

Meşe Meşcerelerinde Farklı Vegetasyon Tiplerinin Toprak Solunumuna Etkileri

Effects of Different Vegetation Types on Soil Respiration in Oak Stands

 Ali Kemal ÖZBAYRAM¹

Özet

Atmosferde biriken karbondioksitin önemli bir kısmı topraktan solunum ile salınmaktadır. Toprak solunumu vejetasyon tipi, toprak nemi ve toprak sıcaklığından etkilenebilmektedir. Bu çalışmada Düzce yöresi Meşe meşcerelerinde farklı vejetasyon tiplerinin (meşe, meşe+meşe gençliği, meşe+fundalık ve fundalık) toprak solunumuna olası etkileri araştırılmıştır. Tüm vejetasyon tiplerinde toprak solunumu 0.40 ile 4.90 g C m⁻² gün⁻¹ arasında değişmektedir. Meşe+funda vejetasyonu diğer vejetasyonlardan daha yüksek toprak solunumu gerçekleştirmiştir. Toprak solunumu toprak sıcaklığı ile negatif, toprak nemi ile pozitif ilişki göstermiştir. Sonuç olarak meşe ve funda gibi farklı türlerin oluşturduğu vejetasyon tipi daha yüksek toprak solunumu gerçekleştirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düzce, Meşe, Toprak solunumu, Toprak nemi, Toprak sıcaklığı.

Abstract

A significant part of the carbon dioxide accumulated in the atmosphere is released from the soil respiration. Soil respiration may be affected by vegetation type, soil moisture and soil temperature. In this study, the possible effects of different vegetation types (oak, oak+regeneration, oak+heather, heather) on soil respiration were investigated in oak stands in Düzce region. Soil respiration in all vegetation types varies between 0.40 and 4.90 g C m⁻² day⁻¹. Oak + heather vegetation performed higher soil respiration than other vegetations. Soil respiration was negatively correlated with soil temperature and positively correlated with soil moisture. As a result, vegetation type formed by different species such as oak and heather performed higher soil respiration.

Keywords: Düzce, Oak, Soil respiration, Soil moisture, Soil temperature.

1. Giriş

Yaşadığımız asırda küresel ısınma ve küresel iklim değişikliği bilim dünyasının üzerinde durduğu en önemli konuların başında gelmektedir. Küresel ısınmanın ana nedeni atmosferde giderek artan CO₂ konsantrasyonu olduğu belirtilmektedir (Peters, 1990; Saxe ve ark., 2001). Atmosferik CO₂ konsantrasyonunun artması ve küresel iklim değişikliği karasal ekosistemlerdeki küresel karbon döngüsü hakkında güçlü bir veri ve bilgiye ihtiyacı artırmaktadır (Tüfekçioğlu ve ark., 2009). Toprak, ana karbon kaynaklarından bir tanesi olması nedeniyle atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunda önemli rol oynamaktadır (Tüfekçioğlu ve Küçük, 2004). Atmosferdeki CO₂'in yaklaşık %11-12'i her yıl topraktan

geçmekte (Lei ve ark., 2021; Raich ve ark., 2002) ve bu da fosil yakıt kullanımı ile atmosfere geçen karbondioksit miktarından yaklaşık 14 kat daha fazladır (Green ve Byrne, 2004).

Toprak solunumun küresel ölçekte giderek yükseldiği ve ortalama sıcaklıkların arttığı son yıllarda daha da artabileceği öngörülmektedir (Lei ve ark., 2021).

Orman ekosistemi içerisinde serbest olarak dolaşan karbondioksitin %60-70'i toprak solunumundan kaynaklandığı belirtilmektedir (Samuelson ve ark., 2009). Topraktaki metabolik aktiviteler, bitki artıklarının ayrışması, topraktaki organik karbonun atmosferik CO₂'e dönüşümü gibi orman ekosistemindeki olayların önemli göstergesi (Rochette ve ark., 1997) olan toprak solunumu, toprağın kalitesi hakkında da önemli bilgi verebilmektedir (Parkin ve ark., 1997).

Toprak sıcaklığı ve toprak nemi gibi çevresel faktörler, toprak biyolojik aktivitesini ve CO₂ difüzyonunu etkilediklerinden dolayı, toprak solunumunun mevsimsel dinamiklerini etkisi altına alabilmektedirler (Singh ve Gupta, 1977). Ayrıca vejetasyon tipinde veya arazi kullanımındaki değişim de toprak solunumunu önemli oranda etkileyebilmektedir (Raich and Tüfekçioğlu, 2000). Bu etki, vejetasyonun karışım oranlarına ve sıklığına göre değişim gösterebilmektedir. Vejetasyon tipi toprak solunumuna farklı şekillerde etkide bulunabilmektedir. Vejetasyon toprağın mikro iklimini ve yapısını, toprağa çeşitli bitki türlerinden katılan farklı bitkisel artıkların miktarını, kalitesini ve özellikle de kökleri etkileyerek solunum oranını etkileyebilmektedir (Raich ve Tüfekçioğlu, 2000). Bu nedenle insan faaliyetleriyle meydana gelen vejetasyondaki değişiklikler ve buna bağlı olarak küresel çaptaki çevresel değişimler topraktan atmosfere CO₂ akışını değiştirme potansiyeline sahiptir (Phillips and Nickerson, 2015).

Türkiye de farklı orman ekosistemlerinde ve vejetasyon tiplerinde (Akbaş, 2020; Akburak, 2008; Akburak, 2013; Cenkseven ve Koçak, 2021; Gülenay, 2009; Küçük, 2013; Özbayram, 2006; Tufekcioglu ve ark., 2006; Tüfekçioğlu ve Küçük, 2004; Tüfekçioğlu ve ark., 2009) yapılan toprak solunumu çalışmaları oldukça sınırlı sayıdadır. Dolayısıyla bu çalışmada, Düzce yöresindeki farklı vejetasyon bileşimine sahip Meşe meşcerelerinde toprak solunumunun vejetasyon tipine göre değişimini belirlemek amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma Sahası

Araştırma sahası Düzce ili, Konuralp Yerleşkesi sınırları içerisinde yer almaktadır (40° 54.5 K. 31° 10.6 D). Araştırma sahası güney bakılı, %20-30 eğimli olup denizden ortalama yüksekliği 260 m'dir. Sahanın ortalama sıcaklığı 13.3 °C, yıllık toplam yağış miktarı 830 mm'dir. Sahada vejetasyon dönemi Nisan-Ekim ayları arasında sürmekte ve bu dönemde sahaya 417 mm yağış düşmektedir (MGM, 2022). Saha toprağının tekstürü killi-balçık, pH'sı 4.1 ile 5.3 arasında değişmekte ve tuzluluğu ortalama 45 μSm^{-1} 'dir.

Araştırma sahasında sapsız meşe (*Quercus petraea*) ağırlıklı olup, yer yer macar meşesi (*Q. frainetto*) ve saçlı meşede (*Q. cerris*) karışıma girmektedir. Ancak orman yer yer bozulmuş ve meşcere altına meşe gençliği, funda, akçakesme gibi türler gelmiştir. Böylece araştırma alanı içerisinde meşe meşceresi ile meşe altında meşe gençliği (meşe+gençlik), bozuk meşe altında funda diri örtüsü (meşe+fundalık) ve saf fundalık olmak üzere dört farklı vejetasyon tipi belirlenmiştir (Şekil 1). Her vejetasyon tipinden 20x20 m büyüklüğünde örnek alan seçilmiştir.



Şekil 1. Araştırma sahası olarak belirlenen meşe meşceresi (A), Meşe+gençlik (B), Meşe+Fundalık (C) ve fundalık vejetasyonu (D).

Meşe meşceresinde hektarda 400 adet birey bulunmaktadır. Meşelerin ortalama çapı 28.7 cm ve boyu 16.4 m dir. Saha altında diri örtü bulunmamaktadır. Meşe+gençlik sahasında 275 adet meşe ağacı altında ise 460 bin adet ha⁻¹ meşe gençliği bulunmaktadır. Ağaçların ortalama çapı 29.6 cm ve boyu ortalama 18.2 m'dir. Meşe gençliğinin ise ortalama dip çapı 4.3 mm, ortalama boyu 37 cm'dir. Meşe+fundalık vejetasyon alanında hektarda 311 adet meşe bulunmakta, altında ise hektarda 90.000 adet funda yayılış göstermektedir. Fundanın ortalama dip çap 14.8 mm ve boyu 160 cm'dir. Fundalık yalancı maki vejetasyonunda ise %99 oranında funda çalı bireyi, az sayıda akçakesme ve ardıç yayılmaktadır. Sahada ortalama 90.000 adet ha⁻¹ yalancı maki elemanı bulunmakta, ortalama dip çapı 15.0 mm ve ortalama boyu 157 cm'dir.

2.2. Yöntem

Araştırma alanı içerisinde her vejetasyon tipini temsil eden tesadüfi olarak 3 alt örnekleme alanı belirlenmiştir. Alt örnekleme alanlarının 3 farklı noktasında toprak solunumu, toprak nemi ve sıcaklığı ölçümleri toplamda 36 noktada (4 vejetasyon x 3 alt örnekleme alanı x 3 örnekleme noktası) 2018 yılının Mart, Nisan, Mayıs ve Ağustos aylarında yapılmıştır.

Toprak solunumu ölçümü soda-lime yöntemine göre gerçekleştirilmiştir (Edwards, 1982; Pongracic ve ark., 1997). Ebatları belli plastik kovalar rastlantısal olarak örnek alan içerisine dağıtılmıştır. Kovaların konulacağı yerde otsu vejetasyon var ise makasla toprak üstü kısmı uzaklaştırılmıştır. Sonra 60 gram Soda-kireci'nin bulunduğu kavanozun kapağı açık bir şekilde toprak yüzeyine konulduktan sonra üzerine plastik kova ters çevrilerek en az 1 cm toprağa sokulmuştur. Kovanın direkt güneş ışınlarıyla ısınmasını önlemek için kovanın üstü ışığı büyük ölçüde geri yansıtan alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Kovanın rüzgârla uçmaması için folyonun üzerine taş konulmuştur. Araziye konulan soda-kireçleri yaklaşık 24 saat arazide bırakıldıktan sonra toplanarak laboratuvara geri getirilmiştir. Soda-kireci kavanozu laboratuvar da kurutma fırınında 105 °C'de 24 saat kurutulduktan sonra 0.001 gr hassasiyetindeki terazide tartılarak, başlangıçtaki ve sondaki ağırlık farkından yararlanarak, bünyesine almış olduğu CO₂ miktarı belirlenmiştir.

Toprak sıcaklığı ölçümleri toprak solunumu ölçülen her 36 noktada 0-10 cm lik üst toprakta dijital termometre ile yapılmıştır. Ayrıca aynı noktalardan toprak nemi ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Araziden kavanozlar toplanırken kovaların altından bir miktar toprak örnekleri alınarak laboratuvarda gravimetrik olarak toprak nemi belirlenmiştir.

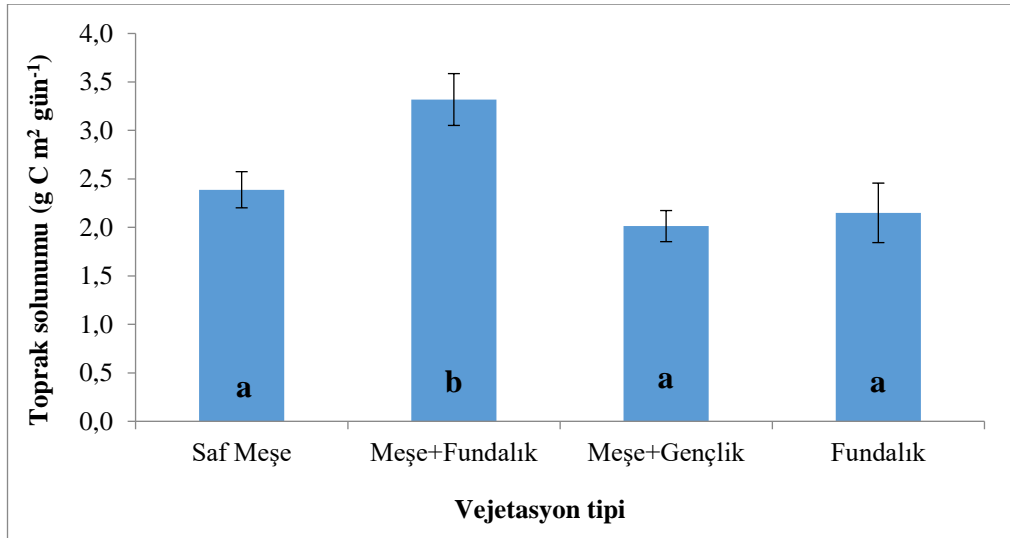
İstatistiki analizler SPSS versiyon 22 istatistiki paket programıyla gerçekleştirilmiştir (IBM SPSS Inc). Vejetasyon tiplerinin toprak solunumuna, toprak nemine ve toprak sıcaklığına etkisi belirlemek için verilere varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Ortalamaların karşılaştırılmasında ise *Duncan* testi kullanılmıştır. Sıcaklık ve nem ile toprak solumu arasındaki ilişkiye korelasyon analizi ile bakılmıştır. Analizlerden önce verilerin normal dağılımı ve homojenliği kontrol edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprak solunumu

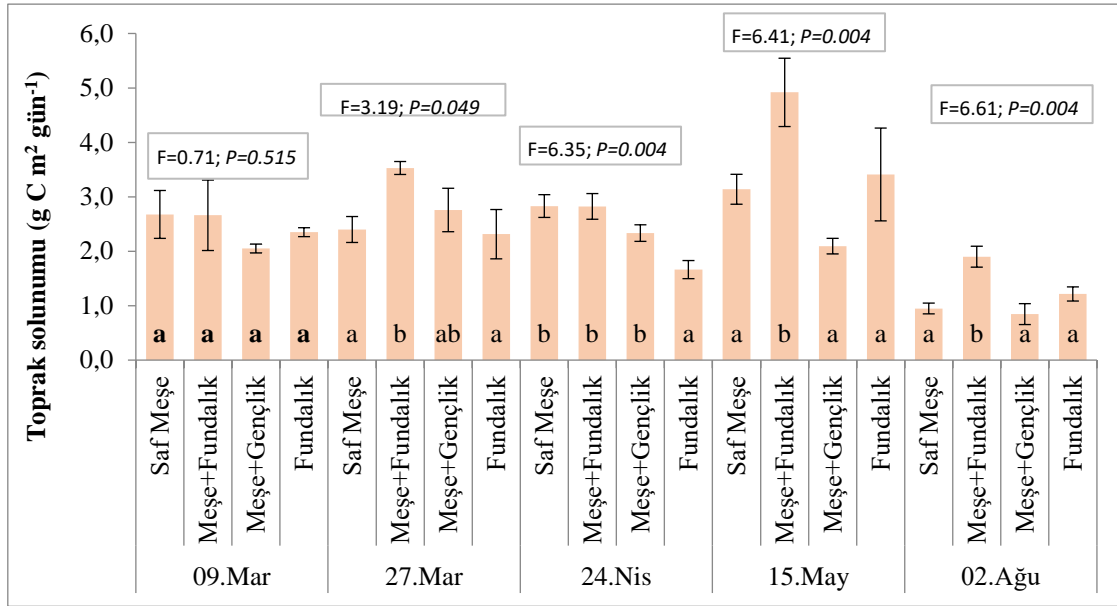
Tüm ölçüm tarihlerinde vejetasyonların günlük ortalama toprak solunumu 0.40 ile 4.90 g C m⁻² gün⁻¹ arasında değişmektedir. Bu sonuçlara benzer olarak, toprak solunumu İstanbul yöresi Macar meşesi meşceresinde 0.68-3.30 g C m⁻² gün⁻¹ (Akburak ve Makineci, 2015), Artvin yöresinde Sapsız meşede meşceresinde 0.97-2.64 g C m⁻² gün⁻¹ (Küçük, 2013), İtalya'da saçlı meşenin hakim olduğu meşcerede 1.4 ile 7.31 g C m⁻² gün⁻¹ (Rey ve ark., 2002) arasında bulunmuştur.

Tüm ayların ortalamasına göre; farklı vejetasyon tiplerinin toprak solunumuna etkisi önemli bulunmuştur (F=9.05; P<0.001). Meşe+Fundalık vejetasyon tipinde ortalama toprak solunumu 3.32 g C m⁻² gün⁻¹ ile benzer toprak solunumu yapan diğer vejetasyon tiplerinden (2.18 g C m⁻² gün⁻¹) yaklaşık %52 daha fazladır (Şekil 1). Meşe+Fundalık vejetasyonunda toprak solunumu değerinin yüksek olması toprakta birim alanda daha fazla kök miktarının olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kök solunumu toprak solunumunun önemli bileşenlerinden birisi olduğu için (Tüfekçioğlu ve ark., 1999) topraktan çıkan CO₂ miktarının yarısına yakın miktarının kök solunumundan kaynaklanabilmektedir (Holt ve ark., 1990). Doğu kayını ve ladin meşcerelerinde kök solunumunun toprak solunumunun yarısından fazlasını karşıladığı ve yıldan yıla değişiklik gösterdiği belirtilmektedir (Akbaş, 2020).



Şekil 1. Aylarının ortalamasına göre vejetasyon tiplerinin ortalama toprak solunumu değerleri. Her vejetasyon tipi için aynı harfle gösterilen çubuklar istatistiki olarak benzerdir. Barlar standart hatayı göstermektedir.

Vejetasyon tiplerine göre toprak solunumu değerleri 9 Mart ölçümünde benzer ($F=0.71$; $P=0.52$) iken, diğer ölçüm tarihlerinde farklı bulunmuştur ($P<0.05$; Şekil 2). 9 Mart tarihinde tüm vejetasyon tiplerinde ortalama $2.4 \text{ g C m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ toprak solunumu ölçülmüştür. 27 Mart tarihinde Meşe+Fundalık vejetasyonu ($3.5 \text{ g C m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$) benzer toprak solunumu yapan saf Meşe meşçeresi ve Fundalık vejetasyonundan yaklaşık %50 daha fazla toprak solunumu gerçekleştirmiştir. Meşe+gençlik vejetasyon tipinde ise saf Meşe meşçeresinden %17 daha fazla, Meşe+Fundalıktan %22 daha az toprak solunumu tespit edilmiştir. 24 Nisan tarihli ölçümde Fundalık vejetasyonu benzer toprak solunumu yapan Saf Meşe, Meşe+Fundalık ve Meşe+Gençlik vejetasyonlarından %38 daha düşük toprak solunumu gerçekleştirmiştir. 15 Mayıs tarihli ölçümde ise en yüksek toprak solunumu yapan Meşe+Fundalık vejetasyonu benzer toprak solunumu yapan diğer vejetasyon tiplerinden %71 daha yüksek bulunmuştur. 2 Ağustos ölçümünde ise 15 Mayıs ölçümüne benzer şekilde Meşe+Fundalık vejetasyonu toprak solunumu miktarı diğer vejetasyon tiplerinden yaklaşık %89 daha fazlaydı.



Şekil 2. Ölçüm zamanına göre vejetasyon tiplerinin ortalama toprak solunumu değerleri. Her ölçüm tarihinde aynı harfle gösterilen çubuklar istatistiki olarak benzerdir. Barlar standart hatayı göstermektedir.

Vejetasyon tipine ve ölçüm zamanına göre toprak solunumu değişkenlik göstermektedir. Raich ve Tüfekçioğlu (2000) farklı vejetasyon tiplerinde toprak solunumunun değiştiğini ancak bu değişimin her zaman istatistiki olarak anlamlı olmadığını belirtmektedirler. Belgrad ormanında toprak solunumunun ağaç türleri (Meşe, Ladin, Gökmar, Karaçam ve Sarıçam) bazında değişkenlik gösterdiğini, en yüksek toprak solunumu Meşe meşceresinde iken en düşük doğu ladininde ölçüldüğü belirtilmektedir. Raich ve Tüfekçioğlu (2000) çayır vejetasyonundaki toprak solunumu miktarı ormandakinden yaklaşık % 20 daha fazla olduğunu bildirmektedirler. Başka bir çalışmada da altı çayırılık olan elma bahçesinin kavak plantasyonu ve çayırılık alandan daha yüksek toprak solunumu yaptığı belirtilmektedir (Özbayram, 2006; Tüfekçioğlu ve ark., 2009).

Genel olarak Mayıs ayına kadar artan toprak solunumu, Ağustos ayında oldukça düşmüştür (Şekil 2). Benzer şekilde, Vanhala (2002) yapraklı ağaç türlerinin meşcerelerinde toprak solunumunun ilkbahar döneminden yaz sonuna doğru azaldığını belirtmektedir. Bunun nedeni vejetasyon tipi farklılığına bağlı olarak ölçüm zamanındaki toprak sıcaklığı ve toprak nemi değişikliğinden kaynaklanabilir. Nitekim toprak solunumu toprak nemi ve sıcaklığından güçlü şekilde etkilendiği belirtilmektedir (Raich ve Tüfekçioğlu, 2000; Singh ve Gupta, 1977).

3.2. Toprak sıcaklığı ve nemi

Araştırma alanında ölçüm periyodu boyunca toprak sıcaklığı 11.9 °C ile 23.4 °C arasında değişkenlik göstermiştir. Tüm ölçüm zamanlarının ortalamasına göre sahalar arasında toprak sıcaklığı bakımından önemli fark yoktur (16.2 °C). Ancak ölçüm zamanlarında vejetasyon tipine göre toprak sıcaklık değerleri farklılık göstermektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Ölçüm zamanlarına göre farklı vejetasyon tiplerinin toprak sıcaklığı değişimi (Parantez içleri standart hatayı göstermektedir).

	Ölçüm zamanları				
	09.Mar	27.Mar	24.Nis	15.May	02.Ağu
Saf Meşe	13.8 b (0.6)	12.6 b (0.1)	15.7 (0.1)	15.9 b (0.2)	23.0 ab (0.1)
Meşe+Fundalık	12.4 a (0.4)	12.3 ab (0.2)	15.5 (0.5)	15.1 a (0.3)	23.4 b (0.2)
Meşe+Gençlik	12.1 a (0.3)	12.8 b (0.3)	15.5 (0.2)	15.4 ab (0.1)	23.3 b (0.2)
Fundalık	12.3 a (0.5)	11.9 a (0.4)	16.5 (0.9)	15.5 ab (0.3)	22.8 a (0.2)
<i>P değeri</i>	0.012	0.064	0.342	0.048	0.049

9 Mart tarihinde saf meşenin toprağı diğer sahalarınkinden %13 daha sıcak iken, 27 Mart tarihli ölçümde saf meşe ve Meşe+gençlik toprağı Fundalık toprağından yaklaşık %7 daha sıcaktır. 24 Nisan tarihinden toprak sıcaklığı 15.7 °C ile tüm sahalarda benzerdir. 15 Mayıs tarihinde meşe sahası ve 2 Ağustos tarihinde Meşe+Fundalık ve Meşe+Gençlik sahaları diğer sahalardan daha yüksek toprak sıcaklığına sahiptir.

Toprak nemi 09 Mart, 27 Mart ve 24 Nisan ölçümlerinde tüm vejetasyonlarda benzer ve sırasıyla ortalama %93, %94, %36'dır (Çizelge 2). 15 Mayıs ölçümünde Meşe+gençlik ve Fundalık vejetasyonlarının toprak nemi değeri benzer ve saf meşeden yaklaşık %26 daha fazladır. 2 Ağustos ölçümünde ise saf meşe ve Meşe+Fundalık vejetasyonlarının toprak nemi değerleri aynı ve fundalık vejetasyonundan yaklaşık %48 daha yüksektir.

Çizelge 2. Ölçüm zamanlarına göre farklı vejetasyon tiplerinin toprak nemi (%) değişimi (Parantez içleri standart hatayı göstermektedir).

	Ölçüm zamanları				
	09.Mar	27.Mar	24.Nis	15.May	02.Ağu
Saf Meşe	103.1 (19.4)	60.4 (4.7)	34.7 (3.8)	61.4 a (4.7)	28.7 b (2.6)
Meşe+Fundalık	85.9 (6.9)	62.5 (6.2)	41.5 (2.5)	70.7 ab (3.8)	29.2 b (0.8)
Meşe+Gençlik	90.2 (12.4)	57.9 (4.2)	38.2 (5.1)	78.7 b (1.9)	24.0 ab (1.6)
Fundalık	95.1 (14.3)	74.3 (2.0)	29.7 (2.7)	75.7 b (4.3)	19.5 a (1.3)
<i>P değeri</i>	0.319	0.183	0.272	0.022	0.005

Ayrıca toprak solunumu ile toprak sıcaklığı arasında negatif yönde ($P=-0.52$), toprak solunumu-toprak nemi arasında pozitif yönde ($P=0.46$) ilişki bulunmuştur. Bu sonuçlar

göstermektedir ki çalışma yaptığımız farklı vejetasyon tiplerinde toprak sıcaklığından çok toprak nemi toprak solunumunu sınırlayan etmendir. Meşe türü üzerinde yapılmış birçok çalışmada da toprak neminin toprak sıcaklığına nazaran toprak solunumu üzerinde daha etkili olduğu görülmektedir (Akburak, 2008; Darenova ve Čater, 2018; Küçük, 2013). Çünkü Türkiye de meşeler genellikle yaz kuraklığının yaşandığı güney bakılarda ve toprak özellikleri açısından daha zayıf yetiştirme ortamlarında yayılış yapmaktadır. Bu nedenle bu sahalarda genellikle uzun süreli su açığı yaşanan dönemler görülmektedir. Tedeschi ve ark. (2006) toprak nemi eksikliği görülmeyen meşe sahalarında toprak solunumu toprak sıcaklığı ile pozitif yönde üssel ilişki gösterdiği, toprak suyu eksikliği görülen yaz aylarında bu ilişkinin maskelendiğini belirtmektedir. Ayrıca, meşe sahasında hacimsel toprak suyu miktarı % 20'nin altına indiğinde toprak nemi toprak sıcaklığından daha çok toprak solunumunun etkilediğini belirtilmektedir (Rey ve ark., 2002). Başka bir Meşe meşçeresinde toprak sıcaklığının toprak neminden daha çok toprak solunumunu etkilediği, ancak toprak kurudukça toprak nemi toprak sıcaklığıyla benzer etki gösterdiği belirtilmektedir. Sıcaklığın artmasıyla artan toprak solunumu, belirli düzeyin üstündeki toprak sıcaklarında azalabileceğini belirtilmektedir (Kotroczo ve ark., 2014). Bu çalışmalar göstermektedir ki toprak nemi ve sıcaklığının belirli sınırlar içerisinde toprak solunumunu artırıcı etki yaparken, bu sınırlar dışında azaltıcı etki yapabilmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmaya göre meşe meşçeresi altında yayılış yapan floranın toprak solunumuna etkileri olduğu anlaşılabilir. Toprak solunumu vejetasyon tipi yanında yoğunluğuna bağlı da değişkenlik gösterebilir. Bu çalışmada meşe altında fundalık bulunan vejetasyonun toprak solunumu diğer vejetasyonlardan daha yüksek bulunmuştur. Çalışma alanımızla sınırlı olmak üzere bu sonuç farklı iki türün bir araya getirdiği vejetasyonların tek türden oluşan vejetasyonlardan daha yüksek toprak solunumu yapabileceğini gösterebilir.

Ülkemizde bozuk vasıflı orman alanların çokluğu dikkate alındığında bu alanlarda meşçere altı flora (maki, diri örtü ve gençlik vs.) yaygın olarak bulunmaktadır. Bu bağlamda farklı orman ağacı türlerinin meşçerelerinde meşçere altı florasının toprak solunumuna (mikrobiyolojik ve kök solunumu ayrımı yapılarak) olası etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için bu konudaki çalışmaların artırılması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın arazi ve laboratuvar kısmında yardımlarını gördüğüm Orman mühendisleri Ömer Er, Ahmet Dilmaç ve Rıdvan Altay'a teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Akbaş, M. (2020). 'Artvin yöresi kayın ve ladin meşcerelerinde toprak solunumunun kök ve mikroorganizma bileşenlerinin belirlenmesi'. Doktora Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Akburak, S. (2008). 'Belgrad ormanında farklı ağaç türleri altında toprak solunumunun mevsimsel değişimi'. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akburak, S. (2013). 'Meşe ve gürgen meşcerelerinde aralamanın toprak solunumu ve mikrobiyal solunum üzerine etkileri'. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akburak, S. & Makineci, E. (2015). Effects of thinning on soil respiration and microbial respiration of forest floor and soil in an oak (*Quercus frainett*) forest. *Soil Research*, 53(5), 522-530.
- Cenkseven, Ş. & Koçak, B. (2021). *Pinus brutia* Ten. ve *Quercus coccifera* L. ağaçlarının toprak solunumlarının izlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(4), 548-554.
- Darenova, E. & Čater, M. (2018). Different structure of sessile oak stands affects soil moisture and soil CO₂ efflux. *Forest Science*, 64(3), 340-348.
- Edwards, N. (1982). The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial systems. *Pedobiologia;(German Democratic Republic)*, 23.
- Green, C. & Byrne, K.A. (2004). *Biomass: Impact on Carbon Cycle and Greenhouse Gas Emissions*. In: C.J. Cleveland (Editor), *Encyclopedia of Energy*. Elsevier, New York, 223-236.
- Gülenay, S. (2009). 'Artvin-Murgul yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) ağaçlandırma sahasında ve bitişiğindeki çayırılık alanda toprak solunumunun belirlenmesi', Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Holt, J., Hodgen, M. & Lamb, D. (1990). Soil respiration in the seasonally dry tropics near Townsville, North-Queensland. *Soil Research*, 28(5), 737-745.

- Kotroczó, Z., Veres, Z., Biró, B., Tóth, J.A. & Fekete, I. (2014). Influence of temperature and organic matter content on soil respiration in a deciduous oak forest. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3(4), 303.
- Küçük, M. (2013). 'Farklı eğitim ve bakım gruplarında bulunan meşe meşcerelerinde ve mera alanlarında azot mineralizasyonu ve toprak solunumunun belirlenmesi', Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Lei, J., Guo, X., Zeng, Y., Zhou, J. & Gao, Q. (2021). Temporal changes in global soil respiration since 1987. *Nature communications*, 12(1), 1-9.
- MGM, (2022). Düzce meteoroloji istasyonu iklim verileri (1959-2021). Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özbayram, A., (2006). 'Farklı arazi kullanımlarının toprak solunumuna olası etkilerinin araştırılması'. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, Türkiye.
- Parkin, T.B., Doran, J.W. & Franco-Vizcaíno, E. (1997). *Field and laboratory tests of soil respiration*. Methods for assessing soil quality, 49, 231-245.
- Peters, R.L. (1990). Effects of global warming on forests. *Forest Ecology and Management*, 35(1), 13-33.
- Phillips, C.L. & Nickerson, N. (2015). *Soil Respiration*, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier.
- Pongracic, S., Kirschbaum, M. & Raison, R. (1997). Comparison of soda lime and infrared gas analysis techniques for in situ measurement of forest soil respiration. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(11), 1890-1895.
- Raich, J.W., Potter, C.S. & Bhagawati, D. (2002). Interannual variability in global soil respiration, 1980–94. *Global Change Biology*, 8(8), 800-812.
- Raich, J.W. & Tüfekçioğlu, A. (2000). Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry*, 48(1), 71-90.
- Rey, A., Pegoraro, E., Tedeschi, V., De Parri, I., Jarvis, P.G. & Valentini, R. (2002). *Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak forest in Central Italy*. *Global Change Biology*, 8(9), 851-866.
- Rochette, P., Ellert, B., Gregorich, E.G., Desjardins, R.L. Pattey, E., Lessard, R. & Johnson, B.G. (1997). Description of a dynamic closed chamber for measuring soil respiration and its comparison with other techniques. *Canadian Journal of Soil Science*, 77(2), 195-203.

- Samuelson, L., Mathew, R., Stokes, T., Feng, Y. Aubrey, D. & Coleman, M. (2009). Soil and microbial respiration in a loblolly pine plantation in response to seven years of irrigation and fertilization. *Forest Ecology and Management*, 258(11), 2431-2438.
- Saxe, H., Cannell, M.G., Johnsen, Ryan, M.G. & Vourlitis, G. (2001). Tree and forest functioning in response to global warming. *New phytologist*, 149(3), 369-399.
- Singh, J. & Gupta, S. (1977). Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *The botanical review*, 43(4), 449-528.
- Tedeschi, V., Rey, A., Manca, G., Valetini, R., Jarvis, P.G. & Borghetti, M. (2006). Soil respiration in a Mediterranean oak forest at different developmental stages after coppicing. *Global Change Biology*, 12(1), 110-121.
- Tufekcioglu, A., Küçük, M., Sağlam, B., Bilgili, E., Altun, L. ve Küçük, Ö. (2006). Influence of fire on root biomass dynamics and soil respiration rates in young corsican pine(*Pinus nigra*) stands in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 234, 195.
- Tüfekçioğlu, A. & Küçük, M., 2004. Soil respiration in young and old oriental spruce stands and in adjacent grasslands in Artvin, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28(6), 429-434.
- Tüfekçioğlu, A., Özbayram, A.K. & Küçük, M. (2009). Soil respiration in apple orchards, poplar plantations and adjacent grasslands in Artvin, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 30(5), 815-820.
- Tüfekçioğlu, A., Raich, J.W., Isenhardt, T.M. & Schultz, R.C. (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.
- Vanhala, P. (2002). Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(9), 1375-1379.