

## Farklı Sulama Sistemlerinin Zayıf Strüktürlü Toprağın Fiziksel Kalitesi Üzerine Etkisi

Hamza NEĞİŞ\*, Cevdet ŞEKER, Raziye KOÇKESEN

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Konya, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 03.11.2023

Kabul Tarihi/Accepted: 21.03.2024

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

 orcid.org/0000-0002-1880-9188  orcid.org/0000-0002-8760-6990  orcid.org/0000-0002-4390-9762

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: hnegis@selcuk.edu.tr

**Öz:** Aşırı arazi kullanımı nedeniyle toprakların yapısal olarak bozulması, son yıllarda tarımsal sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkilemiştir. Bu çalışmada kabuklanma sorununun görüldüğü bir bölgede beş yıl boyunca uygulanan farklı sulama yöntemlerinin toprağın fiziksel kalitesine etkisi araştırılmıştır. Buğday yetiştirilen ve 4 farklı sulama sistemine [Doğal yağış (DY), linear pivot sulama (LPS), yeraltı damlama sulama (YDS) ve yağmurlama sulama (YS)] sahip bir bölgeden 0-20 cm derinlikten bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Çalışmada, toprağın ortalama ağırlık çapı (OAC), suya dayanıklı agregatlar, doyumluk düzeyi (Θs), tarla kapasitesi (TK), solma noktası, yarayışlı su içeriği (YSİ), havalanma kapasitesi, kırılma indeksi, plastik limit (PL), likit limit (LL) ve plastiklik indeksi (PI) belirlenmiştir. Suya dayanıklı agregatlar, DY sisteminde en düşük % 7.76 olurken; bu sonuç, % 150.64 artarak YDS sisteminde % 19.45'e çıkmıştır. Toprakların OAC değerleri DY sisteminde 0.178 mm bulunmuş olup, bu değer YDS sisteminde artarak 0.467 mm olarak bulunmuştur. Yeraltı damlama sulama sisteminde; Θs, TK ve YSI bakımından en yüksek değerler elde edilmiştir. Kırılma indeksi DY sisteminde 151.56 kPa olarak bulunurken; LPS, YDS ve YS alanlarında sırasıyla 154.4, 44.78 ve 154.2 kPa olarak bulunmuştur. Farklı sulama sistemleri toprakların PL, LL ve PI değerlerinde herhangi bir değişime neden olmamış; bu değerler sırasıyla ortalama, % 44.57, 21.14 ve 23.44 olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda toprak agregat stabilitesi ve su karakteristik özellikleri sonuçlarının uzun yıllar takip edilmesi ve farklı toprak türlerinde incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ayrıca arazilerin sürdürülebilir kullanımı için sulama sistemlerinin olası etkilerinin dikkate alınması gerektiği önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak agregasyonu, toprak kabuklanması, sulama yöntemleri, toprak kalitesi

## Impact of Different Irrigation Systems on the Physical Quality of Weak Structured Soil

**Abstract:** In recent decades, agricultural sustainability has been negatively affected by the structural degradation of soils resulting from excessive land use. In this research, the impact of different irrigation methods applied for five years in a region experiencing crusting issues on the soil's physical quality was investigated. Soil samples were taken from a region where wheat is grown and four different irrigation systems [Natural rainfall (NR), linear pivot irrigation (LPI), subsurface drip irrigation (SDI), and sprinkler irrigation (SI)] are employed, at depths of 0-20 cm, from both degraded and undegraded soils. The soil's mean weight diameter (MWD), water-resistant aggregates (WRA), saturation level (Θs), field capacity (FC), wilting point, available water content (AWC), aeration capacity, modulus of rupture, plastic limit (PL), liquid limit (LL), and plasticity index (PI) were determined. The soil's WRA were found to be the lowest at 7.76% in the NR, but this result increased by 150.64% to 19.45% in the SDI. The MWD values of the soils in the NR system were found to be 0.178 mm and it has been found to increase in the SDI system, reaching 0.467 mm. In the SDI system, the highest values were obtained for Θs, FC, and AWC. While the modulus of rupture was found to be 151.56 kPa in the NR, it was found 154.4, 44.78 and 154.2 kPa in the LPI, SDI and SI areas, respectively. The PL, LL, and PI values of the soils were not affected by different irrigation systems, and values were determined as 44.57%, 21.14%, and 23.44%, on average respectively. In this direction, the necessity of monitoring the results of soil aggregate stability and water characteristics for many years and examining them in different soil types has emerged. In addition, it has been suggested that the possible effects of irrigation systems should be considered for the sustainable use of lands.

**Keywords:** Soil aggregation, soil crusting, irrigation methods, soil quality

## 1. Giriş

Dünya üzerindeki yaşamın tamamı, ekosistemin bütünsel olarak değerlendirilmesi ve yönetimine bağlıdır. Artan insan popülasyonu ve bu artışa bağlı antropojenik faaliyetler, ekosistemler üzerinde oldukça şiddetli bozulmalara yol açmaktadır (Navarro-Pedreño ve ark., 2021; Mattila ve ark., 2022). Bu bozulmanın başlıca göstergesi tarımsal ürünlerin üretimi için en belirleyici faktör olan suyun bulunabilirliğinin azalmasıdır (Cano ve ark., 2018). Küresel ısınma ve mevsimsel faktörlerin öngörülemeyen değişimleri, (kuvvetli rüzgarlar, aşırı yağış, sıcaklıklardaki dalgalanma) çiftçilerin suyun kullanılabilirliğini daha etkin hale getirmeye mecbur kılmıştır (Yang ve ark., 2021). Bu anlamda, Türkiye’de tarım topraklarındaki en büyük sorunların başında sulama suyunun verimli kullanılmaması gelmektedir. Teknolojik ilerlemeler, modern ve yüksek verimlilik sunan sulama sistemlerinin geliştirilmesine bağlı olarak, bu alanda yenilikçi çözümlerin ortaya çıkması tarımda suyun daha etkili kullanımına katkıda bulunmaktadır (Abdulateef ve ark., 2022; Sapkota ve ark., 2023). Bu modern sistemlere yağmurlama, damla sulama, toprak altı sulama ve pivot sulama örnek verilebilir. Gelişen sulama sistemleriyle su kayıplarının büyük oranda önüne geçilerek bitkilerin uygulanan birim suyu kullanım kapasiteleri arttırılabilmektedir. Bununla birlikte, modern sulama sistemleri ile getirilen etkinlik odaklı çözümler sulamanın verimliliğini arttırmış olsa da farklı sulama sistemlerinin zayıf strüktür özelliklerine sahip topraklar üzerindeki etkileri tam olarak bilinmemektedir. Nitekim iyi toprak strüktürü sağlıklı ve sürdürülebilir tarımsal ekosistemlerin temel unsurudur (Şeker ve ark., 2017). Toprak strüktürü, kapsamlı bitki kök sistemlerinin gelişimini, su ve besin maddelerinin verimli kullanımını teşvik eder ve bitkileri başta kuraklık olmak üzere farklı biyotik ve abiyotik olumsuzluklara karşı korur (Lu ve ark., 2024). Ancak zayıf strüktürlü topraklarda su hareketini doğrudan etkileyen sulama yöntemleri toprak yapısına birtakım baskılar getirmektedir. Aynı zamanda artan tarla trafiğine bağlı olarak toprakların fazla işlenmesi de bu sürece doğrusal bir katkıda bulunmaktadır (Negiş ve ark., 2017). Ekilecek ürün için toprak işleme aşamasında toprakların küçük parçalara ayrılması; yağışların veya sulama uygulamasının toprak agregatlarının parçalamasından dolayı bu yapı geri dönüşü olmayan bir deformasyona uğramaktadır. Bu nedenle, öncelikle sulama sistemlerine bağlı olarak toprakların strüktürel yapılarındaki değişimin ortaya konulması önem taşımaktadır (Khasi ve ark., 2024). Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki topraklar, organik madde eksikliği ve yanlış tarım teknikleri

sebebiyle yeterince gelişmemekte ve bu durumun en açık belirtisi, topraklarda kaymak tabakası oluşumu olarak karşımıza çıkmaktadır (Gümüş ve ark., 2022). Toprağın bu strüktürel sorunları, toprak ve su arasındaki ilişkilerin bozulmasına yol açmakta ve sonuç olarak erozyon ile toprak degradasyonu şiddetlenmektedir. Bu nedenle, benzer strüktüre sahip topraklarda farklı sulama yöntemlerinin etkilerinin araştırılması zorunludur (Lu ve ark., 2024).

Konya ili, başta buğday olmak üzere farklı sulama metotları altında yoğun bitkisel yetiştiricilik faaliyetlerinin yürütüldüğü ve genel özellikleri itibarıyla düşük organik madde ve zayıf strüktürel gelişim gösteren toprakların yaygın bulunduğu stratejik öneme sahip bir yöredir. Bu çalışmada uzun yıllar farklı sulama yöntemleri altında buğday yetiştiriciliği yapılan aynı strüktüre sahip toprakların fiziksel özelliklerindeki değişiklikler incelenmiş ve toprak yönetimi stratejilerinin belirlenmesinde öneriler getirilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çalışma alanı

Araştırma, Konya Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Sarıcalar Araştırma ve Uygulama Çiftliği’nde (464963-467211 E doğu boylamları ve 4216264-4216899 N kuzey enlemleri /UTM 36, 1007m) Ekim 2022 yılında üretim amaçlı ekimi yapılan ve beş yıldır 4 farklı sulama sistemi [Doğal yağış (DY), linear pivot sulama (LPS), yeraltı damlama sulama (YDS) ve yağmurlama sulama (YS)] altında buğday yetiştiriciliği yapılan tarlalarda yürütülmüştür. Bu sayede farklı sulama sistemlerinin aynı strüktüre sahip toprakların fiziksel özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma alanı tipik İç Anadolu karasal iklim özelliklerine sahip olup, uygulama çiftliğinde yer alan meteoroloji istasyonuna ait uzun yıllar (1991-2023) iklim verilerine göre, yıllık ortalama yağış miktarı toplamı 310 mm, ortalama sıcaklık 11.7 °C’dir.

#### 2.1.2. Toprak örneklerinin alınması ve fiziksel analizlere hazırlık

Araştırmada 16 adet bozulmuş ve 64 adet bozulmamış toprak örneklerinde çalışılmıştır. Örnekler son 5 yıldır 4 farklı sulama sistemi altında Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi tarafından üretim amaçlı ekimi yapılan buğday tarlalarından 0-20 cm derinlikte ve araziye temsil edecek şekilde her bir tarla için 8 farklı noktadan alınmıştır. Bozulmamış örneklerin alınmasında hacmi belirli (100 cm<sup>3</sup>) silindirler kullanılmıştır. Örnekler laboratuvar ortamına taşınmış, serilerek kurutulmuş

ve 2-4 mm'lik eleklerden geçirilerek analizler için hazırlanmıştır.

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Laboratuvar analizleri

Çalışma alanı topraklarının tekstürü Gee ve Bauder (1986), pH, elektriksel iletkenlik (Electrical conductivity, EC), kireç McLean (1983) ve organik madde içeriği Nelson ve Sommers (1983) tarafından bildirilen esaslara göre belirlenmiştir.

Alınan toprak örneklerinin fiziksel analizlerinde bir dizi aşama yürütülmüştür. Toprakların hacim ağırlıklarının (HA) belirlenmesi için bozulmamış toprak örnekleri Blake ve Hartge (1986)'nin belirlediği metot kullanılarak alınmıştır. Bozulmamış toprak örneklerinin alt kısımları bez ile kaplanıp doymun hale gelinceye dek atmosfer basıncı altında su dolu kaptaki bekletilmiştir. Toprakların doymunluk düzeyinin ( $\Theta_s$ ) belirlenmesi için örnekler su ile doymun hale getirilip tartıldıktan sonra, tarla kapasitesi (TK) (33 kPa) ve solma noktası (SN) (1500 Kpa) tayinleri için basınçlı kaplara alınmış ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Toprakların yarayışlı su içerikleri (YSİ) Eşitlik 1, havalanma kapasitesi (HK) Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$YSİ = TK - SN \quad (1)$$

$$HK = \Theta_s - TK \quad (2)$$

Kırılma indeksi (Kİ) analizi için 2 mm'den elenen ve hava kuru topraklar kırılma biriketine yerleştirilmiş ve su ile doymun hale getirilmiştir. Daha sonra 40 °C'de 4 gün boyunca etüvde kurutulan örnekler kırılma aparatı kullanılarak kırılmış ve Eşitlik 3 kullanılarak kırılma değerleri hesaplanmıştır (Reeve, 1965).

$$Kİ = (3 \times F \times L) / (2 \times b \times d^2) \quad (3)$$

Eşitlikte F, harcanan su miktarını; L, kırılma modülündeki destekler arası mesafeyi; b, örnek en ölçümünü (cm); d, örnek kalınlığını (cm) ifade etmektedir.

Islak eleme için havada kurutulan topraklar 50 g alınıp (2.00, 1.00, 0.50 ve 0.25 mm) elek çaplarına sahip olan sıralı eleklerin üzerine konulup ıslak eleme için hazırlanmıştır. Islak eleme başlatılmadan önce topraklar 5 dakika boyunca su dolu küvete daldırılarak ıslatılmıştır. Daha sonra 5 dakika boyunca yukarı aşağı salınım hareketine tabi tutulmuştur (30 kez dak<sup>-1</sup> frekans). Elek üzerinde kalan agregatlar beherlerin içine sırasıyla toplanmış, kurutulmuş ve tartılmıştır. Ortalama ağırlık çap (OAÇ) Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır (Lal ve Shukla, 2004).

$$OAÇ = \frac{\sum_{i=1}^5 m_i d_i}{\sum_{i=1}^5 m_i} \quad (4)$$

Eşitlikte  $m_i$ , agregat fraksiyonunun ağırlığını (g) ve  $d_i$ , agregat fraksiyonunun ortalama çapını (mm) ifade etmektedir.

Toprakların suya dayanıklı agregatlarının (SDA) belirlenmesi için yapay yağmur simülatörü yöntemi kullanılmıştır. Havada kurutulan numuneler 2-0.25 mm'lik elekten elenmiş ve bu eleklerin arasındaki agregatardan 20 g toprak alınmıştır. Agregat stabilitesini belirlemek için 0.25 mm'lik bir elek üzerindeki toprağın yayılması, 5 dakika boyunca damlalar halinde toplam 12.5 mm su ile simüle edilmiştir (Karlen ve ark., 2021).

Toprak Atterberg limitleri standart ASTM (American Society for Testing and Materials) test yöntemleri (Anonymous, 2010) kullanılarak belirlenmiştir. Toprak numuneleri 0.42 mm'lik elekten geçirildikten sonra dijital göstergeli düşme konisi (76 g, 30° koni açısı) kullanılarak likit limit (LL) ölçülmüş ve plastik limit (PL) 3 mm çapında bir ipin oluşturulduğu toprak neminden hesaplanmıştır. Plastiklik indeksi (Pİ), LL ve PL arasındaki fark olarak hesaplanmıştır (Lal ve Shukla, 2004).

### 2.2.2. İstatistiksel analizler

Araştırmada farklı sulama sistemlerinin ölçülen toprak fiziksel özelliklerine etkileri ve parametreler arasındaki önemli farklılıkları test etmek için ANOVA tek yönlü varyans analizi kullanılmıştır. Tüm ölçümler, her bir parametre için üç tekerrürlü olarak yapılmış ve sonuçlar ortalama  $\pm$  standart hata olarak sunulmuştur. Ortalamalar  $p < 0.05$  olasılık düzeyinde Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanı toprakları Orta Anadolu Bölgesi'nin karasal iklim koşullarında oluşmuş olan yüksek kireçli, düşük organik madde içeriği, yüksek pH derecesine sahip, killi-killi tın bünyeli ve fizyografik üniteleri alüvyal depozitlerden oluşan tipik toprak özelliklerini yansıtmaktadır. Nitekim yapılan analizler sonucunda toprakların kum içeriği % 8.01-13.20, silt içeriği % 36.21-42.48, kil içeriği % 48.74-53.82, pH değeri 7.94-8.03, EC değeri 462.24-879.21  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , kireç içeriği % 13.31-14.05 ve organik madde içeriği % 2.18-2.74 aralığında belirlenmiştir. Çalışma alanı topraklarının genel özelliklerinin bölgede yürütülen daha önceki araştırmalar ile benzerlik gösterdiği (Şeker ve ark., 2017; Dedeoğlu ve ark., 2020) ve bu sayede farklı sulama sistemleri altında yetiştiricilik yapılan arazileri temsil ettiği belirlenmiştir.

Araştırma alanında farklı sulama sistemleri altındaki toprakların OAÇ değerleri değişkenlik

göstermiş, DY örneklerinde 0.178 mm olarak ölçülen OAÇ değeri ile diğer sulama sistemleri arasındaki farklılık önemli çıkmıştır ( $p<0.05$ ). Belirlenen özelliklerden OAÇ; LPS, YDS ve YS sistemlerinde sırasıyla 0.367, 0.467, 0.400 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Her bir sulama sisteminin doğal yağış alanına göre OAÇ parametresinde yaklaşık 3 kat artış sağladığı görülmektedir. En yüksek artış YDS sisteminde ölçülmüştür. Ortalama ağırlıklı çap açısından ölçülen bu farklılık SDA stabilitesinde de farklılık oluşmasına neden olmuştur. En düşük SDA, DY ve YS sistemlerinde (sırasıyla, % 7.76 ve % 11.96) belirlenirken, YDS ve LPS sistemlerinde bu değerler % 13.79 ve % 19.45 olarak saptanmıştır. SDA açısından sulama yöntemleri arasındaki bu farklılık istatistiksel olarak  $p<0.05$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Tablo 1).

**Tablo 1. Farklı sulama sistemlerinin SDA ve OAÇ üzerine etkisi\***

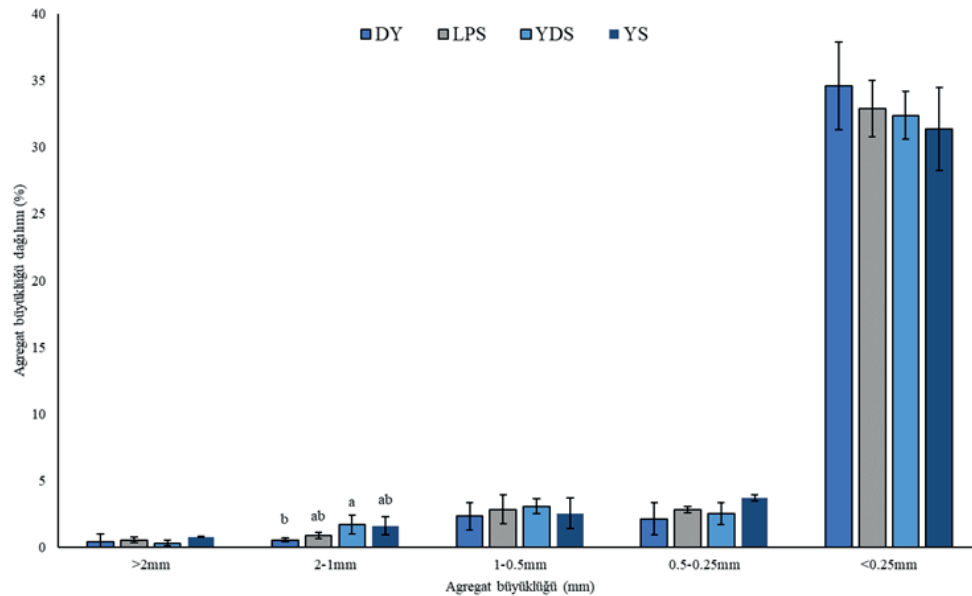
Table 1. Effect of different irrigation systems on water-resistant aggregates and mean weight diameter\*

Sulama metodu	SDA (%)	OAÇ (mm)
DY	7.76±1.53 <sup>b</sup>	0.178±0.005 <sup>b</sup>
LPS	13.79±3.73 <sup>ab</sup>	0.367±0.013 <sup>ab</sup>
YDS	19.45±3.65 <sup>a</sup>	0.467±0.012 <sup>a</sup>
YS	11.96±7.75 <sup>b</sup>	0.400±0.014 <sup>ab</sup>

\*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli değildir, DY: Doğal yağış, LPS: Linear pivot sulama, YDS: Yeraltı damlama sulama, YS: Yağmurlama sulama, SDA: Suya dayanlı agregat, OAÇ: Ortalama ağırlıklı çap

Toprak agregat stabilitesi, ıslanma ve kuruma gibi süreçlerden büyük ölçüde etkilenmekte ve bu

konuda yapılan birçok çalışma bu etkileşimin çeşitli boyutlarını ve mekanizmalarını göstermektedir. Utomo ve Dexter (1982), tarafından gerçekleştirilen araştırmada, topraklardaki ıslanma ve kuruma döngülerinin toprak agregatlarının suya karşı stabilitesini farklılaştırdığını ortaya koymuştur. Amezketa ve ark. (2003) ise toprak agregat stabilitesinin hızlı ıslanma süreçleri tarafından bozulduğunu ve bu durumun söz konusu topraklardaki primer agregat destabilize edici mekanizma olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan çalışma neticesinde sulama sistemlerinin agregatların büyüklüğü üzerindeki değişimleri Şekil 1'de sunulmuştur. Doğal yağış alanına göre diğer sulama sistemleri incelendiğinde toprak örneklerinin mikro agregat (<0.25 mm) miktarları azalırken, makro agregat miktarlarında artışlar belirlenmiştir. Bu artışlarda sadece 2-1 mm arası agregatlar istatistiksel olarak anlamlı fark oluştururken, diğer büyüklük gruplarında anlamlı farklar meydana gelmemiştir. Çalışma alanı topraklarının mikro agregat miktarının fazla ve yaklaşık % 35 olduğu, dağılım grafiği incelendiğinde farklı sulama sistemleri ile bu oranının azaldığı tespit edilmiştir. Yağmurlama sulama ve YDS sulama sistemlerinde makro agregat miktarındaki artış en yüksek derecede olmuş ve her iki sulama sistemi de 2-1 mm arasındaki değişimleri aynı gerçekleştirmiştir. Alanda 2 mm'den büyük agregatlar çok küçük bir oran oluştururken, sulama sistemleri bu agregat boyutunda büyük farklılık meydana getirmemiştir (Şekil 1).



**Şekil 1. Farklı sulama sistemlerinin toprak agregat büyüklüğü dağılımı üzerindeki etkileri**

DY: Doğal yağış, LPS: Linear pivot sulama, YDS: Yeraltı damlama sulama, YS: Yağmurlama sulama  
Figure 1. Effects of different irrigation systems on soil aggregate size distribution  
DY: Natural rainfall, LPS: Linear pivot irrigation, YDS: Subsurface drip irrigation, YS: Sprinkler irrigation

Farklı sulama sistemleri ile ilişkili olarak çalışma alanı topraklarının su tutma karakteristiklerindeki değişim ve istatistiksel sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir. Doygunluk düzeyi için YDS sistemi en yüksek değeri elde ederken, en düşük  $\Theta_s$  değeri DY ve YS sistemlerinde belirlenmiş olup, aralarındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Doğal yağış sistemine göre kıyaslandığında TK değerleri LPS, YS ve YDS’de artmıştır. En yüksek TK değeri YS ve YDS sulama sistemlerinde bulunmuştur. Yağmurlama sulama ve YDS sulama sistemleri arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır. Benzer bir durum SN değerinde de belirlenmiştir. En yüksek SN değerleri 0.197 g 100g<sup>-1</sup> ile YS yapılan topraklarda belirlenirken, en düşük SN 0.182 g 100g<sup>-1</sup> ile DY yönteminin

uygulandığı toprak örneklerinde belirlenmiştir. Uygulamalar arasındaki bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Diğer iki uygulama olan LPS ve YDS sistemleri arasındaki fark anlamlı olmayıp, SN değerleri sırasıyla 0.185 ile 0.186 g 100g<sup>-1</sup> bulunmuştur. Solma noktası değerleri doğal yağış alanına göre diğer sulama sistemlerinde artmıştır. Yarayışlı su içeriği incelendiğinde sulama metodları arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0.05$ ) bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Buna göre YSİ içeriğindeki en yüksek ölçüm YDS sisteminde 0.225 g 100g<sup>-1</sup> olarak hesaplanmışken, en düşük YSİ içeriği DY sulama sisteminde 0.166 g 100g<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Toprakların HK değerleri incelendiğinde DY en yüksek HK değerine sahip iken, bunu sırasıyla YS, LPS ve YDS sistemleri altındaki topraklar takip etmiştir (Tablo 2).

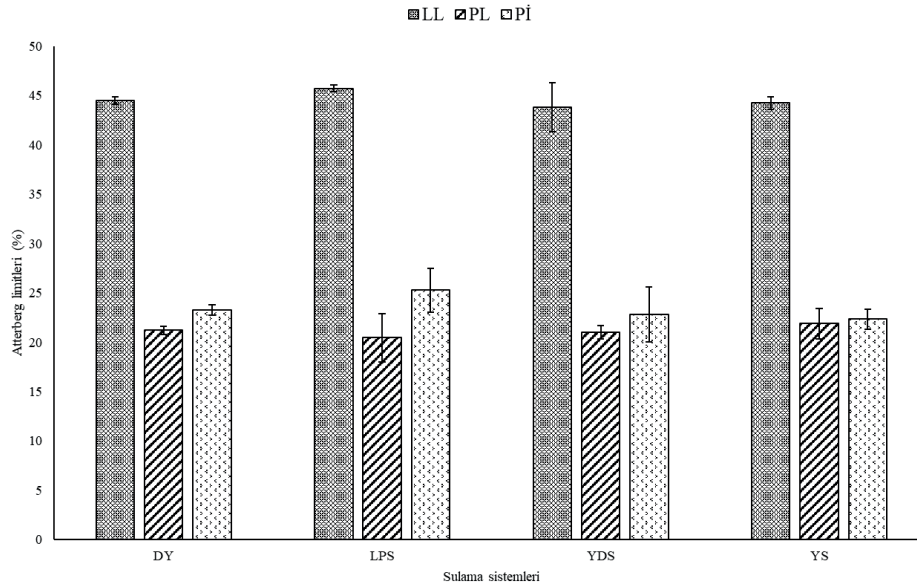
**Tablo 2. Farklı sulama sistemlerinin toprakta su tutulması üzerine etkisi (g 100g<sup>-1</sup>)\***  
Table 2. Effect of different irrigation systems on soil water retention (g 100g<sup>-1</sup>)\*

Sulama metodu	$\Theta_s$	TK	SN	YSİ	HK
DY	0.563±0.02 <sup>b</sup>	0.348±0.01 <sup>b</sup>	0.182±0.01 <sup>b</sup>	0.166±0.01 <sup>b</sup>	0.214±0.02
LPS	0.586±0.01 <sup>ab</sup>	0.385±0.01 <sup>ab</sup>	0.185±0.01 <sup>ab</sup>	0.201±0.01 <sup>ab</sup>	0.200±0.01
YS	0.565±0.03 <sup>b</sup>	0.407±0.03 <sup>a</sup>	0.197±0.01 <sup>a</sup>	0.209±0.02 <sup>ab</sup>	0.158±0.05
YDS	0.613±0.01 <sup>a</sup>	0.411±0.03 <sup>a</sup>	0.186±0.01 <sup>ab</sup>	0.225±0.03 <sup>a</sup>	0.202±0.04

\*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli değildir. DY: Doğal yağış, LPS: Linear pivot sulama, YDS: Yeraltı damlama sulama, YS: Yağmurlama sulama,  $\Theta_s$ : Doygunluk düzeyi, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası, YSİ: Yarayışlı su içeriği, HK: Havalanma kapasitesi

Farklı sulama sistemlerinin toprağın LL, PL ve Pİ üzerine etkileri istatistiksel olarak önemsiz ( $p>0.05$ ) çıkmıştır. Çalışma topraklarının LL

değerleri % 45.72 ile 44.24, PL değerleri % 20.45 ile 21.88 ve Pİ değerleri ise % 22.36 ile 25.27 arasında değişim göstermiştir (Şekil 2).



**Şekil 2. Farklı sulama yöntemlerinin toprak Atterberg limitlerine etkisi**

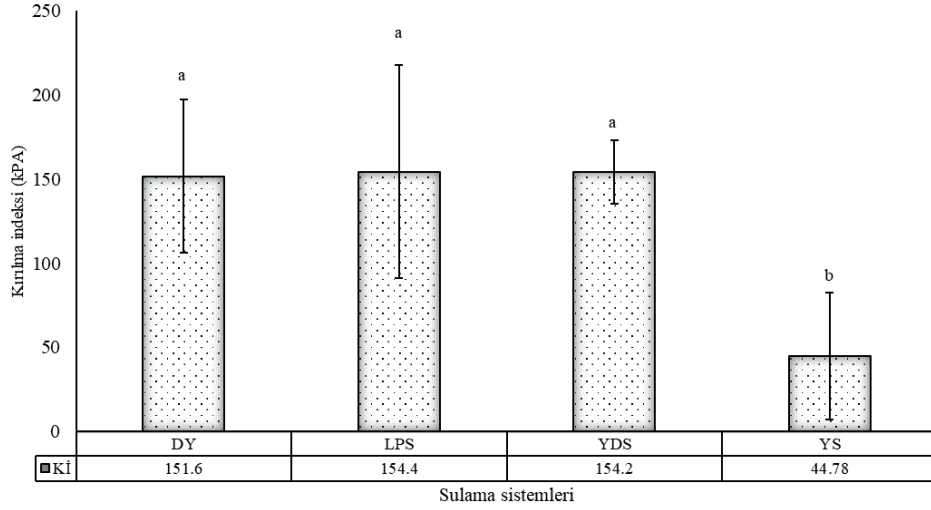
DY: Doğal yağış, LPS: Linear Pivot Sulama, YDS: Yeraltı damlama sulama, YS: Yağmurlama sulama, LL: Likit limit, PL: Plastik limit, Pİ: Plastiklik indeksi

Figure 2. Effect of different irrigation methods on soil Atterberg limits

DY: Natural rainfall, LPS: Linear pivot irrigation, YDS: Subsurface drip irrigation, YS: Sprinkler irrigation, LL: Liquid limit, PL: Plastic limit, Pİ: Plasticity index

Yapılan çalışmada farklı sulama sistemlerinin kabuk direncinin bir göstergesi olan Kİ etkisinin sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Doğal yağış, LPS ve YS sulama sistemlerinin Kİ sonuçları sırasıyla 151.6, 154.4 ve 154.2 kPA olarak bulunmuş olup, aralarında

istatistiki olarak anlamlı fark yoktur ( $p>0.05$ ). Ancak YDS sisteminde Kİ sonucu yaklaşık 3 kat azalmış ve 44.78 kPA olarak bulunmuştur. Bu azalış diğer 3 sulama sistemine göre anlamlı bir fark meydana getirmiştir ( $p<0.05$ ) (Şekil 3).



**Şekil 3. Farklı sulama sistemlerinin toprak kırılma indeksine etkisi**

DY: Doğal yağış, LPS: Linear Pivot Sulama, YDS: Yeraltı damlama sulama, YS: Yağmurlama sulama, Kİ: Kırılma indeksi

Figure 3. Effect of different irrigation systems on soil modulus of rupture

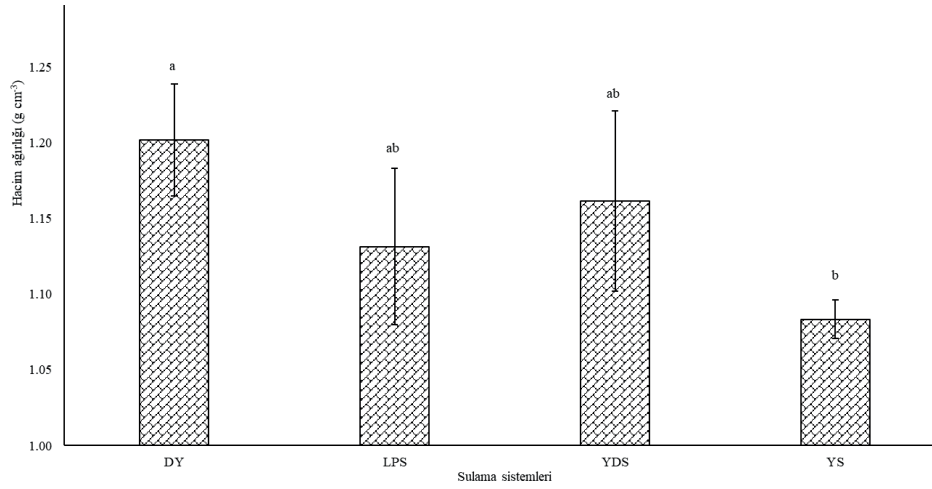
DY: Natural rainfall, LPS: Linear pivot irrigation, YDS: Subsurface drip irrigation, YS: Sprinkler irrigation, Kİ: Modulus of rupture

Yapılan çalışmada HA sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. En düşük HA değeri YS sisteminde  $1.09 \text{ g cm}^{-3}$  ile belirlenmişken, en yüksek HA değeri DY sisteminde  $1.20 \text{ g cm}^{-3}$  olarak ölçülmüştür. Linear pivot sulama ve yeraltı damlama sulama sistemlerinde ölçülen HA değerleri incelendiğinde, istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamış ( $p>0.05$ ); DY ve YS sistemleri bu iki sistemden istatistiksel olarak farklı grupta yer almıştır ( $p<0.05$ ) (Şekil 4). Sulama sistemlerinin etkisi altındaki toprakların su içeriği, toprağın sıkışma seviyelerini ve buna bağlı olarak toprağın hacim ağırlığını önemli ölçüde etkilemektedir (Teffera ve ark., 2019). Sulama sistemlerinin farklılığı toprakta çözünür tuzları, pH'sını ve önemli toprak elementlerinin dağılımını nasıl değiştirebileceği ve bunun toprak HA üzerinde farklı etkiler oluşturabileceği belirtilmiştir (Teffera ve ark., 2019). Sulama sistemlerinin farklılığı, bir tarlada suyun dağılımını etkileyebilir ve dolayısıyla HA üzerinde belirgin değişikliklere yol açabilir. Simionesei ve ark. (2016) gerçekleştirdikleri araştırmada, sulamanın aşırı veya yetersiz olması durumunda toprak özelliklerinin nasıl etkilenebileceğini ve su uygulama oranlarındaki dalgalanmaların yanı sıra tarla içi toprak hidrolik özelliklerinin heterojenliğinin, sulama sistemleri

arasında HA farklılıklarını artırabileceğini belirtmişlerdir.

Çalışma bölgesinde yıllık ortalama yağışın az ( $<300 \text{ mm}$ ), düzensiz ve sıcaklıkların dalgalanmalar göstermesi bu bölgede kurak koşulları yaşatmaktadır (Tari, 2016). Özellikle yağışların azalmasıyla birlikte su seviyelerinin düşmesi sudan faydalanma oranının artmasına ihtiyaç doğurmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda bölgeye uygun doğru sulama sisteminin seçimi toprak sağlığı ve üretkenliği için sürdürülebilir bir kalkınma hedefi olarak büyük önem taşımaktadır. Özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda su kıtlığı nedeniyle sulama suyundan maksimum seviyede yararlanmak için basınçlı sulama sistemlerinin önemi daha da belirgindir. Bölge topraklarının zayıf strüktürel yapısı nedeniyle yağıştan veya sulamadan meydana gelecek fiziksel bozulmalar toprakların bu sürdürülebilir yapısını etkilemektedir.

Toprakların fiziksel yapıları; besin elementi, su hareketliliği ve bitki büyümesi için en önemli faktörlerden biridir (Alvarez ve Steinbach, 2009). Özellikle bozuk strüktürel yapıdaki topraklarda su ve hava hareketinde ve buna bağlı olarak bitki kök gelişiminde bozukluklar ortaya çıkmaktadır (Blanco-Canqui ve Ruis, 2020). Yapısal bütünlüğü



**Şekil 4. Farklı sulama sistemlerinin hacim ağırlığına etkisi**

DY: Doğal yağış, LPS: Linear Pivot Sulama, YDS: Yeraltı damlama sulama, YS: Yağmurlama sulama

Figure 4. Effect of different irrigation systems on bulk density

DY: Natural rainfall, LPS: Linear pivot irrigation, YDS: Subsurface drip irrigation, YS: Sprinkler irrigation

zayıf topraklar su ve hava hareketini engelleyerek kök gelişimini olumsuz etkilemekte ve bu da bitki verimliliği, drenaj, besin alımı ve erozyon gibi tarımsal üretim sorunlarına neden olmaktadır. Kök büyümesindeki bu azalmayla birlikte su ve besin maddelerine erişim sınırlanır, mahsul verimini düşürür. Ayrıca, zayıf toprak yapısı zararlı ve hastalıklara karşı duyarlılığı arttırarak, su ve mineral stresine neden olmakta ve erozyon ile bitki besin elementlerinin toprakta aşağı hareketini hızlandırmaktadır.

Kurak ve yarı kurak alanlarda bu strüktürel yapının gelişmesi bir hayli zor olmakla birlikte bozulması da bir o kadar kolaydır (Bronick ve Lal, 2005). Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarda organik madde ilaveleri ile bu yapının korunması ve gelişmesi amaçlanmıştır. Ancak bu yapı her ne kadar organik madde miktarına bağlı olarak artışlar gösterse de diğer mekanik kuvvetlerin etkisiyle de bozunuma uğramaktadır. Bu mekanik kuvvetlerin başında tarımsal mekanizasyon gelirken ikinci en büyük ve sürekli olan kuvvet ise sulama sistemlerinden meydana gelen suyun parçalama kuvvetidir.

Çalışmada 3 farklı sulama sisteminin özellikle SDA ve OAÇ özelliklerinde büyük farklılıklar meydana getirdiği görülmektedir. Bu temel yapı taşlarının gelişmesi hem fiziksel toprak kalitesini arttırırken hem de karbon tutulması için büyük rol oynar. Yüksek OAÇ değeri agregatların büyük parçacık boyutlarına sahip olduklarının göstergesidir. Ancak bu artış her ne kadar yüksek olarak gözüксе de parçacık dağılımında halen daha yüksek oranda düşük agregatların baskın olduğu görülmektedir. Özellikle YS ve YDS sistemlerinin makro agregat miktarındaki artış suya dayanıklı

agregatlarında artmasına neden olmuştur. Suya dayanıklı agregatların bu artışı erozyon problemi yaşayan kurak alanlarda bu problemin riskini azaltacak bir gelişimdir.

Toprak gözenekliliğindeki artışa bağlı olarak toprakların su tutma potansiyelleri de pozitif olarak etkilenmiştir. Yapılan çalışmada farklı sulama sistemleri ile toprak su tutma kapasiteleri artmıştır. Özellikle YDS sisteminde artan doyumluk ve TK değerleri kurak alanlarda suyun etkin kullanımı için büyük önem taşımaktadır. Artan TK değeri ile sulama periyodunun uzaması bitkinin birim alandan daha fazla su alması ve kışın yağın yağışların daha fazla depolanacağı anlamına gelmektedir. Sadece YDS sistemi değil diğer 2 sulama sistemi (LPS ve YS) de bu değişikliklere yol açmış; ancak, en yüksek artış YDS sisteminde görülmüştür. Zaten bu durum yarayışlı su kapasitesinde net olarak gözükmemektedir. Yarayışlı su kapasitesi değeri doğal yağışa kıyasla yaklaşık % 35 oranında artış göstermiştir. Bu durum organik madde içerikleri benzer olan ve organik gübreleme yapılmayan arazilerde sulama sistemleri arasındaki farkı açıkça ortaya koymaktadır. Son yıllarda araştırmacılar organik düzenleyiciler ile (kompost, biyokömür, evsel atıklar v.b.) suyun depolanmasını arttırmak üzerine çalışmalar yürütmüştür (Barzegar ve ark., 2002; Aon ve ark., 2023). Özellikle kurak alanların en büyük problemi olan suyun depolanmasının sulama sistemindeki değişimlerden dolayı büyük farklılıkları gösterebilmektedir. Ancak diğer 2 sulama sistemi karşılaştırıldığında ise YDS sisteminin daha etkin olduğu diğer sulama sistemlerine göre yaklaşık % 12 artış sağladığı da göz ardı edilmemelidir. Tarım altındaki topraklarda meydana gelen bozulmalarından bir tanesi de

toprak sıkışması olup, kıvam özelliklerine bağlı olarak sıkışma derecesi değişiklik göstermektedir (Drewry ve ark., 2021; Krausman ve Heffelfinger 2023). Plastik limit değeri, toprakların sıkışmaya ve strüktürel bozulmaya en duyarlı oldukları nem içerikleridir (Blanco-Canqui ve ark., 2010). Beş yıl devam eden farklı sulama yöntemlerinin kıvam limitleri üzerindeki etkinliğinin önemsiz çıkması, sürecin sınırlı kalması ile açıklanabilir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, gözenekliliğin değiştirdiği suyun depolanma özelliklerinin toprağın mekanik özelliklerine etki etmediği görülmektedir. Mekanik özellikler, parçacık boyutlarındaki küçük değişikliklerden etkilenebilir. Ancak, çalışmada sulama koşullarındaki değişimler genellikle toprak parçacık boyutlarında büyük bir değişikliğe neden olmadığı için, sulamanın toprakların mekanik özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir. Çalışma alanının en büyük problemi olan kaymak tabakası sonuçlarında ise diğer sulama sistemlerine göre YDS sisteminde bir azalmanın ortaya çıktığı görülmektedir. Kaymak tabakasının bu denli yüksek olduğu ve çıkış problemleri görülen çalışma alanında YDS sistemi bu problemi ortadan kaldırmıştır. Diğer iki sulama sisteminin toprağın Kİ değerine etki etmediği de görülmektedir. Her ne kadar toprakta bu sulama sistemleri hacim ağırlığını düşürdüğü ve makro gözenekliliği arttırdığı ortaya konulmuş olsa da Kİ değerini etkileyecek anlamda büyük farklılıklar oluşturmadığı, LPS ve YS sistemlerinde incelenen toprak özelliklerinde yakın değerler aldığı görülmektedir. Kırılma indeksi toprakların tekstürel özellikleri ve organik madde içeriklerinden etkilenmektedir. Çalışmada bu değerlerin sulama sistemlerine göre değişmediği, buna bağlı olarak da kırılma indeksinin bu toprak özelliklerinde etkilenmediği bilinmektedir. Yeraltı damlama sulama sisteminde kırılma indeksi değerindeki bu düşüşün diğer iki sulama sisteminde olmaması SDA ve ortalama ağırlıklı çaptaki değişimden meydana geldiği görülmüştür. Agregat stabilitesindeki artış ve büyük porların varlığı kırılma indeksini negatif yönde etkilediği bildirilmiştir (Bronick ve Lal, 2005). Stabil agregatlar daha fazla makro gözeneklilik oluşturarak Kİ indeksinin düşmesine neden olur. Gözenekliliğin değiştiğinin en büyük göstergesi de hacim ağırlığı sonuçlarıdır. Hacim ağırlığı değerleri gözeneklilik arttıkça azalmıştır. Toprak sıkışmasının en büyük göstergesi olan bu durumda aynı mekanizasyon işlemlerinin yapıldığı topraklarda büyük farklar ortaya koymuştur (Tim Chamen ve ark., 2015). Kil tekstür grubuna dahil olan çalışma toprağının sulama yapılmayan alanda ölçülen  $1.20 \text{ g cm}^{-3}$  değeri toprak sıkışmasının olduğunun göstergesidir (Drewry ve ark., 2008). Ancak bu değer bütün sulama sistemlerinde azalmış

hatta YDS sisteminde sıkışma yok denecek kadar az seviyeye gelmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Araştırma sonuçları, yeraltı damlama sulama sisteminin toprak özelliklerini diğer sulama yöntemlerine göre daha fazla iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Özellikle, su tutma kapasitesi ve agregat stabilitesi gibi önemli toprak fiziksel özelliklerinde kaydedilen iyileşmeler, YDS sisteminin kurak ve yarı kurak alanlarda tarımsal sürdürülebilirlik açısından büyük potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, modern sulama tekniklerinin etkin kullanımının, suyun verimli yönetimi ve toprak sağlığının korunması konularında kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Yeraltı damlama sulama sisteminin, su kaynaklarını daha verimli kullanma ve toprak yapısını koruma potansiyeli, su sıkıntısı çeken bölgelerde özellikle önem taşımaktadır. Bu durum sulama farklılığına bağlı olarak toprak fiziksel özelliklerindeki ve toprak sağlığındaki değişimin incelenmesinde hacim ağırlığı özelinde çıkarımlar yapılmasının uygun olduğunu ve özellikle su kısıtı bulunan kurak alanlardaki tarımsal ekosistemlerde verimli sulama yöntemlerine yönelik seçimler için kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Araştırma sonucu modern sulama sistemlerinin zayıf strüktür gelişimi gösteren benzer iklim bölgelerindeki topraklarda kullanımının yaygınlaştırılması ve özellikle, sulama yöntemlerinin toprak mikrobiyolojisi, erozyon kontrolü ve bitki verim parametreleri ile karıştırmalı olarak üzerindeki uzun vadeli etkilerinin araştırılması üzerine çalışmaların ilerletilmesi önerilmiştir.

#### Etik Beyanı

Yazarlar, bu araştırma için etik onay gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Finansman

Bu araştırma, hiçbir dış finansman almamıştır.

#### 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.



## Kaynaklar

- Anonymous, 2010. Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. American Society for the Testing and Materials, ASTM Book of Standards Soil and Rock (I): D420-D5876.
- Abdullateef, Z.A., El-Ghamry, A.M., Jasim, A.A., El-Hadidi, E.M., Ghazi, D.A., 2022. Effect of different irrigation systems on some physical properties of soil, growth and yield of cotton crop. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 13(12): 393-396.
- Alvarez, R., Steinbach, H.S., 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research*, 104(1): 1-15.
- Amezketta, E., Aragüés, R., Carranza, R., Urgel, B., 2003. Macro-and micro-aggregate stability of soils determined by a combination of wet-sieving and laser-ray diffraction. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(4): 83-94.
- Aon, M., Aslam, Z., Hussain, S., Bashir, M.A., Shaaban, M., Masood, S., Iqbal, S., Khalid, M., Rehim, A., Mosa, W.F.A., Sas-Paszt, L., Marey, S.A., Hatamleh, A.A., 2023. Wheat straw biochar produced at a low temperature enhanced maize growth and yield by influencing soil properties of typic calciargid. *Sustainability*, 15(12): 9488.
- Barzegar, A.R., Yousefi, A., Daryashenas, A., 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil*, 247(2): 295-301.
- Blanco-Canqui, H., Klocke, N., Schlegel, A., Stone, L., Rice, C., 2010. Impacts of deficit irrigation on carbon sequestration and soil physical properties under no-till. *Soil Science Society of America Journal*, 74(4): 1301-1309.
- Blanco-Canqui, H., Ruis, S.J., 2020. Cover crop impacts on soil physical properties: A review. *Soil Science Society of America Journal*, 84(5): 1527-1576.
- Blake, G.R., Hartage, K.H., 1986. Bulk density. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, 2nd Edition, Madison, Wisconsin, pp. 363-375.
- Bronick, C.J., Lal, R., 2005. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124(1): 3-22.
- Cano, A., Núñez, A., Acosta-Martinez, V., Schipanski, M., Ghimire, R., Rice, C., West, C., 2018. Current knowledge and future research directions to link soil health and water conservation in the Ogallala Aquifer region. *Geoderma*, 328: 109-118.
- Dedeoğlu, M., Özaytekin, H.H., Başayığıt, L., 2020. Orta Anadolu Bölgesi aridisol topraklarının özellikleri ve arazi değerlendirmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(3): 419-429.
- Drewry, J.J., Cameron, K.C., Buchan, G.D., 2008. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing-a review. *Soil Research*, 46(3): 237-256.
- Drewry, J.J., Carrick, S., Penny, V., Houlbrooke, D.J., Laurenson, S., Mesman, N.L., 2021. Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 64(4): 483-507.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size analysis. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, Second Edition, Madison, WIS, USA, pp. 383-411.
- Gümüş, İ., Negiş, H., Şeker, C., 2022. Effects of two different biochar on physical quality characteristics of a heavy clay soil. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9): 841.
- Karlen, D.L., De, M., McDaniel, M.D., Stott, D.E., 2021. Evolution of the soil health movement. In: D.L. Karlen, D.E. Stott and M.M. Mikha (Eds.), *Soil Health Series: Volume 1 Approaches to Soil Health Analysis*, pp. 21-48.
- Khasi, Z., Askari, M.S., Amanifar, S., Moravej, K., 2024. Assessing soil structural quality as an indicator of productivity under semi-arid climate. *Soil and Tillage Research*, 236: 105945.
- Krausman, P.R., Heffelfinger, J.R., 2023. Challenges and opportunities for the future conservation of black-tailed and mule deer. In: J.R. Heffelfinger and P.R. Krausman (Eds.), *Ecology and Management of Black-tailed and Mule Deer of North America*, 1st Edition, CRC Press, pp. 397-404.
- Lal, R., Shukla, M.K., 2004. Principles of Soil Physics. 1st Edition, CRC Press.
- Lu, H., Chen, X., Ma, K., Zhou, S., Yi, J., Qi, Y., Hao, J., Chen, F., Wen, X., 2024. Soil health assessment under different soil and irrigation types in the agro-pastoral ecotone of northern China. *Catena*, 235: 107655.
- Mattila, T.J., Hagelberg, E., Söderlund, S., Joona, J., 2022. How farmers approach soil carbon sequestration? Lessons learned from 105 carbon-farming plans. *Soil and Tillage Research*, 215: 105204.
- Mclean, E.O., 1983. Soil pH and lime requirement. In: A.L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, 2nd Edition, Madison, Wisconsin, pp. 199-224.
- Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M.B., Zorpas, A.A., 2021. The increase of soil organic matter reduces global warming, myth or reality? *Science*, 3(1): 1-14.
- Negiş, H., Gümüş, İ., Şeker, C., 2017. Effects of four different crops harvest processes on soils compaction. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, Special Issue*: 25-29.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1983. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 539-579.

- Reeve, R.C., 1965. Modulus of rupture. In: C.A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*, American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 466-471.
- Sapkota, S., Ghimire, R., Angadi, S.V., Singh, P., VanLeeuwen, D., Idowu, O.J., 2023. Soil health responses of circular grass buffer strips in center-pivot irrigated agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, 87(2): 337-349.
- Şeker, C., Özyaytekin, H.H., Neğiş, H., Gümüş, İ., Dedeoğlu, M., Atmaca, E., Karaca, Ü., 2017. Assessment of soil quality index for wheat and sugar beet cropping systems on an entisol in Central Anatolia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(4): 1-11.
- Simionesei, L., Ramos, T.B., Brito, D., Jauch, E., Leitão, P.C., Almeida, C., Neves, R., 2016. Numerical simulation of soil water dynamics under stationary sprinkler irrigation with Mohid-Land. *Irrigation and Drainage*, 65(1): 98-111.
- Tari, A.F., 2016. The effects of different deficit irrigation strategies on yield, quality, and water-use efficiencies of wheat under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 167(6): 1-10.
- Teffera, Z.L., Li, J., Astatkie, T., Gebru, Z.M., 2019. Effects of irrigation systems on physicochemical properties of soil at different depths: A case study at a farm near Ziway Lake, Ethiopia. *Irrigation and Drainage*, 68(2): 165-175.
- Tim Chamen, W.C., Moxey, A.P., Towers, W., Balana, B., Hallett, P.D., 2015. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. *Soil and Tillage Research*, 146(part A): 10-25.
- Utomo, W.H., Dexter, A.R., 1982. Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil. *Journal of Soil Science*, 33(4): 623-637.
- Yang, L., Heng, T., Yang, G., Gu, X., Wang, J., He, X., 2021. Analysis of factors influencing effective utilization coefficient of irrigation water in the Manas River Basin. *Water*, 13(2): 189.

**ALINTI:** Neğiş, H., Şeker, C., Koçkesen, R., 2024. Farklı Sulama Sistemlerinin Zayıf Strüktürlü Toprağın Fiziksel Kalitesi Üzerine Etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 11(1): 38-47.

**CITATION:** Neğiş, H., Şeker, C., Koçkesen, R., 2024. Impact of Different Irrigation Systems on the Physical Quality of Weak Structured Soil. *Turkish Journal of Agricultural Research*, 11(1): 38-47. (In Turkish).