

Aralanan Doğu Kayını ile Bitişindeki Sapsız Meşe Meşcereleri ve Çayırılıkta Kılcal Kök Biyokütlesinin Zamansal Değişimi

Temporal Changes in Fine Root Biomass in Thinned Oriental Beech and Adjacent Sessile Oak Stand and Grassland

Ali Kemal ÖZBAYRAM^{1*}, Emirhan ÇİÇEK²

¹Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Silvikültür Anabilim Dalı, Düzce

²Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı, Düzce

Eser bilgisi/Article info

Araştırma makalesi/Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1763495

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Ali Kemal ÖZBAYRAM

e-mail: alikemalozbayram@düzce.edu.tr

Gönderilme tarihi/Submission date

12.08.2025

Kabul tarihi/Acceptance date

16.12.2025

Yayınlanma tarihi/Publication date

08.03.2026

Anahtar kelimeler:

Aralama

Düzce

Kök biyokütlesi

Vejetasyon tipi

Kök üretimi

Keywords:

Thinning

Düzce

Root biomass

Vegetation type

Root production

Öz

Kılcal kökler, ağaçların su ve besin alımında kritik öneme sahip olduklarından, ağaç büyümesinde ve meşcere gelişiminde anahtar rol oynarlar. Orman ağaçları ve çayırlar, ince köklerinin dönüşümü yoluyla topraktaki karbon döngüsüne doğrudan katkıda bulunurlar. Aralama orman bakımı tedbirlerinden biri olup, ormanların işletilmesinde sıklıkla uygulanır. Bu çalışmanın amacı düzenli aralıklarla farklı şiddette aralanmış doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ile bitişindeki sapsız meşe (*Quercus petraea* Liebl.) meşceresi ve açık çayırılıkta canlı kılcal kök biyokütlesi (KKB), kılcal kök üretimi ve kılcal kök döngüsünü karşılaştırmak ve zamansal değişimini araştırmaktır. Farklı şiddette uygulanan aralamaların kayın meşcerelerinde KKB'ye etkisi önemsiz ve ortalama 1060.2 g m⁻² olarak tespit edilmiştir. Sahalar arasında en yüksek KKB aralanan kayın sahalarında (1080 g m⁻²) ve bu en düşük kılcal kök biyokütlesine sahip çayırılıktan %22 daha fazladır. Sonbahar mevsimi aylarındaki kılcal kök biyokütlesi ilkbahar ve yaz aylarına göre daha yüksek çıkmıştır. Tüm sahalarda en düşük KKB Mayıs ayında ölçülmüşken, en yüksek KKB ormanlık sahalarda Ekim ayında ve çayırılık sahada ise Ocak ayında belirlenmiştir. Kılcal kök üretimi ve kılcal kök döngüsü orman alanlarında benzer ve çayırılıktan sırasıyla %32 ve %43 daha azdır. Sonuç olarak, vejetasyon tipine bağlı olarak KKB farklılık gösterse de uzun süre düzenli olarak yapılan aralamalar doğu kayınında KKB'yi etkilememiştir. Bu tür araştırmalar, bitki topluluklarının çevresel değişikliklere nasıl tepki verdiğinin anlaşılmasını geliştirebilir ve karbon ve besin döngüsü modellerini iyileştirebilir.

Abstract

Fine roots play a crucial role in tree growth and stand development, as they are vital for the uptake of water and nutrients by trees. The carbon cycle in soils is directly influenced by forest trees and grasslands through the recycling of their fine roots. Thinning is a common forest management practice, frequently applied to enhance forest health. The goal of this study was to compare and examine how live fine root biomass (FRB) changes over time in oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forests that were thinned at different times, nearby sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) forests, and open grassland. The impact of thinning at various intensities on FRB in beech stands was found to be insignificant, with an average of 1060.2 g m⁻². Among the studied sites, the highest FRB was observed in the thinned beech sites (1080 g m⁻²), which was 22% greater than that in the grassland, where fine root biomass was the lowest. FRB levels were higher in autumn compared to spring and summer. The lowest FRB was recorded in May across all sites, while the highest FRB was measured in October in forested sites and in January in the grassland site. Fine root production and turnover in forest sites were similar, although they were 32% and 43% lower than those in grassland sites, respectively. Therefore, while FRB varied based on vegetation type, long-term, regular thinning did not have a significant impact on FRB in oriental beech. Such studies contribute to our understanding of how plant communities respond to environmental changes and enhance models of carbon and nutrient cycling.

GİRİŞ

Kökler, ağaçların ayakta durması gibi mekanik işlevi yanında, büyüme ve gelişme için su ve besin maddelerinin emilmesi ve taşınması gibi fizyolojik işlevleri yerine getirdiklerinden orman ekosistemlerinde önemli bir role sahiptirler (McCormack ve Guo 2014). Kökler genellikle toprak ile fiziksel etkileşimler sağlayarak mekanik ve fizyolojik işlevlerini gerçekleştirir. Yer altı sisteminin temel bir bileşeni olan kök biyokütlesi kılcal kök (0-2 mm), ince kök (2-5mm), kaba kök (5-10mm) ve kalın kök (≥10mm) olarak sınıflandırılmaktadır (Hendrick ve Pregitzer 1992, Tüfekçioğlu ve ark. 2003). Toprakta su ve bitki besin elementlerinin alımında en önemli rol üstlenen kılcal kökler, kök yüzey alanını genişleterek bitkiler için gerekli su ve besin maddesi alımını kolaylaştırmak için değişen çevresel şartlara uyum sağlama yeteneğine sahiptirler (McCormack ve

ark. 2015). Ayrıca kılcal köklerin absorpsiyon işlevi yanında toprak parçacıkları ve toprak biyotası arasındaki biyojeokimyasal etkileşimleri (toprak bakterileri veya mantarları arasındaki simbiyotik birliktelik gibi) içerdiğinden bazı durumlarda çok daha karmaşıktır (Germon ve ark. 2020).

Kısa ömürleri nedeniyle hızlı döngüsü (yenilenme-ayırışma), mikorizal mantarlarla daha güçlü ilişkileri; kök sızıntıları ve ölü kök biyokütlesi (nekrokütle) yoluyla toprağa büyük karbon girdileri, kök solunumu ve ayrışma süreçleri yoluyla atmosfere karbon geri dönüşleri, kılcal köklerin ormanlardaki yer altı karbon dinamikleri için önemini artırmaktadır (Strand ve ark. 2008, Finér ve ark. 2011, Gill ve Finzi 2016).

Toplam orman biyokütlesi (toprak altı+toprak üstü biyokütle) içerisinde canlı kılcal kök biyokütlesi'nin (KKB) katkısı yaklaşık %2-5 civarı olduğu belirtilmektedir (Helmisaari ve ark. 2002, Ding ve ark. 2019). Küresel ölçekte, KKB net birincil üretimin %14-27'sine katkıda bulunmakta (McCormack ve ark. 2015) ve yıllık ormana giren organik madde girdisinin %33'ünü ve çayırılık alanlardaki girdilerin ise %48'ini oluşturmaktadır (Freschet ve ark. 2017).

Vejetasyon tipine göre KKB önemli düzeyde değişebilmektedir (Tüfekçioğlu ve ark. 1999, Tüfekçioğlu ve ark. 2004). Türkiye'de yapılan çeşitli çalışmalarda KKB kayın meşcerelerinde 113.6-1452 g m⁻² arasında (Tüfekçioğlu ve ark. 2004, Mısır ve Mısır 2013, Akbaş 2020), meşe meşcerelerinde 882.9-1081.0 g m⁻² arasında (Baysal 2012, Akburak ve Makineci 2021) ve çayırılıkta 207.5-978.9 g m⁻² arasında (Tüfekçioğlu ve ark. 2009, Güner ve ark. 2010, Baysal 2012) değişmektedir.

Ormanların yönetiminde önemli bir bakım tedbiri olan aralama; meşcere stabilitesini, sağlığını, artımını ve hasılatını artırmak için sıklıkla uygulanmaktadır (Özbayram 2014). Aralama, meşcere sıklığını azaltarak meşcere yapısını düzenler, kalan ağaçların büyümesini hızlandırır, ekosistem besin döngüsü süreçlerini uyarır (Odabaşı ve ark. 2004). Aralama uygulamaları ağaçların ve bitki örtüsünün fiziksel yapısını ve dolaylı olarak toprak altı çevre koşullarını (örn. toprak verimliliği ve mikro iklim) etkileyerek KKB özelliklerini potansiyel olarak değiştirebilir (Aussenac 2000, Wang ve ark. 2019a). Aralamanın KKB üzerine etkisine ilişkin, zıt sonuçlar bildirilmektedir. Örneğin, birkaç çalışmada KKB'nin ve üretiminin, toprağın besin kapasitesi ve toprak nem seviyelerinin iyileşmesi nedeniyle genellikle aralama sonrasında arttığı yönündedir (Montagnoli ve ark. 2012, Shen ve ark. 2017). Buna karşılık, aralamanın KKB'yi ve üretimini azalttığı (Tüfekçioğlu ve ark. 2005) veya ihmal edilebilir olduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur (Fukuzawa ve ark. 2006, Ma ve ark. 2013). Bu birbiri ile çelişen bulgular örnekleme heterojenliği, bitki türü kompozisyonu ve iklim koşullarındaki farklılıklardan kaynaklanabilir (Pang ve ark. 2022). Bu bağlamda KKB'nin aralama şiddetine verdiği tepkilerin araştırılması, karasal ekosistemlerdeki verimlilik ve besin döngüsünün daha iyi anlaşılması için teorik bir temel sağlayacaktır (Pang ve ark. 2022).

Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve sapsız meşe (*Quercus petraea* Liebl.) Türkiye'de orman kuran ve yapraklı türler içerisinde yayılış alanı olarak ilk sırada yer alan asli orman ağaçlarıdır (OGM 2021). Bu çalışmanın amacı Düzce'de düzenli aralıklarla farklı şiddette aralanmış doğu kayını meşcereleri ile bitişigindeki sapsız meşe meşceresi ve çayırılıkta KKB'yi karşılaştırmak ve zamansal değişimini araştırmaktır. Çalışmanın birinci hipotezi, doğu kayını meşceresinde aralama şiddeti arttıkça KKB'nin azalacağı; ikinci hipotezi kayın meşcerelerinin meşe ve çayırılıktan daha çok KKB'ye sahip olacağı ve üçüncü hipotezi de sonbahar mevsimi aylarında diğer aylardan daha fazla KKB olacağı yönünde kurulmuştur.

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma Alanının Tanıtımı

Araştırma alanı Düzce ili Düverdüzü mevkiinde (Konuralp Orman İşletme Şefliği) yer almaktadır (40° 55.7' K, 31° 5.57' D, 495 m). Araştırma alanında saf doğu kayını meşceresi, bitişiginde saf sapsız meşe meşceresi ve orman içi çayırılık saha bulunmaktadır (Şekil 1). Amenajman planı verilerine göre doğu kayını ve sapsız meşe meşceresi III. bonitette ve III. yaş

sınıfındadır (2023 yılında ortalama 46 yaşında). Araştırma alanının ortalama bakışı batı ve ortalama eğimi %18'dir. Toprağın mutlak ve fizyolojik toprak derinliği 120 cm'den fazla, toprağın türü hafif killi, taşsız ve pH 5.4-5.6 arasında değişmektedir (Özbyram 2014).

Düzce Meteoroloji Müdürlüğü (17072, rakım:146 m) iklim verileri (1959-2023 yılları) araştırma sahasına enterpole edildiğinde toplam yıllık yağış miktarı 1026 mm, ortalama sıcaklığı 11.5 °C dir (MGM 2024). Vejetasyon dönemi (Nisan-Ekim ayları arası) içerisinde yaklaşık 517 mm yağış almaktadır. Thornthwaite yöntemine göre araştırma alanı nemli, orta sıcaklıkta (Mezotermal), su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan, okyanus iklimine yakın iklim tipinde yer almaktadır.



Şekil 1. Araştırma sahasının Google Earth haritasındaki konumu (Kayın_MA: Mutedil aralanmış kayın parseli, Kayın_ŞA: Şiddetli aralanmış kayın parseli, Kn_Kontrol: Kayın kontrol parseli)

Aralama Denemelerinin Kurulması

Araştırma sahasının doğu kayını ve sapsız meşe meşceresinde 2009 yılında aralama denemeleri tesadüf blokları deneme desenine göre kurulmuştur. Bloklar içerisindeki parsel büyüklüğü 40x40 m alınmıştır. Kök örnekleme doğu kayın denemesinin bir bloğunda ve buna sınır olan meşe sahasının bir parselinde ve komşu çayırılık alanda yapılmıştır. Doğu kayını meşceresinde kontrol parsellerinde müdahale uygulanmazken, mutedil (Kayın_MA) ve şiddetli (Kayın_ŞA) aralanan parsellerde 2010, 2016 ve 2021 yıllarında üç kez yüksek aralama yapılmıştır.

Kayın_MA sahasında üç kez aralamayla göğüs yüzeyinin (GY) ortalama %17'i, Kayın_ŞA sahasında ise GY'nin ortalama %25.4'ü çıkartılmıştır. Aralama öncesi doğu kayını meşceresinde GY ve ağaç sayısı sırasıyla, 32.7 m² ha⁻¹ ve 3900 adet ha⁻¹ iken; yapılan üç farklı aralama sonrası 2022 yılı GY'i şiddetli aralanan kayın parselinde 27.10 m² ha⁻¹, mutedil aralanan parselinde 32.20 m² ha⁻¹ ve kontrol parselinde ise 36.20 m² ha⁻¹ dir. Komşu sapsız meşe sahasında ise 2014 ve 2021 yıllarında iki kez yüksek aralama yapılarak aralama öncesi 25.65 m² ha⁻¹ olan GY, son aralamadan bir yıl sonra (2022 yılında) 16.30 m² ha⁻¹ olarak ölçülmüştür. Kayın ve meşe parsellerinde meşcere orta çapı ortalama 11.7 ile 13.6 cm arasında değişmektedir.

Yöntem

Belirlenen üç farklı şiddette aralanmış kayın parselleri ile sınır teşkil eden meşe ve çayırılık parsellerin (beş farklı saha, her biri 1600 m²) her birinde tesadüfi olarak üç adet 10x10 m ebatlarında örnekleme alanları belirlenmiştir. Her örnekleme alanları içerisindeki rastgele dokuz noktadan kök örnekleme yapılmıştır. Kök örnekleme 2022 yılı Nisan, Mayıs, Haziran, Ekim, Kasım ve Aralık ayları ile 2023 yılı Ocak aylarında tekrarlanmıştır.

Kök örneklerinin alımında 6.4 cm çapında ve 35 cm boyunda özel olarak yaptırılmış çelik demir borular kullanılmıştır (Tüfekçioğlu ve ark. 1999, Tüfekçioğlu ve ark. 2002, Tüfekçioğlu ve ark. 2004). Köklerinin büyük bir kısmının toprak yüzeyinden 30 cm derinlik arasında yayılış yaptığı (Eissenstat ve Yanai 1997, Tüfekçioğlu ve ark. 2003) ve kılcal kök ölçümünde en çok tercih edilen yöntem olarak çelik boru yöntemi (karot tekniği) kullanıldığından (Addo-Danso ve ark. 2016), bu çalışmada da bu yöntem seçilmiştir. Çelik borular balyoz yardımıyla toprağa çakılarak silindire giren toprak örneği torbalara konularak etiketlenmiştir.

Laboratuvara getirilen toprak örnekleri bir gün suda bekletilerek kök ve toprağın ayrılması için bekletildikten sonra yıkanarak 0.2 mm'lik elekten süzülüp kökler topraktan ayrıştırılmıştır. Köklerin içerisindeki yabancı maddeler temizlendikten sonra, kökler çaplarına göre tasnif yapılarak kılcal kökler (<2 mm) ayrılmıştır (Tüfekçioğlu ve ark. 2003). Daha sonra bu kökler 65 °C de 48 saat etüvde kurutulduktan sonra 0.001 gr hassasiyetindeki terazi ile tartılıp dönüşümler yapılarak birim alandaki KKB (g m^{-2}) hesaplanmıştır.

Yıllık kılcal kök üretimi ölçülen KKB verileri kullanılarak Maksimum-Minimum yöntemine göre belirlenmiştir (McClagherty ve ark. 1982, Scurlock ve ark. 2002). Kılcal kök döngüsü ise McClagherty ve ark. (1982) göre yıllık kılcal kök üretimi ortalama KKB'ye oranlanarak hesaplanmıştır (Brunner ve ark. 2013).

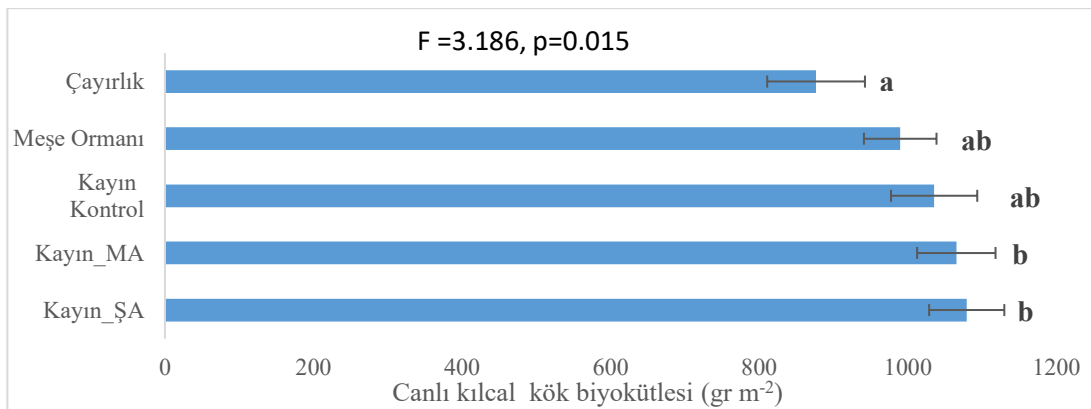
İstatistiki Analiz

İstatistiki analizler IBM-SPSS 21 paket programında gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesi verilen normallik kontrolü “Shapiro-Wilk” testi ile varyansların homojenlik kontrolü ise “Levene’s testi” ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle aralamanın kayın sahaları arasında KKB'ye etkisini belirlemek için verilere tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) uygulanmıştır. Daha sonra, saha, ölçüm zamanı ve saha-ölçüm zamanı etkileşiminin KKB'ye etkisini belirlemek için iki yönlü varyans analizinden (Two-Way ANOVA) yararlanılmıştır. Sahalar arasında kılcal kök üretimi ve kılcal kök döngüsündeki değişimlere tek yönlü varyans analizi ile bakılmıştır. Ortalamaların karşılaştırılmasında *Tukey testi* kullanılmıştır ($p<0.05$).

BULGULAR

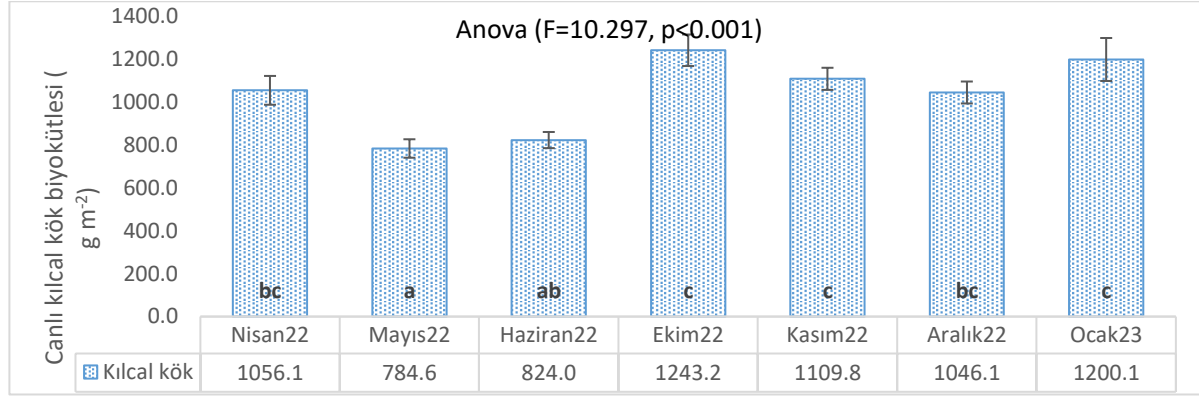
Farklı şiddette uygulanan aralamaların kayın meşcerelerinde canlı kılcal kök biyokütlesine (KKB) istatistiki olarak anlamlı etkisi olmamıştır ($p>0.05$). Kayın sahalarının ortalama KKB 1060.2 g m^{-2} olarak bulunmuştur. KKB saha ile ölçüm zamanına göre ve saha-ölçüm zamanı etkileşimine bağlı olarak istatistiki olarak değişiklik göstermiştir ($p<0.05$).

En yüksek KKB aralanan kayın sahalarında belirlenmiştir (1080 g m^{-2}) ve bu en düşük kılcal kök biyokütlesine sahip çayırılıktan %22 daha fazladır (Şekil 2).



Şekil 2. Sahalar arasında canlı kılcal kök biyokütlesinin değişimi
(Barlar standart hatayı göstermektedir. Sahalarda aynı harfle gösterilen sütunlar istatistiki olarak benzerdir)

Saha ayrımı yapılmaksızın en yüksek KKB; Ekim, Kasım ve Ocak aylarında iken (ort. 1184.3 g m⁻²), en düşük KKB Mayıs ayında (784.6 g m⁻²) bulunmuştur (Şekil 3). Genel olarak sonbahar ve kış mevsiminde KKB, daha yüksektir.



Şekil 3. Ölçüm zamanına göre canlı kılcal kök biyokütlesinin değişimi
(Barlar standart hatayı göstermektedir. Her ölçüm ayında aynı harfle gösterilen sütunlar istatistiki olarak benzerdir)

KKB'nin saha ve ölçüm zamanına göre değişimi Çizelge 1'de verilmiştir.

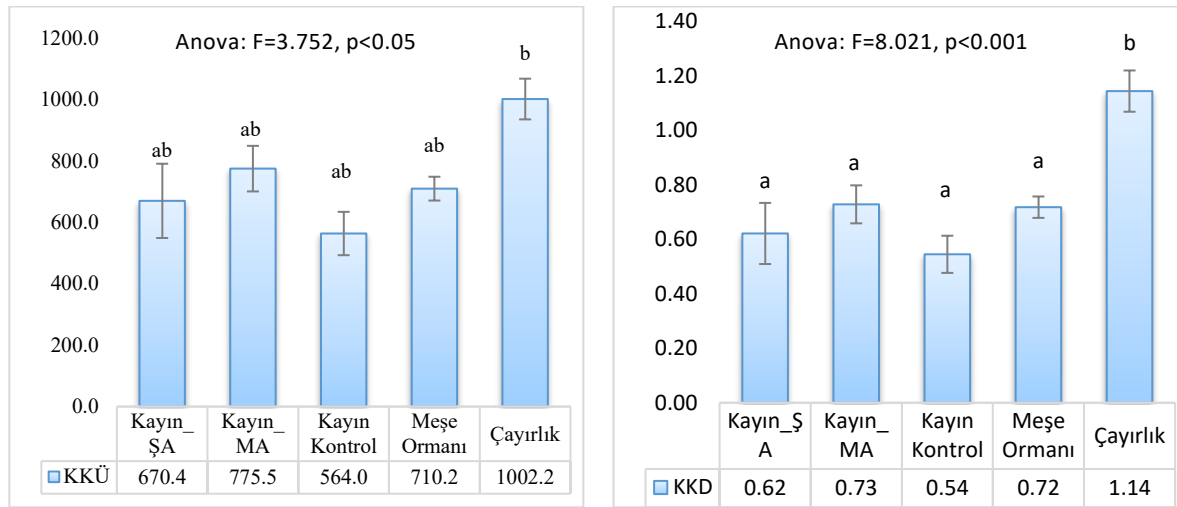
Çizelge 1. Farklı sahalardaki kılcal kök biyokütlesinin ölçüm zamanına göre değişimi (Ort±std hata, Anova: F=2.346, p<0.001)

Ölçüm zamanı	Saha	Canlı Kılcal kök biyokütlesi (g m ⁻²)
Nis.22 [#]	Kayın_ŞA	971.31 ± 82.87 abcdef
	Kayın_MA	1066.73 ± 138.62 abcdef
	Kayın Kontrol	1003.29 ± 154.03 abcdef
	Meşe Ormanı	1186.47 ± 149.42 abcdef
May.22	Kayın_ŞA	849.52 ± 125.17 abcdef
	Kayın_MA	740.67 ± 51.75 abcd
	Kayın Kontrol	951.84 ± 86.37 abcdef
	Meşe Ormanı	661.33 ± 74.97 ab
	Çayırılık	638.95 ± 92.81 a
Haz.22	Kayın_ŞA	933.00 ± 28.73 abcdef
	Kayın_MA	878.42 ± 122.5 abcdef
	Kayın Kontrol	769.57 ± 92.38 abcde
	Meşe Ormanı	841.05 ± 46.78 abcdef
	Çayırılık	650.93 ± 89.29 ab
Eki.22	Kayın_ŞA	1353.98 ± 161.63 ef
	Kayın_MA	1454.72 ± 80.70 f
	Kayın Kontrol	1464.92 ± 77.42 f
	Meşe Ormanı	1228.77 ± 156.87 abcdef
	Çayırılık	678.12 ± 125.55 abc
Kas.22	Kayın_ŞA	1156.25 ± 106.72 abcdef
	Kayın_MA	1273.58 ± 135.36 abcdef
	Kayın Kontrol	1063.77 ± 119.96 abcdef
	Meşe Ormanı	1102.33 ± 100.83 abcdef
	Çayırılık	952.98 ± 108.13 abcdef
Ara.22	Kayın_ŞA	1180.64 ± 163.02 abcdef
	Kayın_MA	918.10 ± 75.28 abcdef
	Kayın Kontrol	1072.75 ± 132.16 abcdef
	Meşe Ormanı	1010.95 ± 76.37 abcdef
	Çayırılık	1047.90 ± 115.17 abcdef
Oca.23	Kayın_ŞA	1337.23 ± 63.12 def
	Kayın_MA	1302.36 ± 118.75 bcdef
	Kayın Kontrol	937.97 ± 170.67 abcdef
	Meşe Ormanı	1099.70 ± 111.70 abcdef
	Çayırılık	1323.07 ± 261.20 cdef

[#]Nisan ayında çayırılık alanda örnekleme yapılamadı

En düşük KKB, çayırılıkta Mayıs ve Haziran aylarında, meşe sahasında Mayıs ayında bulunmuştur. En yüksek KKB ise Ekim ayında, kayın kontrol ve mutedil aralanan kayın sahasında (ortalama 1460 g m⁻²) bulunmuştur (Çizelge 1).

Kayın ŞA, Kayın MA, Meşe ve Çayırılık alanlarda Mayıs ayında, Kayın kontrolde ise Haziran ayında en düşük KKB belirlenmiştir. En yüksek KKB ise Kayın ŞA, Kayın MA, Kayın kontrol ve Meşe sahaslarında Ekim ayında iken, çayırılık alanda Ocak ayında ölçülmüştür. Nisan, Kasım ve Aralık aylarında KKB sahası arasında benzerdir. Kılcal kök üretimi ve kılcal kök döngüsü kayın ile meşe sahaslarında benzer ve çayır sahasından sırasıyla %32 ve %43 daha düşük bulundu (Şekil 4). Ormanlık sahalarda ortalama kılcal kök üretimi ve kılcal kök döngüsü sırasıyla 680.03 g m⁻² ve 0.65 yıl⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Sahalar arasında kılcal kök üretimi (KKÜ) ve kılcal kök döngüsünün (KKD) değişimi (Barlar standart hatayı göstermektedir. Aynı harfle gösterilen sütunlar istatistik olarak benzerdir)

TARTIŞMA

İlk hipotezimizin aksine, doğu kayınına aralamanın KKB üzerine istatistik olarak anlamlı etkisi olmamıştır. Kayın meşcerelerinde KKB ortalama 1060.2 g m⁻² olarak bulunmuştur. Bu değer doğu kayını ormanlarında yapılan önceki çalışmalardan elde edilen bulgularla örtüşmektedir. Örneğin; doğal doğu kayını meşceresinde KKB 113.6-703.3 g m⁻² arasında (Akbaş 2020), diğer bir çalışmada 411.0-1452.0 g m⁻² arasında (Tüfekçioğlu ve ark. 2004), başka bir çalışmada ise ortalama 978.0 g m⁻² olduğu (Mısır ve Mısır 2013) belirtilmiştir.

Yapraklı türlerde yapılan aralama çalışmalarında, aralamanın KKB'ye etkisi değişkendir ve türe, sıklığa, aralama şiddetine ve aralama şiddetinden sonra geçen süreye göre değişkenlik gösterdiği düşünülmektedir. Örneğin Tüfekçioğlu ve ark. (2005) Artvin doğu kayını meşcerelerinde GY'nin %27'nin çıkartıldığı meşcerede aralamadan üç yıl sonra aralanan meşcerede KKB kontrole göre daha az olduğunu belirtmektedir. Aksine, Konôpka ve ark. (2020) Avrupa kayınına %30 oranında sıklığın azaltılmasının KKB üretimini artırdığını, aralama sonrası kaynak tahsisinin kök sistemine doğru kaydığını belirtmişlerdir. Diğer taraftan, Akburak ve Makineci (2021) ise saf Macar meşesi ve adi gürgen meşcerelerinde GY'nin %50'in çıkartılmasından bir yıl sonra; meşe meşceresinde en yüksek KKB'yi kontrolde, gürgende ise aralanan meşcerede elde etmişlerdir. Montagnoli ve ark. (2012) Türk meşesinde kontrole göre aralanan meşcerede KKB'nin daha yüksek olduğunu bildirmektedir.

Ma ve ark. (2013) *Quercus variabilis* meşceresinde aralanan sahada KKB, daha düşük bulmuşlardır. Bu çalışmada aralamanın KKB'ye etkisinin olmaması, kayın sahaslarında düzenli olarak tekrarlanan aralamaların uygulanmasına bağlanabilir. Çünkü aralamanın etkisi aralamadan sonraki birkaç yılda kendini göstermekte, meşcere kapallılığı tekrar tahsis

edildiğinde aralama öncesi seviyeye dönebilmektedir. Terzaghi ve ark. (2016) Avrupa kayınında zamanla ince kök biyokütlesi aralama öncesi seviyelere geri dönebileceğini belirtmektedir.

Bu çalışmanın ikinci hipoteziyle uyumlu şekilde; sahalar arasında en fazla KKB aralanan kayın sahalarında belirlenmiştir ve bu değer meşe sahasından %8.3, çayırılık sahadan yaklaşık %22 daha yüksek bulunmuştur. Tüfekçioğlu ve ark. (1999) vejetasyon tipleri arasında KKB bakımından önemli farklar olabileceğini belirtmişlerdir. Meşeler özellikle kayına nazaran daha fazla kaba köke yatırım yaptıklarından, kayına nazaran daha az kılcal kök biyokütlesi ürettiği belirtilmektedir (Büttner ve Leuschner 1994, Leuschner ve ark. 2001). Ayrıca, Kayın daha az elverişli koşullara yanıt olarak ince kök biyokütlesini meşeden daha esnek bir şekilde ayarlayabilir ve kaynakların sınırlı olduğu yerlerde genellikle kılcal kök biyokütlesini daha fazla artırabilmektedir (Yeste ve ark. 2021). Diğer taraftan, çayırılık sahanın KKB kayın ve meşe gibi doğal yapraklı ormanlara nazaran daha düşüktür (Jaramillo ve ark. 2003, Baysal 2012). Baysal (2012) meşe meşceresinde KKB 1081.0 g m⁻² iken bitişindeki çayırılık alanda 825.6 g m⁻² olduğunu belirtmiştir.

KKB'nin mevsimsel dinamikleri ağaç türü, yaş ve çevre koşullarından önemli düzeyde etkilenmektedir (Xiao ve ark. 2008, Gao ve ark. 2021). Bu çalışmada kılcal kök biyokütlesi en düşük Mayıs ayında, en yüksek ise Ekim ile Ocak ayları arasında bulunmuştur. Benzer şekilde Tüfekçioğlu ve ark. (1999) kavak, soya, dallı darı ve çayırılık vejetasyonlarında en düşük kılcal kök biyokütlesinin Mayıs ayında olduğunu, en yüksek ise Ağustos ile Ekim ayı arasında olduğunu belirtmişlerdir. Mevsimsel olarak sonbahar ve kış aylarında ilkbahar aylarına göre kılcal kök biyokütlesi %29.4 daha yüksektir. Bunun nedeni ilkbahar ve yaz periyodunda biyokütle dağılımının büyük bir kısmını toprak üstü kısma yönlendirmesi olabilir. Doğu kayınında yapılmış bazı çalışmalarda da sonbahar mevsimindeki aylarda KKB'nin ilkbahara göre daha yüksek olduğunu belirtmektedir (Tüfekçioğlu ve ark. 2004, Akbaş 2020). Bu bulgular çalışmanın üçüncü hipotezini desteklemektedir.

Kılcal kök üretimi ve kılcal kök döngüsü ormanlık sahalarda benzer ve çayır sahasından düşük bulunmuştur. Almanya'da yapılan bir çalışmada çayırılık alandaki kılcal kök üretimi orman alanından fazla olduğu belirtilmiştir (Stolze 2012). Gill ve Jackson (2000) çayırılıklardaki kılcal kök döngüsünün orman alanlarından daha yüksek olduğunu, sıcaklığın artmasıyla çayırılıklardaki döngü hızının daha da arttığını vurgulamaktadır. Bu çalışmada ormanlık sahalarda kılcal kök döngüsü ortalama 0.65 yıl⁻¹, çayırılıkta ise 1.14 yıl⁻¹ olarak bulunmuştur. Kayın ve meşe sahasında bulunan kılcal kök döngüsü, Hickler ve ark. (2008) tarafından geniş yapraklı ormanlar için önerilen evrensel kılcal kök döngüsü değerine (0.7 yıl⁻¹) ve Avrupa ormanları için belirtilen değere (0.75 yıl⁻¹) oldukça yakındır. Aslında tüm sahalarda elde edilen kılcal kök döngüsü, küresel bitki örtüsü modellerinde genellikle belirlenen değerle (1.0 yıl⁻¹) örtüşmektedir (Pietsch ve ark. 2005, Cienciala ve Tatarinov 2006, Brunner ve ark. 2013). Dünya çayır ekosistemlerinde kılcal kök döngüsünün 0.6 ile 19.6 yıl⁻¹ arasında değiştiğini, ılıman bölge çayır ve meralarda en uzun ortalama kılcal kök döngüsünün 2.9 yıl⁻¹ olduğu bildirilmektedir (Wang ve ark. 2019b). Bu sonuçlar ormanlardaki KKB'nin daha eski karbondan oluştuğunu, ılıman bölgedeki çayırılıkların ormanlardan daha hızlı karbonu toprağa kazandırdığını göstermektedir.

SONUÇ

Kılcal kök dinamikleri, orman besin döngüsünü ve ekosistemin değişen koşullara verdiği tepkileri anlamak için çok önemlidir. Bu çalışmada doğu kayınında düzenli aralıklarla tekrarlanan aralamaların KKB'yi etkilememiştir. Ancak KKB vejetasyon tipine bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. İlkbahar ve yaz mevsiminde sahaların KKB'si sonbahar mevsimindekilerden daha düşük seyretmiştir. Çayırılıktaki KKB doğu kayını ve sapsız meşe alanlarından düşük olsa da çayırılıktaki kök üretimi ve kök döngüsü hızı ormanlık sahalardan daha yüksektir.

Bununla birlikte, bu çalışmada elde edilen verilerin, özellikle uzun dönemli izleme ve farklı ekosistem tiplerinin karşılaştırılması açısından zenginleştirilmesi önerilebilir. Gelecekte yapılacak araştırmalarda, kök biyokütlesinin zamansal değişimi, kök ömrü ve köklerin toprak mikrobiyal aktiviteleriyle ilişkisi detaylı olarak incelenebilir. Elde edilen bulgular

farklı vejetasyon tiplerinde toprak organik maddesi kaynağının belirlenmesine katkı sağlayacak ve doğu kayınında uygulanan uzun süreli aralama bakımlarının kılcal kök dinamiğine etkilerini anlaşılmasına ışık tutacaktır.

TEŞEKKÜR/BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimi tarafından desteklenen 2022.02.02.1367 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim dalında hazırlanan “Farklı şiddette aralanan doğu kayını meşcereleri ile bitişindeki meşelik ve çayırılık alanlarda toprak solunumunun belirlenmesi” başlıklı yüksek lisans tezinin bulgularından istifade edilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın arazi ve laboratuvar aşamalarında desteklerini gördüğümüz orman mühendisleri Barış KANGAL, Serhat KOLAY, Abdullah SELVİ, Mehmet DİLBAZ, Ömer Nuri OZULLUOĞLU ve Berkay KÜKNER’e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Addo-Danso SD, Prescott CE, Smith AR (2016) Methods for estimating root biomass and production in forest and woodland ecosystem carbon studies: a review. *Forest Ecology and Management*, 359:332-351. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.08.015>
- Akbaş M (2020) Artvin yöresi kayın ve ladin meşcerelerinde toprak solunumunun kök ve mikroorganizma bileşenlerinin belirlenmesi Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Artvin.
- Akburak S, Makineci E (2021) Thinning effects on biomass and element concentrations of roots in adjacent hornbeam and oak stands in Istanbul, Turkey. *Forest Ecosystems*, 8 (1):1. <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00279-4>
- Aussenac G (2000) Interactions between forest stands and microclimate: ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57(3):287-301. <https://doi.org/10.1051/forest:2000119>
- Baysal A (2012) Farklı eğitim gruplarında ve farklı bakıldaki meşe meşcerelerinde ve bitişindeki çayırılık alanlarda ince kök kütlesinin mevsimsel olarak değişiminin incelenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Artvin.
- Brunner I, Bakker MR, Björk RG, Hirano Y, Lukac M, Aranda X, Børja I, Eldhuset TD, Helmisaari HS, Jourdan C, Konôpka B, López BC, Miguel Pérez C, Persson H, Ostonen I (2013) Fine-root turnover rates of European forests revisited: an analysis of data from sequential coring and ingrowth cores. *Plant Soil*, 362 (1):357-372. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1313-5>
- Büttner V, Leuschner C (1994) Spatial and temporal patterns of fine root abundance in a mixed oak-beech forest. *Forest Ecology and Management*, 70 (1):11-21. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90071-X](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90071-X)
- Cienciala E, Tatarinov FA (2006) Application of BIOME-BGC model to managed forests: 2. comparison with long-term observations of stand production for major tree species. *Forest Ecology and Management*, 237 (1-3):252-266. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.08>
- Ding Y, Leppälampi-Kujansuu J, Helmisaari H-S (2019) Fine root longevity and below- and aboveground litter production in a boreal *Betula pendula* forest. *Forest Ecology and Management*, 431:17-25. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.039>
- Eissenstat D, Yanai R (1997) The Ecology of Root Lifespan. In: *Advances in Ecological Research*, Vol 27. Elsevier, pp: 1-60.
- Finér L, Ohashi M, Noguchi K, Hirano Y (2011) Fine root production and turnover in forest ecosystems in relation to stand and environmental characteristics. *Forest Ecology and Management*, 262 (11):2008-2023. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.042>
- Freschet GT, Valverde-Barrantes OJ, Tucker CM, Craine JM, McCormack ML, Violle C, Fort F, Blackwood CB, Urban-Mead KR, Iversen CM (2017) Climate, soil and plant functional types as drivers of global fine-root trait variation. *Journal of Ecology*, 105 (5):1182-1196. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12769>
- Fukuzawa K, Shibata H, Takagi K, Nomura M, Kurima N, Fukazawa T, Satoh F, Sasa K (2006) Effects of clear-cutting on nitrogen leaching and fine root dynamics in a cool-temperate forested watershed in northern Japan. *Forest Ecology and Management*, 225 (1-3):257-261. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.001>
- Gao G, Liu Z, Wang Y, Wang S, Ju C, Gu J (2021) Tamm review: fine root biomass in the organic (O) horizon in forest ecosystems: global patterns and controlling factors. *Forest Ecology and Management*, 491:119208. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119208>
- Germon A, Laclau J-P, Robin A, Jourdan C (2020) Tamm review: deep fine roots in forest ecosystems: why dig deeper? *Forest Ecology and Management*, 466:118135. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118135>
- Gill RA, Jackson RB (2000) Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, 147 (1):13-31. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00681.x>
- Gill AL, Finzi AC (2016) Belowground carbon flux links biogeochemical cycles and resource-use efficiency at the global scale. *Ecology Letters*, 19 (12):1419-1428. <https://doi.org/10.1111/ele.12690>
- Güner S, Tüfekçioğlu A, Duman A, Küçük M (2010) Murgul yalancı akasya ağaçlandırmalarının ve bitişindeki otlak alanların toprak üstü biyokütle, kök kütlesi, kök üretimi ve karbon depolama yönlerinden karşılaştırılması. In: III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, pp: 1045-1055, Artvin, Türkiye.
- Helmisaari H-S, Makkonen K, Kellomäki S, Valtonen E, Mälkönen E (2002) Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management*, 165 (1-3):317-326. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00648-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00648-X)
- Hendrick RL, Pregitzer KS (1992) The demography of fine roots in a northern hardwood forest. *Ecology*, 73 (3):1094-1104. <https://doi.org/10.2307/1940183>
- Hickler T, Smith B, Prentice IC, Mjöfors K, Miller P, Arneth A, Sykes MT (2008) CO₂ fertilization in temperate FACE experiments not representative of boreal and tropical forests. *Global Change Biology*, 14 (7):1531-1542. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01598.x>
- Jaramillo VJ, Ahedo-Hernández R, Kauffman JB (2003) Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. *Journal of Tropical Ecology*, 19 (4):457-464. <https://doi.org/10.1017/S0266467403003493>

- Konôpka B, Barna M, Bosela M, Lukac M (2020) Biomass allocation to resource acquisition compartments is affected by tree density manipulation in European Beech after three decades. *Forests*, 11 (9):940. <https://doi.org/10.3390/f11090940>
- Leuschner C, Hertel D, Coners H, Büttner V (2001) Root competition between beech and oak: a hypothesis. *Oecologia*, 126 (2):276-284. <https://doi.org/10.1007/s004420000507>
- Ma C, Zhang W, Wu M, Xue Y, Ma L, Zhou J (2013) Effect of aboveground intervention on fine root mass, production, and turnover rate in a Chinese cork oak (*Quercus variabilis* Blume) forest. *Plant Soil*, 368 (1):201-214. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1512-0>
- McClougherty CA, Aber JD, Melillo JM (1982) The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology*, 63 (5):1481-1490. <https://doi.org/10.2307/1938874>
- McCormack ML, Guo D (2014) Impacts of environmental factors on fine root lifespan. *Frontiers in Plant Science*, 5:87458. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00205>
- McCormack ML, Dickie IA, Eissenstat DM, Fahey TJ, Fernandez CW, Guo D, Helmisaari HS, Hobbie EA, Iversen CM, Jackson RB (2015) Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. *New Phytologist*, 207 (3):505-518. <https://doi.org/10.1111/nph.13363>
- MGM (2024) Meteoroloji genel müdürlüğü il istatistikleri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=DUZCE>, Erişim Tarihi: 15.03.2024.
- Mısır M, Mısır N (2013) Root biomass and carbon storage for *Fagus Orientalis* Lipsky. (Northeastern Turkey). *International Journal of Education and Research*, 1:1-8.
- Montagnoli A, Terzaghi M, Di Iorio A, Scippa GS, Chiatante D (2012) Fine-root morphological and growth traits in a Turkey-oak stand in relation to seasonal changes in soil moisture in the Southern Apennines, Italy. *Ecological Research*, 27:1015-1025. <https://doi.org/10.1007/s11284-012-0981-1>
- Odabaşı T, Çalışkan A, Bozkuş F (2004) Orman Bakımı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul.
- OGM (2021) Türkiye Orman Varlığı. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı. Ankara.
- Özbayram AK (2014) Düzce yöresindeki Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) meşcerelerinde aralama şiddetinin büyümeye etkisi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.
- Pang Y, Tian J, Yang H, Zhang K, Wang D (2022) Responses of fine roots at different soil depths to different thinning intensities in a secondary forest in the Qinling Mountains, China. *Biology*, 11 (3):351. <https://doi.org/10.3390/biology11030351>
- Pietsch SA, Hasenauer H, Thornton PE (2005) BGC-model parameters for tree species growing in central European forests. *Forest Ecology and Management*, 211 (3):264-295. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.046>
- Scurlock JM, Johnson K, Olson RJ (2002) Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements. *Global Change Biology*, 8 (8):736-753. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00512.x>
- Shen Y, Wang N, Cheng R, Xiao W, Yang S, Guo Y (2017) Short-term effects of low intensity thinning on the fine root dynamics of *Pinus massoniana* plantations in the three gorges reservoir area, China. *Forests*, 8 (11):428. <https://doi.org/10.3390/f8110428>, 1999-4907
- Stolze K (2012) Fine root productivity and C dynamics in temperate grasslands and forests with different land uses. Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Strand AE, Pritchard SG, McCormack ML, Davis MA, Oren R (2008) Irreconcilable differences: fine-root life spans and soil carbon persistence. *Science*, 319 (5862):456-458. <https://doi.org/10.1126/science.115138>
- Terzaghi M, Di Iorio A, Montagnoli A, Baesso B, Scippa GS, Chiatante D (2016) Forest canopy reduction stimulates xylem production and lowers carbon concentration in fine roots of European beech. *Forest Ecology and Management*, 379:81-90. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.010>
- Tüfekçioğlu A, Raich JW, Isenhardt TM, Schultz RC (1999) Fine root dynamics, coarse root biomass, root distribution, and soil respiration in a multispecies riparian buffer in Central Iowa, USA. *Agroforestry Systems*, 44 (2-3):163-174. <https://doi.org/10.1023/A:1006221921806>
- Tüfekçioğlu A, Güner S, Altun L, Kalay HZ, Yener İ (2002) Kayın ve ladin meşcerelerinde ince ve kılcal kök biyokütlesinin karşılaştırılması. II. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Vol (II): 746-751. Artvin.
- Tüfekçioğlu A, Raich J, Isenhardt T, Schultz R (2003) Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agroforestry Systems*, 57 (3):187-198. <https://doi.org/10.1023/A:1024898615284>
- Tüfekçioğlu A, Güner S, Kucuk M (2004) Root biomass and carbon storage in oriental spruce and beech stands in Artvin, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 25 (3):317-320.
- Tüfekçioğlu A, Güner S, Tilki F (2005) Thinning effects on production, root biomass and soil properties in a young oriental beech stand in Artvin, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 26 (1):5.
- Tüfekçioğlu A, Özbayram AK, Küçük M (2009) Soil respiration in apple orchards, poplar plantations and adjacent grasslands in Artvin, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 30 (5):815-820.
- Wang D, Olatunji OA, Xiao J (2019a) Thinning increased fine root production, biomass, turnover rate and understory vegetation yield in a Chinese fir plantation. *Forest Ecology and Management*, 440:92-100. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.012>
- Wang J, Sun J, Yu Z, Li Y, Tian D, Wang B, Li Z, Niu S (2019b) Vegetation type controls root turnover in global grasslands. *Global Ecology and Biogeography*, 28 (4):442-455. <https://doi.org/10.1111/geb.12866>
- Xiao CW, Sang WG, Wang R-Z (2008) Fine root dynamics and turnover rate in an Asia white birch forest of Donglingshan Mountain, China. *Forest Ecology and Management*, 255 (3):765-773. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.062>
- Yeste A, Blanco JA, Imbert JB, Zozaya-Vela H, Elizalde-Arbilla M (2021) *Pinus sylvestris* L. and *Fagus sylvatica* L. effects on soil and root properties and their interactions in a mixed forest on the Southwestern Pyrenees. *Forest Ecology and Management*, 481:118726. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118726>