

**Araştırma Makalesi**  
(Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2019, 56 (1):109-120  
DOI: 10.20289/zfdergi.455581

Kenan İNCE<sup>1a\*</sup>

Seval ÇELİK<sup>2b</sup>

Günay ERPUL<sup>3c</sup>

<sup>1,2</sup> Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara

<sup>a</sup>Orcid : 0000-0002-7555-0248

<sup>b</sup>Orcid : 0000-0001-8204-0978

<sup>3</sup> Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara

<sup>c</sup>Orcid : 0000-0002-3797-6969

sorumlu yazar: kenan.ince@tarimorman.gov.tr

**Anahtar Sözcükler:**

rüzgâr erozyonu, RWEQ, Kriking

**Key Words:**

wind erosion, RWEQ, Kriking,

**Türkiye’de Rüzgâr Erozyonu Toprak Duyarlılık Değişkenlerinin Ulusal Ölçekte Belirlenmesi ve Haritalanması**

Determination and Mapping of Wind Erosion Soil Susceptibility Variables at the National Scale in Turkey

**Alınış** (Received):28.08.2018

**Kabul Tarihi** (Accepted): 02.11.2018

**ÖZ**

**Amaç:** Küresel ısınma ve beraberinde gelen iklim değişimine dair beklentilerin gerçekleşmesi durumunda, Türkiye’de rüzgâr erozyonunun şiddetini ve etkilediği alan miktarını artırması beklenilmektedir. Bu yayında Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliğine (Revised Wind Erosion Equation [RWEQ]) ait toprak faktörü verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan yaklaşımlara ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

**Materyal ve Metot:** Türkiye topraklarının rüzgâr erozyonuna duyarlılıklarının belirlenmesinde, koordinatlı ve noktasal toprak yüzey örneklerine ait 14 801 analiz sonuçlarından faydalanılmıştır.

**Bulgular:** Yapılan istatistiksel analizlere göre sürekli yüzey haritalarının oluşturulmasında Kriking yönteminin daha uygun sonuçlar verdiği bulunmuştur. Ayrıca analiz ve haritalandırma sonuçlarına göre ülkemiz toprakları  $E_f$  açısından bakıldığında, minimum:0.1132, maksimum:0.5600, ortalama:0.4173 ve standart sapmasının ise 0.0693 olduğu,  $S_{cr}$  açısından değerlendirildiğinde ise minimum:0.0376, maksimum: 0.7035, ortalama: 0.1901 ve standart sapmasının ise 0.0878 olduğu bulunmuştur.

**Sonuç:** Türkiye RWEQ modeli-tabanlı rüzgâr erozyonu tehlike tahmin teknolojisi uğraşları, bitki örtüsü ve arazi pürüzlülüğü parametrelerinin de üretilmesi çalışmaları ile devam etmektedir. İklim ve toprak parametresine ek olarak, bitki örtüsü ve arazi pürüzlülüğü parametrelerinin de zaman-sal ve konumsal ölççeklerde elde edilmesiyle birlikte, var olan parsel temelli araştırma sonuçları ile kalibre-edilip doğrulanarak rüzgâr erozyonu haritaları üretilebilecektir. Böylece kullanılan tahmin sistemi ve ürettiği analitik veri altlıklarının, rüzgâr erozyonu ile arazi tahribatının görüldüğü bölgelerde, arazi kullanım planlamalarının hayata geçirilmesinde yaşamsal öneme sahip olması beklenilmektedir.

**ABSTRACT**

**Objective:** Wind erosion severity in Turkey and its impact area would increase if expectations about effects of global warming and concomitant climate change are recognized. Present paper details approaches to assess soil factor data by Revised Wind Erosion Equation (RWEQ).

**Material and Methods:** Total number of 14 801 coordinated data of topsoil samples were analyzed for wind erosion susceptibility of Turkish soils.

**Results:** In surfacing continuous map layers of soil sub-factors, Kriging over Inverse Distance Weighting (IDW) produced better results. Average values on sub-factors of wind erosion soil factor ( $E_f$ ) and soil crust factor ( $S_{cr}$ ) were 0.4173 ( $\pm 0.0693$ ) and 0.1901 ( $\pm 0.0878$ ) with max-min values of 0.5600-0.1132 and 0.7035-0.0376, respectively. Studies for determining vegetation and terrain roughness parameters of RWEQ model are under investigation since climate and soil factors are successfully completed.

**Conclusion:** Obtaining all parameters of basic factors at appropriate spatial and temporal scales, dynamic national wind erosion map, easily verifiable and calibrated by new incoming data and by on-going parcel-based work findings, will be generated. This national predictive system by RWEQ wind erosion risk assessment would thus have a pivotal significance to realize land use planning with protective measures for eolian erosion.

## GİRİŞ

Toprak, insan ve doğal yaşam açısından vazgeçilmez doğal bir kaynaktır. Doğal kaynağımız olan toprağın yerinde tutulması, korunması ve sürdürülebilir bir yaklaşımla kullanılması gerekmektedir. Çevresel faktörlerin yanı sıra insanların çeşitli müdahaleleri sonucunda, doğal bitki örtüsünün zarar görmesiyle birlikte oluşan arazi bozulumu birçok problemi beraberinde getirmektedir. Kaldı ki son yıllarda gıda güvenliğine bağlı olarak biokütle üretiminin sınırlı olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde iklim değişikliği ile birlikte hızlanan toprak tahribatı, Sürdürülebilir Toprak Yönetimi (STY) ve Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY) kavramlarının önemini bir kez daha ortaya koymuş bulunmaktadır.

Ülkemiz koşullarında STY ve SAY açısından korumalı doğal kaynak kullanımını sağlamak, erozyon kontrol çalışmalarını planlamak ve mühendislik çalışmalarında kullanılmak üzere belirli konumsal ölçeklerde bilimsel ve model tabanlı erozyon risk değerlendirme çalışmalarının yapılması zorunluluk haline gelmiştir. Bu maksatla; Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) tarafından, RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation [Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği]) eşitliği esas alınarak su erozyonu sonucu taşınan sediment miktarını hesaplayan Dinamik Erozyon modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) kullanıma hazır hale getirilmiştir (URL\_1).

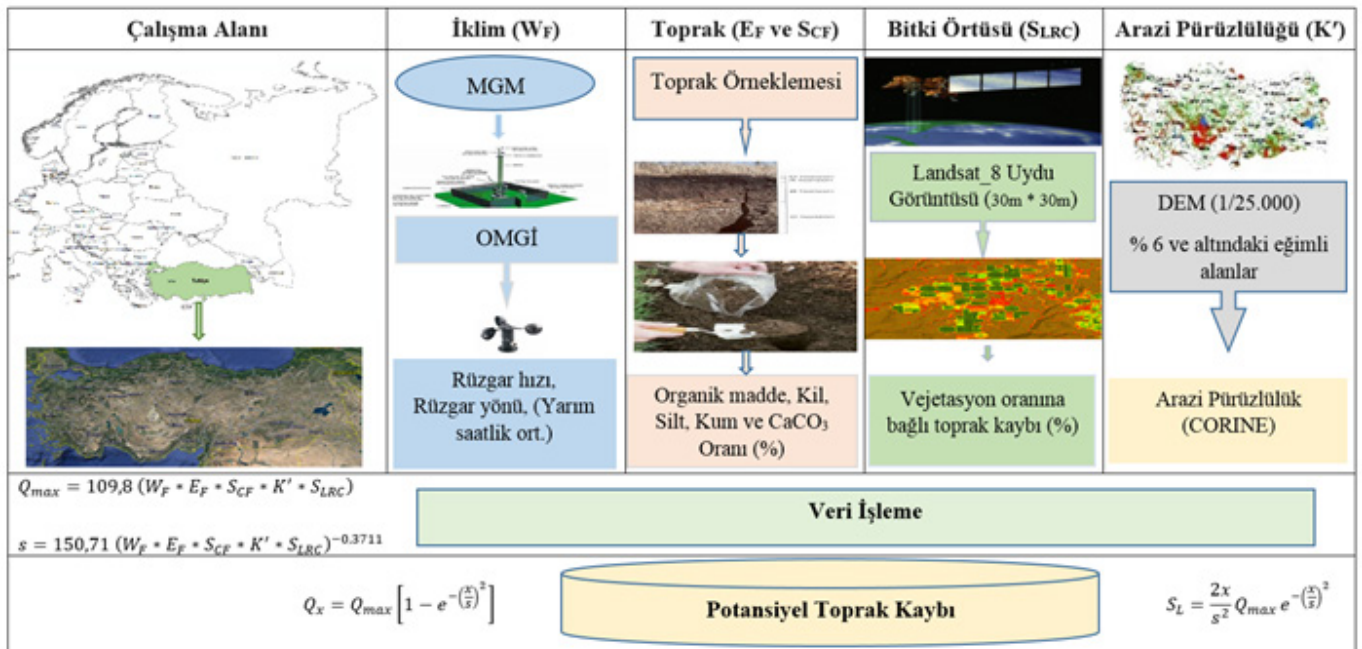
Özellikle yarı-kurak ve kurak iklim kuşaklarında, su erozyonu zararlarına ek olarak rüzgar erozyonu, toprağın kuru, gevşek ve bitki örtüsünün bulunmadığı koşullarda, arazinin temel yeteneklerini kaybetmesine ve bozunuma uğramasına

yol açmaktadır (Sterk vd., 1997).

Yalçın vd., (2003) göre, Dünya genelindeki tarım alanlarının %40'ı su ve rüzgar erozyonunun etkisi altında, Oldeman'a (1994) göre ise, Dünya genelindeki arazi varlığının yaklaşık %28'i sadece rüzgâr erozyonu sürecinden değişen oranlarda etkilenmektedir. Ayrıca rüzgâr erozyonu kurak ve yarı kurak bölgelerde önemli bir problem olup dünya nüfusunun altıda biri tarafından korunma amaçlı mücadele edilmektedir (Skidmore, 2000).

Türkiye'de geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar, kara kumulu olarak bilinen 465 913 ha alanda hafiften çok şiddetliye kadar değişen oranlarda rüzgâr erozyonu probleminin var olduğunu göstermektedir. Bu alanın yaklaşık %70'i (322 474 ha) Konya il sınırları içinde yer almaktadır ki, bu alanın da büyük bir bölümü Konya'nın Karapınar ilçesinde bulunmaktadır (Özdoğan, 1976; Abalı vd., 1986). Özden vd. (1998)'na göre Türkiye'de 330 000 ha alan, Okur (2010) göre ise sadece Karapınar'da 103 000 ha alan rüzgâr erozyonundan etkilenmektedir. Bu alanların çoğunluğu orta ve çok şiddetli rüzgâr erozyonunun etkisi altındadır.

Türkiye'de hali hazırda temel sebebi rüzgâr erozyonu olan ve bunun sonucunda oluşan arazi bozulmasının zamansal ve mekânsal değişimi model yaklaşıma dayalı olarak ulusal ölçekte ortaya konulabilmiş değildir. Şuana kadar yapılan çalışmalar mikro havza veya parsel ölçeğini geçmemekle birlikte, durum tespitine ya da rüzgâr erozyonu dinamiklerinin küçük ölçekli belirlenmesine yöneliktir. Küresel ısınma ile



**Şekil 1.** RWEQ Modeli İş Akış Şeması, (W<sub>F</sub>, İklim faktörü (kg m<sup>-1</sup>); E<sub>F</sub>, Rüzgâr erozyonu toprak duyarlılık faktörü (%); S<sub>CF</sub>, Rüzgâr erozyonu toprak kabuklanma faktörü (%); S<sub>LRC</sub>, Bitki örtüsüne bağlı toprak kaybı faktörü; K', Arazi pürüzlülük faktörü; Q<sub>max</sub>, Maksimum taşıma kapasitesi (kg m<sup>-1</sup>); s, Azami taşıma kapasitesinin %63'üne ulaşma noktası veya kritik alan uzunluğu (m); Q<sub>x</sub>, x Mesafesinde taşınan toplam toprak miktarı (kg m<sup>-1</sup>) ve S<sub>L</sub>, Birim alandan taşınan toprak kaybı (kg m<sup>-2</sup>) (Borelli vd. 2016)

**Figure 1.** Workflow Chart of RWEQ Model, (W<sub>F</sub>, Weather Factor (kg m<sup>-1</sup>); E<sub>F</sub>, Wind-Erodible Fraction of Soil (%); S<sub>CF</sub>, Soil Crust Factor (%); S<sub>LRC</sub>, Soil loss factor due to vegetation; K', Land roughness factor; Q<sub>max</sub>, Maximum carrying capacity (kg m<sup>-1</sup>); s, The point of reaching 63% of the maximum carrying capacity or the critical area length (m); Q<sub>x</sub>, x Total amount of soil carried away (kg m<sup>-1</sup>) ve S<sub>L</sub>, Soil loss carried by unit area (kg m<sup>-2</sup>)

beraberinde gelen iklim değişikliği ve kuraklık tehlikesine bağlı olarak, Türkiye'de önümüzdeki süreçte rüzgâr erozyonunun etki alanı ve şiddetinin artacağı ön görülmektedir.

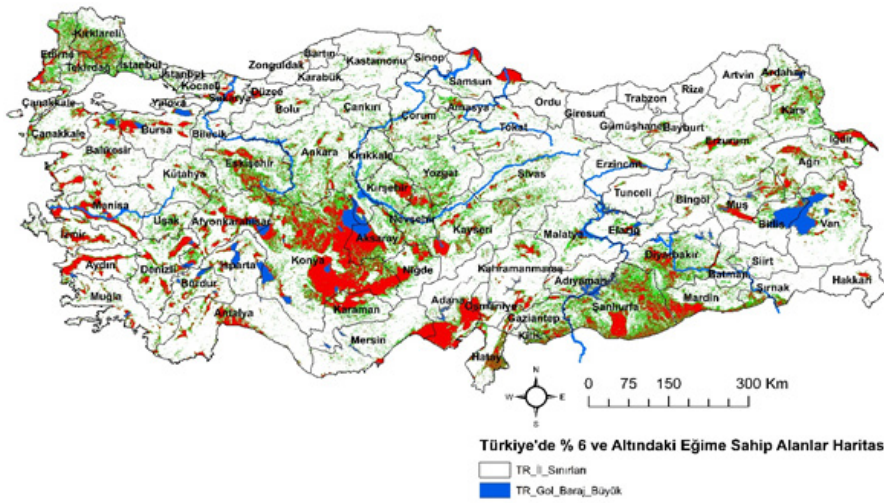
Bu nedenle DEM'S'e ek olarak, rüzgâr erozyonunun ulusal ölçekte zamansal ve konumsal değişimini belirleyecek dinamik bir sisteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple ÇEM tarafından 'Ulusal Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Risk Haritasının Hazırlanması Projesi' başlatılmış (ÇEM, 2016) ve 'Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli ve İzleme Sistemi (UDREMİS)' geliştirilmiştir.

UDREMİS yazılımı, deneye dayalı ve süreç temelli modelleme teknolojilerinin bir bileşkesini (Fryrear vd., 1998; Fryrear vd., 2000) ifade eden çoklu regresyon denklemi olan RWEQ (Revised Wind Erosion Equation [Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği]) model yapısını esas almaktadır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, RWEQ modeli, dört ana parametre

(iklim, toprak, bitki örtüsü, arazi pürüzlülüğü) ve ilişkili alt parametreleri hesaplayarak rüzgâr erozyonu sonucu taşınan potansiyel sediment miktarını tahmin etmektedir.

İş akış şemasından da açıkça görülebildiği gibi model parametre hesaplamaları Türkiye ölçeğinde, Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) yer alan konuma dayalı istatistiksel yaklaşımlarla yapılmaktadır.

UDREMİS yazılımında Türkiye'de, kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgeleri de içerisinde barındıran ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) göre oldukça düz-geniş araziler olarak tanımlanan %6 ve altındaki eğime sahip yaklaşık 19.2 milyon ha alan temel altlık olarak kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle, bu araziler potansiyel rüzgâr erozyonu riskine sahip alanlar olarak tanımlanmıştır (Şekil 2).



**Şekil 2.** Türkiye'de Topoğrafya Açısından Potansiyel Rüzgâr Erozyonu Risk Alanları Haritası

**Figure 2.** The Map of Potential Wind Erosion Risk Areas in Turkey in terms of topography (Slope Map of Turkey (sloping fields  $\leq$  6%))

RWEQ modeline ait dört ana parametreden biri olan Rüzgâr Erozyonu İklim Faktörünün ( $W_p$ ,  $\text{kg m}^{-1}$ ) belirlenmesi çalışmaları 2017 yılında tamamlanmış ve UDREMİS yazılımı ile bütünleşik hale getirilmiştir (İnce, 2017). Ayrıca Türkiye ölçeğinde rüzgâr erozyonu iklim faktörünün belirlenmesinde izlenen yaklaşım ve değerlendirme sonuçları da İnce vd. (2018) tarafından kullanıma hazır hale getirilmiştir.

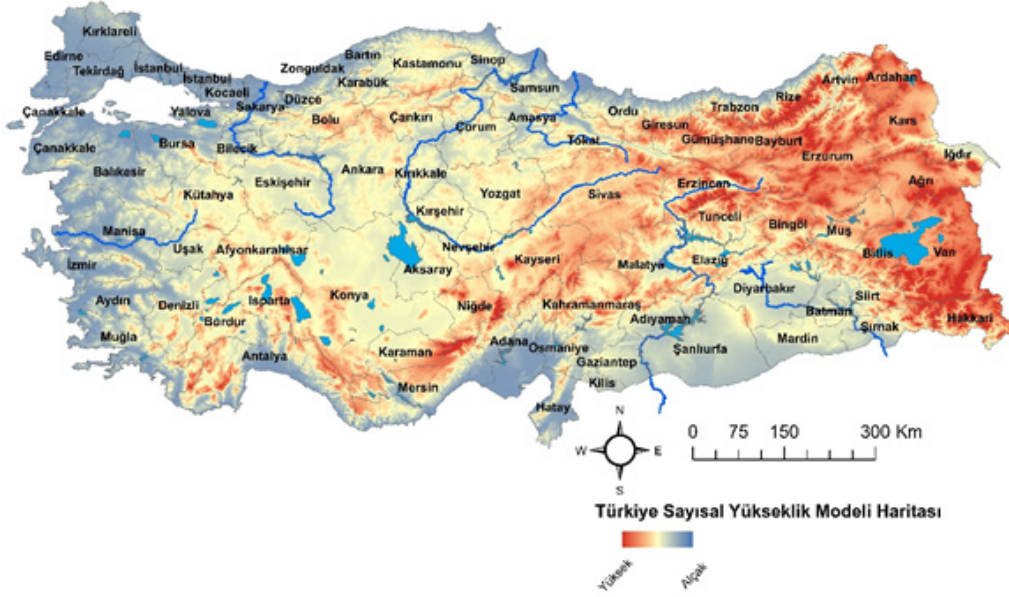
RWEQ modeline ait bir diğer ana parametre olan toprak parametresi, Rüzgâr Erozyonu Toprak Duyarlılık Faktörü ( $E_p$ ) (%) ve Rüzgâr Erozyonu Toprak Kabuklanma Faktörü ( $S_{CF}$ ) (%) ile birlikte değerlendirilmektedir.

Bu yayının amacı, Şekil 3'de gösterildiği üzere tüm Türkiye'de  $E_p$  ve  $S_{CF}$  değerlerinin ortaya konulmasında kullanılan altlıkların elde edilmesi, değerlendirilmesi ve haritalandırılması hakkında detaylı bilgiyi vermek ve sonuçlarını ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktır.

Model ile veri tahmini yapılan çalışmalarda, üretilen verilerin doğruluk oranlarının belirlenmesi önemli noktalardan biridir; öyle ki, basit ve tanımlayıcı istatistiksel yöntemler bunun için ilk başta başarı ile kullanılmaktadır. Zadeh vd. (2010) ve Çelik (2017), yaptıkları çalışmalarında farklı algoritmalar ile ürettikleri veri sonuçlarının doğruluklarının

değerlendirilmesinde korelasyon, t-dağılımı,  $R^2$  ve RMSE gibi temel istatistiksel değerlendirmeleri kullanmışlardır. Ara-değerlendirme yöntemlerinin kullanımında, SYM çok büyük bir önem arz etmektedir. Ara-değerlendirme ile toprak verilerinin dağıtılması ve bu verilerin karşılaştırılması konusunda yapılmış çalışmalara örneklerden biri de Sajid vd. (2013) tarafından Ters Mesafe Ağırlıklı Ara-değerlendirme (Inverse Distance Weighting [IDW]) yöntemi ve Kriking Ara-değerlendirme yöntemi kullanılarak üretilmiş toprak yoğunluğu verilerinin sistematik olarak değerlendirildiği çalışmadır. Çalışmada IDW ve Kriking yöntemlerinin aralarında ara-değerlendirme kabiliyeti bakımından çok büyük fark olmadığı sonucuna varılmıştır.

Meng vd. (2013) yaptıkları çalışmada ise mekânsal ara-değerlendirme için 7 farklı yöntemin karşılaştırılması çalışmalarında sonuçların değerlendirmesinde; minimum, maksimum, standart sapma, histogram,  $R^2$ , RMSE gibi yöntemleri kullanmışlardır. Bu çalışmada yine model sonuçlarının karşılaştırılmasında korelasyon, tanımlayıcı istatistik ve çapraz doğrulama gibi istatistiksel yöntemlere yer verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma Alanı

Figure 3. Study Area (Digital Elevation Model Map)

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

Türkiye topraklarının rüzgâr erozyonuna duyarlılıklarının belirlenmesinde; başta Tarım ve Orman Bakanlığı olmak üzere farklı kurum ve kuruluşlar tarafından elde edilen, koordinatlı, noktasal toprak yüzey örneklerine ait analiz sonuçlarından faydalanılmıştır.

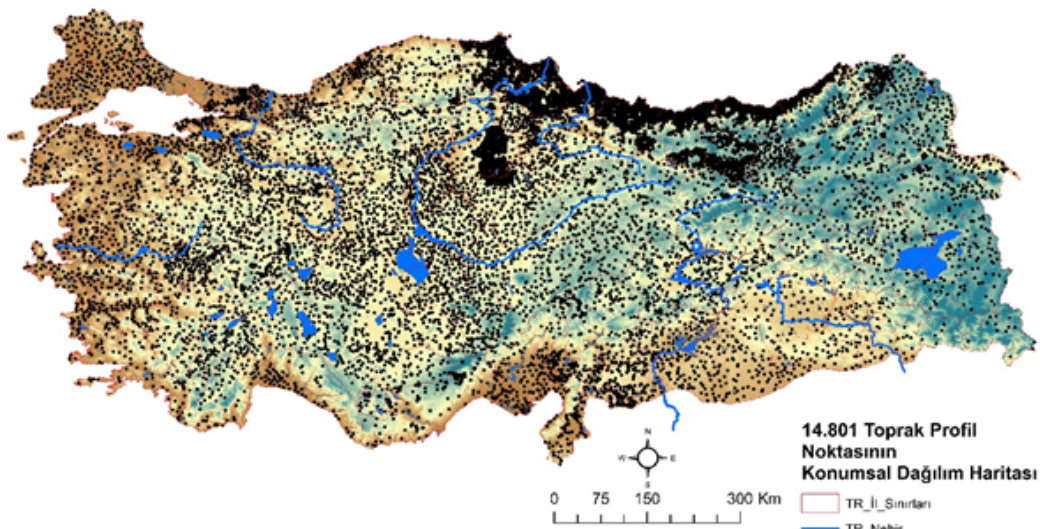
$E_f$  ve  $S_{CF}$  değerlerinin elde edilmesinde Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterildiği gibi Türkiye'de farklı konumlarda yer alan 14 801 noktasal toprak yüzey örneklerine ait analiz sonuçları kullanılmıştır.

Toprağa ait kullanılan temel veri altlıkları, kurumlar

arası işbirliği ve protokoller çerçevesinde ÇEM tarafından yürütülmekte olan; DEMİS ve UDEMİS Projelerinde yer alan ortak doğal kaynak veri kümesi olarak da değerlendirilmektedir.

### Yöntem

Türkiye'de rüzgâr erozyonu sonucu taşınan sediment miktarının belirlenmesinde, kullanılan RWEQ modeline ait, en etkili parametrelerinden birisi toprak özellikleridir. Toprak özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan alt değişkenler (*kum, silt, kil, CaCO<sub>3</sub>, organik madde miktarı*) benzer değerlere sahip



Şekil 4. Noktasal Toprak Yüzey Örneklerinin Konumsal Dağılım Haritası

Figure 4. The Map of Spatial Distribution Surface Specimens of Soil Point

özelliklerin aynı sınıfta olmasını sağlamak amacıyla CBS'de kullanılan Doğal Aralık Sınıflama (Natural Breaks) metoduna göre altı sınıf olacak şekilde sınıflandırılmıştır.

Toprak faktörü içerisinde değerlendirilen,  $E_F$  ve  $S_{CF}$  faktörlerinin hesaplanmasında sırasıyla Eşitlik [1] ve [2] esas alınmaktadır (Fryrear ve ark. 1994; Zobeck, 1991).

$$E_F = \frac{29,09 + 0,31S_a + 0,17S_i + 0,33S_c - 2,59 OM - 0,95 CaCO_3}{100}$$

[1]

Burada  $E_F$ , Rüzgâr erozyonu toprak duyarlılık faktörü;  $S_a$ , Toprak kum içeriği;  $S_i$ , Toprak silt içeriği;  $S_c$ , Toprak kil içeriği; OM, Organik madde miktarı ve  $CaCO_3$  ise Toprağın kalsiyum karbonat oranını (%) ifade etmektedir.

$$S_{CF} = \frac{1}{[1+0.0066(S_c)^2+0.21(OM)^2]}$$

[2]

Burada ise  $S_{CF}$ , Rüzgâr erozyonu toprak kabuklanma faktörünü ifade etmektedir.

CBS'de, farklı konumlardan alınan noktasal toprak yüzey örneklerine ait analiz sonuçlarının tüm ülke yüzeyini temsil edecek şekilde, geriye kalan noktalara da ilişkin tahmini değerlerin üretilmesinde iki yaklaşım uygulanmaktadır. İlki belirleyici (deterministik) metot olarak bilinen ve sadece matematiksel fonksiyonlarla mesafeye dayalı algoritma kullanan IDW yöntemi, ikincisi ise jeostatistiksel metot olarak bilinen ve istatistiksel yaklaşımla hesaplama yapan Kriking ara-değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemlerde mekânsal olarak dağılmış verilerin birbirleriyle ilişkili olduğu varsayılır. Böylece alınan örnek noktalardan sürekli yüzey oluşturulmuş olur.

Bu çalışmada  $E_F$  ve  $S_{CF}$  değerlerinin gerçeğe yakın bir şekilde

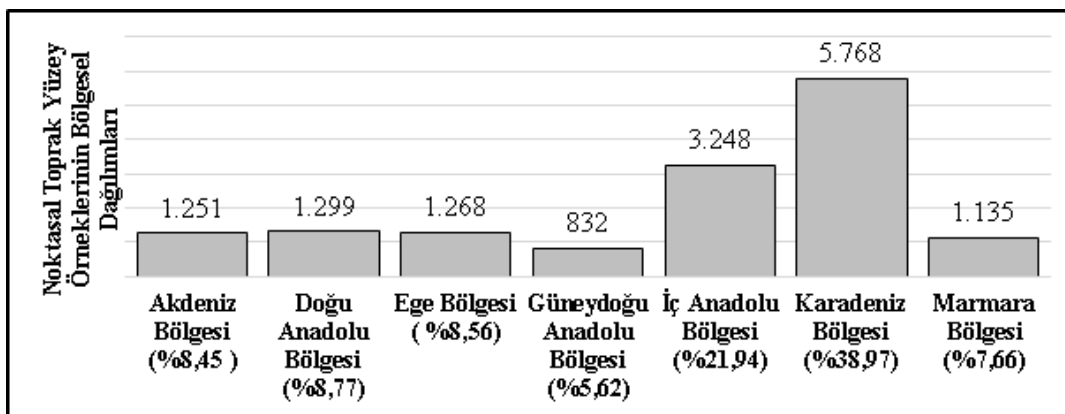
sürekli yüzey haritalarının oluşturulmasında kullanılacak ara-değerlendirme yönteminin belirlenmesi amacıyla her iki yöntemin istatistiksel uygunluğu karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve haritalandırmada istatistiksel ara-değerlendirme doğruluğu yüksek olan yöntem ile haritalandırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla öncelikle Türkiye geneli için hesaplanmış olan 14 801 noktanın 1 929 adedi MATLAB5.3 programında rastgele seçilmiştir, seçilen 1 929 nokta ayrıldıktan sonra geriye kalan 12 872 nokta verisiyle IDW ve Kriking yöntemine göre ara-değerlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Rastgele seçilmiş olan noktaların koordinatlarına düşen ara-değerlendirme sonuçları gerçekte hesaplanmış ve ara-değerlendirmeye alınmamış olan verilerle kıyaslanmıştır. Verilerin dağılım analizleri R4.1 programında yapılmış ve çoğunluğu normal dağılmayan bu veriler üzerinde parametrik ve parametrik olmayan testler uygulanmıştır.

Hesaplanmış  $E_F$  ve  $S_{CF}$  değerleri için IDW ve Kriking yöntemi ile tahmin edilen verilerin arasındaki benzerliğin ortaya konulması için Sperman Rank ve Pearson Korelasyon metotları (Myers ve Sirois 2004) kullanılmıştır.

#### ARAŞTIRMA BULGULARI

Türkiye ölçeğinde Eşitlik [1] yardımıyla rüzgâr erozyonu açısından toprağın duyarlılık faktörünün belirlenebilmesi için 14 801 noktasal toprak yüzey örneklerine ait organik madde, kil, kum, silt ve kalsiyum karbonat ( $CaCO_3$ ) miktarları ayrı ayrı değerlendirilmiş ve yapılan jeostatistik analizlere göre tahmin edilen organik madde, kil, kum, silt ve kalsiyum karbonat miktarına (%) ait minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 1'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

CBS yardımıyla, 14 801 noktadan elde edilen organik madde, kil, kum, silt ve kalsiyum karbonat miktarına (%) ait verilerle sürekli yüzey haritaları Şekil 6'da gösterildiği gibi üretilmiştir.



Şekil 5. Noktasal Toprak Yüzey Örneklerinin Bölgesel Dağılım Grafiği  
Figure 5. Regional Distribution Chart of Point Soil Surface Specimens

Türkiye geneli için IDW ve Kriking ara-değerlendirme tekniklerine göre üretilmiş ve aynı noktalar için hesaplanmış verilerin istatistiksel özetleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Gerçek veriler ile tahmin edilen değerlerin ortalamalarının birbirine olan benzerlikleri, değerlerin birbirine genel anlamda benzer olduğu hakkında bilgi sahibi olmada uygun göstergelerden biridir. Çizelge 2'de görüldüğü üzere  $E_F$  ve  $S_{CF}$  değerleri gerçek veriler ve üretilen değerlerin ortalamaları birbirinin  $S_{CF}$ 'de aynısı iken,  $E_F$  içinse aralarındaki fark sadece 0,01 kadardır.

$E_F$  maksimum ve minimum değerleri incelendiğinde, hesaplanan  $E_F$  değerlerinde en düşük değer 0 iken  $E_{F\_Kriking}$  ve IDW değerleri çok büyük değişiklikler arz etmemektedir. Maksimum değerleri ise IDW ve hesaplanan aynı olur iken,  $E_{F\_Kriking}$  0.54 değeri ile diğerlerinden az bir tahmin yapmıştır.

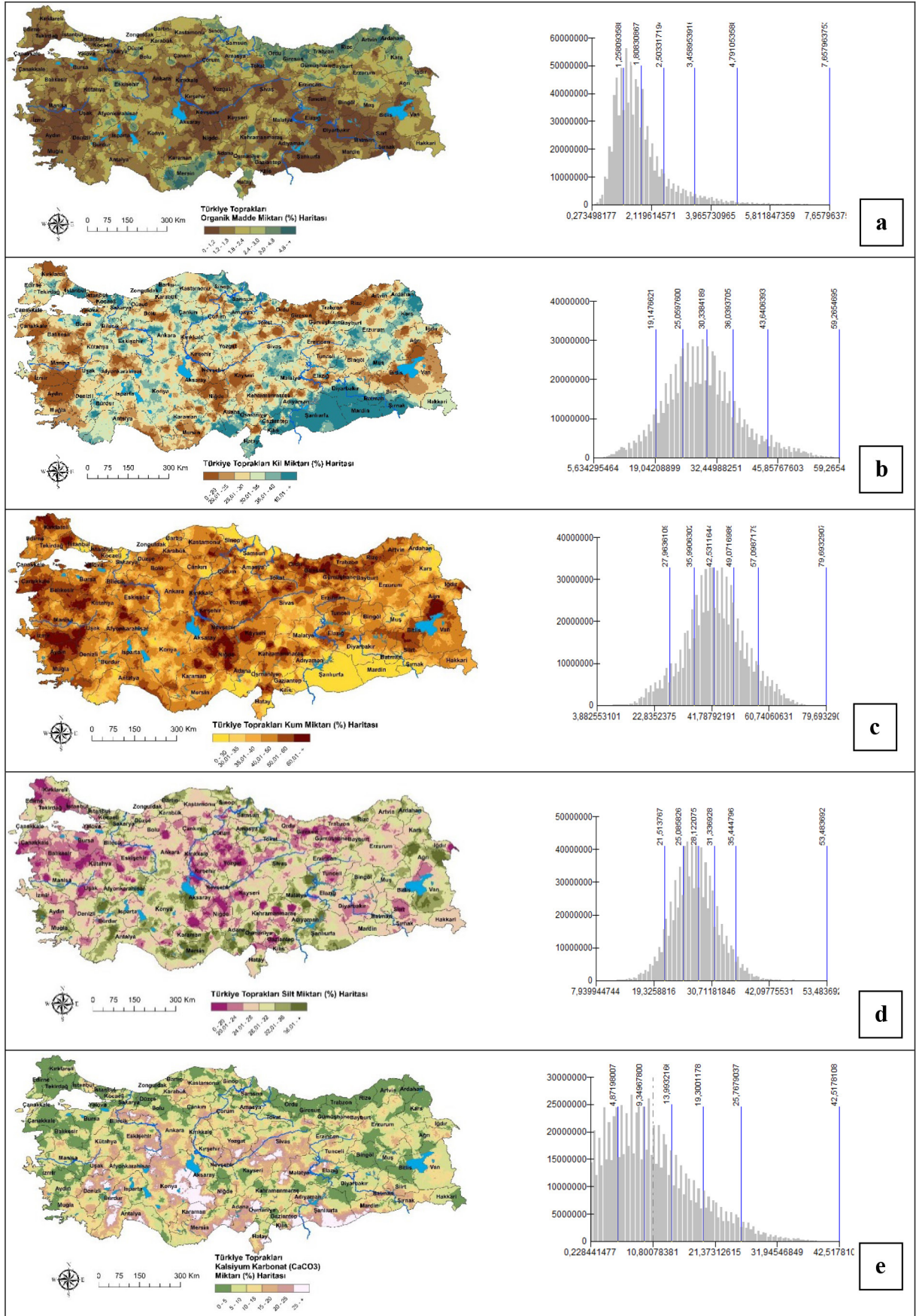
Tanımlayıcı istatistik tablosunda da (Çizelge 2) görüldüğü üzere hesaplanan  $E_F$  ve  $S_{CF}$  değerleri için standart sapma oranları IDW ve Kriking yöntemi ile tahmin edilen verilerden büyüktür. Bu da tahmin edilen verilerin değer aralığının hesaplanan veri aralığından daha dar olduğunu göstermektedir. Bunu daha ayrıntılı incelemek için varyasyon dağılımlarının yüzde oranlarının (Çizelge 2)  $E_F$  için hesaplanmış varyasyon katsayısı %38.23 olurken IDW ve Kriking yöntemi ile tahmin edilmiş olan sonuçlar sırasıyla % 27.27 ve % 24.24 olarak bulunmuştur. Bu da dağılımların tahmin ve hesaplamalar arasında çok farklılık göstermediğini ortaya koymaktadır.  $S_{CF}$  içinse hesaplanan değerlerin varyasyon katsayısı %86.36 olarak hesaplanmış ve bu değer  $S_{CF}$  faktörünün IDW ve Kriking (sırasıyla %59.09 ve %45.45) yöntemleri ile dağıtılmasından daha yüksek çıkmıştır.

**Çizelge 1.** Türkiye Topraklarının Organik Madde, Kil, Kum, Silt ve Kalsiyum Karbonat Miktarlarına Ait Tanımlayıcı İstatistikler  
**Table 1.** Descriptive Statistics of Organic Matter, Clay, Sand and Silt of soil in Turkey

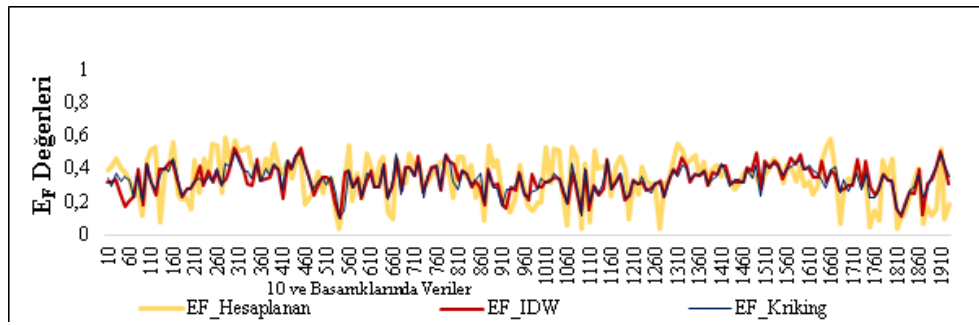
Yüzde (%)	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
<b>Organik Madde (OM)</b>	0.2734	7.6579	1.7697	0.8492
<b>Kil (<math>S_c</math>)</b>	5.6342	59.2654	29.2802	8.0953
<b>Kum (<math>S_s</math>)</b>	3.8825	79.6932	42.8249	9.8767
<b>Silt (<math>S_i</math>)</b>	7.9399	53.4836	24.4784	4.4761
<b>Kalsiyum Karbonat (<math>CaCO_3</math>)</b>	0.2284	45.5178	10.8401	7.1881

**Çizelge 2.** Türkiye Topraklarının  $E_F$  ve  $S_{CF}$  Değerlerine Ait Tanımlayıcı İstatistikler  
**Table 2.** Descriptive Statistics of  $E_F$  and  $S_{CF}$  Values of Soils in Turkey

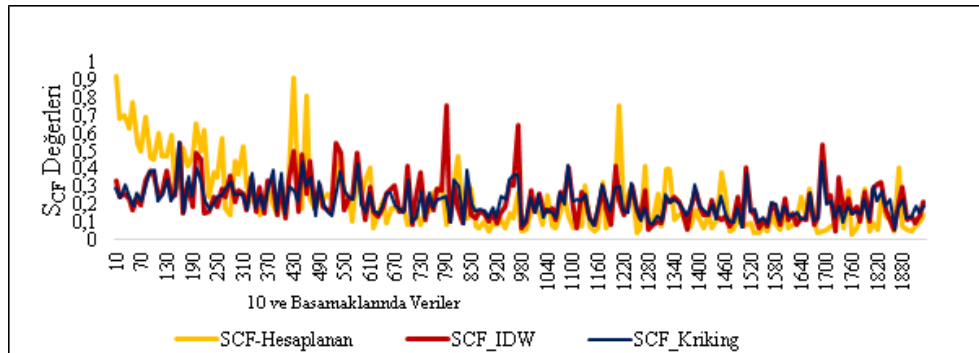
	$E_F$ Hesaplanan	$E_F$ IDW	$E_F$ Kriking	$S_{CF}$ Hesaplanan	$S_{CF}$ IDW	$S_{CF}$ Kriking
<b>Ortalama</b>	0.34	0.33	0.33	0.22	0.22	0.22
<b>Standart Hata</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Medyan</b>	0.36	0.34	0.34	0.15	0.19	0.20
<b>Mod</b>	N/A	0.42	0.33	0.70	0.24	0.15
<b>Standard Sapma</b>	0.13	0.09	0.08	0.19	0.13	0.10
<b>Varyasyon Katsayısı (%)</b>	38.23	27.27	24.24	86.36	59.09	45.45
<b>Örneklem Varyansı</b>	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01
<b>Basıklık</b>	-0.05	0.63	0.08	2.33	3.30	1.12
<b>Çarpıklık</b>	-0.43	-0.33	-0.44	1.61	1.51	0.98
<b>Oran</b>	0.87	0.84	0.47	0.96	0.96	0.72
<b>Minimum</b>	0.00	0.04	0.07	0.02	0.03	0.05
<b>Maksimum</b>	0.88	0.88	0.54	0.99	0.99	0.77
<b>Toplam</b>	651.85	644.40	643.54	427.44	426.93	419.83



Şekil 6. Türkiye Toprakları Organik Madde (a), Kil (b), Kum (c), Silt (d) ve CaCO<sub>3</sub> (e) Miktarı (%) Haritaları  
 Figure 6. Turkey Soil Organic Matter (a), Clay (b), Sand (c), Silt (d) and CaCO<sub>3</sub> (e) Amount (%) Maps



Şekil 7. Noktaların gerçek  $E_f$  verileri ile IDW ve Kriking yöntemi ile hesaplanmış değerlerinin görsel karşılaştırılması grafiği  
**Figure 7.** Visual comparison of the calculated values of the points by IDW and Kriging method to the actual  $E_f$  data



Şekil 8. Noktaların gerçek  $S_{cf}$  verileri ile IDW ve Kriking yöntemi ile hesaplanmış değerlerinin görsel karşılaştırılması grafiği  
**Figure 8.** Visual comparison of the points calculated by IDW and Kriging method to the actual  $S_{cf}$  data

Çizelge 3. Türkiye Topraklarının  $E_f$  ve  $S_{cf}$  Değerlerine Ait Korelasyon Sonuçları

Table 3. Correlation Results of  $E_f$  and  $S_{cf}$  Values of Soils in Turkey

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

$S_{cf}$  değerlerinde ise en düşük değer 0.02 ve  $S_{cf}$  için IDW ve Kriking ile yapılmış olan tahminler ise bu değere çok yakın sonuçlar oluşturmuştur. Maksimum değerlerin tahmininde de yine  $S_{cf}$  için IDW maksimum değeri ile hesaplanan maksimum değerlerin aynı olduğu bulunmuştur.

$E_f$  Hesaplanmış,  $E_f$ \_IDW ve  $E_f$ \_Kriking yöntemi ile oluşturulmuş veri setleri çizgi grafiğe eklendiğinde (Şekil 7) IDW ve Kriking yöntemi ile ara-değerlendirme yapılmış olan verilerin ortalama bir değeri tahmin edebildiği, gerçek veri ile aynı yönde azalma ve artmaları yakalayabildiği gözlenmiştir. Ara-değerlendirme sonuçları aşırı veya uç değerlerin yakalanmasında çok başarılı olunamadığını göstermiştir.

$S_{cf}$  için aynı grafik (Şekil 8) üretildiğinde, IDW yöntemi ile ara değerli verilerin bazı noktalarda aşırı veya uç değerleri de yakaladığı gözlemlenmiş ama genel olarak iki yöntemde ortalama bir değer aralığında hareket ettiği gözlemlenmiştir.

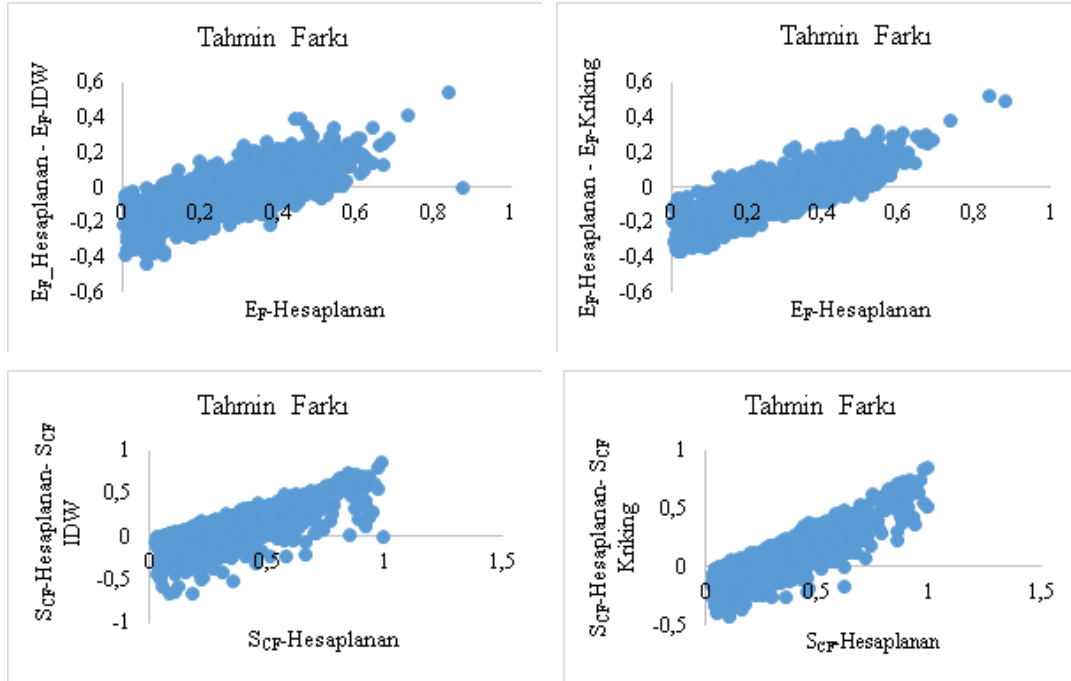
$E_f$ \_Kriking ve  $E_f$ \_IDW dağılımları normale yakın dağılmıştır. Bu iki verinin  $E_f$ \_Hesaplanan verileri ile oluşturulmuş

saçılım grafikleride doğrusal sonuçlar vermiştir.  $E_f$  ve  $S_{cf}$ 'nin dağılımları farklılık arz ettiği için, yaklaşık normal dağılım gösteren  $E_f$  değerlerinde Pearson Korelasyon Testi uygulanmış ve sonuçlara göre IDW ve Kriking yöntemlerinin neredeyse aralarında farktan bahsedilmeyecek kadar aynı oranda hesaplanan değer ile benzerlik gösterdiği bulunmuştur (aralarındaki korelasyon değeri orta sınıfa girmektedir).

$S_{cf}$  dağılımı ise normal olmadığından dolayı, Spearman Korelasyon test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.  $E_f$  ve  $S_{cf}$  dağılımlarına uygulanan korelasyon test sonuçları ise Çizelge 3'de gösterildiği gibi bulunmuştur.

Yapılan bir diğer çalışma ile Şekil 9'da gösterildiği gibi  $E_f$  ve  $S_{cf}$  verileri için hesaplanmış olan değerlerden ara-değerlendirme sonucu tahmin edilmiş verilerin çıkarılması ile oluşturulmuş veri setinin hesaplanmış gerçek verilerden ne kadar uzaklaştığını gösteren dağılım grafikleri ortaya konulmuştur.





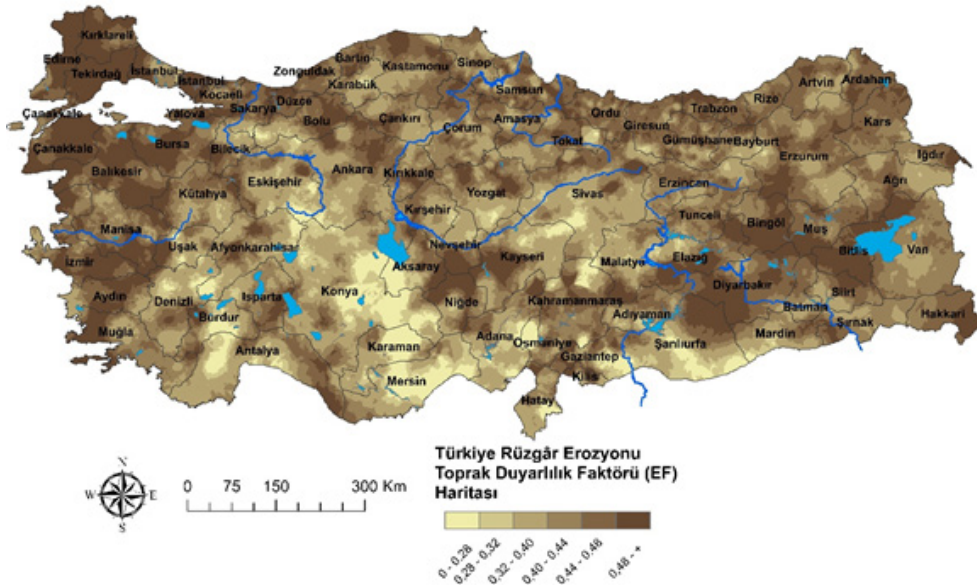
Şekil 9.  $E_f$  ve  $S_{CF}$  Verileri Dağılım Grafikleri  
Figure 9. Distribution Charts of the  $E_f$  and  $S_{CF}$  Data

Yukarıda verilen grafikler ara-değerlendirme ile tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden ne kadar uzaklaştığını göstermektedir. Bu verilerin 0 çizgisine yakın olması tahmin edilen değerlerin doğru tahmin edilme kabiliyetini göstermektedir.

$S_{CF}$  grafiklerinde görüldüğü üzere bu verinin tahmininde sapmalar çok olmasına rağmen,  $E_f$  için yapılan ara-değerlendirme işlemlerinde daha başarılı olunmuştur. Bu sapmaların hesaplanmasında kök ortalama karesel hatasından (RMSE) faydalanılmıştır.

RMSE verileri (Çizelge 3)  $E_f$  ve  $S_{CF}$  için kontrol edildiğinde, Kriging ile yapılan tahmin sonuçlarından oluşan hataların oranının kısmen daha düşük olmasından dolayı, Kriging yönteminin haritalandırma işleminde tercih edilmesinin daha uygun olacağı kararına varılmıştır.

Elde edilen korelasyon analizi sonuçlarına göre,  $E_f$  ve  $S_{CF}$  değerlerinin Kriging yöntemiyle sürekli yüzey haritaları üretilmiştir. Türkiye ölçeğinde Eşitlik [1] aracılığıyla hesaplanan RWEQ modeli 'Rüzgâr Erozyonu Toprak Duyarlılık Faktörü ( $E_f$ )' haritası Şekil 10'da gösterildiği gibi üretilmiştir.



Şekil 10. Türkiye Rüzgâr Erozyonu Toprak Duyarlılık Faktörü ( $E_f$ ) Haritası  
Figure 10. The Map of Wind Erosion Soil Sensitivity Factor ( $E_f$ ) of Turkey

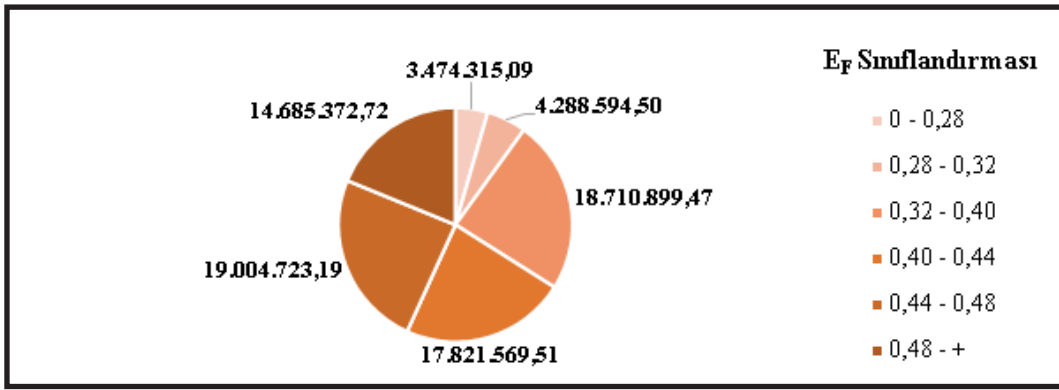
Yapılan analiz ve haritalandırma sonuçlarına göre ülkemiz toprakları  $E_f$  açısından bakıldığında, minimum: 0.1132, maksimum: 0.5600, ortalama: 0.4173 ve standart sapmasının ise 0.0693 olduğu bulunmuştur. Türkiye topraklarının  $E_f$  değerine göre alansal dağılımları analiz edildiğinde ise Şekil 11'de gösterildiği gibi toplam yaklaşık 78 milyon ha alanın, büyük bir çoğunluğu ortalama değer (0.4173) üzerinde olduğu ortaya konulmuştur. Bunun sebebinin ise yüzey topraklarının kum ve silt oranının yüksek, organik madde içeriğinin oldukça düşük olmasıdır.

Temin edilen 14 801 noktasal toprak yüzey örneklerine ait analiz sonuçları Eşitlik [2] yardımıyla hesaplanarak Şekil 12'de gösterildiği gibi Rüzgâr Erozyonu Toprak Kabuklanma Faktörü ( $S_{CF}$ ) haritası üretilmiştir.

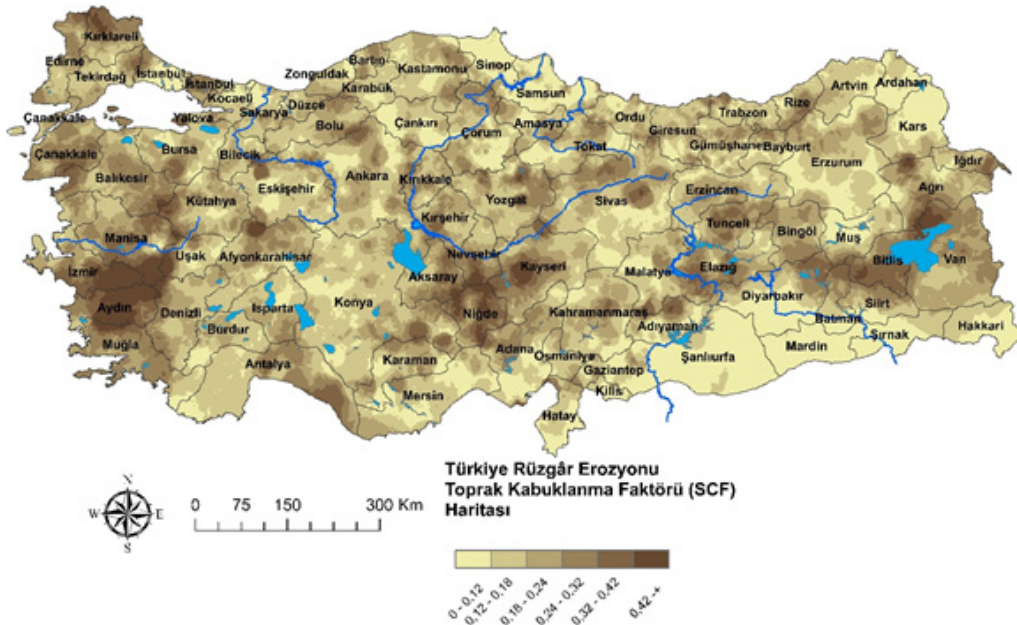
Türkiye toprakları  $S_{CF}$  açısından değerlendirildiğinde,

minimum: 0.0376, maksimum: 0.7035, ortalama: 0.1901 ve standart sapmasının ise 0.0878 olduğu bulunmuştur. Şekil 12'den de açıkça görülebileceği gibi başta Aydın ili ve civarı olmak üzere Kayseri, Niğde ve Nevşehir civarlarında yoğunluklu olarak  $S_{CF}$  değerlerinin maksimum seviyelerde, buna karşılık Şanlıurfa ve Mardin civarlarında minimum seviyelerde olduğu ortaya konulmuştur.

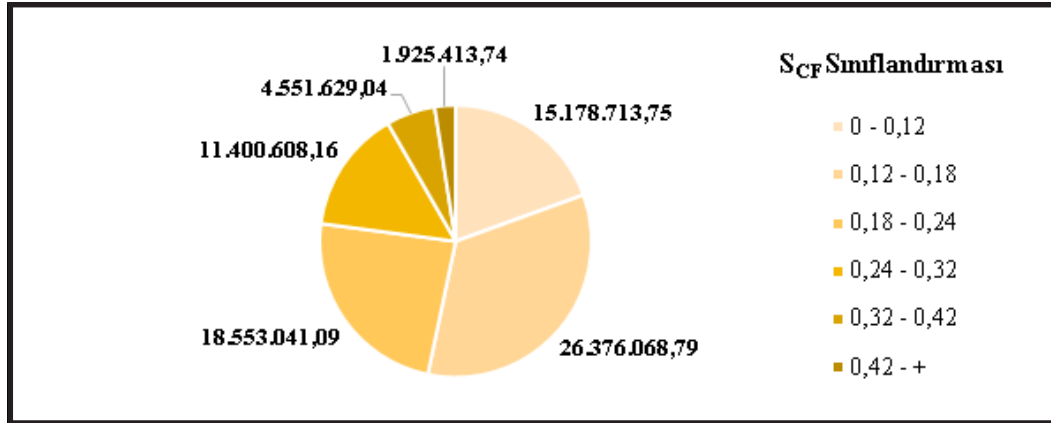
Türkiye topraklarının  $S_{CF}$  değerine göre alansal dağılımları analiz edildiğinde, toplam yaklaşık 78 milyon ha alanın, büyük bir çoğunluğu ortalama değer (0.1901) altında olduğu ortaya konulmuştur (Şekil 13). Türkiye topraklarının organik madde miktarının az (ortalama %1.7697) olmasına karşın, yüzey topraklarında kil miktarının oldukça yüksek (ortalama %29.2802) olması  $S_{CF}$  değerinin düşük olmasına neden olmuştur.



Şekil 11.  $E_f$  Faktörünün Alansal Dağılım Grafiği  
Figure 11. Spatial Distribution Chart of  $E_f$  Factor



Şekil 12. Türkiye Rüzgâr Erozyonu Toprak Kabuklanma Faktörü ( $S_{CF}$ ) Haritası  
Figure 12. The Map of Wind Erosion Soil Crust Factor ( $S_{CF}$ ) of Turkey



Şekil 13. S<sub>CF</sub> Faktörünün Alansal Dağılım Grafiği  
Figure 13. Spatial Distribution Chart of S<sub>CF</sub> Factor

## SONUÇ

ÇEM tarafından RWEQ yapısı esas alınarak model-tabanlı, dinamik ve sürekli güncellenebilir rüzgâr erozyonu iklim faktörüne ek olarak toprak faktörü de UDREMİS yazılımına bütünleşik hale getirilmiştir. Böylece; sistem farklı konumsal ölçeklerde istatistiksel olarak test edilmiş toprağın rüzgâr erozyonuna duyarlılık faktörünü gösterir tahmini haritaları üretebilmektedir.

Türkiye'de başta üst ölçekte olmak üzere, her ölçekteki rüzgâr erozyonuna maruz kalan alanların modellenmesinde kullanılmak amacıyla, her yıl yeni verilerle desteklenebilir ve böylece sürekli güncellenebilir olarak da kullanıma hazır hale getirilmiştir. Kullanılan sistemin, dinamik ve güncellenebilir bir yapıya sahip olduğu göz önüne alındığında, zamanla elde edilecek yeni verilerinde sisteme bütünleşik hale getirilmesiyle birlikte gerçeğe çok daha yakın sonuçlar elde edilebilecektir.

Türkiye RWEQ modeli-tabanlı rüzgâr erozyonu tehlike tahmin teknolojisi uğraşları, bitki örtüsü ve arazi pürüzlülüğü parametrelerinin de üretilmesi çalışmaları ile devam etmektedir. Yürütülmekte olan çalışmalarla birlikte, iklim ve toprak parametresine ek olarak, diğer parametre yüzeylerinin benzer zamansal ve konumsal ölçeklerde elde edilmesi tamamlandıktan sonra, hâlihazırda parsel temelinde farklı alanlarda yürütülen araştırma sonuçları ile kalibre-edilip doğrulanacak rüzgâr erozyonu haritaları üretililecektir.

Böylece kullanılan tahmin sistemi ve ürettiği analitik veri altlıklarının, rüzgâr erozyonu ile arazi tahribatının görüldüğü bölgelerde, STY ve SAY'ni hedefleyen arazi kullanım planlamalarının hayata geçirilmesinde yaşamsal öneme sahip olacağı beklenilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Abalı, İ., Taysun, A., Doğan, O., Önce, O., Çanga, M., 1986. Orta Anadolu Bölgesinde Rüzgâr Erozyonu Oluşumu ve Alınacak Önlemler Rehberi, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Genel Yayınları, no: 54, Rehber no: 9 Ankara.
- 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.
- Celik, S., 2017. Predicting Saltwater Intrusion Effects on Tidal Freshwater Wetlands of the Lower Apalachicola River.
- ÇEM., 2016. Ulusal Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Risk Haritasının Hazırlanması Projesi, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Fryrear, D. W., 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, D.W., 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, D.W., Krammes CA, Williamson DL, Zobeck TM. 1994. Computing the wind erodible fraction of soils. Journal of Soil and Water Conservation 49: 183-188.
- 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., Şahin, S., Erpul, G., 2018. Yenilenmiş Rüzgâr Erozyonu Eşitliği

- İklim Faktörünün Ulusal Ölçekte Belirlenmesi. Toprak Su Dergisi, 7 (2), 12-20. DOI: 10.21657/topraksu.460715 (ISSN: 2146-7072 (print) e-ISSN: 2148-5534).
- Meng, Q., Liu, Z., & Borders, B. E., 2013. Assessment of regression kriging for spatial interpolation-comparisons of seven GIS interpolation methods. Cartography and geographic information science, 40(1), 28-39.
- Myers, L., & Sirois, M. J., 2004. Spearman correlation coefficients, differences between. Encyclopedia of statistical sciences, 12.
- 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.
- Oldeman LR. 1994. The global extent of soil degradation. In Soil resilience and sustainable land use, Greenland DJ, Szabolcs I (eds). CAB International: Wallingford; 99-118.
- Özden, D.M., Dursun, H., and Sevinç, A.N., 1998. The Land Resources of Turkey and Activities of General Directorate of Rural Services, United Nation Convention to Combat Desertification, International Forum on European Policies to Combat Desertification in the Mediterranean Basin, Matera 29 - 31 October 1998, Ankara, Turkey.
- Özdoğan, N., 1976. Rüzgâr erozyonu ve rüzgâr erozyonu sahalarda alınacak başlıca tedbirler. Köy İşleri Bakanlığı Yayın No: 226, Toprak Su Genel Müdürlüğü, Genel Yayın No: 306, Güneş Matbaacılık T.A.Ş., Ankara, 95 s.
- Sajid, A. H., Rudra, R. P., & Parkin, G., 2013. Systematic Evaluation of Kriging and Inverse Distance Weighting Methods for Spatial Analysis of Soil Bulk Density. Canadian Biosystems Engineering, 55.

Satıcı, Ö., 2014. Dönem II Ürogenital Sistem ve Hastalıkların Biyolojik Temelleri, Korelasyon Analizi, Spearman Korelasyon Analizi <https://www.dicle.edu.tr/Contents/05ec89ab-2b9b-492d-a161-effe635296f9.pdf>

Skidmore, E.L., 2000. Air, soil, and water quality as influenced by wind erosion and strategies for mitigation. In: AGRONENVIRON 2000, Second International Symposium of New Technologies for Environmental Monitoring and Agro-Applications Proceedings, Tekirdağ, Turkey, pp. 216–221.

Sterk, G., 1997. Wind Erosion in the Sahelian Zone of Niger: Processes, Models and Control Techniques. Doctorate thesis Wageningen Agricultural University Wageningen, chapter 8.

Sterk, G., Spaan WP., 1997. Wind erosion control with crop residues in the Sahel. Soil Science Society of America Journal 61, 911-917.

URL\_1, <https://www.turkiye.gov.tr/orman-ve-su-isleri-su-erozyonunun-izlenmesi-ve-degerlendirilmesi>, 01 Ağustos 2018'de erişildi.

Yalçın, H., Aykas, E. ve Evrenosoğlu, M., 2003. Koruyucu Tarım ve Koruyucu Toprak İşleme. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40(2):153-160, ISSN 1018-8851

Zadeh, M. R., Amin, S., Khalili, D., & Singh, V. P., 2010. Daily outflow prediction by multi-layer perceptron with logistic sigmoid and tangent sigmoid activation functions. Water resources management, 24(11), 2673-2688.

Zobeck, T.M., 1991. Soil properties affecting wind erosion. Journal of Soil and Water Conservation. 46: 112–118.

Zou, K. H., Tuncali, K., & Silverman, S. G., 2003. Correlation and simple linear regression. Radiology, 227(3), 617-628.