

## Çırçıp deresi havzasında RUSLE modeli ile erozyon riskinin değerlendirilmesi, Turnasuyu-Ordu\*

Meltem ERDEM<sup>1</sup>, Ferhat TÜRKMEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ordu

\*Bu çalışma Ordu Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda kabul edilen yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

Alınış tarihi: 14 Kasım 2019, Kabul tarihi: 19 Mart 2020

Sorumlu yazar: Ferhat TÜRKMEN, e-posta: fturkmen@odu.edu.tr

### Öz

Toprak erozyonu; dünyanın birçok yerinde verimli toprak tabakasının yok olmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple erozyon araştırmaları toprakla ilgili yapılan en önemli çalışmalar arasında yer almaktadır. Topraklarda erozyon tehlikesinin belirlenmesi doğrudan arazi veya laboratuvarında ölçümsel veya deneysel çalışmaların yanında, dolaylı olarak geliştirilen modeller yardımıyla da yapılabilmektedir. Bu çalışma; Ordu ili Gülyalı ilçesi Turnasuyu ve Yukarıtepe mahallelerinin bir kısmında Çırçıp deresi su toplama havzasında yer alan toprakların RUSLE modeli kullanılarak erozyon risk durumunun tespit edilmesi ve erozyon duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla ele alınmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen RUSLE haritasına göre toplam alanın %48.7'sinin Çok yüksek ve aşırı yüksek erozyon riskine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu modele göre çalışma alanının yüksek oranda erozyon riskine sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ordu, RUSLE, Turnasuyu, Erozyon

### Evaluation of erosion risk with RUSLE model in Turnasuyu Çırçıp stream water collection basin

### Abstract

Soil erosion causes to lost fertile soil layer in many places of the world. For that reason, investigation related with soil erosion is one of the most important issues among the soil researches. Determinations of

soil erosion risk cases have been done as directly using measurement or experimental analysis in land or laboratory or as indirectly methods such as developed models. In this present study, It was aimed to determine soil erosion risk of areas located in Çırçıp stream in Turansuyu district of Gülyalı-Ordu province using RUSLE model and to generate soil erosion risk maps. According to RUSLE soil erosion risk maps was found very high and extremely high erosion risk were determined in 48.7% of the study area. This model was showed that the study area is under high erosion risk.

**Key words:** Ordu, RUSLE, Turnasuyu, Erosion

### Giriş

Verimli tarım topraklarının yok olmasında toprak erozyonu ilk sıralarda yer almaktadır. Yüksek eğim gruplarına sahip Ülkemiz arazilerinde erozyon derecesi ve şiddetinin çok yüksek olduğu bilinmektedir. Ayrıca toprakları korumaya dayalı yönetim önlemleri uygulanmadığı takdirde, risk derecelerinin artacağı bilinmektedir. Erozyonun şiddet ve yayılışı dikkate alınarak, yıllık toprak kayıplarını azaltmak için gelişen teknolojilerden de yararlanılarak, gerekli toprak yönetim önlemlerinin hızlı bir şekilde alınması gerekmektedir.

Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) beraber kullanılarak geliştirilen modeller (RUSLE, ICONA, LEAM, CORINE vb.) sayesinde Ülkemiz toprakları analiz edilerek erozyon riski tespit edilmelidir ve buna göre erozyona sebep olan faktörlerin giderilmesi veya azaltılması için gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

Başayığıt (2002), Eğirdir Gölü Havzasına Landsat 7 ETM+ uydu verisini kullanarak USLE modelini uygulamıştır. Çalışmada havzaya ait toprakların erozyon duyarlılık ve toprak korumaya yönelik haritalarını üretmiş, tehlike derecesi yüksek alanlar için korumaya yönelik yönetim tavsiyeleri vermiştir. Yılmaz (2006), Ankara'da yer alan Çamlıdere baraj havzasına USLE erozyon metodolojisini uygulamıştır. Model sonuçlarına göre havzaya ait yıllık toprak kaybını  $7.3 \text{ t.ha}^{-1}$  bulmuş, havzada bu duruma etken olan ana parametrelerin arazi bitki örtüsü ile topoğrafya olduğunu saptamıştır.

Özsoy (2007), Mustafakemalpaşa Havzası'na ait toprakların erozyon risk durumlarını RUSLE toprak kaybı metodolojisini, UA ve CBS teknolojileriyle uygulayarak arazinin yıllık toprak kaybını  $11.2 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$  olarak belirlemiştir.

Yıldırım ve Erkal (2009), Afyon Ovası'nın batı kesimi topraklarının CBS ve UA teknikleri yardımıyla RUSLE yöntemi ile erozyon risk tahminini çalışmışlar ve çalışma alanına ait toprak kaybını  $15 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$  olarak bulmuşlardır.

Demirci ve Karaburun (2012), İstanbul'un batısında yer alan Büyükçekmece Gölü havzasında RUSLE erozyon modelini uygulamışlar ve toprak erozyon riskini çalışma alanının yarısından fazlasında ((%54) toprak kaybı  $<1 \text{ t/ha/yıl}$ ) düşük bulmuşlardır. Çalışma alanının yaklaşık beşte birinin ((%19), yılda 1 ila 3  $\text{t/ha/yıl}$  arasında değişen) hafif erozyon riskine sahip ve çalışma alanının sadece %11'inin 5 ila 10  $\text{t/ha/yıl}$  arasında toprak kaybı ile yüksek erozyon riski altında olduğunu tespit etmişlerdir. Şiddetli erozyon riski olarak tanımladıkları toprak kaybının yılda 10 tondan fazla olduğu yerlerin ise çalışma alanının sadece %5'inde görüldüğünü ve Büyükçekmece Gölü havzasının neredeyse yarısında, toprak erozyon riskini azaltmak için etkili toprak koruma önlemlerinin uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir. Darcy et al. (1998), USLE toprak kaybı risk metodolojisini, Amerika Mississippi Nehri Havzası'nda bulunan Goodwin ve Hickahale Havzasına uygulamışlardır. Havzaların her birinin alansal boyutları ayırdır bu yüzden farklı çözünürlüklerde haritalar kullanmışlardır. Goodwin havzasında senelik ortalama toprak kaybını  $11 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$ , Hickahale havzasında ise ortalama toprak kaybını  $13 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$  olarak bulmuşlardır. Millward et al. (1999), Meksika'nın kuzey bölgesinde RUSLE modelini uygulamışlardır. Araştırma alanı tropikal bölgede olduğundan, toprak kayıplarını yağış olan ve yağış olmayan kurak dönemde ayrı olarak

hesaplamışlar ve bunun sonucunda yağışlı dönemdeki erozyon riskini kurak döneme ait erozyon riskine oranla daha yüksek bulmuşlardır.

Lee (2003), Kore'ye bağlı Boun bölgesi topraklarının erozyon risk duyarlılığını belirlemek için USLE modelini, CBS ve UA metodolojisini de kullanarak araştırma yapmış ve araştırma sonucuna göre arazinin senelik toprak kayıpları dağılımının  $0.30 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$  -  $4.0 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$  olarak değiştiğini tespit etmiştir.

Shi et al. (2003), Çin'in güney kesiminde yer alan arazide, RUSLE metodunu CBS ve UA teknolojileri kullanarak arazinin erozyon risk derecesinin dağılımını yapmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre eğimli arazilerde senelik toprak kaybı  $52 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$  bulurken, eğimi düz alanların senelik toprak kaybı  $27 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$  olarak tespit etmişlerdir.

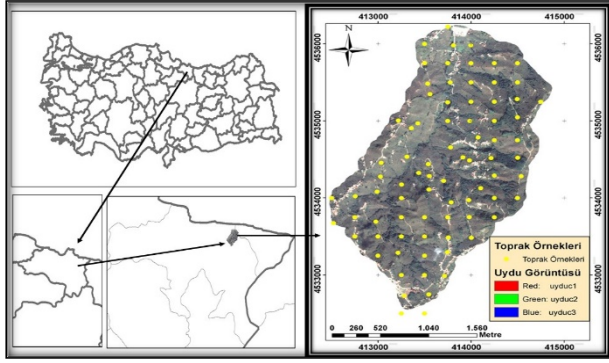
Onori et al. (2006), RUSLE modelini Sicilya Adası'nın güney kıyısındaki Comunelli havzasına uygulamışlar ve arazinin yıllık toprak kaybını  $95 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$  değerinde bulmuşlardır. Bahadır (2008), Kuzey Tayland'a bağlı Yukarı Nam Wa havzası topraklarının erozyon tahmin değerlendirmesini yapmak için CBS ile UA teknolojilerini RUSLE modeliyle birlikte kullanarak çalışma yapmıştır. Çalışma arazisinin yüksekliğinin 480 m - 2070 m arasında değiştiğini, alanın bitki örtüsü (orman) ile örtülü olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı tüm parametreleri birleştirmiş ve modele uygulamıştır. Model sonuçlarına göre arazinin %47'sinde senelik toprak kaybının  $3 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{yıl}^{-1}$  'ın altında olduğunu hesaplamış ve bu sonuca arazinin bitki örtüsüyle kaplı olmasının önemli etkisinin olduğunu belirtmiştir.

Bu çalışma ile Ordu ili Gülyalı ilçesine bağlı olan Turnasuyu mevkiinde RUSLE (Revize Universal Soil Lose Equation) modelinin CBS ve UA teknolojileri kullanılarak erozyon risk haritalarının üretilmesi hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra çalışma alanından alınan toprak örnekleri ile araştırma alanına ait toprakların erozyon risk durumlarının oluşturulması amacıyla bazı erozyon duyarlılık dereceleri incelenmiştir.

### **Materyal ve yöntem**

#### **Araştırma alanının yeri**

Araştırma arazisi, Ordu ili Gülyalı ilçesi Turnasuyu, Kılavuz, Sıraca, Türkmenoğlu, Dervişoğlu ve Tekekıran mahallelerinde yer almaktadır. Çalışma alanı lokasyon haritası ve örnekleme noktaları Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası ve örnekleme noktaları

Örnekleme noktalarının koordinatları, arazi üzerinde GPS aleti ile belirlenmiş, grid örnekleme sistemine göre 200m x 200m aralıklarla ve 0-30 cm derinlikten 80 adet toprak örneği alınmıştır. Çalışmada planlanan bazı noktalara ya arazi koşullarından dolayı ya da noktanın toprak örneği almaya uygun olmayışından dolayı hesaplanan noktaya yakın, örnek almaya uygun bir yerden toprak örneği alınmış ve koordinat bilgileri kaydedilmiştir. Hesaplamalar bu koordinatlara göre yapılmıştır.

#### Çalışmada kullanılan altlık materyaller ve programlar

Çalışmada, araştırma alanına ait topoğrafik harita (1/25.000 ölçekli G39b2 paftası) temel altlık materyal olarak kullanılmış ve sayısallaştırılmıştır. Çalışma alanı dik eğimlere sahip olup, yükseklik çalışmasının kuzeyinde 20 m'den güneyde 900 m'ye kadar çıkmaktadır (Şekil 2). Ayrıca araştırma alanına ait toprak kullanımı ile arazi bitki örtüsü sınır değerlerini oluşturmak amacıyla 0.3 x 0.3 m piksel çözünürlükte Eylül 2015 dijital hava fotoğrafı kullanılmıştır. Topoğrafik haritaların sayısallaştırılması, erozyon risk haritalarının oluşturulması ve erozyona duyarlılık haritalarının yapılmasında ArcGIS 10.3 yazılımından yararlanılmıştır.

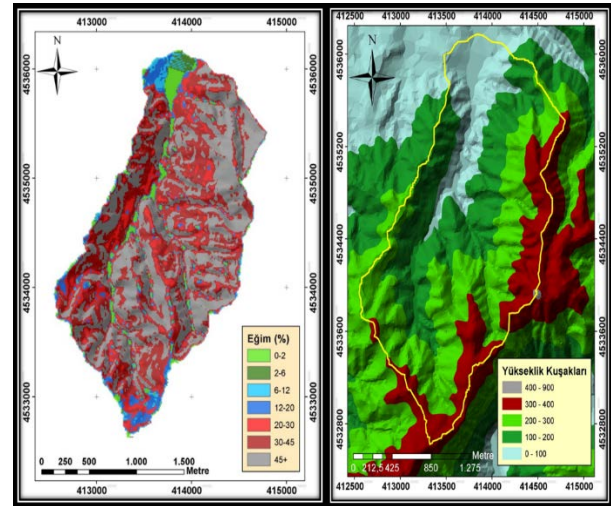
#### Çalışma alanı genel eğim dağılımı ve yükseklik kuşakları

Araştırma sahası, Mülga Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğüne yapılan il arazi varlığı haritalarında kullanılan standart eğim sınıfları dağılımına yönelik yedi sınıf içerisinde değerlendirildiğinde (Şekil 2 ve Çizelge 1), düz düze yakın ve hafif eğimli (%2-6) araziler toplam alanın %21,6'sını oluştururken, çalışma alanının büyük bir kısmını ise (%58) dik ve sarp araziler oluşturmaktadır.

Çalışma alanının yükseklik kuşakları haritası Şekil 2'de verilmiştir. Çalışma alanı deniz seviyesine göre 20 m yükseklikten başlamakta 900 m yüksekliğe kadar ulaşmaktadır.

Çizelge 1. Araştırma sahasına ait eğim sınıfları dağılımı

Eğim Sınıfları (%)	Alan (da)	Oran(%)	
Düz- düze yakın	0-2	347.9	8.1
Hafif	2-6	580.7	13.5
Orta	6-12	872.3	20.3
Dik	12-20	993.0	21.3
Çok dik	20-30	788.3	18.4
Sarp	30-45	520.9	12.1
Çok sarp	45+	187.0	4.4
Toplam		4290.1	100.0



Şekil 2. Araştırma sahasına ait eğim sınıfları ve yükseklik kuşakları haritası

#### Yapılan analiz ve yöntemler

Agregat Stabilitesi (Islak eleme metoduna göre, yoder tipi eleme setinde ölçülmüştür (Kemper ve Rosenau, 1986)), Tekstür (Toprakların tekstür sınıfları hidrometre yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Bouyoucos, 1951)), Organik Madde (Walkley-Black yöntemine göre belirlenmiştir (Jackson, 1958)), Hidrolik iletkenlik (Toprakların hidrolik iletkenlik değerleri, su seviyesinin sabit olduğu hidrolik geçirgen setler yardımıyla hesaplanmıştır (Klute ve Dirksen, 1986)).

#### Çalışmada kullanılan programlar ve hesaplamalar

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi (IDW): ArcGIS 10.3 programı ve programa ait IDW modülü kullanılmıştır.

**Erodabilite (K) faktörü:** K faktör değeri, bütün toprak örnekleri için yapılacak olan laboratuvar ortamındaki analizlere bağlı olarak belirlenir ve aşağıda yer alan ampirik denklemden faydalanılarak tespit edilir (Wischmeier and Smith, 1978). Araştırmacı,

$$100 \times K = (2.1 \times 10^{-4}) \times (12 - OM) \times M^{1.14} + 3.25 \times (S - 2) + 2.5 \times (P - 3) / d$$

formülünü kullanmıştır. Denklemdaki parametreler şu şekildedir.

**K** (Toprağın erozyona duyarlılık faktörü), **OM** (% Organik madde), **S** (Toprak strüktür sınıfı kodu (1-6)), **P** (Toprak su geçirgenliği kodu (permeabilite)), **M** (Zerre irilik dağılım parametresi), **d** (Metrik sisteme dönüştürme katsayısı (d= 7.59))

Ayrıca bu denklem içerisindeki M faktörünün hesaplanmasında  $M = (\% \text{ silt} + \% \text{ çok ince kum}) \times (100 - \% \text{ kil})$  formülü kullanılmıştır (Wischmeier and Smith, 1978).

### RUSLE erozyon modeli

RUSLE erozyon risk tahmini modeli, birim alandaki toprak kayıplarını  $t \cdot ha^{-1} \cdot yıl^{-1}$  olarak belirleme amacıyla faydalanılan USLE erozyon modelinin 1987 yılında revize edilerek, yapılan birçok araştırmaların geliştirilmesi sonucu ortaya çıkarılan yeni modeldir.

Çizelge 2. Çalışma alanı topraklarının analiz sonuçları

	OM %	AS %	Hİ cm h <sup>-1</sup>	Mekanik analiz. %		
				Kil	Silt	Kum
Maksimum	5.15	95.01	21.72	55.3	17.6	68.7
Minimum	1.83	38.59	0.66	25.4	5.9	32.9
Ortalama	3.3	70.0	6.6	40.5	10.9	49.0

OM: Organik madde, AS: Agregat stabilitesi, Hİ: Hidrolik iletkenlik

Çalışma alanına ait toprak örneklerinin, 23 tanesi kil (C), 35 tanesi kumlu kil (SC), 22 tanesi ise kumlu killi tın (SCL) tekstür sınıfında yer almıştır. Çalışma alanındaki toprakların %43.75'i ince bünyeli toprak sınıfına, %56.25'i orta bünyeli toprak sınıfına dahil edilmiştir.

Çalışma alanına ait hacim ağırlığı değerleri  $0.72 t \cdot m^{-3}$  ile  $1.66 t \cdot m^{-3}$  arasında değişmekte olup, ortalama değer olarak  $1.28 t \cdot m^{-3}$  elde edilmiştir. Arshad et al. (1996), topraklarda tipik olarak hacim ağırlığı değerlerinin  $1.0 t \cdot m^{-3}$  ile  $1.7 t \cdot m^{-3}$  arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Araştırma alanına ait toprakların organik madde değerleri, %1.83 - %5.15 arasında değişmekte olup, %3.30'lük ortalama değere sahiptir ve çalışma alanına ait toprakların organik madde yönünden

RUSLE erozyon modeli ülkemizde birçok araştırmalar yapılarak çeşitli araştırma sahalarında uygulamaya dökülmüştür (Değerliyurt, 2013).

Wischmeier ile arkadaşları tarafından geliştirilen USLE modeli öncelikle tarım alanlarında uygulanmak üzere geliştirilmiş ve bu modele 1972 yılında inşaat alanları, daha sonraki yıllarda ise mera ve orman alanları da geliştirilmek üzere kullanıma ilave edilmiştir (Erkal ve ark., 2012). RUSLE modeline ait her bir parametre aşağıdaki eşitlikte açıklanmıştır (Wischmeier and Smith, 1978).

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

**A** (Yıllık toprak kaybı [t/ha/yıl]), **R** (Yağış erosivitesi (yağışın erozyon oluşturma gücü) [MJ mm ha<sup>-1</sup> saat<sup>-1</sup>]), **K** (Toprak erodibilitesi (erozyona karşı duyarlılığı) [ton ha saat ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>]), **L** (Eğim uzunluğu (birimsiz)), **S** (Eğim dikliği (birimsiz)), **C** (Ürün (bitkisel örtü) yönetimi (birimsiz)), **P** (Toprak koruma yöntemleri (birimsiz)).

### Bulgular

#### Çalışma alanı topraklarının analiz sonuçları

Çalışma alanından alınan toprak örneklerinde yapılan analizlere ait minimum, maksimum ve ortalama değerler Çizelge 2'de yer almaktadır.

zengin olduğu ifade edilebilir. Toprakların agregat stabilitesi içeriklerine bakıldığında, %38.59 ile %95.1 arasında değişmiş olup, %69.99'lük ortalama değer dikkate alındığında araştırma alanı topraklarının aşınma karşı dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Araştırma alanı topraklarının hidrolik iletkenlik değerleri %0.66 ile %21.72 arasında olduğu ve araştırma alanı topraklarının birim zamanda akan su miktarının düşük olduğu ve bu durumun toprağın tekstür sınıfıyla ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Toprağın organik madde miktarı, agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenlik değerleri arasında önemli ilişkiler olduğundan, toprağın organik madde miktarı arttıkça agregat stabilitesi artış göstermiştir. Dayanıklı agregatların fazla olması ise toprakların daha iyi drene olmasını, hidrolik

iletkenliğinin artmasını ve havalanmanın daha iyi olmasını sağlamıştır. Toprağın bu özelliklerine rağmen erozyon riskinin yüksek eğimden dolayı çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Araştırma alanı topraklarına ait agregat stabilitesi dağılım aralıkları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Çalışma alanına ait agregat stabilitesi dağılımı

Dağılım Aralığı (AS, %)	Alan (da)	Oran (%)
38-65	148.1	3.5
65-75	1909	44.5
75-85	1575	36.7
85-100	658	15.3
Toplam	4290.1	100.0

Çalışma alanının agregat stabilitesi %65-75 arasında olan araziler olup, %44.5'lik bir oranla 1909 da'lık bir alana karşılık gelmektedir. Agregat stabilitesi dağılım aralığı %38-65 arasında olan araziler %3.5'lik oran ile 148.1 da'lık alana karşılık gelip, arazinin %96.5'lik kısmında agregat stabilitesinin %65'ten büyük olduğu, toprakların büyük çoğunluğunun aşınmaya karşı dirençli olduğu görülmektedir. Çalışma alanının agregat stabilitesine ait dağılım aralığı haritası Şekil 3'de verilmiştir.

Araştırma alanına ait toprak örneklerinin organik madde dağılım oranları Çizelge 4'te ve dağılım haritası Şekil 3'de, hidrolik iletkenlik değerleri, Çizelge 5'te dağılım haritası Şekil 3'de verilmiştir.

Çizelge 4 incelendiğinde arazinin büyük çoğunluğunun organik madde yönünden zengin olduğu görülmektedir.

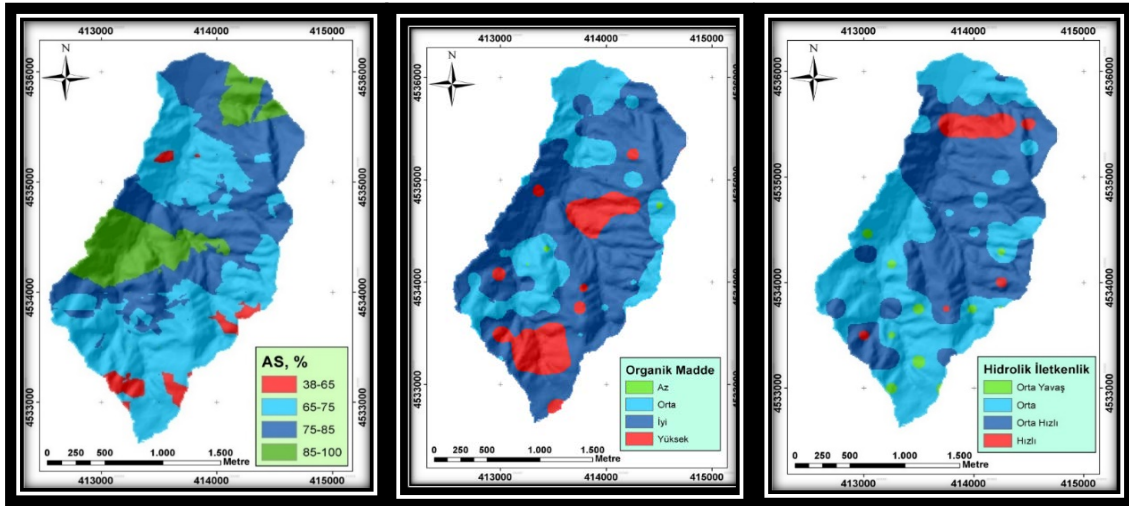
Çizelge 4. Çalışma alanına ait organik madde dağılımı

Dağılım Aralığı (%)	Sınıfı	Alan (da)	Oran %
1-2	Az	6	0.1
2-3	Orta	1108.3	25.8
3-4	İyi	2675.1	62.4
4+	Yüksek	499.7	11.2
Toplam		4290.1	100.0

Çizelge 5. Çalışma alanına ait toprakların hidrolik iletkenlik değerleri

Dağılım Aralığı (cm h <sup>-1</sup> )	Sınıfı	Alan (da)	Oran %
0.50-2.00	Orta yavaş	53.2	1.2
2.00-6.35	Orta	1977	46.1
6.35-12.70	Orta-hızlı	2088.2	48.7
12.70-25.00	Hızlı	171.7	4.0
Toplam		4290.1	100.0

Çizelge 5 incelendiğinde toprakların hidrolik iletkenlik değerlerinin %46.1'i 2.00-6.35 cm h<sup>-1</sup> arasında, %48.7'si 6.35-12.70 cm h<sup>-1</sup> arasında yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanına ait toprakların agregat stabilitesi, organik madde ve hidrolik iletkenlik dağılım haritası

### Toprak erozyonu risk çalışmalarında RUSLE modeli

#### Yağışın erozyon oluşturma faktörü (R) ve toprağın erozyona duyarlılık faktörü (K)

Çalışma alanı içerisinde R faktörünün topoğrafya yüzeyine dağılımının belirlenmesinde Kaya 2008'de belirtilen meteoroloji ordu iklim istasyonu R değeri

kullanılmış ve arazide topoğrafyaya bağlı olarak dağılım haritası oluşturulmuştur. Buna göre; araştırma alanına ait R faktörü haritasında değerler 650 ile 730 MJ ha<sup>-1</sup> yıl<sup>-1</sup> × mm h<sup>-1</sup> arasında dağılım göstermektedir. R haritasının çalışma alanına ait yağış haritası ile benzerlik gösterdiği görülmekle beraber çalışma alanının R faktörü yağışın

yükseltiyle ilişkisini doğrulayacak şekilde ortaya çıkmıştır (Şekil 4).

Agregasyonda kil ve organik madde iki önemli özelliktir. Toprak strüktürünün gelişmesi K faktörün küçülmesi ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca K değeri toprağın kum içeriği ve nem durumu ile de ilişkilidir ve silt, hidrolik iletkenlik ve hacim ağırlığı ile de arasında negatif bir ilişki vardır. Bu durumda K faktörünün kil ve kum miktarı yükseldiğinde arttığı, silt miktarı yükseldiğinde ise azaldığı görülmektedir. Hidrolik iletkenlik arttıkça K faktörü azalmaktadır. Araştırma alanına ait K faktörü dağılım haritası da incelendiğinde kil ve kum miktarının arttığı, arazi eğimin yüksek olduğu alanlarda K değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Eğim ve yükseklik arttıkça toprağın erozyona duyarlılığının da arttığı görülmektedir.

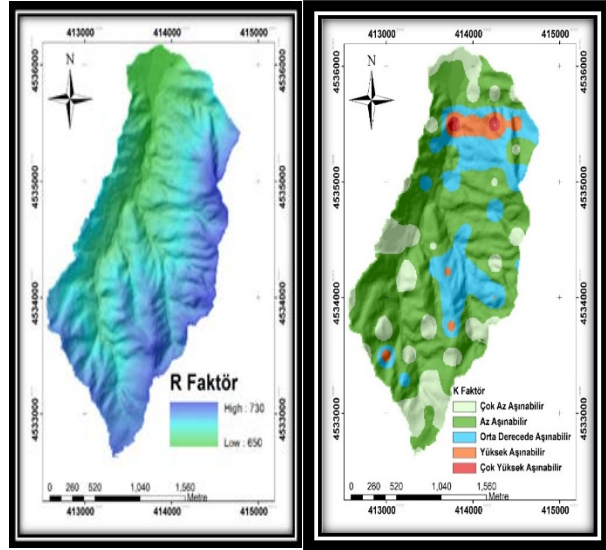
K faktör değerlerine bakacak olursak, minimum 0.01 ve maksimum 56 değerlere göre çok az aşınabilir değerler gösteren K faktörünün %18 olduğu, az aşınım gösteren alanların ise %58.3 olduğu gözlemlenirken, çok yüksek ve aşırı derecede yüksek sınıfa giren K faktör sınıfları %0.6 olduğu ve bunun sonucunda araştırma alanına ait toprakların erozyona duyarlılıkları düşük derecede olduğu belirlenmiştir (Şekil 4 ve Çizelge 6).

#### Eğim uzunluğu - eğim derecesi faktörü (LS) ve arazi kullanım faktörü (C)

Eğim derecesini ortaya koymak amacıyla SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) görüntüsü kullanılarak eğim haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan eğim haritası Reclassify komutu ile arazi eğim sınıf değerlerine göre yeniden sınıflandırılmıştır. Bu adımdan sonra LS faktörünün elde edilmesi için oluşturulan bu iki harita kullanılarak "Raster Calculator" komutu ile aşağıdaki eşitlik yardımıyla analizi yapılmıştır. Araştırmada kullanılan formül şu şekildedir: (Wischmeier and Smith, 1978)

Çizelge 6. Çalışma alanına ait toprakların K sınıf dağılımı

Aşınım Sınıfı	Aşınım Sınıf Değeri	Alan (da)	Oran (%)
Çok Az Aşınabilir	0.0-0.05	771.2	18.0
Az Aşınabilir	0.05-0.10	2501.5	58.3
Orta Derecede Aşınabilir	0.1-0.20	846.4	19.7
Yüksek Aşınabilir	0.2-0.30	143.7	3.3
Çok Yüksek Aşınabilir	0.3-0.40	27.3	0.6
Aşırı Derecede Aşınabilir	0.4-0.60	0	0.0
Toplam		4290.1	100.0



Şekil 4. RUSLE modeline göre R faktör ve K faktör haritası

$$LS=1.6*Pow((\text{facc}*\text{resolution})/22.1*0.6)*Pow(\text{Sin}([\text{slope}]*0.01745)/0.09*1.3)$$

Pow=üs, Resolution=çözünürlük, Sin=sinüs, Slope=eğim

LS faktörüne ait oluşturduğumuz haritayı incelediğimizde eğim haritası ile yakından ilişkisi olup benzerlik gösterdiği görülmektedir. Eğim haritasında da olduğu gibi LS haritasında da özellikle yükseltinin arttığı alanların derin vadi yamaçları olduğu ve erozyon potansiyelinin yüksek derecede yer aldığı görülmektedir (Şekil 5). Çalışma alanına ait toprakların, erozyon risk duyarlılığının belirlenmesinde arazi kullanım durumu büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanına ait arazi kullanım haritasını oluşturmak için NDVI görüntüleri kullanılarak sınıflandırma metodu uygulanmıştır. Oluşturulan haritanın arazi kullanım alanlarına ait C faktörlerin değerlendirilmesinde Avrupa Araştırmaları Enstitüsünün kullanmış olduğu değerlerden yardım alınmıştır (Çizelge 7). Araştırma alanına ait arazi kullanım türleri ve C faktör değerleri Çizelge 8'de verilmiştir.

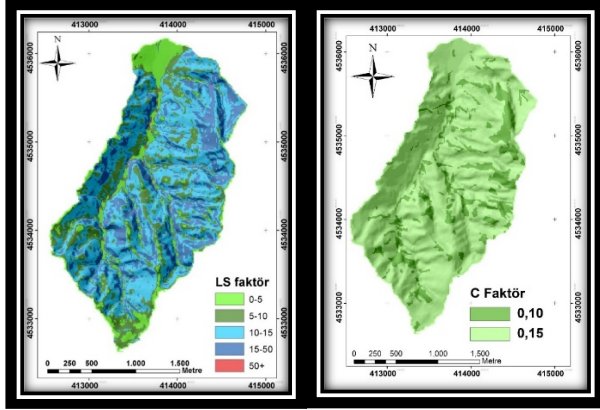
Çizelge 8'e göre C faktör değerlerine baktığımızda araştırma alanına ait arazi kullanım haritasında iki farklı sınıf bulunmaktadır (Şekil 5).

Çizelge 7. RUSLE modeline göre arazi kullanımı ve C faktör değerleri

Arazi Kullanma Türü	Sembol	Ürün Yönetimi Faktörü (C)
Orman	O	0.10
Fundalık	F	0.15

Çizelge 8. Çalışma alanına ait C değerleri

Arazi Kullanma Şekli	C Faktörü	Alan (da)	Oran (%)
Orman	0.10	673.4	15.7
Dikili tarım (fındık)	0.15	3616.7	84.3
Toplam		4290.1	100.0



Şekil 5. RUSLE modeline göre LS faktör ve C faktör haritası

### Toprak koruma önlemleri faktörü (P)

Ülkemizde genel olarak çalışma alanlarında ve arazilerde toprak koruma amacıyla uygulanmış yönetimler ya sınırlı düzeylerde yapılmakta ya da hiç yapılmamaktadır. Eğer arazi koruma yöntemi uygulanmamış ise RUSLE modelinde P=1 olarak kullanılmaktadır. Arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemler sonucunda da çalışma alanına ait toprak korumaya yönelik uygulamalar tespit edilmediğinden P= 1.0 alınmıştır.

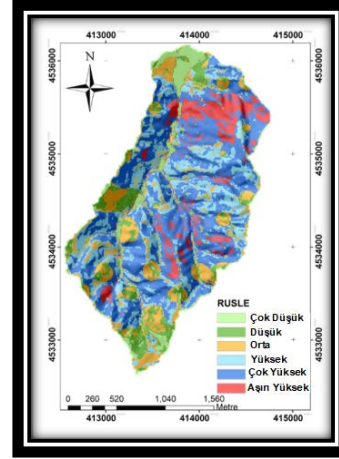
### RUSLE toprak kaybı miktarı

Son adım olarak erozyona duyarlılık (A faktör) haritasının oluşturulması için üretilen haritaların hepsi ArcGIS yazılımı yardımıyla 'Raster Calculator' komutu kullanılarak birbirleriyle çarpılmıştır. Bu işlem yapılırken bütün altlık haritaların aynı çözünürlükte olması gerekmektedir. Çarpma işlemi sonucu elde edilen A faktöre ait harita yeniden sınıflandırılmıştır. Çalışma alanına ait toprakların erozyona duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde Bergsma et al. (1996)'a göre sınıflandırma yapılmıştır (Çizelge 9).

Çizelge 9. Çalışma alanına ait erozyon duyarlılık sınıflarının alansal ve oransal dağılımı

Erozyon Duyarlılık Sınıfı	Erozyon Duyarlılık Sınıf Değeri (t.ha <sup>-1</sup> .yıl <sup>-1</sup> )	Alan (da)	Oran (%)
Çok Düşük	0-5	280.5	6.5
Düşük	5-12	352.9	8.2
Orta	12-35	614.7	14.3
Yüksek	35-60	952.2	22.2
Çok Yüksek	60-150	1703.3	39.7
Aşırı Yüksek	150 +	386.5	9.0
Toplam		4290.1	100.0

Ortaya çıkan erozyon duyarlılık (A faktör) haritasına bakıldığında alanın %14.7'si hafif ve çok hafif, %36.5'i orta ve güçlü, %39.7'si Şiddetli ve %9'luk kısmı ise çok şiddetli erozyon duyarlılık sınıfına girmiştir. Çalışma alanına ait RUSLE erozyon duyarlılık haritası Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Araştırma alanına ait RUSLE modeli erozyon duyarlılık haritası

Erozyon duyarlılık haritasına bakıldığında erozyon alanlarının eğim haritası ve LS haritasına uyumu dikkate değerdir. Yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Özellikle eğim derecesi yüksek alanlarda erozyon miktarının da yüksek olduğu görülmektedir. R haritasına baktığımızda R'nin topoğrafyaya uyum gösterdiği görülmekte ve yükseltiyle ilişkili olduğu görülmektedir.

### Sonuç ve öneriler

Çalışmada RUSLE modeline ait olan R, K, LS, C, P faktörleri incelenmiş, her birinin haritaları oluşturulmuş ve model parametrelerinin birbirleri ile çarpılması sonucu yıllık kaybolan toprak miktarı (A) haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan erozyon duyarlılık haritasına göre alanın neredeyse çok yüksek ve aşırı yüksek erozyonu kapsamaktadır. Çalışma alanının eğim haritasında, eğim dereceleri ve yükselti değerlerinin çok yüksek olduğu, bu durumun erozyon sürecine etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple, eğim derecelerinin yüksek olduğu alanlarda toprak koruma önlemleri alınarak araziden olabilecek toprak kayıplarının önüne geçilmelidir.

Çalışma alanı konumu gereği bitki örtüsü yoğun ve organik madde bakımından orta ve iyi seviyelerde yer almaktadır.

Erozyonun önlenmesinde bunlar önemli faktörlerdir. Bölgenin 1000mm civarında yağışa sahip olduğu göz önünde bulundurulursa bitki örtüsünün zayıflaması ve organik madde miktarının azalması durumunda eğimin ve yağışın fazla olmasından dolayı erozyon riskinin daha da artacağı unutulmamalıdır.

Arazinin genelinin yüksek eğime sahip olması topraklarda erozyon risk seviyesinin yüksek çıkmasında başlıca faktördür. Araştırma alanı topraklarının erozyon risk seviyesinin azaltılması için alanlara özgü cep teraslar uygulanabilir. Erozyonu hızlandıracak kültivasyon işlemlerinden ve arazi kullanımını değişimlerinden kaçınılmalıdır.

Erozyon riskine karşı doğal kaynakların sürdürülebilir ve planlı kullanılması için niceliksel veriler elde edilebilen araştırmalar yapılmalı ve elde edilen sonuçlara göre sürdürülebilirlik ve durum analizi planlamaya konulmalıdır. Ayrıca tarım topraklarında, erozyon ile mücadeleye uygun metot ve teknikler geliştirilmelidir.

### Teşekkür

Bu çalışma Ordu Üniversitesi BAP birimi tarafından TF-1617 nolu proje ile desteklenmiştir.

### Kaynaklar

- Bahadur, A. (2008). Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and geographical information systems: a case of the upper nam wa, Watershed, Nan Province Environment Geology, Thailand.
- Başayığıt, L. (2002). Eğirdir gölü havzasında erozyon riskinin saptanması üzerine araştırmalar, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 109, Ankara.
- Bouyoucous, G.J. (1951). A Recalibration of the Hydrometer for Making Mechanical Analysis of Soil Agronomy Journal, 43: 434-438.
- Darcy, K., Molnar, K., ve Julien, P.Y., (1998). Estimation of upland erosion using geographical information systems. Computers and Geosciences.
- Değerliyurt, M. (2013). Antakya şehri ve yakın çevresinde meydana gelen erozyonun coğrafi dağılışı ve analizi. International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic Volume: 8/8, 1745-1764, Ankara Turkey.
- Erkal, T., Yıldırım, Ü., & Taş, B. (2012). RUSLE yöntemi ile Akarçay havzası orta kesiminin erozyon risk tahmini ve erozyonun beşeri faaliyetlere etkileri

.Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP09.FENED.14 No.lu Proje Sonuç Raporu, Afyonkarahisar.

- Jackson, M. L. (1958). Soil Chemical Analysis. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- Kaya, P. (2008). Türkiye'de uzun dönem yağış verileri kullanılarak ulusal ölçekte RUSLE-R faktörünün belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution, methods of soil analysis-physical and mineralocical methods, Soil Science Society of America Book Series No:5, Madision, 425-442.
- Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity, methods of soil analysis agronomy 9:687-732. American Society of Agronomy Incorporation, Madision, USA.
- Lee, S. (2003), Soil erosion assessment and its verification using the universal loss equation and geographic information system: a case study at Boun, Korea. Environmental Geology.
- Millward, A. A., & Mersey, J. E. (1999). Adapting the RUSLE to model soil erosion, Potential in a Mountainous Tropical Watershed, Catena.
- Onori, F., Bonis, D. P. & Grauso, S. (2006). Soil erosion prediction at the basin scale using revised universal soil loss equation in a catchment of sicily, Environmental Geology. Southern Italy.
- Özsoy, G. (2007). Uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemi kullanarak (CBS) erozyon riskinin belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa.
- Shi, Z. H., Cai, C. F., Ding, S. W., Wang, T. W., & Chow, T. L. (2003). Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with geographic information system: a case study in the three gorge area of China, Journal Soil Water Conservation.
- Wischmeier, W. H., & Smith. D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. United Status Department of Agricultural Handbook, 537, Washington.
- Yıldırım, Ü., & Erkal, T. (2009). RUSLE yöntemi ile Afyon ovasının batı kesiminin erozyon risk tahmini. Afyon Kocatepe Üniversitesi, BAP 07.FENED.06 Nolu Proje Final Raporu, Afyonkarahisar.
- Yılmaz, E. (2006). Çamlıdere baraj havzasında erozyon problemi ve risk analizi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.