

KIZILKEÇİLİ DERESİ HAVZASINDA CBS TABANLI RUSLE (3d) YÖNTEMLERİLE EROZYON ANALİZİ

Erosion Analysis of Kızılkeçili Creek Basin with GIS
Based on RUSLE (3d) Method

İsa CÜREBAL*
Deniz EKİNCİ**

Özet

Bu çalışmanın amacı, anahtar bir uygulama olarak, Ege Bölgesi'nin kuzeyindeki Edremit Körfezi kıyısında yer alan Kızılkeçili Deresi Havzası'nda erozyon risk sahalarnın ve toplam yıllık toprak kayıp miktarının belirlenmesi ve haritalanmasıdır. Yıllık toprak kayıp miktarını ve erozyon risk sınıflarını belirlemek amacıyla CBS tabanlı RUSLE (3d) yöntemi tercih edilmiştir. Modelin gerçekleştirilmesi için CBS yazılımlarından olan ArcInfo ile onun 3D ve mekânsal analiz uzantıları ile Erdas görüntü işleme programları kullanıldı.

Bu çalışmanın sonucunda inceleme alanında farklı risk sınıfları belirlenmiştir. Sonuç haritasına göre bunlar; hafif, orta, şiddetli ve çok şiddetli olmak üzere dört farklı risk sınıfıdır. Çalışmanın ikinci sonucu ise yıllık toplam toprak kayıp miktarının yaklaşık olarak tahmin edilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Toprak Erozyonu, RUSLE, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Uzaktan Algılama, Kızılkeçili Deresi Havzası

Abstract

The aim of this study is determined and mapped erosion risk areas and total annual soil loss in Kızılkeçili Creek Basin which is located shores of Edremit Gulf on northern part of Aegean region as a key study. For this purpose that Kızılkeçili Creek Basin to predict annual soil loss and determine potential erosion risk degree GIS based on RUSLE (3d) was used. For the implementation of the model, the profitable typical GIS software ArcInfo with its extensions which are called the Spatial Analyst and the 3D Analyst extensions and Erdas Image Analysis was used.

According to the first result of this study different risk classes were defined. The result map is only divided into four risk classes which are slight, moderate, severe, very severe erosion degree. The second result of this study is prediction approximately total annual soil loss each year.

Keywords: Soil Erosion, RUSLE, Geographic Information Systems, Remote Sensing, Kızılkeçili Creek Basin

* Yrd. Doç. Dr. Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü

** Dr. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü

Giriş

Bu çalışma, Türkiye'nin batısındaki belirgin yükseltilerden biri olan Kazdağ kütlesinin güney yamacında yer alan Kızılkeçili Deresi Havzası'nda toprak erozyonunu kontrol eden faktörleri değerlendirmeyi, olası toprak erozyonunun tahmini ve hesaplanması ile haritalanmasını amaçlamaktadır.

Yerkabuğunu oluşturan mineral ve kayalar, su ve havanın etkisiyle sürekli olarak fiziksel ve kimyasal yollardan değişikliğe uğramaktadırlar. Bu olaylar, anakaya üzerinde öncelikle parçalanmış ve ayrılmış, gevşek halde örtü depolarını oluşturmaktadır. Daha sonraki süreçte bu inorganik örtü depolarına organik unsurlar katılmakta ve toprak oluşumu gerçekleşmektedir. Özellikle tarımsal faaliyetlerin yürütülmesi, günümüz şartlarında ancak mineral bakımından zengin, nispeten derin topraklarda mümkün olmaktadır. Ancak dış etken ve süreçler, anakayanın bozulmasıyla oluşan bu örtüyü oluştukları yüzeylerden başka ortamlara taşımaya çalışmaktadır. Bu nedenle erozyon olarak adlandırılan bu süreç, insan yaşamına etkileri bakımından dikkate alınması gereken önemli bir sorun olarak algılanmalıdır (Morgan, 1995).

Bir sahadaki erozyonunun türünü ve boyutunu pek çok özellik etkilemektedir. Ancak ilk bakışta; anakaya, yükselti, eğim ve bakı gibi yerçekimine ait özellikler, sıcaklık yağış, nem ve rüzgâr gibi iklim elemanları, bitki örtüsü ve insan gibi faktörlerin etkisi gibi karmaşık bir olaylar bütünüdür. Erozyonu şekillendirdiğini söylemek mümkündür. Olayın gerçekleşmesinde çok sayıda etken ve sürecin etkisinin bulunması, farklı ortamlarda farklı boyutlarda erozyon yaşanmasına neden olmaktadır.

Erozyonun boyutu, genelde taşınan toprak miktarı dikkate alınarak belirlenmektedir. Erozyonun miktarının belirlenmesi ve dağılımının ortaya çıkarılması, nerede ve ne türde önlem alınması gerekliliğini şekillendirdiğinden dolayı büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla taşınan toprak miktarının tahmini veya hesaplanması amacıyla güden birçok değişik yöntem bulunmaktadır (William vd.,1999; Doğan ve Küçükçakar, 1994; Ekinci, 2006). Bu yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir.

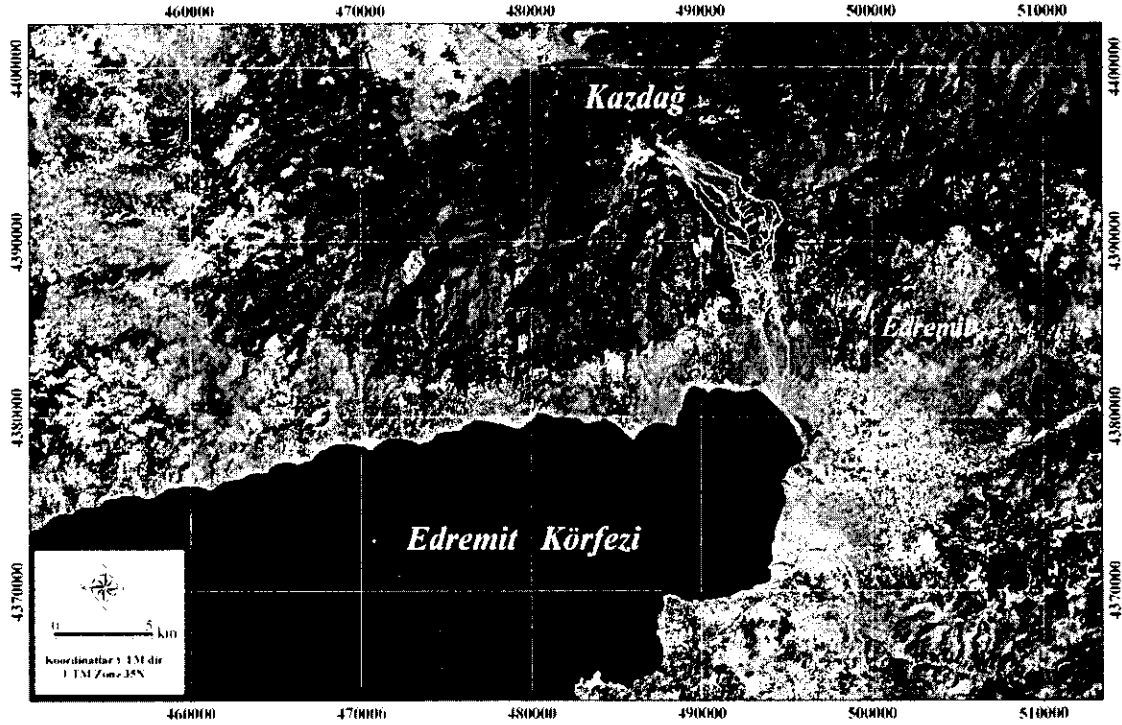
- CASC2D (Rainfall - Runoff Model),
- CORINE (Coordination of Information on the Environment),
- DGCONA (General Directorate for the Conservation of the Nature),
- SIMWE (Simulated of Water Erosion),
- USLE (Universal Soil Loss Equation),
- RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation),
- WEPP (Water Erosion Prediction Project Erosion Model) ...

Bunların dışında Sezyum 137 (Cs-137), Kurşun 210 (Pb-210) ve Berilyum 7 (Be-7) gibi bazı elementlerin izotopları sayesinde de erozyon tahmini yapılabilmektedir (Bingöl, 1971).

Ege ve Marmara Bölgeleri başta iklim ve toprak özellikleri ile diğer etkili faktörlerin uygun olması nedeniyle yurdumuzun tarım bakımından elverişli sahalarının önemli bir kısmını meydana getirmektedir. Bununla birlikte toprak kaybının giderek artması bu bakımdan önlemler alınmasını gerekli kılmaktadır. Çalışmamız, bu problemin boyutlarının tespit edilmesinde etki eden faktörleri ayrıntılı bir şekilde bilgisayar ortamında değerlendirerek nitelik ve nicelik bakımından gerçeğe yakın sonuçlar verebilen ve tüm dünyada kabul gören RUSLE tekniğinin bu önemli tarım alanları için doğru sonuçlar verip vermediğinin araştırılması üzerine odaklanmıştır. Bu nedenle erozyonu şekillendirici faktörlerin değişik boyutlarda yaşandığı bu büyük sahanın genel özelliklerini yansıtan bir alan özelliği taşıması nedeniyle kullanılan metodun doğruluğunu sınamak bakımından örnek alan olarak Kızılkeçili Deresi Havzası seçilmiştir.

İnceleme Alanı ve Başlıca Özellikleri:

İnceleme alanı, Ege Bölgesi'nin Asıl Ege Bölümü'nde Balıkesir İli Edremit İlçesi sınırları içinde kalmaktadır (Şekil 1). Havzanın yüzölçümü 28.97 km² olup, N – S uzanımlı bir akarsu olan Kızılkeçili Deresi'nin su bölümü sahasını oluşturmaktadır.



Şekil 1 İnceleme Alanının Konumu

Kızılkeçili Deresi Havzası, tektonik açıdan aktif bir yükselim alanı olan D-B uzanımlı Kazdağ masifi üzerine yerleşmiş ve sularını kısa bir mesafede Edremit Körfezi' ne ulaştıran kısa boylu bir akarsu havzasıdır. Bu küçük havzada akarsuyun kaynağı ile denize döküldüğü yer arasında 15,7 km mesafe bulunmaktadır. Dar ve uzun bir görünüme sahip havzanın en geniş yeri 3.78 km olup, yükselti 0 m ile 1760 m arasında değişmektedir.

Genel olarak havzanın temelini Kazdağ masifini oluşturan metamorfik kayaç grupları oluşturmaktadır. Metagabro, mermer ve gnays türü metamorfik kayaçlar Jura öncesi döneme aittir. Bu temel kayaçlar üzerine hornfels, granotit ve vollostonit tipi kontakt metamorfik kayaçlar ile granodiyorit, konglomera, metagrovak ve silttaşı gibi Jura yaşlı kayaçlar gelmektedir. Havzanın aşağı kesimlerinde de ise daha çok Kuvaterner döneminde oluşmuş akarsu depoları bulunmaktadır (Bingöl, 1969; 1971). Havzada NE – SW yönlü, birbirini basamaklar şeklinde izleyen faylar izlenmektedir.

Kızılkeçili Deresi Havzası'nda eğim koşulları özellikle havzanın yukarı kesimlerinde belirgin şekilde artış göstermekte buna karşın aşağı kesimlerde düşük değerler vermektedir. Havzanın önemli bir kısmında eğim değerleri 24° nin üzerindedir. Havzada killi, siltli, balçıklı ve kumlu olmak üzere dört tip toprak tekstürü özelliği ayırt edilmiştir. Toprağın bu özelliği, onun erozyona karşı duyarlılığının belirlenmesi bakımından önem taşımaktadır. Bitki örtüsü bakımından zengin ve bu örtünün zemini kaplama derecesi bakımından yoğun bir havza olan inceleme alanında, zemini yağmur ve etkilerinden koruma özelliği zayıf olan açık alanlar ise çok az yer kaplamaktadır.

İnceleme alanı, makroklima tipleri bakımından Akdeniz iklim tipine girer. İnceleme alanı sınırları içinde meteoroloji istasyonu bulunmaması nedeniyle, sahaya en yakın iki is-

tasyon olan Edremit meteoroloji istasyonunun 25 yıllık verileri değerlendirilmiştir. Bu verilere göre yıllık sıcaklık ortalaması 15,7°C dir. Ortalama sıcaklıklar bakımından hiçbir ayın sıcaklık ortalaması 0°C nin altında değildir. Ancak sıcaklığın zaman zaman 0 °C nin altına indiği (ortalama 14 gün) görülür. Aylık ortalamalar bakımından en düşük sıcaklığın görüldüğü ay Ocak olup, sıcaklık 6,7 °C civarındadır. Sıcak devreyi karakterize eden yaz aylarında ise en yüksek ortalama sıcaklık 25,7 °C ile Ağustos ayına aittir.

Edremit meteoroloji istasyonu verilerine göre ortalama yüksek sıcaklığın aylık ortalamalarda olduğu gibi 32,4°C ile Ağustos, ortalama düşük sıcaklığında 3,5°C ile Ocak ayına ait olduğu görülür. Mutlak maksimum sıcaklık mutlak maksimum sıcaklık 40°C ile 1980 yılı Temmuz ayında mutlak minimum sıcaklık ise -8°C ile 1973 yılı Ocak ayındadır.

Yıllık ortalama yağış miktarı ise 659,1 mm dir ve yağışın büyük bir kısmı Akdeniz makroklima karakterine uygun olarak, kış aylarında görülür. Bu bakımdan kış döneminde düşen üç aylık yağış toplamı 318,4 mm iken, yaz döneminde düşen toplam yağış miktarı 230,2 mm dir. Kar yağışlı günler ile zeminin karla örtülü olduğu günler ise yok denecek kadar azdır.

Yıllık ortalama nispi nem % 63 değeri ile fazla değildir. Kış aylarında yağışta olduğu gibi nispi nem oranı yükselmekte (% 70) yaz aylarında ise düşmektedir (% 49). Ege Bölgesi'nin istikrarlı ve nemi düşük hava kütlelerinin etkisinde kalan körfez kıyılarında kapalı gün sayısı (57,9 gün) düşüktür.

İnceleme alanına ait bulguların analizi sonucunda havzada hafif, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört farklı potansiyel erozyon risk derecesi belirlenmiş, bu risk derecelerinin kapladığı alanlar ve dağılışları haritalanmıştır. Ayrıca hektar başına yıllık toprak kaybı miktarları hesaplanmış, veriler dağılış haritaları ve çizelgelerle ifade edilmiştir.

Materyal ve Yöntem:

İnceleme alanında potansiyel erozyon risk alanlarının belirlenmesi ve bu alanların sınıflandırılması için, Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (USLE) nin (Wischmeier vd., 1958, 1965; 1978) geliştirilmesi ile ortaya konmuş "Düzenlenmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi" (RUSLE) (Renard vd., 1991; 1993; 1994; 1997; Sivertun vd., 2003; Knijft vd., 1999; Lufafaa vd., 2003; Millward vd., 1999, Mitasova vd., 1998) yöntemi kullanılmıştır. Formül ve içeriği aşağıda belirtilmiştir (Şekil 2).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

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

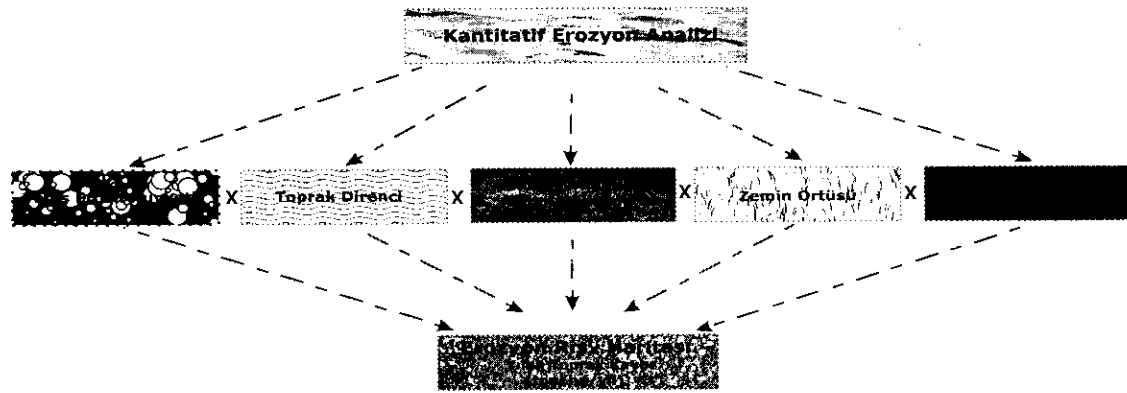
R : Yağış Erozyon Faktörü

K : Toprak Erozyon Faktörü

LS : Yamaç Uzunluk ve Eğim Faktörü

C : Zemin Örtüsü Faktörü

P : Erozyon Önleyici Diğer Faktörler



Şekil 2 İşlem Akış Şeması

Bu amaç doğrultusunda havzanın 1/25000 ölçekli topografya haritaları taranarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve bu ortamda sayısallaştırılmıştır. Bu işlem sonucunda havzanın üç boyutlu sayısal yükselti modeli oluşturulmuştur. Zemin örtüsü özellikleri Landsat 2000 ETM görüntülerinin sınıflandırılması sonucunda elde edilmiştir. Toprak özellikleri ise Topraksu Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan envantere göre düzenlenmiştir.

Erozyonu şekillendirici etkileri bulunan eğim, bitki örtüsü ve toprak özellikleri dikkate alınarak erozyona etki ettikleri boyut oranında bir duyarlılık sınıflandırması oluşturulmuştur. Bu uygulama esnasında kullanılan temel haritalar, 10 m çözünürlüğe sahip hücresel verilere dönüştürülmüş ve grid sorgulamaları yapılmıştır. Eşit boyuttaki her bir hücre, konumu dikkate alınarak yamaç; eğim-uzaklık, zemin örtüsü ve toprak gibi pek çok faktöre ait değerler barındırmaktadır. Bu değerlerin gösterimi, nominal ve sırasal veri tipinde hazırlanmıştır. Bu verilerin her biri hücresel tabanlı mekânsal analize tabi tutulmuş, elde edilen sonuçlar ayrıca değerlendirilmiştir.

Analizde Kullanılan Parametreler

Yağış Eroziyon Özelliği:

İklim özellikleri özellikle de onun yağış unsuru erozyon üzerinde önemli etkilere sahiptir. Yağmur suları partiküllerin taşınmasına sebep olan yüzey akışını meydana getirirler. Yüzeyde biriken sular eğime uyarak kanalize olurlar. Damla çarpması sonucu çözölen partiküller, suyun taşıma gücü ile eğim doğrultusunda hareket ederler. Bu etkileri belirlemek için ise bir çok araştırmacı tarafından farklı amprik formül önerilmiştir (Moore, 1979; 1986a; 1986b; Rijks vd., 1998; Wischmeier ve Smith, 1978; Cooley, 1980, Lorito vd., 2005).

RUSLE eşitliğinde yağışların toplam kinetik enerjileri ile 30 dakikalık maksimum yoğunlukları çarpımı ile elde edilen değer (E.I= Erozyon İndeksi) toprak kaybının hesaplanmasında belirleyici bir rol oynamaktadır (Wischmeier ve Smith, 1978).

Orijinal RUSLE formülünde Yağış eroziyon faktörü, 30 dakika içerisindeki maksimum yoğunluğunda olan yağışların (I_{30}) toplamının yıllık yağış toplamına oranı olarak ele alınır. Bununla beraber farklı birçok eşitlik ve indeks değerleri de mevcuttur.

Çalışmamızda bu önermelerden biri olan ve yağışın yıllık ve aylık ortalamalarının hesaba katıldığı "Modified Fournier Index (MFI)" (Arnoldous, 1977; 1980; Williams ve Sheridan, 1991; Bayramin vd., 2006, Diodato, 2004) esas alınmıştır. $MFI = \frac{P_i^2}{P_j}$ şeklinde olan bu eşitliğe göre; P_i aylık yağışları (mm), P_j ise yıllık yağışların ortalamasını (mm) ifade eder. Burada "Yağış Eroziyon Faktörü ise = $(4.17 MFI) - 152$ " eşitliğinden ortaya konulabilmektedir.

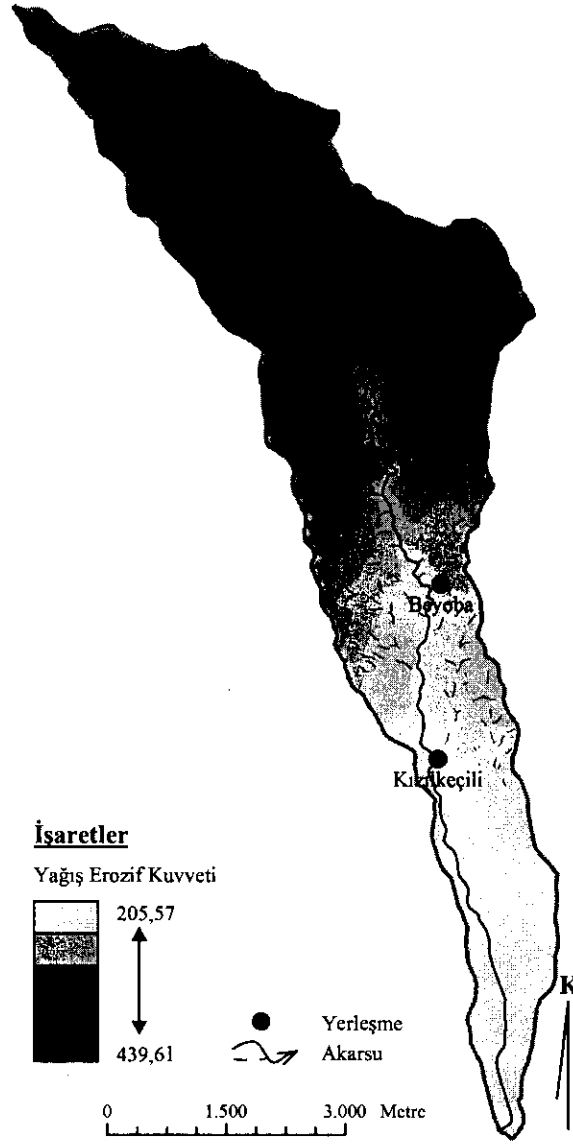
Bu hesaplamada 20,60 metre yükseltide bulunan Edremit Meteoroloji İstasyonuna ait 25 yıllık veriler kullanılmıştır. Ayrıca inceleme alanının deniz seviyesinden 1760 m ye varan yükseltisi nedeniyle yağışın dağılışı da her yerde aynı değildir. Bu nedenle Schreiber tarafından önerilen her 100 metre’de 54 mm yağışın artması ilkesi üzerine temellendirilmiş olan $Ph=Po+4,5xh$ (Ardel vd., 1969) formülü kullanılmıştır. Formülde, “Ph” ortalama aylık yağış miktarı (mm) ve “Po” verileri bilinen noktanın ortalama aylık yağış miktarı (mm) nı ifade etmektedir.

120,60 metre’ye kadar olan saha için; $MFI=109,7^2 + 85,5^2 + 72,9^2 + \dots / 659,125$;
 $MFI=85,75$

Yağış Eroziyon Faktörü = $(4.17. 85,75) - 152$; Yağış Eroziyon Faktörü = 205,57

120,61–220,60	m’ler arası için	MFI; 87,91	Yağış Eroziyon Faktörü; 214,60
220,61–320,60	□ □	MFI;90,41	Yağış Eroziyon Faktörü; 225,01
320,61–420,60	□ □	MFI;93,17	Yağış Eroziyon Faktörü; 236,51
420,61–520,60	□ □	MFI;96,14	Yağış Eroziyon Faktörü; 248,91
520,61–620,60	□ □	MFI;99,29	Yağış Eroziyon Faktörü; 262,04
620,61–720,60	□ □	MFI;102,59	Yağış Eroziyon Faktörü; 275,80
720,61–820,60	□ □	MFI;106,01	Yağış Eroziyon Faktörü; 290,08
820,61–920,60	□ □	MFI;109,54	Yağış Eroziyon Faktörü; 304,80
920,61–1020,60	□ □	MFI;113,17	Yağış Eroziyon Faktörü; 319,90
1020,61–1120,60	□ □	MFI;116,87	Yağış Eroziyon Faktörü; 335,34
1120,61–1220,60	□ □	MFI;120,64	Yağış Eroziyon Faktörü; 351,06
1220,61–1320,60	□ □	MFI;124,47	Yağış Eroziyon Faktörü; 367,03
1320,61–1420,60	□ □	MFI;128,35	Yağış Eroziyon Faktörü; 383,22
1420,61–1520,60	□ □	MFI;132,28	Yağış Eroziyon Faktörü; 399,61
1520,61–1620,60	□ □	MFI;136,25	Yağış Eroziyon Faktörü; 416,18
1620,61–1720,60	□ □	MFI;140,26	Yağış Eroziyon Faktörü; 432,90
1720,61–1760	□ □	MFI;141,87	Yağış Eroziyon Faktörü; 439,61 MJ/ha/yıl

olarak bulunur (Şekil 3).

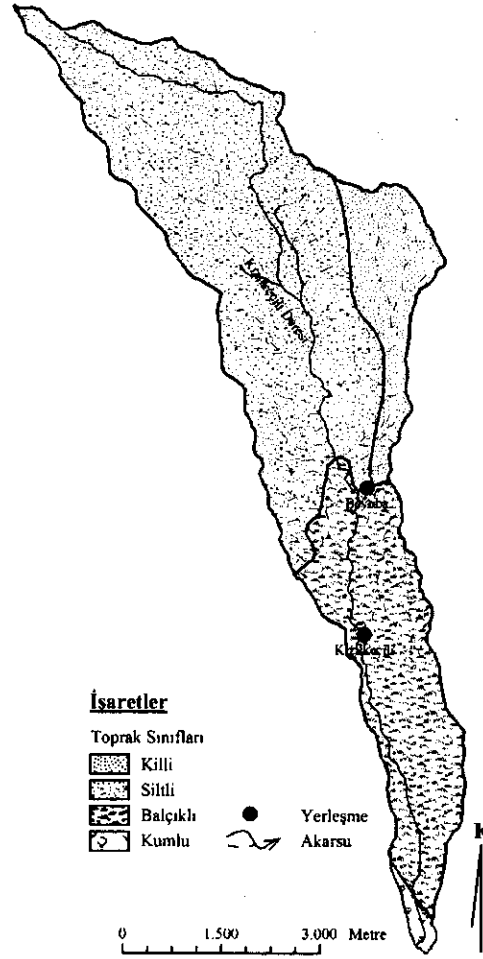


Şekil 3 Kızılkeçili Deresi Havzası'nın Yağış Eroziyon Haritası

Toprak Direnç Özelliği:

Toprak, hem erozyon olayının gerçekleşmesi için gerekli m̄ateryali sağlaması hem de erozyona neden olan önemli faktörlerin başında gelen yağış sularını absorbe etmesi ve yağış vb eroziyon güçlerine karşı direnç gösterme derecesi bakımından önem taşımaktadır. Gerçek anakanın üstünde gerekse de taşınarak buraya gelen, fiziksel ve kimyasal yollardan değişikliğe uğrayarak oluşan bu gevşek örtünün erozyona karşı direncinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu direnci belirleyen faktörlerin başında, örtüyü oluşturan tanelerin büyüklüğü gibi yapısal özellikleri, su tutma kabiliyeti, kapasitesi ve toprak profili gelmektedir (Wischmeier, vd., 1971).

Kızılkeçili Deresi Havzası'nda yukarıda belirtilen faktörleri etkileyen belirgin dört tip toprak özelliği ayırt edilmiştir. Bunlar killi, siltli, balçıklı ve kumlu toprak gruplarıdır (Balıkesir İli Arazi Varlığı, 1999), (Şekil 4).



Şekil 4 Kızılkeçili Deresi Havzası'nın Toprak Sınıfları Haritası

Akarsuların yukarı kesimlerden aşındırıp taşıdığı ve Kızılkeçili Deresi'nin denize döküldüğü kısımda biriktirdiği kaba taneli alüvyonlar kumlu özellik göstermektedir. Alansal dağılımı $0,31 \text{ km}^2$ olan bu toprakların tüm topraklar içindeki oranı % 1,08 dir. Havzanın kuzeydoğu kısmında, granit üzerinde çözülmeye bağlı olarak oluşmuş $3,28 \text{ km}^2$ alana sahip topraklar killi özellikte bulunurlar. Bu toprakların oranı ise % 11,32 dir. Metamorfik kayalar üzerinde gelişme göstermiş olan balçıklı topraklar havzanın güney kısmında ($7,85 \text{ km}^2$) dağılmış durumdadır. Bu alan tüm havza topraklarının % 27,10 una karşılık gelmektedir. Bunların dışında kalan ve havzada büyük bir yayılım alanına ($17,53 \text{ km}^2$) sahip olarak bulunan milli topraklar tüm toprakların % 60,51 ini meydana getirmektedir (Çizelge 1).

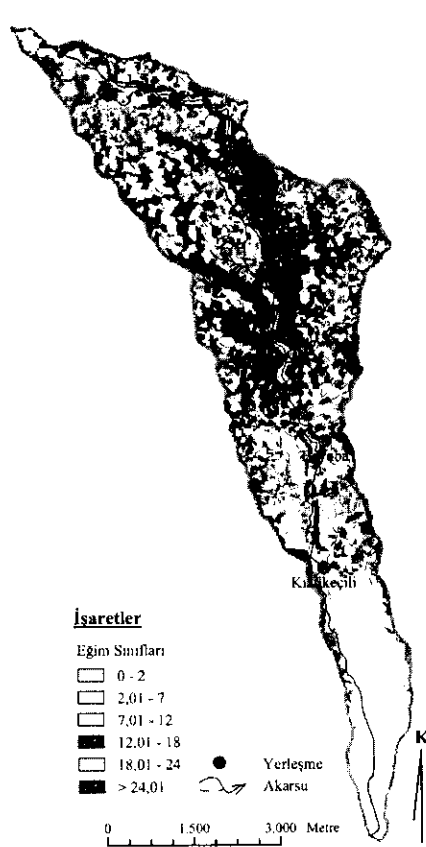
Toprak Tipi	Kıpladığı Alan		RUSLE
	km^2	Oran (%)	Duyarlılık Değeri
Killi	3,28	11,32	0,30
Siltli	17,53	60,51	0,25
Balçıklı	7,85	27,10	0,20
Kumlu	0,31	1,08	0,04
	28,97	100,00	

Yamaç Eğim, Uzunluk ve Yükselti Özelliği:

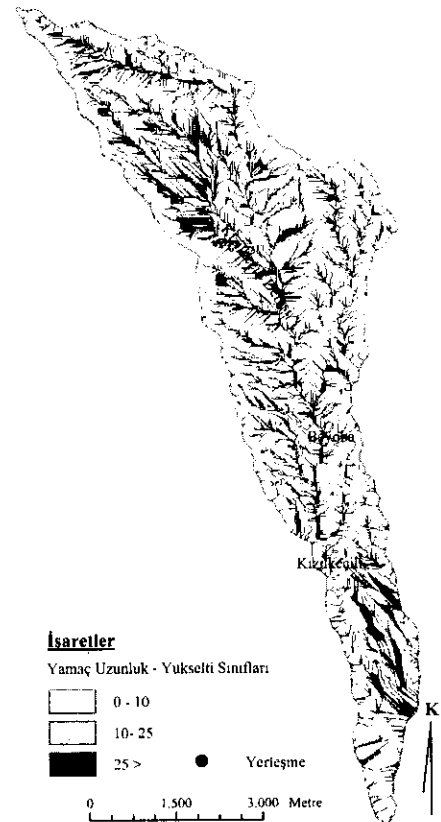
Eğim, yükselti, baki, yarıma derecesi ve yamaç profili gibi özellikler jeomorfolojik faktörler olarak değerlendirilmektedir. Bu özelliklerden yamaç eğim- uzunluk – yükselti özelliği erozyonun boyutunu belirleyen önemli bir faktördür. Çünkü erozyona neden olan suyun akışı ve hızını eğim şartları yönlendirmektedir. Erozyon miktarı ile eğim değerleri arasında doğru bir orantı bulunmaktadır. Aşınma ve birikme alanları olmaları bakımından yamaçların konkav ve konveks profillerine ait özelliklerin ortaya konulması bakımından da bu faktör belirleyici olmaktadır (Desmet, 1996; Foster vd., 1981; Moore ve Wilson, 1992).

İnceleme alanının eğimi özellikle havzanın yukarı kesimlerinde belirgin şekilde artış göstermesine rağmen aşağı kesimlerinde düşük değerler göstermektedir. Havzanın 1/3 ünden daha geniş bir alanda eğim değerleri 24° nin üzerindedir (Şekil 5). Bu yüksek eğimli araziler genelde akarsuyun orta çıkırında oluşmuş dar ve derin vadilerdeki yamaçlarda izlenmektedir.

FlowAccumulation(FlowDirection((elevation))) eşitliği dikkate alınarak belirlenen akış yönü (yamaç uzunluk ve yükselti sınıfları) özellikleri vadi ağları ile paralel özellikler göstermektedir (Şekil 6). Bu vadi sistemlerine ait sahalar aşınmanın fazla olduğu kısımlara karşılık gelmektedir. Bu ağ sisteminin dışında kalan yerler ise daha az duyarlı sahalar olarak dikkat çeker.



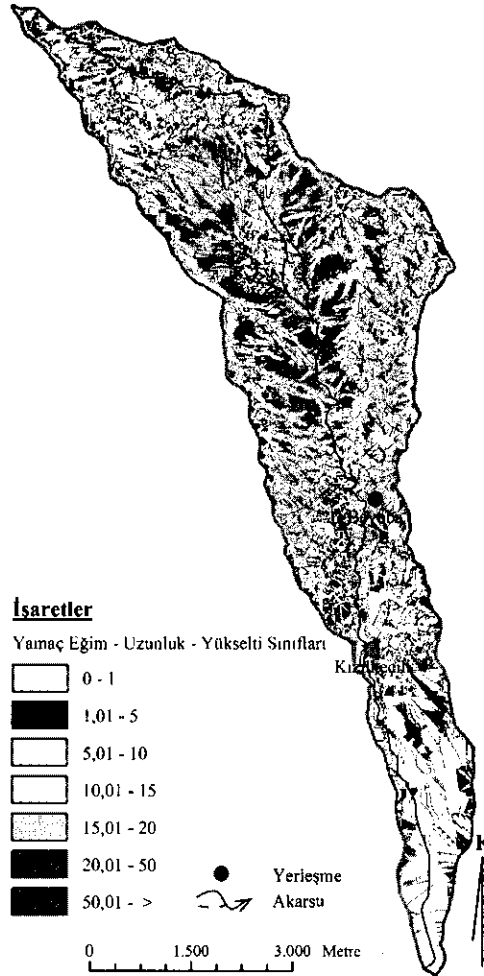
Şekil 5 Kızılkeçili Deresi Havzası'nın Eğim Sınıfları Haritası



Şekil 6 Kızılkeçili Deresi Havzası'nın Akış Yönü (Yamaç Uzunluk ve Yükselti Sınıfları) Haritası

Her iki özellik birlikte dikkate alınarak yamaç eğim ve yükselti sınıfları tespit edilmiştir. Yamacın hem eğim hem de uzunluğuna bağlı olan bu faktör, Moore ve Burch (1986a; 1986b; Mitasova,1996; 1998) tarafından önerilen, $Pow((flowacc) * resolution / 22,1, 0,6) * Pow(Sin((slope) * 0,01745) / 0,09, 1,3))$ şeklindeki formüle göre belirlenmiştir.

Ortaya konan bu haritaya göre (Şekil 7) havzanın ağırlık merkezine karşılık gelen bir sahada duyarlı değerlerin yoğunluk kazandığı görülmektedir. Bu kısımlar konkav bir yamaç profiline sahip, nispeten eğim değerlerinin çevresine göre fazla olduğu ve aynı zamanda vadi yoğunluğunun büyük değerler gösterdiği bir ortama sahip bulunmaktadır.



Şekil 7 Kızılkeçili Deresi Havzası'nın Yamaç Eğim, Uzunluk ve Yükselti Haritası

Zemin Örtüsü Özelliği:

Yağış, sızma ve akım arasındaki ilişkiyi şekillendiren ayrıca yağmur esnasında düşen su damlalarının zemine yaptığı darbe etkisini belirleyen faktörlerin başında zemin örtü özelliği bu örtünün zemini kaplama derecesi gelmektedir.

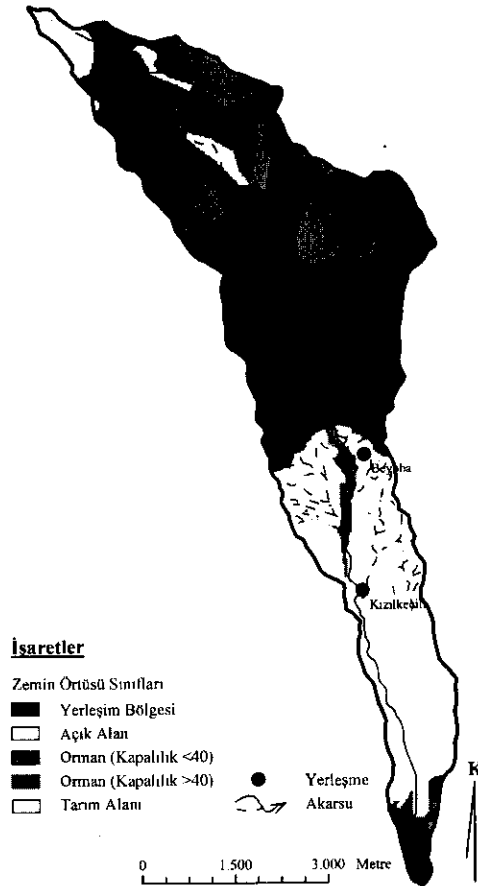
Kızılkeçili Deresi Havzası, zemin örtüsü unsurlarından biri olan bitki örtüsü bakımından zengin ve zemini kaplama derecesi bakımından yoğun bir sahadır. Havza içinde zemini yağmur ve etkilerinden koruma özelliği zayıf alanlar ise çok az yer tutmaktadır (Çizelge 2; Şekil 8). Bu alanların başında yüksek eğim değeri gösteren kayalıklar ile havzanın en yüksek

kesimindeki çıplak araziler gelmektedir. Bu sahaların dışında havzanın yarısından fazlası zemini önemli ölçüde koruyan kızılçam ve karaçam ormanlarıyla kaplıdır. Bu durum yüksek eğim değerlerinin erozyona yaptığı olumsuz etkilerin derecesini azaltıcı rol oynamaktadır.

Çizelge 2 Kızılkeçili Deresi Havzası'nda Arazi Kullanımı Değerleri

Arazi Kullanımı	Kıpladığı Alan		RUSLE Duyarlılık Değeri
	km ²	Oran (%)	
Yerleşme	0,53	1,83	0,0000
Açık Alan	1,03	3,56	0,8000
Orman (Kapalılık % < 40)	4,20	14,50	0,0006
Orman (Kapalılık % > 40)	15,51	53,53	0,0002
Tarım Alanı	7,70	26,58	0,3800
	28,97	100,00	

İnceleme alanında yükseltinin kısa mesafede 1760 m gibi yüksek bir değer göstermesi, havza içinde çeşitli bitki örtüsü özelliklerinin görülmesine neden olmaktadır.



Şekil 8 Kızılkeçili Deresi Havzası Zemin Örtü Sınıfları Haritası

Kıyılarda zeytin tarımı monokültür şeklinde yapılmakta, yer yer 400 – 500 m yükselti-
lere kadar çıkmaktadır. Yine alçak kesimlerde zeytin tarımının yapılmadığı kesimlerde maki
türleri yaygındır. Kızılçam ormanları 800 – 900 m yüksekliğe kadar çıkmaktadır. Bu yüksel-
tiden sonra karaçam ormanları hâkim olmaktadır. Havzanın en yüksek kesimlerinde ise ça-
yırlar görülmektedir.

Erozyon Önleyici Diğer Özellikler:

Erozyon önleyici diğer özellikler diğer bir deyişle erozyon kontrol teknikleri aşınmaya
ve taşınmaya imkân hazırlayan suyu absorbe veya kanalize ederek etkisini en aza indirmeyi
amaçlar. Bitki örtüsünü yoğunlaştırma, teraslama, suni kanallar ile mevcut suyu kanalize
etme (Roose 1977; 1989) bu kapsamda değerlendirilebilecek hususlardır. Bu faktörler ile
toprak kayıp miktarı arasında bir ters orantı söz konusudur (Wischmeier ve Smith 1958;
Roose 1977). Biyolojik varlıklar (Orman, çayır vb) toprak korunmasında mekanik koruma
faktörlerine (teraslama, sırt oluşturma gibi) göre daha ucuz ve etkilidirler (Roose, 1977).
İnceleme alanında hâlihazırda mekanik olarak erozyonu önleyici bir tedbir mevcut değildir.
Dolayısıyla yalnızca zemin örtüsünün bu bakımdan etkisi değerlendirilmiştir (Çizelge 3). Bu
verilere göre inceleme alanının % 1,83 ünde bu değer etkisiz eleman iken, % 26,58 inde 0,19,
% 71,59 unda ise 1 katsayısına sahip olarak bulunur.

Çizelge 3 Kızılkeçili Deresi Havzası'nda Erozyon Önleyici Özellikler

Arazi Kullanımı	Kapladığı Alan		RUSLE
	km ²	Oran (%)	Duyarlılık Değeri
Yerleşme	0,53	1,83	0,000
Açık Alan	1,03	3,56	1,000
Orman (Kapalılık % < 40)	4,20	14,50	1,000
Orman (Kapalılık % > 40)	15,51	53,53	1,000
Tarım Alanı	7,70	26,58	0,190
	28,97	100,00	

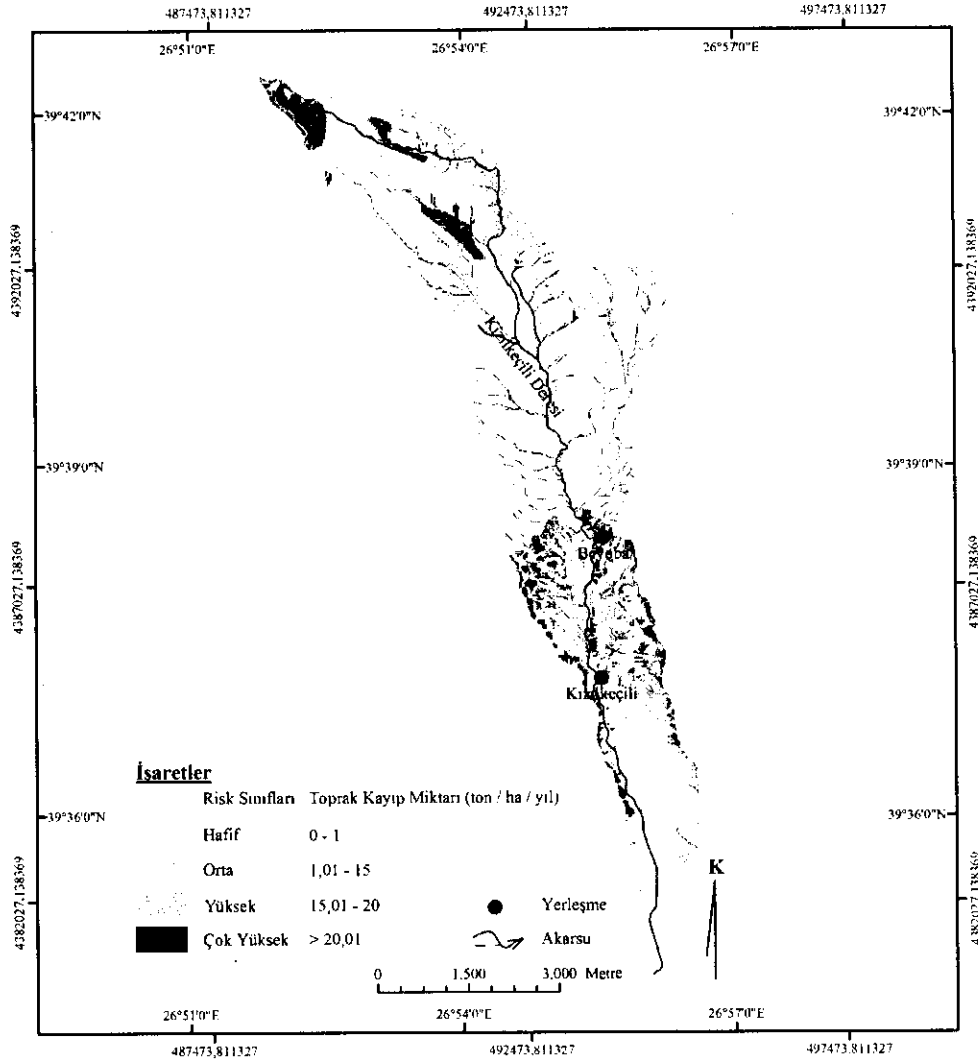
Sonuç:

Kızılkeçili Deresi Havzası'nda RUSLE yöntemi kullanılarak erozyon üzerinde etkisi bu-
lunan başlıca faktörlerin ortaklaşa değerlendirilmesi ile iki farklı sonuç elde edilmiştir. Bun-
lardan ilki erozyon risk derecelerinin tespit edilmesi, diğeri ise yıllık toprak kayıp miktarının
belirlenmesidir.

Bunlardan birincisi bakımından dört ayrı erozyon risk sınıfı belirlenmiştir (Şekil 9).
Buna göre inceleme alanının yüzölçümünün % 91,37 sinde erozyon şiddeti riski fazla değil-
dir (Çizelge 4). Ancak diğer % 8,67 sinde ise risk derecesi fazladır.

Çizelge 4 Kızılkeçili Deresi Havzası'nda Erozyon Risk Sınıfları ve Toprak Kayıp Miktarı

Erozyon Risk Sınıfı	Toprak Kayıp Miktarı (Ton/Ha/Yıl)	Kapladığı Alan	
		km ²	Oran (%)
Hafif	0-5	14,62	50,47
Orta	5,01-15	11,85	40,90
Yüksek	15,01-20	0,45	1,55
Çok Yüksek	> 20,01	2,05	7,08
		28,97	100



Şekil 9 Kızılkeçili Deresi Havzasının Erozyon Risk Sınıfları ve Toprak Kayıp Miktarı Haritası

Araştırmanın ikinci sonucuna göre ise (Şekil 9) havzanın yaklaşık 1/2 sinde (% 50,47) yıllık toprak kaybı miktarının 5 Ton/Ha/Yıl değerinden daha az olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 4). Havzanın % 40,90 ında ise 5,01 ila 15 Ton/Ha/Yıl arasında bir kayıp söz konusudur. Bu değerler hafif ve orta derecede bir erozyonun varlığını ifade etmektedir. Yıllık 15,01 tondan fazla toprak kaybının gerçekleştiği 2,50 km² alanda ise yüksek ve çok yüksek oranda erozyon kaybı meydana gelmektedir. Havzanın tümünde ise yıllık toprak kayıp miktarı yaklaşık olarak 44,16 ton olarak elde edilmiştir.

Elde edilen bu sonuçların güvenilir olup olmadığı arazi çalışmaları ile de doğrulanmıştır. Sonuç haritasında yüksek ve çok yüksek oranda toprak kaybının gerçekleştiği lokasyonların, zemin örtüsünün olmadığı açık araziler, vadi yoğunluğu ile eğim değerlerinin fazla olduğu kısımlar, ince taneli kolayca taşınabilen toprakların bulunduğu sahalara karşılık geldiği dolayısıyla da taşınan toprak miktarının da yüksek olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak RUSLE yönteminin doğru sonuçlar verdiği ve bu sahalara için uygulanabilir olması bakımından tercih edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Arnoldous, H.M.J., 1977, Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, *FAO Soils Bulletin*, 34, 39-51.
- Arnoldous, H.M.J., 1980, An approximation of the rainfall factor in the USLE. In: De Boodt M., Gabriels, D. (Eds.), *Assessment of Erosion*. Wiley, Chichester, England, pp. 127-132.
- Balıkesir İli Arazi Varlığı, (1999), Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, II Rapor No:10, Ankara.
- Bayramın, İ., Erpul, G., Erdoğan, H.E., 2006, Use of CORINE methodology to assess soil erosion risk in the semi-arid area of Beypazarı, Ankara, *Türk J Agric For*, 30, 81-100.
- Bingöl, E., 1969, Kazdağ masifinin merkezi ve güneydoğu kesiminin jeolojisi, *M.T.A. Dergisi*, 72, 110-124.
- Bingöl, E., 1971, Fiziksel (=Radyometrik= Radyojenik) yaş tayini metotlarını sınıflama denemesi ve Rb-Sr ve K-A metotlarının Kazdağ'da bir uygulaması, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 14-1.
- Cooley, K.R., 1980, Erosivity "R" for individual design storms. IN: *CREAMS: A field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems*, W.G. Knisel, ed., p. 386-397. USDA-SEA Conservation Research Report No. 26. USDA, Washington, DC.
- Desmet, P.J.J., Govers, G. (1996) A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, 51, 427-433.
- Diyotato, N., 2004, Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime, *Hydrology and Earth System Sciences*, 8-1, 103-107.
- Doğan, O. ve Küçükçakar, N., 1994, Erozyon Haritalamasında Bazı Metodolojiler, Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- Ekinci, D., ve Ekinci, B., 2006, The Effect of Valley Networks on Erosion and a Sample for Using GIS Based Soil Erosion Risk Model, 18 th International Soil Meeting (ISM) on Soils Sustaining Life on Earth (Managing Soil and Technology); May 22-26, Proceedings, 465-472.
- Foster, G.R., D.K. Mc Cool, Renard, K.G., ve Moldenhauer, W.C., 1981., Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units., *J. Soil and Water Cons.* 36-6, 355-359.
- Knijft, V. J.M., Jones, R.J.A., ve Montanarella, L., 1999, Soil erosion assessment in Italy, European Soil Bureau.
- Lorito, S., Pavanelli, D., Bigi, A., Stanchi, S., Vianello, G., 2005, Introduction of GIS-based RUSLE model for land planning and environmental management in three different Italian ecosystems,
- Lufafaa, A., Tenywaa, M.M., Isabiryeb, M., Majaliwaa, M.J.G., ve Woomerc P.L., 2003, Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based Universal Soil Loss model, *Agricultural Systems*, 76, 883-894.
- Millward, A.A., Mersey, J.E., 1999 Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38, 109-129.
- Mitasova, H., J., Hofierka, M., Zlocha, Iverson, L.R., 1996, Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Int. Journal of Geographical Information Science*, 10-5, 629-641.
- Mitasova, H., Mitas, L., Brown, W. M., Johnston, D., 1998, Multidimensional Soil Erosion/deposition Modeling and visualization using GIS. Final report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.
- Moore, I., ve G. Burch. 1986a, Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal* 50, 1294-1298.
- Moore, I., ve G. Burch. 1986b. Modeling erosion and deposition: topographic effects. *Transactions of ASAE* 29-6, 1624-1640.

- Moore, I.D., ve Wilson, J.P., 1992, Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47, 423-428.
- Moore, R.R., 1979, "Rainfall Erosivity in East Africa: Kenya, Tanzania, Uganda", *Geografiska Annaler*, 61, 147-156.
- Morgan, R.P.C., 1995, *Soil Erosion and Conservation*, Longman, Essex.
- PAP/RAC, 1997, *Guidelines for Mapping and Measurement of Rainfall-Induced Erosion Processes in the Mediterranean Coastal Areas*. PAP-8/PP/GL.1. Split, Priority Actions Programme Regional Activity Centre (MAP/UNEP), with the cooperation of FAO. 1997. pp xii+70.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Porter, J.P., 1991, Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), *Journal Soil Water Conserv.* 46, 30 -33.
- Renard, K.G., ve Ferreira, V.A., 1993, RUSLE model description and database sensitivity. *J. Environ. Qual.* 22-3,458-466.
- Renard, K.G., G.R. Foster, D.C. Yoder, ve McCool, D.K. 1994, RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future, *J. Soil Water Conserv.* 49-3, 213-220.
- Renard, K.G., G.R., Foster, G.A., Weesies, D.K., McCool, ve D.C. Yoder, 1997, *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, USA.
- Rijks, D., Terres, J.M., Vossen, P., 1998, *Agrometeorological Applications for Regional Crop Monitoring and Production Assessment*, EUR, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Roose, E.J., 1977., Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa. In: Greenland, J., Lal, R. (Eds.). *Conservation and Soil Management in the Humid Tropics*. Wiley, Chichester, England, 177-187.
- Roose, E.J., Sarrailh, J.M., 1989, Erodibility of some tropical soils—twenty years of records in some erosion plots under natural rainfall, *Soils Fert.* 25, 7-30.
- Sivertun A., Prange, L., 2003, Non-point source critical area analysis in the Gisselo watershed using GIS, *Environmental Modelling & Software*, 18, 887-898.
- William, W. D., David, S. Jones, ve Steven, D., Warren, 1999, *The Soil Erosion Model Guide for Military Land Mangers: Analysis of Erosion Models for Natural and Cultural Resources Applications*, Tri-Service CADD/GIS Technology Center, Natural and Cultural Resources Field Working Group, Technical Report ITL 99-XX.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978, *Predicting Rainfall Erosion Losses: A guide to conservation planning*, Agricultural Handbook, 537, US Department of Agriculture, Washington, DC, USA.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., ve Cross, B.V., 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites, *J. Soil and Water Conserv.*, 26, 189-193.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. ve R.E., Uhland, 1958, Evaluation of factors in the soil loss equation, *Agric. Eng.* 39,458- 474.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1958, Rainfall energy and its relation ship to soil loss. *Transactions of the American Geophysical Union*, 39-2, 285-291.
- Wischmeier, W.A., Smith, D.A., 1965. *Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection practices for soil and water conservation*. Agricultural Handbook 282, US Dept. of Agric. Sci and Edu. Admin., Agric. Res., USA.
- Williams, R.G., Sheridan, J.M., 1991, Effect of rainfall measurement time and depth resolution on EI calculation, *Transaction of the American Society of Agriculture Engineering ASAE* 34- 2, 402-406.

