

Tarım Arazilerinin Toprak Kalitesi Değerlendirmelerinde Biyokimyasal Özelliklerinin Kullanımı

The Use of Biochemical Properties in Evaluating the Soil Quality of Agricultural Lands

Nurullah ACİR⁴ - Hikmet GÜNAL⁵

Özet

Toprak kalitesinin tanımlanması, toprakların ekosistem hizmetlerini sürdürülebilir bir şekilde sağlamalarını temin edecek şekilde kullanma, koruma ve yönetim amacını gütmektedir. Zaman içerisinde, toprak kalitesindeki değişimin izlenmesi, toprağın fonksiyonlarını yerine getirmesine engel olan uygulamaların veya kullanımların tespit edilmesini ve mümkünse değiştirilmesini yapabilmeyi sağlar. Toprak yönetimi ile ilgili kararların etkinliği ve başarısı, toprağın fonksiyonlarını sunmasına katkısı olan ölçülebilir göstergelerin değerlendirilmesi ve izlenmesi ile mümkün olabilir. Göstergelerin, arazi yönetimine ve kimyasal kirleticilere karşı hassas olan toprak özelliklerinden olması ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini ve süreçlerini entegre etmesi önemlidir. Bu kapsamda, toprak organik maddesinin ayrışmasında, besin döngüsünde, toprak kirleticilerin parçalanmasında, toprak strüktürünün oluşumunda ve dayanıklılığında kilit rol oynayan ve topraktaki canlıların göstergesi olan biyokimyasal özellikler en yararlı göstergelerdir. Özellikle toprağın yüzey katmanında bulunan toprak canlıları, kuraklık nedeniyle oluşan stres, taşkın, organik maddenin azalması ve artan kirletici konsantrasyonlarına karşı çok hızlı tepiler verdiklerinden, toprak kalitesindeki değişimin erkenci göstergeleri olarak kabul edilirler.

Anahtar sözcükler: Mikrobiyal biyokütle, potansiyel mineralize olabilir azot, enzim, organik madde

Abstract

The assessment of soil quality aims to use, conserve and manage the soils to ensure sustainable provisioning of ecosystem services. Monitoring the changes in soil quality over time enables the detection and, if possible, the modification of practices or uses preventing the

⁴ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Kırşehir/Türkiye, Sorumlu yazar; nurullah.acir@ahievran.edu.tr

⁵ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tokat/Türkiye

functioning potential of soils. The efficiency and success of soil management decisions can only be possible by evaluating and monitoring measurable indicators that contribute to the performing of soil functions. The indicators are soil properties that are sensitive to land management and chemical pollutants and should integrate the physical, chemical and biological properties and processes of the soil. In this context, biochemical properties are the most useful indicators of soil quality and play a key role in the decomposition of soil organic matter, in the nutrient cycle, in the breakdown of soil pollutants, in the formation and stability of soil structure. The biological indicators are also considered as the indicative of living things in the soil. Soil organisms, especially in the surface layer of the soil, are accepted as early indicators of the change in soil quality as they react very quickly to stress caused by drought, flood, decline in organic matter and increase concentration of pollutants.

Keywords: Microbial biomass, potentially mineralized nitrogen, enzyme, organic matter

Giriş

Toprak, gıda üretimi, temiz hava ve suyun tedariki gibi temel fonksiyonları ile ekosistem hizmetlerinin yeterli miktarda sunumu için mutlak gerekli olan ve çeşitli dinamik süreçleri içeren doğal bir kaynaktır. Toprağın ihtiyaç duyulan ekosistem hizmetlerinin sunumu için gerek duyulan fonksiyonlarını yerine getirebilme kapasitesi olarak tanımlanan toprak kalitesi (Karlen ve ark., 1997), insan nüfusunun artması, mevcut ekilebilir arazilerin yoğun kullanımı, şehirlerin tarım alanlarına genişlemesi ve toprak bozulması nedeniyle tehdit altındadır (Paz-Ferreiro ve Fu, 2016).

Toprağın fonksiyonlarını nasıl yerine getirdiğine ve bu fonksiyonların farklı kullanımlar altında nasıl değiştiğini değerlendirmek için başvurulan en yaygın yaklaşımlardan biri göstergelerden yararlanmaktadır (Bastida ve ark., 2008). Fonksiyonun gerçekleşmesinde etkili olan toprak özellikleri toprak kalitesi göstergeleri olarak adlandırılmaktadır. Toprak kalitesi değerlendirmelerinde kullanılacak göstergeler, ekosistemde meydana gelebilecek değişiklikler için erken bir uyarı görevi görmesi beklenir (Andrews ve ark., 2004). İdeal olarak, uygulamalarını kolaylaştırmak için mümkün olduğu kadar basit olması gereken toprak kalitesi göstergeleri; ekosistemin işlevi, bileşimi ve yapısı hakkında temel bilgileri sağlamalı ve aynı zamanda toprak ekosisteminin karmaşıklığını bütünleştirmelidir (Dale ve ark., 2008). Bazı toprak fonksiyonları için nispeten kolay göstergeler kullanılabilir. Ancak, besinler için çevre tamponu olarak toprak fonksiyonunu tanımlamada, çeşitli mekansal ve zamansal ölçeklerde toprakta bulunan çok boyutlu besin havuzları ve döngüler ve aralarındaki etkileşimi anlamaya yardımcı olacak göstergelerin seçilmesi gerekecektir (van Leeuwen ve ark., 2019). Toprak

göstergelerinin seçimi ve bunların toprak fonksiyonlarına katkısı, ilgilenilen alanın iklimi, değerlendirilecek arazi kullanım şekli, tarla içi uygulamalar ve benzerleri gibi çeşitli faktörlere göre değişmektedir (Karlen ve ark., 2006).

Tarımsal üretim için uygulanan kararların etkilediği toprak kalitesi çoğunlukla hacim ağırlığı, organik madde, fosfor ve potasyum gibi besin elementi içerikleri ve tuzluluk gibi toprak kalitesi göstergelerine dayanılarak değerlendirilir (Tesfahunegn ve ark., 2013). Bununla birlikte, toprak canlılarının göstergesi olan biyokimyasal özellikler, tarla içi faaliyetlere, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine kıyasla daha hızlı tepki verirler. Ayrıca, toprakta yaşayan makro ve mikro canlılar, organik maddenin ayrışması, besin döngüsünün sağlanması, hümik maddelerin sentezi, organik kirleticilerin parçalanması ve azot fiksasyonu dahil olmak üzere toprak ekosisteminin birçok fonksiyonunun yerine getirilmesinden sorumludur (García-Orenes ve ark., 2012). Kabiri ve ark. (2016)'da toprak mikrobiyal özelliklerinin, çevresel değişikliklere erken tepki vermeleri nedeniyle toprak işleme sistemlerinde toprak kalitesini ve bozulmasını değerlendirmek ve karşılaştırmak için önemli göstergeler olduğunu bildirmişlerdir. Bu kapsamda, toprak enzim aktiviteleri, mikrobiyal biyokütle, solunum oranları ve metabolik solunum (qCO_2) gibi biyokimyasal özelliklerin toprak işleme, bitkisel üretim sistemleri, ürün rotasyonu, gübreleme veya çevresel koşullar tarafından kolayca etkilendikleri ve bu nedenle de değişikliklere karşı hassas göstergeler olarak kabul edilebilecekleri ifade edilmiştir (Rolda'n ve ark., 2005). Benzer şekilde, toprak organik maddesinin biyolojik olarak aktif olan veya kararsız olan ve çözünebilir C olarak tanımlanan fraksiyonu, arazi kullanımını ve yönetimine duyarlı olan potansiyel mikrobiyal aktivitesini gösterebileceği belirtilmiştir. Bu fraksiyonlar, bitkiler ve toprak organizmaları için besin sağlama kapasiteleri nedeniyle toprak verimliliği ile yakından bağlantılıdır (Moreno ve ark., 2008).

Tarımsal yönetimi, toprak mikroorganizmalarını ve topraktaki mikrobiyal işlemleri üzerine, toprağa giren bitki kalıntılarının miktar ve kalitesi, mekânsal dağılımları ve besin girdilerini değiştirmek sureti ile etkilerler. Örneğin, ülkemizde yasal düzenlemeler ile önlenmeye çalışılmış olmasına rağmen hasat sonrası anız yakılması hemen her bölgede yaygın bir şekilde devam etmektedir (Korucu ve ark., 2009). Toprak için önemli bir organik madde kaynağı olan anızın yakılması toprağın fiziksel, kimyasal ve özellikle de biyolojik özelliklerinin olumsuz etkilenmesine ve nihayetinde fonksiyon gösterme kapasitesinin zayıflamasına neden olmaktadır. Toprak yüzeyinde bırakılan hasat atıkları, malç görevi göreceğinden toprak sıcaklığı salınımlarını azaltır, toprağın aşırı ısınmasını engeller, sıcak ve kurak mevsimlerde toprak neminin buharlaşmasını önler, mikrobiyal aktiviteyi ve bitki gelişimini destekler

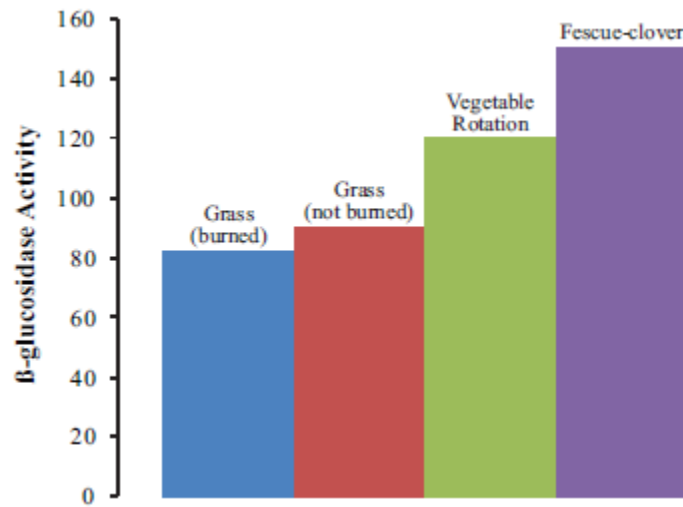
(Souza Andrade ve ark., 2003). Toprak kalitesi değerlendirmelerinde geçmişten günümüze kadar kullanılan bir kısım biyokimyasal kalite göstergeleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Toprak kalitesi değerlendirmelerinde kullanılan bir kısım biyokimyasal kalite göstergeleri

Kaynak	Makale Başlığı	Kullanılan İndikatörler
Trasar-Cepeda ve ark. (1998)	Topraklar için biyokimyasal bir kalite endeksine doğru: çeşitli biyolojik ve biyokimyasal özelliklerle ilgili bir ifade.	Mikrobiyal biyokütle C (MBC), mineralize olabilen N, fosfataz, β -glucosidaz ve üreaz aktiviteleri
Bastida ve ark. (2006)	Yarı kurak iklimde toprakların mikrobiyolojik bozulma indeksi	Dehidrogenaz ve üreaz aktiviteleri, solunum, suda çözünabilir C, suda çözünabilir karbonhidratlar
Becaert ve ark. (2006)	2,4-D kirlenmenin toprağın fonksiyonel stabilitesi üzerine etkisinin bağlı stabilize indeksi kullanılarak değerlendirilmesi	Enzim aktiviteleri: aril sülfataz, β -glucosidaz ve üreaz
Armas ve ark. (2007)	Volkanik Andisoller ve Aridisoller için biyolojik kalite indeksi (Kanarya Adaları, İspanya): ekosistem gelişimi ile ilgili farklılıklar	Sıcak suda ekstrakte edilebilir C, toprak solunumu, karboksil metil selüloz, β -glucosidaz ve dehidrogenaz aktivitesi.
Fließbach ve ark. (2007)	21 yıllık organik ve geleneksel tarım sonrasında toprak organik maddesi ve biyolojik toprak kalitesi göstergeleri	Toprak organik C, toprak MBC ve mikrobiyal biyokütle N (MBN), dehidrogenaz aktivitesi, toprak solunumu
Marzaioli ve ark. (2010)	Güney İtalya'nın bir Akdeniz bölgesinde, farklı arazi kullanım türlerine göre toprak kalitesi	Mantar miselleri, solunum, potansiyel mineralize olabilir azot, MBC
Garcia-Orene ve ark. (2010)	Yarı kurak bir Akdeniz tarımsal ekosisteminde farklı tarımsal yönetim sistemleri altında toprak mikrobiyal biyokütle ve aktivitesi	MBC, solunum, C mineralizasyonu, metabolik solunum (qCO_2), çözünabilir C ve dehidrogenaz, üreaz, proteaz, fosfataz ve β -glucosidaz aktiviteleri
Veum ve ark. (2014)	Tarımsal yönetim sürecinde toprak kalitesinin biyolojik göstergeleri ve toprak organik maddesinin özellikleri	Dehidrogenaz ve fenol oksidaz enzim aktiviteleri, toprak organik C, toplam azot, aktif C, suda ekstrakte edilebilir organik C, organik C fonksiyonel grupları
Swanepoel ve ark. (2014)	Sulamanın yapıldığı 19 yıldır minimum toprak işlemenin uygulandığı podzolik bir toprağın yer aldığı merada biyolojik toprak kalitesi	Toprak organik maddesi, toprak organik C, aktif C, MBC, toplam N, β -glucosidaz, üreaz ve alkali ve asit fosfataz enzim aktiviteleri
Kabiri ve ark. (2016)	Yarı Kurak Calcixerept toprakta toprak işlemenin toprak mikrobiyal biyokütle, toprak organik madde mineralizasyonu ve enzim aktivitesine etkileri	MBC, MBN C ve N mineralizasyon oranları, üreaz, alkalin fosfataz ve katalaz aktiviteleri
Bhaduri ve ark. (2017)	Hint-Gangetik Ovasında, uzun dönem pirinç-buğday üretim sistemindeki toprak kalitesinin biyolojik göstergeleri: toprak işleme, su ve besin yönetiminin birleşik etkisi	Dehidrogenaz enzim aktivitesi, mikrobiyal biyokütle C, Potansiyel mineralize olabilir N, toprak solunumu, metabolik qCO_2
Vincent ve ark. (2019)	Belçika'nın Wallonia bölgesindeki otlak ve ekim alanlarında toprak kalitesi ve organik karbonun biyolojik göstergeleri	Toprak organik C, soğuk ve sıcak su ile ekstrakte edilebilir C ve N, toplam N, potansiyel solunum, MBC ve N, net N mineralizasyonu, toprak bakterilerinin metabolik potansiyeli, toprak solucanı yoğunluğu ve biyokütle, metabolik ve mikrobiyal solunum qCO_2
Aravindhil ve ark. (2019)	Yarı kurak tropik topraklar için toprak biyolojik kalite indeksinin geliştirilmesi	Toprak organik C, MBC, kararsız C, protein indeksi, dehidrogenaz aktivitesi, substrat kaynaklı solunum

Enzim Aktiviteleri

Toprak enzimleri, toprak organik maddesi dinamikleri ve ayrıştırma işlemlerine dahil olmalarından dolayı ekosistemlerden toprak organik karbonu kaybının bir göstergesidirler. Toprak enzimatik aktiviteleri ve mikrobiyal biyokütle havuzu, toprak verimliliği ve kalitesinin bir göstergesi olarak kullanılmıştır (Dick, 1997). Toprağa organik kökenli katkı maddelerinin ilave edilmesi ve topraktaki organik maddeyi artıran yönetim uygulamaları enzim aktivitesinin artmasına neden olmaktadır. Bitki kökleri, mikrobiyal aktivite üzerindeki olumlu etkileri ve enzimler tarafından etkilenen substratlar bakımından zengin atık maddelerin üretilmesinden dolayı enzim aktivitesini uyarır (USDA-NRCS, 2010). Bununla ilişkili olarak Wang ve ark. (2012), toprak enzimlerinin arazi kullanım değişikliklerinden ve tarımsal üretimde kullanılan uygulamalardan olumsuz etkilendiğini göstermiştir. Genel olarak, toprak enzimlerinin aktivitesi ve stabilitesindeki değişiklikler ve mikrobiyal biyokütlenin miktarı, toprağa organik girdisi ve toprak organik madde içeriğindeki değişikliklerle yakından ilgilidir (Acosta-Martinez ve ark., 2007). Örneğin, β -glukosidaz enzimi, toprakta metabolik olarak aktif olan mikrobiyal biyokütlenin muhafaza edilmesi için bir enerji kaynağı olarak glukozu serbest bırakarak selüloz yıkımı üzerindeki katalitik reaksiyonlarda görev yaptığından önemli bir toprak kalitesi göstergesi olarak kullanılmıştır (Şekil 1) (Dick, 1996). Aynı zamanda, kararsız C içeriği ile doğrudan ilişkili olan ve düşük mevsimsel değişkenlik gösteren toprak organik maddesini stabilize etme kabiliyeti ile topraktaki enerji mevcudiyetinde önemli bir rol oynamaktadır (Knight ve Dick, 2004).



Şekil 1. Üretim sistemlerinin β -glukosidaz enzim aktivitesine etkileri (Dick, 1994).

Sulamanın yapıldığı 19 yıldır minimum toprak işlemenin uygulandığı bir mera ile hemen yakınındaki doğal meranın biyolojik toprak kalitesini karşılaştıran Swanepoel ve ark. (2014), toprak organik maddesi, toprak organik C, aktif C, MBC, toplam N, β -glukosidaz, üreaz ve alkali fosfotaz enzim aktivitelerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, yüzey toprağında belirlenen özelliklerin (asit fosfataz hariç), işleme yapılan toprakta doğal meraya göre daha yüksek olduğunu, konsantrasyonların derinlikle azaldığını ve 20-30 cm derinlikte benzer oluklarını bildirmişlerdir. Asit fosfataz aktivitesi, diğer toprak enzimatik aktivitelerinden farklı bir dağılım desenine sahip olduğu görülmüştür. Doğal mera ve işlenen mera topraklarının tüm derinliklerde asit fosfataz enzim aktivitesinin benzer olduğu anlaşılmıştır. Doğal merada toprak pH'sı tüm toprak derinliklerinde, işleme yapılan mera toprağına göre önemli ölçüde daha düşük ölçülmüştür. Bu da doğal mera toprağında asit fosfataz enzim aktivitesinin fazla olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Toprak işleme ile mikrobiyal çeşitliliğin önemli miktarda değiştiğini belirten araştırmacılar, biyolojik kalite göstergelerinin işlenen meranın ekosistem hizmetlerinin doğal meraya kıyasla daha iyi olduğunu işaret ettiğini rapor etmişlerdir.

Fosfatazlar, esterlerin ve fosforik asit anhidritlerinin hidrolizini katalize eden bir enzim grubudur. Etkinliği, toprak su fazında serbest olabilen veya hümik fraksiyonda veya killi toprak içeriğinde stabilize edilebilen hücre dışı enzimlere bağlıdır. Toprakta fosfonoesterazlar, optimum pH'da hem asidik hem de alkali koşullar altında aktif olduklarından dolayı en çok çalışılan enzimler olmuştur. Bu enzimler nükleotitler, şeker fosfatları ve polifosfatları içeren düşük moleküllü P bileşikleri üzerinde etki ettiklerinden dolayı toprak kalitesi göstergesi olarak kullanılmaktadırlar (Turner ve Haygrath, 2005).

Dehidrogenaz, toprak mikroflorasının toplam oksidatif aktivite aralığını yansıtır ve bu nedenle mikrobiyolojik aktivitenin iyi bir göstergesidir (Nannipieri ve ark., 1990). Chaudhury ve ark. (2005), dehidrogenaz aktivitesinin pirinç-buğday-hint keneviri ve diğer bitkisel üretim sistemlerinde toprak kalitesinin etkili bir göstergesi olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Azot, fosfor ve potasyumun dengeli bir şekilde uygulanması, dehidrogenaz aktivitesinde önemli artışlara neden olabilir. Bunun aksine aşırı kullanım durumunda bu enzimin hassasiyetini yansıtacak şekilde aktivitede bir azalmaya neden olabileceği bildirilmiştir (Masto ve ark. 2007).

Hidrolaz ve glukosidaz gibi bazı enzimler sadece organik maddelerin parçalanmasını kolaylaştırırken amidaz, üreaz, fosfataz ve sülfataz gibileri ise besin elementlerinin mineralizasyonunda görev yaparlar. Fosfataz aktivitesi hariç, enzim aktivitesinin besin

elementlerinin kullanılabilirliği veya bitkisel üretim ile doğrudan ilişkili değildir. Aralarındaki ilişki, enzimlerin bitki elementlerini yararlı formlara dönüştürmesi ile ilgilidir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Toprak enzimlerinin toprak fonksiyonları ile ilişkisi (USDA-NRCS, 2010)

Enzim Adı	Organik Madde Üzerinde Etkili Olduğu Bölge	Ortaya Çıkan Ürün	Önemi	Toprak Fonksiyonu ile İlişkisi
β -glukosidaz	Karbon bileşikleri	Glikoz	Mikroorganizmalar için enerji	Organik maddenin parçalanması
FDA Hidrolaz	Organik madde	Karbon ve çeşitli besin elementleri	Mikroorganizmalar için enerji ve besin, mikrobiyal biyokütle için ölçüt	Organik maddenin parçalanması ve besin döngüsü
Amidaz	Karbon ve azot bileşikleri	Amonyum (NH_4)	Bitkiye yararlı NH_4	Besin döngüsü
Üreaz	Azot (Üre)	NH_4 ve karbon dioksit	Bitkiye yararlı NH_4	Besin döngüsü
Fosfataz	Fosfor	Fosfat	Bitkiye yararlı P	Besin döngüsü
Sülfataz	Sülfür	Sülfat	Bitkiye yararlı S	Besin döngüsü

Üreaz enzimi, ürenin CO_2 ve NH_3 hidrolizi ve pH'nın artması ile NH_3 şeklinde volatille olması ile ilgilidir. Üreaz, toprak amanjmanı ile ilgili toprak kalitesindeki değişiklikleri değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Üreaz enziminin etkinliği organik gübreleme ile artar ve toprak işleme ile azalır. Bu enzim, çoğu durumda, topraktaki toplam aktivitenin %63'ünü temsil eden hücre dışı bir enzimdir (Martinez-Salgado ve ark., 2010).

Mikrobiyal Biyokütle Karbonu

Mikrobiyal biyokütle, çoğunlukla topraktaki bitki atıkları ve organik maddeleri parçalayan bakteri ve mantarlardan oluşur. Parçalanma işlemi, azot gibi besin elementlerini bitki alımı için uygun hale getirerek toprağa geçmesini sağlar. Mikrobiyal biyokütlenin yaklaşık yarısı toprağın ilk 10 cm derinliğinde bulunur ve besin elementlerinin salınımının çoğu da burada meydana gelir. Genel olarak, topraktaki toplam organik C ve organik N'un %5'i kadarı toprak organik maddesinin mikrobiyal biyokütle bileşeninde bulunur. Mikroorganizmalar öldüğü zaman, bu besinler bitkiler tarafından alınabilecek biçimlerde salınırlar. Mikrobiyal biyokütle, bazı durumlarda 60 kg N/ha'dan fazla tutan N'nin önemli bir kaynağı olabilir (Carson, 2012).

Toprak mikrobiyal biyokütle ve aktivitesi ve enzim aktivitelerinin, yoğun toprak işleme uygulamalarından kaynaklanan toprak bozulmasına karşı toplam organik C'dan daha duyarlı oldukları gösterilmiştir (Laudicina ve ark., 2011). Aşırı toprak işleme uygulamaları, (1) toprak mikroorganizmaları için bir substrat kaynağı sağlayan bir organik madde içeriğinin azalması, (2) toprak mikroorganizmaları için elverişli bir mikro habitat olan suya dayanıklı makro agregatların oranında azamaya neden olması ve (3) toprak nemi ve sıcaklığı gibi çevresel

koşullarda değişikliklere neden olduğundan dolayı topraktaki mikrobiyal ve biyokimyasal özellikleri olumsuz yönde etkileyebilir (Roldán ve ark., 2005). Bir başka çalışmada, Kabiri ve ark. (2016), çizel ve döner pullukların kullanıldığı azaltılmış toprak işleme altında toprağın kulaklı pulluk veya diskli pulluklar ile işlendiği geleneksel uygulamalara kıyasla daha yüksek MBC (%25-43), MBN (%7-13), MBC/MBN (%17) ve enzim aktivitelerine (üreaz 2 kat, alkali fosfataz %31-53 ve katalaz %18-59) sahip olduklarını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, azaltılmış toprak işleme uygulamalarının toprak mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesi üzerindeki olumlu etkisini, toprak organik madde içeriğinin toprak işlemeden etkilenmemesi ile ilişkilendirilmişlerdir.

Toprak Solunumu

Toprağın solunumu olarak adlandırılan CO₂, büyümeleri ve yaşamlarını devam ettirebilmeleri için gerekli olan enerji elde etmek amacı ile toprak organik maddesinin aerobik mikrobiyal ayrışması, bitki kökü ve toprak canlılarının solunumları ve toprak çözeltisindeki karbonatların çözünmesi gibi çeşitli kaynaklardan çıkarak toprak yüzeyinden salınmaktadır. Toprak solunumu, biyolojik aktivite ve ayrışmanın bir ölçüsüdür (USDA-NRCS, 2014). Bazal solunum (BAS), organik maddenin parçalanmasından (ağırlıklı olarak doğal karbon) kaynaklanan topraktaki sürekli solunum hızıdır. BAS oranı, karbon kaynağının hem miktarını hem de kalitesini yansıtır. Bu nedenle BAS, belirli çevresel koşullar altında hem yerli hem de antropojenik olarak katılan organik maddeleri parçalama potansiyeli için toprak canlılarının potansiyelinin bütünleşik bir endeksini oluşturabilir (Peel ve ark., 2005).

Toprak solunum hızı organik madde miktarına ve kalitesine, sıcaklık, nem ve havalanmaya bağlıdır. Toprak organizmalarının biyolojik aktivitesi, mevsimsel olarak ve günlük olarak değişir. Toprak organik maddesi, nemi, agregat oluşumunu ve pH'yı etkileyen toprak yönetim uygulamaları toprak solunumunu da etkiler. Sıfır toprak işleme, örtü bitkilerinin kullanımı veya organik madde ilave edilmesini sağlayan uygulamalar toprak solunumunun artmasını sağlarlar. Buna karşılık, hasat atıklarını araziden çıkaran, toprağa gömen veya yakan geleneksel uygulamalar, agregat stabilitesini ve gözenekliliği azaltarak yüzey katmanlarının erozyonunu artırır ve solunumdan sorumlu olan mikrobiyal aktiviteyi azaltır. Kuru koşullarda sulama ve ıslak toprakların drenajı toprak solunumunu önemli ölçüde artırabilir (USDA-NRCS, 2014).

Potansiyel Mineralize Olabilir Azot

Potansiyel mineralize olabilir azot (PMN), belirli sıcaklık, nem, havalandırma ve zaman koşulları altında bitki tarafından alınabilir (veya mineral) formlara dönüştürülen organik azotun fraksiyonu olarak tanımlanan önemli bir toprak biyolojik göstergesidir. Üretim dönemi boyunca topraktaki bitkiye yarayışlı azotun varlığının bir ölçütüdür (Hseu ve ark. 1999). Biyokütle üretiminin yüksek olduğu nemli iklimlerde daha yüksek konsantrasyonda olan PMN, kurak ve sıcak iklimlerde daha düşük konsantrasyonda olabilir. Killi topraklar organik maddeyi ve organik N’u fiziksel olarak koruyabilecek gözeneklere sahip olduğundan, killi topraklarda PMN mikroorganizmalar tarafından bozulmaya karşı korunur (USDA-NRCS, 2014).

Organik madde ve organik N dinamiklerini etkileyen toprak özellikleri ve toprak yönetimi uygulamaları yarayışlı N ve PMN seviyelerini de etkileyecektir. Organik madde takviyesi yapılmadan sürekli tarımsal üretim yapılması, toprağın organik madde ve azot rezervinin tükenmesine yol açar. Aksine, çiftlik gübresi veya hasat atıklarının düzenli olarak ilave edildiği arazilerde yarayışlı N ve muhtemelen PMN seviyeleri de artacaktır (USDA-NRCS, 2014).

PMN, mikroorganizmalar için yarayışlı bir N kaynağı olduğundan dolayı olarak C ve N döngüsünde mikrobiyal büyümeyi ve aktiviteleri artırır. İyi drene olmuş topraklarda, PMN, aerobik mineralizasyon yoluyla, çoğunlukla nitrat formunda bitkilere ve mikroorganizmalara sunulur. Çeltik ekim alanlarında olduğu gibi yeterince drene olmamış topraklarda PMN, anaerobik mineralizasyon yoluyla, amonyum formunda kullanılabilir (USDA-NRCS, 2014).

Sonuç

Tarımsal arazilerde toprak kalitesinin korunması, çevresel sürdürülebilirliğin temini için kritik derecede önemlidir. Toprak kalitesi, toprağın sahip olduğu çeşitli fonksiyonları ile ilişkili olan toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin tanımlanması ve değerlendirilmesi ile mümkün olabilir. Toprak biyolojik göstergeleri toprağın canlı bileşeni hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlar. Biyolojik göstergeler ile ilişkili olarak mikrobiyal ve biyokimyasal özellikler, toprak organik maddesinin ayrışması, C tutulması, besin döngüsü ve besin elementlerinin yarayışlılıklarında rol oynadıkları için önemli toprak göstergeleridirler. Bu nedenle de yoğun toprak işleme ve arazi kullanım değişiklikleri altında toprak kalitesinin değerlendirilmesi ve bozulmasının hassas göstergeleri olarak kabul edilirler.

Kaynaklar

- Acosta-Martínez, V., Cruz, L., Sotomayor-Ramirez, D., Perez-Alegria, L., 2007. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. *Appl. Soil Ecol.* 35, 35–45.
- Aravindh S., Chinnadurai, C., Balachandar, D. 2019. Development of soil biological quality index for soils of semi-arid tropics. *Journal of Soil Discussions.* doi.org/10.5194/soil-2019-60.
- Armas, C.M., Santana, B., Mora, J.L., Notario, J.S., Arbelo, C.D., Rodríguez-Rodríguez, A., 2007. A biological quality index for volcanic Andisols and Aridisols (Canary Islands, Spain): variations related to the ecosystem development. *Sci. Total Environ.* 378, 238–244.
- Bastida, F., Moreno, J.L., Hernández, T., García, C., 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biol. Biochem.* 38, 3463–3473.
- Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., García, C., 2008. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. *Geoderma* 147, 159–171.
- Bécaert, V., Samson, R., Deschênes, L., 2006. Effect of 2,4-D contamination on soil functional stability evaluated using the relative soil stability index (RSSI). *Chemosphere* 64, 1713–1721.
- Bhaduri, D., Purakayastha, T. J., Patra, A. K., Singh, M., Wilson, B. R. (2017). Biological indicators of soil quality in a long-term rice–wheat system on the Indo-Gangetic plain: combined effect of tillage–water–nutrient management. *Environmental earth sciences*, 76(5), 202.
- Carson, J., 2012. Microbial Biomass Carbon. Fact Sheets. <http://soilquality.org.au/factsheets/microbial-biomass-carbon-nsw> Erişim tarihi 13 Aralık 2019.
- Dale VH, Peacock AD, Garten CT, Sobek E, Wolfe AK. 2008. Selecting indicators of soil, microbial, and plant conditions to understand ecological changes in Georgia pine forest. *Ecological Indicators* 8: 818–827.
- Dick RP. 1994. Soil Enzyme Activity as an Indicator of Soil Quality. In: Doran JW et al., editors. *Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison, WI. p107-124.
- Dick R. 1996. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: Doran J, Jones, A., editor. *Methods for assessing soil quality.* Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, Inc. p. 121-56.
- Dick, R.P., 1997. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health.* CAB International, Wallingford, pp. 121–156.
- Fließbach, A., Oberholzer, H. R., Gunst, L., & Mäder, P. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 273-284.
- García-Orenes, F., Guerrero, C., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., ... & Caravaca, F. (2010). Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil and Tillage Research*, 109(2), 110-115.
- García-Orenes F, Cerdà A, Mataix-Solera J, Guerrero C, Bodí MB, Arcenogui V, Zornoza R, Sempere JG. 2009. Effects of agricultural management on surface soil properties and soil-water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Research* 106: 117–123.
- Hseu ZY, Chen ZS, Tsai CC (1999) Selected indicators and conceptual framework for assessment methods of soil Quality in arable soils of Taiwan. *Soil Environ* 2:77–88

- Kabiri, V., Raiesi, F., & Ghazavi, M. A. (2016). Tillage effects on soil microbial biomass, SOM mineralization and enzyme activity in a semi-arid Calcixerepts. *Agriculture, ecosystems & environment*, 232, 73-84.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 4–10.
- Karlen, D. L., Hurley, E. G., Andrews, S. S., Cambardella, C. A., Meek, D. W., Duffy, M. D., and Mallarino, A. P.: Crop rotation effects on soil quality at three northern corn/soybean belt locations, *Agronomy journal*, 98, 484-495,
- Knight T, Dick, R. 2004. Differentiating microbial and stabilized β -glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*. 36:2089-96.
- Korucu, T., Arslan, S., Günal, H., & Şahin, M. (2009). Spatial and temporal variation of soil moisture content and penetration resistance as affected by post harvest period and stubble burning of wheat. *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(9A), 1736-1747.
- Laudicina, V.A., Badalucco, L., Palazzolo, E., 2011. Effects of compost input and tillage intensity on soil microbial biomass and activity under Mediterranean conditions. *Biol. Fertil. Soils* 47, 63–70.
- Martinez-Salgado, M. M., Gutiérrez-Romero, V., Jannsens, M., & Ortega-Blu, R. (2010). Biological soil quality indicators: a review. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 1, 319-328.
- Marzaioli, R., D'Ascoli, R., De Pascale, R. A., & Rutigliano, F. A. (2010). Soil quality in a Mediterranean area of Southern Italy as related to different land use types. *Applied Soil Ecology*, 44(3), 205-212.
- Masto RE, Chhonkar PK, Singh D, Patra AK (2007) Soil Quality response to long-term nutrient and crop management on a semiarid Inceptisol. *Agric Ecosyst Environ* 118(1–4):130–142
- Moreno, J.L., Bastida, F., Hernaández, T., Garcí'a, C., 2008. Relationship between the agricultural management of a semi-arid soil and microbiological quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39, 421– 439.
- Nannipieri P, Greco S, Ceccanti B (1990) Ecological significance of the biological activities in soil. In: Bollog JM, Stotzky G (eds) *Soil biochemistry*, vol 6. Marcel Dekker Inc., New York, pp 293–355
- Paz-Ferreiro, J., & Fu, S. (2016). Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. *Land Degradation & Development*, 27(1), 14-25.
- Pell, M., Stenstróm, J. O. H. N., & Granhall, U. (2005). 7.2 Soil Respiration. *Bloem, J; DW Hopkins & A Benedetti*, 117-126.
- Rolda'n, A., Salinas-Garcí'a, J.R., Alguacil, M.M., Caravaca, F., 2005. Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. *Applied Soil Ecology* 30, 11–20.
- Souza Andrade, D., Colozzi-Filho, A., Giller, K.E., 2003. The soil microbial community and soil tillage. In: El Titi, A. (Ed.), *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton FL, pp. 51–81.
- Swanepoel, P. A., Habig, J., Du Preez, C. C., Botha, P. R., & Snyman, H. A. (2014). Biological quality of a podzolic soil after 19 years of irrigated minimum-till kikuyu-ryegrass pasture. *Soil Research*, 52(1), 64-75.
- Tesfahunegn, G. B., Tamene, L., Vlek, P. L., & Mekonnen, K. (2016). Assessing Farmers' Knowledge of Weed Species, Crop Type and Soil Management Practices in Relation to Soil Quality Status in Mai-Negus Catchment, Northern Ethiopia. *Land degradation & development*, 27(2), 120-133.

- Trasar-Cepeda, C., Leirós, C., Gil-Sotres, F., Seoane, S., 1998. Towards a biochemical quality index for soils: an expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertil. Soils* 26, 100–106.
- Turner B, Haygarth, P. 2005. Phosphatase activity in temperate pasture soils: potential regulation of labile organic phosphorous turnover by phosphodiesterase activity. *Science of the Total Environment*. 344:37-6.
- USDA-NRCS, 2010. Soil Enzymes. Soil Quality Indicators. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387> Erişim tarihi 14 Aralık 2019.
- USDA-NRCS, 2014. Soil Respiration. Soil Quality Indicators. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387> Erişim tarihi 14 Aralık 2019.
- USDA-NRCS, 2014. Potentially Mineralizable Nitrogen (PMN). Soil Quality Indicators. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387> Erişim tarihi 13 Aralık 2019.
- van Leeuwen, J., Creamer, R., Cluzeau, D., Debeljak, M., Gatti, F., Henriksen, C., ... & Saby, N. (2019). Modeling of soil functions for assessing soil quality: soil biodiversity and habitat provisioning. *Frontiers in Environmental Science*, Frontiers, 2019, 7, pp.113.
- Veum, K. S., Goyne, K. W., Kremer, R. J., Miles, R. J., & Sudduth, K. A. (2014). Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum. *Biogeochemistry*, 117(1), 81-99.
- Vincent, Q., Chartin, C., Krüger, I., Van Wesemael, B., & Carnol, M. (2019). CARBIOSOL: Biological indicators of soil quality and organic carbon in grasslands and croplands in Wallonia, Belgium. *Ecology*, 2843, 1-13.
- Wang, Q., Liu, J., Wang, Y., Guan, J., Liu, L., Lv, D.A., 2012. Land use effects on soil quality along a native wetland to cropland chronosequence. *Eur. J. Soil Biol.* 53, 114–120.