

Korunan Alanlarda Karbon Yutak Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Sarıkum Milli Parkı'nda (Sinop) Arazi Kullanımının Toprak Organik Karbon ve Azot Stokları Üzerindeki Etkisi

Reşat AKGÖZ^{1*}, Murat DOĞAN², Ahmet Can TINAZ³, Orhan DENGİZ⁴, Günay ERPUL¹

¹Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

²Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Zonguldak, TÜRKİYE

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ornitoloji Araştırma Merkezi, Samsun, TÜRKİYE

⁴Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 10.07.2025

Kabul Tarihi/Accepted: 28.10.2025

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

 orcid.org/0000-0002-4618-4103  orcid.org/0000-0002-2217-7363  orcid.org/0009-0007-6541-7164

 orcid.org/0000-0002-0458-6016  orcid.org/0000-0002-3797-6969

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: resatakgoz@gmail.com

Öz: Bu çalışma, Sarıkum Milli Parkı özelinde farklı arazi kullanım tiplerinin toprak organik karbonu (TOK) ve toplam azot (N) stokları üzerindeki etkilerini pedolojik ve mekânsal değişkenlik temelinde incelemektedir. Araştırma sahasında orman, sazlık, agropastoral sistem, fındık bahçesi, kumul ve yerleşim alanları gibi heterojen arazi örtüsü birimleri tanımlanmış ve bu birimlerden 0-30 cm derinlikten toplam 44 adet yüzey toprak örneği alınmıştır. Numuneler, uluslararası standartlara uygun olarak fiziksel ve kimyasal analizlere tabi tutulmuş; hacim ağırlığı, organik madde içeriği ve kaba materyal oranı gibi parametreler üzerinden TOK ve N stokları ton ha^{-1} cinsinden hesaplanmıştır. TOK değerleri $0.50-118.47 \text{ ton ha}^{-1}$, N stokları ise $0.66-26.61 \text{ ton ha}^{-1}$ aralığında değişim göstermektedir. En yüksek stok değerleri, organik madde birikiminin ve hidromorfik koşulların baskın olduğu sazlık ve agropastoral alanlarda; en düşük değerler ise sık profilli, düşük organik içerikli kumul ve yerleşim alanlarında tespit edilmiştir. Bulgular, toprak derinliği, kil oranı, horizon gelişimi ve arazi kullanım desenlerinin TOK ve N birikimi üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu kapsamda, korunan doğal ve yarı-doğal ekosistemlerin karbon yutak potansiyelinin sürdürülebilir toprak yönetimi ve iklim değişikliğiyle mücadele stratejileri açısından ne derece kritik öneme sahip olduğu vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yutak alan, Sarıkum Milli Parkı, agropastoral sistem, toprak organik karbon stok, toprak azot stok

Assessing Carbon Sink Potential in Protected Areas: The Impact of Land Use on Soil Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Sarıkum National Park (Sinop, Türkiye)

Abstract: This study investigates the impact of various land use types on soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (N) stocks within the boundaries of Sarıkum National Park, a protected coastal ecosystem located along the Black Sea coast of Türkiye. The study area comprises heterogeneous land cover classes including forests, reedbeds, agropastoral systems, hazelnut orchards, sand dunes, and settlement areas. A total of 44 surface soil samples were collected from a 0-30 cm depth and analyzed using standardized physical and chemical methods. SOC and N stocks (ton ha^{-1}) were calculated based on parameters such as bulk density, organic matter content, and coarse fragment ratio. The results revealed that SOC stocks ranged between $0.50-118.47 \text{ ton ha}^{-1}$, while N stocks varied from $0.66-26.61 \text{ ton ha}^{-1}$. Highest stocks were observed in reedbeds and agropastoral lands characterized by high organic matter accumulation and hydromorphic conditions. In contrast, sand dunes and settlement areas exhibited the lowest value due to shallow profiles and limited organic inputs. Findings emphasize that soil depth, clay content, horizon development, and land use configuration significantly influence the spatial distribution

of SOC and N stocks. In this context, it has been emphasized how critical the carbon sink potential of protected natural and semi-natural ecosystems is in terms of sustainable land management and climate change mitigation strategies.

Keywords: Carbon Sink, Sarıkum National Park, agropastoral system, soil organic carbon stock, soil nitrogen stock

1. Giriş

Topraklar, küresel karbon döngüsünün temel bileşenlerinden biri olarak, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir karbon yutağı işlevi görmektedir. Küresel ölçekte karasal ekosistemlerde depolanan karbonun yaklaşık üçte biri topraklarda, özellikle organik madde formunda bulunmaktadır (Lal, 2004; Batjes, 2011). Bu karbon depolama kapasitesi; arazi kullanım biçimi, toprak tipi, iklim koşulları, bitki örtüsü ve insan etkileri gibi çok çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Jobbágy ve Jackson, 2000). Topraklar yalnızca karbon depolamakla kalmaz; aynı zamanda sera gazlarının salınımını etkileyen süreçlerde de rol oynar. Bu nedenle, toprakların karbon yutak potansiyelinin korunması ve artırılması hem ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği hem de ulusal iklim stratejileri açısından kritik önemdedir (Amelung ve ark., 2020).

Toprak organik karbonu (TOK), hem toprak verimliliğinin hem de biyoekimyasal döngülerin düzenlenmesinde merkezi bir role sahiptir. Toprak organik karbon, tarımsal üretkenlik, su tutma kapasitesi, besin döngüleri ve mikrobiyal aktivite gibi çok sayıda toprak fonksiyonunu doğrudan etkiler (Six ve ark., 2002; Lehmann ve Kleber, 2015). Ancak TOK, arazi kullanımındaki değişikliklerden de oldukça hassas biçimde etkilenmektedir. Ormanların tarım ya da yerleşim alanlarına dönüştürülmesi, doğal çayırların bozulması gibi dönüşümler, genellikle TOK stoklarının azalmasına neden olmaktadır (Guo ve Gifford, 2002; Don ve ark., 2009). Buna karşın, koruma altındaki ormanlar, sulak alanlar ve geleneksel otlatma sistemleri, yüksek TOK düzeylerini sürdürebilmektedir (Post ve Kwon, 2000; Chmura ve ark., 2003).

Toprak organik karbonunun ekosistem sağlığı ve iklim düzenleme hizmetlerindeki önemi, özellikle sulak ve yarı-bataklık alanlarda daha belirgin hale gelmektedir. Bu ekosistemlerde organik maddenin ayrışması yavaşladığı için karbonun toprakta tutulma süresi artmakta, bu da uzun vadeli karbon depolama açısından büyük avantaj sağlamaktadır (Mitsch ve Gosselink, 2015). Öte yandan, yoğun tarım uygulamaları, mekanik toprak işleme, aşırı otlatma ve drenaj gibi müdahaleler hem toprak organik karbonunun hem de azotun topraktan atmosfere salınımını hızlandırmakta ve karbon dengesini olumsuz etkilemektedir (Lal, 2003). Bu durum, özellikle

marjinal alanlarda sürdürülen tarımın karbon yönetimi üzerindeki olumsuz etkilerini gözler önüne sermektedir.

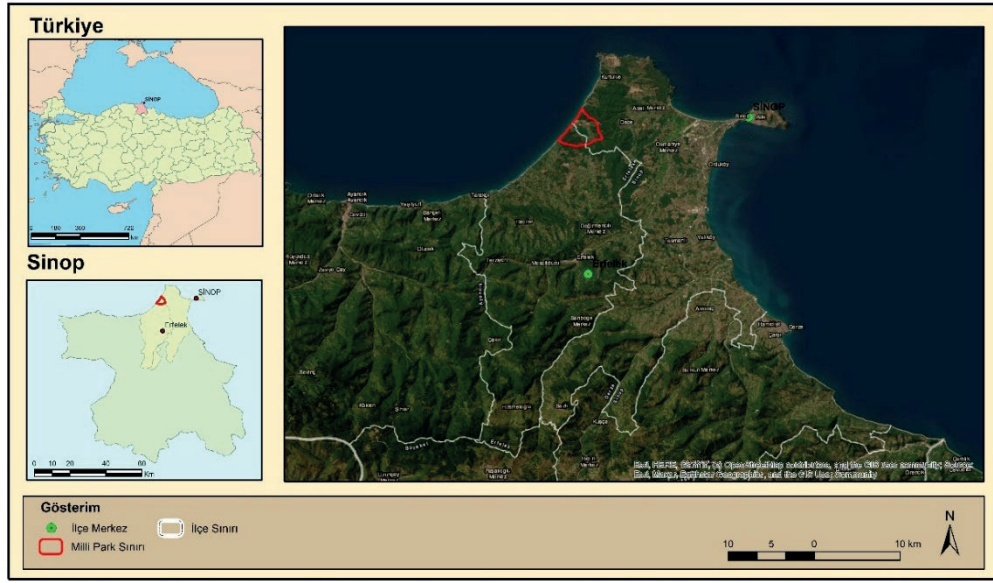
Son yıllarda Türkiye’de de toprak organik karbonunun haritalanması, izlenmesi ve arazi kullanımına bağlı stok değişimlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar artmıştır (Kılıç ve Çelik, 2019; Güzel ve ark., 2020). Ancak bu çalışmalar genellikle bölgesel ölçekli sınıflamalar veya tarım arazileri ile sınırlı kalmaktadır. Milli parklar ve doğal koruma alanlarında gerçekleştirilen detaylı stok analizleri ise sınırlı sayıdadır. Bu nedenle, Türkiye’nin Karadeniz kıyısında yer alan ve lagün, orman, sazlık, mera ve agropastoral sistemleri barındıran Sarıkum Milli Parkı hem biyoçeşitlilik hem de karbon stoku açısından özgün bir örnek alan sunmaktadır.

Bu çalışma, Sarıkum Milli Parkı sınırları içinde yer alan farklı arazi kullanım türlerinin TOK ve toplam azot (N) stokları üzerindeki etkilerini mekânsal olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca toprak serileri, arazi örtüsü ve arazi kullanım desenleri ile bu stokların nasıl değiştiği analiz edilerek, korunan alanların karbon yutak kapasitesine ilişkin bilimsel veri üretilmesi hedeflenmektedir. Türkiye’nin taraf olduğu Arazi Tahrifatının Dengelenmesi (Land Degradation Neutrality, LDN) taahhütleri doğrultusunda, doğal alanların korunması ve karbon stoklarının izlenmesi sürdürülebilir toprak yönetimi politikalarının önemli bir parçasıdır (Anonymous, 2014). Bu kapsamda elde edilen bulgular, Sarıkum örneğinden yola çıkarak yerel ve ulusal ölçekte karbon yutaklarının korunmasına yönelik politika geliştirme süreçlerine katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Bu çalışma, Türkiye’nin Karadeniz kıyısında yer alan ve doğal lagün karakteri, zengin habitat çeşitliliği ve düşük yerleşim yoğunluğuyla öne çıkan önemli bir sulak alan olan Sarıkum Gölü Havzası’nda yürütülmüştür. Araştırma sahası, Orta Karadeniz Bölgesi içerisinde, Sinop ili sınırlarında ve Sarıkum alt havzası içerisinde yer almaktadır. Alanın coğrafi koordinatları 657000-661000 doğu boylamları ile 4651000-4656000 kuzey enlemleri arasında konumlanmaktadır (UTM, 36. zon). Sarıkum Milli Parkı’nın yüzölçümü yaklaşık 1178.7 hektardır (Şekil 1).

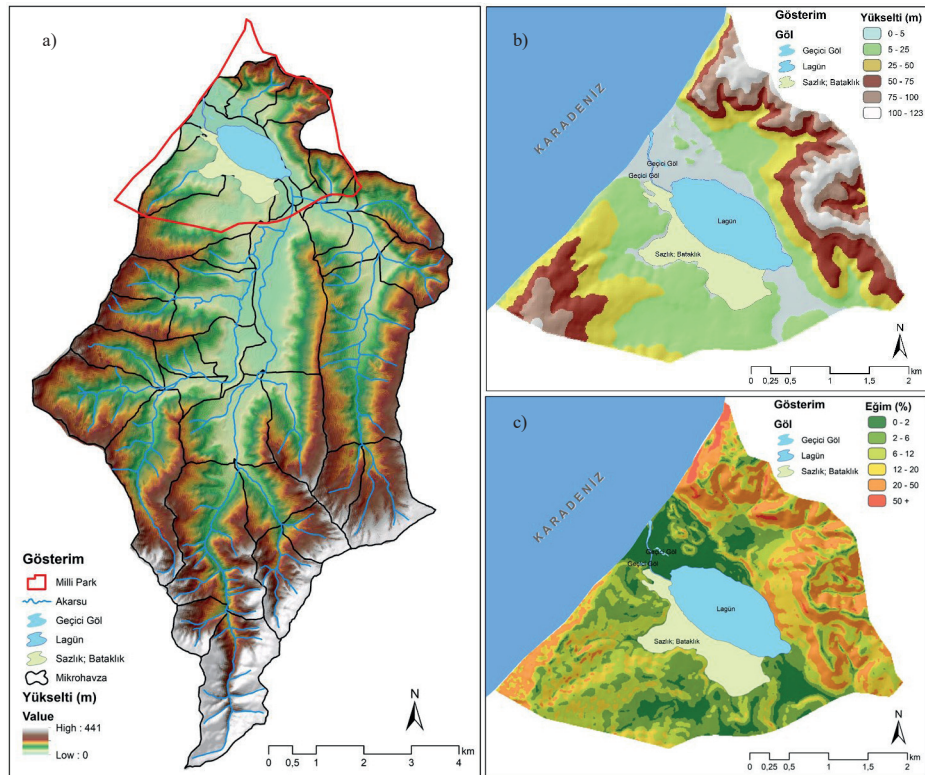


Şekil 1. Sarıkum Milli Parkı yer buldur haritası

Figure 1. Sarıkum National Park location map

Çalışma alanı, Batı Karadeniz Büyük Havzası içinde yer alan Sarıkum alt havzası kapsamında değerlendirilmiştir. Yükselti, 0 ile 441 metre arasında değişmekte olup, ortalama yükselti 72 m'dir. Milli park sınırları içerisinde maksimum yükselti 123 m, ortalama ise yaklaşık 33 m olarak hesaplanmıştır. Alanın topografik yapısı kuzeyden

güneye doğru yükseklik kazanmakta, göl çevresinde minimum seviyeye inmektedir. Eğimin % 0 ile % 90 arasında değiştiği parkta, kuzeydoğu kesimlerde dik ve çok dik eğimler (>% 30), güneybatı kesimlerde ise daha düz alanlar yaygındır. Genel yöney eğilimleri güneydoğu ve kuzeybatı yönlerinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 2).

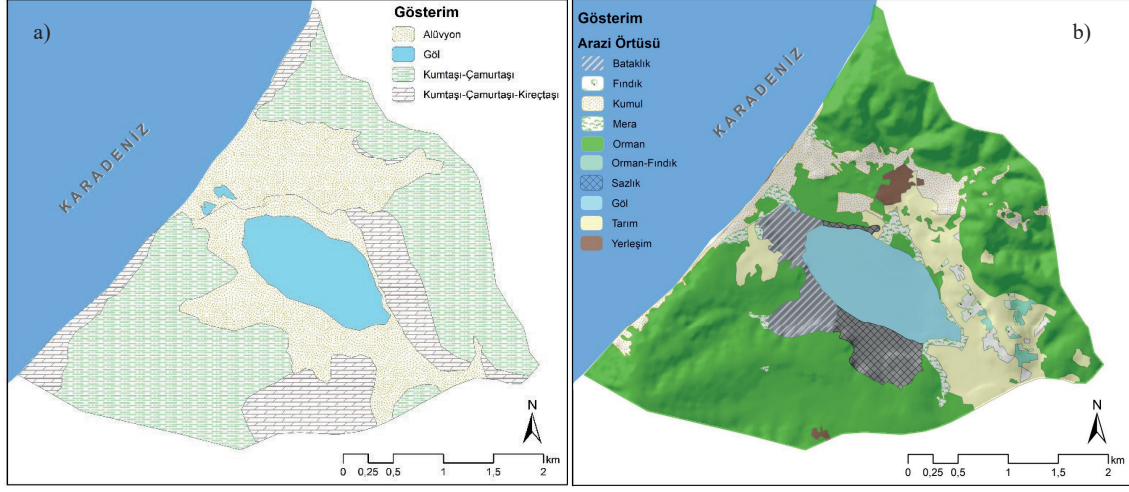


Şekil 2. Sarıkum Havzası (a), milli park yükselti haritası (b) ve milli park eğim haritası (c)

Figure 2. Sarıkum Basin (a), national park elevation map (b), and national park slope map (c)

Maden Tetkik Arama Enstitüsü'nden temin edilen jeoloji verileri bakımından değerlendirildiğinde, alanın merkezinde bulunan göl ve çevresi boyunca alüvyal depozitler

yaygındır. İç bölgelerde, özellikle eğimin düşük olduğu taban arazilerde kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı serileri gözlemlenmekte; yüksek alanlarda ise daha çok kumtaşı-çamurtaşı hakimdir (Şekil 3).



Şekil 3. Sarıkum Milli Parkı jeoloji haritası (a), arazi örtüsü-arazi kullanımı haritası (b)
Figure 3. Sarıkum National Park geological map (a), land cover-land use map (b)

2022 yılı uydu görüntülerinden görsel yorumlama ve arazi gözlemleri dikkate alınarak hazırlanan arazi kullanım ve arazi örtüsü haritasına göre, çalışma alanının yaklaşık % 60'ı ormanlık alanlarla, ardından sırasıyla tarım alanları (% 11.62) ve su yüzeyleri (% 9.17) ile kaplıdır. Geri kalan alanlar ise sazlıklar, meralar, bataklık alanlar ve yerleşim yerlerinden oluşmaktadır. Özellikle doğal alanlarla iç içe geçmiş agropastoral sistemlerin yaygınlığı dikkat çekicidir (Tablo 1, Şekil 3).

Tablo 1. Sarıkum Milli Parkı güncel arazi kullanım sınıfları

Table 1. Current land use classes in Sarıkum National Park

Sınıf	Alan (ha)	Alan (%)
Bataklık	48.89	4.16
Fındık	14.81	1.26
Kumul	75.92	6.46
Mera	25.88	2.20
Orman	704.18	59.94
Orman-fındık	7.32	0.62
Sazlık	42.42	3.61
Su	107.76	9.17
Tarım	136.47	11.62
Yerleşim	11.18	0.95
Toplam	1174.85	100.00

2.2. Toprak örnekleme ve analiz yöntemleri

Çalışma alanındaki farklı arazi örtüsü ve kullanım türleri dikkate alınarak, temsili örnekleme yaklaşımı ile toplam 44 yüzey toprağı örneği alınmıştır (Şekil 4). Örnekleme derinliği 0-30 cm olarak belirlenmiş; bu derinlik, uluslararası karbon

envanteri standartlarına (Anonymous, 2006) uygun biçimde seçilmiştir. Örnekleme noktaları, alandaki topografik çeşitlilik, toprak serileri, eğim, jeolojik yapı ve Arazi Örtüsü-Arazi Kullanımı (AÖ-AK) sınıfları göz önüne alınarak dağıtılmıştır.

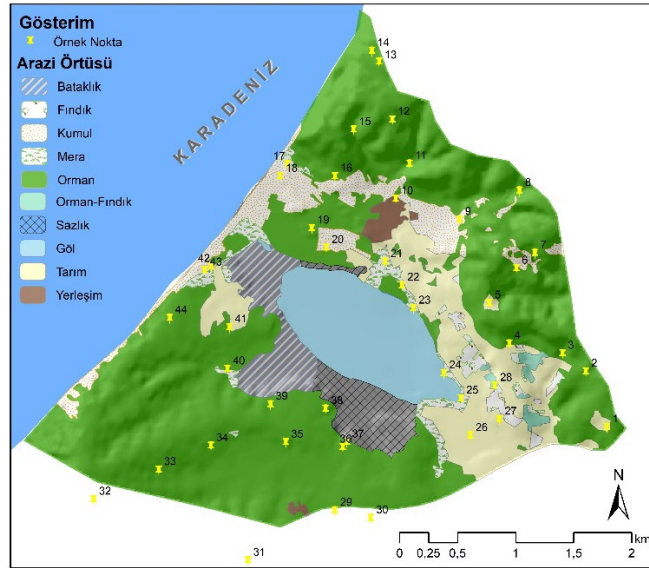
Toprak örnekleri, laboratuvar öncesi safhalarda kaba materyal ve bitki kalıntılarından arındırılmış, ardından hava kurutma işlemi uygulanmıştır. Kuruyan örnekler, tahta tokmak yardımıyla ezilip 2 mm elek ile elenerek analiz için hazır hale getirilmiştir.

Analizlerde kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemler, uluslararası kabul görmüş standartlara dayanmaktadır (Tablo 2). Her parametre için kullanılan metotlar, özgün kaynaklar üzerinden tanımlanmıştır. Bu analiz sonuçları, her örnek noktasında TOK ve toplam N stoklarının hesaplanmasına temel oluşturmuştur.

2.3. Toprak organik karbon ve azot stoklarının hesaplanması

Toprak organik karbonu ve toplam N stoklarının hesaplanmasında, 0-30 cm derinlikte alınan yüzey toprak örneklerinden elde edilen organik madde yüzdesi, hacim ağırlığı, toprak derinliği ve kaba materyal oranı gibi parametreler dikkate alınmıştır. Bu hesaplamalar, birim alandaki karbon ve azot birikimini ton ha⁻¹ cinsinden ifade etmek üzere yapılmıştır.

TOK ve N stokları, sırasıyla Eşitlik 1 ve 2'ye göre hesaplanmıştır.



Şekil 4. Sarıkum Milli Parkı toprak örnekleme noktalarının dağılımı
Figure 4. Distribution of soil sampling points in Sarıkum National Park

Tablo 2. Toprakların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler
Table 2. Methods used to determine the chemical and physical properties of soils

Parametre	Birim	Yöntem	Kaynak
Tekstür	%	Hidrometre yöntemi	Bouyoucos (1951)
pH		Toprak su süspansiyonu (1:1)	Anonymous (1992)
Elektriksel iletkenlik	dS m ⁻¹	Toprak su süspansiyonu	Anonymous (1992)
Kireç (CaCO ₃)	%	Kalsimetrik yöntem	Anonymous (1992)
Organik madde	%	Walkley-Black yöntemi	Nelson ve Sommers (1982)
Hacim ağırlığı	gr cm ⁻³	Bozulmamış örnek	Blake ve Hartge (1986)

$$\text{TOK stok (ton ha}^{-1}\text{)} = \frac{(1-\delta i\%) \times \rho_i \times C_i \times T_i}{100} \quad (1)$$

$$\text{N stok (ton ha}^{-1}\text{)} = \frac{(1-\delta i\%) \times \rho_i \times N_i \times T_i}{100} \quad (2)$$

Burada, δi , 2 mm'den büyük kaba fraksiyon miktarını; ρ_i , hacim ağırlığını (g cm⁻³); C_i , organik karbon miktarını (%); N_i , azot miktarını (%); T_i , alınan toprak örneğinin derinliğini (cm) ifade etmektedir. Noktasal bazlı hesaplanan TOK ve N stok değerleri coğrafi bilgi sistemleri programları eklentilerinden olan jeostatistik analiz metotları ile proje alanına yayılarak raster harita yüzeyleri elde edilmiştir.

2.4. Toprak serilerinin dağılımı

Sarıkum Milli Parkı sınırları içerisindeki toprak serileri, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen detaylı arazi çalışmaları kapsamında tanımlanmıştır (Beşen ve ark., 2018). Yapılan değerlendirmelere göre en yaygın toprak serisi Sarıkum-1 (% 33.06) olup, onu Sarıkum-2 (% 28.51) ve Sarıkum gölet serisi (% 15.77) takip etmektedir. Alan genelindeki toprak özellikleri, C ve N stoklarının mekânsal

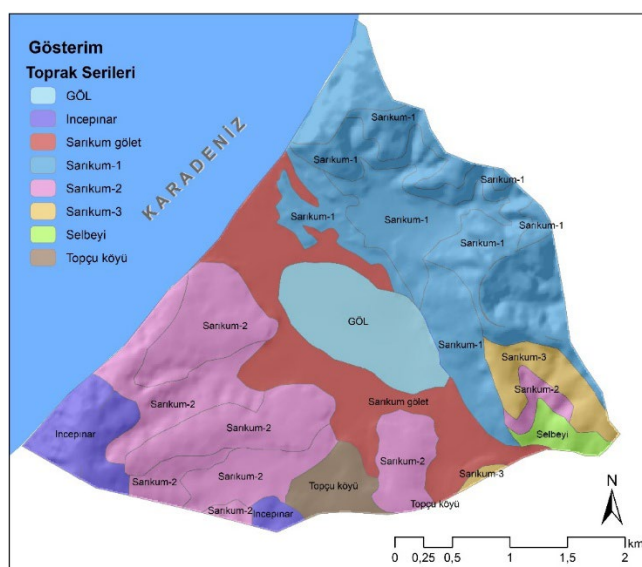
farklılığını açıklamada temel unsurlar arasında yer almaktadır (Şekil 5, Tablo 3).

Entisol Ordosu: Sarıkum Gölet Serisi (Vertic Ustifluent): Genç alüvyal depozitler üzerinde gelişmiş, siltli killi bünye hakimiyetindedir. Su tutma kapasitesi oldukça yüksek (% 28.95-40.69) ve organik madde içeriği yüzeyde zengindir. Hafif asit karakterlidir, kireç ve tuzluluk problemi gözlenmemektedir.

Sarıkum-1 Serisi (Typic Ustipsamment): Kumul karakterli, geçirgenliği yüksek, horizon gelişimi zayıf, düşük organik madde ve besin içerikli topraklardır. Kireç oranı % 15 civarındadır, pH değeri ise 7.60'dır.

Inceptisol Ordosu: Topçu Köyü Serisi (Calcic Haplustept): Vadi tabanlarında gelişmiştir. Cambik horizon gelişimi ile olgunluk kazanmıştır. Siltli kil bünyeli, düşük hacim ağırlıklı ve yüksek su tutma kapasitelidir. Kireç içeriği profilde % 2.79-6.78 arasında artış gösterir.

İncepınar Serisi (Typic Haplustept): Kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı aralanması üzerinde



Şekil 5. Sarıkum Milli Parkı'ndaki toprak serileri dağılım haritası
Figure 5. Distribution map of soil series in Sarıkum National Park

oluşturmuştur. Hafif asit-nötr arası pH, düşük kireç, orta-düşük organik madde içerir.

heterojenliğin başlıca nedenleri olarak değerlendirilebilir.

Tablo 3. Milli park toprak serilerinin alan ve dağılım oranları

Table 3. Area and distribution ratios of national park soil series

Seri adı	Alan (ha)	Oran (%)
Göl	100.51	8.53
İncepınar	66.76	5.66
Sarıkum-1	389.66	33.06
Sarıkum-2	336.00	28.51
Sarıkum-3	46.22	3.92
Sarıkum gölet	185.84	15.77
Selbeyi	18.68	1.59
Topçu köyü	34.87	2.96
Toplam	1178.54	100.00

Selbeyi Serisi (Vertic Haplustept): Vertik özellikli, killi bünyeli, yüksek su tutma kapasitesine sahip, düşük organik madde içerikli topraklardır. Tuzluluk problemi bulunmaz.

Sarıkuş-2 Serisi (Humic Dystrustept): Asidik reaksiyon gösteren, killi bünyeli ve orta düzey organik madde içeren topraklardır. Yüzey pH değeri 5.12, derinlikte 6.74'e kadar çıkar.

Sarıkm-3 Serisi (Typic Haplustept): Derin profilli, siltli killi tın ve silti kil bünyeli, düşük organik madde içerikli ve hafif asit karakterlidir.

Bu bölüm, farklı toprak serilerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri bağlamında TOK ve N stokları üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak adına temel veri sunmaktadır. Farklı horizon gelişimi, tekstürel yapı, pH ve organik madde içeriği gibi parametreler, stok dağılımlarındaki mekânsal

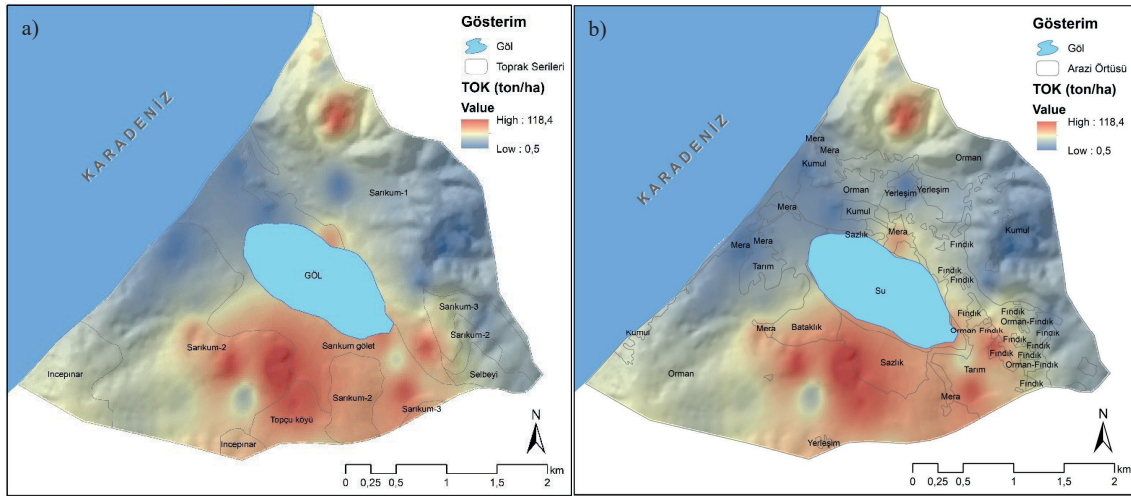
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprak serileri ve arazi örtüsü-arazi kullanımı bakımından toprak organik karbon stoklarının dağılımı

Sarıkum Milli Parkı'nda yapılan toprak analizleri, TOK stoklarının $0.50 \text{ ton C ha}^{-1}$ ile $118.47 \text{ ton C ha}^{-1}$ arasında değiştiğini göstermiştir. Bu geniş varyasyon hem toprak serilerinin özellikleri hem de arazi örtüsü ve kullanım biçimleri ile yakından ilişkilidir (Şekil 6).

En düşük TOK değerleri, alanın batısı ve doğusunda bulunan Sarıkum-1 serisinin dağılım gösterdiği kumul alanlarında gözlemlenmiştir (Şekil 6, Tablo 4). Bu alanlarda oluşmuş toprakların yüksek kum oranı, düşük su tutma kapasitesi ve organik madde birikiminin zayıf olması gibi faktörler nedeniyle karbon depolama potansiyeli düşüktür. Özellikle aktif ya da yarı stabilize kumul alanlarında karbon yutak işlevinin oluşması ekolojik olarak son derece zordur. Bu nedenle kumul hareketlerini kontrol altına almak ve ekosistem hizmetlerinin gelişmesi ile kumul alanlarının ıslahını sağlamak amacıyla Sinop Sarıkum kumulunda 1975-1981 yılları arasında 151 ha⁻¹ alanda kumul stabilizasyonu amacıyla ağaçlandırma yapılmıştır (Anonim, 2025).

Nitekim literatürde de kumullar, doğal olarak karbon fakiri sistemler olarak tanımlanmakta ve stabilizasyon süreci tamamlanmadan karbon depolama potansiyelleri sınırlı kalmaktadır (Lal, 2004). Ancak Sarıkum örneğinde olduğu gibi,



Şekil 6. Toprak serileri (a) ve AÖ-AK sınıfları (b) bazında TOK stok dağılımı

Figure 6. Soil organic carbon stock distribution based on soil series (a) and land cover-land use classes (b)

Tablo 4. Toprak serileri bazında TOK değerleri

Table 4. Soil organic carbon values based on soil series

Seri adı	Minimum TOK (ton ha ⁻¹)	Maksimum TOK (ton ha ⁻¹)	Ortalama TOK (ton ha ⁻¹)
İncepınar	32.83	66.42	44.48
Sarıkm-1	1.62	93.84	33.00
Sarıkm-2	1.37	118.47	48.50
Sarıkm-3	14.70	77.34	37.15
Sarıkm gölet	0.50	105.24	50.28
Selbeyi	25.40	60.20	35.47
Topçu köyü	56.04	98.81	79.00

kumul alanlarının zamanla stabilize edilerek orman, sazlık veya otlak ekosistemlerine dönüşmesi, bu alanlarda önemli karbon birikimi sağlamaktadır. Özellikle sazlık ve taban arazide gelişmiş dişbudak ormanlarında, TOK stokları dikkat çekici düzeylere ulaşmıştır. Bu alanlar aynı zamanda hidromorfik koşullara sahip, ayrışmanın yavaşladığı ve organik maddenin biriktiği bölgeler olduğundan, karbon birikimi daha kararlı bir biçimde gerçekleşmektedir (Mitsch ve Gosselink, 2015).

En yüksek ortalama TOK değeri, 79.00 ton ha⁻¹ ile organik madde birikiminin yoğun olduğu sazlık, bataklık ve agropastoral alanlarda, ayrıca Topçu Köyü Serisi gibi derin ve killi toprakların yer aldığı güney kesimlerde görülmüştür. Buna karşın, kumul alanları ve yerleşim yerleri, sık, geçirgen ve düşük organik madde içeriğine sahip Entisol karakterindeki topraklarla örtülü olduğundan en düşük karbon ve azot stok değerlerine sahiptir. Bu seriyi sırasıyla, Sarıkum Gölet (50.28 ton ha⁻¹) ve Sarıkum-2 (48.50 ton ha⁻¹) serileri izlemiştir (Tablo 4). En düşük ortalama (33.00 ton ha⁻¹) sahip olan Sarıkum-1 serisi ise (Tablo 4), aktif kumul kaynaklı toprakların sınırlı horizon gelişimi ve düşük organik içerikleriyle uyum göstermektedir. Toprak ve N stoklarının mekânsal dağılımı, toprak derinliği,

bünye özellikleri, horizonlaşma seviyesi, hacim ağırlığı ve kil içeriği gibi pedolojik özelliklere paralel olarak değişmektedir.

Arazi örtüsü-arazi kullanımı sınıflarına göre değerlendirildiğinde, sazlık alanlar (78.58 ton ha⁻¹), fındık bahçeleri (53.66 ton ha⁻¹) ve tarım dışı agropastoral meralar (44.16 ton ha⁻¹) gibi yarı-doğal sistemler, TOK açısından öne çıkmaktadır (Tablo 5). Bu alanlar, bir yandan ekosistem işlevselliğini sürdürürken, diğer yandan da karbon tutma açısından kıymetli alanlar olarak değerlendirilmektedir.

En düşük ortalama TOK değeri ise 20.99 ton ha⁻¹ ile kumul alanlarında, ardından 25.43 ton ha⁻¹ ile yerleşim alanlarında görülmüştür. Bu durum hem doğal hem de insan kaynaklı karbon stok kayıplarını ortaya koymaktadır.

Bu bulgular, Karadeniz kıyısında yer alan Sarıkum gibi kıyı kumulu temelli alanlarda yapılan uzun süreli habitat restorasyonlarının, yalnızca biyolojik çeşitliliği değil, aynı zamanda karbon depolama kapasitesini de ciddi biçimde artırabileceğini göstermektedir. Kumul stabilizasyonuna dayalı ekosistem restorasyonu, iklim değişikliğiyle mücadelede kıyı zonlarının

Tablo 5. AÖ-AK sınıfları bazında TOK değerleri

Table 5. Soil organic carbon values based on land cover-land use classes

AÖ-AK sınıfı	Minimum TOK (ton ha ⁻¹)	Maksimum TOK (ton ha ⁻¹)	Ortalama TOK (ton ha ⁻¹)
Bataklık	8.54	87.54	44.33
Fındık	15.80	93.84	53.66
Kumul	0.50	47.94	20.99
Mera	1.37	76.88	44.16
Orman	1.62	118.47	42.05
Orman-fındık	23.85	84.27	48.04
Sazlık	12.09	107.53	78.58
Tarım	3.39	94.19	46.82
Yerleşim	3.22	67.10	25.43

önemini bir kez daha ortaya koymaktadır (Guo ve Gifford, 2002; Lal, 2004).

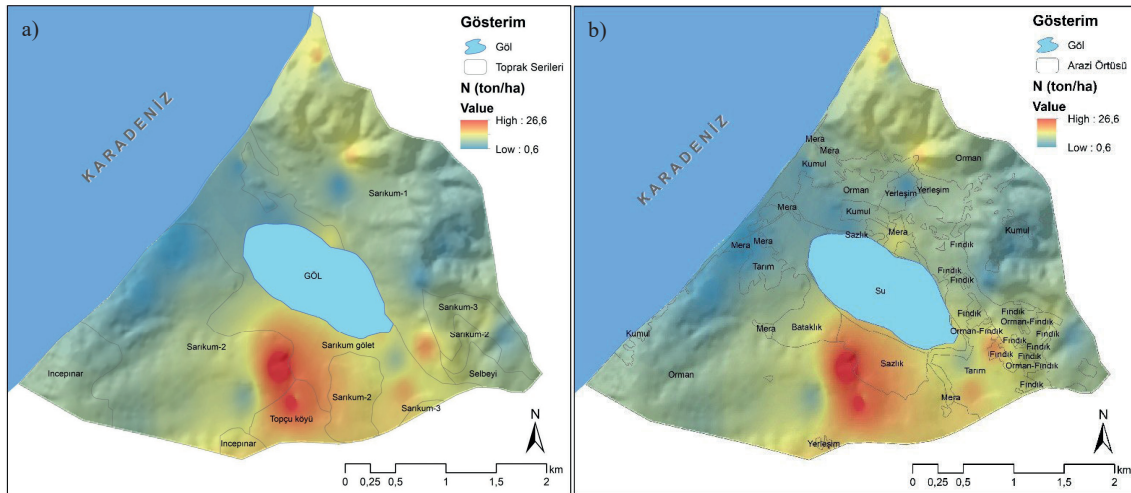
3.2. Toprak azot stoklarının dağılımı

Toprak organik karbon dağılımına benzer şekilde, toprak N stokları da milli park sınırları içinde belirgin bir mekânsal değişkenlik sergilemektedir. Azot stokları, 0.66 ton N ha⁻¹ ile 26.61 ton N ha⁻¹ arasında değişmektedir (Şekil 7). Bu dağılım haritaları, TOK ve toprak N stoklarının birbiriyle güçlü şekilde ilişkili olduğunu ve aynı mekânsal desenleri izlediğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, doğal ve yarı-doğal ekosistemlerin hem karbon hem de N yutakları olarak kritik öneme sahip olduğu söylenebilir. Özellikle güneydeki sazlıklar, bataklıklar, dişbudak ormanları ve agropastoral çayır alanlarında N stoklarının yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu alanlar aynı zamanda, karbon bakımından da zengin olup; organik maddenin ayrışmasının yavaşladığı, hidromorfik koşullarda birikimin hızlandığı ortamlardır. Buna karşılık, kumul alanları, düşük toprak derinliği ve organik madde eksikliği nedeniyle en düşük N stoklarına sahiptir.

Topçu Köyü serisi, ortalama 17.10 ton ha⁻¹ ile en yüksek N stok değerine sahiptir. Bu, yüksek organik madde içeriği ve kil oranıyla açıklanabilir. Sarıkum-2 ve Sarıkum Gölet serileri de nispeten yüksek değerler göstermiştir. Buna karşın, kumul karakterli Sarıkum-1 ve İncepınar gibi serilerde ortalama N stokları daha düşük düzeydedir (Tablo 6).

Sazlık alanlar, ortalama 15.80 ton ha⁻¹ ile en yüksek N stokuna sahiptir. Bu alanları, fındık bahçeleri (10.29 ton ha⁻¹) ve orman-fındık geçiş alanları (9.87 ton ha⁻¹) izlemektedir. Buna karşın kumul (5.37 ton ha⁻¹) ve yerleşim alanları (5.95 ton ha⁻¹) en düşük değerlere sahiptir (Tablo 7).

Bu bulgular, kıyı kumulları gibi zorlu ekolojik alanların stabilize edilerek sulak alan, çayır ve orman ekosistemlerine dönüşümünün, yalnızca karbon değil, N gibi diğer temel elementlerin de tutulmasını sağladığını göstermektedir. Azot ve karbonun birlikte artışı, toprak verimliliği, su düzenleyici kapasite ve biyolojik üretkenlik açısından bu alanların koruma değerini daha da artırmaktadır (Jobbágy ve Jackson, 2000; Lal, 2004).



Şekil 7. Toprak serileri (a) ve AÖ-AK sınıfları (b) bazında N stoklarının dağılımı

Figure 7. Distribution of N stocks based on soil series (a) and land cover-land use classes (b)

Tablo 6. Toprak serileri bazında N değerleri

Table 6. Nitrogen values based on soil series

Seri adı	Minimum N (ton ha ⁻¹)	Maksimum N (ton ha ⁻¹)	Ortalama N (ton ha ⁻¹)
İncepınar	4.74	13.68	7.10
Sarıkum-1	1.95	17.11	7.34
Sarıkum-2	0.66	26.61	8.46
Sarıkum-3	3.50	13.41	8.25
Sarıkum gölet	1.37	23.06	9.64
Selbeyi	6.88	11.47	8.31
Topçu köyü	11.66	25.35	17.10

Tablo 7. AÖ-AK sınıfları bazında N değerleri

Table 7. Nitrogen values based on land cover-land use classes

AÖ-AK sınıfı	Minimum N (ton ha ⁻¹)	Maksimum N (ton ha ⁻¹)	Ortalama N (ton ha ⁻¹)
Bataklık	1.96	17.68	7.69
Fındık	5.98	17.11	10.29
Kumul	0.91	13.91	5.37
Mera	0.66	13.27	7.79
Orman	0.72	26.61	8.19
Orman-fındık	8.37	15.35	9.87
Sazlık	2.49	23.69	15.80
Tarım	1.03	16.70	8.87
Yerleşim	1.95	13.83	5.95

3.3. Toplam toprak organik karbon ve azot stoklarının derinlik ve toprak özelliklerine göre dağılımı

Toprakların organik karbon ve N stoklarının mekânsal dağılımı yalnızca yüzeysel arazi örtüsü ve kullanım desenlerinden değil; aynı zamanda toprak derinliği, olgunluk düzeyi (horizon gelişimi), bünye özellikleri, hacim ağırlığı ve organik madde içeriği gibi bir dizi pedolojik ve fiziko-kimyasal faktörden de etkilenmektedir.

Bu kapsamda, daha önce Sarıkum Havzası için oluşturulmuş detaylı toprak haritalarında tanımlanan seri ve faz özellikleri (örneğin: toprak derinliği, hacim ağırlığı, kil içeriği ve horizonlaşma) dikkate alınarak her bir birimin toplam karbon ve N stokları (ton ha⁻¹)

hesaplanmıştır. Böylelikle sadece yüzey toprağı değil, belirlenen etkin toprak derinliğine kadar olan profillerdeki stoklar değerlendirilmiştir.

Haritalar incelendiğinde, toplam TOK ve N stoklarının özellikle Sarıkum Milli Parkı'nın güney ve güneybatı kesimlerinde yoğunlaştığı açıkça görülmektedir. Bu bölgelerde yer alan Topçu Köyü Serisi, Sarıkum Gölet Serisi ve Selbeyi Serisi gibi birimlerde toprak derinliklerinin 100 cm ve üzeri olduğu, yüksek kil içeriğine sahip oldukları bu nedenle organik maddenin ayrışmasının yavaşladığı ve daha uzun süreli karbon-nitrojen tutulumunun sağlandığı görülmektedir (Şekil 8).

Özellikle killerin toprak kolloidleri üzerindeki bağlayıcı etkisi hem karbonun hem de azotun mineral yüzeylere adsorpsiyon yoluyla bağlanarak

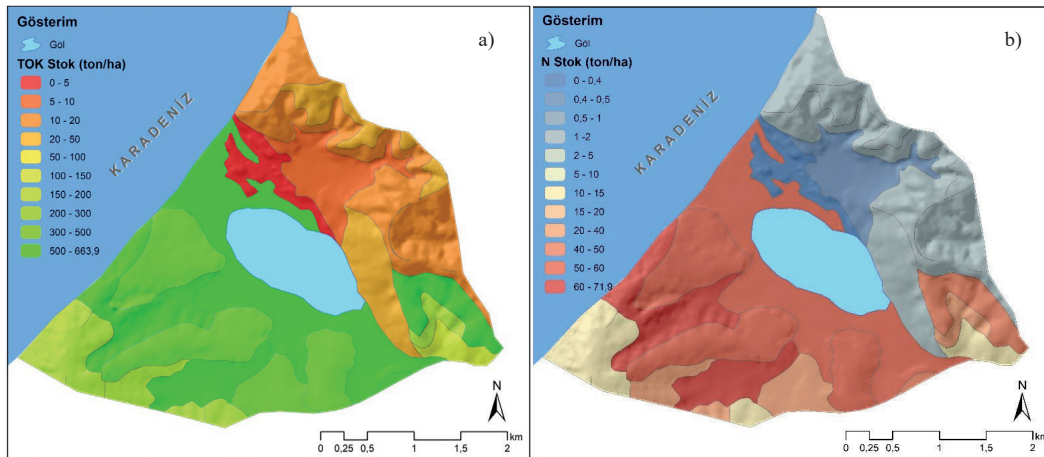
**Şekil 8. Toplam TOK stok (a) ve toplam N stok (b) mekânsal dağılımı**

Figure 8. Spatial distribution of total soil organic carbon stock (a) and total N stock (b)

daha uzun süreli toprakta kalmasına olanak sağlamaktadır (Six ve ark., 2002). Ayrıca horizonlaşmanın belirgin olduğu bu topraklarda daha gelişmiş yapılar, kılcal boşluklar ve su-hava dengesi, organik madde birikimini desteklemektedir.

Buna karşın, parkın kuzey ve kuzeydoğu kesimlerinde bulunan, genellikle kumul karakterli (örneğin, Sarıkum-1 Serisi) ve düşük derinlikteki topraklarda, karbon ve N stokları daha sınırlıdır (Şekil 8). Bu topraklar, sıkı profilli, düşük kil içeriğine sahip ve horizonlaşmanın zayıf olduğu Entisoller grubunda yer almakta, dolayısıyla karbon ve N birikimi açısından dezavantajlı konumdadırlar.

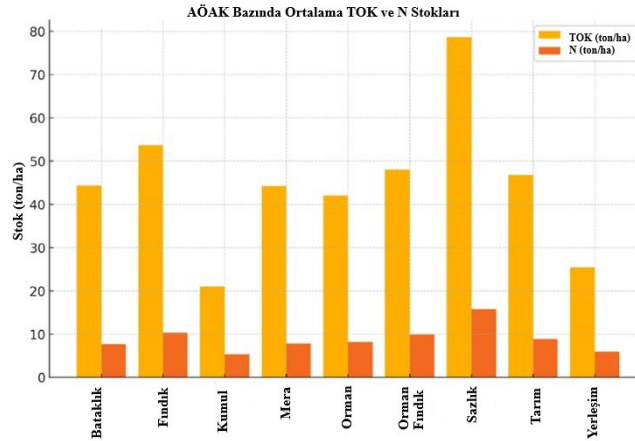
Bu bulgular ışığında, organik madde stoklarının yalnızca arazi örtüsü veya kullanım biçimiyle değil, aynı zamanda toprak oluşum süreçleri ve profil gelişimi ile de yakından ilişkili olduğu vurgulanabilir. Karadeniz kıyısındaki kumul alanlarının stabilize edilerek bataklık, sazlık ve

agropastoral alanlara dönüşmesi, bu stokların artmasında hayati rol oynamaktadır.

Sarıkum Milli Parkı'nda gerçekleştirilen bu çalışma, farklı arazi örtüsü ve toprak özelliklerinin TOK ve N stokları üzerindeki etkilerini hem yüzeyel hem de derinlik bazında ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur (Şekil 9 ve 10).

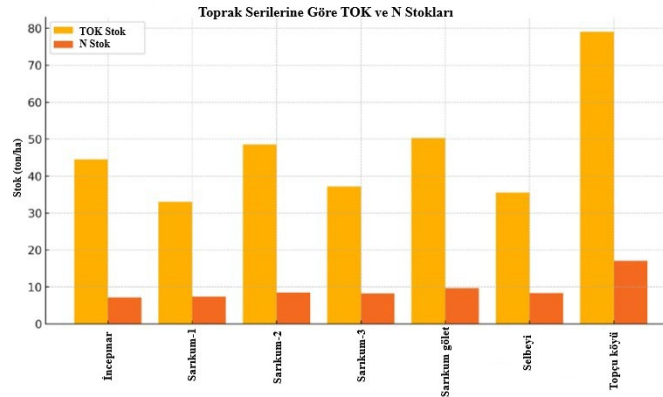
Şekil 9, Sarıkum Milli Parkı'nda farklı AÖAK sınıflarına göre ortalama TOK ve N stoklarını göstermektedir. Sazlık, fındık bahçesi ve agropastoral alanlar yüksek stok değerleriyle öne çıkarken; kumul ve yerleşim alanları düşük karbon ve azot içeriğiyle dikkat çekmektedir. Bu bulgu, arazi kullanım biçiminin karbon ve azot birikimi üzerindeki belirleyici rolünü vurgulamaktadır.

Şekil 10, Sarıkum Havzası'nda belirlenen toprak serilerine göre ortalama TOK ve N stok değerleri sunulmaktadır. Topçu Köyü ve Sarıkum Gölet serileri en yüksek değerlere sahip olup, bu serilerin derin, killi ve organik maddece zengin topraklara sahip olduğu görülmektedir. Bu durum,



Şekil 9. AÖ-AK sınıflarına göre ortalama TOK ve N stokları

Figure 9. Average soil organic carbon and N stocks by land cover-land use classes



Şekil 10. Toprak serilerine göre ortalama TOK ve N stokları

Figure 10. Average soil organic carbon and N stocks according to soil series

pedolojik özelliklerin karbon ve azot tutulum kapasitesi üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Toprak organik karbon stoklarının en yüksek olduğu alanların çoğunluğu, nemli ve organik maddece zengin hidromorfik toprakların yaygın olduğu sulak alanlara denk gelmekte olup, bu tip toprakların karbon depolama yeteneği geniş literatürde sıkça vurgulanmaktadır (Scharlemann ve ark., 2014; Minasny ve ark., 2017). Ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından toprakların sağlıklı yapısının merkezi rol oynadığı olgusu kaçınılmazdır (Smith ve ark., 2020). Arazi tahribatının dengelenmesi hedefi doğrultusunda, toprakların karbon tutma kapasitesi ve biyolojik çeşitlilik potansiyeli, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine (SDG 15) doğrudan katkı sunmaktadır (Anonymous, 2014; Kust ve ark., 2017).

4. Sonuçlar

Bu çalışma, Sarıkum Milli Parkı'ndaki doğal ve yarı-doğal ekosistemlerin, sahip oldukları TOK ve N stoklarıyla iklim değişikliğiyle mücadelede ve toprak fonksiyonlarının sürdürülebilirliğinde kritik roller üstlendiğini göstermiştir. Arazi örtüsü ve kullanım biçimleriyle birlikte toprak serilerine ait pedolojik özelliklerin (örneğin; derinlik, kil oranı, horizonlaşma düzeyi) karbon ve azot birikimini belirlediği görülmüş; özellikle sazlık, bataklık ve agropastoral sistemlerde yüksek stok değerleri tespit edilmiştir. Buna karşılık, kumul ve yerleşim alanları düşük stoklarıyla dikkat çekmiş, bu durum hem doğal sınırlılıklar hem de insan etkileriyle ilişkilendirilmiştir. Elde edilen bulgular, kıyı kumullarının stabilize edilerek karbon yutaklarına dönüşebileceğini ve toprak temelli izleme ve restorasyon yaklaşımlarının, ekosistem işlevselliği ve karbon dengesine önemli katkılar sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, Sarıkum Milli Parkı'nda elde edilen veriler, doğal ve yarı-doğal ekosistemlerin TOK ve N stoklarını muhafaza etmekteki kritik işlevlerini, buna bağlı olarak ise arazi yönetim politikalarının şekillendirilmesinde bu tür koruma alanlarının temel veri kaynağı olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Etik Beyanı

Yazarlar, bu araştırma için etik onay gerekmediğini beyan etmektedir.

Finansman

Bu çalışma, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Doğa Koruma ve Milli Parklar 10.

Bölge Müdürlüğü ve Dünya Bankası tarafından desteklenmiştir.

Yazarların Katkı Beyanı

Materyal, Veri İşleme, Veri Analizi, Görselleştirme, Özgün Taslak Hazırlama, Yazma-İnceleme ve Düzenleme, R. AKGÖZ; Yürütücü/Danışman, Finansman Temini, M. DOĞAN; Veri İşleme, A.C. TINAZ; Fikir/Hipotez, Materyal, Yöntem, Veri İşleme, Veri Analizi, O. DENGİZ; Fikir/Hipotez, Materyal, Yöntem, Proje Yönetimi, G. ERPUL. Tüm yazarlar makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Dünya Bankası kıdemli uzmanı sayın Leela RAINA'ya teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Amelung, W., Bossio, D., de Vries, W., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Amundson, R., Minasny, B., 2020. Towards a global-scale soil climate mitigation strategy. *Nature Communications*, 11(1): 5427.
- Anonim, 2025. Türkiye'de Kıyı Kumulları ve Kumul Tespit Çalışmaları Raporu. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (<https://124.im/ulaDsF>), (Erişim Tarihi: 05.07.2025).
- Anonymous, 1992. Soil Survey Laboratory Methods Manual (Soil Survey Laboratory Staff). Soil Survey Investigations Report No. 42, USDA-SCS, Washington DC.
- Anonymous, 2004. Carbon Sequestration in Dryland Soils. FAO, World Soil Resources Reports 102.
- Anonymous, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4-Agriculture, Forestry and Other Land Use. (<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>), (Erişim Tarihi: 05.07.2025).
- Anonymous, 2014. Land Degradation Neutrality: Resilience at Local, National and Regional Levels. UN Convention to Combat Desertification (UNCCD), (<https://library.unccd.int/Details/fullCatalogue/858>), (Erişim Tarihi: 22.10.2025).
- Aydın, T., Uygur, V., 2020. Toprak organik karbon stoklarının arazi kullanım tiplerine göre değişimi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2): 123-134.
- Batjes, N.H., 2011. Soil organic carbon stocks under native vegetation-Revised estimates for use with the simple assessment option of the Carbon Benefits Project system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(3-4): 365-373.

- Beşen, T., Karakurt, E., Elmas, E., Karabulut Aloe, A., Sürek, D., Altundağ, A., Bay, U., Karahan, F., Dengiz, O., Namlı, A., Ateş, Ç., Saygın, F., Cebel, H., İncirkuş, V., Demirkıran, O., Başkan, O., 2018. Ekosistem Yaklaşımıyla Kırsal Kalkınma Metodolojisinin Geliştirilmesi Projesi Proje Sonuç Raporu. No: TAGEM/TSKAD/14/A13/P08/01, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986. Bulk density. In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1-Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, pp. 363-382.
- Bouyoucos, G.H., 1951. A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43(9): 434-438.
- Chmura, G.L., Anisfeld, S.C., Cahoon, D.R., Lynch, J.C., 2003. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(4): 1111.
- Don, A., Schumacher, J., Freibauer, A., 2009. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 17(4): 1658-1670.
- Guo, L.B., Gifford, R.M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology*, 8(4): 345-360.
- Güzel, N., Demir, G., Toprak, M., 2020. Türkiye'de tarım arazilerinde toprak organik karbon stoklarının belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(1): 21-31.
- Jobbágy, E.G., Jackson, R.B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10(2): 423-436.
- Kılıç, K., Çelik, İ., 2019. Effects of different land use types on soil organic carbon and bulk density in Central Anatolia. *Journal of Environmental Biology*, 40(1): 97-103.
- Kust, G., Andreeva, O., Cowie, A., 2017. Land degradation neutrality: Concept development, practical applications and assessment. *Journal of Environmental Management*, 195(1): 16-24.
- Lal, R., 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 29(4): 437-450.
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2): 1-22.
- Lehmann, J., Kleber, M., 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580): 60-68.
- Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.S., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant, B.P., Martin, M., Conkey, B.G., Mulder, V.L., O'Rourke, S., Richer-de-Forges, A.C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., Stockmann, U., Sulaeman, Y., Tsui, C.C., Vågen, T.G., Wesemael, B., Winowiecki, L., 2017. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292(1): 59-86.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 2015. *Wetlands* (5th Ed.). John Wiley & Sons.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Inc., pp. 539-579.
- Poeplau, C., Don, A., 2014. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops-A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200(2): 33-41.
- Post, W.M., Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. *Global Change Biology*, 6(3): 317-327.
- Scharlemann, J.P.W., Tanner, E.V.J., Hiederer, R., Kapos, V., 2014. Global soil carbon: Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5(1): 81-91.
- Smith, P., Soussana, J.-F., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D.P., Batjes, N.H., van Egmond, F., McNeill, S., Kuhnert, M., Arias-Navarro, C., Olesen, J.E., Chirinda, N., Fornara, D., Wollenberg, E., Álvaro-Fuentes, J., Sanz-Cobena, A., Klumpp, K., 2020. How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, 26(1): 219-241.
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustian, K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241(2): 155-176.

ALINTI: Akgöz, R., Doğan, M., Tınaz, A.C., Dengiz, O., Erpul, G., 2025. Korunan Alanlarda Karbon Yutak Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Sarıkum Milli Parkı'nda (Sinop) Arazi Kullanımının Toprak Organik Karbon ve Azot Stokları Üzerindeki Etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 12(3): 275-286.

CITATION: Akgöz, R., Doğan, M., Tınaz, A.C., Dengiz, O., Erpul, G., 2025. Assessing Carbon Sink Potential in Protected Areas: The Impact of Land Use on Soil Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Sarıkum National Park (Sinop, Türkiye). *Turkish Journal of Agricultural Research*, 12(3): 275-286. (In Turkish).