

PAPER DETAILS

TITLE: Uludag Göknari (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) mescerelerinin toprak organik karbon, toplam azot ve besin element konsantrasyonlari ve stoklari üzerinde baki ve yükseltinin etkisi

AUTHORS: Temel SARIYILDIZ,Gamze SAVACI,Salih PARLAK,Burhan GENÇAL

PAGES: 159-174

ORIGINAL PDF URL: <http://ofd.artvin.edu.tr/tr/download/article-file/2432261>

Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) meşcerelerinin toprak organik karbon, toplam azot ve besin element konsantrasyonları ve stokları üzerinde bakı ve yükseltinin etkisi

Effects of altitude and slope aspect on soil organic carbon, total nitrogen and soil nutrient concentrations and stocks in Uludağ Fir (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) stands

Temel SARIYILDIZ¹, Gamze SAVACI², Salih PARLAK¹, Burhan GENÇAL¹

¹Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa

²Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu

Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1117690

Sorumlu yazar / Corresponding author

Temel SARIYILDIZ

e-mail: temel.sariyildiz@btu.edu.tr

Geliş tarihi / Received

17.05.2022

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

10.10.2022

Kabul Tarihi / Accepted

16.10.2022

Elektronik erişim / Online available

28.10.2022

Anahtar kelimeler:

Uludağ Göknarı

Karbon ve azot stoku

Yükselti

Bakı

Toprak derinliği

Keywords:

Uludağ Fir

Carbon and nitrogen stocks recreation

Altitude

Slope aspect

Soil depth

Özet

Topografik yükselti ve bakının, Uludağ göknarının ölü örtü, toprak özellikleri, toprak organik karbon (TOK), toplam azot (TA) ve diğer toprak besin elementi (C, N, Ca, Mg, P, K, S, Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Cl, Ni ve Co) konsantrasyonları ve stoklarına etkilerini belirlemek amaçlı Bursa Uludağ Milli Parkı'nda bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Uludağ göknarının yayılış yaptığı kuzey (K) ve güney (G) bakıların, beş yükselti kuşağından (Z1: 1400–1500 m, Z2: 1500–1600 m, Z3: 1600–1700 m, Z4: 1700–1800 m, Z5: 1800–1900 m) ve dört toprak derinlik kademesinden (D1: 0–10 cm, D2: 10–20 cm, D3: 20–30 cm, D4: 30–40 cm) ölü örtü ve toprak örnekleri alınmıştır. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, Uludağ göknarı toprak organik karbon ve toplam azot konsantrasyonunun ve stokunun yükseltiye bağlı olarak arttığı ve her bir yükselti kuşağının K bakısında G bakıya göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Örneğin, TOK stoku, K bakıda yükseltiye bağlı olarak hektarda 162 tondan 182 tona, G bakıda ise 116 tondan 176 tona doğru bir artış göstermiştir. TOK stoku, K bakıda G bakıdan %19.7 daha fazla bulunmuştur. Benzer şekilde, TA stokunda, K bakıda yükseltiye bağlı olarak hektarda 9.77 tondan 10.9 tona, G bakıda ise 7.64 tondan 10.1 tona doğru bir artış göstermiştir. Diğer yandan, makro besin elementlerinden Ca, Mg ve P konsantrasyonları ve stoklarında yükseltiye bağlı olarak azalırken, K ve S ise yükselti ile önce bir azalma daha sonra ise bir artış gösterme eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Yükseltiye bağlı benzer eğilim mikro besin elementleri içinde tespit edilmiştir. Bununla beraber, genel olarak makro ve mikro besin elementleri her bir yükselti kuşağında, kuzey bakılarda güney bakılardan daha yüksek bulunmuştur. Uludağ göknarının yükselti ve bakıya bağlı değişen ölü örtü ve toprak özelliklerinin (özellikle hacim ağırlığı) yanında mikroklima bağlı ölü örtü miktarının ve ayrışmasının toprak organik karbon, toplam azot ve diğer makro ve mikro besin elementlerinin konsantrasyon ve stoklarında etkili olabileceği sonucuna varılmıştır.

Abstract

In order to find out how topographic altitude and slope aspect affect forest floor litter, soil properties, soil organic carbon (SOC), total nitrogen (TN) and other soil nutrient (C, N, Ca, Mg, P, K, S, Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Cl, Ni ve Co) concentrations and stocks of Bursa Uludağ fir, a study was conducted in the Uludağ National Park. For this purpose, forest floor litter and soil samples were taken from five altitude zones (A1: 1400–1500 masl, A2: 1500–1600 masl, A3: 1600–1700 masl, A4: 1700–1800 masl and A5: 1800–1900 masl) under north (N) and south (S) aspects at four soil depths (D1: 0–10 cm, D2: 10–20 cm, D3: 20–30 cm and D4: 30–40 cm). In general, it was seen that soil organic carbon and total nitrogen concentration and stock of Uludağ fir increased with increasing altitude, and at each altitude zone they were higher on K aspect than on S aspect. For example, SOC stock increased with altitude from 162 tons to 182 tons per hectare on N aspect and from 116 tons to 176 tons on S aspect. SOC stock was 19.7% higher on the K aspect than on the S aspect. Similarly, TN stock increased from 9.77 tons to 10.9 tons per hectare on the N aspect, and from 7.64 tons to 10.1 tons on the S aspect. On the otherhand, mean concentrations and stocks of Ca, Mg and K decreased with increasing altitude, while K and S tended to have an increase and then a decrease with the altitude. A similar trend was also noted for the micronutrients. However, in general, at each elevation zone, macro and micro nutrients were higher on northern aspect than on southern aspect. It is concluded that the amount of litter and soil properties (especially bulk density) that varied with altitude and aspect of Uludağ fir, as well as litter decomposition due to microclimate may be responsible for the variation of the concentration and stocks of soil organic carbon, total nitrogen and other macro and micro nutrient elements.

GİRİŞ

Fosil yakıt tüketimi, sanayileşme, ormansızlaşma ve arazi kullanım değişiklikleri sebebiyle atmosferdeki sera gazı miktarları (özellikle CO₂ ve N₂O) hızla artarak, yüzey sıcaklıkları ve yağışlarda değişiklikler ortaya çıkarmaktadır (Poulter ve ark. 2014). Bu olumsuz gelişmeler karşısında, küresel iklim değişikliği ile ilgili doğru adımların atılması ve küresel ölçekte modellemelerin yapılabilmesi için farklı yıllarda bir araya gelen ülkelerin (Helsinki 1993, Kyoto 1997) aldığı kararlar arasında ülkelerin karbon depoları envanterlerinin ve depolama kapasitelerinin doğru bir şekilde bilinmesine ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır. Sonrasında, dünyada bu konuda yapılan çalışmaların sayısında artış yaşanmış ve genel bir modelleme için farklı ülkelerden elde edilen çalışma sonuçlarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmıştır. Ülkemizde ise bu konuda yapılan çalışmaların sayısı oldukça sınırlı olup, ülkemiz için genel ve doğru bir değerlendirme yapılabilmesi için, farklı ekosistemlerden elde edilen verilere ihtiyaç duyulduğu bildirilmiştir (Tolunay ve Çömez 2008). Konu ile ilgili farklı ekosistemlerde (orman, mera, tarım) yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalardan ortaya çıkan en önemli sonuç, atmosferdeki artan karbon miktarını azaltabilecek en önemli kaynağın orman ekosistemleri olduğu ve yeryüzü orman varlığının küresel iklim kriziyle mücadelede kilit öneme sahip olduğudur (Sevgi ve ark. 2011, Duyar ve ark. 2017, Goodale ve ark. 2002, Lal 2005).

Dünyadaki kıtaların yaklaşık %31'i ormanlarla kaplı olup, bu oran yaklaşık 4 milyar hektar ormanlık alana tekabül etmektedir (FAO 2016). Bu orman ekosistemleri, yeryüzü bitki örtüsünde depolanan karbonun yaklaşık %86'sından, toprakta depolan karbonun ise yaklaşık %73'den sorumludur (Dixon ve ark. 1994). Bu nedenle, orman ekosistemlerinin toprak organik karbon (TOK) ve toplam azot (TA) stoklarını tam ve doğru bir şekilde belirlemek, küresel iklim değişikliği ile biyojeokimyasal döngünün ilişkisini anlamada önemli yer tutmaktadır (Tashi ve ark. 2016). Genel olarak karasal ekosistemde karbon depolanmasında; orman ağaçlarının önemli bir rol üstlendiği bilinmekte (450 ile 650 PgC yr⁻¹), fakat orman altı topraklarının etkisi göz ardı edilmektedir. Küresel karbon döngüsünde topraklarda depolanan karbon miktarı 1500 ile 2400 PgC yr⁻¹ arasında olup, topraklarda

tutulan karbon değeri, bitki örtüsünden 3 katı kadar fazladır (Houghton 1999). Toprakta ve biyokütlerde karbon depolanması, dengedeki orman ekosistemlerinin temel bir özelliği olup, küresel karbon döngüsünde önemli bir rol oynamaktadır (Goodale ve ark. 2002). Karasal ekosistemlerde, toprak organik karbonunun depolanmasının ve dengesinin oynadığı bu önemli rol nedeniyle, bu ekosistemlerin stokunda meydana gelecek küçük bir değişiklik bile küresel iklimi etkileyebilmektedir (Li ve ark. 2013).

Orman topraklarında karbon ve azot stoklarına etki eden faktörleri oldukça fazladır. Bu faktörlerden bazılarını: ağaç türü, ormanların kuruluş özellikleri, ölü örtüdeki organik madde içerikleri, anakaya ve toprak özellikleri, arazi kullanımı ve arazi kullanımında meydana gelen değişiklikler, silvikültürel müdahaleler, arazi işleme, gübreleme ve küresel ısınma olarak sıralayabiliriz (Lal 2005). Bunlara ek olarak, ılıman orman ekosistemlerinin hem küresel hem de bölgesel olarak, bünyesinde depoladığı toprak organik karbonun, yetişme ortamı özelliklerine bağlı olarak yüksek bir değişkenlik gösterebildiği bildirilmiştir (Dai ve ark. 2018). Özellikle, topografyanın dağlık olduğu bölgelerdeki TOK ve TA stoklarındaki değişkenliğin temel nedenleri olarak; değişen çevre şartları, toprak tipi, vejetasyon ve arazi kullanımı olduğu ifade edilmektedir (Bangroo ve ark. 2017, Tashi ve ark. 2016). Orman çeşitliliği ve kompozisyonu ise zaman içinde topografik özellikler (yüksekti, eğim ve bakı) ve iklim koşulları (yağış, sıcaklık ve radyasyon) tarafından etkilenmektedir (Griffiths ve ark. 2009, Muscarella ve ark. 2019). Bu faktörlerin toplam etkisi ise ekosistem restorasyonunu, toprak özelliklerini, besin elementlerini ve toprak karbon ve azot tutulumunu etkileyebilmektedir. Mikro iklim, bitki türleri, yükselti ve bakıların, karbonun ayrışmasında ve birikiminde, besin elementlerinin mineralizasyonunda ve toprak özelliklerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği bildirilmiştir (Sariyıldız ve ark. 2015). Topografik faktörlerin, yıllık yağış ve buharlaşma miktarını, atmosferik buhar basıncını, gece ve gündüz sıcaklık farkını, mevsimler arası sıcaklık farkını ve güneşten gelen radyasyonun niceliği ve niteliğini etkileyerek, bir yöredeki bitki örtüsünü, toprağa katılan organik madde miktarını, organik maddenin oksitlenme hızını ve neticede toprak

organik karbon, azot ve diğerk besin elementlerinin konsantrasyonu ve özelliklerini etkileyebilen önemli bir yetiştirme ortamı faktörü olduğı ifade edilmektedir (Vitousek 1994). Örneğın, bazı çalışmalarda, kuzeye bakan yamaçların toprak N mineralizasyonu ve nitrifikasyon oranları, daha nemli ve soğuk mikroiklime sahip olmaları nedeniyle güneye bakan yamaçlardan daha düşük olduğı bildirilmiştir (Zhang ve ark. 2012). Buna karşılık, daha sıcak mikroiklime sahip güneye bakan yamaçlardaki toprakların daha yüksek mineralizasyona, bu nedenle de daha düşük organik madde içeriğine sahip olduğı tespit edilmiştir (Jaksic ve ark. 2021).

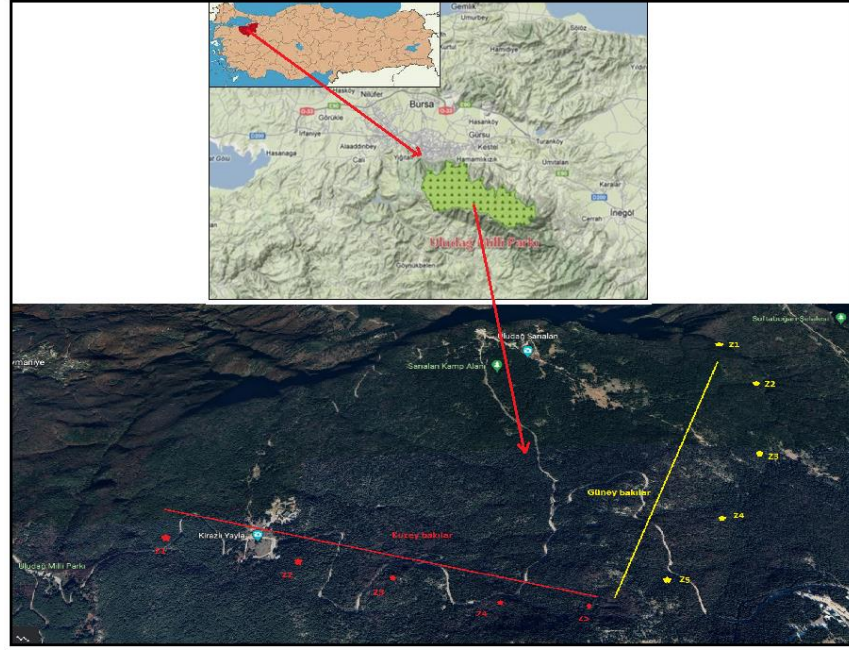
Farklı bitki örtüsünün ve topografya eğiminin toprak organik karbon ve toprak azotu üzerine etkisini ortaya koyan çok sayıda bilimsel çalışma bildirilmiş olsa da, toprak organik karbon ve toprak azot stokları ile makro ve mikro besin elementleri konsantrasyonu ve stokları üzerinde topografik bakı ve yükseltinin etkisini belirlemeye yönelik detaylı çalışmaların sayısı nispeten daha az sayıdadır (Kantarıcı 1979). Uludağ göknarının önemli bir yayılış yaptığı Bursa Uludağ Milli Parkı Gökarn ormanlarında ise bilğimiz dahilinde henüz böyle bir çalışma yapılmamıştır. Burada sunulan çalışmanın temel amacı ise Uludağ göknarının TOK ve TA stoku ile makro- ve mikro besin elementleri, üzerinde yükselti, bakı ve toprak derinliğinin etkisini belirlemektir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Bursa İli Uludağ Milli Parkı sınırları içinde gerçekleştirilmiş olup, örnekleme alanları Uludağ göknarının yayılış yaptığı gölgeli (kuzey bakılar) ve güneşli (güney bakılar) bakıların beş farklı yükselti kuşağından alınmıştır (Şekil 1). Uludağ Milli Parkının kapladığı alan 12762 hektardır. Uludağ Milli Parkının yaklaşık 2/3'ünü

(%71) ormanlık alanlar kaplamaktadır. Geri kalan kısımlar taşlık (%16) ve eski mera (%10.5) alanları yanında, %2.5 su yüzeyi, yerleşim yeri, rekreasyon alan ve yollardan oluşmaktadır. Yaklaşık %22'lik bir payla göknar ormanları alanda ilk sırada yer alırken, bunu %18 ile kayın, %4 ile karaçam ve aynı oranda %4 ile kestane ve %1'in altında ıhlamur türleri izlemektedir (Özsoy 2021). Gölgeli bakı (kuzeybatı, kuzey, kuzeydoğı ve doğu) alanlarının (8542 ha) daha çok hakim olduğı (%65) Uludağ Milli Parkında, güneşli bakı (güneydoğı, güney, güneybatı ve batı) alanları %35'lik oranla 4220 hektardır.

Uludağ Milli Parkı'nın anakaya türleri olarak en çok amfibol şist mermer 5.210 ha (%40), granit 4.819 ha (%37), Uludağ metamorfittleri 2.071 ha (%16) ve dolomitik mermerler 651 ha (%5) oluşturmaktadır (Çepel 1990). Çalışmanın gerçekleştirildiğı yükselti basamak sınırları (1400 m ile 1900 m) arasında kalan bölgenin ana kayasının granit olduğı bildirilmiş olup (Çepel 1978), granit anakaya türü tarafımızdan da arazide tespit edilmiştir. 1946-2021 yılları arasındaki meteorolojik verilere göre (Uludağ Meteoroloji verileri, 1877 m yükseklikte) yıllık ortalama yağış miktarı 1289 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 5.1°C'dir. Ortalama aylık sıcaklıklar Ağustos 14.2 °C ile Şubat -3.5 °C arasında değışiklik göstermektedir. Şubat ayı 152.6 mm yağış ile en yüksek ay olurken, Ağustos ayı 16.8 mm ile en düşük aydır. Thornthwaite iklim sınıflandırmasına (nemlilik indisi) göre bölge çok nemli, düşük sıcaklıkta (mikrotermal, su noksanı olmayan veya pek az olan, Karasal iklime yakın iklim özelliğine sahiptir. Uludağ'da, yüksek atmosfer koşullarının egemen olmasından dolayı güney yönlü rüzgarların hakim olduğı görülür. Sonbaharda hakim rüzgâr yönü S221(%43), kış mevsiminde S21°E (%53.5), ilkbaharda S9°E (%41.4) iken yaz mevsiminde egemen rüzgâr yönü N59°E (%45.9) olur.



Şekil 1. Çalışma alanı

Uludağ Milli Parkı sınırları içerisinde kalan arazilerin yaklaşık %82 (10648.53 ha) gibi büyük bir bölümünü Kireşsiz Kahverengi Orman Büyük Toprak Grubu toprakları oluşturmaktadır (Çepel 1990). Kireşsiz Kahverengi Orman toprakları genellikle yaprağını döken orman altında oluşmuş A (B) C profilli topraklardır. İyi oluşmuş A horizonu altında bazen zayıf bir B horizonu görülür (Özsoy 2021). Uludağ Milli Parkı sınırları içerisinde 791 taksondan oluşan flora tespiti yapılmıştır. Bunların içerisinde 25 taksonun Uludağ'a özgü endemik türlerden oluştuğu belirtilmiştir. Uludağ'ın florası beş vejetasyon kuşağı (zon) altında toplanmaktadır: Lauretum Kuşağı: 0-350 m., (2) Castanetum Kuşağı: 350-700 m., (3) Fagetum Kuşağı: 700-1500 m., (4) Abietum Kuşağı: Bu kuşak Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmuelleriana*), karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*), gürgen (*Carpinus betulus*), bodur ardıç (*Juniperus communis* var. *saxatilis*), ayı üzümü (*Vaccinium myrtillus*), yabancı erik (*Prunus divaricata*), üvez (*Sorbus aucuparia*) türlerinin de katıldığı karışık ve saf göknar ormanlarından oluşan bir kuşak olup genellikle 1400-2100 metreler arasında yer alır. Ve son olarak (5) yaklaşık 1900 metrelerden başlayıp zirveye kadar devam eden bu kuşak ise Alpinetum Kuşağıdır.

Örnekleme Alanlarının Alınması ve Meşcere Özelliklerinin Belirlenmesi

Uludağ Milli Parkı sınırları içinde, ortalama 1400 ile 1900 metre rakımları arasında yayılış gösteren Uludağ göknarının (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) hem kuzey (K) hem de güney (G) bakılarının beş yükselti kuşağında (Z1: 1400–1500 m., Z2: 1500-1600 m., Z3: 1600–1700 m., Z4: 1700-1800 m., Z5: 1800-1900 m.) 400 m² (20 m x 20 m) genişliğinde üçer adet çalışma sahası alınmıştır (Şekil 1). Böylelikle, toplamda Uludağ Göknaı örnekleme alanı sayısı 15 kuzey, 15 güney bakı olmak üzere toplam 30 adet olmuştur.

Ortalama yaş, her bir örnekleme alanında seçilen üç göknar ağacından artım burgusu kullanılarak yapılan ölçümlerin ortalaması olarak alınmıştır. Ağaçların boyları dijital boy ölçer, göğüs yüksekliğindeki (d₁₃₀ cm) çapları ise çap ölçerle ve birbirine dik iki yönde ölçülmüştür. Alınan örnekleme alanlarının homojen kapalılıkta olmasına özen gösterilerek, orta kapalılıktaki (%41-%70) alanların seçilmesine dikkat edilmiştir. 2500 cm² (50 cm x 50 cm) büyüklüğünde alınan örnekleme alanının 5 farklı kısmından, toprak yüzeyindeki tüm ölü örtü toplanmıştır. Alınan örnekler plastik poşetlere konularak laboratuvara getirilmiştir. Örnekleme alanlarının belirlenen meşcere özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Örnekleme alanlarının bazı meşcere özellikleri. Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir ($P<0.05$, $n=3$).

Yükselti kuşakları (m)	Bakı	Ortalama Çap (cm)	Ortalama Boy (m)	Yaş (yıl)	Meşcere kapalılığı (%)	Ölü örtü (t/ha)
Z1	K	26.7c	11.7b	40ab	Tüm örnekleme alanları orta kapalı %41- 70	17.98ab
	G	24.8b	10.9a	38a		16.71a
Z2	K	17.5a	10.5a	35a		17.77a
	G	18.4a	12.3b	39a		17.23a
Z3	K	29.7c	13.2b	45c		19.13b
	G	31.4	12.8b	42b		18.45b
Z4	K	24.4b	12.0b	40ab		21.02c
	G	27.6c	14.2b	44c		20.35bc
Z5	K	29.1c	10.1a	45c		25.15c
	G	23.4b	10.3a	40ab		23.72c

Çalışılan yükselti kuşaklarındaki Uludağ göknarının ortalama meşcere yaşı kuzey (K) bakılarda 35 ile 45 yaş arasında, güney (G) bakılarda ise 38 ile 44 yaş arasında değişiklik göstermiştir. Meşcere ortalama boyu K bakılarda 10.1 m ile 13.2 m arasında, G bakılarda 10.3 m ile 14.2 m arasında belirlenmiştir. Meşcere göğüs çapı ise K bakılarda 17.5 cm ile 29.7 cm arasında, G bakılarda ise 18.4 cm ile 31.4 cm arasında tespit edilmiştir. Çalışılan Uludağ meşcerelerinin kapalılığı orta kapalı (%41-70) olarak belirlenmiştir.

Ölü örtü, yükselti kuşaklarına bağlı olarak en alt rakımdan en üst rakıma doğru bir artış göstermiştir. Ölü örtü, K bakılarda en alt rakımda 18.0 ton ha⁻¹ iken en üst rakımda 25.2 ton ha⁻¹ olarak, G bakılarda ise en alt rakımda 16.7 ton ha⁻¹ en üst rakımda ise 23.7 ton ha⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Örnekleme alanlarının her birinde bir adet toprak profili açılmıştır. Doğal yapısı bozulmamış toprak örnekleme, 4 derinlik kademelerinden (D1: 0-10 cm, D2:10-20 cm, D3: 20-30 cm ve D4:>30 cm) yapılmıştır. Her derinlik kademesinin ortasından çelik silindir ile doğal yapısı bozulmamış toprak örneği alınmıştır. Silindirler istenilen derinliğe kadar çakıldıktan sonra kenarları ve tabanı keskin bir bıçakla fazlalıklardan temizlenmiş ve polietilen torbalara yerleştirilmiştir. Toprağın bazı fiziksel ve kimyasal analizlerini belirlemek için ayrıca açılan toprak profilinden doğal yapısı bozulmuş toprak örnekleri de alınmıştır.

Örnekleme alanlarından alınan ölü örtü (ibre + çürüntü ve humus tabakaları) örnekleri etüvde 70 °C'de fırın kurusu

hale getirilmiştir. Ölü örtü örneklerinin nem değerleri kullanılarak, ölü örtünün kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Sonrasında, bu değerler hektara çevirme katsayısı (25) ile çarpılarak t/ha olarak hesaplanmıştır.

Araziden getirilen silindir örneklerinin yaş ağırlıkları belirlendikten sonra, 105°C'de 24 saat etüvde kurutularak fırın kurusu ağırlıkları için tartılmıştır. Silindir örneklerinin fırın kurusu toprak ağırlığı ve silindir hacmi değerlerinden yararlanarak, toprak hacim ağırlığı hesaplanmıştır (Blake ve Hartge 1986). Toprak örneklerinin pH'sı ½.5 oranındaki toprak + saf su karışımında dijital pH metre ile ölçülmüştür (Gülçür 1974). Toprakların tekstürü Bouyoucos'un hidrometre yöntemine göre belirlenmiştir (Gülçür 1974). Toprak organik karbon ve azot, BTÜ Merkez Laboratuvarında kuru yakma yöntemine göre (Eurovector EA3000-Single CNH-S elementer analiz cihazında) tayin edilmiştir. Toprak makro ve mikro besin elementleri Kastamonu Üniversitesi Merkez Laboratuvarında Spectro markalı Xepos II modeli olan XRF (X-Işını Floresans) Spektrometresi ile belirlenmiştir. Toprak organik karbon ve toplam azot stoku (t C / N ha⁻¹) ise aşağıda verilen formüle göre belirlenmiştir (Sariyıldız ve ark. 2015):

TOK veya TA stoku (t karbon/azot ha⁻¹): %TOK veya TA x Mi (t ha⁻¹).

Bu formülde verilen Mi, i'nci toprak derinliğinde kuru toprağın kütlesini ifade etmekte olup, miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanacaktır.

Mi: BD_i x Ti x 10⁴.

Bu formülde BDi, i toprak derinliğindeki toprak hacim ağırlığını ($t\ m^{-3}$), Ti ise i toprak derinliğindeki toprak kalınlığını (m), 10^4 birim değişim faktörünü ($m^2\ ha^{-1}$) ifade etmektedir.

Çalışmada, elde edilen sonuçlara göre, istatistiksel analizler yapılarak, yükselti kuşaklarının, bakının ve toprak derinlik kademelerinin Uludağ göknarının toprak organik karbon, toplam azotu (%) ve stokları (t/ha) ve besin elementleri üzerindeki etkileri varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir. Ortalamaların karşılaştırılması Duncan testi ile yapılmıştır. İstatistik işlemler SPSS istatistik paket programı (IBM SPSS 20.0) kullanılarak bilgisayar ortamında yapılmıştır.

BULGULAR

Toprak Özellikleri

Genel olarak çalışılan alanlarda, Uludağ göknarı toprakları balçıklı kum tekstüründedir (Çizelge 2). Toprak pH'sı K bakılarda 6.29 ile 6.88 arasında değişirken, G bakılarda 6.38 ile 7.03 arasında değişim göstermiştir. Toprak pH değerinin hem K hem de G bakılarda, alt rakımdan üst rakıma doğru bir artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Toprakların içerdiği kum miktarı yüksek olup, kum miktarı K bakılarda ortalama %81.5, G bakılarda ortalama %80.7 olarak tespit edilmiştir. Toprakların kum miktarı her iki bakı grubunda da yükselti kuşakları arasında önemli bir değişiklik göstermemiştir. Toprakların hacim ağırlığı K bakılarda ortalama $1.26\ g\ cm^{-3}$, G bakılarda $1.33\ g\ cm^{-3}$ olarak belirlenirken, her iki bakı grubunda da yükseltiye bağlı olarak hacim ağırlığının azaldığı belirlenmiştir (Çizelge 2).

Toprak Makro ve Mikro Besin Elementleri

Uludağ göknarının yayılış gösterdiği, kuzey ve güney bakıların, 5 yükselti kuşağının 4 farklı toprak derinlik kademelerinin içerdiği ortalama organik C, N, Ca, Mg, P, K ve S konsantrasyonları Çizelge 3'de, ortalama Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Cl, Ni ve Co konsantrasyonları Çizelge 4'de verilmiştir. Toprak makro ve mikro besin elementleri üzerinde bakı ve yükseltinin tek ve bileşik etkilerinin istatistiksel olarak önem düzeyi aynı sıralamada Çizelge 5 ve Çizelge 6'da yer almaktadır.

Toprak organik karbon ve toplam azotun, yükseltiye bağlı olarak arttığı ve her bir yükselti kuşağının K bakılarında G bakılara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). TOK ve TA, K bakıların en alt rakımında (Z1) sırasıyla %2.90 ve %0.174, en üst rakımında (Z5) sırasıyla %4.15 ve %0.267 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, güneşli (G) bakıların en alt rakımında TOK ve TA, en düşük (sırasıyla %2.15 ve %0.114), en üst rakımında ise en yüksek (sırasıyla %3.82 ve %0.219) olarak belirlenmiştir.

Yükselti kuşakları diğer makro besin elementleri (Ca, Mg, P, K ve S) üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olurken, bakının etkisi sadece Ca, P ve K için tespit edilmiştir (Çizelge 5). Bakı ve yükseltinin toprak makro besin elementleri üzerinde birlikte gösterdikleri etkinin anlamlı olmaması (Çizelge 5) makro besin elementlerinin tümünün her iki bakıda da yükselti basamaklarına göre aynı yönde eğilim gösterdiğini ifade etmektedir.

Genel olarak, her iki bakıda da Ca, Mg ve S konsantrasyonları yükselti ile doğrusala yakın şekilde azalma gösterirken, P ve K konsantrasyonları yükselti ile önce bir azalma daha sonra ise bir artış gösterme eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). Yükseltiye bağlı olarak besin elementlerindeki değişimin toprak derinlik kademelerine göre de farklılık gösterdiği görülmüştür (Çizelge 3). İki bakı arasında ise, toprak makro besin elementlerinin konsantrasyonları her bir yükselti kuşağında, güney bakıya göre kuzey bakıda daha yüksek olarak belirlenmiştir (Çizelge 3).

Mikro besin elementleri içerisinde, Mn haricindeki tüm diğer elementler yükselti ve bakıya göre önemli farklılıklar göstermiştir (Çizelge 6). Bakı yükseltinin birlikte yaptığı etkininde istatistiksel olarak anlamsız bulunması (Çizelge 6), tüm mikro besin elementlerinin bakı ve yükseltiye göre aynı eğilimde hareket ettiğini göstermiştir. Genel olarak, her iki bakıda, yükseltiye bağlı olarak Cu ve Co konsantrasyonlarında bir artış meydana gelirken, diğer besin elementlerinin yükselti ile önce bir azalma daha sonrasında bir artış gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4). Makro besin elementlerinde olduğu gibi, her bir yükselti kuşağında, kuzey bakıların toprakları güney bakılardan

daha fazla mikro besin elementine sahip olmuştur.

Çizelge 2. Uludağ göknarı çalışma alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. Değerler 4 toprak derinlik kademesi (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm ve >30 cm) ortalaması olarak verilmiştir. Ortalamanın standart hatası yanında gösterilmiştir. Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir ($P<0.05$, $n=8$).

Yükselti kuşakları (m)	Bakı	Kil (%)	Toz (%)	Kum (%)	Hacim ağırlığı (g/cm ³)	pH
Z1	K	9.2e ± 1.74	12.5c ± 1.43	78.3a ± 1.12	1.42c ± 0.077	6.29a ± 0.141
	G	6.3c ± 1.01	12.1c ± 1.22	81.6b ± 2.56	1.48c ± 0.021	6.38a ± 0.213
Z2	K	6.6c ± 2.79	10.4b ± 4.11	83.0b ± 5.90	1.41c ± 0.266	6.63a ± 0.108
	G	4.7b ± 2.11	9.3ab ± 2.10	86.0 ± 4.21	1.45c ± 0.765	6.59a ± 0.452
Z3	K	4.4b ± 1.31	12.5c ± 2.50	83.1b ± 3.76	1.23a ± 0.074	6.88a ± 0.161
	G	14.6f ± 3.23	10.8b ± 1.09	74.6a ± 1.53	1.32b ± 0.132	7.03a ± 0.253
Z4	K	5.1cb ± 0.86	14.5d ± 1.67	80.4b ± 2.32	1.18a ± 0.203	6.53a ± 0.281
	G	7.7d ± 0.98	10.5b ± 0.87	81.8b ± 3.04	1.24a ± 0.311	6.98a ± 0.111
Z5	K	3.3a ± 1.56	13.8d ± 5.25	82.9b ± 4.89	1.06a ± 0.194	6.88a ± 0.125
	G	12.2f ± 2.34	8.5a ± 0.78	79.3ab ± 0.89	1.17a ± 0.043	6.92a ± 0.108

Çizelge 3. Uludağ göknarı çalışma alanı topraklarının makro besin elementleri. Değerler 4 toprak derinlik kademesi ortalaması olarak verilmiştir. Ortalamanın standart hatası yanında gösterilmiştir. Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir. Bakı ve yükselti kuşakları arasındaki besin elementi farklılıkların önem derecesi Çizelge 5'de sunulmuştur.

Yükselti kuşakları (m)	Bakı	C (%)	N (%)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	S (ppm)
Z1	K	2.893b ± 0.21	0.174b ± 0.06	15578e ± 2053	13155d ± 2140	1185e ± 270	15188b ± 615	506c ± 133
	G	2.147a ± 0.24	0.114a ± 0.02	13519d ± 3238	11861c ± 2281	1081d ± 302	13368a ± 941	451b ± 111
Z2	K	2.481b ± 0.64	0.164b ± 0.07	14983e ± 4580	9100b ± 1361	523a ± 151	17360d ± 814	267a ± 149
	G	2.492b ± 0.42	0.126a ± 0.03	11850c ± 1999	8546a ± 948	539a ± 201	16105c ± 1729	214a ± 107
Z3	K	3.573c ± 0.24	0.218c ± 0.08	14083e ± 2919	11486c ± 3474	739c ± 261	16648c ± 1629	600d ± 117
	G	2.667b ± 0.53	0.143ab ± 0.04	12602c ± 2588	23359e ± 1854	630bc ± 259	15428b ± 1531	455b ± 135
Z4	K	3.782c ± 0.75	0.233c ± 0.09	9471b ± 2225	9457b ± 1751	1008d ± 103	19990e ± 592	663d ± 162
	G	3.034c ± 0.85	0.183bc ± 0.06	8697b ± 1142	8481a ± 1341	823c ± 149	17719d ± 1260	588d ± 99
Z5	K	4.151d ± 1.04	0.267c ± 0.12	8780b ± 2289	10099b ± 2065	1315f ± 127	21115e ± 890	609d ± 171
	G	3.816cd ± 0.55	0.219c ± 0.09	7791a ± 1369	8097a ± 1632	1149e ± 188	17756d ± 889	565c ± 66

Çizelge 4. Uludağ göknarı çalışma alanı topraklarının mikro besin elementleri. Değerler 4 toprak derinlik kademesi ortalaması olarak verilmiştir. Ortalamanın standart hatası yanında gösterilmiştir. Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir. Bakı ve yükselti kuşakları arasındaki besin elementi farklılıklarının önem derecesi Çizelge 5’de sunulmuştur.

Yükselti kuşakları (m)	Bakı	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cl (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)
Z1	K	22228c ±1391	477c± 114	35588d±8555	8.9b±2.0	62.7c±6.5	80.0c± 22.6	25.2c± 1.3	18.6bc±2.
	G	17483b ±1830	382bc ±82	32108d ±8915	6.5b ±0.8	53.1b ±1.9	62.3b ±18.4	22.7b ±2.4	15.3a ±2.
Z2	K	16163b ±1906	242a ±133	42000e ±5904	7.9b ±3.5	55.3b ±21.3	47.4a ±10.3	20.7a ±3.6	19.6cd ±4.
	G	13924a ±1152	212a ±31	35700d ±4268	4.7a ±2.1	43.1a ±16.9	38.5a ±5.1	19.2a ±2.0	17.5b ±3.
Z3	K	22088c ±2765	558d ±269	27415cd ±2595	10.0c ±1.5	68.1c ±17.4	203.5e ±35.6	27.0d ±4.3	22.3d ±2.
	G	16940b ±1245	423c ±67	19020b ±6503	7.9b ±1.7	58.2b ±20.0	209.0e ±25.7	23.0b ±4.7	17.6b ±2.
Z4	K	24525d ±3753	637d ±135	23720c ±4633	12.3c ±2.9	133.5e ±49.2	92.3c ±27.3	29.3d ±3.4	19.9c ±4.
	G	21284c ±3863	459c ±119	15615a ±767	10.7c ±0.9	101.8d ±17.8	92.6c ±16.3	25.9c ±1.5	18.4b ±3.
Z5	K	23663d ±2494	412c ±115	22140c ±6039	15.3d ±3.2	120.9e ±12.2	267.3f ±47.8	26.0c ±2.9	25.0d ±3.
	G	17286b ±1832	315b ±105	19159b ±2335	15.4d ±2.3	105.0d ±12.6	169.0d ±13.9	25.4c ±4.3	23.0d ±3.

Çizelge 3. Makro besin elementlerinin ANOVA sonuçları.

	Varyansın Kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Ortalamaların karesi	F-oranı	Eta kare
C	Yükselti (Y)	14.670	4	3.664		
	Bakı (B)	5.887	1	5.887	16.607***	0.624
	Y x B	0.411	4	0.103	26.685***	0.400
	Hata	8.825	40	0.221	0.466ns	0.045
N	Yükselti (Y)	0.609	4	0.152		
	Bakı (B)	0.032	1	0.032	3.881**	0.280
	Y x B	0.004	4	0.001	7.876**	0.165
	Hata	0.162	40	0.004	0.246ns	0.024
Ca	Yükselti (Y)	322505636	4	80626409		
	Bakı (B)	35581360	1	35581360	16.587***	0.624
	Y x B	8977191	4	2244297	7.320*	0.155
	Hata	194433438	40	4860835	0.462ns	0.044
Mg	Yükselti (Y)	553423236	4	138355809		
	Bakı (B)	24828695	1	24828695	3.065*	0.235
	Y x B	344970945	4	86242736	0.550ns	0.014
	Hata	1805657180	40	45141429	1.911ns	0.160
P	Yükselti (Y)	3472116	4	868029		
	Bakı (B)	150920	1	150920	25.872***	0.721
	Y x B	61470	4	15367	4.498*	0.101
	Hata	1342033	40	33550	0.458ns	0.044
K	Yükselti (Y)	177561380	4	44390345		
	Bakı (B)	49248842	1	49248842	44.06*	0.815
	Y x B	7787885	4	1946971	48.883***	0.550
	Hata	40299147	40	1007478	1.933ns	0.162
S	Yükselti (Y)	914072	4	228518		
	Bakı (B)	69117	1	69117	3231*	0.244
	Y x B	16786	4	4196	0.977ns	0.024
	Hata	2828670	40	70716	0.059ns	0.006

Yıldız işaretleri önem derecesini ifade etmektedir: *, P<0.05, **, P<0.01, ***, P<0.001, ns: anlamlı değil

Yükselti ve Bakının TOK, TA ve Diğer Makro ve Mikro Besin Elementi Stokları Üzerine Etkileri

Uludağ göknarının kuzey ve güney bakıların farklı yükselti kuşaklarının farklı toprak derinlik kademesindeki toprak organik karbon (TOK), toplam azot (TA) ve diğer makro

besin elementleri stokundaki değişimi Çizelge 7 ve mikro besin elementleri stokundaki değişim Çizelge 8’de verilmiştir. Toprak organik karbon ve toplam azot üzerinde bakı ve yükseltinin tek ve bileşik etkilerinin istatistiksel olarak önemli olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 9). Benzer ilişki istatistiksel olarak diğer makro ve mikro besin

elementleri içinde tespit edilmiştir (istatistiksel sonuçlar çizelge olarak sunulmamıştır). En düşük TOK stoku K ve G bakıların en alt rakımında (Z1) sırasıyla 161.6 t ha⁻¹ ve 116.2 t ha⁻¹, en yüksek ise en üst rakımda (Z5) sırasıyla 182.3 t ha⁻¹ ve 175.6 t ha⁻¹ olarak bulunmuştur (Çizelge

7). Benzer şekilde TA stoku K ve G bakıların en alt rakımında (Z1) sırasıyla 9.77 ve 6.76 t ha⁻¹, en yüksek ise en üst rakımda (Z5) sırasıyla 10.94 t ha⁻¹ ve 9.94 t ha⁻¹ olarak tespit edilmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 4. Mikro besin elementlerinin ANOVA sonuçları.

	Varyansın Kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Ortalamaların karesi	F-oranı	Eta kare
Fe	Yükselti (Y)	325117495	4	81279373	18.678***	0.651
	Bakı (B)	236509500	1	236509500	54.350***	0.576
	Y x B	26463955	4	6615988	1.520ns	0.132
	Hata	174065163	40	4351629		
Mn	Yükselti (Y)	617084	4	154271	3.617*	0.266
	Bakı (B)	143112	1	143112	3.355ns	0.077
	Y x B	30081	4	7520	0.176ns	0.017
	Hata	1706153	40	42653		
Na	Yükselti (Y)	2954092222	4	738523055	20.923***	0.677
	Bakı (B)	428097208	1	428097208	12.128**	0.233
	Y x B	64023800	4	16005950	0.453ns	0.043
	Hata	1411917866	40	35297946		
Cu	Yükselti (Y)	476.722	4	119.180	30.928***	0.756
	Bakı (B)	47.220	1	47.220	12.254**	0.235
	Y x B	10.121	4	2.530	0.657ns	0.062
	Hata	154.14	40	3.854		
Zn	Yükselti (Y)	42269.943	4	10567.486	22.280***	0.690
	Bakı (B)	3145.831	1	3145.831	6.632*	0.142
	Y x B	848.099	4	212.025	0.447ns	0.043
	Hata	18972.268	40	474.307		
Cl	Yükselti (Y)	259674.266	4	64918.567	39.812***	0.799
	Bakı (B)	7085.261	1	7085.261	4.345*	0.098
	Y x B	18114.453	4	4528.613	2.777*	0.217
	Hata	65225.200	40	1630.630		
Ni	Yükselti (Y)	324.461	4	81.115	10.229***	0.506
	Bakı (B)	71.043	1	71.043	8.959**	0.183
	Y x B	19.067	4	4.767	0.601ns	0.057
	Hata	317.204	40	7.930		
Co	Yükselti (Y)	280.835	4	70.209	9.279**	0.481
	Bakı (B)	93.845	1	93.845	12.403**	0.237
	Y x B	17.156	4	4.289	0.601ns	0.054
	Hata	302.644	40	7.566		

Yıldız işaretleri önem derecesini ifade etmektedir: *, P<0.05, **, P<0.01, ***, P<0.001, ns: anlamlı değil

Kuzey ve güney bakıların üst toprakların (D1) ortalama TOK stoku en alt rakımda en düşük iken (sırasıyla 42.1 t ha⁻¹ ve 30.3 t ha⁻¹) yükseltiye bağlı olarak bu değerin arttığı ve en üst rakımda en yüksek değere (sırasıyla 53.0 t ha⁻¹ ve 42.6 t ha⁻¹) ulaştığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde alt topraklarda da (D2, D3 ve D4) TOK stoku alt rakımdan üst rakıma doğru bir artış ve K bakılarda G bakılardan daha yüksek bir değer göstermiştir (Çizelge 7).

Toprak organik karbonun yüksek olduğu yüzey toprak ve alanlarda toplam azot stokunun da yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 7). Yüzey topraklardaki TA stoku K ve G bakıların en alt rakımında sırasıyla 3.17 t ha⁻¹ ve 1.92 t

ha⁻¹ iken en üst rakımında sırasıyla 4.19 t ha⁻¹ ve 3.45 t ha⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Genel olarak Ca, Mg ve P besin elementi stokları kuzey ve güney bakıların alt rakımlarında en üst rakımlara göre daha yüksek bulunurken, K ve S elementi stokları en üst ve en alt rakımlar arasında önemli bir farklılık göstermemiştir (Çizelge 7). Mikro besin elementlerinden Fe, Mn ve Na stokları en alt rakımda üst rakımlara göre açık bir şekilde daha yüksek tespit edilirken, diğer mikro besin elementleri (Cu, Zn, Cl, Ni and Co) stoklarının en alt

ve en üst rakımlar arasındaki farklılıkları önemli bir değişiklik göstermemiştir (Çizelge 8).

TARTIŞMA

Burada sunulan çalışmanın sonuçları, Uludağ göknarının (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) ölü örtüsü, toprak özellikleri, makro ve mikro besin elementi konsantrasyonları ve stokları üzerinde yükselti, bakı ve toprak derinliğinin önemli bir etkisinin olduğunu ortaya koymuştur.

Yükseltiye bağlı olarak Uludağ göknarın ölü örtüsü hem kuzey hem de güney bakılarda artış göstermiştir. Yükseltiye bağlı olarak Uludağ göknarının ölü örtüsünde oluşan artış, bazı çalışmalarda da tespit edilmiştir. Örneğin, Kantarcı (1979), Aladağ (Bolu) Uludağ göknar

ormanları altındaki ölü örtünün yükseltiye bağlı olarak arttığını, ölü örtünün 26.9 ton ha⁻¹ (900-1100 m) ile 34.2 ton ha⁻¹ (1500-1634 m) arasında değiştğini bildirmiştir.

Kantarcı (1979) tarafından bildirilen Uludağ göknarı ölü örtü değerleri, bu çalışmada belirlenen değerlerden daha yüksektir. Aynı tür olmasına rağmen, iki çalışma arasında Uludağ göknarının ölü örtüsü arasındaki farklılıkların, çalışmaların gerçekleştirildiği bölgelerin iklim (sıcaklık, yağış vd.), meşcere (yaş, gelişme çağı, sıklık, kapalılık vd.) ve toprak özelliklerinin (anakaya vd.) farklı olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir (Becknel ve ark. 2014, Feng ve ark. 2019).

Çizelge 5. Uludağ göknarının kuzey ve güney bakının farklı yükselti kuşaklarının farklı toprak derinlik kademesindeki makro besin elementi stoklarının değişimi. Ortalamanın standart hatası yanında gösterilmiştir. Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir.

Yükselti kuşakları (m)	Toprak derinliği (cm)	Kuzey Bakı							Güney Bakı						
		C	N	Ca	Mg	P	K	S	C	N	Ca	Mg	P	K	S
Z1	0-10	42.1	3.17	24.4	19.1	1.41	21.3	0.74	30.3	1.92	25.4	19.8	1.17	20.5	0.68
	10-20	40.1	2.79	22.7	19.4	1.35	21.6	0.44	29.7	1.87	21.2	16.2	1.08	19.4	0.44
	20-30	40.4	2.22	20.0	21.1	2.13	21.1	0.79	29.1	1.61	16.7	20.3	1.96	18.0	0.70
	>30	39.0	1.59	21.1	15.0	2.18	22.3	0.92	27.1	1.36	16.6	13.9	1.99	21.4	0.87
	Ortalama	161.6a	9.77ab	88.2d	74.5c	7.07c	86.3b	2.89bc	116.2a	6.76a	79.9d	70.2d	6.20c	79.4a	2.69b
		± 1.29	± 0.69	± 1.91	± 2.60	± 0.45	± 0.55	± 0.20	± 1.42	± 0.26	± 4.22	± 3.04	± 0.49	± 1.47	± 0.18
Z2	0-10	42.4	3.19	26.9	8.9	0.98	21.9	0.99	36.8	2.09	20.0	12.3	1.04	22.1	0.73
	10-20	42.9	2.47	14.9	13.9	0.54	23.2	0.10	37.0	1.94	15.4	13.2	0.72	25.5	0.19
	20-30	41.6	2.03	20.4	13.9	0.63	27.1	0.10	33.5	1.68	16.5	12.2	0.62	22.8	0.15
	>30	40.9	1.32	21.1	15.1	0.87	25.5	0.21	31.9	1.52	16.3	11.6	0.58	22.5	0.12
	Ortalama	167.8a	9.01a	83.3d	51.7b	3.02a	97.8c	1.40a	139.2bc	7.23b	68.2	49.2b	2.97a	92.9c	1.19a
		± 0.89	± 0.78	± 4.93	± 2.75	± 0.20	± 2.33	± 0.43	± 2.54	± 0.28	± 2.04	± 0.67	± 0.21	± 1.55	± 0.29
Z3	0-10	44.9	3.91	21.1	8.1	1.42	16.7	1.59	39.9	2.42	20.4	11.3	1.17	17.1	1.20
	10-20	44.6	2.42	14.6	17.8	0.77	20.3	0.42	39.2	1.89	13.0	15.9	0.69	18.9	0.33
	20-30	43.2	2.21	16.9	13.3	0.78	22.1	0.41	35.0	1.71	16.9	13.0	0.58	22.4	0.40
	>30	43.3	2.08	16.4	18.0	0.91	23.3	0.46	275	1.46	16.1	17.3	0.63	23.5	0.43
	Ortalama	176.0b	10.6b	69.1c	57.1b	3.87ab	82.5ab	2.88bc	145.4c	7.48b	66.4cc	57.5c	3.07a	81.8ab	2.37b
		± 0.87	± 0.85	± 2.81	± 4.69	± 0.31	± 2.92	± 0.58	± 4.01	± 0.41	± 3.03	± 2.74	± 0.27	± 2.98	± 0.41
Z4	0-10	46.9	3.68	11.8	8.1	1.28	20.9	1.28	41.0	2.85	11.4	8.0	1.09	19.4	1.13
	10-20	50.5	2.82	9.4	13.4	1.23	22.8	0.58	43.5	2.68	9.8	12.8	0.97	21.1	0.66
	20-30	41.0	2.37	11.3	10.3	1.16	25.3	0.59	35.0	1.70	11.0	9.7	0.89	24.8	0.47
	>30	37.5	1.83	11.9	12.7	1.30	25.1	0.57	27.5	1.65	10.5	11.6	0.88	22.3	0.57
	Ortalama	175.9b	10.7b	44.3b	44.6a	4.96b	94.0c	3.03c	147.0c	8.88c	42.7b	42.1b	3.83b	87.6bc	2.83b
		± 5.85	± 0.78	± 1.17	± 2.41	± 0.06	± 2.08	± 0.35	± 7.12	± 0.63	± 0.69	± 2.10	± 0.09	± 2.27	± 0.29
Z5	0-10	53.0	4.19	11.3	7.5	1.51	18.7	0.94	42.6	3.45	9.7	7.2	1.17	18.6	0.96
	10-20	48.1	2.15	7.9	12.8	1.57	20.5	0.52	49.2	2.87	97	12.2	1.34	20.9	0.58
	20-30	40.6	2.50	8.7	11.1	1.45	24.3	0.51	438	2.03	8.3	10.2	1.16	20.1	0.43
	>30	40.6	2.11	8.6	11.2	1.59	25.9	0.52	39.9	1.59	8.3	8.4	1.12	23.4	0.58
	Ortalama	182.3c	10.9b	36.4a	42.6a	6.12c	89.4b	2.50b	175.5d	9.94c	36.0a	38.0a	4.79b	83.0b	2.56b
		± 6.07	± 0.98	± 1.53	± 2.25	± 0.07	± 3.32	± 0.21	± 3.92	± 0.84	± 0.78	± 2.19	± 0.10	± 2.00	± 0.23

Uludağ Göknaarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) meşcerelerinin toprak organik karbon, toplam azot ve besin element konsantrasyonları ve stokları üzerinde bakı ve yükseltinin etkisi

Çizelge 6. Uludağ göknarının kuzey ve güney bakının farklı yükselti kuşaklarının farklı toprak derinlik kademesindeki mikro besin elementi sto yanında gösterilmiştir. Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir.

Yükselti kuşakları (m)	Toprak derinliği (cm)	Kuzey Bakı								Güney Bakı			
		Fe	Mn	Na	Cu	Zn	Cl	Ni	Co	Fe	Mn	Na	Cu
Z1	0-10	27.7	1.07	58.4	0.0116	0.093	0.092	0.034	0.028	26.7	0.94	59.4	0.01
	10-20	32.5	0.54	56.1	0.0123	0.090	0.062	0.036	0.022	24.0	0.46	51.8	0.00
	20-30	31.0	0.50	50.3	0.0097	0.078	0.123	0.034	0.025	29.0	0.39	47.0	0.00
	>30	35.4	0.57	36.0	0.0173	0.094	0.183	0.039	0.030	24.0	0.46	31.2	0.01
	Ortalama	126.6d	2.68c	200.8d	0.0509bc	0.356a	0.460b	0.143b	0.106a	103.7b	2.25b	189.4c	0.03bc
		±3.18	±0.27	±10.1	±0.003	±0.007	±0.052	±0.002	±0.004	±2.40	±0.25	±11.9	±0.0
Z2	0-10	21.4	0.55	41.9	0.0155	0.109	0.070	0.031	0.024	21.2	0.54	42.4	0.01
	10-20	20.5	0.22	61.1	0.0054	0.063	0.063	0.023	0.019	18.4	0.30	46.5	0.00
	20-30	21.2	0.26	64.3	0.0103	0.067	0.049	0.028	0.030	19.9	0.18	54.4	0.00
	>30	28.0	0.28	71.3	0.0125	0.066	0.083	0.034	0.037	20.9	0.18	64.8	0.00
	Ortalama	91.1a	1.32a±	238.6e	0.0437a	0.305a	0.265a	0.116a	0.111a	80.5a	1.19a	208.1c	0.027a
		±3.48	0.15	±12.6	±0.004	±0.022	±0.014	±0.005	±0.008	±1.25	±0.17	±9.89	±0.0
Z3	0-10	23.2	1.46	12.3	0.0135	0.106	0.360	0.038	0.025	22.9	1.02	14.4	0.01
	10-20	23.8	0.35	50.2	0.0105	0.062	0.233	0.028	0.027	22.6	0.44	21.1	0.00
	20-30	31.2	0.40	33.9	0.0113	0.084	0.224	0.033	0.025	22.3	0.35	36.1	0.01
	>30	31.2	0.47	40.3	0.0137	0.082	0.175	0.034	0.033	21.5	0.19	30.0	0.00
	Ortalama	109.4c	2.68c±	136.8c	0.0490ab	0.334a	0.992c	0.133b	0.110a	89.3a	2.18b	101.6b	0.041b
		±4.44	0.53	±16.1	±0.002	±0.018	±0.079	±0.004	±0.004	±0.60	±0.45	±9.58	±0.0
Z4	0-10	24.4	0.87	19.8	0.0175	0.128	0.183	0.036	0.027	23.9	0.84	18.2	0.01
	10-20	24.3	0.60	34.4	0.0125	0.101	0.108	0.030	0.023	24.7	0.57	19.3	0.01
	20-30	29.1	0.79	27.5	0.0119	0.277	0.059	0.034	0.023	22.1	0.45	18.6	0.01
	>30	38.2	0.70	30.3	0.0155	0.124	0.068	0.037	0.019	35.0	0.34	21.0	0.01
	Ortalama	116.1c	2.97c±	111.9b	0.0574c	0.630c	0.419b	0.137b	0.092a	105.5b	2.21b	77.1a	0.053b
		±6.53	0.12	±6.14	±0.003	±0.080	±0.056	±0.003	±0.003	±5.82	±0.22	±1.23	±0.0
Z5	0-10	20.4	0.54	19.9	0.0160	0.119	0.184	0.028	0.026	17.7	0.46	19.0	0.01
	10-20	20.9	0.31	30.5	0.0104	0.102	0.248	0.023	0.020	23.0	0.49	26.4	0.01
	20-30	29.2	0.43	21.8	0.0190	0.144	0.295	0.030	0.032	21.0	0.30	23.3	0.02
	>30	30.1	0.44	20.0	0.0193	0.148	0.421	0.029	0.028	18.9	0.18	20.9	0.01
	Ortalama	100.6b	1.72b±	92.2a	0.0647c	0.512b	1.148c	0.109a	0.106a	80.7a	1.43a	89.5b	0.068b
		±5.22	0.09	±5.05	±0.004	±0.022	±0.101	±0.003	±0.005	±2.33	±0.14	±3.19	±0.0

Çizelge 7. Toprak organik karbon ve toplam azot stoklarının ANOVA sonuçları

	Varyansın Kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Ortalamaların karesi	F-oranı	Eta kare
C_stoku	Yükselti (Y)	524.2	4	131.0	10.624***	0.515
	Bakı (B)	615.1	1	615.1	49.871***	0.555
	Y x B	118.7	4	29.69	2.407ns	0.194
	Hata	493.4	40	12.33		
N_stoku	Yükselti (Y)	5.271	4	1.318	3.987**	0.285
	Bakı (B)	4.930	1	4.930	14.92***	0.272
	Y x B	0.214	4	0.053	0.162ns	0.016
	Hata	8.825	40	0.221		

Yükseltiye ile yağış miktarının artması sonucunda toprağın yıkanmasına bağlı olarak pH değerlerinin düşmesi beklenen bir durumdur. Ek olarak, yükseltiye bağlı ölü örtünün birikmesinden (özellikle humus) ve mikroiklim şartlarının (özellikle sıcaklığın düşük olması) alt rakımlara göre daha ekstrem olmasından kaynaklı ölü örtü ayrışmasının yavaş ve bu nedenle salıverilen asidin (örneğin humuk asit) toprak pH sınırını düşürmesi beklenen bir durumdur (Dimri et al. 1987). Çalışmamızda ise toprak pH'sının yükseltiye bağlı olarak azalma yerine artma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bunun en önemli nedeninin, çalışmanın gerçekleştirildiği yıllar (2019-2020) ve öncesi de dahil, Türkiye'de son yıllarda görülen yıllık sıcaklıkların artması ve yağış miktarının azalmasının yanı sıra, yüksek rakımlardaki yüksek miktardaki ölü örtünün koruyucu etkisinin, toprakta yıkanmayı düşürerek toprak pH sınırının azda olsa artışına neden olabileceği değerlendirilmiştir.

Toprak organik maddesine önemli bir katkı sağlayan ölü örtü, bulunduğu yetişme ortamında orman ağaçlarının verimliliğinde oldukça önemli olmakla beraber, çevre şartlarının (özellikle iklim, ölü örtü kimyasal bileşimi ve meşcere özelliklerinin) uygun olmadığı ortamlarda ölü örtü ayrışmasının engellenmesi ağaç gelişimine ve verimliliğine negatif bir etki yapabilmektedir. Çünkü ölü örtünün ayrışması, orman ekosistemlerindeki besin döngüsünü, orman topraklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini, toprak canlılarının sayısı, çeşitlilik ve işlevini, toprak verimliliğini, orman vejetasyonu (ağaç, ağaççık, çalı, ot vb. gibi) ve orman toprakları içinde depolanan karbon yanında diğer makro ve mikro besin elementlerinin döngüsünü de etkilemektedir.

Yüksek rakımlardaki düşük sıcaklıkların ayrışmayı ve diğer toprak süreçlerini sınırlaması muhtemel olduğundan, araştırmacılar toprak organik karbon (C) konsantrasyonunun artabileceğini, ancak toprak besin elementlerinin yükseltiye bağlı olarak azalabileceğini ifade etmişlerdir (Sundqvist ve ark. 2013). Bu görüş, önceki çalışmaların tümü tarafından olmasa da çoğu tarafından desteklenmiştir (Koerselman ve ark. 1996, Vincent ve ark. 2014). Uludağ göknarı için gerçekleştirilen çalışmada, makro ve mikro besin elementlerinin yükselti ve bakıya bağlı olarak değişimi önemli bulunmakla beraber, literatürde ifade edildiği gibi yükselti kuşaklarına göre doğrusal bir artış veya azalış yönünde bir ilişki göstermemiştir. Yükselti makro ve mikro besin elementleri ilişkisinin bakı ve toprak derinlik kademelerine göre değişilebildiği tespit edilmiştir. Bununla beraber, yükselti kuşakları arasında, iki ekstrem rakım (en alt ve en üst rakım) dikkate alındığında, her iki bakıda da toprak Ca, Mg ve Na konsantrasyonlarında bir azalma, P, K, Cu, Zn, Cl ve Co konsantrasyonlarında bir artış ve S, Fe, Mn ve Ni konsantrasyonlarında ise önemli bir değişimin olmadığı Uludağ göknar meşcereleri için ifade edilebilir. Uludağ göknarının toprak makro ve mikro besin elementleri genel olarak kuzey bakıda güney bakıdan daha yüksek bulunmuştur. Ölü örtü ile ayrışma oranları toprağa kazandırılan besin elementlerinin konsantrasyonlarında da belirleyici olmaktadır (Çakır ve Akburak 2017, Sariyıldız ve Anderson 2003 2005). Çalışmada kuzey ve güney bakılar arasında ölü örtü ayrışma süreçleri araştırılmamıştır fakat Uludağ göknarının ölü örtüsü her bir yükselti kuşağı için kuzey bakılarda güney bakılardan daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılığın kuzey bakıların toprak besin elementlerinin

güney bakılardan daha yüksek bulunmasında etkili olabileceği değerlendirilmiştir.

Aynı iklim ve eğim koşullarında kuzeye bakan yamaçlardaki toprakların organik madde içeriğinin güneye bakan yamaçlardaki topraklara nazaran daha yüksek olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur (Fanning ve Fanning 1989). Yükseltiye bağlı olarak toprak azot mineralizasyonunun ve nitrifikasyon oranının azaldığı, kuzey bakı ile karşılaştırıldığında bu değerlerin güney bakıda daha yüksek olduğunu bildiren çalışmalar bulunmaktadır (Zhang ve ark. 2011). Yükseltiye bağlı olarak toprak ve hava sıcaklığındaki azalma nedeniyle (Chen ve ark. 2018) yükseltiyle organik karbon ve azotun arasında yüksek bir pozitif ilişki bulunmaktadır (Garten 2004, Tashi ve ark. 2016). Måren ve ark. (2015) yükseltinin özellikle solar radyasyona ve toprak nemine direkt etki ederek yüksek alandaki vejetasyonu etkilediğini bildirmiştir. Kuzey bakılarda düşük olan güneşlenme süresi, toprakta su miktarının daha yüksek, toprak sıcaklığının ise daha düşük olmasını sağlayarak mikro iklim özellikleri etkilemekte (Elnaker ve Zaleski 2021, Sariyıldız ve ark. 2015), böylelikle ölü örtünün ayrışmasını geciktirebilmekte ve neticede bu durumun toprakta daha fazla organik karbon birikmesiyle sonuçlanmaktadır (Zhang ve ark. 2011). Çalışmalar, kuzeye bakan yamaçlarda karın daha yavaş erimesi nedeniyle suyun yüzey akışa geçmeden toprağa sızması nedeniyle erozyonun daha yavaş olduğunu ve bunun bir sonucu olarak kuzey yamaçlarındaki toprakların daha derin olduğunu göstermektedir. Derin toprakların desteklediği yoğun bitki örtüsü yıllık daha fazla organik maddenin toprağa katılmasına olanak vermesi nedeniyle bu toprakların organik karbonu güneye bakan yamaçlardaki topraklara göre daha yüksektir (Birkeland 1984). Bunun sonucunda, farklı bakılarda, ölü örtünün toprak yüzeyinde kalma süresi uzamakta ve TOK ve TA kayıpları azalmaktadır (Kato ve ark. 2006).

Toprak organik karbonun (%) ve stokunun (t/ha) belirlenmesinde hacim ağırlığının da önemli bir rol oynayabildiği bildirilmiştir (Lee ve ark. 2009). Hacim ağırlığı K ve G bakıların yükselti kuşakları arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 2). Gölge bakılardaki

hacim ağırlığı güneşli bakılardan daha düşük olup, bunun en önemli nedeni güneşli bakılarla karşılaştırıldığında gölgeli bakıların toprak organik karbonu bakımından daha yüksek değere sahip olmasıdır.

Hacim ağırlığı her iki bakı grubunda da yükseltiye bağlı olarak bir azalma göstermiştir. Daha fazla güneşlenmeye ve yağış miktarına sahip üst rakımlara doğru belirlenen yüksek organik madde miktarının bunun en önemli sebebi olduğu değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar, hacim ağırlığı üzerinde yükselti ve bakının önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar (Chen 2000, Verma ve ark. 2008) tarafından da rapor edilmiştir. Yükseltiye bağlı olarak kök biyokütlesindeki değişimlerin (Han ve ark. 2010) ile bakılar arasında toprak organik karbon farklılıklarının (Rao ve ark. 1991) hacim ağırlığının farklı olmasından sorumlu olduğu bildirilmiştir.

Çalışılan tüm yükselti kuşaklarında toprak derinliği ile TOK stokunda bir azalmanın olduğu tespit edilmekle beraber, üst ve alt toprakların TOK stokları arasındaki en yüksek farklılıklar üst yükselti kuşaklarında (Z4 ile Z5) belirlenmiştir. Kuzey bakıda, alt yükselti kuşaklarında (Z1, Z2 ve Z3), toplam TOK stokunun ortalama %51'i üst topraklarda (0-20 cm) bulunurken, üst yükselti kuşaklarında (Z4 ve Z5) bu oran %56 olarak belirlenmiştir. Güney bakıda ise bu oran alt yükselti kuşaklarında %53, üst yükselti kuşaklarında %55'dir. Daha önce yapılan çalışmalarda da üst ve alt toprakların stokladığı organik karbon bakımından farklılıklar olduğu bildirilmiş, fakat bu farklılıkların miktarı çalışmanın gerçekleştirildiği alana göre değişiklik gösterdiği anlaşılmaktadır. Örneğin, Bangroo ve ark. (2017), kuzey bakıda, toplam TOK stokunun ortalama %69'unun üst topraklarda (0-20 cm), %31'inin ise alt topraklarda (20-60 cm) depolandığını, güney bakıda ise bu değerlerin üst topraklar için %74, alt topraklar için ise %26 olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Garcia ve ark. (2016) tarafından yapılan ve üst toprak horizonların (0-25 cm) %59, alt toprak horizonların (25-75 cm) %41 oranında önemli miktarda farklı TOK depoladığı bildirilmiştir. Bununla beraber, homojenlik gösteren topraklarda, TOK stoku bakımından alt ve üst topraklar arasındaki farklılığın çok daha az olduğu Parras-Alcántara ve ark. (2015) tarafından rapor edilmiştir. Bu oranlar üst toprak (0-25 cm) horizonları için %69.6, alt toprak horizonları için

%55.5 olarak bildirilmiştir. Bangroo ve ark. (2017), TOK stokları bakımından yüksek olan bu farklılıkların, topografyanın bakısına bağlı olarak değişen toprak ve vejetasyondaki farklılıklardan kaynaklandığını, kuzeye bakan yamaçlarla karşılaştırıldığında, güneye bakan yamaçların daha az bitki türü çeşitliliğine ve daha düşük meşcere sıklığına sahip olduğunu bildirmiştir. Benzer sonuçlar, Måren ve ark. (2015) tarafından gerçekleştirilen ve bakı farklılıklarının orman meşcere ve toprak özelliklerini nasıl etkilediğinin araştırıldığı çalışmada da tespit edilmiştir. Burada sunulan çalışmada, bakıya ve yükseltiye bağlı olarak değişen meşcere sıklığı ve bitki tür çeşitliliği detaylı olarak çalışılmamıştır. Çünkü çalışma bu amaca yönelik kurgulanmamıştır. Bununla beraber, Uludağ Milli Parkında Yüksek Lisans Tez çalışması kapsamında Kavaklı (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bölgede tür çeşitliliği üzerinde bakı, yükselti ve eğimin etkisinin çok düşük olduğu bildirilmiştir. Dolayısıyla, yükseltiye bağlı olarak karbon yoğunluğundaki yükselme eğilimi, üst rakımlarda TOK'nun daha iyi stabilize olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Bu nedenle, yüksek rakımlarda yayılış gösteren Uludağ göknar ormanları ve benzeri durumdaki diğer ormanlar, atmosferdeki karbon dioksitin azaltılmasında başlıca yutak alanları olarak kabul edilebilir.

Toplam azot stoğuda toprak derinliği ile azalma göstermiştir (Çizelge 7). Yüzey topraklarının (D1+D2) toplam azot stoku, kuzey bakının alt rakımda (Z1) %61 ile en yüksek değeri, en üst rakımında (Z5) ise %58 ile en düşük değeri gösterirken, güney bakıda en yüksek değer %64 ile Z4 yükselti kuşağında, en düşük değer ise %51 ile Z3 yükselti kuşağında tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Bangroo ve ark. (2017) ve Yimer ve ark. (2006) tarafından bildirilen değerlerle uyumludur. Bakı farklılıklarda dikkate alındığında, Yimer ve ark. (2006) yüzey toprakların (25 cm) toplam azot stokunun %41 ile %51'inden sorumlu olduğunu, Bangroo ve ark. (2017) ise 30 cm toprak derinliği için bu değerlerin %59 ile %62 arasında olduğunu bildirmiştir.

SONUÇ

Toprak organik karbon stoku toprak derinliği ile azalmamış ve yüzey toprakları (0-20 cm) toprak organik karbon stokunun ortalama %54'ünü içermektedir. Bakı ve yükselti kuşaklarının toprak organik karbon stoku üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Güney bakılara göre, kuzey bakılarda daha fazla (ortalama %20 daha fazla) toprak organik karbon stoku bulunmuştur. Toplam azot stokunda, toprak organik karbon stoku gibi bakı ve yükselti kuşaklarına göre aynı ilişkiyi göstermiştir. Toprak makro ve mikro besin elementleri yükselti kuşakları arasında farklılık göstermekle beraber, bu ilişki her zaman doğrusal bir ilişki olmayıp; bakıya, toprak derinliğine ve besin elementine göre farklılık göstermektedir.

Sonuç olarak elde edilen verilere göre, Uludağ göknarının toprak organik karbon ve toplam azot stokları üzerinde yükselti ve bakının önemli bir etkisi bulunmaktadır. Üst rakımlar, atmosferdeki karbonun azaltılmasında rol oynayan karbon yutakları olarak düşünülebilir. Bu sonuçlara göre, Uludağ göknarı gibi farklı bakı ve yükseltiye yayılış gösteren orman ağaç türlerinin toprak organik karbon ve toplam azot stoklarının belirlenmesi modellerine bakı ve yükseltinin dahil edilmesi gerekmektedir. Bunların yanında, farklı vejetasyon ve toprak tiplerinin yer aldığı çalışmalar yanında farklı yöntemler kullanılarak belirlenecek toprak organik karbon ve toplam azot stoku çalışmaları hem Türkiye hem de Dünya genelinde toprak organik karbon ve toplam azot stoklarının daha gerçekçi olarak ortaya konulmasına yardımcı olabilecektir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca desteklenmiştir (Proje Numarası: 181N18).

KAYNAKLAR

- Bangroo S, Najar G, Rasool A (2017) Effect of altitude and aspect on soil organic carbon and nitrogen stocks in the Himalayan Mawer forest range. *Catena* 158:63-68
- Becknell JM, Kucek LK, Powers JS (2012) Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: a literature review and global synthesis. *Forest Ecology and Management* 276:88-95

- Blake GR, Hartge KH (1986) Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, Second ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, 363–375
- Birkeland PW (1984) Soils and geomorphology. Oxford University Press, New York, NY
- Çepel N (1978) Uludağ kütlesinin ekolojik özellikleri. İ.Ü. Orman Fak. Derg. Seri B, Cilt 28, Sayı 2
- Çepel N (1990) Uludağ Milli Parkının üst toprağına ait tekstür ve asitlik özellikleri. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University 40 (1):14-27
- Chen JY (2000) Study on the relation between under vegetation biomass and soil bulk density of Cunninghamia lanceolata plantation. Journal of Fujian Forestry Science and Technique 27(4):6–60
- Chen BX, Sun XF, Zhang HB, Han ZH, Wang JS, Li YK, Yang XL (2018) Temperature change along elevation and its effect on the alpine timberline tree growth in the southeast of the Tibetan Plateau. Advances in Climate Change Research 9:185-191
- Çakır 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
- Dai W, Fu WJ, Jiang PK, Zhao KL, Li YH, Tao JX (2018) Spatial pattern of carbon stocks in forest ecosystems of a typical subtropical region of southeastern China. Forest Ecology and Management 409:288-297
- Dimri BM, Singh SB, Banerjee SK, Singh B (1987) Relation of age and dominance of tree species with soil chemical attributes in Kalimpong and Kurseong Divisions of West Bengal. Indian Forester 113(4):307-311
- Dixon RK, Brown S, Houghton RA, Solomon AM, Trexler MC, Wisniewski J (1994) Carbon pool and flux of global forest ecosystems. Science 263:185–190
- Duyar A, Arslan M, Kınış S (2014) Bolu, Uludağ göknarı ormanlarında ölü örtü ve topraktaki karbon ile eklemcabaklıların incelenmesi. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Batı Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Proje Sonuç Raporu, s.45, <http://yayin.ogm.gov.tr/yaydepo/714.pdf>, Erişim tarihi: 25/02/2017
- Elnaker N, Zaleski T (2021) The impact of slope aspect on soil temperature and water content. In: Proceedings of International symposium on soil science and plant nutrition, Samsun, Turkey, pp 156-163
- Fanning DS, Fanning MCB (1989) Soil morphology, genesis, and classification. John Wiley & Sons, New York, USA
- FAO 2016 Global forest resources assessment 2015-how are the world's forests changing? 2nd ed, Rome, p 54
- Feng C, Wang Z, Ma Y, Fu S, Chen HY (2019) Increased litterfall contributes to carbon and nitrogen accumulation following cessation of anthropogenic disturbances in degraded forests. Forest Ecology and Management 432:832–839
- Garcia BL, Alcantara LP, Brevik EC (2016) Impact of topographic aspect and vegetation (native and reforested areas) on soil organic carbon and nitrogen budgets in Mediterranean natural areas. Science of the Total Environment 544:963-970
- Garten Jr CT (2004) Soil carbon dynamics along an elevation gradient in the southern Appalachian Mountains (ORNL/TM-2004/50). Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Goodale CL, Apps MJ, Birdsey RA, Field CB, Heath LS, Houghton RA, Jenkins JC, Kohlmaier GH, Kurz W, Liu S, Nabuurs GJ, Nillson S, Shvidenko AZ (2002) Forest carbon sinks in the Northern Hemisphere. Ecological Applications 12:891-899
- Griffiths RP, Madritch MD, Swanson AK (2009) The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade mountains (USA): implications for the effects of climate change on soil properties. Forest Ecology and Management 257:1-7
- Gülçür F (1974) Toprağın fiziksel ve kimyasal analiz metodları. İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 201, İstanbul
- Han F, Hu W, Zheng J, Du F, Zhang X (2010) Estimating soil organic carbon storage and distribution in a catchment of Loess Plateau, China. Geoderma 154:261-266
- Houghton RA (1999) The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850-1990. Tellus, 51B, 298-313
- Jaksic S, Ninkov J, Milic S, Vasin J, Zivanov M, Jaksic D, Komlen V (2021) Influence of slope gradient and aspect on soil organic carbon content in the region of Niš, Serbia. Sustainability 13:8332
- Kantarci MD (1979) Aladağ kütlesinin (bolu) kuzey aklanındaki Uludağ Gökarnı ormanlarında yükselti-iklim kuşaklarına göre bazı ölü örtü ve toprak özelliklerinin analitik olarak araştırılması. İ.Ü.Yay.No.2634, Orman Fakültesi Yay.No.274, İstanbul
- Kato T, Tang YH, Gu S, Hirota M, Du MY, Li YN, Zhao XQ (2006) Temperature and biomass influences on interannual changes in CO₂ exchange in an alpine meadow on the Qinghai–Tibetan Plateau. Global Change Biology 12:1285-1298
- Kavaklı SA (2019) Uludağ'da (Bursa) yayılış gösteren *Abies nordmanniana* (steven) spach subsp. *bornmuelleriana* (mattf) coode&cullen ormanlarının bitki sosyolojisi yönünden araştırılması. Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 96 s
- Koerselman W, Meuleman AFM (1996) The vegetation n:p ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. The Journal of Applied Ecology 33:1441-1450
- Lal R (2005) Forest soils and carbon sequestration. Forest ecology and management 220(1), 242-258
- Lee J, Hopmans JW, Rolston DE, Baer SG, Six J (2009) Determining soil carbon stock changes:simple bulk density corrections fail. Agric Ecosyst Environ 134(3-4):251-256
- Li MM, Zhang XC, Pang GW, Han FF (2013) The estimation of soil organic carbon distribution and storage in a small catchment area of the Loess Plateau. Catena 101:11-16
- Måren IE, Karki S, Prajapati C, Yadav RK, Shrestha BB (2015) Facing north or south: does slope aspect impact forest stand characteristics and soil properties in a semiarid trans-Himalayan valley? Journal of Arid Environments 121:112-123
- Muscarella R, Kolyaie S, Morton DC, Zimmerman JK, Uriarte M (2020) Effects of topography on tropical forest structure depend on climate context. Journal of Ecology 108:145-159
- Özsoy G (2021) Uludağ Milli Parkında çok yıllık arazi kullanım/örtü değişiminin CBS içinde analizi. Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 35(1):119-144
- Parras-Alcántara L, Lozano-García B, Galán-Espejo A (2015) Soil organic carbon along an altitudinal gradient in the Despeñaperros Natural Park, Southern Spain. Solid Earth 6:125-134
- Poulter B, Frank D, Ciais P, Myneni RB, Andela N, Bi J, Broquet G, Canadell JG, Chevallier F, Liu YY, Running SW, Sitch S, Werf GRV (2014) Contribution of semi-arid ecosystems to interannual variability of the global carbon cycle. Nature 509 (7502):600-603
- Rao MR, Ong CK, Pathak P (1991) Productivity of annual cropping and agroforestry systems on a shallow alfisol in semi-arid India. Agroforestry Systems 15:51-61
- Sarıyıldız T, Anderson JM (2003) Interactions between litter quality, decomposition and soil fertility: a laboratory study. Soil Biology and Biochemistry 35:391-399

- Sariyildiz T, Anderson JM (2005) Variation in the chemical composition of green leaves and leaf litters from three deciduous tree species growing on different soil types. *Forest Ecology and Management* 210 (1-3):303-319
- Sariyildiz T, Anderson JM, Kucuk M (2005) Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality and decomposition in Northeast Turkey. *Soil Biology and Biochemistry* 37 (9):1695-1706
- Sariyildiz T, Savacı G, Kravkaz IS (2015) Effects of tree species, stand age and land-use change on soil carbon and nitrogen stock rates in northwestern Turkey. *Iforest* 9(1): 165-170
- Sevgi O, Makineci E, Karaoz O (2011) The forest and mineral soil carbon pools of six different forest tree species. *Ecology* 20(81):8-14
- Sundqvist MK, Sanders NJ, Wardle DA (2013) Community and ecosystem responses to elevational gradients: processes, mechanisms, and insights for global change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 44:261–280
- Tashi S, Singh B, Keitel C, Adams M (2016) Soil carbon and nitrogen stocks in forests along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas and a meta-analysis of global data. *Global Change Biology* 22(6): 55-68
- Tolunay D, Çömez A (2008) Türkiye ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, Hatay, ss 750-765
- Verma TP, Singh SP, Rathore TR (2008) Effect of slope aspect and altitude on some soil characteristics in Garhwal Himalayas. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 56 (1):42-48
- Vincent AG, Sundqvist MK, Wardle DA, Giesler R (2014) Bioavailable soil phosphorus decreases with increasing elevation in a subarctic tundra landscape. *Plos One* 9(3):e92942
- Vitousek PM (1994) Factors controlling ecosystem structure and function. *Factors of soil formation: A fifth Anniversary Retrospective*, SSSA Special Publication Number 33, WI, USA
- Yimer F, Ledin S, Abdelkadir A (2006) Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by topographic aspect and vegetation in the Bale Mountains, Ethiopia. *Geoderma* 135:335-344
- Zhang M, He Z, Zhao A, Schomberg H (2011) Water-extractable soil organic carbon and nitrogen affected by tillage and manure application. *Soil Science* 176 (6):307-312
- Zhang S, Chen D, Sun D, Wang X, Smith JL, Du G (2012) Impacts of altitude and position on the rates of soil nitrogen mineralization and nitrification in alpine meadows on the eastern Qinghai–Tibetan Plateau, China. *Biology and Fertility of Soils* 48:393-400