

Harran Ovası'nda Tarla Ölçeğinde Toprak Fiziksel Özelliklerinin Mekânsal Değişkenliği

Merve DURMAZ¹, Hikmet GÜNAL^{1*}, Mesut BUDAK², İsmail ÇELİK³

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa

² Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Siirt

³ Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Adana

*Sorumlu yazar (Corresponding author): hikmetgunal@harran.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 15.01.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 25.02.2024

Özet

Bu çalışma, Harran Ovası'nda küçük bir tarla ölçeğinde (12 dekar) yüzey ve yüzey altı toprakların fiziksel özelliklerinin mekânsal dağılımını modellemek, örneklenmeyen noktalardaki değerleri tahmin etmek ve haritalandırmak amacı ile yapılmıştır. Modelleme, tahmin ve haritalamada jeostatistiksel yöntemler ve haritalama teknikleri kullanılmıştır. Aynı zamanda bir deneme alanı olan çalışma alanında 54 ayrı noktada 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerden bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerinin tekstürü, agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, yarayıslı su içeriği (YSİ), su dolu gözenek hacmi (SDGH) ve toplam gözenekliliği belirlenmiştir. Çalışma alanı topraklarının kil içerikleri % 52 ile % 69 arasında değişmektedir. En yüksek kil içeriği, çalışma alanının batı bölümünde ve yer yer kuzey sınırında görülmektedir. İlk 20 cm derinlikte agregat stabilitesi değerleri % 11 ile % 50 arasında, hacim ağırlığı değerleri 1.08 g cm⁻³ ile 1.48 g cm⁻³ arasında ve YSİ değerleri ise % 3.8 ile % 13.6 arasında değişmektedir. Çalışma alanının güney-batı bölümünde SDGH değerleri % 60'ın altında iken geri kalan alanın nerede ise tamamında %60'ın üzerindedir. Hem yüzey hem de yüzey altı topraklarında kil ve silt içeriği, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi nem içeriği ve SDGH'ine ait değişkenlik (VK<%15) oldukça düşüktür. Bu durum, bu özelliklerin çalışma alanı genelinde nispeten homojen olduğunu göstermektedir. Hem 0-10 cm hem de 10-20 cm derinliklerde toplam gözeneklilik ve mikro gözeneklilik VK değerleri oldukça düşüktür. Bu durum, çalışma alanı topraklarının su ve besin elementlerini tutma ve depolama yeteneğinin her iki derinlikte de homojen olduğunu gösterir. Elde edilen bilgiler, tarla yönetimi ve toprak koruma uygulamalarının optimize edilmesine ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğine katkıda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Toprak fiziksel özellikleri, jeostatistik, kil, agregat stabilitesi, hacim ağırlığı

Field Scale Spatial Variability of Soil Physical Properties in the Harran Plain

Abstract

This study aimed to model the spatial distribution of surface and subsurface soil physical properties at a small field scale (12 hectares) in the Harran Plain, to estimate and map values at unsampled points. Geostatistical methods and mapping techniques were used for modeling, estimation, and mapping. Soil samples were collected at 54 separate points in the study area, representing disturbed and undisturbed samples from depths of 0-10 cm and 10-20 cm. Soil samples were analyzed for texture, aggregate stability, bulk density, available water content (AWC), water filled pore space (WFPS), and total porosity. The clay content of the study area soils ranged from 52 % to 69%, with the highest clay content observed in the western part and sporadically along the northern boundary. Aggregate stability values ranged from 11 % to 50 % in the top 20 cm depth, bulk density values ranged from 1.08 g cm⁻³ to 1.48 g cm⁻³, and AWC values ranged from 3.8 % to 13.6 %. While WFPS values in the southwest part of the study area were below 60%, they were above 60% in almost all other areas. Both surface and subsurface soils exhibited relatively low variability (CV<15 %) in clay and silt content, bulk density, field capacity moisture content, and WFPS, indicating relative homogeneity across the study area for these properties. Total porosity and microporosity CV values were also low at both 0-10 cm and 10-20 cm depths, indicating homogeneity in the water and nutrient retention and storage capacity of the study area soils at both depths. The information obtained will contribute to the optimization of field management and soil conservation practices, enhancing the sustainability of agricultural production.

Keywords: Soil physical properties, geostatistics, clay, aggregate stability, bulk density

1.Giriş

Toprak, yeryüzünün üst tabakasında yer alan, mineral parçacıklar, organik madde, su, hava ve canlı organizmalardan meydana gelen gevşek yapılı doğal ve dinamik bir varlıktır. Suyun infiltrasyonu, biyoçeşitliliğin desteklenmesi, karbon depolama ve çeşitli ekosistem hizmetlerinin sağlanması gibi önemli fonksiyonları yerine getiren toprak (Bone ve ark., 2010), sürekli artan dünya nüfusunun, artan gıda ve lif gereksinimini karşılamak için yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Toprakların yoğun kullanımı ile ortaya çıkan toprak bozulması, dünyanın birçok yerinde toprağın doğal olarak sahip olduğu fonksiyonları yeterince yerine getirmesini imkânsız hale getirmiştir. Bu nedenle, toprakların daha uzun yıllar insan ve hayvan refahı için sahip oldukları fonksiyonları yerine getirebilmesi için kalitesinin korunması ve zaman içerisinde iyileştirilmesi yeryüzündeki her canlıyı ilgilendiren önemli bir konudur (Günel ve Budak, 2022b).

Topraklar, ana materyal, topografya ve iklim gibi genetik ve toprak işleme, gübreleme ve sulama gibi dinamik faktörlerin etkisi ile çok kısa mesafelerden uzun mesafelere değin farklı ölçeklerde değişkenlik gösteren bir yapıya sahiptir (Mulla ve McBratney, 2001; İnci ve ark., 2023). Toprakların değişkenliğine etki eden bu faktörler, mekânsal ve zamansal ölçeklerde birbirleriyle etkileşime girer ve erozyon ve birikme süreçleri ile yerel olarak daha da değiştirilirler (Iqbal ve ark., 2005). Toprak bozulmasını önlemek ve toprak verimliliğini (toprak kalitesini) artırmak için gerekli olan sürdürülebilir toprak yönetim uygulamalarının belirlenmesi, toprak özelliklerinin uygun bir şekilde anlaşılmasıyla gerçekleştirilebilir. Toprak özelliklerinin farklı ölçeklerdeki mekânsal değişkenliği nedeniyle, tarım arazilerinin tek bir birim şeklinde yönetilmesi, yüksek besin içeriğine sahip alanlarda girdi uygulamalarının aşırı kullanılmasına ve düşük besin içeriğine sahip alanlarda

yetersiz girdi uygulamalarına neden olarak toprak bozulmasına yol açabilmektedir (Boruvka ve ark., 2002).

Toprak parçacık büyüklük dağılımı (bünye), toprakların neredeyse tüm diğer özelliklerini yöneten en önemli fiziksel toprak özeliğidir. Toprak parçacık büyüklük dağılımı toprak suyu, bitki büyümesi, yıkanma ve erozyon gibi çeşitli süreçleri kontrol etmektedir (Adhikari ve ark., 2009). Toprak tekstürü ve toprak suyunun zamansal ve mekânsal değişkenliği, aynı arazi içinde dahi olsa toprak kalitesinde yapısal farklılıklara yol açabilmektedir. Bu nedenle, tarım arazilerinin verimliliği, tarla ölçeğinde değişen toprak özellikleri ile yakından ilişkilidir. Toplam genişliği 200 x 50 m (10 dekar) olan bir arazide toprak özelliklerinin ve farklı yıllarda yetiştirilen yulaf, çavdar, yulaf ve tritikalenin veriminin tarla içi değişimini inceleyen (Usovicz ve Lipiec, 2017), tahıl verimlerinin, üst toprakta su içeriği, kil içeriği ve alt toprakta organik karbon ve katyon değişim kapasitesi ile önemli düzeyde pozitif ilişkisinin, buna karşın hacim ağırlığı ile negatif ilişkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Tarla içi toprak özelliklerinin değişkenliğinin, mısır hibritlerinin silaj verimini önemli ölçüde etkilediğini belirten Birol ve Günel (2022) tarlanın bazı bölgelerindeki yüksek silt içeriğinin, yüzey kabuğu oluşumuna neden olduğu ve mısır tohumlarının homojen çimlenmesini engellediğini bildirmişlerdir.

Ülkemizde çoğu bölgede olduğu gibi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde de pamuk tarımının yaygın olarak pulluk ile toprak işleme yöntemleri kullanılarak mono kültür şeklinde devam etmesi, bölgedeki tarım uygulamaları ve sürdürülebilirlik açısından bazı zorluklara neden olabilir. Bundan dolayı üretici aşırı gübre ve pestisit kullanmak zorunda kalmaktadır. 2015 yılında yapılan bir çalışmada, Harran Ovası'nda pamuk tarımının yapıldığı toprakların, aşırı toprak işleme ve az artık bırakma uygulamaları nedeniyle en düşük toprak kalite indekslerine sahip olduğu

bildirilmiştir (Bilgili ve ark., 2015). Türkiye için son derece önemli olan tarım arazilerinin korunması, gelecek yıllarda da ülkenin ihtiyacı olan gıda ve lifin üretilmesi başta olmak üzere çeşitli ekosistem hizmetlerinin sunumunun devam ettirilmesi için bir zorunluluktur. Toprak özelliklerinin mekânsal dağılımını daha iyi anlamak, toprak erozyonu, tuzlanma ve kirlilik gibi sorunları yönetmek ve sürdürülebilir toprak kullanımı uygulamaları geliştirmek için kritik önem taşır (Abakay ve Günel, 2023). Bu kapsamda, jeostatistik, mekânsal değişkenliği karakterize etme ve nicelendirme, bu bilgileri rasyonel interpolasyon için kullanma ve interpolasyon sonuçlarının değişkenliğini tahmin etme konusunda güçlü araçlar sunmaktadır (AbdelRahman ve ark., 2021; Sırrı ve ark., 2023; Budak ve ark., 2023). Varyans tahmini, belirli bir hassasiyetle bir özelliği tahmin etmek için gerekli olan örnekleme yoğunluğu ve konfigürasyonu hakkında kritik bilgiler sağlayarak örnekleme optimizasyonuna yardımcı olur. Bu nedenle jeostatistik, örnekleme yapılmamış alanlarda veya seyrek örnekleme sahip bölgelerde toprak özelliklerine ait değerleri tahmin etmek için kullanılan ideal bir teknolojidir. Jeostatistik kullanımı, sahadan daha az veri toplama ve analiz etme ihtiyacı duyularak zamandan ve maliyetten tasarruf sağlar (Trangmar ve ark., 1986).

Bu çalışmanın amacı, küçük bir tarla ölçeğinde (12 dekar), yüzey (0-10 cm) ve yüzey altı (10-20 cm) topraklarına ait fiziksel özelliklerin mekânsal dağılımının

modellenmesi, tahmin edilmesi ve haritalandırılmasıdır. Bu çalışma ile ulaşılmak istenen, tarla içerisindeki toprak özelliklerinin mekânsal değişkenliğini belirleyerek, tarımsal verimliliği artırmak amacıyla uygun toprak yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktır. Ayrıca, elde edilen veriler ışığında, hassas tarım uygulamalarının optimize edilmesi, kaynak kullanımının verimli hale getirilmesi ve toprak kalitesinin sürdürülebilir bir şekilde korunması hedeflenmektedir. Bu bağlamda, çalışma sonuçlarının bölgesel tarım faaliyetlerinde bilgiye dayalı karar alma süreçlerine önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

2. Materyal ve Yöntemler

2.1. Materyal

Çalışma alanı, Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Araştırma ve Uygulama arazilerinde yer alan toplam 12 da genişliğindeki bir deneme alanıdır (Şekil 1). Harran Ovasının kuzey doğusunda yer alan deneme alanı toprakları Eosen-Miyosen yaşlı kolüvyal kireçtaşı ana materyali üzerinde oluşmuştur. Eğimin hafif olduğu yerlerde derin ve orta derin profile sahiptirler. Çalışma alanının da içinde bulunduğu bölge toprakları, kuvvetli strüktür gelişimi göstermektedir. Sarımsı kahverengiden kırmızı kahverengiye kadar değişen renklerde bulunan topraklar çoğunlukla kil tekstürlüdür. Su tutma kapasiteleri yüksek, hidrolik iletkenlikleri orta düzeydedir (Gündoğan, 2023).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

2.1.1. Çalışma alanının iklimi

Şanlıurfa, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan ve Akdeniz ikliminin etkisiyle genellikle kurak ve yarı kurak iklim tiplerine sahip bir şehirdir. Bu iklim tipi, sıcak ve kurak yazlar ile nispeten yağışlı ve ılıman kışlar ile karakterizedir. Yaz aylarında Şanlıurfa adeta bir "ateş topu" haline gelir. Ortalama sıcaklıklar 30 °C'nin üzerine çıkarak oldukça bunaltıcı ve kurak bir hava hâkim olur. Temmuz ayı en sıcak ay olarak öne çıkar ve ortalama sıcaklık 32 °C'ye kadar yükselir (Tablo 1). Bu dönemde serinlemek oldukça zordur ve güneş ışınları kavurucu etkisini gösterir. Kış aylarında ise Şanlıurfa'da ılık bir hava hâkim olur. Ortalama sıcaklıklar 10 °C'nin üzerinde seyrederek ve yağış miktarı artar. Aralık ayı

en yağışlı ay olarak bilinir ve bu dönemde kar yağışı da görülebilir. Kış mevsimi, yaz aylarına nazaran daha sakin ve huzurlu bir atmosfer sunar. Şanlıurfa'da yağışlar genellikle kış aylarında yoğunlaşır. Yıllık ortalama yağış miktarı 460.4 mm'dir. En yağışlı ay Aralık, en kurak ay ise Temmuz'dur. Sıcaklık ise kuzeyden güneye doğru artış gösterir. Düşük yağış ve yüksek buharlaşma tarım arazilerinde önemli miktarda su sorununun oluşmasına yol açmaktadır. Bu durum, tarım ve su kaynaklarının yönetimi açısından önemli bir sorundur. Şehirdeki nispi nem oranı ortalama % 48'dir. Rüzgâr hızı ise 2.8 m sn⁻¹ olarak ölçülmüştür. Donlu ve karlı günlerin sayısı oldukça azdır ve genellikle 10 günü geçmez (MGM, 2024)

Tablo 1. Şanlıurfa ili uzun yıllara (1929-2023) ait ortalama iklim verileri

	Oca	Şub	Ma	Nis	M	Ha	Te	Ağ	Ey	Ek	Kas	Ara	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929-2023)													
Ort. Sıcaklık (°C)	5.6	7.1	10.9	16.3	22.3	28.1	32.0	31.6	27.2	20.6	13.2	7.6	18.5
Ort. En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.0	12.0	16.4	22.4	28.8	34.7	38.8	38.4	34.0	27.1	18.8	12.1	24.5
Ort. En Düşük Sıcaklık (°C)	2.1	2.9	5.8	10.3	15.3	20.6	24.3	24.0	20.1	14.6	8.5	4.1	12.7
Ort. Güneşlenme Süresi (saat)	4.1	5.1	6.4	7.8	10.0	12.1	12.3	11.3	10.0	7.9	5.8	4.0	8.1
Ort. Yağışlı Gün Sayısı	11.86	10.35	10.47	8.75	6.08	1.37	0.30	0.24	0.78	4.74	7.45	10.75	73.1
Aylık Ort. Toplam Yağış (mm)	86.3	68.1	65.3	48.9	27.0	4.3	2.0	3.5	4.6	25.6	45.2	79.6	460.4
Ölçüm Periyodu (1929-2023)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	21.6	25.5	29.5	36.4	40.4	44.1	46.8	46.2	43.9	37.8	30.8	26.0	46.8
En Düşük Sıc (°C)	-10.6	-12.4	-7.3	-3.2	2.5	8.3	15.0	16.0	10.0	1.9	-6.0	-6.4	-12.4

2.2. Yöntem

2.2.1. Toprak örnekleme

Toprak örnekleme, 0-10 ve 10-20 cm derinliklerden alınmıştır. Deneme alanı 3 farklı toprak işlemenin 3 farklı rotasyonda uygulanması için oluşturulmuştur. Denemede her uygulama 3 tekerrürlü olarak yer aldığından alanda toplam her biri 360 m² olan 27 parsel yer almıştır. Bu çalışma için, her parselde iki farklı noktada bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmış ve örnek yerlerine ait koordinatlar kaydedilmiştir. Örnekleme her parselin doğu-batı istikametinde ikinci ve yirmi sekizinci metrelerinden örnekler alınmıştır. Kuzey-güney istikametinde ise on iki metre genişliğinde olan parsellerin tam orta noktasından örnekler alınmıştır.

Deneme alanından toplam 27 parsel x 2 derinlik x 2 noktadan olmak üzere 108 toprak örneği alınmıştır. Aynı noktalarda hacim ağırlığı ve tarla kapasitesi nem içeriğini belirlemek amacıyla ile 3 adet 100 cm³'lük silindirler ile bozulmamış toprak örneği alınmıştır. Buna göre, toplam bozulmamış örnek sayısı 27x2x3=162 adet olmuştur.

2.2.2. Toprak analizleri

Bu çalışmada toprağın fonksiyon göstermesinde etkili olan genetik özellik (toprak tekstürü) ve uygulamalar ile kısa sürede değişme potansiyeli gösteren fiziksel toprak özellikleri seçilmiştir. Bu özelliklere ait analiz yöntemleri ve referanslar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Proje kapsamında yapılacak analizler, yöntemler ve referanslar

	Analiz İsmi	Derinlik (cm)	Kullanılan Metot
1	Toprak tekstürü	0-10, 10-20	Bouyoucos hidrometre yöntemi (Bouyoucos, 1962)
2	Hacim ağırlığı	0-10, 10-20	Bozulmamış toprak örneklerinde (Blake ve Hartge, 1986)
3	Tarla Kapasitesi, Solma Noktası	0-10, 10-20	Basınçlı plakalar sistemi ile yapılmıştır (Klute, 1986)
4	Yarayışlı Su İçeriği	0-10, 10-20	Tarla kapasitesinde nem içeriğinden solma noktasındaki nem içeriğinin çıkarılması ile (Klute, 1986)
5	Su ile dolu gözenek hacmi	0-10, 10-20	Hacimsel su içeriğinin toplam gözenekliliğe oranı (Linn ve Doran, 1984)
6	Makro, mikro ve toplam gözeneklilik	0-10, 10-20	Bozulmamış örneklerde (Danielson ve Sutherland, 1986).
7	Agregat stabilitesi	0-10, 10-20	Islak eleme yöntemine göre (Kemper ve Rosenau, 1986)

2.2.3. Mekânsal değişkenliğin analizi ve haritalanması

Ölçülen toprak özelliklerinin mekânsal yapısını incelemek için, belirli bir vektörle ayrılmış veriler arasındaki ortalama farklılığın ölçülmesiyle jeostatistik analiz yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Mekânsal bağımlılık ölçeği, h aralığı vektörüyle ayrılmış veriler arasındaki kare farklılıkların yarısının ortalaması, z özelliği için h uzaklıkta ayrılan örnek noktalarının sayısı r ile hesaplanmıştır. Jeostatistiksel analize başlamadan önce, veri setinde normal dağılımı ve varsa aykırı değerleri test etmek için veri analizi yapılmıştır. Tüm veriler, farklı birimlere sahip değişkenler arasında karşılaştırma yapabilmek için optimize edilerek standart hale getirilmiştir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} + \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2$$

Eşitlikte; $\gamma(h)$, Lag aralık mesafesindeki yarı-variogram değeri, $N(h)$, Lag aralık mesafesindeki örnekleme çiftlerinin sayısı, $Z(x_i)$, x_i mekânsal konumundaki örnek değeri, $Z(x_i + h)$, $x_i + h$ mekânsal konumundaki örnek değeri, ve h ise Lag aralık mesafesini göstermektedir. Aralık mesafesi, örnek noktaları arasındaki değişkenliğin en yüksek olduğu örnekleme noktaları arasındaki mesafeyi tanımlamaktadır. Araştırmada, toprak özelliklerinin bilinmeyen noktalardaki değerlerini tahmin etmek için ArcGIS 10 (ESRI, Redlands, California) yazılımında kriging yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, mekansal bağımlılıkları göz önünde bulundurarak toprak özelliklerinin karmaşık dağılımlarını modellemede oldukça etkilidir. Kriging yöntemi, yarı-variogram modelleri ve Ordiner Kriging (OK) interpolasyon tekniği gibi farklı bileşenlerden oluşmaktadır. İlk adımda, veri kümesinin istatistiksel özellikleri analiz edilir ve uygun bir yarı-variogram modeli seçilir. Bu analizler kapsamında ham verilerin histogramı, normal dağılımı, veri deseni, yarı-variogram bulutu ve köprü bulutu incelenmiştir. Literatürde de

Optimal örnekleme mesafelerini belirlemek için hesaplanan yarı-variogramların aralıkları kullanılmıştır. Yarı-variogram modelleri, mekânsal ilişkileri karakterize eden matematiksel fonksiyonların bir koleksiyonundan seçilmiş ve ardından krigleme interpolasyon yönteminde kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yarı-variogramların oluşturulmasında Eşitlik 1 kullanılmıştır. Yarı-variogram değeri, $\gamma(h)$, lag aralık mesafesindeki gözlem çiftleri arasındaki ortalama varyansı ifade etmektedir. Bu değer, mekânsal bağımlılıkların karakterize edilmesinde ve kriging yönteminde kullanılan yarı-variogram modelinin parametrelerinin tahmininde kullanılır.

Eşitlik 1.

belirtildiği gibi, kriging yöntemleri veri yaklaşık olarak normal dağılıma sahip olduğunda en etkili sonuçları vermektedir (Oliver ve Webster, 2014). Daha sonra, OK interpolasyon tekniği, örneğin alınmayan bölgeler için toprak özellik değerlerini tahmin etmek için kullanılır. OK yöntemi, basitliği ve doğruluğu nedeniyle diğer Krigleme yöntemlerine kıyasla tercih edilmiştir. Ordinary Kriging, deneysel yarı-variogramlardaki değerlere matematiksel modellerin ilk olarak uygun şekilde uydurulduğu ve ardından modelin örnekleme noktalarında sürekli toprak özelliklerinin değerlerini öngörmek için kullanıldığı bir mekansal interpolasyon yöntemidir. Bu modelleri kullanarak, kriging örnekleme noktalarının mekansal düzenlemesini dikkate alarak farklı ağırlıklar vermektedir. Tahmin edilmek istenen konuma daha yakın olan noktalara, daha uzak noktalardan daha büyük ağırlıklar atanmaktadır (Goovaerts, 1998). Kriging işleminin hesaplanmasında Eşitlik 2 kullanılmıştır. Bu denklem, tahmini hesaplamak için kullanılan parametreleri ve ağırlık matrisini içermektedir.

$$Z(x_0) = \sum[\lambda_i * Z(x_i)]^*$$

Eşitlik 2

Kriging yönteminde, $Z(x_0)$ olarak gösterilen, herhangi bir örneğin tahmini değeri, seçilen bir yakınlıktaki veri noktalarının (x_i) değerleri ve bu değerlerin ağırlıkları kullanılarak hesaplanır. Bu ağırlıklar, λ_i ile gösterilir ve n , interpolasyon için aranan yakınlık içindeki konum sayısını belirtmektedir (Oliver ve Webster, 2014). Kriging yönteminin etkili şekilde uygulanabilmesi için verilerin normal dağılıma sahip olması ve eşit varyans hipotezinin karşılanması önemlidir. Bu amaçla, veri dönüşümleri uygulanarak verilerin bu kriterlere uygun hale getirilmesi gerekir. Bu çalışmada, verilerin normal dağılımına ne kadar yakın olduğunu değerlendirmek amacı ile verilere ait çarpıklık değerleri kullanılmıştır. Webster (2001), verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için çarpıklık katsayısının incelenmesinin yeterli olacağını bildirmiştir. Çarpıklık değeri 0.5'ten küçükse, veriye dönüşüm uygulanmasına gerek olmadığı belirtilmiştir. Normal dağılımdan uzak olan verilerin daha normal dağılımlı hale gelmesi için logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Bu dönüşüm, özellikle çok fazla çarpıklık ve aykırı değer içeren veri setleri için faydalı olmuştur. Çalışmada, test edilen yarı-variogram modelleri, çapraz doğrulama yöntemi ve R^2 ve RSS değerleri gibi istatistiksel ölçütler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çapraz doğrulama, farklı modellerin performanslarını karşılaştırmak ve en iyi modeli seçmek için oldukça etkili bir yöntemdir. Çapraz doğrulamada, veri kümesi birden fazla alt kümeye bölünür ve her alt küme sırayla hem eğitim hem de test veri kümesi olarak kullanılır. Bu sayede, her modelin bilinmeyen veriler üzerinde ne kadar iyi performans gösterdiği değerlendirilebilmiştir. Yarı-variogram modelleri, R^2 ve RSS gibi istatistiksel ölçütler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Modelin tahminlerinde ne kadar varyasyonun açıklanabildiği R^2 değerinin

hesaplanması ile belirlenmiştir. Bu değer 1'e yaklaşması, model performansının çok daha iyi olduğunu göstermektedir. Artıkların karelerinin toplamı (RSS), aynı zamanda karelerin toplamı (SSR) veya hata tahminlerinin karelerinin toplamı (SSE) olarak da bilinir ve verilerin gerçek deneysel değerlerinden tahmin edilen değerlere olan sapmaların karelerinin toplamını ifade eder. Bu, verilerle bir doğrusal regresyon gibi bir tahmin modeli ile yapılan tahmin değerleri arasındaki farkı ölçmektedir. Sıfıra yakın bir RSS, model ile tahmin edilen verilerin ölçülen veriler ile uyumunun güçlü olduğunu göstermektedir (Oliver ve Webster, 2014; Tripathi ve ark., 2015). Değişkenlerin mekânsal bağımlılığı, külçe (nugget) etkisi ve nugget/sill oranı etkisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Oranın <25 olması güçlü bir bağımlılığı, 25-75 aralığında olması orta düzeyde bir bağımlılığı ve >75% olması zayıf bir mekânsal bağımlılığı gösterdiği kabul edilmektedir (Cambardella ve ark., 1994).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprak özelliklerinin tanımlayıcı istatistikleri

Çalışma alanı toplam genişliği 12 dekar olmasına rağmen yüzey topraklarının (0-10 cm) ortalama kil içeriği % 52.2 ile % 68.9 arasında değişmiş (ort. % 60), muhtemelen kil içeriğindeki değişim nedeniyle agregat stabilitesi değerleri de % 11.4 ile % 39.1 arasında değişim (ort. % 24) göstermiştir (Tablo 3). Yüzey altı topraklarının kil içerikleri de ilk 10 cm derinliktekinde oldukça benzerdir. Yüzeyde ortalama 1.28 g cm⁻³ olan hacim ağırlığı 10-20 cm derinlikte de 1.34 g cm⁻³ olarak belirlenmiştir. Toprağın hacim ağırlığı, kök gelişimi ve toprak geçirgenliği için uygunluğun etkin bir göstergesidir. Genellikle, toprağın hacim ağırlığının parçacık büyüklük dağılımına bağlı olarak 1.5 g cm⁻³'ten daha düşük olması tercih edilir.

Tablo 3. Çalışma alanı topraklarının tekstür, hacim ağırlığı ve agregat stabilitesine ait tanımlayıcı istatistik verileri

Toprak Özelliği	Birim	Min.	Maks.	Ort.	Std. Dev.	% VK	Yatıklık
0-10 cm							
% Kil	%	52.2	68.9	60.0	3.4	5.6	0.27
% Silt		13.08	29.2	19.4	3.2	16.6	0.50
% Kum		12.5	27.2	20.6	3.2	15.7	-0.51
Hacim Ağırlığı	g cm ⁻³	1.08	1.47	1.28	0.08	6.3	-0.24
Agregat Stabilitesi	%	11.4	39.1	24.0	6.8	28.7	0.36
10-20 cm							
% Kil	%	53.2	67.3	60.0	3.5	5.8	-0.02
% Silt		15.6	26.3	19.9	2.1	10.6	0.55
% Kum		12.0	28.1	20.2	3.5	17.0	-0.17
Hacim Ağırlığı	g cm ⁻³	1.16	1.48	1.34	0.07	4.92	-0.25
Agregat Stabilitesi	%	15.4	49.9	32.0	7.4	24.9	-0.12

Toprak hacim ağırlığı, toprak sağlığı, bitki büyümesi ve bir dizi ekosistem işlevinin gerçekleşmesinin göstergesi olarak kullanılan önemli bir toprak özelliğidir (Al-Shammery ve ark., 2018). Toprak porozitesi ve toprak neminin belirlenmesinde de kullanılan hacim ağırlığı, toprakta hava ve su hareketi için kalan boşluğu gösteren toprak porozitesi ile ters orantılıdır. Ayrıca, yüzey topraklarında toprak sıkışması durumunu belirlemek için bir gösterge olarak da kullanılan hacim ağırlığı, köklerin derine penetrasyonu ve dolayısıyla bitkilerin yüzey altındaki su ve besin elementlerine erişimi ve toprağın genel verimliliğini etkileyen önemli bir toprak kalitesi göstergesidir (Robinson ve ark., 2022). Tekstüre bağlı olarak tarımsal

üretim açısından en ideal hacim ağırlığı aralıkları Tablo 4'te verilmiştir. Bu tablodaki verilere göre deneme alanı topraklarının kil içeriği (> % 45) göz önüne alındığında, en ideal hacim ağırlığı değerinin <1.1 g cm⁻³ olduğu, 1.39 g cm⁻³'ten daha yüksek değerlerin sorun yaratabileceği ve 1.47 g cm⁻³'ten büyük değerlerin ise kök gelişimini önemli düzeyde sınırlandıracağı anlaşılmaktadır. Deneme alanı topraklarının ortalama hacim ağırlığı değerleri, sıkışma bakımından bu derinliklerde sorun olmadığına işaret etse de her iki derinlikte de eşik değer civarında ölçülen hacim ağırlıkları, sıkışmanın izlenmesi gereken bir sorun olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Toprak tekstürüne bağlı olarak hacim ağırlığı değerlerinde kök gelişimi (USDA, 1987).

Toprak Tekstürü	Bitki Gelişimi için İdeal Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)	Kök Gelişimini Etkileyen Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)	Kök Gelişimini Sınırlandıran Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)
Kumlu, Tınlı kumlu	<1.60	1.69	>1.80
Kumlu Tınlı	<1.40	1.63	>1.80
Kumlu Killi Tınlı, Killi Tınlı	<1.40	1.60	>1.75
Siltli, Siltli Tınlı	<1.40	1.60	>1.75
Siltli Tınlı, Siltli Killi Tınlı	<1.40	1.55	>1.65
Kumlu Killi, Siltli Killi, Killi Tınlı	<1.10	1.49	>1.58
Killi (>45% Kil)	<1.10	1.39	>1.47

Toprak yapısının bir göstergesi olarak kabul edilen agregat stabilitesi göstergesinde, stabilite, partiküllerin

yeniden düzenlenmesi, flokülasyon ve mineral partiküllerin organik ve inorganik maddelerle birleşimi sonucu ile

gerçekleşmektedir. Toprak işleminin yapıldığı arazilerde, stabil olan agregatlar parçalanır ve toprak yapısal olarak istikrarsız bir hale gelir, ve rüzgâr veya yağmur tarafından yerinden aşındırılıp bir başka yere taşınabilir. Büyük ve stabil olan agregatlar, küçük ve zayıf olan agregatlara kıyasla daha zor taşınabildiklerinden daha az erozyona uğrarlar. Bunun aksine, küçük agregatlar yağış suyuyla kolayca taşınabilir ve bu da toprakta zaman içerisinde organik madde miktarının önemli düzeyde azalmasına yol açar (Wang ve ark., 2015). Deneme alanı toprakları genel olarak organik madde içeriğinin düşük olması nedeni ile zayıf bir agregat stabilitesine sahiptir. Kil içerikleri yüksek olmasına rağmen yüzey topraklarının agregat stabilitesi değerleri % 11.4 ile % 39.1 arasında değişirken ortalama %24 olarak ölçülmüştür. Yüzey altı toprak örneklerinde ise agregat stabilitesi değerleri % 15.4 ile % 49.9 arasında değişirken ortalama % 32 olarak ölçülmüştür (Tablo 3). Çalışma alanı topraklarının organik madde içeriğinin nispeten düşük olması agregat stabilitesinin düşük olmasının ana nedeni olduğu düşünülmektedir. Organik madde, toprak agregat stabilitesini artırarak toprağın yapısını iyileştirir. OM, toprak partiküllerini birbirine bağlayan yapışkan materyaller sağlar, mikrobiyal aktiviteyi artırır ve kolloidal maddelerin oluşumunu teşvik eder. Ayrıca, organik madde çok değerlikli katyonlarla etkileşime girerek agregatların bağlanma kapasitesini artırır ve toprak pH'sını düzenleyerek bu etkileşimleri güçlendirir. Bu mekanizmalar, su tutma kapasitesini ve havalanmayı iyileştirerek toprak erozyon direncini artırır ve bitki büyümesini destekler (Halder ve ark., 2022). Kara ve ark. (2022) yaptığı çalışmada, organik maddelerin toprak agregat stabilitesini artırdığını ve toprak erozyon direncini güçlendirdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, "zeytin posasının (pirina) farklı oranlarda uygulanmasıyla kontrol örneklerine kıyasla hidrolik iletkenlik, tarla kapasitesi, kullanılabilir su, agregat stabilitesi, likit

limit, plastik limit ve organik madde değerlerinin istatistiksel olarak arttığı ($p < 0.01$) tespit edilmiştir. Varyasyon katsayısı, alınan toprak örneklerinde belirlenen özelliklerin ne kadar değişken olduğunu göstermek için kullanılan bir parametredir. Bu parametre, standart sapmanın ortalama değere oranının yüzde olarak ifade edilmesiyle hesaplanır. Yani, bir özelliğin ortalama değerine göre standart sapmasının yüzdesel olarak ne kadar olduğunu belirler. Varyasyon katsayısının düşük olması, özelliklerin daha az değişken olduğunu, yüksek olması ise daha fazla değişkenlik olduğunu gösterir. Wilding (1985)'e göre, toprak özelliklerinin varyasyon katsayısı için eşik değerler şu şekildedir: Düşük varyasyon $VK < \% 15$, orta varyasyon $\% 15 < VK \leq \% 35$ ve yüksek varyasyon $VK > \% 35$ 'tir. Bu değerlendirmeye göre Tablo 3'te verilen fiziksel toprak özelliklerinden kum içeriği (VK: yüzey için % 15.7 ve yüzey altı için % 17) ve agregat stabilitesi (VK: yüzey için % 28.7 ve yüzey altı için % 24.9) değerleri orta düzeyde değişken iken, diğer özelliklerin tamamında değişkenliğin düşük olduğu görülmektedir (Tablo 3).

Toprağın su içeriği, hidrolojik döngünün önemli bir bileşeni olup, kurak ve yarı-kurak bölgelerde ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliğini sınırlandıran en temel faktördür. Kurak ve yarı kurak bölgelerde, ilave sulama imkânı bulunmadığı durumda toprağın su içeriğinin kaynağı, bölgeye düşen yağıştır. Dolayısı ile sulama imkânı olmadığında kurak ve yarı kurak bölgelerde bitkilerin su alımını ve yapraklarından gerçekleşecek buharlaşma miktarını topraktaki suyun miktarını belirlemektedir (McColl ve ark., 2017). Sulama ile araziye uygulanan suyun etkinliğini artırmak için, topraktaki suyun depolanması ve serbest bırakılmasını kontrol eden temel faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu faktörler arasında, yarayışlı su içeriği (YSİ), toprağın tutabileceği bitkiler için mevcut su miktarını ölçen önemli bir özelliktir. YSİ, tarla kapasitesi (TK) ve daimî solma noktası (DSN) arasındaki toprak tarafından tutulan

su miktarı olarak tanımlanır. Genellikle YSİ, bir toprak kütesine TK için tipik olarak 10-33 kPa arasında ve DSN için 1500 kPa basınç (emiş) uygulayarak nemin çıkarılması ile belirlenmektedir (Blaschek ve ark., 2019). Tarla kapasitesi, toprakta büyük gözeneklerdeki suyun yerçekimi kuvveti tarafından uzaklaştırıldığı eşik noktadır. Toprağın su içeriğinin TK'nin üstüne çıkmasına neden olan bir sulama uygulaması arzu edilmez, çünkü fazladan uygulanan su daha derin katmanlara süzülüp bitki köklerinin erişilmeyeceği derinliğe inecektir. Tarla kapasitesindeki toprağın içerdiği su miktarı, bitki kullanımı için ideal olarak kabul edilir. Bu nedenle, TK genellikle sulama yönetimi için üst sınır

olarak kabul edilmektedir. Çoğu tarım arazilerinde topraklar, bir sulama veya yağış olayından sonra bir ila üç gün içinde tarla kapasitesi nem içeriğine ulaşır (Datta ve ark., 2018). Bu eşik noktasında, kumlu topraklarda tipik hacimsel su içeriği % 20 ve killi topraklarda ise % 40 düzeyinde olabilir (Hanson ve ark., 2000). Çalışma alanı topraklarının yüksek kil içeriği TK ve DSN'da tutulan su miktarlarının da yüksek olmasına neden olmuştur. Yüzeyde ortalama TK, DSN nem içerikleri ve YSİ değerleri % 37.7, % 27.5 ve % 10.2'dir. Yüzey altı katmanında da tekstürün benzer olması nedeniyle TK, DSN ve YSİ değerleri yüzey katmanına yakın olup sırası ile % 38.5, % 29.2 ve % 9.3'tür (Tablo 5).

Tablo 5. Çalışma alanı topraklarının nem içerikleri ve gözeneklilik durumuna ait tanımlayıcı istatistik verileri

Toprak Özelliği	Birim	Min.	Maks.	Ort.	Std. Dev.	VK %	Yatıklık
0-10 cm							
Tarla Kapasitesi	%	31.9	43.6	37.7	2.5	6.6	0.2
Solma Noktası		20.4	35.9	27.5	2.8	10.3	0.5
Yarayışlı Su		3.8	13.2	10.2	2.2	21.5	-0.9
Toplam Gözeneklilik	cm ³ cm ⁻³	0.52	0.75	0.57	0.04	6.5	2.2
Mikro Gözeneklilik (cm ³ cm ⁻³)		0.31	0.44	0.36	0.03	7.0	0.4
Makro Gözeneklilik (cm ³ cm ⁻³)		0.13	0.37	0.21	0.04	21.3	1.2
Su Dolu Gözenek Hacmi	%	52.5	78.2	66.8	5.8	8.7	-0.4
10-20 cm							
Tarla Kapasitesi (%)	%	30.9	46.1	38.5	2.5	6.5	-0.3
Solma Noktası (%)		22.8	37.2	29.2	3.5	11.9	0.6
Yarayışlı Su (%)		3.9	13.6	9.3	2.5	26.3	-0.4
Toplam Gözeneklilik (cm ³ cm ⁻³)	cm ³ cm ⁻³	0.49	0.59	0.55	0.02	4.2	-0.2
Mikro Gözeneklilik (cm ³ cm ⁻³)		0.30	0.44	0.37	0.03	6.8	-0.3
Makro Gözeneklilik (cm ³ cm ⁻³)		0.11	0.24	0.17	0.03	18.0	0.0
Su Dolu Gözenek Hacmi (%)	%	58.2	83.0	70.6	5.3	7.6	-0.1

Daimî solma noktası, bitkilerin su taleplerini karşılamak için suyu yeterince hızlı bir şekilde alamayacakları bir eşik noktasıdır. DSN'da, toprak partikülleri suyu o kadar güçlü bir şekilde tutar ki bitki köklerinin onu alması zorlaşır. Bu eşik noktasında, transpirasyon ve dolayısıyla bitkinin hayatta kalması için hayati öneme sahip diğer süreçler neredeyse durur. Bu durum, bitki büyümesinde ve ürün veriminde önemli bir azalmaya neden olur. Topraktaki su miktarı uzun bir süre

DSN'nın altında kalırsa, bitki sonunda ölecektir. Sulama, toprak nem içeriğinin DSN'na yaklaşmaya başlamasından çok önce uygulanmalıdır (Datta ve ark., 2018). DSN'nın değeri bitki türüne, toprağa ve iklime göre değişmektedir ve kumlu topraklarda % 6 ve killi topraklarda yüzde 22'ye kadar değerler alabilir (Hanson ve ark., 2000). Çalışma alanı içerisinde kil içeriğinin çoğunlukla ortalama % 60'tan daha yüksek olması, DSN'da tutulan su miktarının yer yer % 35.9 gibi oldukça

yüksek değerlerde oluşmasına yol açmıştır. Bu durum, toprakta % 35.9 nem olduğunda dahi bitkilerin solgunluk gösterebileceğine işaret etmesi açısından önemlidir. Solma noktasının yüksek nem içeriklerinde oluşuyor olması yüzey ve yüzey altında da YSI değerlerinin yer yer % 3.8 (0-10 cm) ve

% 3.9 (10-20 cm) gibi çok düşük olmasına yol açmıştır (Tablo 6). Genel olarak, kumlu topraklar büyük miktarda su tutamaz ve YSI miktarı oldukça düşüktür. Siltli ve siltli kil gibi orta bünyeli toprakların YSI değerleri ise çok daha yüksektir.

Tablo 6. Farklı tekstüre sahip topraklarda toprak nemine ait tipik eşik değerler (Hanson ve ark., 2000)

Toprak Tekstürü	Tarla Kapasitesi (%)	Daimî Solma Noktası (%)	Yarayışlı Su İçeriği (%)
Kum	10	4	6
Tınlı Kum	16	7	9
Kumlu Tın	21	9	12
Tın	27	12	15
Siltli Tın	30	15	15
Kumlu Killi Tın	36	16	20
Kumlu Kil	32	18	14
Killi Tın	29	18	11
Siltli Killi Tın	28	15	13
Siltli Kil	40	20	20
Kil	40	22	18

Toprak içerisinde organik maddenin biyolojik parçalanması için toprakların uygunluğunu belirlemede su dolu gözenek hacmi (SDGH) bir kriter olarak kullanılmaktadır. Toprak hacmi, gravimetrik toprak su içeriği ve toprak hacim ağırlığı ile hesaplanan SDGH değeri %60 olduğunda toprakta mikrobiyal aktivitenin en yüksek seviyede olabileceği tahmin edilmektedir (Stehfest ve ark., 2007; Fichtner ve ark., 2019). Çalışma alanı içerisinde hem yüzey hem yüzey altı topraklarının ortalama SDGH değerleri, ortamın mikroorganizma faaliyeti için uygun olduğunu göstermektedir. Yüzeyde SDGH değerleri % 52.5 ile % 78.2 (ort. % 66.8) ve yüzey altında % 58.2 ile % 83 (ort. % 70.6) arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). Hesaplanan varyasyon katsayısı (VK) değerleri (VK yaklaşık % 5.5) de SDGH değerlerinin çalışma alanı içerisinde oldukça düşük bir değişkenliği olduğunu göstermektedir. Araştırmacılar, SDGH'ni topraktaki azot dinamiklerini incelerken de kullanmaktadırlar. Mekala ve ark. (2017), kumlu toprakta sırası ile % 33, % 57 ve % 78 SDGH ve killi toprakta ise %

52, % 81 ve % 96 SDGH seviyelerinde gerçekleşen denitrifikasyon, nitrifikasyon ve azot yıkanması olaylarını incelemişlerdir. Kumlu toprakta, SDGH değeri % 33 ila % 78 arasında iken azot kaybına neden olan etkin olay nitrifikasyon olarak tanımlanmıştır. Denitrifikasyon ise SDGH % 57 ila % 78 arasında olduğunda yoğun bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu nedenle, araştırmacılar optimum sulama planlaması için SDGH değerinin % 57 olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Killi kumlu toprakta ise SDGH değeri % 52 olduğunda nitrifikasyon ve denitrifikasyon olaylarının eşit derecede gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Toprak gözenekliliği, toplam toprak hacmi içinde yer alan gözenek boşluğunu tanımlamak için kullanılmaktadır. Genellikle, gözeneklerin boşlukları, hava veya suyun toprak ortamı içinde bulunabilirliğini ve hareketini kolaylaştırır. Gözeneklilik miktarını yüksek olması, birim hacimde daha fazla gözenek olduğu anlamına gelir. Bu da daha fazla suyun tutulabileceği ve bunun sonucunda da bitki besinlerinin ve bitkilerin daha iyi

büyümesinin sağlanabileceği anlamına gelir (Fattani ve ark., 2021). Toprakta gözeneklerin tamamen su ile dolu olduğu durumdaki doymuş su içeriği, toprağın toplam porozitesine eşittir. Topraktaki makro gözenekler, makro agregatlar arasındaki gözenek boşluğunu tanımlarken mikro agregatlar arasındaki boşluk ile mikro agregatların içindeki gözenekler ise mikro gözenekler olarak karakterize edilmiştir. Makro gözenekler, agregatlar arasında bulunan ve çapları genellikle 0.08 mm'den büyük olan toprak gözenekleridir. Makro gözenekler yerçekimi ile serbestçe drenajın gerçekleşmesini sağlar ve su ve havanın kolay hareketine izin verir. Killi bir toprakta küçük partiküllerin miktarı fazla olduğundan kaba bünyeli (kumlu) bir toprağa göre oldukça fazla sayıda gözenek içerir. İnce bünyeli (killi) topraklarda su, daha küçük gözeneklerde daha sıkıca tutulduğundan, kaba bünyeli topraklara kıyasla daha fazla miktarda su tutabilirler. Ayrıca, makro gözenekler, toprak organizmaları için yaşam alanı sağlar ve bitki köklerinin derinlere inmesine yardımcı olurlar. Mikro gözenekler ise 0.08 mm'den daha küçük çaplara sahiptir ve genellikle yapısal agregatların içinde bulunan küçük toprak gözenekleridir. Mikro gözenekler, toprak mikroorganizmalarını etkileyerek onların hayatta kalması için alan sağlayarak toprak biyolojik çeşitliliğini etkilemektedir (Six et al., 2004). Deneme alanı topraklarının makro ve mikro gözenek miktarlarının yüzey toprağında ortalama 0.21 ile 0.36 cm³ cm⁻³ ve yüzey altında ise 0.17 ile 0.37 cm³ cm⁻³ arasında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5).

Deneme alanı içerisinde yüzey altı topraklarının her iki gözenek miktarı için değişkenliği düşük iken, yüzeyde makro gözenek miktarına ait VK değerinin % 21.3 olması, yüzeyde makro gözenek miktarında orta düzeyde bir değişkenlik olduğunu göstermektedir. Hem 0-10 cm hem de 10-20 cm derinliklerde toplam gözeneklilik ve mikro gözeneklilik VK değerleri oldukça düşüktür (Tablo 5). Bu durum, çalışma alanı topraklarının su ve besin elementlerini

tutma ve depolama yeteneğinin her iki derinlikte de homojen olduğunu gösterir. 0-10 cm derinlikte makro gözenekliliğe ait VK değeri % 21.3'tür ve bu da orta düzeyde değişkenlik gösterdiğini gösterir. Bu durum, su ve hava taşıma kapasitesinin bu derinlikte bazı noktalarda farklılık gösterebileceğini ve toprak erozyonuna karşı dikkatli olunması gerektiğini gösterir. 10-20 cm derinlikte makro gözeneklilik VK değeri % 18.0'dır ve bu da düşük düzeyde değişkenlik gösterdiğini gösterir. Bu durum, su ve hava taşıma kapasitesinin bu derinlikte homojen olduğunu gösterir.

3.2. Toprak özelliklerinin çalışma alanı içindeki değişkenliği ve haritalanması

Çalışmada incelenen toprak fiziksel özelliklerinden bir kısmının, deneme alanındaki dağılımları jeostatistiksel yöntemler ile modellenmiş, her bir özellik için en uygun yarı-variogram modeli oluşturulmuş ve bu model kullanılarak çalışma alanında örnekleme yapılmayan noktalar için tahminler yapılmıştır. Yarı-variogram modellerine ait parametreler Tablo 7'de verilmiştir. Çalışma alanındaki kil içeriği, küresel (0-10 cm) ve exponential (10-20 cm) modellerle incelenmiştir. Küresel model, genellikle belirli bir mesafede (range) veri noktaları arasındaki korelasyonun tamamen kaybolduğu durumlarda kullanılır. Modelin nugget değeri, çok kısa mesafelerde (ölçüm hataları veya küçük ölçekli varyasyonlar) gözlenen varyasyonu gösterir (Goovaerts, 1999). Kil içeriği için küresel modelde nugget değeri 0.01, sill değeri 10.42 ve range değeri 20 metredir. Bu, kil içeriğinde küçük ölçekli bir varyasyon olduğunu ve veri noktalarının 20 metreye kadar birbirleriyle ilişkilendirildiğini gösterir. R² değeri 0.997, modelin veriyi oldukça iyi temsil ettiğini belirtmektedir. Range değerinin 20 metre olması, deneme alanında kil içeriğinde veri noktalarının birbirleriyle mekansal olarak ilişkili olduğu mesafeyi tanımlamaktadır. Nugget değerinin oldukça küçük olması (0.01) kil içeriğinde çok küçük mesafelerde bile bir miktar varyasyonun olduğunu göstermektedir. Sill

değerinin 10.42 olması 20 metrelik (range değeri) bir mesafede, varyasyonun tam olarak geliştiği noktayı tanımlamaktadır. Üssel model, veri noktaları arasındaki korelasyonun mesafe arttıkça daha yavaş azaldığı durumlar için uygundur (Goovaerts, 1999). Bu model, nugget değeri 0.1, sill değeri 12.49 ve range değeri 16.2

metre olarak hesaplanmıştır. Üssel modele ait range değeri, üssel modelde küresel modele kıyasla biraz daha kısadır, bu da kil içeriğinin korelasyonunun mesafe arttıkça daha hızlı azaldığını belirtmektedir. R^2 değerinin 0.97 olması, üssel modelin yüzey altı topraklarının kil içeriği için iyi bir uyum sağladığını göstermektedir.

Tablo 6. Toprak fiziksel özelliklerinin yarı-variogram modellerine ait parametreler

Toprak Özelliği	Derinlik cm	Model	Nugget	Sill	Nugget/Sill %	Range m	R^2	RSS
Kil	0-10	Küresel	0.01	10.42	0.1	20	0.997	3.90E-03
	10-20	Üssel	0.1	12.49	0.8	16.2	0.97	4.75E-05
Agregat Stabilitesi	0-10	Üssel	3.3	46.37	7.1	21	0.98	4.10E-01
	10-20	Üssel	7.7	57.8	13.3	41.4	0.98	5.05E-01
Hacim Ağırlığı	0-10	Üssel	0.0011	0.0068	16.2	42.6	0.95	4.76E-08
	10-20	Küresel	0.00065	0.00496	13.1	13	0.999	4.40E-09
Yarayışlı Su İçeriği	0-10	Doğrusal	2.9	5.8	50.0	90.5	0.99	3.90E-02
	10-20	Üssel	2.08	10.17	20.5	242.4	0.99	1.10E-01
Su Dolu Göz. Hacmi	0-10	Üssel	13.92	37.27	37.4	59.4	0.87	4.75E+00

Modellere ait range (aralık) değeri, yarı-variogramdaki değişkenliğin yayılma mesafesini temsil etmektedir. Daha büyük bir aralık değeri, değişkenliğin uzak mesafelere kadar yayıldığını gösterirken, daha küçük bir aralık değeri, değişkenliğin daha yakın mesafelerde yoğunlaştığını gösterir (Goovaerts, 1999). Farklı toprak özelliklerinin yüzey ve yüzey altı derinliklerdeki dağılım aralıklarında önemli farklılıklar bulunmaktadır (Tablo 6). Örneğin, kil ve hacim ağırlığı için, yüzeyde range değerleri sırasıyla 20 m ve 42.6 m iken, yüzey altında sırasıyla 16.2 m ve 13 m olarak belirlenmiştir. Bu, toprak özelliklerinin yüzeyden yüzeye farklılık gösterdiğini ve derinlik arttıkça varyasyonun azaldığını göstermektedir. Ancak, su dolu gözenek hacmi için aralık değeri yüzeyde 59.4 m iken, yüzey altında 37.4 m olarak belirlenmiştir. Bu durum, su dolu gözenek hacminin yüzeyden yüzeye daha fazla değişkenlik gösterdiğini ve derinlik arttıkça varyasyonun arttığını göstermektedir. Yarayışlı su içeriği için 10-20 cm derinlik için kullanılan üstel modelin çok daha büyük bir aralığa sahip olması dikkat çekicidir. Bu, su içeriği

değişkenliğinin bu derinlikte daha geniş bir aralıkta yayıldığını gösterebilir.

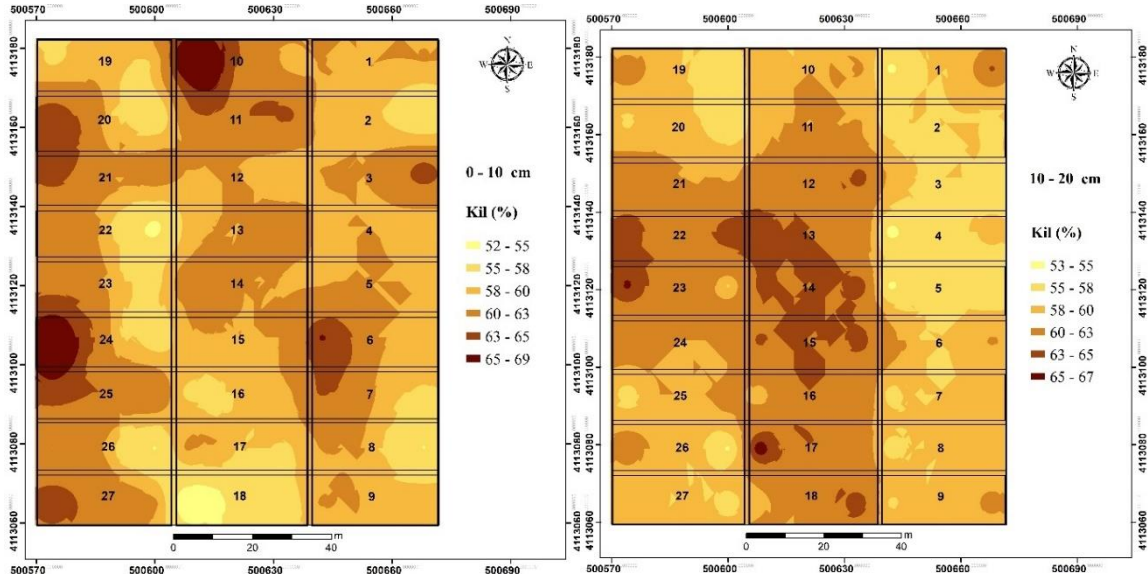
Bir alanda, toprak özelliklerinin mesafeye bağlı değişkenliklerinin modellenmesinde kullanılan yarı-variogramlara ait nugget ve sill değerlerinin oranı, özelliklerin mesafeye bağlı değişkenliklerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Cambardella ve ark. (1994), nugget/sill oranı % 25'in altındaysa, değişkenin güçlü mekânsal bağımlılığa sahip olduğunu, eğer oran % 25 ile % 75 arasındaysa, değişkenin orta düzeyde mekânsal bağımlılığa sahip olduğunu ve eğer oran % 75'in üstündeyse, değişkenin zayıf mekânsal bağımlılığa sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bu değerlendirmeye göre, deneme alanı topraklarının fiziksel özelliklerinden yüzey ve yüzey altı kil içeriği, agregat stabilitesi, hacim ağırlığı ve yüzey altı yarayışlı su içeriğine ait nugget/sill oranı değerleri (\geq % 25), bu özelliklerin çalışma alanı içerisinde güçlü bir mesafeye bağımlılıkları olduğunu göstermektedir (Tablo 6). Mesafeye bağlı değişkenliğin güçlü olması, bu özelliklere ait değerlerin küçük mesafelerde bile oldukça tutarlı olduğunu göstermektedir.

Bu durumda, ilgili özelliklerin mesafeye bağlı değişkenliklerinin iyi bir şekilde karakterize edildiği söylenebilir. Ancak, pratikte daha sık örnekleme yapmanın gereksiz olduğu ve mevcut örnekleme yoğunluğunun yeterli olduğu sonucuna varılabilir. Deneme alanında, yüzey derinliğinin yarayışlı su içeriği ve yüzey altı derinlikteki su dolu gözenek hacmi değerlerine ait nugget/sill oranları % 25 ile % 75 arasında olduğunda orta düzeyde mesafeye bağımlı olarak tanımlanmışlardır.

Deneme alanı fiziksel toprak özellikleri için kalan kareler toplamı (RSS) değerlerinin her bir model için oldukça düşük olduğu görülmektedir (Tablo 6). Bu, kullanılan modellerin verilere oldukça iyi uyduğunu ve varyansın büyük ölçüde açıklandığını göstermektedir. Özellikle, kil ve hacim ağırlığı için RSS değerleri oldukça küçüktür, bu da bu özelliklerin modelleme için uygun olduğunu ve kullanılan modellerin bu özelliklerin varyansını etkili bir şekilde açıkladığını göstermektedir. Ancak, su dolu gözenek hacmi için, yüzeyde RSS değeri diğerlerine göre belirgin şekilde daha yüksektir. Bu, SDGH'nin modelleme sürecinde daha fazla varyans içerdiğini ve belki de daha karmaşık bir dağılım gösterdiğini düşündürülebilir.

Toprakta kil ve organik madde içeriğinin yüksek olması, toprak solunumu, su ve besin tutma ve dinamikleri ile toprak erozyonu gibi birçok toprak mikrobiyal, fiziksel ve kimyasal süreçleri güçlü bir şekilde etkiler (Arthur ve ark., 2019). Dolayısıyla, bu toprak özelliklerinin tarımsal üretim yapılan arazilerde doğru bir şekilde tahmin edilmeleri, arazi içi değişkenliğin neden olabileceği verim kayıplarını azaltmak ve girdi kullanım etkinliklerini arttırmak için gereklidir. Deneme alanında 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerdeki kil içeriğinin dağılımlarını gösteren haritalar Şekil 2a ve 2b'de verilmiştir. Deneme alanının özellikle batı bölümünde ve yer yer kuzey sınırında yüzey

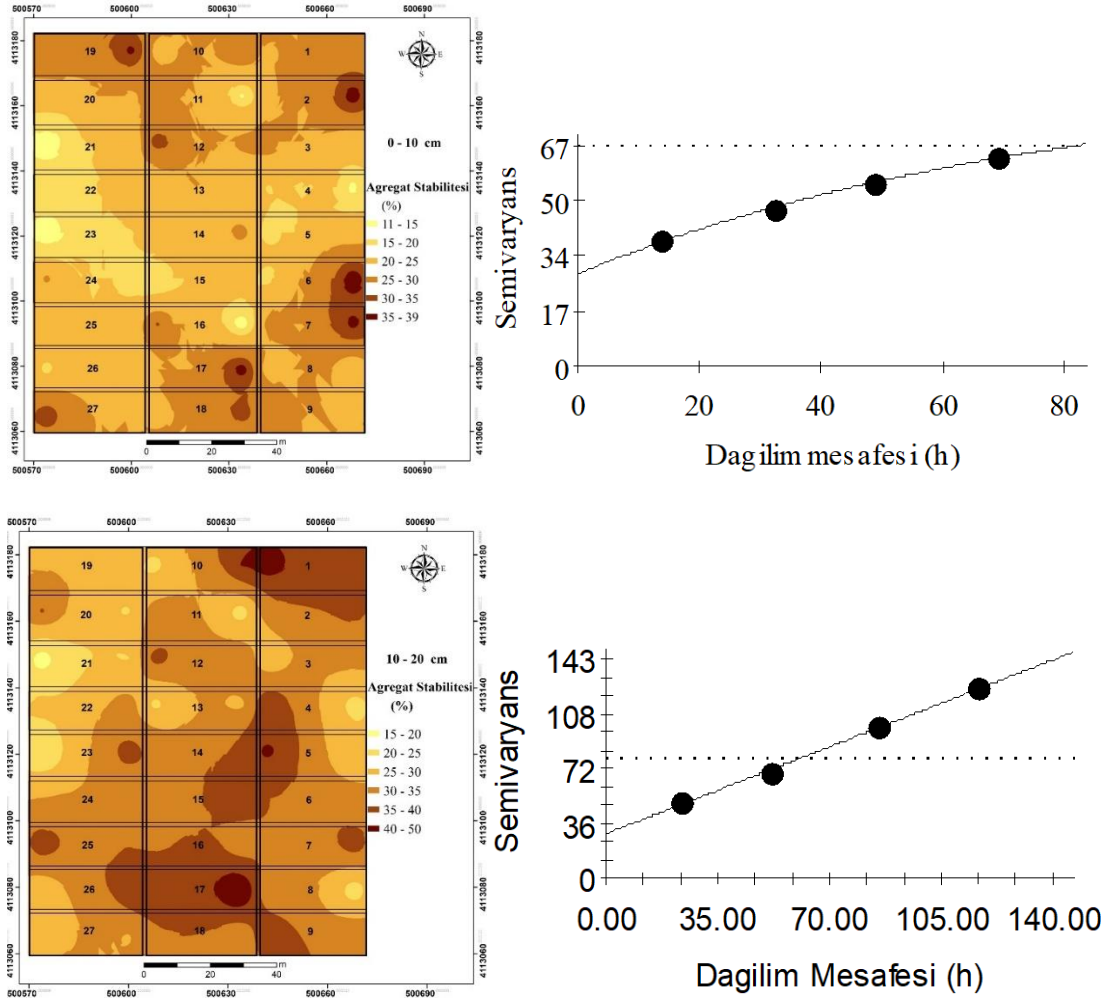
topraklarının kil içeriğinin % 69'a çıktığı görülmektedir. Yüzey altında ise özellikle deneme alanının orta ve batı bölümünde kil içeriği % 67 gibi oldukça yüksek değerleri görmektedir. Sadece 12 dekar genişliğinde olmasına rağmen, deneme alanı içerisinde kil içeriğinin ilk 20 cm derinlikte % 52 ile % 69 arasında değişiyor olması, kil içeriği ile ilişkili olan diğer birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliğinde kısa mesafelerde değişkenlik göstermesine yol açması beklenebilir. Örneğin, kil içeriğinin yüksek olması toprakta daha büyük yüzey alanı oluşmasına neden olacaktır. Kil içeriği yüksek olan toprakta organo-mineral kompleksleri oluşturan çok değerlikli kationların varlığı, daha fazla organik karbon molekülünün kil yüzeylerine absorbe olmasına neden olabilir. Bu durum, topraktaki organik karbonu mikrobiyal ve enzimatik bozulmadan koruyarak toprakta daha fazla karbonun depolanmasını sağlayacaktır (Zaffar ve ark., 2015). Deneme alanında yapılan örneklemede her ne kadar yüzey ve yüzey altı olarak bir ayırım yapılmış olsa da, bu çalışmada örneklenen toplam derinlik olan 0-20 cm, toprak profilinin yüzeyi olarak kabul edilebilir. Genel olarak, yüzey toprağının kil içeriği, çoğu bitki için köklerin yaklaşık %60-80'inin verimliliğini, toprağın tamponlama kapasitesini ve biyolojik aktivitesini yöneten temel bileşendir. Bu nedenle üst topraktaki kil içeriğinin mekânsal dağılımı, tarla içindeki besin maddeleri ve pH yönetimi için gereklidir ve hassas tarım (örneğin, gübreleme ve iyileştirme) uygulamaları açısından son derece önemlidir. Toprak profilinin daha alt katmanlarında bulunan kil ise, toprağın nem ve besin maddesi depolama kapasitesini belirlemektedir. Bu nedenle de alt topraktaki kil içeriğinin dağılımı, özellikle su kısıtı başta olmak üzere bitkisel üretim için gerekli temel rezervlerin yönetimi için kullanışlı bir kaynaktır (Zhao ve ark., 2022).



Şekil 2. Deneme alanı yüzey ve yüzey altı topraklarının kil içeriğinin ait mekânsal dağılım haritaları

Yüzey altı kil içeriğinde olduğu gibi, her iki derinlikteki agregat stabilitesi, su dolu gözenek hacmi ile yüzey derinlikteki hacim ağırlığı ve yarayışlı su içeriği değerlerinin deneme alanı içerisindeki modellenmesinde üssel modelin daha başarılı olduğu görülmektedir. Öte yandan, yüzey altı derinlikte hacim ağırlığı ve yarayışlı su içeriği değerlerinin modellenmesinde küresel model en iyi model iken, yüzey topraklarının yarayışlı su içeriğinin modellenmesinde doğrusal model en iyi model olarak ön plana çıkmıştır (Tablo 7). Toprak agregat stabilitesi, stabil agregatların varlığı, geniş bir yelpazede toprak ekosistem hizmetleriyle ilişkili olduğundan dolayı toprak kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Rivera ve Bonilla, 2020). Deneme alanı içerisinde yüzey ve yüzey altı toprakların agregat stabilitesi değerlerinin dağılımlarına ait haritalar ve kullanılan yarı-variogram modelleri Şekil 3a ve 3b'de gösterilmiştir. Agregat stabilitesi değerleri

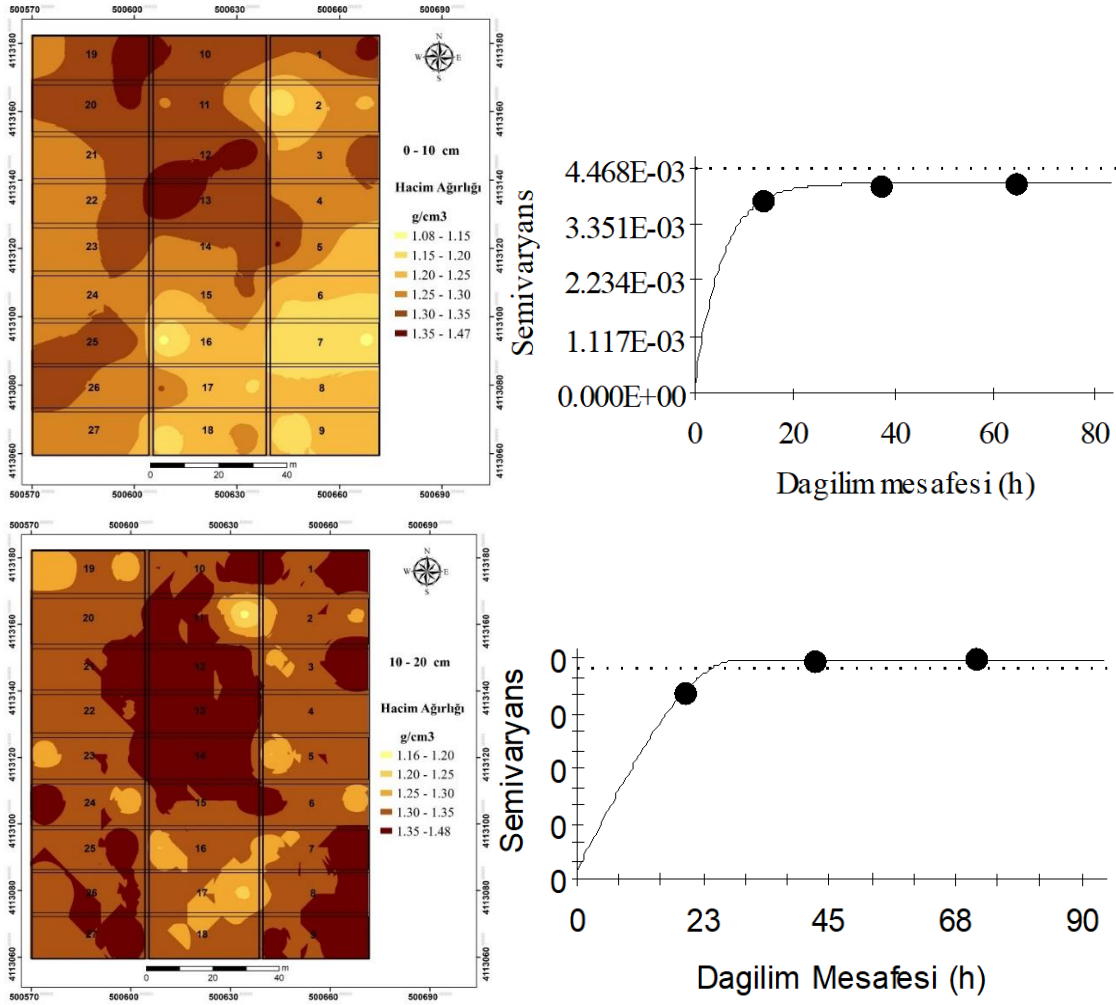
ilk 20 cm derinlikte % 11 ile % 50 arasında değişmektedir. Yüzey ve yüzey altı haritalarında agregat stabilitesinin yüksek ve düşük olduğu yerlerin benzerliği ise dikkat çekicidir. Yüzey toprağında deneme alanının kuzey sınırı ile güney-doğusunda agregat stabilitesi değerleri % 35-40 arasında iken, orta ve batı bölümlerinde % 11-20 gibi düşük değerlerdedir. Agregatların parçalanmaya karşı direnci, toprak sıkışması, toprak organik maddesinin stabilizasyonu ve organik karbonun erozyondan veya ayrışmadan korunması, mikrobiyal topluluk yapısı, besin adsorpsiyonu, suyun depolanması, infiltrasyon, hidrolik iletkenlik, havalanma, kök gelişimi, tohum çimlenmesi, yüzey akışı ve erozyona karşı duyarlılık ve kabuk oluşumu gibi geniş bir yelpazede toprak süreçlerini ve özelliklerini etkilediği rapor edilmiştir (Angers ve ark., 2008; Rivera ve Bonilla, 2020; Tanner ve ark., 2021; Khan ve ark., 2022; Yang ve ark., 2023).



Şekil 3. Deneme alanı yüzey ve yüzey altı topraklarının agregat stabilitesi değerlerine ait mekânsal dağılım haritaları ve ilgili yarı-variogram modelleri

Topraklar, özellikle modern tarımın gelişimi ile mekanizasyonun yaygın olduğu arazilerde, sıkışmaya karşı son derece hassastır. Toprak porozitesi, toprak nemi ve hidrolik iletkenlik ile ilgili temel bir toprak fiziksel özelliği olan hacim ağırlığı, toprak sıkışmasını ve toprak kalitesini/verimliliğini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Çelik ve ark., 2021; Keshawarzi ve ark., 2021). Toprakların kil içeriğindeki değişkenlik, hacim ağırlığı değerlerinin de önemli miktarda farklılaşmasına yol açmıştır. Çalışma alanında ilk 20 cm derinlikte 1.08 g cm^{-3} gibi, yüksek kil içeriğine sahip bir toprak için sorunsuz alanların olduğunu

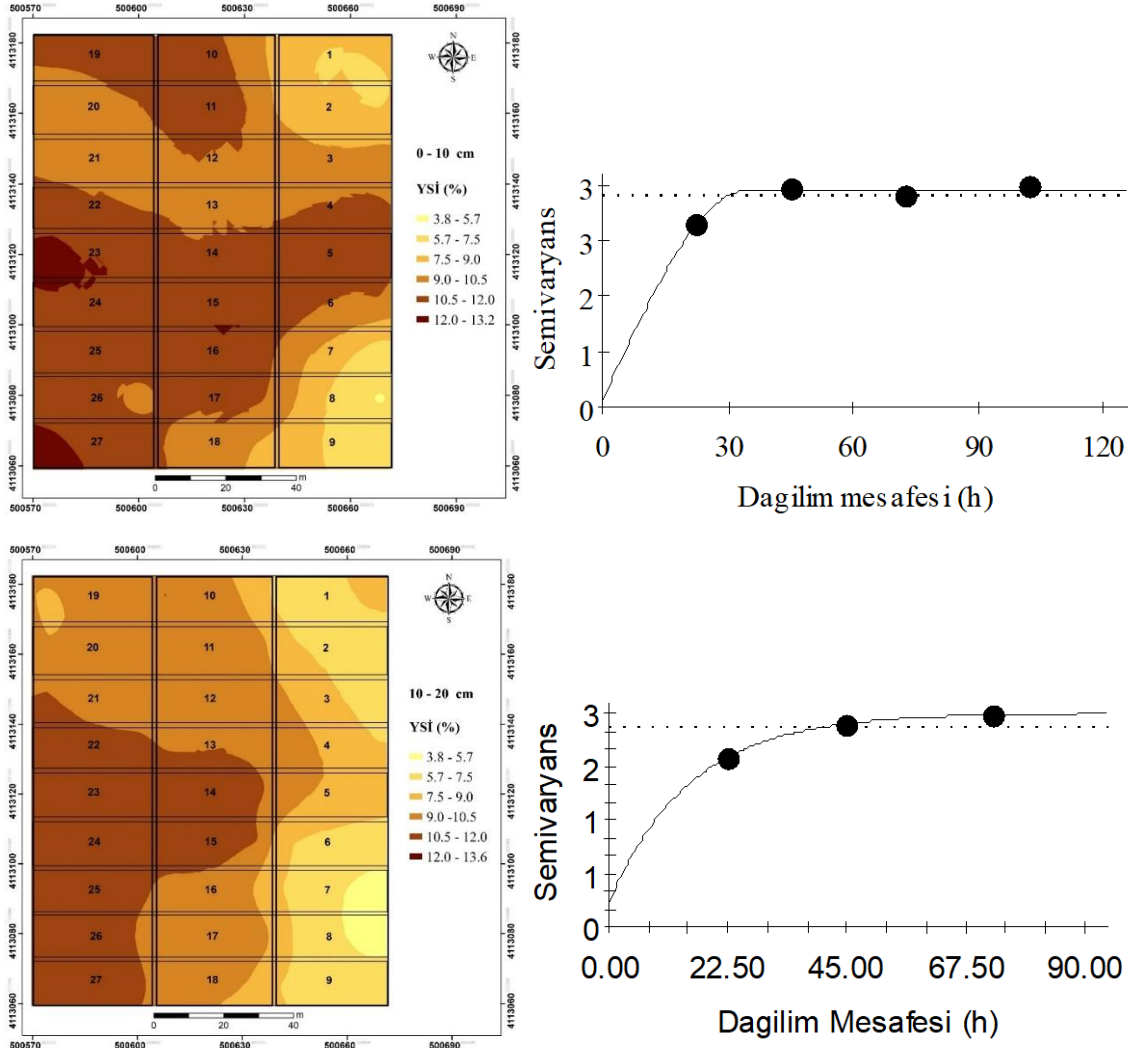
gösterse de özellikle de çalışma alanının orta ve batı bölümlerinde hacim ağırlığı değerleri köklerin penetrasyonu ve suyun iletimini engelleyebilecek olan 1.48 g cm^{-3} gibi yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 4a ve 4b). Toprak oluşum sürecinin karmaşıklığı, ve insan faaliyetleri nedeniyle, toprak hacim ağırlığının mekânsal ölçekte ve toprak katmanları arasında değişkenlik gösterebileceği bildirilmiştir (Lark ve ark. 2014). Bu nedenle, toprak hacim ağırlığının mekânsal dağılımını ve kontrol edici faktörlerini anlamak, toprak kalitesinin iyileştirilmesi ve ilgili toprak süreçlerinin tahmini için değerli bilgiler sağlayabilir.



Şekil 4. Deneme alanı yüzey ve yüzey altı topraklarının hacim ağırlığı değerlerine ait mekânsal dağılım haritaları ve ilgili yarı-variogram modelleri

Toprağın tutabileceği yarıyıllı su kapasitesi (YSİ), toprak su yönetiminin birçok yönü için önemli bir özelliktir. Bu özellikle, toprak su dengesinin kullanımıyla şekillenen toprak su yönetimi bileşenleri için geçerlidir. Toprakta üst veya dolu uçtaki rezervuarda tutulan su miktarı tarla kapasitesi olarak adlandırılır; alt veya kuru uçta tutulan su miktarı ise daimî solma noktasıdır. Yarıyıllı su içeriği (YSİ) bu iki sınır arasında kalan su miktarıdır ve bir toprağın dolu ucunda tuttuğu ve bitki kullanımına hazır olan su miktarı olarak tanımlanır (Cassel ve Nielsen, 1986).

Yüksek kil içeriğine sahip olan deneme alanında, YSİ ilk 20 cm derinlikte % 3.8 ile % 13.6 arasında değişmiştir. Oldukça küçük bir alan olmasına karşın, arazide yer alan toprakların YSİ içerikleri arasında % 10'luk bir farkın olması ilgi çekicidir. İlk 10 cm ile ikinci 10 cm (10-20 cm) derinliklere ait dağılım haritaları birbirlerine son derece benzerdir (Şekil 5a and 5b). En düşük YSİ içeriğine sahip topraklar deneme alanının kuzey-doğu ve güney-doğu sınırlarına yakın yerlerde iken, en yüksek YSİ değerleri deneme alanının orta ve güney-batı bölümlerinde yer almaktadır.



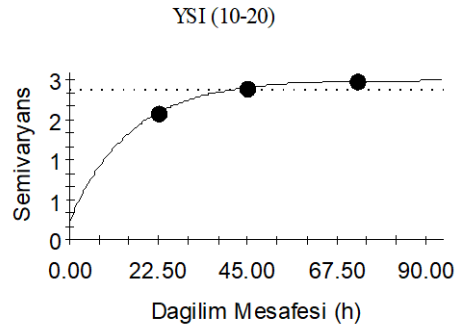
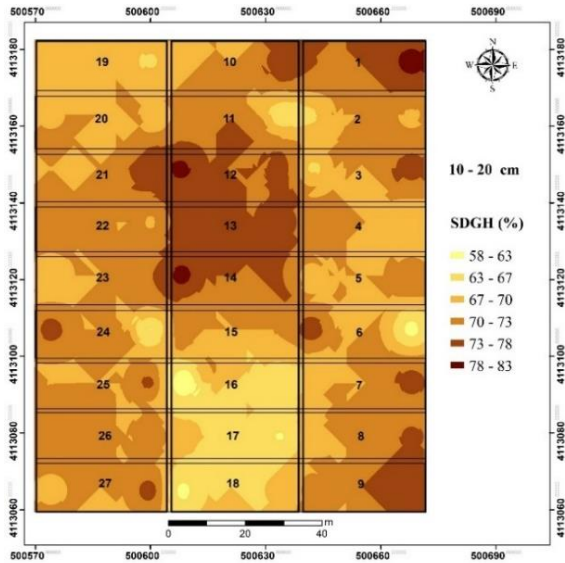
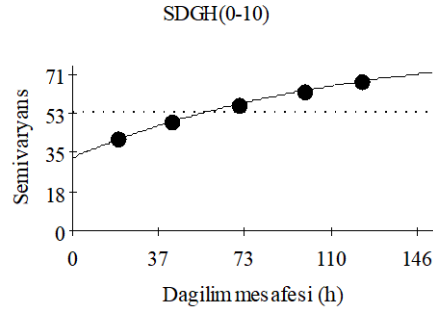
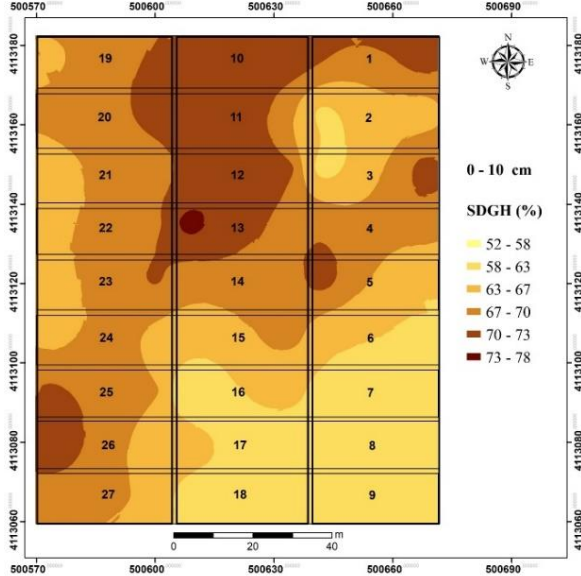
Şekil 5. Deneme alanı yüzey ve yüzey altı topraklarının yarıyıllı su içeriği değerlerine ait mekânsal dağılım haritaları ve ilgili yarı-variogram modelleri

Deneme alanı topraklarının su dolu gözenek hacmi değerlerinin arazi içindeki değişkenliğini gösteren haritaları ve bu haritaların oluşturulmasında kullanılan yarı-variogram modelleri Şekil 6a ve 6b’de gösterilmiştir. Topraklarda su dolu gözenek hacmi (SDGH), toprağın toplam hacminin su ile dolu olan gözenek hacmine oranını ifade eden bir ölçüdür. Bu oran, topraktaki su içeriğini ve drenaj durumunu değerlendirmek için önemli bir parametredir. Toprağın SDGH değerleri, potansiyel karbon ve azot mineralizasyonunu ve genel toprak biyolojik aktivitesi hakkında fikir edinmek için kullanılan bir göstergedir. SDGH’ni hesaplayabilmek için tekstür, agregatlaşma ve organik madde ile ilişkili olan toplam

gözeneklilik bilgisine gereksinim vardır. Organik maddece zengin olan Mollisol bir toprakta karbon mineralizasyonu için optimum SDGH, % 60 olarak belirtilmiştir. SDGH değerleri % 30–70 aralığında iken her birim artış veya azalış ile CO₂ ve N₂O üretimi doğrusal olarak değişmiştir (Linn ve Doran, 1984). Organik madde içeriğinin bir miktar düşük olduğu Ultisol bir toprakta ise optimum azot mineralizasyonu için SDGH değerleri, % 42±3, toprak mikrobiyal biyokütle karbonunun özgül solunum aktivitesi için % 51±22, kümülatif karbon mineralizasyonu için 60±7% ve toprak mikrobiyal biyokütle karbonu için % 76±24 optimize edilmiştir (Franzleubbers, 1999). Deneme alanında, SDGH değerleri güney-batı bölümünde % 60’ın altında iken geri

kalan alanın nerede ise tamamında %60'ın üzerindedir (Şekil 6a). Yüzey altındaki SDGH değerleri, yüzeye göre daha yamalı bir desene sahiptir. Bununla birlikte genel

olarak SDGH'nin yüksek ve düşük olduğu bölgelerin birbirine benzer olduğu görülmektedir (Şekil 6b).



Şekil 6. Deneme alanı yüzey ve yüzey altı toprakların su dolu gözenek hacmi değerlerine ait mekânsal dağılım haritaları ve ilgili yarı-variogram modelleri

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, 12 dekarlık bir alandaki toprakların çeşitli fiziksel toprak özellikleri analiz edilmiş ve kil içeriği, agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, yarayıslı su içeriği ve su dolu gözenek hacminin arazi içindeki değişkenliği jeostatistiksel yöntemler kullanılarak modellenmiş, örneklenmeyen noktalar için tahminler

yapılmış ve haritalanmıştır. Toprakların kil içeriğinin yüksek olması, su tutma kapasitesini ve diğer birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliğini etkilemektedir. Bu durum, deneme alanında kil içeriği ile ilişkili olan diğer birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliğinde kısa mesafelerde değişkenlik göstermesine yol açmaktadır.

Toprak kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilen agregat stabilitesinin düşük olması, şiddetli yağmurların olduğu dönemlerde toprak erozyonuna neden olabilir. Bu çalışmada, agregat stabilitesinin yüzey topraklarında daha düşük olduğu ve çalışma alanının orta ve batı bölümlerinde sorun teşkil edebilecek seviyelerde olduğu görülmüştür. Toprak sıkışmasını değerlendirmek için kullanılan hacim ağırlığının yüksek olduğu lokasyonlarda, pamuk gibi kazık köklü bitkilerin köklerinin penetrasyonu ve suyun aşağı katlara iletimini zorlaştırabilir. Bu çalışmada, çalışma alanının orta ve batı bölümlerinde hacim ağırlığı değerlerinin köklerin penetrasyonu ve suyun iletimini engelleyebilecek seviyelerde olduğu görülmüştür.

Bitki kullanımı için mevcut su miktarını ölçen yarayışlı su içeriği değerleri, çalışma alanının kuzey-doğu ve güney-doğu sınırlarına yakın yerlerde oldukça düşüktür. Yarayışlı su içeriği için oluşturulan mekânsal dağılım haritası, sulama yönetimi açısından dikkatli olunması gereken yerleri net bir şekilde ortaya koymaktadır. Su dolu gözenek hacmi, topraktaki mikrobiyal aktivitenin yoğunluğunu gösteren bir parametredir. Düşük değerler, toprak biyolojik çeşitliliğini ve işlevini olumsuz etkileyebilir. Bu çalışmada, çalışma alanının güney-batı bölümünde su dolu gözenek hacmi değerlerinin % 60'ın altında olduğu ve bu bölgede toprak biyolojik aktivitesinin daha düşük olabileceği görülmüştür.

Toprakların fiziksel özelliklerinin jeostatistiksel yöntemlerle haritalanması, geniş alanlarda toprak oluşumu ve sınıflandırılmasını anlamamıza yardımcı olurken, bu çalışma gibi daha küçük alanlardaki çalışmalarda elde edilen bulgular, su tutma kapasitesi ve erozyon direnci gibi tarımsal önem taşıyan özelliklerin modellenmesinde kullanılabilir. Bu bilgiler, sulama ve gübreleme gibi tarımsal uygulamaların daha etkin planlanmasına destek sağlarken, arazi yönetimi konusunda da erozyon ve su

kirliliği gibi sorunların ele alınmasına yardımcı olabilir.

Yazarların Katkı Beyanı

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

Çıkar Çatışması Beyanı

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

Finansman

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 121O433 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

Açıklama

Bu çalışma, birinci yazar Merve DURMAZ'ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Abakay, O., Günal, H., 2023. Ergani ovasında bazı toprak özelliklerinin mekânsal dağılımlarının belirlenmesinde lokal polinomal interpolasyon ve deneysel bayesyen kriging yöntemlerinin karşılaştırılması. *MAS Journal of Applied Sciences*, 8(4): 654-668.
- AbdelRahman, M.A., Zakarya, Y.M., Metwaly, M.M., Koubouris, G., 2020. Deciphering soil spatial variability through geostatistics and interpolation techniques. *Sustainability*, 13(1): 194.
- AbdelRahman, M.A., Zakarya, Y.M., Metwaly, M.M., Koubouris, G., 2020. Deciphering soil spatial variability through geostatistics and interpolation techniques. *Sustainability*, 13(1): 194.

- Adhikari, K., Guadagnini, A., Toth, G., Hermann, T., 2009. Geostatistical analysis of surface soil texture from Zala County in western Hungary. *Proceedings of International Symposium on Environment, energy, and water in Nepal: Recent researches and direction for future*; Mar 31–Apr 1; Kathmandu; p. 219–224.
- Al-Shammary, A.A.G., Kouzani, A.Z., Kaynak, A., Khoo, S.Y., Norton, M., Gates, W., 2018. Soil bulk density estimation methods: A review. *Pedosphere*, 28(4): 581-596.
- Angers, D.A., Bullock, M.S., Mehuys, G. R., 2008. Aggregate stability to water. *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2: 811-819.
- Arthur, E., Tuller, M., Norgaard, T., Moldrup, P., de Jonge, L.W., 2019. Improved estimation of clay content from water content for soils rich in smectite and kaolinite. *Geoderma*, 350: 40-45.
- Bilgili, A.V., Çulu, MA., Küçük, Ç., Almaca, A., Öztürkmen, AR. 2015. Harran Ovası farklı toprak serilerinde toprak kalite indeksi (skor fonksiyonu) kullanarak toprakların kalitelerinin değerlendirilmesi ve takip edilme potansiyelinin araştırılması. TUBITAK Projesi; TOVAG 1110706. s.69.
- Birol, M., Günel, H., 2022. Field scale variability in soil properties and silage corn yield. *Soil Studies*, 11(1): 27-34.
- Blake, G.R., Hardge, K.H. 1986. "Bulk Density" In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph No.9, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 363-375.
- Blaschek, M., Roudier, P., Poggio, M., Hedley, C.B., 2019. Prediction of soil available water-holding capacity from visible near-infrared reflectance spectra. *Scientific Reports*, 9(1): 12833.
- Bone, J., Head, M., Barraclough, D., Archer, M., Scheib, C., Flight, D., Voulvoulis, N., 2010. Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. *Environment International*, 36: 609–622.
- Borůvka, L., Donátová, H., Němeček, K., 2002. Spatial distribution and correlation of soil properties in a field: a case study. *Plant, Soil and Environment*, 48(10): 425-432.
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54(5): 464-465.
- Budak, M., Günel, H., Sırrı, M., Acir, N. 2023. Characterization of Surface and Groundwater Resources in Yüksekova Basin. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(4): 784–797.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., Konopka, A.E., 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5): 1501-1511.
- Cassel, D.K., Nielsen, D.R., 1986. Field capacity and available water capacity. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods*, 5: 901-926.
- Celik, I., Günel, H., Acir, N., Barut, Z. B., Budak, M., 2021. Soil quality assessment to compare tillage systems in Cukurova Plain, Turkey. *Soil and Tillage Research*, 208: 104892.
- Danielson, R.E., Sutherland, P.L., 1986. Porosity. *Methods of soil analysis: part 1 physical and mineralogical methods*, 5: 443-461.
- Datta, S., Taghvaeian, S., Stivers, J. 2018. Understanding Soil Water Content and Thresholds for Irrigation Management. Oklahoma State Univ. Fact Sheet. BAE-1537. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/understanding-soil-water-content-and-thresholds-for-irrigation-management.html> (Erişim tarihi: 01.01.2024).

- Fattani, S., Forka, C. A., Garcia, M., Huynh, T., Merricks, T., Robinson, M., Sanders, C., 2021. Soil moisture and porosity affects the abundance and distribution of *Ageratum houstonianum*. *Pursue: Undergraduate Research Journal*, 4(1): 1.
- Fichtner, T., Goersmeyer, N., Stefan, C., 2019. Influence of soil pore system properties on the degradation rates of organic substances during soil aquifer treatment (SAT). *Applied Sciences*, 9(3): 496.
- Franzluebbers, A.J., 1999a. Microbial activity in response to water-filled pore space of variably eroded southern Piedmont soils. *Applied Soil Ecology*, 11: 91–101.
- Goovaerts, P., 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89(1-2): 1-45.
- Goovaerts, P., 1998. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, 27: 315-334.
- Günel, H., Budak, M. 2022b. Toprak Kalitesi ve Ekosistem Hizmetleri Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi. In *Toprak Kalitesi ve Değerlendirilmesi*. p. 45-66. Ankara, Iksad Publishing House.
- Gündoğan, R., 2023. Şanlıurfa topraklarının özellikleri ve kullanımı. Editör: Altop, E.K. *Tarımsal teknoloji ve ekosistemlerde ileri uygulamalar: Verimlilik, Çevresel Etkiler ve Yenilikçi Yaklaşımlar*. sayfa: 61-102. Iksad Publications. Ankara.
- Halder, M., Liu, S., Zhang, Z. B., Guo, Z. C., Peng, X.H., 2022. Effects of organic matter characteristics on soil aggregate turnover using rare earth oxides as tracers in a red clay soil. *Geoderma*, 421: 115908.
- Hanson, B., Orloff, S., Peters, D., 2000. Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. *California Agriculture*, 54(3): 38-42.
- İnci, Y., Gündoğan, R., Bilgili, A.V., Ramazanoğlu, E. 2026. Morphological, physical and chemical characteristics, classification and evaluation of soils formed on common parent materials in şanlıurfa for forensic applications. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(4): 891–903.
- Iqbal, J., Thomasson, J.A., Jenkins, J.N., Owens, P.R., Whisler, F.D., 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. *Soil Science Society of America Journal*, 69(4): 1338-1350.
- Kara, Z., Aydemir, S., Saltalı, K., 2022. Rehabilitation of light textured soils with olive pomace application. *MAS Journal of Applied Sciences*, 7(2): 316-325.
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C. 1986. “Aggregate stability and size distribution”, In: Klute A, (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Madison, WI. p 425-42.
- Keshavarzi, A., Tuffour, H.O., Brevik, E. C., Ertunç, G., 2021. Spatial variability of soil mineral fractions and bulk density in Northern Ireland: Assessing the influence of topography using different interpolation methods and fractal analysis. *Catena*, 207: 105646.
- Khan, F.U., Khan, A.A., Li, K., Xu, X., Adnan, M., Fahad, S., Zaman, F., 2022. Influences of long-term crop cultivation and fertilizer management on soil aggregates stability and fertility in the Loess Plateau, Northern China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(2): 1446-1457.
- Klute, A. 1986. “Water Retention”, *Laboratory Methods. Methods of Soil Analysis. Part1. 2nd Ed. Agronomy 9. Am. Soc. Agron.*, 635-660, Madison.
- Lark, R.M., Rawlins, B.G., Robinson, D. A., Lebron, I., Tye, A.M., 2014. Implications of short-range spatial variation of soil bulk density for adequate field-sampling protocols: methodology and results from two contrasting soils. *European Journal of Soil Science*, 65(6): 803-814.

- Linn, D.M., Doran, J.W. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48(6): 1267-1272.
- McCull, K.A., Alemohammad, S.H., Akbar, R., Konings, A.G., Yueh, S., Entekhabi, D., 2017. The global distribution and dynamics of surface soil moisture. *Nature Geoscience*, 10(2): 100-104.
- Mekala, C., Nambi, I.M. 2017. Understanding the hydrologic control of N cycle: Effect of water filled pore space on heterotrophic nitrification, denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium mechanisms in unsaturated soils. *Journal of Contaminant Hydrology*, 202: 11-22.
- MGM, 2024. İllerimize ait genel istatistik verileri. Şanlıurfa ili. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SANLIURFA> (Erişim tarihi: 10.01.2024).
- Mulla, D.J., McBratney, A.B., 2001. Soil spatial variability (pp. 343-77). *Soil physics companion*. Boca Raton: CRC Press.
- Oliver, M.A., Webster, R., 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113: 56-69.
- Rivera, J.I., Bonilla, C.A., 2020. Predicting soil aggregate stability using readily available soil properties and machine learning techniques. *Catena*, 187: 104408.
- Robinson, D.A., Thomas, A., Reinsch, S., Lebron, I., Feeney, C.J., Maskell, L.C., Cosby, B.J., 2022. Analytical modelling of soil porosity and bulk density across the soil organic matter and land-use continuum. *Scientific Reports*, 12(1): 7085.
- Sırrı, M., Fidan, M., Budak, M. 2023. Soil factors affecting the distribution of weed flora in the wheat fields of Yüksekova basin. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 7(4): 855-869.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K., 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79(1): 7-31.
- Stehfest, E., Heistermann, M., Priess, J.A., Ojima, D.S., Alcamo, J., 2007. Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent. *Ecological Modelling*, 209(2-4): 203-219.
- Tanner, S., Katra, I., Argaman, E., Ben-Hur, M., 2021. Mechanisms and processes affecting aggregate stability and saturated hydraulic conductivity of top and sublayers in semi-arid soils. *Geoderma*, 404: 115304.
- Trangmar, B.B., Yost, R.S., Uehara, G., 1986. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 38: 45-94.
- Tripathi, R., Nayak, A.K., Shahid, M., Raja, R., Panda, B.B., Mohanty, S., Sahoo, R. N., 2015. Characterizing spatial variability of soil properties in salt affected coastal India using geostatistics and kriging. *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 10693-10703.
- Usowicz, B., Lipiec, J., 2017. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil and Tillage Research*, 174: 241-250.
- Wang, Y., Zhang, J.H., Zhang, Z. H., 2015. Influences of intensive tillage on water-stable aggregate distribution on a steep hillslope. *Soil and Tillage Research*, 151: 82-92.
- Webster, R., 2001. Statistics to support soil research and their presentation. *European Journal of Soil Science*, 52(2): 331-340.
- Wilding, L.P., 1985. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys.
- Yang, Y., Zhang, Y., Yu, X., Jia, G., 2023. Soil microorganism regulated aggregate stability and rill erosion resistance under different land uses. *Catena*, 228: 107176.

Zaffar, M., Sheng-Gao, L.U., 2015. Pore size distribution of clayey soils and its correlation with soil organic matter. *Pedosphere*, 25(2): 240-249.

Zhao, D., Wang, J., Zhao, X., Triantafilis, J., 2022. Clay content mapping and uncertainty estimation using weighted model averaging. *Catena*, 209: 105791.

Atıf Şekli: Durmaz, M., Günal, H., Budak, M., Çelik, İ., 2024. Harran Ovası'nda Tarla Ölçeğinde Toprak Fiziksel Özelliklerinin Mekânsal Değişkenliği. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 9(2): 241–264.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.11632418>.

To Cite: Durmaz, M., Günal, H., Budak, M., Çelik, İ., 2024. Field Scale Spatial Variability of Soil Physical Properties in the Harran Plain. *MAS Journal of Applied Sciences*, 9(2): 241–264.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.11632418>.
