

Ladin Meşcereleri Üst Topraklarında Derinliğe Göre C_{mic} ve N_{mic} 'in Değişimi

Kamil ÇAKIROĞLU^{1*}, Ömer KARA², İlyas BOLAT³

^{1,3}Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 10.11.2022

Kabul: 22.11.2022

Yayın: 15.12.2022

Araştırma Makalesi



Öz – Bu çalışmada saf doğu ladini (*Picea orientalis* L.) ormanı altındaki toprakların özellikle organik C, toplam N, ayrışma oranı (C_{org}/N_{toplam}), mikrobiyal biyokütle C (C_{mic}) ve N (N_{mic}) gibi karakteristiklerinin toprak derinliği ile değişimi araştırılmıştır. Araştırma sahası Trabzon ili Vakfikebir ve Tonya İlçeleri sınırlarında bulunan Fol Deresi Mikro Havzası'nda yer almaktadır. Çalışma alanında alanı temsilen, rastgele 10 adet örnek nokta belirlenmiş ve bu noktalardan farklı iki derinlik kademesinden (0–15 cm ve 15–30 cm derinlik) toprak örnekleme yapılmıştır. Alandan toprakların bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal analizleri için her derinlik kademesinden 10'ar örnek olacak şekilde toplamda 20 adet toprak örneği alınmıştır. Çalışma sonunda toprak derinliğine göre, % kum ve % toz içerikleri istatistiksel olarak birbirinden farklılık ($P < 0,05$) göstermiştir. Benzer olarak organik C, toplam N ve (C_{org}/N_{toplam}) değerlerinin her iki derinlik kademesine göre istatistiksel olarak birbirinden farklı ($P < 0,05$) olduğu ortaya çıkmıştır. Toprakların C_{mic} içerikleri, 0-15 cm derinlik kademesinde $437,40-1315,20 \mu g g^{-1}$ ve 15-30 cm derinlik kademesinde $194,20-578,20 \mu g g^{-1}$ arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Toprakların N_{mic} içerikleri, 0–15 cm derinlik kademesinde ortalama $88,08 \pm 8,08 \mu g g^{-1}$ ve 15–30 cm derinlik kademesinde ortalama $41,17 \pm 4,32 \mu g g^{-1}$ 'dir. Toprakların hem C_{mic} hem de N_{mic} içeriklerinin toprak derinliğine göre istatistiksel farklılık ($P < 0,05$) gösterdiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca toprakların organik C ve toplam N içeriği ile C_{mic} ve N_{mic} arasında pozitif ve anlamlı bir korelasyonun olduğu belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, toprak derinliğine göre değişen toprak özelliklerinin C_{mic} ve N_{mic} içerikleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler – Doğü ladini, karasal ekosistem, mikrobiyal gösterge, toprak organik karbonu, toprak özelliği

Depth-Based Alteration of C_{mic} and N_{mic} in Topsoils under the Spruce Stands

^{1,3}Bartın University, Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Bartın, Türkiye

²Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, Trabzon, Türkiye

Article History

Received: 10.11.2022


Accepted: 22.11.2022


Published: 15.12.2022

Research Article

Abstract – In this study, the variation of characteristics such as organic C, total N, decomposition rate (C_{org}/N_{total}), microbial biomass C (C_{mic}) and N (N_{mic}) of soils under pure oriental spruce (*Picea orientalis* L.) forest with soil depth were investigated. The research area is located in the Fol Stream Micro Basin within the borders of Vakfikebir and Tonya Districts of Trabzon province. In the study area, randomly 10 sample points were determined to represent the area, and soil sampling was conducted from two different depth levels (0–15 cm and 15–30 cm depth) from these points. For some physical, chemical and microbial analyzes of the soils from the area, a total of 20 soil samples were taken, being 10 from each depth level. As a result of the study, according to the soil depth, % sand, and % silt contents showed statistical differences from each other ($P < 0.05$). Similarly, organic C, total N, and (C_{org}/N_{total}) values were found to be statistically different from each other ($P < 0.05$) according to both depth levels. It was determined that the C_{mic} contents of the soils varied between $437.40-1315.20 \mu g g^{-1}$ at the 0–15 cm depth level and $194.20-578.20 \mu g g^{-1}$ at the 15–30 cm depth level. The N_{mic} contents of the soils are on average $88.08 \pm 8.08 \mu g g^{-1}$ at the 0–15 cm depth level and $41.17 \pm 4.32 \mu g g^{-1}$ at the 15–30 cm depth level. It was revealed that the soils' C_{mic} and N_{mic} contents showed statistical differences ($P < 0.05$) according to the soil depth. In addition, it was determined that there was a positive and significant correlation between organic C and total N content of soils and C_{mic} and N_{mic} . The results obtained in the study show that soil properties that change with soil depth affect C_{mic} and N_{mic} contents.

Keywords – *Picea orientalis* L., terrestrial ecosystem, microbial indicator, soil organic carbon, soil characteristic

¹  cakiroglu@bartin.edu.tr

²  okara@ktu.edu.tr

³  ilyasbolat@bartin.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Kamil Çakıroğlu

1. Giriş

Toprak içerisindeki biyolojik faaliyetler, toprağın üst kısmında birkaç cm derinlikten başlayarak 30 cm'ye kadar değişim gösteren üst toprakta yoğunlaşmıştır. Üst topraktaki canlılar toplam toprak hacminin %5 gibi çok küçük bir parçasını oluşturur ve toplam organik maddenin de %10'undan daha düşük bir kısmını meydana getirirler. Toprağın canlı kısmının büyük bir çoğunluğu da toprak mikroorganizmalarından meydana gelmiştir. Mikroorganizmalar toprağın çok küçük bir kısmını oluşturmasına karşılık azot, kükürt ve fosfor döngüleri ile organik artıkların ayrıştırılması işlemlerini gerçekleştiren en önemli canlı grubudur. Bundan dolayı, mikroorganizmalar yerkürenin karbon ve bitki besin elementi döngüsünü sağlayan en önemli grubudur (Pankhurst vd., 1997; Kara vd., 2008; Bolat, 2019).

Büyük bir çoğunluğu mantarlardan ve bakterilerden meydana gelen, bununla birlikte protozoaların, aktinomisetlerin, alglerin ve virüslerin de bu gruba dahil edildiği toprak mikrobiyal biyokütlesi, ayrıştırma, enerji akışı, karbon (C) depolaması ve az miktarda da olsa gaz akışı gibi ekosistem süreçlerini (işlemlerini) düzenleyen çok önemli bir topluluktur. Söz konusu bu topluluk içerisinde mantarlar ve bakteriler hem biyokütle hem de metabolik faaliyetler ile ilgili en yaygın organizmalardır (Anderson ve Domsch, 1973; Parkinson ve Coleman, 1991; Cleveland vd., 2004). Toprak mikrobiyal canlıları, toprak organik maddesinin toplam kütesinin çok küçük bir yüzdesini oluşturmasına rağmen, topraktaki besin maddelerinin hem mineralizasyon yoluyla bir kaynağı hem de immobilizasyon yoluyla deposu olarak önemli etkiler yaptığı düşünülmektedir. Ekosistemdeki çok önemli olan merkezi fonksiyonları nedeniyle, toprak mikrobiyal biyokütlesi ve indeksleri, toprak kalitesini izleme ve değerlendirme programlarına dahil edilmiştir (Singh vd., 1989; Aponte vd., 2010; Bolat, 2011; Bolat ve Öztürk, 2016).

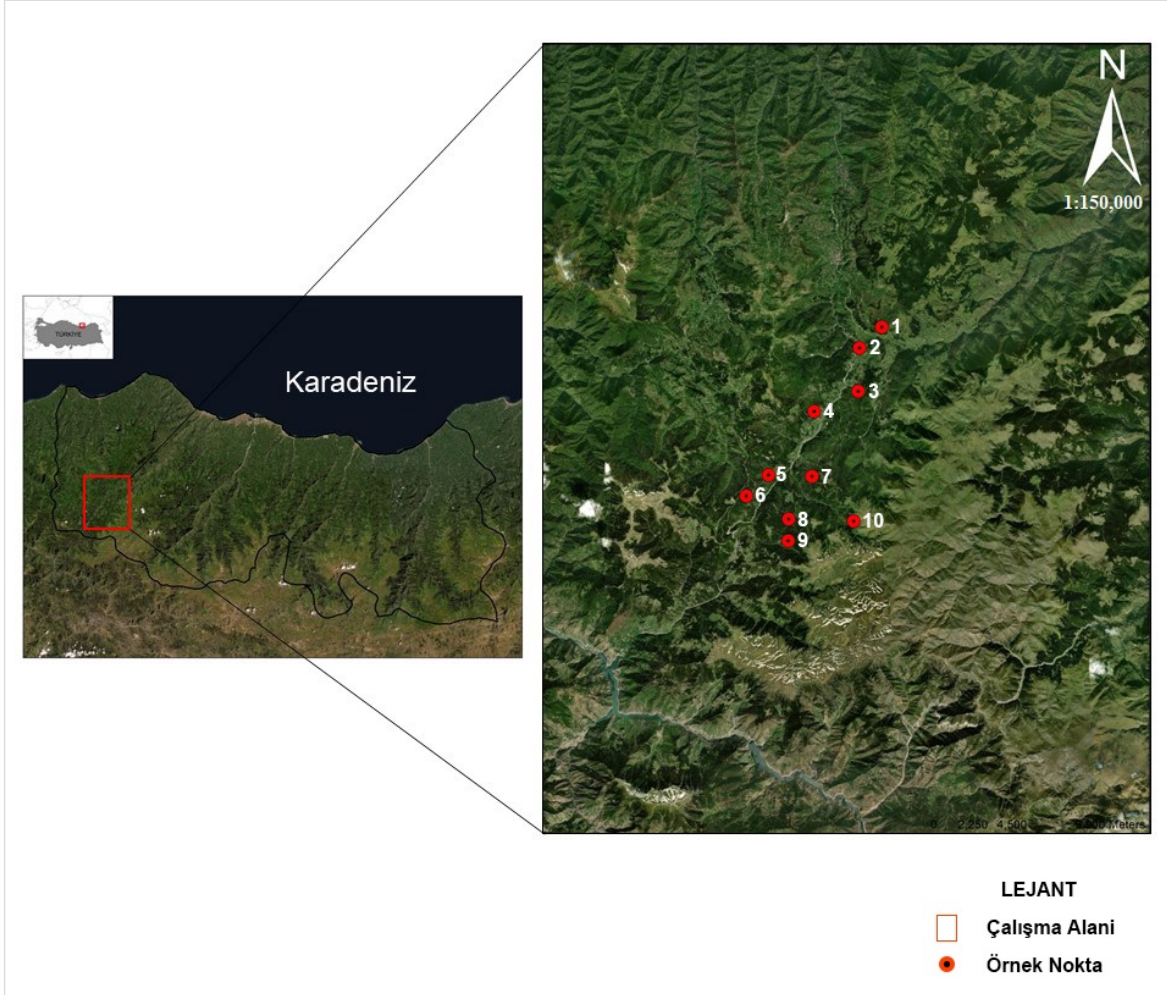
Toprağın özellikle organik C, toplam N, mikrobiyal biyokütle C ve N içerikleri toprak derinliğinin artmasıyla birlikte azalma eğilimi göstermektedir. Çünkü toprak profilinde derinliğin artmasıyla taze ve kolayca parçalanabilen organik madde miktarının azalış göstermesi (1) toprak organik C, (2) toplam N, (3) mikrobiyal biyokütle C ve (4) mikrobiyal biyokütle N içeriğini etkilemektedir (Lavahun vd., 1996; Lopes vd., 2010). Sitka ladini (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) ormanlarında yapılan bir çalışmada toprakların mikrobiyal biyokütle C, 0–8 cm derinlikte 626,6 $\mu\text{g g}^{-1}$; 8–16 cm derinlikte 462,6 $\mu\text{g g}^{-1}$; 16–24 cm derinlikte 387,6 $\mu\text{g g}^{-1}$; 24–32 cm derinlikte 273,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Fang ve Moncrieff 2005). Yapılan başka bir çalışmada toprak mikrobiyal biyokütle C'ü, toprak derinliği ile birlikte azalış göstererek, üst katmanda (0–10 cm), orta katmanda (10–20 cm) ve derin katmanda (20–30 cm) sırasıyla ortalama 252,1; 149,8 ve 124,7 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur (Wen vd., 2014). Bunlara benzer olarak yapılan bir çalışmada ise mikrobiyal biyokütle N içeriği de Mikrobiyal biyokütle C gibi düşüş göstermiştir. Çalışmada N_{mic} içeriği 0–10 cm derinlikte 231 $\mu\text{g g}^{-1}$, 10–20 cm derinlikte 231 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 20–30 cm derinlikte 231 $\mu\text{g g}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir (Burton vd., 2010). Ayrıca daha önce yapılmış birkaç çalışmada, mikrobiyal biyokütlenin toprak derinliği (Ekelund vd., 2001; Taylor vd., 2002; Lopes vd., 2010) ile azaldığı ifade edilirken, bunun nedeni olarak daha derin toprak horizonlarında azalan toprak organik madde içeriği gösterilmiştir (Six vd., 2006; Wen vd., 2014). Diğer ülkelerde bu konu ile ilgili olarak bazı çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, ülkemizde toprak derinliğinin artmasıyla birlikte yukarıda ifade edilen toprak özelliklerinin nasıl bir değişim gösterdiği konusunda yeterli sayıda çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle yapılan çalışmada saf doğu ladini (*Picea orientalis* L.) ormanı altındaki toprakların özellikle pH (reaksiyonu), organik C, toplam N, mikrobiyal biyokütle C ve N gibi karakteristiklerinin toprak derinliğine göre değişimi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma Alanı ve Özellikleri

Araştırma sahası Doğu Karadeniz bölgesi Trabzon ili Vakfıkebir ve Tonya İlçeleri sınırlarında bulunan Fol Deresi Mikro Havzası'nda yer almaktadır. Çalışma alanında saf doğu ladini (*Picea orientalis* L.) yayılış göstermektedir. Alan üzerinde yer yer diri örtü olarak mor çiçekli orman gülü (*Rhododendron ponticum* L.)

ve *Rubus* sp. türleri mevcuttur. Çalışma alanının yükseltisi 1200–1700 m arasında değişmekle birlikte ortalama olarak 1425 m'dir. Güneşli bakılarda yer alan çalışma alanının eğimi %50-70 arasında değişmektedir. Çalışma alanı ve örnek noktalar Şekil-1'de gösterilmiştir. Nemli, düşük sıcaklıkta, su noksanı yok veya çok az olan okyanus iklimine sahip araştırma alanının yıllık ortalama sıcaklığı 6,9 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı 1035.5 mm'dir. Jeolojik yapı olarak çalışma alanında kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı ve volkanit anakayaları mevcuttur.



Şekil 1. Çalışma alanı ve örnek alınan noktaların Türkiye'deki konumu

2.2. Örnekleme Yöntemi ve Laboratuvar Analizleri

Çalışma alanında alanı temsilen, rastgele 10 adet örnek nokta belirlenmiş ve bu noktalardan farklı iki derinlik kademesinde (0–15 cm ve 15–30 cm derinlik) toprak örnekleme yapılmıştır. Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için her derinlik kademesinden (0–15 cm ve 15–30 cm derinlik) 10'ar adet toprak örneği alınarak alanda toplam 20 adet toprak örnekleme yapılmıştır. Bununla birlikte çalışma alanından, toprakların mikrobiyal biyokütle C ve N içeriklerini belirlemek için toprak örnekleri 2 mm'lik elekten elenerek her derinlik kademesinden 10'ar adet olmak üzere toplamda 20 adet toprak örneği alınmıştır. Topraklardan fiziksel ve kimyasal analizlerde kullanılacak örnekler hava kurusu haline gelinceye kadar yaklaşık bir hafta kurutulmuşlardır. Kurutulan toprak örneklerinin hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra porselen havanlarda öğütülen toprak örnekleri fiziksel ve kimyasal analizlere hazır hale getirilmiştir. Mikrobiyal analizlerde kullanılacak toprak örnekleri ise analizler yapılmaya kadar +4 derecede buzdolabında saklanmıştır.

Toprak tekstürünün belirlenmesi Bouyoucos hidrometre silindiri yöntemine göre (Irmak, 1954; Bouyoucos, 1962; Gülçur, 1974), hacim ağırlığı; hacmi bilinen çelik silindirlerle alınan toprak örneklerinin fırın kurusu toprak ağırlıklarının, silindirin hacmine bölünmesiyle (Irmak, 1954; Rowell, 1994), tane yoğunluğu; toprak su yer değiştirme (piknometre yöntemi) esasına göre (Blake, 1965), toprak reaksiyonu (aktüel pH) toprakların 1/2.5 oranında saf su ile ıslatılıp bir gün bekledikten sonra cam elektrotlu pH metre ile elektrometrik olarak bulunmuştur (Irmak, 1954; Gülçur, 1974; Kacar, 1995; Kantarcı, 2000). Toprakların kireç (CaCO_3) içeriği ise Scheibler kalsimetre metoduna göre yapılmıştır (Gülçur, 1974; Kacar, 1995). Toprakların organik karbon miktarları Wackley-Black ıslak yakma yöntemine göre (Irmak, 1954; Gülçur, 1974; Kacar, 1995), toplam azot içeriği ise modifiye edilmiş Kjeldahl yöntemi ile (Bremner ve Mulvaney, 1982; Kacar, 1995) belirlenmiştir. Toprakların mikrobiyal biyokütle C (C_{mic}) ve mikrobiyal biyokütle N (N_{mic}) içerikleri ise kloroform-fumigasyon-ekstraksiyon yöntemiyle bulunmuştur (Brookes vd., 1985; Vance vd., 1987b; Anderson ve Ingram, 1996).

2.3. İstatistiki Analiz

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde SPSS 16.00 paket programı kullanılmıştır. Toprak derinliğine bağlı olarak toprakların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri açısından fark olup olmadığını belirlemek için t testi (Independent samples t testi) yapılmıştır. Mikrobiyal biyokütle C ve mikrobiyal biyokütle N ile toprakların organik C ve toplam N içerikleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine İlişkin Bulgular ve Tartışma

Çalışmanın yapıldığı alana ait toprakların 0–15 cm ve 15–30 cm derinlik kademelerine ilişkin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde görülebileceği üzere toprakların fiziksel özelliklerinden hacim ağırlığı tane yoğunluğu, gözenek hacmi ve kil değerleri derinlik kademeleri (0–15 cm ve 15–30 cm) göre istatistiki olarak farklılık ($P > 0,05$) göstermemiştir. Buna karşılık toprakların kum ve toz içerikleri derinlik kademelerinde istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($P < 0,05$). Toprakların kimyasal özelliklerinden toprak reaksiyonu (pH) ve kireç içeriği değerleri istatistiki olarak farklılık ($P > 0,05$) göstermezken, organik C, toplam N ve ayrışma oranı ($C_{\text{org}}/N_{\text{toplam}}$) değerleri derinlik kademelerine göre birbirinden farklıdır ($P < 0,05$) (Tablo 1).

Tablo 1

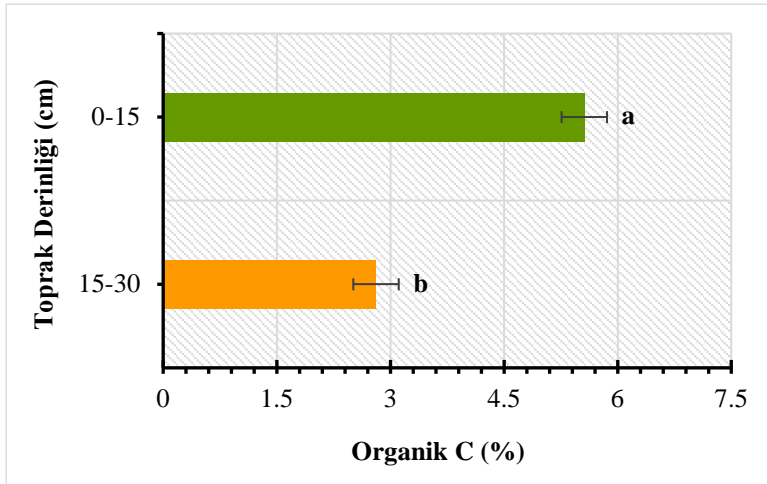
Toprak derinliğine (0-15 cm ve 15-30 cm) ait toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak Özelliği	0-15 cm	15-30 cm
Hacim ağırlığı (g cm^{-3})	1,14 ($\pm 0,04$) ^a	1,23 ($\pm 0,02$) ^a
Tane yoğunluğu (g cm^{-3})	2,54 ($\pm 0,02$) ^a	2,60 ($\pm 0,01$) ^a
Gözenek hacmi (%)	55,05 ($\pm 1,58$) ^a	52,81 ($\pm 0,63$) ^a
Kum (%)	48,64 ($\pm 1,17$) ^a	42,03 ($\pm 0,95$) ^b
Toz (%)	25,02 ($\pm 1,06$) ^a	28,64 ($\pm 0,78$) ^b
Kil	26,34 ($\pm 1,26$) ^a	29,33 ($\pm 1,00$) ^a
Toprak türü	Kumlu killi balçık	Killi balçık
Toprak reaksiyonu (pH; H_2O)	5,06 ($\pm 0,14$) ^a	5,20 ($\pm 0,13$) ^a
Kireç (CaCO_3) (%)	1,06 ($\pm 0,14$) ^a	1,18 ($\pm 0,14$) ^a
Organik C (%)	5,56 ($\pm 0,41$) ^a	2,81 ($\pm 0,20$) ^b
Toplam N (%)	0,26 ($\pm 0,01$) ^a	0,11 ($\pm 0,00$) ^b
Ayrışma oranı ($C_{\text{org}}/N_{\text{toplam}}$)	21,23 ($\pm 0,31$) ^a	25,60 ($\pm 1,34$) ^b

Değerler 10 örneğin ortalamasıdır. Parantez içindeki değerler standart hataları ifade etmektedir. Farklı harfler (a, b) $P < 0.05$ önem düzeyinde ortalamalar arasında fark olduğunu göstermektedir.

0-15 cm derinlik kademesine ilişkin topraklar kumlu killi balçık türünde ve orta derecede asitlik özelliğine sahiptir. Buna karşın 15-30 cm derinlik kademesine ilişkin topraklar killi balçık türünde ve 5,20 pH derecesine sahip olmakla birlikte orta derecede asitlik özelliği göstermektedir. Dolayısıyla incelenen orman toprakları orta derecede asit karakter taşımaktadır. Orman alanında pH'nın düşük olması alan üzerinde yayılış gösteren bitki örtüsü (*Picea orientalis* L. ve *Rhododendron ponticum* L.) ile ilgili olabilir. Nitekim ölü örtünün ayrışıp organik maddeye dönüşmesi sırasında oluşan organik asitlerin toprak tepkimesini düşürdüğü Kantarcı (2000) tarafından ifade edilmektedir. Üstelik yörede yağış miktarının nispeten yüksek olmasından dolayı orman topraklarında yıkanma ile bazik elementler toprağın alt katmanlarına kadar inmiş olabilir.

Toprakların organik karbon içerikleri, 0–15 cm derinlik kademesinde %4,26–8,22 arasında (ortalama $5,56 \pm 0,41$), 15–30 cm derinlik kademesinde %2,08–4,08 arasında (ortalama $2,81 \pm 0,20$) değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Toprak derinliğine göre istatistiksel olarak aralarında önemli bir fark ($P < 0,05$) saptanmıştır (Şekil 2).

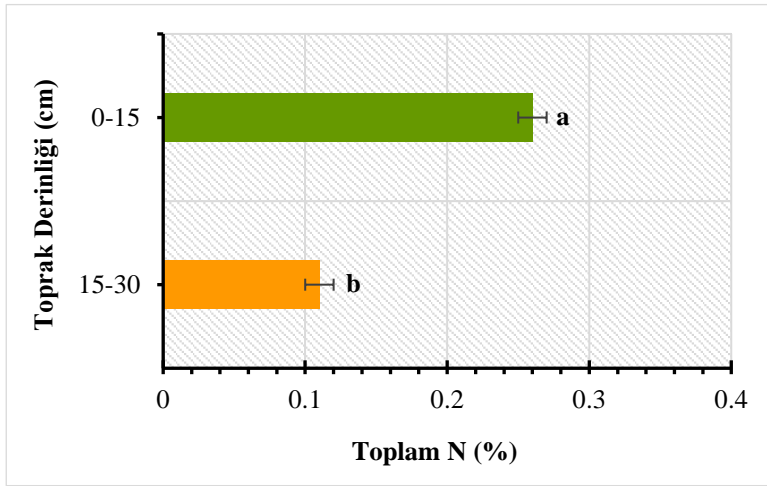


Şekil 2. Toprak derinliği ile toprak organik C'un değişimi. Sütunlar ortalama \pm standart hatayı ifade etmektedir. Farklı harfler $P < 0,05$ önem düzeyinde ortalamalar arasında fark olduğunu göstermektedir.

Bilindiği üzere toprağın organik karbon içeriği çoğunlukla toprağın üstündeki ölü örtünün miktarı ve içeriği ile organik maddenin ayrışma derecesine bağlıdır. Bu bağlamda toprak derinliğinin artmasıyla birlikte toprak organik C'unun azalış göstermesi beklentiler arasındadır. Nitekim Fang ve Moncrieff (2005) tarafından sitka ladini (*Picea sitchensis*) ormanlarında yapılan bir çalışmada organik C'un toprak derinliğinin artmasıyla birlikte azalış gösterdiği bildirilmektedir. Çalışmada organik C, 0–8 cm derinlikte $58,3 \text{ mg g}^{-1}$; 8–16 cm derinlikte $39,3 \text{ mg g}^{-1}$; 16–24 cm derinlikte $43,9 \text{ mg g}^{-1}$; 24–32 cm derinlikte $38,7 \text{ mg g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Karaçam (*Pinus nigra*) ormanlarında yapılan bir çalışmada organik C içeriğinin toprağın alt katmanlarına göre azaldığı bildirilmektedir. Çalışmada organik C'un L+F tabakasında %45,08; 0–10 cm derinlikte %3,29; 10–20 cm derinlikte %2,20; ve 20–30 cm derinlikte %1,44 olarak tespit edilmiştir (Vervaet vd., 2002). Lopes vd. (2010) tarafından doğal orman alanında yapılan çalışmada toprak organik C'u, 0-10 cm toprak derinliğinde $21,9 \text{ g kg}^{-1}$ ve 10-20 cm toprak derinliğinde $15,0 \text{ g kg}^{-1}$ olduğu bildirilmektedir. Çalışmada organik C'un toprak derinliğinin artmasıyla azalış gösterdiği vurgulanmaktadır. Başka bir çalışmada (Ostrowska ve Porębska, 2015) toprak horizonlarında toprağın organik karbon içeriklerinin birbirinden farklı olduğu ve alt horizonlara doğru azalış gösterdiği bulunmuştur. Örneğin O horizonunda $457,5 \text{ g kg}^{-1}$ olan toplam azot AE'de $17,75 \text{ g kg}^{-1}$; Es'de $4,93 \text{ g kg}^{-1}$; Bhs'de $9,07 \text{ g kg}^{-1}$; Bv'de $3,56 \text{ g kg}^{-1}$; BC'de $0,39 \text{ g kg}^{-1}$ ve C'de $0,34 \text{ g kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Toprak horizonlarına göre bu azalışın sebebi yüzey tabakasındaki organik

maddenin ayrışma koşulları ve toprak profilinde organik maddenin alt horizonlarda daha fazla değişikliğe uğraması ile açıklanmıştır. Lepcha ve Devi (2020) tarafından subtropical ormanlarda yapılan çalışmada toprağın organik C içeriği 0–15 cm derinlikte %4,34 ve 15–30 cm derinlik kademesinde %3,65 olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada derinlik kademelerine göre azalış gösteren organik C içeriklerinin istatistiksel olarak da birbirinden farklı olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçlar daha önce yapılan bazı çalışmaların sonuçları ile de benzerlik göstermektedir (Lopes vd., 2010; Wen vd., 2014; Oktaba ve Kusińska, 2016).

Toprakların toplam azot içerikleri, 0–15 cm derinlik kademesinde %0,21–0,36 arasında (ortalama $0,26 \pm 0,01$), 15–30 cm derinlik kademesinde %0,07–0,15 arasında (ortalama $0,11 \pm 0,00$) değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Toprak derinliğine göre istatistiksel olarak aralarında önemli bir fark ($P < 0,05$) saptanmıştır (Şekil 3). Ortalama değerlere göre üst derinlik kademesi olan 0–15 cm toprak derinliğindeki toplam N miktarı, daha aşağıdaki derinlik kademesinden (15–30 cm) önemli ölçüde daha yüksek elde edilmiştir (Şekil 3).

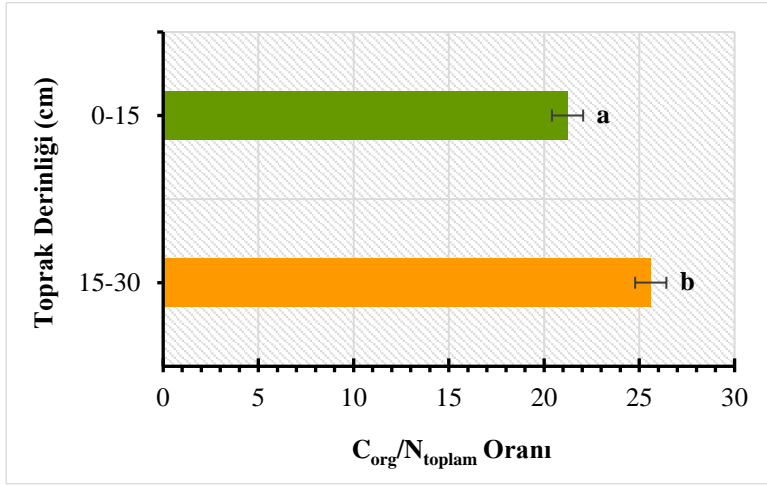


Şekil 3. Toprak derinliği ile toprak toplam N'in değişimi. Sütunlar ortalama \pm standart hatayı ifade etmektedir. Farklı harfler $P < 0,05$ önem düzeyinde ortalamalar arasında fark olduğunu göstermektedir.

Toprak toplam azotunun (N_{toplam}) konsantrasyonu, toprak organik C içeriğinin değişimine benzer bir eğilim izleyerek, toprak derinliğinin artmasıyla kademeli olarak azalmıştır. Diğer bir ifade ile toprak organik C konsantrasyonu ile uyumlu olarak, toprak derinliğinin artmasıyla toplam N miktarı azalış göstermiştir. Bu açıdan elde edilen sonuçlar daha önce yapılan bazı çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir (Wen vd., 2014; Ostrowska ve Porębska vd., 2015; Oktaba ve Kusińska, 2016). Nitekim Ostrowska ve Porębska (2015) tarafından yapılan çalışmada toprak horizonlarında toprağın toplam N içeriklerinin birbirinden farklı olduğu ve alt horizonlara doğru azalış gösterdiği bulunmuştur. Örneğin O horizonunda $13,15 \text{ g kg}^{-1}$ olan toplam azot AE'de $0,66 \text{ g kg}^{-1}$; Es'de $0,31 \text{ g kg}^{-1}$; Bhs'de $0,40 \text{ g kg}^{-1}$; Bv'de $0,17 \text{ g kg}^{-1}$; BC'de $0,08 \text{ g kg}^{-1}$ ve C'de $0,05 \text{ g kg}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Subtropical ormanlarda yapılan başka bir çalışmada (Lepcha ve Devi, 2020) toprağın toplam N içeriği 0–15 cm derinlikte %0,32 ve 15–30 cm derinlik kademesinde %0,25 olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmada derinlik kademelerine göre azalış gösteren toprağın toplam N içeriklerinin istatistiksel olarak ta birbirinden farklı olduğu vurgulanmaktadır. Karaçam (*Pinus nigra*) ormanlarında yapılan bir çalışmada toplam azot içeriğinin toprağın alt katmanlarına göre azaldığı bildirilmektedir. Çalışmada toplam N'un L+F tabakasında %1,61; 0–10 cm derinlikte %0,08; 10–20 cm derinlikte %0,06; ve 20–30 cm derinlikte %0,03 olarak tespit edilmiştir (Vervaeet vd., 2002). Bunun nedeni muhtemelen, üst toprağın organik madde miktarının, havalandırma kabiliyetinin, mikroorganizma faaliyetinin ve buna bağlı olarak ayrışma faaliyetinin derindeki toprağa göre daha iyi olması olabilir. Zira bunun sonucunda organik C ve toplam N birikimi önce üst toprakta birikmiş olabilir (Jiang vd., 2021). Başka

bir neden olarak toprak organik maddesinin yıllanması (bir diğer ifade ile tazeliğini kaybetmesi) ve ayrışmaya karşı direncinin, genellikle toprak profilindeki derinlikle birlikte mikrobiyal aktivitede bir azalma ile birlikte artması ve bunun sonucu olarak N mineralizasyonunun azalması gösterilebilir (Vervaet vd., 2002). Çünkü bir ekosistemin substrat kalitesi (yani taze eklenen ve doğal organik artıklar/maddeler), toprak organik karbonunun (TOC) mikrobiyal bozunma oranını düzenlediği için mikropların mevcudiyetinde önemli bir rol oynar (Jagadamma vd., 2014).

Topraklara ait ayrışma oranı/hızı (C_{org}/N_{toplam}) değerleri, 0–15 cm derinlik kademesinde 20,0–23,50 arasında (ortalama $21,23 \pm 0,31$), 15–30 cm derinlik kademesinde 20,40–34,60 arasında (ortalama $25,60 \pm 1,34$) değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Toprak derinliğine göre istatistiksel olarak aralarında önemli bir fark ($P < 0,05$) saptanmıştır (Şekil 4).

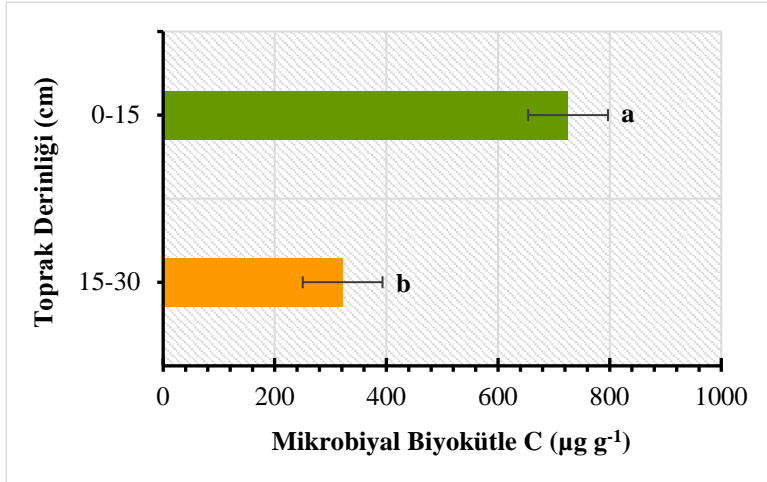


Şekil 4. Toprak derinliği ile C_{org}/N_{toplam} oranının değişimi. Sütunlar ortalama \pm standart hatayı ifade etmektedir. Farklı harfler $P < 0,05$ önem düzeyinde ortalamalar arasında fark olduğunu göstermektedir.

Ayrışma oranı ya da hızı, organik artıkların içerdiği karbon miktarının azot miktarına oranlanması (C_{org}/N_{toplam}) ile tahmin edilmektedir. Eğer $C_{org}/N_{toplam} < 20$ olursa ayrışmanın çok hızlı, C_{org}/N_{toplam} oranı 20–30 arasında ise ayrışmanın normal hızda ve $C_{org}/N_{toplam} > 30$ olursa ayrışmanın çok yavaş olduğu kabul edilmektedir (Çepel 1996). Yapılan bu çalışmada toprak derinliğinin artmasıyla birlikte toprak örneklerindeki organik C ve toplam N içeriklerinin değişmesine bağlı toprak örneklerinin C_{org}/N_{toplam} oranı da değişmiştir. Toprak C_{org}/N_{toplam} oranı toprak derinliğinin artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Bu oranın toprak derinliği ile artması, daha derin toprak derinliğindeki (15–30 cm) toprak organik maddesinin ayrışmasındaki bir azalmayı temsil etmektedir. Ayrıca derinliğe bağlı orman toprağındaki değişen C_{org}/N_{toplam} oranının, her iki elementin toprak organik maddesinden salınma hızı ve bu elementlerin toprak derinliği içindeki akışları tarafından belirlendiğini göstermiştir. Çünkü bir elementin içeriği diğerinden daha hızlı azaldığında (ya da arttığında) C_{org}/N_{toplam} değeri değişmektedir. Dolayısıyla bu oran her zaman toprak organik maddenin mineralizasyonunu yansıtmayabilir (Ostrowska ve Porębska, 2015). Bu durumda toprak organik madde ayrışmasının bir göstergesi olarak C_{org}/N_{toplam} oranının yararlılığının değerlendirilmesi, bu sürecin hızını doğrudan etkileyen iklim koşulları, toprak kalitesi, mikrobiyal biyokütle ve bitki örtüsü gibi faktörlerin de dikkate alınmasını gerektirmektedir. Örneğin yapılan bazı çalışmalarda ağaç türlerinin çeşitliliğinin, öncelikle bitki artıklarındaki (ölü örtüdeki) lignin ve N içeriğindeki (yüksek lignin ve düşük N türleri en yavaş ayrışır) farklılıklar yoluyla mikrobiyal ayrışmayı etkileyerek, toprak organik maddesinin C_{org}/N_{toplam} oranı üzerinde tesirinin olduğunu bildirilmektedir (Fassnacht ve Gower, 1999; Cools vd., 2014). Yapılan bazı çalışmalarda (Vervaet vd., 2002; Oktaba ve Kusińska, 2016; Lepcha ve Devi, 2020) toprak derinliğinin artışı ile toprakların C_{org}/N_{toplam} oranının da artış gösterdiği bildirilmektedir.

3.2. Toprakların Mikrobiyal Özelliklerine İlişkin Bulgular ve Tartışma

Toprakların mikrobiyal biyokütle C içerikleri, 0–15 cm derinlik kademesinde 437,40–1315,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında (ortalama $725,4801 \pm 102,05 \mu\text{g g}^{-1}$), 15–30 cm derinlik kademesinde 194,20–578,20 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında (ortalama $321,55 \pm 42,85 \mu\text{g g}^{-1}$) değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Toprak derinliğine göre istatistiksel olarak aralarında önemli bir fark ($P < 0,05$) saptanmıştır (Şekil 5).

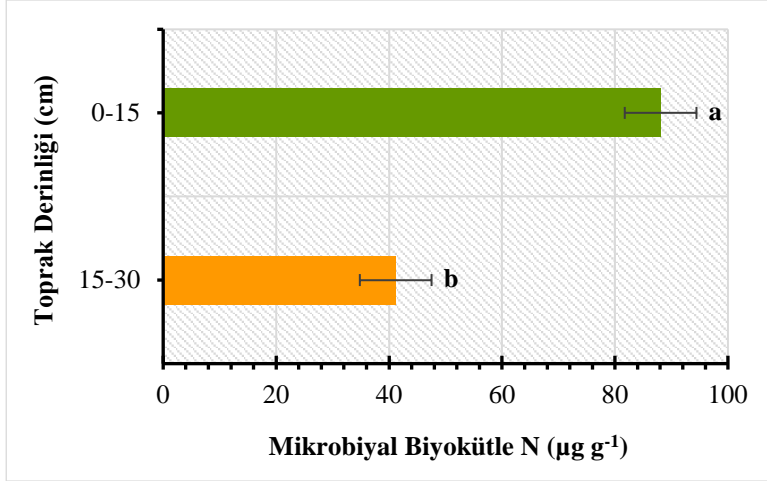


Şekil 5. Toprak derinliği ile mikrobiyal biyokütle C'un değişimi. Sütunlar ortalama \pm standart hatayı ifade etmektedir. Farklı harfler $P < 0,05$ önem düzeyinde ortalamalar arasında fark olduğunu göstermektedir.

Toprağın derinlik kademeleri (0–15 cm ve 15–30 cm) arasında mikrobiyal biyokütle C'da gözlemlenen bu farklılık, mikrobiyal faaliyetteki değişkenliği göstermektedir. Dolayısıyla yapılan bu çalışma toprak derinliğinin toprakların mikrobiyal biyokütle karbon (C_{mic}) içerikleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermektedir. 15–30 cm toprak derinliğinde mikrobiyal biyokütle karbonun düşük çıkmasının nedeni, bu derinlik kademesinde organik karbon içeriğinin düşük çıkmasıyla açıklanabilir. Çünkü toprağın organik maddesi hem toprak fonksiyonunu etkiler hem de toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerindeki olumlu etkileriyle bitki ve mikrobiyal büyümeye doğrudan katkıda bulunur. Bununla birlikte toprak organik C'unun toprak mikrobiyal biyokütlesinin miktarını ve aktivitesini güçlü bir şekilde etkilediği de iyi bilinmektedir (Bolat vd., 2015; Vinhal-Freitas vd., 2017; Soleimani vd., 2019). Yapılan bu çalışmada elde edilen ve yukarıda sunulan mikrobiyal biyokütle C değerleri daha önce ılıman ve tropikal orman topraklarında (Vance vd., 1987a) 61–2000 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve (Hernot ve Robertson, 1994) 102–2073 $\mu\text{g g}^{-1}$ yapılan çalışmalarda verilen değerler arasında kalmaktadır. Başka bir çalışmada da düşük biyokütle içeriğine sahip toprakların düşük organik C içeriğine sahip olduğu vurgulanmaktadır (Diaz-Ravina vd., 1988). Fang ve Moncrieff (2005) tarafından sitka ladini (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) ormanlarında yapılan bir çalışmada mikrobiyal biyokütle C'un toprak derinliğinin artmasıyla birlikte azalış gösterdiği bildirilmektedir. Çalışmada mikrobiyal biyokütle C, 0–8 cm derinlikte 626,6 $\mu\text{g g}^{-1}$; 8–16 cm derinlikte 462,6 $\mu\text{g g}^{-1}$; 16–24 cm derinlikte 387,6 $\mu\text{g g}^{-1}$; 24–32 cm derinlikte 273,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Lopes vd. (2010) tarafından doğal orman alanında yapılan çalışmada mikrobiyal biyokütle C, 0–10 cm toprak derinliğinde 85,5 mg kg^{-1} ve 10–20 cm toprak derinliğinde 48,6 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Çalışmada C_{mic} 'in toprak derinliğinin artmasıyla azalış gösterdiği vurgulanmaktadır. Öte yandan yapılan başka bir çalışmada toprak mikrobiyal biyokütle C'u, toprak derinliği ile birlikte azalış göstererek, üst katmanda (0–10 cm), orta katmanda (10–20 cm) ve derin katmanda (20–30 cm) sırasıyla ortalama 252,1; 149,8 ve 124,7 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur (Wen vd., 2014). Subtropical ormanlarda yapılan başka bir çalışmada (Lepcha ve Devi, 2020) toprağın mikrobiyal biyokütle C içeriği 0–15 cm derinlikte 539,0 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 15–30 cm derinlik kademesinde 318,96 $\mu\text{g g}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada derinlik kademelerine göre azalış gösteren

toprağın mikrobiyal biyokütle C içeriklerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı vurgulanmaktadır.

Toprakların mikrobiyal biyokütle N içerikleri, 0–15 cm derinlik kademesinde 58,40–128,70 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında (ortalama $88,08 \pm 8,08 \mu\text{g g}^{-1}$), 15–30 cm derinlik kademesinde 24,90–65,30 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında (ortalama $41,17 \pm 4,32 \mu\text{g g}^{-1}$) değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Toprak derinliğine göre istatistiksel olarak aralarında önemli bir fark ($P < 0,05$) saptanmıştır (Şekil 6).

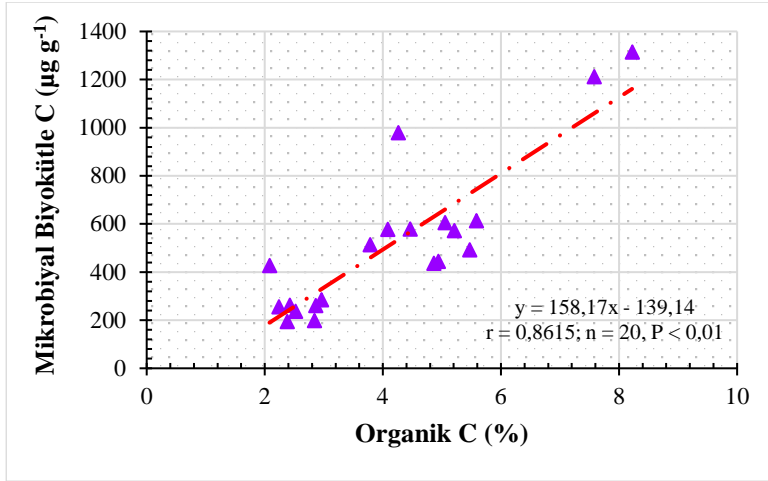


Şekil 6. Toprak derinliği ile mikrobiyal biyokütle N'un değişimi. Sütunlar ortalama \pm standart hatayı ifade etmektedir. Farklı harfler $P < 0,05$ önem düzeyinde ortalamalar arasında fark olduğunu göstermektedir.

Yapılan bu çalışma toprak mikrobiyal biyokütle azot (N_{mic}) miktarı toprak derinliği ile azalmıştır. Derinliğin artmasıyla birlikte ortaya çıkan bu azalma, alt derinlik tabakasındaki (15–30 cm) substratın miktarındaki (organik C ve toplam N; Şekil 2 ve 3) ve dolayısıyla kalitesindeki (C_{org}/N_{toplam} oranı; Şekil 4) azalma ile açıklanabilir (Van Leeuwen vd., 2017). Çünkü bir ekosistemin substrat kalitesi, taze/yeni eklenen ve doğal toprak organik karbonunun (TOC) mikrobiyal ayrışma oranını düzenlediği için mikropların mevcudiyetinde önemli bir rol oynar (Jagadamma vd., 2014). Yapılan çalışmalarda, mikrobiyal biyokütle N değerinin iğne yapraklı ormanlarda 52–125 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında (Martikainen ve Palojarvi 1990), her dem yeşil ormanlarda 42–242 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında (Diaz-Ravina vd., 1988), geniş yapraklı ormanlarda 132–240 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında ve gençlik çağında olan subtropikal ormanlarda 57,7–123,85 $\mu\text{g g}^{-1}$ arasında (Maithani vd., 1996) değişim gösterdiği ifade edilmektedir. Subtropikal doğal karışık ormanlarda yapılan bir çalışmada mikrobiyal biyokütle N içeriğinin 0–10 cm derinlikte 231 $\mu\text{g g}^{-1}$, 10–20 cm derinlikte 123 $\mu\text{g g}^{-1}$ ve 20–30 cm derinlikte 56 $\mu\text{g g}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir. Çalışmada toprak derinliğinin artmasıyla birlikte N_{mic} 'in azalış gösterdiği ve istatistiki olarak derinlik kademeleri arasında farkın olduğu vurgulanmaktadır (Burton vd., 2010). Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda (Xu vd., 2021) da toprak derinliğinin artışı ile toprakların mikrobiyal biyokütle N içeriğinin azalış gösterdiği bildirilmektedir.

3.3. Korelasyon Analizine İlişkin Bulgular ve Tartışma

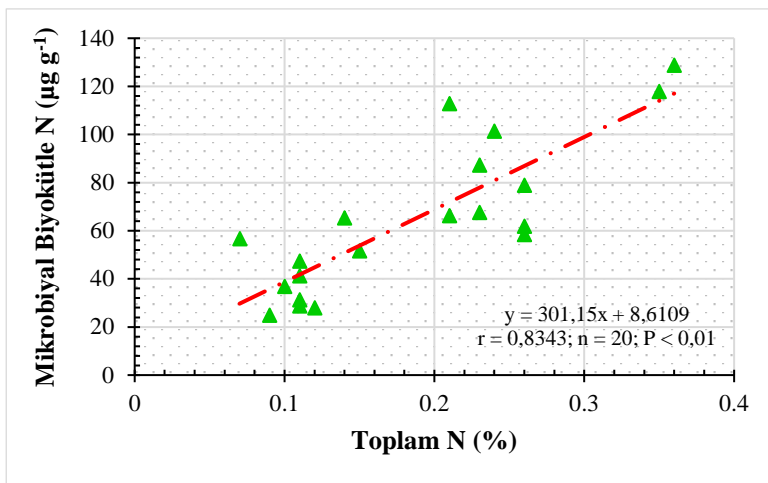
Yapılan bu çalışmada mikrobiyal biyokütle C ile organik C arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki ($r = 0.8615$, $P < 0,01$) bulunmuştur (Şekil 7). Diğer bir ifade ile organik C arttıkça mikrobiyal biyokütle C'un da arttığı ortaya çıkmış ve daha önceki yapılan çalışmalar ile benzer yönde sonuç elde edilmiştir (Sharma vd., 2004; Kara ve Bolat, 2009; Lepcha ve Devi, 2020).



Şekil 7. Toprak organik C ile mikrobiyal biyokütle C arasındaki ilişki

Nitekim Arunachalam ve Arunachalam (2000) organik C içeriği ile mikrobiyal biyokütle C'un orman ($r = 0,724$, $P < 0,001$) ve açıklık ($r = 0,569$, $P < 0,05$) alanlara ait topraklarda pozitif ve anlamlı bir ilişki gösterdiğini bildirmektedir. Benzer şekilde Sharma vd. (2004) tarafından yapılan çalışmada da organik C ile mikrobiyal biyokütle C arasında ($r = 0,6496$, $P < 0,0005$) pozitif ve anlamlı bir ilişki ifade edilmektedir. Tarım alanlarında yapılan bir çalışmada mikrobiyal biyokütle C ile organik C ($r = 0,63$, $P < 0,05$) ve toplam N arasında ($r = 0,60$, $P < 0,05$) pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğu vurgulanmaktadır (Wright vd., 2005). Karışık (*Pinus massoniana* ve *Cinnamomum camphora*) ormanlarda yapılan bir çalışmada mikrobiyal biyokütle C ile organik C arasında pozitif ve anlamlı ($r = 0,4163$, $P < 0,001$) bir korelasyonun olduğu bildirilmektedir (Wen vd., 2014). Subtropical ormanlarda yapılan başka bir çalışmada (Lepcha ve Devi, 2020) mikrobiyal biyokütle C ile organik C arasında pozitif ve anlamlı ($r = 0,875$, $P < 0,01$) bir korelasyonun olduğu ifade edilmektedir.

Çalışmada sonucunda elde edilen verilere göre toprakların mikrobiyal biyokütle N (N_{mic}) ile toplam N içerikleri arasında da pozitif ve anlamlı ($r = 0,8343$, $P < 0,01$) bir ilişkinin olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 8). Elde edilen bu sonuca göre toprakta bulunan ve alınabilir formda olan azotun miktarı mikrobiyal biyokütleyi kuvvetli bir şekilde etkilemektedir.



Şekil 8. Toprak toplam N ile mikrobiyal biyokütle N arasındaki ilişki

Bununla birlikte daha önce yapılan diğer çalışmalarda da benzer yönde sonuçların elde edildiği görülmektedir. Örneğin yapılan bir çalışmada, toplam N'in mikrobiyal biyokütle N ile pozitif ve anlamlı ($r = 0,88$, $P < 0,001$) bir ilişki gösterdiğini ifade etmektedir (Tracy ve Frank, 1998). Başka bir çalışmada toplam N ile mikrobiyal biyokütle N arasında pozitif ve anlamlı ($r = 0,8264$, $P < 0,0005$) bir ilişki olduğu

belirtilmektedir (Sharma vd., 2004). Benzer olarak tarım alanlarında yapılan bir çalışmada toplam N ile mikrobiyal biyokütle N arasında pozitif ve anlamlı ($r = 0,81$, $P < 0,05$) bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir (Wright vd., 2005). Karışık (*Pinus massoniana* ve *Cinnamomum camphora*) ormanlarda yapılan bir çalışmada mikrobiyal biyokütle N ile toplam N arasında pozitif ve anlamlı ($r = 0,3068$, $P < 0,001$) bir korelasyonun olduğu bildirilmektedir (Wen vd., 2014).

4. Sonuçlar

Çalışmada elde edilen sonuçlar toprak derinliğine (derinliğin artmasıyla) göre değişen toprak özelliklerinin mikrobiyal biyokütle C ve N içerikleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Başka bir anlatımla toprak derinlikleri (0–15 cm ve 15–30 cm) arasında ortaya çıkan bu fark, büyük olasılıkla 15–30 cm toprak derinliğinde üst toprak derinliğine göre azalan C ve N mevcudiyetinin sonucu olabilir. Bundan dolayı organik C ve toplam N bakımından fakir, orta derecede asit, killi balçık türündeki doğu ladini (*Picea orientalis* L.) ormanı toprakların 15–30 cm derinlik kademesinde mikrobiyal biyokütle C ve N içeriği anlamlı olarak azalış göstermiştir. Üstelik mikrobiyal biyokütle C'un organik C ile mikrobiyal biyokütle N'un toplam N ile korelasyonu, mikrobiyal biyokütlenin organik madde miktarı ve kalitesi tarafından belirlendiğini de yansıtmaktadır. Bununla birlikte toprak mikrobiyal biyokütlesi sadece toprak organik maddesi ile ilgili değildir; aynı zamanda toprak nemi, bitki besin maddeleri, toprak reaksiyonu, toprak sıcaklığı, bitki örtüsü ve toprağın kil içeriği gibi diğer faktörlere de bağlıdır. Ayrıca çalışmada elde edilen C_{mic} ve N_{mic} 'in, C_{org} ve N_{toplam} ile gösterdiği pozitif korelasyona yüksek düzeyde organik madde mikrobiyal büyümeye yeterli miktarda karbon, azot ve enerji kaynağı sağlayabileceğinden ve dolayısıyla toprak kalitesini artırabileceğinden, toprak verimliliği ile mikrobiyal biyokütle arasında önemli ilişkilerin olduğunu işaret etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 23-25 Kasım 2022 tarihleri arasında Ankara'da düzenlenen "5th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences"ta sözlü olarak sunulmuştur.

Yazar Katkıları

Kamil ÇAKIROĞLU: Çalışmayı tasarlamış, veri toplamış ve analizleri yapmıştır. Makalenin son halini okuyup değerlendirmiştir.

Ömer KARA: Çalışmayı tasarlamış, yönetmiş, sonuçları yorumlayarak değerlendirmiştir. Makalenin son halini okuyup değerlendirmiştir.

İlyas BOLAT: Çalışmanın istatistiksel analizlerini yapmış, sonuçları değerlendirerek makaleyi yazmıştır. Makaleyi okuyarak sunulan derginin yazım kurallarına göre düzenlemiştir.

Çıkar Çatışması

Herhangi bir kurum veya kişi/kişiler ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Anderson, J. M. and Ingram, J. S. I. (1996). *Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods*, Second Edition, Cab International Wallingford, UK, pp. 221
- Anderson, J. P. E. and Domsch, K. H. (1973). Quantification of bacterial and fungal contribution to soil respiration. *Archives of Microbiology*, 93(2), 113–127.
- Aponte, C., Marañón, T. and García, L. V. (2010). Microbial C, N and P in soils of Mediterranean oak forests: influence of season, canopy cover and soil depth. *Biogeochemistry*, 101(1), 77–92.
- Arunachalam, A. and Arunachalam, K. (2000). Influence of gap size and soil properties on microbial biomass in a subtropical humid forest of north-east India. *Plant and Soil*, 223(1), 187–195.
- Blake, G. R. (1965). Particle density. In: Klute A. (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and*

- Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, pp. 371–373.
- Bolat, İ. (2011). Kayın, göknar ve göknar-kayın meşcerelerinde üst toprak ve ölü örtüdeki mikrobiyal biyokütle karbon (C_{mic}), azot (N_{mic}), fosfor (P_{mic}) ve mikrobiyal solunumun mevsimsel değişimi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi (Yayımlanmamış), Bartın, 423 s.
- Bolat, İ. (2019). Microbial biomass, basal respiration, and microbial indices of soil in diverse croplands in a region of northwestern Turkey (Bartın). *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(11), 1–13.
- Bolat, İ. and Öztürk, M. (2016). Effects of altitudinal gradients on leaf area index, soil microbial biomass C and microbial activity in a temperate mixed forest ecosystem of Northwestern Turkey. *iForest- Biogeosciences and Forestry*, 10(1), 334.
- Bolat, İ., Şensoy, H. and Özer, D. (2015). Short-term changes in microbial biomass and activity in soils under black locust trees (*Robinia pseudoacacia* L.) in the northwest of Turkey. *Journal of Soils and Sediments*, 15(11), 2189–2198.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy Journal*, 54(5), 464–465.
- Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. In: Page, A.L. (ed.) *Methods of soil analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. SSSA Book series No: 9, Madison, pp. 595–622.
- Brookes, P. C., Landman, A., Pruden, G. and Jenkinson, D. S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 17(6), 837–842.
- Burton, J., Chen, C., Xu, Z. and Ghadiri, H. (2010). Soil microbial biomass, activity and community composition in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Journal of Soils and Sediments*, 10(7), 1267–1277.
- Cleveland, C. C., Townsend, A. R., Constance, B. C., Ley, R. E. and Schmidt, S. K. (2004). Soil microbial dynamics in Costa Rica: seasonal and biogeochemical constraints. *Biotropica*, 36(2), 184–195.
- Cools, N., Vesterdal, L., De Vos, B., Vanguelova, E. and Hansen, K. (2014). Tree species is the major factor explaining C: N ratios in European forest soils. *Forest Ecology and Management*, 311, 3–16.
- Çepel, N. (1995). *Orman Ekolojisi*. İÜ Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, Üniversite Yayın No. 3886, Sosyal BMYO, Yayın No: 433, İstanbul, 536s.
- Çepel, N. (1996). *Toprak İlmi*. İÜ Yayın No 3945, Orman Fakültesi Yayın No: 438, 288 s.
- Diaz-Ravina, M., Carballas, T. and Acea, M. J. (1988). Microbial biomass and metabolic activity in four acid soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(6), 817–823.
- Ekelund, F., Rønn, R. and Christensen, S. (2001). Distribution with depth of protozoa, bacteria and fungi in soil profiles from three Danish forest sites. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(4-5), 475–481.
- Fang, C. and Moncrieff, J. B. (2005). The variation of soil microbial respiration with depth in relation to soil carbon composition. *Plant and Soil*, 268(1), 243–253.
- Fassnacht, K. S. and Gowerr, S. T. (1999). Comparison of the litterfall and forest floor organic matter and nitrogen dynamics of upland forest ecosystems in north central Wisconsin. *Biogeochemistry*, 45(3), 265–284.
- Gülçur, F. (1974). *Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları*, Kutulmuş Matbaası, İ.Ü. Yayın No. 1970, Orman Fakültesi Yayın No. 201, İstanbul, 225 s.
- Henrot, J. and Robertson, G. P. (1994). Vegetation removal in two soils of the humid tropics: effect on microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(1), 111–116.
- Irmak, A. (1954) *Arazide ve Laboratuvarında Toprağın Araştırılması Metodları*, İ.Ü. Yayın No. 559, Orman Fakültesi Yayın No. 27, İstanbul, 150 s.
- Jagadamma, S., Mayes, M. A., Steinweg, J. M. and Schaeffer, S. M. (2014). Substrate quality alters the microbial mineralization of added substrate and soil organic carbon. *Biogeosciences*, 11(17), 4665–4678.
- Jiang, W., Gong, L., Yang, L., He, S. and Liu, X. (2021). Dynamics in C, N, and P stoichiometry and microbial biomass following soil depth and vegetation types in low mountain and hill region of China. *Scientific Reports*, 11(1), 1–10.
- Kaçar, B. (1995). *Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri, III. Toprak Analizleri*. AÜ Ziraat Fakültesi Eğitim,

- Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3, Ankara, 705 s.
- Kantarcı MD (2000) *Toprak İlmi*, İstanbul Üniversitesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın No. 462, İstanbul, 420 s.
- Kara, Ö. and Bolat, İ. (2009). Short-term effects of wildfire on microbial biomass and abundance in black pine plantation soils in Turkey. *Ecological Indicators*, 9(6), 1151–1155.
- Kara, Ö., Bolat, İ., Çakıroğlu, K. and Öztürk, M. (2008). Plant canopy effects on litter accumulation and soil microbial biomass in two temperate forests. *Biology and Fertility of Soils*, 45(2), 193–198.
- Lavahun, M. F. E., Joergensen, R. G. and Meyer, B. (1996). Activity and biomass of soil microorganisms at different depths. *Biology and Fertility of Soils*, 23(1), 38–42.
- Lepcha, N. T. and Devi, N. B. (2020). Effect of land use, season, and soil depth on soil microbial biomass carbon of Eastern Himalayas. *Ecological Processes*, 9(1), 1–14.
- Lopes, M. M., Salviano, A. A. C., Araujo, A. S. F., Nunes, L. A. P. L. and Oliveira, M. E. (2010). Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4), 1253–1259.
- Maithani, K., Tripathi, R. S., Arunachalam, A. and Pandey, H. N. (1996). Seasonal dynamics of microbial biomass C, N and P during regrowth of a disturbed subtropical humid forest in north-east India. *Applied Soil Ecology*, 4(1), 31–37.
- Martikainen, P. J. and Palojärvi, A. (1990). Evaluation of the fumigation-extraction method for the determination of microbial C and N in a range of forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 22(6), 797–802.
- Oktaba, L. and Kusińska, A. (2016). Soil organic matter in afforested post-agricultural soils. *Polish Journal of Soil Science*, 45(1), 39.
- Ostrowska, A. and Porębska, G. (2015). Assessment of the C/N ratio as an indicator of the decomposability of organic matter in forest soils. *Ecological Indicators*, 49, 104–109.
- Pankhurst, C. E., Doube, B. M. and Gupta, V. V. S. R. (1997). Biological indicators of soil health: Synthesis. In: *Biological Indicators of Soil Health*. Pankhurst, C. E., Doube, B. M., and Gupta, V. V. S. R. (eds.). CAB International, pp. 419–435.
- Parkinson, D. and Coleman, D. C. (1991). Microbial communities, activity and biomass. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 34(1–4), 3–33.
- Rowell, D. L. (1994) *Soil Science Methods and Applications*. Longman Scientific and Technical, Singapore.
- Sharma, P., Rai, S. C., Sharma, R. and Sharma, E. (2004). Effects of land-use change on soil microbial C, N and P in a Himalayan watershed. *Pedobiologia*, 48(1), 83–92.
- Singh, J. S., Raghubanshi, A. S., Singh, R. S., and Srivastava, S. C. (1989). Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. *Nature*, 338(6215), 499–500.
- Six, J., Frey, S. D., Thiet, R. K. and Batten, K. M. (2006). Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 555–569.
- Soleimani, A., Hosseini, S. M., Bavani, A. R. M., Jafari, M. and 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.
- Taylor, J. P., Wilson, B., Mills, M. S. and Burns, R. G. (2002). Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(3), 387–401.
- Tracy, B. F. and Frank, D. A. (1998). Herbivore influence on soil microbial biomass and nitrogen mineralization in a northern grassland ecosystem: Yellowstone National Park. *Oecologia*, 114(4), 556–562.
- Van Leeuwen, J. P., Djukic, I., Bloem, J., Lehtinen, T., Hemerik, L., De Ruiter, P. C. and Lair, G. J. (2017). Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in the Danube floodplain. *European Journal of Soil Biology*, 79, 14–20.
- Vance, E. D., Brookes, P. C., and Jenkinson, D. S. (1987a). Microbial biomass measurements in forest soils: the use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(6), 697–702.
- Vance, E. D., Brookes, P. C. and Jenkinson, D. S. (1987b). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(6), 703–707.

- Vervaet, H., Massart, B., Boeckx, P., Van Cleemput, O. and Hofman, G. (2002). Use of principal component analysis to assess factors controlling net N mineralization in deciduous and coniferous forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 36(2), 93–101.
- Vinhal-Freitas, I. C., Corrêa, G. F., Wendling, B., Bobuľská, L. and Ferreira, A. S. (2017). Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. *Ecological Indicators*, 74, 182–190.
- Wen, L., Lei, P., Xiang, W., Yan, W. and Liu, S. (2014). Soil microbial biomass carbon and nitrogen in pure and mixed stands of *Pinus massoniana* and *Cinnamomum camphora* differing in stand age. *Forest Ecology and Management*, 328, 150–158.
- Wright, A. L., Hons, F. M. and Matocha Jr, J. E. (2005). Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Applied Soil Ecology*, 29(1), 85–92.
- Xu, T., Chen, X., Hou, Y. and Zhu, B. (2021). Changes in microbial biomass, community composition and diversity, and functioning with soil depth in two alpine ecosystems on the Tibetan plateau. *Plant and Soil*, 459(1), 137–153.