

Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) Meşcerelerinde İbre Döküm Miktarı ve Bu Yolla Toprak Ekosistemine Geri Dönen Karbon ve Azot'un Tespiti

Determining the Amount of Needle-fall, and Carbon and Nitrogen Return to the Soil Ecosystem in Black Pine (*Pinus nigra* Arnold.) Stands

 Meriç Çakır¹,  Murat Sargıncı²,  Serdar Akburak³

Özet

Orman ekosistemlerinde, ibre döküm miktarı; ekosistem fonksiyonlarından birincil üretim, karbon ve besin maddelerinin döngüleri ile küresel iklim değişikliğini de kapsayan önemli süreçler hakkında bilgiler sunmaktadır. Araştırma Ormanı'nda (Çankırı) yürütülen bu çalışmanın amacı yarı kurak bölgede yer alan bazı karaçam meşcerelerinde ibre dökümü ve bu yol ile ekosisteme geri dönen karbon (C) ve azot (N) miktarlarının belirlenmesidir. Farklı gelişim çağlarındaki karaçam meşcerelerinde ortalama ibre döküm miktarları Çkab: Çkb ve Çkc meşcereleri için sırasıyla 474,72 g.m⁻², 245,51 g.m⁻² ve 248,42 g.m⁻² olarak bulunmuştur. Dökülen bu ibrelerdeki karbon, Çkab, Çkb ve Çkc meşcereleri için sırasıyla 251 g.m⁻², 129 g.m⁻² ve 130 g.m⁻² olarak belirlenirken, ibrelerdeki azot sırasıyla 8,15 g.m⁻², 4,85 g.m⁻² ve 4,73 g.m⁻² olarak belirlenmiştir. Tekrarlanan ölçümlerdeki varyans analizi sonuçlarına göre Çkb ve Çkc meşcereleri arasında fark bulunmazken (P>0,05), ibre dökümü, karbon ve azot miktarları (g.m⁻²) Çka meşceresinde diğer iki meşcereye kıyasla yüksek bulunmuştur (P<0.01).

Anahtar Kelimeler: İbre Dökümü, Karbon, Azot, Araştırma Ormanı

Abstract

In forest ecosystems, the amount of needle-fall; It provides information about important processes including ecosystem functions, primary production, carbon and nutrient cycles and global climate change. The aim of this study, conducted in the Research Forest (Çankırı), is to determine the amount of carbon (C) and nitrogen (N) returned to the ecosystem by needle-fall in some black pine stands in the semi-arid zone. The average needle-fall amounts in black pine stands at different development stages were found to be 474.72 g.m⁻², 245.51 g.m⁻² and 248.42 g.m⁻² for Çkab: Çkb and Çkc stands, respectively. While the carbon in these needles was determined as 251 g.m⁻², 129 g.m⁻² and 130 g.m⁻² for Çkab, Çkb and Çkc stands, respectively, the nitrogen in the needles was determined as 8.15 g.m⁻², 4.85 g.m⁻² and 4.73 g.m⁻² respectively. While there was no difference (P>0.05) between the Çkb and Çkc stands in repeated measurements, the amounts of needle-fall, carbon, and nitrogen (g.m⁻²) were higher in the Çka stand than in the other two stands (P<0.01).

Keywords: Needle-fall, Carbon, Nitrogen, Research Forest

Geliş Tarihi: 05.10.2023, Düzeltme Tarihi: 13.11.2023, Kabul Tarihi: 07.12.2023

Adres: Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, 18200, Çankırı

²Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, 81620, Düzce

³İstanbul-Cerrahpaşa Üniversitesi, Orman Fakültesi, Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı, 34473, İstanbul

E-mail: mericcakir@karatekin.edu.tr

1. Giriş

Ölüörtü, orman tabanında biriken ayrıışmış ve ayrıışmakta olan bitki materyalini (ibre/yaprak, dal, kabuk, kozalak ve diğere bitki bileşenleri) ifade etmekte ve orman ekosistemlerinde besin döngüsünü (karbon, azot vb.) etkileyen önemli faktörlerden bir tanesidir (Berg ve McClaugherty, 2020). Karasal net birincil üretimin önemli bir bölümü (%80), ölüörtü aracılığı ile toprağa ulaşır ve ayrıştırıcılar tarafından besin ağına geri katılır (Meentemeyer ve ark., 1982; Hansen ve ark., 2009). Bu nedenle orman ekosistemlerinde ölüörtü dökümü, toprak besin havuzunun ana kaynaklarından biridir (Çömez ve Güner, 2022; Tecimen ve Sevgi, 2022; Ukonmaanaho ve ark., 2008). Ekosisteme ölüörtü ile gelen besin maddesi miktarı ağaçların büyüme hızıyla da yakından ilişkilidir (Kavvadias ve ark., 2001). Ölüörtünün alandan çıkarılması durumunda orman ekosistemindeki ağaçların artım ve büyümesi besin maddesi eksikliğine bağlı olarak durmaktadır (Sayer, 2006). Döküm miktarı yetişme ortamı kalitesi ile doğru ve meşcere yaşı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Meşcere yaşı ilerledikçe döküm miktarında görülen azalma ağaçların ölmesi veya yaşlı meşceredeki toprağın karbon/azot oranının değişmesi ile ilişkilidir (Albrektsen, 1988; Bray ve Gorham, 1964). Yetişme ortamı kalitesi arttıkça artım ve büyüme artmakta bu durum döküm miktarını olumlu etkilemektedir (Bahamonde ve ark., 2015). Bununla birlikte ağaçların üretimini olumsuz etkileyen faktörler (böcek, mantar ve parazit bitkiler) döküm miktarını başta arttırmakta ilerleyen zamanlarda üretimi düşürüp azaltmaktadırlar (Akkaya ve Çakır, 2022; Kopáček ve ark., 2015). Döküm miktarındaki bu dalgalanmaların uzun dönem araştırmalar ile takip edilmesi gerekmektedir (Nakagawa ve ark., 2019).

Ölüörtü bileşenleri içerisinde ibre dökümü toplam dökümün %75-85'ini oluşturmaktadır (Bray ve Gorham, 1964; Meentemeyer ve ark., 1982). Belgrad ormanında meşe ve kayın meşcerelerinde yapılan çalışmada, yaprak dökümünün toplam dökümün meşede %86'sını, kayında ise %62'sini oluşturduğu belirtilmiştir (Çakır ve Akburak, 2017). Berg ve Laskowski, (2005) meşcere yaşı ile ibre dökümünün oranının, genç meşcerelerde (18-25 yaş arası) %83, orta yaşlı meşcerelerde (55-61 yaş arası) %68, yaşlı meşcerelerde ise (120-126 yaş arası) %58 olduğunu belirtmiştir. Ölüörtü bileşenlerindeki oransal farklılık ayrışma sürecini ve besin maddesi salımını etkilemektedir (Berg ve Laskowski, 2005). Bu nedenle ibre dökümü, toprak organik maddesinin ve toprak içerisindeki besin maddelerinin önemli kaynakları arasındadır ve toprak verimliliği için önemlidir. Ağaç üzerindeki yapraklardaki besin maddesi konsantrasyonları (miktar) doğrudan toprak verimliliğinin bir göstergesi olarak kullanılırken (Vitousek ve Sanford, 1986), ibre/yaprak döküm miktarı ve

orman ölüörtüsündeki besin maddesi miktarı yetişme ortamı verimliliğinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Saye ve Tanner, 2010; Tanner ve ark., 1998). Küresel ölçekte yapılan çalışmalar, farklı ekosistemler içinde ve hatta aynı ekosistemdeki farklı ağaç türleri için ibre dökümünde zamansal olarak önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir (Bray ve Gorham, 1964; Zhang ve ark., 2014). Yıl içerisindeki ve yıllar arasındaki ibre döküm miktarı, doğrudan organik karbon (C) ve diğer besin girdilerini veya dolaylı olarak biyolojik aktiviteyi değiştirerek toprak ekosistemindeki biyojeokimyasal süreçleri etkilemektedir (Huang ve Spohn, 2015). Bu nedenle ibre dökümü, orman ekosistemindeki dinamiklerin ölçülmesinde, modellenmesinde ve tahmin edilmesinde anahtar parametrelerden biridir (Zhang ve ark., 2014).

Bu çalışmanın amacı, yarı kurak bir alanda yayılış gösteren, farklı gelişim çağlarındaki karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) meşcerelerinde ibre dökümü ve bu yolla toprak ekosistemine geri dönen karbon ve azot miktarlarının belirlenmesidir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma alanı

Araştırma alanı olarak Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Ormanı seçilmiştir. Konum itibarıyla, 40°34'41"-40°20'38" Kuzey enlemleri ile 33°36'00"-33°25'10" Doğu boylamları arasında yer almaktadır. İklim verileri için, çalışma alanına en yakın istasyon olan 930 m yükseltideki Eldivan meteoroloji gözlem istasyonunun rasat sonuçlarına göre (2014-2016) yarı kurak iklim tipine sahip olan Araştırma Ormanı'nın yıllık ortalama yağış miktarı 486 mm, yıllık ortalama sıcaklığı ise 10,5 °C'dir (Çakır, 2019).

Araştırma alanında ana tür olarak karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe var. *pallasiana*) bulunmaktadır. Sariçam (*Pinus sylvestris* L.), ardıç (*Juniperus communis* ve *J. oxycedrus*), bol miktarda baklagiller (*Leguminosae* spp.), kuşburnu (*Rosa canina* L.), ahlat (*Pyrus elaeagrifolia* Pall.), alıç (*Crataegus bornmuelleri* Zabel), meşe (*Quercus* L.), geven (*Astragalus plumosus* Willd.), kekik (*Tyhmus* L.), böğürtlen (*Rubus canescens* L.) badem (*Prunus spinosa* L.), üvez (*Sorbus schemachensis* Zinserl.) ve titrek kavak (*Populus tremula* L.) bölgede yayılış gösteren diğer türlerdir (Tuttu ve Ursavaş, 2022).

Araştırma alanı Çkab meşceresinde ortalama yaş 24 ortalama çap 15 cm ve ortalama boy 14 m'dir. Bu meşcerenin hektardaki ağaç sayısı 1161 ve kapalılık derecesi ise 0,9 (tam kapalı) olarak belirlenmiştir. Çkb meşceresinde ortalama yaş 86, ortalama çap 23 cm ve

ortalama boy 13 m olup hektardaki ağaç sayısı 797 ve kapalılık derecesi ise 0,8 olarak belirlenmiştir. Çkc meşceresinde ortalama yaş 111, ortalama çap 33 cm, ortalama boy 19 m, hektardaki ağaç sayısı 341 ve kapalılık derecesi ise 0,8'dir (Çakır ve ark., 2019). Çalışma alanının da belirlenen, meşcerelerde ölüörtü miktarı Çkab: 2320,91 g.m⁻², Çkc: 2251,88 g.m⁻² ve Çkd: 2299,62 g.m⁻² olarak belirlenmiştir (Çakır ve ark., 2019) ayrıca humus tipleri de sırası ile Leptoamphi, Eumesoamphi ve Eumacroamphi humus tipleri olduğu belirlenmiştir (Çakır ve ark., 2020). Araştırma ormanı toprakları genellikle killi balçık tekstüre sahiptir. Orta derinliğe sahip araştırma ormanı topraklarında fizyolojik derinlik ortalama 50 cm mutlak derinlik ortalama 45 cm'dir. Toprak reaksiyonu zayıf asit (pH: 6,72±0,26), kireç miktarı az (<%1), tuzluluk yoktur. Organik madde (%2-5) ve toplam azot (>%0,2) yüzey toprağında zengin, toprak derinleştikçe azalmaktadır (Çakır ve ark., 2019).

2.2. Ölüörtü kapanları

Farklı gelişim çağlarındaki (Çkab3, Çkb3 ve Çkc3) tam kapalı karaçam meşcerelerinde 30×30m (900 m²) olacak şekilde, her gelişim çağından dörder adet olmak üzere (4 Çkab + 4 Çkb + 4 Çkc) toplam 12 örnekleme alanı belirlenmiştir. Bu alanlar aynı bakıda (kuzey), aynı yükselti kademesinde (1300 m) ve aynı anakaya (serpantin) üzerinde bulunmaktadır. Döküm yolu ile gelen ibre miktarını belirleyebilmek için ölüörtü kapanları kurulmuştur. Bu kapanlar ICP-Forest el kitabında belirtildiği şekilde, ibreli ormanlar için yerden 1 m yükseklikte, 0,5 m derinliğinde ve 0,18 – 0,25 m² üst açıklığa sahip kapanlardır (Şekil 1).



Şekil 1. Araştırma alanlarına kurulan ölüörtü kapanları.

Kapanlar meşcere kapalılığına uygun; ağaç gövdelerine yakın bulundurulmadan ve çalışma sahası içindeki boşluklara gelmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Her bir örnek alana 9 adet olmak üzere toplamda 108 adet (9x12=108) kapan yerleştirilmiştir. Kapanların üst

kısmı yere yatay (horizontal) duracak alt kısmı su birikmesine izin vermeyecek şekilde deliklidir. Kapanlar içerisindeki ölüörtü aylık olarak toplanmıştır. Sadece Nisan 2017’de yağış nedeni ile örnekler toplanamamış mayıs ayında 2 aylık örnek toplanmıştır. Kapanlar içerisinde toplanan ölüörtü örnekleri polietilen poşetlere konularak dikkatlice örnek alan ve kapan numaraları yazılarak ve paketlenerek laboratuvara getirilmiştir (Pitman ve ark., 2010). Ölüörtü örnekleri hava kurusu hale geldikten sonra ibreler ayrılarak ibre miktarı belirlenmiştir.

2.3. Döküm ile gelen ibrelerde yapılan analizler

Aylık düzenli olarak laboratuvara getirilen ölüörtü örnekleri tartıldıktan sonra alt örnekler alınarak 65°C’lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, desikatörde soğumaya alınan ölüörtü örnekleri daha sonra tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Örneklere ilişkin yaş ve kuru ağırlıkların farkından yararlanılarak örneklerin nem içerikleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu alt örnekler öğütülerek karbon (C) ve azot (N) analizleri kuru yakma metodu ile CN analiz cihazında (Leco Truspec 2000) yapılmıştır. Belirlenen karbon ve azot yüzde değerleri oransal olarak kütleyle çevrilmiştir (Denklem 1).

$$E (g) = [E (\%) \times \text{ÖÖ} (g)] / 100 \quad (1)$$

Denklemden E (g): element miktarı, E (%): element yüzde değeri, ÖÖ: ölüörtü miktarı

2.4. İstatistiksel analizler

İbre dökümüne ilişkin ağırlık ile karbon ve azot içeriklerinin gelişim çağlarına göre farklılık gösterip göstermediğinin belirlenmesinde tek yönlü varyans analizi (One Way ANOVA) uygulanmıştır. Ayrıca ibre dökümü ile karbon ve azot miktarlarının hem zamansal hem de gelişim çağlarına göre farklılıkları Genelleştirilmiş Doğrusal Model (GLM) ile tekrarlayan ölçümlerde varyans analizi (repeated measures ANOVA) ile ikili karşılaştırmalarda ise Tukey post-hoc testi uygulanmıştır. İstatistiksel analizler SPSS programında yapılmıştır (SPSS, 2011).

3. Bulgular

Ölüörtü kapanlarına düşen ibre miktarı Ağustos 2015 ile Temmuz 2016 arasında aylık olarak toplanmıştır. Metrekareye düşen yıllık ortalama en fazla ibre miktarı Çkab meşceresinde belirlenmiştir. Çkb ve Çkc meşcerelerine düşen ibre miktarları Çkab meşceresine kıyasla %48 az bulunmuştur. Çkb ve Çkc meşcereleri arasında ibre dökümü bakımından istatistiksel bir fark çıkmamıştır ($P > 0,05$) (Çizelge 1).

Çizelge 1. Farklı gelişim çağlarında ibre döküm miktarının aylara göre değişimi, ort. (std hata) (g.m-2).

Meşcere Tipi	2015					2016						Toplam
	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.	Ock.	Şub.	Mar.	May.	Haz.	Tem.	
Çkab	53,21a (4,34)	200,26a (9,10)	84,43a (3,51)	22,87a (2,62)	32,97a (6,04)	21,52a (1,81)	16,56a (1,22)	15,58a (3,89)	7,14a (5,98)	6,50a (0,38)	13,69a (8,98)	474,72a (23,41)
Çkb	48,53a (2,15)	118,06b (5,26)	45,59b (2,38)	2,93b (0,37)	5,95b (2,13)	5,20c (0,31)	4,80c (0,41)	2,61c (0,18)	4,11b (0,42)	3,29b (2,66)	4,43b (3,15)	245,51b (7,47)
Çkc	30,06b (3,85)	106,08b (4,31)	36,75c (1,81)	6,77b (0,35)	12,97c (2,83)	15,82b (0,86)	12,21b (1,26)	13,22b (2,92)	6,55a (0,92)	4,45b (4,08)	3,53b (2,35)	248,42b (7,21)
<i>P-değeri</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000

Istatistiksel analiz farklı meşcere gelişim çağları arasındaki farkı belirlemek için aylık olarak değerlendirilmiştir. Her sütunda bulunan aynı harfler istatistiksel olarak fark olmadığını gösterir.

İbre örneklerinde yapılan karbon (C) ve azot (N) analiz sonuçları değerlendirildiğinde, farklı gelişim çağları arasında C (%) değerleri bakımından fark çıkmazken ($P>0,05$), N değerleri bakımından önemli fark çıkmıştır ve en yüksek N değeri Çkb meşceresinde bulunmuştur. C/N oranı bakımından en düşük değer Çkb meşceresinde bulunmuş ve istatistiksel olarak diğer iki meşcereden farklılık göstermektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Gelişim çağlarına göre ibrelerdeki yıllık ortalama karbon ve azot içerikleri (n=11).

	Çkab	Çkb	Çkc	F	<i>P-değeri</i>
C (%)	52,79±0,20a	52,83±0,29a	52,72±0,22a	0,51	0,950
N (%)	1,76±0,06a	1,96±0,01b	1,72±0,06a	6500	0,003
C/N	30,77±1,17a	26,87±0,20b	31,42±1,30a	5829	0,005

Her sütunda bulunan aynı harfler istatistiksel olarak fark olmadığını gösterir.

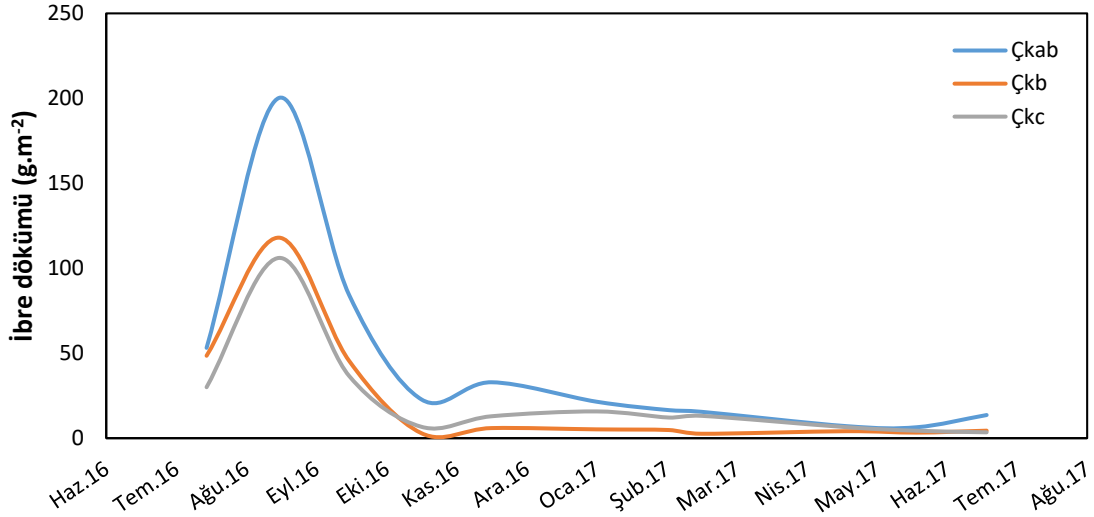
Tekrarlayan ölçümlerde yapılan ANOVA sonuçlarına göre ibre döküm miktarı ve bu yolla toprağa dönen C ve N miktarı hem zamana hem de farklı gelişim çağlarına göre istatistiksel farklılık ($P<0,01$) göstermektedir (Çizelge 3). Tukey Post-hoc testine göre Çka meşceresinde ibre dökümü, C ve N miktarı bakımından Çkb ve Çkc meşceresinden fazladır. Çkb ve Çkc meşcerelerinde ise istatistiksel fark bulunamamıştır ($P>0,05$).

Çizelge 3. Farklı gelişim çağlarında ibre dökümü, karbon ve azot değerlerine ait tekrarlayan ölçümlerde iki yönlü (two way) ANOVA sonuçları.

İbre Dökümü (g.m ⁻²)	df	F	<i>P-değeri</i>
Zaman	2	79,054	0,000
Gelişim Çağı	2,061	926,593	0,000
Zaman x Gelişim çağı	4,1220	43,814	0,000
Karbon (g.m⁻²)			
Zaman	2	75,497	0,000
Gelişim Çağı	2,027	889,889	0,000
Zaman x Gelişim çağı	4,053	42,070	0,000
Azot (g.m⁻²)			
Zaman	2	53,113	0,000
Gelişim Çağı	2,015	938,464	0,000

Zaman x Gelişim çağı	4,030	25,840	0,000
----------------------	-------	--------	-------

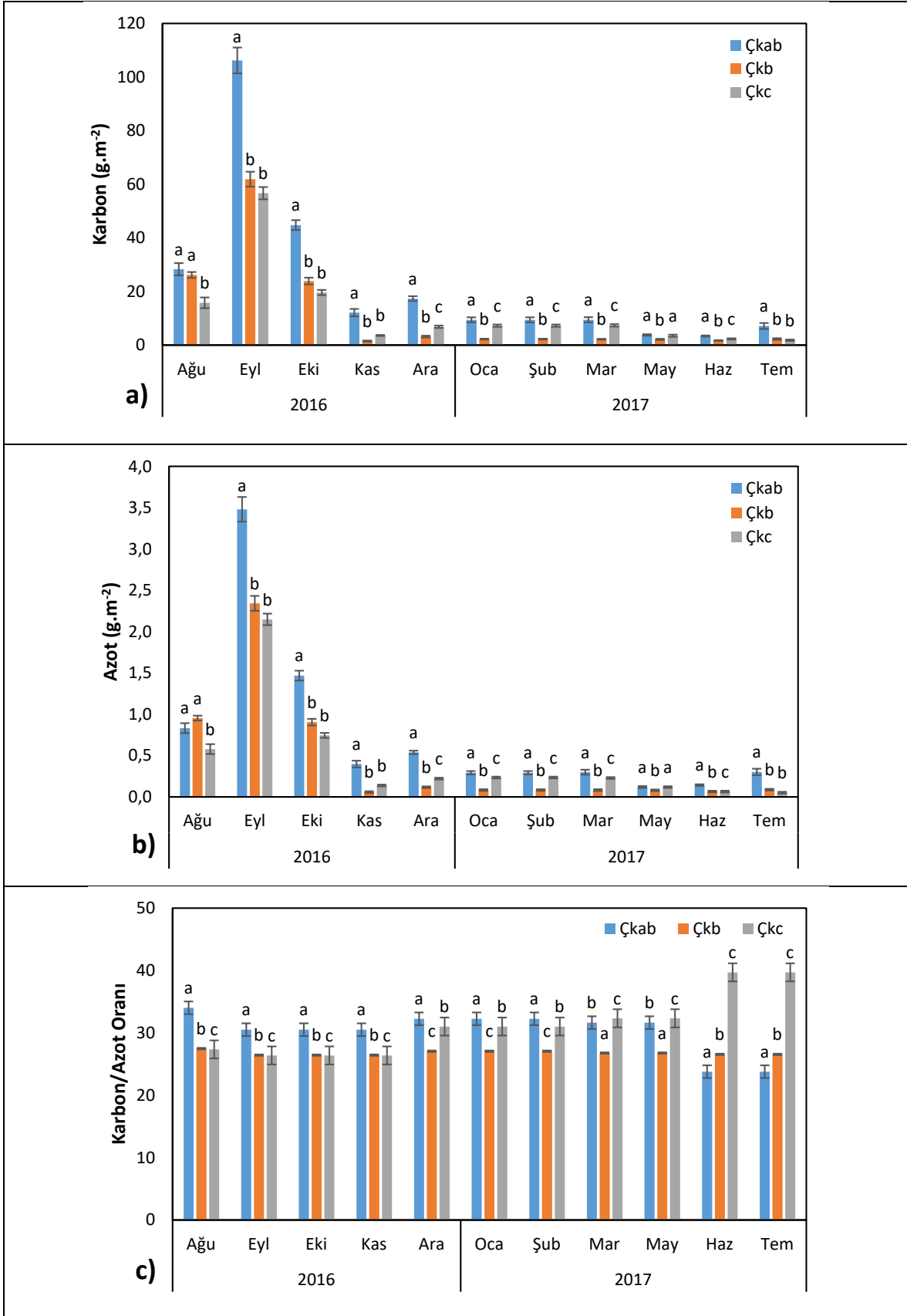
Döküm yolu ile gelen ibre miktarının zamansal değişimi incelendiğinde ibre dökümünün yıl boyunca devam ettiği görülmektedir. Ağustos sonunda dökümün arttığı, en yoğun dökümün eylül ayında olduğu ve kasım ayında dökümün limit değere ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Gelişim çağılarına göre ibre döküm miktarının aylık değişimi.

Ölüörtü dökümü ile gelen ibrelerin C ve N miktarları aylık hesaplanmıştır (Şekil 2). İbre dökümü ile ekosisteme giren yıllık toplam C miktarı Çkab meşçeresinde 251 g.m^{-2} iken Çkb ve Çkc meşçeresinde sırası ile 129 g.m^{-2} ve 131 g.m^{-2} olarak belirlenmiştir (Şekil 2a). Ekosisteme giren yıllık toplam N miktarı Çkab meşçeresinde $8,15 \text{ g.m}^{-2}$ iken Çkb ve Çkc meşçeresinde sırası ile $4,85 \text{ g.m}^{-2}$ ve $4,73 \text{ g.m}^{-2}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 3b).

Varyans analizi sonucuna göre Çkc (31,42) meşçerelerindeki karbon/azot (C/N) oranı Çka (30,77) ve Çkb (26,87) meşçerelerine göre daha fazla belirlenmiştir (Şekil 3b).



Şekil 3. Gelişim çağılarına göre ibrelerdeki karbon (a), azot (b) ve karbon/azot oranının (c) aylara göre değişimi. (Gelişim çağıları her ay için kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Aylar arasında bir karşılaştırma yapılmamıştır.)

4. Tartışma ve Sonuç

Orman ekosistemlerinde mineral besin maddelerinin ve karbon girdisinin önemli bir kısmı ibre ve diğer bitki bileşenlerinin dökümü ile gerçekleşmektedir. Bu yüzden ibre dökümünün ölçülmesi, modellenmesi ve tahmini küresel karbon döngüsü ve karbon birikimi bakımından önemlidir (Liski vd., 2005). Ayrıca ibre dökümü net birincil üretimin önemli bileşenlerindedir ve fenolojik gözlemler için de çok önemlidir (Berg ve McClaugherty, 2020; Hansen ve ark., 2009).

Farklı gelişim çağlarındaki karaçam meşcerelerine, yıllık ortalama ibre döküm miktarı sırası ile 474,72 g.m⁻² (Çkab), 245,51 g.m⁻² (Çkb) ve 248,42 g.m⁻² (Çkc) olarak bulunmuştur. İbrelili türlerde ölüörtü dökümü tüm yıl devam etmektedir fakat dökümün en yoğun olduğu aylar ağustos-ekim arasında olmaktadır (Berg ve Laskowski, 2005). Yapılan çalışmada da ibre dökümünün zamansal farklılık gösterdiği şekil 2’de ve tekrarlı ölçümlerde varyans analizi ile belirlenmiştir. Ayrıca ibre dökümünün meşcere yaşının artmasına bağlı olarak azalması konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalar ile uyum göstermektedir (Albrektson, 1988; Vogt ve ark., 1986; Augusto ve ark., 2002). Meşcere yaşı ilerledikçe döküm miktarındaki azalmanın ağaçların ölmesi ile alandaki ağaç sayısının değişmesi ve toprak besin maddesi miktarındaki azalıştan kaynaklandığı belirtilmiştir (Gower ve ark., 1996; Wu ve ark., 2020). Karaçam ibre dökümüne ait literatür incelendiğinde, konu ile ilgili Türkmen dağında yapılan bir çalışmada ibre döküm miktarı literatürde verilen bilgilerin aksine meşcere yaşı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Farklı gelişim çağlarındaki ibre döküm miktarı 185,8 g.m⁻² (Çkb3), 199,4 g.m⁻² (Çkc3) ve 241,1 g.m⁻² (Çkd3) olarak bulunmuştur (Koray ve Tolunay, 2020). Irmak ve Çepel (1968) Belgrad Ormanı’nda yıllık ibre döküm miktarını 452,5 g.m⁻² olarak belirlerken, İskoçya’da ortalama döküm miktarı 213,3 g.m⁻² (Miller ve ark., 1976), Yunanistan’da döküm miktarı 250 g.m⁻² bulunmuş ve bu döküm miktarının ılıman kuşak için az olduğu belirtilmiştir (Kavvadias ve ark., 2001). Avusturya’daki karaçam plantasyonlarında ise dökümün 350-380 g.m⁻² olduğu belirtilmiştir (Bray ve Gorham, 1964). İspanya’da yanan ve yanmayan sahalardaki karaçam meşcerelerinde yürütülen bir çalışmada yanmayan alanda 142,3 g.m⁻² ibre dökümü olurken yanan alanda 206,6 g.m⁻² olduğu ve bu farkın önemli (p=0,0091) olduğu belirtilmiştir (Espinosa ve ark., 2018; Espinosa ve ark., 2020). Farklı yetişme ortamlarında ölüörtü döküm miktarı 155 g.m⁻² ile 680 g.m⁻² arasında değişiklik gösterdiği belirtilmektedir (Vogt vd., 1986).

Farklı gelişim çağındaki karaçam meşcerelerinde yıllık ortalama karbon oranı ortalama %52,8 bulunmuştur. Buna bağlı olarak ibre dökümü ile gelen karbon miktarları

Çkab3 meşçeresinde 251 g.m^{-2} , Çkb3 meşçeresinde 129 g.m^{-2} ve Çkc3 meşçeresinde 130 g.m^{-2} olarak belirlenmiştir. Benzer çalışmalarda da bitkisel kütledeki karbon oranı çok değişmediğinden döküm yolu ile toprak ekosistemine giren karbon miktarının birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Türkmen Dağında dökülen ibrelerde ölçülen karbon yüzdesi ve miktarı Çkb3 (%50,17): $93,3 \text{ g.m}^{-2}$, Çkc3 (%51,86): $103,1 \text{ g.m}^{-2}$ ve Çkd3 (%51,36): $124,1 \text{ g.m}^{-2}$ olarak bulunmuştur (Koray ve Tolunay, 2020). Espinosa ve ark. (2020) ibre dökümü ile gelen karbon miktarını korunan alanlarda (%51,3) $72,99 \text{ g.m}^{-2}$ yanan alanlarda (%51,5) $106,39 \text{ g.m}^{-2}$ olduğunu belirtmiştir.

Yapılan çalışmada ibrelerdeki azot miktarının diğer çalışmalarda aynı türe ilişkin değerlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Karaçam meşçerelerinde yıllık ortalama azot miktarları Çkab meşçeresinde $8,15 \text{ g.m}^{-2}$, Çkb meşçeresinde $4,85 \text{ g.m}^{-2}$ ve Çkc meşçeresinde $4,73 \text{ g.m}^{-2}$ olarak belirlenmiştir. Döküm yolu ile toprak ekosistemine giren azot miktarlarını Irmak ve Çepel (1968) Belgrad Ormanında (%0,58) $2,65 \text{ g.m}^{-2}$ olarak bildirmiştir. Türkiye'deki en düşük değerler ise Türkmen Dağında Çkb3 (%0,17): $0,31 \text{ g.m}^{-2}$, Çkc3 (%0,24): $0,48 \text{ g.m}^{-2}$ ve Çkd3 (%0,27): $0,69 \text{ g.m}^{-2}$ olarak bulunmuştur (Koray ve Tolunay, 2020). Alaçam dağlarında yapılan bir başka çalışmada dökülen ibrelerdeki toplam azot oranlarının en düşük %0,37 en yüksek %0,57 ve ortalama %0,47 arasında bulunduğu tespit edilmiştir (Sevgi ve ark., 2010). Espinosa ve ark. (2020) ibre dökümü ile gelen azot miktarının korunan alanlarda (%0,4) $0,56 \text{ g.m}^{-2}$ ve yanan alanlarda (%0,46) $0,95 \text{ g.m}^{-2}$ olarak belirtmiştir. Kavvadias ve ark., (2001) Yunanistan'da iyi yetişme ortamlarında (%0,51) $1,34 \text{ g.m}^{-2}$ kötü yetişme ortamlarında ise bu değeri $1,13 \text{ g.m}^{-2}$ (%0,46) olarak belirtmişlerdir.

Sonuç olarak ülkemizde ölüörtü dökümü ile toprak ekosistemine ulaşan karbon ve azot miktarları ile ağaç bileşenlerinin dökülme oranlarının belirlenmesine yönelik araştırma sayısı oldukça azdır. Yapılan çalışma ile söz konusu çalışmalara bir yenisi daha eklenmiştir. Ancak ölüörtü dökümü ile ilgili çalışmaların sayısının artırılması yanında uzun dönem ölçümlerinin yapılması da gerekmektedir. Döküm çalışmaları ile birlikte ölüörtü bileşenlerinin ayrışma oranlarının bilinmesi ve bu yolla toprak ekosistemine giren bitkisel kökenli organik maddede tutulan besin elementlerinin zamansal salım miktarlarının da bilinmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü birimi tarafından OF090316B10 numaralı proje ile ve TÜBİTAK tarafından 215O572 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Akkaya, D., ve akır, F. (2022). ankırı Eldivan yöresinde Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) doğal gençliklerine am Ökseotu (*Viscum album* subsp. *austriacum* (Wiesb.) Vollm.) bulaşma derecesinin belirlenmesi ve silvikültürel yaklaşımlar. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 73-79.
- Albrektson, A., (1988). Needle litterfall in stands of *Pinus sylvestris* L. in Sweden, in relation to site quality, stand age and latitude. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 3(1-4), 333-342.
- Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D., & Rothe, A. (2002). Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, 59(3): 233-253.
- Bahamonde, H.A., Peri, P.L., Martínez Pastur, G., & Monelos, L. (2015). Litterfall and nutrients return in *Nothofagus antarctica* forests growing in a site quality gradient with different management uses in Southern Patagonia. *European journal of forest research*, 134(1), 113-124.
- Berg, B., & Laskowski, R. (2005). *Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover*. Academic Press New York.
- Berg, B., & McClaugherty, C. (2020). *Plant Litter Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. Springer, Switzerland.
- Bray, J.R., & Gorham, E. (1964). *Litter production in forests of the world*. (Ed: Cragg, J.B.), *In: Advances in ecological research*. Academic Press, London, 101-157.
- akır, M., & Akburak, S. (2017). Litterfall and nutrients return to soil in pure and mixed stands of oak and beech. *Journal of The Faculty of Forestry Istanbul University*, 67(2), 185-200.
- akır, M. (2019). The negative effect of wood ants (*Formica rufa*) on microarthropod density and soil biological quality in a semi-arid pine forest. *Pedobiologia* 77, 150593.
- akır, M., Akburak, S., ve Sargıncı, M. (2019). ankırı Bölgesi Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) Meşcerelerinde Ölüörtü Ayrışması ile Mikroeklembacaklılar ve Mikrobiyal Aktivitenin Zamansal Değişimi ve Toprağa Verilen Besin Maddeleri, TUBİTAK, Proje No: 215O572, Ankara, 125.
- akır, M., akır, F., ve Yalçıntekin, H.İ. (2020). ankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Ormanında humus formlarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 6(2), 82-90.

- Çömez, A., ve Güner, Ş.T. (2022). *Karaçam ağaçlandırmalarının karbon bütçesi. (Ed: Sevgi, O., Tecimen, B., Okan, T.), In: Karaçam. Türkiye Ormancılar Derneği, Ankara., 190-208.*
- Espinosa, J., Madrigal, J., De La Cruz, A., Guijarro, M., Jimenez, E., & Hernando, C. (2018). Short-term effects of prescribed burning on litterfall biomass in mixed stands of *Pinus nigra* and *Pinus pinaster* and pure stands of *Pinus nigra* in the Cuenca Mountains (Central-Eastern Spain). *Science of the Total Environment*, 618(1), 941-951.
- Espinosa, J., Madrigal, J., Pando, V., De la Cruz, A., Guijarro, M., & Hernando, C. (2020). The effect of low-intensity prescribed burns in two seasons on litterfall biomass and nutrient content. *International Journal of Wildland Fire*, 29(11), 1029-1041.
- Gower, S.T., McMurtrie, R.E., & Murty, D. (1996). Aboveground net primary production decline with stand age: potential causes. *Trends in Ecology & Evolution* 11, 378-382.
- Hansen, K., Vesterdal, L., Schmidt, I.K., Gundersen, P., Sevel, L., Bastrup-Birk, A., Pedersen, L.B., Bille-Hansen, J., (2009). Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment. *Forest ecology and management*, 257(10), 2133-2144.
- Huang, W., & Spohn, M. (2015). Effects of long-term litter manipulation on soil carbon, nitrogen, and phosphorus in a temperate deciduous forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 83(1), 12-18.
- Irmak, A., Çepel, N., (1968). Belgrad Ormanı'nda seçilen birer kayın, meşe ve karaçam meşcerelerinde yıllık yaprak dökümü miktarı ve bu yolla toprağa verilen besin maddelerinin tespiti üzerine araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 18(A), 53-76.
- Kavvadias, V.A., Alifragis, D., Tsiontsis, A., Brofas, G., & Stamatelos, G. (2001). Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *Forest ecology and management*, 144(1), 113-127.
- Kopáček, J., Cudlín, P., Fluksová, H., Kaňa, J., Pícek, T., Šantrůčková, H., Svoboda, M., & Vaněk, D. (2015). Dynamics and composition of litterfall in an unmanaged Norway spruce (*Picea abies*) forest after bark-beetle outbreak. *Boreal Environment Research*, 20(1), 305–323.
- Koray, E.Ş., ve Tolunay, D. (2020). Türkmen Dağı karaçam meşcerelerinde döküm ile ekosisteme giren besin maddesi miktarları. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 21(3), 201-214.

- Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M., & Sievänen, R. (2005). Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecological Modelling*, 189(1), 168-182.
- Meentemeyer, V., Box, E.O., & Thompson, R. (1982). World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. *BioScience* 32, 125-128.
- Miller, H., Cooper, J.M., & Miller, J. (1976). Effect of nitrogen supply on nutrients in litter fall and crown leaching in a stand of Corsican pine. *Journal of Applied Ecology*, 13(1), 233-248.
- Nakagawa, M., Ushio, M., Kume, T., & Nakashizuka, T. (2019). Seasonal and long-term patterns in litterfall in a Bornean tropical rainforest. *Ecological Research* 34, 31-39.
- Pitman, R., Bastrup-Birk, A., Breda, N., & Rautio, P. (2010). *Sampling and Analysis of Litterfall*. (Ed: Cools, N., de Vos, B.), In: *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, Hamburg, Germany.
- Sayer, E.J. (2006). Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological reviews*, 81(1), 1-31.
- Sayer, E.J., & Tanner, E.V. (2010). Experimental investigation of the importance of litterfall in lowland semi-evergreen tropical forest nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 98(5), 1052-1062.
- Sevgi, O., Yılmaz, O.Y., Carus, S., Dündar, T., Kavgacı, A., ve Tecimen, B. (2010). Alaçam Dağları'nda Karaçam Ormanlarının Yükseltiye Göre Beslenme-Büyüme Modelleri ve Odunun Teknolojik Özellikleri. TÜBİTAK-TOVAG 104O551 Sayılı Projenin Kesin Raporu.
- SPSS, (2011). IBM SPSS statistics base 20. SPSS Incorporated, Chicago, IL.
- Tanner, E., Vitousek, P.a., & Cuevas, E. (1998). Experimental investigation of nutrient limitation of forest growth on wet tropical mountains. *Ecology*, 79(1), 10-22.
- Tecimen, B., ve Sevgi, O. (2022). *Karaçam ormanlarında besin madde döngüleri*. (Ed: Sevgi, O., Tecimen, B., Okan, T.), In: *Karaçam*. Türkiye Ormancılar Derneği, Ankara, pp. 168-188.
- Tuttu, G., ve Ursavaş, S. (2022). Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama Ormanının (Çankırı/Eldivan) florası. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 51-65.

- Ukonmaanaho, L., Merilä, P., Nöjd, P., & Nieminen, T.M. (2008). Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Boreal Environment Research*, 13(1), 67-91.
- Vitousek, P.M., & Sanford, R.L. (1986). Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual review of Ecology and Systematics*, 17(1): 137-167.
- Vogt, K.A., Grier, C.C., & Vogt, D. (1986). Production, turnover, and nutrient dynamics of above-and belowground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research*, 15(1), 303-378.
- Wu, H., Xiang, W., Ouyang, S., Xiao, W., Li, S., Chen, L., Lei, P., Deng, X., Zeng, Y., & Zeng, L. (2020). Tree growth rate and soil nutrient status determine the shift in nutrient-use strategy of Chinese fir plantations along a chronosequence. *Forest Ecology and Management* 460, 117896.
- Zhang, H., Yuan, W., Dong, W., & Liu, S. (2014). Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecological Complexity*, 20(1), 240-247.