




Araştırma Makalesi/Research Article

## Eğimli ve Kurak Koşullarda Bir Arazi Toplulaştırma Sahasının Çölleşme Potansiyelinin Fraktal Analizle Araştırılması

Murat Altunsu 

İrfan Oğuz\* 

Rasim Koçyiğit 

<sup>1</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü-Tokat  
\*Sorumlu yazar: irfan.oguz@gop.edu.tr

Geliş Tarihi: 13.08.2020

Kabul Tarihi: 02.01.2021

### Öz

Fraktal teori, toprak sistemlerinin performansını daha iyi anlamak için toprak yapı dinamiklerini tanımlayan yararlı bir araç haline gelmiştir. Arazi eğim değişiklikleri toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bununla birlikte, farklı eğimlerde yer alan toprak tabakalarına ait fraktal özellikleri hakkında sınırlı bilgi mevcuttur. Modern istatistiksel çalışmalar topraklardaki heterojenliği tanımlayarak farklı toprakların çölleşme eğilimlerini karşılaştırmaya imkân vermektedir. Bu çalışmada, dört farklı eğim grubunda (% 0-2, % 3-6, % 7-12, >% 12) on altı adet toprak değişkeni için toprak profili boyunca çölleşme eğilimini tanımlamak üzere fraktal analiz istatistiksel teknikleri kullanılmıştır. Bu amaçla, Aksaray iline bağlı Ortaköy ilçesi arazi toplulaştırma proje sahasından toplam 1808 toprak örneği toplanmıştır. Çalışmada toprak tekstürü, doyunluk, pH, EC, tuz, kireç, Ca + Mg, Na, SAR, ESP, B, Kil Oranı I, Kil Oranı II ve Kil Oranı III içerikleri dikkate alınmıştır. Fraktal katsayıya göre, pH, tuz, kireç, silt, Ca + Mg, Na, SAR ve ESP önemli farklılıklar göstermiştir. Genel olarak, eğim arttıkça fraktal katsayı değerleri düşmüştür. Fraktal yaklaşımın toprakların heterojenliğini belirlemede uygun ve önerilebilir olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çölleşme, Fraktal Katsayı, toprak özellikleri, Aksaray

### Investigation of Desertification Potential of a Land Consolidation Site Under Sloped and Arid Conditions by Fractal Analysis

#### Abstract

The fractal theory is becoming an increasingly useful tool to describe soil heterogeneity for a better understanding of the performance of soil systems. Changes in land slope patterns significantly affect soil physical, chemical and biological properties. However, limited information is available on the fractal characteristics of deep soil layers under different soil slope segments. Modern statistical approaches can be define the heterogeneity of the soil and allow to compare the desertification trends of different soils. In this study, the fractal analysis statistical technics were used to describe desertification tendency along soil profiles for sixteen soil variables in five different slope group (0-2%, 3-6%, 7-12%, >12%). For this purpose, totally 1808 soil samples were collected from a land consolidation project site of Ortaköy district of Aksaray city in Turkey. In the study, soil texture, saturation, pH, EC, salt, lime, Ca + Mg, Na, SAR, ESP, B, Clay Ratio I, Clay Ratio II and Clay Ratio III contents were taken into consideration. According to the fractal coefficient, pH, salt, lime, silt, Ca + Mg, Na, SAR and ESP showed significant differences. Generally, fractal coefficient values decreased with increasing slope. The fractal theory was found to be appropriate and advisable in determining the heterogeneity of soils.

**Keywords:** Desertification, Fractal Coefficient, soil properties, Aksaray

#### Giriş

Çölleşme, yarı kurak iklim bölgelerinde yaygın olarak görülmekte olup, aşırı insan baskısı, arazi kullanım türlerinin değişmesi ve hatta doğal işlemleri kapsar (Mouat ve ark., 1997). Çölleşme ile üretkenlik, biyoçeşitlilik, arazinin ekonomik sürdürülebilirliği ve ekosistem fonksiyonlarında uzun dönemlik değişimler meydana gelir (Dregne, 1977), böylelikle, ekosistem fonksiyonlarının bileşenlerinde yersel ve zamansal değişikliklerin her ikisini de içeren değişiklikler oluşur. Çölleşme çok sayıda farklı ekosistemde farklı tanımlayıcı işlemlerle sonuçlanır (Mouat ve ark., 1997). Örneğin artan sıcaklık, azalan yağış, aşırı otlama, kemirgen hasarı, su sistemlerinin drenajı ve arazi ıslahı, meralardaki çölleşmesinin genişlemesinden sorumlu ana unsurlar olarak kabul edilmektedir (Dong ve ark., 2010; Hu ve ark., 2015). Bu nedenle farklı iklim ve toprak koşulları için çölleşmenin incelenmesi ve göstergelerinin karşılaştırılması yararlı olacaktır. Çölleşme indisleri olarak sıklıkla toprakların



fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri kullanılmaktadır (Schlesinger ve ark., 1990). Bu toprak özellikleri içerisinde toprak erozyonu, tuzlulaşma ve toprak kimyası çalışmaları genel olarak çölleşme çalışmalarında kullanılmaktadır. Türkiye'de çölleşmeyle etkin bir şekilde mücadele edebilmek için bilimsel bir çölleşme risk haritası oluşturmak üzere “Havza İzleme ve Değerlendirme Sistemi” oluşturulmuştur. Analitik Hiyerarşi Süreci kullanılarak bir uzmanlık grubu tarafından belirlenen 7 ana kriter altında 48 gösterge ve 37 alt göstergeden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Söz konusu çalışmanın arazi bulgularına göre, Aras, Batı Karadeniz, Konya Kapalı, Marmara ve Meriç- Ergene havzaları haricinde, tüm nehir havzalarının topraklarının en az %15'inin orta-yüksek çölleşme riski altında olduğunu belirlenmiştir (Türkeş ve ark., 2019).

Mouat ve ark. (1997) çölleşmeyi değerlendirmede kullanılacak potansiyel indikatörleri listelemiştir. Bu liste, organik madde, albedo, erozyon indeksi, karbon azot oranı ve tuzlulaşma gibi çeşitli toprak değişkenlerini kapsamaktadır. Miller ve Donahue (1995) karbon azot oranını toprağın besleyicilik durumunu göstermekte bir indikatör olabileceğini önermiştir. Su ve ark. (2004), toprak bünyesinin fraktal katsayısı (Ds) ile çölleşme riskinin ilişkilendirilebileceğini belirtmiş ve yaptıkları çalışmada, yüksek kum içeriği düşük Ds değeri göstererek tarım alanları için daha fazla çölleşme potansiyeli göstermiştir. Ele alınan toprak özelliğinde görülen heterojenlik çölleşmenin bir potansiyel indikatörü olabileceği önerilmektedir.

Klasik istatistikte, ele alınan bir toprak özelliğine ait standart sapma, değişim katsayısı ve ortalama gibi veriler yersel değişkenlikleri karakterize etmek için sıklıkla kullanılmaktadır (Webster, 2001). Eghball ve ark. (1999) uzaysal veya zamansal bağımlılığın klasik istatistik yöntemleri ile kullanılmasının yanlış sonuçlara yol açabileceği hususuna işaret etmiştir. Bu nedenle semivariogram ve fraktal analizin, konular ya da yönetim sistemlerindeki değişkenliği tanımlamak ve karşılaştırmak için faydalı olabileceğini belirtmişlerdir.

Fraktal analiz, bitki ve toprak parametrelerinin tanımlanmasında oldukça fayda sağlamaktadır. Burrough (1983), Mandelbrot (1982)'in fraktal teorisi ile toprak özelliklerinin değişkenliğini tanımlanabileceğini ilk öneren kişilerdir. Fraktal analizde, fraktal boyut (D), çalışılan objenin geometrisinin (şeklinin) bağımsız bir göstergesidir (Eghball ve ark. 1999).

Farklı eğimlerde toprak özelliklerinde görülen istatistiksel farklılıklar kuşkusuz toprak oluşum özellikleri ve topoğrafya gibi sayısız etkenlerden kaynaklanmaktadır. Topoğrafya suyla ilişkili olayları etkileyerek toprak oluşumunu derinden etkilemektedir (Kachanoski ve ark. 1985). Sonuçta bu durum, eğim dikliğine bağlı olarak yersel ve zamansal esasta toprak heterojenliğine yol açar. Bu durum farklı topografyalarda farklı büyüklükte çölleşme işlemlerinin meydana gelmesine yol açar. Bu düşüncenin farklı eğimde yer alan arazilerde çölleşme süreçlerinin karşılaştırılması suretiyle gözden geçirilmesi yararlı olacaktır.

Oğuz ve ark. (2011) Tokat yöresinde 1,041.2 ha alana sahip Çelikli Havzasında yaptıkları çalışmada, eğimi  $<3^\circ$  olan hafif-orta eğimli (MMS) ve  $>3^\circ$  fazla eğime sahip orta-dik eğimli (MSS) yerler için bazı seçilmiş toprak özelliklerinin değişim katsayısı (CV) ve yersel değişiminin fraktal boyutu (D) değerlerini karşılaştırmışlardır. Toprak örneklerinin alansal değişimi orta eğim (MHS) ve SMS toprakları için CV, semivariogram analizi ve D ile karakterize edilmiştir. Genel olarak yüksek CV değerleri SMS topraklarında meydana gelmiş ve nugget etkisi değişkenler için SMS topraklarında düşük bulunarak daha yüksek çölleşme potansiyeli göstermiştir. Daha güçlü uzaysal yapıya sahip değişkenler daha yüksek CV ve düşük D'ye sahip olmuştur. Genellikle yüksek CV değerleri ve düşük D değerleri SMS topraklarında oluşmuş ve bu durumda bu topraklar daha yüksek çölleşme potansiyeli göstermiştir. Her iki eğim sınıfında toprak özelliklerinin güçlü uzaysal dağılımı bu alanlarda çölleşme riskinin tanımlanmasında D değeri, CV'ye tercih edilebilir bulunmuştur.

Xiao ve ark. (2014), Çin Shaanxi bölgesi, China Zhifanggou havzasında yürüttüğü çalışmada 0-50 cm toprak profilinde tane boyutu dağılımı ve mikroagregat dağılımı ile 0-10 cm toprak derinliği için toprakların erozyona dayanıklılığını fraktal boyutla analiz etmişlerdir. Çalışma bulgularına göre toprak tane boyutu ve mikro agregat, toprak derinliği ve farklı arazi kullanım türleriyle anlamlı fraktal boyut değerleri göstermiştir. Çalışma sonucunda araştırmacılar fraktal teorinin farklı arazi kullanım türleri altında toprak strüktürünü karakterize edebilmek için kullanılabilirliğini bildirmişlerdir.

Tibet'te yürütülen bir araştırmada dört farklı arazi kullanım türünde yer alan toprakların çeşitli özelliklerindeki değişim fraktal analiz yöntemi ile araştırılmıştır (Wang ve ark., 2016). Çalışmada, çayır ve seyrek çalılık, yüksek örtülülükte mera, bitkisiz çıplak arazi ve buğday yetiştirilen tarım



arazisi olmak üzere dört farklı arazi kullanım türü seçilmiştir. Çalışma bulguları, toprakların tekstürel fraksiyonları ve bazı özelliklerinin fraktal boyut üzerinde dikkate çeker bir etkisi olduğunu göstermiştir. Dahası, toprak zerre iriliğine ait fraktal katsayının arazi kullanım türü ve arazi kullanım türü değişikliklerine bağlı oluşabilecek toprak bozulmasını gösterecek kullanımlı bir parametre olduğunu belirlenmiştir.

Iran’da yürütülen bir çalışmada toprak örneklerinin tane boyutu dağılımı iki ölçekleme alanı için olacak şekilde ölçekleme alanlarının fraktal boyutları ile kil, silt ve kum fraksiyonları arasındaki ilişkiyi incelemek ve değerlendirmek için parçalı bir fraktal model kullanılmıştır. Çalışmada, Guilan Üniversitesi kampüsünde yer alan düz bir tarladan 75 adet toprak örneği alınmıştır. Toprakların tekstürel fraksiyonlarının fraktal boyutları hesaplanmış ve toprak örneklerinin tekstürel fraksiyonları için DM1 ve DM2 olmak üzere iki alan seçilmiştir. DM1 ve DM2 ve toprak tekstürleri arasındaki istatistiksel ilişki regresyon teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. DM1 ve kil arasında pozitif bir korelasyon ( $R^2 = 0.924$ ), DM1 ile silt arasında negatif korelasyon ( $R^2 = 0.801$ ) ve DM2 ve kum içeriği arasında negatif bir korelasyon ( $R^2 = 0.913$ ) belirlenmiştir. Semivariogram modellerine ve validasyon parametrelerine göre, fraktal parametrelerin güçlü bir uzaysal yapıya sahip olduğu ve toprak tekstürünün uzaysal değişkenliğini iyi tanımlayabildiği belirtilmiştir (Mohammadi ve ark., 2019).

Saskatchewan, Kanada’da toprak su içeriği, kum içeriği ve nispi yükseklik, 576 m uzunluğunda bir hat boyunca 1.4 m derinliğe kadar ölçülmüştür. Çalışmada, toprak su depolanması, kum içeriği ve nispi kottaki değişkenlik multifraktal davranış göstermiştir. Nispi yükseklikle toprak su depolanması arasında güçlü bağ bulunmuş, ancak kum içeriği ve su depolanması arasında multifraktal spektrum daha düşük bir korelasyon göstermiştir. Multifraktal analizin, üç değişken arasındaki ölçekleme davranışını tamamen karakterize etme özelliğini açıkça gösterdiği bildirilmiştir (Biswas, 2019).

Doğu Qinghai-Tibet Platosunda yer alan kumlu tekstürlü, mera topraklarının parçacık boyutu dağılımları ile mera çölleşme süreci sırasında fraktal özellikleri araştırılmıştır. D değerleri kil ve silt içerikleri ile anlamlı pozitif korelasyon ve kum içerikleri ile güçlü negatif korelasyon göstermiştir. Çölleşme dereceleri ile hafiften aşırı şiddetliye doğru kil, silt ve çok ince kum içerikleri azalırken ince kum içerikleri artmış ve buna bağlı olarak D değerleri azalmıştır. Daha ağır çölleşmeye ve daha düşük D değerlerine sahip meralar, toprak organik karbonunun, toprak toplam azotunun ve toprak neminin daha fazla kaybı ve artan toprak hacim ağırlığına bağlı olarak rüzgâr erozyonuna daha kolay maruz kalmıştır. Toprak derinliği, toprak partikül boyut dağılımlarını ve meraların seçilen toprak özelliklerini hafif ve orta derecede çölleşme koşulları altında etkileyebilir bulunmuş, ancak şiddetli ve aşırı derecede çölleşmiş arazileri nadiren etkilemiştir (Feng ve ark., 2020).

Bu çalışmada amaçlanan, kurak iklim koşullarının hüküm sürdüğü bir arazi toplulaştırma sahasında dört farklı eğim grubunda toprakların farklı derinlikleri için çölleşme eğilimini karşılaştırmaktır. Bu amaç için farklı eğimlerde yer alan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri modern istatistik yaklaşımlarla çölleşme eğilimleri bakımından karşılaştırılması öngörülmüştür.

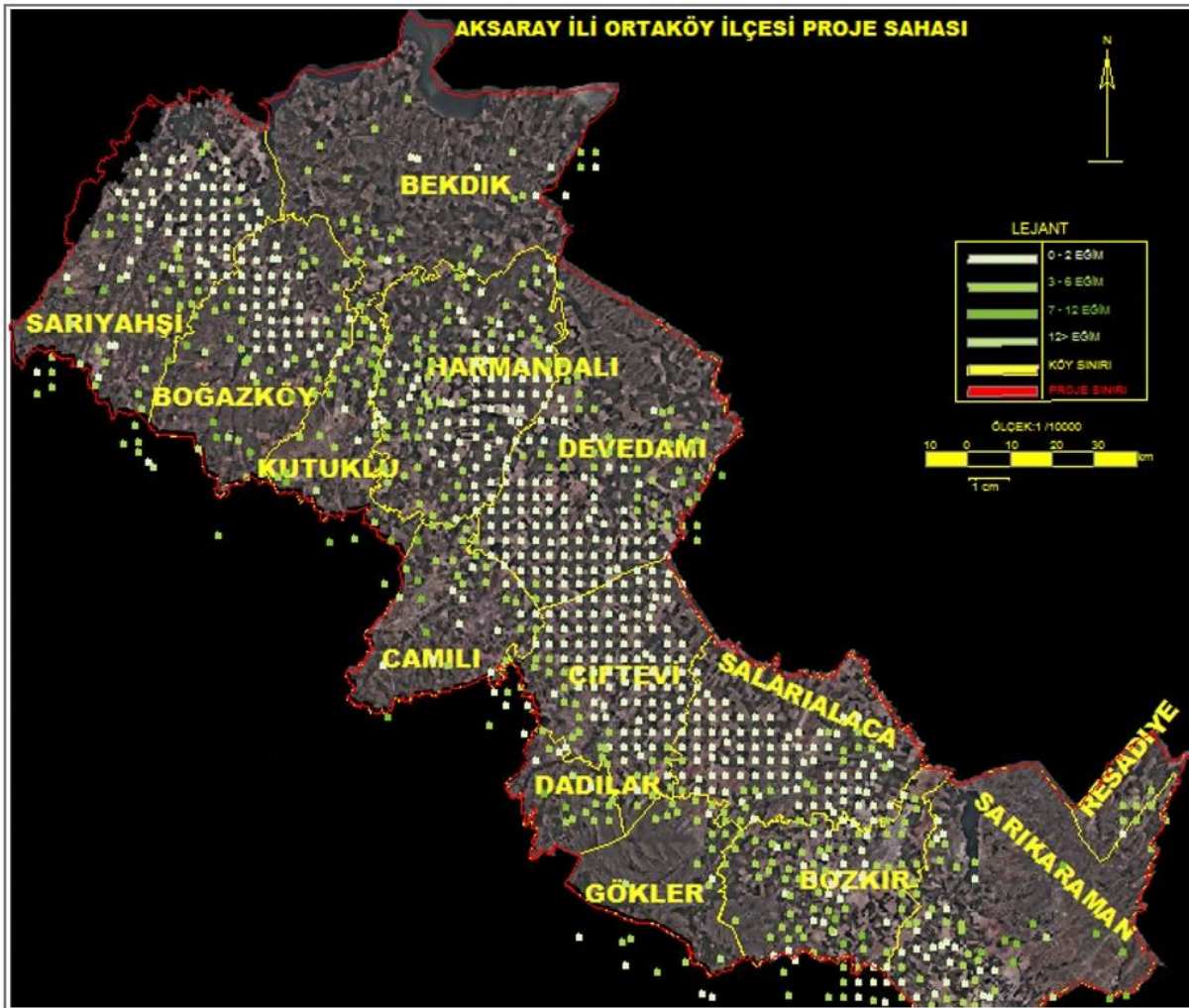
### **Materyal ve Yöntem**

Çalışma, Aksaray İline bağlı Ortaköy İlçesi Reşadiye, Bozkır, Sarıkaraman, Devedamı, Harmandalı, Çiftevi, Gökler, Salıyalaca Köyleri, Ağaçoören İlçesi’ne bağlı Kütüklü, Dadılar, Camili köyleri ve Sarıyahşi İlçesi merkez, Boğazköy ve Bekdik Köylerini içerisini kapsayan arazi toplulaştırması sahasında yürütülmüştür. Araştırma sahası 50673.48 ha alan kaplamakta olup Tuz Gölü Kapalı Havzası’nda yer almaktadır. Çalışma alanının kuzeyinde Hirfanlı HES Barajı ve Kızılırmak, doğusunda Kırşehir, güneyinde Ortaköy İlçesi, batısında Sarıyahşi ve Ağaçoören ilçeleri bulunmaktadır. Arazi, Kuzeybatı-Güneydoğu bakılıdır. Araştırma alanı 33° 47’ 49”, 34° 14’ 52” Doğu boylam, 39° 03’ 83”, 38° 44’ 15” Kuzey enlemleri arasındadır (Şekil 1).

Hakim büyük toprak grubu, alüvyal ve kahverengi topraklardır. Toprak derinliği genel olarak orta derindir. Arazi düz ve düze yakın, hafif, orta ve çok dik eğim grupları bulunmaktadır (Anonim, 2013). İklim karasal olup, Türkiye ortalaması altında yağışa sahiptir. Aksaray İlinin yıllık yağışı 349,1 mm, buharlaşma miktarı 1341,7 mm ve ortalama sıcaklığı 11,9 °C’ dir. Araştırma yeri çoklukla tarım alanlarından oluşmakla birlikte mera alanları da yer almaktadır. Tarım alanlarında, tarla bitkileri, sebze ve meyvecilik yapılmaktadır.

Araştırma sahasında koordinatlı olmak üzere, 500m aralıklarla grid yöntemiyle daha önceden alınmış koordinatlı toprak örnek noktalarına ait eğim değerlerini belirlemek için arazinin sayısal yükseklik modeli (DEM) oluşturulmuştur. Oluşturulan eğim haritası üzerinde örnekleme noktaları gösterilmek suretiyle her bir örnekleme noktası için eğim değerleri belirlenmiştir.

Çalışmada, düz veya düze yakın eğim (DE) % 0-2, hafif eğim (HE) % 3-6, orta eğim (OE) % 7-12 ve fazla eğim (FE) > % 12 olmak üzere dört farklı eğim gruplaması oluşturulmuştur (Şekil 1). Her grup için farklı derinlikler dikkate alınarak toprak örneklerine ait çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alınmıştır. Dört farklı eğim grubunda yer alan toprakların bünye, suyla doygunluk, pH, EC, tuz (%), kireç, kum, kil, silt, Ca+Mg, Na, SAR, ESP, B ve kil oranı I, II, III gibi özellikleri çalışma alanının çölleşme eğilimini belirleyebilmek amacıyla değerlendirilmiştir. Bu amaçla, toplam 1808 adet olmak üzere, farklı noktalardan alınmış ve analiz edilmiş 0-20cm, 20-50cm, 50-90cm, 90-120cm derinliklere ait toprakların bazı özellikleri dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Araştırma yeri örnek noktaları, yerleşim yerleri ve eğim değerleri

Yarıvariogram, fraktal analiz kapsamında, DE, HE, OE ve FE eğim gruplarında yer alan topraklarda farklı derinlikler için toprak değişimlerinin dağılımını tanımlamak için kullanılmıştır. Yarıvariogram denkleme hesaplanmıştır (Diekman ve ark, 2007).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{N(h)} [z(X_i) - z(X_i + h)]^2 \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Burada,  $\gamma(h)$  yaklaşık yarıvariogram,  $z(X_i)$  ve  $z(X_i + h)$  gecikme  $h$  ile ayrılmış bir değişken değerinin,  $N(h)$  karşılık gelen gecikme çift sayısıdır. Fraktal analiz desen yöntemine göre DE, HE, OE ve FE topraklarda mekansal değişkenlik derecesini değerlendirmek için toprak değişkenlerinin uzaysal verileri kullanılmıştır (Burrough, 1983, Eghball ve ark,1999). Çalışmada, çarpıklık katsayısı



gözetilerek mutlak değeri 1'den büyük değerler için logaritmaları alınarak, 0.5 – 0.99 değerler için karekökleri hesaplanarak gerekli düzeltmeler yapılmıştır (Webster, 2001).

Fraktal fonksiyon değişkenler için uzaysal yapı olarak tarif edilmiştir:

$$\lambda(h) \propto kh^H \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Burada  $\lambda(h)$  yarıvariogram,  $h$  gecikme,  $H$  keyfi dik boyut ve  $k$  değişim ölçüsünde sabit sayıdır.

Fraktal boyut  $D$  Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır (Burrough, 1983, Eghball ve ark., 1999).

$$D = d - 0.5H \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Burada,  $d$  değeri, araziler için çeşitli çalışmalarda önerilen şekilde 2 olarak kabul edilmiştir (Mandelbrott, 1982). Böylelikle tahmini fraktal boyut ( $D = 2 - 0.5H$ ) olmuş ve burada  $H$  değeri regresyon çizgisini ortaya çıkaran eğim değeri (keyfi dik boyut) olarak hesaplanmıştır (Eghball ve ark., 1999). Analiz uyumunu artırmak için en küçük kareler, yarıvariogram aralığında yer alan açıkça tanımlanmış veri noktaları kullanılmıştır (Burrough, 1983). Farklı eğim gruplarında ve derinliklerde yer alan toprakların çeşitli özellikleri için gerekli hesaplamalar GS+ 7 (GS+ Ver.7.0, 2005; Gamma Design software) programında yapılmıştır. Koordinatlı olarak programa girilen verinin çarpıklık değeri dikkate alınarak gerekli dönüşümler yapılmıştır (Webster, 2001). Otokorelasyon işleminden sonra programın Fraktal seçeneği yardımıyla toprakların fraktal variogramı elde edilmiştir. Her toprak özelliği için GS+ yardımıyla hesaplanan veriler excel yazılıma aktarılmış, x eksenine log (ortalama mesafe) ve y eksenine log (ortalama yarıvariogram) olacak şekilde regresyona tabi tutularak doğrusal denklemin eşitliği ve  $R^2$  değerleri belirlenmiştir. Bu şekilde belirlenen  $r$  değeri  $h$  değerine eşittir (Eghball ve ark., 1999). Çalışmada  $d$  değeri önerildiği şekliyle 2 olarak alınmış (Mandelbrott, 1982) ve Eşitlik 3 yardımıyla fraktal boyut her eğim gurubunda ve derinlikte yer alan toprak özellikleri için ayrı olacak şekilde hesaplanmıştır.

### Bulgular ve Tartışma

Araştırmada dört eğim ve derinlik grubu için değerlendirilen toprak özelliklerine ait fraktal katsayı ( $D$  değeri) Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanarak Çizelge 1'de verilmiştir. Uzaysal değişkenlikte  $D$  değeri, 1 ile 2 arasında değişen bir değer alır.  $D$  değeri 1'e yaklaşması uzaysal değişkenliğin fazla, 2'ye yaklaşması ise daha homojen ve düşük çölleşme eğilimine işaret etmektedir. Çalışmada Fraktal analizler sonucu hesaplanan  $R^2$  değerleri yüksek bulunmuştur.  $R^2$  değerlerinin yüksek,  $D$  değerlerinin ise düşük çıkması bütün toprak özellikleri için çölleşme eğiliminin yüksek olduğu söylenebilir.

Düz eğimli ve 0-20 cm derinlikteki üst toprakların tanımlama katsayıları ( $R^2$ ), sırasıyla SAR, pH, Na, B, kum, saturasyon, kireç, EC, Ca+Mg, kil oranı III, kil oranı I, ESP, tuz, silt, kil oranı II ve kil olarak sıralanmıştır.  $D$  değerleri ise sırasıyla B, kil oranı III, Ca+Mg, kum, EC, kil oranı I, kil, saturasyon, kil oranı II, Na, ESP, tuz pH, kireç, SAR ve silt olarak gerçekleşmiştir. Düz eğimli üst topraklarda SAR, pH, Na, B, kum, saturasyon, kireç değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek  $D$  değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Düz eğimli ve 20-50 cm derinlikte toprak özelliklerinin  $R^2$  değerleri, sırasıyla pH, B, Na, kireç, kil, saturasyon, tuz, ESP, kil oranı III, kil oranı II, EC, Ca+Mg, kil oranı I, SAR, silt ve kum olarak sıralanmıştır.  $D$  değeri ise sırasıyla B, tuz, kil oranı III, EC, Kum, Ca+Mg, kil oranı I, saturasyon, pH, kil, kil oranı II, kireç, Na, silt, SAR ve ESP olarak gerçekleşmiştir. Düz eğimli, 20-50cm derinlikteki topraklarda pH, Na, kireç, kil ve saturasyon değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek  $D$  değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Düz eğimli ve 50-90 cm derinlikteki toprakların  $R^2$  değerleri, sırasıyla pH, silt, B, SAR, kireç, kum, kil, Na, ESP, EC, saturasyon, kil oranı II, kil oranı III, Ca+Mg, kil oranı I ve tuz olarak sıralanmıştır.  $D$  değeri ise sırasıyla tuz, kil oranı III, kireç, EC, Ca+Mg, kil oranı I, kum, kil, saturasyon, kil oranı II, B, Na, ESP SAR, silt ve pH olarak gerçekleşmiştir. Bu eğim ve derinlik grubunda pH, silt, B ve SAR değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek  $D$  değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Düz eğimli ve 90-120 cm derinlikteki toprakların  $R^2$  değerleri, sırasıyla kireç, kil oranı III, saturasyon, pH, kil oranı I, SAR, ESP, Na, kil oranı II, tuz, B, kil, silt, EC, kum ve Ca+Mg olarak sıralanmıştır.  $D$  değeri ise sırasıyla EC, tuz, kil oranı I, Ca+Mg, pH, kum, kil, kil oranı II, B, kil oranı III, saturasyon, silt, Na, SAR, ESP ve kireç olarak gerçekleşmiştir. Bu eğim ve derinlik kombinasyonunda kireç, kil oranı III, saturasyon, pH, kil oranı I, SAR, ESP, Na ve kil oranı II değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek  $D$  değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir (Çizelge 1).



Hafif eğimli ve 0-20 cm derinlikte yer alan toprakların  $R^2$  değerleri, sırasıyla EC, kil oranı I, B, Ca+Mg, kum, tuz, silt, kil, kireç, kil oranı II, saturasyon, SAR, ESP, kil oranı III, pH ve Na olarak sıralanmıştır. D değeri ise sırasıyla B, pH, Ca+Mg, kum, saturasyon, kil oranı II, kil, kil oranı III, tuz, kireç, silt, ESP, SAR, kil oranı I, EC ve Na olarak gerçekleşmiştir. Hafif eğimli, 0–20 cm derinlikteki üst topraklarda EC, kil oranı I, Ca+Mg, kum, tuz ve silt değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Hafif eğimli ve 20-50cm derinlikteki toprakların  $R^2$  değerleri, sırasıyla kil oranı I, B, kireç, ESP, kil, SAR, kil oranı III, tuz Ca+Mg, silt, Na, EC, kil oranı II, saturasyon, pH ve kum olarak sıralanmıştır. D değeri ise sırasıyla B, pH, kum, kireç, kil oranı III, kil oranı I, Silt, kil oranı II, EC, saturasyon, tuz, kil, Ca+Mg, Na, SAR ve ESP olarak gerçekleşmiştir. Hafif eğimli, 20-50 cm derinlikteki topraklarda kil oranı I, kireç, ESP, kil, SAR, kil oranı III, tuz Ca+Mg, silt, Na, EC ve kil oranı II değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Hafif eğimli ve 50-90 cm derinlikteki topraklar için  $R^2$  değerleri, ESP, B, tuz, SAR, silt, kil oranı III, kil oranı II, saturasyon, kil oranı I, kum, kil, Na, kireç, EC, Ca+Mg ve pH olarak sıralanmıştır. D değeri ise sırasıyla pH, B, kil oranı I, kil oranı III, kil, saturasyon, kil oranı II, kireç, silt, ESP, SAR, Ca+Mg, kum, Na, EC ve tuz olarak gerçekleşmiştir. Bu eğim-derinlik kombinasyonunda yer alan topraklar ESP, tuz, SAR, silt, kum ve kireç değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Hafif eğimli ve 90-120 cm derinlikteki topraklar için  $R^2$  değerleri, sırasıyla B, Na, kil oranı III, EC, ESP, SAR, Ca+Mg, kireç, kil oranı I, silt, kum, kil, tuz, kil oranı II, saturasyon ve pH olmuştur. D değeri ise sırasıyla pH, B, kil oranı I, kireç, kil oranı II, kil oranı II, kil, saturasyon, SAR, ESP, tuz, EC, Ca+Mg, silt ve Na olarak gerçekleşmiştir. Hafif eğimli, 90-120 cm derinlikteki topraklarda Na, EC, Ca+Mg ve silt değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Orta eğimli ve 0-20 cm derinlikteki toprakların  $R^2$  değerleri, sırasıyla pH, SAR, silt, tuz, Na, kireç, B, ESP, kil, Ca+Mg, kum, kil oranı II, EC, saturasyon, kil oranı I ve kil oranı III olarak olmuştur. D değeri ise sırasıyla pH, SAR, B, silt, kum, kil oranı III, kireç, kil oranı II, kil oranı I, kil, saturasyon, Na, tuz, EC, ESP ve Ca+Mg olarak gerçekleşmiştir. Bu eğim ve derinlik kombinasyonundaki topraklarda tuz, Na ve ESP değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir (Çizelge 1).

Orta eğimli ve 20-50 cm derinlikteki toprakların  $R^2$  değerleri, sırasıyla Ca+Mg, B, ESP, SAR, kil oranı III, silt, EC, kil oranı I, Na, kum, kil oranı II, kil, tuz, saturasyon, kireç ve pH olarak sıralanmıştır. D değeri ise sırasıyla pH, silt, kum, kireç, kil oranı III, kil oranı I, B, saturasyon, tuz kil, kil oranı II, EC, Ca+Mg, ESP, SAR ve Na olarak gerçekleşmiştir. Orta eğimli, 20–50cm derinlikteki topraklarda Ca+Mg, ESP ve SAR değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Orta eğimli ve 50-90 cm derinlikteki toprakların  $R^2$  değerleri, sırasıyla ESP, SAR, B, saturasyon, tuz, EC, kil oranı III, kum, silt, pH, kil oranı II, kil, kireç, kil oranı I, Na ve Ca+Mg olarak sıralanmıştır. D değeri ise sırasıyla kireç, pH, kil oranı III, kum, kil oranı I, silt, Ca+Mg, kil, kil oranı II, tuz saturasyon, B, EC, Na, SAR ve ESP olarak gerçekleşmiştir. Bu eğim-derinlik grubunda ESP, SAR, B, saturasyon, tuz ve EC değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Orta eğimli ve 90-120 cm derinlikteki toprakların tanımlama katsayıları ( $R^2$ ), sırasıyla Na, pH, Ca+Mg, B, kil oranı II, kil oranı III, silt, kil, tuz SAR, ESP, EC, kum, kil oranı I, kireç ve saturasyon olarak sıralanmıştır. D değeri ise sırasıyla B, kil oranı I, EC, kil oranı III, kum, pH, SAR, ESP, kireç, kil, kil oranı II, Ca+Mg, tuz, silt, saturasyon ve Na olarak gerçekleşmiştir. Orta eğimli, 90-120 cm derinlikteki topraklarda Na, Ca+Mg, ve silt değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir (Çizelge 1).

Yüksek eğimli ve 0-20 cm derinlikteki üst topraklar için  $R^2$  değerleri, sırasıyla saturasyon, Na, SAR, ESP, kil oranı I, EC, tuz, kum, B, silt, pH, kil oranı II, kil oranı III, Ca+Mg, kireç ve kil olarak sıralanmıştır. D değeri ise sırasıyla B, kum, kireç, SAR, kil oranı III, ESP, Na, pH, Ca+Mg, silt, tuz, kil oranı I, EC, saturasyon, kil ve kil oranı II olarak gerçekleşmiştir. Yüksek eğimli, üst topraklarda saturasyon, kil oranı I, EC ve kil oranı II değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Yüksek eğimli ve 20-50 cm derinlikteki topraklar için  $R^2$  değerleri, sırasıyla kil, Na, saturasyon, tuz, ESP, SAR, silt, kum, Ca+Mg, kil oranı II, EC, pH, kireç, B, kil oranı III ve kil oranı I olarak sıralanmıştır. D değeri ise sırasıyla pH, B, kireç, kil oranı III, tuz, SAR, ESP, Na, kum, EC, Ca+Mg, silt, kil oranı II, kil oranı I, kil ve saturasyon olarak gerçekleşmiştir. Yüksek eğimli, 20–50 cm derinlikteki topraklarda kil, saturasyon, silt ve kil oranı II değerleri düşük  $R^2$  ve yüksek D değeri göstererek yüksek çölleşme eğilimi göstermişlerdir. Yüksek eğimli ve 50-90 cm



derinlikteki toprakların  $R^2$  değerleri, sırasıyla saturasyon, kil oranı II, kil, EC, silt, ESP, SAR, kum, B, kil oranı III, pH, kil oranı I, Ca+Mg, Na, Tuz ve Kireç olarak sıralanmıştır. D değeri ise sırasıyla tuz SAR, ESP, kil oranı III, pH, kum, kireç, kil oranı I, silt, Na, EC, kil, Ca+Mg, saturasyon, kil oranı II ve B olarak gerçekleşmiştir. Yüksek eğimli, 50-90 cm derinlikteki topraklarda,  $R^2$  değerinin düşük ve D değerinin yüksek olduğu bulgusuna rastlanmamıştır, bu nedenle yüksek eğimde 50–90cm derinliğinde çölleşme eğilimine indikatör olabilecek toprak özelliği mevcut toprak özellikleri içerisinde belirlenememiştir (Çizelge 1). Bu durum, bu eğim derinlik grubunda yer alan toprakların ana kaya üzerinde yer alan ve toprak oluş süreçlerine henüz maruz ana materyal niteliğinde oluşuyla ilgili olabilir. Zira bu eğim gurubunda, 90 cm derinlikten daha derin topraklar bulunmamaktadır. İncelenen toprak örneklerinin ana materyal niteliği ve zamansal olarak toprak oluş süreçlerine yeterince maruz kalmayışi nedenleri ile heterojenliğin yeterince oluşmaması bir çölleşme indikatörü toprak özelliğinin öne çıkamamasına yol açtığı düşünülmektedir.

Araştırma yeri toprakları yüksek eğim grubunda yer alan topraklarda 90 cm derinlikten daha derin topraklar bulunmadığından Çizelge 1’de ilgili yer boş bırakılmıştır.

Bir toprak özelliğine ait fraktal katsayı değerleri her eğim grubuna ait toprak derinlikleri dikkate alınarak diğer eğim gruplarıyla önem durumu t testi ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 2). Bu değerlendirmeye göre toprakların saturasyon, EC, kum, kil, B, kil oranı I, kil oranı II ve kil oranı III değerlerinin fraktal katsayıları farklı eğimlerde anlamlı farklılıklar göstermemiştir. Ancak ele alınan diğer toprak özelliklerine (pH, tuz, kireç, silt, Ca+Mg, Na, SAR ve ESP) ait fraktal katsayıları farklı eğim gruplarında istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermiştir.

pH değerlerinin farklı eğim gruplarının fraktal katsayı değerleri, %0-2 eğim grubu için en yüksek değeri ve dolayısıyla düşük değişkenliği göstermiştir. En yüksek varyasyon en düşük fraktal katsayı değerine sahip %3-6 eğim grubunda belirlenmiştir. Bu eğim grubu pH değerlerinde yüksek varyasyon görülmesi özellikle kimyasal bozulma süreçleri olmak üzere fiziksel bozulma ve toprak yönetim uygulamalarındaki çeşitliliğin diğer eğim gruplarına göre daha fazla olduğu şeklinde değerlendirilmiştir. pH değerlerinin fraktal katsayılarına göre %7-12 ve %12< eğim grupları aynı grupta yer almışlardır. Tarımsal girdilerin daha yoğun olarak kullanıldığı %0-2 eğim grubu ve bu girdilerin çok daha az kullanıldığı %7’ yi aşan eğim grupları için, toprak pH değerinin fraktal katsayısının düşük değişkenlik göstermesi, bu eğim gruplarında tarımsal uygulamaların kendi içerisinde oldukça benzer olmasının bir sonucu olabilir. Örneğin toprak işleme ve gübre uygulaması (Huang ve ark., 1999), toprak neminde görülen mevsimsel dalgalanmalar, sıcaklık değerleri, mikrobiyal aktivite, bitki besin maddeleri uygulamaları ve benzer ana materyaller (Tuffour ve ark., 2015) bu sonuca neden olmuş olabilir. Tarımsal niteliği bulunan, ancak yönetim uygulamalarının çeşitliliği ve farklılığı çok fazla olan %3-6 eğim grubu daha yüksek varyasyonun oluşumuna neden olduğu düşünülmektedir.

Araştırma yeri topraklarının tuz içerikleri fraktal katsayıları eğim derecesine bağlı olarak anlamlı olarak değişmiştir. En düşük tuz içeriği %12< eğim grubunda görülmüştür. Toprakların tuz içerikleri uygulanan gübre gibi çeşitli tarımsal girdilerden etkilenmekte ve tuz hareketlerinde toprak nem içeriği de etkili rol oynamaktadır. Bu durum nedeniyle çalışma yeri toprakları eğim ve tuzluluk değerlerinin fraktal katsayıları arasında doğrusal değişen bir ilişki oluşmamıştır. En yüksek D değeri, farklı çiftçi yönetim uygulamalarına daha fazla maruz olan %3-6 eğim grubunda görülmüştür. Bu eğim grubu diğer eğim gruplarından ayrılmıştır. Keshavarzi ve ark. (2018) İran, Meşhed Ovası'nda yürüttükleri çalışma bulgusunda ise fraktal boyut ve tuz içeriği arasında güçlü doğrusal pozitif ilişki ( $P < 0.05$ ) olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, toprağın fraktal boyutu, toprak alkalizasyonu ve alkali topraklardaki değişkenliğin potansiyel bir göstergesi olarak hizmet edebileceği sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir.

Kireç içeriği fraktal katsayısı en düşük değer %12< eğim grubunda hesaplanmıştır. Düşük D değeri yüksek çölleşme unsuru olarak değerlendirilebileceği dikkate alınırca kireç içeriklerinin fraktal katsayıları ile çalışma yeri topraklarının çölleşme riskinin değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Han ve Cheng (2014) tarafından Çin'in Jixi, şehrinde alınan test toprağına dijital görüntü analiz teknikleri kullanılarak yapılan çalışmada farklı kireç içerikli toprakların fraktal boyutundaki değişim araştırıldı. Çalışma sonucuna göre, kireç içeriğinin toprağın mikro yapısını değiştirdiği, kireç içeriği ağırlıkça %4'ün altında olduğunda, kireç içeriğindeki artışla fraktal boyutun arttığı belirlenmiştir. Kireç içeriği %6'nın üzerinde olduğunda, artan kireç içeriği ile fraktal boyutun azaldığı belirlenmiştir.



Çizelge 1. Farklı eğim grupları ve toprak derinlikleri için R<sup>2</sup> ve D değerleri

Toprak Özelliği	0-20 cm		20-50 cm		50-90 cm		90-120 cm	
	% 0-2 Eğim							
	R <sup>2</sup>	D	R <sup>2</sup>	D	R <sup>2</sup>	D	R <sup>2</sup>	D
Saturasyon, %	0.7758	1.9049	0.8098	1.9013	0.8615	1.8962	0.5557	1.9159
pH	0.6989	1.9449	0.6734	1.9054	0.6792	1.9795	0.5974	1.8893
EC, µS/cm	0.8102	1.8865	0.8511	1.8685	0.8566	1.8526	0.8921	1.8505
Tuz, %	0.8982	1.9367	0.8145	1.8635	0.9423	1.8353	0.8149	1.8788
Kireç, %	0.7571	1.9485	0.7741	1.9311	0.8117	1.8508	0.4415	1.9830
Kum, %	0.7339	1.8852	0.9440	1.8702	0.8265	1.8657	0.8921	1.8948
Kil, %	0.9608	1.9006	0.8070	1.9088	0.8397	1.8960	0.8305	1.8986
Silt, %	0.9464	1.9743	0.9216	1.9653	0.7002	1.9764	0.8833	1.9249
Ca+Mg, meq	0.8281	1.8843	0.8560	1.8827	0.9025	1.8618	0.9260	1.8816
Na, meq	0.7145	1.9270	0.7411	1.9544	0.8434	1.9374	0.7637	1.9375
SAR	0.6742	1.9684	0.8962	1.9858	0.7691	1.9575	0.7234	1.9611
ESP, %	0.8772	1.9327	0.8152	1.9865	0.8450	1.9537	0.7243	1.9611
B, ppm	0.7315	1.7877	0.7088	1.6875	0.7193	1.9209	0.8207	1.9075
Kil oranı I	0.8768	1.8901	0.8701	1.8958	0.9185	1.8656	0.7066	1.8793
Kil oranı II	0.9547	1.9147	0.843	1.9193	0.8832	1.8984	0.7977	1.9035
Kil oranı III	0.852	1.8692	0.8409	1.8662	0.8885	1.8464	0.555	1.9156
% 3-6 Eğim								
Saturasyon, %	0.8767	1.9243	0.8117	1.9433	0.7218	1.8637	0.8738	1.7979
pH	0.9192	1.4301	0.8910	1.0200	0.8950	1.0133	0.9325	0.6274
EC, µS/cm	0.5040	1.9573	0.7522	1.9417	0.8231	1.9344	0.7080	1.9577
Tuz, %	0.7979	1.9326	0.6816	1.9439	0.6551	1.9500	0.8570	1.9421
Kireç, %	0.8245	1.9365	0.6600	1.9099	0.7941	1.9003	0.7742	1.7078
Kum, %	0.7693	1.9114	0.9610	1.9037	0.7598	1.9304	0.8210	1.7677
Kil, %	0.8196	1.9315	0.6717	1.9475	0.7605	1.8364	0.8334	1.7400
Silt, %	0.8039	1.9403	0.7318	1.9374	0.7016	1.9069	0.7987	1.9671
Ca+Mg, meq	0.7625	1.9093	0.7071	1.9584	0.8451	1.9208	0.7475	1.9640
Na, meq	0.9758	1.9629	0.7416	1.9724	0.7832	1.9320	0.6736	1.9786
SAR	0.8772	1.9539	0.6732	1.9783	0.7005	1.9170	0.7405	1.8731
ESP, %	0.8851	1.9537	0.6695	1.9787	0.5507	1.9087	0.7393	1.8757
B, ppm	0.6476	1.0132	0.6417	0.9720	0.6171	1.4012	0.6585	1.4450
Kil oranı I	0.5841	1.9541	0.6062	1.9341	0.7275	1.6728	0.7974	1.5425
Kil oranı II	0.8649	1.9247	0.7919	1.9396	0.7064	1.8662	0.8593	1.7203
Kil oranı III	0.8978	1.9319	0.6739	1.9243	0.7024	1.6847	0.7002	1.7298
% 7-12 Eğim								
Saturasyon, %	0.8775	1.9065	0.8790	1.8998	0.6826	1.9322	0.9572	1.9520
pH	0.5961	1.6768	0.9334	1.7430	0.8040	1.8640	0.5559	1.8740
EC, µS/cm	0.8619	1.9513	0.8004	1.9320	0.7664	1.9519	0.8350	1.8358
Tuz, %	0.7391	1.9512	0.8762	1.9115	0.7519	1.9302	0.8043	1.9346
Kireç, %	0.7576	1.8868	0.8834	1.8506	0.8916	1.8566	0.9508	1.8841
Kum, %	0.8476	1.8487	0.8136	1.8484	0.7692	1.8829	0.8704	1.8687
Kil, %	0.8224	1.9063	0.8749	1.9124	0.8133	1.9219	0.7553	1.8883
Silt, %	0.7178	1.8465	0.7426	1.8444	0.7940	1.8993	0.7306	1.9455
Ca+Mg, meq	0.8341	1.9575	0.6288	1.9349	0.9664	1.9104	0.6157	1.9136
Na, meq	0.7473	1.9243	0.8084	1.9783	0.9484	1.9614	0.5279	1.9749
SAR	0.6060	1.7801	0.7391	1.9757	0.6099	1.9696	0.8216	1.8815
ESP, %	0.7935	1.9556	0.7385	1.9754	0.5978	1.9698	0.8227	1.8827
B, ppm	0.7724	1.8087	0.7346	1.8993	0.6445	1.9325	0.6253	1.4791
Kil oranı I	0.8946	1.8933	0.8024	1.8965	0.9284	1.8982	0.9124	1.7785
Kil oranı II	0.8525	1.8933	0.8402	1.9142	0.8079	1.9230	0.6267	1.8971
Kil oranı III	0.9841	1.8569	0.7412	1.8541	0.7689	1.8827	0.7005	1.8588
% 12< Eğim								
Saturasyon, %	0.5944	1.9449	0.6087	1.9684	0.5226	1.7775		
pH	0.7775	1.8474	0.8551	1.5439	0.7282	1.6059		
EC, µS/cm	0.6774	1.9266	0.8428	1.8475	0.6401	1.7031		
Tuz, %	0.7021	1.8793	0.6308	1.7998	0.8574	1.3665		
Kireç, %	0.8849	1.8242	0.8774	1.6750	0.8791	1.6318		
Kum, %	0.7428	1.8203	0.7113	1.8349	0.6981	1.6284		
Kil, %	0.9045	1.9738	0.5996	1.9682	0.6375	1.7157		
Silt, %	0.7765	1.8715	0.6976	1.9002	0.6718	1.6575		
Ca+Mg, meq	0.8593	1.8653	0.7580	1.8668	0.7870	1.7199		
Na, meq	0.5968	1.8305	0.6043	1.8302	0.8372	1.6718		
SAR	0.6068	1.8243	0.6469	1.7999	0.6804	1.5463		
ESP, %	0.6089	1.8245	0.6336	1.8019	0.6796	1.5466		
B, ppm	0.7751	1.7544	0.9006	1.5951	0.7069	1.8623		
Kil oranı I	0.6166	1.9228	0.9923	1.9580	0.755	1.6454		
Kil oranı II	0.7836	1.9783	0.7958	1.9310	0.5507	1.8059		
Kil oranı III	0.7974	1.8243	0.9091	1.7915	0.7228	1.5664		





Toprakların tekstürel fraksiyonlarından silt içeriği ile fraktal katsayı arasında t testi sonucuna göre istatistiksel ilişki bulunmaktadır. Eğim derecesindeki artışa bağlı olarak D değerleri tedrici olarak azalmıştır. En düşük D değeri en yüksek eğimler için belirlenmiştir. Bu sonuca göre, toprakların silt içeriklerinin fraktal katsayıları toprakların erozyon ve fiziksel bozulma süreçlerini tanımlayacak bir çölleşme değerlendirme kriteri olmuştur. Araştırma yeri toprakları Na, SAR ve ESP içeriklerine ait fraktal katsayılar eğim derecelerindeki artışa bağımlı olarak azaldıkları görülmüştür. Her üç parametre de çalışma bölgesi topraklarının kimyasal bozulma süreçlerini tanımlamada uygun toprak özellikleri olduğu kanaatine varılmıştır.

Çizelge 2. Toprak özelliklerine ait D değerleri ile eğim grupları arasındaki istatistiksel ilişki

Eğim	Saturasyon	pH	EC	Tuz	Kireç	Kum	Silt	Kil
0-2	1.9275 <sup>a</sup>	1.9295 <sup>a</sup>	1.9305 <sup>a</sup>	1.8785 <sup>a</sup>	1.9283 <sup>a</sup>	1.8790 <sup>a</sup>	1.9600 <sup>a</sup>	1.9013 <sup>a</sup>
3-6	1.9275 <sup>a</sup>	1.0225 <sup>b</sup>	1.8975 <sup>a</sup>	1.9423 <sup>b</sup>	1.8635 <sup>a</sup>	1.8783 <sup>a</sup>	1.9378 <sup>ab</sup>	1.8638 <sup>a</sup>
7-12	1.8675 <sup>a</sup>	1.7895 <sup>c</sup>	1.8605 <sup>a</sup>	1.9320 <sup>a</sup>	1.8697 <sup>a</sup>	1.8623 <sup>a</sup>	1.8838 <sup>b</sup>	1.9070 <sup>a</sup>
12<	1.8900 <sup>a</sup>	1.6657 <sup>c</sup>	1.8813 <sup>a</sup>	1.6820 <sup>ab</sup>	1.7103 <sup>ba</sup>	1.7610 <sup>a</sup>	1.8100 <sup>a</sup>	1.8860 <sup>a</sup>
Eğim	Ca+Mg	Na	SAR	ESP	B	KO I	KO II	KO III
0-2	1.8777 <sup>a</sup>	1.9388 <sup>a</sup>	1.9683 <sup>a</sup>	1.9585 <sup>a</sup>	1.8260 <sup>a</sup>	1.8827 <sup>a</sup>	1.9090 <sup>a</sup>	1.8743 <sup>a</sup>
3-6	1.9338 <sup>b</sup>	1.9615 <sup>a</sup>	1.9305 <sup>a</sup>	1.9295 <sup>a</sup>	1.3155 <sup>a</sup>	1.7758 <sup>a</sup>	1.8628 <sup>a</sup>	1.8178 <sup>a</sup>
7-12	1.9299 <sup>cb</sup>	1.9595 <sup>a</sup>	1.9018 <sup>ab</sup>	1.9460 <sup>a</sup>	1.7800 <sup>a</sup>	1.8665 <sup>a</sup>	1.9068 <sup>a</sup>	1.8633 <sup>a</sup>
12<	1.8173 <sup>a</sup>	1.7773 <sup>b</sup>	1.7233 <sup>b</sup>	1.7247 <sup>b</sup>	1.7370 <sup>a</sup>	1.8420 <sup>a</sup>	1.9050 <sup>a</sup>	1.7273 <sup>a</sup>

### Sonuç ve Öneriler

Fraktal katsayıları dikkate alarak çalışma bölgesi için yapılan değerlendirmeye göre eğim derecelerindeki artışa bağlı olarak birçok toprak özelliği daha düşük D değeri göstermiştir. Toprakların saturasyon, EC, kum, kil, B ve kil oranı (K.O I, K.O II, K.O III) değerlerine ait fraktal katsayılar farklı eğim grupları için anlamlı değişim göstermemiştir. Bu nedenle bölgede yapılacak çalışmalarda fraktal katsayı üzerinden çölleşme eğilimi belirlemek amacıyla pH, tuz, kireç, silt, Ca+Mg, Na, SAR ve ESP toprak özelliklerine özel önem verilmesi önerilir. Bu çalışma sonucuna göre, fraktal katsayı ile ele alınan toprak özelliğindeki farklılıkları tanımlamada oldukça tatminkâr sonuçlar vermiştir. Değişimlerde %12’yi aşan eğimler bir kırılma noktası göstermiştir. Bu çalışmada ele alınmayan çölleşme indikatörü olabilecek diğer toprak özelliklerinin de ileriki çalışmalarda ele alınması önerilir. Düz arazilerde daha çok toprak kimyasal özellikleri heterojenlik kaynağı olduğu düşünülmektedir. Fiziksel özelliklerden silt içeriğindeki değişiklik ana materyalden kaynaklı olabileceği gibi çölleşme indikatörü olarak da kullanılabilirliği düşünülmüştür.

### Kaynaklar

- Anonim, 2013. Aksaray ili Ortaköy ilçesi AT ve TİGH projesi planlama toprak etüt ve toprak endeksi raporu.
- Biswas, A., 2019. Joint multifractal analysis for three variables: Characterizing the effect of topography and soil texture on soil water storage. *Geoderma*, 334: 15-23.
- Burrough, P.A., 1983. Multiscale sources of spatial variation in soil: I. Application of fractal concept to nested levels of soil variation. *J. Soil Sci.* 34: 577-597.
- Diekman, L.O., Lawrence, D., Okin, G.S., 2007. Changes in the spatial variation of soil properties following shifting cultivation in a Mexican tropical dry forest. *Biogeochemistry*. 84: 99-113.
- Dong Z.B., Hu G.Y., Yan C.Z., Wang, W.L., Lu, J.F., 2010. Aeolian desertification and its causes in the Zoige Plateau of China’s Qinghai–Tibetan Plateau. *Environ Earth Sci.* 59:1731–1740.
- Dregne, H.E., 1977. Desertification of arid lands. *Economic geography*. 53(4):322-331.
- Feng, X., Qu, J., Tan, L., Fan, Q., Niu, Q., 2020. Fractal features of sandy soil particle-size distributions during the rangeland desertification process on the eastern Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Soils Sediments*. 20: 472–485.
- Gamma Design Software, 2005. GS+ Geostatistics for the environmental science version 7.0. Gamma Design software L.L.C., Plainwell, Michigan, USA.
- Han, C., Cheng, P., 2015. Micropore variation and particle fractal representation of lime-stabilised subgrade soil under freeze–thaw cycles. *Road Materials and Pavement Design*. 16(1): 19-30.
- Hu, G.Y., Dong, Z.B., Lu, J.F., Yan, C.Z., 2015. The developmental trend and influencing factors of aeolian desertification in the Zoige Basin, eastern Qinghai–Tibet Plateau. *Aeolian Res.* 19:275–281.
- Huang, X., Skidmore, E. L., Tibke, G., 1999. Spatial variability of soil properties along a transect CRP and Continuously Cropped Land. In: *Sustaining the Global Farm*. Stott, D.E., Mohtar, R.H., Steinhardt, G. C. (Eds.). Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization, 2001. Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. p.641-647.



- Kachanoski, R.G., De Jong, E., Rolston, D.E., 1985. Spatial and spectral relationships of soil properties and microtopography: II. Density and thickness of B horizon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:812-816.
- Keshavarzi, S., Tuffour, H.O., Bagherzadeh, A., Vasu, D., 2018. Spatial and fractal characterization of soil properties across soil depth in an agricultural field, Northeast Iran. *Eurasian J Soil Sci*, 7(2): 93 – 102.
- Mandelbrot, B.B., 1982. *The fractal geometry of nature*. H.W freeman and Co., New York, USA.
- Mohammadi, M., Shabanpour, M., Mohammadi, M.H. Davatgar, N. 2019. Characterizing spatial variability of soil textural fractions and fractal parameters derived from particle size distributions. *Pedosphere*.29(2): 224-234.
- Mouat, D., Lanchester, J., Wade, T., Wickham, J., Fox, C., Kepner, W., Ball, T., 1997. Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model. *Environ. Monitoring & Assessment*. 48:139-156.
- Oğuz, İ., Erşahin, S., Susam, T., 2011. Evaluation of desertification potential in a sloping catchment. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 6(1): 81-88.
- Schlesinger, W.H., Reynolds, J.F., Gunningham, G.L., Huenneke, L.F., Jarrel, W.M., Wirginia, R.A., Whitford, W.G., 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 247: 1043-1048.
- Su, Y.Z., Zhao, H.L., Zhao, W.Z., Zhang, T.H., 2004. Fractal features of soil particle-size distribution and the implication for indicating desertification. *Geoderma*. 122: 43-49.
- Tuffour, H.O., 2015. Fractal scaling of the hydraulic and hydrologic properties of an acrisol. *Applied Research Journal*. 1(5): 320-326.
- Türkeş, M., Öztaş, T., Tercan, E., Erpul, G., Karagöz, A., Dengiz, O., Doğan, O., Şahin, K., Avcıoğlu, B., 2019. Desertification vulnerability and risk assessment for Turkey via an analytical hierarchy process model. *Land Degradation and Development*. 31(2): 205-214.
- Wang, X., Li, M.H., Liu, S., Liu, G., 2016. Fractal characteristics of soils under different land-use patterns in the arid and semiarid regions of the Tibetan Plateau. *China. Geoderma* 134: 56– 61.
- Webster, R., 2001. Statistics to support soil research and their presentation. *European Journal of Soil Sciences*. 52: 331-340.
- Xiao, L., Xue, S., Liu, G.B., Zhang, C., 2014. Fractal features of soil profiles under different land use patterns on the Loess Plateau, China. *J Arid Land*. 6(5): 550–560.