




Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki karaçam ve sahil çamı ağaçlandırma alanlarının karbon birikimi ile toprak ve ölü örtü özellikleri bakımından karşılaştırılması

Onur Kocabıyık^a , Şükrü Teoman Güner^{a,*} , Aydın Çömez^b 

Özet: Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişikliği ekosistemdeki karbon ve besin maddesi stoklarını olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu çalışma, karaçam ve sahil çamı türleri ile yapılan ağaçlandırmaların karbon stokları ile toprak ve ölü örtü özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışma, Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Bartın ili, Ulus ilçesindeki ağaçlandırma alanları ile bu alanlara bitişik çıplak alanlar üzerinde yürütülmüştür. Her arazi kullanımından 20×20 m ebadında üç adet örnek alan alınmış, bu örnek alanlardaki ağaçların göğüs çapları ve boyları ölçülmüştür. Ölçülen bu çap ve boy değerleri ile ilgili ağaç türleri için geliştirilen bitkisel kütle denklemleri ve karbon oranları kullanılarak birim alandaki ağaç kütlesi ve karbon stoku hesaplanmıştır. Daha sonra her örnek alanda üç noktada 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinlik kademelerinden bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri ile ölü örtü örnekleri alınmıştır. Araziden alınan toprak ve ölü örtü örneklerinin laboratuvarda fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve örnek alanda ölçülen değerler birim alana dönüştürülmüştür. Elde edilen veriler t testi ve varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ağaçlandırmanın toprakların N, S, P, Fe, Zn ve Cu içeriklerini önemli seviyede değiştirdiği; karaçam ve sahil çamı ölü örtülerinin C, S, Mn ve Zn içerikleri bakımından farklı olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca ekosistem karbon stoku arazi kullanım türlerine göre önemli farklılaşma göstermiş, karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmaları ile çıplak alanda sırasıyla 148 t C ha⁻¹, 89 t C ha⁻¹ ve 27 t C ha⁻¹ bulunmuştur. Bu sebeple, yörede ve benzer ekolojik özelliklere sahip yerlerdeki ağaçlandırmalarda önceliğin karaçama verilmesi önerilebilir. Araştırma sonuçları, küresel iklim değişikliğinin etkisinin azaltılması bakımından ağaçlandırma çalışmaları için tür seçiminde kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Arazi kullanım değişikliği, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, Ekosistem, Karbon havuzları

Comparison of carbon sequestration and soil/litter characteristics in black pine and maritime pine afforestation areas in the Western Black Sea Region

Abstract: Land use and land use change can positively or negatively affect carbon and nutrient stocks in ecosystems. This study was carried out to determine the effects of afforestation with black pine and maritime pine species on carbon stocks and soil and litter characteristics. The study was conducted on afforestation areas and adjacent bare lands in Bartın-Ulus county, located in the Western Black Sea Region of Turkey. Three sample plots of 20×20 m were taken from each land use and the diameter at breast height and tree heights in these sample plots were measured. Using the diameter and height values and the biomass equations and carbon ratios developed for the relevant tree species, the tree biomass and carbon stock per unit area were calculated. Then, disturbed and undisturbed soil samples and litter samples were taken from 0-10, 10-20 and 20-30 cm depth intervals at three points in each sample plot. The physical and chemical properties of the soil and litter samples were determined in the laboratory and measurements in the sample plots were converted to a unit area. The data were evaluated using independent sample t-tests and analysis of variance. The results showed that afforestation significantly changed N, S, P, Fe, Zn, and Cu concentrations in the soil; and C, S, Mn, and Zn concentrations in black pine and maritime pine forest floor were different. Besides, the ecosystem carbon (C) stocks differed significantly with forest land use type; black pine plantations, maritime pine plantations and bare land accumulated 148 t C ha⁻¹, 89 t C ha⁻¹ and 27 t C ha⁻¹, respectively. Thus, we suggest that priority should be given to black pine in afforestation of the region and in other ecosystems with similar climates. The results of the research can be used in species selection for afforestation studies in terms of reducing the impact of global climate change.

Keywords: Land-use change, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, Ecosystem, Carbon pools

1. Giriş

Atmosferdeki sera gazlarının konsantrasyonun artması sonucunda olumsuz etkileri daha da çok hissedilen küresel iklim değişikliği en önemli çevre sorunlarının başında gelmektedir. (Schimel vd., 2000; Nowak ve Crane, 2002). Sera etkisi yapan atmosferik gazlardan en önemlisi olan karbondioksit, bitkiler (ağaç, çalı, ot, vb.) tarafından

fotosentez yolu ile alınmakta ve bitkisel kütle üretiminde kullanılarak bağlanmaktadır. Orman ekosistemlerinde karbonun toprakta birikimi ise çoğunlukla yaprak dökülmesi (Pausas, 1997; Berg ve Meentemeyer, 2001) ve ince kök ayrışması (Berg ve McClaugherty, 2003) sonucu meydana gelmektedir. Bu sebeple ormanlar karasal ekosistemlerde gerek bitkisel kütlede ve gerekse toprakta depoladığı karbon ile atmosfere insan kaynaklı karbondioksit salımını

✉ ^a Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Ormançılık Bölümü, 74600 Ulus, Bartın

^b Ege Ormançılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 35515 Urla, İzmir

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): stguner@bartin.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 28.07.2023, **Accepted** (Kabul tarihi): 25.08.2023



Citation (Atıf): Kocabıyık, O., Güner, Ş.T., Çömez, A., 2023. Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki karaçam ve sahil çamı ağaçlandırma alanlarının karbon birikimi ile toprak ve ölü örtü özellikleri bakımından karşılaştırılması. Turkish Journal of Forestry, 24(3): 299-308.
DOI: [10.18182/tjf.1334107](https://doi.org/10.18182/tjf.1334107)

azaltılabilen ve aynı zamanda insanlar tarafından değiştirilebilen en önemli yutakları oluşturmaktadır (Dixon vd., 1994; Çömez, 2012; Zhang vd., 2019). Karasal ekosistemlerde, toprak üstünde bağlanan karbonun %80'inden fazlası ve tüm toprak organik karbonunun da %70'inden fazlası orman ekosistemleri tarafından bağlanmaktadır (Jandl vd., 2007).

Arazi kullanımı ve arazi kullanımındaki değişiklikler ekosistemdeki karbon ve besin maddesi stoklarını önemli ölçüde etkilemektedir (Lal, 2005; Hewitt vd., 2012; Korkanç, 2014; Soleimani, 2019; Güner vd., 2021; Erkan ve Ayhan, 2023). Özellikle orman ekosistemlerinin tarım ekosistemlerine veya mera alanlarının orman ekosistemlerine dönüştürülmesi hem toprak özelliklerini hem de ekosistemdeki besin maddesi stoklarını etkilemektedir. Tarım toprakları, özellikle de erozyona uğramış tarım toprakları, kendi potansiyel kapasitelerinden daha düşük miktarlarda organik karbon içerirler. Dolayısıyla tarım alanlarının ağaçlandırılması topraktaki karbon stoğunun artmasına sebep olabilir (Lal, 2005). Genel olarak mera ve orman topraklarında depolanan karbon, tarım ve çıplak alan topraklarına göre daha yüksek düzeydedir (Korkanç, 2014; Sarıyıldız vd., 2017; Korkanç vd., 2018). Bununla birlikte, arazi kullanım değişikliğine göre ekosistemde depolanan karbon miktarı ile diğer toprak özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin farklı coğrafik bölgeler, ekolojik koşullar, vejetasyon yapıları ile olan ilişkilerine ait daha ayrıntılı bilgilere ihtiyaç bulunmaktadır. Nitekim örneğin orman alanlarında ağaç türü, meşecere yaşı, verimlilik ve kapalılık gibi özellikler topraklarda karbon başta olmak üzere diğer besin maddesi stoklarında önemli değişikliklere yol açmaktadır (Peichl ve Arain, 2006; Turner, 2000; Zhang vd., 2019). Bir arazinin ağaçlandırılması başlangıçta yapılan toprak işleme nedeniyle toprak organik maddesinin azalmasına neden olabilirken zamanla büyüyen ağaçlar bu azalmayı telafi etmektedir. Üzerinde bitki örtüsü bulunmayan bir alanda yapılacak ağaçlandırmalar ile ekosistemdeki toplam karbon stoku artırılabilir. Ancak bir orman ekosisteminin traşlanması ve yeniden ağaçlandırılması toprak organik maddesinin azalması ile de sonuçlanabilir (Tolunay ve Çömez, 2007).

Türkiye'de değişik ağaç türleri kullanılarak yoğun bir ağaçlandırma faaliyeti yürütülmektedir. Örneğin, 2010-2017 döneminde yıllık ortalama 43.120 ha ağaçlandırma yapılmıştır (OGM, 2018). Diğer yandan küresel iklim değişikliği bağlamında yapılan bu ağaçlandırmaların ekosisteme etkilerinin ortaya konulması karar verme ve planlama süreçleri açısından son derece önemlidir. Yine Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) gereği taraf ülkeler her yıl sera gazı envanterlerini hazırlayarak BMİDÇS sekretaryasına bildirmektedirler. Sera gazı emisyonlarının artmasında arazi kullanımında meydana gelen değişimler önemli bir yer tutmaktadır. Bu sebeple bildirimlerde arazi kullanım değişikliklerinden kaynaklanan emisyonlarının hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir. Özellikle etkili diğer tüm ekolojik faktörlerin aynı olması durumunda ağaçlandırmanın çıplak alana göre toprak özelliklerini ne oranda değiştirebildiği ve bunun ağaç türüne göre fark edip etmediğinin bilinmesi iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasında izlenecek yolun belirlenmesi için son derece önemlidir. Bu kapsamda, çok nemli iklimin hüküm sürdüğü Batı Karadeniz Bölgesinde karaçam (*Pinus nigra* Arn.) ve sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ile yapılan ağaçlandırmaların karbon ve bitki besin maddeleri

bakımından toprakta yaptığı değişikliklerin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma, farklı arazi kullanım şekli ve farklı ağaç türleri ile yapılan ağaçlandırmaların i) karbon stoklarına etkisini belirlemek ve ii) toprak ve ölü örtü özelliklerine ve bazı besin maddesi stoklarına etkisini ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve yöntem

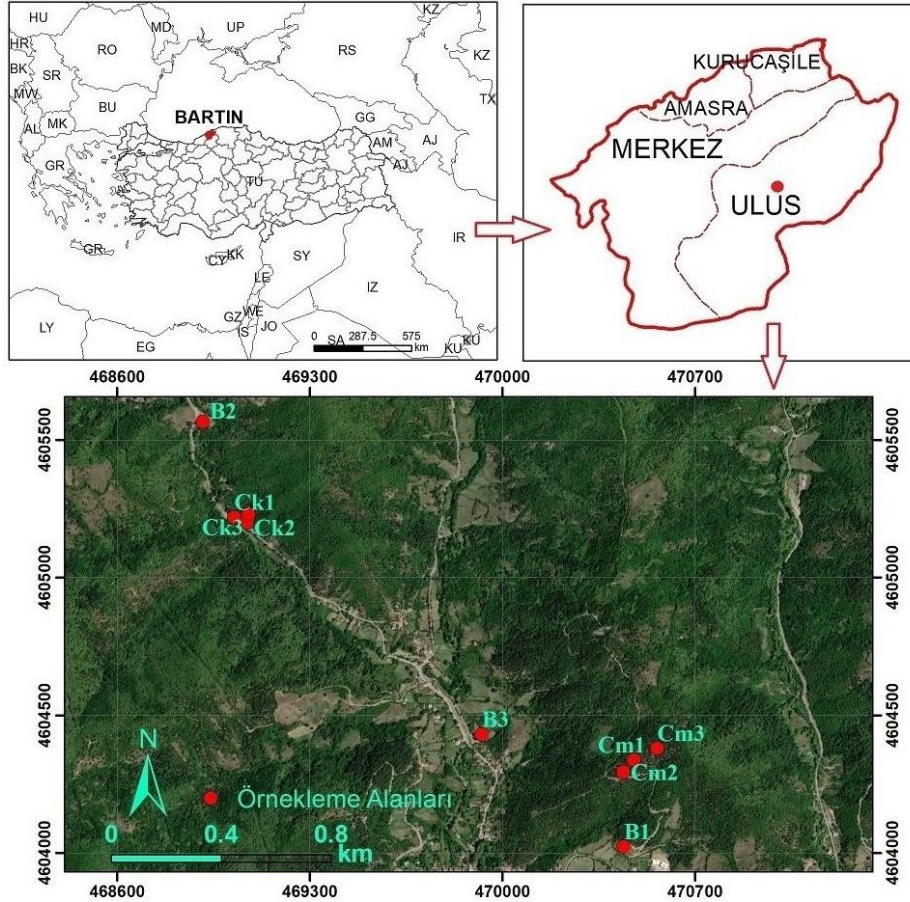
2.1. Araştırma alanının tanıtımı

Araştırma alanı olarak, Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Ulus (Bartın) ilçesinde yaklaşık 35 yıl önce tesis edilen ve benzer yetiştirme ortamı özelliklerine sahip olan karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmaları (36T 0470436 D – 4604037 K) seçilmiştir (Şekil 1).

Araştırma alanının yükseltisi 200-350 m, genel bakışı güney ve batıdır. Araştırma alanındaki anakaya filiz (MTA, 2021), toprak tipi cambisol (IUSS Working Group WRB, 2015), toprak türü ise tozlu killi balçık, killi balçık, tozlu kil ve kildir. Araştırma alanına en yakın mesafede bulunan Bartın meteoroloji istasyonunun (30 m) 55 yıllık (1960-2015) verilerine göre yıllık yağış 1036 mm, yıllık ortalama sıcaklık 12,8 °C, yıllık ortalama yüksek sıcaklık 19,0 °C'dir (MGM, 2020). Bartın meteoroloji istasyonu verilerinin enterpole edilen (sıcaklık değerleri her 100 m'de 0,5 °C azaltılmış, yağış değerleri ise her 100 m'de yıllık yağışa 54 mm ilave edilmiştir) araştırma alanının Erinç yöntemine göre iklimi çok nemli (Im=64,5)'dir (Erinç, 1965).

Çalışma Haziran 2022 tarihinde, Ulus ilçesi sınırları içerisinde 1987 yılında tesis edilen benzer yetiştirme ortamı özelliğine sahip karaçam ve sahil çamı ağaçlandırma alanları üzerinde yürütülmüştür (Çizelge 1). Örneklemelerin yapıldığı alanlar "b" (d1,3=8,0-19,9 cm) ve "c" (d1,3=20,0-35,9 cm) gelişim çağında olup, normal kapalılığa (0,7-1,0) sahiptir. Kontrol parseli olarak saha içerisindeki çıplak alanlar alınmıştır.

Çıplak alanlar üzerinde *Vicia peregrina* L., *Lotus corniculatus* var. *corniculatus* L., *Trifolium echinatum* M.Bieb., *Medicago falcata* L., *Ononis viscosa* subsp. *breviflora* (DC.) Nyman, *Trifolium medium* var. *medium* L., *Medicago lupulina* L., *Vicia bithynica* (L.) L., *Centaurea solstitialis* subsp. *solstitialis* L., *Carex spicata* subsp. *spicata* Huds., *Galium verum* subsp. *verum*, *Prunella vulgaris* L., *Lolium perenne* L., *Pilosella hoppeana* subsp. *hoppeana* (Schult.) F.W.Schultz & Sch.Bip., *Blackstonia perfoliata* subsp. *perfoliata* (L.) Huds., *Caucalis platycarpos* L., *Teucrium chamaedrys* subsp. *chamaedrys* L. taksonlarının bulunduğu belirlenmiştir. Karaçam ve sahil çamı örnekleme alanlarında çalı tabakasında *Crataegus monogyna* Jacq. var. *monogyna*, *Daphne pontica* subsp. *pontica* L., *Cytisus hirsutus* L., *Osyris alba* L., *Cistus creticus* L., ot tabakasında ise *Lathyrus laxiflorus* subsp. *laxiflorus* (Desf.) O.Kuntze, *Anthyllis vulneraria* subsp. *boissieri* (Sagorski) Bornm., *Dorycnium graecum* (L.) Ser., *Sophora jaubertii* Spach, *Helianthemum nummularium* subsp. *nummularium* (L.) Mill., *Stellaria holostea* L., *Fragaria vesca* L. taksonları tespit edilmiştir.



Şekil 1. Araştırma alanı ve örnekleme alanları (Ck: karaçam, Cm: sahil çamı, B: çıplak alan)

Çizelge 1. Araştırma alanının yetişme ortamı özellikleri

Yetiştirme ortamı özellikleri	Karaçam	Sahil çamı	Çıplak alan
Yükselti (m)	217	340	240
Eğim (%)	17	36	23
Yamaç konumu	AY	OY-ÜY	AY-OY
Bakı	GB	G	G-GB
Anakaya	Filiş	Filiş	Filiş

G: güney, GB: güneybatı, AY: alt yamaç, OY: orta yamaç, ÜY: üst yamaç

2.2. Örnekleme alanlarının seçimi ve örnekleme yöntemi

Yeryüzü şekli, iklim, anakaya, canlılar ve zaman faktörleri toprakların oluşumunda ve gelişiminde etkili olan temel faktörlerdir (Kantarci, 2000). Bu faktörlerin etkisini ortadan kaldırmak ve sadece arazi kullanımının etkisini ortaya koymak amacıyla örnekleme alanları benzer yetişme ortamı özelliğine sahip bir alan üzerinde yapılmıştır. Araştırma, üç arazi kullanımı (karaçam, sahil çamı, çıplak alan) ve her arazi kullanımından üç adet olmak üzere 20×20 m ebadında toplam 9 alanda yapılmıştır (Şekil 1). Bu alanların yükselti, eğim, bakı ve yamaç konumu özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra sahil çamı ve karaçam türlerinde seçilen örnekleme alanlarındaki tüm fertlerin boyu ve göğüs yüksekliğindeki çapları ölçülmüştür. Her örnekleme alanını temsil eden 25 × 25 cm ebadındaki üç farklı noktada ölü örtü örnekleme yapılmıştır (2 arazi kullanımı × 3 örnekleme alanı × 3 tekrar = 18 ölü örtü örneği). Ölü örtü örnekleri, tabakaları dikkate alınmadan tek bir örnek şeklinde alınmıştır. Toprak örnekleri her parselde üç noktadan, her notada da üç derinlik kademesinden (0-10, 10-20, 20-30 cm), bozulmuş ve bozulmamış (hacim silindiri ile) olmak üzere iki farklı

şekilde alınmıştır (3 arazi kullanımı × 3 örnekleme alanı × 3 tekrar × 3 derinlik kademesi × 2 set toprak örneği = 162 toprak örneği). Örnekleme alanlarına ait bazı tanımlayıcı yetişme ortamı özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

2.3. Laboratuvar analizleri

Araziden alınan toprak örnekleri hava kuru hale geldikten sonra öğütülüp 2 mm’lik elekten geçirilmiş ve tartılmıştır. Öğütülen ince toprakların ($\phi < 2$ mm) bir kısmı 105 °C’de sabit ağırlığa kadar kurutulduktan sonra tartılıp, nem içerikleri belirlenmiştir. Ölü örtü örnekleri laboratuvarda 65 °C’de sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiş, ardından tartılmış ve öğütülerek analize hazırlanmıştır. Analizler öncesinde gerek toprak gerek ölü örtü örneklerinde karma örnekler hazırlanarak analize alınmıştır. Bunun için her örnekleme alanında 0-10 cm derinlik kademesinden alınan üç örnek, 10-20 cm derinlik kademesinden alınan üç örnek, 20-30 cm derinlik kademesinden alınan üç örnek karıştırılmış ve her örnekleme alanının 0-10, 10-20 ve 20-30 cm derinlik kademesi için hazırlanan üç örnek analize alınmıştır (3 arazi kullanımı × 3 derinlik kademesi × 3 tekrar = 27 toprak örneği). Ölü örtü örnekleri için ise her örnekleme alanında üç noktadan alınan ölü örtü örnekleri karıştırılmış ve tek bir örnek şeklinde analize alınmıştır (2 arazi kullanımı × 3 tekrar = 6 ölü örtü örneği).

Toprak örneklerinin tanecik boyutuna göre sınıflandırması hidrometre yöntemiyle (Kroetsch ve Wang, 2008), organik karbon Walkley-Black ıslak yakma yöntemiyle (TS 8336, 1990), pH v/5v toprak/su çözeltisinde

elektrometrik metotla (TS ISO 10390, 2013), elektriksel iletkenlik m/5v toprak/su çözeltisinde elektrometrik metotla (TS ISO 11265, 1996), toplam CaCO₃ kalsimetre yöntemiyle (TS 8335 ISO 10693, 1996), toplam N ve S Variomax CNS elementer analiz cihazında Dumas yöntemiyle (Elementar Analysesysteme, Germany) belirlenmiştir. Yarayırlı P Olsen ve ark., Ca, Mg, K, Na amonyum asetat, Fe, Mn, Zn ve Cu ise DTPA yöntemiyle tayin edilmiştir (Müftüoğlu vd., 2014). Ölü örtü örneklerinin C, N ve S yoğunluğu Variomax CNS elementer analiz cihazında Dumas yöntemiyle, P, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Zn ve Cu yoğunluğu ise ICP-OES yöntemiyle (Kacar ve İnal, 2010) belirlenmiştir.

2.4. Değerlendirme

Ağaç kütlelerine ait karbon stokları, örnekleme alanlarındaki ağaç kütleleri ile ağırlıklı karbon oranının çarpılması suretiyle bulunmuştur. Bunun için ölçülen çap ve boy değerleri, karaçam için denklem 1 (Güner ve Çömez, 2017), sahil çamı için denklem 2 (Tolunay vd., 2017) kullanılarak örnekleme alanlarındaki tüm ağaç kütleleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu kütleler, karaçam için %53,86 (Güner ve Çömez, 2017), sahil çamı için %50,61 (Tolunay vd., 2017) ağırlıklı karbon oranı değeri ile çarpılarak örnekleme alanlarındaki karbon stoku elde edilmiştir. Bu değerler, hektara çevirme katsayısı kullanılarak bir hektar alandaki ağaç karbon stoku hesaplanmıştır.

$$K_{TÜMAĞAÇ} = 5,9275(1,1556)^{d_{1,3}} \quad (1)$$

(R²=0,951; SH=0,300)

$$K_{TÜMAĞAÇ} = 16,6962 + (0,0263 \times d_{1,3}^2) \quad (2)$$

(R²=0,961; SH=42,506)

Denklemlerde K_{TÜMAĞAÇ}: toprak üstü ve toprak altı ağaç kütlelerini (kg/ağaç), d_{1,3}: göğüs yüksekliğindeki çapı (cm), h: ağaç boyunu (m), R²: belirtme katsayısını, SH: standart hatayı ifade etmektedir.

Ölü örtünün örnekleme alanlarındaki kuru kütleleri (kg/m²) ile analiz sonucu elde edilen karbon ve besin elementi yoğunluğu (%) çarpılarak örnekleme alanlarındaki miktarı bulunmuş, daha sonra bu değerler, hektara dönüştürülmüştür (kg/ha).

Topraktaki karbon ve besin elementi yoğunluk oranı (%) ait olduğu derinlik kademesinin ince toprak (Ø<2 mm) miktarı ile çarpılarak derinlik kademesindeki miktarları bulunmuş, derinlik kademelerindeki miktarlarının toplanmasıyla da 1 m² alan ve 30 cm derinlikteki karbon ve besin elementi miktarları bulunmuştur. Bu değer de 10.000 ile çarpılmak suretiyle örnekleme alanların bir hektar alandaki toprak karbon ve besin elementi stoku (kg/ha) elde edilmiştir.

Arazi kullanımlarına göre (çıplak alan, karaçam, sahil çamı) ekosistemde ve ekosistemin farklı bileşenlerinde depolanan karbon ve besin elementi miktarları arasındaki farklılıklar t testi ve varyans analizi ile incelenmiştir. Analizler öncesinde veri setlerinin normal dağılım gösterip göstermediği Shapiro-Wilk testi, varyansların homojenliği ise Leneve testi ile kontrol edilmiş ve tüm veri setlerinin normal dağılıma sahip olduğu belirlenmiştir. Varyans analizi sonucunda istatistiksel bakımdan anlamlı farklılıklar bulunması durumunda Duncan testi uygulanarak homojen gruplar oluşturulmuştur. Sonuçlar α = 0,05 düzeyinde istatistiki olarak farklı kabul edilmiştir. İstatistik analizler

SPSS (SPSS v.22.0®, 2015) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Ağaç türlerinin meşcere özellikleri

Biyokütle ile ilgili meşcere parametreleri, ekosistemdeki karbon havuzlarının ve topraktaki diğer besin stoklarının tahmininde kritik bir role sahiptir (Güner vd., 2021). Benzer ekolojik koşullara sahip Ulus (Bartın) yöresinde, karaçam ve sahil çamı türleri ile yapılan ağaçlandırmalar dikimden 35 yıl sonra karşılaştırıldığında, meşcere orta çapı, ağaç adedi, göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi bakımından farklılıklar önemsiz (P>0,05), meşcere orta boyu ve toplam ağaç kütleleri bakımından ise farklılıklar önemli bulunmuştur (P<0,05). Karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmalarında sırasıyla meşcere orta boyu 15,9 ve 12,2 m, toplam ağaç kütleleri 216,3 ve 126,0 t ha⁻¹ bulunmuştur. Meşcere orta boyunun sahil çamında %23 daha az olması, karaçamın çalışma alanı yetişme ortamı koşullarında sahil çamından daha hızlı büyüdüğünü göstermektedir. Bu büyüme farkı meşcere ağaç kütlelerine de yansımıştır. Karaçam sahil çamına göre dikimden 35 yıl sonra, bir hektar alanda 90 ton daha fazla bitkisel kütle üretmiştir. Keza, her ne kadar meşcere hacmi bakımından türler arasındaki farklılıklar önemsiz bulunsun da karaçam sahil çamına göre 63 m³ ha⁻¹ daha fazla meşcere hacmine sahip olmuştur (Çizelge 2).

3.2. Ağaçlandırmanın karbon havuzlarına etkisi

Karaçam ve sahil çamı türleri ile yapılan ağaçlandırma çalışmasında, toprak altı ve toprak üstü ağaç kütlelerine ait karbon stoğu bakımından türler arasındaki farklılıklar önemli bulunmuştur (t=2,242; P<0,05). Dikimden 35 yıl sonra, toplam ağaç kütlelerine ait karbon stoğu karaçam için 116,5 t ha⁻¹, sahil çamı için 63,8 t ha⁻¹ bulunmuştur. Erkan ve Ayhan (2023) Elazığ-Sivrice'de 54 yaşındaki karaçam ağaçlandırmalarında yaptıkları çalışmada, biyokütledeki karbon stokunu 92,8 t ha⁻¹ olarak hesaplamışlardır. Çalışmamızda hesaplanan değerler söz konusu çalışmadan daha yüksek bulunması, araştırma alanları arasındaki bonitet farklılığında kaynaklandığı düşünülmektedir. Ölü örtü karbon stoğu bakımından türler arasındaki farklılıklar önemsiz bulunmuştur (t=1,032; P>0,05). Ölü örtü karbon stoğu karaçam için 7,6 t ha⁻¹, sahil çamı için 6,2 t ha⁻¹ bulunmuştur. Keza, toprak karbon stoğu bakımından da arazi kullanımları arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir (F=4,068; P>0,05).

Çizelge 2. Örnekleme alanlarının meşcere özellikleri (Ort.±SH).

Meşcere özellikleri	Karaçam	Sahil çamı	t	P
Meşcere yaşı (yıl)	35	35		
Ortalama çap (cm)	26,4±1,3	24,7±2,2	0,670	P>0,05
Ortalama boy (m)	15,9±0,4	12,2±0,7	4,535	P<0,05
Ağaç adedi (adet ha ⁻¹)	525±25	500±14,4	0,866	P>0,05
Göğüs yüzeyi (m ² ha ⁻¹)	30,5±2,4	26,1±4,4	0,865	P>0,05
Meşcere hacmi (m ³ ha ⁻¹)	246,7±13,5	183,9±38,2	1,549	P>0,05
Toprak üstü ve toprak altı ağaç kütleleri (t ha ⁻¹)	216,3±36,6	126,0±25,2	2,028	P<0,05

Toprakların 0-30 cm derinlik kademesinde depolanan organik karbon miktarı karaçam, sahil çamı ve çıplak alan için sırasıyla 23,9 t ha⁻¹, 19,1 t ha⁻¹ ve 26,5 t ha⁻¹ bulunmuştur. Ozdemir vd. (2013) sahil çamlarının çeşitli orijinleriyle Marmara Bölgesinde yapılan ağaçlandırmalarda 10 cm derinlik için toprak karbon stokunu 25-27 t ha⁻¹ arasında belirlemiş olup çalışmamızda belirlenen miktardan daha yüksektir. Bu durum yetiştirme bölgeleri arasındaki iklim ve toprak özelliklerindeki farklılıktan kaynaklanmış olabilir. Ağaçlandırma alanındaki fidanların daha uzun bir vejetasyon döneminde daha fazla büyüyerek toprağa gerek ince kök üretimi gerekse ibre dökülmesi yoluyla organik madde sağlaması toprak organik karbon stokunu arttırmış olmalıdır. Ağaçlandırmaların yaşları dikkate alındığında toprak karbon stokunun 30 yıllık süreçte henüz başlangıçtaki seviyesine ulaşamadığı ancak aralarındaki farkın zamanla kapanarak bu seviyeye yaklaştığı anlaşılmaktadır. Ayrıca çalışmamızda toprakta karbon birikiminin karaçamda ortalama 0,72 t ha⁻¹ yıl⁻¹ iken sahil çamında 0,22 t ha⁻¹ yıl⁻¹ olması, bitkisel kütlede ise karaçamda 3,32; sahil çamında 1,82 t ha⁻¹ yıl⁻¹ olması karaçamın sahil çamına göre daha fazla karbon biriktirme kapasitesi olduğuna işaret etmektedir. Ekosistem karbon stoku bakımından ise arazi kullanımları arasındaki farklılıklar önemli ($F=20,599$; $P<0,01$) olup, karaçam, sahil çamı ve çıplak alan için sırasıyla 147,9 t ha⁻¹, 89,2 t ha⁻¹ ve 26,5 t ha⁻¹ bulunmuştur (Şekil 2). Karaçam ve sahil çamına ait ağaçlandırmalar çıplak alana göre önemli düzeyde daha fazla karbon bağlamıştır. Bunun sebebi, ağaçlandırma çalışmalarının bitkisel kütle arttırmasıdır. Güner vd. (2021) tarafından karaçam ve sarıçam ağaçlandırmalarında yapılan çalışmada da benzer bulgulara ulaşılmış, ağaçlandırma çalışmalarının ekosistem karbon stokunu önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre yörede ve benzer ekolojik koşullara sahip yetiştirme ortamlarında yapılacak ağaçlandırmalarda sahil çamı ile kıyaslandığından karaçama öncelik verilmesi daha fazla karbon bağlanmasını sağlayacaktır.

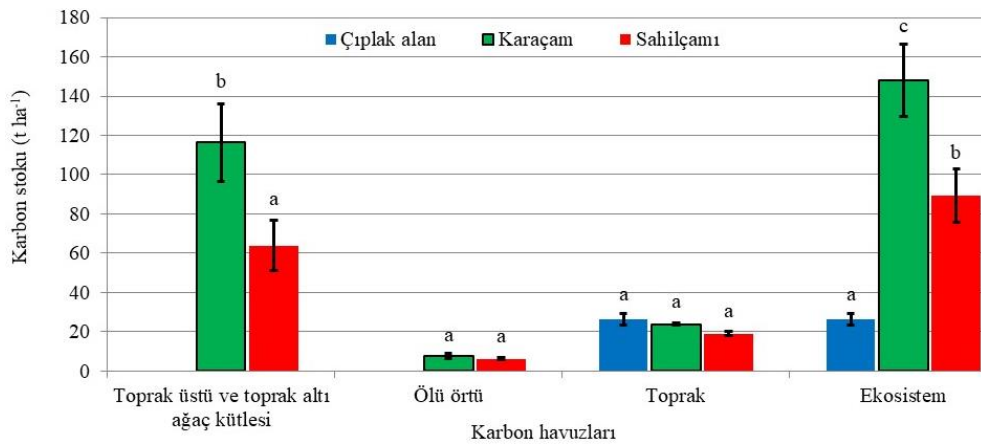
3.3. Ağaçlandırmanın toprak ve ölü örtü özelliklerine etkisi

3.3.1. Toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri

3.3.1.1. Hacim ağırlığı (HA)

Araştırma alanındaki topraklar hacim ağırlığı bakımından arazi kullanımları arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($P>0,05$, Çizelge 3). Segura vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada da 22 yaşındaki *Pinus halepensis* Mill. ağaçlandırma alanında arazi kullanım durumuna göre toprağın hacim ağırlığı değerleri arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Yine Güner vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada da ağaçlandırmadan 50 yıl sonra toprağın hacim ağırlığı değerleri arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir. Ancak, Korkanç (2014) tarafından yapılan çalışmada, çıplak alandaki hacim ağırlığı değerleri ağaçlandırılan alanlara göre daha yüksek düzeyde bulunmuştur. Araştırmacı bu durumu, çıplak alandaki toprağın düşük organik madde içermesi, toprak özelliklerinin bozulması ve otlama faaliyetlerinden dolayı topraktaki makro gözeneklerin azalması ile açıklamıştır. Çalışmamızda arazi kullanımları arasında fark bulunamamış olması, ağaçlandırmada arazi hazırlığı sırasında yapılan toprak işleme ile gevşetilen toprağın bir süre sonra tekrar eski haline dönüyor olmasından kaynaklanmış olabilir. Zira kil miktarının %25 civarında ve kil tipinin montmorillonit olması durumunda makinesi toprak işleme hacim ağırlığına etkisi 12 yıl kadar sürebilmektedir (Çepel, 1985). Bununla birlikte toprak işleme sırasında toprağın neminin ve makinenin ağırlığının fazla olması durumunda ise hacim ağırlığı artarak toprakta sıkışma da meydana gelebilmektedir (Çepel, 1985). Diğer yandan ağaçlandırmada kullanılan fidanların kökleri zamanla kalınlaşarak toprakta sıkışma ve dolayısıyla da hacim ağırlığının artışına da sebep olabilmektedir (Peng vd., 2022). Hacim ağırlığı değerleri karaçam dışında toprak derinliğine bağlı olarak artış göstermiştir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda da benzer bulgulara ulaşılmış, hacim ağırlığı değerleri toprak derinliğine bağlı olarak artmıştır (Yüksek ve Yüksek, 2011; Saryıldız vd., 2017; Soleimani vd., 2019; Güner vd., 2021).

Derinlik kademelerindeki (0-10, 10-20, 20-30 cm) toprak miktarı ($\phi<2$ mm) bakımından arazi kullanımları arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($P>0,05$; Çizelge 3).



Şekil 2. Ekosistemin bileşenlerinde depolanan karbon stoklarının arazi kullanımlarına göre değişimi (bileşenlerdeki aynı harfler aralarında fark bulunmayan ($P>0,05$) benzer grupları göstermektedir)

3.3.1.2. Toprak tekstürü

Toprak tekstürü (kum, toz ve kil oranları) bakımından arazi kullanımları arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($P>0,05$, Çizelge 3). Evrendilek vd. (2004), Korkaç (2014) ve Güner vd., (2021) tarafından yapılan çalışmalarda da benzer bulgulara ulaşılmıştır. Ancak, Yüksek ve Yüksek (2011), Sarıyıldız vd. (2017), Korkaç vd. (2018) ve Soleimani vd. (2019) tarafından yapılan çalışmalarda, toprak tekstürü arazi kullanımlarına göre önemli farklılıklar göstermiştir. Korkaç vd. (2018) bu farklılığı, mera alanında rüzgâr erozyonuyla toprağın ince tanelerinin taşınmasına, kavak alanında ise ölü örtü, diri örtü ve ağaçların toprak tanelerini rüzgâr erozyonuna karşı koruması ile açıklamıştır. Araştırmamızda tekstür bakımından arazi kullanımları arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemesi, çıplak alanların ağaçlandırma alanları arasındaki boşluklardan alınması sebebiyle bu alanların rüzgâr erozyonuna karşı kısmen kapalı olması ile açıklanabilir.

3.3.1.3. Toprak reaksiyonu (pH)

Toprak reaksiyonu, her üç derinlik kademesinde de arazi kullanımları arasında önemli bir farklılık göstermemiştir ($P>0,05$; Çizelge 3). Bu durumun araştırma alanlarındaki toprakların kireçli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira toprakların kireç içeriğinin (%) yükselmesine bağlı olarak pH değerlerinin de yükseldiği görülmektedir (Çizelge 3). Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda ise farklı bulgulara ulaşılmış, ağaçlandırılan alanlarda pH değerleri daha düşük düzeyde bulunmuştur (Korkaç, 2014; Korkaç vd., 2018; Güner vd., 2021). Toprak reaksiyonundaki bu düşüş, ibrelili türlere ait ölü örtünün asit reaksiyonlu olması (Rhoades ve Binkley, 1996)

ve toprağa organik madde girişi ile açıklanmıştır (Korkaç vd., 2018). Yine 45 yaşındaki karaçam ve yalancı akasya türleri ile yapılan ağaçlandırmalarının toprak özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada, karaçam altındaki toprakların pH değerinin, yalancı akasya altındaki ve bitişik çıplak alandaki toprakların pH değerine göre istatistiksel bakımdan önemli düzeyde düşük bulunmuştur (Karatepe, 2005).

3.3.1.4. Elektriksel iletkenlik (EC) ve toplam kireç (Tk)

Araştırma alanındaki topraklar elektriksel iletkenlik ve toplam CaCO_3 (Tk) bakımından arazi kullanımları arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($P>0,05$). Kt içeriği sahil çamı örnekleme alanlarında en yüksek olup (%3,39-7,20), bunu çıplak alan (%3,12-6,24) ve karaçam örnekleme alanları (%1,02-3,95) izlemiştir (Çizelge 3).

3.3.1.5. Organik karbon (OC)

Araştırma alanındaki topraklar organik karbon yoğunluğu bakımından arazi kullanımları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı farklılıklar göstermiştir ($P<0,05$). Her üç derinlik kademesi için de çıplak alanlardaki organik karbon yoğunluğu, karaçam ve sahil çamı ağaçlandırma alanlarına göre daha yüksek düzeyde bulunmuştur. Karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmaları altındaki toprakların organik karbon yoğunlukları arasındaki farklılıklar ise istatistiksel bakımdan önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$; Çizelge 3). Çıplak alanlardaki organik karbon yoğunluğunun ağaçlandırma alanlarına göre daha yüksek düzeyde bulunması, çıplak alan üzerinde bulunan otsu vejetasyonun toprak altı ve toprak üstü kısımlarının kuruyarak ayrışıp, toprağa daha fazla organik karbon sağlaması ile açıklanabilir.

Çizelge 3. Arazi kullanımlarına göre toprak özellikleri arasındaki farklılıklar (Ort.±SH)

Toprak özellikleri	Toprak derinliği (cm)								
	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm		
	Karaçam	Sahil çamı	Çıplak alan	Karaçam	Sahil çamı	Çıplak alan	Karaçam	Sahil çamı	Çıplak alan
HA (g/cm ³)	1,45±0,09 a	1,43±0,04 a	1,25±0,09 a	1,44±0,02 a	1,46±0,03 a	1,39±0,06 a	1,43±0,02 a	1,47±0,04 a	1,45±0,02 a
İTM (g/l)	689±67 a	580±13 a	525±15 a	579±38 a	512±41 a	457±78 a	670±61 a	456±41 a	494±98 a
Kum (%)	19,1±1,3 a	16,7±1,2 a	19,6±1,9 a	13,7±1,4 a	16,2±3,4 a	20,2±4,2 a	16,2±0,7 a	16,9±1,3 a	17,9±5,1 a
Toz (%)	37,9±1,4 a	39,1±0,9 a	40,7±1,5 a	39,5±1,2 a	37,6±1,7 a	37,8±1,4 a	40,2±1,7 a	37,6±1,5 a	38,5±0,9 a
Kil (%)	43,0±1,9 a	44,2±1,3 a	39,7±3,1 a	46,7±1,6 a	46,2±1,7 a	41,9±3,9 a	43,6±2,4 a	45,5±1,5 a	43,6±4,7 a
pH	7,7±0,2 a	8,2±0,1 a	7,9±0,1 a	8,3±0,1 a	8,4±0,04 a	8,3±0,03 a	8,3±0,1 a	8,6±0,05 a	8,5±0,05 a
EC (mS/cm)	0,06±0,02 a	0,09±0,02 a	0,09±0,02 a	0,05±0,002 a	0,07±0,03 a	0,08±0,02 a	0,05±0,01 a	0,06±0,03 a	0,09±0,01 a
Kt (%)	1,02±0,7 a	3,39±1,2 a	3,12±0,7 a	3,29±2,66 a	5,16±2,05 a	3,84±0,96 a	3,95±3,03 a	7,20±3,62 a	6,24±1,27 a
OC (%)	2,1±0,2 a	1,8±0,1 a	2,8±0,1 b	0,83±0,03 a	1,02±0,07 a	1,44±0,15 b	0,73±0,04 a	0,76±0,05 a	1,00±0,07 b
N (%)	0,18±0,01 a	0,18±0,003 a	0,33±0,02 b	0,11±0,003 a	0,13±0,003 a	0,20±0,019 b	0,10±0,004 a	0,11±0,006 a	0,15±0,01 b
C/N oranı	11,6±1,2 b	10,2±0,4 ab	8,5±0,2 a	7,4±0,1 a	7,9±0,4 a	7,1±0,3 a	7,1±0,3 a	6,9±0,5 a	6,5±0,1 a
S (%)	0,012±0,001 b	0,009±0,001 a	0,016±0,001 c	0,007±0,000 a	0,007±0,001 a	0,012±0,001 b	0,006±0,000 a	0,006±0,000 a	0,010±0,001 b
P (ppm)	3,22±0,18 a	3,60±0,24 ab	4,36±0,26 b	1,78±0,15 a	3,14±0,38 b	2,83±0,15 b	1,80±0,43 a	1,51±0,31 a	1,88±0,07 a
K (ppm)	136±6 a	108±6 a	185±39 a	92±5 a	78±3 a	110±22 a	82±10 a	70±5 a	87±9 a
Ca (ppm)	5027±910 a	6900±1053 a	6485±368 a	5677±889 a	7358±615 a	6928±225 a	6160±664 a	7255±784 a	7028±187 a
Mg (ppm)	108±6 a	101±11 a	101±25 a	85±5 a	72±22 a	87±32 a	65±7 a	67±26 a	103±53 a
Na (ppm)	9±1 a	9±1 a	8,5±0,5 a	9±1 a	11±0,1 a	9±1 a	10±1 a	11±1 a	11±1 a
Fe (ppm)	189±13 b	97±24 a	80±9 a	68±10 a	54±6 a	62±7 a	59±9 a	44±2 a	55±3 a
Zn (ppm)	2,2±0,1 b	1,5±0,2 a	3,7±0,2 c	0,2±0,02 a	0,7±0,1 ab	0,9±0,2 b	0,003±0,003 a	0,35±0,15 a	0,30±0,11 a
Cu (ppm)	7,0±0,9 a	3,3±0,4 ab	5,5±0,7 b	4,9±0,4 b	2,6±0,2 a	4,2±0,6 b	4,6±0,4 b	2,6±0,4 a	3,5±0,3 ab
Mn (ppm)	176±30 a	121±7 a	106±14 a	93±19 a	102±18 a	76±11 a	83±17 a	82±7 a	68±11 a

Satırlardaki aynı harfler aralarında fark bulunmayan benzer grupları göstermektedir ($P>0,05$), SH: standart hata, HA: hacim ağırlığı, İTM: ince toprak miktarı ($\phi<2$ mm), EC: elektriksel iletkenlik, Kt: toplam kireç (CaCO_3), OC: organik karbon

Ayrıca ağaçlandırma çalışmalarının başlangıcında yapılmış olan toprak işleme sonucu meydana gelen organik madde ayrışması da ağaçlandırılmış alanlardaki karbon yoğunluğunun azalmasında etkili olmuş olabilir. Araştırma bulgularımızın aksine, yapılan çalışmalarda genel olarak ağaçlandırılan alanlardaki toprak organik karbon yoğunluğu çıplak alanlara göre daha yüksek düzeyde bulunmuştur. Bu durum bitkisel kütledeki artışla açıklanmıştır (Evrendilek vd., 2004; Karatepe, 2005; Yüksek ve Yüksek, 2011; Sarıyıldız vd., 2017; Eslamdoust ve Sohrabi, 2018; Soleimani vd., 2019; Güner vd., 2021). Toprak organik karbon yoğunluğunun yüksek olması o toprağın daha yüksek miktarda karbon depoladığı anlamına gelmeyebilir. Zira depolanan karbon miktarı toprağın derinliği ve hacim ağırlığı ile birlikte değerlendirilmelidir. Daha düşük yoğunluğa sahip bir toprak derin taşsız ve hacim ağırlığı fazla ise daha fazla bir karbon stoğuna sahip olabilir. Araştırmamızda organik karbon yoğunluğu her üç arazi kullanımında da toprak derinliğine bağlı olarak azalış göstermiştir (Çizelge 3). Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda da benzer bulgulara ulaşılmıştır (Korkanç, 2014; Soleimani vd., 2019; Güner vd., 2021).

3.3.1.6. Makro besin elementleri

Makro besin elementlerinden N ve S yoğunluğu bakımından arazi kullanımları arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir ($P < 0,05$). Toplam azot ve kükürt yoğunluğu çıplak alan topraklarında en yüksek bulunmuştur. Toplam azot yoğunluğu karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmaları altındaki topraklar arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($P > 0,05$). Kükürt yoğunluğu karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmaları altındaki toprakların 0-10 cm derinlik kademesinde bir farklılık göstermiş ($P < 0,05$), 10-20 ve 20-30 cm derinlik kademelerinde ise anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($P > 0,05$; Çizelge 3). Organik karbondaki azot ve kükürt yoğunluğunun çıplak alandaki topraklarda karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmaları altındaki topraklara göre daha yüksek düzeyde bulunması çıplak alan üzerinde bulunan otsu vejetasyonun toprak altı ve toprak üstü kısımlarının kuruyarak ayrışıp, toprağa karışmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca otsu bitkilerin odunsulara göre yaprak kısımlarında daha yüksek miktarda azot ve fosfor içermeleri, odunsu bitkilerin ise biyokütle üretebilmeleri için gerekli enerji ve besin maddelerini daha çok köklere tahsis etmeleri (Brant ve Chen, 2015) toprağa farklı miktarlarda besin maddesi girdisi meydana getirebilir. Yine ağaçlandırma alanlarındaki toprak işleme sonucu meydana gelen organik madde azalmasının da bu durum üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ancak araştırmamızda, otsu vejetasyonun toprağa sağladığı karbon ve bitki besin maddesi konusunda bir değerlendirme yapılmamıştır. Bundan sonra yapılacak benzer araştırmalarda bu konunun dikkate alınması gerekmektedir. Genel olarak toplam azot ve kükürt yoğunluğu her üç arazi kullanımı için de toprak derinliğine bağlı olarak azalış göstermiştir (Çizelge 3). Keza, konu ile ilgili yapılan çalışmalarda da makro besin elementleri toprak derinliğine bağlı olarak azalış göstermiştir (Yüksek ve Yüksek, 2011; Güner vd., 2021). Fosfor yoğunlukları yetersiz düzey olarak kabul edilen 12 ppm'in oldukça altında olup (Çepel, 1996), 0-10 cm ve 10-20 cm derinlik kademelerinde arazi kullanımlarına göre önemli farklılıklar göstermiştir. En yüksek P değerleri 0-10 cm derinlikte açık alanda, 10-20 cm derinlikte ise sahil çamında bulunmuştur. Fosforun pH'nın 7'nin üzerine çıkmasıyla

alınabilirliğinin azaldığı yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur (Çepel, 1996). Ayrıca kil miktarının yüksek olmasının da fosfor yoğunluğunun düşük olmasına sebep olduğu çeşitli araştırmalarla ortaya konulmuştur (Jian vd., 2022).

3.3.1.7. Mikro besin elementleri

Mikro besin elementlerinden Zn yoğunluğu 0-10 cm ve 10-20 cm derinliklerde, Fe yoğunluğu ise 0-10 cm derinlikte, Cu bütün derinlik kademelerinde, arazi kullanımlarına göre önemli farklılıklar göstermiş, en yüksek Zn yoğunlukları çıplak alanda, en yüksek Fe ve Cu yoğunlukları ise karaçamda belirlenmiştir. Topraklarda bitki tarafından alınabilir Zn miktarının 0,7-2,4 ppm aralığında, Cu miktarının 0,2 ppm'in üzerinde olması, Fe miktarının ise 4,5 ppm'in üzerinde olması yeterli görülmektedir (Akınoğlu vd., 2022). Buna göre tüm işlemlerde genel olarak toprağın üst katmanlarında Zn yoğunluğunun yeterli seviyede olduğunu söylemek mümkündür. Aynı şekilde Fe ve Cu yoğunlukları da yeterlidir. Bazı mikro besin elementlerinin yoğunluklarının arazi kullanımlarına göre farklılıklar göstermesi bitki türlerinin topraktaki besin maddelerini farklı miktarlarda alması ve buna bağlı olarak da yaprak dökülmesi yoluyla toprağa farklı miktarlarda besin maddesi girişi ile ilgili olabilir (Brant ve Chen, 2015; Li vd., 2021). Dökülen yaprakların ya da ince köklerin ayrışma hızlarına bağlı olarak besin elementlerinin mineralizasyonu da toprakların besin maddesi yoğunlukları üzerinde etkili olan diğer bir faktördür (Diallo vd., 2019).

3.3.2. Ölü örtülerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Karaçam ve sahil çamı türleri ile yapılan ağaçlandırmalar ölü örtü özellikleri bakımından değerlendirildiğinde, ölü örtü kütlesi, azot yoğunluğu ve C/N oranı bakımından karaçam ve sahil çamı arasında önemli bir farklılık belirlenmemiştir ($P > 0,05$). Ölü örtü C, S, Mn ve Zn yoğunluğu bakımından ise karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmaları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($P < 0,05$). C yoğunluğu karaçam ölü örtüsünde (%50,33), S yoğunluğu ise sahil çamı ölü örtüsünde (%0,082) daha yüksek düzeyde bulunurken Mn ve Zn yoğunlukları karaçamda daha yüksektir (Çizelge 4). Ölü örtü C, S, Mn ve Zn yoğunluklarındaki bu farklılıklar araştırmaya konu olan ağaç türleri arasındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan bir başka araştırmada, farklı gelişim çağındaki karaçam ağaçlandırmalarında, ölü örtüdeki N %0,59-0,82 ve S %0,103-0,155 arasında bulunmuştur (Güner ve Özkan, 2019). Araştırma bulgularımızla karşılaştırdığımızda, S değerlerimizin daha düşük, N değerlerimizin ise verilen aralıkta yer aldığı görülmektedir. C/N oranı karaçam ölü örtüsü için 74,94, sahil çamı ölü örtüsü için 60,42 olarak bulunmuştur. Bu durum ekosistemdeki ölü örtü ayrışmasının yavaş olduğunu göstermektedir. Kantarcı (2000), C/N oranının 30'dan fazla olduğu yerlerde ayrışmanın çok yavaş gerçekleştiğini, 15-25 arasında ayrışmanın devam ettiğini, 15'ten küçük olan yerlerde ise ayrışmanın ve mineralizasyonun çok hızlı olduğunu bildirmektedir. Ölü örtü C/N oranları arasında karaçam ve sahil çamı ağaçlandırmaları arasında anlamlı bir fark olmamasına rağmen ortalama değerler sahil çamı ölü örtüsünün karaçama göre daha hızlı ayrıştığına işaret etmektedir. Türkiye'deki sahil çamı ağaçlandırma

alanlarında yapılan çalışmalardan, Ağaçlı maden sahalarında (İstanbul) ölü örtü kütlesi $1,79 \text{ kg m}^{-2}$ (Sever ve Makineci, 2008), Durusu kumul ağaçlandırmalarında (İstanbul) araştırmamızla aynı gelişim çağındaki bulunan meşcerelerde ($d_{1,3}=20-35,9 \text{ cm}$) ölü örtü kütlesi $4,82 \text{ kg m}^{-2}$ bulunmuştur (Makineci, 2021). Araştırma bulgularımız ($1,27 \text{ kg m}^{-2}$), Sever ve Makineci (2008) ile Makineci (2021) tarafından belirlenen değerlerden daha düşük düzeyde olup bu durum ağaçlandırmaların yaşları veya yetiştirme ortamı özellikleri arasındaki farklılıklardan kaynaklanabilir. Meşcerelerin gelişimi ile ölü örtünün önemli bir kaynağı olan bitkisel kütle de artmaktadır. Ayrıca yetiştirme ortamı özellikleri nem ve sıcaklık ilişkilerini etkilemek suretiyle ölü örtünün ayrışma hızını değiştirmekte ve bazı durumlarda ölü örtü birikimine sebep olmaktadır (Kantarci 2000). Çalışmamızda karaçamda ölü örtü miktarı sahil çamından bir miktar yüksek bulunmuş olmakla birlikte aradaki fark önemsiz seviyededir.

3.3.3. Toprak ve ölü örtüdeki besin stokları

Topraktaki N, S ve mikro besin elementi (Fe, Mn, Zn, Cu) stoku bakımından arazi kullanımları arasında istatistiksel bakımdan önemli farklılıklar belirlenmiştir ($P<0,05$). Topraktaki N (3461 kg ha^{-1}) ve S (190 kg ha^{-1}) stoku çıplak alanda en yüksek düzeyde bulunurken Fe stoku ağaçlandırılan alanlarda çıplak alana göre daha yüksektir. En yüksek Zn stoku ise çıplak alanda belirlenmiştir. Cu stoku ise karaçam ağaçlandırma alanlarında diğer alanlara göre daha yüksektir. En düşük N (2189 kg ha^{-1}) ve S (118 kg ha^{-1}) stoku sahil çamı ağaçlandırma alanı altındaki topraklarda belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, topraktaki makro besin elementlerinin yoğunluk ve stok değerlerinin birbirlerine paralellik gösterdiği görülmektedir (Çizelge 5).

Çizelge 4. Ağaç türlerine göre ölü örtü özellikleri arasındaki farklılıklar (Ort.±SH).

Ölü örtü özellikleri	Karaçam	Sahil çamı	t	P
Ölü örtü kütlesi (kg m^{-2})	1,51±0,23	1,27±0,13	0,880	$P>0,05$
C (%)	50,33±0,36	48,75±0,28	3,428	$P<0,05$
N (%)	0,68±0,06	0,82±0,06	-1,630	$P>0,05$
C/N oranı	74,94±6,8	60,42±4,8	1,745	$P>0,05$
S (%)	0,07±0,001	0,08±0,001	-6,130	$P<0,01$
P (%)	0,05±0,01	0,05±0,01	-0,173	$P>0,05$
K (%)	0,13±0,03	0,17±0,01	-1,383	$P>0,05$
Ca (%)	1,28±0,08	1,34±0,11	-0,438	$P>0,05$
Mg (%)	0,10±0,02	0,11±0,01	-0,410	$P>0,05$
Na (ppm)	137±25	144±13	0,523	$P>0,05$
Fe (ppm)	1765±783	2033±256	-0,325	$P>0,05$
Mn (ppm)	147±17	94±6	0,143	$P<0,05$
Zn (ppm)	115±24	45±8	2,779	$P<0,05$
Cu (ppm)	4,4±2,3	2,7±0,9	0,699	$P>0,05$

Çizelge 5. Arazi kullanımlarına göre toprak ve ölü örtüdeki besin stokları (Ort.±SH).

Besin stokları	Toprak ($\text{Ø} < 2 \text{ mm}$)				Ölü örtü				
	Karaçam	Sahil çamı	Çıplak alan	F	P	Karaçam	Sahil çamı	t	P
N (t ha^{-1})	2,58±0,12 ab	2,19±0,08 a	3,46±0,45 b	5,599	$P<0,05$	105±22	104±13	0,040	$P>0,05$
Ca (t ha^{-1})	11,14±2,42 a	11,16±1,70 a	10,03±1,31 a	0,120	$P>0,05$	197±39	169±5	0,726	$P>0,05$
S (kg ha^{-1})	171±25 ab	118±7 a	190±21 b	3,541	$P<0,05$	11,1±1,6	10,5±1,1	0,266	$P>0,05$
P (kg ha^{-1})	4,49±0,17 a	4,46±0,71 a	4,48±0,56 a	0,001	$P>0,05$	7,47±1,81	6,28±0,99	0,575	$P>0,05$
K (kg ha^{-1})	201±7 a	136±13 a	194±45 a	1,724	$P>0,05$	21±7	22±2	-0,135	$P>0,05$
Mg (kg ha^{-1})	166±1 a	125±25 a	152±67 a	0,258	$P>0,05$	16±5	14±2	0,319	$P>0,05$
Na (kg ha^{-1})	18±1 a	16±1 a	14±2 a	1,446	$P>0,05$	2,2±0,7	1,8±0,1	0,523	$P>0,05$
Fe (kg ha^{-1})	206±6 b	103±12 a	97±9 a	40,224	$P<0,05$	29±16	25±2	0,255	$P>0,05$
Mn (kg ha^{-1})	224±27 b	159±12 ab	126±16 a	6,829	$P<0,05$	2,18±0,31	1,20±0,16	2,787	$P<0,05$
Zn (kg ha^{-1})	1,64±0,13 a	1,33±0,09 a	2,53±0,09 b	37,087	$P<0,05$	1,66±0,27	0,57±0,11	3,719	$P<0,05$
Cu (kg ha^{-1})	10,60±0,38 c	4,20±0,35 a	6,69±1,07 b	22,088	$P<0,05$	0,07±0,04	0,03±0,01	0,930	$P>0,05$

Satırlardaki aynı harfler aralarında fark bulunmayan benzer grupları göstermektedir ($P>0,05$), SH: standart hata, P: önem düzeyi

Ölü örtüde depolanan N ve S stoku bakımından türler arasındaki farklılıklar istatistiksel bakımdan önemsiz bulunmuştur ($P>0,05$). Farklı gelişim çağındaki karaçam ağaçlandırmalarında yapılan bir çalışmada, ölü örtüdeki N ($23,6-188,0 \text{ kg ha}^{-1}$) ve S ($4,3-40,0 \text{ kg ha}^{-1}$) arasında bulunmuştur (Güner ve Özkan, 2019). Karaçam ölü örtüsüne ait N ve S stoku bulgularımızın Güner ve Özkan (2019) tarafından yapılan çalışma ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Türkiye'deki sahil çamı ağaçlandırma alanlarında yapılan çalışmalardan, Ağaçlı maden sahalarında (İstanbul) ölü örtüdeki azot miktarı $113,9 \text{ kg ha}^{-1}$ (Sever ve Makineci, 2008), Durusu kumul ağaçlandırmalarında (İstanbul), araştırmamızla aynı gelişim çağındaki bulunan meşcerelerde ($d_{1,3}=20-35,9 \text{ cm}$) ölü örtüdeki azot miktarı 440 kg ha^{-1} bulunmuştur (Makineci, 2021). Sahil çamı ölü örtüsüne ilişkin bulgularımız (104 kg ha^{-1}), Sever ve Makineci (2008) tarafından yapılan çalışmaya yakın, Makineci (2021) tarafından yapılan çalışmadan ise oldukça düşük düzeyde bulunmuştur.

4. Sonuçlar

Bu araştırma, farklı ağaç türleri ile yapılan ağaçlandırmaların karbon stokları ile toprak ve ölü örtü özellikleri üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre karaçamın toprağın bazı kimyasal özelliklerini sahil çamına göre daha olumlu yönde etkilediği söylenebilir. Ayrıca yöredeki sahil çamı ve karaçam ağaçlandırma çalışmaları sonucunda toprağın azot ve kükürt stoklarının 35 yıllık sürede çıplak alanın miktarına henüz ulaşmadığı, ancak karaçamın sahil çamına oranla toprak kimyasal özelliklerini daha hızlı eski seviyesine getirebildiği anlaşılmıştır. Toprak üzerindeki ölü örtü ve ağaç kütleindeki besin maddesi stokları dikkate alındığında ekosistemdeki besin maddesi üzerinde ağaçlandırmanın olumlu etki yaptığı, çıplak arazilerin ağaçlandırma alanlarına dönüştürülmesinin, ekosistem karbon stokunu arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yörede ve benzer ekolojik koşullara sahip yetiştirme ortamlarındaki ağaçlandırmalarda, tür seçimine karar verilmesi ve iklim değişikliğinin etkisinin azaltılması bakımından önemlidir.

Açıklama

Bu araştırma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından “Ulus (Bartın) yöresindeki sahil çamı ve karaçam ağaçlandırmalarının karbon birikimi açısından değerlendirilmesi (1919B012106854)” isimli proje kapsamında desteklenmiştir. Örnekleme alanlarında bulunan bitki taksonlarını teşhis eden Doç. Dr. Bilge TUNÇKOL ile sonuç raporunda kullanılan haritayı hazırlayan Öğr. Gör. Eren Gürsoy ÖZDEMİR’e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akınoğlu, G., Korkmaz, A., Horuz, A., 2022. Toprak ve Sulama Suyunda Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi. Akademisyen Kitabevi, Ankara.
- Berg, B., Meentemeyer, V., 2001. Litter fall in some European coniferous forests as dependent on climate: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(2): 292-301. doi:10.1139/x00-172.
- Berg, B., McClaugherty, C., 2003. Plant Litter Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration. Springer-Verlag Berlin Heiderberg, Germany.
- Brant, A.N., Chen, H.Y.H., 2015. Patterns and mechanisms of nutrient resorption in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(5): 471-486. doi: 10.1080/07352689.2015.1078611.
- Çepel, N., 1985. Ağaçlandırma çalışmalarında uygulanan arazi hazırlığı çalışmalarına ilişkin mekanizasyonun ekolojik sonuçları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B(35), 1-13.
- Çepel, N., 1996. Toprak İlimi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi Basımevi, İstanbul.
- Çömez, A., 2012. Sündiken Dağları'ndaki (Eskişehir) Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinde Karbon Birikiminin Belirlenmesi. Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü Yayını, Eskişehir.
- Diallo, M.B., Irénikatché Akponikpè, P.B., Fatondji, D., Abasse, T., Agbossou, E.K., 2019. Long-term differential effects of tree species on soil nutrients and fertility improvement in agroforestry parklands of the Sahelian Niger. *Forests, Trees and Livelihoods*, 28(4), 240-252.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., Wisniewski, J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystem. *Science*, 263: 185-190.
- Eriç, S., 1965. Yağış Müessiriyeti Üzerine Bir Deneme ve Yeni Bir İndis. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayını, İstanbul.
- Erkan, N., Ayhan, E., 2023. Growth rate and economic evaluation of mixed stands established with *Cedrus libani* and *Pinus nigra*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 38(5): 344-351.
- Evrendilek, F., Celik, I., Kilic, S., 2004. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. *Journal of Arid Environments*, 59(4): 743-752.
- Eslamdoust, J., Sorabi, H., 2018. Carbon storage in biomass, litter, and soil of different native and introduced fast-growing tree plantations in the South Caspian Sea. *Journal of Forest Research*, 29(2): 449-457.
- Güner, Ş.T., Çömez, A., 2017. Biomass equations and changes in carbon stock in afforested black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) stands in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(3): 2368-2379.
- Güner, D., Özkan, K., 2019. Türkiye'deki karaçam ağaçlandırma alanlarında besin stoklarının belirlenmesi. *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 6(2): 192-207.
- Güner, Ş.T., Erkan, N., Karataş, R., 2021. Effects of afforestation with different species on carbon pools and soil and forest floor properties. *Catena*, 196, 104871. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104871>
- Hewitt, A., Fraser, S., Hedley, C.B., Lynn, I., 2012. Afforestation effects on soil carbon stocks of low productivity grassland in New Zealand. *Soil Use and Management*, 28: 508-516.
- IUSS Working Group WRB, 2015. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports No. 106*, FAO, Rome.
- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D.W., Minkinen, K., Byrne, K.A., 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137: 253-268.
- Jian, Z., Lei, L., Ni, Y., Xu, J., Xiao, W., Zengi L., 2022. Soil clay is a key factor affecting soil phosphorus availability in the distribution area of Masson pine plantations across subtropical China. *Ecological Indicators*, 144: 109482.
- Kacar, B., İnal, A., 2010. Bitki Analizleri. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Kantarç, M.D., 2000. Toprak İlimi. İstanbul Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- Karatepe, Y., 2005. Accumulation of organic carbon and nitrogen in plantation forests of black pine (*Pinus nigra* Arn.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Golcuk (Isparta). *Forestist*, 55(1): 209-223. <https://doi.org/10.17099/jffiu.33805>
- Korkaç, S.Y., 2014. Effects of afforestation on soil organic carbon and other soil properties. *Catena*, 123: 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.07.009>
- Korkaç, S.Y., Şahin, H., Özden, A.O., Özkurt, B., 2018. Arazi kullanımı dönüşümlerinin toprakların organik karbon depolama ve bazı özellikleri üzerindeki etkileri: Niğde yöresi örneği. *Türkiye Ormançılık Dergisi*, 19(4): 362-367. <https://doi.org/10.18182/tjf.436132>
- Kroetsch, D., Wang, C., 2008. Particle Size Distribution, in section VI. Soil Physical Analysis, Section Ed. By Angers D.A., Larney, F.J., In: Carter, M.R., Gregorich, E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis 2*. Edition, CRC Press, Boca Raton.
- Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 220: 242-258. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015>
- Li, Y., Han, C., Sun, S., Zhao, C., 2021. Effects of tree species and soil enzyme activities on soil nutrients in dryland plantations. *Forests*, 12: 1153. <https://doi.org/10.3390/f12091153>
- Makineci, E., 2021. Nitrogen accumulation in forest floors with introduced *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* in dune site. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193: 327. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09100-3>
- MGM., 2020. Meteorolojik veri. <https://www.mgm.gov.tr/>, Erişim: 14.02.2020.
- MTA., 2021. 1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/500bas>, Erişim: 13.12.2021.
- Müftüoğlu, N.M., Türkmen, C., Çakılı, Y., 2014. Toprak ve Bitkide Verimlilik Analizleri. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116: 381-389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
- OGM, 2018. Orman Genel Müdürlüğü Stratejik Planı (2019-2023). [https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/StratejikPlan/Orman%20Gene1%20M%C3%BCd%C3%BCr1%C3%BC%C4%9F%C3%BC%20Stratejik%20Plan%20\(2019-2023\).pdf](https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/StratejikPlan/Orman%20Gene1%20M%C3%BCd%C3%BCr1%C3%BC%C4%9F%C3%BC%20Stratejik%20Plan%20(2019-2023).pdf), Erişim: 22.03.2020.
- Ozdemir, E., Oral, H.V., Akburak, S., Makineci, E., Yılmaz, E., 2013. Carbon and nitrogen accumulation in forest floor and surface soil under different geographic origins of Maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton.) plantations. *Forest Systems*, 22(2): 214-221. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2013222-03441>
- Pausas, J.G., 1997. Litter fall and litter decomposition in *Pinus sylvestris* forests of the eastern Pyrenees. *Journal of Vegetation Science*, 8: 643-650. <https://doi.org/10.2307/3237368>
- Peichl, M., Arain, M.A., 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 140: 51-63. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.08.004>

- Peng, L., Tang, C., Zhang, X., Duan, J., Yang, L., Liu, S., 2022. Quantifying the effects of root and soil properties on soil detachment capacity in agricultural land use of southern China. *Forests*, 13: 1788. <https://doi.org/10.3390/f13111788>
- Rhoades, C., Binkley, D., 1996. Factors influencing decline in soil pH in Hawaiian Eucalyptus and Albizia plantations. *Forest Ecology and Management*, 80(1-3): 47–56. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03646-6](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03646-6)
- Sarıyıldız, T., Savacı, G., Maral, Z., 2017. Effect of different land uses (mature and young fir stands- pasture and agriculture sites) on soil organic carbon and total nitrogen stock capacity in Kastamonu Region. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(1): 132-142. <https://doi.org/10.17475/kastorman.296912>
- Schimel, D., Enting, I.G., Heimann, M., Wigley, T.M.L., Raynaud, D., Alves, D., Siegenthaler, U., 2000. CO₂ and the carbon cycle. In: *The Carbon Cycle*, Ed: Wigley TML, Schimel DS, Cambridge University Press, USA.
- Segura, C., Navarro, F.B., Jiménez, M.N., Fernández-Ondoño, E., 2020. Implications of afforestation vs. secondary succession for soil properties under a semiarid climate. *Science of The Total Environment*, 704: 135393. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135393>
- Sever, H., Makineci, E., 2008. Ağaçlı-İstanbul maden sahalarında sahil çamı (*Pinus pinaster* Aiton.) ağaçlandırmalarında bazı ölü örtü ve toprak özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(2): 136-146.
- Soleimani, A., Hosseini, S.M., Bavani, A.R.M., Jafari, M., Francaviglia, R., 2019. Influence of land use and land cover change on soil organic carbon and microbial activity in the forests of northern Iran. *Catena*, 177: 227-237. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.018>
- SPSS v.22.0®, 2015. SPSS 22.0 Guide to Data Analysis. published by Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Tolunay, D., Çömez, A., 2007. Orman topraklarında karbon depolanması ve Türkiye'deki durum. *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu*, 13-14 Aralık, İstanbul, s. 97-107.
- Tolunay, D., Makineci, E., Şahin, A. Özturba, A.G., Pehlivan, S., Abdelkaim, M.A., 2017. İstanbul-Durusu Kumul Alanlarındaki Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait.) ve Fıstık Çamı (*Pinus pinea* L.) Ağaçlandırmalarında Karbon Birikimi. TÜBİTAK TOVAG Proje Nu: 114O797, İstanbul.
- TS 8336, 1990. Soils-Determination of organic matter. Turkish Standards Institution Press, Ankara.
- TS 8335, ISO 10693, 1996. Soil quality-Determination of carbonate content-Volumetric method. Turkish Standards Institution Press, Ankara.
- TS ISO 11265, 1996. Soil quality-Determination of electrical conductivity. Turkish Standards Institution Press, Ankara.
- TS ISO 10390, 2013. Soil quality-Determination of pH. Turkish Standards Institution Press, Ankara.
- Turner, J., Lambert, M., 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 133(3): 231-247. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00236-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00236-4)
- Yüksek, T., Yüksek, F., 2011. The effects of restoration on soil properties in degraded land in the semi-arid region of Turkey. *Catena*, 84: 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.09.002>
- Zhang, X., Zhang, X., Han, H., Shi, Z., Yang, X., 2019. Biomass accumulation and carbon sequestration in an age-sequence of Mongolian pine plantations in Horqin sandy land, China. *Forests*, 10(2): 197. <https://doi.org/10.3390/f10020197>