

## Ilgaz Dağı Milli Parkı Doğal Çam Orman Arazilerinin Çölleşme Risk Değerlendirmesinde Bulanık-AHP Yaklaşımı ve Yapay Zekâ Kullanımı

Orhan DENGİZ\*, Muhammet Emin SAFLI, Sena PACCİ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 18.01.2023

Kabul Tarihi/Accepted: 18.03.2023

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

[orcid.org/0000-0002-0458-6016](https://orcid.org/0000-0002-0458-6016) [orcid.org/0000-0001-6495-1989](https://orcid.org/0000-0001-6495-1989) [orcid.org/0000-0001-6661-4927](https://orcid.org/0000-0001-6661-4927)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: odengiz@omu.edu.tr

**Öz:** Bu çalışmanın amacı, çam ormanlarıyla kaplı alanların çölleşme risk değerlendirmesinde Akdeniz Avrupası için Çölleşme Gösterge Sistemi (DIS4ME) yaklaşımında ele alınan indikatörleri dikkate alarak, Ilgaz Dağı Milli Park sınırları içerisinde doğal çam orman arazilerinin çölleşme risk değerlendirmesini yapmaktır. Çölleşme risk değerlendirmesinde 8 indikatör (yağış, kuraklık, toprak bünyesi, taşlılık, bitki örtüsü-kapalılık, eğim, derinlik ve bakı) ele alınmıştır. Fakat, DIS4ME yaklaşımından farklı olarak bu çalışmada ele alınan indikatör indeks değerleri modelden birebir alınmayıp, Bulanık-Analitik Hiyerarşik Süreç (Bulanık-AHP) yaklaşımı ile daha da hassaslaştırılmıştır. Toprakların temel fiziko-kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla alandan 151 toprak örneği alınmıştır. Ilgaz Dağı Milli Park alanı içerisinde çölleşme risk değerlendirmesi yönünden alanda dağılım gösteren toprakların büyük bir çoğunluğunun çölleşme riski altında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada elde edilen model sonuçları yapay sinir ağları ile tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çölleşme riskinin belirlenmesinde % 99 doğrulukla tahmin edilebilir olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çölleşme, bulanık-AHS, yapay zeka, Ilgaz Dağı Mili Parkı

## Fuzzy-AHP Approach and Artificial Intelligence Use in The Desertification Risk Assessment of Natural Pine Forest Lands of Ilgaz Mountain National Park in Türkiye

**Abstract:** The aim of this study is to conduct a desertification risk assessment of natural pine forest lands within the boundaries of Ilgaz Mountain National Park, taking into account the indicators considered in the Desertification Indicator System for Mediterranean Europe (DIS4ME) approach to the desertification risk assessment of areas covered with pine forests. Eight indicators (rainfall, drought, soil texture, stoniness, vegetation cover, slope, depth and aspect) were considered in the desertification risk assessment. However, unlike the DIS4ME approach, the indicator index values considered in this study were not taken directly from the model and were more refined with the Fuzzy-Analytic Hierarchical Process (Fuzzy-AHP) approach. To determine the basic physico-chemical properties of the soils, 151 soil samples were taken from the study area. In terms of desertification risk assessment of soils within the Ilgaz Mountain National Park area, it has been determined that most of the area is under desertification risk. In addition, the model results obtained in the study were estimated with artificial neural networks (ANN). According to the results obtained, it has been determined that the risk of desertification can be estimated with 99% accuracy in determining.

**Keywords:** Desertification, fuzzy-AHP, artificial intelligence, Ilgaz Mountain National Park

### 1. Giriş

Özellikle endüstri devriminden sonra belirgin bir şekilde artan insan nüfusu; toprak, su ve hava kaynaklarının kalitesini ve doğal düzenleyici özelliklerini tehdit etmektedir. Bu durum dinamik

ve karmaşık bir yapıda olan doğada, fırsatlarımızı ve esnekliğimizi engelleyen arazi bozulmasına ve çölleşmeye yol açmaktadır (Turan ve ark., 2019). Dünya genelinde, çok geniş alanlarda karşılaşılan ve küresel ölçekli bir sorun olan arazi bozulumu; doğal ve insan kaynaklı faktörlerin etkisi ile toprağın biyolojik üretkenlik kabiliyetini ve bozulmaya karşı direncini kaybetmesidir (Mutlu, 2015). Arazi bozulumu aynı zamanda, rüzgâr ve su erozyonunu da içerir ki; bu da, toprakların ve doğal bitki örtüsünün uzun süreli kaybı ile çölleşmeye neden olmaktadır (Warren, 2002). Bazı araştırmacılar ise çölleşmenin, arazi bozulumunun son aşamaları içerisindeki bir süreç olduğunu ve arazideki biyolojik ve ekonomik kayıpların sürekli hale geldiği durum olarak tanımlamaktadır (Kosmas ve ark., 1999; Aksoy, 2016). Küresel iklim değişikliği, mevcut bitki örtüsündeki kayıplar ve arazi bozulumu sebebiyle çölleşme sürecindeki önemli artış, araştırmacıları çölleşmeye karşı önlemler alınması ve mevcut çölleşme durumunun belirlenmesi ve izlenmesi üzerine araştırma yapmaya yöneltmiştir.

Son yıllarda, bir bölgenin çölleşme ve arazi bozulmasına karşı duyarlılığını değerlendirmek için çeşitli yaklaşımlar ve modeller geliştirilmiştir (Wijitkosum, 2016; Zakerinejad ve Masoudi, 2019; Pishyar ve ark., 2020; Imbrenda ve ark., 2022). Özellikle dünyanın birçok ülkesinde araştırmacılar, bölgesel çölleşme durumunu ve çölleşme göstergelerini incelemeye yönelik birçok çalışmalar yapmışlardır (Wang ve ark., 2008; Gao ve Wang, 2019; Türkes ve ark., 2020; Uzuner ve Dengiz, 2020). Bu çalışmalardan biri de DIS4ME (Akdeniz Avrupası için Çölleşme Gösterge Sistemi) yaklaşımıdır. Avrupa ülkeleri tarafından oluşturulan MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use, Akdeniz Çölleşme ve Arazi Kullanımı) projesi ile bağlantılı olarak, Avrupa ülkeleri için çölleşme göstergelerini belirlemek amacıyla tasarlanan DIS4ME modelinde yaklaşık 150 çölleşme göstergesi dikkate alınmıştır. Sistem içerisinde çölleşme göstergeleri ekolojik, ekonomik, resmi ve kurumsal yönlerine göre sınıflandırılmaktadır. Fiziksel ve ekolojik göstergeler iklim, su, yüzey akışı, toprak, bitki örtüsü ve yangın riskidir. Ekonomik ve sosyal göstergeler ise tarım, arazi yönetimi, arazi kullanımı, toprak işleme, çiftçilik, su kullanımı turizm ve makroekonomik göstergelerden oluşmaktadır (Anonymous, 2004). Ancak Dastorani (2022), çölleşmenin amaca yönelik en az veri ve çabayla tanımlanması gerektiğini belirtmiştir; bu durum, araştırmacıları daha karmaşık teknikleri araştırma ve kullanmaya yöneltmiştir. Ayrıca bu çalışmalarda, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri de doğal

olayların hızlı ve doğru bir şekilde değerlendirilmesi amacı ile aktif olarak kullanılmıştır (Kuang ve ark., 2020; Silva ve ark., 2020; Jafari ve Abedi, 2021). Ancak, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanmadan önce veri setleri üzerinde yapılması gereken iyileştirme süreçleri yer almaktadır. Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinde veri seti hazırlama, birleştirme ve çalışma alanına ait özelliklerin değerlendirilmesi amacı ile en sık kullanılan yöntem, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yaklaşımıdır (Jafari Shalamzari ve ark., 2019; Akbari ve ark., 2021).

Son zamanlarda ise ÇKKV yaklaşımlarından biri olan Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP), araştırmacılar tarafından çölleşme riski çalışmalarında aktif olarak kullanılmaktadır. Çünkü ele alınan indikatörlerin sayısının fazla oluşu ve çölleşme üzerine olan etkilerinin aynı ağırlıkta olmaması ve uzman yaklaşımını da içerisine alması gibi avantajları içermesi nedeniyle hem niceliksel hem de niteliksel bir yaklaşım sunmaktadır. İlk olarak Saaty (1977) tarafından ortaya atılan AHP metodu, ÇKKV prosedürlerinin çözümlenmesinde dünya genelinde araştırmacılar tarafından kolay bir şekilde anlaşılır ve uygulanabilir olması sebebi ile kabul görmüş ve birçok alanda uygulanmış olan bir analitik yöntemdir. Ancak AHP yöntemi, karar vericiler tarafından değerlendirilirken, tam sayıların kullanılması ve ikili karşılaştırma sürecindeki belirsizlik ve dikkatsizliklerin ele alınmasındaki yetersizliğinden ve bulanıklığından dolayı eleştirilmektedir (Kargın, 2010). Bu belirsizlik nedeni ile Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses (B-AHP) yöntemi ilk olarak Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından üçgensel üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış olan bulanık oranların karşılaştırılmasıyla ortaya atılmıştır (Pala, 2016). Bu alanda çeşitli problem tiplerini çözmek üzere; i) Genişletilmiş -Chang'ın- Analiz Yöntemi, ii) Liou ve Wang'ın Yöntemi ve iii) Abdel-Kader ve Dugdale Yöntemi B-AHP metodları kullanılmaktadır (Liou ve Wang, 1992; Chang, 1996; Abdel-Kader ve Dugdale, 2001).

Günümüzde birçok alanda olduğu gibi, arazi bozulumu ve çölleşme çalışmalarında da özellikle iş yükü, zaman ve maliyetin düşürülmesi amacıyla aktif bir şekilde kullanılan bir diğer yaklaşım ise Yapay Sinir Ağları (YSA)'dır. Bu yöntem, veriye göre farklı şekillerde uyarlanabilen doğrusal olmayan bir yöntemdir (Haykin, 1999). Yapay Sinir Ağları, günümüzde çözülmesi karmaşık olan farklı alanlara ait sorunların çözümünde olumlu sonuçlar elde etmeye yönelik olarak katkıda bulunmaktadır. Temel korelasyon belirli olmadığı ve bağımlı varyantların son bağımsız

veri setlerine göre tahminlenmesi gerektiğinde YSA, varyantlar ve çakışan hedef varyantlar arasında bağlantı kurabilir ve öğrenebilir (Dede ve ark., 2022). Bulunduğu ortama uyum sağlayabilen, hatalara karşı yüksek toleranslı, eksik verilerle dahi çalışabilen ve belirsizlik altında karar verebilen bu ağlar, neredeyse her kullanım alanında başarılı uygulama örneklerine sahiptir (Pacci ve ark., 2022).

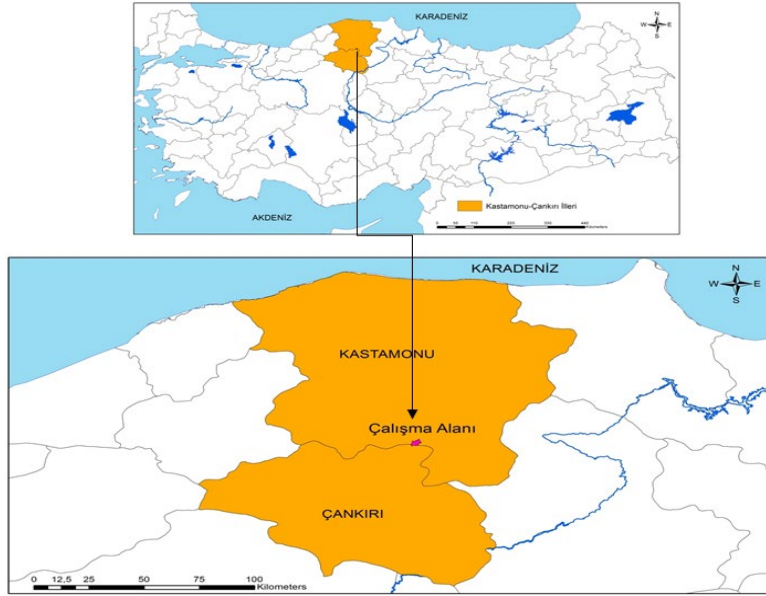
Bu çalışmanın amacı, çam ormanlarıyla kaplı alanlarda dağılım gösteren toprakların çölleşme risk değerlendirmesinde DIS4ME yaklaşımında ele alınan indikatörleri dikkate alarak, Ilgaz Dağı Milli Park sınırları içerisinde doğal çam orman arazilerinin çölleşme risk değerlendirmesini yapmaktır. Fakat, DIS4ME yaklaşımından farklı olarak bu çalışmada ele alınan indikatör indeks değerleri modelden birebir alınmayıp, bulanık-AHP yaklaşımı ile daha da hassaslaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada elde edilen sonucun yapay zekâ ile tahmin edilmesi gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma alanı genel özellikleri

Ilgaz Dağı Milli Parkı; Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Kastamonu ve Çankırı illerinin, Kastamonu Merkez ve Çankırı Ilgaz ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır. Alan, 558759-4548060 D ile 563823-4544347 K (WGS 84, Zone 36, UTM-m) koordinatları arasında bulunmaktadır (Şekil 1) (Celilov ve Dengiz, 2019). Yaklaşık 778.9 hektarı Kastamonu, 337.7 hektarı da Çankırı il sınırları içerisinde olup, Ilgaz Dağı Milli Parkı toplam 1117.5 hektardan oluşmaktadır. Milli Park'ın topoğrafik yapısı, zengin orman ve bitki örtüsü, yüksek yaban hayatı potansiyeli, eşsiz manzara güzellikleri, zengin rekreasyon kaynakları, kış turizmi olanakları ve insan sağlığına faydalı atmosferi alanın ana kaynak değerlerini oluşturmaktadır (Anonim, 2009).

Milli Park sınırları içerisindeki Baldıran Tepe (1931 m), Karakeçilik Tepe (1999 m), Kozançal

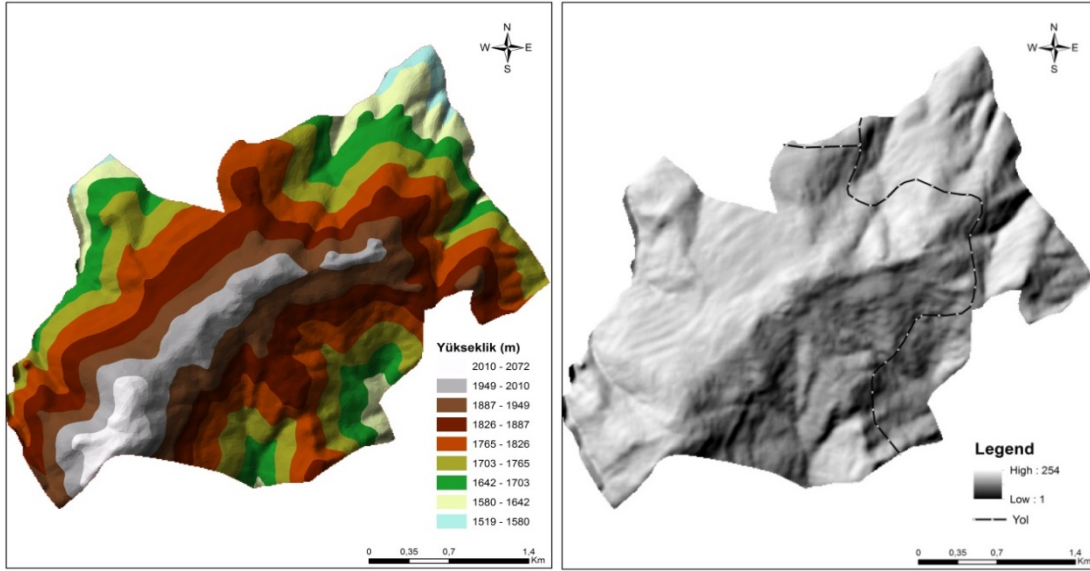


Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası  
Figure 1. Location map of the study area

Tepe (2070 m), Şadımanın Tepe (1843 m), Arpasekisi Sırtı ve Haydarın Sırtı önemli tepe ve sırtlardır (Anonim, 2009). Çalışma alanı çoğunlukla tepelik ve dağlık bir fizyografya özelliğine sahip olup, 1519 m ile 2072 m arasındaki deniz seviyesi yüksekliklerinde yer almaktadır (Şekil 2).

Çalışma alanının kuzey ve kuzeydoğu sınırlarını Baldıran Dere, batı sınırını ise Karanlık Dere oluşturmaktadır. Alanı güneydoğu ve güney sınırlarını sırasıyla Baldıran Tepe, Şadımanın Tepe

ve Kozançal Tepe oluşturmaktadır (Celilov ve Dengiz, 2019). Ilgaz Dağı Milli Park'ın en alçak noktasına 1519 m ile parkın kuzeybatı köşesini sınırlayan Baldıran Dere'de ve en yüksek noktasına 2072 m rakıma sahip olan parkın güneybatı köşesindeki Kozançal Tepe'de ulaşılmaktadır. Alan küçük olmasına karşın, Milli Park içerisinde 570 metre gibi önemli bir yükselti farkı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, Milli Park içerisindeki eğim değerleri oldukça yüksektir. Bu durum özellikle sahadaki erozyonal etkiyi sağlayan

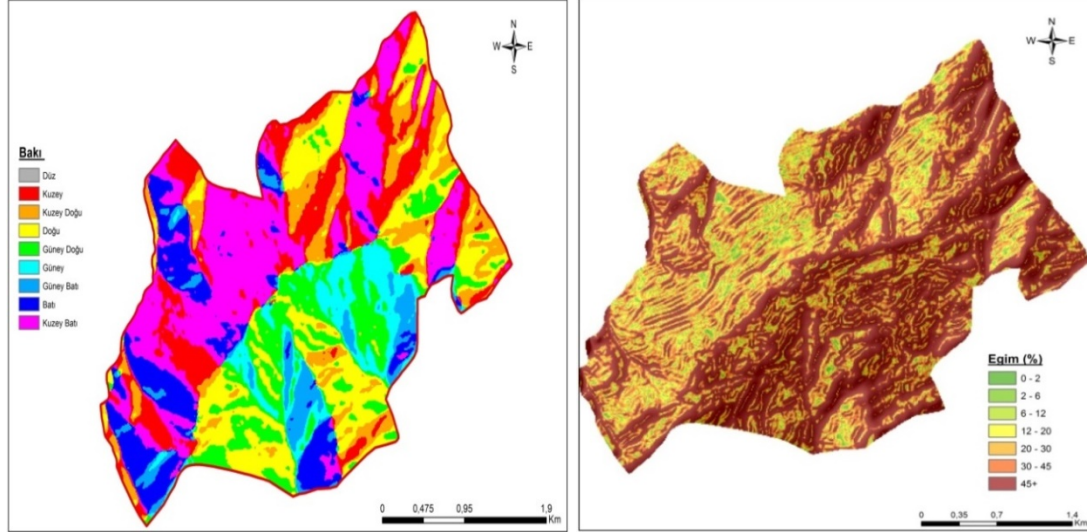


Şekil 2. Çalışma alanının kabartı ve yükselti haritaları

Figure 2. Hillshade and elevation maps of the study area

rölyef enerjisini arttırmakta, heyelanın gelişmesine önemli bir katkı sağlamakta ve risk oluşturabilmektedir. Çalışma alanı, üç farklı havzanın birleşme noktasının merkez olarak yer aldığı, havzaların beslenme alanlarının zirve

kısımlarını kapsamaktadır. Bu havzalar; Karanlık Dere Havzası (I), Baldıran Dere Havzası (II) ve Gök Çay Havzası (III)'dır (Anonim, 2009). Çalışma alanı çok dik eğimli alanlara sahip olup, baskın bakı güneydoğu kesimleridir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanına ait bakı ve eğim haritaları

Figure 3. Aspect and slope maps of the study area

Araştırma sahasındaki Çankırı ili Ilgaz ilçesine ait uzun yıllar (2009-2019) Meteoroloji İstasyonu verileri dikkate alınarak, Thornthwaite iklim sınıflamasına göre B2C2sb2; yani, ikinci dereceden nemli, mikrotermal iklim, yazın orta derecede su noksanı, 2. dereceden denizsel özellik göstermektedir. Ayrıca uzun yıllar yıllık ortalama

toplam yağış miktarı 680.5 mm ve ortalama sıcaklık ise 5.1 °C'dir (Tablo 1).

Newhall simülasyon modeli (Van Wambeke, 2000) dikkate alınarak çalışma alanı topraklarının toprak nem ve sıcaklık rejimleri hesaplanmıştır. Toprak nem rejimi *Udic*, alt sınıflamada ise *Dry Tempudic* olarak sınıflandırılmıştır. Araştırma



alanının sıcaklık rejimi ise, yıllık ortalama toprak sıcaklığı 0 °C ile 8 °C'den az ve 50 cm'deki yıllık ortalama kış ayları toprak sıcaklığı ile yıllık

ortalama yaz ayları toprak sıcaklığı arasındaki fark 6 °C'den fazla olduğu için *Cryic* sıcaklık rejimi olarak bulunmuştur (Celilov ve Dengiz, 2019).

**Tablo 1. Çalışma alanına ait 2009-2019 meteorolojik verileri**

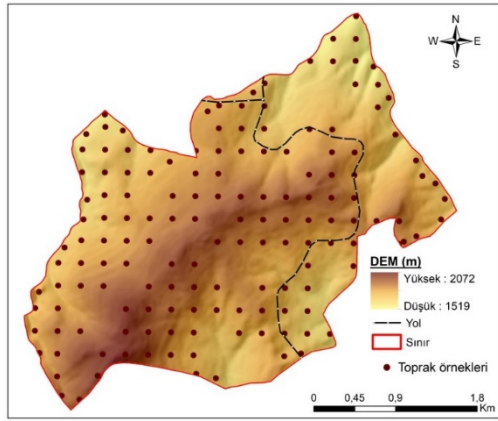
Table 1. Meteorological data of the study area for 2009-2019

Meteorolojik elemanlar / Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam/Ortalama
Toplam yağış (mm)	42.8	53.2	55.3	64.0	100.0	78.8	49.2	35.5	21.9	61.1	46.1	72.5	680.5
Ortalama sıcaklık (°C)	-3.8	-2.4	-1.2	3.7	8.1	11.5	14.5	14.3	11.4	5.6	2.1	-2.4	5.1

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Toprak örnekleme ve analizler

Toprak örnekleme amacıyla milli park sınırları içerisinde kararlaştırılmış olan noktalardan topraklara ait fiziksel ve kimyasal özelliklerini ortaya koymak amacıyla 0-30 cm derinlikten bozulmuş halde 151 adet toprak örneği alınmıştır (Şekil 4).



**Şekil 4. Toprak örnekleme deseni**

Figure 4. Soil sampling pattern

Alınan bu toprak örnekleri laboratuvar ortamında hava kuru hale getirilmesinden sonra tahta tokmakla dövülüp, 2 mm'lik elekten geçirilmesi ile analize hazır hale getirilmiştir. Toprak örneklerinde tekstür (Bouyoucos, 1962), hacim ağırlığı (Blake ve Hartge, 1986), organik madde Jackson (1958)'a göre, toprak pH'sı (McLean, 1982) ve elektriksel iletkenlik (EC) cam elektrot ile (Rhoades, 1993), kireç (CaCO<sub>3</sub>) miktarı Scheibler kalsimetresiyle (Anonymous, 1992) yapılmıştır.

### 2.2.2. Çölleşme riskinin belirlenmesinde (DIS4ME) ele alınan indikatörler

Bu çalışmada, Kastamonu ve Çankırı il sınırları içerisinde yer almakta olan Ilgaz Dağı Milli Parkı'na ait toprak ve arazi verilerinden faydalanılarak, DIS4ME yardımıyla çölleşme riski belirlenmiştir. Çölleşme riskini belirlemek için ise

yağış, eğim, bünye, bitki örtüsü, taşlılık, derinlik, kuraklık ve bakı parametreleri kullanılmıştır. Parametrelerin ağırlıklandırılması uzman görüşleri ve literatür aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Yağış parametresi; yarı kurak ve kurak bölgeler arazi bozulmasına katkıda bulunan başlıca iklimsel faktörler arasında yer almaktadır. Yağışların azlığı, düzensiz olması, yıllar arasında dağılımları ve mevsim dışı yağışlar toprakların erozyona yatkınlığına bağlı olarak yoğun miktarlarda erozyona neden olmaktadır. Küresel iklim değişikliğinin de özellikle Akdeniz Bölgesi'nde bulunan, erozyona karşı hassas bölgelerin mevcut erozyon duyarlılığını daha da artıracakı düşünülmektedir. Eğim parametresi; özellikle yüzey akışı ve toprak kaybını büyük ölçüde etkilemektedir. Eğimin açısı arttıkça ve kritik bir noktaya geldiğinde toprak erozyon oranları keskinleşir ve ardından logaritmik olarak artmaya devam eder. Eğim, yıllık yağışa da bağlı olarak farklı iklim koşulları altında değişken etkiye sahip olmaktadır. Akdeniz bölgesindeki doğal bitki örtüsüne sahip farklı alanlarda yapılan ölçümler, aşırı derecede aşınmış toprakların % 12'den daha fazla eğimli yarı kurak iklim koşulları altında bulunduğunu, hafif ve orta derecede aşınmış toprakların ise benzer eğim şartları altında yarı kurak iklim koşulları altında bulunduğunu ortaya koymuştur. Diğer ele alınan parametre ise toprak bünyesidir; Toprak bünyelerine göre sınıflandırılır ve her bünye sınıfı belirli bir kum, silt ve kil ağırlığına sahiptir. Bunlar; kum, tınlı kum, kumlu tın, tın, siltli tın, silt, killi tın, kumlu killi tın, siltli killi tın, kil, siltli kil ve killi kum olarak ayrılır. Her sınıf içinde toprak özelliklerinde küçük ama genel anlamda önemsiz farklılıklar bulunsa da sınıflar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bünye, sınıf adı kullanılarak ifade edilmektedir. Dört sınıf grubu tanınır; kumlu topraklar, siltli, killi ve tınlı topraklardır. Kumlu topraklar, dağılım olarak en az % 80 kum ve % 15 veya daha az miktarlarda kil içermektedirler. Siltli topraklar, dağılım olarak en az % 80 silt ve % 12 kil parçacığı içermektedirler (Anonymous, 1992). Killi topraklar ise dağılım

olarak en az % 35 kil içermektedirler. Tınlı topraklar ise eşit oranlarda bu taneciklerin özelliklerini gösteren kum, silt ve kil tanecikleri içermektedir. Tınlı topraklar, bitki yetiştiriciliği ve bitkilerin büyümesi açısından fiziksel ve kimyasal özelliklerin en iyi kombinasyonuna sahip yapılarıdır. Ayrıca, çölleşmede etkili bir gösterge olan “Bitki Örtüsü” ise birçok uzmana göre, çok çeşitli alan ve ortamlarda bitki örtüsü yüzdesi arttıkça hem akış hem de sediment kaybının katlanarak azaldığını ortaya koymuşlardır. Eğimli bir arazide, % 40 bitki örtüsü değerinin altındaki erozyona maruz kalan alanlar için kritik eşik olarak kabul edilmektedir. Bu kritik eşik, farklı bitki örtüsü türleri, yağış yoğunluğu ve arazi özelliklerine göre değişim gösterebilmektedir. Bitki örtüsünün zayıf olduğu durumlarda, erozyon süreçleri çok aktif olabilir ve doğal bitki örtüsünün yenilenmesi geri dönülemez boyutlara ulaşabilir. Toprakların derinlik özellikleri ise; belirli fiziksel toprak özellikleri ve ana materyal göz önüne alındığında, arazinin çölleşmeden korunması için çok önemli olan iki toprak derinliği mevcuttur. Bunlar; kritik ve çok kritik toprak derinliği olarak nitelendirilmektedir. Kritik derinlik, bitki örtüsünün % 40'ın üzerinde değerlere ulaştığı toprak derinliği olarak tanımlanabilir. Kritik toprak derinliğinin 25-30 cm arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu derinlikten daha az toprakta, doğal çok yıllık bitki örtüsünün geri kazanımı çok düşüktür ve erozyon süreçleri çok aktif olabilir, bu da arazinin daha fazla bozulmasına ve çölleşmesine neden olabilir.

Modelde ele alınan diğer bir iklim parametresi kuraklık indisidir. Çöl iklimini oluşturan atmosfer koşulları, büyük su kayıplarına neden olan koşullardır. Yani, potansiyel su kaybı yağış koşullarından daha fazladır. Kuraklık indeksi, iklim türünü su varlığına göre sınıflandırır. Bir bölgenin kuraklık indeksi ne kadar yüksekse, su kaynaklarındaki değişkenlik ve zamanla su varlığındaki değişkenlik o kadar fazla olmaktadır. Bu durumda bölgenin çölleşmeye maruz kalma durumunu belirlemektedir. Dolayısıyla ele alınan bu gösterge arazi bozulmasını tanımlamak ve azaltmak için kullanılan araçlardan birisidir. Toprak kaybı endeksi ve kuraklık endeksinin yanı sıra toprak ve su kaynaklarının sağlığının bir ölçüğünün üretilmesine ve sonuç olarak belirli bir alandaki kaynaklarla uyumlu gelişim stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Diğer bir faktör olan bakı ise, güneş ışınlarının toprağın yüzeyine çarptığı açıyı ve süreyi düzenleyerek bir alanın mikro iklimini etkiler. Örneğin Akdeniz bölgesinde, güney doğu ve güney batı yönlerine bakan eğimli yerler daha sıcaktır. Kuzey doğu ve kuzey batı yönlerine göre ise daha yüksek

buharlaştırma oranı ve daha düşük su depolama kapasitesine sahiptir. Bu nedenle, güney bakıya sahip bölgelerin bitki örtüsünün daha yavaş geri kazanılması ve kuzey bakıya oranla daha yüksek erozyona uğrama oranları olması beklenmektedir. Son olarak modelde yer alan taşlılık parametresi ise, özellikle toprak yüzeyindeki taşlılık, toprak suyunun korunması ve toprak aşınması üzerinde büyük ancak değişken bir etkiye sahiptir. Çakıl taşları genellikle buharlaşmadan kaynaklı su kayıplarını kuraklığın olmadığı dönemlerde kısıtlar ancak kuru ve sıcak yaz aylarında buharlaşmayı artırmaktadır. Özellikle bahar sonlarında yaz başlarına kadar taşlı topraklarda daha yüksek miktarda toprak nemi içermesi bitkilerin büyümesini ve bitkilerin üretkenliğini olumlu bir şekilde etkileyerek önemli bir biyokütle üretimini destekler. Geniş alanları çölleşmeye karşı korur. Toprak yüzeyinde bulunan çakıl taşları yüzey suyunun akışa geçmesini ve toprak kaybının çölleşmeye karşı önemli bir rol oynamasını azaltabilir.

Çalışmanın amacına yönelik olarak toprak örnekleme yapılıp her bir noktada çölleşme risk değerlerine göre sınıflarının belirlenmesinde DIS4ME modeline ait çam ormanları uygulamaları için gerekli kriterlerden yararlanılmıştır. DIS4ME modeli 2004 yılında Jane Brandt liderliğinde, bilim insanlarının, politikacıların ve çiftçilerin dâhil olduğu büyük bir kesim için Akdeniz'in Avrupa Ülkeleri için Çölleşme Göstergeleri hakkında geniş bir kapsamda bilgi vermek amacıyla Desertlinks araştırma projesi çatısı altında geliştirilmiştir. Projenin yürütülmesi ile çölleşmenin hangi bölgelerde problem olduğunun belirlenmesi, bu bölgelerdeki problemin ne kadar kritik olduğu ve çölleşmeye ait süreçlerinin daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır. DIS4ME modelinin temelini çoklu regresyon analizi oluşturmaktadır. Sistem çölleşme risk değerini bağımlı değişken olarak kabul ederken, belirlenen diğer bütün göstergeleri ise bağımsız değişken olarak kabul etmektedir (Anonymous, 2004).

Çalışma alanına ait toprak örnekleme yapılan her bir noktaya ait çölleşme risk hesaplanması için sınıfların belirlenmesinde DIS4ME modeli kapsamında çam ormanları için belirlenen algoritmada yer alan göstergeler kullanılmış ve her bir nokta için Tablo 2'de yer alan çölleşme parametreleri kullanılmıştır. Bu kapsamda DIS4ME tarafından kullanılan ana bileşenler (iklim, bitki örtüsü, toprak ve topoğrafya karakteristikleri) ile çölleşme etüt formunda kullanılan alt bileşenler (Örneğin; toprak karakteristikleri ana bileşeni için taşlılık, derinlik ve bünye) ile ilgili seçilen göstergeler arazi kullanılarak belirlenmiştir.

**Tablo 2. DIS4ME modeli kapsamında çam ormanları için çölleşme göstergeleri, alt sınıfları ve indeks değerleri**

Table 2. Desertification indicators, subclasses and index values for pine forests within the DIS4ME model

Çölleşme göstergeleri	Alt göstergeler	Aralık değerleri	İndeks değerleri	
		<280	2.0	
	Yağış	280-650	1.6	
		>650	1.0	
İklim faktörleri		<50	1.0	
		50-75	1.1	
	Kuraklık indeksi		75-100	1.2
			100-125	1.4
			125-150	1.8
		>150	2.0	
Bitki örtüsü faktörleri	Bitki örtüsü	<10	2.0	
		10-40	1.4	
		>40	1.0	
Toprak faktörleri	Derinlik	<15	2.0	
		15-30	1.6	
		30-30	1.2	
	Taşlılık	>60	1.0	
		<15	1.0	
		15-40	1.3	
Bünye		>40	2.0	
		S	2.0	
		Si/C/SiC	1.6	
		SC/SiL/SiCL	1.2	
		L/SCL/LS/SL/C/CL	1.0	
Topografik faktörler	Eğim	<6	1.0	
		6-18	1.2	
		18-35	1.5	
		>35	2.0	
		Bakı		Kuzey/Kuzey Batı/Kuzey Doğu
Güney/Güney Batı/Güney Doğu/Düz	2.0			

### 2.2.3. Analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi

Analitik hiyerarşi prosesi, 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen birçok ölçütlü bir yöntemdir (Saaty, 1977). AHP çok kriterli karar vermede, grup veya bireyin önceliklerini dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendirmeye imkân sunan bir yöntemdir (Dağdeviren ve ark., 2004) AHP yönteminin en büyük handikabı ise belirsizlik ve karar verme durumları ile başa çıkamamasıdır (Deng, 1999). AHP, yöntemi gerçek hayatta birçok karar verme probleminin çözümünde etkin bir biçimde kullanılmasına rağmen, ikili karşılaştırmalar yaparken kesin sayılar kullanmasından dolayı eleştirilmektedir (Dağdeviren, 2007). Bu nedenle, bulanık analitik hiyerarşi prosesine yönelik ilk çalışma üçgen bulanık sayılar kullanılarak, bulanık oranları karşılaştıran (Van Laarhoven ve Pedrycz, 1983) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yaptığı çalışma ile (Chang, 1996) Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinin (B-AHP) ikili karşılaştırma ölçeği için üçgen bulanık sayıları ve ikili karşılaştırmaların yapay mertbe değerleri için mertbe analizi yöntemini kullanarak B-AHP'in

ele alınmasında yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Bulanık küme teorisinin çok ölçütlü analizlere uygulandığı ilk girişim olarak (Bellman ve Zadeh, 1970) tarafından yapılan çalışma öne çıkmaktadır. Bulanık küme mantığında küme aitlik derecesi ( $\mu$ ) ile gösterilir ve "0" ve "1" arasında değer alır. "0" değeri kesin olarak kümeye ait olmamayı gösterirken, "1" değeri ise kümeye ait olma durumunu ifade etmektedir. Üçgen bulanık sayılar (L, M, U) ifadeleri ile gösterilmektedir (Şekil 5).

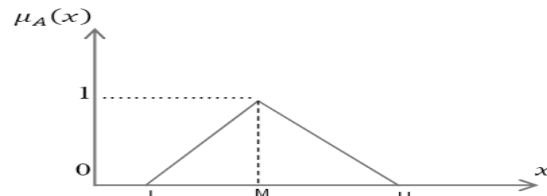
**Şekil 5. Üçgen bulanık sayılar**

Figure 5. Triangular fuzzy numbers

Bu çalışmada Chang (1996) tarafından geliştirilmiş olan B-AHP yöntemi kullanılmıştır. Bunun nedeni, bu yöntem diğer B-AHP yöntemlerine göre adımları, daha kolay olmakla

birlikte daha az zaman ve hesaplama gerektirmektedir. Chang (1996) yaklaşımına göre, ikili karşılaştırmalar üçgensel bulanık sayılarla temsil edilmektedir. Bulanık sayıların kullanılması ile tahminden kaynaklanan dezavantajlar giderilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu yöntemle göre, her bir ölçüt alınır ve her bir hedef için mertbe analizi uygulanır. Böylece her bir ölçüt için  $m$  tane mertbe analiz değerleri elde edilir. Bu değerler şu şekilde gösterilir.

Chang (1996) tarafından ileri sürülen genişletilmiş analize dayalı B-AHP yöntemine göre izlenen yöntem aşağıdaki verilmiştir.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  bir nesnel kümesi ve  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  bir amaçlar kümesi olsun. Genişletilmiş analiz yöntemine göre, her bir nesne bir amacı gerçekleştirmek üzere ele alınır. Genişletilmiş ifadesi ile bu nesnenin amacı ne kadar gerçekleştirdiği ifade edilmektedir. Böylece,  $m$  tane genişletilmiş analiz değeri elde edilmiş olup, şu şekilde gösterilir.

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, M_{gi}^3, \dots, M_{gi}^m \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Buradaki tüm  $M_{gi}^j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) değerleri üçgensel bulanık sayılardır (Tablo 3). Buna göre, B-AHP adımları aşağıdaki adımlarla özetlenebilir.

**Tablo 3. Bulanık önem ölçęęi**  
Table 3. Fuzzy significance scale

Rakamsal değęer	Dilsel ifade	Üçgen bulanık sayı değęeri	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 değęil	(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	(8,9,9)	(1/9,1/9,1/8)

1. Adım:  $i$ . nesne için bulanık büyüklük değeri Eşitlik 1'deki gibi tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de  $S_i$ ,  $i$ . amacın sentez değeri;  $M_{gi}^j$ , her bir amaca yönelik genişletilmiş değeri ifade etmektedir.

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$  değerini elde etmek için  $m$  adet genişletilmiş analiz değeri bulanık toplama işlemi için Eşitlik 2'deki gibi bir matris ile uygulanır.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (2)$$

Daha sonra,  $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$  elde etmek için  $M_{gi}^j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) değerlerinin bulanık toplam işlemi Eşitlik 3'teki gibi uygulanır.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (3)$$

Sonrasında ise, vektörün tersi Eşitlik 4'teki gibi hesaplanır.

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = (\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i}) \quad (4)$$

2. Adım:  $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  olayının olasılık derecesi  $V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))]$  şeklinde tanımlanır ve Eşitlik 5 ile açıklanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{yükseklik}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & , m_2 \geq m_1 \\ 0 & , l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & , \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (5)$$

Eşitlik 5'te bulunan  $d$ ,  $\mu_{M_1}$  ve  $\mu_{M_2}$  arasındaki en yüksek  $D$  kesişim noktasının ordinatıdır.  $M_1$  ve  $M_2$ 'yi karşılaştırmak için  $V(M_1 \geq M_2)$  ve  $V(M_2 \geq M_1)$  değerlerinin her ikisine de ihtiyaç duyulur.

3. Adım: Konveks bir bulanık sayının  $k$  adet bulanık sayıdan,  $M_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ), daha büyük olasılık derecesi Eşitlik 6'daki gibi tanımlanır.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k. \quad (6)$$

Bu durumda  $S_j$ 'ler için şu varsayımlar yapılmıştır:

$k = 1, 2, \dots, n$ ;  $k \neq j$  için  $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ .

Daha sonra ağırlık vektörü,  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )'nin  $n$  elemandan oluştuğu Eşitlik 7'deki gibi ifade edilir.

$$W'(d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)) \quad (7)$$

4. Adım: Normalizasyon ile normalize edilmiş  $W$ 'nin bulanık bir sayı olmadığı Eşitlik 8'deki gibi gösterilmektedir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (8)$$

#### 2.2.4. Çölleşme riskinin hesaplanması

Kriterler, çölleşme riskinin belirlenmesinde eşit düzeyde etkili olmadığı için bu kriterlerin birbirlerine göreli önem seviyelerinin belirlenmesi (ağırlıklandırılması) gerekmektedir. Bu çalışmada kriterlerin ağırlıklandırılmasında B-AHP yöntemi



kullanılmıştır. Kriterlerin görelî önem seviyeleri belirlendikten sonra, her noktaya ait çölleşme risk değerlerinin belirlenmesinde Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (Weighted Linear Combination, WLC) yöntemi kullanılmıştır. WLC, basit toplamı ağırlıklandırma (Simple Additive Weighting, SAW), ağırlıklı toplama, ağırlıklı doğrusal ortalama ve ağırlıklı bindirme olarak da bilinmektedir (Malczewski ve Rinner, 2015). WLC yöntemi dikkate alınarak çölleşme riski (ÇR) Eşitlik 9 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{ÇR} = \sum_{k=1}^l w_k a_{ik} \quad (9)$$

Eşitlik 9'da  $w_k$ , k kriterinin görelî önem seviyesini,  $a_{ik}$ , i çölleşme risk noktasındaki k kriteri altındaki standart değerini ve l, toplam kriter sayısını temsil etmektedir (El Alfı ve ark., 2010).

### 2.2.5. Veri seti ve yapay sinir ağları

Çalışma alanına ait her bir noktadan alınan toprak örneklerine ait noktanın toprak bünyesi, noktaya ait taşlılık, noktaya ait bitki örtüsü, noktanın eğimi, noktanın derinliği ve bakı durumu çölleşme riskinin artmasına ve azalmasına bağlı olarak 1 ile 4 rakamları arasında sınıflandırılmıştır (Tablo 4).

**Tablo 4. Çölleşme riskini etkileyen parametreler ve alt sınıf aralıkları**

Table 4. Parameters and subclass ranges affecting desertification risk

Sınıf	Aralık	Tanım
Bitki örtüsü (Kapalılık, %)		
1	>40	Çok düşük
2	40-10	Düşük
4	<10	Yüksek
Derinlik (cm)		
1	>60	Çok düşük
2	30-60	Düşük
3	15-30	Orta
4	<15	Yüksek
Bünye		
1	L, SCL, SL, LS, C, CL	Çok düşük
2	SC, SiL, SiCL	Düşük
3	Si, C, SiC	Orta
4	S	Yüksek
Taşlılık (%)		
1	<15	Çok düşük
2	15-40	Düşük
4	>40	Yüksek
Eğim (%)		
1	<6	Çok düşük
2	6-18	Düşük
3	18-35	Orta
4	>35	Yüksek
Bakı		
1	Kuzey, kuzey batı, kuzey doğu, düz	Düşük
2	Güney, güney batı, güney doğu	Yüksek

1 değeri atanan noktaların çölleşme riski üzerindeki etkisi çok düşük olarak sınıflandırılırken, 4 değeri atanan noktaların ise çölleşme riski üzerindeki etkisi yüksek olarak sınıflandırılmıştır. 1 ile 4 arasında atanan bu değerlerin incelenmekte olan parametrenin çölleşme riskine etkisinin artırma yönünde ya da azaltma yönünde olmasına bağlı olarak belirlenmişlerdir.

Sınıflara ayrılan bu değerlerden oluşturulmuş veri seti yapay sinir ağı için girdi verisi olarak kullanılmıştır. Toprak örneklemelerine ait her bir nokta için çölleşme indis değerleri ve B-AHP'den elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak oluşturulmuş eşitlik ile hesaplanarak elde edilen çölleşme riskine ait değerleri ise hedef olarak kullanılmıştır.

Biyolojik sinir ağlarının çalışma prensibi örnek alınarak tasarlanan YSA, özellikle doğrusal olmayan sistemlerde tahmin yürütme açısından istatistiksel tekniklerden çok daha fazla kolaylık gösteren bir özelliğe sahiptir (Pacci ve ark., 2022). Bu özelliği ile YSA karmaşık olan ve doğrusal olmayan sorunların çözümlenmesinde çok önemli bir yöntem haline gelmiştir (Odabas ve ark., 2016). Çalışmada, Matlab® R2012a (7.14.0.739) 32-bit (win32) programı ile uygulanan YSA, ağı eğitmek için Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6).

Veri setimize ait toplam örnek nokta sayısı 151 olarak belirlenmiş ve bu veri setine ait 105 adedi (% 70) eğitim için kullanılmış olup, 23 adedi (% 15) test için kullanılmış ve 23 adedi (% 15) ise doğrulama için kullanılmıştır. Yapay sinir ağı çölleşme risk durumunu tahmin ettirilmek üzere asimile edilmiş 6 farklı girdiye (bünye, noktanın taşlılığı, noktaya ait eğim, noktanın derinliği, bitki örtüsü ve noktanın bakı durumu) ve 1 adet çıktı olarak hesaplanmış olan DIS4ME modelinden elde edilmiş olan çölleşme riski değerleri kullanılarak eğitime tabii tutulmuştur. Farklı sayıda gizli katmana, nöronlara ve katmanlar arasında farklı transfer fonksiyonları kullanılabilir şekilde tasarlanmış olan ağda; bu çalışmayı kapsayacak şekilde, çıktı katmanında 10 nöron ve sigmoid fonksiyonu ile 1 adet gizli katman kullanılmaktadır. Yapay sinir ağına ait performansı değerlendirmek amacı ile kullanılan ortalama kareler tahmin hatası (MSE) ve belirleme katsayısı ( $R^2$ ) Eşitlik 10 ve 11'den faydalanılarak hesaplanmıştır. Ortalama kareler tahmin hatası kavramı, bir tahmin edicinin performansını belirlemek amacı ile kullanılan bir ölçüttür. Ortalama kare hatası değerinin sıfıra yakın olması istenen bir durumdur (Salman ve ark., 2017).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y^{i.mod} - Y^{i.exp})^2 \quad (10)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y^{i.mod} - Y^{i.exp})^2}{\sum_{i=1}^n (Y^{i.mod} - Y)^2} \quad (11)$$

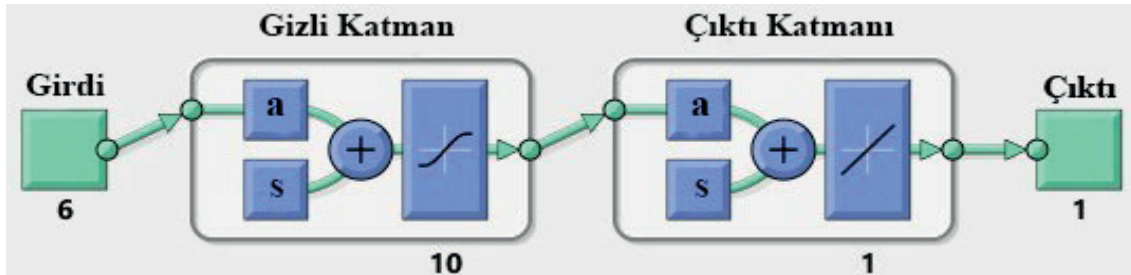
### 2.2.6. Çölleşme riski haritalarının oluşturulması

B-AHP ile çölleşme risk parametrelerinin ağırlıklandırılmasına yönelik hesaplama ve elde edilen sonuçların YSA ile tahminlenmesi sonrası elde edilen sonuçlarda, ArcGIS 10.5 coğrafi bilgi sistemi programı kullanılarak konumsal dağılım haritalarının oluşturulmasında jeostatistiksel

analizler yapılmıştır. Bu amaçla, çeşitli interpolasyon modelleri denenmiş ve en düşük ortalama kareler tahmin hatasına (RMSE) sahip enterpolasyon modeli ile dağılım haritaları oluşturulmuştur. RMSE'nin hesaplanmasında Eşitlik 12 kullanılmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (z_i^* - z_i)^2}{n}} \quad (12)$$

Eşitlikte  $Z_i$ , tahmin edilen değeri;  $Z_i^*$ , ölçülen değeri ve  $n$ , örnek sayısını ifade etmektedir.



Şekil 6. Tek gizli katmanlı ağ modeli (a; ağırlık, s; sapma)  
Figure 6. Single hidden layer network model (a; weight, s; deviation)

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Toprakların bazı fiziko-kimyasal özellikleri

Çalışma alanından toplanan 151 toprak örneğinde bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri incelenmiş olup, bu özelliklere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 5'te verilmiştir. Toprak örnekleri genellikle düşük  $\text{CaCO}_3$  içeriğine sahip olup, tuzluluk problemi bulunmamaktadır. Bu doğrultuda toprak reaksiyonu da asidik olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinin genellikle kum içerikleri yüksek olması nedeniyle kaba bünyelidirler. Toprakların kum içerikleri % 14.59

ile % 79.39 arasında değişirken, kil içerikleri % 4.08 ile % 45.44 arasında değişmektedir. Toprakların organik madde içerikleri genelde yüksek olup, ortalama % 6.04 olarak belirlenmiştir. Wilding (1985) değişkenlik katsayısını; düşük (<% 15), orta (% 15-35) ve yüksek (>%35) olarak sınıflandırmıştır; bu sınıflandırmaya göre, çalışma alanının toprak özelliklerinden toprak pH'sı, organik maddesi ve hacim ağırlığı ortalamaya göre düşük değişkenlik sergilerken,  $\text{CaCO}_3$ , EC, kil, kum ve silt ise yüksek değişkenlik göstermiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri

Table 5. Descriptive statistics of physical and chemical properties of soils

Parametreler	Ortalama	SS	DK	Varyans	EDD	EYD	Çarpıklık*	Basıklık
OM, %	6.04	3.355	55.537	11.261	0.37	21.42	1.062	2.324
$\text{CaCO}_3$ , %	2.85	6.067	212.951	36.820	0.80	44.10	4.529	22.518
EC, dS $\text{m}^{-1}$	275.74	183.760	66.642	33767.870	47.46	1185.00	1.604	3.713
pH	5.72	0.774	13.531	0.599	4.09	7.38	-0.082	-0.750
Kil, %	20.62	8.595	41.680	73.880	4.08	45.44	0.350	-0.095
Silt, %	25.76	6.043	23.456	36.528	8.69	46.38	0.436	0.383
Kum, %	53.33	12.280	23.026	150.820	14.59	79.39	-0.141	-0.343
HA, $\text{g cm}^{-3}$	1.275	0.143	11.215	0.021	0.990	1.590	0.136	-0.984

SS: Standart sapma, DK: Değişkenlik katsayısı, EDD: En Düşük Değer, EYD: En Yüksek Değer, OM: Organik madde, EC: Elektriksel iletkenlik, HA: Hacim ağırlığı, \*: Çarpıklık:  $|\pm 0.5|$  = Normal Dağılım, 0.5- 1.0 = Veri setine karakter dönüşümü uygulanır.  $\text{ÇK} > 1.0 \rightarrow$  Logaritma dönüşümü uygulanır.

Toprak pH'sı ve toprakların kum içeriği normal dağılımla kıyaslandığında sola çarpık (-) diğer

özellikler ise sağa çarpık (+) bir dağılım göstermektedir. Çarpıklık katsayısı en yüksek

normalden en uzak dağılım gösteren özellik ise  $\text{CaCO}_3$  olarak belirlenmiştir.  $\text{CaCO}_3$  değerinin sağa çarpık sola yığılımlı bir dağılım göstermesi toprakların kireç içeriklerinin büyük bir kısmının ortalamadan (% 2.85) daha düşük bir seviyede olmasından kaynaklanmaktadır. Toprak özelliklerinden pH, kil, kum ve hacim ağırlığı değerleri normal dağılıma göre daha basık (-) bir dağılım gösterirken, diğer toprak özellikleri ise normal dağılıma göre daha dik (+) bir dağılım sergilemektedir (Tablo 5).

### 3.2. Bulanık analitik hiyerarşi prosesinin uygulanması

B-AHP ile çam ormanlarına ait dağılım gösteren toprakların çölleşme risk analizi ilgaz

Dağı Milli Parkı'na yönelik çalışma gerçekleştirilmiş ve birden çok kriterin birbirleriyle ikili karşılaştırması yapılarak ortak bir sonuca ulaşılmıştır. Çalışmada Ilgaz Dağı'na yönelik çölleşme risk çalışması yapılması amacıyla sekiz ana kriter kullanılmaktadır (Tablo 6). Bu kriterler çam ormanlarına yönelik geliştirilmiş olan DIS4ME yaklaşımı göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Çölleşme risk kriterlerinin belirlenmesi ve ikili karşılaştırma matrisinden elde edilen veriler ile birlikte bulanık üçgensel matris oluşturulmuştur (Tablo 7). Üçgensel matristen elde edilen veriler Chang (1966) B-AHP sistemine göre verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

**Tablo 6. İkili karşılaştırma matrisi**

Table 6. Binary comparison matrix

	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
C.1	1	1/2	1/2	1/3	4	1/2	2	3
C.2	2	1	1/3	1/2	2	1/2	3	2
C.3	2	3	1	2	3	1/2	2	2
C.4	3	2	1/2	1	3	1/3	2	2
C.5	1/4	1/2	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1/3
C.6	2	2	2	2	3	1	2	3
C.7	1/2	1/3	1/2	1/2	3	1/2	1	3
C.8	1/3	1/2	1/2	1/2	3	1/3	1/3	1

C.1: Bitki örtüsü, C.2: Derinlik, C.3: Eğim, C.4: Bünye, C.5: Taşlılık, C.6: Yağış, C.7: Kuraklık, C.8: Bakı

**Tablo 7. Bulanık üçgensel karşılaştırma matrisi**

Table 7. Fuzzy triangular comparison matrix

	C.1	C.2	C.3	C.4	C.5	C.6	C.7	C.8
C.1	(1,1,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(3,4,5)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
C.2	(1,2,3)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)	(2,3,4)	(1,2,3)
C.3	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1/3,1/2,1)	(1,2,3)	(1,2,3)
C.4	(2,3,4)	(1,2,3)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	(1,2,3)	(1,2,3)
C.5	(1/5,1/4,1/3)	(1/3,1/2,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)
C.6	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(1,2,3)	(2,3,4)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)
C.7	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(2,3,4)	(1/3,1/2,1)	(1,1,1)	(2,3,4)
C.8	(1/4,1/3,1/2)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(1/3,1/2,1)	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

Son aşama olarak uygulanan eşitliklerin ardından elde edilen normalize ağırlık vektörleri Tablo 8'de verilmiştir. Kriterler içerisinde en yüksek ağırlık değeri 0.184 ile yağış indikatörü iken, en düşük ağırlık değeri ise 0.001 ile taşlılık olduğu belirlenmiştir (Tablo 8).

**Tablo 8. Kriterlerin normalize ağırlık değerleri**

Table 8. Normalized weight values of the criteria

Parametreler	Normalize ağırlık
Bitki Örtüsü	0.144
Derinlik	0.141
Eğim	0.172
Bünye	0.162
Taşlılık	0.001
Yağış	0.184
Kuraklık	0.118
Bakı	0.078

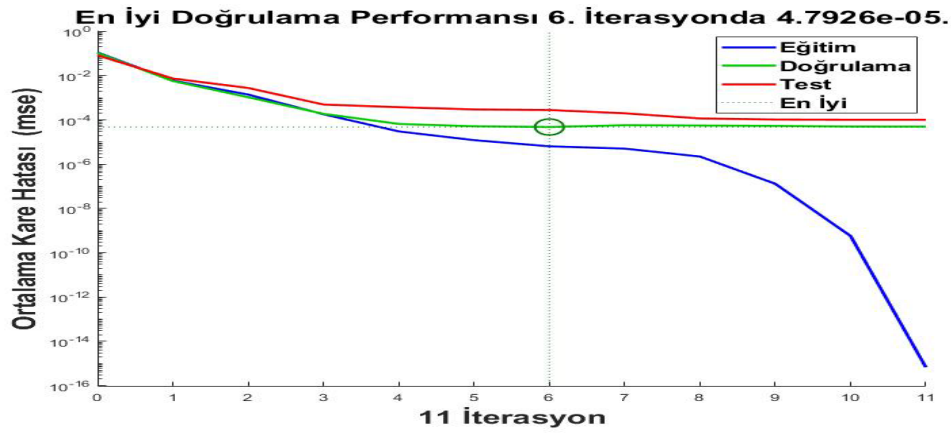
### 3.3. Çölleşme riskinin yapay sinir ağları ile tahmin edilmesi

Yapay sinir ağları genel anlamıyla insan beyninin biyolojik yapısını sinir yapılarını taklit eden sinirsel algılayıcıların da yardımı ile daha önceden öğrenilmiş ve sınıflandırılmış bilgileri kullanan ve bu bilgiler doğrultusunda yeni bilgiler oluşturabilen, karar mekanizması olan bilgisayar programlarıdır. Temel olarak bir yapay sinir ağının görevi, girdi olarak kendisine verilen bilgilere karşılık olarak bir çıktı verisi üretebilmesidir. Bunun yapılabilmesi için öncelikle ağ belirli örneklerle eğitilir. Sonra ağ genelleme yapabilecek ve karar verebilecek seviyeye kavuşur. Daha sonra kazanılan bu yetenek ile çıktıları belirler. YSA öğrenme ve tahmin etme süreçlerinde, gerçek hayattaki sorunlar ile ilgili veriler ve sonuçlardan

yararlanır. Gerçek hayat problem uzayına ilişkin değişken faktörler YSA'nın girdi serisini, bu değişkenler ile elde edilen gerçek hayat sonuçları ise YSA'nın ulaşması gereken hedef çıktılar serisini oluşturur (Pacci ve ark., 2022).

Kuraklık ve çölleşme, insan etkisiyle meydana gelen iklim değişikliğiyle beraber, sonuçları bakımından günümüzde insanlığın karşı karşıya olduğu ve kesinlikle ciddiye alınması gereken en önemli küresel ve bölgesel çevre konularından biridir (Türkeş, 2012). Çölleşme belirli bir bölgenin zamanla değişip çöl haline gelmesi değil, yenilenemeyen en önemli doğal kaynak olan toprağın özelliklerini yitirerek işlevselliğini kaybetmesi durumudur.

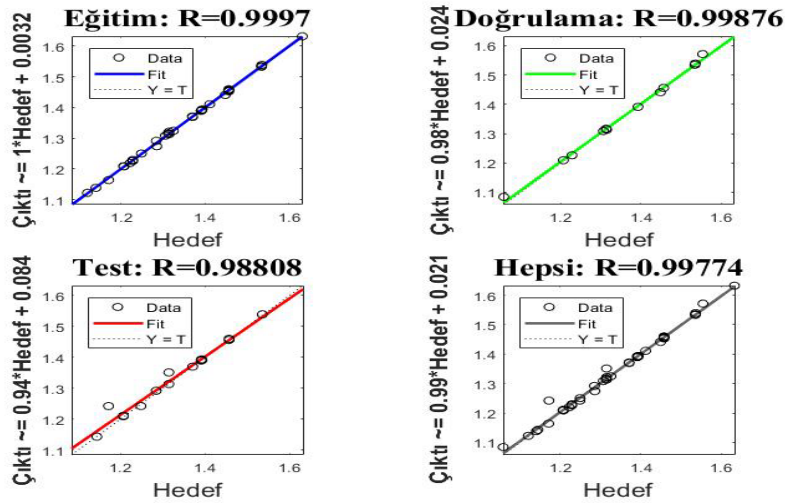
Levenberg-Marquardt kombinasyonu kullanılarak çölleşme riskinin tahmin edilmesi sürecinde 11 iterasyon kullanan model en iyi doğrulama verisi performansını  $4.7926e-05$  ile 6. iterasyonda göstermiştir (Şekil 7). Şekil 7'de test verisi üçüncü iterasyona kadar ani bir düşüş sergilemiştir. Doğrulama verisi ise dördüncü iterasyona kadar ani bir düşüş sergilemiştir. Eğitim verisi öncelikle dördüncü iterasyona kadar ani bir düşüş sergilemesinin ardından sekizinci iterasyona kadar sabit seyir etmiş, ardından ise sekizinci ve on birinci iterasyon arasında ani düşüşlere devam etmiştir. Model en iyi doğrulama verisi performansını altıncı iterasyonda göstermiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Levenberg-Marquardt kombinasyonu performans grafiği  
Figure 7. Levenberg-Marquardt combination performance graph

Yapay sinir ağının önerilen tahmin performansını keşfetme amacı ile kullanılan belirleme katsayısı ( $R^2$ ) önemli bir göstergedir. Elde edilen sonuçlara göre çölleşme riskinin

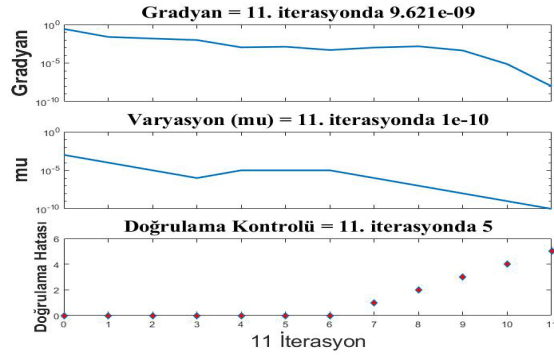
belirlenmesinde eğitim % 99, doğrulama % 99, test % 98 ve tüm veriler % 99 oranında doğrulukla tahmin edilebilir olduğunu Şekil 8'de ortaya koymuştur.



Şekil 8. Levenberg-Marquardt yaklaşımı ile hedef ve çıktı verilerinin regression sonuçları  
Figure 8. Regression results of target and output data with the Levenberg-Marquardt approach



Şekil 9 incelendiğinde, her bir iterasyonda ağdan çıkan tahmini değerlere ait gradyan değerleri verilmiştir. Gradyan değeri iterasyon sayısındaki artışa bağlı olarak azalış göstermektedir. Yapay Sinir Ağları eğitimlerini iterasyon sayısını tamamlamadan doğrulama verisinin karesel ortalama hatasına veya eğitim verisinin gradyan değerine göre erkenden tamamlayabilmektedir. Ayrıca, “validation checks” değeri 5 olarak belirlenmiştir (Şekil 9).



**Şekil 9. Çölleşme parametrelerinin eğitim durumu grafiği**

Figure 9. Educational status graph of desertification parameters

Ilgaz Dağı Milli Parkı'na ait veriler ile çölleşme riskini belirlemesinin ardından dağılım haritaları oluşturmak için çeşitli interpolasyon tekniklerini kullanarak her noktadaki Çölleşme Riski'ni ve YSA-Çölleşme Riski için en uygun dağılım modeli belirlenmiştir. İnterpolasyon modellerine ait RMSE değerleri Tablo 9'da gösterilmiştir. Tablo 9'a göre, model çölleşme riski verisi için en uygun model Simple Kriging ait

Gaussian olarak belirlenirken, YSA ile tahmin edilen çölleşme riski değerlerinin konumsal dağılımlarına yönelik en uygun model ise Simple Kriging ait Spherical olduğu tespit edilmiştir.

Model çölleşme risk verileri ile tahmin verilerine ait konumsal dağılım haritaları Şekil 10'da verilmiştir. Buna göre, modelden elde edilen çölleşme risk dağılım deseni ile YSA ile tahmin edilen çölleşme risk değerleri birbirlerine oldukça benzer bir dağılım göstermişlerdir. Her iki dağılımda da çalışma alanının kuzeybatı kesimlerde düşük olmasına karşın, güneydoğu kesimlerde risk yükselmekte olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, kuzey ve kuzeydoğu kesimlerdeki dağılımlarında ise riskin artmakta olduğu gözlenmektedir. Bunda en önemli etken, her ne kadar eğim değeri yüksek olsa da bu alanlarda toprak bünyesinin kaba bünyeli oluşu etkili olmaktadır.

#### 4. Sonuçlar

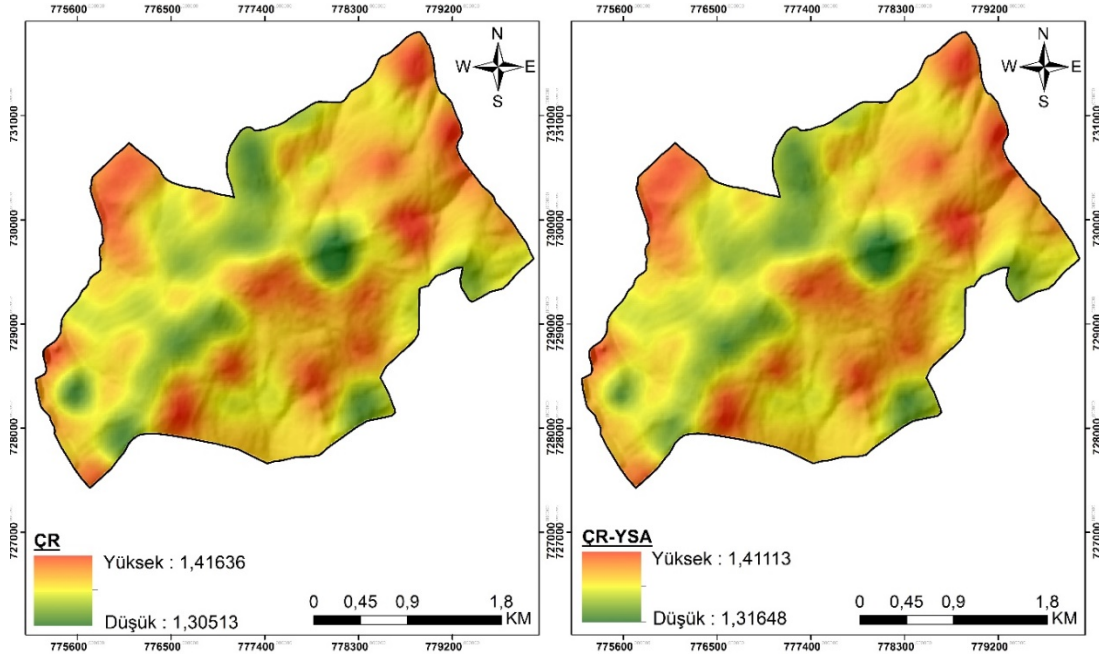
Arazi bozulumu ve çölleşmeye yönelik yapılan bu çalışmada, Ilgaz Dağı Milli Parkı sınırları içerisindeki çam ormanlarının çölleşme riski belirlenmiş ve YSA ile tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre B-AHP ile yapılan çölleşme riski parametrelerinin ağırlıklandırma hesaplamalarının, YSA kullanılarak yüksek doğruluk oranında tahmin edilebildiği ve bu doğrultuda elde edilen sonuçlar kullanılarak oluşturulan dağılım haritalarının da birbirlerine oldukça yakın sonuçlar gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan yöntem ve elde edilen bulguların, çölleşme riski üzerine yapılan çalışmalara önemli bilimsel katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

**Tablo 9. DIS4ME ve YSA çölleşme riski dağılım modellerine ait RMSE değerleri**

Table 9. RMSE values of DIS4ME and ANN desertification risk distribution models

Enterpolasyon	Semivariogram model	DIS4ME	YSA
IDW	IDW-1	0.1075	0.1063
	IDW-2	0.1087	0.1076
	IDW-3	0.1106	0.1097
RBF	TPS	0.1329	0.1315
	CRS	0.1082	0.1070
	SWT	0.1077	0.1065
Kriging	Ordinary	Gaussian	0.1078
		Exponential	0.1088
		Spherical	0.1089
	Simple	Gaussian	0.1066
		Exponential	0.1064
		Spherical	0.1065
Universal	Gaussian	0.1078	
	Exponential	0.1088	
	Spherical	0.1089	

IDW: Inverse Distance Weighting-Ters Mesafe Ağırlıklandırma, RBF: Radial Based Function-Radyal Tabanlı Fonksiyon, TPS: Thin Plate Spline-İnce Plaka Spline, CRS: Completely Regularized Spline-Tam Regülize Spline, SWT: SplineWithTension-Gerilimdeki Spline



**Şekil 10. Çalışma alanına ait DIS4ME modeli ve YSA yaklaşımli çölleşme risk haritaları**  
Figure 10. DIS4ME model and ANN-based desertification risk maps of the study area

### Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar; makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

### Finansman

Bu araştırma, hiçbir dış finansman almamıştır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

### Kaynaklar

- Abdel-Kader, M.G., Dugdale, D., 2001. Evaluating investments in advanced manufacturing technology: A fuzzy set theory approach. *The British Accounting Review*, 33(4): 455-489.
- Akbari, M., Memarian, H., Neamatollahi, E., Jafari Shalamzari, M., Alizadeh Noughani, M., Zakeri, D., 2021. Prioritizing policies and strategies for desertification risk management using MCDM-DPSIR approach in northeastern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 23: 2503-2523.
- Aksoy, B.R., 2016. MEDALUS modeli ile arazi degradasyonu ve çölleşme riskinin belirlenmesi örnek çalışma: İnebolu Havzası. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Anonim, 2009. Ilgaz Dağı Milli Parkı Uzun Devreli Gelişme Planı. Çevre ve Orman Bakanlığı, Doğa

Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Milli Parklar Dairesi Başkanlığı, Ankara.

- Anonymous, 1992. Procedures for Collecting Soil Samples and Methods of Analysis for Soil Survey. Soil Survey Invest. Rep. I, U.S. Government Print Office, Washington DC, USA.
- Anonymous, 2004. Desertification Indicator System for Mediterranean Europe (DIS4ME). European Commission, Contract EVK2-CT-2001-00109, (<http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/>), (Accessed: 23.12.2022).
- Bellman, R.E., Zadeh, L.A., 1970. Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17(4): B-141.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986. Bulk density. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, pp. 363-375.
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy Journal*, 54(5): 464-465.
- Celilov, C., Dengiz, O., 2019. Erozyon duyarlılık parametrelerinin farklı enterpolasyon yöntemleriyle konumsal dağılımlarının belirlenmesi: Türkiye, Ilgaz Milli Park toprakları. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(3): 242-256.
- Chang, D.Y., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3): 649-655.
- Dağdeviren, M., 2007. Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile personel seçimi ve bir uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4): 791-799.

- Dağdeviren, M., Akay, D., Kurt, M., 2004. İş değerlendirme sürecinde analitik hiyerarşi prosesi ve uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2): 131-138.
- Dastorani, M., 2022. Application of fuzzy-AHP method for desertification assessment in Sabzevar area of Iran. *Natural Hazards*, 112(1): 187-205.
- Dede, V., Demirağ Turan, İ., Dengiz, O., Serin, S., Pacci, S., 2022. Effects of periglacial landforms on soil erosion sensitivity factors and predicted by artificial intelligence approach in mount Cin, NE Turkey. *Eurasian Soil Science*, 55(12): 1857-1870.
- Deng, H., 1999. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21(3): 215-231.
- El Alfy, Z., Elhadary, R., Elashry, A., 2010. Integrating GIS and MCDM to deal with landfill site selection. *International Journal of Engineering & Technology*, 10(6): 32-42.
- Gao, J., Wang, H., 2019. Temporal analysis on quantitative attribution of karst soil erosion: A case study of a peak-cluster depression basin in Southwest China. *Catena*, 172: 369-377.
- Haykin, S., 1999. Neural networks: A guided tour. In: N.K. Sinha and M.M. Gupta (Eds.), *Soft Computing and Intelligent Systems: Theory and Applications*, Academic Press, USA, pp. 71-80.
- Imbrenda, V., Coluzzi, R., Di Stefano, V., Egidi, G., Salvati, L., Samela, C., Lanfredi, M., 2022. Modeling spatio-temporal divergence in land vulnerability to desertification with local regressions. *Sustainability*, 14(17): 10906.
- Jackson, M.L., 1958. Soil Chemical Analysis. Verlag: Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Jafari, R., Abedi, M., 2021. Remote sensing-based biological and nonbiological indices for evaluating desertification in Iran: Image versus field indices. *Land Degradation & Development*, 32(9): 2805-2822.
- Jafari Shalamzari, M., Zhang, W., Gholami, A., Zhang, Z., 2019. Runoff harvesting site suitability analysis for wildlife in sub-desert regions. *Water*, 11(9): 1944.
- Kargin, M., 2010. Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve ideal çözüme yakınlığa göre sıralama yapma yöntemleri ile tekstil sektöründe finansal performans ölçümü. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(1): 195-216.
- Kosmas, C., Ferrara, A., Briassouli, H., Imeson, A., 1999. Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification. In: C. Kosmas, M. Kirkby and N. Geeson (Eds.), *The Medalus Project: Mediterranean Desertification and Land Use, Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertification*, EUR, 18882, pp. 31-47.
- Kuang, Q., Yuan, Q.Z., Han, J.C., Leng, R., Wang, Y.S., Zhu, K.H., Lin, S., Ren, P., 2020. A remote sensing monitoring method for alpine grasslands desertification in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Mountain Science*, 17(6): 1423-1437.
- Liou, T.S., Wang, M.J.J., 1992. Ranking fuzzy numbers with integral value. *Fuzzy Sets and Systems*, 50(3): 247-255.
- Malczewski, J., Rinner, C., 2015. Development of GIS-MCDA. In: J. Malczewski and C. Rinner (Eds.), *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*, New York: Springer, pp. 55-77.
- McLean, E.O., 1982. Soil pH and lime requirement. In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, (2nd Edition), Agronomy, pp. 199-223.
- Mutlu, N., 2015. Yarı kurak bir bölgede çölleşmenin izlenmesini sağlayacak göstergelerinin belirlenmesi ve haritalanması. Doktora Tezi, Gazi Osmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Odabas, M.S., Kayhan, G., Ergun, E., Senyer, N., 2016. Using artificial neural network and multiple linear regression for predicting the chlorophyll concentration index of Saint John's Wort Leaves. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(2): 237-245.
- Pacci, S., Kaya, N.S., Turan, İ.D., Odabas, M.S., Dengiz, O., 2022. Comparative approach for soil quality index based on spatial multi-criteria analysis and artificial neural network. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(1): 1-15.
- Pala, O., 2016. Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ve meslek seçiminde uygulanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(3): 427-445.
- Pishyar, S., Khosravi, H., Tavili, A., Malekian, A., Sabourirad, S., 2020. A combined AHP-and TOPSIS-based approach in the assessment of desertification disaster risk. *Environmental Modeling & Assessment*, 25(2): 219-229.
- Rhoades, J.D., 1993. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. *Advances in Agronomy*, 49: 201-251.
- Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3): 234-281.
- Salman, M.S., Kukrer, O., Hocanin, A., 2017. Recursive inverse algorithm: Mean-square-error analysis. *Digital Signal Processing*, 66: 10-17.
- Silva, J., Moura, G., Lopes, P.M.O., França-e-Silva Ê, Ortiz P., Silva, D., Silva, M., Guedes, R., 2020. Spatial-temporal monitoring of the risk of environmental degradation and desertification by remote sensing in a Brazilian semiarid region. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(2): 544-563.
- Turan, İ.D., Dengiz, O., Özkan, B., 2019. Spatial assessment and mapping of soil quality index for desertification in the semi-arid terrestrial ecosystem using MCDM in interval type-2 fuzzy environment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 164: 104933.

- Türkeş, M., 2012. Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2): 1-32.
- Türkeş, M., Öztaş, T., Tercan, E., Erpul, E., Karagöz, A., Dengiz, O., Doğan, O., Şahin, K., Avcıoğlu, B., 2020. Desertification vulnerability and risk assessment for Turkey via an analytical hierarchy process model. *Land Degradation and Development*, 31(2): 205-214.
- Uzuner, C., Dengiz, O., 2020. Desertification risk assessment in Turkey based on environmentally sensitive areas. *Ecological Indicators*, 114: 106295.
- Van Laarhoven, P.J.M., Pedrycz, W., 1983. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3): 229-241.
- Van Wambeke, A.R., 2000. The Newhall Simulation Model for Estimating Soil Moisture & Temperature Regimes. Department of Crop and Soil Sciences, U.S. Department of Agriculture, Ithaca, N.Y. Washington, DC.
- Wang, X., Chen, F., Hasi, E., Li, J., 2008. Desertification in China: an assessment. *Earth Science Reviews*, 88(4): 188-206.
- Warren, A., 2002. Land degradation is contextual. *Land Degradation & Development*, 13(6): 449-459.
- Wijitkosum, S., 2016. The impact of land use and spatial changes on desertification risk in degraded areas in Thailand. *Sustainable Environment Research*, 26(2): 84-92.
- Wilding, L.P., 1985. Spatial variability: it's documentation, accommodation and implication to soil surveys. In: D.R. Nielsen and J. Bouma (Eds.), *Soil Spatial Variability*, Pudoc, Wageningen, The Netherlands, p. 166-194.
- Zakerinejad, R., Masoudi, M., 2019. Quantitative mapping of desertification risk using the modified MEDALUS model: a case study in the Mazayean Plain, Southwest Iran. *Acta Universitatis Carolinae Geographica*, 54(2): 232-239.

**ALINTI:** Dengiz, O., Saflı, M.E., Pacci, S., 2023. Ilgaz Dağı Milli Parkı Doğal Çam Orman Arazilerinin Çölleşme Risk Değerlendirmesinde Bulanık-AHP Yaklaşımı ve Yapay Zekâ Kullanımı. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 10(1): 75-90.

**CITATION:** Dengiz, O., Saflı, M.E., Pacci, S., 2023. Fuzzy-AHP Approach and Artificial Intelligence Use in The Desertification Risk Assessment of Natural Pine Forest Lands of Ilgaz Mountain National Park in Türkiye. *Turkish Journal of Agricultural Research*, 10(1): 75-90. (In Turkish).