



www.ziraat.selcuk.edu.tr/dergi

Selçuk Üniversitesi
Ziraat Fakültesi Dergisi 20 (40): (2006) 1-8



TOPRAK KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE FARKLI YAKLAŞIMLAR

Mehmet ÖZULU¹

H. Hüseyin ÖZAYTEKİN²

Refik UYANÖZ²

¹ Konya Ticaret Borsası, Konya/Türkiye

² Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Konya/Türkiye

ÖZET

Toprak kalitesi, son 10 yıl içinde toprak biliminde en çok ilgi çeken konulardan biridir. Bu ilgi toprak kalitesi kavramının tanımı ve bu kalitenin ölçülmesinde kullanılacak güvenilir yolların araştırılması üzerine odaklanmıştır. Toprak kalitesinin tanımı üzerine iki kavram vardır. Bunlardan birincisi, toprağın fonksiyonlarına bağlı olarak kapasitesi. İkincisi ise, kullanıma uygunluk. Kapasite, iklim, topografya, bitki örtüsü ve anamateryalin de dahil olduğu bazı özelliklerin bir fonksiyonudur. Kullanıma uygunluk ise, dinamik bir kavramdır ve insanlar tarafından etkilenen toprak kullanımı ve yönetimi ile ilişkilidir. Toprakların biyokimyasal özellikleri toprak kalitesinin indikatörüdür ve son yıllarda yapılan çalışmalarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, hala biyokimyasal özelliklerin nasıl kullanılacağı konusunda bir fikir birliği bulunmamaktadır. Genellikle biyokimyasal özellikler C, N, P, ve S gibi elementlerin biyolojik döngüsü ile ilgilidir ve bu özellikler hem genel hem de spesifik biyokimyasal özellikleri içerir. Biyokimyasal özellikler, hem bireysel olarak basit göstergeler şeklinde hem de matematiksel kombinasyonlardan veya istatistik programlarının uygulamalarından geliştirilen kompleks eşitliklerin kullanıldığı çeşitli kombinasyonlar halinde kullanılabilir. Biyokimyasal özelliklerin bir toprak kalitesi indikatörü olarak kullanılmasında görülen en büyük problemler, referans değerlerin bulunmaması, bu özelliklerin toprak bozulduğunda zıt tepkiler vermesi ve değerlerin dağılımında görülen bölgesel farklılıklardır. Bu makalede biyokimyasal özelliklerin kullanımındaki bazı eğilimler gözden geçirilmiş ve bazı geleneksel toprak kalitesi ölçüm metotları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toprak Kalitesi, Biyokimyasal toprak özellikleri

DIFFERENT APPROACHES TO EVALUATING SOIL QUALITY

ABSTRACT

Over the last 10 years soil quality has been one of the topics of greatest interests in soil science. This interest has been focused on defining the concept of soil quality and on searching for reliable ways for evaluating this quality. Soil quality definitions currently follow two concepts. The first is the capacity of the soil to function. The second is fitness for use. Capacity of the soil to function which include climate, topography, vegetation and parent material. Fitness for use is a dynamic concept and relates to soil as influenced by human use and management. Soil biochemical properties are indicators of soil quality and using over the last decade. But there is still no consensus as to how they should be used. Generally biochemical properties related to the biocycles of elements (C, N, P, and S) and these properties include both general biochemical parameters and specific biochemical parameters. Biochemical properties can be used both individually as simple indices, or in combination using complex equations derived from mathematical combinations or the applications of statistical programs. Generally the greatest problems posed by the use of biochemical properties as a soil quality indicators include, lack of reference values, the contradictory behavior shown by these properties when a soil degraded and the regional variations in expression levels. We review the trends in the biochemical properties use and discuss some traditional measures of soil quality in this paper.

Keywords: Soil Quality, Biochemical Soil Properties

GİRİŞ

Toprak biliminin gelişmesi 150 yıl öncesine dayanmakla birlikte son 50 yıl içerisindeki gelişmeler sayesinde toprak bilimi insan yaşamının kalitesine önemli katkılar sağlamış ve toprak kaynakları yönetiminin insan ihtiyaçlarını karşılamadaki önemi daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

Son yıllarda global ve bölgesel kaynak yönetimi için yeni konseptler ve prosedürler tarif edilmiştir. Bu bağlamda, insanların talepleri ile ekosistemin sunduğu imkanlar ve bunların arasındaki bütünlüğün dengesini korumanın araştırılmasını isteyen yeni bir yaklaşım ortaya konmuş ve toprak kalitesi, su kalitesi, arazi degradasyonu, bio-jeokimyasalların döngüsü gibi yeni alanlarda araştırma yapma gereği ortaya çıkmıştır.

Toprak kalitesi son 10 yılda toprak biliminde en çok ilgi çeken konu başlıklarından biri haline gelmiştir (Sotier ve ark 2005). Toprak kalitesinin geliştirilmesi ve sürdürülmesi ülkelerin tarımsal verimliliğini artırdığı gibi gübre ve pestisit kullanımını azaltmakta, su ve hava kalitesini geliştirmekte ve sera gazlarının atmosfere salınımının engellenmesine yardımcı olmaktadır.

Toprak kalitesi konusundaki gelişmeler toprak kalitesi kavramı ve toprak kalitesinin nasıl belirleneceği üzerine odaklanmıştır fakat bu konuda tam bir fikir birliği hala sağlanamamıştır.

Bu çalışmada, toprak kalitesinin belirlenmesi hususundaki çeşitli görüşler üzerinde durulmuş ve hangi

yöntemlerde hangi kriterlerin kullanıldığı ve bunun nedenleri ve eksiklikleri konusu tartışılmıştır.

TOPRAK KALİTESİ KAVRAMI

Toprak kalitesi terimini açıklayabilmek için toprağın sahip olduğu çoklu fonksiyonları bilmek ve tarımsal aktivite ile toprak kalitesi arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamak gereklidir. Son yıllarda toprak kalitesi denince toprağın bitkisel üretimdeki yeri ve çevre sağlığı açısından toprağın rolü akla gelmektedir (Gil-Sotres ve ark 2005).

Toprak kalitesi konusunda günümüzde iki konsept vardır (Karlen ve ark.1997, Seybold ve ark, 1997). İlki toprağın sahip olduğu özelliklerinin fonksiyonu olarak kapasitesi, (Doran and Parkin 1994) ikincisi ise, kullanıma uygunluk kavramıdır (Pierce ve Larson,1993 Acton ve Gregorich, 1995).

Kapasite; toprağın oluşumunu belirleyen iklim, topografya, vejetasyon ve ana materyal gibi özelliklere bağlı olarak ortaya çıkan kendi bünyesinde barındırdığı özellikleridir. Bu özellikler toprak etütleri ile ölçülen ve tekstür, eğim, strüktür, renk gibi kavramlarla belirtilen özelliklerdir.

Kullanıma uygunluk ise, dinamik bir kavram olup insan aktivitesi ve yönetiminden etkilenen bir özelliktir. Bu kavram, çokça toprak sağlığı olarak da adlandırılmaktadır. Bu iki kavram arasındaki sınır tam olarak açık olmasa da toprak kalitesi toprağın sahip olduğu özelliklerin bir fonksiyonu olarak tanımlanırken, toprak sağlığı ise bu kavramlara ek olarak sürdürülebilir bitkisel ve hayvansal üretim, su ve hava kalitesini koruyan ve geliştiren insan ve hayvan sağlığını destekleyen ortam olarak dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda toprak kalitesi birçok araştırmacı tarafından tanımlanmıştır. Bu tanımlardan en çok kullanılanlardan bazıları şöyledir.

Park ve ark, (1992) toprak kalitesini, toprakların uzun vadede çevreye ve doğal kaynaklara zarar vermeden, insan ve hayvan sağlığını geliştirme devamlı ve sürdürülebilir güvenli gıda maddeleri üretme yetenekleri olarak tanımlamışlardır.

Arshad ve Coen , (1992) de benzer şekilde toprak kalitesini toprakların sürekli üretim yapmak için çevre sağlığını koruyarak minerallerin, suyun ve enerjinin optimum seviyede depolama ve dönüş kabiliyetleri olarak tanımlamışlardır.

Karlen ve ark, (1997) ise toprak kalitesini her bir toprak tipinin sahip olduğu özelliklerin fonksiyonu olarak toprakların sürdürülebilir bitkisel ve hayvansal üretim yapma insan ve çevre sağlığını geliştirme su ve hava kalitesini artırma yetenekleri olarak belirtmişlerdir.

Toprak kalitesi, dinamik ve toprağın sahip olduğu özellikler tarafından belirlenir. Örneğin toprağın derinliği toprağın tabii olarak sahip olduğu bir özelliktir ve kolayca değiştirilemez. Dinamik özelliklerin etkilediği toprak kalitesi ise toprağın kullanımına bağlı olarak değişir. Dolayısıyla toprak kalitesi agroklimatik

faktörler, hidrojeoloji ve üretim tekniklerinin bir fonksiyonudur ve toprak derinliği, su tutma kapasitesi, hacim ağırlığı, yarıyışlı besin maddesi miktarı, organik madde miktarı, mikrobiyal kütle, karbon ve azot içeriği, toprak yapısı, infiltrasyon hızı, ürün verimi gibi birçok özellik tarafından belirlenir.

Bu özellikler arasındaki korelasyon nedeni ile çok az özellik toprak kalitesi indikatörü olarak belirlenmiştir ve bu güne kadar yapılan çalışmalarda toprak kalitesinin seviyesini belirleme ve sayısal olarak ifade etme açısından yapılan çalışmalar yetersiz kalmıştır. (Olsen,1992.,Hornsby ve Brown,1992., Alexander ve McLaughlin,1992., Arshad ve Coen,1992). Toprak kalitesini belirlemek için yapılan çalışmaların bir amacı da, toprak fonksiyonlarının, amenajman ile nasıl geliştirileceğinin öğrenilmesidir. Zira toprak ve çevresi sahip olduğu tabii özelliklere bağlı olarak farklı kullanımlarda farklı tepkiler vermektedir

Toprak kalitesini ifade etmek için sayısal bir indeks geliştirmek oldukça zordur. Bunun nedeni toprak kalitesinin zamanla değişmesi ve bölgeden bölgeye farklılık göstermesidir. Ayrıca hangi özelliklerin toprak kalitesindeki değişiklikleri yansıtmada en iyi olduğu konusunda yeterli konsensüs bulunmamaktadır. Parr ve ark. (1992), bir toprak kalite indeksinde toprak özellikleri, üretim potansiyelleri, çevresel faktörler, insan ve hayvan sağlığını etkileyen kriterler, erozyon hassasiyeti, biyolojik çeşitlilik, gıda güvenliği ve kalitesi, yönetim pratiklerine ait faktörlerin bulunması gerektiğini bildirmişlerdir.

Ancak bu faktörlerden hangilerinin nasıl kullanılacağı ve bu faktörlerden hangilerinin toprak kalitesini belirlemede yeterli bir şekilde ölçülebileceği hala tartışma konusudur. Ayrıca bu faktörlerden gıda kalitesi yada biyolojik çeşitlilik gibi bazıları oldukça kompleks özelliklerdir, fakat toprak kalitesinin daha geniş tanımlanmasında önemli yardımcı faktörlerdir. Ayrıca toprak kalitesi bileşenlerinden olan bazı toprak özelliklerinin dünya çapında dağılımları konusunda yeterli toprak örneği toplanmadan ve bilgi sahibi olmadan tahmin etmede ve sınır değerlerini tespit etmede birçok zorluk bulunmaktadır. Dolayısıyla toprak kalitesi toprağın tüm fonksiyonlarına bağlı olarak ortaya çıkan toprak performansını gösteren bir değerdir. Bu nedenle sadece ürün verimini veya su kalitesini yada başka bir özelliği tek başına değerlendirilerek toprak kalitesi belirlenemez. Aslında toprak kalitesi tanımı, toprak özelliklerine bağlı olarak performansının nasıl arttırılacağı ve fonksiyonlarının gelecekte nasıl korunacağı konusundaki yaklaşımlardır.

Toprak kalitesi direk olarak ölçülemez, dolayısıyla bazı indikatörleri değerlendirmek gereklidir. Bu indikatörler, kolay ölçülebilen toprak veya bitki özellikleri olmalıdır ve toprak fonksiyonlarının nasıl iyileştirileceği konusunda ip uçları vermelidir. Kullanılacak indikatörler fiziksel, kimyasal yada biyolojik karakteristikler olabilir bu bağlamda kullanılacak indikatörler;

-Kolayca ölçülebilmelidir,

-Toprak fonksiyonlarına bağlı olarak değişim göstermelidir,

-Herkes için kabul edilebilir olmalı ve arazi şartlarında kolayca uygulanabilir olmalıdır,

-İklim ve arazi yönetimindeki değişimlere duyarlı olmalıdır.

İndikatör olarak seçilen karakteristikler nicel veya nitel olarak değerlendirilebilir. Toplanan ölçümlerin dağılımları değerlendirilerek ve farklı zamanlarda veya değişik alanlardan alınan ölçümler karşılaştırılarak toprak kalitesi hakkında fikir elde edilir.

Bu konudaki konsensüs eksikliği nedeniyle aşağıda bazı toprak değerlendirme sistemleri ele alınarak fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal kriterlerin toprak kalitesini değerlendirmede kullanımları ve problemlerinden bahsedilecektir.

GELENEKSEL KALİTE ÖLÇÜMLERİ

Arazi Kalitesi ve Uygunluğu

Bazı arazi kalitesi ölçümleri arazinin kapasitesinin veya ürün yetiştirme, ormancılık, mera veya tarım dışı kullanımlar gibi özel amaçlara uygunluğunun belirlenmesi esasına dayanır. Bu bağlamda yaygın olarak kullanılan iki kavram vardır Bunlar arazi kullanım kabiliyet sınıflaması ve üst düzey tarım arazileri (prime farmland) kavramıdır.

Arazi kullanım kabiliyet sınıflaması tüm dünyada kullanılan ve toprağın derinlik, tekstür, geçirgenlik, eğim derecesi ve erozyon şiddetine bağlı olarak I ile VIII. sınıf arasında değerler verilmesiyle oluşturulan bir sınıflama sistemidir. Ayrıca toprağın tuzluluk drenaj ve taşlılık durumu da sınıf artıran özellikler olarak dikkate alınır.

Bir başka ölçüm ise özellikle A.B.D. 'de kullanılan üst düzey tarım arazileri (prime farmland) kavramıdır. Bu kavram kök bölgesi ile ilişkili olan taban suyu tablası seviyesi, su tutma kapasitesi, tuzluluk derecesi, geçirgenlik, sel basma sıklığı, toprak sıcaklığı, erozyon derecesi ve pH gibi toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Bu sınıflamada araziler modern tarım metotları ile kullanıldığında yüksek verim için gerekli şartları sağladığında uygun tarım arazileri olarak sınıflandırılır.

Her iki sınıflandırma da toprağın sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklerle ilgilidir ve arazilerin ekonomik üretim yapma kabiliyetlerine göre belirlenmiştir. Ya da I. ila III. sınıf araziler veya üst düzey tarım topraklarında üretim için birim alana yapılan masraflar çok düşüktür.

Verimlilik

Toprak verimliliği, birim alandan alınan ürün ya da birim alandan sağlanan net kardan ve toprak kalitesinin bir yansıtıcısı olarak kullanılabilir. Toprak bozuldukça verim azalıyor ya da girdiler artarken karlılık düşüyorsa bu toprak kalitesinin azaldığının bir işareti olarak düşünülebilir. Ancak bununla beraber

verimlilik bazı durumlarda toprak kalitesini veya sağlığını maskeleyebilir, çünkü bazen zayıf fiziksel özelliklere sahip alanlardan yüksek girdi kullanmadan yüksek verim alınabilmektedir. (Vesterby and Krupa,1993).

Toprak kalitesini belirlemede için son yirmi yıl içinde toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değerlendirilerek oluşturulan çeşitli verimlilik endekslerinin kullanıldığı parametrik yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bu yöntemlerde çeşitli toprak özelliklerine puanlar verilmekte ve bu özelliklere göre toprakların aldığı puanlara göre verimlilik sınıfları oluşturulmaktadır.

Erozyona Uğrayabilirlik

Toprakların erozyona yatkınlığı yine kalite unsuru olarak değerlendirilen kriterlerden biridir. Zira erozyona uğrayabilirlik toprak struktürüne, toprak tekstürüne ve organik maddesine, topografya gibi toprak özelliklerine, yağış dağılımı gibi iklimsel faktörlere bağlıdır. Erozyon oranı, eğer toprak yüzeyi sürekli örtülü olacak şekilde üretim yapılırsa, toprak işlemede uygun teknikler kullanılır ve muhafaza tedbirleri uygulanırsa düşer. Dolayısıyla erozyon hem toprak özelliklerine hem de toprak yönetim seçimlerine bağlıdır.

Erozyonla ilgili bir başka ölçü de, birim alandan yılda erozyonla kaybolan toprak miktarı ya da toprak derinliğidir. Yılda kaybolan toprak derinliği üst toprak derinliğine bölünerek üst toprağın kaç yılda erozyonla uzaklaştırılacağı bulunabilir. Bu değer, toprak verimliliğinin ve ekonomik değerinin bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Bu değere erozyon oranı, toprak derinliği ve arazinin ekonomik değeri olmak üzere üç faktör etki eder.

MODERN YAKLAŞIMLAR

Yukarıda adı geçen yöntemlerin tümü toprakları fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine kurulmuştur ve toprakların biyokimyasal özellikleri ihmal edilmiştir. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda sadece ürün verimi, arazi bozulması, erozyon ya da fiziksel ve kimyasal toprak faktörleri üzerine odaklanmak yerine toprakların fiziksel kimyasal ve biyolojik özelliklerinin hangi ölçekte toprak kalitesini belirlediği üzerinde durulmaktadır.

Geçmişteki yaklaşımlarda kullanılan fiziksel ve kimyasal özelliklere ilaveten respirasyon, mineralizasyon, denitrifikasyon, enzim aktivitesi, biyolojik kütle ve çeşitlilik gibi biyolojik özelliklerde toprak kalitesini belirlemede kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca tarım gibi insan faaliyetlerinin uzun vadede bu özelliklere etkisi üzerinde durulmaya başlanmıştır. Tarımsal kullanım altında olan ve olmayan arazilerde toprak bozulması ve toprak kalitesinin korunması üzerinde araştırmalar yoğunlaştırılmıştır.

BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLER

Toprak kalitesini belirlemek için kullanılacak indikatörlerin seçimi çok önemlidir. Zira birçok özellik

vardır ve bunların hepsini kullanmak mümkün değildir, bu nedenle toprak kalitesini belirlemek için kullanılacak indikatörler

- a) Bozunma faktörlerinin alt ve üst seviyelerine duyarlı olmalıdır
- b) Bozunmanın tam seviyelerini yansıtabilmelidir
- c) Bozulmaya neden olan faktörlere verilen tepkinin değişim yönü açısından tutarlı olmalıdır (Elliot 1994)

Nortclift (2002), indikatörlerin iyi seçilememesi durumunda toprak kalitesinin değerlendirilmesinde sorunlar yaşanacağını belirtmiştir. Bununla ilgili olarak Doran ve Parkin (1996) toprak kalitesinin belirlenmesinde en az sayıda veri kullanılmasını önermişlerdir. Bu veriler ise tekstür, kök derinliği, infiltrasyon oranı, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi gibi fiziksel özellikler, pH, total C, elektriksel iletkenlik, besin maddesi miktarı gibi kimyasal özellikler, mikrobiyal kütle, mineralize edilebilir N, toprak solunumu gibi biyolojik özelliklerdir.

Genellikle fiziksel ve fiziko-kimyasal özellikler topraklar çok ağır bir değişime uğramadıkça önemli bir değişim göstermezler (Filip 2002). Halbuki biyolojik ve biyokimyasal parametreler var olan herhangi bir bozulma durumunda çok zayıf değişimlere bile duyarlıdır. Bu nedenle toprakların doğal özelliklerine bağlı olarak kapasiteleri veya çeşitli kullanımlara uygunlukları değerlendirilirken fiziksel ve kimyasal özelliklerin yanında biyolojik ve biyokimyasal indikatörlerde mutlaka bulunmalıdır. (Klein ve ark 1985, Nannipieri ve ark 1990 Yakovchenko ve ark 1996)

Toprak biyolojik ve biyokimyasal özelliklerinin kalite unsuru olarak değerlendirilmesi üç farklı yünden yapılmaktadır. Bunlardan birincisi mikroorganizma türü, miktarı ve dağılımının belirlendiği biyolojik çeşitlilik, ikincisi biyolojik indikatör olarak kullanılan özel organizma ve türlerinin dinamiğinin belirlendiği popülasyon çalışmaları ve son olarak da toprak enzimlerinin dolayısıyla mikrobiyal aktivitenin, buna bağlı olarak da organik maddenin dönüşümü ile ilgili olan elementlerin biyolojik döngüsünün ortaya konduğu ekosistem çalışmalarıdır (Visser ve Parkinson 1992).

Son on beş yıldaki biyolojik özelliklerle ilgili toprak kalitesi konusundaki çalışmalara bakıldığında biyokimyasal özellikler, toprak enzimleri gibi kavramlar görülmektedir. Bu durum hem genel hem de spesifik biyokimyasal parametreler kullanılarak yapılan toprak kalitesi tahminlerinde üç farklı yaklaşımın bulunduğunu göstermektedir. Bunlar bireysel özellikler, basit indeksler ve kompleks indeksler olarak tanımlanabilir.

Toprakların kalitesinin belirlenmesinde biyokimyasal özelliklerin kullanılmaması büyük bir eksiklik. Ancak yukarıda bahsedilen bu üç farklı yaklaşımda da çeşitli problemler bulunmaktadır (Sotres ve ark 2005). Aşağıda bu üç yaklaşımda kullanılan kriterler ve bunların avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir

Bireysel Özellikler

Biyokimyasal özelliklerin tek başına kullanımı, genellikle toprak kalitesinin tahmini içindir. Bu opsiyon toprak kalitesi kavramı, toprak verimliliği kavramı olarak algılandığı dönemlerde kullanılmıştır (Moureaux 1957), (Lajudie ve Pochon 1956). Ya da günümüzde mevcut verim ile toprak özellikleri değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için kullanılmaktadır (Sojka ve Upchurch 1999). Bireysel toprak özellikleri olarak, organik madde, mikrobiyal kütle dehidrogenaz aktivitesi, toprak solunumu, azot mineralizasyon kapasitesi, FDA hidroliz kapasitesi ya da ATP içeriği, üreaz veya fosfataz aktivitesi gibi özel biyokimyasal parametreler kullanılmaktadır.

Mikrobiyal kütle toprakta yaşayan mikroorganizmaları ve hayvanları ve bitki köklerini kapsar ve toprak ekosisteminde besin maddelerinin hem kaynağı hem de kullanıcısı olarak görev yapar. C, N, P ve S dönüşümlerine katılır, toksik organik maddelerin bozunmasında ve ağır metallerin tutulmasında toprak strüktürünün oluşmasında görev yaparlar. Toprak biyolojik kütle toprak kalitesini belirlemede bir indikatör olarak kullanılması yerinde bir yaklaşım olsa da bazı açılardan problem bulunmaktadır. Zira biyolojik kütle çayır örtüsü altında artarken kültivasyon biyolojik kütle azaltılmaktadır (Caldwell ve ark 1999). Minimum toprak işlemenin etkileri tam olarak belirlenmiş değildir (Dalal 1988). Ayrıca organik gübre uygulandığında biyolojik kütle artarken, inorganik N gübrelemesinde kararsız davranışlar göstermektedir (Singh ve Singh 1993, Ladd ve ark 1994). Ayrıca ağır metal kirliliği olan topraklarda biyolojik kütle iyi bir indikatör olarak görülmemektedir (Dalal 1998). Zira laboratuvar şartlarında Cd ve Cu ilavesi biyolojik kütle azaltırken, Kandeler ve ark (1996), arazi şartlarında karışık metal ilave ettikleri çalışmada mikrobiyal kütle arttığını gözlemlemişlerdir. Başka araştırmacılar da ağır metal kirliliği bulunan atık çamurunun biyolojik kütle azalttığını belirtmişlerdir. (Chander ve Brookes 1993, Filip 2002). Bu gibi problemlerden dolayı mikrobiyal kütle toprak kalitesi indikatörü olarak kullanılması oldukça tartışmalı bir durumdur.

Dehidrogenaz aktivitesi, toprakların redoks potansiyelleri ve oksidatif aktiviteleri hakkında önemli bilgiler verir. Ancak tıpkı biyolojik kütlede olduğu gibi yapılan araştırmalarda birbiri ile çelişen sonuçlar gözlenmiştir. Örneğin toprak işleme, dehidrogenaz aktivitesini hem artırmakta hem de azaltmaktadır. (Bergstrom ve ark 1998, 2000). Halbuki organik gübre, endüstriyel atık ilave dehidrogenaz aktivitesini arttırmaktadır (Pascual ve ark 1999, Langer ve Gunther 2001). Genellikle eğer çok yüksek dozlarda değilse ağır metal kirliliği dehidrogenaz aktivitesini etkilememektedir.

Azot mineralizasyon kapasitesi organik azot formlarının amonyum veya nitrite, dönüşme kapasitesidir. Bu değer toprak yönetiminin toprak kalitesi üzerine etkisini belirlemede kullanılmaktadır. Ancak

bu değerlerin kuvvetli bir şekilde sadece toprak yönetimi tarafından etkilenmesi toprak kalitesi indikatörü olarak kullanımını kısıtlamaktadır (Pankhurst ve ark 1995).

Hidrolyz enzimlerinden olan asit fosfomonoesteraz aktivitesi toprak yönetiminden ya da bulaşmadan kaynaklanan toprak kalitesi değişimleri belirlemede çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu enzim topraktaki organik madde miktarı ve etkinliği için iyi bir indikatördür (Jordan ve ark 1995, Mullen ve ark 1998, Bergstrom ve ark 2000). İşlenen topraklarda organik madde korunduğu fosfomonoesteraz aktivitesi de yüksek olabilir. (Dick ve ark 1994). Bu nedenle degrade olmuş topraklarda, yeniden iyileşme sürecinde enzim aktivitesi de artmaktadır (Garcia ve ark 1997, Vance ve Entry 2000). Değişik çalışmalar göstermiştir ki, organik gübreleme bu enzim aktivitesini artırırken fosfatlı gübreler azaltmaktadır (Olander ve Vitousek 2000). Toprakta Pb ve diğer ağır metaller bulunduğu fosfomonoesteraz aktivitesi önemli ölçüde azalırken pestisit varlığında geçici olarak azalmaktadır. (Schaffer 1993)

β glukozidaz enzimi karbon döngüsü ile ilgili olarak toprak yönetimine bağlı değişimler için toprak kalitesi indikatörü olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. β glukozidaz aktivitesi işlenen topraklarda, orman ve çayır örtüsü altındaki topraklara göre önemli ölçüde düşüktür (Bandick ve Dick 1999, Saviozzi ve ark 2001). Toprakta Pb bulunduğu ve bazı tarım pratikleri altında β glukozidaz aktivitesi düşmektedir. Ancak organik gübreleme gibi bazı tarımsal pratikler bu enzim aktivitesini artırmaktadır. Bu durum β glukozidaz aktivitesinin toprak kalitesi indikatörü olarak kullanılması hususunda değerini azaltmaktadır.

Üreaz enzimi aktivitesi toprak yönetimine bağlı olarak değişen ve toprak kalitesini belirlemede yine yaygın olarak kullanılan indikatörlerdendir. Üreaz aktivitesi organik gübreleme ile artmaktadır (Pascual ve ark 1999, Chakrabarti ve ark 2000). Özellikle ahır gübresi ilavesi ile artarken toprak işleme ile azalmaktadır (Saviozzi ve ark 2001). Her iki uygulamada tarım topraklarında önemli bir işlem olduğundan üreaz aktivitesinin toprak indikatörü parametresi olarak kullanımını sınırlıdır.

Bu gibi bireysel özelliklerin kullanılması yukarıda kısaca bahsedilen çözülmemiş problemlerden dolayı birçok sakıncaya sahiptir. Zira enzim aktiviteleri birçok toprak özelliği ve reaksiyonu tarafından belirlenen kompleks fonksiyonların sonucu belirlenir.

Dalal (1998) a göre iyi bir indikatör referans kritik veya eşik değerler vermelidir. Toprağın bir veya daha fazla fonksiyonunu ölçebilmelidir, karışım, yönetim ve ıslah yada restorasyon nedeniyle meydana gelecek değişimlere duyarlı olmalıdır. Kolayca yorumlanabilmelidir ve kolayca gözlemlenmeli ve ayrıca ucuz olmalıdır. Bireysel biyokimyasal özellikler tek başına bu faktörlerin hepsini karşılayamamaktadır. Özellikle referans değerler konusunda sorun çok önemlidir. Birinci sınıf ya da en iyi tarım topraklarının

da bile biyokimyasal özellikler, iklim, mevsim, coğrafik lokasyon, pedogenetik faktörler nedeniyle önemli değişimler göstermektedir. Bu durum farklı araştırmacıların farklı zaman ve lokasyonlarda yaptıkları çalışmaların karşılaştırılmasında ve yorumlarda zorluklar çıkarmaktadır. Ayrıca kullanılan metotlarda ve ön işlemlerde standart işlemlerin bulunmaması ve referans değerlerin kullanılmaması bu zorlukları daha da artırmaktadır. Bu nedenle bireysel enzimatif aktivitelerin toprak kalite unsuru olarak kullanılmaları oldukça sınırlıdır.

Basit İndeksler

Dalal (1998), bireysel biyokimyasal özelliklerin kullanımındaki problemler nedeniyle iki biyokimyasal özellik arasındaki oran gibi basit indekslerin kullanımını önermiştir. Bu indekslerden en önemlileri metabolik katsayı (qCO_2), ölüm oranı katsayısı (qD), biyomas C içeriği, biyokimyasal özellikler ile C, N içeriği arasındaki ilişkiler gibi yaklaşımlardır. Bunlardan en çok kullanılanı $q(CO_2)$ dir ve başlangıca göre birim zamanda birim biyomas-C tarafından mineralize edilen substrat miktarını göstermektedir (Andersan ve Domsch 1985). Ancak sorun basit indeksler ile de çözülememiştir. Zira bireysel biyokimyasal özelliklerde olduğu gibi, söz konusu indeksler için de referans değerlerin bulunmaması, farklı araştırmacıların benzer denemelerde aynı oran için tutarlı olmayan sonuçlar bulmaları toprakta oluşan süreç modifikasyonları ile indexteki ilgili bir değişim için objektif kriterlerin bulunmaması, basit indekslerin kullanımını sınırlamıştır.

Kompleks İndeksler

Toprak kalitesinin belirlenmesinde kullanılan bir başka yaklaşım, çeşitli biyokimyasal özelliklerin kombinasyonundan hesaplanan kompleks indekslerdir. Bu indekslerden en çok bilineni 1980'li yıllarda ortaya konan Stefanic indeksi (Stefanic ve ark 1980) ve Beck indeksidir (Beck 1984). Stefanic indeksi hem dehidrogenaz hem de katalaz aktivitesi değerlerinin matematisel ifadesini kullanan biyolojik verimlilik indeksidir. Enzimatif aktivite sayısı olarak da ifade edilen Beck indeksi ise hesaplamada dehidrogenaz, katalaz, fosfataz, proteaz ve β glukodiaz enzimlerini kullanır. Bu indekslerin temeli deneysel faktörler ile elde edilen katsayılar ile çarpılan enzim aktivitesi değerlerinin kullanıldığı polinomial formüllerdir. Bu formüllerin zayıf tarafı ise objektif referans değerlerin ve katsayıların olmamasıdır. Ayrıca bu eşitliklerin ortaya çıkarılmasında kullanılan yöntemler tamamen deneyseldir ve seçilen biyokimyasal ve mikrobiyolojik parametreler her zaman çok açık değildir. (Nannipieri ve ark 2002). Kompleks indekslerin kullanımı kompleks toprak ekosistemini açıklamada ve toprak kalitesini belirlemede daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak bu değerler değişik şartlar ve lokasyonlarda yeterince test edilmediğinden universal değerler taşımamaktadır. Bu nedenle uluslararası seviyede daha

yoğun ve koordineli çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

SONUÇ

Toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile bir bütündür ve toprak davranışına tüm bu özellikler, değişik seviyelerde etki eder ve bir bütün olarak toprak kalitesini belirler. Son 20 yıla kadar toprak kalitesini belirlemek için toprağın sahip olduğu bireysel fiziksel ve kimyasal özellikler kullanılmakta idi. Ancak fiziksel ve kimyasal özellikler toprak kalitesini yansıtmada tek başına her zaman sağlıklı veriler vermemektedir ve toprak biyolojik özelliklerinin bulunmadığı değerlendirme sistemleri eksik kalmaktadır. Zira toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bazıları arazi kullanımı, ağır metal kirliliği, amenajman pratikleri gibi çeşitli faktörler tarafından çok az etkilenmekte veya etkilenmemektedir. Örneğin derin, orta bünyeli düz, iyi drenajlı ve tuzsuz bir toprak klasik değerlendirme sistemlerinde I. sınıf bir arazi olarak değerlendirilmektedir. Halbuki bu toprakta bitkisel üretimi kısıtlayan ağır metal kirliliği gibi faktörlerin bulunması toprak kalitesini düşürücü bir faktördür ve sadece fiziksel ve kimyasal özelliklerin kullanıldığı değerlendirme sistemlerinde toprak kalitesi sağlıklı bir şekilde ortaya çıkarılamamaktadır.

Biyokimyasal toprak özellikleri çeşitli şekillerde toprak kalitesini değerlendirmek için son yıllarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Ancak biyokimyasal özellikler hala etkili bir teşhis aracı olarak kullanılmamakta, genel kullanımlar için geçerli değerler ortaya koyamamaktadır. Zira çok farklı metodolojik yaklaşımların bulunması, kabul edilmiş standart analiz metodlarının bulunmaması, örnek toplamada, depolamada, analiz öncesi işlemlerde ve enzim aktivitesini etkileyen sıcaklık, substrat konsantrasyonu, inkübasyon zamanı gibi kritik işlemlerde standart bir protokolün bulunmaması, farklı kişilerin farklı zamanlarda elde ettiği verilerin karşılaştırılmasında güçlükler doğurmaktadır. Dahası biyokimyasal özellikler mevsimsel ve yerel olarak büyük oranda değişiklik göstermekte, bu da karşılaştırmalar için referans değerlerin ortaya konmasına imkan vermemektedir.

Bu metodolojik problemler ve toprak sisteminin kompleksliği, bir veya iki biyokimyasal özelliğin kullanılarak ya da basit indeksler ile toprak kalitesinin tahmininde sağlıklı bilgiler vermemektedir. Kompleks indeksler bu konuda daha sağlıklı görünmektedir. Ancak bilim adamları belirli toprak özelliklerinin davranışları ve birbirleriyle ilişkileri ve ayrıca bozulmuş ve kullanılmamış toprakların fonksiyonlarındaki rolleri üzerinde daha çok araştırma yapmalı, yeterli veri tabanı kurulmalı, üniversal standart metodlar ve referans değerler oluşturulmalıdır. Oluşturulan biyokimyasal kalite parametreleri toprak fiziksel ve kimyasal özellikleri ile kombine edildiğinde toprak kalitesi daha sağlıklı ve doğru bir şekilde ortaya konabilecektir.

KAYNAKLAR

- Acton, D.F., And L.J., Gregorich (1995). "Understanding Soil Health," The Health of Our Soils: Toward Sustainable Agriculture in Canada, Acton and Gregorich (eds.). Center for Land and Biological Resources Research, Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ontario.
- Alexander, E.B., AND J.C., McLaughlin (1992). "Soil Porosity as an Indicator of Forest and Rangeland Soil Condition (Compaction) and Relative Productivity." Proceedings of the Soil Quality Standards Symposium, San Antonio, Texas, Oct. 1990. Watershed and Air Management Report No. W0-WSA-2. U.S. Dept. Agr., U.S. Forest Service.
- Anderson, T.H., Domsch, K.H., 1985. Determination of ecophysiological maintenance requirements of soil micro-organisms in a dormant state. *Biology and Fertility of Soils* 1, 81-89.
- Arshad, M.A., And G.M. Coen (1992). "Characterization of Soil Quality: Physical and Chemical Criteria." *American Journal of Alternative Agriculture*, Vol.7, Numbers 1 and 2.
- Bandick, A.K., Dick, R.P., 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 1471-1479.
- Beck, T., 1984. Methods and applications of soil microbiological analyses at the Landsensanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBB) in Munich for the determination of some aspects of soil fertility, in: Nemes, M.P., Kiss, S., Papacostea, P., Stefanic, G., Rusan, M. (Eds.), *Fifth Symposium on Soil Biology*. Roman National Society of Soil Science, Bucharest, pp. 13-20.
- Bergstrom, D.W., Monreal, C.M., King, D.J., 1998. Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices. *Soil Science Society of America Journal* 62, 1286-1295.
- Bergstrom, D.W., Monreal, C.M., Tomlin, A.D., Miller, J.J., 2000. Interpretation of soil enzyme activities in a comparison of tillage practices along a topographic and textural gradient. *Canadian Journal of Soil Science* 80, 71-79.
- Chakrabarti, K., Sarkar, B., Chakraborty, A., Banik, P., Bagchi, D.K., 2000. Organic recycling for soil quality conservation in a sub-tropical plateau region. *Journal of Agronomy and Crop Science* 184, 137-142.
- Dalal, R.C., 1998. Soil microbial biomass- what do the numbers really mean? *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38, 649-665.
- Dick, R.P., Sandor, J.A., Eash, N.S., 1994. Soil enzyme activities after 1500 years of terrace agriculture in the Colca Valley, Peru. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 50, 123-131.

- Doran, J.W., 2002. Soils health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88, 119-127.
- Doran, J.W., and T.B. Parkin (1994). "Defining and Assessing Soil Quality," *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, SSSA Spec. Pub. No. 35, Madison, WI.
- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set, in: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*, vol. 49. Soil Science Society of America Special Publication, Madison, pp. 25-37.
- Doran, J.W., Safley, M., 1997. Defining and assessing soils health and sustainable productivity, in: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, Wallingford, pp. 1-28.
- Elliot, E.T., 1994. The potential use of soil biotic activity as an indicator of productivity, in: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R., Grace, P.R. (Eds.), *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*, CSIRO, Melbourne, pp. 250-256.
- Filip, Z., 2002. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88, 169-174.
- Garcia, C., Roldan, A., Hernandez, T., 1997. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid Mediterranean environment. *Journal of Environmental Quality* 26, 285-291.
- Hornsby, A.G., And R.G. Brown (1992). "Soil Parameters Significant to Pesticide Fate." *Proceedings of the Soil Quality Standards Symposium*, San Antonio, Texas, Oct. 1990. Watershed and Air Management Report No. W0-WSA-2. U.S. Dept. Agr., U.S. Forest Service.
- Jordan, D., Kremer, R.J., Bergfield, W.A., Kim, K.Y., Cacnio, V.N., 1995. Evaluation of microbial methods as indicators of soil quality in historical agricultural fields. *Biology and Fertility of Soils* 19, 297-302.
- 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 Science Society of America Journal* 61, 4-10.
- Klein, D.A., Sorensen, D.L., Redente, E.F., 1985. Soil enzymes: a predictor of reclamation potential and progress, in: Tate, R.L., Klein, D.A. (Eds.), *Soil Reclamation Processes. Microbiological Analyses and Applications*. Marcel Dekker, New York, pp. 273-340.
- Lajudie, J., Pochon, J., 1956. Studies on the proteolytic activity of soils. *Transactions of the VI International Soil Science Congress, part C. International Soil Science Society, Paris*, pp. 271-273.
- Langer, U., Gunther, T., 2001. Effects of alkaline dust deposits from phosphate fertilizer production on microbial biomass and enzyme activities in grassland soils. *Environmental Pollution* 112, 321-327.
- Moureaux, C., 1957. Biochemical test on some Madagascarian soils. *Memories de l'Institut des Sciences de Madagascar* 8, 225-241.
- Mullen, M.D., Melhorn, C.G., Tyler, D.D., Duck, B.N., 1998. Biological and biochemical soil properties in no-till corn with different cover crops. *Journal of Soil and Water Conservation* 53, 219-224.
- Nannipieri, P., Ceccanti, B., Grego, S., 1990. Ecological significance of biological activity in soil, in: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry*, vol. 6. Marcel Dekker, New York, pp. 293-355.
- Nortcliff, S., 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88, 161-168.
- Olander, L.P., Vitousek, P.M., 2000. Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochemistry* 49, 175-190.
- Olson, K.R. (1992). "Soil Physical Properties as a Measure of Cropland Productivity." *Proceedings of the Soil Quality Standards Symposium*, San Antonio, Texas, Oct. 1990. Watershed and Air Management Report No. W0-WSA-2. U.S. Dept. Agr., U.S. Forest Service.
- Pankhurst, C.E., Hawke, B.G., McDonald, H.J., Kirby, C.A., Buckerfield, J.C., Michelsen, P., O'Brien, K.A., Gupta, V.V.S.R., Doube, B.M., 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35, 1015-1028.
- Parr, J.F., R.I. Papendick, S.B. Horner, and R.E. Meyer (1992). "Soil Quality: Attributes and Relationship to Alternative and Sustainable Agriculture." *American Journal of Alternative Agriculture*, Vol. 7, Numbers 1 and 2.
- Pascual, A., Garcia, C., Hernandez, T., 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biology and Fertility of Soils* 30, 1-6.
- Pierce, F.J., and W.E. Larson (1993). "Developing Criteria to Evaluate Sustainable Land Management," *Proceedings of the Eighth International Soil Management Work-shop: Utilization of Soil Survey Information for Sustainable Land Use*, J.M. Kimble (ed.). U.S. Dept. Agr., Soil Cons. Serv., Lincoln, NE. May.
- Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Cardelli, R., Riffaldi, R., 2001. A comparison of soil quality in adjacent

- cultivated, forest and native grassland soils. *Plant and Soil* 233, 251-259.
- Schaffer, A., 1993. Pesticide effects on enzyme activities in the soil ecosystem, in: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry*, vol. 8. Marcel Dekker, New York, pp. 273-340.
- Sojka, R.E., Upchurch, D.R., 1999. Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Science Society of America Journal* 63, 1039-1054.
- Stefanic, G., 1994. Biological definition, quantifying method and agricultural interpretation of soil fertility. *Romanian Agriculture Research* 2, 107-116.
- Vance, N.C., Entry, J.A., 2000. Soil properties important to the restoration of a Shasta red barrens in the Siskiyou Mountains. *Forest Ecology and Management* 138, 427-434.
- Vesterby, M., and K.S. Krupa (1993). "Effects of Urban Land Conversion on Agriculture." *Urbanization and Development Effects on the Use of Natural Resources*, E. Thunberg and J. Reynold, eds. Southern Rural Development Center and Farm Foundation. SRDC No.169.)
- Visser, S., Parkinson, D., 1992. Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 33-37.
- Yakovchenk, V.I., Sikora, L.J., Rauffman, D.D., 1996. A biologically based indicator of soil quality. *Biology and Soils* 21, 245-251.