

Derleme/Review

Sürdürülebilir Toprak İşleme Yöntemlerinin Belirlenmesinde Toprak Kalitesinin Önemi

Mustafa BAYRAM^{1*}, Hikmet GÜNAL², Engin ÖZGÖZ¹

¹: Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tokat

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

*e-mail:mustafa.bayram@gop.edu.tr; Tel: +90 (356) 252 1616 /2171

Özet: Tarımsal üretimin zaman içerisinde azalmadan devam ettirilebilmesinin önündeki en önemli tehditlerin başında toprağın üretkenlik fonksiyonunun azalmasına neden olan bozulma olayları gelmektedir. Yoğun toprak işleme uygulamaları, toprağın stabilitesi, dayanıklılığı ve kalitesini etkileyen en önemli bozucu faaliyetlerdir. Yoğun toprak işleme, kısa vadede tohum için ideal bir ortam oluştururken, uzun vadede toprak kalite göstergelerinin olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Arazi yüzeyinde bırakılan bitki artıklarının miktarı, etkili toprak derinlikleri ve toprağa uyguladıkları basınçları farklı olduğundan dolayı toprak işleme sistemlerinin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkisi farklılık göstermektedir. Sürdürülebilir tarımsal üretim yapabilmek için karar verilen toprak işleme sisteminin toprak fonksiyonlarını nasıl etkileyeceğinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, toprağın geçmiş ve şu anki durumu ile potansiyelini değerlendiren toprak kalitesi değerlendirme yöntemleri, toprak kalitesini koruyacak ya da iyileştirecek uygun toprak işleme sistemlerinin seçimini kolaylaştırır. Bu çalışmanın amacı; toprak kalitesinin değerlendirilmesinin önemini ortaya koymak ve toprak işleme sistemlerinin seçiminde kullanımını artırmaktır.

Anahtar kelimeler: Toprak işleme yöntemleri, Toprak kalitesi değerlendirmesi, Arazi bozulması, sürdürülebilirlik

Importance of Soil Quality in Determination of Sustainable Soil Tillage Methods

Abstract: Land degradation, decrease in productivity function of soils, is a major threat to sustainability of agricultural production in time. Soil tillage applications are the major disturbance activities affecting soil stability, soil resilience, and soil quality. Intensive soil tillage creates suitable conditions for seed in a short period of time, however soil quality indicators are negatively affected in the long run. The effects of soil tillage methods on physical, chemical and biological characteristics of soils vary due to the amounts of crop residue left on soil surface, soil depth tilled and pressure exerted on soil. Therefore, the effects of soil tillage systems should be well known prior to the decision of which methods to be used in order to sustain agricultural production. Soil quality assessment methods used to evaluate past and present potential of soils will facilitate the selection of appropriate soil tillage systems to maintain and improve the soil quality. The objectives of this study soil demonstrate the importance of the soil quality evaluating and to increase the use of evaluation in the selection of soil tillage system.

Key words: Soil tillage methods, Soil quality assessment, Land degradation, Sustainability

Giriş

Bitkisel üretimde, birim alandan daha fazla ürün alma beklentisi artarken; gıda, lif, yem ve yakıt üretiminin hava, su ve toprağa zarar vermemesi istenmektedir (Stott ve ark. 2010). Bu nedenle, toprak işleme sistemlerinin üretimde artışı sağlarken toprağı da koruyacak şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Uygun toprak işleme yöntemleri kullanılmadığında, meydana gelen bozulmalar toprağın birçok işlevini yerine getirmesini engelleyecektir (Derpsch ve Moriya 1998).

Uzun yıllardır, ürün yetiştirmek amacıyla uygun tohum yatağı hazırlamak, yabancı otları kontrol etmek, gübre, pestisit, hayvan gübresi ve diğer katkı maddelerini toprağa karıştırmak için toprak işleme yapılmaktadır. Başlangıçta doğal ekosistemin toprak işlemeyle değiştirilmesi toprak organik maddesinde

depolanan besinlerin serbest kalmasına yardım etmiştir. Ancak, uzun süreli toprak işleme ile beraber organik maddedeki azalma zamanla toprak strüktürünü bozarak toprak erozyonunu hızlandırmıştır (Papendick ve Parr 1997). Bone ve ark. (2010) toprağın bozulmasına neden olan faaliyetlerin toprak kalitesini tehdit eden unsurlar olduğunu, toprak kalitesinin tanımlanması ve değerlendirilmesinde bu işlemlere odaklanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Toprak kalitesini anlamak için toprağın bozulma durumunu değerlendirmek ve fonksiyonlarını doğru tanımlamak gerekmektedir (Bone ve ark. 2010). Sürdürülebilir tarımda toprak kalitesi genel olarak *toprak sağlığı* terimi ile ifade edilirken (Kibblewhite ve ark. 2008) bu terim zamanla yerini toprakta bozulma ya da çevreye zarar vermeden toprakların ürün gelişimini sürdürülebilir bir şekilde destekleme kapasitesi olarak tanımlanan *toprak kalitesine* bırakmıştır (Acton ve Gregorich 1995). Toprak kalitesi kendi başına bir bilim dalı olmayıp toprak yönetimi kararlarını değerlendirmede yararlanılabilecek bir değerlendirme aracıdır (Wander ve Drinkwater 2000). Toprak kalitesi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olduğundan, toprak kalitesinin değerlendirilmesinde bu özelliklerin tamamının dikkate alınması zorunludur (Mijangos ve ark. 2006; Paz-Ferreiro ve ark. 2009). Bitkisel üretimde uygulanan farklı toprak işleme yöntemlerindeki değişimlere tepki veren ve çok hızlı bir şekilde değişen önemli toprak özelliklerinden bazıları; bitki besin elementlerinin dağılımı, agregat stabilitesi, nem içeriği, sıcaklık ve toprak biyolojisi gibi parametrelerdir (Altıkat ve Çelik 2009). Bu nedenle, uygulanacak toprak işleme yöntemlerinin belirlenmesinde; yöntemlerin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine ayrı ayrı etkilerinin yerine, bu özelliklerin tamamını kapsayan toprak kalitesi ve fonksiyonlarına etkilerinin değerlendirilebileceği bir yaklaşım dikkate alınmalıdır.

Toprakta meydana gelen bozulmanın belirlenebilmesi için mevcut ya da gelecekte hangi toprak işleme sisteminin uygulanacağına karar verilmesini sağlayacak değişik değerlendirme yöntemleri geliştirilmiştir. Toprak kalitesinin değerlendirilmesi ile elde edilen indeksler bu yöntemlerden bazılarıdır. Toprak kalite indeksi çeşitli bilgileri birleştirerek çok amaçlı karar almada etkili araçlardır (Karlen ve Stott 1994). İdeal bir toprak kalite indeksi, toprakların üretkenlik, çevre ve sağlık fonksiyonlarının bir bütününe kapsamaktadır (Bezdicsek ve ark. 1996). Bugüne kadar geliştirilen toprak kalite indekslerini test eden ve amenajman uygulamalarının, topraklar ve ekosistemlere nasıl etki edeceğinin belirlenmesinde kullanılan değerlendirme yöntemlerinin başarılı bir şekilde uygulanabileceğini belirten pek çok çalışma bulmak mümkündür (Karlen ve ark. 1994a; Karlen ve ark. 1997; Beinat ve Nijkamp 1998; Herrick 2000; Andrews ve ark. 2004). Nakajima ve ark. (2015) çalışmalarında, toprak kalite indeksi değerlendirmesinin farklı arazi kullanımları ve tarımsal ekosistemlerin değerlendirilmesi için önemli bir araç olduğunu bildirmişlerdir. Tarımsal Ekosistem Değerlendirme aracı (TEDA), Toprak Koşullandırma İndeksi (TKİ), Cornell Toprak Sağlığı Testi ve Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (TADÇ) bu amaçla kullanılabilen araçlardan bazılarıdır (Karlen ve ark. 2008a). Bu çalışmada, toprak işleme yöntemlerinin toprak kalitesi göstergesi olan toprak özellikleri üzerine etkisi üzerinde durulmuştur.

Toprak Kalitesi Kavramı ve Önemi

Toprak kalitesi, hava ve su kalitesi gibi içinde yer aldığı ekosistemin sağlığını etkiler. Ancak, toprak oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğundan standartları belirlenmiş olan su ve hava kalitesine göre tanımlanması ve sayısallaştırılması zordur (Doran ve Parkin 1994). Bu nedenle; toprak kalitesi direkt olarak ölçülememekte, ancak; sürdürülebilir tarım ve çevresel sistemler için önemli olan ve ölçülen bir kısım fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerle göstergelerin sayısallaştırılması şeklinde değerlendirilebilmektedir (Karlen ve ark. 1997).

Üreticilerin toprak sağlığı terimini daha yaygın kullandığını belirten Roming ve ark. (1995) "toprak kalitesi" ve "toprak sağlığı" terimlerinin birbirinin yerine kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Çünkü toprak sağlığı çiftçiler için yoğun bir analizin aksine, daha yüzeysel, daha çok sayısal ve çokluk azlık ifadeleri ile saptanabilen bir terim olduğundan toprakları sağlıklı veya sağlıklısız şeklinde daha kolay karakterize edebilmektedirler. Bununla birlikte, toprak kalitesi kavramı, biyosfer içinde toprak kaynaklarının yerine getirdiği kritik fonksiyonlarla yakın şekilde bağlantılı olduğundan, bilim adamları çoğunlukla 'toprak kalitesi' ifadesini kullanmayı tercih etmektedirler. Bu yüzden, toprak kalitesi kavramı 'toprağın fonksiyon gösterme kapasitesi' ya da diğer bir ifadeyle 'belirli bir amaç ya da kullanım için bir toprağın nasıl fonksiyon gösterdiği' olarak tanımlanmaktadır (Doran ve Zeiss 2000; Karlen ve ark. 2003).

Toprak kalitesini: *genetik* ve insan etkisi ile şekillenen *dinamik* toprak kalitesi şeklinde ikiye ayırmak mümkündür. Toprağın genetik kalitesi, toprak oluşum faktörleri olan iklim, ana materyal, zaman, topoğrafya ve bitki örtüsünün toprak özellikleri üzerine etkisini yansıtır ve kısa süreli arazi içi uygulamalardan fazlaca etkilenmeyen toprak özelliklerini kapsamaktadır (Karlen ve ark. 2008a). Toprağın durumu ve sağlığı incelendiği zaman, eğer bir toprak belirli bir arazi kullanımı için potansiyelinin tümünde fonksiyon gösteriyorsa, bu toprağın kalitesi yüksektir ve toprak sağlıklıdır, Ancak, eğer toprak kendi potansiyelinin altında fonksiyon gösteriyorsa toprak bozulmaya başlamış ya da sağlığı yerinde değildir (Karlen ve ark. 1997) şeklinde değerlendirilmelidir. Dinamik toprak kalitesi ise, toprak işleme, sulama, gübreleme ve hasat gibi tarımsal uygulamalarla kısa sürede meydana gelecek değişimleri ifade eder (Doran ve Parkin 1994; Karlen ve ark. 1997). Toprak kalitesi ile ilgili yapılan çalışmaların temel hedeflerinden biri de uygulanan amenajmanların toprak kalitesini nasıl etkilediğinin belirlenmesi olmalıdır. Zira topraklar, genetik özelliklerine ve amenajmana bağlı olarak farklı tepkiler verirler (Anonim 2011). Bu nedenle, uygulanan toprak işleme sistemine toprağın nasıl tepki verdiğini bilmek, sürdürülebilir tarımsal üretim sistemlerinin adapte edilebilmesinde yapılması gereken öncelikli çalışmalardan biri olmalıdır (Bezdicsek ve ark. 1996).

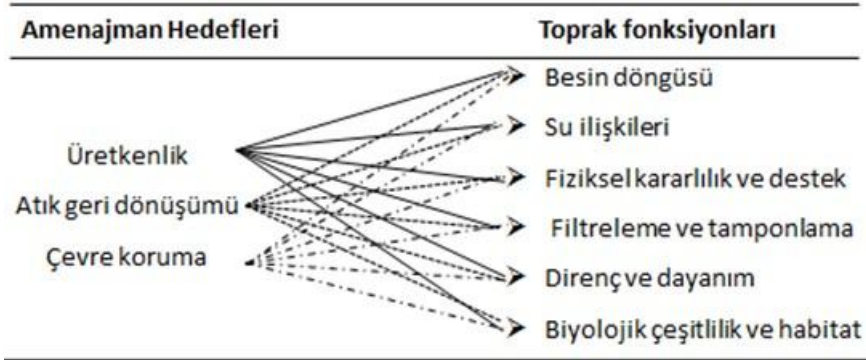
Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesi

Günümüzde birim alandan daha fazla ürün ve yüksek gelir elde edebilmek amacı ile farklı toprak işleme yöntemlerini uygulamak ya da yeni bitki çeşitleri kullanmak gerekmektedir. Bu uygulamalar çoğu zaman tek başına yeterli olmamakta ve hatta topraklarda tahribata yol açmaktadır. Verimin düşük olmasının nedenleri rutin olarak yapılan toprak analizleri ile açıklanamazken, hassas toprak kalitesi indikatörleri kullanılarak problemin teşhis edilmesi ve zamanında tedbir alınması mümkündür (Bezdicsek ve ark. 1996). Bu amaçla bazı araştırmacılar, toprak kalitesini ürün miktarıyla ilişkilendirirken bazıları ise toprak kalitesinin ürün kalitesini nasıl etkilediği üzerinde durmaktadırlar (Hornick 1992).

Toprak kalitesi değerlendirme yöntemlerini daha geniş bir çerçevede ele alan Doran ve Parkin (1994), problemleri alanların belirlenmesi, gıda üretiminde gerçekçi tahminlerin yapılabilmesi, toprak amenajmanına bağlı olarak ortaya çıkan sürdürülebilirliğin ve çevre sağlığı bakımından ortaya çıkan problemlerin irdelenebilmesi ve arazi kullanım stratejilerinin formüle edilmesinde yardımcı olacak toprak kalite indekslerinin belirlenmesinin mutlaka gerekli olduğunu ifade etmişlerdir. Toprak kalitesi değerlendirmeleri amenajman uygulamalarının olumsuz etkilerini zamanında ayırt edebilmemize kolaylık sağlayan bir yaklaşımdır (Askari ve Holden 2015). Bir toprak kalitesi indeksinin tanımlanması ilk olarak amenajman hedefinin ve bu hedefe uygun fonksiyonların belirlenmesi, ikinci olarak çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerinden oluşan bir minimum veri setinin (MVS) seçimiyle başlar. Her bir fonksiyonun gerçekleştirilmesi için gerekli olan indikatörlerin tamamına MVS adı verilmektedir. MVS seçimi sürdürülebilir amenajman amaçlarına göre uzman görüşü veya temel bileşenler analizi (PCA) kullanılarak yapılmaktadır. Son olarak her bir indikatörün skorlanması işlemleri içermektedir (Andrews ve ark. 2002; Karlen ve ark. 2004).

Toprak fonksiyonları

Toprak kalitesinin sürdürülebilirlikle ilişkili toprak fonksiyonları yönünden incelenmesi, değerlendirme yaklaşımları içerisinde en yaygın olanıdır (Karlen ve ark. 1994b). Toprak amenajman hedeflerine bağlı olarak 6 farklı toprak fonksiyonu tanımlanmıştır (Andrews ve ark. 2004) (Şekil 1). Toprak kalitesini üç amenajman hedefi ve altı toprak fonksiyon ile tanımlayan Andrews ve ark. (2004) arazi kullanım hedeflerine göre yeni fonksiyonların eklenmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Örneğin Shukla ve ark. (2006), geleneksel toprak işleme ve direkt ekim yöntemlerini kullanarak mısır ve soya bitkisi ürün rotasyonunda, toprak kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek minimum veri setini faktör analizi ile belirlemiştir. Araştırmacılar, minimum veri setindeki indikatörleri su geçirgenliği, toprak havalanması, por bağlantısı, toprak tekstürü, nem durumu, toprak agregasyonu, bitki üretkenliği ve toprak makro gözenek durumu gibi gruplara ayırmışlardır. Benzer şekilde Yao ve ark. (2013), tuzlu bir toprakta minimum veri setini belirlerken PCA'ya göre indikatörleri tuzluluk bileşeni, organik madde bileşeni, su geçirgenliği bileşeni, tekstür bileşeni ve yarayışlı besin bileşenleri altında gruplandırmışlardır.



Şekil 1. Toprak amenajmanının hedefleri ve ilişkili fonksiyonlar (Andrews ve ark. 2004)

Toprak fonksiyonları, toprak işlemeye tepki ya da bitkisel üretkenlik bakımından da tanımlanabilmektedir. Karlen ve ark. (1994b) üç farklı toprak işleme sisteminin (Kulaklı pulluğun kullanıldığı yöntem, Cizelin kullanıldığı yöntem ve No-till) toprak kalitesi üzerine etkilerinin belirlenebilmesi için yaptıkları çalışmada; su girişini sağlamak, bitkiler için su tutma ve yarıyışlı hale getirme, bozulmaya direnç gösterme ve bitki gelişimini destekleme fonksiyonlarını kullanırken, Hussain ve ark. (1999) farklı toprak işleme sistemlerinin uzun süreli etkilerini değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmada erozyona direnç, bitkinin ihtiyacı olan besin elementlerinin karşılanması ve uygun kök gelişimi sağlama gibi fonksiyonlarını kullanmışlardır.

Toprak Kalitesinin Değerlendirilmesinde “Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (TADÇ)”

Toprak kalitesi değerlendirme yöntemlerinde temel vurgu “dinamik toprak kalitesi” üzerinedir. Dinamik toprak kalitesi “genetik toprak kalitesinden ziyade” mevcut ve geçmiş amenajman kararlarının etkilerini yansıtmaktadır (Karlen ve ark. 2008a). Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi (TADÇ) farklı iklim, toprak tipi, topoğrafyaya sahip bölgelerde sürdürülebilir toprak amenajmanını belirlemeye yönelik bir araçtır. TADÇ, tarımsal üretimdeki farklı uygulamaların karşılaştırılmasında uygulamaların zamanla etkilerinin izlenmesinde kullanılabilir (Andrews ve ark. 2004; Wienhold ve ark. 2009).

TADÇ, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik göstergelerini kullanarak toprak işleme ya da diğer tarımsal uygulamaların toprak fonksiyonları üzerine etkilerini üç adımda değerlendirmektedir. Bunlar; (1) minimum veri seti için uygun göstergelerin seçimi, (2) göstergelerin yorumlanması ve (3) gösterge skorlarının bir indeks olarak birleştirilmesidir (Andrews ve ark. 2002; Andrews ve ark. 2004; Wienhold ve ark. 2009). TADÇ içerisinde agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, su tutma kapasitesi, elektriksel iletkenlik (EC), mikrobiyal biyokütle karbon, potansiyel mineralize azot, toplam organik karbon, sodyum adsorbsiyon oranı, metabolik CO₂, yarıyışlı fosfor (P), yarıyışlı potasyum, beta-glükosidaz enzim aktivitesi ve toprak pH'sı olmak üzere 13 göstergeye ait skor eğrisi tanımlanmıştır. Minimum veri setleri belirlenen bu indikatörler arasından seçilmektedir. Bunların haricinde 60'a yakın değerlendirme potansiyeline sahip gösterge bulunmaktadır (Wienhold ve ark. 2008; Wienhold ve ark. 2009). Göstergelerin yorumlanmasında doğrusal olmayan skorlama eğrileri kullanılarak değerler birimsiz skorlara dönüştürülmektedir. Bu skor eğrileri indikatörün icra ettiği fonksiyonu algoritmalar ya da mantık fonksiyonları ile bağlantılı olarak çoklu algoritmalarla ortaya koymaktadır. Toprak indikatörlerinin skorlanmasında kullanılan eğriler daha yüksek olan daha iyidir, daha az olan daha iyidir ve optimum olan en iyidir şeklinde tanımlanmaktadır (Karlen ve Stott 1994; Wienhold ve ark. 2009). İndikatörlerin almış oldukları skor değerleri çoğunlukla yere özgüdür ve yorumlamaları genellikle toprak oluşumunun ürünü olan toprak özelliklerini esas almaktadır. Örneğin Kurak bölgede yer alan topraklarda %2 düzeyindeki organik karbon içeriği en yüksek skoru alırken, daha yağışlı ve serin bölgelerdeki topraklar için %2 organik karbon içeriği toprakta bozulmanın göstergelerinden kabul edilmekte ve skorlaması da kurak bölgeye göre daha düşük değer almaktadır (Acir 2014).

Dünya genelinde belirlenen, ideal bir toprak kalitesi değeri, optimum değer veya hedeflenen bir toprak kalitesi değeri yoktur. Bunun yerine TADÇ ile belirlenen kalite değerinin yanında bazı faktörlerin eşik değerlerine göre veya araştırmacının ihtiyacına göre kalite indeksi değeri belirlenir (Andrews ve ark. 2004). Standart bir kalite indeksi değerinin olmayışı ve en uygun minimum veri setinin toprak işleme yöntemi, ürün, toprak, iklim gibi faktörlere bağlı değişkenlik göstermesi araştırmacıları öncelikle farklı

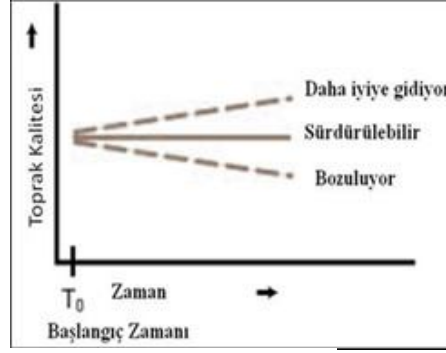
minimum veri seti arayışına ardından da kalite indeksi arayışına yönlendirmiştir (Mukherji ve Lal 2014). İdeal minimum veri setini belirlemek için Shukla ve ark. (2006), PCA yöntemini kullanarak indikatörlerin, veri setinde varyansa olan katkılarını dikkate almış ve gereksiz indikatörleri veri setinden uzaklaştırmıştır. Nakajima ve ark. (2015) ise her bir indikatörün tarımsal üretkenliğe katkısına ait ağırlıkları göz önünde bulundurarak veri setini oluşturmuştur. TADÇ'den yararlanarak skorların belirlendiği indikatörlerin farklı şekilde bir araya getirilerek hesaplandığı indeks metodları içerisinde en yaygın olanı eklemeli indeks metodu (Andrews ve ark. 2002) iken ağırlık eklemeli indeks metodu (Karlen ve Sott 1994; Mukherji ve Lal 2014; Nakajima ve ark. 2015) ve fonksiyon ağırlıklı eklemeli indeks metodu (Fernandes ve ark. 2011; Mukherji ve Lal 2014) gibi yeni toprak kalite indeksleri de geliştirilmiştir. Özgöz ve ark. (2013), farklı ürün rotasyonlarında uzun süreli tarımsal uygulamaların, bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkilerini ve toprak kalitesini değerlendirmek için TADÇ kullanırken eklemeli indeks metodu yardımı ile kalite indeksini hesaplamışlardır. Benzer şekilde Acir (2014), farklı tarımsal ekolojilere sahip kurak ve yarı kurak iki bölgede yaptığı çalışmada PCA ile veri azaltma metodunu kullanarak minimum veri setini belirlerken TADÇ kullanarak göstergelere ait skor değerlerini hesaplamış ve ağırlıklı eklemeli indeks metodunu kullanarak toprak kalitesini değerlendirmiştir.

Toprak Kalitesi ve Toprak İşleme Stratejileri

Temel amacı iyi bir tohum yatağı hazırlamak olan toprak işleme, mekanik etkilerle toprak strüktürünün değiştirilmesi işlemidir. Toprak işleme yapılırken ekosistemin kararlılığını bozmayacak ve bitki büyümesine etki eden toprak özelliklerini zayıflatmaktan kaçınan sistemlerin kullanılması gerekmektedir (Kirişçi ve Korucu 2001). Çünkü yoğun ve sürekli yapılan tarımsal uygulamalar toprak bozulmasına neden olmaktadır (Derpsch ve Moriya 1998). Toprak işleme sistemleri uygulama amacına göre; geleneksel ve koruyucu toprak işleme sistemi olarak iki temel sistem içerisinde incelenir (Korucu ve ark. 1998). Genel olarak geleneksel toprak işlemenin erozyonu teşvik ettiği, toprak organik karbonunu azalttığı ve toprak strüktürünü bozduğu (Gajri ve ark. 2002), koruyucu toprak işlemenin ise toprakta organik madde düzeyini artırdığı, tarla trafiğinin azaltılması sonucu toprak sıkışmasını azalttığı, yüzeyde geleneksel toprak işlemeye oranla daha fazla bitki artışı bıraktığı için su ve rüzgâr erozyonuna karşı koruma sağladığı bilinmektedir (Yalçın ve ark. 2003).

Toprak işleme sistemleri toprak kalitesini, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalite göstergelerine etki ederek değiştirmektedir (Cannell ve Hawes 1994). Toprakların verimlilik gibi bazı önemli fonksiyonlarını kaybetmesi de esas olarak insan aktiviteleri ile toprağın dinamik özelliklerine derinden etki etmesinden kaynaklanmaktadır (Günel ve ark. 2015). Özellikle toprak işleme yoğunluğunun toprak kalitesini bozucu insan kaynaklı en temel faktörlerden biri olduğunu belirten Karlen ve ark., (2013) yaptıkları çalışmada toprak kalitesi indikatörlerine en büyük negatif etkiyi kulaklı pulluğun yaptığını teyit etmişlerdir. Karlen ve ark., (2008b), bir havza ölçeğinde TADÇ kullanarak yaptıkları çalışmada toprak işlemeden etkilenen bazı toprak kalitesi indikatörlerine ait elde ettikleri ortalama değerlere göre, uygulamalar içerisinde derin toprak işlemenin azaltılmış toprak işleme yöntemlerine göre belirlenen indikatörlerin birçoğunu önemli ölçüde etkilediğini bildirmişlerdir.

Farklı genetik özelliklere sahip arazilerde uygulanacak toprak işleme sistemi ile zamanla toprak özellikleri bozulabilir, iyileşebilir veya aynı düzeyde kalabilir. Bu toprak kalitesindeki değişimle izlenebilir (Karlen ve ark. 2003) (Şekil 2). Çünkü kısa dönemli toprak işleme kesekleri parçalar, organik maddeyi toprağa karıştırır ve toprağı gevşeterek gözenekliliği artırırken, uzun dönemli toprak işleme bireysel toprak tanecikleri arasında bağlayıcı görev yapan ve agregatlaşmayı sağlayan organik maddenin azalmasına neden olacağından toprağın strüktürünü olumsuz şekilde etkileyebilir (USDA-NRCS 2008). Böylece toprak işleme sistemleri toprak kalitesini zamanla etkileyebilir (Aziz ve ark. 2013). Yapılan literatür taramasında da genellikle toprak kalitesi değerlendirmelerine yönelik çalışmalarda toprak işlemeden etkilenme potansiyeline sahip olan toprak özelliklerinin kullanıldığı görülmüştür.



Şekil 2. Toprak kalitesinde zamanla meydana gelen değişimler (Karlen ve ark. 2003; Anonim 2011)

Karlen (2004), farklı toprak işleme uygulamalarından dolayı toprak kalitesindeki değişimleri ifade etmede; agregat boyut dağılımı, sıkışma, su tutma kapasitesi ve gözeneklilik gibi toprak özelliklerinin sıklıkla toprağın dinamik kalitesi olarak ta ifade edildiğini ve değerlendirmelerde kullanılabileceğini belirtmiştir. Arshad ve Martin (2002) ise farklı iklimler ve toprak tiplerine sahip tarımsal bölgelerde ölçülebilir başlıca toprak özelliklerini; organik madde, agregat stabilitesi, tekstür, hacim ağırlığı, infiltrasyon oranı, besin durumu, havalanması ve su tutma kapasitesi olarak belirtmişlerdir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Toprak kalitesi indikatörleri arasındaki ilişkiler (Arshad ve Martin 2002)

Seçilen indikatörler	Minimum veri setine seçilen indikatörlerden etkilenen diğer indikatörler
Agregat stabilitesi	Organik madde, mikrobiyal aktivite, tekstür
İnfiltrasyon oranı	Organik madde, agregat stabilitesi, elektriksel iletkenlik, değişebilir sodyum yüzdesi (ESP)
Hacim Ağırlığı	Organik madde, agregat stabilitesi, yüzey toprağı derinliği, ESP,
Mikrobiyalbiyokütle ve solunum	Organik madde, agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, pH, tekstür, ESP
Alınabilir besinler (N, P, K, Ca ve Mg)	Organik madde, pH, yüzey toprağı derinliği, tekstür, mikrobiyal parametreler (mineralizasyon ve immineralizasyon oranları)

Karlen ve ark. (1994a) üç farklı toprak işleme ve üç farklı ürün artığı yönetim stratejisi altında toprak kalitesini değerlendirirken; agregat dayanıklılığı, penetrasyon direnci, hacim ağırlığı, nem içeriği, mikrobiyal biyokütle, pH, P, K, Ca, Mg, toplam N, toplam C gibi toprak parametrelerini incelemişlerdir. Araştırmacılar direk ekim uygulamasının agregat dayanıklılığı, toplam C, mikrobiyal aktivite ve solucan popülasyonunu kulaklı pulluk ve çizel kullanılan toprak işleme sistemlerinden daha fazla arttırdığını belirlemişlerdir. Askari ve Holden (2015), İrlanda'da geleneksel ve minimum toprak işleme yöntemlerinin uygulandığı tek ürün ve farklı ürün rotasyonları altında yirmi farklı alandaki topraklarda potansiyel toprak kalitesi indikatörleri olarak toplam N, toplam C, Mg, agregat boyut dağılımı, hacim ağırlığı, penetrasyon direnci ve toprak solunumu indikatörlerini minimum veri seti için kullanarak toprak kalitesi indeksini belirlemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında minimum toprak işleme yöntemlerinin tüm indikatörler üzerinde etkisinin önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Geleneksel toprak işleme, direk ekim ve minimum toprak işleme yöntemlerinin toprak kalitesi üzerine etkilerinin değerlendirilmesinde agregat boyut dağılımı, agregat stabilitesi, penetrasyon direnci, hidrolik iletkenlik, toplam azot, elektriksel iletkenlik, pH ve organik madde indikatörlerini kullanan Imaz ve ark. (2010), en hassas indikatörlerin penetrasyon direnci, organik madde ve agregat stabilitesi olduğunu belirtmişlerdir. Toprak kalitesinin en önemli indikatörlerinden ve toprak kalitesindeki değişimlere en hassas toprak özelliklerinden biri olan organik maddenin kaybı toprak işleme ile toprakta %1 seviyesinin altına düşürebilmektedir (Sullivan 2004; Günal ve ark. 2015). Ayrıca yoğun toprak işleme yöntemleriyle, bünyesinde yeterli miktarda organik madde bulunmayan toprakların genellikle karbon girdisi de düşük olmaktadır. Bu durum; agregat stabilitesi, mikrobiyal aktivite, solucan miktarı ve tutulan su miktarını da azaltmakta dolayısıyla toprak kalitesi de olumsuz etkilenmektedir (Sullivan 2004; Karlen ve ark. 2004). Benzer şekilde yoğun toprak işlemenin etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada Chan ve Hulugalle (1999), yoğun toprak işleme sonrasında toprakta artan pulluk tabanı davranışları, asitlik, organik C, toplam N ve agregat stabilitesinin azalması sonucu toprak kalitesinin bozulduğunu belirlemişlerdir. Fakat

koruyucu toprak işleme uygulamaları ile organik madde seviyesinin artmasıyla kimyasal özelliklerin iyileşerek toprak kalitesine olumlu yönde etki ettiğini bildirmişlerdir. Elliot ve Papendik (1986), toprağın organik madde içeriği arttıkça, toprakta göreceli olarak daha fazla humusun parçalandığını ve bunun da toprak strüktürü ve bitki besin elementi içeriğini olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir (Erşahin 2001). Öte yandan Wienhold ve Halvorson (1999) koruyucu toprak işlemenin N mineralizasyon oranını arttırdığını ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında toprak kalitesini iyileştirdiğini rapor etmişlerdir.

Toprak kalitesini korumaya ve iyileştirmeye yönelik arazi amenajman sistemlerinde toprak işleme ihtiyaçları minimize edilerek geliştirilmektedir. Bu amaçla, direk ekim (no-till) gibi tekniklerin yüzey üzerinde bitki artıkları bırakarak toprağı erozyondan koruması buna örnek olarak gösterilebilir (Arshad 1999). Pek çok araştırmacı, çalışmalarında toprak kalitesinin toprak işleme yoğunluğundan etkilendiğini ve direk ekim gibi koruyucu toprak işleme sistemlerinin toprak kalitesini iyileştirdiğini ifade etmişlerdir.

Farklı toprak işleme sistemlerinin toprak özellikleri ve kalitesi üzerine etkilerini belirlemek için Tebrügge ve Düring (1999) tarafından yapılan uzun süreli çalışmada, direk ekim sisteminin toprağın biyolojik özelliklerini özellikle de solucan popülasyonunu arttırdığını, bunun sonucunda da makro gözeneklerin, infiltrasyonun ve strüktürel yapının iyileştiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca yoğun toprak işlemenin azaltılmasının ve farklı ürün rotasyonlarının etkisi de dahil olmak üzere, toprağın fiziksel özelliklerinde ve kalitesinde pozitif etkiler ortaya çıkardığını bildirmişlerdir. Nakajima ve ark. (2015) Ohio'da siltli-tınlı toprak koşullarında farklı toprak işleme ve drenaj sistemlerinin toprak kalitesi üzerine etkisini değerlendirdikleri çalışmada, bu faktörler altında hidrolik iletkenlik ve organik karbonun toprak kalite indekslerini yöntemler bakımından en iyi ayırt eden anahtar indikatörler olduğunu, uzun süreli direk ekim ve iyi yüzey drenajı ile toprak kalitesinin seviyesini muhafaza ettiğini bildirmişlerdir.

Genel olarak toprak kalitesinin korunduğu ya da bozulduğunu değerlendirmek için TADÇ kullanan Özgöz ve ark. (2013) doğal mera ile komşu olan üç farklı ürün rotasyonu bulunan araziye karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar toprak işleme ve gübre uygulamasının toprağı zayıflattığını, 0-15 cm derinlikte mera da toprak kalitesinin (%73) toprak işleme yapılan araziye (% 71) göre yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Karlen ve ark. (2013) iki farklı toprak tekstüründe, toprakların kalitelerinin % 82-85 arasında fonksiyon gösterdiğini bildirmiştir. Aziz ve ark. (2013) ise 0-7.5, 7.5-15 cm derinliklerde geleneksel toprak işlemede toprak kalitesini % 60.4 ve % 52.1 olarak belirlerken direk ekim yönteminde % 74.7 ve % 64.1 olarak belirlemiştir. Yapılan çalışma sonucunda en temel noktanın toprakların aşırı işlenmesi sonucu meydana gelen bozulmalar olduğu, bunun önlenmesi içinde geleneksel toprak işleme yöntemlerini devre dışı bırakan, azaltılmış toprak işleme veya doğrudan ekim gibi koruyucu yöntemlerin kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Sonuç

Toprak özelliklerinin geleneksel yöntemlerle değerlendirilmesi toprağın geçmiş, mevcut durumu ve gelecekte verimliliğinin nasıl olacağı konusunda tek başına yeterli olmamaktadır. Bu nedenle toprak işlemenin amenajman hedeflerine uygunluğu ve toprak fonksiyonlarına etkilerinin değerlendirilebileceği bir çerçeveden toprak işleme sistemlerini değerlendirmek gerekmektedir. Toprak işleme sisteminin belirlenmesinde; sadece toprak işleme amacına yönelik değil aynı zamanda toprak kalitesi durumu göz önünde bulundurularak en uygun toprak işleme sistemi seçimi yapılmalıdır. Değerlendirilmek istenen toprak özellikleri veya toprak kalitesi değerlendirme araçlarının uygulanabilirliği göz önünde bulundurularak "Toprak Amenajmanı Değerlendirme Çerçevesi" toprak kalitesi değerlendirme amacıyla kullanılabilir. Dinamik toprak kalitesi değerlendirmeleri sayesinde toprak kalitesinde meydana gelen değişimlere hassas indikatörler kullanılarak toprak işleme ihtiyaçları minimize edilebilir. Toprak işleme sistemlerinin karşılaştırılması amacıyla toprak kalitesi değerlendirmelerinde toprak koşullarına göre farklı indikatörler kullanılabildiği gibi minimum veri setlerinde en yaygın kullanılan toprak kalitesi indikatörleri arasında toplam organik karbon, hacim ağırlığı, agregat dayanıklılığı, yarıyışlı nem içeriği, pH ve EC yer almaktadır. Toprak işleme sistemlerinin toprak kalitesi üzerine etkilerinin değerlendirildiği pek çok çalışmada ürün artışı ya da direk ekim sistemlerinin toprak kalitesini koruduğu veya iyileştirdiği belirtilmektedir.

Kaynaklar

- Acir N (2014). Kurak ve yarı-kurak bölge topraklarının toprak kalitesinin belirlenmesinde kullanılacak minimum veri setlerinin hazırlanması. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı, Tokat. (Doktora Tezi).
- Acton DF, Gregorich LJ (1995). Understanding soil health. In: the health of our soils: toward sustainable agriculture in Canada. Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, 5–10.
- Altıkat S, Çelik A (2009). Toprak işleme sistemlerinin önemli bazı toprak kalite kriterlerine olan etkileri. Ziraat Bilimleri Dergisi (Alinteri), 16 (B): 33-41.
- Andrews SS, Karlen D, Mitchell JP (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, Ecosystems and Environment, 90: 25–45.
- Andrews SS, Karlen D, Cambardella CA (2004). The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. Soil Sci. Soc. Am. J., 68: 1945–1962.
- Anonim (2011). Soil quality concepts. <http://soils.usda.gov/sqi/concepts/concepts.html>. Erişim tarihi 14.02.2011.
- Arshad MA (1999). Tillage ve soil quality; Tillage practices for sustainable agriculture and environmental quality in different agroecosystems. Soil & Tillage Research, 53: 1-2 (Editorial).
- Arshad MA, Martin S (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 88: 153–160.
- Askari MS, Holden NM (2015). Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. Soil & Tillage Research, 150: 57-67.
- Aziz I, Mahmood T, Islam KR (2013). Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. Soil & Tillage Research, 131: 28–35.
- Beinat E, Nijkamp P (1998). Land-use management and the path towards sustainability. Multicriteria Analysis for Land Use Management, Edited by Euro Beinat and Peter Nijkamp, ISBN: 0-7923-5198-3, Kluwer Academic Publishers, pp:1-13, AA Dordrecht, The Netherlands.
- Bezdicsek DF, Papendick RI, Lal R (1996). Importance of soil quality to health and sustainable land management. Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA, 1-8.
- Bone J, Head M, Barraclough D, Archer M, Scheib C, Flight D, Voulvoulis N (2010). Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. Environment International, 36: 609–622.
- Cannell RQ, Hawes JD (1994). Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. Soil & Tillage Research, 30: 245-282.
- Chan K Y, Hulugalle NR (1999). Changes in some soil properties due to tillage practices in rainfed hardsetting Alfisols and irrigated Vertisols of eastern Australia. Soil & Tillage Research, 53(1): 49-57.
- Derpsch R, Moriya K (1998). Implications of on-tillage versus soil preparation on sustainability of agricultural production. Advances in GeoEcology, 31: 1179-1186.
- Doran JW, Parkin TB (1994). Defining ve assessing soil quality. Ed: Doran, J.W., Coleman, D.C., and Bezdicsek, D.F. Defining soil quality for a sustainable environment, 35. USA: Soil Science Society of America, 3-21.
- Doran JW, Zeiss MR (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Appl. Soil. Ecol., 15: 3-11.
- Elliott LP, Papendick RI (1986). Crop residue management for improved soil productivity. Biol. Agric. Hort., 3: 131–142.
- Erşahin S (2001). Toprak amenajmanı. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 56, Ders Notları Serisi No: 21, 153s, Tokat.
- Fernandes JC, Gamero CA, Rodrigues JGL, Mira´s-Avalos JM (2011). Determination of the quality index of a Paleudult under sunflower culture and different management systems. Soil & Tillage Research, 112: 167–174.
- Gajri PR, Arora VK, Prihar SS (2002). Tillage for sustainable cropping. Food Products Press. London.
- Günel H, Korucu T, Birkas M, Özgöz E, Cotoara-Zamfir RH (2015). Threats to sustainability of soil functions in Central and Southeast Europe. Sustainability, 7: 2161-2188.

- Herrick JE (2000). Soil quality: An indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology*, 15: 75–83.
- Hornick SB (1992). Factors affecting the nutritional quality of crops. *Am. J. Altern. Agric.*, 7: 63-68.
- Hussain I, Olson KR, Wander MM, Karlen DL (1999). Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. *Soil & Tillage Research*, 50: 237-249.
- Imaz MJ, Virto I, Bescansa P, Enrique A, Ugalde FO, Karlen DL (2010). Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil & Tillage Research*, 107: 17–25.
- Karlen DL, Wollenhaupt NC, Erbach DC, Berry EC, Swan JB, Eash NS, Jordahl JL (1994a). Crop residue effects on soil quality following 10 years of no-till corn. *Soil & Tillage Research*, 31: 149-167.
- Karlen DL, Wollenhaupt NC, Erbach DC, Berry EC, Swan JB, Eash NS, Jordahl JL (1994b). Long-term tillage effects on soil quality. *Soil & Tillage Research*, 32: 313-327.
- Karlen DL, Stott DE (1994). A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF., 1994. Stewart BA, editors. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, WI: Soil Science Society of America. pp. 53–72.
- Karlen DL, Mausbach MJ, Doran JW, Cline RG, Harris RF, Schuman GE (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61, 4–10.
- Karlen DL, Ditzler CA, Andrews SS (2003). Soil quality: why and how?. *Geoderma*, 114, 145– 156.
- Karlen DL (2004). Soil quality as an indicator of a sustainable tillage practices. *Soil & Tillage Research*, 78: 129–130. (Editorial).
- Karlen DL, Andrews SS, Wienhold BJ (2004). Soil quality, fertility, ve health - Historical Context, Status, and Perspectives. Schjonning, S., Elmholt, S., Christensen, B.T., Editors. *Cab International, Cambridge. Managing Soil Quality: Challenges In Modern Agriculture*; Chapter 2, p: 17-33.
- Karlen DL, Andrews SS, Wienhold BJ, Zobeck TM (2008a). Soil quality assessment: past, present and future. *Electronic Journal of Integrative Biosciences*, 6(1): 3-14.
- Karlen DL, Tomer MD, Neppel J, Cambardella AC (2008b). A preliminary watershed scale soil quality assessment in north central Iowa, USA . *Soil & Tillage Research*, 99: 291–299.
- Karlen DL, Cambardella CA, Kovar JL, Colvin TS (2013). Soil Quality response to long term tillage and crop rotation practices. *Soil & Tillage Research*, 133:54-64.
- Kibblewhite MG, Ritz K, Swift MJ (2008). Soil health in agricultural systems. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 363: 685–701.
- Kirişçi V, Korucu T (2001). Ekolojik tarımda toprak işleme uygulamaları. *Türkiye 2. Ekolojik Tarım Sempozyumu*, 14-16 Kasım 2001. s:144, Antalya.
- Korucu T, Kirişçi V, Görücü S (1998). Korumalı toprak işleme ve Türkiye'deki uygulamaları. *Tarımsal Mekanizasyon 18. Ulusal Kongresi Bildirileri CD'si* sayfa:321-333. 17-18 Eylül, Tekirdağ.
- Mijangos I, Pe' rez R, Albizu I, Garbisu C (2006). Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. *Enzyme Microb. Technol*, 40, 100–106. ed. Mijangos. I., and Garbisu, C. 2010. Consequences of soil sampling depth during the assessment of the effects of tillage and fertilization on soil quality: a common oversight. *Soil & Tillage Research*, 109: 169–173.
- Mukherjee A, Lal R (2014). Comparison of soil quality index using three methods. www.plosone.org. Volume 9, Issue 8.
- Nakajima T, Lal R, Jiang S (2015). Soil quality index of crosby silt loam in Central Ohio. *Soil & Tillage Research*, 146: 323-328.
- Özgöz E, Günal H, Acir N, Gökmen F, Birol M, Budak M (2013). Soil quality and spatial variability assessment of land use effects in a typic haplustoll. *Land Degradation and Development*, 24: 277–286.
- Papendic RI, Parr JF (1997). No-till farming: The way of the future for a sustainable dryland agriculture. *Annals of Arid Zone*, 36: 193-208.
- Paz-Ferreiro J, Trasar-Cepeda C, Leirós MC, Seoane S, Gil-Sotres F (2009). Biochemical properties in managed grassland soils in a temperate humid zone: modifications of soil quality as a consequence of intensive grassland use, *Biol. Fertil. Soils*, 45, 711–722. in: Mijangos I. Garbisu C (2010). Consequences of soil sampling depth during the assessment of the effects of tillage and fertilization on soil quality: A common oversight. *Soil & Tillage Research*, 109: 169–173.

- Roming DE, Garlynd MJ, Harris RF, McSweeney K (1995). How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conserv*, 50: 229-236.
- Shukla MK, Lal R, Ebinger M (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil & Tillage Research*, 87: 194-204.
- Stott DE, Andrews SS, Liebig MA, Wienhold BJ, Karlen DL (2010). Evaluation of β -Glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. *Soil Biology & Biochemistry*, 74(1): 107-119.
- Sullivan P (2004). Sustainable soil management. National sustainable agriculture information service. *Soil Systems Guide*, 8-10.
- Tebrügge F, Düring RA (1999). Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil & Tillage Research*, 53(1): 15-28.
- USDA-NRCS (2008). Soil quality indicators. *Soil Structure & Macropores*.
- Wander MM, Drinkwater LE (2000). Fostering soil stewardship through soil quality assessment, *Applied Soil Ecology*, 15: 61-73.
- Wienhold BJ, Halvorson AD (1999). Nitrogen mineralization responses to cropping, tillage, and nitrogen rate in the Northern Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63: 192-196.
- Wienhold BJ, Andrews SS, Kuykendall H, Karlen DL (2008). Recent advances in soil quality assessment in the united states. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, Vol. 56, No:3.
- Wienhold BJ, Karlen DL, Andrews SS, Stott DE (2009). Protocol for indicator scoring in the soil management assessment framework (SMAF). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24(4): 260-266.
- Yalçın H, Aykas E, Evrenosoğlu M (2003). Koruyucu tarım ve koruyucu toprak işleme. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakakültesi Dergisi*, 40(2): 153-160.
- Yao R, Yang J, Gao P, Zhang J, Jin W (2013). Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area. *Soil & Tillage Research*, 128: 137-148.