

# DETERMINATION OF EROSION STATISTICS BY LAND USE TYPE AT NATIONAL SCALE WITH THE DYNAMIC EROSION MODEL AND MONITORING SYSTEM (DEMMS)

İskender DEMİRTAŞ, Günay ERPUL

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü

Mail: iskender.demirtas@csb.gov.tr

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7602-4063>

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi Anabilim Dalı

Mail: erpul@ankara.edu.tr

 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3797-6969>

## ABSTRACT

Soil erosion is a major environmental problem in Türkiye, as it is all over the world. In order to quickly assess erosion and develop policies, the Dynamic Erosion Model and Monitoring System (DEMMS) has become a supportive planning tool. Accordingly, it has been set up to monitor erosion in 25 river basins based on RUSLE technology and technically reinforced by RS and GIS. DEMMS has successfully produced erosion statistics not only for all river basins but also for all provinces of Türkiye, taking into account different land use types. In addition, the statistical results produced by DEMMS show maps of the distribution of erosion levels on which detailed action plans to combat soil erosion at the micro-catchment level can be easily implemented. The soil loss calculated on the basis of the statistical results and estimates of DEMMS amounts to about 642 million tons  $ha^{-1} y^{-1}$  in Türkiye. Assessing the extent of water erosion in Türkiye by severity, the results show that 79.4% of the total area is under the influence of very low or low severity erosion, while 20.6% of the total area is affected by moderate, severe and very severe erosion. When the extent of severe and very severe erosion is classified according to the type of land use, it is established that severe erosion occurs in agricultural and pasture areas. Setting down the efficiency of the model parameters on the amount of soil erosion; LS, which represents the combined effect of slope length and steepness on runoff and erosion processes, stood out in rational efficiency with a value of 47.55%, while C, R, and K were ranked at 34.82%, 14.26% and 3.36%, respectively. At the catchment level, sediment yield per unit area was the highest in the Çoruh basin at  $26 t ha^{-1} y^{-1}$ , while sediment yield was the lowest in the Sakarya basin at  $4.2 t ha^{-1} y^{-1}$ . Evaluating at the amount of soil transported by catchment area, the highest sediment transport of 160 million tons was recorded in the Dicle-Fırat basin, while the lowest sediment yield of 3.6 million tons took place in the Burdur basin.

**Keywords:** DEMMS, RUSLE, GIS, Soil Erosion, Land Use.

Makale Atf Bilgisi:

Demirtaş, İ. – Erpul, G. (2024). “Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) ile Ulusal Ölçekte Arazi Kullanım Türüne Göre Erozyon İstatistiklerinin Belirlenmesi”. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, Yıl: 3, Çölleşme, Erozyon ve İklim Değişikliği Özel Sayısı, s. (136-155)

Makale Türü:

Araştırma

Geliş Tarihi:

01.10.2024

Kabul Tarihi:

25.10.2024

Yayın Tarihi:

08.11.2024

Yayın Sezonu:

Kasım 2024

# DİNAMİK EROZYON MODELİ VE İZLEME SİSTEMİ (DEMİS) İLE ULUSAL ÖLÇEKTE ARAZİ KULLANIM TÜRÜNE GÖRE EROZYON İSTATİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

İskender DEMİRTAŞ, Günay ERPUL

## ÖZ

Toprak erozyonu tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de önemli çevresel bir problemidir. Hızlı bir şekilde erozyon değerlendirmesi ve politikalar geliştirmek için Dinamik Erozyon Modeli ve İzleme Sistemi (DEMİS) destekleyici bir planlama aracı haline gelmiştir, buna göre RUSLE teknolojisine dayalı olarak 25 nehir havzasında erozyonu izlemek için kurulmuş ve teknik olarak UA ve CBS ile güçlendirilmiştir. DEMİS, sadece tüm nehir havzaları için değil, aynı zamanda Türkiye'nin tüm illeri için farklı arazi kullanım türlerini de dikkate alarak erozyon istatistik sonuçlarını başarıyla oluşturmuştur. Ayrıca DEMİS tarafından üretilen istatistiksel sonuçlar, toprak erozyonu ile mücadele için mikro havza ölçeğinde detaylı eylem planlarının kolaylıkla uygulanabileceği, erozyon şiddet dağılım haritalarını ortaya koymaktadır. DEMİS tarafından üretilen istatistiksel sonuçlar ve tahminlere dayalı olarak hesaplanan toprak kaybı miktarı ülkemizde yaklaşık olarak 642 milyon t ha<sup>-1</sup>yıl<sup>-1</sup>'dir. Ülkemizdeki su erozyonu miktarı şiddet sınıfları açısından değerlendirildiğinde %79,4 'ünde çok düşük veya düşük şiddette erozyonun etkisi altında olduğu hesaplanmış, diğer taraftan toplam alanın %20,6'sının ise orta, şiddetli ve çok şiddetli erozyona maruz kaldığı belirlenmiştir. Şiddetli ve çok şiddetli erozyon miktarı arazi kullanım türüne göre kıyaslandığında ise tarım ve mera alanlarında şiddetli erozyonun meydana geldiği tespit edilmiştir. Model parametrelerinin yer değiştiren toprak miktarı üzerindeki etkinlikleri karşılaştırıldığında, eğim uzunluğu ve dikliğinin yüzeysel akış ve erozyon süreçleri üzerindeki birleşik etkisini temsil eden LS %47,55, değeriyle rasyonel verimlilikte öne çıkmıştır, C, R ve K sırasıyla %34,82, %14,26 ve %3,36 şeklinde sıralanmıştır. Havza ölçeğinde birim alanda en fazla sediment taşınımı ise 26 t ha<sup>-1</sup>yıl<sup>-1</sup> ile Çoruh Havzasında meydana gelirken, en az erozyon ise 4,2 t ha<sup>-1</sup>yıl<sup>-1</sup> ile Sakarya havzasında gerçekleşmiştir. Havza bazında taşınan toprak miktarları değerlendirildiğinde ise sırasıyla en fazla taşınım, 160 milyon ton ile Dicle-Fırat'ta olurken en düşük sediment taşınımı ise, 3,6 milyon ton ile Burdur Havzasında meydana gelmiştir.

**Anahtar kelimeler:** DEMİS, RUSLE, CBS, Toprak Erozyonu, Arazi Kullanımı.

## 1. Giriş

Sağlıklı toprak, tarımsal faaliyetlerin temeli ve 21. yüzyılda gıda, yem, lif, temiz su ve hava gibi insan ihtiyaçlarının karşılanması için temel bir kaynaktır (Bennett vd., 2009; Borrelli vd., 2017). Toprak birincil ekosistem hizmetlerinin sağlanmasını ve devamlılığını destekleyen ekosistemlerin ve toprak sistemi işlevlerinin hayati bir parçasıdır (Şekercioğlu, 2010; Wagg vd., 2014; Peters vd., 2015; Borrelli vd., 2017;). Ekosistem hizmetlerinin devamlılığı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetiminin sağlanması toprağın korunması ve sağlıklı olmasına bağlıdır (Pimentel vd., 1995; Bennett vd., 2009; Şekercioğlu, 2010; Wagg vd., 2014). Toprak erozyonu, ekosistem hizmetlerinin sağlıklı bir şekilde devam etmesinin önünde önemli bir tehdit olarak görülmektedir (Pimentel vd., 1995; Borrelli vd., 2017).

Dünyada, başlıca toprak erozyonu nedenleri; insan faaliyetleri ve buna bağlı olarak arazi kullanım değişikliği, baskılar, besin ve karbon döngüsü, arazi verimliliği ve dünya çapındaki sosyo-ekonomik koşullar olarak sıralanmaktadır (Şekercioğlu, 2010; Borrelli vd., 2017). Ormansızlaşma, aşırı otlama, toprak işleme ve uygun olmayan tarımsal uygulamalar gibi çeşitli faaliyetler de hızlandırılmış toprak erozyonu süreçlerinin zararlı etkilerinin ortaya çıkmasına ve bu etkilerin sadece arazi bozulması ve verimlilik kaybı yoluyla değil, aynı zamanda sedimantasyon, siltasyon ve su yollarının ötrofikasyonu veya artan sel felaketlerine de neden olduğu görülmektedir (Lal, 2003; Şekercioğlu, 2010; Borrelli vd., 2017). Erozyon, mineralizasyon ve tortu gömülmesi yoluyla CO2 emisyonlarında arttırıcı ve azaltıcı etkiye sahip olduğundan toprak karbon döngüsündeki erozyon kaynaklı değişikliklerin iklim üzerindeki etkilerini de ortaya çıkarmaktadır ancak bu etkilerle ilgili yeterince çalışma ve ölçümler yapılmamıştır (Şekercioğlu, 2010; Baer vd., 2016; Borrelli vd., 2017).

Toprak erozyonu, Türkiye’de de havza alanlarında toprak kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını tehdit eden en önemli unsurlardandır (FAO ve ITPS, 2015). Ayrıca iklim, toprak, topoğrafya ve arazi örtüsü ve yönetimine göre değişen farklı erozyon süreçleriyle su rezervuarlarına taşınan sediment miktarları, ülkemizin yarı kurak ekosistemlerinde enerji ve tarımsal su kullanımı için zararlı sonuçlara neden olmaktadır. Bu nedenle, erozyon riskinin ülke çapında değerlendirilmesi, doğal kaynak yöneticileri ve toprak erozyonu bilimcileri için bu tehdidi kontrol altına almak acil bir öncelik haline gelmiştir. Erozyonla mücadele kapsamında, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’na bağlı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEMGM) tarafından Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) modeline dayalı bir proje başlatılmıştır. Toprak erozyonunun aciliyetle ele alınması, tarımsal üretkenlik ve su kaynaklarını orantısız şekilde etkileyen iklim değişikliği ve arazi bozulmasının bütünleşik etkilerinin ortaya çıkmasıyla daha fazla önem kazanmıştır.

Toprak erozyonunun meydana gelmesi birçok faktörün etkisine bağlıdır. Erozyon kontrol faaliyetleri hem bu faktörlerin bilinmesini hem de faktörleri kontrol etme yöntemlerini gerektirmektedir (Renard vd., 2011). Toprak kullanımı ve yönetimi ile ilgili çalışmalar ve planlamalar, genellikle erozyon miktarının tahminini hedefleyen modeller, eroziv süreçlerin yavaşlatılması için önemlidir (Tağıl, 2009). Toprak erozyonunu hesaplamak için geliştirilen eşitlikler, kavramsal ve fiziksel süreçlere dayalı modeller olarak ayrılabilir (Kinnell, 2010). Günümüzde toprak erozyonu miktarının belirlenmesi ve şiddet sınıflarına göre değerlendirilmesi açısından kabul görmüş ve birçok çalışmada da yaygın olarak kullanılan model RUSLE eşitliğidir (Renard vd., 1994).

Bu çalışmada da Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre çalışabilmesi (Yitayew vd., 1999), farklı ölçeklerde kullanıma uygun olması (Lim vd., 2005) ve en yaygın kullanılan modellerden biri olması (Tiwari vd., 2000; Tağıl, 2007) nedeniyle RUSLE teknolojisi kullanılmıştır. Türkiye’de toprak erozyonu ve şiddet sınıflarının belirlenmesinde RUSLE modeli yaygın olarak kullanılmaktadır (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016; Kızılelma ve Karabulut, 2014; Tağıl, 2009; İrem vd., 2007).

USLE/RUSLE teknolojisi ile erozyon riskini değerlendirme çalışmaları Türkiye’de küçük havzalar ölçeğinde uzun süredir kullanılmaktadır (Erdoğan vd., 2007; Tunc ve Schröder 2010a, b; Hacisalihoglu 2010; Özcan vd., 2015; Saygın vd., 2014; Efe vd., 2008; Yüksel vd. 2008; Karaburun vd., 2009; Demirci ve Karaburun, 2012). Saygın ve diğerleri (2014), hem potansiyel hem de gerçek toprak erozyonu risklerini ölçmek için RUSLE modeli ile birlikte sediment iletim oranını (SİO) kullanmış ve havzanın yamaç alanlarından baraj rezervuarına taşınan sediment miktarını tahmin etmiştir. Yarı kurak bir havza olan Çankırı-İnönü’nde yapılan çalışmada, RUSLE-K’nın arazi kullanım değişiklikleri ve toprak özelliklerine bağlı olarak nomograf (Wischmeier ve Smith 1978; Renard vd., 1997) ile veri değerlendirmeleri yapılmış ve K değerlerinin istatistiksel olarak farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (Bayramın vd., 2008). Erdoğan vd., (2007) 1:25.000 ölçeğinde, yarı kurak bir tarım havzasında erozyon miktarını tahmin etmek amacıyla yaptıkları bir çalışmada tekstür ve erozyon sınıflarının kombinasyonlarından oluşan toprak birimlerinden RUSLE-K değerlerini tahmin etmek için Türkiye toprak veri tabanını (GDPS, 1986) kullanmışlardır. Erpul vd., (2016) gerçekleştirdikleri kapsamlı bir çalışmada, ülke genelinde dağılım gösteren devlet meteoroloji istasyonlarının uzun vadeli verilerine ve yüksek zamansal çözünürlüklü kayıtlarına dayanarak yağışların aşındırıcı gücünü belirleyip raporlamışlardır elde edilen veriler daha sonra küresel yağış aşındırıcılığı değerlendirmesi için sisteme başarılı bir şekilde entegre edilmiştir (Panagos vd., 2017). RUSLE-C faktörü erozyon miktarı ile doğrudan ilişkili olmakla birlikte arazi kullanım türüne bağlı olarak değişim göstermektedir (Kavian vd., 2015). Dağlık ve engebeli bir topoğrafyaya sahip olan Afganistan’da yapılan çalışmada üç farklı RUSLE-LS faktör yaklaşımı denenmiş ve erozyonun

eğimle doğru orantılı olarak artış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Ansari ve Tayfur, 2023). RUSLE-P faktörü, drenaj ağı, yüzeysel akış yoğunluğu, hızı ve akış tarafından toprak yüzeyine uygulanan aşındırma kuvvetleri üzerindeki etkileriyle erozyon potansiyelini azaltan kontrol uygulamalarını kapsamaktadır (Renard vd., 1991). RUSLE-P, erozyonun önlenmesi uygulamalarına bağlı olarak toprak kaybı oranını gösterir. Erozyonu kontrol etmek için kontur, kırpma ve teras gibi çeşitli önlem uygulamaları gerçekleştirilmektedir (Park vd., 2005). Toprak erozyonu kontrolü üzerindeki insan etkisi, toprak erozyonu risk değerlendirmesine dahil edilmesi açısından önemlidir, ancak erozyon kontrolü genellikle lokal bir faaliyet olduğu için küresel bir referans bulunmamaktadır (Yang vd., 2003).

RUSLE tabanlı erozyon değerlendirmeleri, ürün yönetimi ve destek uygulama faktörlerini karar kriteri olarak kullanarak küçük baraj havzalarında Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY) ve rehabilitasyon uygulamalarını planlamak için yapılmıştır (Madenöglü vd., 2018; Pınar vd., 2018). RUSLE modeli kullanılarak ÇEMGM tarafından Türkiye'nin 25 nehir havzasında toprak erozyonu ile ilgili istatistiksel verileri ve Türkiye Su Erozyonu Haritasını birlikte veren bir Su Erozyonu Atlası yayınlanmıştır (Erpul vd., 2018).

Bu makalede, toprak ekosistemi işlev ve hizmetlerinin iklim değişikliği, arazi bozulumu ve çölleşme ile iç içe geçmesiyle il ölçeğinde gıda güvenliğinin sağlanması için toprak kaynaklarının korunmasının önemi değerlendirilmektedir. Ayrıca çalışma gereklilik açısından değerlendirildiğinde ulusal ölçekte yapılan çalışmalarda veri yoğunluğu, yeni verilerin toplanması ve teknolojik gelişmeler sonucu oluşacak değişikliklerin dinamik olarak işlenmesiyle sürekliliğin sağlanmasını kapsamaktadır. Lokal çalışmaların da yetersiz kalması DEMİS gibi yazılımları ihtiyaç haline getirmiştir. Bu doğrultuda, bu makalede Türkiye'de karar ve politika üretimini desteklemek amacıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından Türkiye'de arazi kullanım türlerine göre erozyon istatistikleri ve şiddet sınıflarını belirlemek amacıyla geliştirilen DEMİS tanıtılmaktadır.

## 2. Yöntem

DEMİS, yazılımı ulusal ölçekte yapılan erozyon tahmin çalışmalarında oluşacak veri yoğunluğu, verilerin işlenmesi, yeni verilerin sisteme entegre edilmesi ve depolanması gibi amaçlarla geliştirilerek aynı amaçlar kapsamında RUSLE modeliyle bütünleşik bir biçimde çalıştırılmıştır. DEMİS'in RUSLE teknolojisi ile entegrasyonu, farklı arazi kullanım türleri ve coğrafi bölgeler arasında daha hassas ve ölçeklendirilebilir değerlendirmelere olanak sağlayan kritik bir gelişmeyi temsil etmektedir. RUSLE erozyon modeli (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1997) tabanlı DEMİS yazılımı ulusal ölçekte

mikro ve makro nehir havzaları için potansiyel ve gerçek erozyon oranlarını tahmin ederek şiddet sınıflarını da başarıyla belirlemiştir. Model parametreleri Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri ile mekânsal istatistik metodolojileri kullanılarak hesaplanmaktadır. Modelin sistematik olarak ilişkilendirildiği sayısal veri tabanları (raster ve vektör) şunlardır; Topoğrafik Haritalar (1:25.000), Sayısal Yükseklik Modelleri (DEM) (1:25.000), Harita Genel Müdürlüğü (HGM), Toprak Haritaları (1:25.000), Arazi Kullanım Verileri (CORINE2018) (1:25.000), Orman Meşçere Haritaları, (1:25.000) Orman Genel Müdürlüğü (OGM), Havza ve Nehir Ağı Verileri, (1:25.000) Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Nehir Sediment Verileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE, 2006-2012), Türkiye Su Erozyonu Haritası (ÇEMGM) (Erpul vd., 2016) ve Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyon Verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Ulusal Su Erozyonu Atlası (ÇEMGM) (Erpul vd., 2018).

Ülkemiz genelinde iklim, toprak, topoğrafya ve arazi kullanımı ve arazi örtüsü ile ilgili mevcut tüm veri setleri, RUSLE model parametrelerinin hesaplanması için kullanılmış ve metodolojik olarak ilgili UA ve CBS araçları ile daha büyük havza ölçeklerinde daha büyük veri setleri kullanılarak model katmanları üretilmiştir.

## 2.1. Operasyonel Yöntem

DEMİS'in genel çalışma akış şeması Şekil 1'de verilmiştir ve bu şemada DEMİS'in Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliğine (RUSLE) (Wishcmeier ve Smith, 1978; Renard vd. 1997) bağlı olarak hesaplandığı gösterilmektedir.

$$A = R \times K \times C \times LS \times P \quad (1)$$

Burada:

A = Yıllık Ortalama Toprak Kaybı ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ),

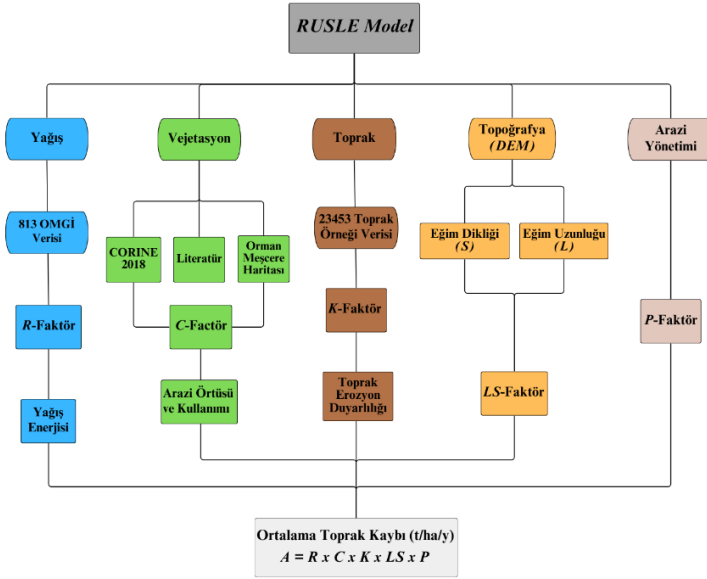
R = Yağış Aşındırma Faktörü ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ),

K = Toprak Erozyon Duyarlılığı Faktörü ( $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ),

C = Arazi Örtüsü ve Kullanımı Faktörü,

LS = Eğim Uzunluğu ve Dikliği Faktörü,

P = Erozyon Kontrol Faktörüdür.



Şekil 1. RUSLE modeli ve eşitlikte kullanılan veri setlerinin hazırlanış iş akış diyagramı.

DEMİS, 813 Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nun (OMGİ) 2004-2014 yıllarını kapsayan, 5 yıl ve üzerinde veriye sahip istasyonların dakikalık verileri kullanılarak olay bazlı R değerleri hesaplanmış ve yıllık değerlere dönüştürülmüştür. Kendi bölgesinde her bir istasyon için R değerlerinin uzun yıllar yıllık ortalaması alınarak yıllık R değerleri hesaplanmış ve R faktör haritası üretilmiştir (Şekil 3a) (Wischmeier ve Smith 1978; Foster vd., 1987; Renard vd., 1997; Erpul vd., 2016; Panagos vd., 2017).

DEMİS, yağışın aşındırma gücünü dakikalık yağış verilerinden bireysel yağışların enerji ( $E$ ,  $\text{MJ ha}^{-1}$ ) ve şiddetlerini ( $I$ ,  $\text{mm s}^{-1}$ ) sırasıyla Eş. (2) ve (3) kullanarak hesaplamıştır (Brown ve Foster, 1987).

$$E = 0,29 \times (1 - 0,72 e^{(0,05 \times I)}) \quad (2)$$

$$I = P_m / t \quad (3)$$

$$R_i = E_i \times (I_{30})_i \quad (4)$$

$P_m$ : yağış miktarı (mm) ve  $t$ : yağış süresidir (s). Herhangi bir yağışın R değeri yağış enerjisinin birim zamanda belirli bir yüzey alanına iletmış olduğu enerji miktarı ( $R_i$ ,  $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm s}^{-1}$ ), ilgili yağışın enerjisi ile 30 dakikalık en yüksek şiddetinin ( $I_{30}$ ,  $\text{mm s}^{-1}$ ) çarpılmasıyla hesaplanmıştır Eş. (4) (Renard vd., 1997).

DEMİS, ülke genelinde dağılım gösteren 23453 jeo-referanslı toprak örneği verilerinden toprak erozyon duyarlılığı faktörü üretilmiştir (Şekil 3c). K faktörünün tahmin edilmesi için gerekli toprak parametrelerinin varlığına bağlı olarak, üç farklı denklem ile K değerleri hesaplanmış ve veri kalitesini değerlendirmek amacıyla regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir.

Belirlenen K faktörü sonuçlarını değerlendirmek için nomograf (Wischmeier vd., 1971), Römkens vd., (1986, 1997) ve Torri vd., (1997, 2002) denklemleri kullanılmıştır (Tablo1). K faktörü için yapılan regresyon analizleri ve istatistiki değerlendirmeler sonucunda mevcut veri setine en uygun denklemin Torri vd., (1997) olduğu belirlenmiştir Eş. (5). Denklemden elde edilen toprağın erozyona duyarlılığı değerleri K haritasının üretilmesinde kullanılmıştır (Şekil 3c).

$$K_T = 0.0293(0.65 - D_G + 0.24D_G^2) \times \exp\{-0.0021\left[\frac{OM}{C}\right] - 0.00037\left[\frac{OM}{C}\right]^2 - (4.02 \times C) + (1.72 \times C^2)\} \quad (5)$$

$K_T$ : Toprak erozyon duyarlılığını ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ ha MJ}^{-1} \text{ s mm}^{-1}$ ) ve  $D_G$ : Ortalama geometrik tanecik çapını (mm) ifade etmektedir.

Eş. (5) Torri vd. (1997) tarafından geliştirilen deneysel hesaplama tekniğidir; toprak tane büyüklük dağılımı, organik madde (OM, %) ve kil (C, %) içerikleri eşitliğin bağımsız değişkenleridir Eş. (5). Ortalama geometrik tanecik çapı; büyüklük dağılımı eğrilerinden ayrıntılı bir şekilde ya da bünye analizinden üç ana tanecik (kil, silt ve kum) çapından belirlenmektedir (KT).

C faktörü, Panagos vd. (2015) tarafından belirlenen değerlerin CORINE 2018'deki 44 arazi örtüsü sınıflarına göre atanması sonucu belirlenmiştir. C değerlerinde meydana gelen eksiklikler ve farklılıklar Orman Amenajman Haritaları kullanılarak düzeltilmiş ve uygun C değeri alana özgü belirlenerek kullanılmıştır (Tablo1). Belirlenen C değerleri kullanılarak Arazi Örtüsü ve Kullanımı haritası üretilmiştir (Şekil 3b).

DEMİS topoğrafik faktörü; eğim uzunluğu ve dikliği dışında arazi yüzey drenaj ağı dağılımı, akış şiddetine bağlı olarak akış yönü ve yoğunluğunu da dikkate alarak etkileşimli olarak hesaplanmış ve LS faktör haritası (Şekil 3d) oluşturulmuştur (Moore ve Bruch 1986a, b; Ogawa vd., 1997) Eş. (6).

$$LS = \left(\frac{\chi\eta}{22,13}\right)^{0,4} \left(\frac{\sin\theta}{0,0896}\right)^{1,3} \quad (6)$$

Burada;  $\chi$  drenaj ağı, ArcGIS 10.2 kullanılarak DEM'den elde edilmiştir (Lee, 2004),  $\eta$  hücre boyutudur ve  $\theta$  derece cinsinden eğim dikliğidir. Çalışmada kullanılan DEM (10x10) Harita Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır (Tablo1).

P değerleri, kullanılan erozyon kontrol yöntemine bağlı olarak 0 ila 1 arasında değişim göstermektedir; burada 0 değeri uygun yapılarla erozyonunun azaltılmasını, 1 değeri ise erozyon azaltmaya yönelik çalışmaların az olduğunu veya olmadığını göstermektedir (Kouli vd., 2009). Ülkemizde toprak erozyonunu engellemeye yönelik çalışmaların uzun yıllardır yapıldığı ancak bu konuda veri oluşturulmamıştır bu sebeple P değeri 1 olarak kullanılması amacıyla DEMİS veri setlerine eklenmiştir.



Tablo 1. RUSLE modelinde kullanılan veri setleri.

Faktör	Veri	Veri Kaynağı	Uzamsal Çözünürlük	Model ve Kaynak
R	813 OMGİ dakikalık verisi	MGM	10 m	Wischmeier ve Smith (1978); Brown ve Foster, (1987); Renard vd., (1997)
K	23453 Geo-referanslı toprak örneği	Üniversiteler, Kurum ve Kuruluşlar	10 m	Wischmeier vd., (1971); Römken vd., (1986, 1997); Torri vd., (1997)
C	CORINE2018 (25 ha)	Copernicus	100 m	
	Orman Meşçere Haritaları (1:25.000)	OGM		
	Literatür			Panagos vd., (2015)
LS	DEM	Harita Genel Müdürlüğü	10 m	Moore ve Bruch 1986a, b; Ogawa vd., (1997)

DEMİS yazılımı RUSLE modeli faktörlerinin uygulanması dışında, mevcut baraj ve göllere sediment taşınması süreçleri üzerindeki etkileri de dikkate alarak mikro havza düzeyinde toprak kayıplarını tahmin etmek ve su erozyonu riskini değerlendirmek için çalıştırılabilmektedir.

### 3. Bulgular

DEMİS ve RUSLE denklemi entegrasyonu ile su erozyonu miktarı ulusal ölçekte hesaplanmıştır. RUSLE denklemine bulunan parametrelerle potansiyel erozyon haritaları oluşturulmuştur. MGM tarafından ülke genelinde 812 OMGİ ile düzenli olarak kaydedilen dakikalık ayrıntılı yağış verileri, tüm iller için hesaplanmış ve R haritası üretilmiştir (Şekil 3a).

Yağış yoğunlukları ve enerji akışları için yapılan kapsamlı hesaplamalar sonucunda ülkemizde meydana gelen toprak erozyonu için iklimsel şiddetin etkilerini belirlemiştir. Toprak verileri için ulusal ölçekte elde edilen tüm veriler kullanılarak K faktör haritası oluşturulmuştur. Vegetasyon değerlendirmesi için ise CORINE2018 verileri ve orman meşcere haritaları kullanılarak yeni veri setleri oluşturulmuş ve Panagos vd., (2015) tarafından belirlenen C faktör değerleri ülkemizdeki en uygun arazi örtüsü ve kullanım sınıflarına atanmıştır.

Bu çalışmada, RUSLE teknolojisi, ulusal ölçekte model parametrelerini daha etkin bir şekilde kullanmak için UA ve CBS ile metodolojik olarak güçlendirilmiştir. DEMİS mikro havza ve il ölçeğinde ulusal amaçlar için olası daha fazla ölçeklendirme ile uyumlu olarak çalıştırılmıştır. Ayrıca, Türkiye'nin 25 nehir havzasındaki istatistiksel olarak toprak erozyonu verileri, şiddet değerlendirmesi için ayrıntılı haritalar ve Türkiye Su Erozyonu Haritası (Şekil 4) üretilmiştir. DEMİS aracılığıyla bir Su Erozyonu Atlası hazırlanarak yayınlanmıştır (Erpul vd., 2018).

Ulusal ölçekte DEMİS tarafından tahmin edilen birim alandaki toplam toprak kaybı 642 milyon t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> olup, tahmin edilen yıllık ortalama toprak kaybı ise 8,24 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>'dir (Erpul vd., 2018). DEMİS aracılığıyla elde edilen sonuçlar su erozyonu şiddet sınıfları açısından değerlendirildiğinde, ülkemizin %79,4'ünde çok hafif ve hafif, %7,93'ünde orta, 12,67'sinde şiddetli ve çok şiddetli erozyon olduğunu göstermiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Türkiye su erozyonu şiddet sınıflarının oransal dağılımı (Erpul ve Saygın, 2012).

Şiddet Sınıfı (t ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Şiddet Oranı (%)
Çok Hafif (0-1)	60,27
Hafif (1,01-5)	19,13
Orta (5,01-10)	7,93
Şiddetli (10,01-20)	5,97
Çok Şiddetli (>20,01)	6,70

DEMİS çıktıları farklı arazi kullanım türlerine göre kıyaslandığında (Tablo 3), sırasıyla en fazla erozyon; %53,66 mera ve %38,71 tarım alanlarında meydana gelmiştir. En az erozyonun ise %4,17'yle orman alanlarında gerçekleştiği belirlenmiştir (Erpul vd., 2018).

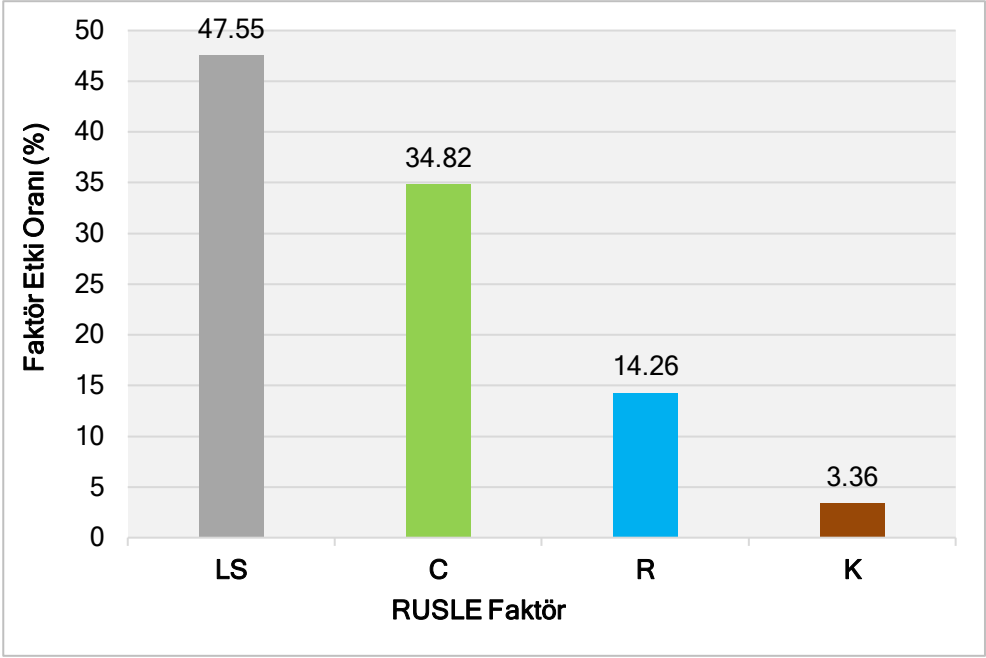
Mera alanlarında yılda 344,6 milyon ton toprak su erozyonu sonucu taşınmaktadır (Erpul vd., 2018). DEMİS sonuçları doğrultusunda Türkiye’de mera alanlarının %57,64’ünde çok hafif ve hafif, %13,59’unda orta, %28,77’sinde şiddetli ve çok şiddetli erozyonun meydana geldiği belirlenmiştir (Erpul vd., 2018). Erozyon sonucu meydana gelen ortalama toprak kaybı ise 18,36 t ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak belirlenmiş (Erpul vd., 2018) ve bu miktar ülkemizde meydana gelen yıllık ortalama toprak kaybından 2,23 kat daha fazlasıdır.

DEMİS sonuçlarına göre tarım alanlarında ise yıllık 248,6 milyon ton toprak erozyona uğramaktadır (Erpul vd., 2018). Tarım alanlarının %73,5’inde çok hafif ve hafif, %11,91’inde orta, %14,6’sında şiddetli ve çok şiddetli erozyon meydana gelmektedir (Erpul vd., 2018). Ortalama toprak kaybı ise 8,42 t ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak gerçekleşmektedir (Erpul vd., 2018). Tarım alanlarında gerçek yıllık ortalama erozyon miktarı ülke ortalamasının biraz üzerindedir.

Tablo 3. Ulusal ölçekte su erozyonunun arazi kullanım türlerine göre dağılımı.

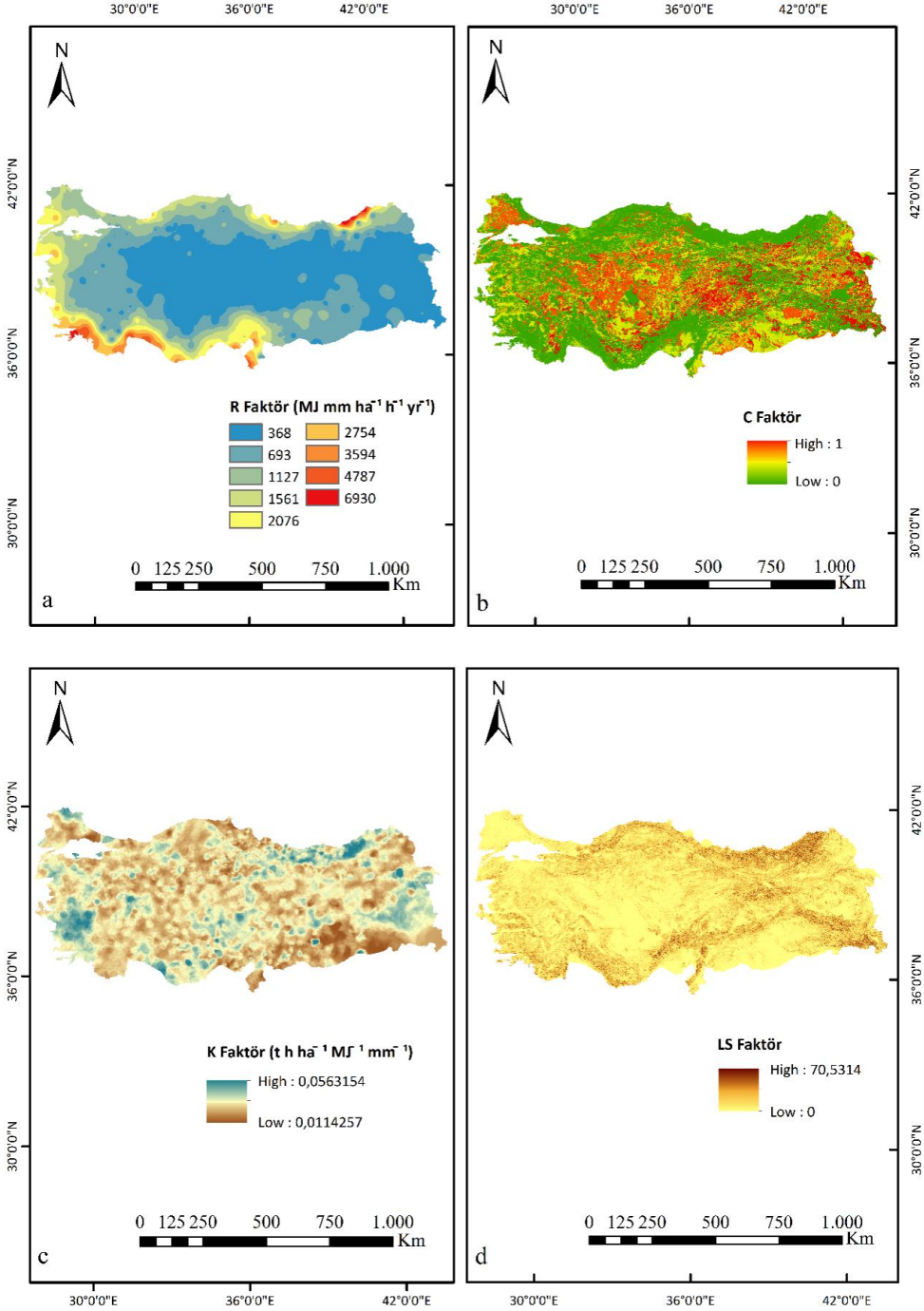
Arazi Kullanım Türü	Erozyon Miktarı (Milyon ton)	Toplam Erozyon (%)
Tarım	248,6	38,71
Orman	26,8	4,17
Mera	344,6	53,66
Diğer	22	3,46
Toplam	642	100

Her bir model parametresinin ulusal ölçekte toplam toprak kaybı üzerindeki bireysel etkisi değerlendirildiğinde, erozyonu tetikleyen faktörlerin sırasıyla; %47,55 ile topoğrafya, %34,82 vejetasyon ve %14,26 ile yağış olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 2). Toprak kaybının sebepleri arasında en düşük etkiye ise %3,36 ile toprağın erozyon duyarlılığı faktörünün sahip olduğu görülmüştür (Erpul vd., 2018). Ulusal ölçekte erozyona parametrelerin etkinliği değerlendirildiğinde topoğrafya etkili gözükse bile bölgelere göre farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle eğimin düşük olduğu alanlarda erozyonun yağış ve arazi örtüsü ve kullanımı faktörleriyle doğrudan ilgili olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. RUSLE modeli parametrelerinin erozyona uğrayan toplam toprak miktarı ve erozyon şiddetine bireysel etkileri.

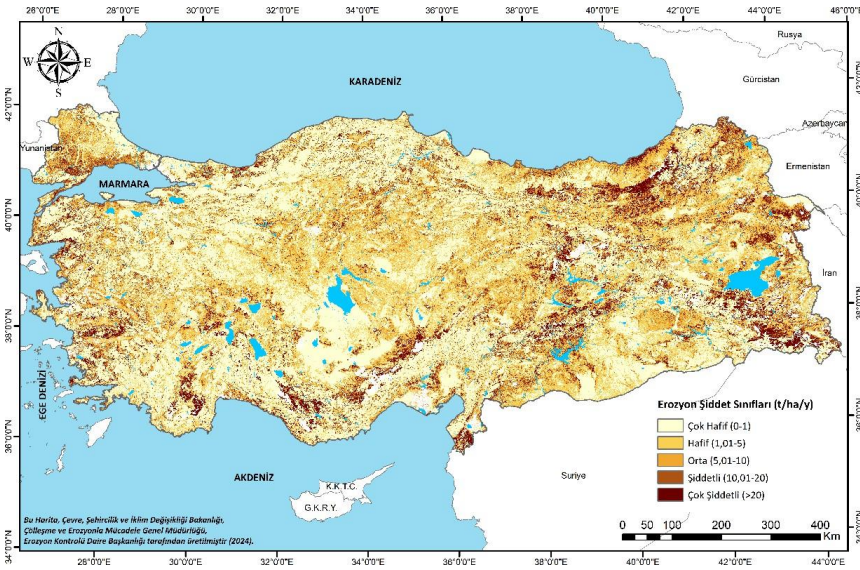
Ulusal ölçekte erozyona etki eden eşitlik parametrelerinin etkinliği değerlendirildiğinde topoğrafya en etkili faktör olarak gözükse bile iklimsel, ekolojik ve arazi kullanımından kaynaklanan farklılıklar nedeniyle erozyona etki oranları illere göre değişiklikler göstermektedir. Bu sonuçla eğimin düşük olduğu alanlarda erozyonun yağış, arazi örtüsü ve kullanımı faktörleriyle doğrudan ilgili olduğu belirlenmiştir (Erpul vd., 2018).



Şekil 3. RUSLE parametre haritaları; Yağış aşındırma faktörü (a), Arazi örtüsü ve kullanımı Faktörü (b), Toprak erozyon duyarlılığı faktörü (c), Eğim uzunluğu ve dikliği faktörü (d).

Havza ölçeğinde birim alanda en fazla erozyon sırasıyla; 26 t ha<sup>-1</sup>yıl<sup>-1</sup> ile Çoruh, 15,23 t ha<sup>-1</sup>yıl<sup>-1</sup> ile Doğu Akdeniz ve 13,81 t ha<sup>-1</sup>yıl<sup>-1</sup> ile Asi havzalarında meydana gelmiştir. En düşük erozyonun meydana geldiği havza ise 4,2 t ha<sup>-1</sup>yıl<sup>-1</sup> ile Sakarya olmuştur (Erpul vd., 2018).

Havza bazında taşınan toprak miktarları değerlendirildiğinde sırasıyla en fazla taşınım, 160 milyon ton ile Dicle-Fırat, 53 milyon ton ile Çoruh, 45,5 milyon ton ile Kızılırmak havzalarında gerçekleşmiştir. Toprak taşınımının en az olduğu havzalar ise sırasıyla; 3,6 milyon ton ile Burdur, 4,8 milyon ton ile Akarçay ve 7,5 milyon ton ile Küçük Menderestir (Erpul vd., 2018).



Şekil 4. DEMİS yazılımı ve RUSLE modelinin entegrasyonu sonucu üretilen Türkiye Su Erozyonu Haritası.

Bu bulgular, topoğrafik yapının erozyon şiddeti üzerindeki etkisini göstermekle birlikte; farklı iklim koşulları, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve farklı tarım uygulamalarına sahip bölgelerde erozyon miktarı ve şiddetinin değişiklikler gösterdiğini de belirtmektedir. Genellikle arazi bozulmasına açık olan ve bozulmanın en fazla olduğu tarım ve mera alanlarında, orta ve şiddetli erozyon seviyelerine sahip bölgelerde acil müdahalelerin gerekliliğini de vurgulamaktadır.

## 4. Sonuçlar ve Öneriler

DEMİS, ulusal ölçekte çalıştırılmış ve RUSLE metodolojisini kullanarak mikro havza ölçeğinden büyük nehir havzalarına kadar farklı ölçeklerde öngörülen toprak kayıplarının ve toprak erozyonu risk sınıflarının haritalarını ve istatistiksel

sonuçlarını başarıyla üretmiştir. İnsan etkisiyle oluşan toprak kayıplarının ne zaman ve nerede toprak kaynaklarını endişe verici şekilde tehdit ettiğine dair zamansal ve mekânsal istatistikleri verinin dinamikliğine bağlı olarak üretmektedir.

DEMİS sonuçlarına bağlı olarak ülkemizde en şiddetli erozyon tehdidi ve toprak kayıplarının görüldüğü alanlar tarım ve mera alanlarıdır. Tarım ve mera alanlarında meydana gelen toprak kayıplarının temel sebebi ülkemizdeki topoğrafik yapı olarak görülmektedir. Mera alanlarında meydana gelen erozyonun sebepleri arasında topoğrafyaya ek olarak yoğun otlatma ve tarımsal faaliyetler için yapılan tahribatlar ve arazi yüzeyinin bozulumu gibi etkenler de bulunmaktadır. Tarım alanlarında erozyonu tetikleyen ve arttıran faktörler değerlendirildiğinde ise yapılan yanlış tarım uygulamaları, eğimin yüksek olduğu alanlarda tarım yapılması, yanlış arazi işleme ve sulama teknikleri ön plana çıkmaktadır. Ancak DEMİS ile farklı ölçeklerde yapılan çalışmalarda erozyona etki eden faktörün bölgesel olarak iklim ve ekolojik koşullara bağlı değişkenlikler gösterdiği de belirlenmiştir.

Tarım ve mera alanlarında meydana gelen toprak kayıpları, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri de göz önüne alındığında bu alanlarda ciddi derecede arazi bozulumu ve tahribatının meydana geldiğinin önemli bir göstergesidir. Bu nedenle, destekleyici bir tahmin aracı ve sistemi olarak DEMİS yüksek bir potansiyele sahip olmasıyla analitik tahmin yöntemleri sunması, mikro havza ölçeğinde toprak kayıplarının kontrolü için stratejik eylem planlarının hazırlanmasında ana araçlardan biri olarak kullanılabilmesi gibi, iklim değişikliği, arazi bozulumu, biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetleri odaklı çalışmalarda da destekleyici bir sistem olarak kullanılabilir.

DEMİS sağladığı analitik tahmin yöntemleriyle karar vericiler ve politika belirleyiciler için sadece Sürdürülebilir Toprak Yönetimi kapsamında amaçlanan toprak erozyonunu en aza indirmek için değil, aynı zamanda arazi bozulumunu hiyerarşik olarak önlemek, azaltmak ve tersine çevirerek arazi kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak için yeni ve dinamik fırsatlar sağlayacaktır. DEMİS yazılımının dinamik yapısı irdelendiğinde sistem, eklenecek yeni verilerle, model sonuçlarının validasyon çalışmaları, makina öğrenmesi yöntemleriyle sistemin güncellenmesi ve geliştirilmesi, mevcut yönetsel eylemlerin iyileştirilmesi veya yenilenmesini sağlamaktadır. Ayrıca, sistem kurumlar arası entegrasyon çalışmaları sayesinde yeni verilerle dinamik bir şekilde çalışmalarını devam ettirmektedir.

Türkiye, toprak erozyonunun etkileriyle mücadele ederken, DEMİS gibi sistemler sadece değerli bilgiler sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda hem mikro hem de makro düzeyde gelecekteki toprak koruma politikalarını şekillendirmede de temel araçlar olarak hizmet etmektedir.

## Kaynaklar

Ansari, A., and Tayfur, G., (2023). Comparative analysis of estimation of slope-length gradient (LS) factor for entire Afghanistan, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 14:1, 2200890, DOI: 10.1080/19475705.2023.2200890.

Baer, S. G. (2016). 'Nutrients as determinants and endpoints in ecological restoration', pp. 333-64. In: Palmer, M. A., Zedler, J. and Falk, D. (Eds), *Foundations of Restoration Ecology*, 2nd edition. Island Press, Washington DC.

Bayramin, I., Basaran, M., Erpul, G., & Canga, M. R. (2008). Assessing the effects of land use changes on soil sensitivity to erosion in a highland ecosystem of semi-arid Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 140, 249-265.

Bennett, E.M.; Peterson, G.D.; Gordon, L.J. Understanding Relationships among Multiple Ecosystem Services. *Ecol. Lett.* 2009, 12, 1394-1404.

Borrelli, P., Robinson, D.A., Fleischer, L.R. et al. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nat Commun* 8, 2013 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>.

Demirci, A., and Karaburun, A., (2012). Estimation of Soil Erosion Using RUSLE in a GIS Framework: A Case Study in the Buyukcekmece Lake Watershed, Northwest Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 66, 903-913. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-011-1300-9>.

DSİ, (2013). *Türkiye Akarsularında Süspansediment Gözlemleri [2006-2012]*, Ankara.

E.İ.E.İ. 2006. *Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü. Türkiye Akarsularında Süspansediment Gözlemleri Yıllığı (1999-2005)*, Ankara.

Efe R., Ekinci D. & Curebal I. 2008. Erosion analysis of Sahin Creek watershed (NW of Turkey) using GIS based on Rusle (3d) method. *J Appl Sci* 8:49-58.

Erdogan, E.H. - Erpul, G. - Bayramin, I. (2007): Use of USLE/GIS Methodology for Predicting Soil Loss in a Semiarid Agricultural Watershed. *Environ. Monit. Assess.* 131: 153-161.

Erpul, G., Deviren Saygın, S., 2012. Ülkemizde Toprak Erozyonu Sorunu Üzerine: Ne Yapılmalı?. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi.* 1(1), 26-32.

Erpul G., Şahin S., Akgöz, R., İnce K., Güden, A. Çetin, E. 2016. Türkiye Yağışlarının Özellikleri ve Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpların Eşitliği (YETKE) R Faktörü. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. ISBN:978-605-4610-93-8.

Erpul G., Şahin S., İnce K., Küçümen A., Akdağ M.A., Demirtaş İ., Çetin E., 2018. Türkiye Su Erozyonu Atlası. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları (ISBN: 978-605-9550-23-9). Ankara.



FAO and ITPS, 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Technical Summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.

Foster, G.R., McCool, D.K., Renard, K.G., Moldenhauer, W.C., 1981. Conversion of the universal soil loss.

GDPS (General Directorate of Rural Service) (1986). 1/25000 Soil Map of Ankara, Türkiye. Digital Soil Database: Soil and Water Resources National Information Centre, Türkiye.

Hacisalihođlu S., "Variations Of Measured And Simulated Soil-Loss Amounts In A Semiarid Area In Turkey", ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT, vol.165, pp.255-262, 2010.

İrem A., Topalođlu F., Uygur V., (2007) "Estimating Spatial Distribution of Soil Loss over Seyhan River Basin in Turkey" Journal of Hydrol Vol. 336(1):30-37.

Karaburun, A., Demirci, A. ve Karakuyu, M. 2009. Erozyon tahmininde CBS tabanlı rusle metodunun kullanılması: büyükçekmece örneği, 3. Dokuz Eylül Üniversitesi CBS Sempozyumu CBS ve Bilgi Teknolojileri 10-11 Aralık, İstanbul.

Kavian, A., Hoseinpoor Sabet, S., Solaimani, K., & Jafari, B. (2016). Simulating the effects of land use changes on soil erosion using RUSLE model. Geocarto International, 32(1), 97-111. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1130083>.

Kızılelma, Y.; Karabulut, M.; (2014). "Mut Havzası'nda Erozyona Duyarlı Alanların Belirlenmesi", The Journal of International Social Research Cilt: 7 Sayı: 31 Volume: 7 Issue: 31. Kinnell, P.I.A. (2010). "Event Soil Loss, Runoff and the Universal Soil Loss Equation Family of Models: a review" Journal of Hydrology, Vol.385, p.384-397.

Kinnel, P.I.A. (2010) Event Soil Loss, Runoff and the Universal Soil Loss Equation Family of Models: A Review. Journal of Hydrology, 385, 384-397.

Kouli M, Souplos P, Vallianatos F (2009) Soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Environ Geol 57(3):483-497.

Lal, R. (2003), 'Offsetting global CO2 emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry', Land Degradation & Development, 14(3), pp. 309-22.

Lee S. 2004. Soil erosion assessment and its verification using the universal soil loss equation and geographic information system: a case study at Boun, Korea. Environ Geol 45:457-465.

Lim, K.J., Sagong, M., Engel, B.A., Tang, Z., Choi, J., and Kim, K-S. (2005). "GIS-based Sediment Assessment Tool" Catena 64, 61-80.

Madenoğlu, S., Şahin, S., Pinar, M.Ö. and Erpul, G. 2018. The effect of sustainable soil/land management on erosion and dam safety. 5th International Dam Safety Congress, Istanbul-Turkey.

Moore ID, Burch G. J. (1986a) Modelling erosion and deposition. Topographic effects Trans Am Soc Agric Eng 29:1624-1630 1640.

Moore ID, Burch G. J. (1986b) Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. Soil Sci Soc Am J 50:1294- 1298.

Ogawa S, Saito G, Mino N, Uch Da S, Khan NM, Shafiq M (1997) Estimation of soil erosion using USLE and Landsat TM in Pakistan, GIS development. Net, ACRS, pp 1-5.

Özcan A.U., Uzun O., Başaran M., Erpul G., Akşit S. and Palancıoğlu H.M. 2015. Soil Erosion Risk Assessment for Volcano Cone of Alidağı Mountain by Using Usle/Rusle, GIS and Geostatistics. Fresenius Environmental Bulletin, Volume 24 – No 6. 2015.

Panagos, P. et al. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environ. Sci. Policy 54, 438-447.

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Lim, K.J., Yang, J. E., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S.H., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G. A., Krasnov, S.F., Gorobets, A.V., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., Hoyos, N., Naipal, V., Oliveira, P. T. S., Bonilla, C. A., Meddi, M., Nel, W., Al-Dashti, H., Boni, M., Diodato, N., Van Oost, K., Nearing, M. and Ballabio, C. 2017. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. 7: 4175 | DOI:10.1038/s41598-017-04282-8.

Park C-S, Jung Y-S, Joo J-H, Lee J-T (2005) Best management practices reducing soil loss in the saprolite piled upland in Hongcheon highland. Korean J Soil Sci Fertil 38(3):119-126.

Peters, D. P. C., Havstad, K. M., Archer, S. R. and Sala, O. E. (2015), 'Beyond desertification: New paradigms for dryland landscapes', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(1), pp. 4-12.

Pinar, M.Ö., Şahin, S., Madenoğlu, S. and Erpul, G. 2018. Determining Severe Erosion Affected Areas and Estimation Reservoir Sediment Load in Derinöz Dam Basin. 5th International Symposium of Dam Safety (27-31/10/2018). Istanbul-Turkey.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Porter, J.P., (1991). RUSLE: revised universal soil loss equation J. Soil Water Conserv., 46 (1), pp. 30-33.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation RUSLE (p. 404). U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, Government Printing Office, SSOP, Washington, D.C., ISBN 0-16-048938-5.

- Römkens, M. J. M., R. A. Young, J. W. A. Poesen, D. K. McCool, S. A. El-Swaify, and J. M. Bradford. 1997. Soil erodibility factor (K). In *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* 65-99. K. G. Renard et al., eds. Washington, D.C.: USDA.
- Römkens, M. J. M., S. N. Prasad, and J. W. A. Poesen. 1986. Soil erodibility and properties. In *Proc. of the 13th Congress of the Intl. Soil Science Society* 5: 492-504.
- Saygin S.D., Ozcan A.U., Basaran M. et al. 2014. The combined RUSLE/SDR approach integrated with GIS and geostatistics to estimate annual sediment flux rates in the semi-arid catchment, Turkey. *Environ Earth Sci* 71:1605-1618.
- Şekercioğlu, Çağan H. 2010. Ecosystem functions and services. Pp. 45-72 in Sodhi, N.S. and Ehrlich, P.R. (eds.). *Conservation Biology for All*. Oxford University Press. Oxford.
- Tağıl, Ş. (2007). "Tuzla Çayı Havzası'nda (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE Modeli Kullanarak Arazi Degradasyonu Risk Değerlendirmesi" *Ekoloji Dergisi*, 17 (65), 11-20.
- Tağıl, Ş. (2009). "Çakırdere ve Yahu Dere Havzalarında (Balıkesir) Toprak Kaybının Mekânsal Dağılışı ve Etkileyen Faktörler" *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 12 (22): 23-39.
- Tiwari, A.K., Risse, L.M., and Nearing, M.A. (2000). "Evaluation of WEPP and Its Comparison with USLE and RUSLE" *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* Vol. 43: s. 1129-1135.
- Topçu, P. and Erpul, G. 2017. Climate Change and Sustainable Soil Management (SSM). *Türk Coğrafya Kurumu (TCK) 75. Yıl Uluslararası Kongresi*, 654-660.
- Torri, D., Poesen, J., Borselli, L. (1997) Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena* 31, 1-22.
- Torri, D., Poesen, J., Borselli, L. (2002) Corrigendum to "Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset" [*Catena* 31(1997): 1-22] and to "Erratum to Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. [*Catena* 32(1998):307-308]". *Catena* 46, 309-310.
- Tunç, E, Schröder D (2010a). Ankara'nın Batısındaki Tarım Topraklarında USLE ile Erozyon Boyutunun Tespiti, *Ekoloji Dergisi* 19, 75(1): 58-63.
- Tunç, E., Schröder, D. (2010b). Vergleichen der Bodenerosion von Landwirtschaftlich Genutzten Flaechen in Mittelanatolien und Rheinland-Pfalz. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 47(1): 11-20.
- Tüfekçioğlu, M. ve Yavuz, M. (2016). "Yusufeli Mikro Havzasında (Artvin) Yüzeysel Erozyonu Toprak Kaybının Tahmin Edilmesi ve Erozyon Risk Haritasının Oluşturulması" *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. Cilt: 17, Sayı:2, Sayfa:188-199.

Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F. and van der Heijden, M. G. A. (2014), 'Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(14), pp. 5266-70.

Wischmeier et al., (1971) A soil Erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J Soil Sci Water Conserv* 26(5):189-193.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses-a guide for conservation planning. USDA, Agricultural Handbook, U.S. Government Printing Office, Washington, DC., pp. 537.

Yang D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., Musiake, K., (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes *Hydrol. Process.*, 17 (14), pp. 2913-2928.

Yitayew, M., Pokrzywka, S.J., and Renard, K.G. (1999). "Using GIS for Facilitating Erosion Estimation" *Applied Engineering in Agriculture* Vol.15 (4), p. 295 – 301.

Yuksel, A., Gundogan, R., Akay., A.E. 2008. Using the remote sensing and GIS technology for erosion risk mapping of Kartalkaya Dam watershed in Kahramanmaras, Turkey.