



Araştırma/Research

Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 36 (2021)
ISSN: 1308-8750 (Print) 1308-8769 (Online)
doi: 10.7161/omuanajas.933444

Toprak işleme ve anız yönetimi uygulamalarının toprağın fiziksel kalite indikatörlerine etkileri

Elif Günel^{a*}, İsmail Çelik^b

^a Serbest Araştırmacı, Tokat, Türkiye

^b Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Sarıçam, Adana, Türkiye

*Sorumlu yazar/corresponding author: elifgunal@yahoo.com

Geliş/Received 05/05/2021 Kabul/Accepted 10/07/2021

ÖZET

Bitkisel üretimde tohum yatağı hazırlığı ve yabancı ot mücadelesi amacı ile kullanılan toprak işleme, sağladığı faydanın yanında sebep olduğu tahribat nedeniyle her zaman araştırmacıların çok fazla ilgisini çekmiştir. Bu çalışma, 11 yıldır devam eden ve 2 geleneksel, 3 azaltılmış ve 2 sıfır toprak işleme yönteminin toprak kalitesine etkisinin araştırıldığı bir deneme alanında, uygulamaların toprağın fiziksel kalite (FTK) indikatörlerine ve genel olarak FTK'ne etkisini belirlemek amacı ile yürütülmüştür. Çalışmada, kışlık buğday-mısır/soya fasulyesi rotasyonunda bitkisel üretim yapılmıştır. 2017 yılı Kasım ayında, mısır hasadından sonra, her parselden 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinliklerden bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmış ve her parselde penetrasyon direnci (PD) ölçümleri yapılmıştır. Toprak fiziksel kalitesini değerlendirmek amacı ile agregat stabilitesi (AS), hacim ağırlığı (HA), yarayışlı su içeriği ve su dolu gözenek hacmi belirlenmiştir. Doğrusal olmayan skorlama eğrileri kullanılarak, elde edilen değerler 0 ile 1.0 arasında skorlara dönüştürülmüştür. Skorların birleştirilmesi ile her toprak işleme yöntemi için bir TFK indeksi hesaplanmıştır. Toprak işleme yöntemlerinin tamamı, FTK indikatörleri ve indeksi üzerine önemli düzeyde etki etmiştir. Her üç derinlikte de en düşük AS skorları, anızların yakıldığı geleneksel uygulamada elde edilmiş, AS skorları derinlikle birlikte artmıştır. En düşük HA skorları, azaltılmış ve sıfır toprak işleme yöntemleri için hesaplanmıştır. Tüm toprak işleme uygulamalarında derinlikle birlikte PD skorları önemli düzeyde artmıştır. Korumalı işleme uygulamalarda tespit edilen sıkışma, su dolu gözenek hacminin önemi miktarda artışına neden olmuştur. Yüzey ve işleme derinliği altındaki sıkışma nedeniyle, korumalı yöntemlerde TFK skorları daha düşüktür. Ancak stratejik toprak işleme uygulamasının, sıfır toprak işleme altında gerçekleşen sıkışıklığı gidermede önemli düzeyde etkili olmuştur.

Anahtar Sözcükler:
İndikatör
Agregat stabilitesi
Yarayışlı su
Sıkışma
Su dolu gözenek hacmi

Effects of tillage practices and residue management on soil physical quality indicators

ABSTRACT

Tillage, which is used for seed bed preparation and weed control in plant production, has always attracted the attention of researchers due to the damage caused, as well as the benefits provided. This study was carried out to determine the effects of tillage practices and residue management on soil physical quality (SPQ) indicators and SPQ in general. The 11 year-old study included 2 conventional, 3 reduced and 2 zero tillage methods. Crop production was carried out in the winter wheat-corn/soybean rotation. Disturbed and undisturbed soil samples were taken from 0-10, 10-20 and 20-30 cm depths from each plot in November 2017 after the corn harvest, and penetration resistance was measured in each plot. Aggregate stability (AS), bulk density (BD), available water content and water-filled pore space were determined to assess the SPQ. The values obtained were converted into scores between 0 and 1.0 using nonlinear scoring curves. A SPQ index was calculated for each soil tillage method by integrating the individual scores. Tillage methods had a significant effect on SPQ indicators and index.

Keywords:
Indicator
Aggregate stability
Available water
Compaction
Water filled pore space

The lowest AS scores at all three depths were obtained in conventional method of stubble burning, and the AS scores increased with the depth. The lowest BD scores were calculated for reduced and zero tillage methods. PD scores significantly increased with depth in all tillage methods. The compaction detected in conservational methods caused a significant increase in water-filled pore space. The SPQ scores were lower in conservational methods due to compaction at surface and below the tillage depth. However, strategic soil tillage was significantly effective in eliminating the compaction occurred under zero tillage.

1. Giriş

Arazi bozulması, doğal yollarla veya hızla artan küresel nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak adına benimsenen sürdürülmesi mümkün olmayan insan faaliyetleri ile ortaya çıkan önemli bir sorundur (Edrisi ve ark., 2021). Derin ve yoğun toprak işleme, hasat artıklarının uzaklaştırılması veya yakılması, bitki gereksinimi ve toprak analizleri dikkate alınmadan yapılan kimyasal gübre kullanımı ve aşırı su kullanımı gibi çeşitli tarımsal uygulamalar toprak, su ve hava kalitesindeki bozulmanın daha da kötüleşmesine neden olmaktadır. Toprak organik karbon içeriğinin azalması, toprak biyo-çeşitliliğinin zayıflaması, sıkışma, artan yüzey akış ve hızlandırılmış besin erozyonu kaybı gibi etkiler toprak kalitesi ile ilişkili ekosistem hizmetlerinin yerine getirilmesini olumsuz etkilemektedir (Lal, 2015). Bu nedenle, korumalı toprak işleme, ürün artıklarının toprağa geri dönüşümü, hayvan gübresi uygulaması ve toprağa daha fazla artık bırakan ürünlerin rotasyona alınması gibi korumalı tarım uygulamalarının benimsenmesi, toprak kalitesinin iyileştirilmesi ile tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması adına son derece gereklidir (Saurabh ve ark., 2021). Geleneksel tarımın korumalı tarıma dönüşümü ile toprakta artan organik madde, toprak kalitesinin iyileşmesine, toprak biyo-çeşitliliğinin zenginleşmesine, toprak agregatlaşmasının artmasına ve su ve besin kullanım etkinliğinin artmasına önemli katkı yapma potansiyeline sahiptir (Li ve ark., 2018).

Tarımsal üretimin sürdürülebilirliği, toprak kalitesinin durumu ile yakından ilişkili bir durumdur. Bu nedenle, toprak kalitesinin belirlenmesi ve zaman içerisindeki değişiminin izlenmesi, üreticinin bitkisel üretimde benimsediği olduğu toprak işleme, sulama, gübreleme gibi tarımsal uygulamaların sürdürülebilir olup olmadığının değerlendirilmesini mümkün kılacaktır (Çelik ve ark., 2021). Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin ortak etkisinin bir göstergesi olan toprak kalitesi, tarımsal uygulamalar nedeni ile toprak koşullarında meydana gelen değişikliklere çok hızlı tepki verip olumlu veya olumsuz bir şekilde değişebilmektedir (Karlen ve ark., 2008). Bireysel olarak fiziksel, kimyasal veya biyolojik toprak özelliklerinin belirlenip her birinin ayrı ayrı izlenmesi yerine fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerden oluşan toprak özelliklerinin belirlenerek birlikte değerlendirilmesi, uygulamalar karşısında toprak kalitesinde meydana gelen değişimin daha doğru yorumlanmasını sağlayacaktır (Budak ve ark., 2018; Bünemann ve ark., 2018; Munoz-Rojas, 2018). Bu durumda, farklı tarımsal üretim sistemleri altında gerçekleştirilen tarımsal üretimin toprağın kalitesine ve kalitesinin sürdürülebilirliğine etkisinin değerlendirilmesi ve izlenmesi için, uygulamalar ile değişimi muhtemel ve toprağın fonksiyonlarını yerine getirmesinde etkili olan toprak özellikleri toprak kalitesinin göstergeleri olarak seçilmelidir (Andrews ve ark., 2004; Acir ve Günel, 2020).

Bir toprağın bitki ve hayvan üretkenliğini devam ettirebilme ve geliştirme, su ve hava kalitesini koruma veya geliştirme kapasitesi olarak tanımlanan toprak kalitesinin (Doran, 2002), korunması ve iyileştirilmesi, ekosistem hizmetlerinin sağlanmasının sürdürülebilirliği için zorunludur. Tarımsal üretimde tercih edilen uygulamalar ve toprak özellikleri ile ilişkilendirilen toprak kalitesinin tanımlanması ve izlenmesi çevresel kalite, tarımsal sürdürülebilirlik ve uygulamaların sosyo-ekonomik boyutunun değerlendirilmesine imkan verebilir (Andrews ve ark., 2002).

Geleneksel toprak ve bitki analizlerinin tarımsal üretimi artırmak için yararlı olduğu bugüne kadar yapılmış birçok çalışmada yeterince ortaya konulmuş olmasına rağmen, bu analizlerde genellikle toprak kimyasal özellikleri dikkate alınmakta ve toprağın fiziksel bozulması dikkate alınmamaktadır. Toprak kalitesi kavramı ise toprakların fonksiyonlarını nasıl yerine getirdiğine dair yeni bir yaklaşımı benimsemektedir. Bu yaklaşım, topraktaki besin elementi miktarlarının belirlenmesinin çok ötesine geçen ve kritik dinamik ve doğal toprak özelliklerini ve süreçlerini tanımlamak ve ölçmek için gerekli olan fiziksel, biyolojik ve kimyasal etkileşimleri de kapsamaktadır (Tilman ve ark., 2002). Toprak Yönetimi Değerlendirme Çerçevesi (SMAF), arazi yönetimi uygulamalarının toprağın fonksiyonlarını (yani, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri) nasıl etkilediğini değerlendirmek için geliştirilen, tekstür sınıfı, Toprak Taksonomisinde alt ordo tanımlaması için toprak organik madde içeriği, Fe₂O₃ içeriği, mineral sınıfı, iklim, ayrışma sınıfı, eğim, toprak işlevlerini örnekleme zamanı, ürün rotasyonu gibi bilgiyi de kullanan kapsamlı bir araçtır (van Es ve Karlen, 2019). Aynı paradigmaya dayalı doğrudan üretici ve araştırmacıların ihtiyacı olan bilginin karşılanması amacı ile Toprak Sağlığının Kapsamlı Değerlendirilmesi (CASH) geliştirilmiştir. CASH, tarımsal ekosistemler içinde üretimi sınırlandıran faktörün tanımlanmasını sağlayarak verimliliğin artması ve çevresel etkinin azaltılması için en uygun arazi yönetiminin seçimine yardımcı olur. Başlangıçta ABD'nin kuzeydoğusundaki topraklar için kalibre edilen CASH, zamanla farklı coğrafi bölgelere

uyarlanmıştır. Farklı coğrafyalarda yer alan arazilerde toprak kalitesi değerlendirmeleri için CASH kullanan Fine ve ark. (2017), toprakların kalitesindeki farklılıkları tarım sistemlerindeki farklılıklar ile ilişkilendirmişlerdir.

Toprak kalitesinin sayısal olarak ifade edilmesi, belirli bir arazi veya ekosistemde yer alan toprağın kalitesinin değerlendirilmesini sağlar ve farklı arazi kullanımları ve yönetim uygulamalarının karşılaştırılmalarına izin verir. Arazi kullanımı ve yönetimi uygulamalarının toprak kalitesi üzerindeki etkisini belirlemek için kontrollü koşullar altında karşılaştırmalı uzun süredir devam ettirilen arazi çalışmalarına ihtiyaç vardır. Ancak, dünyanın birçok yerinde uzun yıllardır devam ettirilen çok sayıda çalışma olmasına rağmen, Türkiye’de devam eden uzun süreli denemelerin sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, 2006 yılında Çukurova Bölgesinde tesis edilen ve özenle devam ettirilen bir çalışmada, arazi yüzeyinde bitki atıklarının yakıldığı veya toprağa tamamen gömüldüğü uzun süreli geleneksel uygulamalar ile anızın bir kısmının ve tamamının yüzeyde bırakıldığı korumalı toprak işleme uygulamaları altında toprağın fiziksel kalitesinin değişimi incelenmiştir. Toprağın fiziksel kalitesi, su, hava, besin maddelerinin depolanması ve iletimi ile kök büyümesine izin verecek düzeyde toprağın dayanıklılığını koruması ile ilişkili olan toprak strüktürel koşulları ile ilişkilidir (Bacher ve ark., 2019). Elde edilen veriler, uzun süreli hasat sonrası artıkların amenajmanın toprağın fonksiyonlarını yerine getirme kapasitesi olarak tanımlanan kalitesi üzerine etkisini değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu kapsamda yapılan değerlendirmeler, hangi uygulamaların terk edilmesi veya hangi uygulamalara devam edilmesi gerektiğine karar vermeyi kolaylaştırmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Materyal

2.1.1. Çalışma Alanı

Tarla denemesi 2006 yılında, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Uygulama ve Araştırma sahasında (37°00'54" N, 35°21'27" E; 32 m denizden yükseklik) tesis edilmiştir. Arık serisi üzerinde yer alan deneme alanı toprakları, yüzeyde ilk 35 cm derinliğinde yüksek düzeyde şişme büzülme potansiyeline sahip kil minerallerinin yer alması nedeniyle, kuruduklarında geniş çatlakların oluştuğu Vertisol ordosunda sınıflandırılmıştır. Düz ve düze yakın bir topoğrafyada yer alan deneme alanı toprakları, Toprak Taksonomisine göre Typic Haploxererts (Soil Survey Staff, 2014) ve World Reference Base’e göre ise Haplic Vertisol (IUSS Working group, 2015) olarak sınıflandırılmışlardır (Çelik ve ark., 2021). Yüzeyden ilk 30 cm derinliğindeki toprakların ortalama kil, silt ve kum içeriği sırası ile %50, %32 ve %18 kumdur. Arık serisi olarak tanımlanan toprakların ortalama pH’sı 7.82, toplam tuz içeriği %0.02 ve kireç içeriği %24.4 olarak bildirilmiştir (Çelik ve ark., 2011).

2.1.2. İklim

Kışları ılık ve yağışlı, yazları ise sıcak ve kurak olan çalışma alanı, tipik Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık 19.2 °C ve yıllık toplam yağış miktarı 662.8 mm olan çalışma alanında yıllık toplam buharlaşma 1472 mm’dir. Yıllık yağışın %75’i kış ve ilkbahar aylarında gerçekleşirken özellikle yazlık ekimler için yağış miktarı oldukça yetersizdir (Anonim,2018).

Çizelge 1. Adana İli Merkez’e ait uzun yıllar (1929-2017) ortalama iklim verileri (Anonim, 2018)

Table 1. Average long-term (1929-2017) climate data for Center of Adana province (Anonymous, 2018)

	AYLAR												YILLIK
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ortalama maksimum sıcaklık (°C)	14.8	16.1	19.4	23.7	28.2	31.8	33.9	34.7	33.1	29.0	22.6	16.8	25.3
Ortalama minimum sıcaklık (°C)	5.2	5.9	8.2	11.8	15.7	19.7	22.9	23.3	20.0	15.6	10.7	6.8	13.8
Ortalama Sıcaklık (°C)	9.5	10.5	13.4	17.5	21.7	25.6	28.2	28.7	26.1	21.6	15.8	11.2	19.2
Ortalama Nem (%)	66.2	66.2	65.6	67.6	66.9	66.5	69.0	68.5	63.5	60.7	63.0	67.0	65.9

2.2. Yöntemler

2.2.1. Tarla Denemesi

Başlangıçta (2006 yılında), 2 geleneksel, 3 azaltılmış ve 1 sıfır toprak işleme sisteminin yer aldığı 6 farklı toprak işleme yönteminin 3 tekerrürlü olarak yer aldığı deneme alanında, 2015 yılında sıfır toprak işleme (STİ) parsellerinin yarısı (240 m²) 33-35 cm derinliğinde pulluk ile bir kez işlenerek stratejik sıfır toprak işleme (SSTİ) adı verilen yeni bir uygulama daha eklenmiştir (Şekil 1). Deneme parselleri 40 m uzunluğu ve 12 m genişliğinde olup, her parsel alanı 480 m²'dir. Tarımsal faaliyetler esnasında parsellerin zarar görmesini önlemek için her bir parselin çevresinde 4 m boşluk bırakılmıştır. Uzun süreli toprak işlemez yapılan tarımsal üretim sonunda, yüzey ve yüzey yer altı katmanlarda sıkışma, bitki besin elementleri ve organik maddenin yüzey katmanında birikmesi gibi sorunlar toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinde azalmaya neden olduğundan dolayı, sıfır toprak işleme parsellerinin yarısı pulluk ile toprak işleme yapılmıştır (Çelik ve ark., 2020).



Şekil 1. Sıfır toprak işleme (STİ) parsellerinin yarısında tek seferlik yapılan pulluk ile toprak işleme uygulaması sonucu oluşturulan Stratejik Sıfır Toprak İşleme (SSTİ).

Figure 1. Strategic Zero Tillage (SZT), which is created by soil cultivation using a plow in half of the zero tillage (ZT) plots.

2.2.2. Toprak İşleme Uygulamaları ve Anız Amenajmanı

Deneme alanında 2015 yılı Kasım ayına kadar, anızların yakılmadığı geleneksel toprak işleme (Gİ-1), anızların yakıldığı geleneksel toprak işleme (Gİ-2), ağır diskli tırmık kullanılan azaltılmış toprak işleme (ATİ-1), rototil kullanılan azaltılmış toprak işleme (ATİ-2), birinci üründe ağır diskli tırmık kullanılan ve ikinci üründe sıfır toprak işleme olan uygulama (ASTİ) ve doğrudan ekimin yapıldığı sıfır toprak işleme (STİ) şeklinde altı farklı toprak işleme yöntemleri uygulanmıştır. Toprak işleme yöntemlerinde kullanılan ekipmanlara ait detaylı bilgi Çizelge 2'de verilmiştir. Sıfır toprak işleme parsellerinin yarısının Kasım-2015'te kulaklı pulluk ile işlenmesi (stratejik toprak işleme, SSTİ) ile birlikte toprak işleme uygulamalarının sayısı 7'ye yükselmiştir. Deneme başlangıcından (2006) bu yana belirtilen toprak işleme yöntemleri altında kışlık birinci ürün buğday ve dönüşümlü olarak buğday hasadından sonra ikinci ürün olarak dane mısır ve soya yetiştiriciliği yapılmıştır. Gİ-2 haricindeki uygulamalarda, birinci ve ikinci ürünlerin (buğday ve mısır) hasat edilmesinin ardından bu ürünlere ait yoğun hasat artıkları anız toplama makinası ile toplanıp parsellerden uzaklaştırıldıktan sonra geriye kalan anızlar sap parçalama aletiyle parçalanmıştır. Anızları yakılmış geleneksel toprak işleme (Gİ-2) sisteminde ise toprak işleme öncesi Çukurova Bölgesinde yaygın bir uygulama olan birinci ve ikinci ürün anız artıkları parsellerden uzaklaştırılmadan ve parçalanmadan parseller içerisinde yakılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Anızları yakılmış geleneksel toprak işleme (Gİ-2) yönteminde birinci ürün buğday (Şekil 2a) ve ikinci ürün mısır/soya bitkilerine ait anızların yakılması (Şekil 2b)

Figure 2. Conventional tillage (CT-2) method with burning the stubble of the first crop wheat (Figure 2a) and the second crop corn/soybean residues (Figure 2b)

2.2.3. Bitkisel Üretim

Yukarıda da belirtildiği üzere 2006 yılından başlayarak araştırma parsellerinde kışlık ürün olarak sürekli buğday bitkisi ve ikinci ürün olarak buğday hasadından sonra sırayla bir yıl dane mısır ve bir yıl soya bitkisi yetiştiriciliği yapılmıştır. Yedi farklı toprak işleme uygulamaları ile araştırma parsellerine kışlık buğday olarak, bölgede yaygın olarak kullanılan Adana-99 tohumluk çeşidi 22/11/2016 tarihinde ekilmiştir. Toprak analiz sonuçları ve bitki gereksinimi dikkate alınarak, buğday ekimi ile birlikte hektara 92 kg azot ve 60 fosfor olacak şekilde 300 kg kompoze 20-20-0 (20N-20P₂O₅-0K₂O) ve 70 kg Üre (%46N) gübreleri uygulanmıştır. İki ayrı üst gübrelemeden birincisinde 120 kg.ha⁻¹ üre, ikincisinde ise 160 kg.ha⁻¹ amonyum nitrat uygulanmış ve üst gübrelemeler ile toplam 108 kg N.ha⁻¹ verilmiştir. Üretim sezonu boyunca sulama yapılmamış ve doğal yağışlar ile buğday üretim yapılmıştır.

Bu çalışmada, 2017 yılı ikinci ürün mısır hasadının ardından yapılan toprak örnekleme ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Buğday hasadı 10 Haziran 2017 tarihinde gerçekleştirilmiş ve tüm parsellere 20 Haziran 2017 tarihinde ikinci ürün dane mısır ekimi yapılmıştır. Toprak analiz sonuçları ve mısır bitkisinin gereksinimi dikkate alınarak ekimle birlikte 400 kg.ha⁻¹ 15-15-15 kompoze gübre ile birlikte 150 kg.ha⁻¹ üre gübresi uygulanmıştır. Mısır bitkisi 4 yapraklı olunca 120 kg.ha⁻¹ üre uygulanmıştır. Yağmurlama sulama yöntemi kullanılarak mısır bitkisi 13-14 gün aralıklarla sulanmıştır. Mısır bitkisi, 3-4 yapraklı döneme ulaştığında ASTİ, SSTİ ve STİ dışındaki parsellere bir kez ara çapa uygulanmış ve 25 Ekim 2017 tarihinde hasat edilmiştir.

2.2.4. Toprak Örnekleme ve Arazi Ölçümleri

Deneme alanından alınan bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinin analizlerinde kullanılan yöntemlere ait bilgiler Çizelge 3'te verilmiştir. Toprak örnekleme öncesi toprak sıkışmasını belirlemek amacı ile her parselde 10 farklı noktada 45 cm derinliğe kadar penetrologger aleti ile (Eijkelkamp Penetrologger 06.15.SA) penetasyon ölçümleri yapılmıştır. Yedi farklı toprak işleme yönteminin uygulandığı 21 parselde üç farklı noktadan 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinliklerden her derinlikte 3 adet olacak şekilde bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Bozulmamış toprak örneklerinde toprağın fiziksel kalitesini belirlemek amacı hacim ağırlığı, tarla kapasitesindeki su içeriği, su dolu gözenek hacmi ve toplam gözeneklilik değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, bozulmuş toprak örneklerinde agregat stabilitesi, solma noktası ve ağırlıklı ortalama çap analizleri yapılmıştır.

Çizelge 2. Birinci ve ikinci ürünlerin toprak işleme ve ekim işleminde kullanılan yöntemler ve ekipmanlar (Çelik ve ark., 2021)

Table 2. Soil tillage methods and equipment used in planting of the first and second crops (Çelik et al., 2021)

Toprak İşleme Yöntemi	Kışık Ekim (Buğday) İçin Toprak İşleme	İkinci ürün (Mısır/Soya) İçin Toprak İşleme
Anızlı Geleneksel İşleme (Gİ-1)	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Kulaklı pullukla işleme Diskli tırmık (Diskaro) (2 kez) Tapan (2 Kez) Üniversal ekim makinası ile buğday ekimi 	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Ağır diskli tırmıkla (Goble) işleme Diskli tırmıkla işleme (2 kez) Tapan (2 Kez) Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi
Anızları Yakılmış Geleneksel İşleme (Gİ-2)	<ul style="list-style-type: none"> Anızların yakılması Kulaklı pullukla işleme Diskli tırmık (Diskaro) (2 kez) Tapan (2 Kez) Üniversal ekim makinası ile buğday ekimi 	<ul style="list-style-type: none"> Anızların yakılması Çizel ile işleme Diskli tırmıkla işleme (2 kez) Tapan (2 Kez) Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi
Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış Toprak İşleme (ATİ-1)	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Ağır diskli tırmıkla (Goble) işleme (2 kez) Tapan (2 Kez) Üniversal ekim makinası ile buğday ekimi 	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Rototillerle işleme Tapan (2 Kez) Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi
Rototillerli Azaltılmış Toprak İşleme (ATİ-2)	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Rototillerle işleme Tapan (2 Kez) Üniversal ekim makinası ile buğday ekimi 	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Rototillerle işleme Tapan (2 Kez) Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi
Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış Sıfır Toprak İşleme (ASTİ)	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Ağır diskli tırmıkla (Goble) işleme Tapan (2 Kez) Üniversal ekim makinası ile buğday ekimi 	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Herbisit uygulama Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi
Doğrudan Ekimli Sıfır Toprak İşleme (STİ)	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Herbisit uygulama Doğrudan tahıl ekim makinası ile buğday ekimi 	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Herbisit uygulama Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi
Stratejik Sıfır Toprak İşleme (SSTİ)*	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Herbisit uygulama Doğrudan tahıl ekim makinası ile buğday ekimi 	<ul style="list-style-type: none"> Anızların parçalanması Herbisit uygulama Pnömatik tek tohum ekim makinası ile mısır/soya ekimi

(SSTİ)*: 2006-2015 Yılları arasında Doğrudan Ekimli Sıfır Toprak İşleme (STİ) olarak devam etmiştir. Ancak 2015 Kasım ayında kulaklı pulluk ile geleneksel olarak bir kez işlenmiştir. Bu işlemeden sonra tekrar STİ konusundaki işlemlerin aynı devam etmektedir.

2.2.5. Toprak Kalitesi Değerlendirmeleri

Bu çalışmada, toprakların fiziksel özellikleri belirlendikten sonra, penetrasyon direnci haricindeki her bir özelliğin değeri Amerika Tarım Bakanlığı personeli tarafından geliştirilmiş olan Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (SMAF) (Andrews ve ark., 2004) içerisinde yer alan skorlama fonksiyonları kullanılarak 0 ile 1.0 arasında değerlere dönüştürülmüştür. Penetrasyon direnci ölçümlerinin skorlanmasında, Cornell Toprak Sağlığı Değerlendirmesindeki skorlama eğrisi kullanılmıştır (Moebius-Clune ve ark., 2016). Her iki değerlendirme yönteminde de “daha yüksek daha iyidir”, “daha düşük daha iyidir” ve “orta nokta optimum” şeklinde üç matematiksel algoritma fonksiyonu kullanılmıştır. Örneğin, hacim ağırlığı düşük olduğunda veya agregat stabilitesi yüksek olduğunda 1.0’e yakın değerler almaktadır.

İndikatörlerin skorları hesaplandıktan sonra, skorlar bir araya getirilerek fiziksel toprak kalitesi indeksi altında toplanmıştır. Fiziksel kalite indekslerinin hesaplanmasında ilaveli indeks yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, her bir göstergeden gelen değer toplanmış ve gösterge sayısına bölünmüştür. Elde edilen sonuç 100 ile çarpılmış ve kalite değerleri yüzde olarak ifade edilmiştir.

$$TKİ = \sum_{i=1}^n \frac{Si}{n} \quad \text{Eşitlik 1}$$

Bu eşitlikte; Si, Skorlaması yapılan indikatör değeri ve n ise veri setindeki indikatör sayısını göstermektedir.

Çizelge 3. Fiziksel toprak analizleri ve kullanılan yöntemler

Table 3. Soil physical analysis and methods used

Analiz	Derinlik (cm)	Kullanılan Metot
Hacim ağırlığı	0-10, 10-20 ve 20-30	Sabit hacimli (100 cm ³) çelik silindirlerle alınmış bozulmamış toprak örneklerinde (Blake ve Hartge, 1986)
Penetrasyon Direnci	0-30	Elle itmeli 10 MPa ve 80 cm derinlikte ölçüm yapabilen dijital penetrometre ile (Eijkelkamp Penetrologger 06.15.SA)
Toprak Nemi	0-10, 10-20 ve 20-30	Bozulmamış toprak örneklerinde gravimetrik olarak belirlenmiştir.
Tarla Kapasitesi, Solma Noktası	0-10, 10-20 ve 20-30	Basıncılı plakalar sistemi ile yapılmıştır (Klute, 1986)
Yarayışlı Su İçeriği	0-10, 10-20 ve 20-30	Tarla kapasitesinde nem içeriğinden solma noktasındaki nem içeriğinin çıkarılması ile elde edilmiştir (Klute, 1986)
Su ile dolu gözenek hacmi	0-10, 10-20 ve 20-30	Hacimsel su içeriğinin toplam gözenekliliğe oranı şeklinde belirlenmiştir (Linn ve Doran, 1984)
Agregat stabilitesi	0-10, 10-20 ve 20-30	Islak eleme yöntemine göre 8 mm'lik toprak örneklerinde yapılmıştır (Kemper ve Rosenau, 1986)

2.2.6. İstatistiksel Değerlendirme

Toprak işleme uygulamalarının hesaplanan toprak kalitesi indikatörleri üzerine etkisini değerlendirebilmek amacı ile varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizinde farklılığın önemli olması durumunda, indikatör skorlarının homojen gruplara ayırabilmesi için DUNCAN homojenlik testi yapılmıştır. Tüm istatistiksel değerlendirmelerde SPSS 21.0 programı kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Toprak işleme ve anız yönetiminin toprak kalitesi indikatörüne etkileri

Çalışma alanı topraklarının fonksiyonlarını yerine getirmesinde etkili olduğu düşünülen fiziksel kalite indikatörleri; agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, yarayışlı su içeriği, su dolu gözenek hacmi ve penetrasyon direnci olarak belirlenmişlerdir. Toprak işleme yöntemleri altında farklı derinliklere ait toprakların fiziksel kalite indikatörlerine ait ortalama değerleri, varyans analizi ve DUNCAN testi sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

3.1.1. Toprak işleme ve anız yönetiminin agregat stabilitesi indikatörüne etkileri

Toprak işleme yöntemleri, agregat stabilitesi indikatörü (AS) üzerine önemli düzeyde (P<0.01) etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur. Toprak işleme yoğunluğunun azalması ile birlikte AS skorları artmıştır. Yüzeyin ilk 10 cm derinliğinde, AS skorları 0.64 (Gİ-2) ile 1.00 (STİ) arasında değişirken, 10-20 cm derinlikte 0.76 (Gİ-2) ile 1.00 (ATİ-2, STİ ve SSTİ) ve 20-30 cm derinlikte ise 0.82 (Gİ-2) ile 1.00 (ATİ-2) arasında değişmiştir (Çizelge 4). Her üç derinlikte de en düşük AS indikatör skorları anızların yakıldığı Gİ-2 uygulamasında elde edilmiştir. Son 11 yıldır (2006-2017) toprak işlemenin yapılmadığı STİ uygulaması ile 2015 yılına kadar (2006-2015) toprak işlemenin yapılmadığı SSTİ uygulaması altında ilk 10 cm derinlikte organik karbonun depolanması daha dayanıklı agregatların oluşumuna neden olduğundan, bu indikatör skorunun diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde yüksek olmasına neden olmuştur. Kasper ve ark. (2009), toprak yüzeyinde örtü tabakasının artmasının zamanla agregat stabilitesini arttıracak ve bununla toprak kalitesini iyileştireceğini bildirmişlerdir. Toprak yüzeyinde bırakılan bitki atıkları, yağmur damlasının toprağa çarpma enerjisini ve etkisini kırdığından dolayı ATİ ve STİ uygulamalarında agregatların parçalanması çok daha az veya hatta hiç gerçekleşmemektedir. Bu durum, daha yüksek AS skorları elde edilmesine neden olmuştur.

STİ haricindeki tüm uygulamalarda AS skorlarının derinlikle değişimleri istatistiksel olarak önemli düzeyde artmıştır. Korunmalı toprak işleme uygulamalarına kıyasla agregatların daha fazla parçalandığı geleneksel uygulamalarda, AS daha düşük olmuştur. Geleneksel uygulamalarda, korunmalı uygulamalara kıyasla daha düşük AS

skorları elde edilmesi, agregatların parçalanmasına ilaveten makroagregatların bağlanmasını sağlayan kök ve mikoriza hiflerinin de kopması ile ilişkilendirilebilir (Verhulst ve ark., 2010). Anızların yakılarak uzaklaştırıldığı Gİ-2 uygulamasında ise bağlayıcı görev gören bitki atıklarının ve toprak canlılarının önemli bir kısmının yok olması, diğer uygulamalara kıyasla daha düşük olan AS skorunu açıklamaktadır. Benzer şekilde, Verhulst ve ark. (2010), geleneksel yöntemlerdeki toprak işlemenin AS üzerine pozitif etki yaptığı bilinen makro fauna popülasyonunu olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir. Toprak işleme toprağı dönderdiği/ters çevirdiği ve karıştırdığından dolayı hem agregatlar arasında hem de agregatların içerisinde bulunan organik maddenin mikroorganizmalara açık hale gelmesine neden olduğundan dolayı toprak strüktürü ve agregatlarının parçalanmasını hızlandırmaktadır (Six ve ark., 2002; Huang ve ark., 2010). Yüzey katmanın aksine, 10-20 ve 20-30 cm derinliklerde Gİ-1 uygulamasındaki AS skorları, yüzeye kıyasla sırası ile %14.5 ve %24.6 daha yüksektir. Agregat stabilitesi indikatör skorlarında benzer bir artış Gİ-2 ve ATİ-1 uygulamalarında da görülmektedir. Bu uygulamalardaki artış oranları sırası ile 10-20 cm için %18.8 ve %23.7 ve 20-30 cm için %28.1 ve %25.0 olarak hesaplanmıştır. Derinlikle beraber toprak işlemenin parçalama etkisinin azalması, AS skorlarının derinde daha yüksek olmasına neden olmuştur. Normal koşullarda, yüksek kil içeriği ile organik madde arasındaki etkileşim nedeniyle killi topraklarda, agregatların dayanıklılığının derinlikle birlikte azalması beklenir (Cerda, 1996). Ancak, çalışma alanında özellikle geleneksel uygulamalarda toprak yüzeyindeki agregatlar, az miktarda organik madde ve yoğun toprak işleme ve agregatların dağılılabirliğinin yüksek olması nedeniyle daha az kararlıdır.

Toprak işleme yöntemleri ve derinlik ile işleme x derinlik etkileşimi, AS skorları üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4).

3.1.2. Toprak İşleme ve Anız Yönetiminin Hacim Ağırlığı İndikatörüne Etkileri

Sıkışmanın en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilen hacim ağırlığı (HA) üzerine, toprak işleme uygulamalarının etkisi, 0-10 cm derinlikte $P < 0.05$ önem düzeyinde ve 10-20 cm ile 20-30 cm derinliklerde ise $P < 0.01$ önem düzeyinde etkili olmuştur. Toprak işlemenin yoğunluğunun azalması ile birlikte özellikle ilk 20 cm derinlikte belirgin bir şekilde artış gösteren hacim ağırlığı 0-10 cm derinlikte 1.29 g cm^{-3} (ATİ-1) ile 1.36 g cm^{-3} (STİ) arasında değişirken, 10-20 cm derinlikte 1.36 g cm^{-3} (Gİ-1) ile 1.46 g cm^{-3} (STİ ve ATİ-2) ve 20-30 cm derinlikte ise 1.39 g cm^{-3} (Gİ-1) ile 1.48 g cm^{-3} (ATİ-2) arasında değişmiştir (Çelik ve ark., 2019). Her üç derinlikte de azaltılmış ve sıfır toprak işleme yöntemleri altında HA indikatörü en düşük skorları almaktadır. Yüzey toprağında HA skorları 0.39 (STİ) ile 0.49 (ATİ-1) arasında değişirken, 10-20 cm derinlikte 0.29 (STİ) ile 0.40 (Gİ-1) ve 20-30 cm derinlikte ise 0.29 (STİ, ATİ-2 ve ASTİ) ile 0.35 (Gİ-1) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4). HA skorlarının düşük olması bitki gelişimi için ideal koşullarda önemli miktarda sınırlanmanın olduğuna işaret etmektedir (Cherubin ve ark., 2016).

Agregat stabilitesi indikatörünün aksine, HA skorları derinlik arttıkça istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P < 0.01$) azalış göstermiştir. Yüzeyden 10-20 cm derinliğe geçildiğinde HA skorlarındaki en yüksek azalış %34.7 ile ATİ-1 uygulamasında iken, en düşük azalış ise %13.0 ile Gİ-1 uygulamasındadır. Üçüncü örnekleme derinliği ile yüzey arasındaki en büyük farklılık ise %40.8 ile ATİ-1 ve yine en düşük farklılık %23.9 ile Gİ-1 uygulamasında olmuştur. Özellikle birinci ve ikinci üründe tohum yatağı hazırlığında anızların mekanik olarak parçalanmasının ardından rototillerin iki kez kullanıldığı ATİ-2 uygulaması altında ilk 20 cm'de HA skor değerleri diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde düşüktür (Çizelge 4). Rototiller aletindeki freze bıçakları toprak yüzeyine ortogonal olarak çalışma yaparak toprak kütlelerini parçalayıp birbirine karıştırmaktadır. Çalışması esnasında agregatlar fazlaca parçalanmakta ve çalışma derinliğinin alt tarafında sıkışma yaşanmaktadır (Laudicina ve ark., 2016). Ekim, hasat ve diğer tüm yönetim uygulamaları nedeniyle uygulanan makine trafiği, STİ altında 0-10 cm derinlikteki HA değerlerinin Gİ-2'ye göre önemli ölçüde daha yüksek olmasına neden olduğu bildirilmiştir (Çelik ve ark., 2019).

İstatistiksel analizler, ATİ (ATİ-1, ATİ-2, ASTİ) ve STİ uygulamaları altında hesaplanan HA skorlarının benzer olduğunu göstermektedir. Bulgularımız ABD'nin Ohio ve Missouri eyaletlerinde uzun süreli mısır üretiminde STİ ve çizel ile yapılan ATİ uygulamalarının HA üzerine önemli bir etkisi olmadığını bildiren Blanco-Canqui ve ark. (2004)'nin verileri ile uyumludur. Ancak, Etanol üretimi için mısır sapı hasadı, STİ ve çizel ile yapılan ATİ uygulamalarının fiziksel toprak kalitesi üzerine etkilerini araştıran Tormena ve ark. (2017), mısır sapı hasadından bağımsız bir şekilde STİ'nin çizel ile işlemeye kıyasla her zaman daha yüksek HA değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Araştırma alanını toprağının tekstürünün killi (ort. %50) olmasının da etkisi ile tüm uygulamalarda özellikle 10 cm derinliğin altında HA değerlerinin yüksek olması (Acir ve ark., 2021), HA skoru değerlerinin düşük olmasına neden olmuştur. Hacim ağırlığının artması, havalanmanın ve su hareketinin yavaşlaması ve kök gelişiminin sınırlandırılmasına işaret ettiğinden kalite skoru değerleri de düşüktür. Çift yönlü varyans analizi sonuçlarına göre toprak işleme yöntemleri ve derinlik ile işleme x derinlik etkileşimi HA üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 4. Farklı toprak işleme yöntemlerinin fiziksel toprak indikatörleri üzerine etkileri
 Table 4. The effects of soil tillage methods on soil physical quality indicators

İşleme Yöntemi	Agregat Stabilitesi	Hacim Ağırlığı	Yarayışlı Su	Su Dolu Gözenek Hacmi	Penetrasyon Direnci
0-10 cm					
Gİ-1	0.69 [#] ±0.01 [†] e ^{&***}	0.46±0.03 ab*	0.62±0.02 a*	0.66±0.05 ab*	0.64±0.01 abc**
Gİ-2	0.64±0.02 f**	0.46±0.02 ab**	0.57±0.02 ab*	0.68±0.03 a**	0.65±0.02 ab**
ATİ-1	0.76±0.02 d**	0.49±0.03 a**	0.63±0.01 a**	0.66±0.04 ab**	0.68±0.01 a**
ATİ-2	0.93±0.02 b**	0.40±0.02 bc**	0.49±0.03 c**	0.55±0.03 c ns	0.58±0.01 d**
ASTİ	0.88±0.01 c*	0.41±0.01 bc**	0.48±0.02cd**	0.59±0.03abc ns	0.59±0.02 cd**
STİ	1.00±0.00 a ns	0.39±0.02 c**	0.42±0.04 d*	0.57±0.02bc ns	0.45±0.02 e**
SSTİ	0.89±0.01 bc**	0.41±0.02 bc**	0.54±0.02 bc*	0.65±0.03 ab*	0.62±0.02 bcd**
ANOVA	0.000	0.015	0.000	0.038	0.000
10-20 cm					
Gİ-1	0.79±0.01 c	0.40±0.03 a	0.53±0.02 a	0.62±0.03 a	0.93±0.01 a
Gİ-2	0.76±0.02 c	0.36±0.02 ab	0.51±0.03 a	0.58±0.04 ab	0.94±0.02 a
ATİ-1	0.94±0.02 b	0.32±0.01 bc	0.47±0.02 a	0.48±0.01 c	0.79±0.02 b
ATİ-2	1.00±0.00 a	0.30±0.01 c	0.32±0.04 b	0.52±0.03 bc	0.71±0.03 d
ASTİ	0.94±0.02 b	0.32±0.01 bc	0.33±0.03 b	0.52±0.02 bc	0.76±0.02 bc
STİ	1.00±0.00 a	0.29±0.01 c	0.37±0.02 b	0.51±0.02 bc	0.73±0.02 cd
SSTİ	1.00±0.00 a	0.37±0.01 a	0.55±0.02 a	0.60±0.02 a	0.92±0.01 a
ANOVA	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
20-30 cm					
Gİ-1	0.86±0.01 d	0.35±0.02 a	0.54±0.02 a	0.53±0.02 a	0.85±0.04 a
Gİ-2	0.82±0.02 e	0.32±0.01 b	0.46±0.03 ab	0.51±0.02 a	0.90±0.02 a
ATİ-1	0.95±0.02 bc	0.29±0.01 bc	0.40±0.02 b	0.50±0.02 a	0.62±0.03 c
ATİ-2	1.00±0.00 a	0.29±0.01 c	0.27±0.03 c	0.50±0.02 a	0.55±0.03 c
ASTİ	0.93±0.01 c	0.31±0.01 bc	0.31±0.04 c	0.52±0.02 a	0.60±0.03 c
STİ	0.98±0.01 ab	0.29±0.01 bc	0.31±0.02 c	0.55±0.02 a	0.59±0.03 c
SSTİ	0.99±0.01 ab	0.30±0.01 bc	0.46±0.03 ab	0.55±0.02 a	0.73±0.04 b
ANOVA	0.000	0.001	0.000	0.510	0.000
İşleme	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Derinlik	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
İşl x Derin	0.000	0.009	0.005	0.040	0.000

Gİ-1: Anızlı Geleneksel İşleme, **Gİ-2:** Anızlı Yakılmış Geleneksel İşleme, **ATİ-1:** Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış İşleme, **ATİ-2:** Rototillerli Azaltılmış Toprak İşleme, **ASTİ:** Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış Sıfır Toprak İşleme, **STİ:** Doğrudan Ekimli Sıfır Toprak İşleme, **SSTİ:** Stratejik Sıfır Toprak İşleme, #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart hatası, &: Aynı sütündeki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir (Duncan, $P \leq 0.05$). Duncan testinde derinliğe bağlı değişimler **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$ düzeylerinde önemli; ns: önemli değildir.

3.1.3. Toprak İşleme ve Anız Yönetiminin Penetrasyon Direnci İndikatörüne Etkileri

Toprak işleme için kullanılan makinenin türü, toprak yapısını, agregat stabilitesini, sıkışmayı ve toprağın su içeriğini önemli düzeyde etkileyebilmektedir (Catania ve ark., 2018). Bu çalışmada da toprak işleme uygulamaları her üç ölçüm derinliğinde de penetrasyon direnci indikatör (PD) skorlarını önemli düzeyde etkilemiş ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4).

Yoğun toprak işleme ile agregat stabilitesinin ve organik maddenin azalması ile hacim ağırlığı ve penetrasyon direncinde artış olduğunu rapor eden araştırmalar olmasına karşın (Lal, 1997), bu çalışmada işlemenin azaltılması veya terk edilmesi ile penetrasyon direnci ve hacim ağırlığında artış olduğu görülmüştür (Çelik ve ark., 2020; Acir ve ark., 2021). Buna bağlı olarak işlemenin azaltılmasına paralel bir şekilde PD skorları da azalmıştır. İlk 10 cm derinlikte PD skorları 0.45 (STİ) ile 0.68 (ATİ-1) arasında değişirken, 10-20 cm derinlikte 0.71 (ATİ-2) ile 0.94 (Gİ-2) ve 20-30 cm derinlikte ise 0.55 (ATİ-2) ile 0.90 (Gİ-2) arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 4).

İncelenen tüm toprak işleme uygulamaları altında derinlikle birlikte PD skorları önemli düzeyde artmıştır. Yüzyenden 10-20 cm derinliğe gelindiğinde en yüksek artış %62.2 ile STİ uygulamasında iken, bunu %48.4 ile SSTİ, %45.3 ile Gİ-1, %44.6 ile Gİ-2 uygulamaları takip etmiştir. Çelik ve ark. (2019), ATİ sistemlerinde aynı derinlikte uzun yıllar diskli tırmık ve rototiller'in kullanımının, işlenmiş toprağın altında oldukça sıkıştırılmış bir yüzey altı tabakasının oluşmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. İşleme derinliğinin altında meydana gelen sıkışma, bu derinlikteki HA skorlarının diğer uygulamalara kıyasla daha düşük olmasına neden olmuştur. Yüzey ile 20-30 cm

derinlik karşılaştırıldığında ise PD skorundaki en yüksek artışın %38.5 ile Gİ-2 ve en düşük artışın %1.69 ile ASTİ uygulamasında olduğu görülmektedir (Çizelge 4).

Çift yönlü varyans analizi sonuçlarına göre toprak işleme yöntemleri ve derinlik ile işleme x derinlik etkileşimi PD üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4).

3.1.4. Toprak İşleme ve Anız Yönetiminin Yarayışlı Su İndikatörüne Etkileri

Topraktaki yarayışlı suyun miktarının göstergesi olan yarayışlı su indikatörü (YSİ) hacim ağırlığı, agregat büyüklük dağılımı, gözeneklilik, tarla kapasitesi ve fiziksel toprak kalitesinin diğer bileşenleri tarafından etkilenen önemli bir göstergedir. Arazi kullanımının yoğunlaşması zaman içerisinde toprağın fiziksel özelliklerinde önemli değişikliklerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu değişiklikler, su depolama ve tedariki ve bitkisel üretim gibi toprak sağlığını ve ekosistem hizmetlerini etkileyebilecek bir dizi biyojeokimyasal süreci de etkileyebilmektedir (Bünemann ark., 2018). Elde edilen veriler toprak işleme uygulamalarının her üç derinlikte de YSİ skorları üzerine önemli düzeyde ($P<0.01$) etki ettiğini ve farklılaşmasına neden olduğunu göstermektedir (Çizelge 4). YSİ skorları ilk 10 cm derinlikte, 0.42 (STİ) ile 0.63 (ATİ-1) arasında değişirken, 10-20 cm derinlikte 0.32 (ATİ-2) ile 0.55 (SSTİ) arasında ve 20-30 cm derinlikte ise 0.27 (ATİ-2) ile 0.54 (Gİ-1) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 4). STİ altındaki topraklarda nispeten daha düşük olan YSİ skorlarının SSTİ ile birlikte her üç örnekleme derinliğinde de önemli miktarda artmıştır. SSTİ uygulaması ile birlikte 0-10 cm derinlikte STİ'ye kıyasla meydana gelen artış %28.6, 10-20 cm derinlikte %48.6 ve 20-30 cm derinlikte ise %48.4 oranında olmuştur (Çizelge 4).

Toprak işlemenin artması ile artan YSİ skorları tüm uygulamalarda derinlikle birlikte önemli düzeyde azalma göstermiştir. Derinlikle birlikte azalmanın en fazla olduğu uygulama ATİ-2 olmuştur. Aşırı sıkışma nedeni ile azalan gözeneklilik, YSİ skorlarının da önemli düzeyde düşmesine neden olmuştur. Yüzey toprağının YSİ skorları ile 10-20 cm derinlikteki YSİ skorları arasındaki farklar sırası ile %34.7 ile ATİ-2, %31.3 ile ASTİ, %25.4 ile ATİ-1, %14.5 ile Gİ-1, %11.9 ile STİ ve %10.5 ile Gİ-2 olmuştur. Bu derinlikte diğer 6 uygulamanın aksine SSTİ uygulamasında YSİ skorları %1.9 oranında artış göstermiştir. Üçüncü örnekleme derinliğinde ise, yüzeye kıyasla en büyük azalış %44.9 ile ATİ-2 uygulamasında gerçekleşmiştir. Bu derinlikte SSTİ uygulaması altındaki topraklarda da YSİ skorları yüzeye kıyasla %14.8 oranında azalmıştır.

Tarla kapasitesinde tutulan su önemli ölçüde toprağın strüktürü ile ilişkili iken solma noktasında tutulan su toprağın genetik bir özelliği olan tekstürü ile ilişkilidir (Hillel, 2004). Toprak işleme uygulamalarının toprağın tekstürünü değiştirmesi beklenmemektedir. Ancak dinamik bir özellik olan toprak strüktürü toprak işleme ile önemli düzeyde değişmektedir. Gİ-2 uygulamasında agregat stabilitesi ve ağırlıklı ortalama çap her üç derinlikte de diğer uygulamalara kıyasla daha düşüktür (Çelik ve ark., 2020). Bu durum, tarla kapasitesinde Gİ-2 uygulamasında neden daha az su tutulduğunu açıklamaktadır. Zira solma noktasında tutulan su miktarı büyük oranda toprağın tekstürü ile ilişkili olsaydı, aynı tekstüre sahip olan farklı uygulamalar altında solma noktasında önemli bir farklılığın olmaması beklenirdi. Ancak elde edilen farklılık bu noktada da agregatların tutulan su miktarına etki ettiğini göstermektedir. Agregat stabilitesi daha düşük olan Gİ-2 uygulamasında solma noktasında da düşük miktarda su tutulması YSİ içeriğinin yüksek görünmesine yol açmıştır.

Çift yönlü varyans analizi sonuçlarına göre toprak işleme yöntemleri ve derinlik ile işleme x derinlik etkileşimi YSİ üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4).

3.1.5 Toprak İşleme ve Anız Yönetiminin Su Dolu Gözenek Hacmi İndikatörüne Etkileri

Su dolu gözenek hacmi indikatörü (SDGH), toprakta mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemleri sonucu ortaya çıkan N_2O miktarı üzerine etkili olduğu için toprak kalitesi indikatörü olarak seçilmiştir (Bateman ve Baggs, 2005). Toprak işleme uygulamaları SDGH üzerine 0-10 cm derinlikte $P<0.05$ önem düzeyinde etki ederken, 10-20 cm'de bu etki çok daha önemli hale gelmiş ($P<0.01$), ancak 20-30 cm derinlikte etkinin önemsiz hale geldiği ve işleme uygulamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz seviyeye indiği görülmektedir (Çizelge 4). Su dolu gözenek hacmi değerleri "optimum en iyidir" şeklindeki algoritma ile oluşturulan skorlama eğrisi kullanılarak normalize edilmiştir. Geleneksel işleme uygulamaları ile toprağın daha iyi havalanmaya sahip olduğu Gİ uygulamaları altında SDGH indikatör skorları, ATİ ve STİ uygulamalarına kıyasla önemli düzeyde yüksektir. 2015 yılına kadar 9 yıl boyunca STİ altında olan ve 2015 yılında sadece bir kez pullukla işlemenin yapıldığı SSTİ uygulamasında SDGH skorları STİ uygulamasına kıyasla daha yüksektir. Düşük SDGH skorları toprakta denitrifikasyonun etkili olduğu ve N_2O şeklinde azot kaybı olduğu işaret etmektedir. Bir kez pulluk ile işleme STİ uygulamasındaki bu olumsuzluğu nispeten düzeltmiş ve aerob mikroorganizmalar için daha uygun bir ortam yaratmış görünmektedir. SSTİ altındaki topraklarda yüzeyde SDGH skoru STİ'ye kıyasla %14.0 ve 10-20 cm derinlikte %17.6 daha yüksektir. Bununla birlikte 20-30 cm derinlikte SDGH skorları her iki uygulamada da 0.55 olarak hesaplanmıştır. Genel olarak SDGH skorları 0-10 cm derinlikte 0.55 (ATİ-2) ile 0.68 (Gİ-2) arasında

değişirken, 10-20 cm derinlikte 0.48 (ATİ-1) ile 0.62 (Gİ-1) ve 20-30 cm derinlikte ise 0.50 (ATİ-1 ve ATİ-2) ile 0.55 (STİ ve SSTİ) arasında değişmiştir (Çizelge 4).

Çift yönlü varyans analizi sonuçlarına göre toprak işleme yöntemleri ve derinlik ile işleme x derinlik etkileşimi SDGH üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4).

3.2. Toprak İşleme ve Anız Yönetiminin Fiziksel Toprak Kalitesine Etkileri

Toprak işleme yöntemlerinin toprağın fiziksel kalitesi (FTK) üzerine etkilerini gösteren ortalama FTK değerleri (\pm standart hata), varyans analizi sonuçları (ANOVA) ve homojenlik testi (DUNCAN) gruplamasına ait veriler Çizelge 5’de verilmiştir.

Toprak işleme uygulamalarının fiziksel toprak kalitesi üzerine etkileri her üç toprak derinliğinde de istatistiksel olarak ($P<0.01$) oldukça önemli bulunmuştur (Çizelge 5). Beklentilerin aksine korumalı toprak işleme yöntemleri olan ATİ ve STİ uygulaması altındaki toprakların fiziksel kalitesi Gİ altındaki topraklardan daha düşük olmuştur. Toprak işlemenin azaltılması veya terk edilmesi ile birlikte yüzey katmanında her ne kadar organik madde miktarı artış gösterse de ekim, bakım ve hasat dönemlerinde arazi yüzeyinde traktör tekeri ve alet ekipmanların yaptığı baskı penetrasyon direnci, hacim ağırlığı ve gözeneklilik gibi sıkışma göstergesi olabilecek özellikler üzerine olumsuz etki yapmıştır. Bu olumsuz etki, fiziksel toprak kalitesi indikatörlerinin skorlarının daha düşük olmasına ve nihayetinde fiziksel kalite skorlarının düşmesine yol açmıştır.

Fiziksel toprak kalitesi ilk 10 cm derinlikte %56.5 (STİ) ile %64.3 (ATİ-1) arasında değişmiş, 10-20 cm derinlikte ise %57.0 (ATİ-2) ile %68.9 (SSTİ) ve 20-30 cm derinlikte %52.2 (ATİ-2) ile %62.5 (Gİ-1) arasında değişmiştir (Çizelge 5). Yüzey altında 10-20 ve 20-30 cm derinliklerde en düşük skorların elde edildiği ATİ-2 uygulaması rotasyondaki birinci ve ikinci ürün öncesi toprak hazırlamada rototillerin kullanıldığı bir uygulamadır. Bu alet, işleme derinliği olan 13-15 cm’deki toprak agregatlarını çok küçültmekte/parçalamakta ve işleme derinliğinin altına ise oldukça büyük bir baskı uygulamaktadır. Fiziksel toprak kalitesi indikatörlerinden PD ve HA, toprağın fiziksel direncinin veya sıkışmasının bir ölçüsüdür ve topraktaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemleri etkileyebilirler. Bu dinamik toprak özellikleri amenajman değişimine çok hızlı tepki vermektedirler (Swanepoel ve ark., 2015). PD ve HA’nın düşük olan değerleri toprağın daha iyi fonksiyon gösterebileceğinin göstergesidir. Zira yüksek değerler sıkışmaya işaret ederler ve toprak sıkışması kök gelişimini sınırlandıran ve bitkiye su, oksijen ve çözünmüş besin elementlerinin tedarikini engelleyecek koşulların oluşumuna neden olacağından dolayı bitkisel üretim de olumsuz etkilenecektir.

Uzun süreli (11 yıl) yılda iki ürün üretimi yapılan toprağın yüksek kil içeriği nedeni ile işleme derinliği altında oldukça sert ve sıkışmış bir katmanın oluşumuna ve nihayetinde fiziksel kalite skorlarının düşük olmasına neden olmuştur (Çizelge 5). Ancak stratejik toprak işleme uygulamasının, STİ altında gerçekleşen sıkışıklığı gidermede önemli düzeyde etkin olduğu görülmektedir. SSTİ uygulaması altında oluşan fiziksel toprak kalitesi indeksi değerleri STİ ile kıyaslandığında 0-10 cm derinlikte %10.1, 10-20 cm derinlikte %18.6 ve 20-30 cm derinlikte ise %10.6 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 5).

4. Sonuç

Uzun süreli toprak işleme uygulamalarında (2006-2017), azaltılmış ve sıfır toprak işleme sistemlerinin toprağın sıkışmasına neden olduğu, ancak sıkışma düzeyinin bitkisel üretimi engelleyecek kadar yüksek olmadığı tespit edilmiştir. Korumalı uygulamalarda tespit edilen ancak bitkisel üretime zarar vermeyecek boyutta olan sıkışma, su dolu gözenek hacminde (SDGH) önemli miktarda artışa neden olmuştur. Her ne kadar sıkışma nedeni ile bitkisel üretimde önemli bir sorun beklenmese de, SDGH’deki artışın anaerob mikroorganizmaların faaliyetini arttırması ve azotun denitrifikasyonla kaybına yol açma riski olduğu unutulmamalıdır.

Korumalı toprak işleme uygulamaları altındaki topraklarda geleneksel uygulamalara kıyasla agregat dayanıklılığının daha iyi olması, aynı zamanda yarıyıllı su indikatörünün yüksek skoru, kurak dönemde bitkinin daha uzun süre toprak suyundan faydalanmasını sağlayacaktır. Bu durum, tamamen yağışa bağımlı olarak üretimi yapılan kışlık buğday için özellikle kurak dönemlerde bir avantaj olacaktır.

Çizelge 5. Toprak işleme yöntemlerinin fiziksel toprak kalitesine etkileri.

Table 5. The effects of soil tillage methods on physical soil quality

İşleme Yöntemi	Fiziksel Toprak Kalitesi	
	0-10 cm	Fiziksel Toprak Kalitesi (%)
Gİ-1	0.61 [#] ±0.01 [†] ab ^{&} ns	61.3±1.34 ab ns
Gİ-2	0.60±0.01 bc ns	60.1±1.42 bc ns
ATİ-1	0.64±0.01 a**	64.3±1.45 a**
ATİ-2	0.59±0.01 bc**	59.0±0.87 bc**
ASTİ	0.59±0.01 bc**	59.1±0.96 bc**
STİ	0.57±0.01 c*	56.5±1.19 c*
SSTİ	0.62±0.01 ab**	62.2±1.12 ab**
ANOVA	0.002	0.002
10-20 cm		
Gİ-1	0.66±0.02 b	65.6±1.59 b
Gİ-2	0.63±0.01 bc	63.0±1.32 bc
ATİ-1	0.60±0.01 cd	59.9±1.00 cd
ATİ-2	0.57±0.01 d	57.0±1.11 d
ASTİ	0.57±0.01 d	57.5±1.36 d
STİ	0.58±0.01 d	58.1±0.51 d
SSTİ	0.69±0.01 a	68.9±0.84 a
ANOVA	0.000	0.000
20-30 cm		
Gİ-1	0.63±0.01 a	62.5±0.92 a
Gİ-2	0.60±0.01 a	60.0±0.94 a
ATİ-1	0.65±0.01 b	55.4±0.90 b
ATİ-2	0.52±0.01 b	52.2±0.98 b
ASTİ	0.53±0.01 b	53.5±1.20 b
STİ	0.55±0.01 b	54.6±0.57 b
SSTİ	0.60±0.01 a	60.4±1.18 a
ANOVA	0.000	0.000
İşleme	0.000	0.000
Derinlik	0.000	0.000
İşl x Derin	0.000	0.000

Gİ-1: Anızlı Geleneksel İşleme, **Gİ-2:** Anızları Yakılmış Geleneksel İşleme, **ATİ-1:** Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış İşleme, **ATİ-2:** Rototillerli Azaltılmış Toprak İşleme, **ASTİ:** Ağır Diskli Tırmıklı Azaltılmış Sıfır Toprak İşleme, **STİ:** Doğrudan Ekimli Sıfır Toprak İşleme, **SSTİ:** Stratejik Sıfır Toprak İşleme, #: Üç parseldeki örneklerin ortalaması, †: Ortalamaların standart hatası, &: Aynı sütundaki ortalamalar arasındaki farklar ayrı harflerle gösterilmiştir (Duncan, $P \leq 0.05$). Duncan testinde derinliğe bağlı değişimler **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$ düzeylerinde önemli; ns: önemli değildir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Kurumunun TOVAG 1150353 nolu projesi kapsamında sağlanan maddi destek ile gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Acir, N., Günel, H., 2020. Soil quality of a cropland and adjacent natural grassland in an arid region. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 15 (2): 275-288. Doi.org/10.26471/cjees/2020/015/128
- Acir, N., Günel, H., Çelik, İ., Barut, Z. B., Budak, M., Kılıç, Ş., 2021. Effects of long-term conventional and conservational tillage systems on biochemical soil health indicators in the Mediterranean region. Archives of Agronomy and Soil Science, In press. doi.org/10.1080/03650340.2020.1855327
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Mitchell, J.P., 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, ecosystems & environment, 90(1):25-45. doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00174-8
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Cambardella, C.A., 2004. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal, 68(6):1945-1962. doi.org/10.2136/sssaj2004.1945
- Anonim, 2018. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Adana Meteoroloji İstasyonu.

- Bacher, M. G., Schmidt, O., Bondi, G., Creamer, R., Fenton, O., 2019. Comparison of Soil Physical Quality Indicators Using Direct and Indirect Data Inputs Derived from a Combination of In- Situ and Ex- Situ Methods. *Soil Science Society of America Journal* 83(1):5-17. doi.org/10.2136/sssaj2018.06.0218
- Bateman, E.J., Baggs, L., 2005. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space, *Biology and Fertility of Soils*, 41(6):379-388. doi.org/10.1007/s00374-005-0858-3
- 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. doi.org/10.1002/gea.3340050110
- Blanco-Canqui, H., Gantzer, C.J., Anderson, S.H., Alberts, E.E., 2004. Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf, *Soil Science Society of America Journal*, 68:567-576. doi.org/10.2136/sssaj2004.5670
- Budak, M., Günel, H., Çelik, I., Yildiz, H., Acir, N., Acar, M., 2018. Soil quality assessment of upper Tigris basin. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 13 (1):301-316. doi.org/10.26471/cjees/2018/013/026
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuiper, T., Mader, P., Pulleman, M., Sukkel, W., Willem van Groeningen, J., Brussaard, L., 2018. Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120:105-125. doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030
- Catania, P., Badalucco, L., Laudicina, V.A., Vallone, M., 2018. Effects of tilling methods on soil penetration resistance, organic carbon and water stable aggregates in a vineyard of semiarid Mediterranean environment, *Environmental Earth Sciences*, 77:348. doi.org/10.1007/s12665-018-7520-5
- Celik, I., Barut, Z.B., Ortas, I., Gok, M., Demirbas, A., Tulun, Y., Akpınar, C., 2011. Impacts of different tillage practices on some soil microbiological properties and crop yield under semi-arid Mediterranean conditions. *International Journal of Plant Production*, 5(3): 237-254.
- Çelik, İ. Acir, N. Karlen, D.L., Barut, Z.B., 2019. Çukurova Koşullarında Sürdürülebilir Toprak İşleme Yöntemlerinin Uzun Süreli Denemelerde Toprak Kalitesi Değerlendirmelerinin Kullanımı ile Belirlenmesi. TÜBİTAK TOVAG Proje, No: 115O353. S. 390.
- Çelik, İ., Günel, H., Acar, M., Acir, N., Barut, Z. B., & Budak, M., 2019. Strategic tillage may sustain the benefits of long-term no-till in a Vertisol under Mediterranean climate. *Soil and Tillage Research*, 185:17-28. doi.org/10.1016/j.still.2018.08.015
- Çelik, İ., Günel, H., Acar, M., Acir, N., Bereket Barut, Z., Budak, M., 2020. Evaluating the long- term effects of tillage systems on soil structural quality using visual assessment and classical methods. *Soil Use and Management*, 36(2):223-239. doi.org/10.1111/sum.12554
- Çelik, İ., 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. doi.org/10.1016/j.still. 2020.104892
- Cerdà, A., 1996. Soil aggregate stability in three Mediterranean environments. *Soil technology*, 9(3): 133-140. doi.org/10.1016/S0933-3630(96)00008-6
- Cherubin, M.R., Karlen, D.L., Franco, A.L.C., Tormena, C.A., Cerri, C.E.P., Davies, C.A., Cerri, C.C., 2016. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil, *Geoderma*, 267:156-68. doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.004
- Doran, J. W., 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2):119-127. doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00246-8
- Edrisi, S. A., Tripathi, V., Chaturvedi, R. K., Dubey, D. K., Patel, G., Abhilash, P.C., 2021. Saline Soil Reclamation Index as an efficient tool for assessing restoration progress of saline land. *Land Degradation & Development*, 32(1):123-138. doi.org/10.1002/ldr.3641
- Fine, A.K., van Es, H.M., Schindelbeck, R.R., 2017. Statistics, scoring functions and regional analysis of a comprehensive soil health database. *Soil Science Society of America Journal*, 81:589-601. doi.org/10.2136/sssaj2016.09.0286
- Hillel, D., 2004. *Introduction to environmental soil physics*, Elsevier Science, Oxford, UK.
- Huang, S., Sun, Y., Rui, W., Liu, W., Zhang, W., 2010. Long-term effect of no-tillage on soil organic carbon fractions in a continuous maize cropping system of northeast China, *Soil Sci. Soc. China*, 20 (3), 285-292. doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60016-1
- IUSS Working Group WRB., 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015*. International soil classification system for naming soil and creating legends for soil maps. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Karlen, D.L., Andrews, S.S., Wienhold, B.J., Zobeck, T.M., 2008. Soil quality assessment: past, present and future. *J. Integr. Biosci.* 6(1):3-14

- Kasper, M., Buchan, G.D., Mentler, A., Blum, W.E.H. 2009. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil and Tillage Research*, 105(2), 192-199. doi.org/10.1016/j.still.2009.08.002
- 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. doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c17
- Klute, A., 1986. Water Retention, Laboratory Methods. *Methods of Soil Analysis. Part I*. 2nd Ed. Agronomy 9. Am. Soc. Agron., 635-660, Madison.
- Lal, R., 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. I. Crop yield and soil physical properties, *Soil and Tillage Research*, 42:145–160. doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00006-8
- Lal, R., 2015. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7(5):5875-5895. doi.org/10.3390/su7055875
- Laudicina, V.A., Palazzolo, E., Catania, P., Vallone, M., García, A.D., Badalucco, L., 2016. Soil quality indicators as affected by shallow tillage in a vineyard grown in a semiarid Mediterranean environment, *Land Degradation and Development*, 28(3):1038-1046. doi.org/10.1002/ldr.2581
- Li, Y., Chang, S. X., Tian, L., Zhang, Q., 2018. Conservation agriculture practices increase soil microbial biomass carbon and nitrogen in agricultural soils: A global meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 121:50-58.
- 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. doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800060013x
- Moebius-Clune, B., Moebius-Clune, D., Gugino, B.K., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Ristow, A.J., Van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, H.A., McBride, M., Wolfe, D.W., Abawi, G.S. 2016. *Comprehensive assessment of soil health*. Cornell University, Geneva, NY. Available at <http://soilhealth.cals.cornell.edu/>
- Muñoz-Rojas, M., 2018. Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 47-52. doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007
- Saurabh, K., Rao, K. K., Mishra, J. S., Kumar, R., Poonia, S. P., Samal, S. K., ... & Malik, R. K., 2021. Influence of tillage based crop establishment and residue management practices on soil quality indices and yield sustainability in rice-wheat cropping system of Eastern Indo-Gangetic Plains. *Soil and Tillage Research*, 206, 104841. doi.org/10.1016/j.still.2020.104841
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S.M., Moraes, J.C., Albrecht, A., 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effects of no-tillage, *Agronomie*, 22, 755–775. doi.org/10.1051/agro:2002043
- Soil Survey Staff., 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Swanepoel, P.A., du Preez, C.C., Botha, P.R., Snyman, H.A., Habig, J., 2015. Assessment of tillage effects on soil quality of pastures in South Africa with indexing methods, *Soil Research*, 53(3), 274-285. doi.org/10.1071/SR14234
- Tilman D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 418:671–677. doi.org/10.1038/nature01014
- Tormena, C.A., Karlen, D.L., Logsdon, S., Cherubin, M.R., 2017. Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality, *Soil and Tillage Research*, 166:122-130. doi.org/10.1016/j.still.2016.09.015
- van Es, H.M., Karlen, D.L., 2019. Reanalysis validates soil health indicator sensitivity and correlation with long-term crop yields. *Soil Science Society of America Journal*, 83(3):721-732. doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0338
- Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P., Chocobar, A., Deckers, J., Sayre, K.D., 2010. Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems, *Advances in soil science: food security and soil quality*, CRC Press, Boca Raton, 137-208.