



Tarım arazileri ve farklı yaşlardaki sarıçam meşcerelerinde (*Pinus sylvestris* L.) toprak organik karbon ve azot stoklarının değişimi

Variation in soil organic carbon and total nitrogen stocks under agricultural fields and different stand age of scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

Gamze SAVACI^{1*}, Temel SARIYILDIZ²

¹Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye.

²Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye.

Sorumlu yazar:
Gamze SAVACI

E-mail:
gsavaci@kastamonu.edu.tr

Gönderim Tarihi:
04/04/2023

Kabul Tarihi:
05/06/2023

Bu makaleye atf vermek için:

Savacı, G., Sarıyıldız, T. 2023. Tarım arazileri ve farklı yaşlardaki sarıçam meşcerelerinde (*Pinus sylvestris* L.) toprak organik karbon ve azot stoklarının değişimi. Ağaç ve Orman, 4(1), 19-26.

Özet

Bu çalışmada, Kastamonu ili İnebolu ilçesinde yayılış gösteren sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcereleri ve bitişliği tarım arazilerinde ölü örtü miktarı, toprak organik karbon (TOK) ve toplam azot (TA) stokları üzerinde farklı arazi kullanım şeklinin etkisi araştırılmıştır. Farklı yaşlardaki sarıçam meşcereleri (18- ve 30-yaş) ile en az 40 yıldır orman arazisinden tarım arazisine dönüştürülmüş alanlardan örnekleme yapılmıştır. Toprak örnekleri 5 farklı toprak derinlik kademesinden alınmış ve toprak örneklerinin pH'ı, hacim ağırlığı, alınabilir fosfor, yararışlı potasyum, organik madde, toprak tekstürü, TOK ve TA miktarları belirlenmiştir. Toplam TOK ve TA stokları ise toprak derinliği, hacim ağırlığı, karbon ve azot miktarı çarpılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, farklı yaşlarda sarıçam meşcereleri ve tarım arazileri arasında ölü örtü miktarı, TOK ve TA stokları arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. Genel olarak, 30 yaşındaki sarıçam meşceresinde TOK stoku en düşük belirlenirken (86.60 t C ha⁻¹), bunu sırasıyla tarım alanı (93.70 t ha⁻¹), ve 18 yaşındaki sarıçam meşceresi (115.0 t ha⁻¹) takip etmiştir. Benzer şekilde, TA stoku ise en fazla 18 yaşındaki sarıçam meşceresinde (7.86 t ha⁻¹), en düşük 30 yaşındaki sarıçam meşceresinde (5.74 t ha⁻¹) tespit edilmiştir. Tarım arazilerinde ölü miktarı en düşük iken, sarıçam meşcerelerinde yaşa bağlı olarak orman katmanında biriken ölü örtü miktarı artış göstermiştir. Sonuç olarak, ölü örtü miktarı, TOK ve TA stokları üzerinde farklı arazi kullanım durumu ile toprak derinlik kademelerinin önemli derecede etkisi olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, ölü örtü miktarı, TOK ve TA stokları ile ilgili gelecekteki araştırmalarda arazi kullanım türü de dikkate alınmalı ve daha detaylı çalışmalar yürütülmelidir.

Anahtar kelimeler: Ölü örtü, organik karbon, azot stoku, arazi kullanımı, sarıçam.

Abstract

In this study, the effect of different land use patterns on the amount of litter, soil organic carbon (SOC), and total nitrogen (TN) stocks in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands and adjacent agricultural lands in the İnebolu district of Kastamonu were investigated. Samplings were carried out from Scots pine stands of different ages (18- and 30-) and agricultural lands converted from the forest at least 40 years ago. Soil samples were taken from 5 different soil depths and analyzed for pH, bulk density, phosphorus, potassium, texture, organic matter, and carbon and nitrogen contents. Total SOC and TN stocks were calculated by multiplying soil depth, bulk density, and carbon and nitrogen contents. The results showed significant differences in the litter, SOC, and TN stocks between Scots pine and agricultural lands. In general, the lowest SOC was found in the 30-year-old Scots pine stand (86.60 t ha⁻¹), followed by the agricultural land (93.70 t ha⁻¹) and 18-year-old Scots pine stand (115.0 t ha⁻¹). Similarly, TA stock was highest in the 18-year-old Scots pine stand (7.86 t ha⁻¹) and the lowest in the 30-year-old Scots pine (5.74 t ha⁻¹). The litter content was the lowest in agricultural lands and increased with increasing stand age. As a result, it has been shown that different land use types and soil depths can significantly affect litter, SOC, and TN stocks. Hence, land use types should also be considered in the future studies to determine litter content, SOC, and TN stocks; more detailed studies are needed.

Keywords: Litter, organic carbon, nitrogen stocks, land use, Scots pine

1. Giriş

Ormanlar, karasal ekosistemlerde vejetasyondaki karbonun yaklaşık %80-%90'ını, orman topraklarında ise mevcut karbonun %30-40'ını depolamaktadır (Landsberg ve Gower, 1997). Karasal ekosistemlerde, arazi kullanım şekline bağlı olarak, organik karbon toprak altı ve toprak üstü olmak üzere farklı kısımda depolanmaktadır. Orman topraklarında organik madde genellikle yıllık döküntü (çoğunlukla yaprak ya da ibreler), bitki kökleri, doğal dal budanması ve toprak organizmalarından oluşurmaktadır (Çepel, 1996). Orman topraklarında organik maddeyi genellikle ağaçların dökülen yaprak/ibre, meyve, kabuk, kozalak, meyve, tohum ve tohum karpelleri, dal, gövde gibi kısımları teşkil eder (Kantarci, 2000). Arazi kullanımında meydana gelen değişimler, toprak organik karbon (TOK) miktarının azalması en önemli nedenler arasında yer almaktadır (Tolunay ve Çömez, 2007; Sariyildiz vd., 2015).

IPCC raporuna göre (2013 yılı), antropojen kaynaklı yıllık sera gazı emisyonlarının salınımında; elektrik ve ısı üretiminden sonra gelen, %24'lük dilime sahip olan faktör tarım, ormancılık ve arazi kullanım değişikliğidir. FAO (2015)'ya göre, orman arazileri son 10 yıl içerisinde her yıl ~5.2 milyon ha azalmaktadır (Tolunay, 2015). Arazi kullanım değişikliğine bağlı olarak, yılda ~0.9 milyar ton karbon atmosfere salınmaktadır (IPCC, 2013). Ülkemizde ormanların başka arazi kullanım şekline dönüşmesi sonucunda kümülatif karbon kaybının 3.33 milyon tona ulaştığı bildirilmiştir (Tolunay, 2015). Arazi kullanım değişikliği, TOK stokunu kontrol eden en önemli faktörlerden birisidir. Çünkü bu değişiklik, organik maddenin ayrışma sürecini ve miktarını önemli derecede etkilemektedir (John vd., 2005). Ayrıca bitki örtüsünün cinsi, kapalılığı, miktarı ve arazi kullanımı değişikliği topraktaki organik karbonun ve azotun geçişini (Bolin ve Sukumar, 2000) ve toprak solunumunu büyük oranda etkileyerek, karbonun ve azotun açığa çıkmasına neden olmaktadır (Post ve Kwon, 2000). Arazi kullanım değişikliği, özellikle topraktaki organik karbonun azalmasına ve buna bağlı olarak atmosferdeki CO₂ miktarının artmasına sebep olmaktadır (Houghton, 1999). Ayrıca arazi örtüsünün değişmesine neden olmaktadır (Bolin ve Sukumar, 2000). Bu nedenle arazi kullanımının tarihi geçmişini bilmek, karasal karbon depolama ve orman arazi örtüsü değişimini belirlemede en önemli göstergelerden biridir. Ek olarak, yapılan çalışmalar göstermektedir ki; orman ve diğer arazi kullanım şekillerinde, tüm toprak katmanlarındaki organik C ile N arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır (Grünzweig vd., 2004). Ormandan tarıma dönüşmüş alanlarda, TOK stoku genelde daha düşüktür. Bazı bilimsel çalışmalar, ormandan tarıma dönüşmüş alanlarda organik C miktarının azaldığını ortaya koymuştur (Poeplau vd., 2011; Bruun vd., 2015; Deng vd., 2016; Soleimani vd., 2019). Arazi kullanım değişikliği sonucunda, topraktaki azot kaybı, karbon kaybına kıyasla daha düşük orandadır (%34). Bu durumda boreal ormanlarının sürekli tarım arazisine dönüşmesi sonucunda, küresel olarak ısınmanın artmasıyla karasal ekosistemde ~%51 oranında karbon kaybı yaşanması söz konusudur (Grünzweig vd., 2004).

Bu çalışmada birbirine bitişik farklı arazi kullanım durumundaki; genç sarıçam meşcerelerinin ve tarım arazisinin, toprak yüzeyi ölü örtü, TOK ve toplam azot (TA) stokları üzerindeki etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bunun için 18 ve 30 yaşlarında sarıçam meşcereleri ile bitişiginde yer alan tarım topraklarında çalışma yürütülmüş ve 0-5 cm, 5- 10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm ve 20-30 cm olmak üzere 5 farklı toprak derinlik kademesinin pH, hacim ağırlığı, yarayışlı potasyum, alınabilir fosfor, organik madde, toprak tekstürü, TOK, TA miktarları ve stokları belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanlarının genel tanımı ve örnekleme

Bu çalışma, Kastamonu iline 80 km uzaklıkta ve coğrafi bölge olarak Karadeniz Bölgesi'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde 41° 51' 23" kuzey enlemleri ile 33° 45' 36" doğu boylamları arasında yer alan İnebolu ilçe sınırları içinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı ortalama yükseltisi 1030 m, kuzeydoğu bakılı ve ortalama eğimi %20 ila %30 arasında değişmektedir.

Çalışma alanının iklimi ise; çalışma alanına ortalama yıllık 1551 mm yağış düşmekte ve ortalama sıcaklık 9.3°C'dir (DMİ, 2016). Thornthwaite yöntemine göre, çalışma alanı çok nemli, orta sıcaklıkta, su noksanı olmayan, denizsel iklimine sahiptir (Thornthwaite, 1948). 1/250 000 ölçekli Akbaş vd. (2011) tarafından hazırlanmış jeoloji haritasına göre, sarıçam meşcereleri ile bitişigindeki tarım alanları şist kayaçları ihtiva etmektedir. Bu tür anayakaların toprakları, baz doygunluğu %50'den az ve killi B horizonuna sahip topraklardır (Atalay, 2006). Çalışma alanının toprakları, IUSS Çalışma Grupları (2014) raporlarına göre, Akrisol topraklardır ve genellikle kil bakımından zengindir (FAO, 1998). Organik katmanında bulunan humus tipi, çürüntülü humus formundadır. Türkiye'deki sarıçam ağaçları, toplam orman örtüsünün % 6.15'ini oluşturan 1.410.177 hektarlık bir yüzey alanına dağılmıştır (OGM, 2020). Özellikle ekili olmayan Tarım-1 arazisinde kuşburnu (*Rosa canina* L.), yabani erik (*Prunus divaricata* var. *divaricata*) ve otsu bitkiler hâkimdir.

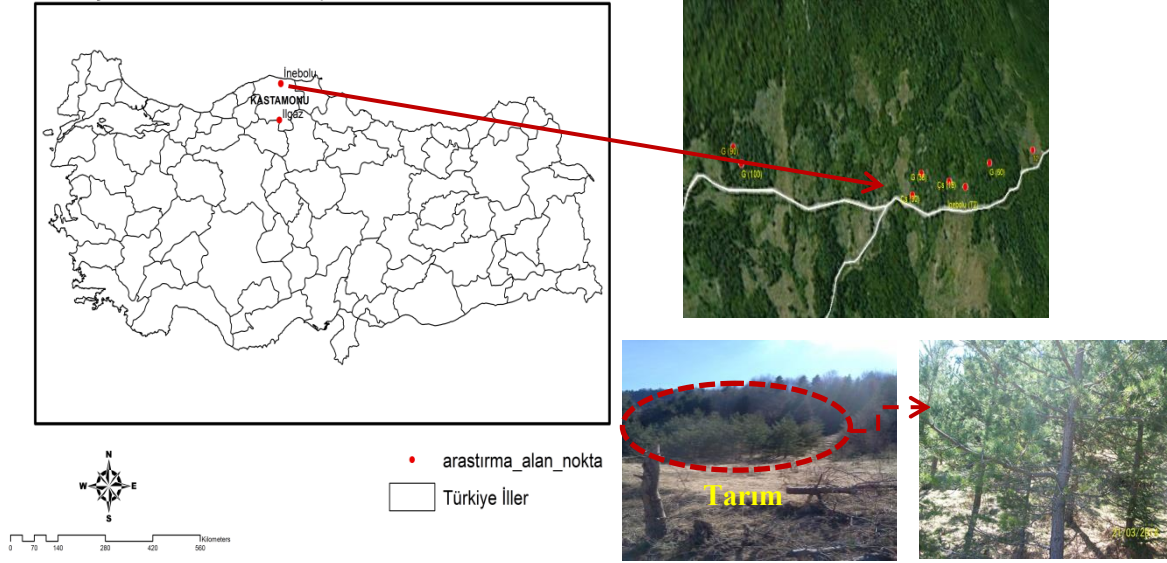
Çalışma alanında farklı yaş grubuna sahip sarıçam (18 ve 30 yaşında) meşcereleri ile bitişigindeki orman arazisinden açılarak en az 40 yıldır tarım alanı olarak kullanıldığı bilinen sahadan örnek alanlar seçilmiştir. Her sarıçam meşcere yaş sınıfında ve tarım arazisinde 20 x 20 m=400 m² oluşturulan deneme alanlarına ait koordinat, eğim, bakı ve yükselti ölçülmüştür. Ayrıca her deneme alanı altından 50 cm x 50 cm (0.25 m²) olacak şekilde 3 tekrarlı ve rastgele mineral toprak üzerindeki ölü örtü örnekleme yapılmıştır. Deneme alanı içerisinde bulunan sarıçam ağaçlarının ortalama yaşı ve çapı ölçülmüştür. Ortalama ağaç yaşını hesaplamada en az 3 ağaçtan olacak şekilde artım burgusu kullanılmış; ağaçların göğüs yüzeyindeki (d₁₃₀) çapı ise kumpas yardımıyla belirlenmiştir.

Toprak örnekleme, farklı yaştaki sarıçam meşcereleri (Ç_{S18} ve Ç_{S30}) ile tarım arazilerinden (Tarım-1 ve Tarım-2) doğal yapısı bozulmamış ve bozulmuş olacak şekilde yapılmıştır.

Bozulmamış toprak örnekleri, beş farklı toprak derinliğinden (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm ve 20-30 cm) silindir

yardımlarıyla alınmıştır ve 2 tekrarlı yapılmıştır.

Araştırma Alanlarının Türkiye Haritasındaki Konumu



Şekil 1. Çalışma alanının Türkiye haritasındaki yeri ve konumu.
Figure 1. Location of the study field on the map of Türkiye

2.2. Ölü örtü ve topraklarda analizler

Farklı arazi kullanım şekli altındaki ölü örtü örnekleri laboratuvara getirilmiş ve etüvde 70°C sıcaklıkta sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuştur. Ölü örtü örneklerinin yaş ve kuru ağırlıkları arasındaki farktan elde edilen nem değerleri kullanılarak toprak üstündeki ölü örtünün kuru ağırlıkları belirlenmiş ve hektara çevirme katsayısı (25) ile çarpılarak $t\ ha^{-1}$ biriminde ölü örtü miktarı hesaplanmıştır (Makineci, 1999).

Toprak örneklerinde pH 1:2.5 toprak+distile su çözeltisinde pH metre ile ölçülmüştür (Jackson, 1962). Toprağın hacim ağırlığı; toprağın fırın kurusu ağırlığının silindir örneğinin hacmine oranı ile hesaplanmıştır (Blake ve Hartge, 1986). Topraklarda fosfor tayini, Bray ve Kurtz (1945) yöntemine göre ekstrakte edilerek ve spektrofotometrede belirlenmiştir. Toprakta amonyum asetat ile ekstrakte edilebilir yarıyıllı potasyum miktarı belirlenmiştir (Knudsen vd., 1982; Thomas, 1982). Toprakların organik madde miktarı, Walkley ve Black (1934) yöntemine göre yapılmıştır. Toprak tekstürü (kil toz ve kum), Bouyoucos'un (1962) Hidrometre yöntemine göre yapılmıştır. Toprak örneklerinde azot (N) ve karbon (C) miktarı; kuru yakma yöntemine göre Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Eurovector markalı cihazda CNH-S elemental analiz yöntemiyle tayin edilmiştir. TOK ve TA stokları, toprak kütlesi, hacim ağırlığı ve toplam karbon veya azot miktarları dikkate alınarak hesaplanmıştır (Lee vd., 2009). Her bir toprak derinlik kademesinin toprak kütlesi; hacim ağırlığı ve dönüşüm katsayıları çarpılmış ve aşağıdaki Denklem 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Toprak Kütlesi (Tk}_i\text{)} (t\ ha^{-1}) = (HA \times T_i \times 10^4) \quad (\text{Denklem 1})$$

Bu denklemde;

HA: hacim ağırlığı, T_i : i toprak derinliği (m) ve 10^4 ise dönüşüm katsayısı ($m^2\ ha^{-1}$).

TOK veya TA miktarı ise Denklem 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{TOK \& TA stoku: \%TOK \& \%TA} \times T_k_i (t\ ha^{-1}) \quad (\text{Denklem 2})$$

Bu denklemde;

T_k_i , i toprak derinliğinde kuru toprağın kütlesidir (Sariyildiz vd., 2015).

2.3. İstatistiksel analizler

Farklı yaşlardaki sarıçam meşcereleri ile tarım arazilerinin toprak özellikleri, TOK ve TA stoklarının karşılaştırılmasında varyans analizi kullanılmıştır. Varyans analizi sonucunda karşılaştırılmış gruplar arasındaki farklılıklar Tukey's testi ile analiz edilmiştir. İstatistiksel analizler, IBM SPSS programı kullanılarak elde edilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Meşcere ve toprak özellikleri

Farklı yaşlardaki sarıçam türlerine ait meşcere özellikleri Çizelge 1'de gösterilmektedir. Bununla birlikte tarım ve sarıçam meşcereleri altındaki bazı toprak özellikleri de Çizelge 2'de verilmiştir. Sarıçam meşcere yaşlarının artmasına bağlı olarak ortalama çap ve boyları artmaktadır. Farklı yaşlardaki sarıçam meşcere kapallığı aynı olup, %41-%70 arasında değişmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Sarıçam meşcerelerine ait silvikültürel özellikler.
Table 1. Silvicultural characteristics of Scotch pine stands

Meşcere Yaşı (yıl)	Çalışma Alanı	Ortalama Çap (cm)	Meşcere Kapalılığı (%)
18	İnebolu	13.5	41-70
30	İnebolu	31.5	41-70

0-30 cm derinlik kademesinde bazı toprak özellikleri arazi kullanım şekilleri (orman ve tarım) arasında önemli bir farklılık göstermiştir (Çizelge 2). En yüksek pH (6.61), fosfor (10.02 kg/da), organik madde (%3.39) ve kum miktarı (%47.67) Tarım-1 topraklarında, en yüksek hacim ağırlığı (1.72 g cm⁻³) ve yarayıslı potasyum konsantrasyonu (46.29 kg/da) 30 yaşındaki sarıçam meşcereleri altındaki topraklarda

tespit edilmiştir. Tezat olarak, en düşük pH (4.90), fosfor (2.00 kg/da) ve kum miktarı (%29.99) Tarım-2 topraklarında, en düşük hacim ağırlığı ise 1.50 g cm⁻³ ile 18 yaşındaki sarıçam topraklarında belirlenmiştir (Çizelge 2). Orman altındaki topraklar genellikle killi balçık olup, Tarım-2 arazisinde killi topraklar ve Tarım-1 arazisinde kumlu killi topraklar hâkimdir.

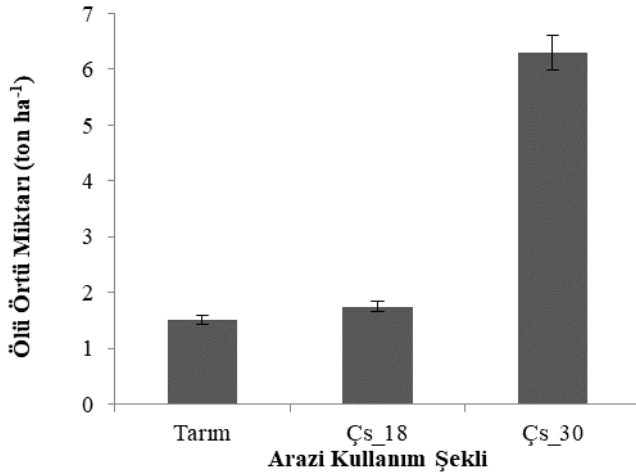
Çizelge 2. Çalışma alanlarına ait bazı toprak özellikleri (30 cm toprak derinliği).
Table 2. Some soil characteristics of study fields (Soil depth of 30 cm).

Arazi Kullanımı	pH (H ₂ O)	Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	P (kg/da)	K (kg/da)	Organik Madde (%)	Kum (%)	Toz (%)	Kil (%)	Toprak Türü
Tarım-1	6.61d	1.55b	10.02d	33.0a	3.39c	47.67d	16.81a	35.52b	Kumlu Kil
Tarım-2	4.90a	1.56c	2.00a	41.34c	3.39c	29.99a	28.39b	41.62d	Kil
Orman (Çs ₁₈)	5.58b	1.50a	2.86b	38.04b	3.15b	31.24b	33.12d	35.64c	Killi Balçık
Orman (Çs ₃₀)	5.65c	1.72d	2.92c	46.29d	2.90a	40.75c	30.45c	28.8a	Killi Balçık

*Farklı küçük harfler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır ($p < 0.05$)

3.2. Farklı arazi kullanım şekilleri altındaki ölü örtü miktarının değişimi

Genel olarak, farklı yaşlardaki sarıçam ve tarım alanlarındaki ölü örtü miktarları Şekil 2'de verilmiştir. Tarım alanlarında ölü örtü miktarı 1.51 ton ha⁻¹ ile en düşüktür; bunu sırasıyla 18 yaşındaki sarıçam meşcereleri (1.75 ton ha⁻¹) ve en yüksek değer ile 30 yaşındaki sarıçam meşcereleri (6.5 ton ha⁻¹) takip etmiştir. Meşcere yaşının artmasına bağlı olarak orman katmanında biriken ölü örtü miktarı artış göstermiştir.



Şekil 2. Farklı arazi kullanım durumuna göre ölü örtü miktarının değişimi.

Figure 2. Variation in amount of the litter according to different land use conditions

3.3. Toprak Organik Karbon ve Toplam Azot Miktarlarının Değişimi

Ortalama TOK ve TA miktarları farklı arazi kullanım şekli ve toprak derinliklerine göre Çizelge 3'te verilmiştir. Toprak organik karbon stokları, toprak derinliklerine bağlı olarak artan-azalan ya da azalan-artan bir şekilde eğilim göstermiştir ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. 18 yaşındaki sarıçam meşcereleri altındaki topraklarda (%4.56) ve tarım topraklarında (%4.52) en fazla organik karbon miktarı, toprağın ilk 5 cm'lik kısmında iken, en düşük organik karbon miktarı 20-30 cm toprak derinlik kademesinde sırasıyla %2.2 ve %2.3 olarak bulunmuştur (Çizelge 3). 30 yaşındaki sarıçam meşcerelerinin topraklarında organik karbon miktarı en fazla 5-10 cm (%3.19), 15-20 cm (%3.14) ile 20-30 cm (%3.5) toprak derinlik kademelerinde birikmiştir. Her üç alanda da ortalama 0-30 cm toprak derinliğinde, organik karbon miktarları hemen hemen aynı miktara sahiptirler (Çizelge 3).

TA miktarında ise, toprak derinliklerine bağlı olarak önemli bir şekilde anlamlı istatistiksel farklılık bulunmaktadır (Çizelge 3). En yüksek TA stoku, 0-5 cm derinlikteki 18 yaşındaki sarıçam meşcereleri altındaki topraklarda (%0.31) ve tarım topraklarında (%0.32) iken, en düşük TA stokuna 20-30 cm derinlikteki 18 yaşındaki sarıçam meşcereleri (%0.14) ile tarım topraklarında (%0.2) rastlanılmıştır. Her üç alanda da ortalama 0-30 cm toprak derinliğinde, TA miktarları hemen hemen aynı degerdedir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Farklı arazi kullanım şekli ve farklı toprak derinliklerindeki organik karbon ve toplam azot miktarları.
Table 3. Amount of organic carbon and total nitrogen in different land use patterns and different soil depths

Arazi Kullanım Şekli	Toprak Organik Karbon (%)					Toplam Azot (%)						
	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	15-20 cm	20-30 cm	Mean 0-30 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	15-20 cm	20-30 cm	Mean 0-30 cm
Orman (Çs18)	4.56n	2.6f	2.38d	2.74g	2.2b	2.9	0.31g	0.17c	0.15b	0.23f	0.14a	0.2
Orman (Çs30)	2.8h	3.19k	1.99a	3.14j	3.5l	2.92	0.2d	0.23f	0.17c	0.22e	0.22e	0.21
Tarım	4.52m	2.98ı	2.76g	2.42e	2.3c	2.99	0.32h	0.23f	0.23f	0.22e	0.2d	0.24

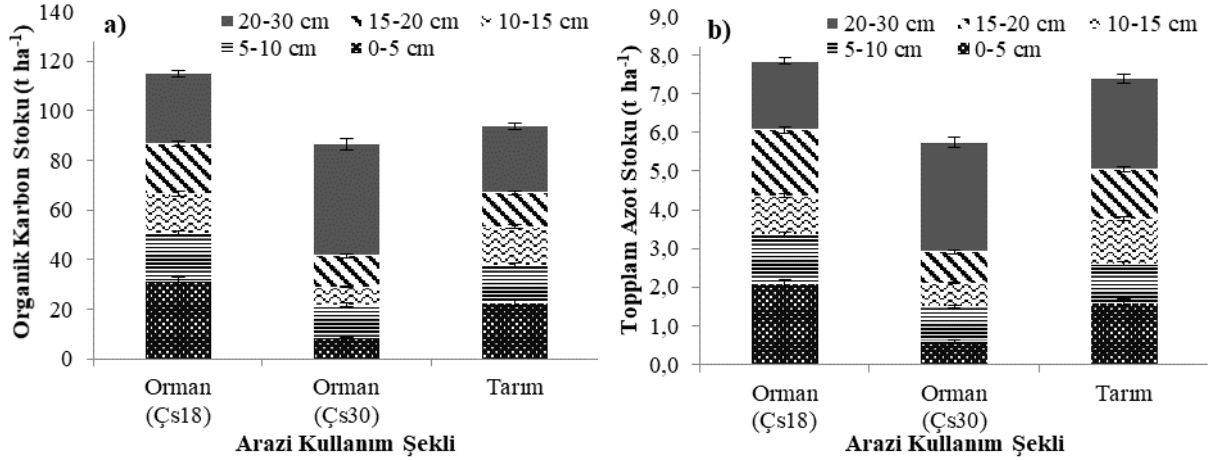
*Farklı küçük harfler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark vardır ($p < 0.05$)

3.4. Toprak organik karbon ve toplam azot stoklarının değişimi

Farklı toprak derinlik kademelerinde ve arazi kullanım şekillerine göre, ortalama TOK ve TA stokları Şekil 3'te verilmiştir. Toprak organik karbon stokları, toprak derinliklerine bağlı olarak artan-azalan bir şekilde eğilim göstermiştir (30 yaşındaki sarıçam meşçeresi hariç). Ortalama 0-30 cm derinlikteki topraklarda en fazla organik karbon 18 yaşındaki sarıçam meşçerelerinde ($115 \text{ ton C ha}^{-1}$) tespit edilmiş, bunu sırasıyla tarım arazileri ($93.7 \text{ ton C ha}^{-1}$) izlemiş ve en düşük organik karbonun 30 yaşındaki sarıçam meşçeresi topraklarında ($86.6 \text{ ton C ha}^{-1}$) depolandığı görülmüştür. 18 yaşındaki sarıçam meşçeresinin ilk 5 cm derinliğinde en fazla organik karbon ($31.2 \text{ ton C ha}^{-1}$) depolanırken, 30 yaşındaki sarıçam meşçeresi topraklarında en düşük organik karbon stoku ($8.4 \text{ ton C ha}^{-1}$)

bulunmaktadır (Şekil 3a). Bunun yanı sıra, 20-30 cm toprak derinliğinde en fazla organik karbon stoku 30 yaşındaki sarıçam meşçereleri ($45.1 \text{ ton C ha}^{-1}$) ile tarım topraklarında ($26.9 \text{ ton C ha}^{-1}$) depolanmıştır (Şekil 3a).

TA stokları ilk 5 cm toprak derinliğinde, en yüksek 18 yaşındaki sarıçam meşçereleri altındaki topraklardadır ($2.1 \text{ ton N ha}^{-1}$). 20-30 cm toprak derinliğindeki tarım arazileri ($2.34 \text{ ton N ha}^{-1}$) ve 30 yaşındaki sarıçam meşçereleri altındaki topraklarda ($2.83 \text{ ton N ha}^{-1}$) en yüksek TA stoklarına rastlanılmıştır (Şekil 3b). Genel olarak, ortalama 0-30 cm toprak derinlik kademesinde en yüksek TA stoku 18 yaşındaki sarıçam meşçereleri altındaki topraklarda tespit edilmiş ($7.86 \text{ ton N ha}^{-1}$) ve bunu sırasıyla tarım toprakları ($7.39 \text{ ton N ha}^{-1}$) ve en düşük olarak da 30 yaşındaki sarıçam meşçereleri altındaki topraklar ($5.74 \text{ ton N ha}^{-1}$) takip etmiştir (Şekil 3b).



Şekil 3. Farklı arazi kullanım şekilleri altındaki TOK (a) ve TA (b) stoklarının derinliğe bağlı olarak değişimi.
Figure 3. Variation in SOC (a) and TN (b) stocks depending on depth under different land use patterns

4. Tartışma ve Sonuç

Burada sunulan çalışmanın sonuçları, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşçereleri ile tarım arazisi altındaki ölü örtü, toprak özellikleri, TOK ve TA stokları üzerinde arazi kullanım şeklinin ve toprak derinliğinin önemli bir etkisinin olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte sarıçam meşçerelerinin yaşına bağlı olarak artma-azalma şeklinde dalgalanmalar gösterebildiği görülmektedir.

Genel olarak, farklı arazi kullanım durumu (tarım ve orman) altında bazı toprak özelliklerinin önemli ölçüde farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Tarım-1 arazisinde pH, potasyum, organik madde miktarının en yüksek değerde olmasında, üzerinde yetişen kuşburnu (*Rosa canina* L.),

yabani erik (*Prunus divaricata* var. *divaricata*) gibi farklı çalılar ve meyve ağaçları ile otsu legume bitkilerinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte meşçere yaşına bağlı olarak, sarıçam altındaki toprak özelliklerinde önemli derecede farklılıklar gözlemlenmiştir. Yani toprak pH değerleri sarıçam ağaçlarında yaşa bağlı olarak artış göstermiştir. Orta ya da olgun yaşlardaki ağaçların topraklarında pH'ın yüksek olmasında hem pedojenik hem de besin emiliminin fazla olması etkili olmaktadır (de Moraes vd., 1996). Topraklarda alüminyum çökmesine bağlı olarak, hidrojen+alüminyum azalmasına neden olan karbonat girdisinin artışı topraklarda pH değerini yükseltmektedir (Perin vd., 2003). Sarıçam türlerinde meşçere yaşının artmasıyla kum miktarında bir artış gözlemlenirken; toz ve

kil miktarlarında ise bir azalma gözlemlenmiştir. 30 yaşındaki sarıçam meşcereleri altındaki topraklarda organik madde miktarının düşük olmasında toprak yüzeyine dökülen iğne yaprak dökülmesinden ziyade dal dökülmesinin fazla olması ve buna bağlı olarak ölü örtü ayrışmasının yavaş olması etkili olabilir. Bununla birlikte 30 yaşındaki sarıçam meşcere topraklarında düşük kil içeriğine sahip olması (%28.8) hacim ağırlığının artmasına neden olabilir. Benzer şekilde Koolen ve Kuipers (1983), kumlu topraklarda yüksek hacim ağırlığını mikro gözeneklerin olmaması ile açıklamıştır.

Mineral üst toprak yüzeyinde biriken ölü örtü miktarı, aynı yetiştirme ortamında bulunan sarıçam meşcereleri için yaşa bağlı olarak (18 ve 30 yaşlarında) artma eğilimi göstermiştir ve en düşük tarım toprakları üzerinde ölü örtü birikmiştir (Şekil 2). Tarım topraklarında ölü örtü miktarının düşük olmasında, tarım bitkilerinin artıklarının etkisi olabilir. Genellikle orman topraklarında organik madde birikimi fazladır (Murty vd., 2002). Benzer şekilde, Augusto vd. (2010) ile Díaz-Pinés vd. (2011) çalışmalarında orman topraklarında organik madde birikiminin fazla olduğunu belirtmişlerdir. Albrektson (1988) çalışmasında sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinde, Ranger vd. (2003) Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) meşcereleri altındaki ölü örtü miktarının, artan meşcere yaşıyla birlikte azaldığını belirtmişlerdir. Ancak, Çepel vd. (1988) *Pinus brutia* meşceresinde ve Köhler vd. (2008) *Quercus kopeyensis* meşcereleri altında ölü örtü miktarının orta meşcere gelişme çağına en yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda meşcere yaşı ile birlikte orman ölü örtü miktarında önemli bir artış gözlemlenmiştir (Şekil 2). Orta ve genç meşcereler arasında toprak yüzeyindeki orman altı ölü örtü miktarındaki farkın nedeni, pek çok çalışmada gösterildiği gibi, ölü örtü düşen malzemedeki varyasyona bağlanabilir. Örneğin, meşcerede erken yaşlarda toprak yüzeyine düşen ölü örtü miktarında çoğunlukla iğne yaprak dökülmesi daha etkili olurken, daha sonrasında dal ya da sürgünler daha baskın olmaktadır (Binkley, 1986). Bunun yanı sıra, toprak organizmalarının ölümü, bitki kökleri, mikroorganizmaların besin kaynağı sırasında açığa çıkardıkları solunum olayları da toprak organik maddesini ihtiva etmektedir.

18 yaşında sarıçam meşcereleri altındaki topraklarda TOK stokları en yüksek iken, 30 yaşında ise en düşüktür. Bunun aksine, Tahmaz (2016) çalışmalarında yaşlı ormanlara müdahalenin daha az olması nedeniyle topraklarda C'nun zaman içerisinde birikmesinden kaynaklı yaşlı ağaç altındaki topraklarda daha fazla TOK depolandığını belirtmiştir. Sarıçam meşcerelerine bitişik olan ve tarımsal amaçlı kullanılan arazilerde ortalama TOK (93.70 t C ha⁻¹) TA (2.34 t N ha⁻¹) stokları genel toplamda (0-30 cm), 18 yaşındaki sarıçam meşcerelerinden daha düşük ve 30 yaşındaki sarıçam meşcere topraklarından daha yüksek bulunmuştur. Özellikle Tarım-2 topraklarının oldukça killi olması, tüm tarım topraklarında organik maddenin fazla olması, 30 yaşındaki sarıçam meşcereleri altında daha çok dal ve sürgün ölü örtüsünün dökülmüş olmasının etkili olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde, Desjardins vd. (2004) ile Walker ve Desanker (2004) killi toprakların kumlu

topraklara kıyasla, toprakta karbonu üç katı daha fazla bulundurduğunu belirtmişlerdir. Yani topraklarda karbonun artması, doğrusal bir şekilde kil miktarının artmasına bağlanabilir. Bu durum karbonun kil yüzeyindeki küçük gözeneklerde tutulmasından kaynaklanmaktadır (Paul, 1984). Meşcere yaşına bağlı olarak, TOK ve TA miktarı ile stoklarında farklılık görülmesi ve bu farklılığın artış yönünde olduğu birçok bilimsel çalışmada da ifade edilmiştir (Erickson vd., 2001; Rhoades vd., 2000). TOK stokları üzerinde iklim, kil miktarı, arazi kullanım değişikliği, ormancılık yönetim uygulamaları gibi faktörler etkili olmaktadır (Neill vd., 1997a; Parfitt vd., 1997; Fearnside ve Barbosa, 1998; Jobbagy ve Jackson, 2000). Ülkemizde, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) türünün TOK stokları Çepel (1977), Tolunay (1992) ve Güner (2006) tarafından 18.3 t C ha⁻¹ ile 448 t C ha⁻¹ arasında bulunmuş ve bizim çalışmamızda da sarıçam meşcerelerinde TOK stokları, diğer çalışmalarla ifade edilen aralık bandı arasında bulunmuştur.

Sarıçam meşcerelerinde ise genç yaşta (18 yaşında) en yüksek TOK stokları tespit edilirken, bunu sırasıyla tarım toprakları izlemiş ve 30 yaşında sarıçam meşcerelerinde en düşük olarak belirlenmiştir. Bu durum, farklı arazi kullanım durumu altındaki topraklarda yüksek organik madde, yüksek kil içeriği ve düşük hacim ağırlığına sahip olması, TA stokları üzerinde olumlu bir yönde etkisi olabilir. McGrath vd., (2001) çalışmasında topraktaki karbon, azot ve fosfor içeriğinin kil miktarıyla güçlü bir ilişkisi olduğunu belirtmiştir. Orman topraklarında en yüksek net N mineralizasyonu; ince bünyeli topraklarda ve organik maddenin yüksek olmasına bağlı olarak değişmektedir (Neill vd., 1997b). Bu çalışmada TOK miktarı, genellikle toprak derinliğinin artmasına bağlı olarak azalmaktadır. Durán Zuazo vd. (2014) sarıçam altındaki topraklarda TOK miktarının toprak derinliğine bağlı olarak azaldığını belirtmişlerdir. İğne yapraklı ağaç türleri altındaki topraklarda C ve N stokları en fazladır ve özellikle sarıçam ve halep çamı türleri için çok fazla ibre (ölü örtü) dökülmesi ve birikmesinin etkili olduğu söylenebilir (Johnson ve Curtis, 2001).

Çalışma sonuçları özellikle toprak derinliği, farklı arazi kullanım durumu ve meşcere yaşına bağlı olarak toprak özelliklerinin (toprak tekstürü, hacim ağırlığı), TOK ve TA stoklarının değişiklik göstermesinde önemli rol oynadığını göstermiştir. Orman topraklarında TOK ve TA stokları, toprak yüzeyinde ve toprak içerisindeki organik madde miktarı ile yakından ilişkilidir. Orman ekosistemlerindeki organik madde miktarı ve kalitesi beşeri faktörlere ve doğal olarak gelişen ekolojik faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, orman ekosistemleri TOK ve TA stokları açısından önem arz etmekte ve orman arazilerinin artırılması, TOK ve TA stokunun artırılmasıyla, atmosferdeki CO₂ konsantrasyonlarını azaltmak için etkili bir yol olarak görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Temel SARIYILDIZ danışmanlığında Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 2012-2017 yılları arasında Gamze SAVACI tarafından hazırlanmış olup, doktora tezinin

bir bölümünü içermektedir (Savacı, 2017). Bununla birlikte, bu çalışma Kastamonu Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından KUBAP03/2015-1 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., ...&... Yurtsever, A. vd., 2011. 1:1.250 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.

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.

Atalay, İ., 2006. Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası. 3. Baskı, Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü Yayını.

Augusto, L., Bakker, M.R., Morel, C., Meredieu, C., Trichet, P., Badeau, V., ... & Ranger, J. 2010. Is 'grey literature' a reliable source of data to characterize soils at the scale of a region? A case study in a maritime pine forest in southwestern France. *European Journal of Soil Science*, 61(6), 807-822.

Binkley, D., 1986. Forest Nutrition Management. *John Wiley & Sons*.

Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986. Bulk density 1. Methods of soil analysis: part 1-physical and mineralogical methods, (*methodsofsoilan1*), 363-375.

Bolin, B., Sukumar, R., 2000. Global Perspective. In: Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., Dokken, D.J. (Eds.), Land use, Land-use Change, and Forestry. Special Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK, Pp. 23-51.

Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy Journal*, 54(5):464-465.

Bray, R.H., Kurtz, L.T., 1945. Determination of total, organic and available forms phosphorus in soils. *Soil Science*, 59:45-49.

Bruun, T.B., Elberling, B., de Neergaard, A., Magid, J., 2015. Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture. *Land Degradation & Development*, 26(3):272-283.

Çepel, N., 1977. Türkiye'nin önemli yetişme bölgelerindeki saf sarıçam ormanlarının gelişimi ile bazı edafik ve fizyografik etkenler arasındaki ilişkiler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 26(2):25-64.

Çepel, N., 1996. Toprak İlimi Ders Kitabı -Orman topraklarının karakteristikleri, toprakların oluşumu, özellikleri ve ekolojik bakımdan değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi Yayın No, 3945, Orman Fakültesi Yayın No, 438, İstanbul.

Çepel, N., Dündar, M., Özdemir, T., Neyişçi, T., 1988. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ekosistemlerinde iğne yaprak dökümü ve bu yolla toprağa verilen besin maddeleri miktarları, *Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları*.

de Moraes, J.F.L., Volkoff, B., Cerri, C.C., Bernoux, M., 1996. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia, Brazil. *Geoderma* 70: 63-81.

Deng, L., Zhu, G.Y., Tang, Z.S., Shangguan, Z.P., 2016. Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stocks. *Global Ecology and Conservation*, 5: 127-138.

Desjardins, T., Barros, E., Sarrazin, M., Girardin, C., Mariotti, A.,

2004. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103(2):365-373.

Díaz-Pinés, E., Rubio, A., Van Miegroet, H., Montes, F., Benito, M., 2011. Does tree species composition control soil organic carbon pools in Mediterranean mountain forests?. *Forest Ecology and Management*, 262(10):1895-1904.

DMİ, 2016. Devlet Meteoroloji İşleri Gn. Md., Kastamonu Meteoroloji İl Müdürlüğü, Kastamonu ve İnebolu Meteoroloji İstasyonu Verileri, 1960- 2015. Kastamonu.

Durán Zuazo, V.H., Rodríguez Pleguezuelo, C.R., Cuadros Tavira, S., Francia Martínez, J.R., 2014. Linking soil organic carbon stocks to land-use types in a mediterranean agroforestry landscape. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(3):667-679.

Erickson, H., Keller, M., Davidson, E.A., 2001. Nitrogen oxide fluxes and nitrogen cycling during postagricultural succession and forest fertilization in the humid tropics. *Ecosystems*, 4:64-84.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2015. Major Soil Groups of the World (FGGD) (GeoLayer).

FAO 1998. World Reference Base for Soil Resources, by ISSS-ISRIC-FAO.

Fearnside, P.M., Barbosa, R.I., 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 108 (1-2):147-166.

Grünzweig, J.M., Sparrow, S.D., Yakır, D., Chapin, F.S., 2004. Impact of agricultural land-use change on carbon storage in Boreal Alaska. *Global Change Biology* 10(4):452-472.

Güner, Ş.T., 2006. Türkmen Dağı (Eskişehir, Kütahya) Sarıçam (*Pinus sylvestris* ssp. *hamata*) ormanlarının yükseltiye bağlı büyüme beslenme ilişkilerinin belirlenmesi. Doktora tezi, Eskişehir.

Houghton, R.A., 1999. The Annual Net Flux of Carbon to the Atmosphere from Changes in Land Use 1850-1990. *Tellus*, 51B:298-313.

IPCC, 2013. Summary for Policymakers. in: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.

IUSS Working Group, 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014 International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. FAO, Rome.

Jackson, M.L., 1962. Soil Chemical Analysis. (Constable and Company, Ltd: London).

John, B., Yamashita, T., Ludwig, B., Flessa, H., 2005. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*, 128:63-79.

Johnson, D.W., Curtis, P.S., 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management*, 140(2):227-238.

Kantarci, M., 2000. Toprak İlimi. İstanbul Ün. Orman Fak. Yayınları No:462, s:420, İstanbul.

Knudsen, D., Peterson, G.A., Pratt, P.F. 1982. Lithium, Sodium, and Potassium. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (*methodsofsoilan2*), Pp. 225-246.

Köhler, L., Hölscher, D., Leuschner, C., 2008. High litterfall in old-

growth and secondary upper montane forest of Costa Rica. *Plant Ecology*, 199(2):163-173.

Koolen, A. J., & Kuipers, H., (1983). *Agricultural soil mechanics*. Springer.

Landsberg, J.J., Gower, S.T., 1997. *Applications of Physiological Ecology to Forest Management*. Elsevier.

Lee, J., Hopmans, J.W., Rolston, D.E., Baer, S.G., Six, J., 2009. Determining soil carbon stock changes: simple bulk density corrections fail. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 134(3-4):251-256.

Makineci, E., 1999. Araştırma ormanındaki baltalıkların koruya dönüştürülmesi işlemlerinin ölü örtü ve topraktaki azot değişimine etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, 213s.

McGrath, D.A., Smith, C.K., Gholz, H.L., de Assis Oliveira, F., 2001. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazonia. *Ecosystems*, 4(7):625-645.

Murty, D., Kirschbaum, M.U., Mcmurtrie, R.E., MCGILVAY, H., 2002. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. *Global Change Biology*, 8(2):105-123.

Neill, C., Melillo, J.M., Steudler, P.A., Cerri, C.C., de Moraes, J.F.L., Piccolo, M.C., Brito, M., 1997a. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Eco Appl.*, 7(4):1216-25.

Neill, C., Piccolo, M.C., Cerri, C.C., Steudler, P.A., Melillo, J. M., Brito, M., 1997b. Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin landscape. *Oecologia*, 110:243-52.

OGM 2020. Türkiye Orman Varlığı, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Parfitt, R.L., Theng, B.K.G., Whitton, J.S., Shepherd, T.G., 1997. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, 75(1-2):1-12.

Paul, E.A., 1984. Dynamics of soil organic matter. *Plant Soil*, 76:275-285.

Perin, E., Ceretta, C.A., Klamt, E., 2003. Time of agricultural use and chemical properties of two Ferralsols in the Planalto Médio region of the State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:665-674.

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., van Wesemael, B., Schumacher, J., Gensior, A., 2011. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone-carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology*, 17(7):2415-2427.

Post, W.M., Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*,

6(3):317-327.

Ranger, J., Gerard, F., Lindemann, M., Gelhaye, D., Gelhaye, L., 2003. Dynamics of litterfall in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stands in the Beaujolais mounts (France). *Annals of Forest Science*, 60(6):475-488.

Rhoades, C.C., Eckert, G.E., Coleman, D.C., 2000. Soil carbon differences among forest, agriculture and secondary vegetation in lower Montane Ecuador. *Ecological Applications*, 10-2:497-505.

Sariyildiz, T., Savaci, G., Kravkaz, I.S., 2015. Effects of tree species, stand age and land-use change on soil carbon and nitrogen stock rates in northwestern Turkey. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(1):165.

Savacı, G., 2017. Farklı arazi kullanım türleri ve ağaç yaşının bazı toprak özellikleri, karbon ve azot depolamasına etkileri. Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.179. Kastamonu, Türkiye.

Soleimani, A., Hosseini, S.M., Bavani, A.R.M., Jafari, M., Francaviglia, R., 2019. Influence of land use and land cover change on soil organic carbon and microbial activity in the forests of northern Iran. *Catena*, 177:227-237.

Tahmaz, C., 2016. Mineral toprak ve orman yüzeyindeki (ölü örtü) depolanan karbona ağaç türlerinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Kastamonu, Türkiye.

Thomas, G.W., 1982. Exchangeable Cations. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties, (methodsofsoilan2)*, Pp.159-165.

Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1):55-94.

Tolunay, D., 1992. Aladağ (Bolu) Kartalkaya bölgesinde Büyüksaha siperinde yetiştirilmiş sarıçam meşcerelerinin toprak özellikleri üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. 142 s., İstanbul.

Tolunay, D., 2015. Türkiye’de ormansızlaşma ile kaybedilen karbon miktarları. 6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 7-9 Ekim, pp:441-452, İzmir.

Tolunay, D., Çömez, A., 2007. Orman topraklarında karbon depolanması ve Türkiye’deki durum. *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu*, 13-14 Aralık, İstanbul.

Walker, S.M., Desanker, P.V., 2004. The impact of land use on soil carbon in Miombo Woodlands of Malawi. *Forest Ecology and Management*, 203(1-3):345-360.

Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.