



Yazışma yazarı:

Melis Özge PINAR,

melisozge.pinar@tarimorman.gov.tr

Referans:

Pınar, M.Ö., Şahin, S., Madenoğlu S., Erpul G. (2020), Derinöz Baraj Havzasında Şiddetli Erozyon Alanlarının Belirlenmesi ve Rezervuar Sediment Yükünün Hesaplanması, Su Kaynakları, 5, (2) 24–33

Makale Gönderimi : 26 AĞUSTOS 2020

Online Kabul : 25 EYLÜL 2020

Online Basım : 25 EYLÜL 2020

## Derinöz Baraj Havzasında Şiddetli Erozyon Alanlarının Belirlenmesi ve Rezervuar Sediment Yükünün Hesaplanması

Melis Özge PINAR<sup>1</sup>, Suat ŞAHİN<sup>2</sup> Sevinç MADENOĞLU<sup>3</sup> Günay ERPUL<sup>4</sup><sup>1</sup> T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, TAGEM-GKTAEM Eskişehir, Türkiye. ORCID: 0000-0002-4348-5541<sup>2</sup> T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Gen. Müd. Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0002-9620-8265<sup>3</sup> T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, TAGEM Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0002-5012-2773<sup>4</sup> Ankara Üniversitesi Zir. Fakültesi Top. Bil. ve Bit. Bes. A.B.D Ankara, Türkiye. ORCID:0000-0002-3797-6969

**Özet** Barajlardaki sediment birikimi, baraj kullanım ömrünün yani sedimentasyon ile barajların ekonomik sürdürülebilirliğinin azalma nedenidir. Dünya'nın birçok barajında sediment birikme eğilimi görüldüğünden, barajları azami süre ile kullanmak amacıyla rezervuara gelen sediment miktarı tahmin edilerek, baraj rezervuarı yeterli bir hacimde ve belirlenen ekonomik bir ömrü olacak şekilde tasarlanmaktadır. Dolayısıyla, hem sediment mühendislik hesaplamalarının güncel, test edilmiş model ve yöntemlerle yapılması, hem de baraj su toplama havzasında sürdürülebilir arazi ve toprak yönetiminin uygun teknolojik ama hesaplı yaklaşımlarının uygulanması ihtiyacı doğmuştur. Türkiye'de ulusal ölçekte YETKE (Yenilenmiş Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği) teknolojisi kullanımıyla gerçekleştirilen çalışmalardan biri de bu çalışma olup Samsun İl sınırları içerisinde bulunan Derinöz Baraj Havzası'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışma, 4.816,5 ha'lık havza alanı içerisinde, tarım, orman, mera ve diğer alanlar olmak üzere dört temel arazi kullanım türleri altında değerlendirilmiştir. İlk aşamada havzanın potansiyel ve mevcut toprak kayıpları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) uyumlu YETKE yöntemiyle belirlenmiştir. Model faktör, alt-faktörlerin hesaplamalarında 1/25000'lik Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) yararlanılmıştır. Havzada 205,91 ha tarım, 2218,07 ha mera 2331,06 ha orman ve 61,42 ha diğer arazi kullanım türleri bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, çok şiddetli erozyona maruz kalan alanlar tarım (38 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) ve mera (70,6 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>) arazi kullanım türlerine aittir. İkinci aşamada, Sediment İletim Oranı (SiO) dikkate alınarak yapılan değerlendirmede ise sırasıyla tarım ve mera arazilerinden 27 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> ve 31,5 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> sediment miktarının havza akarsu deseni tarafından rezervuara taşındığı belirlenmiştir. Dolayısıyla, öncelikle tarım ve mera arazilerinde için gerekli önlemlerin alınıp bu tür toplama havzası arazilerinde, Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY), Sürdürülebilir toprak Yönetimi (STY) ve Ekonomik Sürdürülebilir Havza Yönetimi' nin uygulanması gerekmektedir. Bu da, koruma yöntemleriyle hem baraj ekonomik ömür kayıplarının karşılaştırmalı olarak analiz edilmesi hem de baraj havzalarının ekonomik analizlerinin yapılması gibi ciddi süreçleri beraberinde getirmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Erozyon, Sediment, YETKE, Sürdürülebilir Havza Yönetimi, Baraj Güvenliği

## Determining Severe Erosion Affected Areas and Estimation Reservoir Sediment Load in Derinöz Dam Basin

**Abstract** Reservoir sedimentation decreases economic sustainability of dams affecting their lifetime. As sediment accumulation occurs in many dams in the world, they are designed by estimating sedimentation rates to provide sufficient volume and to get a specified economic design time. Hence, not only doing calculations of sediment engineering by tested models and methods, but also implementing sustainable land and soil management by appropriate technologies and economic approaches at the dam basins are crucial. This research is conducted with the use of RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) technology in Derinöz Dam Basin in Samsun Province to estimate soil loss and transport. Study area of 4.816,5 ha was evaluated within four different land uses of agriculture, forest, grassland and others. At the first step, potential and actual soil losses of the watershed were quantified by the RUSLE compatible with GIS and RS. According to the results, the study areas exposed to very severe erosion reside in the land uses of agriculture (38 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) and grasslands (70,6 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>). At the later step, integrated with the RUSLE was Sediment Delivery Ratio (SDR) to determine the amount of sediment transported from agricultural and grassland areas to the reservoir by river system pattern, which turned out to be 31,5 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> and 27 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, respectively. Thus, depending upon the comparison of dam fill time with its economic life span, economically sustainable watershed management

should be implemented in such watershed areas by taking measures through sustainable land/soil management for agricultural and grassland areas initially. This study concludes that dam safety from the perspective of economics necessitates a feasibility analysis be done for attaining economical counterbalance of both loss of dam life and the cost of fulfilling mitigation measures in the watershed.

**Keywords:** Erosion, Sediment, RUSLE, Sustainable Watershed Management, Dam safety.

## 1. Giriş

Nehirler, tarımı, kamu ihtiyacını, güç üretimini, ulaşım ve rekreasyonu destekleyecek su gereksinimini sağlayarak insan hayatında vazgeçilmez bir rol oynamaktadırlar. İnsanların taleplerini karşılayabilmek için Dünya'nın birçok yerinde nehirleri barajlarla kontrol altında tutulmaktadır. Bu tür yapıların çevreye olan negatif etkilerinden biri de nehir sistemlerinin hidrolik yapılarının değişmesi ve bundan dolayı da oluşan sediment birikimidir (Wang vd., 2018). Baraj rezervuarlarında sediment birikimi, rezervuara taşınan sedimentin aşınması, sürüklenmesi, taşınması, birikmesi ve sıkışması işlemidir. Bu tip yapıların olmadığı havzalarda olgun, dengeli nehirlerde birikme süreçleri de daha dengeli bir halde ilerlemektedir. Baraj inşaatı, akış hızını azaltmakta, sediment ise başlatmakta ve hızlandırmaktadır. Bu durum ise ince materyalin birikmesi ile sonuçlanmaktadır (Schellenberg vd., 2017).

Dünyadaki rezervuarlarda depolanan 6800 km<sup>3</sup> suyun yaklaşık olarak toplam hacmin yıllık % 0,5-1,0'i sedimantasyon sonucunda kaybolmaktadır (Morris vd., 2008). Rezervuar hacim kaybı, üretimde esnekliği azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, bulanık su oluşumuna neden olan sedimantasyon yüzünden belirli bir alan içerisinde öfotik bölge oluşmasına sebep olarak su tedariki açısından güvenilirliği etkilemektedir.

Şiddetli toprak kaybının olduğu alanlar sürdürülebilir toprak yönetimi ve su kaynaklarının korunumu açısından tehlike arz etmektedir (García-Orenes vd., 2009; Cerdà vd. 2009, Collins vd., 2001, Mukundan vd., 2010). İklim değişikliği ve yoğun insan aktivitesi geçtiğimiz birkaç on yıl süresince toprak kayıplarının artmasına sebep olduğu da belirtilmiştir (Guzman, 2013). Bu yüzden, geçerli ve güvenilir yöntemlerle toprak kaybı oranı ve sediment miktarını tahmin etmek su erozyonu etmenleri ile birinci dereceden mücadelede süreçlerin anlaşılabilmesi açısından önemli olmuştur. Böylelikle, kullanışlı kaynaklar ile arazi kullanım ve koruma yöntemleri desteklenmiş olur (Zhao vd., 2016).

Yanlış arazi kullanımdan dolayı oluşan toprak kayıpları, sediment yükünü arttırması ve insan etkilerinin daha önce bozulmamış alanlara yayılması sediment sorunlarıyla ilgili en yaygın söylemlerdendir (Walling, 1999). İnsan etkisi sebebiyle yanlış arazi kullanım ve arazi yönetimi, mera ve ormanların bozulması tarımsal faaliyetlerin uygulanacağı alanlara dönüştürülmesi ve iklim değişikliğinin ise bu sorunların daha da büyümesine neden olacağı kaçınılmaz olduğu sürekli vurgulanmaktadır. (Xiong vd. 2013; Borrelli vd., 2017) Sediment verimini en aza indiren tarım uygulamalarının tercih edilmesi sürdürülebilir toprak yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Yine toprak kayıplarının en aza indirebilmek adına zaman yönetiminin planlanması, örneğin arazi kullanım türünün orman olduğu alanlarda doğru zamanda kereste hasatlarının yapılması, erozyonun etkilerini azaltıcı yönde olmaktadır (McGraw-Hill, 1998). Yapılan çok sayıda çalışmaya göre, nehirlerdeki sediment yükü, rezervuarların yapımı ile birlikte arazi kullanım türlerindeki değişiklikler, çiftlik barajları, taşkın kontrol göletleri, çevirme kanalları, kontrol bentleri ve diğer su yapıları ile nehirlerdeki sediment yükünü önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir. (Syvitski vd., 2005; Kondolf vd., 2014; Yue vd., 2014; Zhao vd., 2014). Ülkemizde de ETKE/YETKE teknolojisinin kullanıldığı, özellikle arazi bozulma probleminin önemli derecede sorun olduğu yarı-kurak alanlarda toprak kayıplarının ve toprak erozyon duyarlılıklarının belirlendiği (Madenoglu vd.,2020; Saygın vd., 2011; Pınar, 2011; Pınar ve Erpul, 2012), YETKE/CBS-UA teknolojisi ile akarsuların taşıdığı sediment oranlarının belirlendiği (Özcan vd., 2007; Yılman, 2009; Saygın vd., 2010-2013) ve arazi kullanımındaki değişikliklerin toprak erozyonu üzerine etkilerinin (Başaran vd., 2007-2008; Bayramın vd., 2006-2008) incelendiği çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların yanı sıra, Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü tarafından erozyonun modellenmesi ve izlenmesi ile ilgili çalışmalar da gerçekleştirilmektedir (Erpul vd., 2018; Erpul vd., 2016; ÇEM, 2016; Akgöz vd., 2020; Akgöz vd., 2020; İnce vd., 2019). Bu yüzden, tarımsal uygulamalardan ve arazi kullanım planlamasından kaynaklanan değişimlerin modellenerek toprak erozyonunun arazi üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi sürdürülebilir toprak yönetimi için vazgeçilmezdir.

Bu çalışmada, Derinöz Baraj Havzası içerisinde meydana gelen toprak kayıplarının ve sediment iletim oranının belirlenmesinde Dünya'daki en güvenilir modellerden olan ETKE/YETKE metodolojisi (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1997) ve SIO (USDA-SCS, 1972) eşitliği kullanılmıştır.

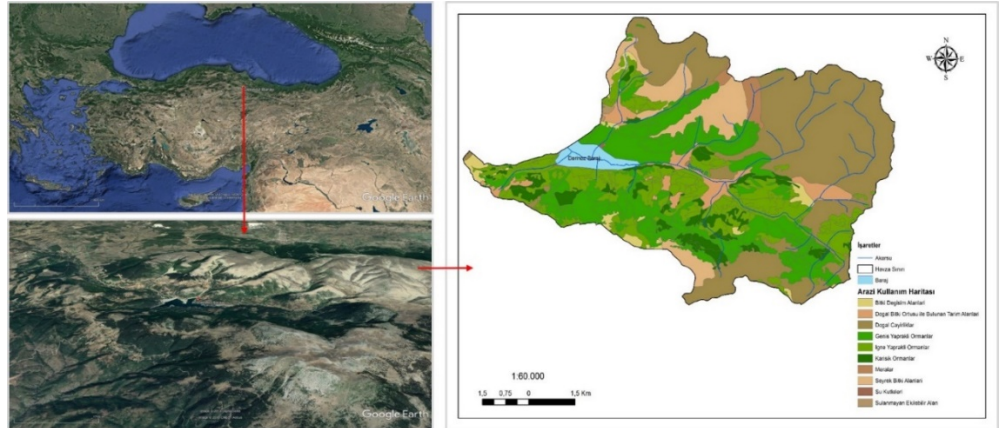
## 2. Veri ve Çalışma alanı

### 2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı, Samsun İl sınırları içerisinde bulunan Derinöz Baraj Havzası'dır. Derinöz Barajı 1925 m yükseklikte Akdağ eteklerinden doğan Tersakan Çayı'nın önemli kollarından biri olan Derinöz çayı üzerine bulunmaktadır. Yıllık ortalama yağışı 559 mm'dir. Kaya gövde dolgu tipi olan barajın gövde hacmi 3.250.000 m<sup>3</sup>, normal su kotunda göl hacmi 18,9 ha olan baraj, Samsun-Lâdik-Derinöz Ovası Sulama projesi kapsamında 2002 yılında faaliyete geçmiştir ve bu baraj ile 6500 ha alanın sulama ihtiyacı karşılanmaktadır (Anonim, 2015). Derinöz Barajı Drenaj alanı 4816,5 ha' dır. Göl yüzey alanı ise 100 ha' dır. Yapılan hesaplamalar drenaj alanından baraj göl yüzeyi çıkartılarak elde edilmiştir. Yüksekliği ise 77 m'dir (talvegden itibaren). Derinöz baraj havzasına ait jeomorfolojik özellikleri Tablo 1'de; arazi kullanım haritası Şekil 1' de ve arazi kullanım türlerine ait CORINE kodları Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 1. Derinöz Baraj Havzası jeomorfolojik özellikleri

Hipseometrik integral değeri	0,434
Drenaj yoğunluğu (km/km <sup>2</sup> )	0,910
Tekstür oranı	0,610
Uzama oranı	0,739
Dairesel oran	0,441
Ana suyolu uzunluğu (km)	8,008
Ana suyolu eğimi (%)	8,190
Birleşik topografik indeks (Compound Topographic Index, CTI)	6,736
Isı yükü indeksi (Heat Load Index, HLI)	0,971
Yüzey alanı/ Hacim (Surface area/Volume, SRR)	0,496



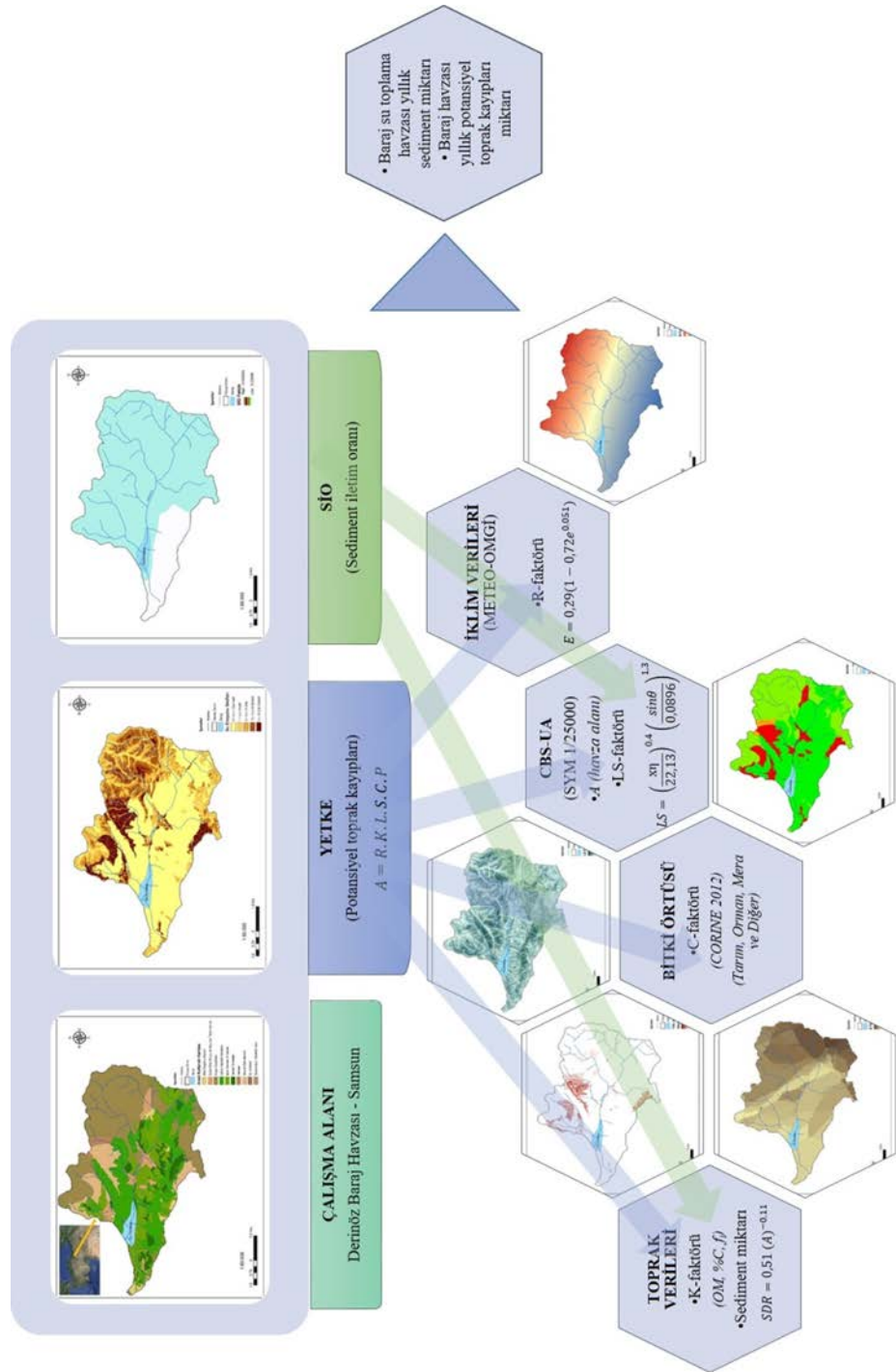
Şekil 1. Derinöz Baraj Havzası yer belirteci (Google Earth, 2018) ve Arazi kullanım haritası (CORINE 2012).

Tablo 2. Arazi kullanıma ait CORINE kodları ve alansal dağılımı

CORINE kodu	Açıklama	Alan (ha)
231	Meralar	62,90
243	Doğal bitki örtüsü ile bulunan tarım alanları	198,97
311	Geniş yapraklı ormanlar	1179,09
312	İğne yapraklı ormanlar	874,01
313	Karışık ormanlar	274,47
321	Doğal çayırliklar	1651,98
324	Bitki değişim alanları	100,94
333	Seyrek bitki alanları	365,68
512	Su kütleleri	100,00
2111	Sulanmayan alanlar	7,95
<b>Toplam</b>		<b>4815,97</b>

## 3. Yöntem

Potansiyel toprak kayıpları ve Sediment iletim oranı hesaplama parametreleri diyagramında (Şekil 2), model faktör ve alt-faktör hesaplamaları ve bu hesaplamalarda kullanılan parametreler verilmiştir. Çalışma alanının toprak kayıplarının belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinden (CBS) yararlanılmıştır. YETKE modeline göre tahmin edilen toprak kayıpları (A) ile sediment iletim oranının (SİO) hesaplanmasına ait denklemlerin açıklamaları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 2. Potansiyel toprak kayıpları (YETKE) ve Sediment iletim oranı (SİO) hesaplama parametreleri diyagramı.

Burada A, yıllık toprak kaybı ( $\text{ton ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$ ); R, yağış aşındırma enerjisi ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} \times \text{mm h}^{-1}$ ); K, toprağın erozyon duyarlılığı faktörü ( $\text{ton ha}^{-1} \times \text{ha MJ}^{-1} \times \text{h mm}^{-1}$ ), L, eğim uzunluğu; S, eğim dikliği; C, bitkisel örtü ve ürün yönetimi ve P, toprak koruma önlemleri faktörlerini oluşturmaktadırlar (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1997).

R-faktörü, yağışın enerjisi (E) ile 30 dakikalık en yüksek şiddetinin ( $I_{30}$ ) çarpımına eşittir. 329 dakikalık Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyon (OMGİ) verileri kullanılmıştır.

K-faktörü, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM) bünyesinde oluşturulan ve Toprak Bilgi Sistemi'nde yer alan verilerden 0-30 cm' de alınan 23.000 profil verisi kullanılmıştır. Torri vd. (1997, 2002) tarafından önerilen yöntemle göre toprakların organik madde içerikleri ve kil kapsamlarına göre toprakların erozyon duyarlılıkları tahmin edilmektedir (Eşitlik 1 ve 2).

$$K_T = 0,0293(0,65 - D_G + D_G^2) \times \exp \left[ -0,0021 \frac{OM}{C} - 0,00037 \left( \frac{OM}{C} \right)^2 - 4,02C + 1,72 C^2 \right] \quad (1)$$



Bu eşitlikte, KT, toprak erozyon duyarlılığı; DG, ortalama geometrik tanecik çapıdır. OM, organik madde ve C: Kil %'si ve  $f_i$ : temel tanecik büyüklük fraksiyonlarının %'sidir (Shirazi ve Boersma, 1984).

$$D_G = \sum f_i \log_{10} (\sqrt{d_i d_{i-1}}) \quad (2)$$

LS-faktörü, eğim dikliğinin ve uzunluğunun bir bağıntısıdır. Bu çalışmada, 1/25.000'lik Sayısal Yükselti Modeli (SYM) kullanılmıştır.

C-faktörü, Orman Genel Müdürlüğü tarafından üretilen orman meşçere haritaları ve CORINE 2012'ye göre belirlenmiş dört farklı arazi kullanım sınıfından (tarım, orman, mera ve diğer) elde edilen veri setleri birlikte kullanımı ile elde edilmiştir. Elde edilen poligonlara C değerleri atanmıştır (Panagos vd., 2015).

P-faktörü, erozyon koruma önlemlerinin etkisini ifade etmektedir. Erozyon koruması olmayan tüm uygulamalar 1 değerini almaktadır. Çalışma alanı için bu değer 1 olarak alınmıştır.

Sediment İletim Oranı (SİO) hesaplamalarında, Sediment Gözlem İstasyonu verileri ve RUSLE eşitliği sonuçları kullanılarak havza benzerlik testi yapılmıştır ve USDA-SCS (United States Department of Agriculture – Soil Conservation Service, 1972) eşitliği kullanılmıştır.

Baraj rezervuarına gelen toplam sediment miktarı ise Eşitlik 3 ve 4'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_T = \left\{ \sum_{i=1}^n ESA_i \times A_i \right\} \times SİO \quad (3)$$

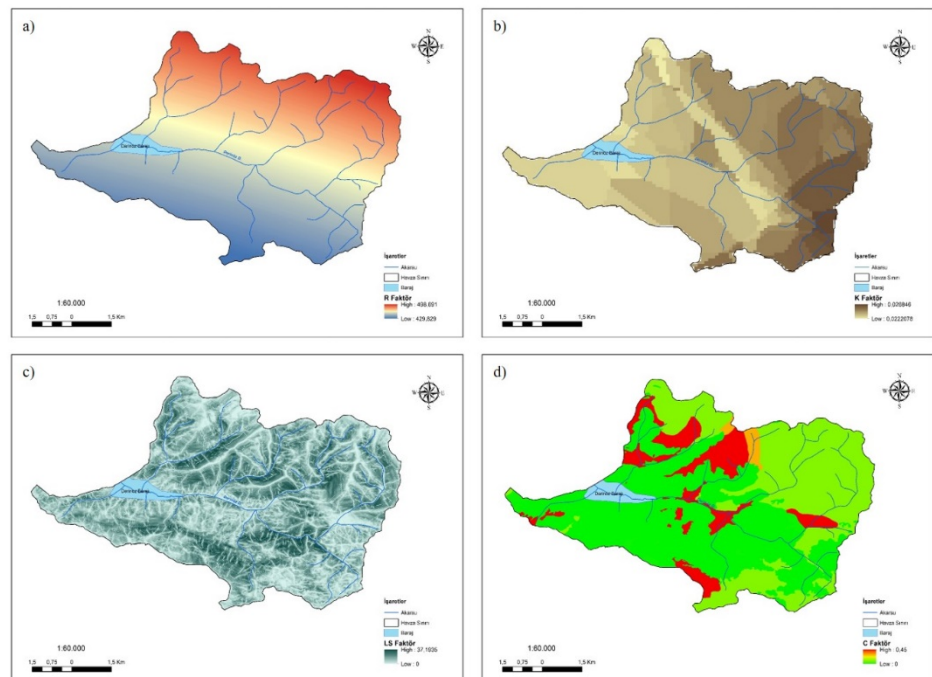
$$Q_T = \left\{ \sum_{i=1}^n ESA_i \times (R.K.L.S.C.P)_i \right\} \times SİO \quad (4)$$

QT, Baraj rezervuarına ulaşan toplam sediment (ton yıl<sup>-1</sup>); ESA, Erozyon Sınıfı Alanı (ha); Ai [(R.K.L.S.C.P)i], Toprak kaybı (ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>), SİO, sediment iletim oranıdır (%).

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4.1 Potansiyel toprak kaybı (YETKE)

Çalışmada, toprak kayıplarının hesaplanmasında deneysel bir erozyon tahmin yöntemi olan ETKE/YETKE teknolojisi (Wischmeier ve Smith, 1978; Renard vd., 1997) kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, Derinöz Baraj Havzası'nda R-faktörü, 498,691 ve 429,829 MJ ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> × mm h<sup>-1</sup> arasında; K-faktörü, 0,022 ve 0,0268 ton ha<sup>-1</sup> × ha MJ<sup>-1</sup> × h mm<sup>-1</sup> arasında; birimsiz olan LS-faktörü, 0 ve 37,194 arasında ve C-faktörü ise, 0 ve 0,45 arasında değişim göstermektedir. P faktörü hiçbir toprak koruma önleminin alınmadığı koşul olarak 1 değeri alınmıştır. YETKE yöntemine göre model faktörlerine ait haritalar Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. YETKE a) R-faktörü b) K-faktörü c) LS-faktörü ve d) C-faktörü haritaları.

Derinöz Barajı drenaj alanında yılda 50.970,4 ton toprak su erozyonu sonucu yer değiştirmektedir. Bu da birim alanda 10,8 ton yıl<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> toprağın suyun aşındırma gücü etkisi ile yer değiştirdiği anlamına

gelmektedir. Havzada, tahmin edilen toprak kayıpları miktarı ve alansal dağılımları Tablo 3'deki verilmiştir.

Tablo 3. Derinöz Baraj Havzası alansal toprak kaybı miktarı

Derinöz	Sınıflar	Hücre sayısı (10m×10m)	Alan (ha)	Toprak Kaybı (ton yıl <sup>-1</sup> )
1	1	260.290	2.602,9	2.602,9
2	2	11.349	113,5	227,0
3	4	27.448	274,5	1.097,90
4	8	52.566	525,7	4.205,30
5	16	62.775	627,8	10.044,0
6	30	29.875	298,8	8.962,5
7	60	15.015	150,2	9.009,0
8	120	12.089	120,9	14.506,8
9	150	210	2,1	315,0
TOPLAM			4.716,2	50.970,40

Çalışma alanının, % 55,2'sinde çok hafif, % 11,3'ünde hafif, % 12,4'ünde orta, % 12,4'ünde şiddetli ve % 8,7'sinde çok şiddetli erozyon görülmektedir. Havzada erozyon miktarının 20 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> in üzerinde olan alanların 411,14 ha olduğu belirlenmiştir (Tablo 4). Çok şiddetli erozyona maruz kalan alanları 32,8 ha tarım alanı 375,6 ha mera ve 2,74 ha orman ve diğer alanlar oluşturmaktadır. Baraj ömrünün uzatabilmek ve ölü hacmin geç dolması sağlamak için toprak kayıplarının tarım ve mera alanlarında azaltmak sürdürülebilir havza yönetimi için çok daha elverişli ve pratik olmaktadır.

Tablo 4. Derinöz Baraj Havzası su erozyonu sınıflarına göre alan dağılımı ve oranları

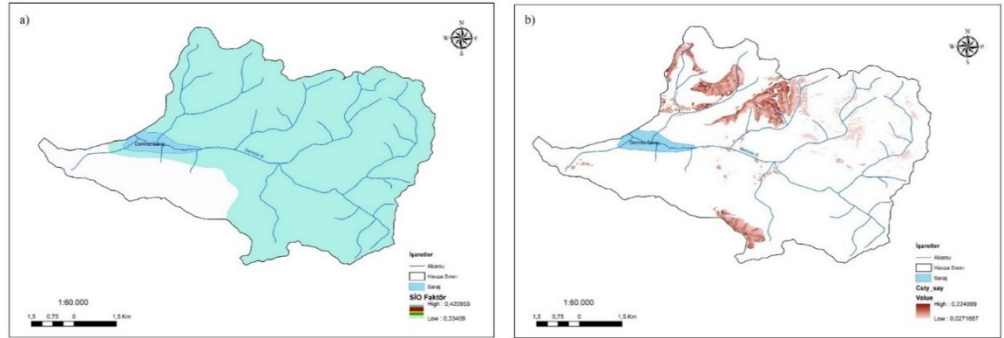
Erozyon sınıfları	Çok Hafif	Hafif	Orta	Şiddetli	Çok Şiddetli	TOPLAM
Toprak kaybı (ton ha <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> )	0-1	1-5	5-10	10-20	≥ 20	
Alan (ha)	2602,90	531,62	583,55	586,96	411,14	4.716,20
Alan %	55,2	11,3	12,4	12,4	8,7	100,00

## 4.2 Sediment iletim oranı (SİO)

Havzadan hesaplanan sediment iletim oranı en az 0,334 ve en fazla 0,421 olarak bulunmuştur ve SİO faktörüne ait harita Şekil 4-a'da ve akarsular tarafından taşınan toprak kaybı haritası Şekil 4-b' de verilmiştir. Ülkemizde barajlar minimum 50 yıllık işletme kıstaslarına göre planlanmakta ve projelendirilmektedir. Dolayısıyla mühendislik hesaplarının baraj ekonomik ömrü için önemi çok büyüktür. Özellikle barajlarda ölü hacim olarak nitelendirilen, üzerine inşa edilen akarsu tarafından taşınan sediment miktarının doğru tahmin edilmesi ve hesaplanması sürdürülebilir toprak yönetimi ve Ekonomik Sürdürülebilir Havza Yönetimi açısından baraj ömrü noktasında önem arz etmektedir. Çalışma alanında yapılan hesaplamalarda, Sediment İletim Oranı dikkate alınarak yapılan değerlendirmede yılda 18.527,4 ton (14.474,53 m<sup>3</sup>) toprağın akarsular tarafından taşındığı hesaplanmıştır. Bu da, birim alanda 4 ton yıl<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> toprağın akarsular tarafından taşınması anlamına gelmektedir. Akarsularla taşınan sediment miktarının alansal dağılımı Tablo 5'de verilmiştir. 50 yıllık bir planlamaya göre en az 926.370 ton' luk ölü bir hacme ihtiyaç duyulmaktadır (18.527,4 ton × 50 yıl). DSİ Genel Müdürlüğü tarafından 2013 yılında çıkartılan Türkiye Akarsularında Süspansediment Gözlemleri (2006-2012) yıllığında Derinöz barajının bulunduğu Yeşilirmak Havzasında gerçekleştirilen ölçümlere göre yapılan hesaplamalar neticesinde, bu havza için uzun yıllar hacim ağırlığı ortalaması 1,28 ton/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir. Buna göre, Derinöz Barajı için 723.727 m<sup>3</sup> ölü hacim gerekmektedir. Ancak, DSİ Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Lâdik-Derinöz Projesi Revize Planlama (II) Raporu'na (DSİ, 2005) göre belirlenen Derinöz Barajı ölü hacmi 0,5 hm<sup>3</sup> tür. Yani, akarsular tarafından taşınan sediment miktarı ile 50 yıl olarak belirlenen baraj ekonomik ömrü 35 yılda tamamlanacağı görülmektedir (500.000 m<sup>3</sup>/14.474,53 m<sup>3</sup>).

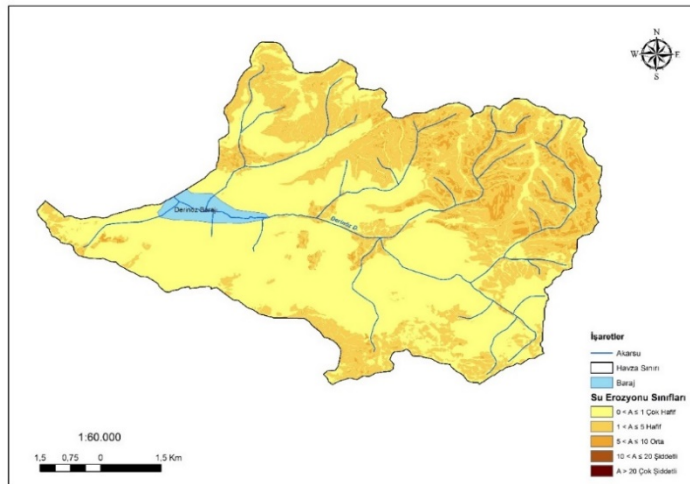
Tablo 5. Derinöz Baraj Havzası erozyon dağılımından akarsularla taşınan toplam sediment miktarının hesaplanması ve alansal dağılımı

Derinöz	Sınıflar	Hücre sayısı (10m×10m)	Alan (ha)	Toprak Kaybı (ton yıl <sup>-1</sup> )
1	1	284.268	2.842,7	2.842,7
2	2	41.957	419,6	839,1
3	4	61.940	618,9	2.475,6
4	8	50.200	502,0	4.016,0
5	16	15.940	159,4	2.550,4
6	30	14.529	145,3	4.358,7
7	51	2.833	28,3	1.444,8
TOPLAM			4.716,2	18.527,4



Şekil 4 a) Sediment İletim Oranı (SİO) faktörü haritası ve b) Akarsular tarafından taşınan toprak kayıpları haritası

Diğer yandan, erozyon şiddetinin en fazla olduğu (20 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> üzeri) alanların tarım ve mera alanları olduğu görülmektedir. Baraj drenaj alanından 20 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> üzerinde toprağın harekete geçtiği tarım alanlarında 1.248,7 ton yıl<sup>-1</sup>, birim alandan ise 38 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> toprak su erozyonu sonucu harekete geçmektedir. Bu oran, su erozyonu sonucu akarsular tarafından taşınan oran ise 885,3 ton yıl<sup>-1</sup> ve birim alandan ise 27 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup>'dir. Çok şiddetli erozyona (20 ton yıl<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> üzeri) maruz kalan mera alanlarından ise 26.508,3 ton yıl<sup>-1</sup> toprak, su erozyonu sonucu birim alandan ise 70,6 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> toprak yer değiştirmektedir. Bu alanlardan akarsular tarafından taşınan toprak miktarı 11.827,2 ton yıl<sup>-1</sup> ve birim alandan ise 31,5 ton ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Tarım ve mera alanlarında yapılan iyileştirmeler sonrası akarsular tarafından taşınan toprak kayıpları haritası

Yapılan hesaplamalar sonucunda, tarım ve mera alanlarındaki çok şiddetli erozyon sınıfına giren (20 ton yıl<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> üzeri) toprak kayıplarının oranı azaltıldığında 50 yıllık bir plan sonucu gerekli olan 723.727 m<sup>3</sup> (926.370 ton) ölü hacim çok daha uzun bir sürede dolarak baraj ömrünün uzaması

sağlanabilmektedir (Şekil 5). Sediment yönetimi yapabilmek için, üst akım sediment kaynaklarını kontrol edebilmek önemlidir (Fox vd., 2016). Akım toplanması, LS-faktörü hesaplamaları ile oyuntu erozyonunu belirli bir oranda YETKE hesaplarına yansıtıldığı düşünülmektedir. Oyuntu erozyonu gözlemlenirse bile oyuntu erozyonundan kaynaklı sedimentin miktarı ve bunun taşınması üzerine etkisi göz ardı edilmemelidir. LS-Faktörüne ait eşitlik aşağıdaki gibidir (Eş. 5).

$$LS = \left( \frac{x\eta}{22,13} \right)^{0,4} \left( \frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (5)$$

Eşitlikte, L, eğim uzunluğu ve S, eğim dikliği faktörleridir. x, SYM' den CBS-toplanma algoritması kullanılarak elde edilmiş akım toplanma değeri (Lee, 2004); η, hücre büyüklüğü ve θ eğim dikliği açısıdır. Akış yolu uzunluğu arttıkça LS değeri de yükselmektedir. Böylelikle kanal erozyonu sisteme dâhil edilmiş olmaktadır.

Toprak kayıplarını önleyebilmek adına yapılan birçok koruma yöntemleri bulunmaktadır ki bu koruma yöntemleri P-faktörü ile ifade edilmektedir. Kontrol bentleri gibi o bölgedeki iri taşların oluşturduğu basit yapılar yalnızca akış hızını hafifletmemekte aynı zamanda oyuntu erozyonunu kontrol edebilmek ve yüksek eğimli nehri stabilize etmek için faydalı olmaktadır (Lenzi, 2002). Diğer yandan, özellikle kıvrımlı nehirlerin/akarsuların iç kesimlerinde sedimentasyon bölgelerinin oluşması, kum barlarının karşısına denk gelen dış yakalarda ise erozyonun meydana gelmesi, yine akış içerisindeki sediment oranını etkileyecektir. Bu yüzden, eğim stabilizasyon yöntemleri, erozyona dirençli bitki örtüsü, rip-rap ve eğim dikliğinin azaltılması gibi yöntemler nehir kıyılarının da erozyondan korunmasını sağlayacaktır. Böylelikle, bu tür koruma yöntemleri uygulandığında taşınan toprak miktarı azalacağı için barajların da ömrü planlanan süreden daha fazla kullanılabilir ve sediment yönetimi gerçekleştirilmiş olacaktır.

### 5. Sonuç

Bu çalışmanın amacı, Derinöz baraj havzasında şiddetli erozyon alanlarının belirlenmesi ve rezervuar sediment yükünün hesaplanmasıdır. Hesaplama sonuçlarına göre, toprak ve su koruma önlemleri olmaksızın toprak kayıplarının en fazla olduğu arazi kullanım türlerinin tarım alanları ve meralar olduğu görülmüştür. Özellikle havza içerisinde birim alanda yer değiştiren toprak miktarı tarım alanlarında daha fazlaysa, akarsular ile birim alandan taşınan topraklar, mera alanlarına nazaran daha fazla olmuştur. Daha önce hesaplanmış ve elde edilmiş baraj verilerine göre 0,5 hm<sup>3</sup>lük ölü hacim planlaması ile baraj ekonomik ömrü 50 yılda tamamlanacağı öngörüldükçe YETKE/SİO teknolojisinin kullanımıyla gerçekleştirilen hesaplamalarda baraj ekonomik ömrünün akarsularla taşınan sediment miktarı (14.474,53 m<sup>3</sup>) ile yalnızca 35 yılda dolacağı tahmin edilmiş; 50 yıllık baraj ekonomik ömrü için 926.370 ton'luk baraj ölü hacmi gerektiği hesaplanmıştır. Bu tür planlamalarda sorunlarla karşılaşmamak adına, hem sürdürülebilir toprak/arazi yönetimi için hem ekonomik sürdürülebilir havza yönetimi için sediment iletim oranı hesaplamalarının genel yaklaşımlar yerine deneysel ve daha özellikli yöntemlerle yapılması gerektiği düşünülmektedir. Baraj havzalarının ekonomik analizlerinin yapılması aşamasında, oyuntu erozyonu yaklaşımlarının kullanılması ve sediment iletim oranlarının belirlenmesi gibi havzaya özgü çalışmaların gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Buna ilaveten erozyon oranı ve sediment miktarı artışının arazi yönetimi uygulamaları, arazi kullanım ve iklim değişikliği etkisi altında olduğu Ekonomik Sürdürülebilir Havza Yönetimi açısından göz ardı edilmemelidir.

### 6. Kaynaklar

- AEG, Association of Environmental and Engineering Geologist. <https://aegweb.org/page/Erosion> (02/09/2018).
- Akgöz, R , İnce, K , Erpul, G . (2020). Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli ve İzleme Sistemi Pürüzlülük Parametresinin Belirlenmesi . *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* , 35 (1) , 124-132 . DOI: 10.7161/omuanajas.632156.
- Akgöz, R, İnce, K , Erpul, G . (2020). Ulusal Dinamik Rüzgâr Erozyonu Modeli Ve İzleme Sistemi Bitki Örtüsü Parametresinin Belirlenmesi *Toprak Su Dergisi*, 9 (1) , 37-44 . DOI: 10.21657/topraksu.628988.
- Anonim, 2015. <http://www.amasya.bel.tr/icerik/240/1557/barajlar.aspx> (06/09/2018).
- Basaran M, Erpul G, Tercan AE, Canga MR (2007) The effects of land use changes on some soil properties in Indagi MountainPass, Cankiri, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. Volume 136, Issue 1–3, pp 101–119.
- Basaran, M., Erpul, G., & Ozcan, A. U. (2008). Variation of macro-aggregate stability and organic matter fractions in the basin of Saraykoy-II Irrigation Dam, Cankiri, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17, 224–239.
- Bayramin I, Erpul G, Erdogan HE (2006) Use of CORINE methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Beypazari, Ankara. *Turk J Agric For* 30:81–100.



- 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.
- Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt B., Ferro V., Bagarello V., Van Oost K., Montanarella L., Panagos P (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nat. Commun.*
- Cerdà, A., Giménez-Morera, A., Bodí, M.B., (2009). Soil and water losses from new citrus orchards growing on sloped soils in the western Mediterranean Basin. *Earth Surf. Process. Landf.* 34, 1822–1830. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.1889>.
- Collins, A.L., Walling, D.E., Sickingabula, H.M., (2001). Suspended sediment source fingerprinting in a small tropical catchment and some management implications. *Appl. Geogr.* 21, 387–412.
- ÇEM., 2016. Ulusal Ölçekte Rüzgâr Erozyonu Risk Haritasının Hazırlanması Projesi, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- DSİ, (2005). Ladik-Derinöz Projesi Revize Planlama (II) Raporu.
- DSİ, (2013). Türkiye Akarsularında Süspansed Sediment Gözlemleri [2006-2012], Ankara.
- Erpul G., Şahin S., Akgöz R., İnce K., Güden A., Çetin E., 2016. Türkiye Yağışlarının Özellikleri ve Yenilenmiş Evrensel Toprak Kayıpları Eşitliği (YETKE) R Faktörü. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları. s:10-22, Ankara.
- 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. Ankara.
- Fox, G. A., Sheshukov, A., Cruse, R., Kolar, R. L., Guertault, L., Gesch, K. R. and Dutnell, R. C. (2016). Reservoir Sedimentation and Upstream Sediment Sources: Perspectives and Future Research Needs on Streambank and Gully Erosion. *Environmental Management*. 57:945–955 DOI 10.1007/s00267-016-0671-9.
- García-Orenes, F., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Bodí, M. B., Arcenegui, V., Sempere, J. G. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.06.002>.
- Guzman, C. D., Tilahun, S. A., Zegeye, A. D., & Steenhuis, T. S. (2013). Suspended sediment concentration-discharge relationships in the (sub-) humid Ethiopian highlands. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(3), 1067–1077. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1067-2013>.
- 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
- Kondolf, G. M., Gao, Y., Annandale, G. W., Morris, G. L., Jiang, E., Zhang, J., ... Yang, C. T. (2014). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. *Earth's Future*, 2(5), 256–280. <https://doi.org/10.1002/2013EF000184>.
- 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.
- Lenzi, M.A. (2002). Stream bed stabilization using boulder check dams that mimic step-pool morphology features in Northern Italy. *Geomorphology* 45 (2002) 243–260.
- Madenoğlu, S., Atalay, F., Erpul, G., 2020. Uncertainty assessment of soil erodibility by direct sequential Gaussian simulation (DSIM) in semiarid land uses. *Soil & Tillage Research Volume 204* (2020) <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104731>
- McGraw-Hill, (1998). Reservoir Sedimentation Manual, New York.
- Morris, G., G. Annandale and R. Hotchkiss, (2008). "Reservoir Sedimentation," in *Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice*, American Society of Civil Engineers, Va., U.S.
- Mukundan, R., Radcliffe, D.E., Ritchie, J.C., Risse, L.M., McKinley, R.A., (2010). Sediment fingerprinting to determine the source of suspended sediment in a southern Piedmont stream. *J. Environ. Qual.* 39, 1328–1337.
- Ozcan, A.U., Erpul, G., Basaran, M. and Erdogan, H.E. (2007). Use of USLE/GIS technology integrated with geostatistics to assess soil erosion risk in different land uses of Indagi Mountain Pass-Çankırı, Turkey. *Environ Geol* (2008) 53:1731–1741. DOI 10.1007/s00254-007-0779-6.
- Panagos, P. et al. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ. Sci. Policy* 54, 438–447.
- Pınar, M.Ö. (2011) Sıçrama erozyonu duyarlılığı, agregat dayanımı ve organik madde içerikleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi. Y. Lisans tezi (Tez no: 299711) Ankara Üniversitesi – Türkiye.
- Pınar, M.Ö., Erpul, G. (2012). Soil Erodibility Evaluation by Splash Cups under the Simulated Rainfalls. *Eurasian Journal of Soil Science* 2 (2012) 92 – 97.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D. & Yoder, D. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: a Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (USDA-ARS, Washington).
- Saygın, S.D., Basaran, M., Ozcan, A.U., Dolarslan, M., Timur O.B., Yilman, F.E., Erpul, G., (2011). Land degradation assessment by geo-spatially modeling different soil erodibility equations in a semi-arid catchment. *Environ Monit Assess.* Volume 180, Issue 1–4, pp 201–215.

- Saygın, S.D., Ozcan, A.U., Basaran, M., Timur O.B., Dolarslan, M., Yilman, F.E., Erpul, G., (2013). 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.* DOI 10.1007/s12665-013-2565-y.
- Schellenberg, B. G., & Holder, C. (2018). *Dealing with Sediment : Effects on Dams and Hydropower Generation*, 1–10.
- Shirazi, M. A., & Boersma, L. (1984). A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Science Society America of Journal*, 48, 142–147.
- Syvitski, J. P. M., C. J. Vörösmarty, A. J. Kettner, and P. Green (2005), Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean, *Science*, 308, 376–380
- 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.
- USDA, 1972. Sediment sources, yields, and delivery ratios. *National Engineering Handbook, Section 3 Sedimentation*.
- Walling, D. E. (1999), Linking land use, erosion and sediment yields in river basins, *Hydrobiologia*, 410, 223–240.
- Wang, Y., Rhoads, B. L., Wang, D., Wu, J., & Zhang, X. (2018). Impacts of large dams on the complexity of suspended sediment dynamics in the Yangtze River. *Journal of Hydrology*, 558, 184–195. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.027>.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses (No. 537). *USDA Agricultural Service Handbook*. Washington, D.C.
- Xiong, Y., Wang, G., Teng, Y., and Otsuki, K. (2013). Modeling the Impacts of Land Use Changes on Soil Erosion at the River Basin Scale. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, 58 (2), 377–387.
- Yilman, F.E. 2009. Eldivan Sarayköy-II Göleti (Çankırı) Su Toplama Havzasında YETKE Yöntemi İle Toprak Kayıplarının Tahmin Edilmesi. Y. Lisans Tezi (Tez no: 256278) Ankara Üniversitesi - Türkiye.
- Yue, X.L., Mu, X.M., Zhao, G.J., Shao, H.B., Gao, P., (2014). Dynamic changes of sediment load in the middle reaches of the Yellow River basin, China and implications for eco-restoration. *Ecol. Eng.* 73, 64–72.
- Zhao, G.J., Kondolf, G.M., Mu, X.M., Han, M.W., He, Z., Rubin, Z., Wang, F., Gao, P., Sun, W.Y. (2016). Sediment yield reduction associated with land use changes and check dams in a catchment of the Loess Plateau, China. *Catena* <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.010>.
- Zhao, G.J., Tian, P., Mu, X.M., Jiao, J.Y., Wang, F., Gao, P. (2014). Quantifying the impact of climate variability and human activities on streamflow in the middle reaches of the Yellow River basin, China. *J. Hydrol.* 519, 387–398.