



Toprak Organik Maddesi, Biyolojik Çeşitlilik ve Tuzluluk Açısından Toprak İşlemenin Rolü

Esra Nur GÜL^{1*}, İrfan OĞUZ², Engin ÖZGÖZ³

^{1,3}Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 60100, Tokat

²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 60100, Tokat

¹<https://orcid.org/0000-0002-9865-1228>

²<https://orcid.org/0000-0002-1576-333X>

³<https://orcid.org/0000-0003-0615-9613>

*Sorumlu yazar: gulesranurl@gmail.com

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 11.02.2025

Kabul tarihi: 10.10.2025

Online Yayınlanma: 15.06.2026

Anahtar Kelimeler:

Sürdürülebilir tarım
Sürdürülebilir toprak işleme
Solucan
Tuzluluk

ÖZ

Uygun olmayan toprak işleme uygulamaları, organik madde kaybı, erozyon, toprak yapısının bozulması ve su tutma kapasitesinin azalması gibi süreçleri tetikleyerek toprak degradasyonunun başlıca nedenlerinden biri haline gelmektedir. Toprak bozulma süreçleri; sıkışma ve sert tabaka oluşumu, erozyon, asitleşme, organik madde içeriğinin azalması, toprak verimliliğinin düşmesi, toprak kirliliği ve biyolojik bozulma gibi fiziksel, kimyasal ve biyolojik unsurları kapsamaktadır. Organik madde, toprak fonksiyonlarının korunması ve toprak bozulmasının önlenmesi açısından kilit bir rol oynamaktadır. Sürdürülebilir toprak yönetimi, çevresel, ekonomik ve sosyal açılardan toprakların sürdürülebilirliğini sağlamayı hedefler. Bu yaklaşım hem mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılamayı hem de gelecek kuşaklara sağlıklı ve verimli toprak kaynakları bırakmayı amaçlar. Bu çalışmada; toprak organik madde içeriği, toprak biyolojik çeşitliliği ve tuzluluğunun toprak işleme ile ilişkisi ve etkileri anlatılmaktadır.

The Role of Tillage in Soil Organic Matter, Biodiversity and Salinity

Reviews

Article History:

Received: 11.02.2025

Accepted: 10.10.2025

Published online: 15.06.2026

Keywords:

Sustainable agriculture
Sustainable soil tillage
Earthworm
Salinity

ABSTRACT

Inappropriate soil tillage practices have become one of the main causes of soil degradation by triggering processes such as loss of organic matter, erosion, deterioration of soil structure and reduction of water holding capacity. Soil degradation processes include physical, chemical and biological factors such as compaction and hard layer formation, erosion, acidification, decrease in organic matter content, decrease in soil fertility, soil pollution and biological degradation. Organic matter plays a key role in maintaining soil functions and preventing soil degradation. Sustainable soil management aims to ensure the sustainability of soils in environmental, economic and social terms. This approach aims both to meet the needs of current generations and to leave healthy and productive soil resources for future generations. In this study; the relationship and effects of soil organic matter content, soil biodiversity and salinity with tillage are explained.

To Cite: Gül EN., Oğuz İ., Özgöz E. Toprak Organik Maddesi, Biyolojik Çeşitlilik ve Tuzluluk Açısından Toprak İşlemenin Rolü. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2026; 9(3): 1819-1842.

1. Giriş

Toprağın yenilenemeyen bir kaynak olduğunu biliyor muydunuz? Toprak, canlı yaşamın sürdürülebilirliği açısından hayati bir kaynak olmasına rağmen, oluşum sürecinin son derece yavaş olması nedeniyle yenilenemeyen bir doğal kaynak olarak değerlendirilmektedir. Bir santimetre

kalınlığında toprak tabakasının oluşumu, iklim ve çevresel koşullara bağlı olarak yüzlerce ila binlerce yıl alabilmektedir (Pimentel ve ark., 1995). Bu bağlamda, doğal süreçlerle oluşumu binyıllar sürebilen toprak, insan faaliyetleri sonucunda, kısa bir sürede geri dönülmez şekilde kaybedilebilmektedir. Lal (2003), toprak degradasyonunun yalnızca tarımsal verimlilik üzerindeki olumsuz etkileriyle sınırlı kalmadığını; aynı zamanda karbon döngüsü, su kalitesi ve biyolojik çeşitlilik gibi temel ekosistem hizmetlerini de tehdit ettiğini ifade etmektedir. Bu nedenlerle, toprağın korunması, yalnızca üretim odaklı değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği hedefleyen bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır.

Birkaç santim kalınlığında toprak tabakasının oluşumu yüzlerce yıl alabilirken; bu sayısal gerçek, sürdürülebilirlik bakımından konunun ne denli önemli olduğunu açıkça göstermektedir. İnsanların temel ihtiyaçlarını doğal çevreden karşıladığı göz önünde bulundurulursa konunun “*korumacı*” bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir. Bu bakış açısı, insanın doğaya yönelik tutumunda günümüz kuşaklarının en büyük sorumluluğu olarak ortaya çıkmaktadır. Böylelikle kendini yenileyebilen doğal ekosistemlerin varlığı hem bugünkü hem de gelecekteki kuşakların yaşamını güvence altına alacaktır (Çeker, 2016). Bu koruma odaklı yaklaşımlar sayesinde, koruyucu toprak işleme ve doğrudan ekim gibi yöntemler ön plana çıkmaktadır.

Koruyucu toprak işleme, çevresel zararları en aza indirmeye yönelik şekilde ilerlemektedir (Klik ve Rosner, 2020). Geleneksel toprak işleme ise genellikle toprak verimliliğini düşürür. Çünkü toprak organik maddesi gevşemiş toprakta hızla oksitlenir ve sonuç olarak şiddetli yağmur ve rüzgâr nedeniyle toprak erozyonunun meydana gelmesini kolaylaştırır (Gao ve ark., 2016; Peng ve ark., 2016). Bu senaryonun en iyi bilinen örneklerinden biri, 1930'larda Amerika Birleşik Devletleri'nin orta batısının geniş bir alanını harap eden trajik toz fırtınasının (Dust Bowl) yıkıcı etkileri, üreticileri ve bilim insanlarını toprağı sürdürülebilir bir şekilde nasıl yönetecekleri konusunda düşünmeye yöneltmesidir (Lal ve ark., 2007). Toprağın korunmasına yönelik olarak, toprak işlemenin minimize edildiği ve toprak yüzeyinin sürekli bitki örtüsü veya bitki kalıntılarıyla kaplanmasının hedeflendiği koruyucu toprak işleme sistemleri, başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere dünya genelinde yaygın şekilde uygulama alanı bulmuştur (Hobbs ve ark., 2008). Toprak işleme sisteminin yanlış seçilmesi ve uygulanması, toprak ve suyun muhafazasını zorlaştırmakta, organik madde miktarının düşmesine neden olmakta ve sonuç olarak toprak kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır.

Toprak kalitesinin temel indikatörlerinden biri de toprak faunasıdır. Solucanlar faydalı toprak faunasının çok önemli bir bölümünü oluşturur ve rolleri toprak verimliliği ve ekosistemin işleyişi için önemlidir (Darwin, 1840, Birkás, 2001; Kasza ve ark., 2015). Toprak işleme, solucanların varlığını, yaşam alanını ve aktivitesini iki şekilde etkiler. Doğrudan etki mekanik hasardan kaynaklanırken, dolaylı etki ise bitki artıklarının uzaklaştırılması sonucu organik madde eksikliği ve toprak erozyonu nedeniyle olmaktadır. Ayrıca, toprak örtüsünün eksikliğinden kaynaklanan daha az elverişli toprak nem koşullarının bir olumsuz etkisi de solucan yaşamı için elverişsiz ortam koşulu oluşturmasıdır (Balázs ve Szabolcs, 2023).

Ayrıca tarımsal mekanizasyon ve yoğun ve sürekli toprak işleme toprak bozulmasına, verimliliğin azalmasına ve toprak tuzluluğunun artmasına yol açmaktadır (Niu ve Wang, 2002).

Toprak işleme uygulamaları, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerinde doğrudan etkili olup, özellikle tuzluluk sorununun ortaya çıkışında ya da kontrolünde belirleyici bir rol oynamaktadır. Uygun olmayan toprak işleme yöntemleri, toprak yapısını bozarak tuzların yüzeye taşınmasına ve bitki gelişimini olumsuz etkileyen koşulların oluşmasına neden olabilir (Qadir ve ark., 2006). Aşırı ve derin toprak işleme, özellikle yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu alanlarda kapillar hareketi artırarak tuzun üst katmanlara taşınmasına zemin hazırlar (Rengasamy, 2002). Buna karşılık, azaltılmış toprak işleme ve doğrudan ekim gibi koruyucu yöntemler, yüzeyde organik madde birikimini artırarak buharlaşmayı azaltmakta ve tuz hareketini sınırlayarak tuzlulukla mücadelede önemli bir avantaj sağlamaktadır (Sayre ve Hobbs, 2004). Bu bağlamda, toprak işleme stratejilerinin, bölgesel iklim ve toprak özellikleri dikkate alınarak tuzlulukla mücadele hedefiyle planlanması gerekmektedir.

Toprak degradasyonu, çeşitli doğal süreçlerin bir sonucu olarak ortaya çıkan ve genellikle antropojenik bir bozulma ile hızlandırılan arazi üretkenliğindeki bir kayıp veya azalmayı ifade eder (Lal, 1993). En önemli nedenleri arazi kullanımı, iklim değişikliği, aşırı nüfus ve kentleşmedir. Arazi bozulması, toprak kalitesinde bir azalmaya ve canlı organizmaların gelecekteki hayatta kalma potansiyelinde azalmaya neden olur (Fitzpatrick, 2002). Toprak bozulma süreçleri; sıkışma ve sert tabaka oluşumu, erozyon, asitleşme, organik madde içeriğinin azalması, toprak verimliliğinin düşmesi, toprak kirliliği ve biyolojik bozulma gibi fiziksel, kimyasal ve biyolojik unsurları kapsamaktadır (Lal ve Stewart, 1990). Bu çalışmada; toprağın organik madde içeriğinin, biyolojik çeşitliliğinin ve tuzluluğunun toprak işleme üzerine olan etkileri anlatılmaktadır.

2. Toprak Organik Madde İçeriği

Organik madde, toprak fonksiyonlarının korunması ve toprak bozulmasının önlenmesi açısından kilit bir rol oynamaktadır (FAO, 2019). Toprak organik maddesinin, toprak amenajmanını büyük ölçüde etkilediği bilinmekte olup, bu nedenle toprak sağlığının ve kalitesinin temel göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Lal ve ark., 1995; Farquharson ve ark., 2003). Karmaşık bir yapıya sahip olan organik madde; ürün verimi, toprak verimliliği ve toprak sürdürülebilirliği üzerinde pozitif yönde etkilidir. Ayrıca, çevresel olumsuz etkileri en aza indirerek toprak kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunur (Lal ve ark., 1997; Reeves, 1997; Freixo ve ark., 2002; Farquharson ve ark., 2003).

Topraklar, dünya üzerindeki en büyük organik karbon havuzunu oluşturmaktadır. Karbon tutumu ile sera gazı emisyonu arasındaki değişimler aracılığıyla iklimin düzenlenmesinde ve iklim değişikliğinin neden olduğu etkilerin azaltılmasında önemli bir rol oynar (Follett, 2001; Sauerbeck, 2001; FAO, 2019). Toprak organik karbonu, küresel karbon döngüsünün çok önemli bir bileşenidir. Bu nedenle toprak organik karbonu, gelecekteki küresel iklimin kaderi üzerinde oldukça önemli bir etki yapacaktır (Govers ve ark., 2012). İklim değişikliği toprak sistemleri üzerinde farklı etkilere sahiptir, ancak toprak sistemlerinin karmaşık yapısı bu etkileri net bir şekilde yansıtamadığından, meydana gelebilecek olan

etkilerin neler olacağını doğru bir şekilde tahmin etmek çok zordur (Navarro-Pedreño ve ark., 2021). Organik madde ayrışmasının modellenmesindeki en büyük zorluk, çeşitli moleküllerin sıcaklığa ve diğer küresel değişim faktörlerine nasıl tepki verdiğinin yeterince anlaşılabilmesidir (Kothawala ve ark., 2021). Toprak sağlığını büyük ölçüde topraktaki organik madde üzerindeki etkileri aracılığıyla iyileştiren yönetim uygulamaları: (1) özellikle yüksek bitki kalıntısı bırakan ürün rotasyonları, (2) azaltılmış toprak işleme uygulamaları, (3) örtü bitkilerinin yaygın ve yoğun kullanımı ve (4) çeşitli organik katkı maddelerinin uygulanması yönetimi olarak önerilmiştir (Magdoff ve Weil, 2004).

Toprak organik karbonu, bitki ve hayvan artıklarının yanı sıra çürümenin farklı aşamalarını içeren toprak organik madde bileşenlerinden biri olarak, toprakta depolanan karbon miktarı şeklinde tanımlanabilir. Organik karbon, temel olarak bitki ve hayvan kalıntılarının, ölü ve yaşayan mikroorganizmaların ve toprak biyotasının ayrışması sonucu toprağa katılır (Oruç ve Sağlam, 1972; Anonim, 2025) (Şekil 1).

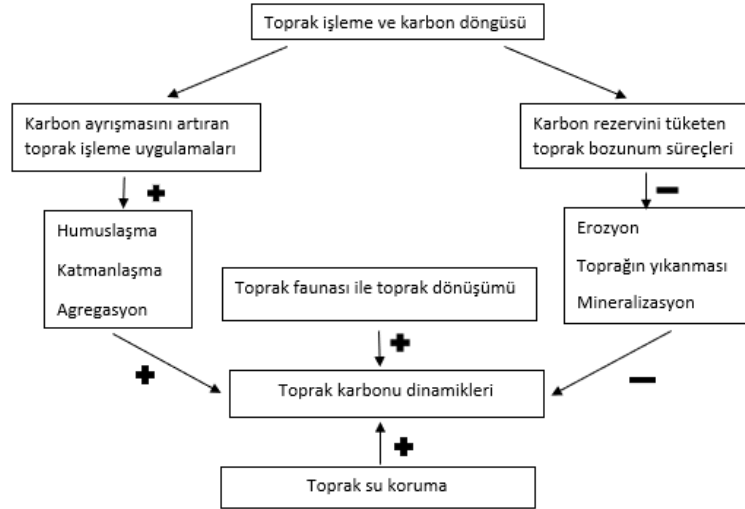


Şekil 1. Toprak organik madde kaynakları (Anonim, 2025)

Türkiye topraklarının önemli bir kısmındaki organik madde içeriği, tarımsal üretimde yüksek verim elde edilmesini engelleyecek seviyededir. Ülkemiz topraklarının %75,6'sı organik madde açısından son derece yetersiz ve eksik durumdadır (Tamer ve ark., 2016). İklim değişikliği ve toprak bozulmasının olumsuz etkilerinin en şiddetli gözlemlenebildiği kuru tarım alanları için farklı amenajman uygulamaları geliştirilmesi oldukça önemlidir. Ülkemizdeki kuru tarım alanları, genellikle sulu tarım alanlarına kıyasla daha eğimli alanlardan meydana gelmektedir. Erozyona açık olan bu alanlarda, CO₂ (karbondioksit) salınımını azaltmaya yönelik üretim tekniklerinin belirlenmesi, sürdürülebilir çevre ve gıda güvenliği arayışlarında önemli bir adım olacaktır. Bu alanlar, erozyona yatkın toprak ve topografik yapıları nedeniyle, karbon yoğunluğunun erozyon derecesine ters orantılı olarak azaldığı problemliler arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalar, erozyona uğramış toprakların, erozyona uğramamış topraklara kıyasla daha düşük karbon yoğunluğuna sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Başaran, 2004; Sezer, 2014). Topraklardaki karbon içeriğinin artması ise toprak verimliliğinin, erozyona karşı dayanıklılığını yükseltecek ve erozyon nedeniyle tarımsal verimliliğini kaybetmiş toprakların yeniden iyileşmesini sağlayacaktır.

Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun yükselmesi, fotosentezin ve bitkisel üretimin artacağına işaret etmektedir. Ancak, yüksek atmosferik CO₂ seviyelerinin neden olduğu küresel ısınma, topraktaki organik maddelerin daha hızlı parçalanmasına yol açarak uzun süreçte bitkisel üretime negatif yönlü bir etki yapacaktır. Organik karbonun toprakta depolanması, toprak verimliliğini artırdığından, üretimde sürdürülebilirlik yönünde büyük bir öneme sahiptir (Bauer ve Black, 1994). Topraktaki karbon içeriğinin yükselmesinin çok yönlü faydası, yıllardır geleneksel yöntemler kullanılarak yapılan faaliyetlerin yeniden değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Optimum tarımsal amenajman yöntemleri, minimum toprak işleme veya doğrudan ekim, münavebe uygulamaları ve organik atıkların (hayvansal ve bitkisel) kullanımıyla topraktaki organik karbonun yükselmesine katkı sağlayarak, atmosferdeki yüksek CO₂ seviyesinin yeniden dengelenmesini mümkün kılacaktır (Sampson ve Scholes, 2000).

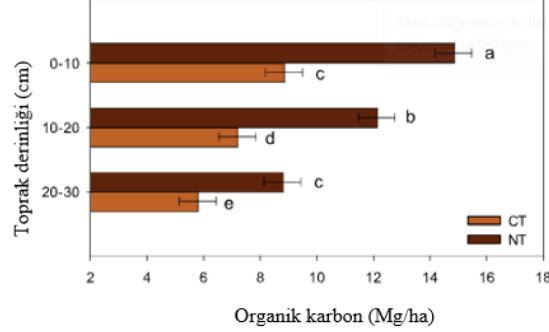
Çeşitli toprak işleme yöntemlerinin, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkileri yürütülen birçok çalışmayla kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Bu tür uygulamaların toprak organik içeriği ve bileşimi üzerindeki etkilerine büyük önem verilmiştir (Şekil 2). Azaltılmış ve koruyucu toprak işleme uygulamaları, toprak biyotasının ana kaynağı olan yüzeysel katmandaki toprak organik maddesi içeriğini artırır (Javurek ve ark., 2003; 2005). Geleneksel toprak işlemeye kıyasla, sıfır toprak işleme yapılan arazilerde, daha fazla canlı çeşitliliği bulunmuştur (Kladivko, 2001). Toprak organik maddesi miktarı, çoğunlukla üst topraktaki toplam organik karbon veya azot içeriği ile belirlenir (Kuba't ve ark., 2006). Toprak işleme de genel olarak üst toprağı etkilediği için toprak organik maddesi yanlış amenajman uygulamalarının tehlikesi altındadır.



Şekil 2. Toprak işlemenin karbon dinamiğine etkisi (Lal ve Kimble, 1997)

İşlenebilir topraklar, sürdürülebilir olmayan toprak işleme yöntemleri nedeniyle önemli tehdit altındadır. ABD topraklarının tarım yapılmadan önce içerdikleri toprak organik maddesinin %30 ila %50'sini tarım uygulamaları ile kaybettiği tahmin edilmektedir (Kucharik, 2001). Doğrudan ekim gibi karbon kaybını minimize eden uygulamalar, topraktaki organik karbonun artmasına yardımcı olur (Şekil 3). Organik

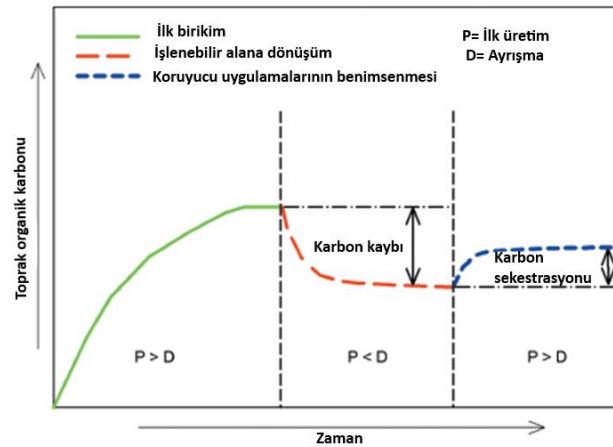
toprak düzenleyicilerin başlıca kaynaklarının çiftlik gübresi ve kompost olduğunu vurgulamış; ayrıca organik madde miktarının artırılmasının, özellikle tınlı topraklarda kabuk oluşumu ve erozyon gibi fiziksel bozulmaların önlenmesinde önemli bir rol oynayabileceğini ifade etmişlerdir (Le Villio ve ark., 2004).



Şekil 3. Geleneksel toprak işleme ve doğrudan ekim uygulamalarında organik karbon miktarının derinlik ile değişimi (Amorim ve ark., 2024)

(CT: Geleneksel toprak işleme, NT: Doğrudan ekim)

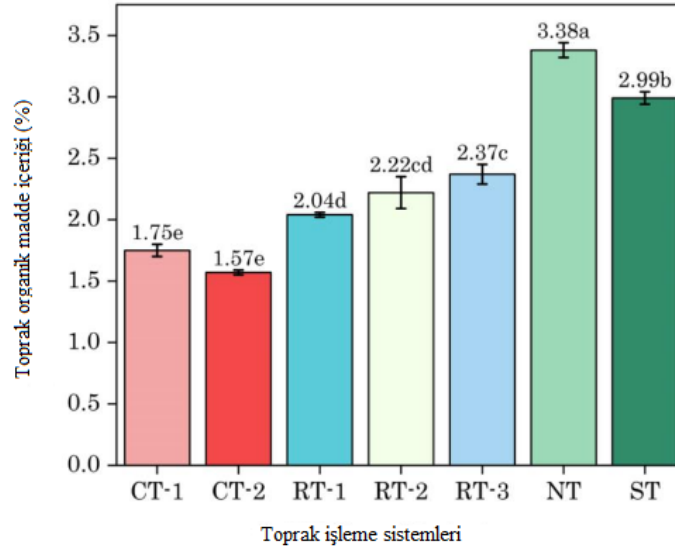
Yoğun toprak işleme sistemleri, organik karbonun birikmesine izin veren doğal veya kalıcı bitki örtüsüne kıyasla toprak organik maddesinin bozulmasını hızlandırır (Şekil 4). Bununla birlikte; modern tarımla birlikte temiz (yüzeyde anız bırakmayan) toprak işleme sistemlerinin uygulanmaya başlanmasıyla, doğal bitki örtüsü olan alanlar tarım arazisine dönüşmüş ve toprak organik maddesinde çarpıcı bir düşüş olmuştur. Bu nedenle, düşük yoğunluklu toprak işleme sistemlerinin tercih edilmesi, toprak organik maddesi üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmek açısından önemli bir unsurdur. Ayrıca, bitki anızları toprağa karıştırılarak hızlı organik madde ayrışması için ideal bir ortam oluşturulur. Koruyucu toprak işleme sistemleri, geleneksel toprak işleme sistemlerine kıyasla organik madde oksidasyon oranını azaltır, mikrobiyal aktiviteyi dengeler ve kök biyokütlesinin ve toprak altı organik maddenin ayrışmasını yavaşlatır. Toprak yüzeyinde kalan anız çürümeyi yavaşlatır, böylece anız, karbon girdisini en üst düzeye çıkarır. Çeşitli çalışmalarda toprak işlemenin toprak organik maddesini yılda 1 ton/da kadar arttırabileceği gösterilmiştir (Al-Kaisi ve Yin, 2005).



Şekil 4. Toprak işleme-toprak organik karbon ilişkisi (Al-Kaisi ve Licht, 2005)

Lopez-Fanda ve Pardo (2009), İspanya’da yarı kurak bölgede çizelle minimum toprak işleme (MT), pulluk ile geleneksel toprak işleme (CT), direkt ekim (no-till) ve parabolik pullukla (paraplow) 0-30 cm derinlikte toprak işleme (ZT) sistemlerinin azot miktarı, besin maddesi birikimi ve toprak organik karbonu üzerindeki etkilerini incelemiştir. Beş yıllık sürecin sonunda, 0-30 cm derinlikte topraktaki organik karbon miktarı ve toplam azot miktarının direkt ekim ve ZT sistemlerinde MT ve CT sistemlerine kıyasla sırasıyla 6,2 ton/ha ve 7,0 ton/ha arttığı tespit edilmiştir.

Gencer ve ark. (2024), uzun vadeli toprak işleme tekniklerinin toprak organik madde içeriği üzerindeki etkilerinin 14 yıl sonra istatistiksel olarak anlamlı ($P \leq 0,001$) olduğunu belirtmişlerdir. Toprakların organik madde içeriğinin %1,57 ile %3,38 arasında değiştiğini, en yüksek değer doğrudan ekim yapılan sıfır toprak işleme uygulamasından elde edildiğini, en düşük değer ise anızı yakılmış geleneksel toprak işleme uygulamasında elde edildiğini bildirmişlerdir (Şekil 5).



Şekil 5. Uzun süreli farklı toprak işleme uygulamalarının toprak organik madde içeriğine (%) etkisi (Gencer ve ark., 2024)

(CT-1: Anızlı geleneksel toprak işleme, CT-2: Anızı yakılmış geleneksel işleme, RT-1: Ağır diskli tırmıklı azaltılmış toprak işleme, RT-2: Rototillerli azaltılmış toprak işleme, RT-3: Ağır diskli tırmıklı azaltılmış ve sıfır toprak işleme kombinasyonu, NT: Doğrudan ekimli sıfır toprak işleme, ST: Stratejik sıfır toprak işleme)

Toprak işlemez tarımın toprak organik maddesine katkısı, yüzey kalıntısı ve daha az toprak bozulması ile sınırlı değildir. Aynı zamanda kök biyokütlesi, mikrobiyal çeşitlilik ve solucan popülasyonunda da artış sağlar. Koruyucu toprak işleme yöntemleri, ekim ve toprak işleme sisteminin tipine ve stabilite derecesine bağlı olarak toprak organik madde durumu üzerindeki etki düzeylerinde farklılık gösterir (Al-Kaisi ve Licht, 2005).

Şimon ve ark. (2009) toprak işleme sistemlerinin toprak organik maddesi ve toprak hidrofobikliğine etkisi üzerine çalışmışlar ve toprak işleme uygulamaları arasında önemli farklılıklar bulmuşlardır. Toprak işlemez tarım ve malç ile kombine edilmiş toprak işlemez tarımda organik karbon içeriği

önemli ölçüde artmıştır. Organik karbon içeriği, tüm konularda örnekleme derinliği ile azalmış, ancak geleneksel yöntemle işleme konusundaki azalma (%3,5), koruyucu toprak işleme uygulanan konudaki azalmadan yaklaşık %8-10 oranında daha düşük olmuştur. Toprak organik maddesi, bitki anızlarının yüzeyde kaldığı koruyucu toprak işleme sisteminin üst toprak horizonlarında, anızın profile dağıtıldığı geleneksel toprak işleme yöntemine göre daha fazla birikmiştir (Šimon ve ark., 2009).

Geleneksel yoğun toprak işleme yöntemleri, toprakta bulunan organik maddenin hızlı bir şekilde parçalanmasına ve bunun sonucunda topraktan uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu da toprak strüktürünün bozulmasına yol açmaktadır. Buna karşılık, koruyucu toprak işleme sistemleri toprağın minimum düzeyde işlenmesini ve yüzeyin kapalı tutulmasını esas alarak organik maddenin toprakta birikmesini teşvik eder. Karbonun toprakta tutulmasına, erozyonun azaltılmasına ve biyolojik aktivitenin korunmasına katkıda bulunur. Dolayısıyla, koruyucu toprak işleme uygulamaları, organik madde içeriğini korumanın ve arttırmanın yanı sıra sürdürülebilir toprak yönetiminin önemli bir parçası olarak değerlendirilmelidir.

3. Toprak Biyolojik Çeşitliliği

Dünya genelinde, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalite ölçütlerini iyileştirmek ve bitkisel üretimde sürdürülebilirliği esas alan üretim anlayışını yaygınlaştırmak amacıyla birçok araştırma yürütülmektedir. Özellikle, toprakların biyolojik kalite ölçütleri üzerinde doğrudan etkili olan mikrobiyal aktivitenin toprak işleme sistemleriyle nasıl değiştiğini belirlemeye yönelik çalışmalar, birim alandan optimum verim elde etmeyi hedefleyen tarımsal sürdürülebilirlik yönünden büyük önem taşımaktadır (Kirchner ve ark., 1993). Günümüzde, pulluk kullanmaya dayalı geleneksel toprak işlemenin toprağın mikrobiyal aktivitesini negatif yönde etkilediğini gösteren birçok çalışma (Reicosky ve Lindstrom, 1993; Beare ve ark., 1994; Roscoe ve Burman, 2003) mevcuttur. Bu çalışmaların büyük bir kısmında, bitkisel üretimde toprakların mikrobiyal aktivitesini doğrudan etkileyen belirli mikroorganizma gruplarının, kısa ve uzun vadede toprak işleme sistemlerinden nasıl etkilendiği de ele alınmıştır.

Toprak organizmaları, topraktaki hayvansal ve bitkisel kökenli artıkların ayrışmasını, biyokimyasal döngülerin devamlılığını ve toprak yapısının oluşumunu kontrol ederek toprak kalitesinin iyileşmesine katkıda bulunmaktadır (Şekil 6). Toprak organizmaları, makro ve mikro olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Mikroorganizmalar; toprak agregasyonu, azot döngüsü, bitki hastalıkları ve bitki büyümesinde kritik bir öneme sahiptir (Buckley ve Schmidt, 2001). Toprak mikroorganizmaları, toprak organik maddesinin sadece %1-8'ini oluşturmasına rağmen, biotransformasyon sürecindeki rolleri nedeniyle toprak verimliliğinde önemli bir etkisi vardır (Newsham ve ark., 1995). Doğrudan ekim sisteminin uygulandığı alanlarda, toprağa anızın karıştırılmaması sebebiyle özellikle alt toprak derinliklerinde N ve C miktarında azalmalar gözlenmektedir (Carter, 1991; Castro ve ark., 1991). Ancak, doğrudan ekim sisteminin uzun süre uygulandığı alanlarda, geleneksel toprak işleme sistemine kıyasla üst toprakta daha fazla N ve C birikimi olduğu tespit edilmiştir (Bauer ve Black, 1981; Dick, 1983).



Şekil 6. Solucan kanalları yardımı ile bitki köklerinin daha derine penetre olması (FIBL, 2004)

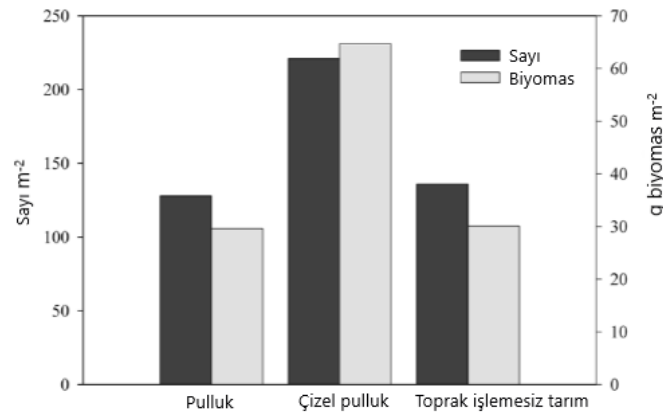
Toprağın alt üst edilmemesi ile toprak üstünde kalan bitki artıkları zamanla yüzeyde bir malç tabakası oluşturur. Bu tabaka, toprağı yağmur ve rüzgâr gibi fiziksel etkenlerden korurken, yüzeydeki sıcaklığın ve nemin sürekliliğini sağlar. Aynı zamanda, toprak organizmaları ve mikroorganizmalar için uygun bir yaşam alanı sunar. Mikroorganizmalar, malçla etkileşime geçerek onu toprakla karıştırır, çürütmesini hızlandırır ve humusa dönüşmesini sağlar (Sungur ve ark., 1994). Bunun yanı sıra topraktaki organik madde, su ve besin maddeleri için tampon işlevi görür. Daha büyük toprak faunası üyeleri ise toprağın doğal yapısını korurken, derinlere doğru açtıkları tünellerle yoğun yağışlarda suyun toprak tarafından emilimini artırır. Toprakta yaşayan bu organizmaların toprağı yaptığı bu etkiler "biyolojik işleme" olarak adlandırılır (İşler ve Kılınç, 2016).

Solucanlar, toprak strüktür stabilitesini ve toprak gözenekliliğini iyileştirir ve yüzey akışı azaltır. Ayrıca, solucanlar topraktaki besin döngüsünü ve organik maddeyi değiştirir. Agregatlar içindeki fiziksel yapıyı değiştirerek ve mikrobiyal aktiviteyi artırarak organik maddenin mineralleşmesini kısa vadede artırırlar. Doğrudan ekim, solucan varlığını ve tür çeşitliliğini artırır, ancak azaltılmış toprak işlemenin faydalı etkisi mevcut türlere ve toprak işleme yoğunluğuna bağlıdır. Organik katkılar, solucan varlığını artırır (Bertrand ve ark., 2015) (Şekil 7).



Şekil 7. Topraktaki solucan varlığı

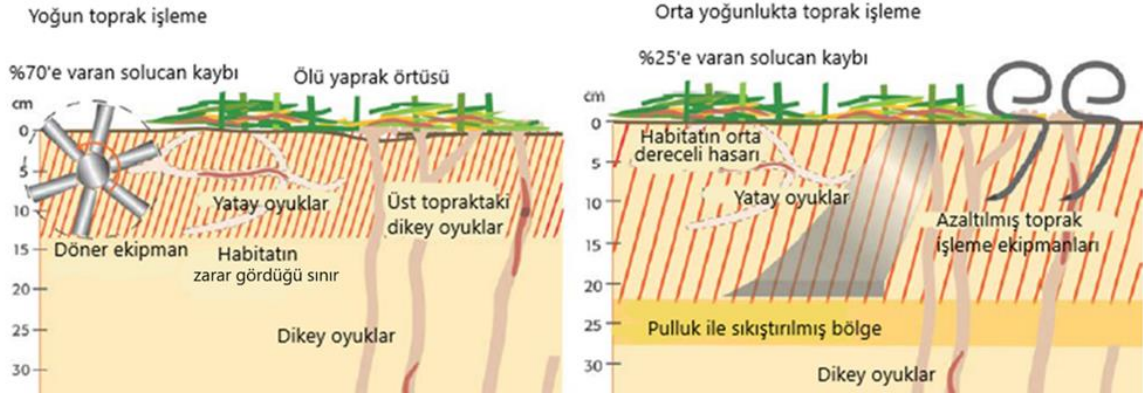
Kültürel uygulamaların solucanları etkilediği yaygın olarak bilinmektedir (Lee, 1985; Edwards ve Bohlen, 1996; Chan, 2001; Roger-Estrade ve ark., 2010). Birçok çalışma, solucan varlığının ve çeşitliliğinin tarım arazilerinde işlenmemiş topraklara kıyasla azaldığını göstermiştir (Edwards ve Bohlen 1996; Peigne ve ark. 2009). Ayrıca, solucanlar kalıcı meralarda işlenmiş agro-ekosistemlerde olduğundan daha fazladır (Low, 1972). Toprak işlemenin solucan nüfus dinamiklerini etkilediği iyi bilinmektedir. Çalışma derinliği, parçalama yöntemi ve çalışma sıklığı kombinasyonu olarak tanımlanabilen toprak işleme yoğunluğu, solucan popülasyonunun çeşitliliği ve büyüklüğü üzerinde önemli bir etkisi vardır. Solucanlar çeşitli mekanizmalar yoluyla toprak işlemeden etkilenir (Chan, 2001; Curry, 2004; Roger-Estrade ve ark., 2010). Ulrich ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada en yüksek yetişkin birey sayısını çizel pulluk ile yapılan toprak işleme yönteminde gözlemlemişlerdir (Şekil 8).



Şekil 8. Solucanların sayısı ve biyokütlesi (Ulrich ve ark., 2006)

Solucan varlığı üzerine, toprak işleme aletleri veya toprak işleme sırasında taşınan toprak parçaları ile temas nedeniyle solucanlarda fiziksel olarak yaralanmalar veya ölüme neden olan mekanik hasarlar oluşur (Gerard ve Hay, 1979). Boström (1995), toprak frezesi tarafından işlenen toprak tabakasında bulunan solucan biyokütlesinin %61 ile 68'inin makinanın mekanik etkisi ile öldürüldüğünü tahmin

etmiştir. Pullukla toprağın alt üst edilmesi, solucanları toprak yüzeyine çıkarır ve yırtıcılara yem olmalarına neden olur (Cuendet, 1983; Tomlin ve Miller, 1988). Geleneksel toprak işleme (pullukla sürüm ve ikincil toprak işleme operasyonları), solucan yuvalarını yok eder, anızın toprağa karıştırılması nedeniyle organik madde kullanılabilirliğini azaltır (Lee, 1985; Nuutinen, 1992; Briones ve Bol, 2003), sıcaklık, nem ve toprak yapısı gibi toprak fiziksel koşullarını değiştirir (Birkas ve ark., 2004; Rosas-Medina ve ark., 2010) (Şekil 9).



Şekil 9. Farklı toprak işleme yoğunluklarının solucan üzerine etkisi (FIBL, 2014)

Toprak organizmaları üzerindeki toprak işlemenin olumsuz etkileri; doğrudan bir organizmanın bütünlüğünün bozulması yoluyla ya da dolaylı olarak organizmaları zararlı koşullara maruz bırakarak, organik maddenin topraktaki dağılımını değiştirerek ya da toprak nemini, sıcaklığını, havalanmayı ya da sıkışmayı değiştirerek olabilir (Faber ve ark., 2017).

Nemli topraklar işlendiğinde oluşabilecek toprak sıkışmasının, solucan toplulukları üzerinde zararlı bir etkisi vardır. Sıkışmış bölgelerden solucanlar uzaklaşır ve makine tarafından ezilme ihtimali artar (Cluzeau ve ark., 1992; Larink ve Schrader, 2000; Capowiez ve ark., 2009). Toprak ne kadar az bozulursa, toprak işleme solucanlar için o kadar az zararlı olur. Yani, yüzeysel toprak işleme solucanlara, diğer uygulamalardan daha az zarar vermektedir. Toprak işleme genellikle solucanlara zarar verse bile, tarımsal sistemlerde derecesi farklılık gösterir. Örneğin, 5 yıl süren pullukla işlemeden sonra, solucan biyokütlesinde yaklaşık %70 ve solucan sayısında %80 azalma olmuştur (Chan, 2001). Bu nedenle, solucan çeşitliliğini ve varlığını korumak veya geliştirmek isteyen çiftçiler toprak işleme sistemini dikkatlice seçmelidir. Doğrudan ekim, solucanlar için dost toprak işleme uygulamasıdır (Peigné ve ark., 2007).

Geleneksel yoğun toprak işleme yöntemleri, canlıların yaşam alanlarını bozarak popülasyonlarda azalmaya ve biyolojik dengenin bozulmasına neden olur. Oysa toprağın yapısını daha az bozan ve yüzey örtüsünü koruyan koruyucu toprak işleme sistemleri sayesinde toprak nemi korunur, sıcaklık dalgalanmaları azalır ve organik madde içeriği yüksek düzeyde kalır, bu durum ise toprak organizmalarının daha istikrarlı şekilde gelişmesine imkan sağlar. Sonuç olarak, koruyucu toprak işleme

sistemleri, yalnızca fiziksel ve kimyasal toprak kalitesine değil, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesine de doğrudan katkı sağlar.

4. Tuzluluk

Ağca (1999) tuzluluğu; “Kurak ve yarı kurak bölgelerde, özellikle sıcak ve kurak olan dönemlerde, tuzlu taban sularının kılcal yükselme ile toprak yüzeyine kadar ulaşarak, burada yüksek evaporasyon nedeni ile toprak yüzeyinden kaybolması ve tuzların toprak yüzeyinde veya yüzeye yakın kesimlerde birikmesiyle oluşmaktadır.” olarak tanımlamıştır. Toprak çözeltisinde yer alan temel katyonlar (Na, Ca, Mg ve K) ile anyonlar (Cl, SO₄, HCO₃, CO₃ ve NO₃), tuzluluğun oluşumunda başlıca iyon gruplarını oluşturmaktadır (Deliboran ve Savran, 2015). U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) tarafından tuzlu ve alkali topraklar aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Tuzlu ve alkali toprakların sınıflandırılması (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)

	ECe	ESP	pH
Tuzlu topraklar	>4 mSc/m	<15 %	<8,5
Tuzlu alkali topraklar	>4 mSc/m	>15 %	<8,5
Tuzsuz alkali topraklar	<4 mSc/m	>15 %	>8,5

Tarım topraklarında tuzluluk problemi; sulama, drenaj, yanlış amenajman uygulamaları, toprak özellikleri ve iklim gibi etmenlerden kaynaklanmaktadır. FAO'ya göre, sulanabilir alanların takriben yarısı, “*sessiz düşman*” olarak adlandırılan alkalilik, yüzeyde göllenme ve tuzluluk gibi sorunlarla karşı karşıyadır (Kanber ve ark., 2005). Tuzluluk nedeniyle tarımsal üretimin azalması veya verim kaybının temel nedeni, bitkilerin sürekli artan tuz seviyelerine uyum sağlayamamasıdır (Kanber ve ark., 1992). Dünyada topraklarının takriben %46'sı yarı kurak ve kurak iklim bölgelerinde bulunmaktadır. Bu bölgelerde sulanabilir tarım arazilerinin yaklaşık %50'sinde çeşitli derecelerde tuzluluk sorunu gözlemlenmektedir. Dünya Toprak Haritası'na göre dünya çapında 954 milyon hektar alan tuzdan etkilenerek tarımsal verimliliği sınırlanmış durumdadır (FAO, 1988; Szabolcs, 1991). Her yıl, dünya genelinde 10 milyon hektar alan tuzluluk sorunu yüzünden kullanılamaz hale gelmektedir (Akgül, 2003). Ülkemizin bulunduğu kurak ve sıcak iklim koşulları, çoraklığın ve tuzluluğun oluşumu için uygun bir ortam hazırlamaktadır. Düşük yağış nedeniyle eriyen tuzlar, akışsız nem koşullarında denizlere kadar drene olamamakta, ancak yüksek sıcaklığın etkisiyle bitkilerin aktif olarak kullandığı toprak derinliklerinde çökelmekte ya da toprağın yüzeyinde birikerek gözle izlenebilecek beyaz benekler veya tuz tabakalarını oluşturmaktadır. Toprakta tuz birikimi sonucunda ortaya çıkan yüksek sodyum (Na⁺) düzeyi, toprak yapısını olumsuz etkileyerek hidrolik özelliklerin bozulmasına, pH değerinin yükselmesine ve suyun sızma ile havalanma kapasitesinin azalmasına yol açmakta; bu durum ise toprağın sıkışmasına, erozyonun artmasına ve yüzey akışının şiddetlenmesine neden olmaktadır (Ondrasek ve ark., 2010).

Türkiye’de çorak toprakların işlenen alan miktarına göre dağılımı, Tablo 2’de detaylı olarak sunulmuştur (Sönmez, 2004). Çorak araziler, Türkiye’nin yüzölçümünün %2’sini, toplam işlenen tarım alanlarının %5,48’ini ve ekonomik olarak sulanabilir 8,5 milyon hektarlık alanın %17’sini kapsamaktadır (Tablo 2). Tablo 2’de görüldüğü üzere, toplam çorak arazilerin %0,5’i alkali, %25,5’i tuzlu-alkali ve %74,2’si tuzlu topraklardan meydana gelmektedir.

Tablo 2. Türkiye’de sorunlu toprakların dağılımı (Sönmez, 2004)

Sorunun niteliği	Alan (ha)	Sorunlu alanlara göre %
Hafif tuzlu	614617	41,0
Tuzlu	505603	33,0
Alkali	8641	0,5
Hafif tuzlu-alkali	125863	8,0
Tuzlu-alkali	264958	17,5
Toplam	1518722	100,0

Çözünebilen tuzlar, bitkilerce kolaylıkla alınabilmektedir. Ancak bitki bünyesine alınan tuz bileşiklerinin türü ve miktarı belirli bir seviyeyi aştığında, bu durum bitkiye zarar vermektedir. Tuz bileşikleri, bitkilerin beslenme ve metabolizma süreçlerini bozarak toksik etkiler oluşturur. Bunun yanı sıra, topraktaki tuz konsantrasyonunun artışı, bitkinin topraktan suyu alımını zorlaştırırken toprağın struktürünü bozarak hem bitki büyümesini yavaşlatır hem de tamamen durdurabilir (Kanber ve ark., 1992; Güngör ve Erözel, 1994) (Şekil 10). Ayrıca tuzluluğun bitki büyümesini ve gelişimini olumsuz yönde etkilediğini, tohum çimlenmesini, filiz büyümesini, enzim aktivitesini (Seckin ve ark., 2009), DNA, RNA, protein sentezini ve mitozu olumsuz etkilediğini göstermektedir (Tabur ve Demir, 2010; Javid ve ark., 2011).

Sulama suyunun bitki gelişimi üzerine birinci etkileri, bitki öz suyunda yüksek ozmotik koşulların oluşması veya suda fitotoksik (bitkiler için zararlı) bileşiklerin bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bitkiler genellikle çimlenme ve fide dönemlerinde, olgunlaşma evresine kıyasla erimiş bileşikler, yani tuzlardan daha fazla zarar görmektedir. Bu etkiler; bitkide meyve gelişiminin azalması, pazar kalite değerinin bozulması, vejetatif büyümenin durması ya da bunların kombinasyonu şeklinde ortaya çıkmaktadır. Sulama suyunun bitki gelişimine olan ikinci etkisi ise dolaylı olup, sulama suyunun toprağa etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Örneğin, sulama suyunun içerdiği sodyum, toprak kolloidleri tarafından adsorbe edilir ve kil fraksiyonunun dispersiyonuna yol açar. Kil fraksiyonunun dispersiyonu ise toprağın permeabilitesinin düşmesine ve toprak yüzeyinde kabuk tabakası oluşumuna yol açmaktadır (Kurunç, 2020).



Şekil 10. Tipik bir tuzlu toprak strüktürü (Birkas, 2014)

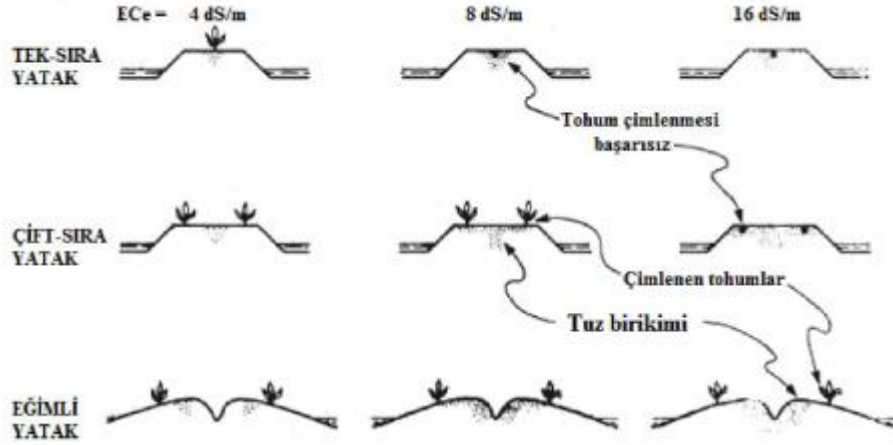
Sulama sularındaki toplam tuz miktarı, ölçüm kolaylığı açısından genellikle elektriksel iletkenlik cinsinden ifade edilir. Bir çözeltinin elektrik iletkenliği ile çözeltideki toplam tuz konsantrasyonu arasında ilişki lineerdir (Esechie, 1994). Suyun evapotranspirasyon yoluyla buharlaşması sonucunda, toprağın elektriksel iletkenlik değeri, kullanılan sulama suyunun elektriksel iletkenlik değerinden 2 ila 10 kat daha yüksektir. Bu nedenle, drenaj sistemi mevcut olsa bile, toplam tuz konsantrasyonu yüksek veya orta olan sulama sularının kullanımı topraklarda tuzluluğa yol açabilir (Ayyıldız, 1990; Munsuz ve Ünver, 1995) (Tablo 3).

Tablo 3. Bazı bitkilerde verim azalmasına neden olan kritik EC değerleri (Maas ve Hoffman, 1977'den uyarlanmıştır.)

Bitki	Verim Azalışındaki Tuzluluk Eşik Değeri mmho/cm	Eşik Değerin Ötesindeki Tuzlulukta Birim Artış Başına Verim Azalması %/(mmho/cm)	Kaynak
Yonca	2.0	7.3	Brown ve Hayward, 1956; Bower ve ark., 1969
Arpa (tane)	8.0	5.0	Ayers ve ark., 1952;
Mısır (tane)	1.7	12	Kaddah ve Ghowail, 1964
Pamuk	7.7	5.2	Bernstein ve Ford, 1959; Bernstein, 1955
Buğday	6	7.1	Ayers ve ark., 1952; Asana ve Kale, 1965
Soya	5.0	20	Abel ve MacKenzie, 1964; Bernstein ve Ogata, 1966

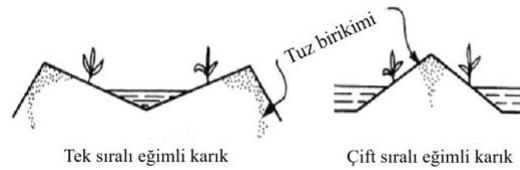
Toprak tuzluluğu ve sulama suyundan kaynaklanan çimlenme sorunlarını azaltmak için tohum yatağı şekilleri, ekim yöntemleri ve sulama uygulamalarında dikkatli olunması gerekmektedir (Şekil 11). Su akışı, karık içlerinden karık sırtlarına doğru gerçekleşir. Bu durumda, topraktaki tuzlar da suyla birlikte karık sırtlarına taşınarak orada birikir ve tohumun ekildiği alan, tuzun en fazla yoğunlaştığı bölge haline gelir (Ayers ve Westcot, 1989).

Toprak işleme, tuzlu topraklarda toprak geçirgenliğini arttırmak için kullanılabilir, ancak düzgün bir şekilde uygulanmazsa, taban taşı oluşup tuzlar birikebilir ve bu potansiyel olarak tuzları toprak yüzeyine daha da yakınlaştıracaktır (Abrol ve ark., 1988). Tuzlu topraklarda tohum yatağı hazırlığı için toprak yüzeysel işlenmelidir. Azaltılmış veya minimum toprak işleme sistemleri önerilir. Tuzluluk sorunu yaşayan arazilerde derin toprak işleme uygulamaları yüzey tuzu konsantrasyonlarını artırır (Frisen, 2015).



Şekil 11. Farklı toprak tuzluluklarının ve yatak şekil düzenlemesinin çimlenmeye etkisi (Bernstein ve ark., 1955)

Tek sıralı eğimlendirilmiş yatakların genel olarak kullanılan diğer uyarlaması, karıktaki su hattının hemen üzerine tohumların ekiminin yapılmasıdır. Bu yöntem, hem sıcaklık hem de tuzluluk kontrolü açısından etkili bir uygulamadır. Erken ilkbahar ya da kış döneminde ekimi yapılan bitkiler için toprak sıcaklığının birkaç derece daha yüksek olması önemlidir. Eğimlendirilmiş yataklar kuzey yarımkürede güneye, daha soğuk toprak sıcaklığının tercih edildiği durumlarda ise kuzeye doğru yönlendirilerek oluşturulmalıdır (Şekil 12) (Ayers ve Westcot, 1989).



Şekil 12. Eğimli karıklarda tuzluluğun kontrolü (Bernstein ve Fireman, 1957)

Son araştırmalar, saman malçının evaporasyonu düşürerek toprak tuzluluğu ile mücadele etmede çiftçiler için umut vadeden bir uygulama olduğunu ve toprak suyu ile tuz hareketini düzenlediğini ortaya koymuştur (Tian ve Lei, 1994; Pang ve Xu, 1998; Pang, 1999; Li ve ark., 2000). Huang ve ark. (2001) ise buğday samanı malçının tuz birikimini önlediğini ve 0-10 cm derinlikte tuz seviyesinin sabit

kalmasını sağladığını bildirmişlerdir. Geleneksel yöntemin aksine koruyucu toprak işleme sistemleri, toprağın işlenme yoğunluğunu azaltarak suyun toprak içinde daha homojen bir şekilde dağılımını sağlar ve bu sayede tuz birikimini engeller. Ayrıca, bu sistemlerde toprak yüzeyinin bitki kalıntılarıyla veya doğal bitki örtüsüyle kapalı tutulması, buharlaşmayı azaltarak tuzların toprak yüzeyine çıkmasını engeller.

5. Sonuç

Sürdürülebilir toprak amenajmanı, toprak kullanımının planlanması, uygulanması ve yönetimi sırasında sürdürülebilirlik prensiplerinin göz önünde bulundurulduğu bir yaklaşımı tanımlamaktadır. Bu yaklaşım, toprakların verimliliğini, sağlığını ve biyoçeşitliliğini korumayı, erozyonu önlemeyi, su kaynaklarını korumayı ve toprakların uzun vadeli kullanımını sağlamayı amaçlar. Sürdürülebilir toprak yönetimi, çeşitli stratejiler, politikalar, uygulamalar ve teknolojilerin bir araya getirilmesini gerektirir. Bu kapsamda erozyon kontrolü, toprak iyileştirme teknikleri, sürdürülebilir tarım uygulamaları gibi bir dizi yöntem ve yaklaşım önemli rol oynar. Topraklar, gıda üretimi, su döngüsünün devamlılığı, biyolojik çeşitliliğin korunması ve iklimin düzenlenmesi gibi ekosistem hizmetlerinin sağlanmasında hayati bir öneme sahiptir. Bu nedenle, sürdürülebilir toprak amenajmanı, çevresel, ekonomik ve sosyal açılardan toprakların sürdürülebilirliğini sağlamayı hedefler. Bu yaklaşım hem mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılamayı, hem de gelecek kuşaklara sağlıklı ve verimli toprak kaynakları bırakmayı amaçlar.

Sürdürülebilir tarım ve bu kapsamda uygulanan yöntemlerin temel amacı; toprak ve su gibi doğal kaynakların korunmasını sağlamak, çevre kalitesini yükseltmek, güvenli gıda üretimini sağlamak, tarımsal ekonominin sürdürülebilirliğini desteklemek ve tarımla uğraşan kesimin yaşam standartlarını iyileştirmektir. Geleneksel toprak işleme yöntemlerinde, enerjiyi, toprağı ve suyu korumaya yönelik olarak dikkate değer bir katkı yapılmamaktadır. Ayrıca toprak işleme zaman almakta, yüksek oranda yakıt, makine ve işçilik gibi girdileri beraberinde gerektirmektedir. Geleneksel toprak işlemede tek hedef en fazla geliri sağlamak üzere maksimum girdi uygulanmasıdır. Geleneksel toprak işleme sistemlerinin aksine koruyucu toprak işleme sistemlerinde hedef toprak ve su kaynaklarını koruyarak optimum girdi kullanımınıdır. Daha az girdi uygulayarak daha fazla elde edilecek bir miktar gelirden, sürdürülebilirlik adına feragat edilebilir.

Koruyucu toprak işleme yönteminde, kullanılan ekipman ve makinelerin toplam güç ihtiyacı, yakıt sarfiyatı, çalışma süreleri ve yatırım masrafları büyük ölçüde düşmektedir. Tarımsal üretimin sürdürülebilir ve ekonomik hale gelmesi ve gelecek nesillerin açlık ve kıtlık gibi tehditler ile yüzleşmek zorunda kalmaması için en uygun toprak işleme sisteminin uygulanması bir zorunluluk olarak görülmektedir.

Sonuç olarak, koruyucu toprak işleme sistemleri ile geleneksel toprak işleme yöntemleri karşılaştırıldığında, her iki yaklaşımın da belirli avantajları ve dezavantajları olduğu görülmektedir. Geleneksel toprak işleme, toprağın fiziksel olarak hazırlanmasını kolaylaştırarak kısa vadede yabancı ot kontrolü ve tohum yatağı hazırlığı gibi konularda etkili olurken toprak yapısının bozulmasına, organik

madde kaybına, erozyonun artmasına ve uzun vadede verimliliğin azalmasına neden olmaktadır. Öte yandan, koruyucu toprak işleme sistemleri -minimum toprak işleme, doğrudan ekim ve yüzey örtüsünün korunması gibi uygulamalar- toprağın fiziksel bütünlüğünü koruyarak erozyonu azaltmakta, suyun tutulmasını desteklemekte ve toprak organizmalarının sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu sistemlerin başarılı olabilmesi için uygun ekipman, bilgi birikimi ve zaman gerektiren bir adaptasyon süreci gerekmektedir. Dolayısıyla, koruyucu toprak işleme sistemleri, sürdürülebilir tarım açısından önemli avantajlar sunsa da geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, her bölgenin ekolojik ve sosyoekonomik koşullarına göre değerlendirilmesi gereken çok boyutlu bir yaklaşımdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abrol IP., Yadav JSP., Massoud FI. Salt-affected soils and their management (No. 39). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1988.
- Ağca N. Topraklarda çoraklaşma ve sürdürülebilir tarım. 26-28 Mayıs GAP I. Tarım Kongresi, 2, 915-922, Haz. Harran Ü. Ziraat Fakültesi, Şanlıurfa. 1999.
- Akgül H. Tuzluluk. Ziraat Mühendisliği Dergisi 2003; 340. Ankara.
- Al-Kaisi MM., Yin X. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. Journal of Environmental Quality. 2005
- Al-Kaisi MM., Yin X., Licht MA. Soil carbon and nitrogen changes as influenced by tillage and cropping systems in some Iowa soils. Agriculture Ecosystems and Environment, In Press. 2005
- Al-Kaisi MM., Licht MA. Tillage management and soil organic matter, Iowa State University Extension and Outreach, 2005, PM 1901i.
- Amorim HCS., Ashworth AJ., Partson M., Savin MC., Anapalli SS., Reddy KN. No-till impacts on soil organic carbon and soil quality in the Lower Mississippi River basin: Implications for sustainable management. Soil Science Society of America Journal 2024; 88: 1736-1747.
- Anonim. WA Soil Analysis Results Fact Sheet ChemCentre Open Day <https://www.chemcentre.wa.gov.au/soil-interpretation-guide-open-day-2019> 2025 (Erişim Tarihi: 18.01.2025)
- Asana RD., Kale VR. A study of salt tolerance of "Four varieties of wheat. Indian Journal of Plant Physiology 1965; 8(1): 5-22.
- Ashraf M. Breeding for salinity tolerance in plants. Critical Reviews in Plant Sciences 1994; 13: 17-42.

- Ayers AD., Brown JW., Wadleigh CH. Salt tolerance of barley and wheat in soil plots receiving several salinization regimes. *Agronomy Journal* 1952; 44(6): 307-310.
- Ayers RS., Westcot DW. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No.29. Rome, 1989. ISBN 92-5-102263-1.
- Ayyıldız M. Sulama suyu kalitesi ve tuzluluk problemleri. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1990.
- Balázs M., Szabolcs B. Effect of conservation tillage on earthworms in a long-term farm experiment (Hungary). *Journal of Central European Green Innovation* 2023; 11(2): 86-92.
- Başaran M. Türkiye'nin organik karbon stoku. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2004; 8 (3/4): 31-36.
- Bauer A., Black AL. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. *Soil Science Society of America Journal* 1981; 45: 1166.
- Bauer A., Black AL. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Science Society of America Journal* 1994; 58: 185-193.
- Beare MH., Cabrera ML., Hendrix PF., Coleman DC. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional- and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal* 1994; 58: 787-795.
- Bernstein L. Salt tolerance of field crops-Cotton, United States Salinity Laboratory Report to Collaborators 1955; 37-41.
- Bernstein L., MacKenzie AJ., Krantz BA. *Soil Science Society of America, Proceedings* 1955; 19: 240.
- Bernstein L., Fireman M. 1957. Laboratory studies on salt distribution in furrow irrigated soil with special reference to pre-emergence period. *Soil Science* 1957; 83: 249-263.
- Bernstein L., Ford R. Salt tolerance of field crops. United States Salinity Laboratory Report to Collaborators 1959; 34-35.
- Bernstein L., Ogata G. Effects of salinity on nodulation, nitrogen fixation, and growth of soybeans and alfalfa. *Agronomy Journal* 1966; 58: 201-203.
- Bertrand M., Barot S., Blouin M., Whalen J., Oliveira T., Roger-Estrade J. Earthworm services for cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 2015; 35: 553-567.
- Birkás M (Ed.). *Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban. Gödöllő, SZIE, Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar.* 2001; 292 p.
- Birkas M., Jolankai M., Gyuricza C., Percze A. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. *Soil and Tillage Research* 2004; 78: 185-196.
- Boström U. Earthworm populations (Lumbricidae) in ploughed and undisturbed leys. *Soil and Tillage Research* 1995; 35: 125-133.
- Bower CA., Ogata G., Tucker JM. Rootzone salt profiles and alfalfa growth as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction, *Agronomy Journal* 1969; 61: 783-785.

- Briones MJL., Bol R. Natural abundance of C-13 and N-15 in earthworms from different cropping treatments. *Pedobiologia* 2003; 47: 560-567.
- Brown JW., Hayward HE. Salt tolerance of alfalfa varieties. *Agronomy Journal* 1956; 48: 18-20.
- Buckley DH., Schmidt TM. The structure of microbial communities in soil and the lasting impact of cultivation. *Microbial Ecology* 2001; 42: 11-21.
- Capowiez Y., Cadoux S., Bouchant P., Ruy S., Roger-Estrade J., Richard G., Boizard H. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. *Soil and Tillage Research* 2009; 105: 209-216.
- Carter MR. Ninhydrin-reactive N released by the fumigation-extraction method as a measure of microbial biomass under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 1991; 23: 139.
- Castro CF., Filho JC., Henklain MJ., Vieira R., Casão Jr. Tillage methods and soil and water conservation in southern. Brazil. *Soil and Tillage Research* 1991; 20: 271.
- Chan KY. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity - implications for functioning in soils. *Soil and Tillage Research* 2001; 57: 179-191.
- Cluzeau D., Binet F., Vertes F., Simon J.C., Riviere J.M., Trehen P. Effects of intensive cattle trampling on soil plant earthworms system in 2 grassland types. *Soil Biology and Biochemistry* 1992; 24: 1661-1665.
- Cuendet G. Predation on earthworms by the black-headed gull (*Larusridibundus* L.). Chapman & Hall, London. In: Satchell JE (ed) *Earthwormecology – from Darwin to Vermiculture*, 1983.
- Curry JP. Factors affecting the abundance of earthworms in soils. In: Edwards CA (ed) *Earthworm ecology*. CRC, Boca Raton, 2004
- Çeker A. Sürdürülebilir tarım ve Türkiye açısından bir değerlendirme. *International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic* 2016; 11/2 Winter: 809-836.
- Darwin C. On the formation of mould. *Tranc. Geol. Soc* 1840, 5. 505–509 London.
- Deliboran A., Savran Ş. Toprak tuzluluğu ve tuzluluğa bitkilerin dayanım mekanizmaları. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 2015; 8 (1): 57-61.
- Dick W. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentration and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Science Society of America Journal* 1983; 47: 102.
- Edwards CA., Bohlen PJ. *Biology and ecology of earthworms*. London, Chapman & Hall, 1996.
- Edwards JH., Wood CW., Thurlow DL., Ruf ME. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludalf soil. *Soil Science Society of America Journal* 1999; 56: 1577-1582.
- Esechie HA. Interaction of salinity and temperature on the germination of sorghum. *Journal of Agronomy and Crop Science* 1994; 172: 194-199.
- Faber F., Wachter E., Zaller JG. Earthworms are little affected by reduced soil tillage methods in vineyards. *Plant, Soil and Environment* 2017; 63(6): 257-263.
- FAO. *Soil map of the world. Revised legend*, by FAO–UNESCO–ISRIC. World Soil Resources Report No. 60. Rome. 1988

- FAO. Sürdürülebilir toprak yönetimi gönüllü kılavuz ilkeleri
<http://www.fao.org/3/i6874tr/I6874TR.pdf>. 2019
- Farquharson RJ., Schwenke GD., Mullen JD. Should we manage soil organic carbon in Vertosols in the northern grains region of Australia? *Australian Journal of Experimental Agriculture* 2003; 43: 261-270.
- FIBL. Earthworms-Architects of fertile soils. Research Institute of Organic Agriculture FIBL, Switzerland, and TILMAN-ORG Consortium. <https://www.fibl.org/>. 2014
- Fitzpatrick RW. Land degradation processes. *ACIR Monogr*, 2002; 84:119-129.
- Follett R. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and Tillage Research* 2001; 61(1): 77-92
- Freixo AA., Machado Plod, dos Santos HP., Silva CA., Fadigas FD. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 2002; 64: 221-230.
- Frizen D. Managing saline soils in North Dakota. NDSU Extension Service, Fargo, ND 58105 Available online: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/soilfert/sf1087.pdf> (accessed on 13 January 2015).
- Gao Y., Dang X., Yu Y., Li Y., Liu Y., Wang J. Effects of tillage methods on soil carbon and wind Erosion. *Land Degradation & Development* 2016; 27: 583-591.
- Gencer M., Gök M., Çelik İ. Sustaining soil biological activity: the role of extended reduced and no-tillage techniques. *KSU Journal Of Agriculture and Nature* 2024; 27(6): 1442-1457.
- Gerard BM., Hay RKM. The effect on earthworms of ploughing, tined cultivation, direct drilling and nitrogen in a barley monoculture system. *Journal of Agricultural Sciences* 1979; 93: 147-155.
- Govers G., Merckx R., van Oost K., van Wesemael B. Soil organic carbon management for global benefits: A discussion paper. In *Proceedings of the Workshop organised by the Scientific and Technical Advisory Panel of the Global Environmental Facility 'Soil Organic Carbon Benefits: A Scoping Study'*, 2012, 10–12, Nairobi, Kenia.
- Güngör Y., Erözel Z. Drenaj ve arazi ıslahı. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 1994.
- Hobbs PR., Sayre K., Gupta R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 2008; 363: 543-555.
- Huang Q., Yin Z., Tian C. Effect of two different straw mulching methods on soil solute salt concentration. *Arid Land Geography* 2001; 24: 52-56.
- İşler N., Kılınç M. Tarla tarımı. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı. <http://www.mku.edu.tr/files/898-45fba308-31e9-41e3-a927-8e622ac97149.pdf> 2016.
- Javid MG., Sorooshzadeh A., Moradi F., Sanavy Seyed AMM., Allahdadi I. The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Australian Journal of Crop Science* 2011; 5(6): 726-734.

- Javůrek M., Vach M., Mikanová O. Response of soil microbial activity on different ways of organic matter use for field crop stand establishment. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska* 2003; 58: 223-232.
- Javůrek M., Vach M., Mikanová O. Impact of different methods of field crop stand establishment on development of soil biota in topsoil and subsoil. *Lucrari Stiintifice* 2005; 48, seria Agronomie, Universitatea de Stiinte Agricole si Medicina Veterinara Iasi, Romania, 462-469.
- Kaddah MT., Ghowail SI. Salinity effects on the growth of corn at different stages of development. *Agronomy Journal* 1964; 56: 214-217.
- Kanber R., Kırdı C., Tekinel O. Sulama suyu niteliği ve sulamada tuzluluk sorunları. Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın Ders Kitapları; 1992.
- Kasza G., Bódi B., Sárközi E., Mázsza, Á., Kardos, L. Vermicomposting of sewage sludge – Experiences of a laboratory study *International Journal of Biosciences, Biochemistry and Bioinformatics* 2015; 5: 1-10.
- Kothawala DN., Kellerman AM., Catalan N., Tranvik LJ. Organic matter degradation across ecosystem boundaries: The need for a unified conceptualization. *Trends in Ecology & Evolution* 2021; 36, 113-122.
- Kellerman AM., Kothawala DN., Dittmar T., Tranvik LJ. Persistence of dissolved organic matter in lakes related to its molecular characteristics. *Nature Geoscience* 2015; 8: 454-457.
- Kirchner MJ., Wollum II AG., King LD. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 1993; 57: 1289.
- Kladivko JE. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research* 2001; 61: 61-76.
- Klik A., Rosner J. Long-term data from field erosion plot studies in eastern Austria. *Data in Brief* 2020; 31: 105810.
- Kubát J., Cerhanová D., Nováková J., Lipavský J. Total organic carbon and its composition in long term field experiments in the Czech Republic. *Archives of Agronomy and Soil Science* 2006; 52: 495-505.
- Kucharik CJ, Brye KR, Norman JM, Foley JA, Gower ST, Bundy LG. Measurements and modeling of carbon and nitrogen cycling in agroecosystems of southern Wisconsin: potential for SOC sequestration during the next 50 years. *Ecosystems* 2001; 4(3):237-58.
- Kurunç A. Sulama suyu kalitesi ve tuzluluk, Tuzluluğun bitkilere etkisi.
<http://aves.akdeniz.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=3&USER=1679> 2020
- Lal R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. *Soil Tillage Research* 1993; 27: 1-8.
- Lal R., Kimble J., Levine E., Whitman C. World soils and greenhouse effect: An overview. In: Lal R. et al. (eds.): *Soils and Global Change*. Boca Raton: Lewis Public; 1995.
- Lal R., Kimble JM. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 1997; 49: 243-253.

- Lal R., Kimble J., Follett R. Soil quality management for carbon sequestration. In: Lal R. et al. (eds.): Soil Properties and their Management for Carbon Sequestration. Lincoln: US Department Agriculture Natural Resources Conservation National Soil Survey Center; 1997.
- Lal R. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. Food Security in a Global Economy 2003; 17(1): 1-22.
- Lal R., Reicosky DC., Hanson JD. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. Soil and Tillage Research 2007; 93(1): 1-12.
- Larink O., Schrader S. Rehabilitation of degraded compacted soil by earthworms, in Subsoil Compaction. Adv GeoEcol 2000; 32: 284-294.
- Lee KE. Earthworms – Their ecology and relationships with soils and land use. Australia: Academic press; 1985.
- Le Villio M., Arrouays D., Deslais W., Clergeot D., Droussin J., Le Bissonnais Y. Interest of the compost as a source of organic matter to restore and maintain physical properties of French soils. 2004; Symposium No: 57, Paper No. 1529.
- Li X., Zhang Z., Liu X., Li Y. Effect of straw mulching on soil water and salt moving. Journal Shandong Agricultural University 2000; 31(1): 38-40.
- Lopez-Fanda C., Pardo MT. Changes in soil chemical characteristics with different tillage practices in a semi arid environment. Soil and Tillage Research 2009; 104: 278-284.
- Low AJ. The effect of cultivation on the structure and other physical characteristics of grassland and arable soils (1945–1970). Journal Soil Science 1972; 23: 363-380.
- Maas EV., Hoffman GJ. Crop salt tolerance-Current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division 1977; 103(IR2): 115-134.
- Magdoff F., Weil RR. Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press; 2004.
- Munsuz N., Ünver I. Su kalitesi. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 1995.
- Navarro-Pedreño J., Almendro-Candel MB., Zorpas AA. The increase of soil organic matter reduces global warming, myth or reality?. Sci 2021; 3: 18.
- Newsham KK., Fitter AH., Watkinson AR. Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field. Journal of Ecology 1995; 83: 991.
- Niu DL., Wang QJ. Research progress on saline-alkali field control. Canadian Journal of Sport Sciences 2002; 33(6): 449-455 (in Chinese).
- Nuutinen V. 1992. Earthwormcommunity response to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. Soil Tillage Research 1992; 23: 221-239.
- Ondrasek G., Rengel Z., Romić D., Savić R. Environmental salinisation processes in agro-ecosystem of Neretva River estuary. Növénytermelés 2010; 59(Supplement): 223-226.
- Oruç N., Sağlam T. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İlmi Bölümü Ders Notu: Erzurum; 1972.

- Pang H., Xu F. Study on the tillage methods under straw mulching in Weibei Arid Area. *Research. Agric Mod* 1998; 19: 249-251.
- Pang H. The effect of straw mulching on the soil environment and wheat yield traits. *Chin. Journal Soil Science* 1999; 30: 174-175.
- Peng X., Zhu Q., Xie Z., Darboux F., Holden NM. The impact of manure, straw and biochar amendments on aggregation and erosion in a hillslope Ultisol. *Catena* 2016; 138: 30-37.
- Peigné J., Ball BC., Roger-Estrade J., David C. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management* 2007; 23: 129-144.
- Pimentel D., Harvey C., Resosudarmo P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Blair R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 1995; 267(5201): 1117-1123.
- Qadir M., Ghafoor A., Murtaza G. Amelioration strategies for saline soils: a review. *Land Degradation & Development* 2006; 17(6): 661-676.
- Reeves DW. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Research* 1997; 43: 131-167.
- Reicosky DC., Lindstrom MJ. Fall tillage method: Effect on short term carbon- dioxide flux from soil. *Agronomy Journal* 1993; 85: 1237-1243.
- Rengasamy P. Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 2002; 42(3): 351-361.
- Roger-Estrade J., Anger C., Bertrand M., Richard G. Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil Tillage Research* 2010; 111: 33-40.
- Rosas-Medina MA, de Leon-Gonzalez F, Flores-Macias A, Payan-Zelaya F, Borderas-Tordesillas F, Gutierrez-Rodriguez F, Fragozo-Gonzalez C. Effect of tillage, sampling date and soil depth on earthworm population on maize monoculture with continuous stover restitutions. *Soil Tillage Research* 2010; 108: 37-42.
- Roscoe R., Burman P. Tillage effects on soil organic matter in the density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil and Tillage Research* 2003; 70: 107-119.
- Sampson RN., Scholes RJ. Additional human-induced activities. In: *Land use, land-use change, and forestry: A special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2000 Edited R.T. Watson et al. IPCC.
- Sauerbeck D. CO₂ emissions and C sequestration by agriculture perspectives and limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 2001; 60(1-3): 253-66.
- Sayre KD., Hobbs PR. The raised-bed system of cultivation for irrigated production conditions. In Lal, R. (Ed.), *Encyclopedia of Soil Science* 2004. CRC Press.
- Szabolcs I. Desertification and salinisation. I. A. V. Hassan II-ISESCO. *Plant Salinity Research* 1991; 3-18.

- Seckin B., Sekmen AH., Turkan I. An enhancing effect of exogenous mannitol on the antioxidant enzyme activities in roots of wheat under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 2009; 28: 12-20.
- Sezer B. Karbon salınımı ve toprak yönetimi. www.tarim.gov.tr/ABOGM/Belgeler. Ulaşım. 23.10.2014. 2014.
- Šimon T., Javůrek M., Mikanová O., Vach, M. The influence of tillage systems on soil organic matter and soil hydrophobicity. *Soil and Tillage Research* 2009; 105: 44-48.
- Sönmez B. Türkiye’de çorak ıslahı araştırmaları ve tuzlu toprakların yönetimi. Sulanan alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 20-21 Mayıs, 2004, s.157-162, Ankara.
- Sungur N., Ulusoy E., Yalçın H. Ege bölgesi koşullarında ikinci ürün elde etmede mekanizasyon olanakları. Ege Üniversitesi Araştırma Fonu No:89-ZRF-006 Nolu Proje Sonuç Raporu, İzmir. 1994.
- Tabur S., Demir K. Role of some growth regulators on cytogenetic activity of barley under salt stress. *Plant Growth Regulation* 2010; 60: 99-104.
- Tamer N., Başalma D., Türkmen C., Namlı A. Organik toprak düzenleyicilerin toprak parametreleri ve ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinin verim ve verim öğeleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 2016; 4(1): 11-21.
- Tian K., Lei Y. Integrated effect of water, fertilize and salinity on the wheat yield in desalinized fluvo aquic soil in Heilonggang Region. *Res. Agric. Mod* 1994; 15: 364-368.
- Tomlin AD., Miller JJ. Impact of ring-billed gull (*Larus delawarensis* ord.) foraging on earthworm populations of southwestern Ontario agricultural soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 1988; 20: 165-173.
- Ulrich S., Hofmann B., Tischer S., Christen O. Influence of tillage on soil quality in a long-term trial in Germany. *Advances in GeoEcology.*, Rainer Horn, Heiner Fleige, Stephan Peth and Xinhua Peng (Editors), 110-116. 2006
- U.S. Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture, (ed. Richards, L. A.), Handbook No. 60, Washington, D. C. 1954.