



Bursa, Karacabey subasar ormanı kızılağaç (*Alnus glutinosa* L.) meşcerelerinin ölü örtü ve topraklarının organik karbon ve besin stokları

Temel Sarıyıldız¹, Mert Tanı¹

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 16/03/2024

Kabul Tarihi : 06/06/2024

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1453879>

*Sorumlu Yazar:

temel.sariyildiz@btu.edu.tr

ÖZ

Giriş ve Hedefler Orman ekosistemlerinde ölü örtü ve topraklar organik karbon ile besinlerin en önemli havuzlarıdır. Bu havuzların karbon ve besin stoklarına etki eden faktörlerin doğru bir şekilde ortaya konulması, dünya çapında küresel iklim değişikliğiyle mücadele yanında ormanların doğru bir şekilde yönetilmesinde büyük bir ilgi görmektedir. Bununla beraber, subasar orman ekosistemlerine ait araştırma sonuçları sınırlıdır. Bu çalışmada, Bursa, Karacabey subasar ormanlarındaki saf kızılağaç (*Alnus glutinosa* L.) meşcerelerinin ölü örtü ve topraklarının organik karbon ile besin stoklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yöntemler Ölü örtü örnekleme sulak (suyun yüzeyde uzun dönem kaldığı) ve karasal (suyun yüzeyde kısa dönem kaldığı) ortamdaki kızılağaçın iki farklı gelişme çağındaki (Kzc3 ve Kzd3) meşcerelerinde yapılmıştır. Toprak örnekleri de aynı ortamlarda beş farklı toprak derinlik kademesinden (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm) alınmıştır. Alınan örnekler organik karbon ve besin konsantrasyonları bakımından analiz edilmiş ve sonrasında çalışma alanlarının organik karbon ve besin stokları (t/ha) hesaplanmıştır.

Bulgular Kızılağaç meşcerelerinde, ölü örtü birikiminin yüksek olduğu sulak ortam ile Kzc3 meşcerelerinde ölü örtü karbon ve besin stokları, karasal ortam ve Kzd3 meşcerelerinden daha yüksek bulunmuştur. Benzer şekilde, toprak organik karbon ve besin stokları da sulak ortamda yüksek belirlenmiştir. Bununla beraber, her iki ortamda, Kzc3 meşcerelerinin toprak organik karbon ve besin stokları Kzd3 meşcerelerine göre daha düşük tespit edilmiştir. Kızılağaç meşcerelerinde, organik karbon ve azotun mineral toprağın 0-30 cm derinlik kademesinde, diğer besinlerin ise daha çok mineral toprağın >30 cm derinlik kademesinde stoklandığı belirlenmiştir.

Sonuçlar Çalışma sonuçları, yüksek karbon ve besin stoklama potansiyeline sahip olduğu bilinen subasar orman ekosistemlerinin ölü örtü ve topraklarındaki organik karbon ve besin stoklarını ve etki eden faktörleri anlamaya yardımcı olacaktır. Ayrıca sonuçlar, subasar ormanların iklim değişikliğinin azaltılmasına katkısı ve etkisi ile subasar ormanlardaki besin döngüsü ve ağaç ve bitki örtüsünün geliştirilmesi ve planlanması kapsamında gelecekte yapılacak çalışmalara altlık oluşturabilecek öncül veriler sağlaması bakımından önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Kıyusal subasar ormanlar, Karbon havuzları, Makro ve mikro besinler, toprak derinliği

Organic carbon and nutrients stocks in forest floor litter and soil of alder (*Alnus glutinosa* L.) stands in Bursa, Karacabey forested wetlands

ABSTRACT

Background and aims Litter and soils are the most important pools of organic carbon and nutrients in forest ecosystems. The complete and accurate assessments of the carbon and nutrient stocks of these pools and the influencing factors is a major concern that has drawn widespread attention in the fight against global climate change and in the management of forests worldwide. However, research results on flooded forest ecosystems are limited. In this study, it was aimed to determine the organic carbon and nutrient stocks of the litter and soil of pure alder stands in Bursa, Karacabey forested wetlands.

Methods Litter sampling was carried out in alder stands at two different development ages (Kzc3 and Kzd3) in floodplain (where water remains on the surface for a long period) and terrestrial (where water remains on the surface for a short period) sites. Soil samples were taken from five different soil depth levels (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm) in the same sites. The samples were analyzed for organic carbon and nutrient concentrations, and then the organic carbon and nutrient stocks (t/ha) of the study sites were calculated.

Results Carbon and nutrient stocks of alder in the floodplain sites and Kzc3 stands with higher forest floor litter was higher than in terrestrial sites and Kzd3 stands. Soil organic carbon and nutrient stocks were also high in the floodplain sites. However, in both sites, soil organic carbon and nutrient stocks of Kzc3 stands were found to be lower than those of Kzd3 stands. It was seen that in alder stands, organic carbon and nitrogen were stored in the topsoil (0-30 cm), while other macro- and micro-nutrients were mostly stored in the subsoil (>30 cm).

Conclusions The results of this study will help to understand the organic carbon and nutrient stocks and impact factors in the litter and soil of forested wetland ecosystems. In addition, the results are important to provide preliminary data that can form a basis for studies within the scope of the contribution and impact of forested wetlands to the mitigation of climate change in the future, the development and planning of nutrient cycles and tree and vegetation cover.

Key words: Coastal forested wetlands, Karbon pools, Macro and micro nutrients, soil depths

Bu makalaya atf:

Sarıyıldız, T., Tanı, M., 2024. Bursa, Karacabey subasar ormanı kızılağaç (*Alnus glutinosa* L.) meşcerelerinin ölü örtü ve topraklarının organik karbon ve besin stokları. Orman Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 10(1), 54-64.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Paris İklim Anlaşmasının karbon kaynaklarını ve yutaklarını dengeleme hedeflerine ulaşması için, Dünya'nın karbon açısından zengin ekosistemlerini korumak ve işleyişini anlamak kritik önem taşımaktadır (Griscom et al., 2017). Yüksek karbon stoklarına sahip ekosistemler arasında, sulak alanlar (bu alanların %60'ını subasar ormanlar oluşturmaktadır), karasal alanların yaklaşık %6'sını kaplamalarına rağmen, 1500-2400 PgC'lik küresel toplam toprak organik karbon (SOC) stokunun %30'undan fazlasını bünyelerinde barındırmaktadır (Jackson et al., 2017; Poulter et al., 2021; Zhang et al., 2021). Sulak alanlar aynı zamanda bulunduğu bölgede besin elementlerinin kaynağı, stoku ve su akışıyla bitişik ekosistemlere transferini sağlayabilen ekosistem hizmetleri sunmaktadır (Tsfay et al., 2020).

Karasal orman ekosistemlerinde olduğu gibi, subasar ormanlarda da, ağaçlar, ölü örtü ve topraklar organik karbonun ve besin elementlerinin en önemli havuzlarını oluşturmaktadır. Ağaçlar kökleriyle topraktan su ve besinleri almakta, yapraklarında fotosentezle organik maddeyi üretmekte, ağaç bileşenlerinde (yaprak, dal, tohum, kabuk ve diğer kısımlar) üretilen organik maddeyi biriktirmekte, sonrasında döküntü ile ölü örtüye katılan ağaç bileşenlerinin ayrışması ile besin elementleri toprağa geri kazandırılmaktadır (Wang et al., 2017).

Subasar ormanlardaki bu biyojeokimyasal döngü küresel ölçekte de önemli olabilmektedir. Örneğin, artan besin elementi yoğunluğundan kaynaklı oligotrofik sulak alanların ötrofikasyonu, ilksel üretimi teşvik edebilmekte, yüksek ilksel üretimde, karbon yutakları sağlayan organik madde birikiminin artmasına neden olabilmektedir (artan karbon tutulumu) (Bledsoe et al., 2020). Yüksek karbon birikimi sonucunda, toprakta ve toprak suyundaki mikrobiyal faaliyetlerdeki artış, sera gazı üretimini artırabilmekte ve artan sera gazı üretimi de iklim değişikliği konusunda olumsuz geri bildirim neden olabilmektedir (Reddy et al., 2010). Besin yoğunluğuna bağlı olarak, yüksek miktarda organik madde birikimi, yüzey suyu kalitesini de etkileyebilmektedir (Ashby, 2002). Böylece, sulak alanlardaki biyojeokimyasal döngüler hem olumlu hem de olumsuz geri bildirimlere sahip olabilmektedir. Bu nedenlerle, sulak alan ekosistemi fonksiyonlarının oynadığı rollerin yeterli düzeyde anlaşılması, sulak alanların karbon ve ilgili besin elementleri için net yutak işlevi görüp görmediğinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir.

Türkiye orman ekosistemlerinin, toprak üstü (ağaç, ölü örtü, ölü odun) ve altında (toprak ve köklerde) stoklanan karbon miktarına yönelik çok sayıda çalışma bulunurken (bakınız derleme Tolunay ve Çömez, 2008), toprak makro ve mikro besin elementleri stokları ve etki eden faktörlere yönelik çalışmalara daha az rastlanmaktadır (Çakır ve Akburak, 2017; Sarıyıldız ve ark., 2022; Sarıyıldız ve Savacı, 2023). Türkiye subasar orman ekosistemlerinin karbon ve besinlerinin stoklandığı havuzlar (ağaç, ölü örtü ve toprak) ve bu havuzlara etki eden faktörlere (ağaç türü, meşcere gelişim çağı, toprak derinliği) yönelik çalışmalar ise, bilgimiz dahilinde bulunmamaktadır. Oysa, orman topraklarının baz katyonları ve mikro besin elementlerindeki değişiklikleri anlamak, stoklarını ortaya koymak, orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliği ve verimliliği üzerinde etkili olan faktörleri anlamada ve belirlemede yardımcı olabilmektedir (Richardson et al., 2017).

Hidrolojinin ve su birikiminin (subasar ortamın) ölü örtü miktarı üzerinde etkili olduğuna dair (özellikle ayrışma ve döküm miktarına bağlı olarak) literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Zhou et al., 2023). Subasar ortamlardaki anaerobik şartların, ölü örtü ayrışmasını yavaşlattığı ve büyük miktarda döküntü organik maddenin birikimine neden olduğu ve bu durumun toprakta stoklanan karbon miktarını etkilediği bildirilmiştir (Reddy and Patrick, 1975; Schlesinger, 1977; Day, 1982). Meşcere yaşı, ölü örtü miktarı ve toprak organik karbon stokunun değişiminde önemli bir faktör olmakla beraber, meşcere yaşı ile ölü örtü miktarı ve toprak organik karbon stoku arasındaki ilişki her zaman artış yönünde olmamaktadır. Bazı çalışmalarda, meşcere gelişim çağının sonlarına doğru meşcereler karbon bakımından nötr kalabilmekte (Dangal et al., 2017; Seedre et al., 2015), çok küçük miktarlarda karbon yakalayabilmekte (Jonard et al., 2017) yada karbon havuzunda bir azalma sergileyebilmektedir (Liu et al., 2013). Çalışma sonuçlarındaki farklılıklar, meşcere gelişme çağı veya yaşı ile orman ekosisteminin ölü örtü ve karbon stoku arasındaki ilişkilerin, ağaç türüne ve yetiştirme ortamı şartlarıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir (Sarıyıldız et al., 2015; Jia et al., 2017).

Bu ilişkileri, Türkiye'nin en geniş subasar alanına sahip Bursa Karacabey Subasar ormanlarında nasıl gerçekleştiğini anlamak amaçlı, tarafımızdan TÜBİTAK destekli (1001 projesi, proje no: 121O702) bir proje gerçekleştirmiştir. Proje kapsamında Karacabey Subasar ormanlarının iki asli türü, dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) ve kızılgağaç (*Alnus glutinosa* L.) saf meşcerelerinde çalışılmış ve birçok veri elde edilmiştir. Bu çalışmada, sulak (suyun yüzeyde uzun dönem kaldığı) ve karasal (suyun yüzeyde kısa dönem kaldığı) ortamda yayılış gösteren iki farklı gelişim çağındaki (Kzc3 ve Kzd3) kızılgağaç meşcerelerinin ölü örtü ve toprak organik karbon ile makro (N, P, K, Ca, Mg ve S) ve mikro (Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Cl, Ni ve Co) besin stoklarına ait bulguların sunulması ve konu ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma alanının tanımı

Türkiye'nin en geniş subasar alanına (3800 ha) (Akay ve ark., 2017) sahip Bursa Karacabey Subasar ormanlarında, dişbudaktan (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) sonra doğal ve saf meşcereler gösteren ikinci ağaç türü kızılgağaçtır (*Alnus glutinosa* L.). Çalışma, kızılgağacın c (Kzc3) ve d (Kzd3) gelişim çağındaki meşcerelerinde gerçekleştirilmiştir.

Bölge, Akdeniz iklimi ile Karadeniz ikliminin kesiştiği alanda yer almakta olup, her iki iklim türünün özelliklerini yıl içinde yansıtmaktadır. Karacabey Meteoroloji İstasyonunun (yükseletisi 15 m) son 19 yıllık (2004-2023) verilerinin Thornthwaite yöntemi sonuçlarına göre çalışma alanı iklim tipi C1 B'2 s b'3: yarı nemli-yarı kurak, orta sıcaklıkta (Mezotermal), su fazlası kış mevsiminde ve orta derecede olan, okyanus iklimine yakındır. Çalışma alanına düşen yıllık yağış miktarı 577,6 mm'dir. Yağışın en düşük olduğu ay ağustos ayıdır (7,40 mm), en yüksek olduğu ay ise ocak ayıdır (81,3 mm). Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 15,4 oC dir. Ortalama sıcaklığın en

düşük olduğu ay ocak (5,8°C), en yüksek olduğu aylar temmuz (25,0°C) ve ağustos (25,3°C) aylarıdır.

Karacabey subasar ormanlarının çoğunluğu, Marmara Denizi ile buluşan Çapraz Çayı'nın batı kısmında kalmaktadır. Çayın denize döküldüğü alanın sağında (Arapçiftliği) ve solunda (Dalyan) iki lagün gölü yer almaktadır. Subasar ormanlar her ne kadar deniz seviyesinde olsa da, arazi yüzeyi düz olmayıp (muhtemelen yıllar içinde alana biriken veya taşınan sediment nedeniyle), kendi içinde tepelik bir yapı göstermektedir. Subasar ormanlarda var olan suyun en önemli kaynakları yağışlar başta olmak üzere, lagün göllerinin ve nehrin taşması, yeraltı suları ve deniz suyudur. Bu kaynaklardan beslenen subasar ormanlarında, yılın çoğu aylarında (9-10 ay) suyun toprak yüzeyinde kaldığı alanlar yanında yılın sadece birkaç ayında (2-3 ay) suyun toprak yüzeyinde kaldığı alanları görmek mümkündür. Suyun etkisini daha iyi anlayabilmek amaçlı, çalışma alanları suyun toprak yüzeyinde uzun dönem bulunduğu alanlardan (sulak ortam) ve kısa süre kaldığı alanlardan (karasal ortam) alınmıştır. Karacabey subasar ormanının bulunduğu bölgede farklı toprak tiplerine (kahverengi orman toprakları, alüvyal, kollüvyal, kıyasal allüvyal ve rendzina) rastlanmaktadır (Sarıyıldız and Tanı, 2023). Çalışmanın gerçekleştirildiği alanlarda hakim toprak tipi allüvyal topraktır.

Sulak ve karasal ortamların her birinde, birbirinden en az 200 m uzaklıkta üçer adet 20 m x 20 m (400 m²) genişliğinde örnekleme alanları alınmıştır. Meşcere gelişim çağ sınıfları da dikkate alınarak toplamda 12 örnek alanda [3 örnekleme alanı x 2 meşcere çağ sınıfı (Kzc3 x Kzd3) x 2 farklı çalışma alanı (sulak ve karasal ortam) = 12 adet örnekleme alanı] çalışma gerçekleştirilmiştir.

2.2 Meşcere özelliklerinin belirlenmesi

Örnekleme alanı içinde yer alan ağaçların çapları kumpas yardımıyla göğüs yüksekliğinden (d1,30 m) ölçülmüştür. Örnekleme alanında meşcereyi temsil edebilecek üç ağacın boyları dijital boy ölçer yardımıyla, yaşları ise artım burgusu kullanılarak yapılmış ve ölçümlerin ortalaması olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı meşcere kapalılığının belirlenmesinde meşcere haritasından yararlanılmış olup, ayrıca arazide ağaçların toprak yüzeyini örtme durumları incelenerek teyit edilmiştir.

2.3 Ölü örtünün belirlenmesi

Her bir örnekleme alanında rastgele noktalarda oluşturulan 50 cm x 50 cm büyüklüğünde beş örnekleme ünitesinden mineral toprak üzerindeki ölü örtü yaprak, çürüntü ve humus tabakaları (L + F + H) belirgin sınırlar oluşturmadığı için tamamı birlikte ölü örtü olarak alınmıştır. Alınan örnekler plastik poşetlere konularak laboratuvara getirilmiştir.

Laboratuvara getirilen ölü örtü örnekleri etüvlerde 65°C sıcaklıkta sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuştur. Örneklerin yaş ve kuru ağırlıkları arasındaki farktan elde edilen nem değerleri kullanılarak ölü örtü kuru ağırlığı belirlenmiş ve sonrasında miktarları hektara çevirme katsayısı (25) ile çarpılarak t/ha olarak miktarları hesaplanmıştır. Sonrasında, ölü örtü örneklerinin bir kısmı öğütülmüş ve kimyasal analize hazır

hale getirilmiştir. Öğütülen örnekler, poşetlere konularak analize kadar buzdolabında muhafaza altına alınmıştır.

2.4 Toprak örneklerinin alınması

Her bir örnekleme alanında bir adet toprak çukuru açılmıştır. Açılan toprak çukurlarından örnekleme beş farklı toprak derinlik kademesinden (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-60 cm, 60-100 cm) yapılmıştır. Toprak derinlik kademeleri de dikkate alındığında toplamda 60 adet toprak örneği (2 ortam x 2 gelişme çağı x 3 tekrar alan x 5 derinlik kademesi =60 adet) alınmıştır.

Her derinlik kademesinin ortasından çelik silindir ile doğal yapısı bozulmamış toprak örneği alınmıştır. Silindirler istenilen derinliğe kadar çakıldıktan sonra kenarları ve tabanı keskin bir bıçakla fazlalıklardan temizlenmiş ve polietilen torbalara yerleştirilmiştir. Laboratuvara getirilen doğal yapısı bozulmamış toprak örneklerinin hacim ağırlığı, kurutma fırınında 105°C'de 24 saat kurutulup hassas terazide tartıldıktan sonra hesaplanmıştır.

Toprak ve ölü örtünün toplam organik C ve N miktarı yakma yöntemi ile Bursa Teknik Üniversitesi Merkez laboratuvarında Eurovector EA3000-Single CNH-S elementer analiz cihazında tayin edilmiştir. Toprak ve ölü örtü örneklerinin (ayrışmanın son aşamasında toprak ile karışmış örnekler) makro ve mikro besin miktarı Spectro markalı Xepos II modeli olan XRF (X-Işını Floresans Spektrometresi) yardımıyla belirlenmiştir.

Topraktaki organik karbon (TOK), makro ve mikro besin stoku ise aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır (Lee et al., 2009):

TOK-stoğu ya da besin-stoğu: %TOK veya besin x Mi (t ha⁻¹), Bu formülde verilen Mi, i inci toprak derinliğinde kuru toprağın kütlesini ifade etmekte olup, miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$Mi: BDi \times Ti \times 10^4$$

Bu formülde BDi, i toprak derinliğindeki toprak hacim ağırlığını (Kg m⁻³), Ti ise i toprak derinliğindeki toprak kalınlığını (m), 10⁴ birim değişim faktörünü (m² ha⁻¹) ifade etmektedir.

2.5 İstatistiksel Analiz

Çalışmada örnekleme alanlarının ölü örtü ve topraklarının, karbon ve besin maddesi konsantrasyonu ve stoku bakımından meşcere gelişim çağları (c ve d) ve yetiştirme ortamı (sulak ve karasal ortam) arasındaki farklılıklar tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Varyans analizi sonucunda anlamlı farklılıklar bulunması durumunda, ortalamaların karşılaştırılması Duncan testi ile yapılmıştır. Verilere varyans analizi uygulanmadan önce normalite testi uygulanarak, Kolmogorov-Smirnov'a göre değerlendirme yapılmıştır. Veriler normal dağılım göstermediğinde, karekök, logaritmik veya ters dönüşüm yöntemlerinden biri kullanılmıştır. Buna rağmen veriler normal dağılım göstermediğinde Kruskal Wallis analizi ile denetlenmiştir. Kruskal Wallis testi ile farkların önemli bulunması halinde MannWhitney U testi ile işlem grupları ikili olarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar $\alpha=0,05$ olasılık düzeyinde istatistiksel olarak farklı kabul edilmiştir. İstatistik işlemler SPSS istatistik paket programı (IBM SPSS 20.0) kullanılarak bilgisayar ortamında yapılmıştır.

3. Bulgular

3.1 Çalışma alanı meşcere özellikleri

Çalışma alanındaki sulak ve karasal ortamda yetişen kızılgağaç Kzc3 ve Kzd3 gelişme çağındaki meşcerelerinin bazı özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Sulak ortamda, örnekleme alanlarındaki kızılgağaç ağaçlarının ortalama yaşları Kzc3 ve Kzd3 gelişme çağı için sırasıyla 49 ile 57 yıl, boyları 26,8 m ile 29,7 m ve çapları 26,2 cm ile 46,2 cm arasında belirlenirken, karasal ortamda, ortalama yaşları 43 ile 52 yıl, boyları 29,4 ile 32,2 m ve çapları 24,2 ile 39,4 cm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 1. Sulak ve karasal ortamda, c ve d çağındaki kızılgağaçta alınan örnekleme alanlarındaki örnek ağaçların ortalama çap, boy, yaş ve kapalılık değerleri

Yetiştirme Ortamı	Meşcere Tipi	Çap (1,3 m) Ort. ± S.S.	Boy (m) Ort.±S.S.	Yaş (Yıl) Ort.±S.S.	Tepe Kapalılığı
Sulak	Kzc3	26,2±1,56	26,8±1,51	49±3,12	Kapalı ve Tam kapalı
	Kzd3	46,2±2,67	29,7±1,07	57±1,21	3 (%71 - %100)
Karasal	Kzc3	24,2±0,56	29,4±2,11	43±1,12	Kapalı ve Tam kapalı
	Kzd3	39,4±1,17	32,2±2,47	52±3,33	3 (%71 - %100)

Ort: Ortalama, S.S: Standart sapma

3.2 Ölü örtü miktarı

Örnekleme alanlarında ölü örtü miktarının (yaprak, dal, tohum, kabuk ve diğer kısımlara) ortalaması sulak ortamda Kzc3 meşcereleri için 7780 kg/ha, Kzd3 meşcereleri için 5770 kg/ha iken, karasal ortamda bu değerler daha düşük olarak sırasıyla 4850 kg/ha ve 3490 kg/ha olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Meşcere gelişme çağı birlikte değerlendirildiğinde, sulak ortamda yetişen kızılgağaç meşcerelerinde ortalama ölü örtü miktarı 6780 kg/ha iken, karasal ortamda bu değer 4170 kg/ha olarak hesaplanmıştır. Genel olarak, hem sulak hem de karasal ortamda yıllık döküntü miktarının Kzc3 meşcerelerinde Kzd3 meşcerelerine göre daha yüksek değer gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Sulak ve karasal ortamda, Kzc3 ve Kzd3 meşcere çağındaki kızılgağaç meşcerelerinin ortalama ölü örtü miktarı (kg/ha)

Yetiştirme Ortamı	Meşcere Tipi	Ölü örtü miktarı (kg/ha) Ort.±S.S.
Sulak	Kzc3	7780d ± 420
	Kzd3	5770c ± 175
	Ortalama	6780 ± 292
Karasal	Kzc3	4850b ± 176
	Kzd3	3490a ± 30
	Ortalama	4170 ± 151

Sütunlardaki aynı küçük harfler, ölü örtü miktarının meşcere tipleri arasında fark bulunmadığını (P>0,05) göstermektedir. Farklı harfler ise ortalama değerler itibarıyla istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ifade etmektedir. Ort: Ortalama, S.S: Standart Sapma, Min: Minimum, Mak: Maksimum

3.3. Ölü örtü makro ve mikro besin konsantrasyonu

Sulak ve karasal ortamda yetişen kızılgağaç Kzc3 ve Kzd3 meşcerelerindeki ölü örtünün içerdiği karbon ve makro besin

konsantrasyonu Çizelge 3, mikro besin konsantrasyonu ise Çizelge 4’te verilmiştir. Sulak ortamdaki kızılgağaç ölü örtüsünün ortalama C (%44,7), N (%1,46), Ca (%3,58), Mg (%0,653), P (%0,109), K (%0,364) ve S (%0,250) konsantrasyonu karasal ortamdaki ortalama C (%46,7), N (%3,08), Ca (%3,82), Mg (%0,790), P (%0,205), K (%0,717) ve S (%0,362) konsantrasyonundan daha düşük bulunmuştur. Sulak ve karasal ortamda Kzd3 meşcerelerinin ölü örtüsünde, azot hariç, karbon ve makro besin konsantrasyonu Kzc3 meşcerelerine göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. Sulak ve karasal ortamda, Kzc3 ve Kzd3 meşcere çağındaki kızılgağaç meşcerelerinin ölü örtü karbon ve makro besin elementi konsantrasyonu (%)

Yetiştirme Ortamı	Meşcere Tipi	C	N	Ca	Mg	P	K	S
Sulak	Kzc3	44,2a	2,76b	3,22a	0,546a	0,101a	0,369a	0,246a
	Kzd3	45,2b	2,27a	3,94b	0,761b	0,136b	0,398a	0,285b
	Ortalama	44,7	2,51	3,58	0,653	0,119	0,384	0,265
Karasal	Kzc3	45,7b	3,39c	3,49a	0,745b	0,135b	0,484b	0,319b
	Kzd3	47,6c	2,97b	3,85b	0,936c	0,175c	0,551c	0,355c
	Ortalama	46,7	3,18	3,67	0,840	0,155	0,517	0,337

Sütunlardaki aynı küçük harfler, karbon ve makro besin elementi konsantrasyonlarının meşcere tipleri arasında fark bulunmadığını (P>0,05) göstermektedir. Farklı harfler ise ortalama değerler itibarıyla istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ifade etmektedir.

Makro besin elementlerinden farklı olarak, sulak ortamdaki kızılgağaç ölü örtüsünün Fe ve Mn haricindeki mikro besin konsantrasyonu karasal ortamdakinden daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4). Ortalama Na konsantrasyonu 3766 ppm, Cu 130 ppm, Zn 139 ppm, Cl 1421 ppm, Ni 75 ppm ve Co 12,9 ppm iken, karasal ortamda bu değerler sırasıyla, 3350, 26, 108, 2005, 27 ve 8,2 olarak daha düşük belirlenmiştir. Sulak ortamdaki ölü örtüde Fe ve Mn konsantrasyonu sırasıyla 4220 ve 214 ppm iken, karasal ortama bu değerler sırasıyla 4822 ve 668 ppm olarak bulunmuştur. Sulak ortamda Cu ve Ni haricinde diğer mikro besin elementleri Kzd3 meşcerelerindeki ölü örtüde daha yüksek olma yönünde olurken, karasal ortamda Kzd3 meşcerelerindeki ölü örtüde sadece Zn hariç, diğer mikro besin konsantrasyonları Kzc3 meşcerelerine göre daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 4. Sulak ve karasal ortamda, Kzc3 ve Kzd3 meşcere çağındaki kızılgağaç meşcerelerinin ölü örtü mikro besin elementi konsantrasyonu (ppm)

Yetiştirme Ortamı	Meşcere Tipi	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Cl	Ni	Co
Sulak	Kzc3	3564a	125a	3456b	135b	115a	1325a	125b	12,4b
	Kzd3	4876bc	303b	4075c	125b	163b	1516b	25a	13,3b
	Ortalama	4220	214	3766	130	139	1421	75	12,9
Karasal	Kzc3	4578b	547c	3120a	22a	113a	1879c	25a	6,8a
	Kzd3	5065c	788d	3580b	29a	103a	2131d	29a	9,5a
	Ortalama	4822	668	3350	26	108	2005	27	8,2

3.4. Ölü örtü makro ve mikro besin stoku

Sulak ve karasal ortamda yetişen kızılgağaç Kzc3 ve Kzd3 meşcerelerindeki ölü örtünün içerdiği karbon ve makro besin stoku Çizelge 5, mikro besin stoku ise Çizelge 6’da verilmiştir. Sulak ortamdaki kızılgağacın ölü örtüsünün karbon ve makro besin stoku değerleri karasal ortama göre daha yüksek

bulunmuştur (Çizelge 5). Her iki yetiştirme ortamında da Kzc3 meşcerelerindeki C, N, Ca, K ve S stoku değerleri Kzd3 meşcerelerine göre daha yüksek belirlenirken, Mg ve P stoklarının Kzc3 ve Kzd3 meşcereleri arasında önemli bir değişiklik göstermediği tespit edilmiştir.

Ölü örtü mikro besin elementi stoku, sulak ortamda, Mn hariç, karasal alana göre daha yüksek belirlenmiştir. Sulak ortamında da Kzc3 meşcerelerindeki Na, Cu, Cl, Ni ve Co stoku, Kzd3 meşcerelerine göre daha yüksek iken, Fe ve Mn stoku daha düşük, Zn stoku ise iki meşcere gelişme çağı arasında önemli bir değişiklik göstermemiştir (Çizelge 6). Karasal ortamda ise Kzc3 meşcerelerindeki Fe, Na, Zn, Cl ve Ni stoku daha yüksek iken, Mn, Cu ve Co iki meşcere gelişme çağı arasında önemli bir değişiklik göstermemiştir.

Çizelge 5. Sulak ve karasal ortamda, Kzc3 ve Kzd3 gelişme çağındaki kızılâğaç meşcerelerinin ölü örtü karbon ve makro besin stoku (kg/ha).

Yetiştirme Ortamı	Meşcere Tipi	C	N	Ca	Mg	P	K	S
Sulak	Kzc3	3439d	215d	2501d	425b	79b	287c	191c
	Kzd3	2608c	131b	2273c	439b	78b	230b	165b
	Ortalama	3028	170	2424	443	79	260	180
Karasal	Kzc3	2216b	164c	1690b	361a	65a	235b	155b
	Kzd3	1661a	104a	1342a	326a	61a	192a	124a
	Ortalama	1945	133	1529	350	64	216	140

Sütünlardaki aynı küçük harfler, karbon ve makro besin stoklarının meşcere tipleri arasında fark bulunmadığını (P>0,05) göstermektedir. Farklı harfler ise ortalama değerler itibarıyla istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ifade etmektedir.

Çizelge 6. Sulak ve karasal ortamda, Kzc3 ve Kzd3 gelişme çağındaki kızılâğaç meşcerelerinin ölü örtü mikro besin stoku (kg/ha)

Yetiştirme Ortamı	Meşcere Tipi	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Cl	Ni	Co
Sulak	Kzc3	27,7c	0,97a	26,8d	1,05c	0,90b	10,3c	0,98c	0,10b
	Kzd3	28,1c	1,75b	23,5c	0,72b	0,94b	8,7ab	0,14b	0,08b
	Ortalama	28,6	1,45	25,5	0,88	0,94	9,6	0,51	0,09
Karasal	Kzc3	22,2b	2,65c	15,1b	0,10a	0,55a	9,1bc	0,12ab	0,03a
	Kzd3	17,7a	2,75c	12,5a	0,10a	0,36a	7,4a	0,10a	0,03a
	Ortalama	20,1	2,79	14,0	0,11	0,45	8,4	0,11	0,03

Sütünlardaki aynı küçük harfler, mikro besin stoklarının meşcere tipleri arasında fark bulunmadığını (P>0,05) göstermektedir.

3.5. Toprak karbon ve makro besin konsantrasyonu

Çalışmada sulak ortamda Kzc3 meşcerelerinde toprak karbon konsantrasyonu ortalama %4,66 belirlenirken, Kzd3 meşcerelerinde %4,24 olarak belirlenmiştir (Çizelge 7). Karasal ortamda Kzc3 meşcerelerinde toprak karbon konsantrasyonu %3,14, Kzd3 meşcerelerinde bu değer %4,24 bulunmuştur.

Sulak ortamda Kzc3 meşcerelerinde toprak N, Ca, Mg, P, K ve S konsantrasyonları sırasıyla %0,35; 1,16; 1,71; 0,07, 0,77 ve 0,06 olarak belirlenirken, Kzd3 meşcere topraklarında bu değer sırasıyla %0,62; 1,10; 1,94; 0,11, 0,92 ve 0,09 olarak belirlenmiştir. Karasal ortamda Kzc3 meşcerelerinde toprak N, Ca, Mg, P, K ve S konsantrasyonları sırasıyla %0,26; 0,96; 1,41; 0,07, 0,63 ve 0,06 olarak belirlenirken, Kzd3 meşcere topraklarında bu değer sırasıyla %0,39; 1,09; 1,61; 0,08, 0,79 ve 0,07 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7. Sulak ve karasal ortamda, Kzc3 ve Kzd3 meşcere gelişme çağındaki kızılâğaçta toprak karbon ve makro besin elementi konsantrasyonu (%)

Yetiştirme Ortamı	Meşcere Tipi	Toprak Derinliği (cm)	C	N	Ca	Mg	P	K	S
Sulak	Kzc3	0-10	7,26b	0,50a	1,70b	2,27a	0,12a	1,19ab	0,08a
		10-20	6,55b	0,50b	1,23b	2,07b	0,09a	0,93bc	0,07a
		20-30	5,68b	0,44b	1,12a	1,78b	0,07b	0,74b	0,06a
		30-60	2,55b	0,22b	0,98b	1,32b	0,04b	0,58ab	0,05b
		60-100	1,24b	0,11a	0,77b	1,12bc	0,03a	0,41b	0,04b
		0-100	4,66a	0,35b	1,16a	1,71bc	0,07a	0,77b	0,06ab
	Kzd3	0-10	6,78a	0,80b	1,63b	2,52b	0,14a	1,15a	0,15c
		10-20	5,47a	0,75c	1,31b	2,23b	0,12a	1,11c	0,12b
		20-30	4,67b	0,95c	1,03a	1,95c	0,10b	0,91b	0,07a
		30-60	2,79b	0,35c	0,87b	1,64b	0,10c	0,78c	0,07b
		60-100	1,47b	0,24b	0,64b	1,36c	0,06b	0,64c	0,04b
		0-100	4,24a	0,62c	1,10a	1,94c	0,11b	0,92c	0,09c
Karasal	Kzc3	0-10	6,89a	0,57a	1,33a	1,98a	0,13a	0,95ab	0,10b
		10-20	5,12a	0,36a	1,13a	1,66a	0,12a	0,83a	0,08a
		20-30	2,15a	0,22a	0,93a	1,43a	0,04a	0,54a	0,07a
		30-60	1,02a	0,10a	0,76a	1,10a	0,02a	0,55a	0,03a
		60-100	0,51a	0,04a	0,65b	0,87a	0,01a	0,31a	0,02a
		0-100	3,14a	0,26a	0,96a	1,41a	0,07a	0,63a	0,06a
	Kzd3	0-10	8,78b	0,75b	1,86b	2,16a	0,15a	1,24b	0,11b
		10-20	7,26b	0,59b	1,31b	1,77a	0,12a	0,78a	0,09a
		20-30	3,14a	0,36b	1,12a	1,75b	0,09b	0,82b	0,07a
		30-60	1,45a	0,16a	0,74a	1,22a	0,05b	0,64bc	0,06b
		60-100	0,55a	0,08a	0,41a	1,16b	0,02a	0,46b	0,03a
		0-100	4,24a	0,39b	1,09a	1,61b	0,08a	0,79b	0,07bc

Sütünlardaki aynı küçük harfler, toprak karbon ve makro besin konsantrasyonlarının derinlik kademesine göre meşcere tipleri arasında fark bulunmadığını (P>0,05) göstermektedir. Farklı harfler ise ortalama değerler itibarıyla istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ifade etmektedir.

Sulak ortamda Kzc3 meşcerelerinde toprak Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Cl, Ni ve Co konsantrasyonları sırasıyla %2,32; 0,023; 1,81; 0,0058, 0,0097, 0,028, 0,012 ve 0,010 olarak belirlenirken, Kzd3 meşcere topraklarında bu değer sırasıyla %2,74; 0,031; 1,94; 0,0074, 0,0134, 0,044, 0,015 ve 0,014 olarak belirlenmiştir (Çizelge 8). Karasal ortamda Kzc3 meşcerelerinde toprak Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Cl, Ni ve Co konsantrasyonları sırasıyla %1,27; 0,015; 1,57; 0,0039, 0,0082, 0,0228, 0,0091 ve 0,0074 olarak belirlenirken Kzd3 meşcere topraklarında bu değer sırasıyla %1,74; 0,024; 1,82; 0,0053, 0,0103, 0,0345, 0,0123 ve 0,0120 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 8. Sulak ve Karasal Ortamda, Kzc3 ve Kzd3 meşcere gelişme çağındaki kızılâğaçta toprak mikro besin elementi konsantrasyonu (%)

Yetiştirme Ortamı	Meşcere Tipi	Toprak Derinliği (cm)	Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Cl	Ni	Co
Subsuar ortam	Kzc3	0-10	2,78b	0,032b	2,36b	0,0088b	0,0143b	0,037a	0,016a	0,014a
		10-20	2,55b	0,029b	2,12a	0,0067b	0,0121a	0,032a	0,011a	0,012a
		20-30	2,31b	0,022b	1,78bc	0,0048a	0,0102a	0,026a	0,010b	0,008a
		30-60	2,11b	0,019b	1,67b	0,0057bc	0,0098b	0,026c	0,008b	0,007b
		60-100	1,87c	0,011b	1,14b	0,0032a	0,0023a	0,018a	0,016a	0,005a
		0-100	2,32c	0,023b	1,81b	0,0058b	0,0097a	0,028a	0,012b	0,010b
	Kzd3	0-10	3,78c	0,044c	2,34b	0,0099b	0,0184c	0,067b	0,022b	0,018b
		10-20	3,11c	0,038c	2,18a	0,0081b	0,0164c	0,048b	0,015b	0,015b
		20-30	2,55b	0,029b	1,89c	0,0065b	0,0194c	0,032b	0,013b	0,013b
		30-60	2,26b	0,025c	1,76b	0,0069c	0,0094b	0,003a	0,012b	0,012b
		60-100	1,98c	0,018c	1,54c	0,0055b	0,0036b	0,067b	0,015a	0,010b
		0-100	2,74c	0,031c	1,94b	0,0074c	0,0134b	0,044b	0,015b	0,014c
Karasal ortam	Kzc3	0-10	1,68a	0,022a	2,12a	0,0067a	0,0112a	0,032a	0,011a	0,013a
		10-20	1,46a	0,023a	1,97a	0,0045a	0,0111a	0,031a	0,008a	0,011a
		20-30	1,31a	0,012a	1,56a	0,0036a	0,0108a	0,022a	0,006a	0,006a
		30-60	1,22a	0,009a	1,42a	0,0027a	0,0058a	0,019b	0,005a	0,004a
		60-100	0,68a	0,007a	0,78a	0,0022a	0,0023a	0,010a	0,016a	0,002a
		0-100	1,27a	0,015a	1,57a	0,0039a	0,0082a	0,023a	0,0091a	0,007a
	Kzd3	0-10	2,78b	0,036c	2,31b	0,0076a	0,0134b	0,047b	0,019b	0,015a
		10-20	2,11b	0,031bc	2,08a	0,0051a	0,0134b	0,034a	0,011a	0,013a
		20-30	1,55a	0,022b	1,69ab	0,0055b	0,0144b	0,031b	0,010b	0,012b
		30-60	1,26a	0,015b	1,67b	0,0049b	0,0067a	0,013b	0,006a	0,010b
		60-100	0,98b	0,018c	1,34c	0,0035a	0,0036b	0,047b	0,015a	0,010b
		0-100	1,74b	0,024b	1,82b	0,0053b	0,0103a	0,035b	0,012b	0,012b

Sütünlardaki aynı küçük harfler, toprak mikro besin konsantrasyonlarının derinlik kademesine göre meşcere tipleri arasında fark bulunmadığını (P>0,05) göstermektedir. Farklı harfler ise ortalama değerler itibarıyla istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ifade etmektedir.

3.7 Toprak karbon ve makro besin stoku

Sulak ortam Kzc3 meşçeresinde toprak organik karbon (TOK) stoku (263,4 t/ha), Kzd3 meşçeresinden (303,4 t/ha) daha düşük bulunmuştur (Şekil 1a). Karasal ortamdaki TOK stoku ise, sulak ortama göre daha azdır. Bununla beraber, karasal ortamda da Kzd3 meşçerelerinin TOK stoku, Kzc3 meşçerelerinden daha yüksektir. Karasal ortam Kzc3 meşçeresinde TOK stoku 176,6 t/ha iken, Kzd3 meşçeresinde 259,7 t/ha olarak tespit edilmiştir.

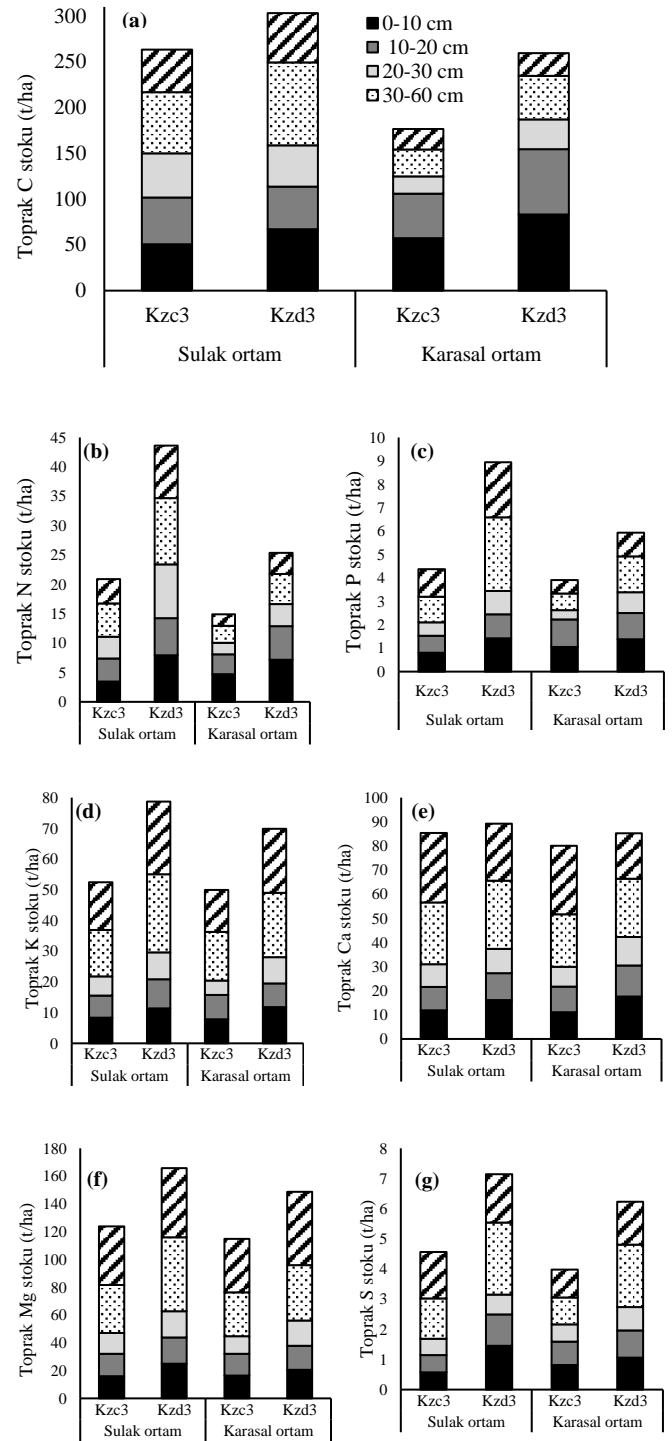
Toprak derinliğine bağlı olarak her iki ortamda da TOK stokunda azalma belirlenmiştir. Sulak ortamdaki Kzc3 ve Kzd3 meşçereleri için belirlenen toplam organik karbonun yaklaşık %55'i mineral toprağın 0-30 cm derinliğinde, %45'u ise mineral toprağın 30-100 cm derinliğinde stoklanmaktadır. Bu oranlar karasal ortamda, %71 üst toprak ve %29 alt toprak olarak hesaplanmıştır.

Sulak ortamdaki toprakların toplam azot (TA) stoku, TOK stokunda olduğu gibi, karasal ortamdaki Kzc3 ve Kzd3 meşçerelerinde Kzc3 meşçerelerinden daha fazladır. Sulak ortam Kzc3 ve Kzd3 meşçerelerinde TA stoku sırasıyla 20,9 ve 43,6 t/ha iken, karasal ortamda bu değerler sırasıyla 14,4 ve 25,3 t/ha olarak bulunmuştur.

Toprak azot stoku da derinliğe bağlı olarak her iki ortamda azalma göstermiştir (Şekil 1b). Sulak ortamdaki Kzc3 ve Kzd3 meşçerelerinde, toplam azotun yaklaşık %54'ü mineral toprağın 0-30 cm derinliğinde, %46'sı ise mineral toprağın 30-100 cm derinliğinde stoklanırken, karasal ortamda bu oranlar sırasıyla %67 ve %33 olarak hesaplanmıştır.

Toprak P, K, Mg, Ca ve S stokları da sulak ortamda ve Kzd3 meşçerelerinde daha yüksek bulunmuştur (Şekil 1c-g). Sulak ortamdaki Kzc3 meşçerelerinde toprak P, K, Mg, Ca ve S stoku sırasıyla 4,38; 52; 124; 85 ve 4,56 t/ha iken Kzd3 meşçerelerinde bu değerler sırasıyla 8,94; 79; 166; 89 ve 7,14 t/ha olarak belirlenmiştir. Karasal ortam Kzc3 meşçereleri değerleri ise sırasıyla 3,91; 50; 115; 80 ve 3,98 t/ha iken Kzd3 meşçerelerinde sırasıyla 5,93; 70; 149; 85 ve 6,22 t/ha olarak tespit edilmiştir.

Toprak C ve N stoklarına tezat olarak, diğer makro besin stoklarına alt toprakların katkı oranları üst topraklardan daha yüksek bulunmuştur. Sulak ortamda alt toprakların katkı yüzdeleri P, K, Mg, Ca ve S için sırasıyla %56, 60, 62, 61 ve 59 iken karasal ortamda alt toprakların katkısı sırasıyla %52, 59, 62, 56 ve 51 olmuştur.



Şekil 1. Sulak ve Karasal Ortamda, c ve d gelişme çağındaki kızılgaç meşçerelerinin toprak karbon ve makro besin stoklarının toprak derinlik kademelerine göre değişimi (t/ha)

3.8 Toprak mikro besin stoku

Toprak mikro besin stokları da sulak ortamda ve Kzd3 meşçerelerinde daha yüksek bulunmuştur (Şekil 2a-h). Sulak ortamdaki Kzc3 meşçerelerinde toprak Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Cl, Ni ve Co stoku sırasıyla 177; 1,48; 129; 0,40; 0,59; 1,99; 1,05 ve 0,62 t/ha iken Kzd3 meşçerelerinde bu değerler sırasıyla 197; 2,08; 147; 0,55; 0,77; 3,61; 1,21 ve 1,03 t/ha olarak belirlenmiştir. Karasal ortam Kzc3 meşçereleri değerleri ise

sırasıyla 87; 0,90; 105; 0,25; 0,47; 1,46; 0,89 ve 0,41 t/ha iken Kzd3 meşcerelerinde sırasıyla 114; 1,68; 135; 0,38; 0,60; 2,88; 1,00 ve 0,92 t/ha olarak tespit edilmiştir.

Mikro besin stoklarına, makro besin stoklarında olduğu gibi (N hariç), alt toprakların katkı oranları üst topraklardan daha yüksek bulunmuştur. Sulak ortamda alt toprakların katkı yüzdeleri Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Cl, Ni ve Co için sırasıyla %66, 60, 66, 65, 51, 68, 72 ve 62 iken karasal ortamda alt toprakların katkısı sırasıyla %60, 57, 64, 61, 51, 64, 75 ve 57 olmuştur.

4. Tartışma

4.1 Ölü örtü miktarı, karbon ve besin stokları

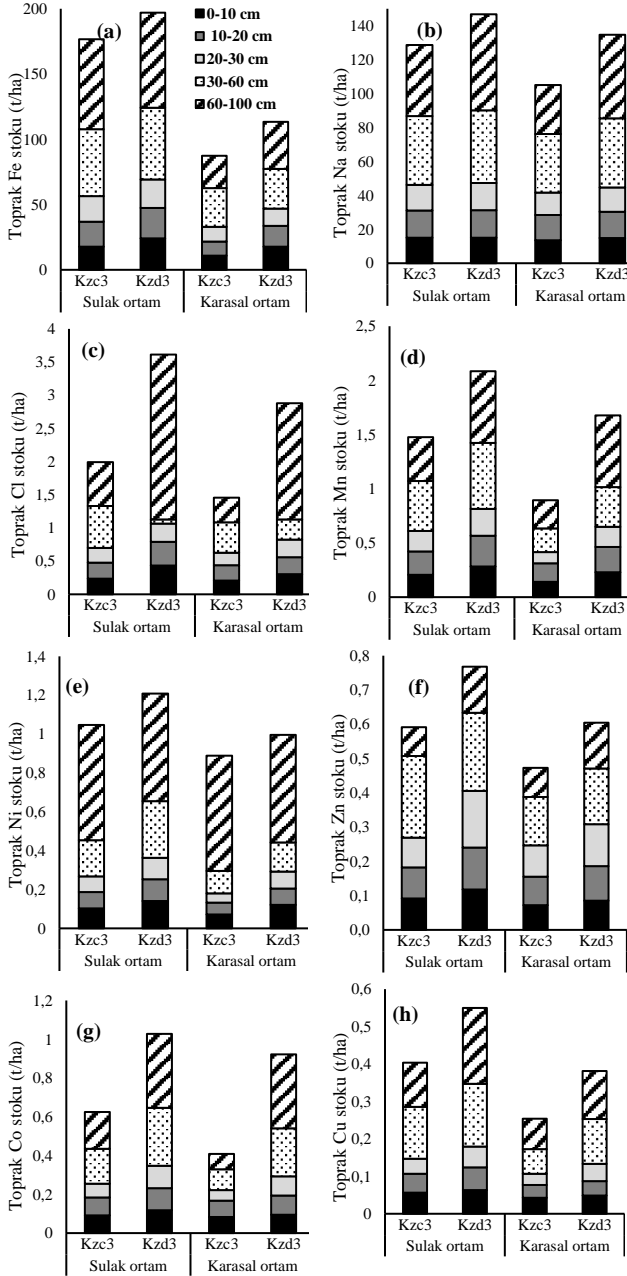
Hem sulak ve hem de karasal ortamdaki kızılgağaç meşcerelerinin ölü örtü miktarına ait bulgular (sırasıyla 6780 kg/ha ve 4170 kg/ha) genel olarak Türkiye’de karasal orman ekosistemlerinin geniş ve iğne yapraklı türleri için bildirilen ortalama değerden (8200 kg/ha) (Tolunay ve Çömez, 2008) daha düşük bulunmuştur. Karasal orman ekosistemlerinden, kızılgağaç için bildirilen ölü örtü miktarına ait bulgularda da ölü örtü miktarının karasal orman ekosistemlerinde, subasar orman ekosistemlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin, Chapman (1986) tarafından İngiltere’de karasal orman ekosisteminde 30 yaşındaki saf kızılgağaç (*Alnus glutinosa* L.) meşcereleri için bildirdiği ölü örtü miktarı 25,8 t/ha’dır. Homann et al. (1992) tarafından Washington, USA, karasal orman ekosisteminde 50 yaşındaki saf kızılgağaç (*Alnus rubra*) meşcereleri için bildirdiği ölü örtü miktarı 79,6 t/ha’dır.

Karacabey subasar ormanlarında dişbudak için belirlenen ölü örtü miktarları da, dişbudakın yetiştiği karasal orman ekosistemleri ile karşılaştırıldığında daha düşük tespit edilmiştir. Hem sulak ve hem de karasal ortamdaki dişbudak meşcerelerinin ölü örtü miktarına ait bulgular sırasıyla 3580 kg/ha ve 1580 kg/ha’dır. Binkley and Valentine (1991) tarafından Connecticut, USA’de karasal orman ekosisteminde 50 yaşındaki saf dişbudak (*Fraxinus pennsylvanica*) meşcereleri için bildirdiği ölü örtü miktarı 24,5 t/ha’dır.

Orman ekosistemlerinde, toprak yüzeyindeki ölü örtü miktarının azlığı veya çokluğu üzerinde rol oynayan iki önemli olaydan birisi döküntü miktarı, ikincisi ise ölü örtü ayrışma süreçleridir. Ölü örtü ayrışması, orman ekosisteminde karbon ve besinlerin salıverilmesinde rol oynayan önemli bir süreç iken, döküntü hem miktar olarak hem de kimyasal kalite (C, N, lignin, selüloz içeriği) olarak ölü örtü ayrışma süreçlerinin hızlanmasında ve yavaşlamasında etkin rol oynamaktadır (Couteaux et al., 1995).

Bu çalışmada, subasar ormanlarındaki ölü örtü miktarının karasal ormanlardan daha düşük bulunması, konu ile ilgili yapılan çalışmalarda (Brinson et al., 1981; Larmola et al., 2006) ifade edildiği üzere, subasar ortamdaki yüksek nem sebebiyle, ölü örtüde kolaylaşan yıkanma ve parçalanmanın yanında subasar ortamdaki su tablasındaki periyodik dalgalanmanın ayrışmayı gerçekleştiren organizmaların aktifliğini artırarak ölü örtü ayrışmasını hızlandırmasına bağlanmıştır. Çalışma alanı subasar ortamındaki ölü örtü ayrışma süreçlerinin, Türkiye karasal orman ekosistemi ölü örtü ayrışma süreçlerinden, daha hızlı olduğu, bu bölgede Tübitak 1001 projesi kapsamında tarafımızca yürütülen ölü örtü ayrışma deneyi sonuçlarıyla da teyit edilmiştir (henüz yayınlanmamış). Homann et al., (1992) da karasal orman ekosisteminde 50 yaşındaki saf kızılgağaç (*Alnus rubra*) meşcerelerinin yüksek ölü örtü miktarının yıllık döküntü miktarının fazlalığı yanında ayrışmanın düşük olmasına bağlamışlardır.

Karasal orman ekosistemlerine göre, subasar ormanlarda, ayrışma süreçlerinin daha hızlı meydana gelmesi sonucunda, ölü örtü miktarının daha az olmasına yönelik bulgular, literatürdeki sonuçları destekler yönde olmakla beraber, subasar ormanlarda ayrışma süreçlerinin ve ölü örtü miktarının tüm alanda aynı olmadığı, meşcere gelişme çağı ile suyun toprak yüzeyinde



Şekil 2. Sulak ve Karasal Ortamda, c ve d Gelişme Çağındaki Kızılgağaç Meşcerelerinin Toprak Mikro Besin Stoklarının Toprak Derinlik Kademelerine Göre Değişimi (t/ha)

kalış durumuna göre de önemli değişiklikler gösterdiği tespit edilmiştir.

Bulgulara, kızılğaç meşcerelerinin ölü örtü miktarı sulak ortamda (suyun toprak yüzeyinde daha uzun süre kaldığı ortamlar) ve Kzc3 meşcerelerinde, karasal ortama (suyun toprak yüzeyinde kısa süre kaldığı ortamlar) ve Kzd3 meşcerelerine göre daha fazla bulunmuştur. Benzer durum, Karacabey subasar ormanlarındaki dişbudak meşcereleri içinde geçerlidir (yayın aşamasında). Bu durumun iki temel nedenden kaynaklandığı değerlendirilmiştir: (1) Sulak ortam ve Kzc3 meşcerelerindeki döküntü miktarının, karasal ortamdaki ve Kzd3 meşcerelerinden daha fazla olması (Tübitak projesi, henüz yayınlanmamış), (2) çalışma alanı sulak ortamda ölü örtü ayrışmasının, çalışma alanı karasal ortama göre daha yavaş olmasıdır (Tübitak projesi, henüz yayınlanmamış). Suyun toprak yüzeyinde uzun süre kaldığı ortamlarda, çok yüksek nem miktarı nedeniyle, anoksik ve soğuk koşullar altında ölü örtü ayrıştırıcılarının solunumu azaldığı ve ölü örtü ayrışmasının engellendiği bildirilmiştir (Torremorell and Gantes, 2010; Fonseca et al., 2013).

Ölü örtü ayrışmasının daha hızlı gerçekleştiği subasar orman ekosistemlerinde, karasal orman ekosistemlere göre daha düşük ölü örtünün bulunması, ölü örtü karbon ve besin maddesi stoklarının karasal orman ekosistemlerine göre daha düşük belirlenmesine neden olabilmektedir. Bulgulara kızılğaç ölü örtüsünün C, N, P, K, Ca, Mg ve S stoku sulak ortamda sırasıyla 3020, 170, 79, 260, 2424, 443 ve 180 kg/ha, karasal ortamda sırasıyla 1945, 133, 64, 216, 1529, 350 ve 140 kg/ha olarak belirlenmiştir. Konu ile ilgili yapılmış geniş yapraklı karasal orman ekosistemlerinin ve ağaç türlerinin ölü örtüsündeki C ve besin stoklarına ait sonuçlar incelendiğinde, örneğin, subasar ormanı kızılğaç meşcerelerinin ölü örtüsünde stokladığı karbon miktarının, Türkiye'nin geniş yapraklı karasal ormanlarının ölü örtüsünün stokladığı ortalama organik karbon miktarıyla (3100 t/ha) (Tolunay ve Çömez, 2008) benzer veya ona yakın olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber, Dünya geneli farklı karasal orman ekosistemlerine ait değerlerle bulgular karşılaştırıldığında, karasal orman ekosistemlerinin yüksek ölü örtü miktarı nedeniyle, subasar ortamı kızılğaç meşcerelerine ait karbon ve besin stoklarına ait değerler daha düşük bulunmuştur. Örneğin, Foster and Bhatti (2006), boreal iğne yapraklı, ılıman geniş yapraklı ve tropikal yağmur ormanlarının ölü örtüsünde stoklanan karbonun sırasıyla 37-113 t/ha, 42-105 t/ha ve 7-72 t/ha arasında değiştiğini bildirmiştir. Cole and Rapp (1981) boreal iğne yapraklı, boreal geniş yapraklı, ılıman iğne yapraklı, ılıman geniş yapraklı ve Akdeniz bölgesi için ölü örtü miktarının içerdiği azotu hektarda kg olarak sırasıyla 617 (ölü örtü miktarı 114 t/ha), 548 (69 t/ha), 681 (75 t/ha), 377 (22 t/ha) ve 515 (52 t/ha) olarak bildirmiştir. Mahendrappa and Kingston (1980) geniş yapraklı ağaç türlerinden çınar, huş ve kavak için ölü örtüsünün (parantez içinde) azot miktarını sırasıyla 902 (ölü örtü miktarı 51 t/ha), 870 (65 t/ha) ve 2518 (139 t/ha) kg/ha olarak bildirmiştir.

Benzer şekilde geniş yapraklı karasal orman ekosistemlerinin ölü örtü mikro besin stoklarında, subasar ormanı kızılğaç meşcerelerinin ölü örtüsünün mikro besin stokundan daha yüksek olduğu görülmektedir. Balboa-Murias et al. (2006) karasal meşe ormanlarındaki ölü örtü miktarını hektarda 79 ton, ölü örtüdeki mikro besin (Fe, Mn, Zn, Cu ve Ni) stoklarını ise sırasıyla 0,65; 0,045; 0,0031; 0,00071 ve 0,00071 t/ha olarak bildirmiştir. Bulgulara kızılğaç ölü

örtüsünün Fe, Mn, Zn, Cu ve Ni stoklarını sulak ortamda sırasıyla 0,029; 0,0015; 0,00094; 0,00088 ve 0,00051 t/ha, karasal ortamda sırasıyla 0,020; 0,0027; 0,00045; 0,00011 ve 0,00011 t/ha olarak belirlenmiştir. Bulgular Balboa-Murias ve ark. (2006) tarafından bildirilen değerlerden daha düşüktür.

4.2 Toprak karbon ve besin stokları

Kara ve deniz arasındaki ara bölgede yer alan ve orman ağaçları başta olmak üzere farklı bitki örtüsüyle kaplı kıyı subasar ormanları, küresel karbon ve besin döngülerinde önemli rol oynayan dinamik ekosistemler olarak ifade edilmektedir (Duarte et al., 2013). Bu ekosistemler atmosferden önemli miktardaki karbondioksiti (CO₂) absorbe etmeleri yanında, bulunduğu çevreden sızarak ya da erozyonla gelen besin maddelerini yakalayan ortamlardır (Sanders et al., 2014; Atwood et al., 2017).

Arazi değişikliğinin Karacabey subasar ormanların toprak organik karbon ve toplam azot stoklarına etkisinin incelendiği çalışmada, Sarıyıldız ve ark. (2022), karbon ve toplam azot stokunu 130 cm toprak derinliği için kızılğaçta sırasıyla 405 ve 34,4 t/ha, dişbudakta 393 ve 26,2 t/ha, meşede 293 ve 28,6 t/ha olarak bildirirken, çevre kızılçam meşcerelerindeki stoklar sırasıyla 161 ve 15,9 t/ha olarak tespit edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri kıtasının kıyı ekosistemlerinin stokladığı organik karbon miktarı üzerine yapılan meta-analizinde, Holmquist ve ark. (2018) sulak alanların ortalama karbon stokunu 100 cm toprak derinliği için 270 t/ha olarak bildirmiştir. Sulak alanlarda toplam azot stoklarına ait çalışmalar oldukça az sayıda olmakla beraber, bölgesel değerlendirmeler üzerine yapılan çalışmalarda subasar alanların yüksek azot stoklarına sahip olduğu bildirilmiştir (Breithaupt et al., 2014; Sanders et al., 2014; Saderne et al., 2020).

Araştırmacılar, sulak alanlardaki azot stoku miktarının belirlenmesinin önemli olduğunu, çünkü azotun kullanılabilir olmasının, kıyı bitki örtüsünün ilksel verimliliğini yükselttiği ve toprağın organik karbon (SOC) depolamasını arttıracak alg büyümesini desteklediğini ifade etmişlerdir (Lovelock et al., 2007; Reddy and DeLaune, 2008). Bununla beraber, fazla besin yüklemenin, organik maddenin mineralizasyonunu arttırdığı ve bu ekosistemlerdeki karbon stoklarını azaltabileceği rapor edilmiştir (Sanders et al., 2014).

Bulgular, Karacabey subasar ormanı kızılğaç topraklarının, sulak veya karasal ortamdaki ortalama organik karbon) stoklarının, (sırasıyla 283 ve 218 t/ha) Türkiye geneli karasal orman ekosistemlerinde bir metre toprak derinliği için geniş yapraklı türlerde stoklanan organik karbon miktarından (ortalama 80,4 t/ha) (Tolunay ve Çömez, 2008) çok daha yüksek olduğunu bir kez daha teyit etmiştir.

Karacabey subasar ormanı kızılğaç topraklarının, sulak veya karasal ortamdaki ortalama azot stokları ise sırasıyla 32,3 ve 19,9 t/ha olarak belirlenmiştir. Geniş yapraklı orman ekosistem topraklarının azot stoklarına yönelik Türkiye orijinli çalışma sonuçları oldukça sınırlı olup, bu çalışmalar arasında Jawed (2017), Kastamonu yöresi kestane ormanlarının toplam azot stokunu 6,10 ile 6,60 t/ha arasında (subasar kızılğaç toplam azot değerlerinden oldukça düşük) değiştiğini bildirmiştir. Kastamonu yöresinde gerçekleştirilen bir çalışmada Sarıyıldız ve Savacı (2023) kayın ve meşe meşcerelerinin stokladığı organik karbon miktarını sırasıyla 57,7 ve 39,7 t/ha,

azot stokunu ise sırasıyla 3,32 ve 2,37 t/ha olarak bildirirken, Tahmaz (2016) aynı bölgede toprak organik karbon ve azot stokunu kayında sırasıyla 67 ve 9,57 t/ha olarak bildirmiştir.

Uluslararası çalışmalarda da genel olarak karasal orman ekosistemlerinin toprak organik karbon ve azot stoklarının, subasar kızılâğaç organik karbon ve toplam azot stoklarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, Foster and Bhatti (2006), boreal iğne yapraklı, ılıman geniş yapraklı ve tropikal yağmur ormanlarının topraklarında stoklanan organik karbonun sırasıyla ortalama 124 t/ha, 204 t/ha ve 95 t/ha, azotu sırasıyla 1,79 t/ha, 5,73 t/ha ve 12,1 t/ha olarak rapor etmiştir. Hem ulusal hem de uluslararası çalışmalardan görüleceği üzere subasar ormanlarının stokladığı organik karbon ve toplam azot miktarı karasal orman ekosistemlerinden daha fazladır.

Karasal orman ekosistemlerinin toprak makro ve mikro stoklarını ortaya koyan çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır (Foster and Bhatti, 2006; Balboa-Murias et al., 2006; Pang et al., 2020; Sarıyıldız ve Savacı, 2023). Subasar ormanlara yönelik detaylı bir çalışmaya ise rastlanılmamıştır. Karasal orman ekosistemlerindeki değerlerle, subasar orman kızılâğaç meşcerelerinin toprak makro ve mikro besin stokları karşılaştırıldığında, C ve N stoklarında olduğu gibi subasar ormanlarda kızılâğaç meşcerelerinin toprak makro ve mikro besin stokunun daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bulgularda, kızılâğaç topraklarının P, K, Ca, Mg ve S stoku sulak ortamda sırasıyla 6,66, 66, 145, 87 ve 5,85 t/ha iken, karasal ortamda sırasıyla 4,92; 60; 132; 83 ve 5,10 t/ha olarak belirlenirken, Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Cl, Ni ve Co stoklarını subasar ortamda sırasıyla 187; 1,78; 138; 0,48; 0,68; 2,80; 1,13 ve 0,83 t/ha, karasal ortamda sırasıyla 101; 1,29; 120; 0,32; 0,54; 2,18; 0,95 ve 0,67 t/ha olarak belirlenmiştir. Balboa-Murias et al., (2006) meşe topraklarının makro besin P, K, Ca ve Mg stoklarını sırasıyla 0,015; 0,24; 0,10 ve 0,041 t/ha, mikro besin Fe, Mn, Zn, Cu ve Ni stoklarını ise sırasıyla 0,48; 0,019; 0,0015; 0,0018 ve 0,00074 t/ha olarak bildirmiştir. Sarıyıldız ve Savacı (2023) kayın topraklarının P, K ve Ca stokunu sırasıyla 0,181; 2,92 ve 0,67 t/ha, meşe topraklarının P, K ve Ca stokunu sırasıyla 0,115; 1,03 ve 2,41 t/ha olarak bildirmiştir. Kayın topraklarının Fe, Mn ve Zn stokları ise kayın için sırasıyla 40,8; 2,08 ve 0,27 iken meşe topraklarında bu değerler sırasıyla 31,3; 0,99 ve 0,16 olarak aynı çalışmada rapor edilmiştir. Karacabey subasar kızılâğaç meşcerelerinin makro ve mikro besin stokları, Balboa-Murias et al. (2006) ile Sarıyıldız ve Savacı (2023) tarafından karasal ekosistem geniş yapraklı türler (kayın ve meşe) için bildirilen değerlerden daha yüksek bulunmuştur.

Bulgulardan ortaya çıkan diğer bir sonuçta, toprak karbon ve besin stoklarının iki meşcere gelişme çağı (Kzc3 ve Kzd3) arasında önemli farklılıklar göstermesidir. Meşcere gelişme çağındaki artışa bağlı olarak kızılâğaç meşcerelerinin karbon ve besin (makro ve mikro) stoklarında bir artış belirlenmiştir. Genel olarak meşcere gelişimine bağlı olarak kütleinde meydana gelen artışın, meşcerenin toprak karbon ve besin stoklarını artırıcı yönde rol oynadığı çalışmalarda ortaya konulmuştur (Güner ve Özkan, 2019; Novák et al., 2017)

Bulgulardan ortaya çıkan başka bir sonuçta, subasar kızılâğaç meşcerelerinde, toplam organik karbon ve azot stokuna üst toprakların (ilk 30 cm) katkı yüzdesinin, alt topraklardan (30-100 cm) daha fazla, fakat diğer makro ve mikro besin stoklarına katkı yüzdesinin ise daha düşük olmasıdır. Konu ile ilgili birçok çalışma (örneğin, Prusty et al.,

2009; Pang et al., 2020) sonuçlarında da ifade edilen, üst toprakların daha fazla organik karbon ve azot stokuna sahip olması, toprak yüzeyindeki ölü örtüden üst topraklara katılımlarının ve bu kısımdaki mikroorganizma faaliyetlerinin daha aktif olmasına bağlanmıştır (Jobbagy and Jackson, 2000). Ek olarak Kızılâğaçların *Frankia alni* (Woronin) Von Tubeuf olarak isimlendirilen azot bağlayıcı bakterilere sahip olmasının da etkili olduğu bildirilmiştir (Moffat, 2000; Markham, 2008). Subasar ekosistemlerinin, üst topraklarının düşük makro ve mikro besin stoklarına sahip olması, ölü örtü ayrışması veya çevreden sızarak ya da erozyonla gelerek besin maddelerinin toprakta yıkanmasına bağlanmıştır. Yağışların yüksek olduğu nemli iklime sahip alanlarda yıkanma ile topraktan besin maddesi kayıplarının olduğu bildirilmiştir (Havlin et al., 1999; Lehmann and Schroth, 2003).

5. Sonuç

İklim değişikliği ile mücadele potansiyellerine rağmen sulak alan ve subasar orman ekosistemleri insan faaliyetleri (arazi kullanım değişikliği, tarımsal faaliyetler, kirlenme, yanlış yönetim uygulamaları vd.) sonucunda bozulmakta ve yok olmaktadır. Mavi karbon habitatları olarak isimlendirilen bu ekosistemler, yüksek sediment birikimleri ve ayrışmanın karasal orman ekosistemlerine göre hızlı olması nedeniyle karbon ve besin maddeleri için uzun vadeli yutaklar olarak önerilmektedir. Karacabey subasar ormanları saf kızılâğaç meşcerelerinde gerçekleştirilen çalışma bulguları bu öneriyi destekler yönde sonuç göstermiştir. Çalışmaya ait bulgular, aynı zamanda subasar ekosistemlerdeki ölü örtü ve toprak organik karbon ve besin stoklarının meşcere gelişim çağı ve toprak derinliği ile önemli farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bununla beraber, çalışma alanı subasar orman ekosisteminde belirlenen yüksek besin miktarının çevre ekosistemlerdeki (nehir, göl, deniz) canlılara (bitki ve hayvan), subasar ekosistemindeki ağaçların gelişimine, organik maddenin mineralizasyonuna ve karbon stoklarına etkisinin daha detaylı ve uzun dönemli çalışmalarla araştırılması ve takip edilmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma TÜBİTAK 1001 1210702 numaralı Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Akay, A.E., Gencal, B., Taş, İ., 2017. Spatiotemporal change detection using landsat imagery: The case study of Karacabey flooded forest, Bursa, Turkey, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-4/W4., 4th International GeoAdvances Workshop, 14-15 October, Safranbolu, Karabük, Turkey.
- Ashby, S.L., 2002. Assessing water quality functions of wetlands. Water Quality Research Program Technical Notes Collection (ERDC WQTN-AM-13), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. www.wes.army.mil/el/elpubs/wqtncont.html

- Atwood, T.B., Connolly, R.M., Almahasheer, H., Carnell, P.E., Duarte, C.M., Ewers Lewis, C.J., Irigoien, X., Kelleway, J.J., Lavery, P.S., Macreadie, P.I., Serrano, O., Sanders, C.J., Santos, I., Steven, A.D.L., Lovelock, C.E., 2017. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses. *Nature Climate Change*, 7, 523–528.
- Balboa-Murias, M.A., Rojo, A., Álvarez, J.G., Merino, A., 2006. Carbon and nutrient stocks in mature *Quercus robur* L. stands in NW Spain. *Annals of Forest Science*, 63 (5), 557-565. hal-00884009.
- Binkley, D., Valentine, D., 1991. Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine, and Norway spruce in a replicated experiment. *Forest Ecology and Management*, 40, 13-25.
- Bledsoe, R.B., Goodwillie, C., Peralta, A.L., 2020. Long-term nutrient enrichment of an oligotroph-dominated wetland increases bacterial diversity in bulk soils and plant rhizospheres. *mSphere*, 5(3), e00035-20.
- Breithaupt, J.L., Smoak, J.M., Smith, T.J., Sanders, C.J., 2014. Temporal variability of carbon and nutrient burial, sediment accretion, and mass accumulation over the past century in a carbonate platform mangrove forest of the Florida Everglades. *Journal of Geophysical Research. Biogeosciences* 119 (10), 2032–2048.
- Brinson, M.M., Lugo, A.E., Brown, S., 1981. Primary productivity, decomposition and consumer activity in freshwater wetlands. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 12, 123–161.
- Chapman, K., 1986. Interaction between tree species: decomposition and nutrient release from litters. PhD thesis, University of Lancaster, UK.
- Cole, D.W., Rapp, M., 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. Pages 411-450 in D. E. Reichle, ed. *Dynamic properties of forest ecosystems*. Vol. 23. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Couteaux, M.M., Bottner, P., Berg, B., 1995. Litterdecomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology and Evolution*, 10, 63–66.
- Çakır, M., Akburak, S., 2017. Litterfall and nutrients return to soil in pure and mixed stands of oak and beech. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 67(2), 185-200.
- Dangal, S.P., Das, A.K., Paudel, S.K., 2017. Effectiveness of management interventions on forest carbon stock in planted forests in Nepal. *J. Environ. Manage.* 196, 511–517.
- Day, F.P.Jr., 1982. Litter decomposition rates in the seasonally flooded Great Dismal Swamp. *Ecology*, 63, 670-678.
- Duarte, C.M., Losada, I.J., Hendriks, I.E., Mazarrasa, I., Marbà, N., 2013. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, 3, 961–968.
- Foster, N.W., Bhatti, J.S., 2006. Forest Ecosystems: Nutrient cycling, In: *Encyclopedia of soil science*. Eds. Lal, R., Taylor and Francis, New York, USA. pp.718–719.
- Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., Houghton, R.A., Lomax, G., Miteva, D.A., Schlesinger, W.H., Shoch, D., Siikamaki, J.V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R.T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M.R., Herrero, M., Kiesecker, J., Landis, E., Laestadius, L., Leavitt, S.M., Minnemeyer, S., Polasky, S., Potapov, P., Putz, F.E., Sanderman, J., Silvius, M., Wollenberg, E., Fargione, J., 2017. Natural climate solutions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114, 11645–11650.
- Güner, D., Özkan, K., 2019. Türkiye'deki karaçam ağaçlandırma alanlarında besin stoklarının belirlenmesi. *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 6 (2), 192-207.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., 1999. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. 6th ed. Upper Saddle River, N. J.: Prentice Hall.
- Homann, P.S., van Miegroet, H., Cole, D., Wand Wolfe, G.V., 1992. Cation distribution, cycling, and removal from mineral soil in Douglas-fir and red alder forests. *Biogeochemistry*, 16, 121-150.
- Holmquist, J.R., Windham-Myers, L., Bliss, N., Crooks, S., Morris, J.T., Megonigal, J. P., Woodrey, M., 2018. Accuracy and precision of tidal wetland soil carbon mapping in the conterminous United States. *Scientific Reports*, 8(1), 9478.
- Jackson, R.B., Lajtha, K., Crow, S.E., Hugelius, G., Kramer, M.G., Piñeiro, G., 2017. The ecology of soil carbon: pools, vulnerabilities, and biotic and abiotic controls. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48 (1), 419-445.
- Jawed, A.A. 2017. Kestaneenin verimliliğinde toprak ve iklim özelliklerinin kastamonu yöresi için değerlendirilmesi. *Kastamonu Üniversitesi, Fen Bil. Enst. Orman Mühendisliği Anabilim Dalı*.
- Larmola, T., Alm, J., Juutinen, S., Koppisch, D., Augustin, J., Martikainen, P.J., Silvola, J., 2006. Spatial patterns of litter decomposition in the littoral zone of boreal lakes. *Freshwater Biology*, 51, 2252–2264.
- Lee, J., Hopmans, J.W., Rolston, D.E., Baer, S.G., Six, J., 2009. Determining soil carbon stock changes: Simple bulk density corrections fail. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134, 251–256.
- Lehmann, J., Schroth, G., 2003. Nutrient Leaching. In: Schroth, G., Sinclair, F., Eds., *Trees, Crops and Soil Fertility*, CABI Publishing, Wallingford, 151-166.
- Jia, X., Shao, M. A., Zhu, Y., Luo, Y., 2017. Soil moisture decline due to afforestation across the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 546, 113-122.
- Liu, X., Zhang, W., Cao, J., Shen, H., Zeng, X., Yu, Z., Zhao, X., 2013. Carbon storages in plantation ecosystems in sand source areas of North Beijing, China. *PloS one*, 8(12), e82208.
- Lovelock, C.E., Feller, I.C., Ellis, J., Schwarz, A.M., Hancock, N., Nichols, P., Sorrell, B., 2007. Mangrove growth in New Zealand estuaries: the role of nutrient enrichment at sites with contrasting rates of sedimentation. *Oecologia*, 153(3), 633–641.
- Jobby, 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.
- Mahendrappa, M.K., 1980. Relationships between different estimates of mineralizable N in the organic materials under black spruce stands. *Can. J. For. Res.*, 10(4), 527-522.
- Markham, J.H., 2008. Variability of nitrogen fixing *Frankia* on *Alnus* species. *Botany*, 86, 501–510.
- Moffat, A.J., 2000. Effects of inoculation with *Frankia* on the growth and nutrition of alder species and interplanted

- Japanese larch on restored mineral workings. *Forestry*, 73(3), 215-223.
- Novák, J., Dušek, D., Kacálek, D., Slodičák, M., 2017. Analysis of biomass in young Scots pine stands as a basis for sustainable forest management in Czech lowlands. *Journal of Forest Science*, 63(12), 555-561.
- Pang, Y., Tian, J., Zhao, X., Chao, Z., Wang, Y., Zhang, X., et al., 2020. The linkages of plant, litter and soil C: N: P stoichiometry and nutrient stock in different secondary mixed forest types in the Qinling Mountains, China. *Peer J*, 8, e9274.
- Poulter, B., Fluet-Chouinard, E., Hugelius, G., Koven, C., Fatoyinbo, L., Page, S.E., Rosentreter, J.A., Smart, L.S., Taillie, P.J., Thomas, N., Zhang, Z., Wijedasa, L.S., 2021. Chapter 1: A review of global wetland carbon stocks and management challenges. In *wetland carbon and environmental management*. (eds K.W. Krauss, Z. Zhu and C.L. Stagg).
- Prusty, B.A.K., Chandra, R., Azeez, P.A., 2009. Distribution of carbon, nitrogen, phosphorus, and sulfur in the soil in a multiple habitat system in India. *Soil Research*, 47(2), 177-189.
- Reddy, K.R., Patrick Jr., W.H., 1975. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 7, 87-94.
- Reddy, K.R., DeLaune, R.D., 2008. *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*' (CRC Press: Boca Raton).
- Reddy, K.R., DeLaune, R. Craft, C.B., 2010. Nutrients in wetlands: Implications to water quality under changing climatic conditions. Final Report submitted to U. S. Environmental Protection Agency. EPA Contract No. EP-C-09-001.
- Richardson, J.B., Petrenko, C.L., Friedland, A.J., 2017. Base cations and micronutrients in forest soils along three clear-cut chronosequences in the northeastern United States. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 109, 161-179.
- Saderne, V., Cusack, M., Serrano, O., Almahasheer, H., Krishnakumar, P.K., Rabaoui, L., Qurban, M.A., Duarte, C.M., 2020. Role of vegetated coastal ecosystems as nitrogen and phosphorous filters and sinks in the coasts of Saudi Arabia. *Environmental Research Letters*, 15(3), 034058.
- Sanders, C.J., Eyre, B.D., Santos, I.R., Machado, W., Luiz-Silva, W., Smoak, J.M., Breithaupt, J.L., Ketterer, M.E., Sanders, L., Marotta, H., Silva-Filho, E., 2014. Elevated rates of organic carbon, nitrogen, and phosphorus accumulation in a highly impacted mangrove wetland. *Geophysical Research Letters*, 41(7), 2475-2480.
- Sarıyıldız, T., Savacı, G., Kravkaz, I. S., 2015. Effects of tree species, stand age and landuse change on soil carbon and nitrogen stock rates in northwestern Turkey. *iForest*, 9(1), 165-170.
- Sarıyıldız, T., Savacı, G., Parlak, S., Gencal, B., 2022. Uludağ Gökarnı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) meşcerelerinin toprak organik karbon, toplam azot ve besin element konsantrasyonları ve stokları üzerinde bakı ve yükseltinin etkisi. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*. 23(2),159-174.
- Sarıyıldız, T., Savacı, G., 2023. Farklı orman ağaç türleri altındaki toprak özelliklerinin ve besin stoklarının yükselti, bakı ve toprak derinliğine göre değişimi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 25(2), 279-294.
- Sarıyıldız, T., Tanı, M., 2023. Root biomass and root carbon and nitrogen stocks of ash, alder, and oak stands in Karacabey floodplain forest. *Forestist*, 73(1), 97-107.
- Schlesinger, W.H., 1977. Carbon balance in terrestrial detritus. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8, 51-81.
- Seedre, M., Kopáček, J., Janda, P., Bače, R., Svoboda, M., 2015. Carbon pools in a montane old-growth Norway spruce ecosystem in Bohemian forest, effects of stand age and elevation. *Forest Ecol. Manag.*, 346(2), 106-113.
- Tahmaz, C., 2016. Mineral toprakta depolanmış karbon ve azota ağaç türlerinin etkisi. (Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Fen Bil. Enst. Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, 83 pages.
- Tesfay, F., Kibret, K., Gebrekirstos, A., Hadgu, K.M., 2020. Litterfall production and associated carbon and nitrogen flux along exclosure chronosequence at Kewet district, central lowland of Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 9, 11.
- Tolunay, D., Çömez, A., 2008. Türkiye ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*. 22-25 Ekim 2008, Hatay. 750-765.
- Wang, B.R., Zeng, Q.C., An, S.S., Zhang, H.X., Bai, X.J., 2017. C:N:P stoichiometry characteristics of plants-litter-soils in two kind types of natural secondary forest on the Ziwuling region of the Loess Plateau. *Acta Ecol. Sin.*, 37, 5461-5473.
- Zhang, Z., Fluet-Chouinard, E., Jensen, K., McDonald, K., Hugelius, G., Gumbrecht, T., Carroll, M., Prigent, C., Bartsch, A., Poulter, B., 2021. Development of the global dataset of wetland area and dynamics for methane modeling (WAD2M). *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 2001-2023.
- Zhou, X., Dong K., Tang Y., Huang H., Peng G., Wang D., 2023. Research progress on the decomposition process of plant litter in wetlands: A review. *Water*, 15, 18, 3246.