



SÜRDÜRÜLEBİLİR TOPRAK YÖNETİMİNDE TOPRAK ORGANİK KARBONUNUN ÖNEMİ

Pınar TOPÇU^{1*}, Özlem YAVUZ², Ahmet TOLUNAY³

¹Dankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Ormanlık Politikası ve Yönetimi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Ekonomisi Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye

*Sorumlu yazar: topcupinar08@gmail.com

Pınar TOPÇU: <https://orcid.org/0000-0002-4701-3007>

Özlem YAVUZ: <https://orcid.org/0000-0002-1963-8309>

Ahmet TOLUNAY: <https://orcid.org/0000-0001-9028-9343>

Please cite this article as: Topçu, P., Yavuz, Ö. & Tolunay, A. (2022), Sürdürülebilir toprak yönetiminde toprak organik karbonunun önemi *Turkish Journal of Forest Science*, 6(2), 604-614.

ESER BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Derleme / Review

Geliş 22 Aralık 2021 / Received 22 December 2021

Düzeltilmelerin gelişi 26 Nisan 2022 / Received in revised form 26 April 2022

Kabul 26 Nisan 2022 / Accepted 26 April 2022

Yayımlanma 31 Ekim 2022 / Published online 31 October 2022

ÖZET: Atmosferdeki karbon miktarında yaşanan artışı tetikleyen unsurlar arasında yanlış tarım tekniklerinin uygulanması, orman alanlarının tahrip edilmesi ve arazi kullanımında görülen değişimler yer almaktadır. Bu yükselme eğilimin önüne geçebilmenin en etkili yollarından birisi de karbonun “toprak” bünyesinde kalmasının sağlanabilmesidir. Karbonun toprağın bünyesinde depolanabilmesi için çölleşme ile mücadele edilmesi, biyoçeşitlilik kayıplarının durdurulması ve arazi tahribatının dengelenmesi kritik adımlar olarak değerlendirilmektedir. Ancak, Arazi Tahribatının Dengelenmesi (ATD)’nin sağlanmasında önemli bir biyofiziksel göstergesi olan ve Küresel Toprak Paydaşlığı (Globo Soil Partnership-GSP) tarafından toprağa yönelik on temel tehdit arasında görülen “toprak organik karbonundaki kayıplar” günümüzde etkisini daha yoğun olarak hissettirmektedir. Bu kapsamda, toprak organik karbonundaki kayıpların önüne geçebilmek ve Sürdürülebilir Toprak Yönetimi (STY) sağlamayı teminen, toprak organik karbon stoklarının miktarının belirlenmesi, zamansal ve alansal değişkenliğinin izlenmesi, stok miktarının korunması ve artırılmasına yönelik faaliyetlere daha fazla ağırlık verilmeli ve bu çalışmalar çeşitlendirilmelidir. Bu bilgiler doğrultusunda, bu çalışmada Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi başta olmak üzere, toprak organik karbonunun STY içerisindeki yeri ve önemine değinilmiştir. Türkiye’de bu alanda gerçekleştirilen proje örnekleriyle zenginleştirilen çalışma ile konuya ilişkin politika önerilerinde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Organik karbon, Küresel toprak paydaşlığı, Toprak yönetimi, Arazi tahribatı, Organik madde.

THE IMPORTANCE OF SOIL ORGANIC CARBON IN SUSTAINABLE SOIL MANAGEMENT

ABSTRACT: Implementation of improper agricultural practices, destruction of forest areas and land use changes are among the factors that trigger the increase in the amount of carbon in the atmosphere. One of the most effective ways to prevent this upward trend is to ensure that carbon remains in the “soil”. Combating desertification, stopping biodiversity losses and land degradation neutrality are considered as critical steps so that the carbon can be stored in the soil. However, “losses in the soil organic carbon”, which is an important biophysical indicator in ensuring Land Degradation Neutrality (LDN) and seen among the ten main threats to soil by the Global Soil Partnership (GSP), makes its impact more intense today. In this context, more emphasis should be placed on activities aimed at determining the amount of soil organic carbon stocks, monitoring temporal and spatial variability, protecting and increasing the stock amount, and these studies should be diversified in order to prevent losses in the soil organic carbon and to ensure Sustainable Soil Management (SSM). In line with this information, the place and importance of the soil organic carbon in the SSM, especially the 2030 Agenda for Sustainable Development, has been mentioned in the study. Policy recommendations were made on the subject by the study enriched with the examples of projects carried out in this field in Turkey.

Keywords: Organic carbon, Global soil partnership, Soil management, Land degradation, Organic matter.

GİRİŞ

Toprak; ekosistem ve canlı yaşamı açısından önemli ürün ve hizmetleri bünyesinde barındıran ve yenilenemeyen doğal bir kaynaktır. Bitkilerin yetişmesi ve yakıtların üretilmesi için temel olan topraklar, suyu filtreleyerek temizlemektedir. Ancak, bu denli zengin ve çeşitli fonksiyonlara sahip kaynaklar; Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) uhdesindeki Küresel Toprak Paydaşlığı (Global Soil Partnership-GSP) tarafından tanımlanan “tehditlerle (erozyon, kirlilik, biyolojik çeşitlilik kaybı vb.)” karşı karşıya kalmaktadır (Anonymous, 2015a). Küresel Toprak Paydaşlığı altında tespit edilen toplam on adet tehdit, aynı zamanda Sürdürülebilir Toprak Yönetimi (STY)’ni de doğrudan etkilemektedir.

Oysa, dünyanın en büyük karasal karbon havuzu olan topraklardan, küresel olarak tüketilen gıdaların yaklaşık % 95’i elde edilmektedir (Anonymous, 2019). Bu kaynağa duyulan ihtiyacın önemi, Covid-19 pandemisi süreci ile bir kez daha iyi anlaşılmıştır. Etkisi hala devam etmekte olan bu durum nedeniyle, bazı ülkelerin aldığı kararlar sonucunda tarımsal ürünlerin dış ticaretinde bir takım tedbirler alınmış ve önemli kısıtlamalar getirilmiştir. Bu yaptırımlar, “gıda fiyatlarında” artışa sebebiyet vermiştir. Yenilenemez olan bu varlığa duyulan ihtiyaç bir yandan artarken, yaklaşık % 25’i sürdürülebilir olmayan toprak yönetimi uygulamalarına bağlı olarak “bozulmuş” durumdadır (Anonymous, 2018). Yine, ekilebilir tarım arazilerinden yıllık 75 milyar ton toprağın kaybolduğu ve bu kayıpların maliyetinin yılda yaklaşık 400 milyar ABD Doları olduğu belirtilmektedir (Anonymous, 2015b).

Öte yandan, mevcut tarım uygulamaları; toprak kalitesini düşürmekte, üretkenliği azaltmakta ve daha fazla gübreleme, sulama ve pestisit ihtiyacına yol açarak toprak karbonu tüketimini daha da tetiklemektedir. Bu durumun giderilmesine yönelik olarak önerilen tarım teknolojilerinin ve toprak yönetiminin benimsenmesiyle toprağın organik karbon tutma oranı

artırılması beklenmektedir (Lal, 2004). İlaveten, iklim değişikliği ile mücadelede doğal bir çözüm kaynağı olarak da görülen TOK'un zaman içinde nasıl değiştiğinin, ekosistem restorasyonu veya organik tarım gibi arazi kullanım seçeneklerinin gelecekteki karbon depolamasını nasıl etkileyeceğini görülmesi de önemli olarak değerlendirilmektedir (Anonymous, 2021). Bu derlemenin amacı, STY'nin sağlanmasında "TOK"un; TOK'un korunması ve devamlılığı için de "STY"nin ne denli önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktır. Bu doğrultuda makale kapsamında, STY ile organik karbon kavramlarına genel hatlarıyla değinilmiş, bu kritik etkinin anlatılmasında Sürdürülebilir Kalkınma gündemi başta olmak üzere, Türkiye'de yürütülen ve kamu bütçeli kaynaktan tahsisi gerçekleştirilen projelerden de bir girdi olarak faydalanılmıştır.

Sürdürülebilir Toprak Yönetimi

Dünya Toprak Beyannamesi (Revised World Soil Charter)'ne göre Sürdürülebilir Toprak Yönetimi (STY); "toprağın sağladığı destekleyici, tedarik edici, düzenleyici ve kültürel hizmetlerin, bu hizmetlere veya biyolojik çeşitliliğe olanak tanıyan toprak işlevlerini önemli ölçüde bozmadan muhafaza edilmesi veya artırılması durumunda sürdürülebilirdir." şeklinde tanımlanmıştır (Anonymous, 2015c). STY, gıda güvenliğinin sağlanması, yoksulluğun ortadan kaldırılması ve beslenmenin iyileştirilmesi için bir temel oluşturmakla olup, Sürdürülebilir Arazi Yönetimi (SAY)'nin de ayrılmaz bir parçasıdır. Aynı zamanda STY, iklim değişikliğine adaptasyonun sağlanması ve ekosistem hizmetleri ile biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik değerli bir araçtır. Zira, hesap edilemeyen değere sahip topraklar, ekosistem hizmetleri aracılığıyla topluma katkı sağladığı için STY, bu hizmetleri destekleyerek ve artırarak yüksek getiri sağlamaktadır.

Diğer taraftan, iklim değişikliğine uyum ve azaltma, çölleşmeyle mücadele ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik bütün girişimlere STY katkı vermektedir. Bu nedenle, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC), Birleşmiş Milletler Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi (United Nations Convention to Combat Desertification-UNCCD) ve Birleşmiş Milletler Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (United Nations Convention on Biological Diversity-UNCBD) ile yakın bir ilişkisi bulunmaktadır. Küresel bazdaki üç sözleşmenin kesişen ana konusu ise "karbon"dur. Çölleşme, biyolojik çeşitlilik kaybı ve kuraklık ile ilişkili olup, aynı zamanda toprakta karbon tutulumunun azalmasına bağlı olarak küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır.

Tüm bu uluslararası gelişmelerin içerisinde bilhassa UNCCD'nin toprak karbonu açısından farklı bir yeri bulunmaktadır. Öyle ki, UNCCD'ye taraf olan ülkelerin 2030 yılı için belirlediği hedef, tarımda sürdürülebilirliğin teşvik edilmesi, gıda güvenliğinin sağlanması, çölleşme ile mücadele, biyoçeşitlilikte yaşanan kayıpların durdurulması ve arazi tahribatının dengelenmesinin sağlanmasıdır. Bu hedeflerin temel ekseninde toprağın korunması ve sürdürülebilirliğinin devamı yer almaktadır. Bu nedenle ki toprak yönetimi, sürdürülebilirliğin sağlanmasında en önemli kriterlerden bir tanesidir (Anonim, 2018).

Toprak Organik Karbonu

Toprak Organik Karbonu (TOK), "toprak organik maddesi içerisinde oluşan karbon" olarak ifade edilmektedir. Birçok toprakta, kabaca %55-60 içeren toprak organik maddesi, TOK olarak anılmaktadır (Anonymous, 2015a). TOK, toprakların sürdürülebilir kullanımı, arazi

tahribatının dengelenmesi ve iklim değişikliği neticesinde oluşan olumsuz yöndeki etkilerin azaltılması bakımından oldukça önemli bir araçtır. TOK, toprak organik maddesinin de ana bileşenidir. Bu madde, toprak yapısının stabilizasyonu bakımından kritik olduğu için temel toprak işlevlerini desteklemekte, bitkinin tutulmasına, besin ve suların alınmasına yardımcı olmaktadır. Toprak sağlığı, verimliliği ve gıda üretiminin sağlanması esastır. Bu nedenle toprakta TOK kaybı, belirli bir derecede toprak bozulmasını göstermektedir (Anonymous, 2017a).

Toprak karbon stoku ise “organik” ve “inorganik” olmak üzere iki bileşene ayrılmaktadır. 1 metre derinlikteki TOK stoku, atmosferdeki toplam stokun iki katından fazladır. Karbon ticareti, kalitesi, derinliği, sıklığı açısından TOK’u, hassasiyet ve ölçek düzeyde geliştirilen ölçüm teknikleri ulusal laboratuvarlarda ölçülmesi önemlidir. Karbon stoklarının hacim olarak ifade edilmesi daha iyi bir tercih olmasına rağmen, bu konu daha fazla araştırma gerektirmektedir (Anonymous, 2020).

Bununla birlikte topraklar, en büyük karasal organik karbon havuzu olup; arazi kullanımı ve yönetimine, jeolojik yapıya ve iklim koşullarına bağlı olarak farklı miktarlarda TOK içermektedir. Neufeld ve ark. (2002) TOK içeriğinin, “toprak işleme” ve “arazi kullanımı” tarafından oldukça etkilendiğini vurgulamıştır. Bu durumu destekler nitelikte birçok akademik çalışma da yürütülmüştür. Yılmaz ve Dengiz (2021), farklı arazi kullanımları içerisinde en yüksek TOK stokunun yüzey toprağında ormanlık alanlarda ($53.356 \text{ ton ha}^{-1}$), en düşük TOK stokunun ise tarım arazilerinde ($34.048 \text{ ton ha}^{-1}$) olduğunu tespit etmiştir. Yine, Dengiz ve ark. (2015), Madendere Havzası’nda arazi kullanımı ve arazi örtüsünün ortalama TOK yoğunluğunu sırasıyla “orman (6.30 kg/m^2)”, “mera (5.17 kg/m^2)”, “meyve bahçesi (4.69 kg/m^2)” ve “ekili arazi (3.85 kg/m^2)” olarak hesaplamıştır. Eswaran ve ark. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada da toprak sınıflamasına göre en yüksek TOK miktarı Histosollerde ($1.170 \text{ ton ha}^{-1}$), en düşük TOK içeriği ise Aridisollerde (38 ton ha^{-1}) tespit edilmiştir.

Erşahin (2010) yürüttüğü bir çalışmada, TOK değerini, “topografya” ve “iklim”in bir fonksiyonu olarak ele almıştır. Hesaplamalar sonucunda, bakı etkisinin kuzeyden güneye gittikçe azalma eğilimi gösterdiği, iklim şartlarındaki olumsuz yöndeki bir hızlı, ancak daha sonra gittikçe azalan bir düşüşün olduğu sonucuna varılmıştır. Poch ve Antunez (2010) gerçekleştirdikleri çalışmada en yüksek organik karbon miktarını alüviyal derin topraklarda (228 Mg C ha^{-1}) ve en düşük karbon miktarını da sığ değişme ile birlikte, TOK içeriğinde başlangıçta taşlı topraklarda (78 Mg C ha^{-1}) bulmuştur. Zhang ve ark. (2011), Kuzeydoğu Çin’deki doğal koruma bölgesinde bulunan orman ekosisteminde organik karbon içeriklerinin yüksekliğe bağlı olarak çok fazla değişmediğini, ancak farklı orman örtüleri altında istatistiksel önem taşıyan değişiklikler gösterdiği sonucuna varmıştır. Karasal ekosistemlerde vejetasyonda ise 500 milyar Mg (ton) karbon depolanmaktadır (Janzen, 2004). Depolanan karbon, vejetasyonun yanı sıra toprakta da bulunmakta olup, 1 metre derinlikteki toprakta depolanan karbon miktarı 2.000 milyar Mg civarındadır (Lal, 2005). Bu değerlendirme ışığında STY; TOK miktarını korumak ve artırmanın etkin yollarından birisi olarak görülmektedir. Bunun için de bilhassa tarım arazilerinde, toprak yüzeyini bitkilendirme, malçlama, uygun gübreleme ve sulama gibi sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamalarından faydalanılabilir. Orman vasfını taşıyan arazilerde ise ağaçlandırma ve bitkilendirme faaliyetlerine ağırlık verilmelidir.

Arazileri doğrudan kullananlara TOK’taki azalma veya artışların ifade edilmesinde ise parasal değerlerin kullanılması, proje ve politikaların paydaşlar tarafından desteklenmesinde faydalı olacaktır. Ayrıca, yapılan yatırımlar ve arazi yönetimlerinde TOK’un ekosisteme etkisinin yer

alması karar vericiler için yardımcı bilgi niteliğinde olacaktır. TOK stoklarının “düşük”, “yeterli” veya “yüksek” olarak sınıflandırıldığı arazi kullanım türlerinin tespit edilmesi ve bilişim teknolojilerinden de faydalanılmak suretiyle bu arazilerin konumlandırılarak haritalandırılması hususu “arazi kullanım politikalarının” geliştirilmesi açısından gereklidir.

Toprakta Organik Madde Kapsamının Artırılması

TOK, toprak etkinliğini ve toprak bozulmasını engellemede önemli rol oynamaktadır. Uygun olmayan arazi kullanımının, yanlış toprak yönetiminin veya kötü ürün yetiştirme uygulamalarının sebep olduğu TOK'taki kayıp; toprak kalitesinde ve toprak yapısında düşüşe yol açmakta ve toprak erozyonuna neden olmaktadır. Bununla birlikte, uygun arazi kullanımı ve toprak yönetimi atmosferik karbondioksit miktarının kısmen azalmasıyla TOK miktarının artışına ve gelişen toprak kalitesine sebep olabilmektedir.

Yanlış arazi kullanımı veya uygun olmayan toprak yönetimi veya ürün yetiştirme uygulamaları yüzünden ortaya çıkan TOK kayıpları, toprak kalitesinin düşmesine ve toprak yapısında bir bozulmaya neden olmakla kalmaz, toprak erozyonunu artırabilir ve topraktan atmosfere karbon salınımlarına yol açabilir. Buna karşın, uygun arazi kullanımı ve toprak yönetimi, TOK miktarının artışını ve atmosferik karbondioksit (CO₂) miktarının azalışını ve sonuçta toprak kalitesinin iyileşmesini temin edecektir. Örtü bitkileri kullanılarak su kullanımı veriminin artırılması ve toprak erozyonunun ve besininin süzülmesinin en aza indirilmesi, gübre uygulamalarının dengelenmesi, organik ıslah kullanımı, vejetatif kısımların geliştirilmesi, tarımsal ormancılığın ve ağaçlar arasına ekimin teşvik edilmesi ve tekrar ağaçlandırma ve yeniden orman haline getirme gibi yöntemleri kullanılarak arttırılmaktadır. Bununla birlikte, TOK'un önemli kaynaklarından biri olan orman alanlarında bitkilerin bünyesinde veya topraklarda bağlanan karbon miktarındaki değişimler, atmosferdeki CO₂ miktarındaki artış veya azalış trendi ile ilişkilidir. Bundan dolayı, orman ekosistemlerinde depolanan karbonun miktarında gözlenen değişimin belirlenmesi ihtiyacı günümüzde daha da önem kazanmaktadır (Tolunay & Çömez, 2008).

Sürdürülebilir Kalkınma Gündeminde Toprak Organik Karbonu

Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi, toprağa gıda ve su sağlamak, biyolojik çeşitliliği korumak ve iklim değişikliğini hafifletmek için talebi artırarak, toprakların küresel çevre ve kalkınma politikalarındaki yerini ve önemini daha da yoğunlaştırmaktadır. Bu çerçevede TOK stoku, kritik öneme sahip birçok ekosistem hizmetini destekleyen ve bazı Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA)'nın ulusal düzeyde gerçekleştirilmesinin temelini oluşturan önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir.

Benzer şekilde, TOK stokundaki bir azalma, toprak bozulması için önemli göstergeler arasında yer almaktadır. Bilhassa, gıda, sağlık, su, iklim ve arazi yönetimi ile ilgili olanlar başta olmak üzere SKA'lara ulaşma çabalarını tehlikeye atmaktadır. Ancak, hâlihazırda TOK stoku ile ekosistem hizmetleri seviyesi arasında iyi kurulmuş bir ilişki bulunmamaktadır. Ayrıca, TOK stoku ve değişiklikleri dâhil olmak üzere, temel toprak verileri ve izleme sistemleri birçok ülke için mevcut değildir. Bu belirsizlik, toprak bozulmasındaki değişiklikleri izlemek için ve özellikle SKA izleme çerçevesi ile ilgili olarak TOK stokunun mutlak gösterge olarak kullanılmasının uygunluğunu etkilemektedir. Bu nedenle, TOK stoku diğerlerinin yanı sıra toprak bozulması için tartışmasız önemli bir gösterge olsa da, TOK stoku ile SKA'lara

ulaşmaya yönelik ilerlemeyi izleme hedefleri arasındaki ilişkiyi kurmak için ulusal düzeyde daha fazla veriye ve araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Lorenz et al., 2019).

SKA-15 numaralı “Karasal Yaşam”; “karasal ekosistemleri korumak, restore etmek ve sürdürülebilir kullanımını sağlamak, ormanların sürdürülebilir kullanımını sağlamak, çölleşme ile mücadele etmek, toprakların verimlilik kaybını durdurmak ve geriye çevirmek ve biyoçeşitlilik kaybını durdurmak” şeklinde yer almaktadır. Bu hedef altında, “çölleşme, kuraklık ve sellerden etkilenmiş araziler de dâhil olmak üzere tahribe uğramış arazi ve toprakların ıslahı ve arazi tahribatı dengelenmiş bir dünyaya erişmek için çabalamak” şeklinde bir 15.3 numaralı alt hedef açıklanmış ve bu alt hedefle Arazi Tahribatının Dengelenmesi (ATD) yaklaşımı oluşturulmuştur. ATD’ye ilişkin belirlenen üç temel göstergelerinden bir tanesi de “karbon stokları”, yani “toprak organik karbonu”dur. 15.3 numaralı hedef, toprak biyoçeşitliliğinin ve toprak organik karbonunun hem doğal bir kaynak hem de daha geniş sürdürülebilir kalkınmanın temelini oluşturan bir kamu malı olduğu konusundaki artan bilinci yansıtmaktadır. Bilhassa, tahribata uğradığı halde üretim potansiyeli devam eden tarım arazilerinin iyileştirilmesi ve artan gıda talebinin sağlanması açısından ATD yaklaşımı önemli bir rol oynamaktadır (Topçu & Erpul, 2017).

BM Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi Gündeminde Toprak Organik Karbonu

Çölleşme ve arazi tahribatı nedeniyle yaşam ortamlarının bozulması yeryüzünün karbon tutma kapasitesini de negatif yönde tetiklemekte olup, bu durum, iklim değişikliğinin olası olumsuz etkilerinin daha da hızlanmasına sebebiyet vermektedir. Türkiye’nin ev sahipliğinde 12-23 Ekim 2015 tarihleri arasında Ankara’da gerçekleştirilen BMÇMS 12. Taraflar Konferansı (COP 12)’nda; SKA 15.3 hedefine yönelik, 2030 yılına kadar ülkelerin gönüllü ATD hedeflerinin belirlenmesi ile yapılan çalışmaların ve arazi tahribatı eğilimlerinin izlenmesi kararlaştırılmıştır. ATD, “ekosistemin işlevlerini ve hizmetlerini desteklemek ve gıda güvenliğini arttırmak için gerekli olan arazi kaynaklarının miktarının ve niteliğinin sabit kaldığı veya belirtilen zamansal ve mekânsal ölçekler kapsamında artış gösterdiği bir durum” olarak tanımlanmaktadır. ATD, üç temel kriteri (arazi örtüsü/arazi kullanım değişikliği, arazi üretkenliği/net birincil üretim değişimi ve karbon stoklarındaki değişim) esas alarak “bozulan” ve “geri kazanılan” arazi varlığını “oransal” olarak değerlendirmektedir (Anonim, 2019). Diğer taraftan, BMÇMS 2018-2030 Stratejik Çerçeve Belgesi Stratejik Amaç Göstergeleri’nde bulunan Stratejik Amaç 1’de “SA 1-3 Üst toprak ve alt toprak karbon stoklarındaki eğilimler” yer almaktadır (Anonymous, 2017b). Bu stratejik amaçlar doğrultusunda, toprakta organik karbonunun azalış ve artış eğilimleri takip edilmektedir.

Toprak Organik Karbonuna Yönelik Hazırlanan Ulusal Kaynaklı Projeler

Toprak organik karbonuna ilişkin uluslararası ölçekte yürütülen projeler ve faaliyetler olduğu gibi, Türkiye’de toprak organik karbonuna yönelik kamu bütçesinden sağlanan kaynakla yürütülen muhtelif projeler de bulunmaktadır. Bu projelerden en önemlileri arasında “Ülkesel coğrafi toprak verimliliği ve organik karbon bilgi yönetim sistemi projesi” ile “Türkiye toprak organik karbonu projesi” yer almaktadır. Ülkesel coğrafi toprak verimliliği ve organik karbon bilgi yönetim sistemi projesi, Tarım ve Orman Bakanlığı, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü ile Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) iş birliğinde 2012-2015 yılları arasında yürütülmüştür. Söz konusu proje ile “Türkiye Topraklarının Organik Karbon Dağılım (%) Haritası” ve “Türkiye Topraklarının Karbon Bütçesi Haritası (t/ha)” oluşturulmuştur. Bu haritalar ise Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma

Enstitüsü'nün resmi internet sitesinde yer alan "Ülkesel Toprak Bilgi Sistemi" başlıklı portalda ilgililerin kullanımına açılmıştır.

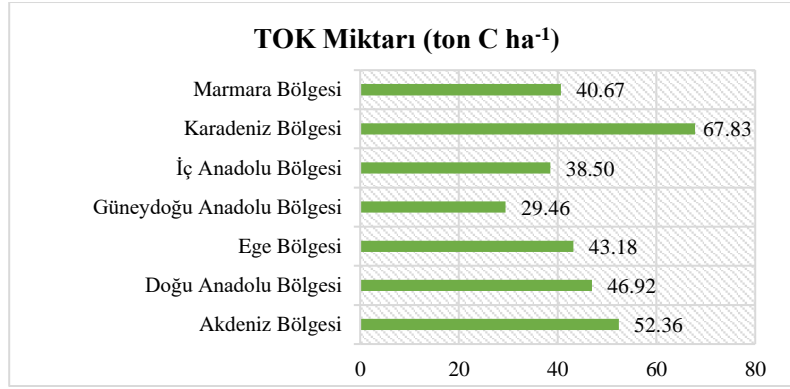
Türkiye toprak organik karbonu projesi, Tarım ve Orman Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü ile TÜBİTAK (BİLGEM-YTE) koordinasyonunda yürütülmüş ve tamamı kamu yatırım kaynağı ile finanse edilmiş olan bir projedir. Söz konusu projeye 2017 yılında başlanmış ve proje 2019 yılında tamamlanmıştır. Bu projenin genel amacı; Türkiye'nin toprak organik karbon stokunun belirlenmesi, bu stokta yaşanan değişimin izlenmesi ve stokun artırılmasına yönelik çalışmaların yapılmasıdır. Proje sonucunda, faydalanılan model kapsamında "iklim", "arazi kullanımı ve arazi örtüsü", "toprak, ana materyali", "topografya" ve "net birincil üretim" kriterleri altında toplam 260 adet değişken tanımlanmıştır. Bunlar arasında, toplam 16 adet değişkenin topraktaki organik karbonun davranışını en iyi şekilde gösterdiği belirlenmiş ve bu değişkenler kullanılarak bir model haritası üretilmiştir. Konu Türkiye geneli için değerlendirildiğinde, 30 cm toprak derinliğinde toplam karbon stok miktarı 3.51 milyar ton olarak tespit edilmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilen modelleme sonucunda toplam 6 arazi kullanım sınıfı için hesaplanan birim alandaki TOK miktarları ve stokları ise Tablo 1'de yer verilmiştir (Anonim, 2018). Tablo 1.'e göre, en yüksek TOK miktarı orman alanlarında ($55.68 \text{ ton C ha}^{-1}$) ve en düşük TOK miktarı da çıplak alanlarda ($12.78 \text{ ton C ha}^{-1}$) görülmektedir. Meralar, su yüzeyleri ve sulak alanlardan sonra tarım alanlarında ($35.96 \text{ ton C ha}^{-1}$) da önemli düzeyde TOK bulunmaktadır.

Tablo 1. Türkiye'de Birim Alandaki Ortalama Karbon Miktarı

| No | Arazi Kullanım Sınıfı | TOK Miktarı (ton C ha^{-1}) | TOK Stoku (ton) |
|----|-------------------------------|--|-----------------|
| 1 | Orman | 55.68 | 1.346.434.101 |
| 2 | Mera | 49.77 | 1.172.981.521 |
| 3 | Tarım | 35.96 | 946.317.555 |
| 4 | Su yüzeyleri ve sulak alanlar | 49.71 | 19.542.037 |
| 5 | Yapay alanlar | 16.12 | 12.838.873 |
| 6 | Çıplak alanlar | 12.78 | 14.981.558 |

Kaynak: Toprak Organik Karbonu Projesi çıktılarından faydalanılarak oluşturulmuştur.

Toprak Organik Karbonu Projesi kapsamında toprak organik karbonu ölçümlerinin bölgeler bazında dağılımı da yapılmıştır (Şekil 1). Bu çerçevede, toprak organik karbonu miktarının iklim ve arazi örtüsü şartlarına bağlı olarak en yüksek olduğu değer Karadeniz Bölgesi ($67.83 \text{ ton C ha}^{-1}$)'nde ve en düşük değer ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi ($29.46 \text{ ton C ha}^{-1}$)'nde olduğu görülmektedir. Karadeniz Bölgesi'ndeki toprak organik karbonu miktarının yüksek olmasının temel nedeni, bu bölgede ormanlık alanların geniş yer kaplaması ve topraklarının organik madde yönünden zengin olmasıdır.



Şekil 1. Bölgeler Bazında Hesaplanan TOK Miktarı

Bu proje kapsamında elde edilen veriler, “Türkiye Çölleşme Modeli Projesi” verileri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Bu çerçevede, çölleşme risk sınıfı “orta-yüksek” olan yaklaşık 19 milyon hektar alandaki TOK stoku diğer sınıflandırmalara göre en yüksek değeri (795.967.025 t) almıştır. En düşük TOK stoku değerinin (5.025.720 t) ise “çok düşük-çok düşük” çölleşme risk sınıfında olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Çölleşme Risk Sınıfları Bazında Bulunan TOK Miktarları

| Çölleşme Risk Sınıfı | Alan (ha) | TOK miktarı (t C ha ⁻¹) | TOK stoku (t) |
|-----------------------|------------|-------------------------------------|---------------|
| Çok Düşük- Çok Düşük | 103.152 | 48.72 | 5.025.720 |
| Çok Düşük- Düşük | 1.610.109 | 63.79 | 102.703.599 |
| Düşük-Düşük | 8.642.766 | 59.81 | 516.905.836 |
| Orta-Düşük | 14.131.325 | 49.9 | 705.121.173 |
| Orta - Orta | 10.298.939 | 45.76 | 471.328.720 |
| Orta -Yüksek | 18.662.318 | 42.65 | 795.967.025 |
| Yüksek-Yüksek | 13.407.299 | 38 | 509.437.725 |
| Yüksek -Çok Yüksek | 6.555.029 | 34.99 | 229.390.681 |
| Çok Yüksek-Çok Yüksek | 695.728 | 31.49 | 21.909.151 |

* Türkiye genelini kapsayan verilerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Küresel karbon döngüsü içerisinde toprağın rolünün iyi anlaşılması ve yönetim kaynaklı karbon stoklarındaki değişimin belirlemesi için, organik karbon stoklarındaki değişimlerin tespit edilmesi öncelikli bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Yine, günümüzün en önemli problemlerinden birisi haline gelen iklim değişikliği ile mücadele konusunda da en kayda değer unsur “karbon yönetimi”dir. Bu kapsamda, karbon emisyonlarını azaltmak kadar yutak alanlar tarafından tutulan karbon miktarını artırmak da büyük önem taşımaktadır. Bunu sağlayabilmek

için STY metotları ile TOK miktarını korumak ve artırmak gerekmektedir. Zira, belirli bir seviyeye kadar TOK'ta yaşanan kayıplar aslında toprağın bozulması anlamını taşımaktadır. Özellikle, hatalı ve aşırı sulamanın yapılması ya da toprağın üzerinde ürün bırakmamak gibi yanlış tarım uygulamaları toprağın verimini düşürmekte, organik karbon kaybına ve ileri aşamasında da şiddetli erozyona neden olmaktadır. Bu nedenle, TOK ve toprak organizmaları dâhil olmak üzere toprak organik maddesinin küresel depoları istikrarlı bir hale getirilmelidir. Toprak karbonun azalmasına sebep olan bozulmalar ve arazi kullanımındaki değişimlerden sakınılmalı ve bu alanlarda uygulanacak faaliyetler dikkatlice planlanarak hayata geçirilmelidir. Sonuç olarak, STY kapsamında toprak organik karbon stoklarının artırılmasını teminen iklim ve çevre dostu tarım sistemlerinin yaygınlaştırılması, toprakların yetenek sınıflarında ve amacı doğrultusunda kullanılmasının sağlanması ile ağaçlandırma ve bitkilendirme çalışmalarının artırılması önemli görülmektedir

YAZAR KATKILARI

Pınar Topçu: Araştırmanın tasarlanması, verilerin toplanması, verilerin düzenlenmesi, verilerin kontrol edilmesi, literatür araştırması, makale yazımı ve kontrol. **Özlem Yavuz:** Verilerin toplanması, verilerin kontrol edilmesi, literatür araştırması, makale yazımı. **Ahmet Tolunay:** Makale yazımı ve kontrolü.

FİNANSAL DESTEK BEYANI

Çalışma için herhangi bir maddi destek alınmamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

ETİK KURUL ONAYI

Bu çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim. (2018). Toprak Organik Karbonu Projesi, Teknik Özet. Tarım ve Orman Bakanlığı. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM), Ankara, Türkiye.
- Anonim. (2019). Çölleşmeyle Mücadele Ulusal Stratejisi ve Eylem Planı 2019-2030, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Anonymous. (2015a). Status of the World's Soil Resources (SWSR)-Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- Anonymous. (2015b.) The value of land: Prosperous lands and positive rewards through sustainable land management. The Economics of Land Degradation. (www.eld-initiative.org), (Erişim tarihi:20.01.2021).

- Anonymous. (2015c). Revised World Soil Charter. Food and Agriculture Organization (FAO). (<http://www.fao.org/3/a-i4965e.pdf>), (Erişim tarihi: 20.01.2021).
- Anonymous. (2017a). Global Soil Organic Carbon Map. Food and Agriculture Organization (FAO). (<http://www.fao.org/3/a-i8195e.pdf>), (Erişim tarihi:25.01.2021).
- Anonymous. (2017b). The Future Strategic Framework of the Convention, United Nations Convention to Combat Desertification - UNCCD (<https://www.unccd.int>), (Erişim tarihi: 19.10.2021).
- Anonymous. (2018). The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages.
- Anonymous. (2019). Sürdürülebilir Toprak Yönetimi Gönüllü Kılavuz İlkeleri. Food and Agriculture Organization. (<http://www.fao.org/3/i6874tr/I6874TR.pdf>), (Erişim tarihi:23.12.2020).
- Anonymous. (2020). RECSOIL: recarbonazation of global soils. Observance of World Day to Combat Desertification and Drought. Global Soil Partnership (GSP).
- Anonymous. (2021). New “Soils Revealed” platform puts soil carbon modelling at your fingertips. ISRIC. (<https://www.isric.org>), (Erişim tarihi: 25.10.2021).
- Dengiz, O., Sağlam, M., Türkmen, F. (2015). Effects of soil types and land use - land cover on soil organic carbon density at Madendere watershed. Eurasian J Soil Sci 2015, 4 (2) 82 - 87.
- Erşahin, S. (2010). Farklı iklim ve topoğrafya koşullarında toprak organik karbonu potansiyel dinamiğinin matematiksel modellemesi. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010 Cilt: III Sayfa: 1012-1020.
- Eswaran, H., Reich, P. F., Kimble, J. M., Beinroth, F. H., Padmanabhan, M. (2000). Global carbon sinks, In: Lal, R., Kimble, J.M. and Stewart, B.A. (Eds.), Global Climate Change and Pedogenic Carbonates., CRC/Lewis Press, Boca Raton, Florida, pp. 15-26.
- Janzen, H.H. (2004). Carbon cycling in earth systems-a soil science perspective, Agriculture. Ecosystems and Environment. Elsevier. Volume 104: 399-417, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.040>.
- Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. Science. Vol. 304, Issue 5677, pp. 1623-1627 doi:10.1126/science.1097396.
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration, Forest Ecology and Management, 220:242-258, 2005, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii>), (Erişim tarihi: 21.10.2021).
- Lorenz K, Lal R, Ehlers K. (2019). Soil organic carbon stock as an indicator for monitoring land and soil degradation in relation to United Nations' Sustainable Development Goals. Land Degradation & Development. Volume 30, Issue 7. <https://doi.org/10.1002/ldr.3270>.
- Neufeld, H., Reck, V. S. D., Ayarza, M. (2002). Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. Geoderma, 107, 151-164.
- Poch, R.M., Antunez, M. (2010). Aggregate development and organic matter storage in Mediterranean mountain soils. Pedosphere 20(6): 702–710, 2010. ISSN 1002-0160/CN 32-1315/Pc_2010 Soil Science Society of China.
- Tolunay, D., Çömez, A. (2008). Türkiye Ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu 2008. 22-25 Ekim 2008, Hatay. 750-765.
- Topçu, P., Erpul, G. (2017). Türkiye’de Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Çerçevesinde Arazi Tahribatının Dengelenmesi Politika ve Stratejileri. 5. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, Bildiri Özetleri Kitabı, s.9, Kırklareli.

- Yılmaz, M., Dengiz, O. (2021). Bazı Toprak Özellikleri İle İlişkili Olarak Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsünün Toprak Organik Karbon Stokuna Etkisi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi. Siirt Üniversitesi. 2021, 8(2): 154-167 doi: 10.19159/tutad.865188
- Zhang, M., Zhang X-K., Liang W-J, Jiang, Y., Dai, G-H., Wang, Xu-Ga, Han, S-J. (2011). Distribution of soil organic carbon fractions along the altitudinal gradient in Changbai Mountain, China. *Pedosphere* 21(5): 615–620, 2011 ISSN 1002-0160/CN 32-1315/Pc.