



Bulanık mantık analitik hiyerarşik süreç (BAHS) ile Sinop İli erozyon duyarlılığının mekansal dağılımının belirlenmesi

Determination of multi-criteria decision analysis and gis modeling for spatial distribution of soil erosion vulnerability in the Sinop Province

İnci Demirağ Turan ^{*a}  Barış Özkan ^b  Orhan Dengiz ^c 

^a Samsun Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun.

^b Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Samsun.

^c Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun.

ORCID: İ.DT. 0000-0002-5810-6591; B.Ö. 0000-0001-7767-4087; O.D. 0000-0002-0458-6016

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 08.04.2020

Kabul/Accepted: 12.08.2020

Anahtar Kelimeler:

Erozyon riski

Temel bileşenler analizi

minimum veri seti

Keywords:

Erosion risk

principal components analysis

minimum data set.

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(İ. Demirağ Turan)

inci.demirag@samsun.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.716914

Atf/Citation:

Demirağ Turan, İ., Özkan, B. ve Dengiz, O. (2020). Bulanık mantık analitik hiyerarşik süreç (BAHS) ile Sinop İli erozyon duyarlılığının mekansal dağılımının belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi* (75), 57-70. DOI: 10.17211/tcd.716914.

ÖZ / ABSTRACT

Dünya nüfusunun artmasıyla arazi üzerindeki baskı artmaktadır. Doğal bir süreç olan erozyon bu artan baskı ile problem haline gelmiştir. Türkiye’de birçok arazi özellikle tarım arazileri erozyon etkisi altında bulunmaktadır. Bu nedenle erozyon etkisini azaltmak için birçok yöntem ve yaklaşımlar geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bu çalışma ile Bulanık Mantık Analitik Hiyerarşik Süreç (BAHS) yaklaşımı kullanılarak, 586200 ha alan kaplayan Sinop ili arazilerinin erozyon duyarlılık sınıflarının belirlenmesi ve haritalanması amaçlanmıştır. Sinop ili Karadeniz Bölgesi’nde yer almaktadır. İlin kuzeyinde Karadeniz, güneydoğusunda Samsun, güneyinde Çorum, batısında Kastamonu illeri bulunmaktadır. Çalışmada erozyon risk sınıfları belirlenirken hem toplam veri seti (TVS) hem de minimum veri seti (MVS) oluşturulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Erozyon sınıflarını oluştururken TVS için jeoloji, bitki örtüsü, arazi kullanımı, eğim, derinlik, yağış ve erodabilite parametreleri kullanılmıştır. MVS oluşturulmasında ise temel bileşenler analizi sonucunda, bitki örtüsü, derinlik ve erodabilite parametreleri ele alınmıştır. TVS ve MVS için yapılan sonuç haritasında doğrusal kombinasyon yöntemi uygulanmış ve bu yöntem uygulanırken ArcGIS coğrafi bilgi sistemi programından yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, TVS’de çalışma alanının % 33’ü yüksek ve çok yüksek, %36’sı ise düşük düzeyde erozyona duyarlı olduğu belirlenirken, MVS’ye göre ise çalışma alanının % 33’ü yüksek ve çok yüksek ve % 35’i düşük erozyona duyarlı olduğu belirlenmiştir. Böylece TVS ve MVS ile elde edilen sonuçların oldukça birbirine yakın değerler gösterdiği tespit edilmiştir. TVS ve MVS ile yapılmış her iki erozyon duyarlılık haritası da, özellikle bitki örtüsünün zayıf ve eğimin yüksek olduğu alanlar ile işlemeli tarımın yapıldığı araziler erozyona çok yüksek duyarlı oldukları görülmektedir.

The pressure on the land increases with the increase in the world population. Erosion, which is a natural process, has become a problem with this increasing pressure. Most of the farmlands in Turkey are particularly affected by erosion. For this reason, many methods and approaches have been developed to reduce the erosion effect. In this study, it is aimed to determine erosion risk classes and to generate their map in Sinop that covers 586200 ha, using Fuzzy Logic Analytical Hierarchical Process (FAHP) approach. Sinop province is located in the Black Sea Region. The province has Black Sea in the north, Samsun in the southeast, Çorum in the south and Kastamonu in the west. In this study, the total data set (TDS) and the minimum data set (MDS) were composed and the results from these sets were compared while determining erosion sensitivity classes. Geology, vegetation, land use, slope, depth, precipitation, and erodability parameters were used for TDS while creating erosion classes. In order to generate MDS, the principal component analysis was carried out. Vegetation, depth, and erodability parameters were discussed in MDS. Vegetation, depth and erodability parameters were discussed in MDS. The linear combination method was applied to the result map for TDS and MDS, and the ArcGIS program which is a geographic information system software was used during the application of this method. According to the results, 33% of the study area is defined as high and 36% of the area is sensitive to low-level erosion in TDS whereas 33% of the study area is high/very high and 35% of the area is low to erosion in MDS. Hence, it was determined that the results obtained by TDS and MDS exhibit very close values. In both erosion susceptibility maps produced from MDS and TDS, it is ascertained that the high sloping and weak vegetation areas, as well as agricultural lands, are highly susceptible to erosion.

Extended Abstract

Introduction

The pressure on land has increased and the significance of fertile soil has been understood more with the increasing population of the World. Across the World, the use of chemical pesticides and fertilizers becomes prevalent rapidly to increase the productivity of soils destroyed or inefficient by erosion, which causes people and the ecosystem to face many different environmental problems. On the purpose of taking precautionary measures for any erosion problem in any location, many qualitative and quantitative soil erosion susceptibility models or approaches have been developed or continue to be developed by researchers to identify areas vulnerable to erosion.

The aim of this study is the determination of the erosion sensitivity classification by using the total and minimum data set and Fuzzy – AHP (FAHP) approach in the area of Sinop, Turkey and also the production of erosion susceptibility map of the same land by utilizing Geographic Information Systems (GIS) technology.

Material and Method

Parameters affecting erosion are determined in the study and these parameters are divided into sub-parameters. The FAHP approach has been used to prioritize the parameters. While creating erosion susceptibility maps, a total data set consisting of 7 factors including vegetation cover, land use, precipitation, slope, depth, soil erodibility and geology is taken into consideration.

The minimum data set was then created. The Minimum data set selection was determined to reduce dimensionality using principal component analysis (Doran and Parkin, 1994; Qi et al., 2009; Nabiollahi et al., 2017). As a result of factor analysis, groups with eigenvalues equal to 1 or greater than 1 were considered as factors and critical factor load was taken as 0.5 (Wander and Bollero, 1999; Andrews et al., 2002). For each factor, soil variables with high factor loadings were assumed to be the indicators that the best represent changes in soil erosion risk and were defined as having absolute values within 10% of the highest factor loading (Sharma et al., 2005; Govarts et al., 2006).

Each parameter considered in the creation of erosion susceptibility maps for the total and minimum data set is classified into sub-parameters. Classes belonging to the sub-parameters considered are given weight values between 1 and 4. The weight values given for these classes take the value 4 if the sensitivity to erosion is the highest, and 1 if the susceptibility of erosion is the lowest. Values between 1 and 4 vary according to the sensitivity of the parameters to erosion (Table 3).

The Analytical Hierarchy Process (AHP) was established by Thomas L. Saaty (1980) to solve complex decision-making problems involving multi-criteria. AHP is a powerful and easy-to-understand method with rich applications in decision theory, which allows combining qualitative and quantitative factors. However, AHP approach does not consider the humanistic way of thinking, even if it takes the knowledge of the

expert. Fuzzy-AHP (FAHP) method has been offered to achieve this deficiency. In the literature, there are some FAHP methods proposed by many researchers (Laarhoven and Pedrycz, 1983; Buckley, 1985; Chang, 1996; Cheng, 1997; Deng, 1999). In this study, the geometric mean method proposed by Buckley (1985) was considered to calculate the criterion weights.

The AHP technique is used to determine the criteria and priorities of the sub-criteria, and the linear combination technique is used to determine the erosion susceptibility classes consisting of 4 classes. The mathematical equation of this technique is as follows:

$$S = \sum_{i=1}^n (W_i \cdot X_i)$$

S: Total erosion susceptibility score, W_i : weight value of i parameter, X_i : sub-criterion score for i parameter, n = total number of parameters considered.

Results and Discussion

Seven parameters are determined for the total data set and 3 parameters of them were selected for the minimum data set. Paired comparison matrices were created for the total data set and minimum data set as a result of the decision-makers' evaluation are listed in Table 6 and Table 7, respectively.

As seen in Table 10, while the land cover and land-use parameter have the highest weight with 0.280 weight value, it is followed by land use and slope criteria. This situation can be explained by the fact that even if the land is inclined, the presence of a protective cover layer on the soil can minimize the possibility of soil erosion.

The principal component analysis was performed to create a minimum data set. Consequently, groups with eigenvalues equal to or greater than 1 are accepted as factors. Three factors with eigenvalues greater than 1 are determined. According to the results, 76.26% of the total change is explained by these factors (Table 11). When more than one indicator under a single factor is at high load, the correlation coefficient is checked for the minimum data set. (Andrews et al., 2002). Variables with good correlations are considered invalid and one is considered for the minimum data set. In this current study, when selecting loads for factors, the correlations between them are also examined (Table 12). The slope for factor 1 has high loads after Varimax conversion. Land use and land cover are the features with the highest load for factor 2 and readability for factor 3.

Erosion risk distribution map was produced by using the linear combination technique with the parameters obtained from the minimum data set (Figure 9). Thereafter, it was detected that there were very small differences between them and the total data set. There is a very high erosion risk in 12% of the study area, whereas 35% of the total area has low erosion risk (Table 13). As a result of this study, it can be said that these parameters are compatible and maps of TDS and MDS show significantly close each other.

1. Giriş

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte, araziler üzerine olan baskı giderek artmakta ve verimli toprağın değeri daha da anlaşılmaktadır. Dünya genelinde, erozyonla yok olan veya verimsizleşen toprakların, verimini arttırmak için ise kimyasal ilaç ve gübre kullanımı hızlı bir şekilde artırmakta, bu da insanların ve ekosistemin birçok farklı çevre sorunları ile karşı karşıya gelmesine neden olmaktadır. Esas olarak, erozyonun sorununun en aza indirgenmesi için ön bir adım olarak da, toprakların erozyona karşı duyarlılık durumlarının belirlenerek ortaya konması gerekmektedir. Fakat toprakların dolayısıyla da ekosistemin karmaşık ve dinamik bir yapıya sahip olması bu sorunun çözülmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, herhangi bir yerdeki erozyon sorununun önceden tedbir alınması amacıyla erozyona duyarlı alanların belirlemesine yönelik olarak, araştırmacılar tarafından birçok kalitatif ve kantitatif toprak erozyon duyarlılık modelleri veya yaklaşımları geliştirilmiş veya geliştirilmeye devam edilmektedir. Bunlar içerisinde, Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (USLE) (Erdoğan vd., 2007; Karabulut ve Küçükönder, 2008; Vaezi vd., 2008; Kızılelma ve Karabulut, 2014) gibi yaklaşımlar yanında, Revize Edilmiş Evrensel Toprak Kaybı Denklemi (RUSLE), (Tağıl, 2007; Tağıl, 2009; Terranova vd., 2009; Özşahin, 2011; Zhang vd., 2013; Danacıoğlu ve Tağıl, 2017) Toprak Erozyonu Risk değerlendirme Modeli (ICONA) (Bayramin vd., 2003; Okou vd., 2016) ve Çevresel Bilginin Koordinasyonu Modeli (CORINE) (Dengiz ve Akgül, 2005; Bayramin vd., 2006; Entarazi vd., 2013;) bu yöntemlerden en sık kullanılanlarıdır. Bunun yanında özellikle son yıllarda Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi, erozyon risk haritalarının üretilmesinde de kullanılmaktadır (Sönmez vd., 2013; Güney ve Turoğlu 2018). Demirağ Turan ve Dengiz (2017) Ankara Güvenç Havzası'nda yaptıkları çalışmada erozyon duyarlılık parametrelerinin önceliklendirmesinde Analitik Hiyerarşik Süreç (AHS) tekniği, alt parametrelerde ise Z-Skor yöntemini kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuca, göre havzanın yaklaşık % 45'inin çok yüksek düzeyde erozyona duyarlı olduğu tespit etmişlerdir.

Erozyon risk haritalarının oluşturulmasında yerel ölçekte ortaya çıkan coğrafi farklılıkları bir arada değerlendirmek için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi son derece uygun olabilmektedir. Farklı çalışma alanları için parametrelerin artırılıp azaltılabiliyor olması bu yöntemin en önemli avantajlarından birini oluşturmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada erozyon risk haritası oluşturulurken ÇKKV yöntemlerinden Saaty (1980) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşik Süreç (AHS) yöntemi kullanılmıştır. AHS yönteminde, öncelik vektörünün hesaplanabilmesi için uzmanlar ikili olarak karşılaştırmaya 1-9 ölçeğinde belirli bir sayı vermek zorundadır. Ancak bazen kesin bir sayı vermek yeterli olmayabilir. Sistem ve kavramların değerlendirilmesi, olayların tanımlanması, tercihlerin bir eyleme dönüştürülmesi ve bir sonuca bağlanması gereken belirsiz durumlarda bulanıklık kavramı ile karşılaşılmaktadır (Atlas ve Bayazıt Bedirhanoglu, 2018). Bulanık mantık, belirsizliğin rastgele değişkenlerin varlığından ziyade kesin olarak tanımlanamayan sınıflardan olduğu durumlarda sorunların üstesinden gelmeyi sağlar (Zadeh, 1965). Bu nedenle bu çalışmada BAHS kullanılmıştır. Haidara vd. (2019) yaptıkları çalışmada BAHS yöntemi ile erozyon duyarlılık haritası üretmişlerdir. Erozyon duyarlılığı belirlemek için yağış, arazi örtüsü, toprak sınıflandırması, eğim, drenaj yoğunluğu ve arazi kullanımı kriterlerini kullanmışlardır.

Erozyona etki eden birçok parametreler belirlenip toplam bir veri seti oluşturularak çalışmalar yapılmaktadır. Fakat özellikle geniş coğrafi alanlara ait verilerin kısa süre içerisinde elde edilmesi, zaman, maliyet ve iş yükü bakımından toplam veri setinden ayrı olarak bazı yaklaşımlardan yararlanılarak minimum veri seti oluşturulmaktadır. Minimum veri setini oluşturmada en yaygın kullanılan yaklaşımlardan birisi de, temel bileşenler analizidir. Temel bileşenler analizi farklı alanlarda kriterleri azaltmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Wander ve Bolle-ro, 1999; Shukla vd., 2006).

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'nin Sinop ilinde dağılım gösteren arazilerin Bulanık-AHS (BAHS) yaklaşımı ile toplam ve minimum veri seti kullanarak, erozyon duyarlılık sınıflamasının belirlenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojilerinden yararlanılarak Sinop iline ait erozyon duyarlılık haritasının üretilmesidir.

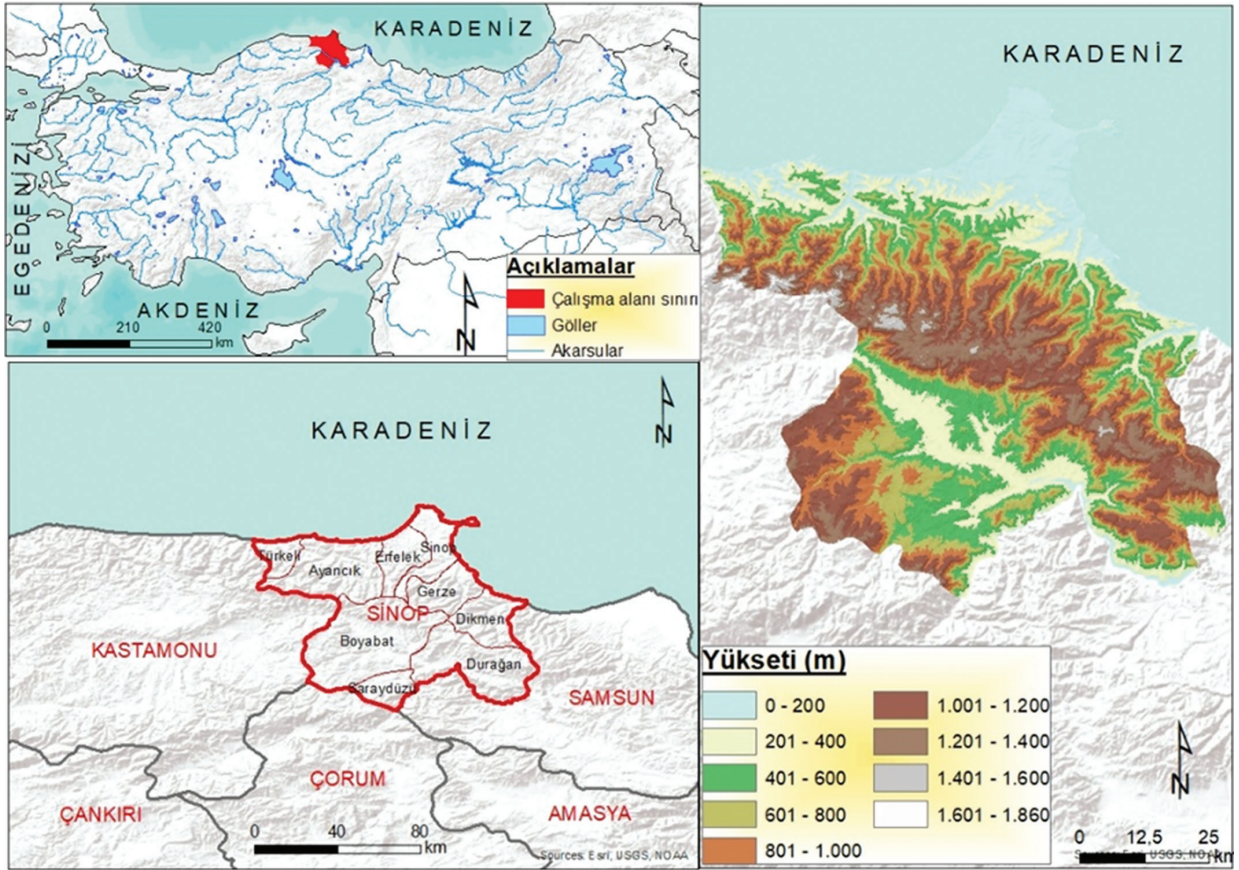
2. Çalışma Alanı ve Genel Özellikleri

Sinop ili Karadeniz Bölgesi'nde Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alır. Çalışma alanı 41° 10' 12" -42° 05' 19" kuzey paralelleri ile 34° 15' 37" -35° 25' 54" doğu meridyenleri arasında kalır. Alanı yaklaşık 586200 ha'dır. Sinop ilinin kuzeyinde Karadeniz, güneydoğusunda Samsun, güneyinde Çorum, batısında Kastamonu illeri bulunmaktadır (Şekil 1). Sinop ilinin merkez ilçe, Erfelek, Ayancık, Türkeli, Gerze ve Dikmen kuzeydeki ilçeleri; Boyabat, Durağan ve Saraydüzü ise güneydeki ilçeleridir.

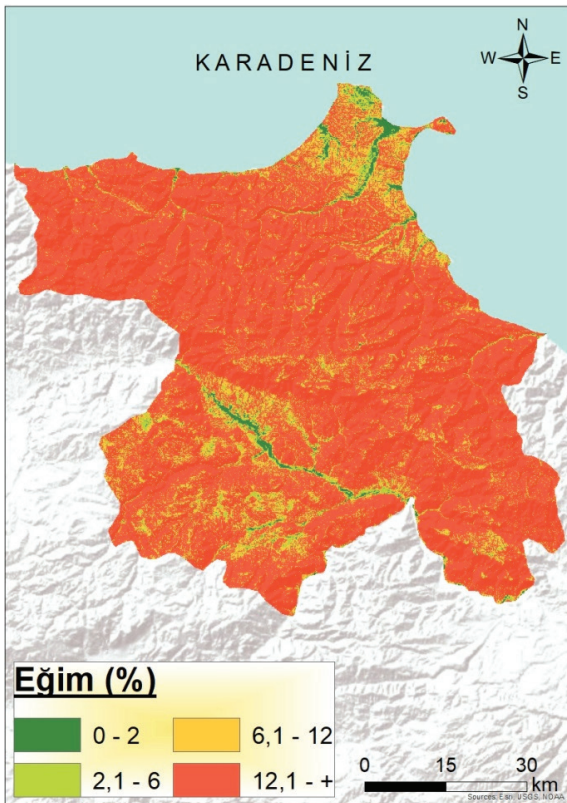
Çalışma alanının yükseltisi 0 metre deniz kenarından başlayarak yaklaşık 1860 m'ye çıkmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanının orta kesimindeki Kuzey Anadolu Dağları yer alır. Toplam ilin yaklaşık % 17'si (93406 ha) alanı eğimi %12'nin altında olan alanları oluşturmaktadır (Şekil 2). Yaklaşık % 83'ü ise (468794) eğim % 12'nin üzerindeki alanları kapsamaktadır. Çalışma alanının bakı durumuna baktığımızda ise yaklaşık % 13'ü batı, % 11'i doğu, % 37'lik kısmı ise kuzey yöndedir (Şekil 3).

Çalışma alanı içindeki 10 yıldan daha fazla verisi olan meteoroloji istasyonlarından yararlanılmıştır. Sinop merkez meteoroloji istasyonu verilerine göre uzun yıllık (1936-2018) ortalama sıcaklık 14.2 °C'dir. Uzun yıllık toplam yağış miktarı ise 686.6 mm'dir (MGM, 2019). Ayancık meteoroloji istasyonu verisine göre ortalama sıcaklık 13.1°C, toplam yağış 918.8 mm; Dikmen meteoroloji istasyonuna göre ortalama sıcaklık 12.9°C, toplam yağış 573.4 mm ve Boyabat meteoroloji istasyonu verilerine göre ortalama sıcaklık 13.2°C, toplam yağış 360.8 mm'dir. Kıyı kesiminde yazlar sıcak ve kışlar ılık bir iklim görülürken iç kesimlerde ise soğuk ve uzun kışlar geçmektedir.

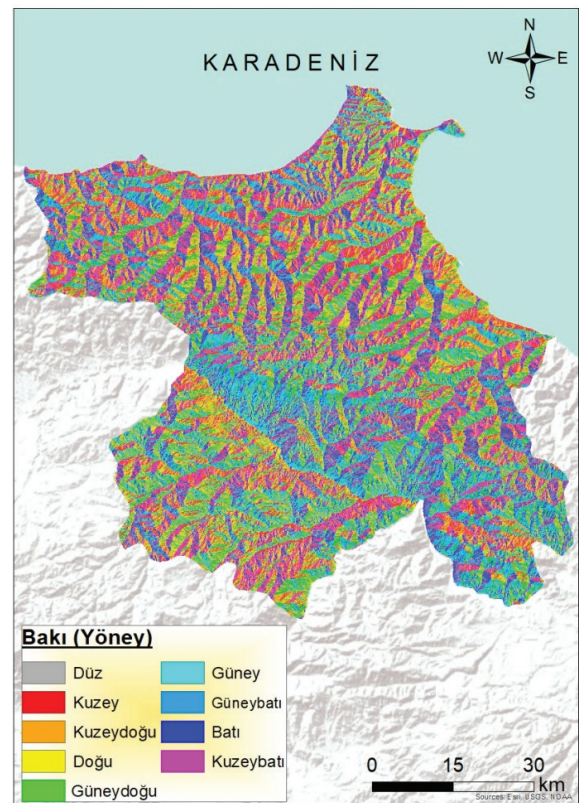
Sinop ilinin CORINE-2018 arazi kullanım arazi örtüsü sınıflaması Tablo 1'de ve Şekil 4' de verilmiştir. Çalışma alanının yaklaşık %60'ını orman, %20'sini ise tarım alanları oluşturmaktadır (Tablo 1). Çalışma alanının güney kesiminde ormanlar geniş alan kaplarken kuzeybatı kesiminde ise sulanmayan tarım alanları bulunmaktadır (Şekil 4). Çalışma alanının büyük toprak grubu dağılımı Şekil 5'de verilmiştir. Buna göre ise çalışma alanının büyük bir kısmını yaklaşık % 45'ini kahverengi orman toprakları kaplamaktadır (Tablo 2).



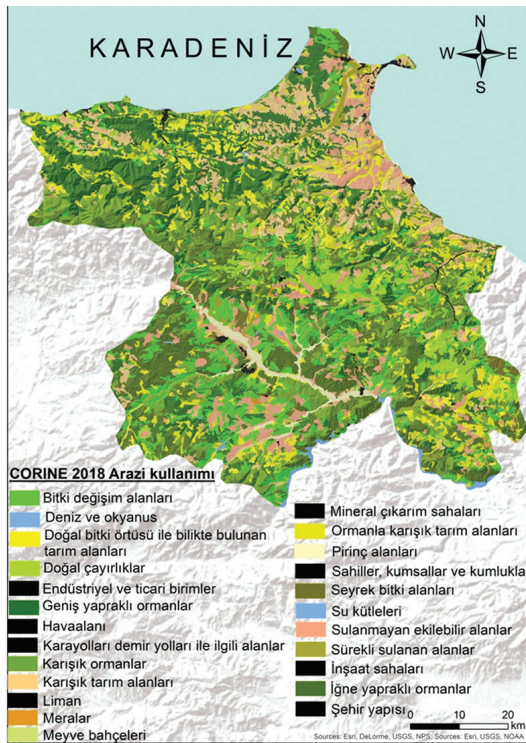
Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası.
Figure 1. Location map of the study area.



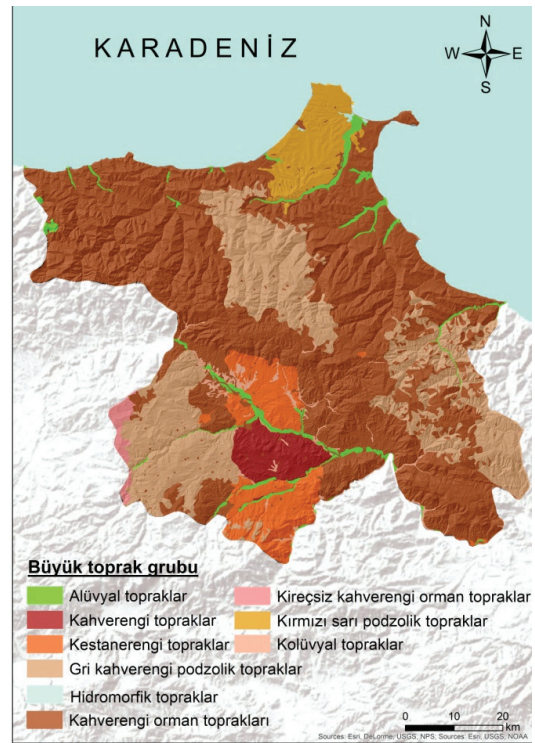
Şekil 2. Çalışma alanının eğim haritası.
Figure 2. Slope map of the study area.



Şekil 3. Çalışma alanının baki haritası.
Figure 3. Aspect map of the study area.



Şekil 4. Çalışma alanının CORINE-2018 arazi kullanım arazi örtüsü haritası.
Figure 4. CORINE-2018 land use land cover map of the study area.



Şekil 5. Çalışma alanının büyük toprak grupları haritası.
Figure 5. Large soil groups map of the study area.

Tablo 1. Sinop ili CORINE-2018 arazi kullanım arazi örtüsü sınıflaması.

Table 1. Sinine province CORINE-2018 land use land cover classification.

Arazi kullanımı	Ha	%	Arazi kullanımı	Ha	%
Şehir yapısı	2810	0,5	Karışık tarım alanları	31236	5,3
Endüstriyel ve ticari birimler	891	0,2	Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları	13673	2,3
Karayolları demir yolları ile ilgili alanlar	667	0,1	Ormanla karışık tarım alanları	101020	17,2
Liman	60	0,0	Geniş yapraklı ormanlar	122958	21,0
Havaalanı	97	0,0	İğne yapraklı ormanlar	95715	16,3
Mineral çıkarım sahaları	849	0,1	Karışık ormanlar	144669	24,7
İnşaat sahaları	572	0,1	Doğal çayırliklar	9841	1,7
Sulanmayan ekilebilir alanlar	13690	2,3	Bitki değişim alanları	22696	3,9
Sürekli sulanan alanlar	986	0,2	Sahiller, kumsallar ve kumluklar	1010	0,2
Pirinç alanları	9342	1,6	Seyrek bitki alanları	9627	1,6
Meyve bahçeleri	938	0,2	Tuz bataklığı	911	0,2
Meralar	1848	0,3	Suyolları	94	0,0

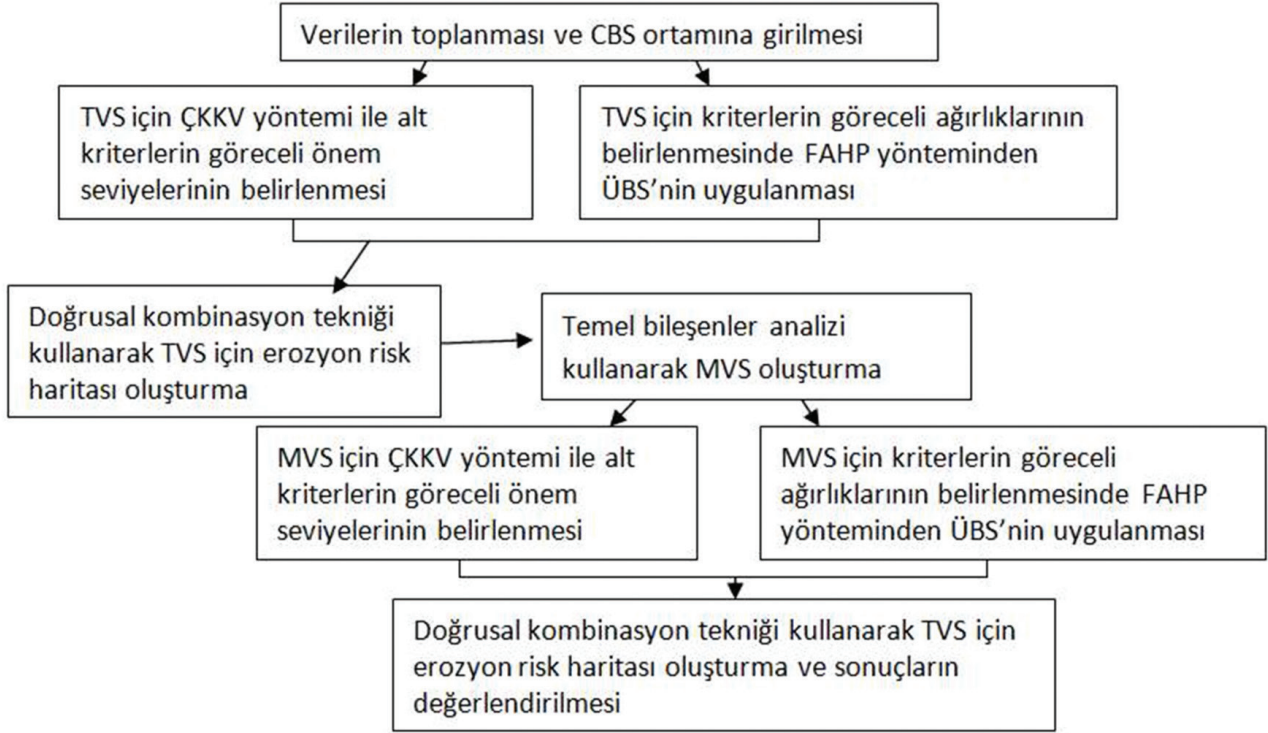
Tablo 2. Çalışma alanında dağılım gösteren büyük toprak gruplarının anlansal ve oransal dağılımları.

Table 2. Area and proportional distributions of large soil groups distributed in the study area.

Büyük Toprak Grubu	Ha	%
Alüvyal topraklar	55780	9,9
Kahverengi topraklar	45000	8,0
Kestanerengi topraklar	75680	13,5
Gri kahverengi podzolik topraklar	97430	17,3
hidromorfik topraklar	1780	0,3
Kolüvyal topraklar	5470	1,0
Kahverengi orman toprakları	274260	45,2
Kireçsiz kahverengi orman toprakları	4780	0,9
Kırmızı sarı podzolik topraklar	22020	3,9
Toplam	586200	100,0

3. Materyal ve Yöntem

Çalışma alanında kullanılan yöntemler Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre öncelikle erozyona etki eden parametreler belirlenmiş ve bu parametreler alt parametreler ayrılmıştır. Parametrelerin önceliklerinin belirlenmesinde BAHS yaklaşımı kullanılmıştır. Erozyon sınıfları oluştururken TVS için jeoloji, bitki örtüsü, arazi kullanımı, eğim, derinlik, yağış ve erodobilite parametreleri kullanılmıştır. Daha sonra MVS oluşturulmuştur. MVS oluşturmak için ise temel bileşenler analizinden faydalanılmıştır. MVS için bitki örtüsü, derinlik ve erodobilite parametreleri belirlenmiştir. TVS ve MVS için yapılan sonuç haritasında doğrusal kombinasyon yöntemi uygulanmış ve bu yöntem uygulanırken ArcGIS coğrafi bilgi sistemi programından yararlanılmıştır.



Şekil 6. Yöntemin akış şeması.
Figure 6. Flow chart of the method.

3.1. Değerlendirme Kriterleri

Erozyon duyarlılık haritaları oluşturulurken bitki örtüsü, kapalılık durumu, arazi kullanımı, yağış, eğim, derinlik, erodibilite, jeoloji olmak üzere toplam 7 faktörden oluşan toplam veri seti ele alınmıştır. Elde edilen toplam veri setinden parametreler için ayrı ayrı tematik haritalar oluşturulmuş, daha sonra doğrusal kombinasyon tekniği kullanılarak bindirme işlemi ile alana ait erozyon duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu işlem sonrasında ise temel bileşenler analizi yardımıyla minimum veri seti oluşturulmuştur (Doran ve Parkin, 1994; Qi vd., 2009; Nabiollahi vd., 2017). Analiz sonucunda öz değerleri 1'e eşit veya 1'den büyük olan gruplar faktör olarak kabul edilirken, kritik faktör yükü 0.5 olarak alınmıştır (Wander ve Bollero, 1999; Andrews vd., 2002). Her faktör için, yüksek faktör yüklerine sahip arazi

ve toprak değişkenlerinin en iyi temsil eden göstergeler olduğu ve en yüksek faktör yükünün % 10'unda mutlak değerlere sahip olduğu tanımlanmıştır (Sharma vd., 2005; Govaerts vd., 2006).

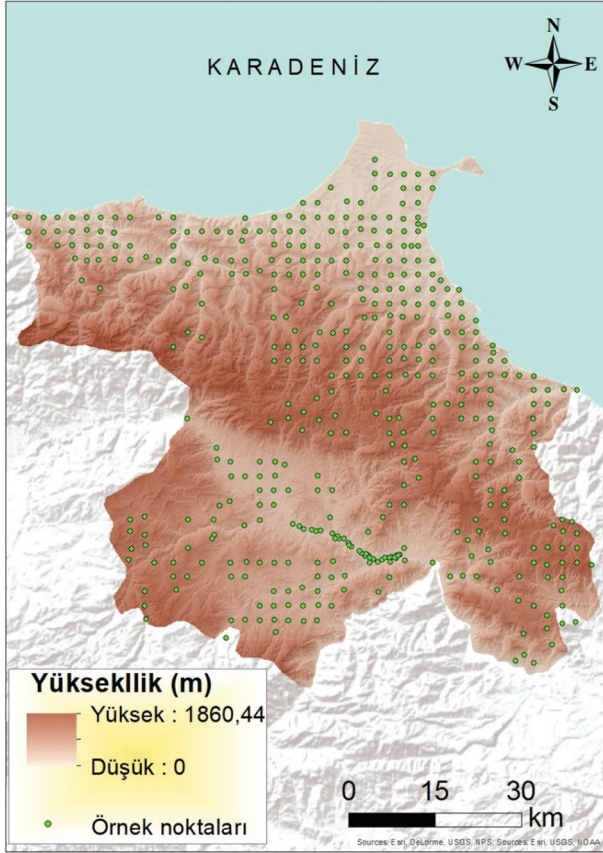
Toplam ve minimum veri seti için erozyon duyarlılık haritalarının oluşturulmasında ele alınan her bir parametre, alt parametrelere ayrılarak sınıflandırılmıştır. Ele alınan alt parametrelere ait sınıflar 1 ile 4 arasında ağırlık değerleri verilir. Bu sınıflara yönelik olarak verilen ağırlık değerleri, erozyona duyarlılık düzeyleri yüksek ise 4, erozyonun duyarlılık durumu az ise 1 değerini alır. 1 ile 4 arasında kalan değerler ise parametrelerin erozyonun karşı duyarlılık derecesine göre değişmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Erozyon duyarlılık sınıflarını oluşturulmasına yönelik ele alınan alt parametreler ve onlara ait ağırlık puanları.

Table 3. Sub-parameters addressed in forming erosion sensitivity classes and their weight scores.

Erodibilite (K)		Eğim (%)		Yağış		Derinlik (cm)	
Sınıf	Ağırlık Puanı	Sınıf	Ağırlık Puanı	Sınıf	Ağırlık Puanı	Ağırlık Puanı	Ağırlık Puanı
K1:0,00-0,05	1	0-2	1	<60	1	Derin: 90+	1
K2:0,05-0,10	2	2,1-6	2	60-90	2	Orta Derin: 50-90	2
K3:0,10-0,20	3	6,1-12	3	90-120	3	Sığ: 20-50	3
K4: 0,20+	4	12,1+	4	>120	4	Çok Sığ: 0-20	4
Arazi Kullanımı		Bitki Örtüsü Kaplama Oranı		Ana Materyal / Jeoloji			
Sınıf	Ağırlık Puanı	Sınıf	Ağırlık Puanı	Sınıf	Ağırlık Puanı		
Orman	1	<25	4	Çok sert kayalar	1		
Mera	3	25-50	3	İyi ayrılmış kalkerli kayalar	2		
Tarım	4	50-75	2	Kompakt silisli kayalar	3		
Tarım dışı	2	>75	1	Gevşek yapıda, az dayanıklı kayalar ve yumuşak formasyonlar	4		
				Killer, siltler, kumlar ve dördüncü zamana ait depozitler	4		

Erodobilité parametresi için çalışma alanı sınırları içerisinde tarım alanlarından çoğunlukla 2.5 x 2.5 km aralıklara sahip grit sistemine göre toplam 432 yüzey (0-20 cm) toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 7). Alınan toprak örneklerinden K parametresi hesaplanmıştır.



Şekil 7. Çalışma alanı toprak örnekleri haritası.

Figure 7. The study of soil samples map.

K faktörü, her bir noktasal toprak örneği için yapılan laboratuvar analizine dayalı olarak aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak belirlenmektedir (Wischmeier ve Smith, 1978):

$$K = 1/100 \{2.1 \times 10^{-4} \times (12-OM) \times [SI \times (SA+SI)]^{1.14} + 2.5 \times (PE-3) + 3.25 \times (ST-2)\}$$

K: $ta \ h \ ha^{-1} \ MJ \ mm^{-1}$, OM: Organik Madde, SI: Silt içeriği, SA: Kum içeriği, PE: Geçirgenlik, ST: Strüktür.

Toprak derinlik haritası oluşturulabilmesi amacıyla Sinop il arazi envanter raporundan (KHGM, 1984) yararlanılmıştır. Ayrıca araziden alınan toprak noktalarının derinlikleri belirlenmiştir. Noktasal özelliklere sahip olan K faktör ve toprak derinliğine ait konumsal dağılım haritaları yapmak için enterpolasyon yöntemlerinden IDW, RBF (Spline) deterministik yöntemler ile stokastik yöntemlerden de (temelde Kriging olarak da bilinmektedir) doğal (ordinary), evrensel (universal), basit (simple) kriging yöntemleri kullanılmıştır. En dağılım haritalarının oluşturulmasına yönelik olarak seçilecek en uygun semivariogram modelin belirlenmesine yönelik olarak ise yaygın kullanılan yöntemler; karekök ortalama hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), yöntemlerdir. Bu çalışma için RMSE seçilerek, enterpolasyonda kullanılan on beş yöntem karşılaştırılmıştır. En düşük karekök ortalama hata değerini veren yöntem, en uygun yöntem olarak değerlendirilecektir. Karekök ortalama hatanın hesaplanmasında ise şu yöntem kullanılmaktadır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Z_i - z_i)^2}{n}}$$

Z_i : tahmin edilen değer, Z_{i*} : ölçülen değer ve n örnek sayısını ifade etmektedir.

Yağış faktörünün belirlenmesinde Fournier İndeksi kullanılmıştır (Arnoldus, 1977). Çalışmada yağış parametresinin belirlenmesinde 1960-2019 yıllarına ait Sinop Meteoroloji İstasyonu'nun verileri kullanılmıştır (MGM, 2019). İndeksin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$FI = \sum_{i=1}^{12} \frac{Pi^2}{P}$$

Burada; FI: Fournier İndeksi, Pi: Ay içerisindeki toplam yağış (mm), P: Yıllık ortalama yağış miktarı.

1/25 000 ölçekli topografya haritalarından üretilen sayısal yükseklik modelinden eğim haritası yapılmış ve modelin değerine göre sınıflandırılmıştır. İlin CORINE-2018 arazi kullanım arazi örtüsü sınıflaması yapılmıştır.

3.2. Bulanık-AHS yaklaşımı

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Thomas L. Saaty (1977) tarafından çok kriterleri içeren karmaşık karar verme sorunlarını çözmek için geliştirilmiştir. AHS, karar teorisinde, nitel ve nicel faktörleri birleştirmeyi sağlayan zengin uygulamalara sahip güçlü ve anlaşılması kolay bir yöntemdir. Bununla birlikte, AHS yöntemi, uzmanın bilgisini alsa bile, insanlı düşünme biçimini tam olarak yansıtmamaktadır. Bu eksikliğin üstesinden gelmek için Bulanık AHS (BAHS) yöntemi önerilmiştir.

BAHS yöntemi, ilk olarak Zadeh (1965) tarafından tanımlanan bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Klasik küme teorisinde, bir eleman ya kümenin ögesidir ya da değildir. Bir eleman kısmen bir kümeye ait olamaz. Bulanık küme teorisi, düşük, sık, orta, düşük, yüksek vb. birçok dilsel değişkeni kullanarak derecelendirilmiş veri modellemesi gerçekleştirir. Bulanık kümeler üyelik işlevleri tarafından tanımlanır. $\mu_A(x)$ ile temsil edilen bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonu $[0, 1]$ aralığında değer alır. Eğer $\mu_A(x) = 1$ ise x sayısı kesinlikle kümenin elemanı, eğer $\mu_A(x) = 0$ ise x sayısı kesinlikle kümenin elemanı değildir. Bulanık sayılar, güven aralığı fikrinin genişlemesini temsil eden gerçek sayıların bulanık bir alt kümesidir (Hsieh vd., 2004). Konuya göre kullanılan çeşitli bulanık sayılar olmakla birlikte, ÇKKV çalışmalarında sıklıkla üçgenel veya yamuk bulanık sayılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada Üçgenel Bulanık Sayı (ÜBS) kullanılmaktadır. ÜBS, bulanık sayıların özel bir sınıfıdır. (l, m, u) ile tanımlanan \tilde{A} üçgen bulanık sayısında, l, u ve m ifadeleri sırası ile alt sınır, üst sınır ve olası değeri ifade eder. ÜBS'nin üyelik fonksiyonu Eşitlik (3)'de verilmiştir (Laarhoven and Pedrycz, 1983).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m, \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

Bilginin bulanık sayılar ile temsil edildiği durumlarda yapılacak aritmetik işlemlerin bulanık mantık aritmetiği kullanılarak yapılması gerekmektedir. $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ şeklinde verilen iki ÜBS için temel aritmetik işlemler aşağıda tanımlanmıştır.

Toplama işlemi: $\tilde{M}_1 \oplus \tilde{M}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$

Çarpma işlemi: $\tilde{M}_1 \otimes \tilde{M}_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2)$

Bölme işlemi: $\tilde{M}_1 / \tilde{M}_2 = (l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2)$

Çıkarma işlemi: $\tilde{M}_1 - \tilde{M}_2 = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2)$

Ters işlem: $\tilde{M}_1^{-1} = (1 / u_1, 1 / m_1, 1 / l_1)$

4. Bulgular ve Tartışma

Ele alınan erodobilite parametresi için hesaplanan K değeri ve toprak derinliğine ait konumsal dağılım haritalarını oluşturmak amacıyla 15 adet enterpolasyon modeli uygulanmış ve bu modellere ait RMSE değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4'e göre, en düşük RMSE değeri K faktörü için RBF'ye ait Completely Regularized Spline modeli; derinlik parametresi için ise Ordinary Kriging'e ait Exponential modeli uygun olarak belirlenmiş ve faktörlere ait dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 8). Buna göre alanın çalışma alanı topraklarının % 86'sı (506723 ha) erodobilite bakımından orta seviyede, % 51'i ise derinlik bakımından 2. sınıfa girerek 50-90 cm arasında değişen orta derinlikte olduğu belirlenmiştir (Tablo 5).

Tablo 4. Erodobilite ve derinlik parametresine ait uygulanan enterpolasyon modelleri ve RMSE değerleri.

Table 4. Interpolation models and RMSE values of erodibility and depth parameters.

	Inverse Distance Weighing-IDW			Radial Basis Function (RBF)					
	1	2	3	Thin Plate Spline	Completely Regularized Spline			Spline With Tension	
Erodobilite	0.036	0.036	0.037	0.041	0.036			0.036	
Toprak derinliği	0.814	0.821	0.841	0.965	0.806			0.806	
	Kriging								
	Ordinary			Simple			Universal		
	Gaussian	Exponential	Spherical	Gaussian	Exponential	Spherical	Gaussian	Exponential	Spherical
Erodobilite	0.037	0.036	0.036	0.036	0.035	0.036	0.037	0.036	0.036
Toprak derinliği	0.817	0.804	0.805	0.813	0.808	0.805	0.817	0.804	0.805

Inverse Distance Weighing: Ters mesafe ağırlıklandırma, Radial Basis Function: Radyal Tabanlı Fonksiyon, Ordinary: Doğal, Simple: Basit, Universal: Evrensel, Exponential: Üssel, Spherical: Küresel

Literatürde birçok yazar tarafından önerilen çeşitli BAHS yaklaşımları bulunmaktadır (Laarhoven ve Pedrycz, 1983; Buckley, 1985; Chang, 1996; Cheng, 1997; Deng, 1999). Bu çalışmada, parametre ağırlıklarını hesaplamak için Buckley (1985) tarafından önerilen geometrik ortalama yöntemini temel alan, Sun (2010) tarafından önerilen beş adımlı yöntem kullanılmıştır. Yöntemin adımları, uygulama bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmakla birlikte aşağıda özet olarak verilmiştir:

1. Karar vericilerin görüşlerine göre ikili karşılaştırma matrisi A elde edilir.
2. A matrisindeki dilsel ifadeler ÜBS'ye dönüştürülür.
3. \tilde{W}_i ile ifade edilen bulanık ağırlıkları hesaplamak için öncelikle her satırın geometrik ortalaması \tilde{r}_i değerleri hesaplanır.
4. Satırların geometrik ortalaması hesaplandıktan sonra, \tilde{W}_i bulanık ağırlıkları hesaplanır.
5. Son olarak, ÜBS'lerden oluşan ağırlıklar durulaştırılır.

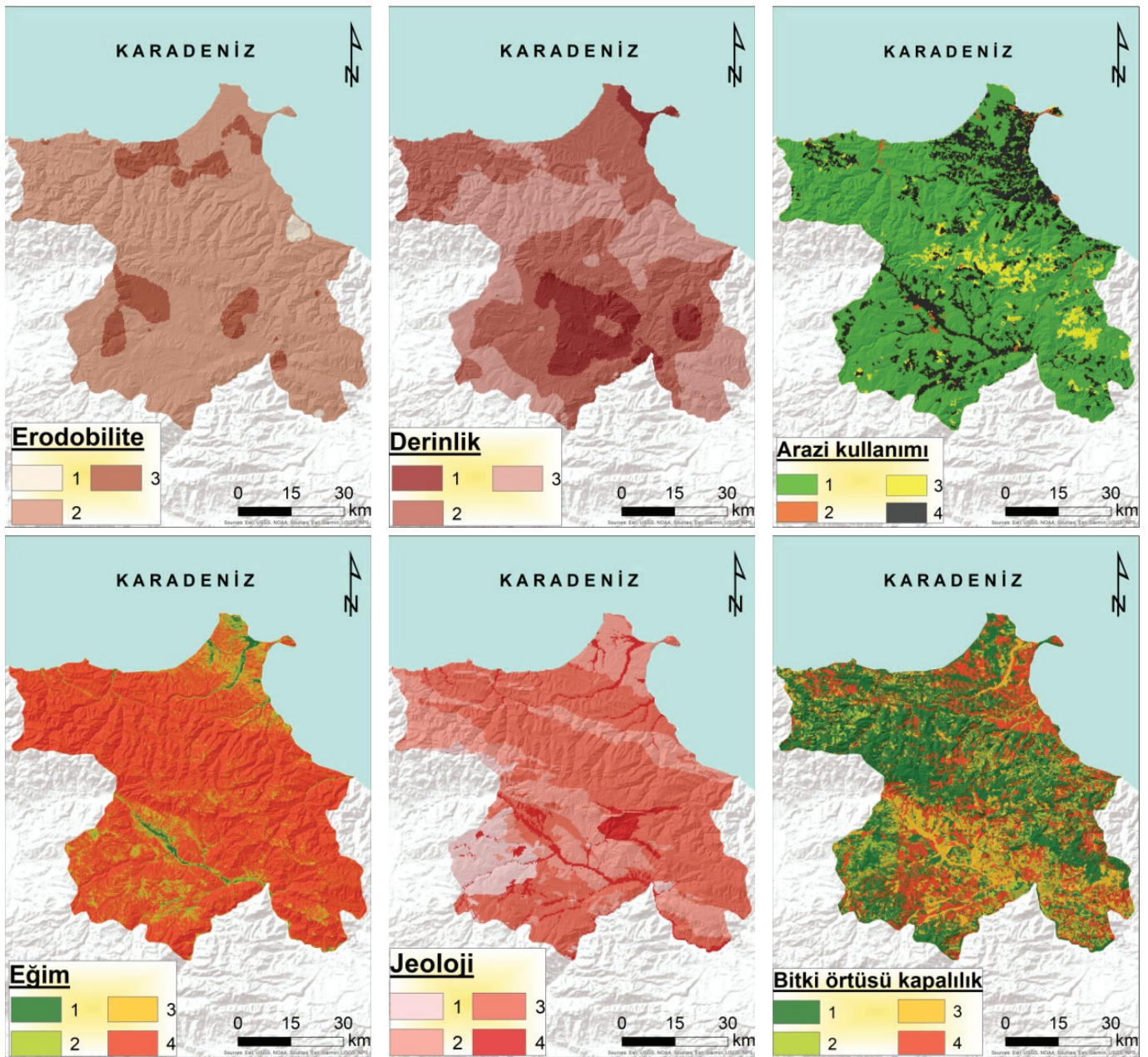
Kriterlerin ve alt kriterlere ait önceliklerin belirlenmesinde AHS tekniği kullanılmış, 4 sınıftan oluşan erozyon duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde ise doğrusal kombinasyon tekniğinden yararlanılmıştır. Bu tekniğe ait matematiksel eşitlik şu şekildedir:

$$S = \sum_{i=1}^n (W_i \cdot X_i)$$

Burada; S: Toplam erozyon duyarlılık puanı, W_i : i parametrenin ağırlık değeri, X_i : i parametresine ait alt kriter puanı, n = ele alınan parametrelerin toplam sayısıdır.

Erozyona etki eden alt parametrelerin mekânsal ve oransal dağılımları Şekil 8 ve Tablo 5'de verilmiştir. Buna göre arazi kullanım açısından değerlendirildiğinde, çalışma alanının yaklaşık % 76'sı (444602 ha) ormanlık alanlara denk gelmektedir. Erozyonu tetikleyici en önemli faktörlerden olan eğim bakımından çalışma alanı değerlendirildiğinde ise alanının yaklaşık 555680 ha'lık alanın (% 95) genel olarak yüksek eğim yüzdesine sahip olup, erozyon olma ihtimali yüksek olan 4. sınıf içerisinde. Jeolojik özellikler bakımından çalışma alanının % 9'u düşük, yaklaşık % 60'ı yüksek ve çok yüksek erozyon olma ihtimali olan jeolojik sınıf içerisinde (Tablo 5). Çalışma alanı Karadeniz Bölgesi'nde olması dolayısıyla yağışın etkisi nedeniyle vejetasyona yönelik olan kapalılık parametresi için yaklaşık % 60'lık bir alan düşük ve orta seviyede erozyon olma ihtimalini göstermektedir. Yağış faktörü için Sinop merkez meteoroloji verisi esas alınarak hesaplama yapılmıştır. Diğer ilçelerdeki verilerin uzun yıllık veri olmaması ve var olan verilerinde enterpolasyon yapmaya yeterli olmamasından dolayı bir istasyon verileri kullanılmıştır. Buna göre FI değeri 64.92 ile 2. Sınıf içerisine dahil edilmektedir (Tablo 3).

Ayrı ayrı elde edilen bütün parametreler çok kriterli karar verme analizi yaklaşımı ile değerlendirilerek erozyon duyarlılık haritası üretilmiştir. Ayrıca, erozyon duyarlılık alanlarının belirlenmesinde toplam ve minimum veri seti için kullanılan parametrelerin göreceli ağırlıklarının belirlenmesinde ise BAHS yaklaşımı kullanılmıştır. Toplam veri seti için 7 ve minimum veri seti için 3 parametre belirlenmiştir. Karar vericilerin değerlendirmesi sonucu toplam veri seti ve minimum veri seti için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri sırası ile Tablo 6 ve



Şekil 8. Erozyona etki eden parametrelerin dağılım haritaları.

Figure 8. Distribution maps of parameters affecting erosion.

Tablo 5. Çalışma alanında erozyona etki eden kriterlerin indeks sınıflarının alansal ve oransal dağılımı.

Table 5. Area and proportional distribution of index classes of the criteria that affect erosion in the study area.

Toprak derinliği	Alan		Erodebilite	Alan		Arazi kullanımı	Alan	
	ha	%		ha	%		ha	%
1	84000	14	1	5355	1	1	444602	76
2	296800	51	2	506723	86	2	6800	1
3	205400	35	3	74122	13	3	32948	6
						4	101850	17
Total	586200	100					586200	100

Eğim	Alan		Jeoloji	Alan		Bitki örtüsü kapallılık	Alan	
	ha	%		ha	%		ha	%
1	5812	1	1	50620	9	1	290279	50
2	10138	2	2	184190	31	2	58379	10
3	14570	2	3	306420	52	3	92068	16
4	555680	95	4	44970	8	4	145475	25
Total	586200	100		586200	100		586200	100

Tablo 6. Toplam veri seti parametreleri için ikili karşılaştırma matrisi.**Table 6.** Pairwise comparison matrix for total data set parameters.

	Erodobility	Eğim	Arazi kullanımı	Bitki örtüsü	Jeoloji	Derinlik	Yağış
Erodobility	1	1/3	1/5	1/5	2	1/3	1/2
Eğim	3	1	1/2	1/3	3	3	3
Arazi kullanımı	5	2	1	1/2	3	3	3
Bitki örtüsü	5	3	2	1	2	3	3
Jeoloji	1/2	1/3	1/3	1/2	1	1/3	1/3
Derinlik	3	1/3	1/3	1/3	3	1	1/3
Yağış	2	1/3	1/3	1/3	3	3	1

Tablo 7'de yer almaktadır. BAHS yönteminin işlem adımları oldukça uzun olması nedeniyle, uygulama aşamaları minimum veri seti için oluşturulan ikili karşılaştırmalar üzerinden verilmiştir.

Tablo 7. Minimum veri seti parametreleri için ikili karşılaştırma matrisi.**Table 7.** Pairwise comparison matrix for minimum data set parameters.

	Erodobilité	Eğim	Bitki örtüsü
Erodobilité	1	1/3	1/3
Eğim	3	1	1/2
Bitki örtüsü	3	2	1

İkili karşılaştırmalar yapıldıktan sonra dilsel terimler, Gümüş (2009) tarafından tanımlanan Tablo 8'de verilen ölçek kullanılarak ÜBS'lere dönüştürülmüştür (Tablo 8).

Tablo 8. Üçgen bulanık dönüşüm ölçeği.**Table 8.** Triangular fuzzy transformation scale.

Rakamsal değer	Dilsel ifade	Üçgen bulanık sayı	Karşılık üçgen bulanık sayı
1	Eşit	(1,1,1)	(1,1,1)
2	Zayıf üstünlük	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)
3	Fena değil	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
4	Tercih edilir	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
5	İyi	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
6	Oldukça iyi	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
7	Çok iyi	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)
8	Mutlak	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)
9	Mükemmel	(8,9,10)	(1/10,1/9,1/8)

Tablo 9. Minimum veri seti için ÜBS'ye dönüştürülmüş için ikili karşılaştırma matrisi.**Table 9.** Pairwise comparison matrix for converted to TFT for minimum data set.

	Erodobilité	Eğim	Bitki örtüsü
Erodobilité	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)
Eğim	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)
Bitki örtüsü	(2,3,4)	(1,2,3)	(1,1,1)

Her bir parametrenin bulanık geometrik ortalamasını ve bulanık ağırlığını hesaplamak için Buckley(1985) tarafından sunulan geometrik ortalama tekniği kullanılmıştır. Burada geometrik ortalamanın hesaplanmasında $\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{1/n}$ formülü kullanılmıştır. Örneğin \tilde{r}_i için:

$$\tilde{r}_i = (1 \times 1/4 \times 1/4)^{1/3} \cdot (1 \times 1/3 \times 1/3)^{1/3} \cdot (1 \times 1/2 \times 1/2)^{1/3} = (0.397, 0.481, 0.630)$$

Benzer şekilde diğer \tilde{r}_i değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\tilde{r}_2 = (0.874, 1.145, 1.587), \tilde{r}_3 = (1.260, 1.817, 2.289)$$

Daha sonra bulanık ağırlıklı ortalamasının hesaplanmasında $\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1}$ formülü kullanılmıştır. Örneğin \tilde{w}_1 için:

$$\tilde{w}_1 = (0.397, 0.481, 0.630) \otimes (1) / (0.630 + 1.587 + 2.289), \\ 1 / (0.481 + 1.145 + 1.817), 1 / (0.397 + 0.874 + 1.260)) \\ = (0.088, 0.140, 0.249)$$

Benzer şekilde diğer \tilde{w}_i değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\tilde{w}_2 = (0.194, 0.333, 0.627), \tilde{w}_3 = (0.280, 0.528, 0.905).$$

Hesaplanan parametre ağırlıkları birer ÜBS'dir. ÜBS'lerin gerçek sayılara dönüştürülmesi için yapılan matematiksel hesaplamaya durulaştırma denir. Literatürde farklı durulaştırma yöntemleri bulunmaktadır (Patel ve Mohan, 2002). Bu çalışmada kolay olması nedeni ile literatürde sıklıkla tercih edilen yöntemlerden birisi olan Alan Merkezi (Center of Area - COA) yöntemi kullanılmıştır. \tilde{w}_i bulanık sayısının En İyi Gerçek Sayı Değeri (Best Non-fuzzy Performance Value - BNP), $BNP_i = lw_i + \frac{(uw_i - lw_i) + (mw_i - lw_i)}{3}$ formülü kullanılarak elde edilir. Örneğin BNP_i için:

$$BNP_1 = 0.088 + \frac{(0.249 - 0.088) + (0.140 - 0.088)}{3} = 0.159$$

Tüm parametreler için BNP değerlerinin hesaplanmasından sonra normalleştirme gerçekleştirilmiştir. Tüm işlem adımları toplam veri seti için de uygulanarak parametre ağırlıkları hesaplanmıştır. Toplam ve minimum veri setinde kullanılan parametrelerin ağırlıkları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Toplam ve minimum veri seti için erozyon duyarlılık alanlarının belirlenmesinde kullanılan parametrelerin ağırlık değerleri.**Table 10.** Weight values of parameters used in determining erosion sensitivity areas for total and minimum data set.

Kriter	TVS için Ağırlık	Kriter	MVS için Ağırlık
Erodobilité	0.056	Erodobilité	0.143
Eğim	0.173	Eğim	0.345
Arazi Kullanımı	0.237	Bitki örtüsü	0.512
Bitki örtüsü	0.280		
Jeoloji	0.056		
Derinlik	0.087		
Yağış	0.112		

TVS: Toplam veri seti, MVS: Minimum veri seti

Tablo 10'da görüldüğü gibi 0.280 ağırlık değeri ile bitki örtüsü kapallılık parametresi en yüksek ağırlığa sahip iken bunu arazi kullanımı ve eğim kriterleri izlemektedir. Bu durum arazi eğimli olsa dahi, üzerinde toprağı koruyucu bir örtü katmanı olması toprağın erozyona uğrama olasılığını en az düzeye indirgeyebilmesiyle açıklanabilir. İmamoğlu ve ark (2014) Corine yöntemi kullanarak Samsun Engiz Havzasında erozyon risk değerlendirme çalışmalarında potansiyel erozyon sonucuna göre havzanın yarısı (%51) yüksek erozyon risk seviyesinde iken bitki örtüsü faktörü ile birleştirilmesi sonucu elde edilen güncel erozyon risk durumunda yüksek erozyon düzeyi %5'e inmiş olduğunu belirlemişlerdir. En düşük ağırlık değeri ise 0.056 ile erodobilite ve jeolojik özelliklerdir.

Minimum veri seti oluşturmak için temel bileşenler analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda öz değerleri 1'e eşit veya 1'den büyük olan gruplar faktör olarak kabul edilmiştir. Özdeğerleri 1'den büyük olan 3 faktör belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, toplam değişimin % 76.26'sı bu faktörler tarafından açıklanmaktadır (Tablo 11). Tek bir faktör altında birden fazla gösterge yüksek yükte olduğunda minimum veri seti için korelasyon katsayısına bakılır (Andrews vd., 2002). Kendi aralarında iyi korelasyon olan değişkenler gereksiz kabul edilir ve minimum veri seti için bir tanesi ele alınır. Bu çalışmada da faktörler için yükler seçilirken aralarındaki korelasyonlara da bakılmıştır (Tablo 12). Varimax dönüştürmesinden sonra 1. faktör için eğim yüksek yüklerle sahiptir. Bitki örtüsü kapallılık, faktör 2 için, Ero-dobilite ise faktör 3 için en yüksek yüke sahip özellik olmuştur. Benzer şekilde Güney ve Turoğlu (2018) yapmış oldukları erozyon duyarlılık çalışmalarında çok ölçütlü kara verme analizinden olan AHS yöntemini kullanmışlar ve en yüksek ağırlık değerleri arasında aşındırıcı güç ve bitki örtüsü olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 12. Parametrelerin korelasyon matrisi.

Table 12. Correlation matrix of parameters.

	Jeoloji	Bitki	Arazi kullanımı	K	Eğim	Derinlik	Yağış
jeoloji	1.000						
Bitki	-0,014	1.000					
Arazi kullanımı	0,202**	-0,280**	1.000				
Erodobilite	0,031	0,000	-0,049	1.000			
Eğim	-0,339**	0,020	-0,379**	-0,034	1.000		
Derinlik	,233**	-,039	0,290**	0,081	-0,373**	1.000	
Yağış	0,100*	0,078	-0,086	0,014	-0,081	0,036	1.000

*: p<0.05 düzeyinde önemlilik, **: p<0.01 düzeyinde önemlilik

Tablo 13. Toplam ve minimum veri setine göre erozyon riski için alansal ve oransal dağılımları.

Table 13. Area and proportional distributions for erosion risk by total and minimum data set

Sınıf	Toplam Veri Seti		Minimum Veri Seti	
	Alan (ha)	Oran (%)	Alan (ha)	Oran (%)
Düşük	208436	36	205713	35
Orta	181409	31	191474	33
Yüksek	131816	22	120501	21
Çok yüksek	64539	11	68512	12
Toplam	586200	100	586200	100

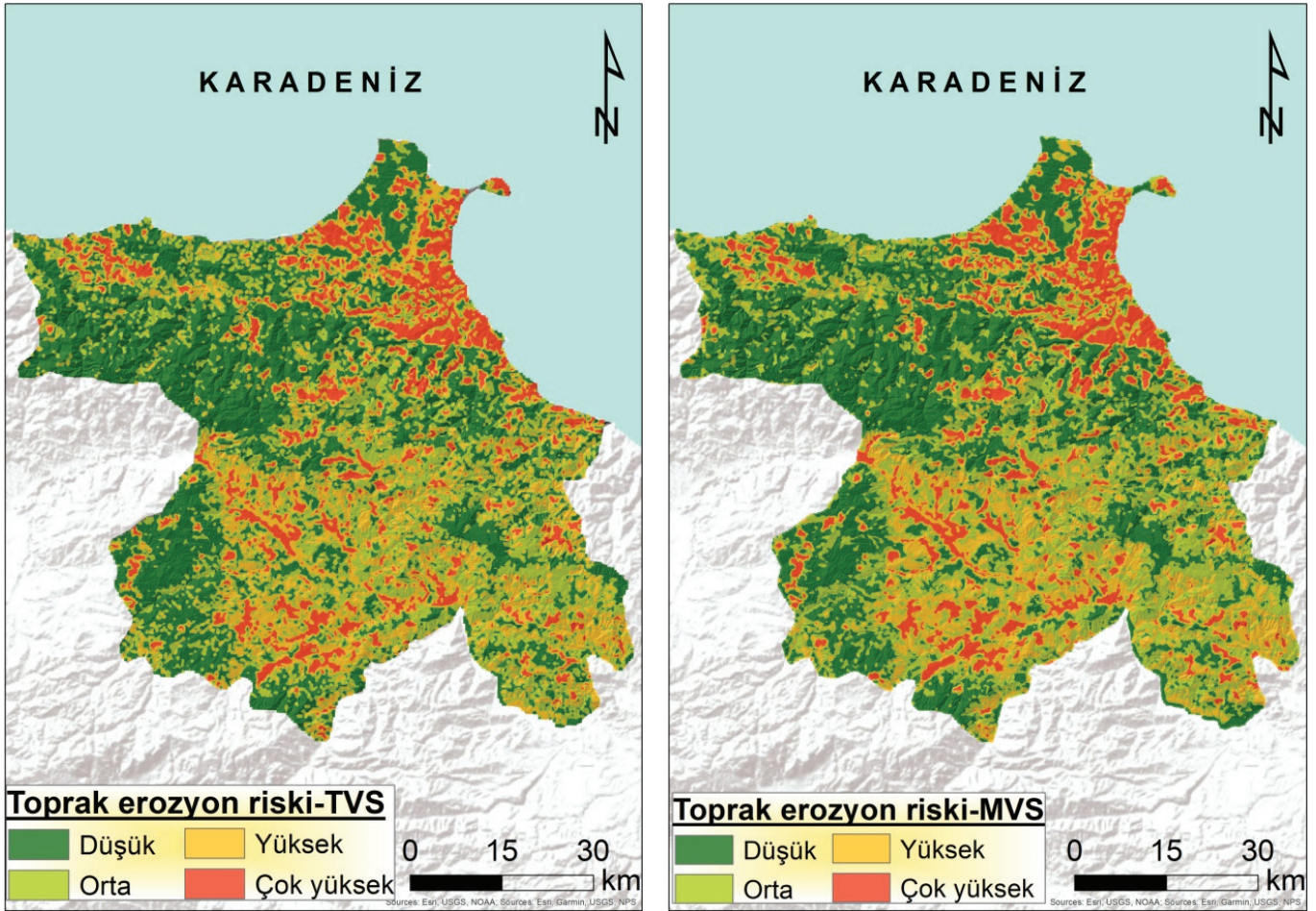
Tablo 11. Temel bileşenlere ait sonuç istatistikleri.

Table 11. Results statistics of the principal component analysis.

Temel Bileşenler	1	2	3
Öz değerler	1.19	1.80	1.65
Yüzde	38.13	17.45	14.54
Kümülatif yüzde	29.13	46.59	76.26
Öz vektörler			
Jeoloji	0,654	0,089	-0,127
Bitki	-0,141	0,700	0,019
Arazi kullanımı	0,542	-0,560	-0,154
Eğim	-0,805	0,018	-0,051
Derinlik	0,712	-0,085	0,169
Yağış	0,284	0,648	-0,084
Erodobilite	0,040	0,002	0,974

Kalın faktör yükleri minimum veri seti için seçilmiş faktör yükleridir.

Faktörlere ait tüm katmanlar birleştirilirken BAHS yöntemi sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Doğrusal kombinasyon yöntemi uygulanırken ArcGIS yazılımında yer alan Spatial Analyst aracı kullanılmıştır. Erozyon duyarlılık sınıfları belirlenmiş alansal ve oransal dağılımları Şekil 9 ve Tablo 13'de verilmiştir. Buna göre Sinop ilinin arazi varlığı içerisinde erozyona karşı duyarlılık bakımından % 33'ü yüksek ve çok yüksek iken %36'sı düşük seviyede belirlenmiştir. Çalışma alanında özellikle bitki örtüsü bakımından zayıf, özellikle tarımsal uygulamaların yapıldığı ve eğim değerlerinin yüksek olduğu alanlar erozyon bakımından duyarlı alanlar olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, minimum veri setine göre elde edilen parametrelerle doğrusal kombinasyon tekniği yapılarak erozyon risk



Şekil 9. Toplam ve minimum veri seti ile hazırlanmış erozyon duyarlılık haritaları.

Figure 9. Erosion susceptibility maps prepared with total and minimum data sets.

dağılım haritası üretilmiştir (Şekil 9). Buna göre toplam veri seti ile aralarında çok küçük değişiklikler mevcuttur. Çalışma alanının % 12'si çok yüksek, % 35'inde düşük erozyon riski görülmektedir (Tablo 13).

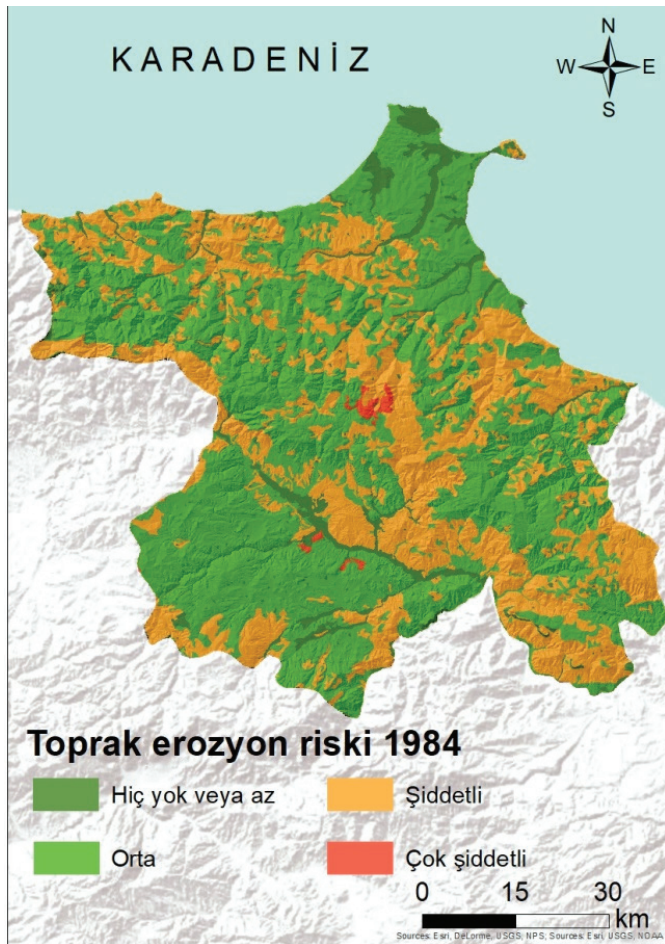
Erozyon risk haritası oluştururken TVS için jeoloji, bitki örtüsü, arazi kullanımı, erodobilite, eğim derinlik ve yağış verileri kullanılmış. Bu parametrelerden saha üzerinde en çok etki eden parametre arazi kullanımı, eğim ve bitki örtüsü olarak bulunmuştur. MVS oluşturulduğunda da buradaki etki değeri yüksek olan eğim ve bitki örtüsü parametresi ve erodobilite parametresi tespit edilmiştir. Birbirleri ile uyumlu olan bu parametreler sonucunda TVS ve MVS haritaların arasında benzerlik çıkmaktadır.

5. Sonuç

Bu çalışma ile Sinop iline ait dağılım gösteren arazilerin erozyon duyarlılığının belirlenmesine yönelik etki eden parametrelerin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan BAHS ve Doğrusal Kombinasyon tekniğinden yararlanılmıştır. Çok kriterli karar verme tekniği, karmaşık alternatif seçim problemlerini çözmek için güçlü bir araçtır. Ayrıca, günümüzün ileri teknolojilerinden biri olarak kabul edilen CBS tekniklerini kullanmak, özellikle geniş alanlara ait büyük miktarda veri ve bilgiyi kısa sürede depolamak ve farklı hari-

talar üretmek için olanak sağlamakta olduğu bu çalışmayla da ortaya konulmuştur. Bununla birlikte bir çok erozyon duyarlılık çalışmalarında kullanılan çok sayıda veri elde edilmesinde karşılaşılan zorluklar nedeniyle etkili verilerin neler olabileceğine dair yaklaşımların geliştirilmesi günümüzde güncel konular içerisinde yer aldığı görülmektedir. Yapılan bu çalışma ile de Sinop ili arazilerinin güncel erozyon duyarlılık haritasının oluşturulmasında öncelikli olarak toplam veri seti elde edilmesinin yanı sıra temel etkili parametrelerin hangileri olduğunu ortaya koyabilmek için temel bileşenler analizine başvurulmuş ve minimum veri seti belirlenmiştir. Toplam veri setinden ve minimum veri setinden ayrı ayrı erozyon risk haritaları yapılarak karşılaştırılması yapılmış ve elde edilen değerler birbirlerine oldukça yakın değerler elde edildiği belirlenmiştir. Özellikle bitki örtüsünün zayıf olduğu ve eğimin yüksek olduğu alanlar, tarım alanlarının ve zayıf mera alanlarında erozyona karşı çok yüksek olduğu tespit edilmiştir.

	ha	%
Hiç yok veya az	24012	4,1
Orta	345416	58,9
Şiddetli	214122	36,5
Çok şiddetli	2650	0,5
Toplam	586200	100,0



Şekil 10. Çalışma alanının 1984 yılı arazi envanter raporuna göre erozyon haritası.

Figure 10. Erosion map of the study area according to the 1984 land inventory report.

Çalışma alanının elde edilen sonuçları 1984 yılında yayınlanmış Sinop il arazi envanter raporu ile karşılaştırılmıştır (Şekil 10). Sinop ili arazi envanter raporuna göre çalışma alanının % 0,5'i (2650 ha) çok yüksek erozyon sınıfı içerisinde. % 58,4'ü ise orta sınıf erozyon riskindedir. Güncel verilerle hazırlanan çalışmadaki erozyon risk durumu ile karşılaştığımızda çok şiddetli erozyon sınıfının alan ve oranının arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda 1984 yılındaki envanter raporuna göre çalışma alanının % 66,9'u orman alanı iken bu alanlar CORINE 2018'e göre % 62'dir. Ayrıca tarım alanları 1984 yılı verilerine göre % 9,6'sı tarım alanı iken bu oran % 11,9'a çıkmıştır (KHGM,1984). Orman alanlarının tarım alanlarına açılması araziye uygun kullanılmaması erozyon riskinin arttıran diğer bir sebeptir. Burada da insan etkisi ile arazideki değişim ve bozulmanın erozyonu ne kadar şiddetlendirdiğini söylemek mümkündür. 1984 yılı verileri sadece arazi kullanımı ve topografya ele alınarak yapılmıştır. Ancak çalışmada elde edilen haritalar hem güncel toprak hem de güncel arazi, topografya verileri ışığında elde edilmesi verilerin doğruluğunu daha da arttırmaktadır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlarla Sinop ili güncel erozyon duyarlılık haritası üzerinde duyarlılık sınıflarının mekansal dağılımında patter göz önüne alınarak, karar vericilere, yerel uygulayıcılara çalışma alanında kapsamlı yönetim ve sürdürülebilir arazi kullanımı için bir temel sağlayabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Mitchell, J.P. (2002). A comparison of soil quality indices methods for vegetable production system in northern California. *Agricultural Ecosystems Environmental*, 90, 25-45.
- 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.
- Atlas, M., Bedirhanoğlu Bayazit, Ş. (2018). Bulanık Küme Yaklaşımlarının Sınıflandırılması, 19. *Uluslararası Eyi Sempozyumu Tam Metin Bildiri Kitabı*.
- Bayramin, İ., Dengiz, O., Başkan, O., Parlak, M. (2003). Soil Erosion Risk Assessment With ICONA Model; Case Study: Bepazarı Area. *Turkish Journal of Agriculture And Forestry*, 27, 105-116.
- Bayramin, İ., Erpul, G., Erdoğan, H. E. (2006). Use of CORINE Methodology To Assess Soil Erosion Risk In The Semi-Arid Area of Bepazarı. *Ankara, Turkish Journal Of Agriculture And Forestry* 30, 81-100.
- Buckley, J J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets And Systems*, 17(3):233-247.
- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal Of Operational Research*, 95(3):649-655.
- Cheng, C. H. (1997). Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function. *European Journal of Operational Research*, 96(2), 343-350.
- Danacioğlu, Ş., Tağil, Ş. (2017). Bakırçay Havzası'nda Rusle Modeli Kullanarak Erozyon Riskinin Değerlendirmesi. *Balikesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 20 - Sayı: 37.
- Demirağ Turan, İ., Dengiz, O. (2017). Çok Kriterli Değerlendirme ile Ankara Güvenç Havzası'nda Erozyon Risk Tahminlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 23(3), 285-297.
- Deng, H. (1999). Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison, In *Fuzzy Systems Conference Proceedings. IEEE International 2:726-731*.
- Dengiz, O., Akgül, S. (2005). Soil Erosion Risk Assessment of the Gölbaşı Environmental Protection Area and Its Vicinity Using the CORINE Model. *Turkish Journal of Agriculture And Forestry* 29, 439-448.
- Doran, J.W.& Parkin, B.T. (1994). *Defining and assessing soil quality. In Doran, JW, Coleman, DC, Bezdicek, DF and Stewart, BA (Eds) 'Defining Soil Quality for a Sustainable Environment'*. Soil Science Society of America Special Publication No 35, Madison, WI., pp. 3-21.
- Entezari, M., Honarmandnezhad, S., Shahzeidi, S. S., Nematolahi, F. (2013). Use of Modified CORINE Methodology for Comparison, Potential Soil Erosion and Actual Soil Erosion in the Basin Watershed- Jahrom, Fars, Iran. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3(3)183-188.
- Erdogan, E. H., Erpul G., Bayramin, İ. (2007). Use of USLE/GIS Methodology for Predicting Soil Loss in a Semiarid Agricultural Watershed. *Environmental Monitoring Assessment*, 131:153-161.
- Govaerts, B., Sayre, K.D., Deckers, J. (2006). A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil & Tillage Research*, 87: 163-174.
- Gümüş, A. T. (2009). Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology. *Expert systems with applications*, 36(2), 4067-4074.
- Güney, Y., Turoğlu, H. (2018). Çok Ölçütlü Karar Analizi İle Erozyon Duyarlılık Çalışmalarında Erozyon Yüzeyleri Envanter Verisinin Kullanımı: Selendi Çayı Havzası Örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16 (1), 105-119.
- Haidara, I., Tahri, M., Maanan, M., Hakdaoui, M. (2019). Efficiency of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to detect soil erosion vulnerability. *Geoderma* 354, 113853.

- İmamoğlu, A., Turan Demirağ, İ., Dengiz, O., Saygın, F. (2014). Soil Erosion Risk Evaluation: Application of Corine Methodology at Engiz Watershed, Samsun. *Current Advances in Environmental Science*, 2 (1); 15-21.
- Karabulut, M., Küçükönder, M. (2008). Kahramanmaraş Ovası ve Çevresinde CBS Kullanılarak Erozyon Alanlarının Tespiti. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(2), 14-22.
- Kızılelma, Y., Karabulut, M. (2014). Mut Havzasında Erozyona Duyarlı Alanların Belirlenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt: 7 Sayı: 31.
- KHGM, 1984. Sinop İli Arazi Varlığı. T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Laarhoven, P.J.M., Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems* 11 (3): 229–241.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). 2019. Sinop ili meteoroloji bülteni.
- Nabiollahi, K., Taghizadeh-Mehrjardi R., Kerry, R., Moradian, S. (2017). Assessment of soil quality indices for salt-affected agricultural land in Kurdistan Province, Iran. *Ecological Indicators*, 83, 482-494.
- Okou, A.Y.F., Tente, B., Bachmann, Y., Sinsin, B. (2016). Regional erosion risk mapping for decision support: A case study from West Africa. *Land use Policy* 56, 27-37.
- Özşahin, E. (2014). Tekirdağ İlinde CBS Tabanlı RUSLE Modeli kullanarak Erozyon Risk Değerlendirmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11 (3).
- Patel, A. V., Mohan, B. M. (2002). Some numerical aspects of center of area defuzzification method, *Fuzzy sets and systems*, 132(3), 401-409.
- Qi, Y., Darilek, J.L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149, 325-334.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- Sharma, K.L., Mandal, U.K., Srinivas, K., Vittal, K.P.R., Mandal, B., Grace, J.K., Ramesh, V. (2005). Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil & Tillage Research*, 83, 246–259.
- Shukla, M.K., Lal, R., Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil & Tillage Research*, 87, 194–204.
- Sun, C. C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7745-7754.
- Sönmez, M.E., Çelik, M.A. ve Seven, M. (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yardımıyla Kilis Merkez İlçesinin Erozyon Risk Alanlarının Belirlenmesi, *KSÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 10 (1).
- Tağıl, Ş. (2007). Tuzla Çayı Havzasında (Biga Yarımadası) CBS-Tabanlı RUSLE Modeli Kullanarak Arazi Degradasyonu Risk Değerlendirilmesi. *Ekoloji*, 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*, Cilt 12 Sayı 22, Ss.23-39.
- Terranova, O., Antronico, L., Coscarelli, R., Laquinta, P. (2009). Soil Erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (Southern Italy). *Geomorphology* 112, 228-245.
- Wander, M.M., Bollero, G.A. (1999). Soil quality assessment of tillage impacts in Illi-nois *Soil Science Society of America Journal*, 63, 961-971.
- Wischmeier, W. H. ve Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses USDA. Agricultural Handbook*, 537, Washington D.C.
- Vaezi, A.R., Sadeghi, S.H.R., Bahrami, H.A., Mahdian, M.H. (2008). Modeling the USLE K-factor calcareous soils in Northwestern Iran. *Geomorphology*, 97, 414-423.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zhang, H., Yang, Q., Li, R., Liu, Q., Moore, D., He, P., Ritsema, J.C., Geissen, V. (2013). Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. *Computers & Geosciences* 52, 177-188.