




Araştırma Makalesi / Research Article

MPSIAC & RUSLE YÖNTEMLERİYLE KARŐILAŐTIRMALI EROZYON ANALİZİ: MADRA BARAJI HAVZASI

Comparative Erosion Analysis with MPSIAC & RUSLE Methods: Madra Dam Basin

Murat FIŐICI^a, Abdullah SOYKAN^b

^a Ardahan Üniversitesi, Ardahan İnsani Bilimler ve Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ardahan
muratfıci@ardahan.edu.tr  <https://orcid.org/0000-0003-1508-7738>

^b Balıkesir Üniversitesi, Fen – Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Balıkesir
soykana@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-4093-9541>

Makale Tariğesi

Geliş 8 Kasım 2021
Kabul 16 Aralık 2021

Article History

Received November 8, 2021
Accepted December 16, 2021

Anahtar Kelimeler

MPSIAC, RUSLE, Erozyon Analizi,
Madra Barajı Havzası

Keywords

MPSIAC, RUSLE, Erosion Analysis,
Madra Dam Basin

Atıf Bilgisi / Citation Info

FIŐICI, M., Soykan, A. (2022) MPSIAC & RUSLE Yöntemleriyle Karőılaőtırmalı Erozyon Analizi: Madra Barajı Havzası / Comparative Erosion Analysis with MPSIAC & RUSLE Methods: Madra Dam Basin, Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches, 2022 (8): 28-47

doi: 10.46453/jader. 1020922

ÖZET

Madra Barajı Havzası, Anadolu karasının batısında İzmir ve Balıkesir sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmada baraj havzasının güncel erozyon durumu MPSIAC yöntemi kullanılarak ortaya çıkarılmış ve elde edilen bulguların doğruluğu RUSLE tekniği ile karőılaőtırmalıdır. Dolayısıyla iki farklı erozyon eőtılığı oluşturulmuş ve çalışma sahasında mevcut erozyon durumu meydana gelen sahalara örtüşüp örtüşmediği değerlendirilmiştir. Yöntemlerin farklı olması, kriterlerin farklı ve değerlendirmelerinin de çeşitli olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. MPSIAC yönteminde dokuz farklı parametrenin (ana kaya, iklim, arazi örtüsü ve kullanımı, drenaj yoğunluğu, toprak aşınabilirliği (eroadibilite), topografya, kapalılık oranı, yüzey ve oyuntu erozyonu) belirli katsayılarla ilişkilendirilirken, RUSLE yönteminde beş farklı parametre (yağış erozivitesi, toprak aşınabilirlik faktörü, eğim diklik-uzunluk faktörü, arazi örtüsü ve kullanımı ile erozyon önleyici faktör) birbiriyle ilişkilendirilmiştir. Bu bağlamda kullanılan parametrelere ilişkin farklı yöntem ve tekniklerin uygulanması yoluna gidilmiştir. MPSIAC erozyon tahmin eőtılığına göre araştırma sahasının orta şiddette (22,5 ton/hektar/yıl) erozyona maruz kaldığı saptanmıştır. Uygulanan ikinci erozyon tahmini denkleminde (RUSLE) ise hektar başına yıllık 34,05 ton toprak kaybı olduğu hesaplanmıştır. Nitekim uygulanan iki farklı yöntemle araştırma sahasında erozyonun şiddetli olduğu ve birikim yaşanan sahalara da birbiriyle çakıştığı belirlenmiştir. RUSLE yönteminde parametrelerin MPSIAC yöntemine göre daha az olması, hassasiyet açısından MPSIAC yönteminin daha güvenilir sonuçlar vermesine olanak tanımaktadır.

ABSTRACT

Madra Dam Basin is located in the northwest of Anatolian Land within the borders of İzmir and Balıkesir. In this study, the current erosion status of the dam basin was revealed by using the MPSIAC method, and the accuracy of the findings was compared with the RUSLE technique. Therefore, two different erosion equations were created and it was evaluated whether the existing erosion conditions in the study area overlapped. As a result of the different methods, the difference in the criteria and the variety of evaluations emerge. The MPSIAC method consists of nine different parameters (bedrock, climate, land cover and use, drainage density, soil erodibility, topography, cover rate, surface, and gully erosion) are collected by multiplying them with certain coefficients, while the RUSLE method consists of five different parameters (precipitation erosivity, soil erodibility, slope steepness-length factor, land cover and use, erosion prevention factor) were multiplied with each other to produce the result maps. In this context, different methods and techniques have been applied regarding the parameters used. According to the MPSIAC erosion estimation equation, it was determined that the research area was exposed to a moderate erosion risk class (22,5 ton/hectare/year). Applied in the second erosion estimation equation (RUSLE), it was determined that 34,05 tons of soil losses per hectare annually. As a matter of fact, according to the two different methods applied, it was determined that the erosion was severe and accumulation in the research area overlapping of the areas showing determined. The fact that the parameters in the second technique used here are less than the MPSIAC method allows that the MPSIAC method to give more reliable results in terms of sensitivity.

1. GİRİŐ

19. yüzyılın son çeyreğinden itibaren önem kazanmaya başlayan toprak erozyonu günümüze gelene dek birçok farklı yöntem ve teknik tarafından değerlendirilmiş ve bu konuya ilişkin birçok model ve eşitlik üretilmiŐtir. Oluşturulan model ve eŐitlikler deneye dayalı, fiziki tabanlı ve kavramsal olmak üzere üç temel grup altında toplanabilir (Lane vd., 1988). 1936 yılında Cook ile matematiksel temelleri atılan denklem veya erozyon tahmini eŐitliklerinde, toprak erozyonunu ortaya çıkaran birçok faktör üzerinde fonksiyonel olarak durulmuŐtur. Bu çalışmada ampirik ve deneye dayalı eŐitliklerden olan ve Johnson & Gebhardt (1982) tarafından güncellenen MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee, 1982) ve RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation, 1991) eŐitliklerinden Madra Barajı Havzası'nda ortaya çıkan toprak erozyonlarının nasıl bir değişim gösterdiği ortaya konmaya çalıŐılmıŐtır. Çalışmada MPSIAC yöntemi kullanılarak ortaya çıkarılan sonuçlar RUSLE yöntemiyle karŐılaŐtırma yoluna gidilmiştir. MPSIAC yöntemi ülkemizde toprak erozyonu eŐitliklerinde çok fazla kullanılan tekniklerden birisi değildir. Bu nedenle kullanılan yeni teknik ülkemizde toprak erozyonu tahmini eŐitliklerinde literatüre kazandırılması amacını da gütmektedir. Revize EdilmiŐ Uluslararası Toprak Kaybı EŞitliği (RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation) ülkemizde toprak erozyon tahmini eŐitliklerinde birçok sahada denenmiŐ ve neredeyse doğru sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyan yöntemlerden biri haline gelmiŐtir (Erol & Çanga, 2004; Cürebal & Ekinci, 2006; Özsoy, 2007; Tağıl, 2007; Efe ve diğerleri, 2008a; 2008b; Yılman, 2009; Çelik 2011; Erkal, 2012; Gülşen, 2014; Özşahin & Atasoy, 2014).

1.1. Araştırma Sahası

Madra Barajı Havzası, Ege Bölgesi'nin Asıl Ege Bölümü içerisinde bulunan Bakırçay Yöresi'nde yer almaktadır (Darkot & Tuncel, 1995). Madra Barajı Havzası, Balıkesir ile İzmir illerinin içerisinde coğrafi konum olarak 26° 50' 30" ve 27° 14' doğu boylamları ile 39° 08' ve 39° 22'

30" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır (Şekil 1). 2002 yılında Türkiye İstatistik Kurumu ve Devlet Planlama TeŐkilatı tarafından oluşturulan İstatistiksel Bölge Birimleri Sınıflamasına göre ise Madra Barajı Havzası sınırları TR 2 Batı Marmara ve TR 3 Ege bölgelerinin içerisinde kalan TR 22 Balıkesir Alt Bölgesi ve TR 31 Ege Alt Bölgesi'nde yer almaktadır. Madra Barajı Havzası, baraj göletine akış gösteren akarsuların oluşturduğu su toplama havzası tarafından 40832 ha olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada Madra Çayı'nın deniz kısmında bulunan alüvyon sahanın çalıŐmanın amacına paralellik gösterecek Şekilde dışarıda bırakılmıŐtır.

Çalışma sahasını meydana getiren su bölümü çizgisinin en yüksek kesimleri kuzeyde Yaylacıkdede Dağı (1047 m), kuzeydoğuda Madra Dağı (1343 m), doğuda Kurtburun Dağı (968 m), güneydoğuda Güvem Dağı (947 m) ve güney kesimde Ergensivri Tepe (802 m) ile sınırlanmaktadır (Şekil 1).

Madra Barajı Havzası litolojik açıdan farklı yaŐ ve karakterdeki kayalardan meydana gelmiŐ bir sahadır. Çalışma sahası volkanik andezit, bazalt, granit ve granitoid kayaç gruplarından, metamorfik Őisti serilerden ve kristalize kireçtaşları ile alüvyon zeminlerin meydana getirdiği sedimanter kayaç gruplarından oluşmaktadır.

Tektonik etkinliğin önemli ölçüde etkili olduğu Madra Barajı Havzası'nda Madra Çayı kollarıyla birlikte horst karakteri arz eden yapıyı derin bir Şekilde parçalamıŐtır. Havza kuzeyinde Edremit Grabeni, kuzeybatısında Altınova Depresyonu, güneyde Bakırçay ve güneybatıda Dikili Grabeni ile sınırlanmıŐtır.

Çalışma sahasının günümüz morfolojik karakterini kazanmasında gerek farklı nitelikte kayaç gruplarından meydana gelmesi gerekse havzayı etkileyen iklimik koŐulların etkinliği doğrultusunda ana kaya üzerine yerleŐmiŐ drenaj ağının farklı dirençteki kayaları korazyona ve korozyona uğratması ile oluŐum göstermiŐtir. Bu bağlamda Madra Barajı Havzası 900 m rakımından daha yüksek tepelik alanların oluşturduğu dağlık kesimlerden, 600-900 m yükselti basamağı arasında yüksek

parçalanmış kademelerden, 300-600 m yükselti basamağı arasında orta kademede parçalanmış yüzeylerden ve 100- 300 m arasında alçak yarılmış yüzeylerden oluşmaktadır. Ayrıca çalışma sahasının merkezi

kesiminde yer alan ve Madra Çayı tarafından oluşturulmuş Kozak Ovası 550- 650 m yükselti kademesi aralığında teşekkül etmiştir.



Şekil 1. Madra Barajı Havzası Lokasyon Haritası / **Figure 1.** Location and Elevation Levels of Madra Dam Basin

Çalışma sahasının en yüksek noktasını oluşturan Maya T. (1343 m) ye kadar topografyanın değişmesine bağlı olarak sıcaklık ve yağış miktarında değişmeler meydana gelmektedir. Bu bağlamda çalışma sahası üzerinde gerek sıcaklık gerekse yağış dağılışı enterpolasyona tabi tutularak değerlendirilmiş ve yaklaşık 500 m rakımına kadar Akdeniz İklimi etkisi altında kalan bir sahanın varlığından söz edilebilir. Topografya şartlarının değişimiyle birlikte daha yüksek kesimlerde sıcaklıkların düşmesine karşılık yağışta artış meydana gelmektedir. Çalışma

sahasının bu kesimlerinde Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında kalan yerlerde etkili olan Marmara Geçiş Tipi iklim özellikleri hâkimdir (Cürebal, 2003).

Çalışma sahası üzerinde gelişimini tamamlamış toprak türleri ise litolojik yapı, iklim, bitki örtüsü ve topografik yapı koşullarına bağlı kalacak şekilde kireçsiz kahverengi topraklar, kireçsiz kahverengi orman toprakları, rendzinalar ve alüvyon dolgu sahalarda alüvyal topraklar ile bitki örtüsünden yoksun eğim değerlerinin artış gösterdiği sahalarda kolüvyal topraklar olarak görülmektedir.

Madra Barajı Havzasında gelişme gösteren bitki türleri ise iklimatik koşullara göre yetişme imkânı bulmuştur. Akdeniz İklimi şartlarının egemen olduğu çalışma sahası üzerinde daha çok kurakçıl türler olarak Akdeniz bitki örtüsüne ait unsurlar yer edinmiştir. Başlıca bitki türlerini makilikler, kızılçam (*Pinus brutia*), fıstıkçamları (*Pinus pinea*) ve meşe (*Quercus sp.*) toplulukları meydana getirmektedir. Türlerin dağılımı topografya şartlarına göre belirli bir kademeye kadar çıkmakta daha sonra yerini lokal koşullara bağlı olarak diğer bitki türlerine bırakmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan materyalleri üç başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar; mevcut olan analog ve sayısal veriler, yazılım ile teçhizatlar ve metinsel dokümanlardır (Tablo 1). Temel altlık haritalar olarak 7 adet 1/25.000 ölçekli topografya paftası Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) alınmıştır. Bu topografya paftaları; J17b4, J17b3, J18a4, J18a3, J17c1, J17c2 ve J18d1 paftalarından oluşmaktadır. Sahanın jeoloji haritaları ise 1/25.000 ölçekli olarak Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA) temin edilmiştir. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nden 1/25.000 ölçekli sayısal toprak haritaları ve bunlara ait özellikler ile Orman ve Su İşleri Bakanlığı'na bağlı Balıkesir ve İzmir Orman Bölge Müdürlüklerinden sahanın 1/25.000 ölçekli bitki amenajman haritaları temin edilmiştir.

Metinsel veriler, ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilmiştir. İklim verileri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden, havzadaki akarsuların akım verileri ile baraja taşınan sediment miktarı ile ilgili veriler Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden (DSİ) alınmıştır. Yazılım olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarından olan ArcGIS 10.2 kullanılmıştır. Alet ve teçhizat olarak; Garmin marka GPS, jeolog çekici ve pusulası, hidroklorik asit, pH metre, Schmidt çekici, şerit metre ve fotoğraf makinesi kullanılmıştır (Şekil 2a, 2b).

Madra Barajı Havzası'nda toprak erozyonuna duyarlı alanları haritalandırmak ve yıllık birim alanda meydana gelen erozyonla taşınan sediment madde miktarının havza içerisinde yer alan Madra Barajı'na hangi ölçüde etki yarattığını belirlemek üzere daha çok yarı

kurak ve yarı nemli sahalarda uygulanan MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee) sediment verimi ve ölçümüne dayalı erozyon tahmini eşitliği kullanılmıştır. Eşitlik dokuz farklı parametrenin kendi içinde belirli katsayı çarpımları sonucunda toplanması sonucu elde edilen denkleme dayanmaktadır.



Şekil 2a. Schmidt Çekici (üstte) ve Dijital Eğim Ölçer (altta) / Figure 2a. Schmidt Hammer (upper) and Digital Inclinometer



Şekil 2b. GPS ve Toprak pH ölçüm aleti / Figure 2b. GPS and Soil pH Meter

Tablo 1. MPSIAC Modeli Üzerinde Erozyon Etki Faktörleri ve Hesaplanması.
Table 1. Erosion Impact Factors and Calculation on the MPSIAC Model.

No	Etki Faktörü	Tanımlama	Eşitlik
1	Yüzey Jeolojisi	$X_1 = \text{Kayaçların erozyon duyarlılığı}$	$Y_1 = X_1$
2	Toprak Erodiabilite	$K = \text{Toprak aşınabilirlik faktörü}$	$X_2 = 16,67K$
3	İklim Faktörü	$P_2 = 2 \text{ yıl içerisinde gerçekleşen } 6 \text{ saatlik yağış}$	$X_3 = 0,2P_2$
4	Akım/Debi	$R = \text{Yüksek akım}; Q_p = 1 \text{ yılda meydana gelen en yüksek boşalım}$	$X_4 = 0,006R + 10Q_p$
5	Topografya	$S = \text{Yüzde eğim değeri}$	$X_5 = 0,33S$
6	Yüzey Kapalılığı	$P_b = \text{Yüzey kapalılık oranı (\%)}$	$X_6 = 0,2P_b$
7	Arazi Kullanımı	$P_c = \text{Gölgelik yüzde oranı (\%)}$	$X_7 = 20 - 0,2P_c$
8	Yüzey Erozyonu	$SSF = \text{Yüzey erozyonu toplamı}$	$X_8 = 0,25SSF$
9	Oyuntu Erozyonu	$SSF_g = \text{Oyuntu erozyonu toplamı}$	$X_9 = 1,67SSF_g$
$R = X_1 + 16,67K + 0,2P_2 + 0,006R + 10Q_p + 0,33S + 0,2P_b + (20 - 0,2P_c) + 0,25SSF + 1,67SSF_g$			$Q_s = \text{Sediment verimi (t/ha/y)};$ $18/6e * 0,036R \gg e = 2,718$

Baraj havzasında RUSLE yöntemine göre güncel erozyon durumunun belirlenmesi ise (Wischmeier & Smith, 1978; Renard K. G., Foster, Weeies, & Porter, 1991; Renard K. G., Foster, Weeies, Mccool, & Yoder, 1997) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

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

A: Yıllık Ortalama Toprak Kaybı (ton/ha/yıl)

R: Yağış Erozyon Faktörü

K: Toprak Erozyon Faktörü

LS: Yamaç Uzunluk ve Eğim Faktörü

C: Zemin Örtüsü Faktörü

P: Erozyon Önleyici Faktörler

4. BULGULAR

4.1. MPSIAC Eşitliğinde Toprak Erozyonunu Oluşturan Kriterler

Anakaya faktörü, toprak erozyonunu oluşturan diğer kriterler dışarıda tutularak litolojik yapılarının iklimsel etkilere bağlı nasıl bir değişime maruz kalarak bozunma gösterdiğini ortaya çıkaran ilk parametredir. Dolayısıyla havza bünyesinde anakayaların dinamik özelliklerinin iklim koşullarına göre nasıl bir değişim gösterdiğini açıklamak amacıyla kayaçların dayanım katsayıları ve günlenme durumları "**Schmidt çekici test yöntemi**" kullanılmıştır. Kaya yüzey sertlik ölçümleri bu teknikte yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir (Turoğlu, 2018). Bu yöntemin uygulanması için "karelajlama tekniği" kullanılarak farklı anakayalara sahip 10 km²'lik örneklem

alanlarından arazi ölçümleri gerçekleştirilmiştir alanlardan Arazinin sahip olduğu iklimsel parametreler ise DSİ Genel Müdürlüğü uzun dönemli verileri kullanılarak sahaya uyarlanmıştır. Yaz ve kış dönemlerinde yapılan ölçümler sonrasında kayaç günlenme haritaları ArcGIS üzerinden "kriging yöntemi" kullanılarak iki dönem arasında havza genelinde iklim parametrelerinin değişimine bağlı olarak kayaç günlenmesinin yıllık hektar başına dağılım haritaları oluşturulmuştur. 37 farklı istasyon üzerinde elde edilen bulgular doğrultusunda kayaç sertlik değerlerinin en düşük yılın her iki döneminde de metavolkanitler üzerinde 47,26 geri tepme olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda yıllık hektar bazında kayaç bozunumunun ilgili ana kayaç grubunda 0,127 ton olduğu belirlenmiştir. Kayaç sertliklerinin en yüksek oranda geri tepme sayısı andezit, tüf ve lahar araziler üzerinden gerçekleştiği ölçümlerle tespit edilmiştir. 55 schmidt kayaç sertliği üzerinde kayaç dayanım katsayısı sergileyen ve 2, 33, 34 ile 37 numaralı istasyonlar yıllık hektar bazında 0,108 ton toprak kayıpları üreten sahalardan müteşekkildir. Araştırma sahası üzerinde en yüksek orana sahip granodiyorit araziler (%70 oranında) 50-55 schmidt kayaç dayanım katsayısı ile ortalama değerinde 0,11 ton kayaç bozunumu oluşturan arazilerdir. Çalışma sahasının kayaç bozunumu yıllık ortalama olarak 0,115 ton hektar başına hesaplanmıştır (Şekil 3).

Yağış erozivite faktörü, toprak yüzeyinde yağmur damlalarının kinetik enerjisine maruz kalan agregatların mekanik parçalanması

sonucu aşındırılarak taşınmasına bağlı olarak gerçekleşen bir durumdur. Yağışların büyük çoğunluğunun yağmur şeklinde gerçekleşmesinden dolayı yağmur damlalarının erozyon üzerinde etkisini incelemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Wischmeier ve

Smith, 1978; Schwab vd., 1966). Dolayısıyla yüzeysel akışa oranla daha yüksek kinetik enerjiye sahip yağmur damlalarının toprak erozyonu üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 3. Solda, araştırma sahasının doğusunda yer alan Kapan tepe ile Softa tepe arasında bulunan metavolkanitlerin günlenmesi ve sağda Madra barajı havzası'nın doğusunda yer alan kıranlı-çobanlar yerleşim birimlerinin üzerinde yer aldığı ana kayasını granodiyoritlerin oluşturduğu araziler üzerinde oyuntu erozyonun gelişimine ait görünüm (06.06.2020, 694 m).

Figure 3. On the left, the appearance of the metavolcanics between Kapan Hill and Softa Hill, which is located in the east of the research area and right side, the views of the development of gully erosion on the lands on which the Kıranlı-Çobanlar settlements located in the of the Madra Dam Basin are located on the granodiorites as the main rock (06.06.2020, 694 m).

Yağmur damlacıklarının sahip olduğu kinetik enerji ve yüzeyde meydana gelen sellenme sayesinde toprak üst yüzeyinde toprağı oluşturan agregatların yumuşaması durumu söz konusudur. Dolayısıyla toprağın aşınma-taşınmaya karşı göstereceği direncin azalması ve dağılma durumu ortaya çıkmaktadır. Toprak agregatlarının erodabilitesi, sıçrama (splash) ve aşınmaya karşı göstereceği direnç (Bahtiyar, 2003):

- i. Agreratların kohezyon durumu,
- ii. Toprağı oluşturan fraksiyonların ortalama çapı,
- iii. Toprak üst yüzeyinde bulunan fraksiyonların istiflenmesi ile yakından ilişkilidir (Şekil 4).

Yağışın neden olduğu yağış erozif faktörünün belirlenmesine en uygun indeks yağışın kinetik enerjisine yönelik oluşturulan indeks hesaplamasıdır. Dolayısıyla yağış erozif faktörünü belirleyen temel nedenlerin ortaya çıkması durumu söz konusudur. Bu bağlamda yağışın **süresi, şiddeti, kütlesi, damlaların düşme hızı ve damla çapları** belirli bir fonksiyonda

birleştirilerek yağış erozivite indeksi oluşturulmuştur (Schwab vd., 1966).

Wischmeier ve Smith'in 1978 yılında yağmur damlacıklarının toprak yüzeyinde toprak fraksiyonlarını kopartıcı ve dağıtıcı etkisinden dolayı **yağış erozif faktörünü**, yağışların toplam kinetik enerjileri ile 30 cm/sa lık maksimum yoğunluklarının çarpımı sonucu elde etmişlerdir (Wischmeier ve Smith, 1978). Bu indeks ile toprak erozyonu arasında yüksek oranda bir korelasyon bulunduğu belirlenmiştir (Tablo 2).

İndekse göre:

$$EI_{30} = E * I_{30} \quad (2)$$

EI_{30} = Erozivite indeksi,

E= Yağmurun kinetik enerjisi (jul/m²),

I_{30} = 30' lık yağmur şiddeti (cm/sa)

Kinetik enerji ise deneysel olarak geliştirilen eşitlikten faydalanılarak hesaplanmaktadır:

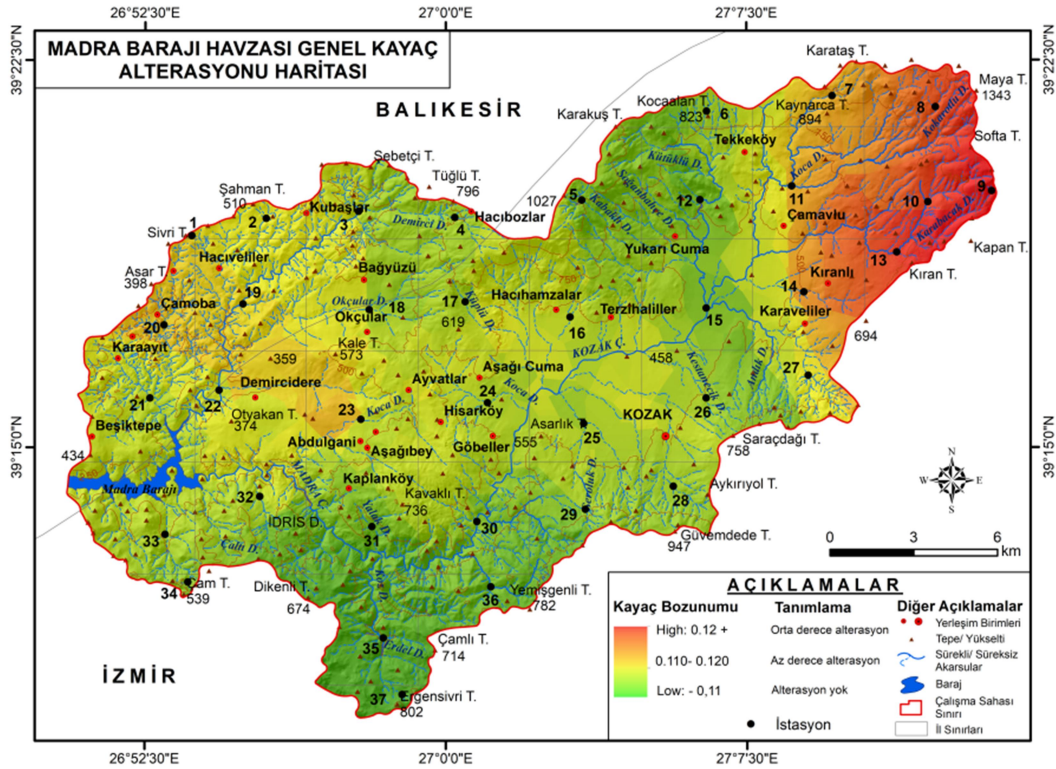
$$E = 210.3 + 80 \log I \quad (3)$$

E= 1 cm lik yağışın kinetik enerjisi (jul/m²),

I= Yağış şiddeti (cm/sa)

Tablo 2. Madra Barajı Havzası Yağış Erozivite İndeksi Hesaplaması / **Table 2.** Rainfall Erosivity Index Calculation of Madra Dam Basin.

Yükselti	h	Yağış	Std	Pj	Yağ. Karesi	MFI	Sabit Kts	Çarpım	Sabit Değer	R Faktör
25	0,25	574,6	54	588,1	43.474,7	73,92	4,17	308,25	152	156,25
125	1,25	574,6	54	642,1	44.782,8	69,74	4,17	290,82	152	138,82
225	2,25	574,6	54	696,1	50.318,7	72,29	4,17	301,45	152	149,45
325	3,25	574,6	54	750,1	56.340,6	75,11	4,17	313,21	152	161,21
425	4,25	574,6	54	804,1	62.848,5	78,16	4,17	325,93	152	173,93
525	5,25	574,6	54	858,1	69.842,4	81,39	4,17	339,40	152	187,40
625	6,25	574,6	54	912,1	77.322,3	84,77	4,17	353,49	152	201,49
725	7,25	574,6	54	966,1	85.288,2	88,28	4,17	368,13	152	216,13
825	8,25	574,6	54	1.020,1	93.740,1	91,89	4,17	383,18	152	231,18
925	9,25	574,6	54	1.074,1	102.678,0	95,59	4,17	398,61	152	246,61
1025	10,25	574,6	54	1.128,1	112.101,9	99,37	4,17	414,37	152	262,37
1125	11,25	574,6	54	1.182,1	122.011,8	103,22	4,17	430,43	152	278,43
1225	12,25	574,6	54	1.236,1	132.407,7	107,12	4,17	446,69	152	294,69
1325	13,25	574,6	54	1.290,1	143.289,6	111,07	4,17	463,16	152	311,16

**Şekil 4.** Madra Barajı Havzası Yıllık Kayaç Bozunumu Haritası / **Figure 4.** Annual Alteration Map of Madra Dam Basin

Sıçrama, yüzeysel akış ve parmak erozyonu ile 30 dakikalık yağışların neden olduğu kinetik enerji arasında araştırmacılar yüksek korelasyon bulmasına rağmen bu durum Elwell & Stocking (1973) yılında yaptıkları çalışmaya göre sadece çıplak toprak yüzeyleri adına geçerli olduğu kanısında kullanılması gerektiğini öne sürmektedirler. Bitki örtüsünün zayıf-cılız olduğu arazi yüzeylerinde hesaplamaların 15 dakikalık ve yoğun bitki örtüsü ile kaplı arazilerin 5 dakikalık yağışlar

sonucunda korelasyon katsayısının artış gösterdiğini bildirmektedirler (Elwell & Stocking, 1973).

Yağış erozivite indeksine göre yapılan çalışmalardan **Fournier Index**'i ise taşınan materyal, iklim verileri ve topografik unsurlar arasındaki ilişkiyi ele alan hesaplama dayanmaktadır (Lal, 1988a; 1988b). Fournier İndeksi'nde, aylık yağışların karesinin toplam yağışa oranlanması ve bunların toplanmasıyla

elde edilen sonuç, akarsu havzalarında erozyon indeksi olarak kullanılmaktadır.

Madra Barajı Havzası genelinde yağış erozif faktörüne göre Madra Dağı ve Yaylacıkdede Dağı civarı yıllık ortalama 300 tondan fazla toprak kayıplarının meydana geldiği sahalardır. Burada dikkate alınması gereken durum erozyonu ortaya çıkaran diğer parametrelerin dışarıda tutulduğu unutulmamalıdır. Araştırma sahasının 240 hektarlık kesiminde 300 tondan fazla toprak kayıplarının sadece yağış faktöründen kaynaklandığı görülmektedir.

Yıllık ortalama 250-300 ton toprak kayıplarının meydana geldiği sahalarda ise araştırma sahasında yüksek kademe yarılışmış yüzeylerin yer aldığı 600-900 metre yükselti basamağı arasında kalan sahalara karşılık gelen Kavaklı T civarı, çalışma sahasının kuzeydoğusunda Kocaalan-Kaynarca-Kıran T arasında kalan sahalardır. Bu sahalarda araştırma alanının toplam arazi varlığının yaklaşık %6'sını meydana getirmektedir. Araştırma alanı bünyesinde yağış erozif faktörü açısından en fazla alan kaplayan hafif ve orta şiddette 150-250 ton toprak kayıpları 100-600 m yükselti kademesi arasında kalan alçak ve orta kademe yarılışmış yüzeyler ile Kozak Ovası bünyesinde meydana gelmektedir. Dolayısıyla bu araziler araştırma sahası toplam arazi varlığının 35.000-36.000 ha lık kesimini meydana getirmektedir. Yağış erozif faktörü açısından en az risk taşıyan sahalarda ise 200 m altında yükseltiye sahip Madra Barajı çevresinde bulunmaktadır. Bu sahalarda üzerinde yıllık hektar başına 150 tondan daha az yağış erozif faktörünün etkisinden söz edilebilir. Çalışma sahası içerisinde 150 tondan daha az toprak kayıplarının yaşandığı sahalarda oranı %5 civarındadır.

Bu alışmada Wischemier'in yağmur damlacıklarının toprak yüzeyinde toprak fraksiyonlarını kopartıcı ve dağıtıcı etkisinden sahip olduğu kinetik enerjinin 30 dakikalık maksimum yoğunlukları ile çarpımı sonucu hesaplama yoluna gidilmiştir. Elde edilen sonuçlar MPSIAC iklim faktörüne uyarlanarak **0,2** katsayısı ile çarpılmıştır.

$$0,2 * \left[\sum_{i=1}^{12} 1,735 * 10^{(1,5 \log_{10} (P2/P) - 0,082)} \right] \quad (4)$$

Dolayısıyla MPSIAC için yağış etkinliği 27,77 ile 62,23 t/ha/y bazında değişimler göstermektedir. Havza genelinde en yüksek yağış erozif faktörünün etkilediği araziler, havzanın kuzeyinde yer alan Yaylacıkdede Dağı civarı (4-5 numaralı istasyonlar), kuzeydoğu kesimde bulunan Madra Dağı civarı (7-8-9-10 numaralı istasyonlar) ve havza güneyinde İdris Dağı ile Ergensivri Tepe arasında bulunan yüksek kesimlerdir. Dolayısıyla bu araziler üzerinde yıllık yağış erozif faktörüne bağlı olarak 62 tondan fazla toprak kayıplarının meydana geldiği ortaya çıkmaktadır (şekil 5).

Barajın kurulu olduğu sahanın kuzey ve güney kesimleri ile Okçular Platosu ve Kozak Platosu orta derecede yağış erozif faktörüne maruz kalan arazilerdir. Toprak erozyonu açısından bu sahalarda orta dereceli erozyon riski taşıyan sahalarda karşılık gelmektedir. Toprak erozyonu açısından yağış erozif faktörünün düşük düzeyde etkileşimde bulunduğu araziler ise Kozak Ovası ve ovanın kuzeybatısına doğru Okçular Deresi'nin oluşturduğu vadi tabanı sahalardan oluşmaktadır. Vadi tabanları da dahil olmak üzere en düşük yağış erozif faktörüne maruz kalan araziler üzerinden yıllık ortalama 27,77 ton hektar başına toprak kayıpları meydana gelmektedir.

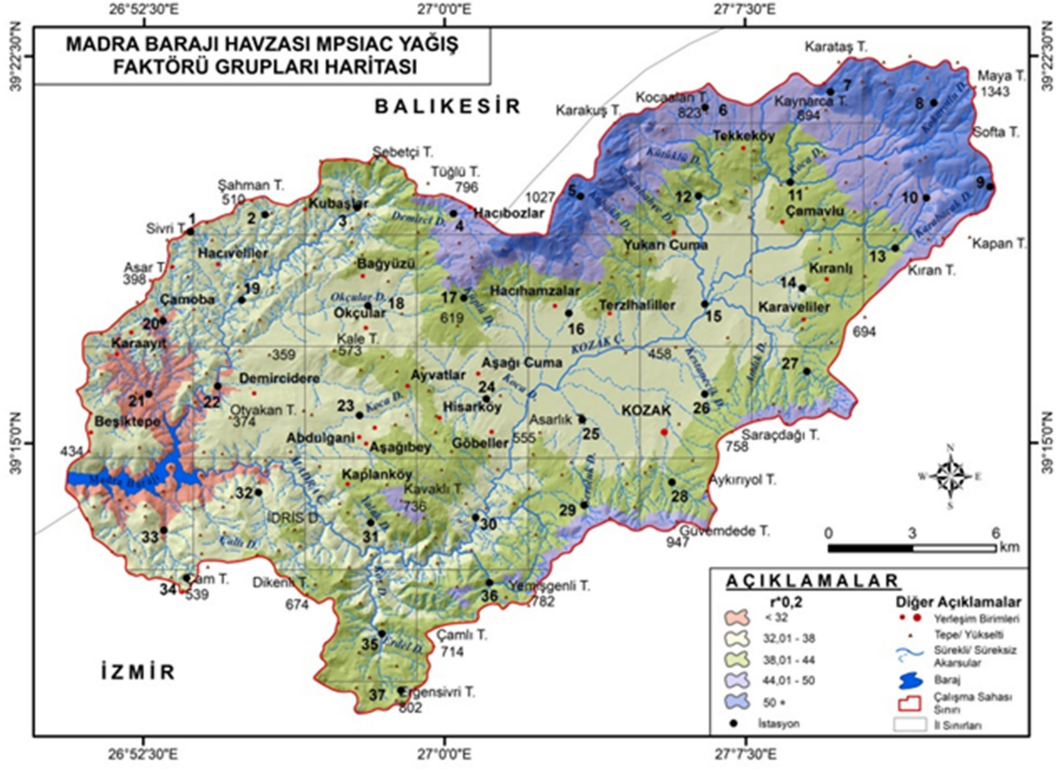
Topografya faktörü, toprak erozyonunu ortaya çıkaran suyun potansiyel gücünü, yamaç eğimi ve yamaç şekillerine göre düzenlemekte olan bir faktördür. Topografya faktörü MPSIAC yöntemi adına eğimin yüzde değerinin 0,33 katsayısı ile çarpılarak elde edilmesine dayanmaktadır. Dolayısıyla eğim yüzdesi oluşturulurken SYM'den eğim analizi yapılması ve **map algebra**da 0,33 katsayısı ile çarpılma analizine yönelinmiştir.

$$0,33 * S \quad (S = \text{Eğim} \%) \quad (5)$$

Topografya faktörüne göre Madra Barajı Havzası'nda 0 ile 29,085 arasında değişen değerler hesaplanmıştır. Ortalama eğim faktörü değeri ise 3,7 olarak bulunmuştur. Baraj havzasında topografya faktörünün en etkili olduğu araziler, havza kuzeyinde yer alan Yaylacıkdede Dağı'nın güneyinde bulunan 4-5-16-17 numaralı istasyonlar; havzanın kuzeydoğusunda bulunan Madra Dağı içerisinde yer alan 7-8-9-10 numaralı

istasyonlar ve baraj güney-güneydoğusunda bulunan arızalı yüzeylere ait 30-37 numaralı istasyonlar üzerinde görülmektedir. Bu arazi

yüzeyleri topografya açısından yüksek oranda erozyon riski taşıyan sahalardan müteşekkildir (Şekil 6).



Şekil 5. Madra Barajı Havzası Yağış Aşınım Faktörü Haritası / Figure 5. The Rainfall Erosivity Factor Map of Madra Dam Basin



Şekil 6. Çamavlu yerleşim biriminden araştırma sahasının güneydoğusunda yer alan anakayasını metamorfik şistlerin meydana getirdiği Güvem Dağı şiddetli toprak erozyon sahaslarını oluşturmaktadır.

Figure 6. Güvem Mountain, which bedrock is formed by metamorphic schists, located in the southeast of the research area from Çamavlu village, forms severe soil erosion areas.

Madra Çayı ve kollarının içerisinde akış gösterdiği akarsuların dik ve devamlı yamaçlardan aşındırıp taşıdıkları sedimentler baraj göletine yakın olması

nedeniyle yüksek oranda materyal taşımaktadır. Açığa çıkan sediment madde birikiminin bu arazi yüzeyleri üzerinde daha az yol katetmesi ve hemen kısa bir mesafe sonunda birikime uğratılması nedeniyle baraj bünyesine en fazla sedimenti taşınması açısından barajın doldurulmasında yüksek oranda risk taşıyan erozyon sahaslarını oluşturmaktadır.

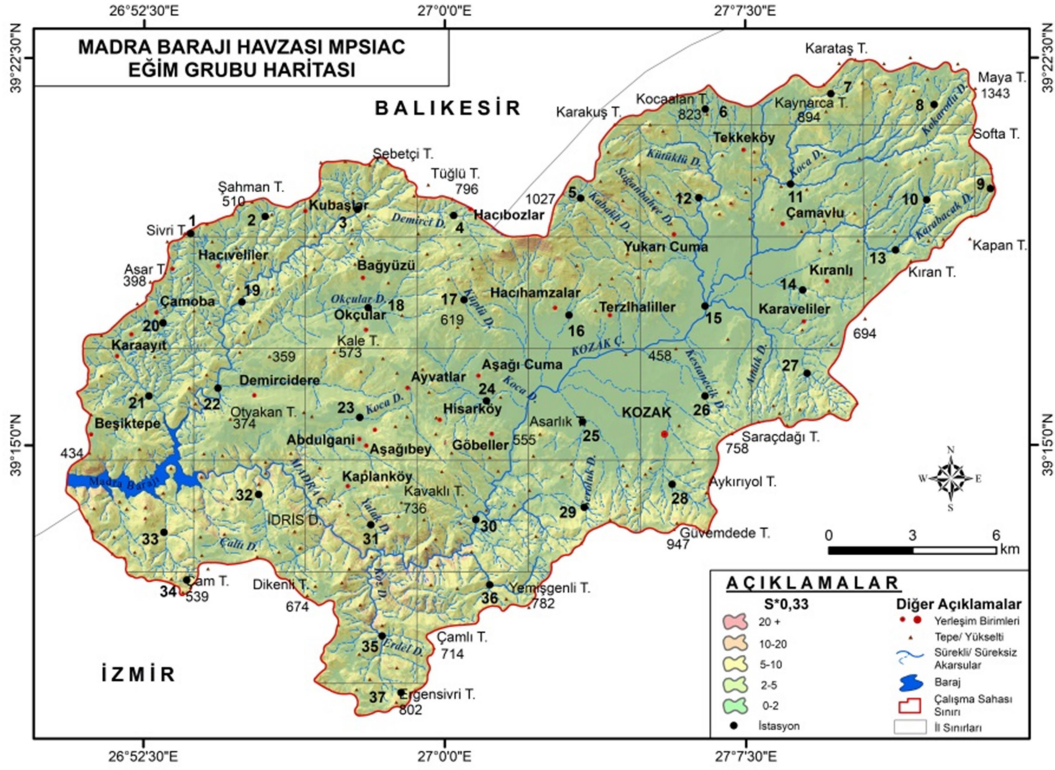
Drenaj yoğunluk faktörü, su toplama havzasını besleyen yan kollarının uzunluklarının toplanması ve havza alanına oranlanması sonucu elde edilmektedir (Avcı, 2016). Akarsu yoğunluğu, drenaj ağının üzerine kurulu olduğu ana kaya özellikleri, iklim, bitki örtüsü gibi birçok parametre tarafından etki görmektedir (Verstappen, 1983). MPSIAC yönteminde drenaj yoğunluk faktörü aşağıdaki eşitliğe göre formüle edilmektedir;

$$0,006R+10Q_p \quad (7)$$

Madra Barajı Havzası'nda MPSIAC

yöntemine göre drenaj yoğunluğu ortalama olarak 2,27 m olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre drenaj yoğunluğu 0,006 ile 7,47 m arasında bulunmuştur. En yüksek drenaj yoğunluğu havzanın kuzeybatısında bulunan 20-21 numaralı istasyonların üzerinde kurulu oldukları

Beşiktepe ve Çamoba platoluk arazisi oluşturmaktadır. Bu arazi yzeyleri üzerinde akarsu yoğunluğu 7,47 m civarındadır. Dolayısıyla bu yzeyler üzerinden meydana gelebilecek toprak erozyonu yüksek risk grubu içerisinde değerlendirilebilir (şekil 7).



şekil 7. Madra Barajı Topografya Faktörü Haritası / Figure 7. Topographic Factor Map of Madra Dam Basin.

Baraj havzasında drenaj yoğunluğunun ikinci derecede önem arz ettiği noktalar; havzanın kuzeybatısından kuzey kesimlerine doğru kayma eğilimi gsteren 2-3-19 numaralı istasyonlar; kuzeydoğuda 6-12-8-9-10 numaralı istasyonlar; Saradağı Tepe'nin kuzeyinde yer alan 27 numaralı istasyon ve havzanın gney kesimlerinde 28-29-30-31-35 ve 36 numaralı istasyonlar 4,51-6 m arasında drenaj yoğunluğuna sahip arazi yzeyleridir. Toprak erozyonu adına bu istasyonlar ikinci derece yüksek risk taşıyan blgeler oldukları sylenebilir (şekil 8).

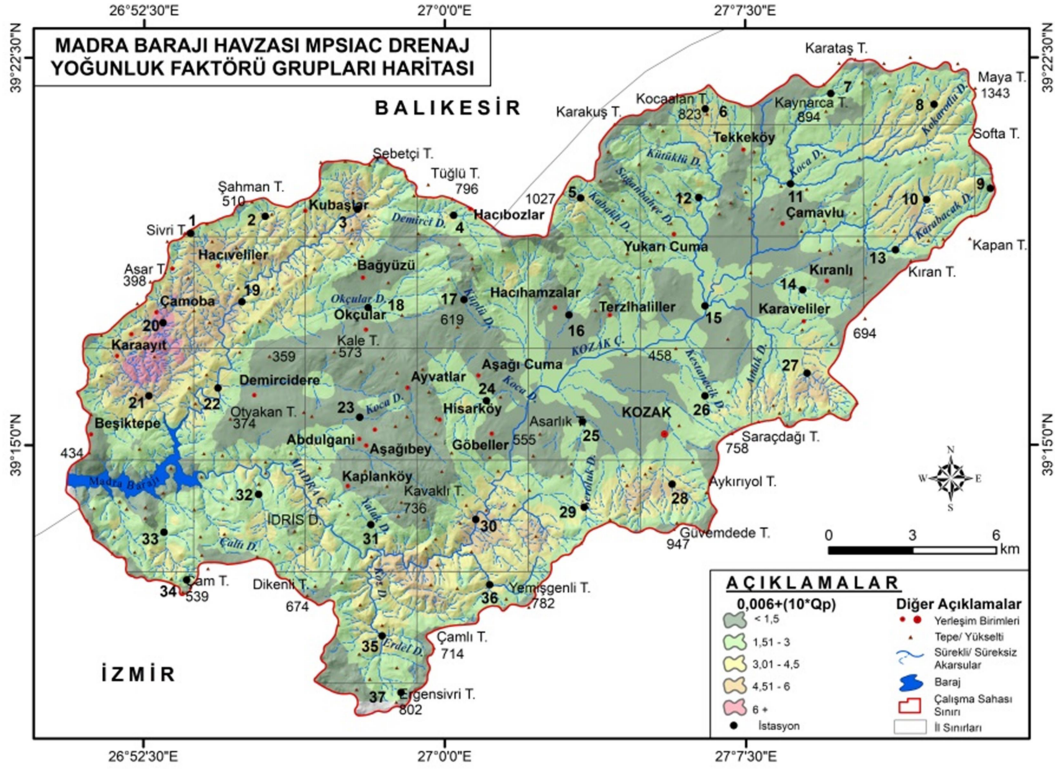
Baraj havzasının merkezi i kesiminde Koca Dere ve Kozak ayı'nın da kesişim gsterdiği Çamavlu yerleşim birimi ile Otyakan Tepe arasında kalan sahayı eviren arazi yzeyleri üzerinde 1,5-4,5 m arasında drenaj yoğunluğu

mevcuttur. Alvyal toprakların mevcudiyet gsterdiği ve Çamoba Platosu'nun gneydoğusunda kalan araziler ise drenaj yoğunluğunun en dšyük olduğu sahaları karşılamaktadır. Bu bağlamda bahsi geçen bu arazi yzeyleri toprak erozyonunun drenaj yoğunluğu adına en dšyük risk taşıyan araziler olarak tanımlanabilir.

Toprak Aşınımlı Faktörü, toprağı oluşturan agregaların birbirine bağlanma durumu, fraksiyonlar arasında çekim gncüne bağlı olarak suyun potansiyel gncüne karşı koyma eğilimi gsteren bir faktördür. Toprak aşınımlı faktörü çalışma sahası üzerinde yer alan bryk toprak gruplarının sayıllaştırılması ve toprak gruplarına ilişkin toprak rneklerinin alınması-bunların bnyne ve fiziksel ozelliklerine göre analize tabi tutulması ile aşınımlı faktörü ortaya çıkarılmıştır (Tablo 3). Faktör hesaplamasında Foster vd. tarafından 1977 yılında bulunan

eşitlik kullanılmıştır. Elde edilen hesaplamalar doğrultusunda MPSIAC eşitliği;

16,67*K (K=Toprak aşınımlı değeri) (8)
oluşturulmuştur.



şekil 8. Madra Barajı Havzası Drenaj Yoğunluk Faktörü / **Figure 8.** Drainage Density Factor Map of Madra Dam Basin

Tablo 3. Madra Barajı Havzası Büyük Toprak Grupları Analiz Sonuçları (Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İnceleme Laboratuvarı).

Table 3. Analysis Consequences of Big Soil Groups of Madra Dam Basin (Mediterranean University Agricultural Faculty Soil Analyse Laboratory).

Sıra No	pH	EC (%)	Kireç (%)	OM (%)	KDK					Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
					me/100 gr	Mg	Ca	Na	K			
1	6,8	0,008	7,7	6,09	18,7	24,76	130	0,349	6,743	51,8	29,5	18,7
2	5,45	0,007	5,9	3,39	14,4	14,18	52,59	281,75	9,951	81,7	9,6	8,7
3	7,24	0,008	7,7	1,85	23,3	41,09	162,3	14,5	10,77	59,8	19,6	20,6
4	6,43	0,006	6,1	1,08	9,5	12,13	58,13	0,67	13,57	81,9	11,5	6,6

Açıklama: 1= Haciveliler yerleşim birimi kuzeybatısı 1 nolu istasyon KOT, 2= Sivri Tepe civarı 21 ve 22 nolu istasyonlar A, 3= Abdulgani/ Hacimehmetler 23 nolu istasyon KKT, 4= Aşağıcuma yerleşim birimi güneyi 24 nolu istasyon KKOT

Foster vd. (1977) yılında oluşturdukları eşitliğe göre;

$$K = [2,8 \cdot 10^{-7} \cdot M^{1,14} \cdot (12-a)] + [4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (b-2)] + [3,3 \cdot (c-3)] \quad (9)$$

Toprakların direnç durumu hesaplanmıştır.

K= Toprak aşınımlı değeri,

M= Partikül boyutu,

$$\{silt(\%) + iyi\ gelişmiş\ kum(\%)\} \cdot \{(100 - kil(\%))\} \quad (10)$$

a= organik madde içeriği (%)

b= toprak strüktür kodu

c= toprak geçirgenlik sınıfı olarak hesaplanmaya gidilmiştir.

Eşitlikten elde edilen sonuç daha sonradan MPSIAC yönteminde toprakların erozyona karşı direnç durumuna göre sabit katsayı olan 16,67*K ile çarpılarak toprak aşınımlı değeri elde edilmiştir.



Şekil 9. Kireçsiz kahverengi topraklar üzerinde yeni gelişmekte olan oyuntu erozyonu (Çamavlu yerleşim biriminin 200 m güneybatısı).

Figure 9. Newly gullies on non-calcareous brown soils (200 m southwest of Çamavlu settlement).

Tablo 4'den elde edilen Foster eşitliğine göre, en yüksek erodabilite faktörü kireçsiz kahverengi orman topraklarından meydana gelmektedir. Kil içeriğinin düşük olması burada toprak agregatları arasında oluşan adhezyon ve kohezyon güçlerinin düşük olmasını sağlamakta dolayısıyla toprağın erozyona karşı direncini düşürmektedir. Kireçsiz kahverengi orman topraklarından sonra ikinci düzeyde erozyona karşı dirençsiz gruba alüvyal topraklar oluşturmaktadır. Bağlayıcı unsurların düşük olması yine bu durumu açıklar niteliktedir. Ayrıca toprak pH değerlerinin yine

bu toprak türünde 5,45 olarak asit reaksiyon gösterir niteliktedir. Erozyona karşı direnci orta derecede yüksek grubu oluşturan toprak türünü 0,061 ton ha başına yıllık kayıplarla kireçsiz kahverengi toprak grubu meydana getirmektedir. Toprak erozyonu adına en yüksek dirence sahip toprak grubu kahverengi orman toprakları tarafından meydana getirilmektedir. Yıllık hektar başına 0,037 ton toprak kayıpları meydana gelen kahverengi orman topraklarının kil oranının yüksek olması ve organik bağlayıcıların yüzdesinin diğer toprak türlerine göre daha fazla olması fraksiyonlar arasında bağlayıcı unsurun artmasına ve birbirine daha yüksek oranda tutulmasına olanak tanımaktadır.

Toprak erodabilite faktörü, toprakların fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu duruma ilaveten toprak erozyonunun gelişmesinde ve artışında toprak türlerinin alansal olarak kapladıkları arazilerin genişlikleri veya daha az alan kaplamalarına göre erozyon durumu artış ya da azalışlar sergilemektedir. Baraj havzasında en yüksek alan kaplayan toprak türlerinin KKOT ve A toprak gruplarının Foster eşitliğine göre düşük direnç gösteren toprak türlerinden meydana gelmesi nedeniyle yüksek derecede erozyon riski taşıyan topraklar olması göze çarpmaktadır.

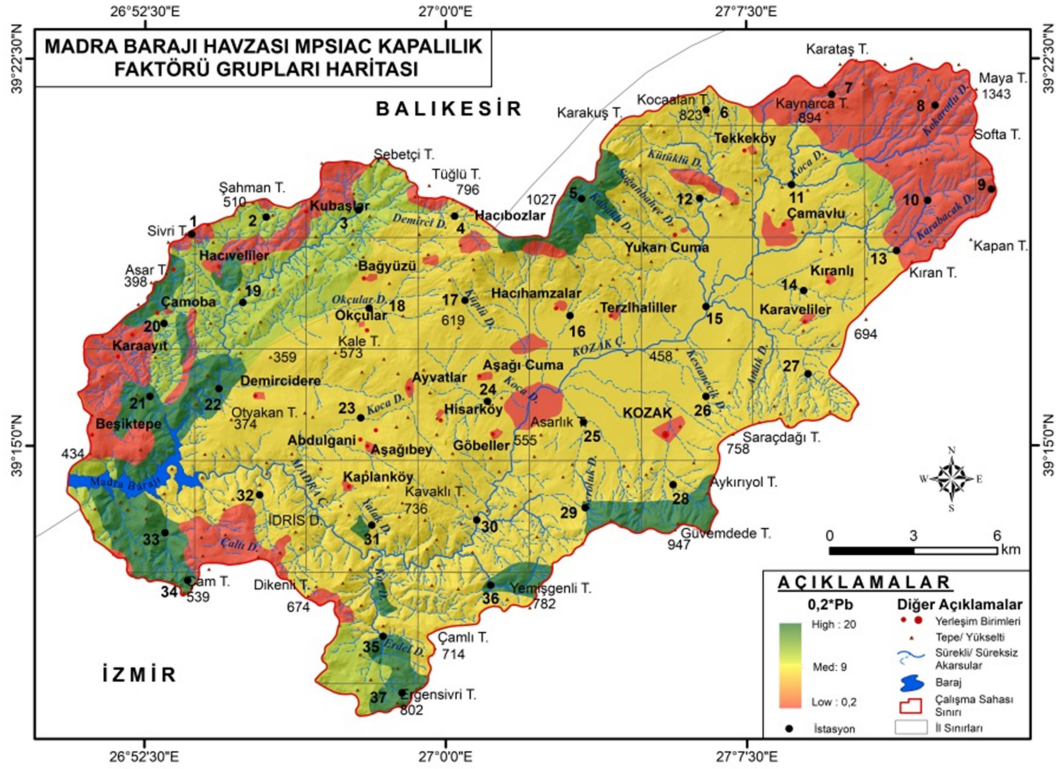
Tablo 4. Toprak Aşınım Değerleri (Foster vd., 1977) / **Table 4.** Soil Erodability Values (Foster et al., 1977)

Örnek No	M (Partikül Boyutu)					12-a	M*10 ⁻⁷	K Faktörü	BTG
1	81,3	81,3	6606,438	22634,08	0,00000028	5,91	0,006338	0,037	KOT
2	91,3	91,3	8332,038	29488,76	0,00000028	8,61	0,008257	0,071	A
3	79,4	79,4	6308,172	21472,87	0,00000028	10,15	0,006012	0,061	KKT
4	93,4	93,4	8728,044	31091,76	0,00000028	10,92	0,008706	0,095	KKOT

Erozyonu meydana getiren diğer kriterler dışarıda tutularak, baraj havzasında toprak erodabilite faktörüne göre MPSIAC değerlerinin 0,62 ila 16,67 ton yıllık hektar başına toprak kayıpları oluşturduğu hesaplanmıştır. En yüksek toprak erodabilite değerleri araştırma sahası üzerinde herhangi bir bitki örtüsü bulunmayan taşlık/kayalık araziler üzerinde 16,67 ton/ha/y olarak havzanın kuzey kesimlerinde 3-4-16-17 ve 12 nolu ölçüm istasyonlarında elde edilmiştir.

Toprak erodabilitesi açısından MPSIAC ortalama değeri ton/ha/y olarak 1,62'dir.

Toprak (K) faktörüne göre orta derecede önem arz eden ve 1,56 ton/ha/y toprak kayıpları meydana getiren araziler KKOT yayılış alanlarına karşılık gelmektedir. Ayrıca 1,36 ton/ha/y olarak toprak kayıpları meydana getiren araziler, baraj havzasının merkezi kesiminde gelişme gösteren A topraklar üzerinde hesaplanmıştır. KKT ve KOT'nın yayılış gösterdiği kristalize kireçtaşları çevresindeki ormanlık araziler ile baraj



Şekil 11. Madra Barajı Havzasının YüzeY Kapalılık Faktörü Haritası / Figure 11. Cover Factor Map of Madra Dam Basin.

Tablo 6. Madra Barajı Havzasında YüzeY Kapalılık Değerleri / Table 6. Cover Values of Madra Dam Basin

Kapalılık Oranı (%)	Alan (ha)	Oran (%)	Türler
< 10	1.579	3,87	Kuru tarım, taşlık, yerleşim
11- 40	4.899	12,00	Mera
41- 70	30.336	74,29	Fıstıkçanı, fundalık
71- 100	3.390	8,30	Kızılçam, karaçam, gençleştirme
100 +	356	0,87	Zeytin
Baraj Göleti	272	0,67	Baraj göleti
TOPLAM	40.832	100	

YüzeY kapalılık değerleri adına %100 kapalılığa sahip zeytinlik araziler araştırma sahasının kuzeybatısında bulunan Çamoba ve Haciveliler yerleşim birimleri etrafında arazi yüzeYini örtmektedir. Toplam arazi varlığının yaklaşık %1'ine karşılık gelen zeytin dikili araziler üzerinden MPSIAC toprak erozyonu eşitliğinde en düşük risk faktörü grubunu oluşturmaktadır. Toprak erozyonu adına yüzeY kapalılığında kızılçam, karaçam ve orman gençleştirme sahaları ise 3.390 ha'lık arazi ile ikinci derecede erozyon önleme sahalarını meydana getirmektedir. Arazi kullanımı adına kuru tarım, yerleşim birimleri ve taşlık-kayalık arazi yüzeYleri ise toprak erozyonu oluşturmada en yüksek risk faktörünü meydana getirmektedir. Bu arazi yüzeYleri üzerine düşen suyun kinetik enerjisinin kesintiye uğratılmaması ve yön verilememesi toprak erozyonunu hızlandırıcı

etki yaratmaktadır. MPSIAC kapalılık faktörü bu çalışmada;

$$0,2 \cdot P_b \quad (11)$$

sabit katsayısı ile çarpılarak gereken değerini almıştır.

Arazi örtüsü ve yönetimi faktörü, suyun potansiyel gücünü frenlemede dolayısıyla toprak erozyonunun yavaşlatılmasında etken rol oynamaktadır. MPSIAC yönteminde arazi örtüsü ve yönetimi faktörü;

$$20 - (0,2 \cdot P_c) \quad (12)$$

eşitliği ile formüle edilmiştir.

MPSIAC metoduna göre çarpılan arazi kullanımı ve örtüsü haritası tekrardan türetilmiştir. Dolayısıyla oluşturulan yeni verilere göre orman arazilerin kapladığı araziler üzerinden 19,982 ton/ha/y toprak kayıpları meydana gelirken; araştırma

sahasının batısı, kuzeydoğusu ve güneybatıda kalan meralık-fundalık araziler üzerinden 19,984 – 19,989 ton arası toprak kayıpları oluşmaktadır. En yüksek toprak kayıplarını ise baraj havzasının kuzeyinde yer alan taşlık-kayalık araziler olan ve üzerinde bitki örtüsü bulunmayan yıllık hektar başına 19,986+ ton toprak kayıpları meydana getiren araziler oluşturmaktadır.

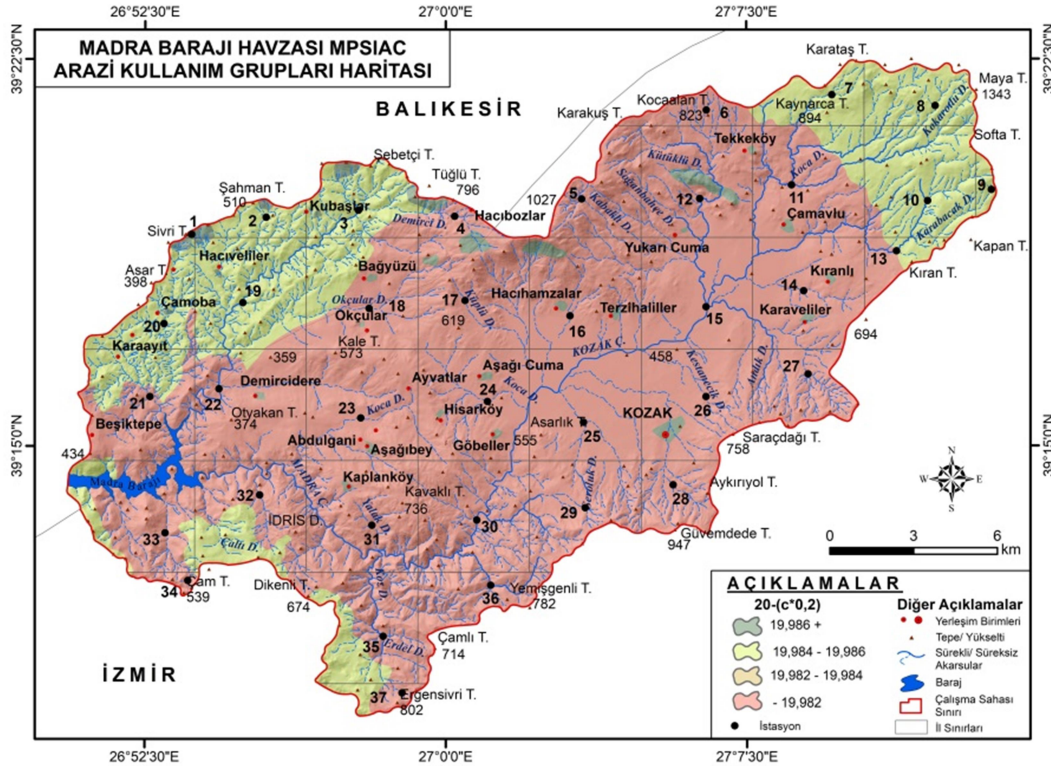
Yüzey erozyon faktörü, bileşik topografik indeks hesaplamasından faydalanılmıştır.

Baraj havzasına ait oluşturulan bileşik topografik indeks haritası MPSIAC Yüzey Erozyonu Faktörü adına $0,25 \cdot SS_F$ katsayısı ile çarpılarak sonuca gidilmiştir.

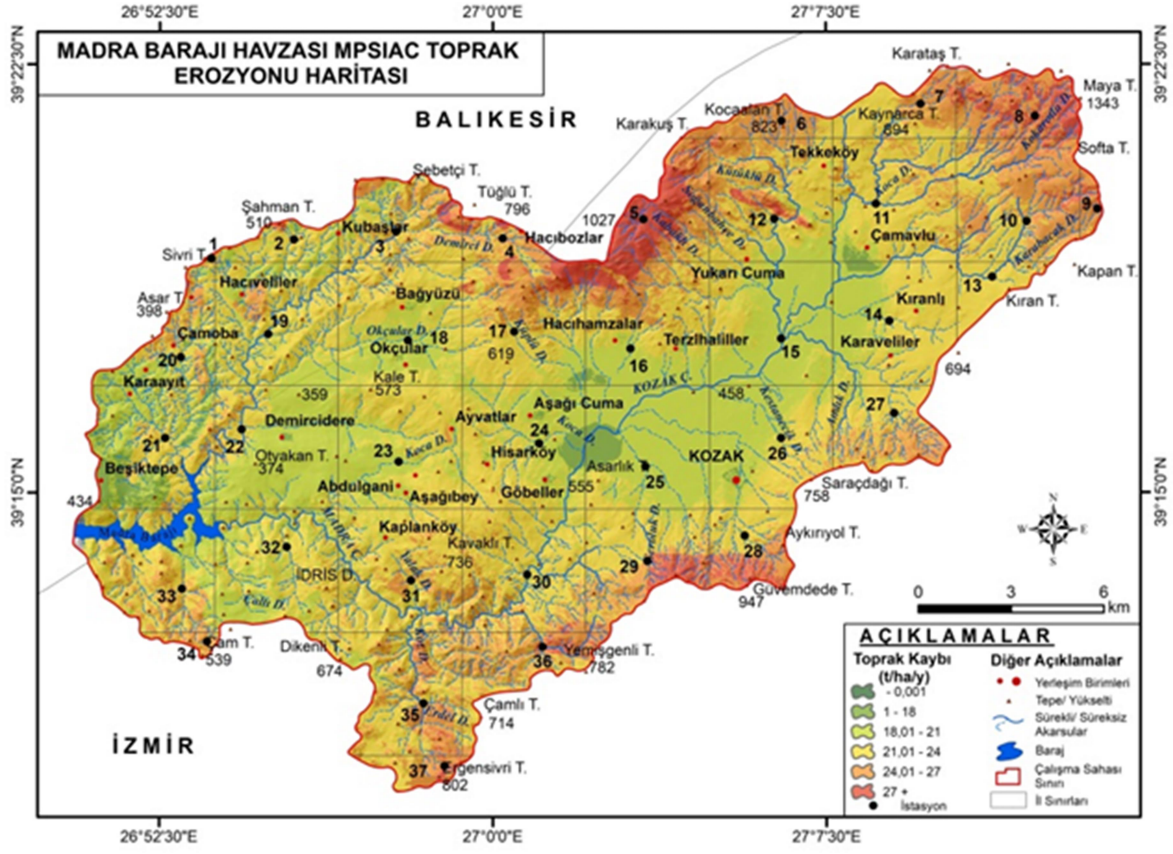
$0,25 \cdot [\ln(\text{akış toplamı} + 0.001) / (\text{eğim} / 100) + 0.001]$ şeklinde MPSIAC yüzey erozyon faktörü olarak hazırlanmıştır. Baraj havzasında akış gösteren akarsuların akış toplamı ile eğimin yüzdesine oranlanması sonucu logaritması alınan değer 0,25 sabit katsayısı ile çarpılmıştır (Moore vd., 1991).

Tablo 7. Baraj Havzası Arazi rts ve Kullanımı Dağılımı Oranları / **Table 7.** Land Cover and Land Use Distribution Rates of Madra Dam Basin.

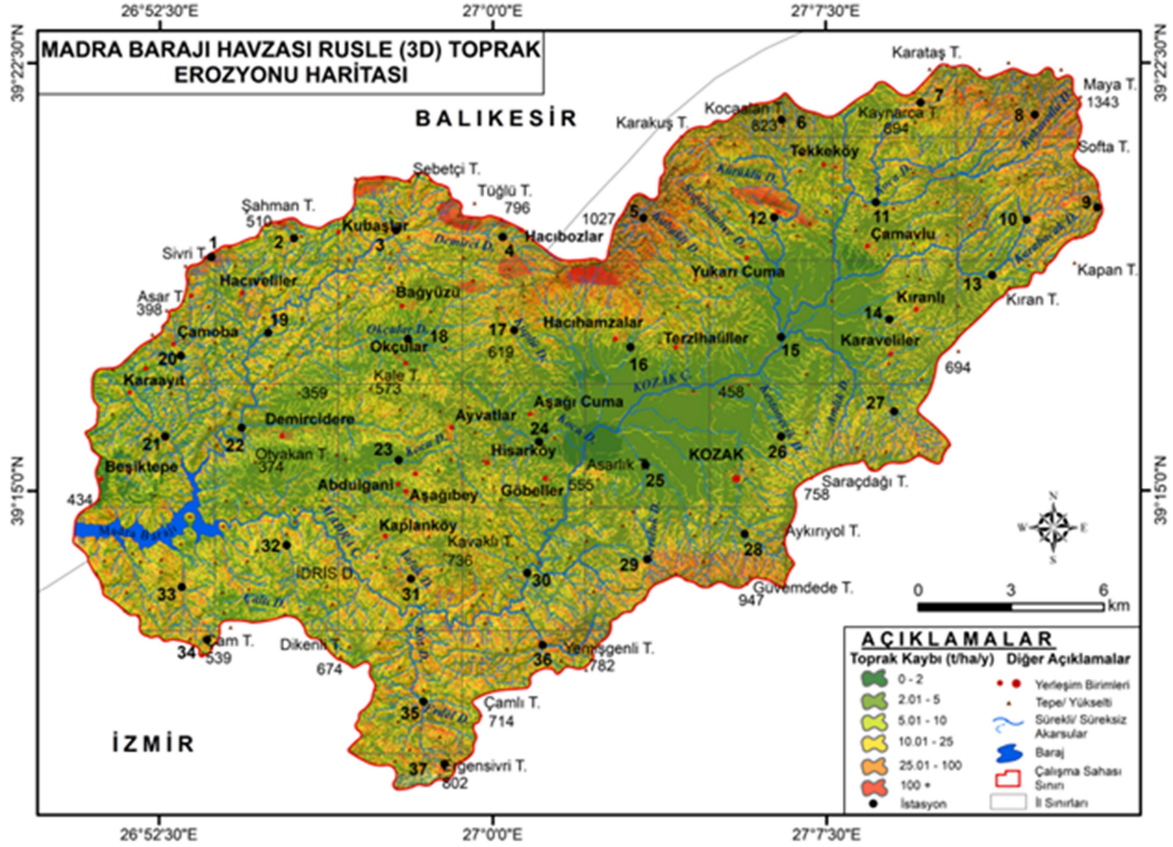
Arazi Kullanımı	Kod	Alan (ha)	Oran (%)	C Faktör
Fundalık	F	3.959	9,70	0,09
Mera	M	4.899	12,00	0,09
Kızılçam	Pb	2.628	6,44	0,05
Orman geneştirme	G	196	0,48	0,05
Kuru tarım	K	884	2,16	0,07
Taşlık/kayalık	TK	459	1,12	1
Karaçam	Pn	575	1,41	0,05
Zeytinlik	Ze	356	0,87	0,09
Yerleşim birimi	YR	236	0,58	1
Fıstıkçamı	Pp	26.368	64,58	0,05
Baraj/Gölet	BG	272	0,67	---
TOPLAM		40832	100	



şekil 12. Madra Barajı Havzası Arazi rts ve Yönetim Faktörü Haritası / **Figure 12.** Land Cover and Management Factor Map of Madra Dam Basin



Şekil 15. Madra Barajı Havzası MPSIAC Yöntemine Göre Toprak Erozyon Haritası / Figure 15. Soil Erosion Map of Madra Dam Basin According to MPSIAC Method



Şekil 16. Madra Barajı Havzası RUSLE Yöntemine Göre Toprak Erozyon Haritası / Figure 16. Soil Erosion Map of Madra Dam Basin According to RUSLE Method.



Şekil 17. Granodiyorit anakayası üzerinde gelişen oyuntu erozyonu (Yukarıcuma- Çamavlu arası). 10 numaralı istasyon üzerinde yıllık hektar başına 43 tondan fazla toprak erozyonu kayıpları meydana gelmektedir

Figure 17. Developing gully erosion on granodiorite bedrock (between Yukarıcuma and Çamavlu settlements). Soil erosion losses more than 43 ton/ha/year occurs on station 10.

1,67* [ln(akış toplamı+.001)*(eğim /100)+.001] şeklinde hesaplamaya tabi tutulmuştur. Elde edilen bulgulara göre (akış gücü indeksi ve 1,67 sabit katsayısının çarpılmasıyla) Madra Barajı Havzası kanal erozyonu faktörü ortalama değeri -0,067 olarak hesaplanmıştır. Kanal erozyonu faktörü değerlerinin ise -157,74 ile 47,50 arasında değişkenlik gösterdiği bulunmuştur.

Madra Barajı Havzası'nda kuzeyde Hacıhamzalar yerleşim biriminin kuzeyi ile kuzeydoğu kesimleri, kuzeydoğuda Madra D.'nin güneybatıya doğru akış gösteren Cambaz D. ve kollarının oluşturduğu vadiler, güney kesimlerde Madra Çayı'nın içerisinde akış gösterdiği yatak; Erdel Dere ve İdris D. civarı, güneybatı kesimlerde ise Çam T. ile Madra Barajı arasında akış gösteren akarsuların vadi yatakları üst çığırları kanal erozyonu değerleri açısından yüksek çıkan arazilerdir.

Dolayısıyla bu sahalar üzerinde oyuntuların iyi derecede gelişme göstermesi durumu söz konusudur. Kanal erozyonu değerlerinin yüksek olduğu sahalar ile jeolojik yapı arasında yüksek oranda tutarlılık durumu da söz konusudur. Fay hatlarına paralel olarak kanal erozyon değerlerinde artış durumu görülmektedir. Bu durum, tektonik aktivite ile akış gücü indeksi arasındaki ilişkiyi ortaya koyan en önemli göstergelerden birisidir.

SONUÇ

Madra Barajı Havzası'nda toprak erozyonunu ortaya çıkaran parametrelerle yıllık hektar başına ne kadar toprak kayıplarının meydana geldiğini ortaya çıkarmak için kullanılan MPSIAC ve RUSLE analizlerinin karşılaştırılması ve sonuçların örtüşme durumu değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre MPSIAC yönteminde RUSLE yöntemine göre daha fazla toprak erozyon kriterinin girdi olarak kullanılması çalışma sahası üzerinde toprak kayıplarının daha dar bir alan tarafından sınırlandırılmasına neden olurken RUSLE tekniğinde kayıplar maksimum düzeye ulaşma olanağı bulmaktadır. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda MPSIAC yönteminden elde edilen sonuçların RUSLE tekniği tarafından doğrulandığı belirlenmiştir. Çalışma sahası üzerinde toprak erozyonunun görülmediği ya da birikimin meydana geldiği arazi yüzeyi her iki yöntem tarafından da Kozak Ovası'nın güneybatı kesiminde kalan 213 hektarlık araziye karşılık gelmektedir. Yüksek oranda erozyon riski taşıyan sahalar her iki yöntemde de Güvem Dağı çevresinde kalan arızalı topografya, baraj havzasının kuzey kesiminde Yaylacıkdede Dağı ve temelini metavolkanitlerin oluşturduğu kuzeydoğuda yer alan Maya Tepe civarı göstermektedir. Yüksek oranda erozyon riski taşıyan arazilerin yöntemler arasında tek farkı MPSIAC

tekniiğinde 43 t/ha/y gerçekleşmesi ile RUSLE tekniğinde bu durumun 100 t/ha/y bazında gerçekleşmesi durumudur. Havzanın geri kalan kısmı her iki yöntem açısından toprak erozyonunda orta derecede risk faktörü taşıyan ve ortalama değerleri belirleyen arazilerden oluşmaktadır.

Sonuç olarak baraj havzasında toprak erozyonunu ortaya çıkarmada kullanılan iki farklı yöntemden elde edilen sonuçlar risk açısından nispeten doğru sonuçlar üretmektedir. MPSIAC yönteminde kullanılan parametrelerin RUSLE yöntemine göre daha fazla oluşu bu yöntemin daha güvenilir sonuçlar üretmesine imkan tanımaktadır. Yöntemlerin doğruluk değerini gösterir kriterlerden birisi olarak da ana kayaç gruplarının değişmesine bağlı üzerinde gelişme gösteren bitki örtüsünün değişiminin de toprak erozyonlarında (zellikle Gvem Dağı civarında metamorfik şistlerden granodiyoritlere geçişte kızılcamlardan fıstıkamlarına geçiş sahası) değişme göstermesi olarak gösterilebilir. MPSIAC yönteminden elde edilen bulgulara göre baraj havzasından yıllık hektar başına 22,5 ton toprak kayıplarının meydana geldiği tespit edilirken bu oran RUSLE tekniğinde 34,05 tona çıkmaktadır. Dolayısıyla kullanılan parametre veya kriterin fazlalığı oranında güvenilirlik katsayısının artabileceği durumu ortaya çıkmaktadır. Her iki yöntem tarafından elde edilen sonuçlara göre baraj bünyesinin (ıktı bilançosu dışarıda tutulmak kaydıyla) MPSIAC sonuçlarından 80±8 yıl ve RUSLE yöntemi sonucuna göre 55 yıl (kurulumdan itibaren-1996/97) içerisinde baraj göletinin kara yüzeyi haline gelmesi öngörülmektedir. Bu durum baraj bünyesinin batimetrik ölçümleri ile oluşturulan hacim analizi ve yıllık toplam erozyon miktarının ne kadar gerçekleştiği ile bağdaştırılarak hesaplanmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu alışma, Murat FIICI'nın Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalında hazırlamış olduğu doktora tezinin bulgularından üretilmiştir.

KAYNAKÇA

- Anonim (2012) Bitki Kapalılığı Hakkında Değerlendirme, Orman İdaresi ve Planlama Teşkilatı Hizmet İçi Ders Notları, Ankara
- Avcı, V. (2016) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Gökdere Havzası ve evresinin (Bingl) Erozyon Duyarlılık Analizi, The Journal of Academic Social Science, Yıl: 4, Sayı: 26, S: 170-193.
- Bahtiyar, M. (2003) Toprak Erozyonu, Oluşumu ve Nedenleri, Erozyonla Mücadele (Tema Eğitim Semineri Notları), 3. Baskı (Editör: E Gülşah Sevinç), TEMA Vakfı Yayınları No: 26, ISBN: 975-7169-20-X, Lebib Yalkın Matbaacılık, S: 28-46, Ankara.
- Cürebal, İ. (2003) Madra ayı Havzasının Uygulamalı Jeomorfoloji Etüdü, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- Cürebal, İ.; Ekinci D. (2006) Kızılcili Deresi Havzasında CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Analizi, Türk Coğrafya Dergisi 47: 115-130.
- elik, V. (2011) Değirmen Deresi Havzası'nda (Bolvadin- Afyonkarahisar) Toprak Erozyonu Risk Analizi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Afyonkarahisar.
- Darkot, B.; Tuncel, M. (1995) Ege Bölgesi Coğrafyası, İ Yayınları, No: 1365, Coğrafya Enstitüsü Yayınları, No: 99, İSTANBUL.
- Efe R.; Ekinci, D.; Cürebal, İ. (2008a) Erosion Analysis of Fındıklı Creek Watershed (NW of Turkey) Using GIS Based RUSLE (3D) Method, Fresenius Environmental Bulletin, 17 (5): 568-576.
- Efe R.; Ekinci, D.; Cürebal, İ. (2008b) Erosion Analysis of şahin Creek Watershed (NW of Turkey) Using GIS Based RUSLE (3D) Method, Journal of Applied Sciences, 8 (1): 49-58.
- Elwell, H.A. & Stocking, M.A. (1973) Rainfall parameters to predict surface runoff yields and soil losses from selected field-plot studies, Rhodesia, Zambia and Malawi journal of agricultural research, 11 (2): 123-129
- Erkal T. (2012) obanlar Havzası'nda (Afyonkarahisar) Toprak Erozyonunun Değerlendirmesi, The Journal of Academic Social Science Studies, 5 (8): 543-562.
- Erol, E. & anga, M. (2004) Coğrafi bilgi sistemi tekniği kullanılarak erozyon tehlikesinin değerlendirilmesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 10: 136-143.

- Foster, G.R., Meyer, L.D., and Onstad, C.A. (1977) An erosion equation derived from basic erosion principles. *TRANSACTIONS of the ASAE* 20(4), 678-682.
- Gülşen M. (2014) Eber Havzasında (Afyonkarahisar) Toprak Erozyonunun Değerlendirmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Afyonkarahisar.
- Johnson C.W. & Gebhardt K.A (1982) Predicting sediment yield from sagebrush rangelands, in: *Proceeding of workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands*, Tucson, AZ. Department of Agriculture, Agricultural Reviews and Manuals, Western Series, vol 26, pp 145–156
- Lal, R. (1988a) Soil erosion research on steep lands. In: *Conservation Farming on Steep Lands*. W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.). p. 47. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.
- Lal, R. (1988b) Erodibility and erosivity. Chapter 7. In: *Soil Erosion Research Methods*. R. Lal (ed.). Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.
- Lane L.J.; Shirley, E.D.; Singh, V.P. (1988) Modelling erosion on hillslopes, chapter in *Modelling Geomorphological Systems*, Edited by Anderson, M.C., John Wiley & Sons Ltd.
- Moore, I.D.; Grayson, R.B.; Ladson, A.R. (1991) "Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications". *Hydrological processes* 13(4), 305-320.
- Özsoy, G. (2007) Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Teknikleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Bursa.
- Özşahin E.; Atasoy A. (2014) Aşığı Asi Nehri Havzası'nın Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) Teknikleriyle Erozyon Analizi, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları No: 48, Hakan Ofset Basımevi 344 pp, Antakya.
- Renard, K.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; Porter, J.P. (1991) RUSLE Revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 46 (1) 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)*. USDA Agricultural Handbook No. 703, 404 pp.
- Schwab, G.O.; Frevert, R.K.; Edminster, T.W.; Barnes, K.K. (1966) *Soil and Water Conservation Engineering*. Second Edition, John Wiley and Sons, pp:683, New York.
- Tağıl, Ş. (2007) Tuzla Çayı Havzasında (Biga Yarımadası) CBS Tabanlı RUSLE Modeli Kullanarak Arazi Degredasyonu Risk Değerlendirmesi, *Ekoloji* 17: 11-20.
- Turoğlu, H. (2018) Kaya Yüzeyi Sertliği ile Ayrışma ve Kaya Erozyonunun Tahmin Edilmesi: Avşada Adası Granit Formasyonları Üzerine Bir Örnek Çalışma, *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2018 (1): 1-12.
- Verstappen, H.Th. (1983) *Applied Geomorphology*, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. (1978) *Predicting rainfall erosion losses; A guide to Conservation planning*, Agriculture Handbook No. 537, USDA Sci. and Educ. Admin., Washington D.C.
- Yılman, F.E. (2009) Eldivan Sarayköy-II Göleti (Çankırı) Su Toplama Havzasında RUSLE Yöntemi İle Toprak Kayıplarının Tahmin Edilmesi, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, S: 31- 124, Ankara.