

BAKIRÇAY HAVZASI'NDA RUSLE MODELİ KULLANILARAK EROZYON RİSKİNİN DEĞERLENDİRMESİ

Erosion Risk Assessment Using Rusle Model in
Bakırçay Basin

Gönderim Tarihi: 30.05.2017

Kabul Tarihi: 22.06.2017

Şevki DANACIOĞLU*

Şermin TAĞIL**

ÖZ: Bu çalışmanın amacı Bakırçay Havzası'nda suya bağlı toprak kaybı miktarını belirlemek ve erozyon risk durumu ortaya koyarak güncel arazi kullanımı/örtüsü ile ilişkisini değerlendirmektir. Araştırmada toprak kaybı miktarı (Revised Universal Soil Loss Equation -RUSLE) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. RUSLE yöntemi kapsamında parametrelerin elde edilmesinde karelej yöntemine göre belirlenen 108 noktadan temin edilen ve laboratuvar analizleri gerçekleştirilen toprak numuneleri, sayısal yükseklik modeli ve yağış verileri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknikleri ile analiz edilmiştir. Arazi kullanımı/örtüsü durumunun tespitinde Temmuz 2013 tarihli 30m mekânsal çözünürlüğe sahip LANDSAT Operational Land Imager (OLI) uydu görüntüsü kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre Bakırçay Havzası'nda suya bağlı toprak kaybı miktarının, yüksek eğim değerlerine sahip, ormansızlaşmanın fazla olduğu havza tabanını çevreleyen dağlık kütleler üzerinde en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Ayrıca Soma çevresindeki açık ocak işletmeciliğine bağlı madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sahalarda erozyon riskinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mevcut arazi kullanımı/örtüsü faaliyetlerine göre toprak kaybının değerlendirilmesi ile erozyon miktarının ormanlık alanların tahribi ile meydana gelen ekili-dikili sahalarda ve mera-çalı arazilerinde artmaya başladığı tespit edilmiştir. Araştırma sahasında, madencilik ve tarımsal faaliyetlerin yol açacağı arazi örtüsü değişiminin toprak kaybı riskinin artmasına neden olacağı olası görülmektedir. Bu bağlamda özellikle havza planlama ve yönetimi çalışmalarında toprak kaybı riski dikkate alınarak karar vericiler bu durumu göz önünde bulundurulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Erozyon Riski, RUSLE, Coğrafi Bilgi Sistemi, Bakırçay Havzası.

* Dr. Balıkesir Üniversitesi/Fen-Edebiyat Fakültesi/Coğrafya Bölümü, sdanacioglu@balikesir.edu.tr, ORCID ID: orcid.org/0000-0001-9496-6823

** Prof. Dr., Balıkesir Üniversitesi/Fen-Edebiyat Fakültesi/Coğrafya Bölümü, stagil@balikesir.edu.tr, ORCID ID: orcid.org/0000-0003-1118-352X

ABSTRACT: The aim of the study is to determine the amount of water-related soil loss in the Bakırçay Basin which is located west part of Anatolia and to evaluate the relation between the current land use / cover and the erosion risk situation. In this paper the soil loss model (Revised Universal Soil Loss Equation-RUSLE) was used to quantify soil loss in the basin. Soil samples obtained from the 108 field plot has been determined according to the grid method and analyzed in the laboratory, digital elevation model for LS factor and precipitation data were analyzed with Geographic Information System (GIS) techniques. LANDSAT Operational Land Imager (OLI) satellite image with a spatial resolution of 30m of July 2013 was used to determine existing land use / land cover situation of the study area. According to the results of the research, it is found that the amount of soil loss due to water in the Bakırçay Basin has reached the highest values on the mountainous masses surrounding the basin floor, which has high slope values and high deforestation. In addition, the risk of erosion in areas where mining activities carried around Soma has been found to be very high. Depending on the continuation of the change in the land due to the mining and agricultural activities, it is possible that the risk of soil loss increases. In this context, the risk of soil loss should be taken into account, especially in watershed planning and management studies, and decision makers should consider this situation.

Keywords: Erosion Risk, RUSLE, Geographic Information Systems, Bakırçay Basin.

GİRİŞ

Yeryüzünün, yüzeyden akan su, yağmur damlası, rüzgâr, dalga ve buzul gibi doğal etmenlerle aşınması doğal bir süreçtir. Doğal süreçler dışında beşeri faaliyetlerin neden olduğu arazi kullanımı değişiklikleri toprak kaybını ve riskini daha da artırmaktadır (Lal ve Pierce 1991). Bu duruma bağlı olarak toprak kaybı, doğal işleyişini kaybetmektedir ve erozyon miktarı tolerans sınırının üzerinde meydana gelmektedir (Bennet, 1939). Toprakta erozyonunun bir sonucu olarak A horizonunun taşındığı kesimlerde humus açısından fakir B horizonu ortaya çıkmakta ve toprak verimliliği% 50- 80 oranında düşmektedir (Cebel ve Akgül, 2011). Ayrıca toprak erozyonu toprak kalınlığını etkilediği için, toprağın su tutma kapasitesi de azalmaktadır. Bu da yüzeysel akışta artışa, organik madde kaybına ve toprakta verim kaybına neden olarak arazi degradasyonunu hızlandırmaktadır (Lal ve Pierce 1991).

Antropojenik nedenlerle toleranslı limitin üzerine çıkan toprak kaybı miktarı, insanların topraktan temin ettiği hizmetleri doğrudan etkileyen hidrolojik, biyolojik, pedolojik ve jeokimyasal süreçleri etkilemekte ve değiştirmektedir (Brevik vd., 2015). Ayrıca küresel boyutta arazi degradasyonundaki bozulmaların yaklaşık %80'i toprak erozyonundan kaynaklanmaktadır (Angima

vd., 2003). Diğer taraftan Türkiye, coğrafi konumu ve sahip olduğu iklim, topografya, jeolojik ve pedolojik özellikleri nedeniyle toprak erozyonuna karşı oldukça hassastır. Orman ve Su İşleri Bakanlığı (2013) Erozyonla Mücadele Eylem Planı'nda belirtildiği üzere Türkiye'de tarım alanlarının %59'u, orman alanlarının %54'ü ve mera alanlarının %64'ünde aktif erozyon bulunmaktadır.

Bütün bu etkilerin yanı sıra artan dünya nüfusu ve toprak ürünlerine olan ihtiyacın büyümesi, toprağın korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasının önemini artırmaktadır. Toprak korumasındaki temel amaçlardan birisi, üzerinde doğal ve kültürel yollarla bitkiler yetişen ya da başka arazi örtüsü/kullanımına sahip toprakların, yağmur damlasının kinetik enerjisi ve yüzeyel akış ya da diğer etmenlerle aşınmasını ve taşınmasını önlemektir. Bu bağlamda toprak kaybına neden olmayacak şekilde arazinin kullanılması ve yanlış arazi kullanımından ya da koruyucu yöntemlerin uygulanmamasından dolayı erozyona uğramış arazinin ıslah edilmesi, toprak koruma ilkelerinin temel amaçlarıdır (Balci, 1996).

Toprak kaybı birçok faktörün etkisi altında meydana gelmektedir. Toprak koruma faaliyetleri hem bu faktörlerin bilinmesini hem de faktörleri kontrol etme yöntemlerini gerektirmektedir (Renard vd., 2011). Toprak kullanımı ve yönetimi ile ilgili araştırmalar, özellikle toprak kaybının tahminini amaçlayan modeller, erozif süreçlerin azaltılması için önemlidir. Toprak erozyonunu hesaplamak için geliştirilen modeller ampirik, kavramsal ve fiziksel süreçlere dayalı modeller şeklinde ayrılabilir (Aksoy ve Kavvas, 2005; Kinnell, 2010). Bunlar içerisinde en yaygın kullanılan; Universal Soil Loss Equation (USLE; Wischmeier and Smith, 1978), Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS; Beasley vd., 1980), Erosion Productivity Impact Calculator (EPIC; Williams vd., 1983), Water Erosion Prediction Project (WEPP; Nearing vd., 1994), Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESE-RA; Kirkby, 1999) ve Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE; Renard vd., 1994) modelleridir. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri ile entegre çalışabilmesi (Yitayew vd., 1999), farklı ölçeklerde kullanılabilmesi (Lim vd., 2005) ve en çok tercih edilen modellerden biri olması (Tiwari vd., 2000; Tağıl, 2007) nedeniyle RUSLE yöntemi tercih edilmiştir.

Türkiye'de toprak erozyonunun hesaplanmasında RUSLE modeli yaygın olarak kullanılmaktadır (Tüfekçioğlu ve Yavuz, 2016; Kızılelma ve Karabulut, 2014; Tağıl, 2009; Irvem vd., 2007). Ayrıca Orman ve Su İşleri Bakanlığı (2013) tarafından RUSLE modeli ile Türkiye akarsularına ulaşan toprak kayıplarının miktarı ve sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir.

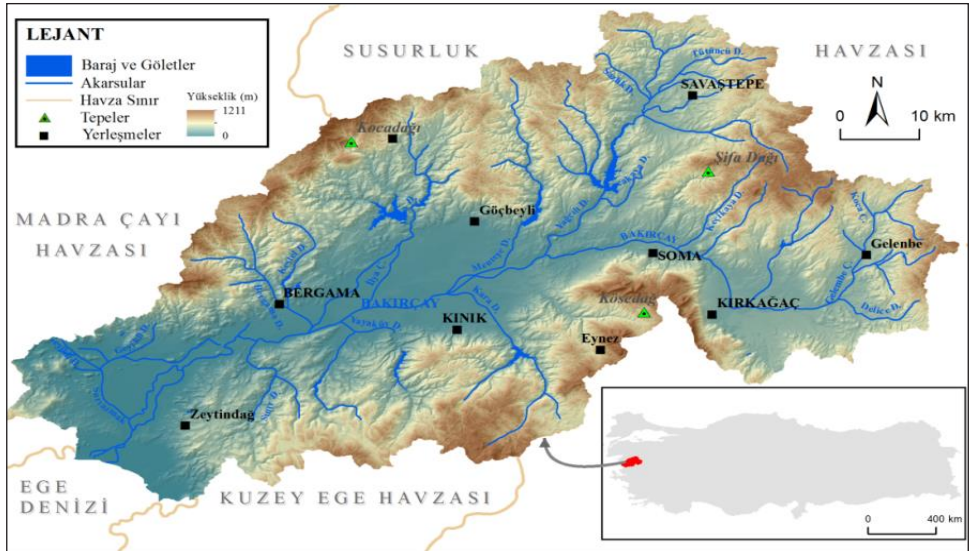
Bu bağlamda çalışmanın amacı Bakırçay Havzası ölçeğinde toprak kaybı potansiyelinin fazla olduğu alanları ve buna bağlı olarak risk alanlarını ortaya

koymaktır. Bu amaçla çalışmada; Bakırçay Havzası'nda toprak kaybının en fazla olduğu alanlar nerelerdir ve yüksek toprak kaybı potansiyeline sahip olan alanlar ile arazi kullanımına/örtüsü arasında nasıl bir ilişki vardır sorularına cevap aranmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma Alanı

Bakırçay Nehri Havzası, Ege Bölgesi'nin kuzeyinde, Ege Bölümü'nün Bakırçay yöresinde, genel olarak 27°-28° Doğu boylamları ile 39°- 40° Kuzey enlemleri arasında almaktadır (Şekil 1). Kaynağını Kocadağ'dan alan Gelenbe Deresi'nin Karakurt Boğazı'ndan geçerek Kırkağaç Ovası'na girmesiyle Bakırçay adını alan nehrin uzunluğu 129 km'dir. Çizgisel akışı boyunca kuzeyde Madra Dağı ve güneyde Yunt Dağı'ndan kaynaklarını alan, birçok kol ile beslenen Bakırçay; Devlet Su İşleri (DSİ) ölçümlerine göre 2.887 km² su toplama havzasına sahiptir (DSİ, 1976). Yaptığımız mekânsal analizler sonucunda ise su toplama havzasının yüzölçümü 3356 km² olarak hesaplanmıştır. Nehrin akış yönüne doğru beslediği kaynaklar; Gelenbe Çayı, Aksu, Yağçılı, Mentеше, Ilıca, Karadere, Kırkgeçit, Gümüş, Kestel, Bergama, Sınır, Boğazasar ve Sarıazmak dereleridir. Orta Havzası'nda en büyük kolu olan Yağçılı Deresi ile birleşen Bakırçay, Zeytindağ Ovası'ndan geçerek Çandarlı Ovası'ndan Ege Denizi'ne dökülmektedir.

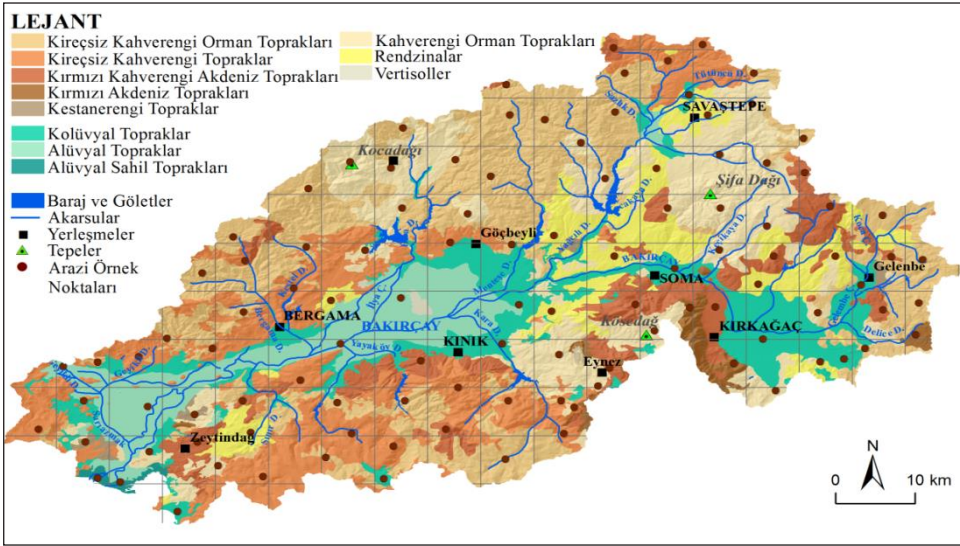


Şekil 1. Bakırçay Havzası Lokasyon Haritası

Materyal

Bakırçay Havzası'nda toprak kaybı riskinin analizine yönelik uygulanan RUSLE modelinde kullanılan veriler, farklı kurum ve kuruluşlardan elde edilmiştir. Veri temini ya da üretimi yoluyla elde edilen birincil veriler kullanılarak ikincil veriler hazırlanmıştır.

Topografya, yeryüzündeki ekolojik süreçlerin açıklanmasında ya da kontrol edilmesinde dikkate alınması gereken ana faktörlerden birisidir (Huggett ve Cheesman, 2002). Araştırmada topografyanın etkisi sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında SYM üretiminde Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilen 1:25.000 ölçekli sayısal vektör topografya haritaları UTM ED 1950 projeksiyon sisteminde, +5 m düzey konum doğruluğunda olan topografya haritalarından elde edilen eş yükselti eğrileri kullanılmıştır.



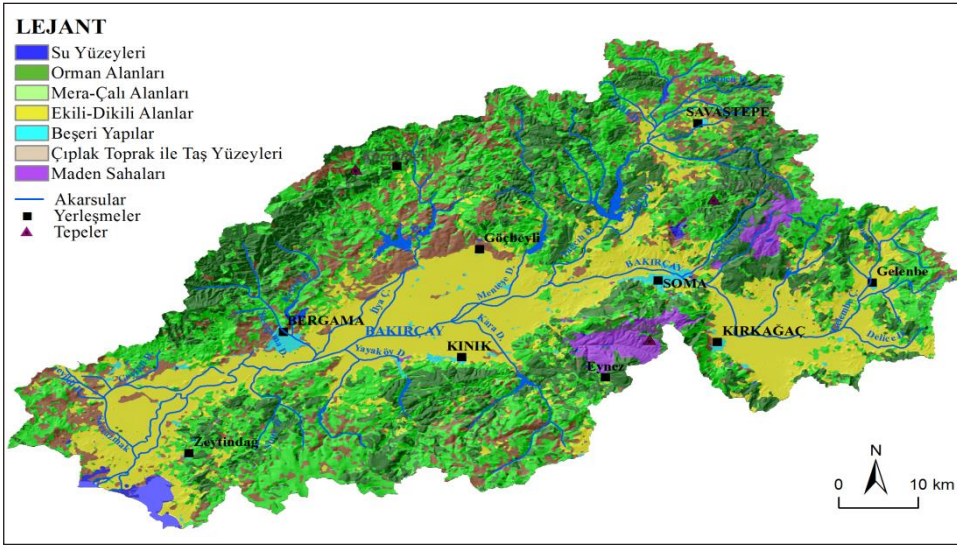
Şekil 2. Kareyaj Yöntemi ile 108 Noktadan Alınan Toprak Numunelerinin Konumları

Araştırma sahasının genel toprak özelliklerinin incelenmesinde, arazi kullanımı/örtüsü analizi değerlendirilmesi sürecinde Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'ndan temin edilen toprak haritaları kullanılmıştır. Veriler araştırma koordinat sistemine uyarlanmış ve UTM ED 1950 projeksiyon sisteminde analiz edilmiştir. Ayrıca RUSLE modeli kapsamında ihtiyaç duyulan toprak tekstürü, organik madde, strüktür ve geçirgenlik verilerinin elde edilmesi amacıyla araştırma sahasında toprak tiplerinde gözlemlenen değişikliklere, eğim ve yükselti şartlarına bağlı olarak 108 noktadan toprak örneği alınmıştır. Toprak örneği noktalarının belirlenmesinde kareyaj yöntemi kullanılmıştır (Şekil 2).

Yöntem uygulanırken öncelikle araştırma sahası 6*6 km'lik eşit aralıklı karelere bölünmüştür. Ardından her bir karenin içerisine denk düşen bölgenin eğimi ve toprak türü özellikleri dikkate alınarak 108 nokta belirlenmiştir. Komşu karelerde yer alan, aynı topografik ve toprak özelliklerine sahip bölgelerden, benzer koşullara sahip olduklarından dolayı numune alınmamıştır. Numuneler 0-30 cm derinlikten el burgusu ile alınmıştır. Alınan örneklerin organik madde ve tane boyu analizleri, Tarış Ar-Ge Müdürlüğü'ne ait toprak-bitki-su analiz laboratuvarında yapılmıştır.

RUSLE modelinde kullanılan girdilerden bir diğeri arazi kullanımı/örtüsü bilgisidir. Arazi kullanımı/örtüsü haritalarının üretilmesinde LANDSAT uydu görüntüleri, spektral band çeşitliliğine sahip olması ile arazi örtüsü türlerinin ayırt edilmesinde sağladığı avantaj, kolay erişilebilir olması ve zamansal ölçekte geniş arşive sahip olmasından dolayı tercih edilmektedir (Song vd., 2001). Araştırma kapsamında 30 Temmuz 2013 tarihli 30m mekânsal çözünürlüğe sahip LANDSAT Operational Land Imager (OLI) uydu görüntüsü kullanılmıştır. Arazinin sınıflandırılmasında "Hybrid supervised-unsupervised classification" yöntemi kullanılmıştır (Crews-Meyer, 2002). Bu yöntem ile uydu görüntüleri öncelikle denetlenmemiş (unsupervised- ISODATA) yöntem ile sınıflandırılmıştır. Daha sonra görüntü denetlenmiş - en yüksek olasılık (supervised - maximum likelihood) yöntemine tabii tutularak sınıflandırma işlemi tamamlanmıştır. Buna göre araştırma sahası; su yüzeyleri (1), ormanlık alanlar (2), mera-çalılık araziler (3), ekili-dikili araziler (4), beşeri yapılar (5), çıplak toprak ve taş yüzeyleri (6) ve maden sahaları (7) şeklinde sınıflandırılmıştır (Şekil 3). Sınıflandırma işleminde maden sahaları ve çıplak toprak ve taş yüzeyleri sınıflarına ait reflektans değerlerindeki benzerlik nedeniyle, maden sahalarının yoğunlaştığı Soma ve çevresindeki alanlar farklı eşik (*threshold*) ve tekraralama (*iteration*) değerleri ile ayrıca sınıflandırılmıştır. Bu işlem sonucunda elde edilen maden sahaları sınıfı *mask* işlemi ile sınıflandırılmış ana görüntü ile birleştirilmiştir.

Araştırma kapsamında ihtiyaç duyulan bir diğeri veri seti sahaya ait yağış değerleridir. Bu kapsamda araştırma sahası ve yakın çevresinde yer alan Dikili, Bergama, Soma ve Akhisar meteoroloji istasyonlarına ait 1998-2013 yılları arasındaki ölçülmüş yağış değerleri model girdisi olarak kullanılmıştır. Söz konusu istasyonlara ait değerlerde ortak aralığın 1998 yılından itibaren başlıyor olması, zamansal ölçeğin 1998-2013 olarak alınmasını mümkün kılmıştır.



Şekil 3. Bakırçay Havzası 2013 Yılı Arazi Kullanımı/Örtüsü Durumu

Yöntem

İlk olarak Universal Soil Loss Equation-USLE (Wischmeier and Smith, 1978) olarak kullanılan yöntem genel olarak tarımsal araziden oluşan erozyonu tahmin etmek için geliştirilmiştir. Ancak daha sonra Renard vd, (1994) tarafından revize edilmiş hali olan RUSLE modeli, sadece tarımsal arazilere değil, kentsel kullanım alanlarına, ormanlık alanlara, otlak ve mera sahalarına, otoyol setlerine kadar geniş kullanım alanlarına sahip hale gelmiştir. RUSLE yöntemi, uzun vadede damla etkisinden ve yüzeysel akıştan kaynaklanan toprak kaybının ton/hektar/yıl cinsinden tahmini amacıyla kullanılmaktadır. Model, ortalama erozyon tahmini sürecinde altı faktörü dikkate almakta ve bunlar aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (Renard vd, 1994):

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Formülde dikkate alınan parametreler:

A: Ortalama yıllık toprak kaybı ($t/ha^{-1}/yıl^{-1}$), **R:** Yağış aşındırma faktörü, **K:** Toprak erozyon duyarlılığı faktörü, **L:** Eğim uzunluğu faktörü, **S:** Eğim dikliği faktörü, **C:** Arazi örtüsü ve kullanımı faktörü, **P:** Erozyon kontrol faktörüdür.

R Faktörü: RUSLE modeli, diğer faktörler sabit olduğunda, alandaki toprak kayıplarının doğrudan yağış parametresine orantılı olduğunu kabul etmektedir. Yağış faktörü Wischmeier'in erozyon indeksi (EI) dir (Wischmeier and Smith, 1978). Yağışın toplam kinetik enerjisi (E) ve maksimum 30 dakikalık yağış yoğunluğu (I_{30}) işleme alınarak hesaplanır. Bu işlem ile hesaplanan, yağmurun

sıçratma ve akışının hareket ettirme etkisidir (Wischmeier and Smith, 1978). R değeri alana ait yağış yoğunluğu (cm h^{-1}) ve yağış süresi (dk) biliniyorsa aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanır:

$$R = E * I_{30} / 100$$

Burada, **R**: Yağışın erozyon yaratma faktörü ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1} * \text{mm h}^{-1}$), **E**: Toplam şiddetli yağış enerjisi ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ yıl}^{-1}$), **I₃₀**: Maksimum 30 dakikalık yağış şiddetidir (mm h^{-1}).

Ancak birçok gelişmekte olan ülkede yağış yoğunluğu verisinin elde edilmesinin güçlüğünden dolayı, R faktörünün elde edilmesinde farklı formüller geliştirilmiştir. Bu araştırmada Arnoldus (1977) tarafından geliştirilen aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{1.5 \text{Log} p_i^2 / p - 0.8188}$$

Burada, **R**: Yağış aşındırma faktörü, **P_i**: Aylık ortalama yağış miktarı, **P**: Yıllık ortalama yağış miktarıdır.

Buna göre araştırma sahası ve yakın çevresinde yer alan Dikili, Bergama, Soma ve Akhisar istasyonlarına ait 1998-2013 yılları arasındaki ölçülmüş yağış değerleri kullanılarak R faktörü hesaplanmıştır.

K Faktörü: Toprağın erozyon güçleri tarafından ayrılmasına ve taşınmasına neden olan hassasiyetinin bir ölçüsüdür. K faktörü, toprağın yapısal özelliklerini temel alarak erozyona duyarlılık potansiyelinin RUSLE standart grafiği (Wischmeier vd., 1978) kullanılarak hesaplanmasıyla elde edilmektedir (Renard vd., 1994). Bu grafik beş basit toprak parametresinden yararlanarak K değerinin bulunmasını sağlamaktadır. Bu toprak parametreleri; a) silt+çok ince kum (%) b) kum (%) c) organik madde (%) d) strüktür ve e) geçirgenliktir (Wischmeier vd., 1978). K faktör hesaplanmasında havza içerisindeki alınan 108 toprak örneğinin laboratuvar sonuçlarından elde edilen bulgular kullanılmıştır (**Şekil 2**). K faktörü hesaplanmasında RUSLE standart grafiği yanı sıra Williams ve Berndt (1972) tarafından geliştirilen, toprağın yapısal özelliklerine ait değerleri dikkate alan matematiksel eşitlik de kullanılmaktadır (Tağıl, 2007). Buna göre araştırma sahasında 108 noktadan alınan toprak örneklerinin laboratuvar analizleri sonucu elde edilen değerlerin K faktörü hesaplamasında kullanılan formül şu şekildedir: .

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 \text{Sd}(1 - \text{Si}/100)]\} * [\text{Si}/(\text{CI} + \text{Si})]^{0.3} * \{1.0 - 0.25\text{C}/[\text{C} + \exp(3.72 - 2.95\text{C})]\} * [1.0 - 0.7(1 - \text{Sd}/100)] / \{1 - \text{Sd} + \exp[-5.51 + 22.9(1 - \text{Sd}/100)]\}$$

Burada, **K**: Toprak erozyon duyarlılığı faktörü, **Sd**: kum (%), **Si**: Silt (%), **CI**: kil (%), **C**: karbon-organik madde (%) dir.

LS Faktörü: Eğim uzunluğunu ve dikliğini ifade etmektedir. Eğim uzunluğu, eğimin değişmeden sabit bir aralıkta kaldığı bölgelerin, eğim yönünde sahip olduğu maksimum mesafeyi (Wishmeier ve Smith, 1978); eğim dikliği faktörü ise eğimin erozyon üzerindeki etkisini vermektedir (Lu vd., 2004). LS faktörünün hesaplanmasında aşağıda verilen formül kullanılmıştır (Williams ve Berndt, 1972).

$$LS(r) = (m+1)[A(r)/a_0]m[\sin b(r)/b_0]n$$

Burada, **A(r)**: Her bir eşyüksele eğrisi genişliğine katkı yapan üst eğim, **b(r)**: Eğim (derece), **m**: Parametre (Deneysel olarak belirlenmiştir), **n**: Parametre (Deneysel olarak belirlenmiştir), **a₀**: Eğim uzunluğu (22,1m = 72,6 ft), **b₀**: Standart USLE pilotunun eğimi (0,09 = %9 = 5,16 derece) şeklindedir.

Araştırmada LS faktörü SYM kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemin CBS ortamında hesaplanması aşağıda verilen formül ile gerçekleştirilmiştir (Moore and Burch, 1986). LS faktörünü hesaplayabilmek amacıyla öncelikle SYM'den eğim ve akım yığılımı (flow accumulation) haritaları üretilmiştir. Girdi verilerinin üretilmesinden sonra araştırma sahasının LS faktörü hesaplanmıştır.

$$LS = \text{Power}(\text{Fac}^R / 22.1, 0.4) * \text{Power}(\text{Sin}(E^*0.1745) / 0.9, 1.4) * 1.4$$

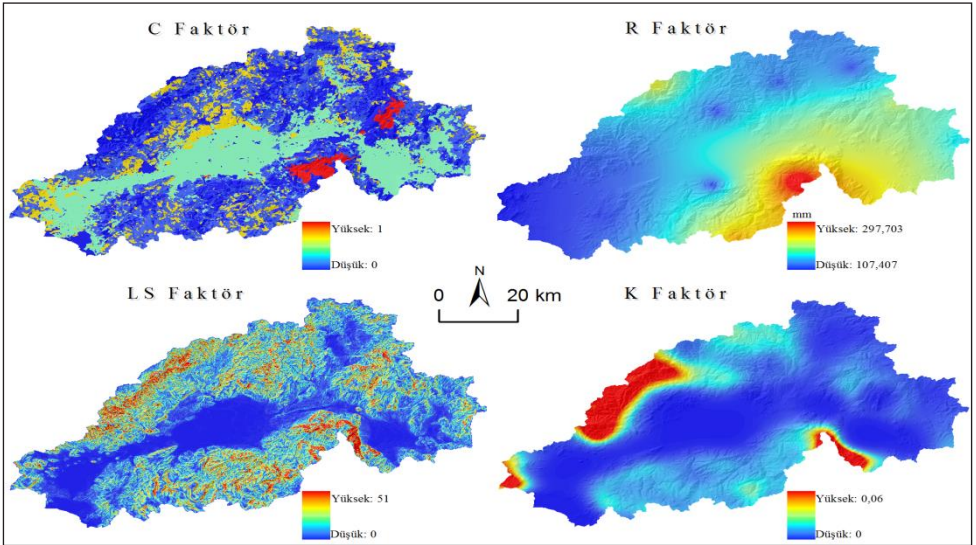
Burada, **LS**: Eğim uzunluğu ve dikliği faktörü, **Fac**: Akım Yığılımı, **R**: Harita Çözünürlüğü, **E**: Eğim şeklindedir.

C Faktörü: Erozyonun, kontrolün gerçekleştirildiği yüzey koşullarını yansıması bakımından RUSLE modeli içerisindeki en önemli değişken olarak nitelendirilmektedir (Toy vd., 1999). Toprak biyokütlesi ve vejetasyon örtüsünün artması ile C faktörü azalmakta, vejetasyondan yoksun, hafif bünyeli toprağa sahip, düşük biyokütle miktarına sahip sahalarda ise artmaktadır.

Araştırmada C faktörünün tespitinde 2013 yılına ait LANDSAT görüntülerinin sınıflandırılmasından faydalanılmıştır. Bu kapsamda belirlenen arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıfları için C faktör değerleri farklı literatür kaynaklarından elde edilmiştir. Buna göre su yüzeyleri, ormanlık alanlar, mera ve çalılık alanlar, ekili ve dikili sahalar, beşeri alanlar, çıplak toprak ve taş yüzeyleri ve maden sahalarına ait C faktör değerleri sırasıyla, .000, .002, .007, .300, .002, .500, 1.000 şeklinde belirlenmiştir (Toy vd., 1999; Lee ve Lee 2006; Choi vd., 2013; Panagos vd., 2015).

P Faktörü: Erozyon kontrolüne ve önlenmesine yönelik bir çalışmanın mevcudiyetine bağlı olarak belirlenen değerdir. Çeşitli nedenlerden dolayı bu faktörün hesaplanmadığı durumlarda P faktörü, 1 değerini almaktadır (Renard vd., 1994). Çalışmada P faktörünün çalışma alanı için belirlenmesinin güçlüğünden dolayı faktör değeri 1 olarak kabul edilmiştir.

RUSLE yöntemine göre belirlenen tüm faktörlere bağlı olarak Bakırçay Havzası'nda suya bağlı toprak kaybı miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen parametrelere ait değerler Şekil 3'te gösterilmiştir. Sonuç olarak toprak kaybı miktarları havza içerisindeki durumlarına göre sınıflandırılarak risk kategorileri oluşturulmuştur. Buna göre toprak kaybı miktarı $0-0,05 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ arası meydana gelen alanlar en az riskli; $0,51-1 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ az riskli, $1,01-2 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ riskli, $2,01-5 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ yüksek riskli ve $>5 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ en yüksek riskli sahalar olarak belirlenmiştir. Riskin dağılışı 30m mekânsal çözünürlüğe sahip sonuç haritası ile gösterilmiştir. Sonuçların dağılışı ile mevcut arazi kullanımı/örtüsü arasındaki ilişki ortaya konularak, arazi kullanımına/örtüsüne bağlı olarak toprak kaybı miktarında meydana gelen değişim değerlendirilmiştir.



Şekil 3. RUSLE Parametrelerine Ait Değerlerin Mekânsal Dağılışı

BULGULAR ve TARTIŞMA

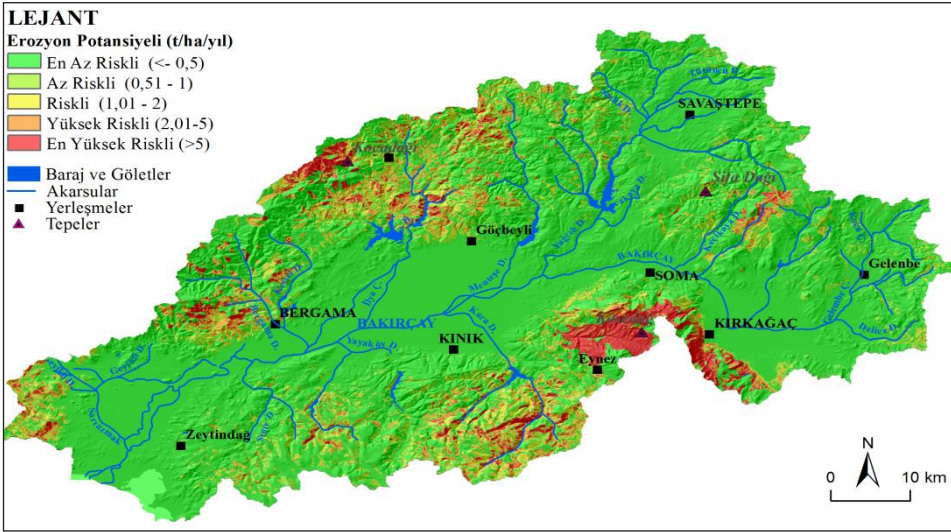
Araştırma sahasında RUSLE yöntemi ile suya bağlı toprak kaybı modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre Bakırçay Havzası'nda yıllık toprak kaybı miktarı $0-191,401 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ arasında değişmektedir. Analiz değişkenlerinden LS faktörün SYM'deki eğim kırıklıklarının bulunduğu sahalarda yüksek değerlere sahip olması, bu alanlarda toprak kaybı sonuçlarının uç değerlerde olmasına yol açmıştır. Ancak bu değerler araştırma sahasının yaklaşık %1'lik bir alanına karşılık gelmektedir. Öyle ki $50 \text{ t/ha}^{-1}/\text{yıl}^{-1}$ üzerinde yer alan alanlar araştırma sahasının % 0,22'sini kapsamaktadır. Orta şiddette erozyona sahip alanların sınır değeri olarak kabul edilen bu eşik, genel itibarıyla havzada suya dayalı toprak kaybının çok şiddetli boyutta olmadığını gös-

termektedir. Havza kapsamında elde edilen değerlerin doğal kırılma (natural breaks) yöntemine göre sınıflandırılması ile araştırma sahasının toprak kaybı risk grupları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bakırçay Havzası'nda RUSLE Yöntemine Göre Potansiyel Toprak Kaybı Değerleri ve Risk Durumları

Toprak Kaybı Miktarı (t/ha ⁻¹ /yıl ⁻¹)	Risk Kategorisi	Alan (%)
0-0,05	En Az Riskli	77,0
0,51-1	Az Riskli	8,6
1,01-2	Riskli	5,6
2,01-5	Yüksek Riskli	4,6
>5	En Yüksek Riskli	4,2

Suya bağlı toprak kaybı değerlerinin risk durumu incelendiğinde, araştırma sahasının büyük çoğunluğu en az riskli kategori içerisinde kalmaktadır (**Şekil 4**). Ancak burada unutulmaması gereken nokta kategorilendirmede dikkate alınan değerler ile araştırma sahasının toprak kaybı toleransı arasındaki ilişkidir. Sahanın toprak kaybı toleransı bilinmediğinden örneğin en az riskli olarak sınıflandırılan sahalardan gerçekten risk altında olup olmadığı kesin olarak bilinemeyecektir. Bu durumu Bergsma vd., (1996) toprak koruma planlamasının temel adımlarından biri olarak vurgulamıştır. Buna göre planlamanın ilk adımı sahadaki toprak erozyonu potansiyelinin tespiti iken, koruma planlamasına karar verilmesi sahanın toprak kaybı potansiyelinin bilinmesine bağlıdır (Bergsma vd., 1996).



Şekil 4. Bakırçay Havzası'nda RUSLE Yöntemine Göre Belirlenen Toprak Kaybı Miktarının Mekânsal Dağılışı

Araştırma sahasında toprak kaybı riskinin mekânsal dağılışına bakıldığında, havza tabanını çevreleyen nispeten yüksek kütlelerin eğimli yamaçları ile bitki örtüsünden tamamen yoksun açık maden işletmeciliğinin bulunduğu sahalara dikkat çekmektedir. Söz konusu maden alanları yapılan arazi çalışmalarıyla C faktör değeri en yüksek alanlar olarak belirlenmiştir. Bu durumla birlikte LS faktörün etkisi bu alanlarda erozyon potansiyelinin çok yüksek olmasına yol açmıştır (Şekil 5). Bu bağlamda söz konusu sahalarda işletmesi biten maden alanlarının rehabilitasyonu sürecinde erozyon potansiyeli dikkate alınarak planlama çalışmaları gerçekleştirilmelidir.



Şekil 5. Soma Çevresinde Yüksek LS ve C Faktör Değerlerine Sahip Sahalar. Erozyon riskinin yüksek olduğu sahalardan bir diğeri de Yunt Dağı kütlesi üzerinde yer alan yüksek eğimli sahalardır. Benzer şekilde araştırma sahası kuzeyinde Madra Dağı çevresindeki yüksek eğimli sahalarda da riskin fazla olduğu alanlardır. Her iki sahanın yüksek risk değerine sahip olmasının nedeni benzer koşulları barındırmalarıdır. Faktör analizleri incelendiğinde bu sahalarda kumlu-tınlı toprakların yaygın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte özellikle Yunt Dağı kütlesi üzerinde vejetasyonun erozyonu artırıcı yapıda olması, yine bu sahalarda yüksek riskin görülmesine neden olmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Yunt Dağı Kütlesi Üzerindeki Vejetasyon Özellikleri

Araştırma sahasında erozyon potansiyelinin yüksek olduğu sahaların dağılışı ile arazi kullanımı/örtüsü özellikleri karşılaştırıldığında yüksek eğim değerine sahip ve bitki örtüsünden yoksun çıplak toprak ve taş yüzeyleri ile maden sahalarının en yüksek riskli alanlar olduğu görülmektedir. Gerçekten maden sahalarının bulunduğu alanların % 63,6'sı toprak kaybının en yüksek risk (>5 t/ha⁻¹/yıl⁻¹) oluşturduğu bölgeler içerisinde yer almaktadır. (Çizelge 2). Benzer şekilde çıplak toprak ve yaş yüzeylerinin yer aldığı sahaların % 17,6'sı toprak kaybının yüksek riske (2,01-5 t/ha⁻¹/yıl⁻¹) sahip; %34,4'ü en yüksek risk (>5 t/ha⁻¹/yıl⁻¹) olduğu alanlar içerisinde yer almaktadır.

Arazi örtüsünde yoğun bitki örtüsünün bulunduğu sahalarından bitki örtüsünden yoksun sahalarla doğru geçişte toprak kaybı oranlarında doğal bir sonuç olarak değişim görülmektedir. Söz konusu değişim Çizelge 2'ye bakıldığında mera ve çalılık alanlar sınıfıyla birlikte göze çarpmaktadır. Ormanlık alanlardan mera ve çalılık alanlara geçiş, riskli kategoride yer alan toprak kaybı oranlarında artışı beraberinde getirmektedir. Gerçekten ormanlık alanların %0,5'i toprak kaybının risk oluşturduğu bölgeler (1,01-2 t/ha⁻¹/yıl⁻¹) içerisinde yer almaktayken, bitki örtüsünün mera ve çalılık alanlara geçmesiyle birlikte bu oran %19,5'e yükseldiği görülmektedir.

Çizelge 2. Arazi Kullanımı/Örtüsü Özelliklerine Göre Toprak Kaybı Riski

Arazi Kullanımı/Örtüsü (%)	RUSLE Risk Kategorisi (t/ha ⁻¹ /yıl ⁻¹)				
	0-0,5	0,51-1	1,01-2	2,01-5	>5
Su Yüzeyleri	98,9	0,3	0,2	0,2	0,3
Ormanlık Alanlar	98,1	0,8	0,5	0,4	0,3
Mera ve Çalılık Alanlar	66,5	4,5	19,5	7,6	1,9
Ekili-Dikili Sahalar	71,7	3,7	2,3	21,6	0,7
Beşeri Alanlar	99,1	0,3	0,2	0,2	0,2
Çıplak Toprak ve Taş Yüzeyleri	22,9	12,5	12,6	17,6	34,4
Maden Sahaları	6,6	6,5	8,8	14,4	63,6

Arazi örtüsü/kullanımı özellikleri ile toprak kaybı risklerinin karşılaştırılması ile araştırma sahası içerisinde ekili-dikili sahalarda, mera ve çalılık alanlarda ve ormanlık alanlarda riskin olmadığı görünümü ortaya çıkmaktadır. Ancak araştırma sahasında arazi toleransının bilinmediği hem de analizin sadece suya bağlı toprak kaybının tespitine yönelik olduğu unutulmamalıdır.

Arazi kullanım özelliklerinde herhangi bir değişiklik olmadığı sürece, toprak erozyonu potansiyelini mutlak anlamda ortadan kaldırmak mümkün değildir (Ellis ve Mellor, 1995). Bununla birlikte riskin yüksek olduğu alanlarda gerçekleştirilecek toprak koruma yöntemleri ile erozyon miktarı kabul edilebilir bir tolerans sınırı altında tutulabilmektedir (Bennet, 1939). Bu anlamda RUSLE yöntemi ile toprak kaybı potansiyelinin modellenmesi süreci aynı zamanda

bir arazi kullanma ve toprak koruma planlaması amacıyla da kullanılmaktadır (Balcı, 1996). RUSLE denklemi ile belirli koşullardaki bir araziden oluşacak erozyon miktarı elde edildikten sonra, denklemde kullanılan parametrelerden bazılarının (C ve P gibi) değiştirilmesiyle, denklemde eşitlik sağlanmaya çalışılmaktadır. Burada amaç tespit edilen mevcut toprak kaybı miktarının, tolerans seviyesine indirmek için parametrelerin hangi değere sahip olması gerektiğini matematiksel denklem üzerinde elde etmektir. Diğer bir ifadeyle RUSLE yöntemi, sadece erozyon miktarının hesaplanması değil ayrıca arazi kullanma ve koruma önemleri planlaması yapmak amacıyla da kullanılabilir. Bu anlamda araştırma sahasında RUSLE yöntemi ile elde edilen sonuçlar, tolerans seviyesinin tespitinden sonra, havza planlama ve koruma çalışmaları için kullanılabilir değerdedir.

SONUÇ

Havza ölçeğinde gerçekleştirilen çalışmalar göstermektedir ki, arazi kullanımı/örtüsünde meydana gelen değişimler toprak ve su kaynakları üzerine önemli etkilere yol açmaktadır (Yong ve Chen, 2002; Fikir vd., 2009). Bu noktadan hareketle araştırmada Bakırçay Havzası ölçeğinde suya bağlı toprak kaybı potansiyelinin fazla olduğu alanlar ortaya konulmuştur. Araştırma sahasında yüksek eğim değerlerine sahip, ormansızlaşmanın yüksek olduğu ve açık ocak işletmeciliği faaliyetlerine bağlı olarak arazi örtüsünün değiştirildiği havza tabanını çevreleyen yüksek sahalarda toprak kaybı riskinin fazla olduğu tespit edilmiştir.

Havzalar, abiyotik faktörler tarafından belirlenmiş bir sistemdir ve o sisteme bağımlı olan biyotik faktörleri içermektedir. Bu faktörlerden birinde gerçekleşebilecek bir bozulmanın diğerini de etkilemesi beklenen bir sonuçtur. Ekosistem ölçeği olarak havzalarda sürdürülebilir planlama ve yönetim çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için potansiyel toprak kaybı şiddetinin ve mekânsal dağılışının tespit edilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle araştırmanın Bakırçay ölçeğinde sürdürülebilir planlama ve yönetim sürecinde karar vericilerin ihtiyaç duyduğu veri-bilgi dönüşüm sürecine katkı yapacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aksoy, H.; Kavvas, M.L. (2005). "A Review of Hillslope and Watershed Scale Erosion and Sediment Transport Models". *Catena*, Vol.64, p.247-271.
- Angima, S.D., Stott, D.E., O'Neill, M.K., Ong, C.K. and Weesies, G.A. (2003). "Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions". *Agriculture, Ecosystems and Environment* Vol.97: 295-308.
- Arnoldus H.M.J. (1977) "Methodology Used to Determine the Maximum Potential Average Annual Soil Loss Due to Sheet and Rill Erosion in Morocco" *FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Soils Bulletin* 34, 39-44
- Beasley, D.B., Huggins, L.F., and Monke, E.J. (1980). "Answers: A Model For Watershed Planning" *Transactions of The ASAE*, 23(4), 938-944.
- Balcı, N. (1996). "Toprak Koruması" *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 439*. İstanbul Üniversitesi Basımevi ve Film Merkezi. İstanbul
- Bennet, H.H. (1939). "Soil Conservation" *McGraw-Hill Book Company Inc*, New York.
- Bergsma, E., Charman, P., Gibbons, F., Hurni, H., Moldenhauer, W.C., Panichapong, S. (1996). "Terminology for Soil Erosion and Conservation" *International Society of Soil Science, Grafisch Service Centrum, Wageningen*.
- Brevik, E.C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J.N., Six, J. and Van Oost, K. (2015). "The Interdisciplinary Nature of Soil" *Soil*, Vol.1, 117-129.
- Cebel, H., ve Akgül, S. (2011). "Toprak Oluşumu ve Koruyucu Önlemler" *Bilim ve Akıl Aydınlığında Eğitim*, 134, 57-6.
- Choi, C-H., You, J-H., and JUNG, S-G. (2013). "Estimation of Danger Zone by Soil Erosion Using RUSLE Model in Gyeongju National Park" *Korean J. Environ. Ecol.*, Vol. 27(5), 614-624.
- Crews-Meyer, K.A. (2002). "Characterizing Landscape Dynamism via Panned-Pattern Metrics" *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68(10), 1031-1040.
- DSİ.(1976). "Bakırçay Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu" *DSİ Basım ve Foto Film İşlt. Müd. Matbaası*, Ankara.
- Ellis, S. and Mellor, A. (1995). "Soils and Environment". *Routledge*, London.
- Fikir, A., Nurhussen, T., and Jan, N. (2009). "The impacts of Watershed Management on Land Use And Land Cover Dynamics in Eastern Tigray (Ethiopia)" *Resour. Conserv. Recycl.*, Vol. 53, 192-198.

- Huggett, R. J. and Cheesman, J. (2002). "Topography and the Environment" Harlow, England ; New York : Prentice Hall. P. 274
- İrem A, Topaloğlu F, Uygur V (2007) "Estimating Spatial Distribution of Soil Loss over Seyhan River Basin in Turkey" *Journal of Hydrol* Vol. 336(1):30-37
- 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.
- Kirkby, M.J., (1999). "Regional Desertification Indicators (RDIs)" In: The Medalus Project Mediterranean Desertification and Land-Use Manual on key Indicators of Desertification and Mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertification, (eds) C Kosmas M Kirkby ve N Geeson, European Commission EUR 18882 Luxembourg pp 48–65.
- Lal, R. and Pierce, F.J. (1991). "Soil Management for Sustainability" Soil and Water Conservation Society in Cooperation with World Association Soil and Water Conservation and Soil Science Society of America, Ankeny, IA.
- Lee G, S., LEE K, H. (2006). "Scaling Effect for Estimating Soil Loss in the RUSLE Model Using Remotely Sensed Geospatial Data in Korea" *The Journal Hydrology and Earth System Sciences* Vol.3, 135-157.
- 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.
- Lu, D., Li, G., Valladares, G., and Batistella, M. (2004). "Mapping Soil Erosion Risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE" *Remote sensing and GIS, Land Degrad Dev*, Vol. 15, 499–512.
- Moore, I. and Burch, G. (1986). "Physical Basis of the Length-Slope Factor in the Universal Soil Loss Equation" *Soil Society of America Journal*, Vol. 50, 1294 – 1298.
- Nearing, M.A., Lane, L.J., and Lopes, V.L. (1994). "Modelling Soil Erosion" In Lal, R. (Ed.) *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society., Ankeny, IA, pp. 127-156.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı, (2013). "Erozyonla Mücadele Eylem Planı 2013-2017" Ankara.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., and Montanarella, L. (2015). "Estimating the Soil Erosion Cover-Management Factor at the European Scale" *Land Use Policy* Vol.48, 38-50.

- Renard, K.G., Laflen, J.M., Foster, G.R., and McCool, D.K. (1994). "The Revised Universal Soil Loss Equation" In Lal, R. (Ed.), *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society., Ankeny, IA, pp. 105/124.
- Renard, K.G., Yoder, D.C., Lightle, D.T. and Dabney, S.M. (2011). "Universal Soil Loss Equation and Revised Universal Soil Loss Equation" R.P.C. Morgan, M.A. Nearing (Eds.), *Handbook of Erosion Modelling*, Blackwell Publishing Ltd., Chichester, UK.
- Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P., and Macomber, S.A. (2001). "Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects" *Remote Sensing of Environment*, Vol. 75, 230-244.
- 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.
- Toy, T.J., Foster, G. R. and Renard, K.G. (1999). "RUSLE for Mining, Construction and Reclamation Lands" *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 54(2), 462-467.
- Tüfekçioğlu, M. ve Yavuz, M. (2016). "Yusufeli Mikro Havzasında (Artvin) Yüzey Erozyonu Toprak Kaybının Tahmin Edilmesi ve Erozyon Risk Haritasının Oluşturulması" *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. Cilt: 17, Sayı:2, Sayfa:188-199.
- Williams, J.R. ve Berndt, H.D. (1972). "Sediment Yield Computed with Universal Equation". *Journal of Hydraulic Division*. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 98, 2087-2098.
- Williams, J.R., Renard, K.G., and Dyke, P.T. (1983). "EPIC, a New Method for Assessing Erosion's Effect on Soil Productivity" *Soil and Water Conservation*, Vol. 38, 381-383.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. (1978). "Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation" *Agricultural Handbook 537*. Planning, Science and Education Administration. US Dep. of Agriculture, Washington, DC, USA. p.58.

- 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.
- Yong S.T.Y., and Chen, W. (2002). "Modeling the Relationship Between land Use and Surface Water Quality" *Journal of Environmental Management*, Vol. 66(4), 377–393.