)}}{\text{(Yakın Kızıl Ötesi + Kırmızı)}} \quad [6]$$

Ardından hesaplanan NDVI değerleri kullanılarak, Gillies ve ark., (1997) tarafından geliştirilen (Nathaniel ve Robert, 2003) ve her bir piksel içinde gözlenen vejetasyon oranı (Fr) (%) Eşitlik 7. e göre hesaplanmıştır.

$$Fr = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \quad [7]$$

Burada Fr, Vejetasyon Oranı (%); NDVIs, Ham Toprak Yüzeyi; NDVIv, Bitki Örtüsünü ifade etmektedir.

S_{LRC} faktörünün belirlenmesinde ise, Fryrear ve ark., (2000) tarafından bildirilen Eşitlik 8. dikkate alınarak bitki örtüsüne bağlı toprak kayıpları oranı (S_{LRC}) (%) belirlenmiştir.

$$S_{LRC} = e^{-5.614(Fr^{0.7366})} \quad [8]$$

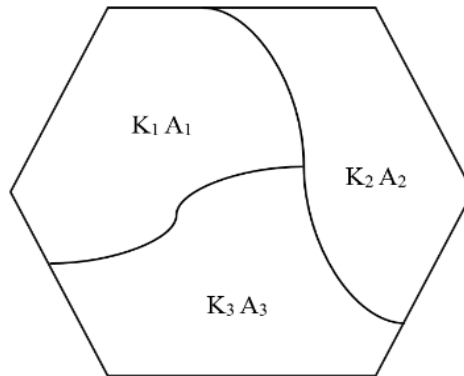
Burada S_{LRC} , Bitki Örtüsüne Bağlı Toprak Kayıpları Oranı (%); Fr, Vejetasyon Oranını (%) ifade etmektedir.

Son olarak, RWEQ modeli için gerekli olan Arazi Pürüzlülük Faktörünün (K') belirlenmesinde ulusal ölçekte ulaşılabilir veri kaynağı olarak değerlendirilen CORINE (COoRdinate INformation on the Environment) 2012 verisi esas alınmıştır. Buna göre en küçük planlama birimi olan 25 ha için, 44 farklı arazi

kullanımında belirlenmiş 14 farklı arazi pürüzlülük katsayı verileri esas alınmıştır (Anonim, 2018). Pürüzlülük katsayısı belirlenirken Eşitlik 9. yardımıyla her bir 25 ha’lık altıgen alanı içinde bulunan farklı arazi kullanım alanları, büyüklüklerine göre ağırlıklı olarak hesaplanmış ve tüm altıgenlere ait tek bir pürüzlülük katsayı değeri elde edilmiştir (Şekil 4).

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n K_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad [9]$$

Burada q, Ağırlıklı Pürüzlülük Katsayısı; K, Uygulama Alanındaki Pürüzlülük Katsayısı ve A, Uygulama Alanının Büyüklüğünü (ha) ifade etmektedir. $i=1..n$ ise uygulama alanı içerisindeki emsallerin dikkate alındığı alan büyüklüklerinin sayısını ifade etmektedir.



Şekil 4. RWEQ modeli pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde kullanılan altıgen yaklaşım şeması

Bu çalışmada tüm Türkiye’de rüzgâr erozyonu sonucu taşınan sediment miktarının hesaplanabilmesi için gerekli olan ve alanın aşınmaz kenarından rüzgâr erozyonuna olan uzaklığını (m) ifade eden x değeri 100 m alınmıştır (Fryrear ve ark., 1999).

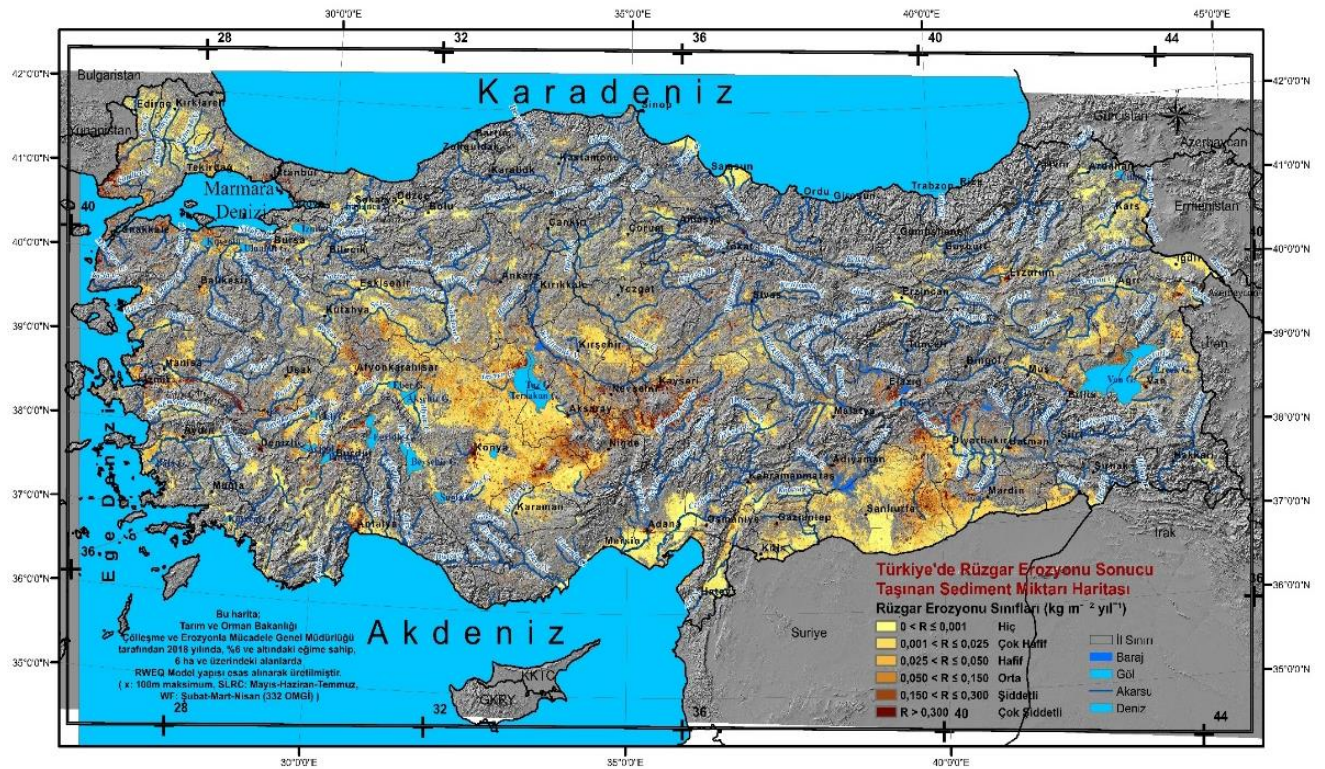
BULGULAR VE TARTIŞMA

UDREMİS yazılımı RWEQ eşitlikleri ile yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucunda, Türkiye’de Rüzgâr Erozyonu Sonucu Taşınan Sediment Miktarı Haritası ($kg\ m^{-2}\ yıl^{-1}$) elde edilmiştir (Şekil 5).

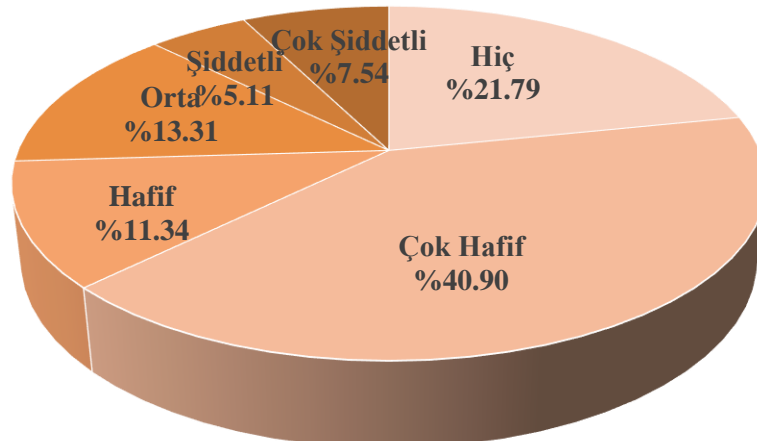
Her ne kadar kullanılan model alt havza, havza, bölge ve ulusal düzeyde değerlendirme olanağı sunsa da, ilk aşamada, tüm değerlendirmeler ülkesel düzeyde ve maksimum taşınabilecek sediment miktarına yönelik gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle hesaplamalarda maksimum değerler elde edilebilmesi için iklim faktörünün ($W_F, kg\ m^{-1}$) zirvede olduğu Şubat, Mart ve Nisan aylarına ait üç aylık bir ortalama değer esas alınmıştır. Yine maksimum taşınan sediment miktarının ortaya konulabilmesi için, Eşitlik 1. de yer alan ve alanın aşınmaz kenarından rüzgâr erozyonuna olan uzaklığını

(m) ifade eden x değerinin maksimum olduğu kabul edilmiştir. Ülkesel düzeyde ilk tahmini sonuçlar üretilirken tüm ülke yüzeyi için bulutluluk oranına bağlı olarak kullanılabilir uydu görüntüleri Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında elde edilebildiği için, bitki örtüsü faktörünün hesaplanmasında bu üç aya ait bütünleşik uydu görüntüsü kullanılmıştır.

Bütün bu yaklaşımlarla elde edilen ve Şekil 5’de gösterilen Türkiye’de Rüzgâr Erozyonu Sonucu Taşınan Sediment Miktarı Haritasına ait sonuçlar geçmiş yıllarda elde edilmiş sonuçlara göre farklılık arz etmektedir. Buna göre topoğrafik açıdan eğiminde etkisiyle Orta Anadolu’nun güneye yakın kısımları ve Güney Doğu Anadolu Bölgesi rüzgâr erozyonu açısından yoğunluklu alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 5. Türkiye’de rüzgâr erozyonu sonucu taşınan sediment miktarı haritası



Şekil 6. Türkiye’de rüzgâr erozyonunun şiddet bakımından yüzde dağılım grafiği

İlk aşama olarak ülkesel düzeyde yapılan mekânsal analizlere göre Şekil 6’da gösterildiği gibi alansal olarak Türkiye’de rüzgâr erozyonu potansiyeline sahip toplam alanın, %7.54’ünde çok şiddetli rüzgâr erozyonunun yaşanabileceği belirlenmiştir.

Türkiye büyük havzaları teker teker incelendiğinde ise, Çizelge 2’de görüldüğü gibi çok şiddetli rüzgâr erozyonuna en çok sahip alanların sırasıyla Dicle-Fırat, Kızılırmak ve Konya havzaları, en az alanların ise sırasıyla Çoruh, Doğu Karadeniz ve Batı Karadeniz havzaları olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2. Ana akarsu havzalarında rüzgâr erozyonu şiddetine bağlı alansal dağılım çizelgesi

Havza Adı / Rüzgâr Erozyonu Şiddeti (kg m ⁻² yıl ⁻¹)	Hiç (0-0.001)	Çok Hafif (0.001-0.025)	Hafif (0.025-0.05)	Orta (0.05-0.150)	Şiddetli (0.15-0.300)	Çok Şiddetli (>0.30)
Akarçay	68 266	121 317	30 343	37 222	16 156	19 947
Antalya	84 555	110 873	21 367	34 190	19 530	30 492
Aras	282 292	310 321	33 328	25 675	11 195	11 564
Asi	72 027	114 180	12 955	20 978	8 092	8 046
Batı Akdeniz	124 530	103 720	11 886	13 719	5 256	7 780
B. Karadeniz	104 090	49 474	8 444	7 760	2 899	3 701
Burdur	15 162	73 513	24 251	30 316	10 622	21 346
B. Menderes	121 550	253 623	89 717	85 369	36 060	51 569
Ceyhan	295 133	202 724	26 056	22 473	9 762	9 432
Çoruh	20 943	33 822	4 844	3 700	1 400	1 808
Dicle-Fırat	635 495	1 740 632	448 925	495 919	188 067	265 259
Doğu Akdeniz	61 122	50 856	13 160	19 809	6 469	6 980
D. Karadeniz	5 476	4 560	1 097	1 578	1 063	3 658
Gediz	52 803	110 979	37 836	51 864	32 182	62 650
Kızılırmak	296 928	668 650	239 262	290 850	115 795	198 444
Konya	332 864	1 108 820	416 047	458 985	151 930	156 253
Kuzey Ege	15 561	75 049	18 799	31 400	20 692	35 644
K. Menderes	43 721	50 480	14 429	23 069	10 876	25 688
Marmara	59 399	122 376	37 828	62 763	37 945	82 496
Meriç	210 017	343 916	69 441	74 307	34 011	47 316
Sakarya	414 099	803 453	243 538	301 827	56 324	70 827
Seyhan	133 903	119 345	30 109	48 770	32 358	72 347
Susurluk	81 241	120 525	35 300	53 249	21 632	33 888
Van Gölü	38 830	127 962	41 809	43 595	21 107	19 484
Yeşilirmak	163 930	189 058	32 423	42 202	24 869	46 140
Σ ALAN (ha)	3 733 949	7 010 240	1 943 208	2 281 601	876 303	1 292 771

Alansal olarak çok şiddetli rüzgâr erozyonunun yaşandığı Dicle-Fırat, Kızılırmak ve Konya havzaları aynı zamanda eğime bağlı olarak rüzgâr erozyonu potansiyeline sahip en büyük havzalar (sırasıyla: 3 774 300 ha, 1 809 93 ha, 2 624 902 ha) olarak da karşımıza çıkmaktadır.

Çok şiddetli rüzgâr erozyonuna sahip (en fazla ve en az alan bakımından) havzalar için RWEQ ana parametreleri Çizelge 3’de ortalama olarak ortaya konulmuştur.

Çizelge 3. Alansal olarak çok şiddetli rüzgâr erozyonuna sahip en büyük ve en küçük havzaların parametre değerlerine ait çizelge

Havza Adı	W _F (Ort.)	E _F (Ort.)	SCF (Ort.)	SLRC (Ort.)	K'(Ort.)
Dicle / Fırat	93.56	0.41	0.11	0.57	0.08
Kızılırmak	76.51	0.40	0.20	0.43	0.09
Konya	86.46	0.32	0.21	0.53	0.07
Çoruh	60.38	0.43	0.15	0.26	0.10
Doğu Karadeniz	60.23	0.46	0.14	0.40	0.28
Batı Karadeniz	28.81	0.44	0.15	0.16	0.21

Çizelge 3’den de açıkça görülebildiği gibi, çok şiddetli rüzgâr erozyonunun yaşandığı en büyük ana akarsu havzalarında W_F etmeninin en küçük havzalara oranla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Yine rüzgâr erozyonuna karşı yüzey topraklarının direncinin belirlenmesinde önemli bir faktör olan SCF etmeni değerleri incelendiğinde ise en fazla alana sahip havzalarda daha fazla olduğu ortaya konulmuştur. Rüzgâr erozyonunda belirleyici ana parametrelerden bir diğeri olan SLRC etmeni göz önüne alındığında, en fazla alana sahip havzaların çok daha fazla duyarlı olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen bu detaylı analizlerden de görülebildiği gibi, çok şiddetli rüzgâr erozyonuna sahip havzalarda, alansal olarak miktarın fazla olması W_F ve SLRC etmenlerine bağlı olarak açıklanabilir.

Doğal kaynak planlamasında yürütülecek stratejiye göre öncelikle çok şiddetli ve şiddetli rüzgâr erozyonu alanlarında gerekli önlemlerin alınabilmesi bakımından elde edilen sonuçlar yol gösterici niteliktedir. Ancak, erozyon sonucu izin verilebilir toprak kaybı tolerans değerleri su ve rüzgâr erozyonu için farklılık gösterebilir. Bu farklılık ana materyalin ayrışma hızı, bölgenin yağış ve sıcaklık ortalamaları ile erozyona maruz kalan toprağın derinliğine bağlı olarak azalabilir veya artabilir. Yürütülen bu çalışmada ülkemiz için rüzgâr erozyonu sonucu izin verilebilir toprak kaybı tolerans değerleri, Avrupa değerleri de esas alınarak 3 ton ha⁻¹ yıl⁻¹ olarak belirlenmiştir. Ancak ülkemizde rüzgâr erozyonunun kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinin aeolian süreçlerinden birisi olmasına bağlı olarak toprak oluşum hızı yavaştır. Yine hızlandırılmış erozyon sonucu -eğimin düz ve

düze yakın (%0-2) olduğu alanlarda- söz konusu alanlar sığ toprak derinliğine sahiptir. Bu nedenle izin verilebilir rakamın daha düşük düzeyde tutulup alınacak mühendislik önlemlerinin bu rakama göre planlanması daha doğru olacaktır.

SONUÇ

Bu çalışma, rüzgâr erozyonu potansiyelini büyük ölçekte ülke genelinde değerlendirmek için UA ve CBS’nin etkin bir bileşkesi ile deneye dayalı yapılandırılan RWEQ modeli esas alınarak hazırlanmıştır. Neticede, RWEQ rüzgâr erozyonu tahmin modeli, Türkiye için yeni bir ulusal ölçekli rüzgâr erozyonu modeli oluşturmak ve sonuçlarını değerlendirmek için yersel ölçümler, gözlemler ve alan ölçekli model çalışmaları ile bütünleşik yapıda uygulanabilecek bir sistem mimarisine sahip olarak tasarlanmıştır. İnşa edilen RWEQ model sistemi ile birlikte Türkiye’de, ekilebilir araziler başta olmak üzere rüzgâr erozyonunun "nerede" ve "hangi oranda" olduğu sorularına cevap vermek tahmini olarak mümkün hale gelmiştir.

Yapılan çalışma, oldukça karmaşık dinamiklere sahip rüzgâr erozyonu olgusunu, karar vericiler ve planlayıcılar için daha somut hale getirmek adına önemli bir adımdır. Ayrıca yakın bir zaman diliminde, hali hazırda ayrıntılı ölçeklerde -örneğin parsel tabanlı yersel ölçümler- yürütülmekte olan, çalışmalar, projeler ve programlar yardımıyla RWEQ model sonuçlarının ayarlama-ölçüleme ve doğrulama çalışmaları da kurulu sisteme dâhil edilecektir. Böylece RWEQ model sonuçlarının hassasiyetinin artırılmasıyla birlikte ulusal ölçekte rüzgâr erozyonu sonucu taşınan sediment

miktarı ve rüzgâr erozyonu potansiyeline sahip alanlar gerçeğe yakın bir şekilde ortaya konularak yıllara sâri izlenimleri gerçekleştirilebilecek ve sürdürülebilir doğal kaynak planlamasında veri althığı olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Acar R ve 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.
- Anonim., 2018. Roughness Length Classification of Corine Land Cover Classes, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.608.2707&rep=rep1&type=pdf> (Erişim Tarihi: 04.09.2018).
- Basaran M, Uzun O, Erpul G, 2017a. 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.
- 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.
- Boztoprak T, 2015. Kamulaştırmanın Parsel Sayısı ve Ortalama Parsel Büyüklüğüne Etkisi. S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.3, s.2, 2015 Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.3, n.2.
- 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, and Dollar M, 1999. Wind Erosion Estimates with RWEQ and WEQ. Pages 760-765.
- Gillies RR, Carlson T, Cui J, Kustas W, Humes K, 1997. A verification of the ‘triangle’ method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the normalized difference vegetation index (NDVI) and surface radiant temperature. Int. J. Remote Sens. 18 (15), 3145–3166.
- 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.
- İnce K, Çelik S, Erpul G, 2019. Determination and Mapping of Wind Erosion Soil Susceptibility Variables at the National Scale in Turkey, Ege Univ. Ziraat Fak. Derg., 56 (1):109-120, DOI:10.20289/zfdergi.455581
- İnce K, Şahin S, Erpul G, 2018. Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği İklim Faktörünün Ulusal Ölçekte Belirlenmesi. Toprak Su Dergisi 7/2 (Eylül 2018):12-20.
- Okur O, 2010. Karapınar (Konya) Tarihsel Çölleşme Alanı Topraklarının Uzun Süreçte Badem-Akasya Altındaki Kalite Değişimleri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- 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.
- Zobeck T.M, Van Pelt R.S, 2014. Wind Erosion. USDA Agricultural Research Service. Lincoln, Nebraska. Publications from USDAARS/UNL Faculty. Paper 1409, 209-227.