

# Farklı Orman Ağaç Türleri Altındaki Toprak Özelliklerinin ve Besin Stoklarının Yükselti, Bakı ve Toprak Derinliğine Göre Değişimi

Temel SARIYILDIZ<sup>1,\*</sup>, Gamze SAVACI<sup>2</sup>

<sup>1,\*</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye  
<sup>2</sup>Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

## Makale Tarihi

Gönderim: 26.02.2023

Kabul: 11.07.2023

Yayın: 15.08.2023

## Araştırma Makalesi



**Öz** – Çalışma toprak makro (C, N, P, K, Ca, Mg) ve mikro (Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Al) besin stoklarına, yükselti, bakı ve ağaç türlerinin etkisini araştırmak için Kastamonu ili Daday ilçesi ormanlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, dört ağaç türünde (sarıçam, karaçam, kayın ve meşe) ve üç toprak derinliğinden (0-10, 10-20, 20-30 cm) olmak üzere iki bakı (güneşli ve gölgeli) ve iki yükselti basamağında (1189 m ve 871 m) örnek alanlar seçilmiştir. Sonuçlara göre, türler arasında en yüksek C (57.7 ton/ha), N (3.32 ton/ha) ve P (0.181 ton/ha) stoku kayın, en düşük meşede (39.7-ton C ha<sup>-1</sup>; 2.37-ton N ha<sup>-1</sup>, 0.115-ton P ha<sup>-1</sup>) bulunmuştur. Ağaç türleri arasında ortalama değerlere göre en yüksek kalsiyum stoku karaçamda (3.64 ton/ha) ve meşede (2.41 ton/ha), en düşük sarıçam (0.73 ton/ha) ve kayında (0.67 ton/ha) tespit edilirken, en yüksek potasyum stoku sarıçamda (3.60 ton/ha), sonrasında kayında (2.92 ton/ha), karaçamda (2.16 ton/ha) ve en düşük meşede (1.03 ton/ha) tespit edilmiştir. Makro besin stoklarının yükselti ile bakıya bağlı olarak önemli değişiklik gösterdiği, fakat değişikliğin yönünün ağaç türü ve besin elementine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Mikro besin stoklarında farklılıklar genel olarak aynı yönde değişim göstermiştir. Mikro besin stokları üst rakım ve güneşli bakılarda daha yüksek, türler arasında ise sarıçam ve kayında, karaçam ve meşeden daha fazla bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler** – Toprak besin stokları, topografya, yapraklı türler, iğne yapraklı türler, bakı

## Variation in Soil Properties and Nutrient Stocks Under Different Forest Tree Species with Altitude, Aspect and Soil Depths

<sup>1</sup>Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Bursa Technical University, Bursa, Türkiye  
<sup>2</sup>Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Kastamonu University, Kastamonu, Türkiye

## Article History

Received: 26.02.2023


Accepted: 11.07.2023


Published: 15.08.2023

## Research Article

**Abstract** – The study was conducted to investigate the effects of altitude, slope aspect, and tree species on soil macro (C, N, P, K, Ca, Mg) and micronutrient (Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Al) concentrations and stocks. Four tree species (Scots pine, black pine, beech, and oak), three soil depths (0-10, 10-20, 20-30 cm), two aspect positions (sunny and shady), and two altitudes (1189 m and 871 m) were considered for this study. The results showed that beech had the highest C (57.7 ton/ha), N (3.32 ton/ha), and P (0.181 ton/ha) stocks and oak had the lowest (39.7-ton C ha<sup>-1</sup>; 2.37-ton N ha<sup>-1</sup>, 0.115-ton P ha<sup>-1</sup>). Among the tree species, the highest calcium stock was found in black pine (3.64 tons/ha) and oak (2.41 tons/ha), the lowest in Scotch pine (0.73 tons/ha) and beech (0.67 tons/ha), while the highest potassium was seen in scotch pine (3.60 tons/ha), followed by beech (2.92 tons/ha), black pine (2.16 tons/ha) and the lowest in oak (1.03 tons/ha). Macronutrient stocks also differed between upper and lower altitudes and shady and sunny aspects, but the direction of the differences varied according to tree species and macronutrient element. Differences in micronutrient stocks were generally in the same direction. Micronutrient stocks were higher in the upper altitudes and sunny aspect position. Among tree species, Scots pine and beech stands had more micronutrient stocks than black pine and oak stands.

**Keywords** – Soil nutrient stocks, topography, deciduous trees, coniferous trees, aspect

<sup>1</sup>  temel.sariyildiz@btu.edu.tr

<sup>2</sup>  gsavaci@kastamonu.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Temel SARIYILDIZ

## 1. Giriş

Dünya genelinde karasal ekosistemlerde karbon ve azotun biyokimyasal döngüsüne yönelik çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Bunun en önemli sebebi, bu iki elementin gaz olarak oksidasyon ürünlerinin (CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>O) atmosfere salınımının küresel iklim değişikliğinde önemli rol oynamasından kaynaklanmaktadır (Post ve Kwon, 2000). Atmosferde bu iki elementin veya bileşiklerinin artması, öncelikli çalışmaların topraktaki bu iki element üzerine odaklanılmasına neden olmuştur. Bu kapsamda, farklı arazi kullanımının (özellikle orman, mera, tarım) (Tufekcioglu vd., 2003; Singh vd., 2018) ve yetiştirme ortamı faktörlerinin (klimatik, edafik, fizyografik ve bitki türü özellikleri) (Raich vd., 2006; Moser vd., 2007; Salinas vd., 2010; Vieira vd., 2011) karbon ve azotun biyokimyasal döngüsüne, toprak üstü ve toprak altı miktar ve stoklarına etkisini ortaya koymaya yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalarda ortaya çıkan genel sonuç, orman ekosistemlerinin diğer ekosistemlere oranla daha fazla karbon biriktirmesidir (Aitali vd., 2022; Sariyildiz vd., 2022). Ormanlar içinde karbonun depolandığı havuzlar, toprak üstü ve altı biyokütle, ölü-odun, ölü-örtü ve toprak organik karbonudur. Bu havuzlar içinde, orman toprakları çok önemli bir yer tutmaktadır. Orman topraklarında stoklanan karbon miktarı, karasal karbon stokunun, boreal ormanlarda %85'ini, ılıman kuşak ormanlarında %60'ını ve tropikal yağmur ormanlarında %50'sini oluşturmaktadır (Lal, 2005).

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, organik karbon döngüsünü ve tutulumunda, azotun biyolojik yararlanılmanın kritik bir öneme sahip olduğunun belirlenmesi üzerine, farklı ekosistemlerdeki azot stoklarının miktarları çalışmalara konu edinilmeye başlanmıştır (Feng vd., 2021). Örneğin, düşük C/N oranına sahip bitkiler, daha yüksek C/N oranına sahip olanlardan, daha fazla ayrışma göstermektedir (Sariyildiz ve Anderson 2006; Zhang vd., 2017). Toprak organik maddesinin ayrışma oranının, topraktaki azotun etkinliğiyle pozitif bir ilişki gösterdiği, bu nedenle azot etkinliğinin artması, toprak organik maddesinin ayrışmasını arttırmakta ve toprak organik karbonunun tutulumunu azaltıcı yönde rol oynamaktadır (Zhang vd., 2017). Diğer yünden, azot bitkinin büyümesini ve ölü örtü miktarını arttırarak, toprağa organik karbon girişini arttırmaktadır (Du ve de Vries, 2018). Aynı anda, toprağa azot girişinin, mikrobiyal faaliyetleri azaltarak ve agregat oluşumunu teşvik ederek toprak organik karbonunun ayrışmasını engelleyebilmektedir (Ye vd., 2018).

Bitkilerin büyümesi ve gelişmesinde oldukça önemli bir yere sahip olan diğer makro (P, K, Ca, Mg, S) ve mikro besin (Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Al, Cl, B, Mo) elementlerine yönelik benzer çalışmaların ise oldukça sınırlı sayıda kaldığı anlaşılmaktadır (He vd., 2021; Kumar vd., 2021). Türkiye de ise ormanların toprak karbon stoklarına yönelik çok sayıda çalışma bulunurken (bakınız derleme Tolunay ve Çömez 2008; Mısır vd., 2011; Tolunay, 2011; Güner ve Çömez, 2017), toprak azot ve diğer makro ve mikro besin elementleri stokları ve etki eden faktörlere yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır (Kantarıcı, 1979; Makineci, 1999; Çakır ve Akburak, 2017; Sariyildiz vd., 2022a). Oysa, orman topraklarının baz katyonları ve mikrobeyin elementlerindeki değişiklikleri anlamak, orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliği ve verimliliği üzerinde etki olan faktörleri anlamada ve belirlemede yardımcı olabilmektedir (Richardson vd., 2017). Örneğin, toprakların düşük katyon değişim kapasitesinin ve baz doygunluğunun geniş ve iğne yapraklı ağaç türlerinin yapraklarının kimyasal bileşimini değiştirdiği ve dönemi içinde bu durumun ölü örtü ayrışmasını etkilediği bildirilmiştir (Sariyildiz vd., 2005). Diğer bir örnek olarak, Amerika'nın kuzeydoğusunda yayılış gösteren yapraklı ağaç türlerinin büyümelerinde ilk sırada yer alan sınırlayıcı faktör, K, Ca ve Mg azlığı olduğu bildirilmiştir (St. Clair vd., 2008; Vadeboncoeur vd., 2014). Kalsiyum ve Mg kaybının ağaçların mineral besinlerini, toprak asitliğini ve toprak baz doygunluğunu negatif yönde etkilediği ortaya konulmuştur (Johnson vd., 1991; Zetterberg vd., 2016). Kalsiyum ve magnezyuma ek olarak bazı mikro besin elementlerin (Mn, Cu ve Zn) bitkilerin büyümesini azalttığı ya da sınırladığı belirlenmiştir. Örneğin, yapılan çalışmalarda, Mn miktarının sınırlandırılması veya fazlalığının ticari değere sahip olan akçağaç (*Acer saccharum* Marsh) generasyonunu azaltabileceği bildirilmiştir (St. Clair vd., 2008; Bal vd., 2015). Ayrıca, Cu ve Zn ağaçlarda enzim katalizör ve eşetken olarak gerekli mikrobeyin elementleridir (Boardman ve McGuire 1990; Jones, 2012).

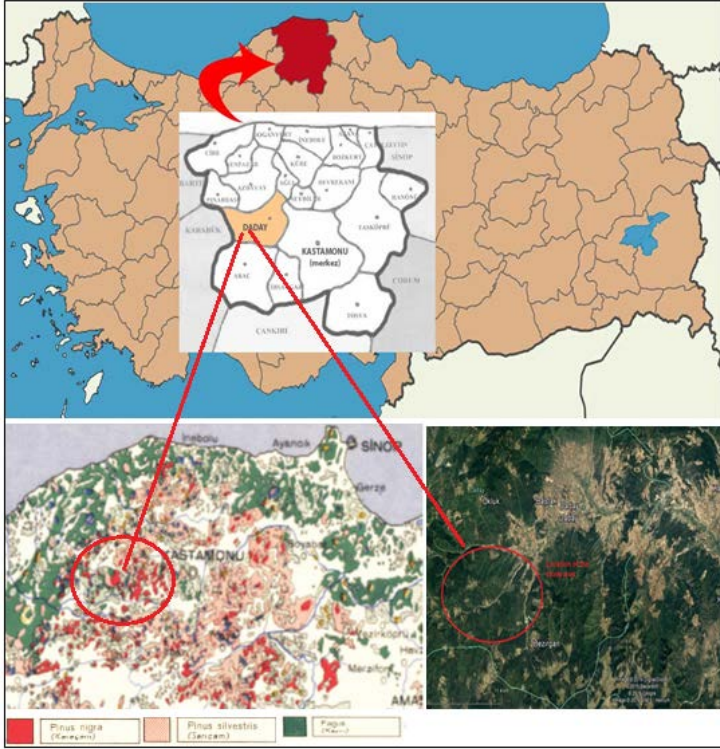
Doğal ekosistemlerinde toprak besin elementlerinin miktarı ve dağılımı üzerinde topografyanın, iklimin, ağaç türünün ve biyolojik faaliyetlerin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bunlar arasında, topografik faktörler (örneğin, yükselti ve bakı) vejetasyon örtüsünü, yağış miktarını ve sıcaklığı değiştirerek, toprak özellikleri üzerinde negatif veya pozitif yönde etki yapabilmektedir. Türkiye'deki orman ekosistemlerinde toprak özelliklerinin topografik faktörlere bağlı (yükselti, bakı, eğim) değişimini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (örneğin; Sevgi, 2003; Güner, 2006; Dindaroğlu ve Canbolat, 2017; Özdemir, 2019). Fakat bu çalışmalarda genel olarak toprağın bazı fiziksel (örneğin tekstür, strüktür, hacim ağırlığı vd.) ve kimyasal özelliklerine (örneğin, pH, EC, KDK, Baz doygunluğu, organik madde) ait değişimler ortaya konulmuş, son yıllarda ise küresel iklim değişikliğinde etkisi yüksek olması nedeniyle toprak karbon ve belli oranlarda azot miktarlarının ortaya konulmaya çalışılmıştır. Oysa diğer makro ve mikro besin elementlerinin topraktaki miktar ve stokları üzerinde ağaç türlerinin ve topografik faktörlerin Ülkemiz Orman ekosistemlerindeki etkilerini ortaya koyan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Çalışmalarda, yükseltinin artması ile artan yağış ve düşen sıcaklığın, bitki örtüsü dağılımını değiştirdiği ve bu durumun toprak organik karbon stokunu etkilediği bildirilmiştir (Houghton, 2018). Benzer şekilde, arazinin bakısı, organik maddenin miktarı ve ayrışma oranları (Sariyıldız vd., 2005) üzerinde önemli rol oynayan hidrolojik süreçleri ve güneş radyasyon yoğunluğunu değiştirerek toprak organik karbon stoklarının farklı olmasına neden olabilmektedir (Lozano-García vd., 2016). Orman ekosistemini oluşturan ağaç türleri ise, toprak yüzeyine ulaşan ölü örtünün miktarını, kimyasal kalitesini (C, N, lignin, selüloz gibi), ayrışma oranlarını ve salıverilen besin elementi miktarlarını etkileyerek, besin elementi stoklarının farklı olmasına neden olabilmektedir (Zhang vd., 2011). Sunulan çalışmada farklı orman ağaç türleri altındaki toprak özelliklerinin ve besin stoklarının yükselti, bakı ve toprak derinliğine göre değişiminin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Kastamonu ili Daday ilçesi ormanlarında gerçekleştirilecek çalışmada, iki bakı (güneşli ve gölgeli) ve iki yükselti basamağında (1189 m. ve 871 m.) yayılış gösteren karaçam (*Pinus nigra* Arnold), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* subsp. *iberica*) ve doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) meşcerelerinde örneklem alanları alınarak toprak özellikleri ile makro ve mikro besin stokları üç farklı toprak derinliği (0-10, 10-20, 20-30 cm) dikkate alınarak analiz edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma alanının tanıtımı ve örnekleme

Bu çalışma Kastamonu iline 30 km uzaklıkta yer alan Daday ilçesinde gerçekleştirilmiştir ve 41° 28' N enlemleri ile 33° 28' E boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Daday yöresi, gündüz ve gece sıcaklıkları arasındaki farklarının artmasından dolayı kışları soğuk, yazları sıcak ve kurak olan bir Bozkır İklimi olan Orta Anadolu ikliminin etkisi altında yer almaktadır. Kar yağışının bol olması ile genel olarak yağmur yağışında bir düşüş mevcuttur. Yıllık yağış miktarı 489 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 9.60C'dir. Yağış miktarının en düşük olduğu ay şubat (25.8 mm), en yüksek olduğu ay mayıs ayıdır (71.1 mm). Yöre genellikle kış boyunca kalın bir kar örtüsü ile kaplıdır. Kar, yılın 120 günü toprağı örtmektedir. Kışlar düzenli ve baskın kar yağışı ile yoğun olarak soğuktur. Sıcaklığın en düşük olduğu ay ocak (-0.8°C), en yüksek olduğu ay temmuz ayıdır (20.2°C) (DMİ, 2022).

Bölgede yer alan "Daday-Devrekani masifi", Batı Pontidler'deki Kastamonu yöresinde, KD-GB doğrultusunda, yaklaşık 150 km uzunluğunda ve yaklaşık 50 km genişliğinde dikdörtgene benzer bir alanda mostra veren çeşitli metamorfik kayalardan oluşmaktadır. Masifin KD kesiminde, sillimanit-mika gnays, amfibolit, kalk-silikatik gnays, kalksilikatik mermer ve diyopsit mermer türü kayalar (Yılmaz, 1981), GB kesiminde, mika gnays, amfibolit gnays, diyopsit gnays ve kalksilikatik gnays türü yüksek dereceli metasedimanterler ile bunları kesen granitik ve diyoritik bileşimli damar kayaları bulunmaktadır (Boztug, 1992).



Şekil 1. Örnekleme alanlarının Türkiye haritası ve uydu görüntüsü üzerinde yaklaşık konumu

Çoğu dağlık bölgede, ormanlık alanlar %74.6, ovalar ve platolar %21.6, tarımsal alanlar %3.8'i kaplar. Daday ilçesi ormanlarında görülen en yaygın ağaç türleri başta karaçam (*Pinus nigra* Arnold) olmak üzere sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* subsp. *iberica*) ve doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) türleridir. Bu türler aynı zamanda Kastamonu bölgesi ormanlarının asli orman ağaç türleridir (Şekil 1). Çalışma alanında hem gölgeli bakılar (Kuzeybatı, Kuzey, Kuzeydoğu ve Doğu yönleri) hem de güneşli bakılarda (Batı, Güneybatı, Güney ve Güneydoğu yönleri) sarıçam ve karaçam türleri saf veya karışık halde bulunurken, gölgeli bakıların üst rakımlarında (ortalama 1189 m.) karışıma kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.), alt rakımlarda ise (ortalama 871 m.) meşe (*Quercus* spp.) türleri katılmaktadır. Çalışma alanında, genel olarak, hem güneşli hem de gölgeli bakıların 650-1100 m yükselti kuşağında geniş ve iğne yapraklı ağaçlardan oluşan bir orman formasyonu, 1100-1600 m yükselti kuşağında ise saf iğne yapraklı orman formasyonu çoğunlukta olmak üzere yer yer iğne ve geniş yapraklı karışık ormanlar olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada örnekleme alanları, gölgeli ve güneşli bakıların üst (1189 m.) ve alt (871 m.) rakımlarından seçilmiştir. Karaçam, sarıçam ve kayın türlerinin birlikte bulunduğu gölgeli bakının üst rakımında (1189 m) her bir ağaç türünden üç adet olmak üzere 20 m x 20 m genişliğinde toplam 9 örnekleme alanı alınmıştır. Aynı yükseltinin güneşli bakısında kayın bulunmadığından karaçam ve sarıçam meşcerelerinden toplam 6 örnekleme alanı alınmıştır.

Alt rakımda ise hem güneşli hem de gölgeli bakıda sadece karaçam ve meşe türleri yayılış gösterdiğinden, örnekleme alanları bu iki tür için alınmıştır. Ortalama 871 m rakımda karaçam ve meşe için güneşli bakıda 6 gölgeli bakıda 6 olmak üzere toplamda 12 adet örnekleme alanı alınmıştır. Çalışma alanlarının eğimi %40-%45 arasında değişiklik göstermiştir. Örnekleme alanlarının yükseltisi, bakısı, ağaç türleri ve bazı meşcere özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1  
Örnekleme alanlarının konumu ve bazı meşcere özellikleri

Yükselti (m)	Bakı	Ağaç türü	Göğüs yüksekliğindeki çap (cm)	Boy (m)	Yaş (yıl)	Meşcere tipi
Üst (1189)	Gölgeli	Kayın (Kn)	23.4 (15.4 - 28.9)	15 (12- 18)	18	Knbc3
		Sarıçam (Çs)	22.4 (14.2 - 28.7)	16 (13 - 21)	19	Çsbc3
		Karaçam (Çk)	24.2 (16.2 - 27.6)	10 (8 - 16)	21	Çkbc3
	Güneşli	Sarıçam	19.1 (12.2 - 27.2)	14 (10 - 19)	20	Çsbc3
		Karaçam	21.2 (14.2 - 25.8)	9 (7 - 15)	20	Çkbc3
Alt (871)	Gölgeli	Karaçam	25.2 (17.8 - 32.3)	11 (9 - 18)	21	Çkbc3
		Meşe	16.7 (9.16 - 18.2)	10 (8 - 12)	19	Mbc3
	Güneşli	Karaçam	26.3 (19.3 - 33.7)	12 (10 - 19)	22	Çkbc3
		Meşe (M)	18.3 (11.2 - 22.3)	17 (12 - 24)	20	Mbc3

Örnekleme alanlarının her birinde bir adet toprak profili açılmıştır. Doğal yapısı bozulmamış toprak örnekleme, 3 farklı derinlik kademelerinden (0-10 cm, 10-20 cm ve 20-30 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.

## 2.2. Toprak örneklerinin analizi

Araziden getirilen silindir örneklerinin yaş ağırlıkları belirlendikten sonra, 105°C'de 24 saat etüvde kurutulularak 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 miktarı Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında kuru yakma yöntemine göre (Eurovector EA3000-Single CHN-S elementer analiz cihazında) tayin edilmiştir. Toprak makro ve mikro besin elementleri Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında Spectro markalı Xepos II modeli olan XRF (X-Işını Floresans Spektrometresi ile belirlenmiştir. Toprak makro ve mikro besin elementi stoku ise aşağıda verilen formüle göre belirlenmiştir (Sariyıldız vd., 2015):

Besin elementi stoku (ton/ha): % besin elementi x  $M_i$  (ton/ha).

Bu formülde verilen  $M_i$ , i'nci toprak derinliğinde kuru toprağın kütleini ifade etmekte olup, miktarı Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$M_i: H A_i \times T_i \times 10^4 \quad (1)$$

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

## 2.3. İstatistiksel analiz

Çalışmada, elde edilen sonuçlara göre, istatistiksel analizler yapılarak, yükselti, bakı ve toprak derinlik kademelerinin karaçam, sarıçam, meşe ve kayının toprak besin elementi konsantrasyonları (%) ve stokları (ton/ha) üzerindeki değişime 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.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Toprak özellikleri

Örnekleme alanlarının bazı toprak özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Toprak özellikleri üzerinde yükselti, bakı ve ağaç türünün istatistiksel olarak önem düzeyi yine Tablo 2’de gösterilmiştir. Tüm sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, toprak özelliklerinin farklı olmasında yükselti, bakı ve ağaç türlerinin önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Çalışılan tüm toprak özellikleri ağaç türleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 2). Örneğin, ortalama değerlerde, çalışılan alanlarda toprak pH değerlerinin türler arasında şu sıralamada olduğu belirlenmiştir; sarıçam (5.26) <kayın (5.56) <meşe (5.92) <karaçam (6.96). Ağaç türlerinin kök sistemlerinin, tepe yapılarının, yeşil yapraklarının kimyasal bileşiminin, yaprak yapısının ve ölü örtüsünün kimyasal bileşiminin, topraklarında kimyasal, fiziksel (örneğin nem ve sıcaklık) ve biyolojik süreçleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu birçok çalışmada ortaya konulmuştur (Jonard vd., 2007, Ullah vd., 2008). Çalışılan türler arasında toprak özellikleri bakımından farklılıkların bu faktörlerden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Tablo 2

Örnekleme alanlarının bazı toprak özelliklerinin (0-30 cm) ağaç türüne, yükseltiye ve bakıya bağlı değişimi. Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir (P<0.05, n=3)

Yükselti (m)	Bakı	Ağaç türü	pH	Hacim ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	Nem (%)	Kum (%)	Toz (%)	Kil (%)
<b>Üst (1189)</b>	Gölgeli	Kn	5.56 <sup>c</sup> ±0.20	1.08 <sup>a</sup> ±0.14	12.14 <sup>f</sup> ±0.37	76 <sup>b</sup> ±2.34	9 <sup>a</sup> ±2.25	15 <sup>a</sup> ±2.53
		Çs	5.13 <sup>b</sup> ±0.12	1.16 <sup>a</sup> ±0.15	10.09 <sup>ef</sup> ±0.45	72 <sup>a</sup> ±3.20	9 <sup>a</sup> ±3.03	19 <sup>ab</sup> ±2.07
		Çk	6.11 <sup>d</sup> ±0.15	1.01 <sup>a</sup> ±0.47	8.53 <sup>de</sup> ±0.91	71 <sup>a</sup> ±3.42	10 <sup>ab</sup> ±1.97	19 <sup>ab</sup> ±3.32
	Güneşli	Çs	5.39 <sup>a</sup> ±0.28	1.29 <sup>b</sup> ±0.29	6.62 <sup>c</sup> ±0.48	70 <sup>a</sup> ±2.23	12 <sup>b</sup> ±1.87	18 <sup>a</sup> ±1.37
		Çk	7.05 <sup>e</sup> ±0.19	1.24 <sup>b</sup> ±0.06	5.21 <sup>b</sup> ±3.02	70 <sup>a</sup> ±2.43	8 <sup>a</sup> ±1.17	22 <sup>b</sup> ±2.32
<b>Alt (871)</b>	Gölgeli	Çk	7.00 <sup>e</sup> ±0.13	1.23 <sup>b</sup> ±0.12	6.95 <sup>c</sup> ±0.11	72 <sup>a</sup> ±2.10	10 <sup>ab</sup> ±0.63	18 <sup>a</sup> ±1.79
		M	5.88 <sup>c</sup> ±0.48	1.06 <sup>a</sup> ±0.14	7.14 <sup>cd</sup> ±0.35	73 <sup>ab</sup> ±3.88	9 <sup>a</sup> ±1.75	18 <sup>a</sup> ±2.99
	Güneşli	Çk	7.67 <sup>e</sup> ±0.22	1.24 <sup>b</sup> ±0.10	4.99 <sup>ab</sup> ±0.23	69 <sup>a</sup> ±3.78	10 <sup>ab</sup> ±1.83	21 <sup>b</sup> ±3.14
		M	5.95 <sup>c</sup> ±0.06	1.15 <sup>a</sup> ±0.09	3.94 <sup>a</sup> ±0.98	76 <sup>b</sup> ±2.04	7 <sup>a</sup> ±0.98	17 <sup>a</sup> ±2.04
<b>ANOVA / Kaynak</b>			<b>F-oranları</b>					
Yükselti			161.953***	1.077ns	394.078***	72.471***	1.148 ns	98.532***
Bakı			502.256***	8.150**	398.872***	.367 ns	.353 ns	1.585 ns
Ağaç türü			124.536***	4.306*	235.929***	55.508***	3.854*	56.072***
Toprak derinliği			1.409 ns	.335 ns	6.534 ns	1.941 ns	1.400 ns	.760 ns

\*: Önem derecesini ifade etmektedir: \*, P<0.05; \*\*, P<0.01; \*\*\*, P<0.001, ns: anlamlı değil. Kn:kayın, Çs: sarıçam, Çk: karaçam, M: meşe

Çalışılan ağaç türlerinin belirlenen toprak özellikleri aynı bölgede yapılan diğer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırıldığında, sonuçlardan bazılarının benzer, bazılarının ise düşük veya yüksek olduğu görülmüştür. Örneğin, Kastamonu, Gököy İşletme Şefliği orman sınırları içinde gerçekleştirilen bir yüksek lisans tez çalışmasında (Maetouq, 2021), sarıçam meşçeresinde ortalama pH 6.19; hacim ağırlığı 1.08 gr/cm<sup>3</sup>; kum oranı %53; kil oranı %36 ve toz oranı %11 olarak bildirirken, karaçam meşçeresinde ortalama pH 6.14, hacim ağırlığı 1.04 gr/cm<sup>3</sup>; kum oranı %52; kil oranı %36 ve toz oranı %12 olarak bildirmiştir.

Yine Kastamonu, Bostan İşletme Şefliği orman sınırları içinde gerçekleştirilen başka bir yüksek lisans tez çalışmasında (Tahmaz, 2016) sarıçam meşçeresinde ortalama pH 5.5; hacim ağırlığı 1.31 gr/cm<sup>3</sup>; kum oranı %63; kil oranı %16 ve toz oranı %21 olarak, karaçam meşçeresinde ortalama pH 5.4, hacim ağırlığı 1.24 gr/cm<sup>3</sup>; kum oranı %61; kil oranı %20 ve toz oranı %19 olarak, kayın meşçeresinde ise ortalama pH 5.70, hacim ağırlığı 1.35 gr/cm<sup>3</sup>; kum oranı %59; kil oranı %18 ve toz oranı %23 olarak bildirilmiştir.

Aynı bölgede (Kastamonu) aynı türlerle yapılan çalışmaların, toprak özelliklerindeki farklılıkların çalışılan türlerin meşcere özellikleri (yaş, boy, kapalılık) ve yetiştirme ortamı özelliklerinden (bakı, yükselti, eğim, ana kaya vd.) kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir.

Çalışmada yükseltinin toprak pH, yüzde nem, kum ve kil miktarı üzerinde etkili olduğu tespit edilirken, bakının da benzer şekilde toprak pH ve yüzde nem miktarı üzerinde etkili olduğu, fakat yükseltiden farklı olarak hacim ağırlığı ve boşluk yüzeyi üzerinde etki yaptığı belirlenmiştir. Örneğin toprak pH'sı karaçam için üst rakımlarda ortalama 6.58 iken alt rakımda 7.34 olarak farklılık göstermiştir. Toprak pH'sı gölgeli bakılarda (örneğin üst rakımın gölgeli bakısında sarıçamda 5.13 ve karaçamda 6.11) güneşli bakılara göre (sarıçamda 5.39 ve karaçamda 7.05) daha düşük değer göstermiştir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde yükselti ve bakıya bağlı olarak toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, örneğin pH, kil ve hacim ağırlığının önemli farklılıklar gösterdiği hem ulusal hem de uluslararası çalışmalarda bildirilmiştir (Sariyildiz vd., 2005; Griffiths vd., 2009; Rodrigues vd., 2021; Demir ve Göl, 2022). Genel olarak topografya toprak pH ve kil miktarını iki yönden etkileyebilmektedir. Birincisi topografya faktörlerinin (özellikle yükselti, bakı ve eğim) su akışını ve ortamdaki materyalin (ölü örtü gibi) taşınmasını kontrol etmesidir (Moore vd., 1993). İkincisi ise alanın mikroiklimi değiştirmesidir. Yükselti özellikle alandaki sıcaklığı ve düşen yağış miktarı üzerinde etkili olmaktadır. Genel olarak, üst yükselti daha düşük sıcaklık ve daha fazla yağış almaktadır. Sıcaklık genelde kayaların parçalanmasını etkilerken, yağış çoğunlukla materyalin akışında ve yer değişmesinde etkili olmaktadır. Daha fazla yağış alan alanlarda bazik kationların ve kilin üst topraklardan yıkanması, topraklarda pH'nın düşmesine ve kil miktarının yıkanmasına neden olabilmektedir (Zhan vd., 2019). Benzer şekilde bu çalışmada da yükselti arttıkça toprak pH'sında bir düşüş, kil miktarında ise bir azalma belirlenmiştir. Tezat olarak, yükselti ile beraber hacim ağırlığında bir azalma tespit edilmiştir. Bu azalmanın yükseltiye bağlı olarak toprak organik maddesindeki artıştan kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, Çelik (2005) yüksek organik maddenin toprakları daha gevşek ve geçirgen yaptığını ve bu nedenle hacim ağırlığını düşürdüğünü bildirmiştir.

### 3.2. Toprak makro besin elementi konsantrasyonları ve stokları

Örnekleme alanlarının yükselti (üst ve alt rakım), bakı (gölgeli ve güneşli) ve ağaç türüne bağlı (Kn-kayın, Çs-sarıçam, Çk-karaçam, M-meşe) makro besin elementi konsantrasyonlarındaki değişim ve önem düzeyi Tablo 3'te gösterilmiştir. Örnekleme alanlarındaki makro besin elementi stoklarının toprak derinliğine bağlı olarak yükselti, bakı ve ağaç türü arasındaki değişimi ise Şekil 2'de verilmiştir.

Makro besin elementlerinin çoğunluğu, yükselti, bakı ve ağaç türlerine göre önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 3). Toprak özelliklerinde olduğu gibi, toprak derinlik kademeleri makro besin elementleri üzerinde etkisi bulunamamıştır. Makro besin elementi stoklarının yükselti, bakı ve ağaç türlerine bağlı değişimi (Şekil 2) genel olarak besin elementi konsantrasyonları ile benzerlik göstermiştir.

Toprak organik karbon stoku, üst rakımlarda ve gölgeli bakılarda daha yüksek bulunmuştur (Şekil 2). Konu ile ilgili yapılan birçok çalışmada, yüksek alanlarda var olan düşük sıcaklıkların ölü örtü ayrışması yanında toprak oluşumunda etkili olan süreçleri sınırlandırdığını, bu nedenle toprak organik karbon miktarının artabileceğini, tezat olarak ise diğer besin elementlerinin azalabileceğini bildirmişlerdir (Sundqvist vd., 2013). Bu durum, tüm çalışmalarda olmazsa da, birçok araştırma sonuçlarıyla desteklenmiştir (Koerselman ve Meuleman, 1996; Vincent vd., 2014). Güneşli ve gölgeli bakılar arasında bulunan güneşlenme süresi, toprak sıcaklığı ve toprak su içeriği farklılıklarının öncelikle ölü örtü ayrışmasını etkilediği ve sonrasında bu durumun toprakta stoklanan karbon miktarı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur (Sariyildiz vd., 2015; Elnaker ve Zaleski, 2021). Benzer şekilde, çalışmamızda da, gölgeli bakıların yüksek toprak organik karbon stokunun, bu bakılardaki güneşlenme süresinin ve toprak sıcaklığının düşük olmasının ölü örtü ayrışmasının engellenmesine ve toprak organik karbon stokunun artmasına neden olabileceği değerlendirilmiştir.

Tablo 3

Örnekleme alanlarının makro besin elementi konsantrasyonları (0-30 cm). Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir ( $P<0.05$ ,  $n=3$ )

Yükselti (m)	Bakı	Ağaç türü	C (%)	N (%)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	P (ppm)	K (ppm)
Üst (1189)	Gölgeli	Kn	3.08 <sup>d</sup> ±1.28	0.180 <sup>b</sup> ±0.05	355 <sup>a</sup> ±57	113 <sup>a</sup> ±3.6	110 <sup>c</sup> ±9.6	1773 <sup>bc</sup> ±77
		Çs	3.11 <sup>d</sup> ±1.22	0.126 <sup>a</sup> ±0.03	444 <sup>a</sup> ±53	114 <sup>a</sup> ±4.8	82 <sup>b</sup> ±6.3	1703 <sup>b</sup> ±73
		Çk	4.42 <sup>e</sup> ±2.99	0.240 <sup>c</sup> ±0.10	743 <sup>b</sup> ±29	169 <sup>c</sup> ±12	117 <sup>c</sup> ±6.7	1929 <sup>c</sup> ±99
	Güneşli	Çs	2.29 <sup>b</sup> ±1.36	0.101 <sup>a</sup> ±0.04	303 <sup>a</sup> ±35	106 <sup>a</sup> ±7.7	76 <sup>ab</sup> ±19	2114 <sup>c</sup> ±102
		Çk	2.67 <sup>c</sup> ±0.68	0.172 <sup>b</sup> ±0.02	2401 <sup>c</sup> ±74	111 <sup>a</sup> ±3.1	107 <sup>c</sup> ±8.2	2190 <sup>c</sup> ±93
Alt (871)	Gölgeli	Çk	2.59 <sup>c</sup> ±0.26	0.190 <sup>b</sup> ±0.06	1099 <sup>b</sup> ±28	124 <sup>b</sup> ±6.1	69 <sup>a</sup> ±9.1	574 <sup>a</sup> ±11
		M	2.78 <sup>c</sup> ±1.18	0.141 <sup>a</sup> ±0.07	797 <sup>b</sup> ±38	122 <sup>b</sup> ±7.8	67 <sup>a</sup> ±12	560 <sup>a</sup> ±7.9
	Güneşli	Çk	2.17 <sup>b</sup> ±0.53	0.163 <sup>b</sup> ±0.06	4123 <sup>d</sup> ±115	114 <sup>a</sup> ±7.7	82 <sup>b</sup> ±11	872 <sup>a</sup> ±74
		M	1.97 <sup>a</sup> ±0.76	0.144 <sup>a</sup> ±0.05	2044 <sup>c</sup> ±72	110 <sup>a</sup> ±1.7	71 <sup>a</sup> ±11	676 <sup>a</sup> ±17
ANOVA / Kaynak			F-oranları					
Yükselti			4.488*	0.000 ns	31.885***	68.887***	48.643***	710.847***
Bakı			5.458*	1.567 ns	91.410***	112.240***	.002 ns	55.653***
Ağaç türü			1.169 ns	0.755 ns	28.815***	74.962***	14.985***	4.759**
Toprak derinliği			0.434 ns	1.138 ns	1.597 ns	0.157 ns	0.225 ns	0.907 ns

\*: Önem derecesini ifade etmektedir: \*,  $P<0.05$ ; \*\*,  $P<0.01$ ; \*\*\*,  $P<0.001$ , ns: anlamlı değil

Ağaç türleri arasında ortalama karbon stoku en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla kayında 57.7 ton/ha, sarıçamda 53.1 ton/ha, karaçamda 46.0 ton/ha ve meşede 39.7 ton/ha olarak belirlenmiştir. Bununla beraber, aynı ortam şartları altında (örneğin üst rakımda gölgeli bakılarda), sarıçamın toprak organik karbon stokunun (64.3 ton/ha), karaçam (56.5 ton/ha) ve kayından (57.7 ton/ha) daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). Kastamonu bölgesi sarıçam ve karaçam meşcereleri için Maetouq (2021) toprakta stoklanan karbon miktarını sırasıyla 39.8 ve 41.7 ton/ha, Tahmaz (2016) ise sarıçam, karaçam ve kayın meşcereleri bu değerleri sırasıyla 73, 79 ve 67 ton/ha olarak bildirmiştir. Tolunay ve Çömez (2008) tarafından derlenen bir çalışmada Türkiye sarıçam ve karaçam meşcerelerinin stokladığı ortalama organik karbon miktarı sırasıyla 78.0 (18.3 - 448.0) ve 71.6 (6.7 - 296.5) ton/ha, meşe ve kayın meşcerelerinin stokları ise 82.3 (5.1 - 279.1) ve 77.9 (27.8 - 227.3) ton/ha olarak verilmiştir. Çalışmada yer alan sarıçam, karaçam, meşe ve kayının ortalama toprak organik karbon değerleri Türkiye genel ortalamasından düşük olmakla beraber yapılan diğer çalışma sonuçlarının maksimum ve minimum değerleri arasındadır. Bununla birlikte, çalışmalar arasındaki yöntem ve belirlenen toprak derinliği farklılıkları da sonuçların farklı olmasında etkili olmaktadır. Toprak karbon miktarının ağaç türleri arasında farklı olmasında; (1) ağaç türlerinin ölü örtü kısımlarından toprağa ulaşan karbon girdisi ve organik kimyasal yapılar (Eviner ve Chapin, 2003), (2) farklı ağaç türlerinin yapısı itibarıyla toprak karbon ve kil parçacıkları arasında bağlayıcı bir köprü görevi üstlenerek, katyon kimyasını engelleyip karbon depolanmasının azalması (Mulder ve Keall, 2001), (3) ölü örtüye ve üst topraklara farklı ağaç türlerinin asidik doku girdisi sağlamasından kaynaklanan düşük pH seviyesinin, mikrobiyal ayrışmayı engelleyerek toprak karbon birikimini artırabilmesi (Beets vd., 2002) gibi faktörler rol oynayabilmektedir.

Çalışmada toplam azot stoku en yüksek kayında (3.32 ton/ha), sonrasında karaçamda (3.10 ton/ha) ve en düşük meşe (2.37 ton/ha) ve sarıçamda (2.31 ton/ha) bulunmuştur. Tahmaz (2016) aynı bölgede sarıçam, karaçam ve kayın meşcerelerinin toplam azot stokunu toprakta sırasıyla 5.77, 4.20 ve 9.57 ton/ha olarak daha yüksek bildirmiştir. Toplam azot stokunda, çalışmada üst ve alt rakımlar arasında önemli bir farklılık görülmezken, gölgeli bakılardaki toprakların toplam azot stokunun, güneşli bakılardan daha fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Yükseltinin, toprak azot stokuna etkisi konusunda, farklı orman ekosistemlerine ait, birbirine tezat sonuçlar rapor edilmiştir. Örneğin, yarı tropikal ormanlarda, toprak azot stoku, yükselti ile pozitif yönde bir ilişki göstermiş (Wang vd., 2013), benzer şekilde, kuzey bölgesi yapraklı ormanların, üst rakımlarda stokladığı toprak azot miktarı, alt rakımlardan daha yüksek bulunmuştur (Bonito vd., 2003). Bununla beraber, burada sunulan



çalışmada olduğu gibi, kuzeye ait yapraklı ormanlarda gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, toprak azot stokunun yükselti ile bir ilişkisi olmadığı bildirilmiştir (Huntington vd., 1988).

Gölgeli bakıların, güneşli bakılara göre nem bakımından daha uygun ortamlar olduğu bilinmektedir (Rawlik vd., 2019). Bu şartlarda, ölü örtünün, gölgeli bakılardaki ayrışması, güneşli bakılardan daha hızlı olmaktadır (Sariyıldız vd., 2015; Jasińska vd., 2019). Gölgeli bakıların eğimli yamaçlarının, daha uygun termal koşullara rağmen, daha güçlü güneş ışığına maruz kaldıklarından, bu ortamda biriken yüzey humusunun periyodik olarak kurummasına neden olabilmektedir (Bardelli vd., 2017). Kuraklık dönemleri, toprak mikroorganizmalarının aktivitesinde bir azalmaya neden olmakta, bu da sonuç olarak toprak organik maddesinin ayrışmasında yavaşlamaya ve kalın bir humus tabakası oluşumuna yol açmaktadır (Staszal vd., 2021). Ölü örtü ayrışmasının yavaşlaması, azot mineralizasyonunu etkileyerek, güneşli bakılarda toprakta daha düşük azot stokuna neden olabilmektedir (Wiesmeier vd., 2019).

Toprak organik karbon ve toplam azot stokuna yönelik çalışmalarla karşılaştırıldığında, toprakta diğer makro besin elementi (P, K ve Mg) stoklarına yönelik çalışmaların sayısı çok sınırlıdır. Çalışmada, ağaç türleri arasındaki ortalama fosfor stoku, yine en yüksek kayında (0.181 ton/ha), en düşük ise meşede (0.115 ton/ha) belirlenirken, sarıçam ve karaçam topraklarında aynı miktarda (0.149 ton/ha) fosfor stoku olduğu bulunmuştur.

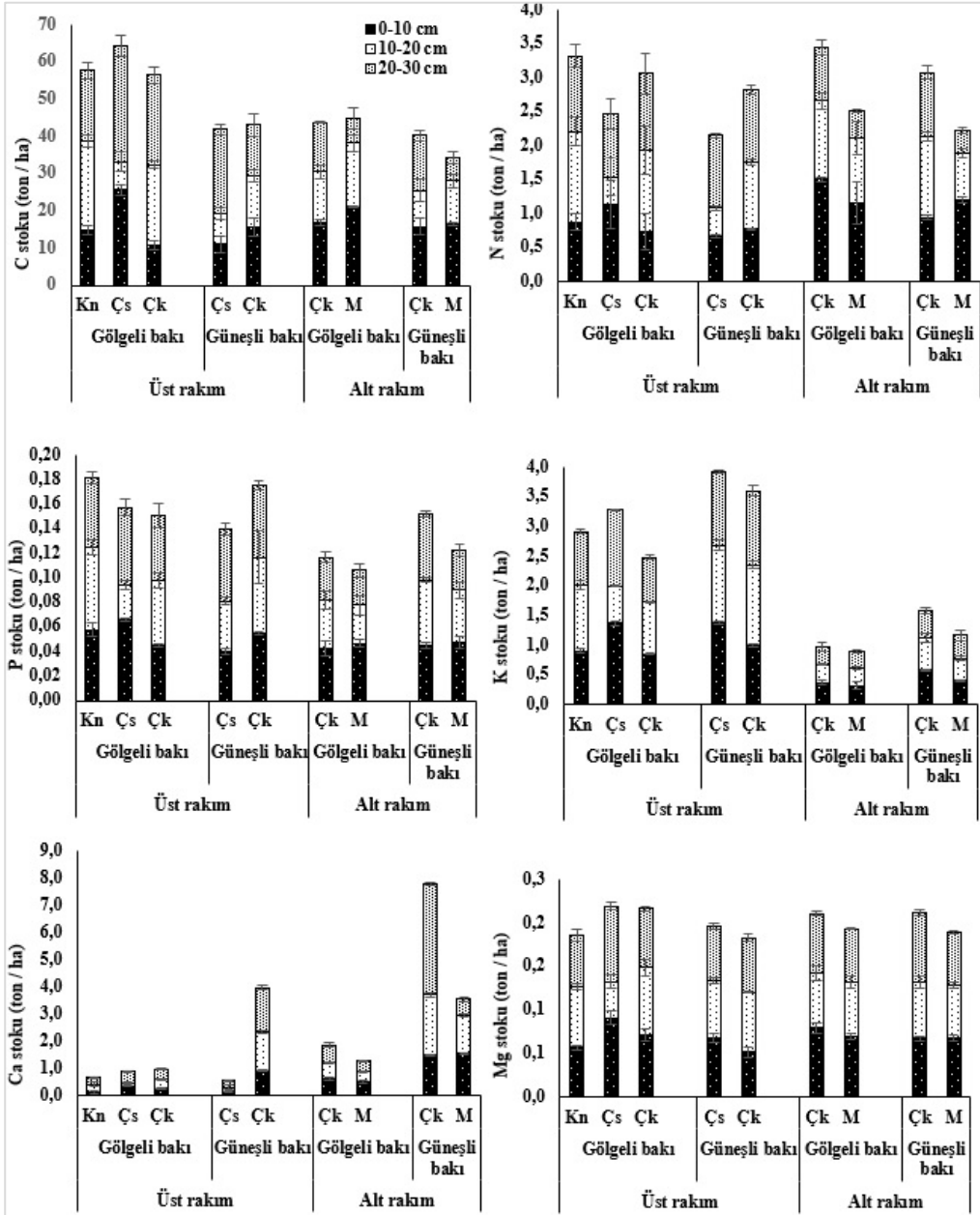
Karbon ve azot stokundan farklı olarak hem karaçam hem de meşede, güneşli bakılardaki fosfor stokunun, gölgeli bakılardan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Sarıçamda ise durum, karbon ve azot stokunda olduğu gibi aynı yönde, yani gölgeli bakılarda daha fazla olduğu yönünde sonuç göstermiştir (Şekil 2). Çalışmada, toprak fosfor stoku, genel olarak üst rakımlarda daha yüksek değer göstermiştir. Toprak fosfor stokunun, ağaç türlerine bağlı olarak farklılık gösterdiği bildirilmiştir (Xu vd., 2018). Farklı çalışmalarda, toprak fosfor stokunun, yükselti ile hem pozitif (Yang vd., 2015) hem de negatif yönde (Vincent vd., 2014) bir ilişki gösterdiği rapor edilirken, tezat olarak, tropikal yağmur ormanlarında yükselti ile toprak fosfor stokları arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır (Kitayama ve Aiba, 2002). Çalışmalarda, yükseltiye bağlı fazla yağışın topraklarda yıkanmaya neden olarak, toprak P konsantrasyonunu azaltabildiği, sonuç olarak toprak fosfor stokunu düşürdüğü ifade edilmiştir (Sardans vd., 2016). Bu durum çalışma sonuçlarıyla uyum göstermemektedir. Çünkü yağışın daha fazla olduğu üst rakımlarda, genel olarak makro besin elementleri (Ca hariç) daha yüksek değer göstermiştir. Bu durumun, üst rakımlarda düşük sıcaklığa bağlı olarak ayrışmanın yavaşlamasının, toprak yüzeyinde ölü örtü miktarının birikmesine bağlı olarak, toprakta yıkanmayı engellediği değerlendirilmiştir.

Üst rakımlardaki topraklarda, alt rakımlara göre daha fazla stoka sahip olan diğer makro besin elementi potasyum olmuştur. Güneşli bakılarda da daha fazla stoka sahip olan besin elementi potasyumdur (Şekil 2). Ağaç türleri arasında, ortalama değerlere göre, en yüksek potasyum stoku sarıçamda (3.60 ton/ha), sonrasında kayında (2.92 ton/ha), karaçamda (2.16 ton/ha) ve en düşük meşede (1.03 ton/ha) tespit edilmiştir. Ölü örtü ayrışmasının, düşük sıcaklık nedeniyle yavaş olduğu üst rakımlar ile daha az nemli ve kurutucu etkinin yaşandığı güneşli bakılarda, potasyum stokları topraklarda daha düşük değer göstermiştir.

Topraklarda kalsiyum stoku, diğer tüm makro besin elementlerinden farklı olarak, en yüksek miktarını alt rakımlarda göstermiştir (Şekil 2). Fosfor ve potasyumda olduğu gibi güneşli bakılardaki kalsiyum stoku gölgeli bakılardan daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılıkların yükselti ve bakımlar arasında var olan toprak ve iklim özellikleri yanında makro besin elementinin bu ortamlardaki davranışından (yıkanmaya karşı direnci, bağlanması vd.) kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Ağaç türleri arasında ortalama değerlere göre en yüksek kalsiyum stoku karaçamda (3.64 ton/ha) ve meşede (2.41 ton/ha), en düşük sarıçam (0.73 ton/ha) ve kayında (0.67 ton/ha) tespit edilmiştir. Bursa Uludağ yöresinde Uludağ göknarı meşçeresinde gerçekleştirdiğimiz çalışmada, makro besin elementlerinden Ca, Mg ve P stoklarının yükseltiye bağlı olarak azaldığı, K stokunun ise önce bir azalma daha sonra ise bir artış gösterdiği belirlenmiştir (Sariyıldız vd., 2022).

Bu çalışmada, üst ve alt rakımlar arasında Mg stokları arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. Bununla beraber, magnezyum stoku üst rakımlarda, gölgeli ve güneşli bakımlar arasında bir fark gösterirken, alt rakımlarda bu farklılık görülmemiştir (Şekil 2). Hem üst hem de alt rakımlarda, türler arasında magnezyum stokları

bakımından farklılıklar belirlenmiştir. Sarıçam ve karaçamın magnezyum stok miktarı (0.207 ve 0.205 ton/ha), meşe (0.192 ton/ha) ve kayından (0.186 ton/ha) daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 2. Makro besin elementi stoklarının yükselti, bakı, ağaç türü ve toprak derinliğine bağlı değişimi.

### 3.3. Toprak mikro besin elementi konsantrasyonları ve stokları

Örnekleme alanlarının, yükselti, bakı ve ağaç türüne bağlı mikro besin elementi konsantrasyonlarındaki değişim ve önem düzeyi Tablo 4’te verilmiştir. Örnekleme alanlarındaki mikro besin elementi stoklarının, toprak derinliğine bağlı olarak yükselti, bakı ve ağaç türü arasındaki değişimi ise Şekil 3’te gösterilmiştir.

Sonuçlar, makro besin elementlerinde olduğu gibi, yükselti, bakı ve ağaç türlerinin mikro besin elementi konsantrasyonları ve stokları üzerinde de önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Makro besin elementlerinden farklı olarak, sadece sodyumun (Na) toprak derinliğine bağlı olarak anlamlı bir değişiklik göstermiştir (Tablo 4).

Genel olarak, mikro besin elementi stokları, üst rakımlarda alt rakımlara göre daha yüksek olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Demir haricinde, diğer besin elementlerinin topraktaki stokları, güneşli bakılarda gölgeli bakılardan daha yüksek tespit edilmiştir. Türler arasında ise, sarıçam ve kayın topraklarının karaçam ve meşeden daha fazla stok miktarına sahip olduğu bulunmuştur. Mikro besin elementi stokları arasında en yüksek değeri demir stoku göstermiştir. Değerler, kayında 40.8 ton/ha, sarıçamda 43.2 ton/ha, karaçamda 33.3 ton/ha ve meşede 31.3 ton/ha olarak belirlenmiştir. İkinci en yüksek stok alüminyum olup, stok değerleri kayında 11.0 ton/ha, sarıçamda 12.6 ton/ha, karaçamda 7.60 ton/ha ve meşede 5.57 ton/ha olarak bulunmuştur. Manganez stokları bakımından da kayın ve sarıçam (2.08 ve 2.30 ton/ha), karaçam ve meşeden daha yüksek değer (1.58 ve 0.99 ton/ha) göstermiştir. Sodyum ve bakır stokları, türler arasında önemli farklılık göstermez iken, çinko stokları, sarıçam ve kayında birbirine çok yakın (0.274 ve 0.270 ton/ha) olup, karaçam (0.201 ton/ha) ve meşeden (0.157 ton/ha) daha fazla bulunmuştur.

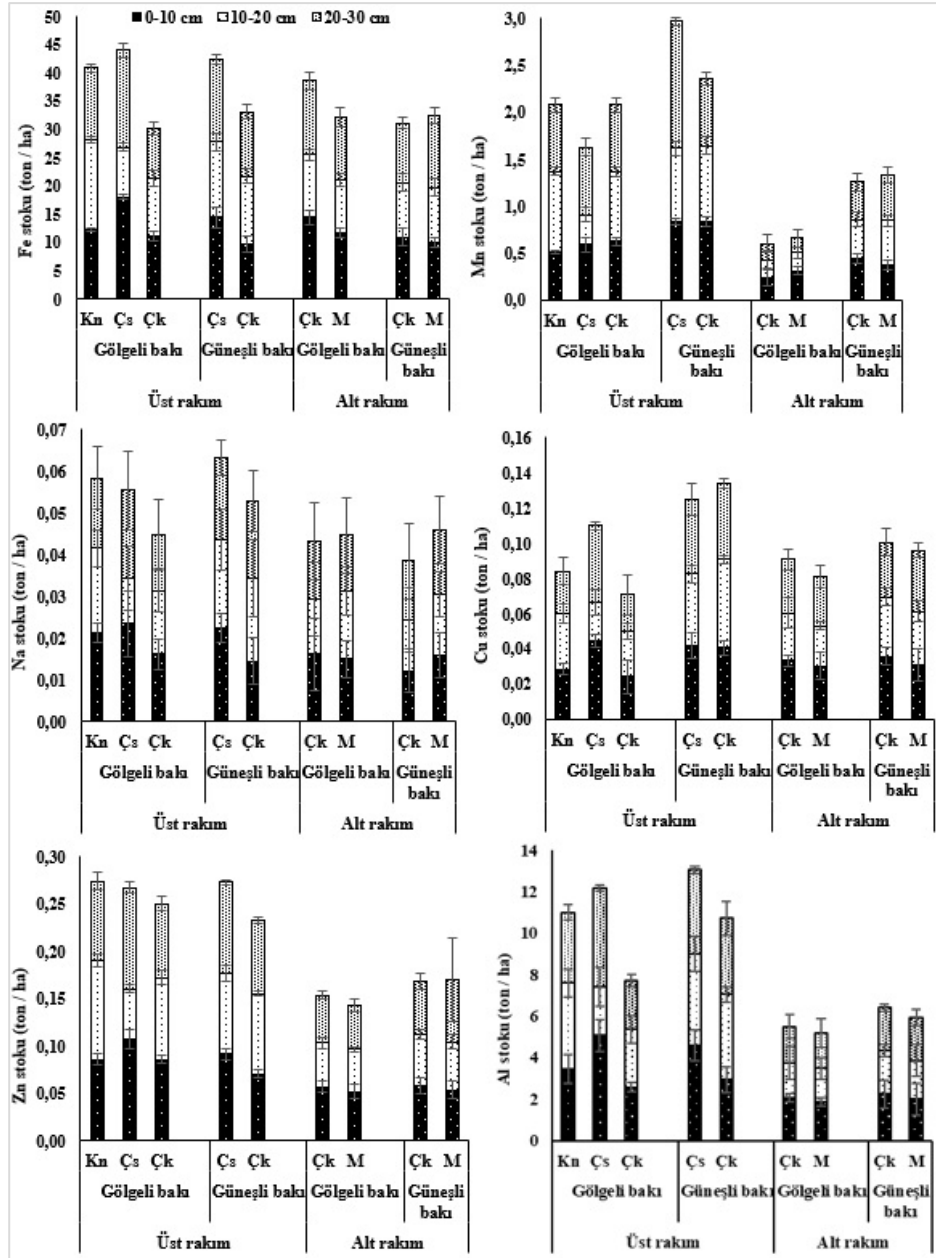
Literatürde, mikro besin elementlerinin yükselti ve bakıya bağlı olarak toprak stokundaki değişimini ortaya koyan yok denecek sayıda çalışma bulunurken (Sariyildiz vd., 2022b), mikro besin konsantrasyonları üzerine ise sınırlı sayıda fakat birbirine tezat sonuçlar bildiren çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Ai vd. (2020) kuzeybatıya bakan toprakların maksimum Cu ve Mn konsantrasyonuna sahip olduğunu bildirirken, Rezapour vd. (2014) aynı elementlerin kuzeye bakan topraklarda maksimum konsantrasyona sahip olduğunu bildirmiştir. Tezat olarak Duan vd. (2015) güneye bakan toprakların maksimum Cu konsantrasyonuna sahip olduğunu rapor etmiştir. Bununla beraber, her iki çalışmada da Fe ve Zn konsantrasyonlarının bakıya bağlı olarak değişiklik gösterdiği bulunmuştur. Bursa Uludağ yöresinde Uludağ göknarında gerçekleştirdiğimiz çalışmada (Sariyildiz vd., 2022b), mikro besin elementlerinden Cu, Zn, Cl ve Co konsantrasyonlarında bir artış, Fe, Mn ve Ni konsantrasyonlarında ise önemli bir değişimin olmadığı, mikro besin elementlerinin kuzey bakıda güney bakıya göre daha fazla stoklara sahip olduğu belirlenmiştir. Mikro besin elementlerinin, bakı ve yükseltiye bağlı değişiklik göstermesinin temel nedeni olarak, toprak özelliklerinin ve iklim özelliklerinin, bakı ve yükseltiye bağlı olarak farklılık göstermesi olduğu bu çalışmalarda ifade edilmiştir. Burada sunulan çalışmada, makro ve mikro besin elementi konsantrasyonları ve stokları üzerinde ağaç türlerinin, bakı ve yükseltinin etkili olup olmadığının sayısal verilerle ortaya konulması amaçlanmış olup, farklılıkların nedenlerini açıklamaya veya ilişkilendirmeye yönelik bir çalışma olarak planlanmamıştır. Bu nedenle, ileride bu farklılıkları açıklamaya yönelik daha detaylı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Tablo 4

Örnekleme alanlarının mikro besin elementi konsantrasyonları (0-30 cm). Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir ( $P<0.05$ ,  $n=3$ )

Yükselti (m)	Bakı	Ağaç türü	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
Üst (1189)	Gölgeli	Kn	24836 <sup>d</sup> ±1164	1202 <sup>c</sup> ±259	36 <sup>b</sup> ±6.9	54 <sup>a</sup> ±8.2	168 <sup>c</sup> ±8.6	6744 <sup>b</sup> ±287
		Çs	23124 <sup>c</sup> ±465	863 <sup>b</sup> ±124	29 <sup>ab</sup> ±1.0	57 <sup>a</sup> ±1.22	140 <sup>b</sup> ±6.0	6324 <sup>b</sup> ±249
		Çk	23523 <sup>cd</sup> ±1452	1593 <sup>d</sup> ±276	35 <sup>b</sup> ±1.6	55 <sup>a</sup> ±2.7	194 <sup>c</sup> ±15.0	6057 <sup>b</sup> ±158
	Güneşli	Çs	22851 <sup>c</sup> ±1397	1618 <sup>d</sup> ±365	34 <sup>b</sup> ±2.5	68 <sup>b</sup> ±6.2	147 <sup>b</sup> ±11.5	7050 <sup>b</sup> ±375
Çk		20166 <sup>b</sup> ±907	1454 <sup>cd</sup> ±241	32 <sup>b</sup> ±1.9	82 <sup>b</sup> ±8.0	142 <sup>b</sup> ±6.6	6509 <sup>b</sup> ±318	
Alt (871)	Gölgeli	Çk	22678 <sup>c</sup> ±1189	359 <sup>a</sup> ±44	25 <sup>a</sup> ±1.6	53 <sup>a</sup> ±1.25	90 <sup>a</sup> ±3.4	3239 <sup>a</sup> ±144
		M	20662 <sup>b</sup> ±1883	333 <sup>a</sup> ±41	28 <sup>a</sup> ±3.3	51 <sup>a</sup> ±5.2	89 <sup>a</sup> ±4.6	3236 <sup>a</sup> ±185
	Güneşli	Çk	16783 <sup>a</sup> ±1427	690 <sup>b</sup> ±95	21 <sup>a</sup> ±0.8	55 <sup>a</sup> ±10.1	91 <sup>a</sup> ±9.9	3489 <sup>a</sup> ±265
		M	19648 <sup>b</sup> ±1468	853 <sup>b</sup> ±33	26 <sup>a</sup> ±2.6	55 <sup>a</sup> ±6.6	103 <sup>a</sup> ±16.2	3447 <sup>a</sup> ±183
ANOVA / Kaynak		F-oranları						
Yükselti		15.840***						
Bakı		34.106***						
Ağaç türü		4.237*						
Toprak derinliği		3.073 ns						
		48.097***						
		16.394***						
		1.366 ns						
		0.712 ns						
		81.515***						
		.389 ns						
		7.448**						
		4.016*						
		29.028***						
		26.151***						
		1.751 ns						
		.959 ns						
		421.292***						
		1.961 ns						
		14.533***						
		0.606 ns						
		358.149***						
		14.364**						
		5.042**						
		0.630 ns						

\*: Önem derecesini ifade etmektedir: \*,  $P<0.05$ ; \*\*,  $P<0.01$ ; \*\*\*,  $P<0.001$ , ns: anlamlı değil



Şekil 3. Mikro besin elementi stoklarının yükselti, baki, ağaç türü ve toprak derinliğine bağlı değişimi.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, makro ve mikro besin elementlerinin konsantrasyonu ve stokları üzerinde ağaç türünün, yükseltinin ve bakinin önemli bir etkisinin olduğu ortaya koyulmuştur. Ağaç türleri arasında kayın meşcereleri toprakta en yüksek karbon, azot ve fosfor stokuna sahip olurken, en yüksek potasyum stokuna sarıçam, en yüksek kalsiyum stokuna ise karaçam meşcereleri sahip olmuştur. Mikro besin elementi bakımından ise sarıçam ve kayın topraklarının karaçam ve meşeden daha fazla stok miktarına sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, besin elementlerinin çoğunluğunun stok değerleri, yükselti ile bir artış eğilimindedir. Mikro besin elementleri güneşli bakılarda daha fazla stoka sahip olurken, makro besin elementlerinden K, Mg ve Ca stokları benzer şekilde güneşli bakılarda daha fazla bulunmuştur. Tezat olarak, karbon ve azot stokları gölgeli bakılarda daha fazla stoka sahip olmuştur. Makro ve mikro besinler, bitkinin ozmotik basıncını düzenlemede, bitki hücrelerinin stabilitesi ve birçok enzimatik reaksiyonlar, fotosentez ve solunum gibi neredeyse tüm fizyolojik metabolik süreçlerde yer almaktadırlar. Çalışmada, baki ve yükseltiye bağlı besin elementi stoklarının farklı olmasında, yükseltiyle ilişkili sıcaklık azalmasının, güneşli bakılara bağlı düşük nem ve

kurutucu etkinin, ölü örtü ayrışmasını sınırlandırdığı ve bunun sonucunda toprak besin stoklarının etkilendiği yönünde değerlendirme yapılabilir. Bununla beraber, farklılıkların nedenlerini açıklamak amaçlı, farklı bölge ve türlerden gelecek, daha detaylı çalışma sonuçlarına ihtiyaç bulunmaktadır.

### Yazar Katkıları

Temel SARIYILDIZ: Veri toplanması, laboratuvar analizi, istatistiksel analiz, yorumlama, kontrol ve yazım

Gamze SAVACI: Literatür taraması, yorumlama, kontrol ve düzenleme

### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

### Kaynaklar

- Ai, Z., Zhang, J., Liu, H., Liang, C., Xue, S., Liu, G. (2020). Influence of slope aspect on the macro- and micronutrients in *Artemisia sacrorum* on the Loess Plateau in China. *Environmental Science and Pollution Research*. 27:20160–20172. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08570-1>.
- Aitali, R., Snoussi, M., Kolker, A.S., Oujidi, B., Mhammdi, N. (2022). Effects of Land Use/Land Cover Changes on Carbon Storage in North African Coastal Wetlands. *Journal of Marine Science and Engineering*. 10, 364. <https://doi.org/10.3390/jmse10030364>
- Bardelli, T., Gómez-Brandón, M., Ascher-Jenull, J., Fornasier, F., Arfaioli, P., Francioli, D., Egli, M., Sartori, G., Insam, H., Pietramellara P. (2017) Effects of slope exposure on soil physico-chemical and microbiological properties along an altitudinal climosequence in the Italian Alps. *Science of the Total Environment*. 575, 1041-1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.176>
- Beets, P.N., Oliver, G.R., Clinton, P.W. (2002). Soil carbon protection in podocarp/ hardwood forest, and effects of conversion to pasture and exotic pine forest. *Environmental Pollution*. 116, 63–73. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00248-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00248-2)
- Bonito, G.M., Coleman, D.C., Haines, B.L., Cabrera, M.L. (2003) Can nitrogen budgets explain differences in soil nitrogen mineralization rates of forest stands along an elevation gradient? *Forest Ecology and Management*. 176(1), 563–74. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00234-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00234-7)
- Boztug, D. (1992). Lithostratigraphic units and tectonics of the southwestern part of Daday-Devrekani massive, Western Pontides, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration, Ankara*, 114, 1-22. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bulletinofmre/issue/3933/52300>
- 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
- Çelik, I. (2005). Land use effects on organic matter and physical properties of soil in southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil Tillage Research*. 83, 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.001>
- Demir, K., Göl, C. (2022). Anadolu karaçam ormanlarında bakının ölü örtü ve üst toprak özelliklerine etkileri. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*. 8(2), 89-97. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1180853>
- Dindaroğlu, T. ve Canbolat, M. Y. (2017). Hidrolojik fonksiyonlu havzalarda fizyografik karakteristiklere ve arazi kullanımına bağlı olarak toprak özelliklerindeki değişimin araştırılması. *Turkish Journal of Forest Science*, 1(1), 10-24.
- DMİ (2022). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Kastamonu Meteoroloji İl Müdürlüğü, Daday İstasyonu Verileri, Kastamonu.
- Du, E., de Vries, W. (2018). Nitrogen-induced new net primary production and carbon sequestration in global forests. *Environmental Pollution*. 242, 1476–1487. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.041>
- Duan, X., Zhang, G., Rong, L., Fang, H., He, D., Feng, D. (2015). Spatial distribution and environmental factors of catchment-scale soil heavymetal contamination in the dry-hot valley of Upper Red River in southwestern China. *Catena*. 135, 59–69.
- 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.
- Eviner, V.T., Chapin, III F.S. (2003). Functional matrix: a conceptual framework for predicting multiple plant

- effects on ecosystem processes. *Annual Review of Ecology Evolution, and Systematics*. 34, 455–485. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132342>
- Feng, J., Tang, M., Zhu, B. (2021). Soil priming effect and its responses to nutrient addition along a tropical forest elevation gradient. *Global Change Biology*. 27, 2793–2806. <https://doi.org/10.1111/gcb.15587>
- Göl C. (2017): Assessing the amount of soil organic matter and soil properties in high mountain forests in Central Anatolia and the effects of climate and altitude. *J. For. Sci.*, 63: 199–205.
- Griffiths, R.P., Madritch, M.D., Swanson, A.K. (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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.010>
- Gülçur F 1974. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları. İ.Ü. Orman Fak. Yay. No:201, İstanbul.
- Güner, Ş.T. (2006). Türkmen Dağı (Eskişehir, Kütahya) sarıçam (*Pinus sylvestris* ssp. *hamata*) ormanlarının yükseltiye bağlı büyüme beslenme ilişkilerinin belirlenmesi. (Doktora Tezi), Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, 325s.
- Güner, S. T. ve Çömez, A. (2017). Biomass Equations And Changes in Carbon Stock in Afforested Black Pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Stands in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(3), 2368-2379.
- He, J., Dai, Q., Xu, F., Yan, Y., Peng, X. (2022). Variability in Soil Macronutrient Stocks across a Chronosequence of Masson Pine Plantations. *Forests*. 13, 17. <https://doi.org/10.3390/f13010017>
- Houghton, R.A. (2018). Interactions between land-use change and climate-carbon-cycle feedbacks. *Current Climate Change Reports*. 4(2),115–127. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0099-9>
- Huntington, T.G., Ryan, D.F., Hamburg, S.P. (1988). Estimating Soil Nitrogen and Carbon Pools in a Northern Hardwood Forest Ecosystem. *Soil Science Society of American Journal*. 52(4), 1162–1167. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040049x>
- Jasińska, J., Sewerniak, P., Markiewicz, M. (2019). Links between slope aspect and rate of litter decomposition on inland dunes. *Catena*. 172, 501–508. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.025>
- Jonard, M., André, F., Jonard, F., Mouton, N., Procès, P., Ponette, Q. (2007). Soil carbon dioxide efflux in pure and mixed stands of oak and beech. *Annals of forest science*, 64(2), 141-150. <https://doi.org/10.1051/forest:2006098>
- Kantarcı, M. D. (1979), Aladağ Kütlesinin (Bolu) Kuzey Aklanındaki Uludağ Göknarı Ormanlarında Yükselti-İklim Kuşaklarına Göre Bazı Ölü Örtü ve Toprak Özelliklerinin Analitik Olarak Araştırılması, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No: 2634, O. F. Yayın No: 274, İstanbul.
- Kitayama, K., Aiba, S.I. (2002). Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Ecology*. 90(1), 37–51. <https://doi.org/10.1046/j.0022-0477.2001.00634.x>
- Koerselman, W., Meuleman, A.F.M. (1996). The Vegetation N:P Ratio: A New Tool to Detect the Nature of Nutrient Limitation. *The Journal of Applied Ecology*. 33, 1441-1450. <https://doi.org/10.2307/2404783>
- Kumar, A., Kumar, M, Pandey, R., ZhiGuo, Y., Cabral-Pinto, M. (2021). Forest soil nutrient stocks along altitudinal range of Uttarakhand Himalayas: An aid to Nature Based Climate Solutions. *Catena*. 207, 105667. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105667>
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*. 220, 242-258. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015>
- Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L., Brevik, E.C. (2016). Impact of topographic-aspect and vegetation on soil organic-carbon and nitrogen-budgets in Mediterranean natural-areas. *Science of The Total Environment*. 544, 963–970. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.022>
- Maetouq, M.A.M. (2021). Farklı meşcerelerde toprakta ve ölü örtüde depolanan karbon miktarının belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 42 pages.
- Makineci, E., 1999. İ.Ü. Orman Fakültesi Araştırma Ormanındaki baltalıkların koruya dönüştürülmesi işlemlerinin ölü örtü ve topraktaki azot değişimine etkileri, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Toprak İlimi ve Ekoloji Programında Hazırlanmış Doktora Tezi (XXIV+213 Sayfa)
- Mısır, N., Mısır, M., Ülker, C. (2011). Karbon Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim. Kahramanmaraş, s. 524-531.
- Moore, I. D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A.E., Peterson, G.A. (1993). Soil attribute prediction using terrain

- analysis. Soil Science Society of America Journal. 57(2), 443–452. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700020026x>
- Moser, G., Hertel, D., Leuschner, C. (2007). Altitudinal change in LAI and stand leaf biomass in tropical montane forests: a transect study in Ecuador and a pantropical meta-analysis. *Ecosystems*. 10:924–935. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9063-6>
- Mulder, C.P.H., Keall, S. (2001). Burrowing seabirds and reptiles: impacts on seeds, seedlings and soils in an island forest in New Zealand. *Oecologia*, 127, 350–360. <https://doi.org/10.1007/s004420000600>
- Özdemir, N. (2019). Farklı topografik yapı ve arazi kullanım koşullarında hacim ağırlığı ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri arasındaki ilişkiler. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(2), 86-91.
- Post, W.M. Kwon, K.C. (2000). Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change: Processes and Potential. *Global Change Biology*. 6, 317-327. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>
- Post, W.M., Emanuel, W.R., Zinke, P.J., Stangenberger, A.G. (1982). Soil carbon pools and world life zones. *Nature*. 298, 155–159. <https://doi.org/10.1038/298156a0>
- Raich, J.W., Russell, A.E., Kitayama, K., Parton, W.J., Vitousek, P.M. (2006). Temperature influences carbon accumulation in moist tropical forests. *Ecology*. 87, 76–87. <https://doi.org/10.1890/05-0023>
- Rawlik, M., Kasprowicz, M., Jagodziński, A. M., Rawlik, K., Kaźmierowski, C. (2019). Slope exposure and forest stand type as crucial factors determining the decomposition rate of herbaceous litter on a reclaimed spoil heap. *Catena*. 175, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.008>
- Rodrigues, A.C., Villa, P.M., Ferreira-Júnior, W.G. et al. (2021). Effects of topographic variability and forest attributes on fine-scale soil fertility in late-secondary succession of Atlantic Forest. *Ecological Processes*. 10, 62. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00333-1>
- Salinas, N., Malhi, Y., Meir, P., Silman, M., Roman Cuesta, R., Huaman, J., Salinas, D., Huaman, V., Gibaja, A., Mamani, M., et al. (2010). The sensitivity of tropical leaf litter decomposition to temperature: results from a large-scale leaf translocation experiment along an elevation gradient in Peruvian forests. *New Phytologist*. 89, 967–977. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03521.x>
- Sardans, J., Alonso, R., Janssens, I.A., Carnicer, J., Vereseglou, S., Rillig, M.C., et al. (2016). Foliar and soil concentrations and stoichiometry of nitrogen and phosphorous across European *Pinus sylvestris* forests: relationships with climate, N deposition and tree growth. *Functional Ecology*. 30(5), 676–89. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12541>
- Sariyıldız, T., Aygün, D.Ö., Parlak, S., Tani, M. (2022a). Effects of Land Use Types and soil Depths on Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Stocks of Karacabey Floodplain Forests in Northwest Turkey. *Wetlands*. 42:102. <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01612-z>
- Sariyıldız, T., Savacı, G., Parlak, S., Gencal, B. (2022b). Uludağ Göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmülleriana* Mattf.) meşcerelerinin toprak organik karbon, toplam azot ve besin element konsantrasyonları ve stokları üzerinde bakı ve yükseltinin etkisi. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*. 23(2), 159-174. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1117690>
- Sariyıldız, T., Anderson, J.M. (2006). Intra-specific variation in cell wall constituents of needle age classes of *Pinus sylvestris* in relation to soil fertility status in Southwest England. *Silva Fennica*. 40 (1), 15-26.
- Sariyıldız, T., Anderson, J.M., 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. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.02.004>
- Sariyıldız, T., Savacı, 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), 165-170. <https://doi.org/10.3832/ifer1567-008>
- Sevgi, O. (2003), Bayramiç İşletmesi'nde (Kazdağları) Karaçam'ın (*Pinus nigra* Arnold.) Yükseltiye Göre Beslenme Büyüme İlişkileri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Singh, S.L., Sahoo, U.K., Gogoi, A., Kenye, A. (2018). Effect of Land Use Changes on Carbon Stock Dynamics in Major Land Use Sectors of Mizoram, Northeast India. *Journal of Environmental Protection*. 9, 1262-1285. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.912079>
- Staszal, K., Błońska, E., Lasota, J. (2021). Slope aspect and effect on selected soil organic matter characteristics in Beskid Mountains forest soils. *Folia Forestalia Polonica*. 63(3), 214-224. <https://doi.org/10.2478/ffp-2021-0022>
- Sundqvist, M.K., Sanders, N.J., Wardle, D.A. (2013). Community and Ecosystem Responses to Elevational

- Gradients: Processes, Mechanisms, and Insights for Global Change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 44 (1), 261–280.
- Tahmaz, C. (2016). Mineral Toprakta Depolanan Karbon ve Azota Ağaç Türlerinin Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Fen Bil. Enst. Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, 83 pages.
- Tolunay, D. (2011). Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(3), 265-279.
- Tolunay, D., Çömez, A. (2008). Türkiye Ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*. 22-25 Ekim 2008, Hatay. 750-765.
- Tufekcioglu, A., Raich, J., Isenhardt, T. et al. (2003). Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agroforestry Systems*. 57, 187–198. <https://doi.org/10.1023/A:1024898615284>
- Ullah, S., Frasier, R., King, L., Picotte-Anderson, N.P., Moore, T.R. (2008). Potential fluxes of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from soils of three forest types in Eastern Canada. *Soil Biology and Biochemistry*., 40, 986-994. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.11.019>
- Wang, K., Zhang, C, Li., W. (2013). Predictive mapping of soil total nitrogen at a regional scale: A comparison between geographically weighted regression and cokriging. *Applied Geography*. 42, 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.04.002>
- Wiesmeier, M. Urbanski, L., Hobley, E., Lang, B., von Lütow, M., Marin-Spiotta, E., ... & Kögel-Knabner, I. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils-a review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*. 333, 149–162. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>
- Vieira, S.A., Alves, L.F., Duarte-Neto, P.J., Martins, S.C., Veiga, L.G., Scaranello, M.A., Picollo, M.C., Camargo, P.B., do Carmo, J.B., Neto, E.S., Santos, F.A., Joly, C.A., Martinelli, L.A. (2011). Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above- and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. *Ecology and Evolution*. 1(3):421-34. <https://doi.org/10.1002/ece3.41>
- Vincent, A.G., Sundqvist, M.K., Wardle, D.A., Giesler, R. (2014). Bioavailable Soil Phosphorus Decreases with Increasing Elevation in a Subarctic Tundra Landscape. *PLoS ONE*. 9(3), e92942. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092942>
- Xu, Z., Chang, Y., Li, L., Luo, Q., Xu, Z., Li, X., et al. (2018). Climatic and topographic variables control soil nitrogen, phosphorus, and nitrogen: Phosphorus ratios in a *Picea schrenkiana* forest of the Tianshan Mountains. *PLoS ONE*. 13(11): e0204130. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204130>
- Yang, Q., Niu, Y., Jing, W. (2015). Distribution Characteristics of Total Phosphorus and Total Potassium for Soil in *Picea crassifolia* Plantation at Different Altitudes in Haxi Forest Area at the East Segment of Qilian Mountains. *Protection Forest Science & Technology*. (9), 14–7.
- Ye, C.L., Chen, D.M., Hall, S.J., Pan, S., Yan, X.B., Bai, T.S., Guo, H., Zhang, Y., Bai, Y.F., Hu, S.J. (2018). Reconciling multiple impacts of nitrogen enrichment on soil carbon: Plant, microbial and geochemical controls. *Ecology Letters*. 21, 1162–1173. <https://doi.org/10.1111/ele.13083>
- Yılmaz, O. (1981). Daday-Devrekani masifi Ebrek metamorfizinin petrografisi ve tümkayaç kimyası. *Yerbilimleri*. 8, 71-82.
- Zhang, S., Zhang, X., Huffman, T. et al. (2011). Influence of topography and land management on soil nutrients variability in Northeast China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 89, 427–438. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9406-0>
- Zhang, X.-M., Wang, Y.-D., Zhao, Y., Xu, X.-W., Lei, J.-Q. Hill, R.L. (2017). Litter decomposition and nutrient dynamics of three woody halophytes in the Taklimakan Desert Highway Shelterbelt. *Arid Land Research Management*. 31, 335–351. <https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1300613>
- Zhang, Y.-Y., Wu., W, Liu, H. (2019). Factors affecting variations of soil pH in different horizons in hilly regions. *PLoS ONE*. 14(6): e0218563. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218563>