

Yarı Kurak İklimlerde Arazi Kullanımına Bağlı Karbon Stoğu Dağılımı: Beypazarı Örneği

Distribution of Carbon Stocks by Land Use in Semi Arid Climates: A Case Study of Beypazarı

Özet

Bu çalışmada, Ankara ili Beypazarı ilçesinde farklı arazi kullanım türlerine (tarım, mera ve tepelik yamaç araziler) bağlı olarak toprak organik karbon (OC) ve inorganik karbon (İC) stokları belirlenmiş ve dağılımları değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında beş köyden (Kayabükü, Çantırlı, Fasıl, Kuyucak ve Kırbaşı) 405 yüzey toprak örneği (0-30 cm) alınarak temel fizikokimyasal özellikler (pH, EC, tekstür, organik madde, organik karbon, kireç) analiz edilmiştir. Bulgular, toprakların genel olarak alkalın pH'ya sahip, düşük organik madde içerikli ve yüksek kireçli olduğunu göstermiştir. Ortalama OC stok değerleri %0,79-%1,15 arasında değişmiş, IC stok değerleri ise yüksek düzeyde bulunmuştur. Arazi kullanımı bazında en yüksek OC stokları meralarda (146 ton/ha), ardından tarım (129 ton/ha) ve tepelik yamaç arazilerinde (111 ton/ha) belirlenmiştir. IC stokları ise tarım alanlarında (26 ton/ha) en yüksek değere ulaşmıştır. Korelasyon analizlerine göre kireç ile organik fraksiyonlar arasındaki ilişkilerin köylere göre farklılık gösterdiği saptanmıştır. Genel olarak, Beypazarı topraklarının OC stoklarının düşük seviyede olduğu, ancak arazi kullanımı ve bitki örtüsünün karbon dinamiklerinde belirleyici etken olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde toprak karbonunun korunması ve sürdürülebilir arazi yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli veriler sunmaktadır.

Sorumlu Yazar

Muhittin Onur AKÇA¹

moakca@ankara.edu.tr

 0000-0003-4540-9371

Yazar

Sonay SÖZÜDOĞRU OK²

ok@agri.ankara.edu.tr

 0000-0002-4629-7140

Yazar

İlhami BAYRAMİN³

bayramin@ankara.edu.tr

 0000-0001-7342-0178

¹ Ankara Üniversitesi

² Ankara Üniversitesi

³ Ankara Üniversitesi

Gönderilme Tarihi :

Kabul Tarihi :

05 Eylül 2025

02 Aralık 2025

Anahtar Kelimeler: Arazi kullanımı, Karbon depolama, Karasal ekosistem, Organik karbon, İnorganik karbon

Abstract

In this study, soil organic carbon (SOC) and inorganic carbon (IC) stocks were determined and their distribution evaluated under different land use types (agriculture, pasture, and hilly slope lands) in Beypazarı district of Ankara province. A total of 405 surface soil samples (0-30 cm) were collected from five villages (Kayabükü, Çantırlı, Fasil, Kuyucak, and Kırbaşı), and their basic physicochemical properties (pH, EC, texture, organic matter, organic carbon, lime) were analyzed. The findings revealed that the soils were generally alkaline, low in organic matter, and high in lime content. The average OC stock values ranged from below 1% and 2%, whereas IC stock values higher. Among land-use types, the highest OC stocks were recorded in pastures (146 ton/ha), followed by agricultural lands (129 ton/ha) and hilly slope areas (111 ton/ha). IC stocks reached their highest level in agricultural lands (26 ton/ha). Correlation analyses showed that relationships between lime and organic fractions varied across villages. Overall, the study concluded that OC stocks in Beypazarı soils were relatively low; however, land use and vegetation emerged as key determinants of carbon dynamics. These findings provide important insights for the conservation of soil carbon and the development of sustainable land management strategies in arid and semi-arid regions.

Keywords: Land use, Carbon stocks, Terrestrial ecosystem, Organic carbon, Inorganic carbon

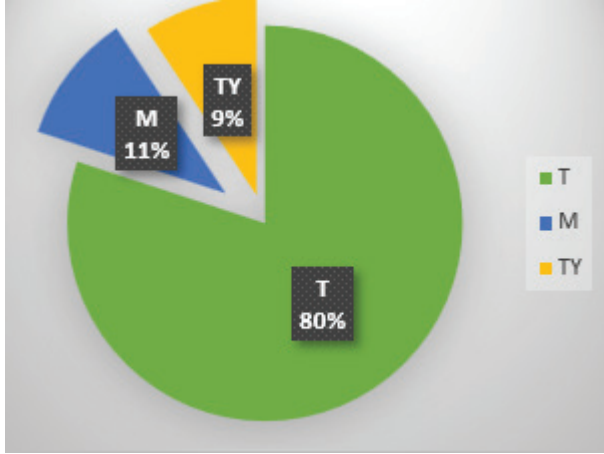
Giriş

Toprağın karasal ekosistemdeki en büyük karbon (C) havuzu olduğu bu nedenle küresel C döngüsünde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Atmosferik karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazı emisyonlarının esas kaynağını oluşturan fosil yakıtların yoğun kullanımı, arazi kullanımındaki dönüşümler ve toprak işleme uygulamaları sanayi devriminden beri süregelmektedir (IPCC 2023). Atmosferdeki bu CO₂ yoğunluğunu azaltmanın bir

yolunun C'nun karasal ekosistemlerde depolanması (tutulması, hapsedilmesi, yakalanması) görüşü öne çıkmıştır (Kalaivanan ve Chandran 2012, Lal 2004, FAO 2018). Bu çalışmaların başlangıcını toprakta mevcut organik C'nun durumunun belirlenmesi oluşturmuştur (Schlesinger 2000, Lal vd. 2015).

Karasal ekosistemlerde OC temel olarak toprak ve bitki örtüsünde tutulmaktadır. Son zamanlarda OC tutulması ve OC stoğu terimlerinin yanıltıcı bir şekilde kullanıldığı, OC tutulması (sekestrasyonu) teriminin kasıtlı olmasa da muhtemelen iklim değişikliğini azaltma çabalarına katkısı hakkında önyargılı sonuçlar ve abartılı beklentiler bulunduğu belirtilmektedir (Don vd. 2024). Çünkü C'nun tutulması için bitki tarafından alınması, metabolik değişikliklere uğraması ve organik yapıya dönüşmesi gerekir. Çok az bir kısmı organik madde içinde stabildir. Bu nedenle toprak hala OC kaybettiğinden bu duruma topraklarda C tutulması denilmesi tartışmalıdır. Topraklarda, toprak OC'nunu artırmaya yönelik önlemler, gerçek OC tutulması ve negatif emisyonlarla sonuçlanmak yerine yalnızca OC kaybının azaltılmasını sağlayabilir (Don vd. 2024, Powlson vd. 2011). Bunun yerine, "OC kaybı azaltma" teriminin kullanılması önerilmekte ancak aynı zamanda "C stok koruması" terimi de kullanılmaktadır (Whitehead vd. 2018).

Toprakta C havuzu, organik karbon (OC) ve inorganik karbon (İC) stoklarından oluşur. Karasal ekosistemlerde toprağın 1 m'lik kısmında bulunan OC miktarının yaklaşık 1200-1600 Gt C olduğu tahmin edilmektedir (Batjes ve Sombroek 1997). Organik C atmosfere yakınlık ve antropojenik etkiler nedeniyle OC değişikliklerine karşı en hassas olan üst topraklarda daha fazla tutulurken (Poepflau ve Don 2013), toprak profili derinliğinde daha az tutulur (Harper ve Tibbett 2013). Toprak organik maddesindeki (OM), OC'nun yanı sıra kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde kireçli ana materyal üzerinde oluşmuş topraklarda karbonat-C'ni (CO₃-C) önemli bir yer tutar (Naorem vd. 2022). Toprakların ilk 100 cm'sinde 695-748 Pg karbonat-C'ni bulunduğu tahmin edilmektedir (Batjes 1996). Kurak bölgeler küresel İC'nin yaklaşık %78'ini, yarı kurak bölgeler %14'ünü ve nemli bölgeler ise %1'den azını oluşturmaktadır (Eswaran vd. 2000). Diğer



Şekil 2. Arazi kullanımının örneklere göre (%) dağılımı

2.2. Toprak Analizleri

Toprak örneklerinde pH ve EC 1:2.5 (toprak/su) denklem aracılığı ile hesaplanmıştır (Pearson vd. 2007).

$$\% \text{ Organik C (t/ha)} = \% \text{ C org} \times \text{Hacim ağırlığı} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \times \text{Toprak derinliği (cm)} \quad 1$$

$$\% \text{ İnorganik C (t/ha)} = \% \text{ C inorg} \times \text{Hacim ağırlığı} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \times \text{Toprak derinliği (cm)} \quad 2$$

İstatistiksel analizler

Toprak özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizleri ve grafikler OriginPro 2024 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA) yazılımı, örneklere ait noktasal dağılım haritaları Arcgis yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen korelasyon katsayıları $p < 0.05$ anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiş ve sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

Bulgular ve Tartışma

Yüzey toprak örneklerinin fizikokimyasal analizlerinin sonuçları Tablo 1 ve Şekil 3'te verilmiştir. Toprakların ortalama pH değerleri genelde alkali olup Kırbaşı (7.92), Fasil (7.72) $\approx$ Kayabükü (7.72) > Çandırlı (7.69) > Kuyucak (7.59) sırasını izlemektedir. Kuyucak diğerlerine göre daha düşük, Kırbaşı daha yüksek pH ortalamasına sahiptir. Toprak tekstürleri SiL, SCL, SL, C, S ve L arasında değişmektedir.

Tablo 1. Mahalle/Köylere ait toprak örneklerinin bazı fizikokimyasal özellikleri

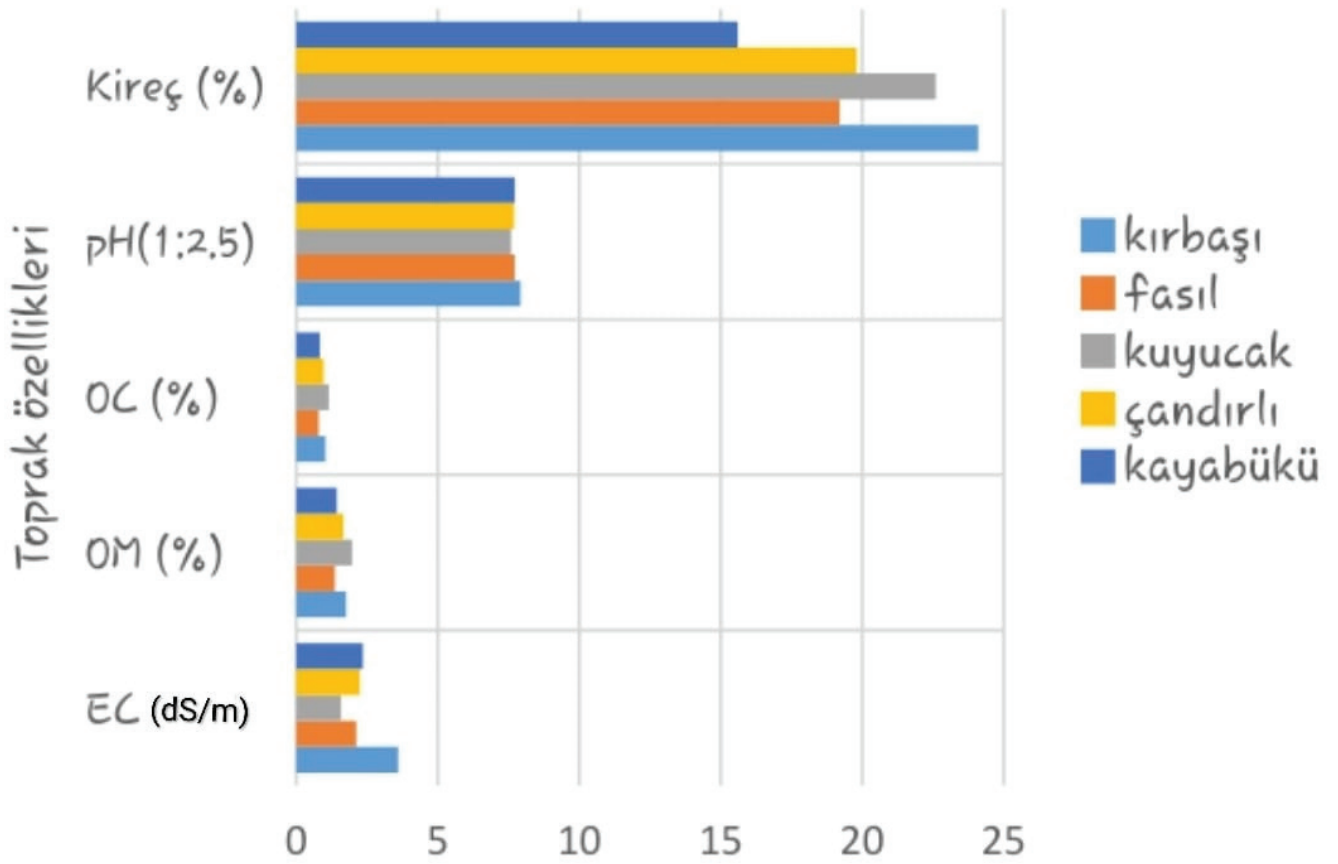
Kırbaşı	Örnek sayısı	Ortalama	Standart sapma	En düşük	En Yüksek
pH (1;2.5)	181	7.92	0.24	6.94	8.60
EC (dS/m)	181	1.12	1.38	0.13	8.24
OM (%)	181	1.77	0.88	0.13	5.29
OC (%)	181	1.03	0.51	0.08	3.07

(McLean 1982), kireç (Nelson 1982), Tekstür (Bouyoucos 1951), Organik madde (Nelson ve Sommers 1982) analizleri yapılmıştır. Hacim ağırlığı değerleri için tekstür sınıflarına göre literatürden alınan değerler (C:1.05, L:1.2; CL:1.1, SC:1.23, SCL: 1.3, SiL:1.15, SL:1.4) (Zeri vd. 2018), OC ve İC hesaplamalarında kullanılmıştır. Organik C ve İC stokları excell workbook kullanılarak hesaplanmıştır. İC ve OC stok değerlerinin hesaplanmasında toplamda 405 örnekleme noktasından yararlanılmıştır. Toprak örneklerinde OC ve İC değerleri hacim ağırlıkları ve 30 cm derinlik ele alınarak hesaplanmıştır. Topraktaki CaCO_3 içindeki C miktarı, hacim ağırlığı ve derinlik ile çarpılarak hesaplanmıştır.

Toprakta OC ve İC ortalama değerler alınarak aşağıdaki

Kireç (%)	181	24.2	13.3	1.34	54.7
OC (ton/ha)	181	37.1	20.9	3.12	145.9
IC (ton/ha)	181	10.7	5.63	0.68	27.6
Fasıl	Örnek sayısı	Ortalama	Standard sapma	En düşük	En yüksek
pH (1;2.5)	37	7.72	0.20	7.34	8.2
EC (dS/m)	37	2.12	1.52	0.23	6.3
OM (%)	37	1.36	0.76	0.25	3.84
OC (%)	37	0.79	0.44	0.15	2.23
Kireç (%)	37	19.1	4.62	9.46	30.4
OC (ton/ha)	37	26.7	16.3	4.73	82.3
IC (ton/ha)	37	7.67	1.96	3.58	12.1
Kuyucak	Örnek sayısı	Ortalama	Standard sapma	En düşük	En Yüksek
pH (1;2.5)	30	7.59	0.20	7.22	8.11
EC (dS/m)	30	1.58	1.22	0.18	5.46
OM (%)	30	1.97	0.86	0.61	4.03
OC (%)	30	1.15	0.51	0.35	2.34
Kireç (%)	30	22.6	8.05	8.71	41.3
OC (ton/ha)	30	39.6	17.9	11.0	84.2
IC (ton/ha)	30	9.32	3.47	3.29	16.9
Çantırlı	Örnek sayısı	Ortalama	Standard sapma	En düşük	En Yüksek
pH (1;2.5)	125	7.69	0.61	1.38	8,60
EC (dS/m)	125	2.24	1.83	0.26	10.3
OM (%)	125	1.65	0.84	0.07	5.31
OC (%)	125	0.96	0.48	0.04	3.08
Kireç (%)	125	19.8	9.13	2.65	50.2
OC (ton/ha)	125	34.1	18.5	1.38	118.6
IC (ton/ha)	125	8.32	3.96	1.27	24.4
Kayabükü	Örnek sayısı	Ortalama	Standard sapma	En düşük	En Yüksek
pH (1;2.5)	32	7.72	0.23	7.25	8.12
EC (dS/m)	32	2.35	1.67	0.24	8.38
OM (%)	32	1.43	0.65	0.27	2.72
OC (%)	32	0.83	0.38	0.16	1.58
Kireç (%)	32	15.6	6.78	3.61	27.9
OC (ton/ha)	32	30.3	12.7	6.24	56.6
IC (ton/ha)	32	7.4	4.44	1.36	22.3

EC (dS/m) dağılımı kırbaşı (3.6 dS/m) > kayabükü (2.35 dS/m) > Çantırlı (2.24 dS/m) > Fasıl (2.12 dS/m) > Kuyucak (1.58 dS/m) şeklindedir. Ortalama değerler Kuyucak topraklarının tuzsuz diğerlerinin ise az tuzlu sınıfında olduğunu göstermektedir.

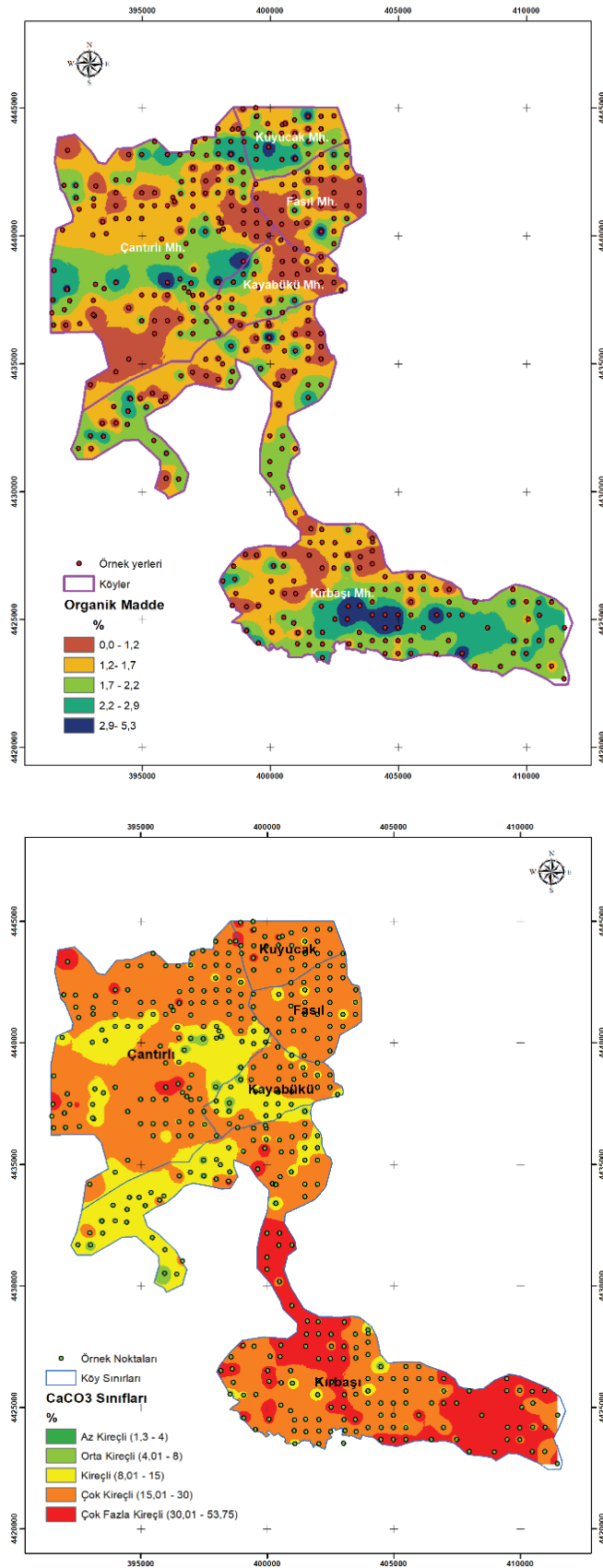


Şekil 3. Toprak özelliklerinin köy/mahallelere göre dağılımı

Organik madde ortalaması dağılımı (%): Kuyucak (1.97)> Kırbaşı (1.76)> Çandırılı (1.66)> Kayabükü (1.43)> Fasıl (1.36), OC dağılımı (%) Kuyucak (1.15)> Kırbaşı (1.03)> Çandırılı (0.96)> Kayabükü (0.83)> Fasıl (0.79) şeklindedir. Köylere/Mahallelere ilişkin (%) OM ve (%) kireç dağılımı haritaları Şekil 4'te yer almaktadır. Organik madde dağılım haritalarında (%) OM dağılımı genelde en düşük Fasıl ve Kayabükünde olmakla beraber hepsinde düşüktür. Dolayısı ile OC değerleri de düşüktür (%1-2 arası az, <%1 çok az).

Toprakların C kapsamları iki temel özellik; organik madde ve kireç içeriklerine göre değerlendirilmiştir. Toplam 300 örnek tarım alanlarını, 40 örnek meraları, 35 örnekte tepelik yamaç araziye temsil etmektedir (Şekil 4).

Sonuçlardan da görüleceği gibi araştırma topraklarının OC değerleri bu değerlerden oldukça düşüktür. Kök bölgesindeki toprak organik C'nunun eşik seviyesi %1.5-2.0 kabul edilmektedir (Lal vd. 2015). İklim, coğrafik yapı ve bitki örtüsü burada belirleyici rol oynamaktadır. Yağışın düşük olması, toprak işleme, toprağa daha düşük biyokütle-C getirisi olan tahıl, sebze gibi bitkilerin yetiştirilmesi, düşük organik gübre kullanımı gibi nedenlerle OM birikimi düşüktür ve ortamda OM'yi arttıracak iyi bir organik materyal kaynağı bulunmamaktadır. Araştırma sahasında tarım alanlarının dağılımı daha fazladır, daha çok buğday, yulaf gibi tahıllar, bunu izleyen havuç, ıspanak gibi sebze türü yetiştiricilik yapılmaktadır. Ayrıca nadas alanları da bulunmaktadır.



Şekil 4. Organik madde (%) ve kireç dağılımı (%) haritaları

Arazi kullanımı olarak tarım, mera ve TY sınıflarını içeren ortalama OM dağılımı %66 az (%1-2), %24 orta (%2-3), %8 çok az (>1), %2 iyi (%3-4), %0.2 yüksek (>5) şeklindedir. Sonuç olarak toprak örneklerindeki OM dağılımının yarısından fazlasının düşük olması OC stoğunun da düşük olduğunu göstermektedir.

Toprakların kireç kapsamı yüksek bulunmuştur. Toprakların %59' u çok kireçli, %23'ü kireçli, %14'ü çok fazla kireçli, %2.48 orta, %0.16 az kireçli sınıfındadır. Çalışma alanda jips, granit, marn gibi jeolojik oluşumlar bulunmaktadır. Toprakta jipsin olası yüksek olması, jipsin diğer karbonatlı tuzlarla tuzlarla reaksiyona girerek CaCO_3 halinde çökmesine, böylece pedojenik kalsit oluşumu yoluyla inorganik karbonun artmasına neden olmaktadır (Laudicina vd. 2011). Kireç kapsamı (%) olarak; Kırbaşı (24.1)> Kuyucak (22.6)> Çandır (19.8) $\approx$ Fasil (19.2)> Kayabükü (15.6) şeklinde sıralanmıştır. Toprakların kireç kapsamı orta kireçli (%4-8) topraklar bulunmakla beraber genelde çok kireçli (%15-30) olduğu belirlenmiştir.

Toprak özelliklerine ilişkin pearson korelasyon grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Buna göre; Kırbaşı köyüne ait korelasyon grafiğinde (Şekil 5a), OM (%) ile IC (ton/ha) ($r=0.13$) arasında pozitif ilişkiler saptanmıştır. Kireç (%) ile OM (%) ($r=0.12$), OC (%) ($r=0.12$), OC (ton/ha) ($r=0.092$) ve IC (ton/ha) ($r=0.13$) arasındaki korelasyonlar ise daha düşük düzeyde kalmıştır. En yüksek değerlerden biri, kireç (%) ile IC (ton/ha) arasındaki güçlü korelasyon olup $r=0.97$ olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık EC ve pH ile diğer parametreler arasındaki ilişkiler düşük seviyede olup istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

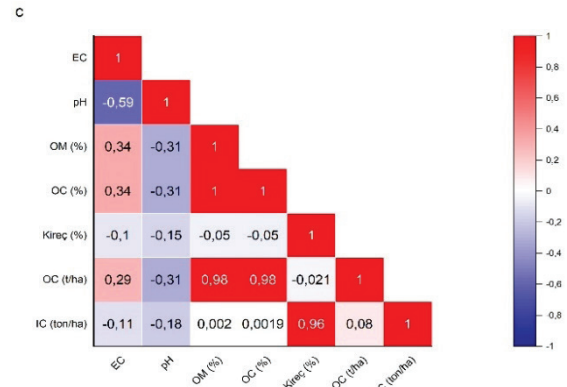
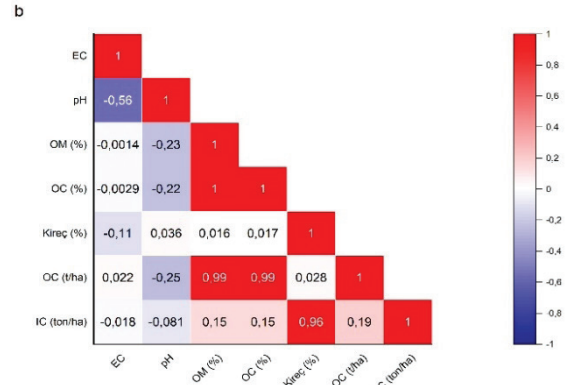
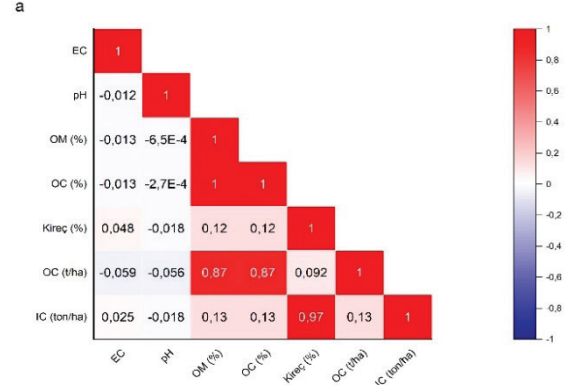
Fasil köyüne ait korelasyon grafiğinde (Şekil 5b), OC (ton/ha) ile IC (ton/ha) arasında $r=0.19$, OM (%) ile IC (ton/ha) arasında $r=0.15$ ve OC (%) ile IC (ton/ha) arasında $r=0.15$ değerlerinde pozitif korelasyonlar görülmüştür. Kireç ile IC (ton/ha) arasında ise oldukça güçlü bir pozitif korelasyon ($r=0.96$) hesaplanmıştır. Buna karşılık EC ile pH arasında orta düzeyde negatif korelasyon ($r=-0.56$) bulunurken; pH ile OM (%) ($r=-0.23$), pH ile OC (%) ($r=-0.22$) ve pH ile OC (ton/ha) ($r=-0.25$) arasında da zayıf negatif ilişkiler gözlenmiştir. EC ile diğer parametreler arasındaki korelasyonlar ise genellikle çok düşük düzeydedir.

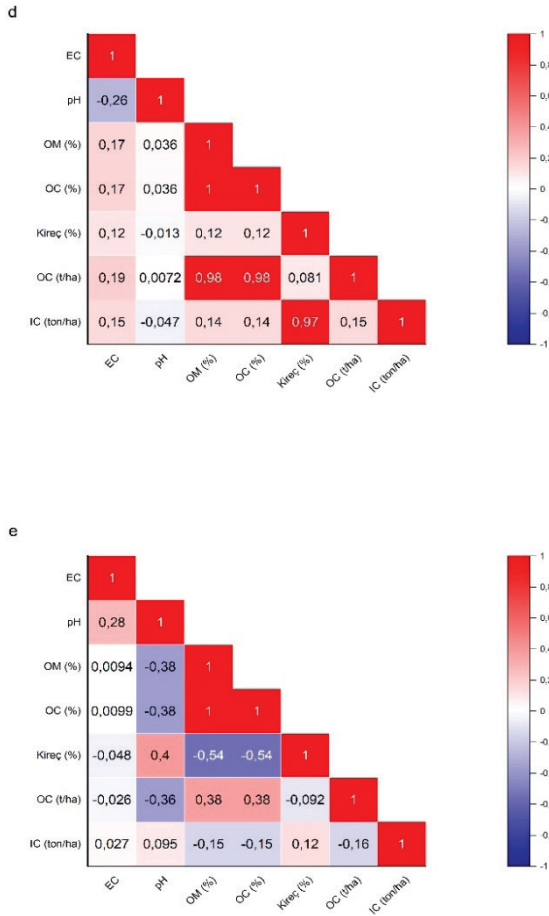
Kuyucak köyüne ait korelasyon grafiğinde (Şekil 5c), OM (%) ile OC (ton/ha) ($r=0.98$) ve OC (%) ile OC (ton/ha) ($r=0.98$) arasında da benzer şekilde yüksek pozitif korelasyonlar saptanmıştır. Ayrıca EC ile OM (%) ($r=0.34$) ve EC ile OC (%) ($r=0.34$) arasında orta düzeyde pozitif korelasyonlar gözlenmiştir. pH ile diğer parametreler arasında genel olarak negatif korelasyonlar bulunmuştur. Özellikle pH ile EC ($r=-0.59$), pH ile OM (%) ($r=-0.31$), pH ile OC (%) ($r=-0.31$) ve pH ile OC (ton/ha) ($r=-0.31$) arasında anlamlı negatif ilişkiler dikkati çekmektedir. Kireç (%) ile diğer parametreler arasındaki korelasyonlar düşük düzeyde kalmış olup OM (%) ($r=-0.05$), OC (%) ($r=-0.05$) ve OC (ton/ha) ($r=-0.021$) ile zayıf negatif ilişkiler gözlenmiştir. IC (ton/ha) ile kireç (%) arasında ise güçlü bir pozitif korelasyon ($r=0.96$) belirlenmiştir.

Çantırlı köyüne ait korelasyon grafiğinde (Şekil 5d), kireç (%) ile IC (ton/ha) arasında güçlü bir ilişki olup $r=0.97$ olarak hesaplanmıştır. IC (ton/ha) ile OM (%) ($r=0.14$) ve OC (%) ($r=0.14$) arasındaki korelasyonlar ise düşük düzeyde kalmıştır. EC ile OM (%) ($r=0.17$), OC (%) ($r=0.17$), OC (ton/ha) ($r=0.19$) ve IC (ton/ha) ($r=0.15$) arasında düşük fakat pozitif korelasyonlar gözlenmiştir. EC ile pH arasında ise zayıf negatif bir ilişki ($r=-0.26$) belirlenmiştir. Kireç (%) ile OM (%), OC (%), OC (ton/ha) ve IC (ton/ha) arasındaki korelasyon değerleri düşük olup sırasıyla $r=0.12$, $r=0.12$, $r=0.081$ ve $r=0.15$ düzeyindedir.

Kayabükü köyüne ait korelasyon grafiğinde (Şekil 5e), OM (%) ile OC (ton/ha) ($r=0.38$) ve OC (%) ile OC (ton/ha) ($r=0.38$) arasında pozitif korelasyonlar bulunmuştur. pH ile kireç (%) arasında orta düzeyde pozitif bir ilişki ($r=0.40$) gözlenmiştir. EC ile pH arasında $r=0.28$ düzeyinde pozitif bir korelasyon, EC ile diğer parametreler arasında ise genellikle çok düşük korelasyon değerleri belirlenmiştir. Buna karşılık pH ile OM (%) ($r=-0.38$), pH ile OC (%) ($r=-0.38$) ve pH ile OC (ton/ha) ($r=-0.36$) arasında negatif ilişkiler dikkati çekmektedir. Kireç (%) ile OM (%) ve OC (%) arasındaki korelasyonlar da negatif yönde olup her

ikisi için de $r=-0.54$ olarak hesaplanmıştır. IC (ton/ha) ile diğer değişkenler arasındaki korelasyonlar genellikle düşük düzeyde olup OM (%) ($r=-0.15$), OC (%) ($r=-0.15$) ve OC (ton/ha) ($r=-0.16$) ile negatif ilişkiler göstermektedir.





Şekil 5. Toprak özelliklerinin pearson korelasyon katsayıları

Sonuç olarak elde edilen değerlere bakıldığında, köyler arasında belirgin farklılıklar da gözlenmiştir. Kırbaşı, Çantırlı, Fasıl ve Kuyucak'ta kireç (%) ile IC (ton/ha) arasında güçlü pozitif korelasyonlar ($r=0.96-0.97$) bulunurken, Kayabükü'nde ise zayıf pozitif yönlü bir eğilim olmuştur. pH, çoğu köyde organik fraksiyonlarla negatif ilişki göstermiş, özellikle Kuyucak ve Fasıl'da EC ile pH arasında orta düzeyde negatif korelasyon öne çıkmıştır. Kireç ile IC arasındaki ilişkiler Fasıl ve Kuyucak'ta güçlü pozitif düzeydeyken, Kayabükü'nde kireç ile organik fraksiyonlar arasında belirgin negatif korelasyonlar dikkat çekmiştir. Bu sonuçlar, köyler arasında karbon dinamikleri ve toprak özelliklerinin etkileşiminde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır.

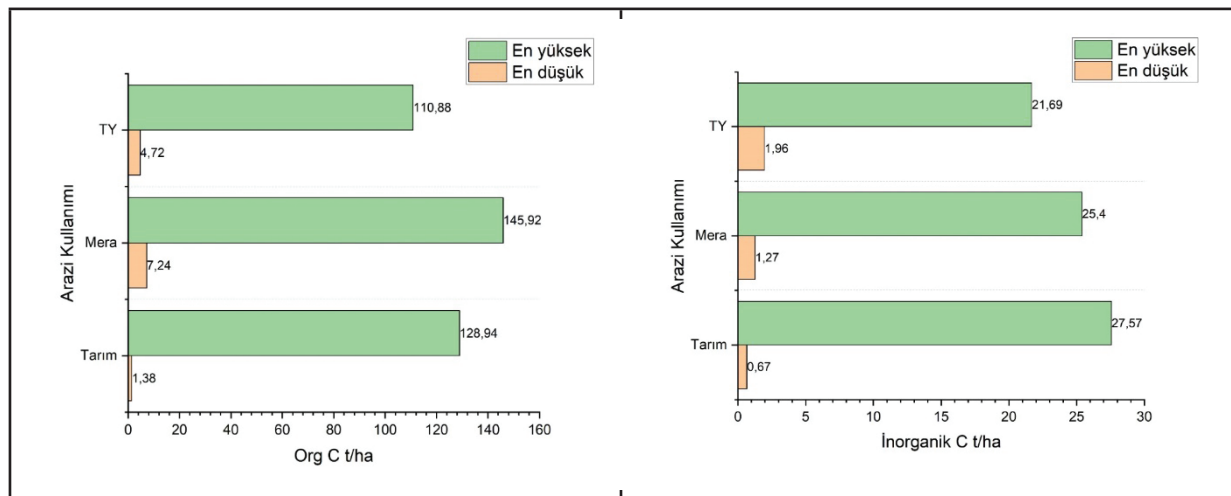
3.1 Arazi kullanımına bağlı karbon stoğu

En yüksek OC stoğu ortalamaları (ton/ha) Kuyucak>Çantırlı>Kırbaşı> Fasıl>Kayabükü, İC stoğu Kuyucak>kırbaşı>Çantırlı> Fasıl>Kayabükü'nde belirlenmiştir (Tablo 2, Şekil 6). Tarımsal üretim soğan havuç, buğday, nadas, sulu ve kuru tarımdan ibarettir, yer yer ana kaya ve granit ve jeolojik jipse rastlanılmaktadır. Literatürlerde genellikle OC stokları yarı kurak tarım alanlarında (buğday, mısır vb) 40-120 ton/C/ha (Sakin vd. 2010), yarı kurak mera alanlarında 30-80 ton/C/ha arasında değişmektedir (Lal 2004). Bu değerlere ulaşan en yüksek OC stoğu (ton /ha) Kırbaşında tarım ve mera alanlarında bulunmuştur (Tablo 2). Çantırlı merasında da yüksek stok belirlenmiştir. Yılmaz ve Dengiz (2021), çalışmalarında 0-20 cm derinlikteki OC densitesinin 34 ton/ha OC ile en düşük tarım arazilerinde belirlemişlerdir, Meralar için ise bu değer 52 ton/ ha OC olarak hesaplanmıştır. Arazi kullanımına göre tarım, mera ve orman OC stokları arasında önemli farklılıkların bulunduğunu rapor etmişlerdir. Özellikle meraların yüksek OC değerleri, doğal bitki örtüsünün sürekli organik madde girdisi sağlaması ve toprak bozulmasının sınırlı olmasıyla açıklanabilir. Buna karşın, tarım alanlarında toprak işleme, hasat sonrası bitki artıkları yönetimi ve sulama gibi uygulamalar, karbon dinamiklerini doğrudan etkileyerek hem OC hem de IC seviyelerinde farklılık yaratmaktadır. Tepelik yamaç arazilerde ise erozyon, organik madde taşınımı ve yüzey toprağının azalması yoluyla OC birikimi sınırlanmaktadır.

Arazi kullanımı bazında en yüksek OC değeri meralarda (146 ton ha^{-1}) saptanırken, bunu tarım alanları (129 ton ha^{-1}) ve tepelik yamaç araziler (111 ton ha^{-1}) izlemiştir (Şekil 6). Bu durum çok yıllık otsu türlerin OC'nin çoğunu kök sistemlerinde biriktirmesinden kaynaklanmaktadır (Mokany vd. 2006). Bu farklılıklar, iklim koşulları, topoğrafik yapı ve bitki örtüsünün karbon döngüsündeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. Aslında C depolanması ile ilgili çoğu çalışmalar üst toprak profilindeki (0-30 cm) C değişikliklerine odaklanır. Bu nedenle, İC genellikle göz ardı edilir, İC'nin bulunma olasılığının en yüksek olduğu daha derin derinlikler (30-100 cm) daha az sıklıkla incelenir (Lal vd. 2015).

Tablo 2. Arazi kullanımına göre OC ve İC stokları (ton/ha)

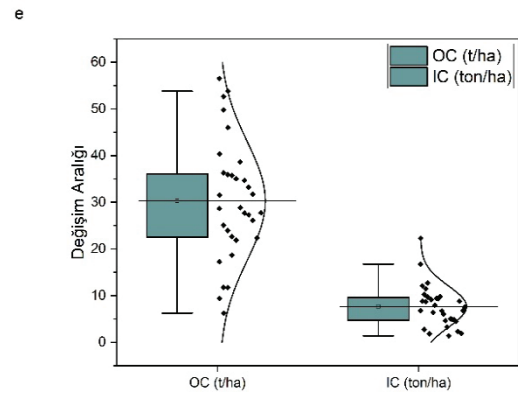
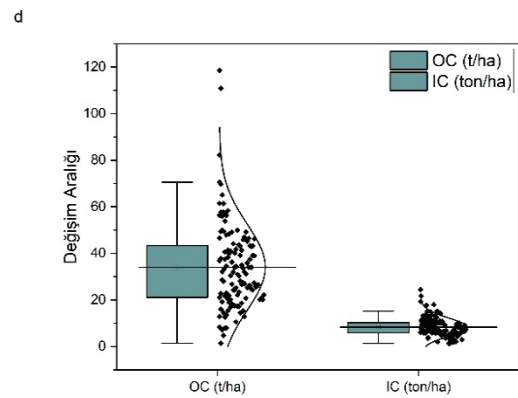
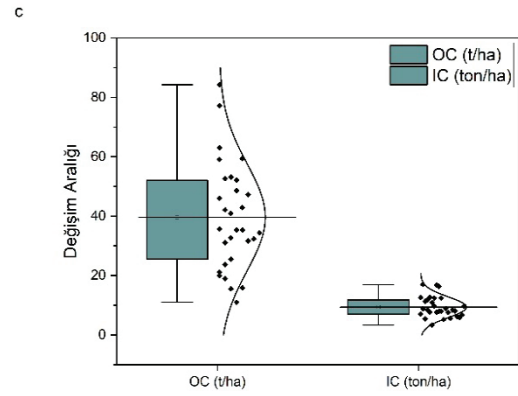
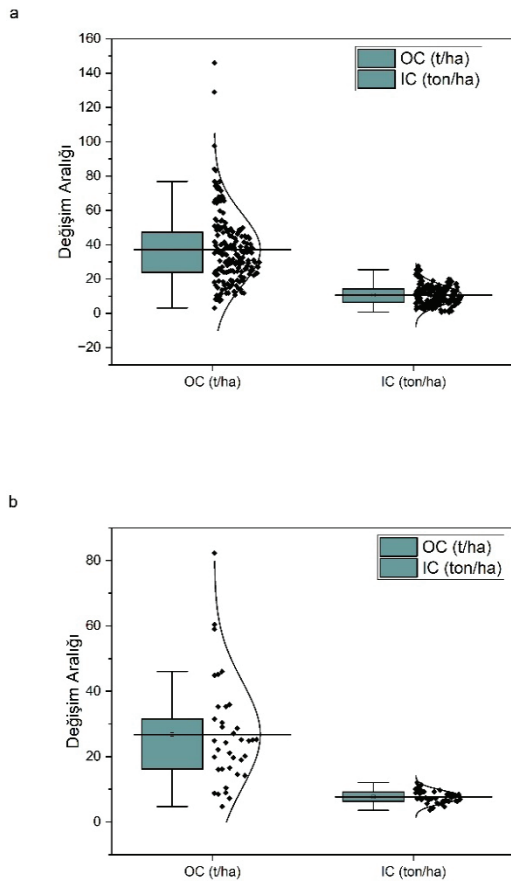
Köyler/Arazi kullanımı	Örnek sayısı	OC (ton/ha)			IC(ton/ha)		
		ort	En yüksek	En düşük	ort	En yüksek	En düşük
Kırbaşı							
Tarla	159	36.7	128.9	3.12	10.8	27.6	0.68
Mera	20	42.8	145.9	8.55	10.0	25.4	1.97
TY	2	9.1	10.6	8.25	4.84	6.72	2.96
Fasıl							
Tarla	28	28.4	82.3	7.25	7.85	12.0	3.58
Mera	2	21.4	28.7	14.2	6.38	8.54	4.22
TY	7	21.7	44.9	4.73	7.30	10.1	5.55
Kuyucak							
Tarla	24	39.7	84.2	15.5	9.17	16.9	5.11
Mera	1	77.2	77.2	77.2	8.89	8.89	8.89
TY	5	31.4	53.1	11.0	10.2	16.7	3.29
Çantırlı							
Tarla	57	33.1	69.7	1.38	8.21	24.4	1.86
Mera	19	42.8	118.6	7.25	6.40	21.7	1.27
TY	21	33.5	61.4	12.9	9.10	17.9	1.97
Kayabükü							
Tarla	33	30.0	56.6	6.24	7.74	22.3	1.36
Mera	-	-	-	-	-	-	-
TY	-	-	-	-	-	-	-



Şekil 6. Arazi kullanımına göre OC ve IC (ton/ha)

3.2 Topraklarda depolanan karbon stokları

Toprakların hesaplanan OC stoklarının köylere göre dağılımı; Kuyucak (39.6 ton/ha) > Kırbaşı (37.1 ton/ha) > Çantırlı (34.1 ton/ha) > Kayabükü (30.3 ton/ha) > Fasil (26.7 ton /ha) sırasını izlemektedir. Örneklerin sayısı ve değerlerine göre değişim aralığı, ortalama değerlere ait değerlendirme Şekil 7’de açık olarak görülmektedir. En yoğun örnekleme Kırbaşı, en düşük örnekleme Kuyucakta yapılmıştır. Arazi koşulları burada belirleyici olmuştur. İnorganik C dağılımı Kırbaşı (10.7 ton/ha) > Kuyucak (9.32 ton/ha) > Çantırlı (8.32 ton/ha) > Fasil (7.67 ton/ha) > Kayabükü 7.64 (ton/ha) şeklindedir (Şekil 7a-e).



Şekil 7. Toprakların hesaplanan %OC stoklarının köylere göre dağılımı

Görüldüğü gibi toprakların kireç içeriklerinin yüksek olmasına rağmen OC stokları İC stoklarından daha yüksektir. Genel olarak, toprak OC’nu ve toprak İC’nu birbiriyle ters orantılıdır (Lal vd. 2021). Toprak sınıflarına göre değerler değişmekle birlikte kurak bölgeler

için depolanan OC için 20 ton/ha ile 70 ton/ha arasında değişen değerler belirtilmektedir (Batjes 1996). Genel olarak bakıldığında bu araştırmanın bulguları bu sınırlar içindedir.

Sonuç

Bu çalışmada, Beypazarı tarım, mera ve tepelik yamaç arazilerinde toprak organik karbonu (OC) ve inorganik karbon (İC) stokları arazi kullanım tipine bağlı olarak incelenmiştir. Arazi yönetim sistemi ve üretim deseninin karbon birikimi üzerinde etkili olduğu belirlenmiş olmakla birlikte, topraklardaki ortalama OC seviyelerinin genel olarak düşük düzeylerde olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmada 405 toprak örneği kullanılarak yapılan değerlendirmeler dikkate alındığında, ortalama OC stoğu 167.8 ton/ha, İC stoğu ise 43.7 ton/ha olarak hesaplanmıştır. Arazi kullanımı bazında en yüksek OC değeri meralarda, ardından tarım alanları ve tepelik yamaç arazilerde saptanmıştır. Bu durum, iklim koşulları, topoğrafik yapı ve bitki örtüsünün karbon döngüsündeki belirleyici rolünü ortaya koymaktadır. İC stokları ise tarım alanlarında en yüksek düzeye ulaşırken, meralar ve tepelik yamaç araziler daha düşük değerler göstermiştir. Elde edilen bulgular, kurak ve yarı kurak bölgelerde tarım topraklarının mevcut organik karbonunun korunmasına yönelik etkili arazi yönetim stratejilerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Ancak günümüzde gerek tarım gerek mera gerekse orman topraklarındaki ekonomik baskılar ve amaç dışı kullanımlar nedeniyle topraklar tehdit altındadır. Bu da tarımsal ve çevresel araştırma sonuçlarının yeterince dikkate alınmadığını göstermektedir. Toprak ekosisteminin sürdürülebilirliği için yalnızca karbon açısından değil, bütüncül bir yaklaşımla korunması gereklidir. Bu bulgular doğrultusunda, politika yapıcılar ile ilgili kurumların kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak organik karbonunu koruyucu uygulamaları teşvik etmesi önemlidir. Meraların sürdürülebilir yönetimi, tarım alanlarında organik madde artırıcı uygulamaların desteklenmesi ve amaç dışı arazi kullanımının daha etkin denetlenmesi, karbon kayıplarının azaltılması için öncelikli adımlardır.

Referanslar

- Anonim. (2025). *The international "4 per 1000" Initiative*. <http://4p1000.org>. Acces Date: 01.08.2025
- Başaran, N., Akdoğan Cinal, G. & Eroğlu, E. (2024). Soil organic carbon exchange due to the change in land use. *Environ Ecol Stat*, 31, 725–748.
- Batjes N.H. & Sombroek W.G. (1997). Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Global Change Biol*, 3, 161–173.
- Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European journal of soil science*, 47(2), 151-163.
- Baveye, P., Berthelin, J., Tessier, D. & Lemaire, G. (2018). The "4 per 1000" initiative: a credibility issue for the soil science community? *Geoderma*, 309, 118-123.
- Bellassen, V., Angers, D., Kowalczewski, T. & Olesen, A. (2022). Soil Carbon Is the Blind Spot of European National GHG Inventories. *Nat. Clim. Chang.*, 12, 324–331.
- Bouyoucos, G.J. (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43(9), 434-438.
- Dengiz, O., Saygın, F. & İmamoğlu, A. (2019). Yarı nemli karasal bir ekosistemde farklı arazi örtüleri ve toprak tipleri altında toprak organik karbon yoğunluğunun mekansal değişkenliği. *Avrasya Toprak Bilimi Dergisi*, 8b(1), 35-43.
- Don, A., Seidel, F., Leifeld, J., Kätterer, T., Martin, M., Pellerin, S. & Chenu, C. (2024). Carbon sequestration in soils and climate change mitigation—Definitions and pitfalls. *Global Change Biology*, 30(1), e16983.
- Eswaran, H., Reich, P.R., Kimble, J. M. Beinroth, F. H. Padammabhan, E. & Moncharoen, P. (2000). Global Carbon Stocks. In: R. Lal, J. M. Kimble, H. Eswaran and B. A. Steward (Eds), *Global Climate Change and Pedogenic Carbonates*. Lewis Publishers, pp. 15-25, Boca Raton.
- FAO. (2018). *Soil Organic Carbon Mapping Cookbook*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.

- Harper, R. J. & Tibbett, M. (2013). The hidden organic carbon in deep mineral soils. *Plant and Soil*, 368, 641-648.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023*. Synthesis Report. <https://report.ipcc.ch/ar6syr/headline.html>
- Kalaivanan, D., & Ravindran, C. (2012). *Soil Carbon Sequestration: A Win-Win Strategy for Mitigation of Climate Change and Advanced Food Security*. LAP Lambert Academic Publishing.
- Korkanç, S.Y., Şahin, H., Özden, A.O. & Özkurt, B. (2018). Arazi kullanım dönüşümlerinin toprakların organik karbon depolanması ve bazı özellikleri üzerindeki etkileri: Niğde yöresi örneği. *Türk Ormançılık Dergisi*, 19(4), 362-367.
- Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304 (5677), 1623-1627.
- Lal, R., Monger, C., Nave, L., & Smith, P. (2021). The role of soil in regulation of climate. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376(1834), 20210084.
- Lal, R., Negassa, W. & Lorenz, K. (2015). Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15, 79-86.
- Laudicina, V.A., Scalenghe, R., Pisciotta, A., Parello, F. & Dazzi, C. (2013). Pedogenic carbonates and carbon pools in gypsiferous soils of a semiarid mediterranean environment in south Italy. *Geoderma*, 192, 31–38.
- McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis*, Agronomy No. 9, Part 2, 2nd ed., American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 199 – 224.
- 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., et al. (2017). Soil Carbon 4 per Mille. *Geoderma*, 292, 59–86.
- Mokany, K., Raison, R.J. & Prokushkin, A.S. (2006). Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 12, 84-96.
- Naorem, A., Jayaraman, S., Dalal, R. C., Patra, A., Rao, C. S. & Lal, R. (2022). Soil Inorganic Carbon as a Potential Sink in Carbon Storage in Dryland Soils—A Review. *Agriculture*, 12(8), 1256.
- Nelson, R. E. (1982). Carbonate and gypsum. *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties*, 9, 181-197.
- Nelson, D. W. & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: A. L. Page et al. (Eds.) *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties*. p. 539-579, ASA Monograph Number 9.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M. & Peterson, A.T. (2007). Predicting species' distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102- 117.
- Poeplau, C. & Don, A. (2013). Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma*, 192, 189-201.
- Poulton, P., Johnston, J., Macdonald, A., White, R. & Powlson, D. (2018). Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, UK. *Global Change Biology*, 24(6), 2563-2584.
- Powlson, D. S. Whitmore, A. P. & Goulding, K. W. T. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European J. of Soil Science*, 62(1), 42 – 55.
- Sakin, E., Deliboran, A., Sakin, E. D. & Tutar, E. (2010). Carbon Stocks in Harran Plain Soils, Sanliurfa, Turkey. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(3), 151-156.
- Schlesinger, W. H. (2000). Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1-3), 121-127.
- Şener, Y. (1997). *Beypazarı tarihinde ve bugün*. 168, Beypazarı.
- Şimşek Semercioglu, T., Bayram, C. A., Büyük, G., Akça, E., et al. (2023). The effect of altitude on soil organic carbon content in semi-arid mediterranean climate. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 7(1), 192-196.

- Tian, H., Zhang, J., Zheng, Y., Shi, J., Qin, J., Ren, X., & Bi, R. (2022). Prediction of soil organic carbon in mining areas. *Catena*, 215, 106311.
- Whitehead, D., Schipper, L. A., Pronger, J., Moinet, G. Y. K., Mudge, P. L., Pereira, R. C., Kirschbaum, M. U. F., McNally, S. R., Beare, M. H. & Camps-Arbestain, M. (2018). Management practices to reduce losses or increase soil carbon stocks in temperate grazed grasslands: New Zealand as a case study. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 265, 432–443.
- Yılmaz, M. & Dengiz, O. (2021). Bazı toprak özellikleri ile ilişkili olarak arazi kullanımı ve arazi örtüsünün toprak organik karbon stokuna etkisi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 8(2), 154-167.
- Zeri, M., S. Alvalá, R. C., Carneiro, R., Cunha-Zeri, G., Costa, J. M., Rossato Spatafora, L., Urbano, D., Vall-Llossera, M., & Marengo, J. (2018). Tools for communicating agricultural drought over the Brazilian semiarid using the soil moisture index. *Water*, 10(10), 1421.