

Biyokömür Uygulamalarının Karadeniz Bölgesi Toprağının pH'sına ve Bazı Biyolojik Aktivite Parametrelerine Etkileri

Abdullah ARIN¹, Ali COŞKAN*²

Ziraat Fakültesi Dergisi,
Cilt 16, Sayı 2,
Sayfa 187-199, 2021

Journal of the Faculty of Agriculture
Volume 16, Issue 2,
Page 187-199, 2021

Özet: Türkiye’de çay yetiştiriciliği sadece mikroklima özelliklere sahip Fatsa ilçesi ile Gürcistan sınırı arasında bulunan sahil şeridinde yapılmaktadır. İklim ve insan faktörleriyle birlikte uzun yıllar monokültür bir şekilde yetiştiricilik yapılması toprakların verimliliğinin azalmasına ve pH'nın düşmesine neden olmuştur. Bu çalışmada, çay budama artıklarının biyokömür olarak değerlendirilmesi ve biyokömür uygulamalarının Karadeniz bölgesi topraklarının pH'larına ve biyolojik aktivitelerine etkilerini araştırmak amaçlanmıştır. Rize ili Merkez ilçe Yeni Kale köyünde bulunan çay bahçelerinden toprak ile çay budama artıkları temin edilmiş ve laboratuvar ortamında 4 aylık inkübasyon denemesi kurulmuştur. Budama artıklarının 300 °C, 400 °C ve 500 °C oksijensiz ortamda prolizi gerçekleştirilmiş ve %0, %0.5 ve %1 dozlarında deneme topraklarına uygulanmışlardır. Deneme topraklarında 30 günde bir olmak üzere toprak solunumları (CO₂ üretimi), üreaz, proteaz, amilaz, beta glukozidaz enzim aktiviteleri, mineral azot (NH₄⁺, NO₂⁻ ve NO₃⁻) konsantrasyonları ve toprak pH değerleri tespit edilmiştir. Çalışma sonuçları, çay budama artıklarından elde edilen biyokömür uygulamalarının ortalama değerler itibarıyla toprak pH'sını proteaz ve beta glukozidaz enzim aktivitelerini ve mineral azot formlarından NH₄⁺, ve NO₃⁻ konsantrasyonlarını arttırdığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çay bitkisi, mineral azot, toprak enzim aktivitesi, toprak pH'sı

The Effect of Biochar Applications on The pH of The Black Sea Region Soil and The Biological Activity Parameters

Abstract: Tea plant cultivation in Turkey is carried out only on the coastline located between the town of Fatsa and the Georgian border which has microclimatic features. For many years, monoculture cultivation, together with climate and human factors, soil fertility has been threatened and caused a decrease in soil pH. In this study, it was aimed to evaluate the effects of biochar that obtained from tea pruning residues on soil pH and biological activities of the soils of the Black Sea region. Experimental soil and tea pruning residues were obtained from the tea gardens in the central district of Rize, Yeni Kale village, and a 4-month incubation experiment was established as the laboratory experiment. The pruning residues were subject to pyrolysis at 300 °C, 400 °C, and 500 °C in an oxygen-free environment and incorporated into the soil at 0, 0.5% and 0.1% rates. Every 30 days, soil samples were taken and soil respiration rate (CO₂ formation), urease, protease, amylase, beta glucosidase enzyme activities, mineral nitrogen (NH₄⁺, NO₂⁻ and NO₃⁻) concentrations and soil pH were determined. The results of the study revealed that biochar applications obtained from tea pruning residues may increase soil pH, protease and beta glucosidase enzyme activities, and mineral nitrogen forms as NH₄⁺, and NO₃⁻ concentrations, in terms of average values.

Keywords: Tea plant, mineral nitrogen, soil enzyme activity, soil pH

*Sorumlu yazar (Corresponding author)
alicoskan@isparta.edu.tr

Alınış (Received): 29/09/2021
Kabul (Accepted): 11/11/2021

¹Antalya Tohum Sertifikasyon Test
Müdürlüğü, Antalya, Türkiye.
²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki
Besleme Bölümü,
Isparta, Türkiye.

1. Giriş

Genel olarak dünyada birçok içeceği geride bırakıp birincil ihtiyaç olan su tüketiminden sonra ikinci içecek olan çay nemli ve ılıman iklimlere sahip tropikal ve subtropikal bölgelerde yetişen bir bitkidir. Çay bitkisinin (*Camellia sinensis* L.) yetişebilmesi için yağışın sağanak şeklinde değil, sürekli ve düzenli olması gereklidir. İliman iklim isteği ve asit reaksiyonlu (pH 4.5-6.0) toprak tercihi dikkate alındığında çay bitkisi, ülkemizde sadece Doğu Karadeniz Bölgesinde, Gürcistan sınırı - Fatsa (Ordu) arasında kalan sahil şeridinde yetiştirilebilmektedir. Türkiye'de 1930'lu yıllarda başlayan ve günümüzde 848 801 dekarlık bir alana yayılan çaylıkların %65.13'ü Rize, %21.92'si Trabzon, %10.54'ü Artvin ve %2.4'ü Giresun-Ordu illerinde bulunmaktadır (TUİK, 2019). Dünya ve Türkiye kültüründe önemli bir değere sahip olan çay bitkisinin her bitkide olduğu gibi ekonomik bir ömrü bulunmaktadır. Türkiye'de yapılan çalışmalarda ortalama bir asırlık ömre sahip bu bitkilerin 1930 yıllarından itibaren üretimde kullanıldığı düşünüldüğünde önemli bir sorunla karşı karşıya olduğu dikkate alınması gereken bir gerçektir (Alikılıç, 2016). Çay bahçelerinin yenilenmesi veya kültürel önlemlerle bu sürenin uzatılması için çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu sebeple, çay bahçelerinin ıslahını amaçlayan Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü 1993 yılında budama projesi uygulamayı ortaya koymuştur (Torun ve Taluğ, 2005). Budama neticesinde bitkinin gençleştirilmesiyle birlikte toprakta bakım ve kültürel işlemler de yapılabilmektedir. Yapılan gençleştirme budaması üreticilerin maddi olarak kaybına da neden olmaktadır. Çay bahçelerinde dekarın 1/5'i alanın komple gençleştirme budaması ile işlenmesi nedeniyle büyük miktarda vejetatif aksam ya yakılarak imha edilmekte ya da budanan alana aynı şekilde bırakılarak ayrışmaya uğraması beklenilmektedir. Yanarak kül haline gelen veya ayrışan budama artıkları kısa sürede yok olmaktadır. Dünyada artan çevre bilincinin etkisiyle, son zamanlarda organik atıkların geri kazanımına verilen önem hızla artmış ve biyokütlenin dönüşümüne yönelik çok sayıda teknik geliştirilmiştir. Bu nedenle biyokütlenin termokimyasal etkilerle dönüşüm tekniklerinden birisi olan piroliz, artan kullanım alanıyla birlikte araştırmacılar tarafından ilgi görmekte ve çeşitli yönleriyle farklı amaçlar için araştırılmaktadır (Sümer ve ark., 2016). Bu nedenle bu budama artıklarının biyokömür hammaddesi olarak değerlendirilebileceği görüşünden hareketle bu araştırma yürütülmüştür. Biyokömürün toprak pH'sında düzenleyici bir etkisi olabileceği ve toprak biyolojik aktivitesine olumlu etki sağlayacağını düşünülmektedir. Zira Özyazıcı ve ark. (2013) çay yetiştirilen alanlarda amonyum sülfat gübresinin kullanımı neticesinde Karadeniz bölgesi topraklarının pH değerlerinde düşme eğilimi olduğunu bildirmişlerdir. Benzer biçimde Eyüpoğlu (1999) da bölge topraklarının pH'larının kuvvetli asit ile hafif asit arasında olduğunu rapor etmiştir. Biyokömürün pH değerlerinin yüksek olması (Erdal ve ark. 2019) nedeniyle, toprak

pH'sının artabileceği, bu yolla toprakların biyolojik verimliliklerinin iyileşebileceği öngörülmektedir. Bu çalışmanın amacı, farklı nedenlerle pH'sı düşük olan ancak kalsifüj bir bitki olması nedeniyle de kireç uygulanamayan çay yetiştirilen alanlara yapılacak biyokömür uygulamalarının, pH ve toprağın bazı biyolojik aktivite parametreleri üzerine etkilerini belirlemektir.

2. Materyal ve Metot

Deneme Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi Bitki Besleme Bölüm laboratuvarlarında yürütülmüştür. Denemede kullanılan biyokömür hammaddesi olarak çay bitkisi budama artıkları Rize ili Merkez ilçe Yeni Kale köyünde (N41.05934 E40.63774) bulunan çay bahçesinden temin edilmiştir. Temin edilen budama artıkları laboratuvara getirilmiş kül fırınına uygun hazırlanan kapalı kapta 300, 400, 500 °C sıcaklıkta 10 saatte piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Denemede kullanılan biyokömür için dozlar %0.5 ve %1 olarak seçilmiştir. Doz seçiminde birim alandan elde edilen budama artığı ile ileride olası kullanımı halinde göz önünde bulundurulması gereken maliyetler dikkate alınmıştır. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş, değerler Tablo 1'de sunulmuştur.

Deneme inkübasyon denemesi şeklinde kurulmuş olup denemede uygulanacak materyaller toprağa karıştırıldıktan sonra toprakta belirli zamanlarda analizi yapılarak toprak pH'sına ve enzim aktivitesine etkisi belirlenmiştir. Deneme için plastik kaplara 1.5 kilogram, Rize ili Merkez ilçe Yeni Kale köyünden temin edilen toprak konulmuş, deneme planına uygun olarak hesaplanan dozlar karıştırılmıştır. Bundan sonra topraklar 28 °C'de ve tarla kapasitesinin %75 düzeyinde tutularak inkübe edilmiş, 8 tane plastik kutudan 3 paralel olacak şekilde 30 günde bir, toplam 4 kez örnek alınarak analizler yapılmıştır. Biyokömürün toprak pH'sı üzerine etkilerinin nispeten yavaş olması nedeniyle örnekleme zaman aralıklarının uzun olması istenmiş, bu nedenle 30 gün aralık seçilmiştir.

Toprakta oluşan CO₂, ortamdaki baryum hidroksit ile tutularak nötralize edilmesi ve arta kalan baryum hidroksitin HCl ile titrasyonu sonucu belirlenmiştir (Isermayer, 1952). Üreaz, substrat olarak kullanılan ürenin, üreaz enzimi ile amonyağa hidrolize olması ve oluşan amonyumun analiz edilmesi yoluyla analiz edilmiştir (DEV, 1983). Proteaz enzimi, substrat olarak kullanılan kazeinin, proteaz enzimi ile hidrolize edilerek amino asit oluşturulması, kullanılmayan kazeinin Folin & Ciocalteau ile renklendirilmesi yoluyla tespit edilmiştir (Ladd ve Butler, 1972). Amilaz enzimi ortama ilave edilen nişastanın amilaz enzimi ile hidrolize olarak maltoza parçalanması ve oluşan maltozun renklendirme çözeltisi ile boyanması yoluyla belirlenmiştir (Bernfeld, 1955). Beta glukozidaz substrat olarak kullanılan 4-

Tablo 1. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Analiz adı	Açıklama	Sonuç	Yorum	Analiz adı	Açıklama	Sonuç	Yorum
Bünye		73.7	Killi	Kalsiyum		190	Çok Az
Tuzluluk	Saturasyon Çamuru (%)	0.036	Tuzsuz	Magnezyum	A.Asetat-ICP (ppm)	45	Çok Az
pH		3.2	Kuvvetli Asit	Sodyum		17.16	-
Kireç	Kalsimetrik (%)	4.64	Az	Demir		113.57	Yeterli
Org. Mad.	Walkley Black (%)	5.56	Yüksek	Bakır	DTPA-ICP (ppm)	0.65	Yeterli
Fosfor	Olsen (ppm)	156	Çok Fazla	Mangan		12.57	Yeterli
Potasyum	A.Asetat-ICP (ppm)	26	Çok Az	Çinko		0.65	Orta

nitrophenyl β -D glucopyranoside'in p-nitrofenol'e hidroliz olması ve oluşan p-nitrofenol'ün fotometrik olarak belirlenmesi esasına göre analiz edilmiştir (Naseby ve Lynch, 1997; Arcak ve ark., 1997). Mineral azot formlarından amonyum nitroprossid salicylat ile amonyum iyonunun oluşturduğu yeşil renkli kompleksin spektrofotometrik olarak okunması esasına dayanarak (DEV, 1983), nitrit çözeltiye geçen nitritin sulfanilik asit ve naphthylamine ile birleşmesi sonucu oluşan kırmızı/pembe rengin spektrofotometrik olarak ölçülmesi ile (Tsikas, 2007), nitrat ise çözeltiye geçen nitrat ile salicylat'ın oluşturduğu sarı renkli kompleksin spektrofotometrik olarak okunması yöntemleriyle (Fabig ve ark., 1978) belirlenmiştir. pH 1:2.5 toprak/su süspansiyonunda cam elektrotlu pH metre ile belirlenmiştir. Denemeden elde edilen sonuçlar Minitab 17 paket programı ile tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş, Tukey testi ile $P \leq 0.05$ önem düzeyinde gruplandırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. CO₂ üretimi

Farklı sıcaklıklarda üretilen biyokömür uygulamasının CO₂ üretimi üzerine etkileri tablo 2'de sunulmuştur. Değerler incelendiğinde, 500 °C %1.0 dozu 1. analiz döneminden 2.

analiz dönemine geçişinde hafif bir azalma gözlemlenirken, 3. analiz döneminde ortalama 3 kat fazla düşüş gözlemlenmiş, 4. analiz dönemine geçişte hafif artış eğilimine girdiği görülmüştür. Aksine kontrol dâhil olmak üzere diğer tüm uygulamalar 2. analiz dönemine geçişte artarken 3. analiz döneminde ciddi düşüşler görülmüş, 4. analiz döneminde 400 °C %1.0 dozu düşüşe devam ederken kontrol dâhil diğer uygulamalarda hafif artışlar gözlemlenmiştir. En düşük CO₂ değeri 0.45 mg CO₂/100 gram kuru toprak (gkt).24 h, en yüksek değer ise 10.51 mg CO₂/100 gkt.24 h olarak tespit edilmiştir.

Ölçüm zamanları arasında en yüksek değer 8.34 mg CO₂/100 gkt.24 h ile ikinci ayda belirlenmiştir. Ortalama değerler itibariyle sıcaklık uygulamaları karşılaştırıldığında sıcaklıklar arasında istatistiki farklar olduğu görülmüş, en yüksek değer 5.07 mg CO₂/100 gkt.24 h olarak 500 °C'de üretilen biyokömür uygulamasından elde edilmiştir.

Toprakta solunum değerleri incelendiğinde CO₂ oluşum parametreleri nitrat oluşum parametresiyle paralellik gösterdiği görülmüştür. Toprakta CO₂ emisyonunu etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Toprak solunumuna toprak nemi, sıcaklığı (Evans ve Burke, 2013; Rastogi ve ark., 2002), toprak vejetatif varlığı (Lee ve ark., 2009; Rastogi ve ark., 2002), toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri (Haddaway ve ark., 2016) gibi birçok

Tablo 2. İnkübasyon denemesinde biyokömürün CO₂ üretimine etkisi (mg CO₂/100 gkt.24 h)

Sıcaklık	Doz	Aylar				Ortalama
		1	2	3	4	
300	0	4.44 b-f	10.37 a	1.54 ef	4.62 b-f	5.24 AB
	%0.5	4.32 b-f	7.00 a-d	1.36 ef	4.60 b-f	4.32 BC
	%1.0	1.07 ef	10.51 a	1.38 ef	3.14 c-f	4.02 BC
	Ortalama	3.27 DE	9.29 A	1.43 E	4.12 CD	4.53 AB
400	0	4.44 b-f	10.37 a	1.54 ef	4.62 b-f	5.24 AB
	%0.5	2.98 c-f	4.61 b-f	0.45 F	4.72 b-f	3.19 C
	%1.0	2.15 ef	7.50 a-c	1.64 ef	0.94 ef	3.06 C
	Ortalama	3.19 DE	7.49 AB	1.21 E	3.43 DE	3.83 B
500	0	4.44 b-f	10.37 a	1.54 ef	4.62 b-f	5.24 AB
	%0.5	4.15 b-f	5.55 b-e	1.13 ef	3.26 c-f	3.52 BC
	%1.0	10.32 a	8.75 ab	2.29 d-f	4.46 b-f	6.45 A
	Ortalama	6.30 BC	8.22 AB	1.65 E	4.11 CD	5.07 A
Dozlar	Ortalama	4.26 B	8.34 A	1.43 C	3.89 B	
	0	4.44 bc	10.37 a	1.54 de	4.62 bc	5.24 A
	%0.5	3.82 bcd	5.72 b	0.98 E	4.19 bc	3.68 B
	%1.0	4.51 bc	8.92 a	1.77 de	2.85 cde	4.51 A

* Birbirinden farklı büyük harflerin işaret ettiği değerler faktörler arasında, küçük harfler ise interaksyonlar arasında $p < 0.05$ düzeyinde anlamlıdır.

faktör etkili olurken toprak reaksiyonu mikrobiyal aktiviteyi doğrudan etkilediği için önemli bir paya sahiptir. Birçok araştırmacı toprak solunumu ile oluşan CO₂'in asidik reaksiyona sahip topraklardan nötr reaksiyona sahip topraklara doğru yapılan incelemelerde, CO₂ üretiminin katlanarak arttığını (Sitaula ve ark., 1995) ve pH 7'nin üzerine çıktığında ise artışın negatif etkilendiğini belirtmişlerdir (Kowalenko ve Ivarson, 1978). Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde; elde edilen bulguların kontrollü laboratuvar koşullarında CO₂ üretim değerleri olan, genellikle 5 ile 50 mg CO₂ /100 gkt.gün referans değerlerinin alt sınır değerleriyle uyumludur (Haktanır ve Arcak, 1997). Bunun neticesinde toprak reaksiyon değerlerinin yüksek asidik pH derecesine sahip olması mikroorganizma faaliyetlerini etkilemiş, toprak solunumu genel olarak referans değerlerin alt sınır değerinden az olmasını sağlamış olabilir. Persson ve Wiren (1989), orman topraklarında toprak reaksiyon değerlerinin 3.8'den 3.4 pH'ya düşmesi sonucunda CO₂ oluşumu %83 oranında ve 4.8'den 4 pH'ya düşmesi sonucunda ise CO₂ oluşumu %78 oranında azaldığını bildirmişlerdir.

3.2. Enzim aktiviteleri

Araştırmada farklı sıcaklıklarda üretilen biyokömürün üreaz, proteaz, amilaz ve beta glukozidaz enzimleri üzerine etkileri belirlenmiştir. Üreaz enzimine olan etki Tablo 3'te yer almaktadır.

Uygulamaların kontrol dâhil olmak üzere üreaz enzimi üzerine etkileri düşük seviyede belirlenmiştir. İkinci analiz döneminde kontrol ve tüm uygulamalarda hafif azalmalar görülmüştür. 3. analiz döneminde tüm uygulama değerleri en az seviyeye inerken, 4. analiz döneminde yeniden artışlar gözlemlenmiştir. En düşük üreaz aktivitesi değeri 0.75 µg NH₄-N/g.h, en yüksek değer ise 8.17 µg NH₄-N/g.h olarak tespit edilmiştir. İnkübasyonun tüm zamanları

arasındaki farklar istatistiki açıdan önemli olduğu tespit edilmiş, en yüksek üreaz enzim aktivitesinin diğer zamanlara kıyasla 1. ayda ve 7.44 µg NH₄-N/g.h olduğu görülmüştür. Üreaz enzim aktivitesi üzerine biyokömür üretim sıcaklıkları arasındaki farklılıklara bakıldığında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Uygulama dozlarının üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisine bakıldığında ise istatistiki olarak öneme sahip farklar görülmüş ve en yüksek değer 5.19 µg NH₄-N/g.h ile %0 dozunda olduğu tespit edilmiştir. İnkübasyon süresi ve sıcaklıklar arasındaki interaksyonun üreaz enzim aktivitesine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş, en yüksek değer 7.71 µg NH₄-N/g.h 300 °C sıcaklıkta 1. ayda elde edilmiştir. Üreaz enzim aktivitesinin ideal toprak reaksiyonu hakkında çeşitli görüşler olmakla beraber birçok araştırmacı bu değerlerin 6.5-7.0 arası ile 8.8-9.0 arası olduğunu bildirmektedir (Liu ve ark., 2008; Kızılkaya ve ark., 1998; May ve Douglas, 1976; Pettit ve ark., 1976). Toprağa uygulanan organik materyaller mikroorganizmalar için karbon kaynağı olarak yararlı olsa da C/N oranı dar olsa bile yeterli azota sahip değilse üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisi azalmaktadır (Durmuş ve ark., 2020). Bu çalışmada kullanılan biyokömürün yüksek C/N değerlerine sahip olmasının yanında toprağın sahip olduğu yüksek asidik pH değerleri; uygulamaların üreaz enzim aktivitesi değerlerinin, Hofmann ve Hoffmann (1966)'ın üreaz enzim aktivitesi referans değerlerine göre düşük seviyelerde olmasının nedeni olabilir. Durmuş ve ark. (2020) asit topraklarda, 0.11-0.85 mg N 100 gr⁻¹ fkt h⁻¹ 37 °C ile bu çalışmada belirlenen değerlerin de çok altında değerleri ölçmüşlerdir.

Uygulamaların proteaz enzimi üzerine etkileri (Tablo 4) belirgin bir yönelim göstermemekle beraber bazı uygulamalarda ikinci ölçüm döneminde hafif artışlar meydana gelmiş, bazı uygulamalarda ise azalma gözlemlenmiştir. Ancak üçüncü ölçüm döneminde tüm

Tablo 3. İnkübasyon denemesinde biyokömürün üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisi (µg NH₄-N/g.h)

Sıcaklık	Doz	Aylar				Ortalama
		1	2	3	4	
300	0	7.16 a-e	6.30 a-f	1.98 ij	5.30 e-h	5.19 A
	%0.5	8.17 a	3.43 hi	1.10 j	5.40 d-g	4.53 A
	%1.0	7.81 Ab	4.39 gh	1.17 j	5.74 c-g	4.78 A
	Ortalama	7.71 A	4.71 C	1.42 D	5.48 BC	4.83 A
400	0	7.16 a-e	6.30 a-f	1.98 ij	5.30 e-h	5.19 A
	%0.5	7.49 a-c	5.41 d-g	0.75 j	5.37 e-h	4.76 A
	%1.0	7.30 a-d	4.79 f-h	1.38 j	5.20 f-h	4.67 A
	Ortalama	7.32 A	5.50 BC	1.37 D	5.29 BC	4.87 A
500	0	7.16 a-e	6.30 a-f	1.98 ij	5.30 e-h	5.19 A
	%0.5	7.33 a-c	6.07 b-g	1.47 j	5.66 c-g	5.13 A
	%1.0	7.43 a-c	6.03 b-g	1.18 j	5.26 e-h	4.98 A
	Ortalama	7.31 A	6.13 B	1.54 D	5.41 BC	5.10 A
Ortalama	0	7.16 Ab	6.30 bc	1.98 e	5.30 d	5.19 A
	%0.5	7.67 A	4.97 d	1.10 e	5.48 cd	4.80 B
	%1.0	7.51 A	5.07 d	1.24 e	5.40 cd	4.81 B
	Ortalama	7.44 A	5.45 B	1.44 C	5.39 B	

* Birbirinden farklı büyük harflerin işaret ettiği değerler faktörler arasında, küçük harfler ise interaksyonlar arasında p<0.05 düzeyinde anlamlıdır.

değerler belirgin biçimde azalmış ve nihayet son ölçüm gününde yeniden artışlar kaydedilmiştir.

En düşük proteaz aktivitesi değeri 5.3 µg tyrosine/g.h ile 500 °C sıcaklıkta üretilen biyokömürün % 0.5 dozundan elde edilirken, en yüksek değer 100.0 µg tyrosine/g.h ile aynı sıcaklıkta üretilen biyokömürün %1.0 dozunda tespit edilmiştir. İnkübasyonun tüm zamanları arasındaki interaksyon incelendiğinde zamanlar arasında proteaz enzim aktivitesini etkileyen istatistiksel olarak önemli farklar bulunmuş ve en yüksek değer 56.1 µg tyrosine/g.h değere sahip olarak 4. ayda elde edilmiştir. Sıcaklıklar proteaz enzim aktivitesinde istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturmamıştır. Denemeye uygulanan biyokömür dozlarının interaksyonuna bakıldığında, proteaz enzim aktivitesine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve en yüksek 48.6 µg tyrosine/g.h değere sahip %0 dozunda gerçekleşmiş, 48.2 µg tyrosine/g.h değere sahip %1.0 dozunda istatistiksel öneme sahiptir. İnkübasyon süresi ile biyokömür üretim sıcaklıkları arasındaki interaksyona bakıldığında, proteaz enzim aktivitesi üzerine istatistiksel olarak anlamlı farklar elde edilmiş olup en yüksek değer 73.7 µg tyrosine/g.h olarak 500 °C sıcaklığa sahip uygulamanın 4. ayında gerçekleşmiştir. İnkübasyon süresi ile biyokömür uygulama dozları arasındaki interaksyona bakıldığında en yüksek 73.3 µg tyrosine/g.h değer uygulamanın % 0 dozunda 4. ayında bulunmuş inkübasyon ve uygulama dozları arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir. Biyokömür üretim sıcaklığı ve uygulama dozları arasındaki interaksyona bakıldığında en yüksek 52.7 µg tyrosine/g.h değere sahip 300 °C sıcaklığa sahip uygulamanın %1.0 dozunda bulunmuş parametreler arasındaki farklar istatistiksel olarak önemlidir. Proteaz enzim aktivitesi ile pH arasında yakın ilişki varlığı birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Watanabe ve Hayano, 1994; Ladd ve Buttler, 1972). Genel olarak proteaz

aktivitesinin asit pH'da daha düşük olması beklenir çünkü birçok toprak türü nötr pH derecesinde aktivite gösteren proteazlara sahip olduğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir. Toprak proteazları ile ilgili çalışmalarda proteaz aktivitesinin; mera topraklarında (Watanabe ve Hayano 1994; Ladd 1972), domates tarla topraklarında (Hayano ve ark., 1987), pirinç tarla topraklarında (Hayano ve ark., 1995; Watanabe ve Hayano 1996; Takeuchi ve Hayano 1994), ser tipi orman topraklarında (Mayaudon ve ark., 1975) tespit edilen optimum pH'larının nötr alkali topraklarda olduğunu bildirmişlerdir. Ancak bu çalışmada toprağın pH'sı asit olmasına rağmen yüksek proteaz aktivitesi belirlenmiştir. Bu durum büyük olasılıkla uygulanan biyokömürün rhizosfer bölgesindeki pH'yı kısmen artırmış olması ile ilgili olabilir. Ayrıca bu çalışma sonuçları Das ve ark. (2021) asit reaksiyona sahip topraklara uyguladıkları biyokömürlerden elde edilen 10.56 µg tyrosine ve 30.26 µg tyrosine aralığında tespit edilen değerlere göre yüksek proteaz enzim aktivite değerlerine sahiptir. Kamimura ve Hayano (2000) asidik reaksiyon özelliğine sahip çay tarlalarından ekstrakte ettikleri proteazların özelliklerini ve optimum pH isteklerini tespit ettikleri çalışmada elde ettikleri proteaz aktivitesinin pH 5 ve 9 olmak üzere iki pH'da optimum seviyede olduklarını bildirmişlerdir. Wang ve ark. (2015) farklı piroliz sıcaklıklarına sahip mısır biyokömürünün özellikleri ve fluvo-aquic toprağa ilave edildikten sonra organik karbon, azot ve enzimatik aktivitelere etkilerini inceledikleri çalışmada, farklı piroliz sıcaklıklarında (300, 450 ve 600 °C) üretilen mısır biyokömürünün proteaz enzim aktivitesine etkisi artan piroliz sıcaklıklarıyla belirgin bir şekilde artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Cao ve ark. (2017), sürekli karpuz ekimi yapılan toprağa biyokömür ve kompost uygulamalarının toprağın kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında 5.8 pH'ya sahip toprağın proteaz enzim

Tablo 4. İnkübasyon denemesinde biyokömürün proteaz enzim aktivitesi üzerine etkisi (µg tyrosine/g.h)

Sıcaklık	Doz	Aylar				Ortalama
		1	2	3	4	
300	0	59.0 a-e	32.5 b-g	29.8 b-g	73.3 ab	48.6 A
	%0.5	30.9 b-g	32.7 b-g	6.5 fg	8.8 e-g	19.7 B
	%1.0	54.8 a-g	65.0 a-c	33.9 b-g	57.0 a-f	52.7 A
	Ortalama	48.3 B-D	43.4 B-D	23.4 DE	46.4 B-D	40.4 A
400	0	59.0 a-e	32.5 b-g	29.8 b-g	73.3 ab	48.6 A
	%0.5	61.3 a-d	51.6 a-g	39.9 b-g	44.6 b-g	49.3 A
	%1.0	57.5 a-f	69.3 ab	16.3 c-g	27.1 b-g	42.6 A
	Ortalama	59.3 AB	51.1 A-C	28.7 C-E	48.3 B-D	46.8 A
500	0	59.0 a-e	32.5 b-g	29.8 b-g	73.3 ab	48.6 A
	%0.5	37.1 b-g	66.2 a-c	5.3 g	47.7 b-g	39.1 AB
	%1.0	59.3 a-e	26.1 b-g	12.2 d-g	100.0 a	49.4 A
	Ortalama	51.8 A-C	41.6 B-D	15.7 E	73.7 A	45.7 A
Ortalama		53.1 A	45.4 A	22.6 B	56.1 A	
Dozlar	0	59.0 ab	32.5 c-f	29.8 def	73.3 a	48.6 A
	%0.5	43.1 b-e	50.2 a-d	17.2 f	33.7 c-f	36.1 B
	%1.0	57.2 abc	53.5 a-d	20.8 ef	61.4 ab	48.2 A

* Birbirinden farklı büyük harflerin işaret ettiği değerler faktörler arasında, küçük harfler ise interaksyonlar arasında p<0.05 düzeyinde anlamlıdır.

aktiviteleri en düşük 61.14 $\mu\text{g tyrosine/g.h}$ ve en yüksek 77.19 $\mu\text{g tyrosine/g.h}$ olarak tespit edildiğini bildirmişlerdir.

Biyokömür uygulamalarının amilaz enzim aktivitesi üzerine etkileri incelendiğinde (Tablo 5) bazı uygulamalarda 2. analiz döneminde artışlar gözlenirken 3. analiz döneminde ise tam ters yönde azalmalar görülmüş, 4. analiz döneminde ise hafif artışlar gözlenmiştir. Ancak 500 °C %0.5 uygulaması 4 analiz döneminde istikrarlı artış gösterirken 300 °C %1.0 uygulaması 2. analiz döneminde hafif artış göstermiş, 3. ve 4. analiz dönemlerinde azalmıştır. En düşük amilaz aktivitesi değeri 5.9 BAU/gkt en yüksek değer ise 31.1 BAU/gkt olarak tespit edilmiştir. İnkübasyonun tüm zamanları amilaz enzim aktivitesi üzerine etkisi incelendiğinde zamanlar arasında istatistiki olarak önemli farklar tespit edilmiş olup en yüksek 22.4 BAU/gkt değeri 2. ayda görülmüştür. İnkübasyon denemesinde uygulanan biyokömürün üretim sıcaklıkları arasında, uygulama dozları arasında ve biyokömür üretim sıcaklığının ile uygulama dozları arasındaki etkileşimde amilaz enzim aktivitesi üzerine istatistiki olarak anlamlı farklar bulunamamıştır. İnkübasyon süresi ile biyokömür üretim sıcaklıkları arasındaki etkileşim incelendiğinde, uygulamalar arasında istatistiki olarak anlamlı farklar görülmüş ve en yüksek 26.7 BAU/gkt değerinin 400 °C sıcaklıkta 2. ayda olduğu görülmüştür. İnkübasyon süresi ile uygulama dozları arasındaki etkileşim incelendiğinde, uygulamalar arasında istatistiki farklar görülmüş ve en yüksek 22.6 BAU/gkt değeri %1.0 dozunda ve 2. ayda tespit edilmiştir. İnkübasyon süresi, biyokömür üretim sıcaklıkları ve uygulama dozları arasındaki etkileşime bakıldığında uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli farklar görülmüş, en yüksek 31.1 BAU/gkt değere sahip 400 °C %0.5 dozunda ve 2. ayda tespit edilmiştir.

Uygulamaların beta glukozidaz enzim aktivitesi üzerine etkileri (Tablo 6) incelendiğinde tüm uygulamalarda 2. analiz döneminde azalmalar ve 3. analiz döneminde bazı uygulamalarda yavaş bazı uygulamalarda hızlı artışlar gözlemlenmiştir. Ancak 4. analiz döneminde sözü edilen artış yavaşlamıştır. 500 °C % 1.0 uygulamasında ise 4. analiz döneminde diğer uygulamaların tersine hafif azalma gözlemlenmiştir. En düşük beta glukozidaz enzim aktivitesi değeri 0.61 $\mu\text{g pNP gkt.h}$, en yüksek değer ise 1.93 $\mu\text{g pNP gkt.h}$ olarak tespit edilmiştir. İnkübasyon deneme süresinde tüm zamanlar ele alındığında zamanlar arasında beta glukozidaz enzim aktivitesi üzerine istatistiki olarak önemli farklar bulunmuş, en yüksek değerleri 1. ay ve 4. ay paylaşmış, ikisinin de 1.64 $\mu\text{g pNP gkt.h}$ değere sahip olduğu görülmüştür. İnkübasyona uygulanan biyokömürün üretim sıcaklıkları arasındaki farklar incelendiğinde, beta glukozidaz enzim aktivitesi üzerine istatistiki olarak anlamlı farklara rastlanmamıştır. Uygulama dozları incelendiğinde dozlar arasında beta glukozidaz enzim aktivitesi üzerine istatistiki olarak anlamlı farklar görülmüş olup en yüksek değer %1.0 dozunda 1.40 $\mu\text{g pNP gkt.h}$ olarak tespit edilmiştir. Uygulama süresi ile biyokömür üretim sıcaklıkları arasındaki etkileşime bakıldığında uygulamalar arasında beta glukozidaz enzim aktivitesi üzerine istatistiki olarak anlamlı farklar görülmüş, en yüksek değerleri ise 1.72 $\mu\text{g pNP gkt.h}$ değerlere sahip 1. ve 4. ayda 300 °C'de tespit edilmiştir. İnkübasyon süresi ve uygulama dozları arasındaki etkileşime bakıldığında istatistiki olarak anlamlı farklar görülmüş ve en yüksek değerler 1. ve 4. ayda %0 dozunda 1.70 $\mu\text{g pNP gkt.h}$ şeklinde tespit edilmiştir. Biyokömür üretim sıcaklıkları ile uygulama dozları arasındaki etkileşime bakıldığında en yüksek değer 1.55 $\mu\text{g pNP gkt.h}$ olarak 300 °C sıcaklıkta ve %1.0 dozunda görülmüş, istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir. Biyokömür üretim sıcaklığı, inkübasyon

Tablo 5. İnkübasyon denemesinde biyokömürün amilaz enzim aktivitesi üzerine etkisi (BAU/gkt)

Sıcaklık	Doz	Aylar				Ortalama
		1	2	3	4	
300	0	10.7 Cd	22.0 a-c	10.1 cd	20.5 a-c	15.8 A
	%0.5	10.3 Cd	23.6 a-c	11.5 cd	13.7 b-d	14.8 A
	%1.0	12.2 Cd	17.9 a-d	9.7 cd	5.9 d	11.4 A
	Ortalama	11.1 E	21.1 AB	10.4 E	13.3 C-E	14.0 A
400	0	10.7 Cd	22.0 a-c	10.1 cd	20.5 a-c	15.8 A
	%0.5	11.5 Cd	31.1 a	10.0 cd	13.9 b-d	16.6 A
	%1.0	11.7 Cd	26.9 ab	9.7 cd	13.1 b-d	15.4 A
	Ortalama	11.3 E	26.7 A	9.9 E	15.8 B-E	15.9 A
500	0	10.7 Cd	22.0 a-c	10.1 cd	20.5 a-c	15.8 A
	%0.5	10.6 Cd	12.8 b-d	14.9 b-d	17.7 a-d	14.0 A
	%1.0	11.2 Cd	22.9 a-c	11.4 cd	17.6 a-d	15.8 A
	Ortalama	10.9 E	19.2 BC	12.1 DE	18.6 B-D	15.2 A
Ortalama		11.1 C	22.4 A	10.8 C	15.9 B	
Dozlar	0	10.7 C	22.0 a	10.1 c	20.5 ab	15.8 A
	%0.5	10.8 C	22.5 a	12.2 c	15.1 bc	15.1 A
	%1.0	11.7 C	22.6 a	10.3 c	12.2 c	14.2 A

* Birbirinden farklı büyük harflerin işaret ettiği değerler faktörler arasında, küçük harfler ise etkileşimler arasında $p < 0.05$ düzeyinde anlamlıdır.

süresi ve uygulama dozları arasındaki interaksiyon incelendiğinde en yüksek değerler 1.93 µg pNP gkt.h olarak 1. ve 4. ayda 300 °C sıcaklıkta %1.0 dozunda tespit edilmiş olup istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Beta glukozidaz enzim aktivitesinin ideal toprak reaksiyon değerleri için çeşitli görüşler mevcut olmakla birlikte, beta glukozidaz ideal reaksiyon değerlerinin, pH 4.8 üzerinde (Hayano, 1973), pH 5.6 (Anonim, 2020) ve pH 5.9-6.2 aralığında (Markosyan ve Galstyan, 1963) olduğu bildirilmiştir. Beta glukozidaz enzim aktivitesi referans değerleri için de çeşitli görüşler bulunmaktadır. Hofmann ve Hoffmann (1966), beta glukozidaz enzim aktivitesi referans değerleri için düşük (<20), normal (20-40) ve yüksek (40>) olarak belirtilmiş ancak Tosun ve ark. (1975) beta glukozidaz enzim aktivitesi referans değerlerini düşük (<50), normal (50-100) ve yüksek (100>) olarak bildirmiştir. Bu referans değerlerle karşılaştırma yapıldığında bu çalışma sonucu ortaya çıkan beta glukozidaz enzim aktivitesinin düşük olduğu tespit edilmektedir. Ancak Turner ve ark. (2002) İngiltere ve Galler'e ait pH değerleri 4.4 ile 6.8 değerleri arasında değişen 29 farklı mera toprağının beta glukozidaz enzim aktivitesinin 1.12 ile 6.12 µg pNP g/toprak arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar bildirilen bu sınır değerlerinin oldukça altında tespit edilmiştir.

3.3. Mineral azot

Farklı sıcaklıklarda üretilen biyokömür uygulamasının toprak mineral azot formlarından olan amonyum, nitrit ve nitrat üzerine olan etkileri sırasıyla Tablo 7, 8 ve 9'da sunulmuştur. Uygulamaların amonyum üzerine etkileri tüm uygulamalarda farklı düzeylerde olmuştur. Ortalama değerler itibarıyla biyokömür üretim sıcaklıkları arasında istatistiki anlamlı farklar belirlenmemiştir (P>0.05). Yine

ortalama değerler itibarıyla örnekleme yapılan aylar arasında anlamlı farklar belirlenmiş (P<0.05), ikinci örneklemede 44.6 µg NH⁺₄-N / gkt olan değer %32'lik artışla 58.9 µg NH⁺₄-N / gkt düzeyine kadar artmıştır. Bundan sonra azalmaya başlayan amonyum içeriği son örnekleme zamanı olan dördüncü ayda başlangıca göre yaklaşık %22 oranında azalarak 34.7 µg NH⁺₄-N / gkt değerine düşmüştür. Dozlara ait ortalama değerler incelendiğinde biyokömür dozlarının amonyum kapsamını kontrole göre artırdığı, ancak dozlar arasında fark bulunmadığı belirlenmiştir. İnteraksiyonlar incelendiğinde en düşük amonyum değerinin 29.1 µg NH⁺₄-N / gkt ile son örnekleme zamanında alınan ve biyokömür uygulanmayan varyantta, en yüksek değer ise 68.7 µg NH⁺₄-N / gkt ile ikinci örnekleme zamanında, 300 °C üretilen %1.0 biyokömür dozunda olduğu belirlenmiştir. İnteraksiyon değerleri ayrıca biyokömür uygulamasının amonyum azotunun azalmasını engellediğini göstermiştir. Zira son örnekleme gününde belirlenen amonyum içerikleri göz önüne alındığında, biyokömür üretim sıcaklığından bağımsız olarak, tüm biyokömür dozlarında kontrole göre daha yüksek amonyum azotu miktarı belirlenmiştir. Bu durum nitrifikasyonun azalması nedeniyle ortaya çıkabileceği gibi, mineralizasyonun hızlanarak toprak organik maddesinden azot serbestleşmesi şeklinde de açıklanabilir.

Araştırmada belirlenen nitrit değerleri tüm uygulamalarda belirgin biçimde düşük bulunmuştur. En yüksek değer olan 0.614 µg NO₂-N / gkt değeri dekara yaklaşık 0.15 kg gibi oldukça düşük nitrit azotu miktarına karşılık gelmektedir. Genel olarak Türkiye topraklarında nitrifikasyon sürecinde yer alan nitritasyon ve nitratasyon basamaklarının hızlarının birbirine yakın olması, topraklarda nitrit birikimini engellemektedir. Bu durumun ortaya çıkmasında esas etken toprak pH'sı olup, alkali topraklarda

Tablo 6. İnkübasyon denemesinde biyokömürün Beta Glukozidaz enzim aktivitesi üzerine etkisi (µg pNP gkt.h)

Sıcaklık	Doz	Aylar			Ortalama
		1	2	3	
300	0	1.70 ab	0.72 d-f	1.15 b-f	1.19 A
	%0.5	1.52 abc	0.67 ef	1.03 b-f	1.07 A
	%1.0	1.93 a	0.69 d-f	1.65 ab	1.42 A
	Ortalama	1.72 A	0.70 D	1.28 BC	1.23 A
400	0	1.70 ab	0.72 d-f	1.15 b-f	1.19 A
	%0.5	1.52 abc	0.61 F	1.42 a-e	1.18 A
	%1.0	1.69 ab	0.70 d-f	1.45 a-d	1.28 A
	Ortalama	1.64 AB	0.68 D	1.34 BC	1.22 A
500	0	1.70 ab	0.72 d-f	1.15 b-f	1.19 A
	%0.5	1.58 ab	0.77 c-f	1.13 b-f	1.16 A
	%1.0	1.40 a-e	0.79 c-f	1.43 a-e	1.21 A
	Ortalama	1.56 A-C	0.76 D	1.24 C	1.19 A
Ortalama		1.64 A	0.71 C	1.29 B	
Dozlar	0	1.70 a	0.72 d	1.15 c	1.19 B
	%0.5	1.54 ab	0.68 d	1.19 bc	1.14 B
	%1.0	1.68 a	0.73 d	1.51 a-c	1.31 A

* Birbirinden farklı büyük harflerin işaret ettiği değerler faktörler arasında, küçük harfler ise interaksiyonlar arasında p<0.05 düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 7. Biyokömür uygulamalarının toprağın amonyum azotu içeriğine etkisi ($\mu\text{g NH}_4\text{-N / gkt}$)

Sıcaklık	Doz	Aylar				Ortalama
		1	2	3	4	
300	0	40.5 c-f	55.3 a-e	56.3 a-d	29.1 f	45.3 A
	%0.5	45.9 a-f	58.7 a-d	48.7 a-f	40.1 c-f	48.4 A
	%1.0	47.9 a-f	68.7 a	59.9 a-d	37.0 d-f	53.3 A
	Ortalama	44.8 BC	60.9 A	55.0 AB	35.4 CD	49.0 A
400	0	40.5 c-f	55.3 a-e	56.3 a-d	29.1 f	45.3 A
	%0.5	45.9 a-f	54.3 a-e	57.7 a-d	39.7 c-f	49.4 A
	%1.0	47.4 a-f	67.0 ab	59.8 a-d	39.1 c-f	53.3 A
	Ortalama	44.6 BC	58.9 A	58.0 A	36.0 CD	49.3 A
500	0	40.5 c-f	55.3 a-e	56.3 a-d	29.1 f	45.3 A
	%0.5	49.5 a-f	61.5a-c	60.1 a-d	37.5 c-f	52.1 A
	%1.0	43.7 b-f	53.9 a-e	47.1 a-f	31.5 ef	44.0 A
	Ortalama	44.6 BC	56.9 A	54.5 AB	32.7 CD	47.2 A
Ortalama		44.6 B	58.9 A	55.8 A	34.7 C	
Dozlar	0	40.5 De	55.3 abc	56.3 abc	29.1 e	45.3 B
	%0.5	47.1 Bcd	58.2 ab	55.5 abc	39.1 de	50.0 A
	%1.0	46.3 Cd	63.2 a	55.6 abc	35.9 de	50.2 A

* Birbirinden farklı büyük harflerin işaret ettiği değerler faktörler arasında, küçük harfler ise interaksiyonlar arasında $p < 0.05$ düzeyinde anlamlıdır.

Tablo 8. Biyokömür uygulamalarının toprağın nitrit azotu içeriğine etkisi ($\mu\text{g NO}_2\text{-N / gkt}$)

Sıcaklık	Doz	Aylar				Ortalama
		1	2	3	4	
300	0	0.418 ab	0.498 ab	0.161 b	0.266 ab	0.336 A
	%0.5	0.402 ab	0.451 ab	0.149 b	0.410 ab	0.353 A
	%1.0	0.376 ab	0.292 ab	0.076 b	0.302 ab	0.261 A
	Ortalama	0.399 A	0.414 A	0.129 B	0.326 AB	0.317 A
400	0	0.418 ab	0.498 ab	0.161 b	0.266 ab	0.336 A
	%0.5	0.348 ab	0.465 ab	0.095 b	0.425 ab	0.333 A
	%1.0	0.245 ab	0.406 ab	0.149 b	0.270 ab	0.267 A
	Ortalama	0.337 AB	0.456 A	0.135 B	0.321 AB	0.312 A
500	0	0.418 ab	0.498 ab	0.161 b	0.266 ab	0.336 A
	%0.5	0.358 ab	0.614 a	0.149 b	0.314 ab	0.359 A
	%1.0	0.201 ab	0.385 ab	0.183 b	0.336 ab	0.276 A
	Ortalama	0.326 AB	0.499 A	0.164 B	0.305 AB	0.324 A
Ortalama		0.354 B	0.456 A	0.143 C	0.317 B	
Dozlar	0	0.418 ab	0.498 a	0.161 cd	0.266 bcd	0.336 AB
	%0.5	0.369 abc	0.510 a	0.131 d	0.383 ab	0.348 A
	%1.0	0.274 bcd	0.361 abc	0.136 d	0.303 a-d	0.268 B

* Birbirinden farklı büyük harflerin işaret ettiği değerler faktörler arasında, küçük harfler ise interaksiyonlar arasında $p < 0.05$ düzeyinde anlamlıdır.

nitrit birikiminin olmadığı bilinmektedir. Karadeniz topraklarında yürütülen bu denemede ise toprak pH'sının asidik olmasına rağmen nitrit birikmiyor olması büyük olasılıkla yağmurlar nedeniyle toprak havalanmasının nispeten daha az olması sonucu nitrifikasyonda gerilemeden kaynaklanmaktadır. Belirlenen değerlerin önemli bölümü istatistiki olarak anlamlı farklar oluşturmuştur ancak değerlerin çok küçük olması nedeniyle bu farklar üzerinde durulmamıştır. Diğer yandan genel olarak biyokömür uygulamalarının toprakta nitrit birikimini daha da azalttığı Tablo 8'de yer alan değerlerde açıkça görülmektedir.

Belirlenen azot formları karşılaştırıldığında en yüksek değerlerin nitrat içeriğinde olduğu görülmüştür (Tablo 9).

Dekara 25 kilogramı aşan nitrat varlığı oldukça yüksek bir miktar olup, çevresel yönden etkilerinin de göz önüne alınarak bu durumun incelenmesi gerektiği söylenebilir. Sıcaklıklar yönünden ortalama değerler karşılaştırıldığında 400 °C sıcaklık uygulamasının nitrat içeriğinde artışa neden olduğu, 500 °C uygulamasında ise azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Yine ortalama değerler bakımından örneklem zamanları incelendiğinde, ikinci örneklemede 95.6 $\mu\text{g NO}_3\text{-N / gkt}$ ile en yüksek nitrat içeriğine ulaşıldığı, bundan sonra daha düşük değerlerin elde edildiği görülmüştür. İnteraksiyonlar bakımından tablo 9 incelendiğinde, en yüksek değer 108.8 $\mu\text{g NO}_3\text{-N / gkt}$ ile 400 °C uygulanarak elde edilen biyokömürün %1.0 dozunun uygulandığı ikinci örnekleme gününde olduğu görülmüştür. En düşük değer ise 49.0 $\mu\text{g NO}_3\text{-N / gkt}$ ile

Tablo 9. Biyokömür uygulamalarının toprağın nitrat azotu içeriğine etkisi ($\mu\text{g NO}_3\text{-N / gkt}$)

Sıcaklık	Doz	Aylar				Ortalama
		1	2	3	4	
300	0	74.6 c-h	93.8 a-e	58.9 gh	62.5 gh	72.4 AB
	%0.5	63.2 gh	93.4 a-f	58.2 gh	76.2 b-h	72.8 A
	%1.0	56.9 gh	102.8 a-c	64.3 gh	62.8 gh	71.7 AB
	Ortalama	64.9 CD	96.7 A	60.5 D	67.2 CD	72.3 AB
400	0	74.6 c-h	93.8 a-e	58.9 gh	62.5 gh	72.4 AB
	%0.5	74.6 c-h	99.4 a-d	63.2 gh	70.4 d-h	76.9 A
	%1.0	79.6 b-g	108.8 a	62.0 gh	71.6 d-h	80.5 A
	Ortalama	76.3 BC	100.6 A	61.4 D	68.2 CD	76.6 A
500	0	74.6 c-h	93.8 a-e	58.9 gh	62.5 gh	72.4 AB
	%0.5	71.0 d-h	105.1 ab	60.1 gh	55.2 gh	72.8 A
	%1.0	64.5 f-h	70.0 e-h	49.0 h	61.0 gh	61.1 B
	Ortalama	70.0 CD	89.6 AB	56.0 D	59.5 D	68.8 B
Ortalama		70.4 B	95.6 A	59.3 C	65.0 BC	
Dozlar	0	74.6 b	93.8 a	58.9 c	62.5 bc	72.4 A
	%0.5	69.6 bc	99.3 a	60.5 bc	67.2 bc	74.2 A
	%1.0	67.0 bc	93.9 a	58.4 c	65.1 bc	71.1 A

* Birbirinden farklı büyük harflerin işaret ettiği değerler faktörler arasında, küçük harfler ise interaksiyonlar arasında $p < 0.05$ düzeyinde anlamlıdır.

500 °C sıcaklık, %1.0 doz uygulamasının üçüncü örneklemeinden elde edilmiştir.

Bazı araştırmacılar bitkilerin azotu en optimum kullanabildiği toprak reaksiyonu 6-8 pH aralığı olduğunu ve yüksek asit reaksiyona sahip topraklarda asit karakterli hüminler artarken mikrobiyal faaliyetlerin yavaşladığını, dolayısıyla nitrifikasyonun azaldığını bildirmişlerdir (Bilen ve Sezen, 1993). Nitrifikasyon faaliyetlerinde görevli mikroorganizmalar pH 5.5-10 sınırları içerisinde aktiftirler (Ögüş, 1970; Morrill ve Dowson, 1962). Asidik reaksiyona sahip topraklarda azalan nitrifikasyon faaliyetlerinin toprağın sahip olduğu pH değerleri ve Ca^{+2} iyonlarının artması sonucu arttığını belirtmiştir (Sezen, 1991). Bunun aksine Ross ve Hales (2003), NH_4^+ mevcudiyetindeki bir artışın asidik bir toprakta nitrifikasyonu hızla uyardığını bildirmişlerdir. Buna ek olarak asidik bir tarım toprağındaki NH_4^+ girdisi nedeniyle nitrifikasyon oranı arttığını bildirmişlerdir (Zhao ve Xing, 2009). Başka bir çalışmada ise, pH'sı 5.2-7.8 aralığında 50 farklı toprak örneği üzerinde çalıştıkları inkübasyon denemelerinde pH'nın azot mineralizasyonunu önemli derecede etkilemediğini belirtmişlerdir (Ünal ve Başkaya, 1981). Tuncer (2016), Batı Karadeniz bölgesinde yayılış gösteren bazı orman topluluklarının topraklarında azot mineralleşme potansiyelleri üzerine yaptıkları araştırmalarda, araştırılan toplulukların topraklarında mineral azot üretiminin toprak pH'sı ve su tutma kapasitesi ile ilişkili olduğunu belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada ise toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ortaya konan su tutma kapasitesinin, iklim şartlarına bağlı olarak oksijen konsantrasyonunu değiştirerek nitrifikasyon bakterilerinin aktivitesini değiştirdiği ve organik azotun mineralleşme süreci üzerine etkisi olduğunu bildirmişlerdir (Chapin ve ark., 2002). Bazı araştırmacılar düşük pH derecesinin Nitrit (NO_2^-)

fiksasyonunu kolaylaştırabileceğini (Smith ve Chalk, 1980) ancak bu sürecin toprağın organik maddesinin miktarından ziyade sahip olduğu özelliklerine bağlı olduğunu bildirmişlerdir (Smith ve Chalk, 1979). Bunun aksine asidik toprak reaksiyonuna sahip topraklarda Nitrit (NO_2^-)'in kimyasal olarak çok kararsız olduğunu, kaybının Azot dioksit (NO_2)'e dönüşmesiyle bununda genel olarak Nitrik oksit (NO)'a ayrışması şeklinde gerçekleştiğini veya N_2O ve N_2 olarak denitrifikasyon kaybına karşı hassas olduğunu ve uçarak kaybolabildiğini bildirmişlerdir (Samater ve Van Cleemput, 1999; Chalk ve Smith, 1983; Prather ve Myamoto, 1974). Biyokömürün NO_3^- , NH_3 , NH_4^+ ve organik-N'u (Bai ve ark., 2015) ve ayrıca nitrifikasyonu engelleyebilecek fenolikler gibi engelleyici bileşikleri absorbe edebilmesi nedeniyle, N döngüsündeki biyokömürün neden olduğu değişikliklerin, potansiyel kirecin neden olduğu değişikliklerden önemli ölçüde farklı olduğunu bildirmiştir (DeLuca ve ark., 2006). Bunun yanında Wang ve ark. (2015), fıstık kabuğu biyokömürünün, nitrifikasyon mikroorganizmaları için mevcut olan azalmış $\text{NH}_4^+\text{-N}$ içeriği nedeniyle asitli bir toprakta nitrifikasyonu gerçekten azalttığını ve amonyak oksitleyen bakteriler bolluğunu azalttığını bulmuştur. Bu tutarsız biyokömür etkileri, özellikle yüksek N-gübre girdilerinden elde edilen asitli topraklarda, biyokömürle değiştirilmiş tarım topraklarında nitrifikasyona daha fazla dikkat edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Yao ve ark. (2012) biyokömür uygulamalarının kumlu bir toprakta nitrat, amonyum ve fosfatın absorpsiyonu ve sızması üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında, Brezilya biber ağacı ve fıstık kabuğundan 600 °C'de üretilen biyokömürler, kumlu bir toprakta besin elementlerini tutma yeteneklerini değerlendirmek için bir kolon sızıntı deneyi kurmuşlardır. Çalışma sonuçlarına göre, biber ağacı biyokömürü sızıntı sularındaki toplam nitrat ve amonyum miktarını kontrole göre sırasıyla %34.0 ve %34.7 oranında

Tablo 10. Biyokömür uygulamalarının toprak reaksiyonuna etkisi

Sıcaklık	Doz	Aylar				Ortalama
		1	2	3	4	
300	0	3.03	3.54	3.49	3.45	3.37
	%0.5	3.06	4.04	3.62	3.84	3.64
	%1.0	3.05	3.69	3.52	3.63	3.47
	Ortalama	3.05 B	3.76 A	3.54 A	3.64 A	3.50 A
400	0	3.03	3.54	3.49	3.45	3.37
	%0.5	3.03	3.71	3.49	3.72	3.49
	%1.0	3.08	3.70	3.55	3.59	3.48
	Ortalama	3.05 B	3.65 A	3.51 A	3.59 A	3.45 A
500	0	3.03	3.54	3.49	3.45	3.37
	%0.5	3.05	3.61	3.52	3.60	3.45
	%1.0	3.08	3.65	3.56	3.65	3.48
	Ortalama	3.05 B	3.60 A	3.52 A	3.57 A	3.43 A
Ortalama		3.05 B	3.67 A	3.52 A	3.60 A	
Dozlar	0	3.03	3.54	3.49	3.45	3.37
	%0.5	3.04	3.79	3.54	3.72	3.52
	%1.0	3.07	3.68	3.54	3.62	3.48

etkili bir şekilde azalttığını ve fıstık kabuğu biyokömürünün ise nitrat ve amonyum sızıntısını sırasıyla %34 ve %14 oranında azalttığını bildirmişlerdir.

3.4. Uygulamaların pH üzerine etkisi

Farklı sıcaklıklarda üretilen biyokömürün uygulandığı topraklarda belirlenen pH değerleri tablo 10'da verilmiştir. Ortalama değerler itibarıyla toprak pH ölçüm sonuçları incelendiğinde, biyokömür uygulamasının pH artırmada kullanılabilecek bir girdi olduğu görülmüştür. Yine ortalama değerler itibarıyla üretim sıcaklıkları arasındaki farkların çok belirgin olmadığı, bu nedenle pH artırmak amacıyla yapılacak uygulamalarda, daha düşük sıcaklıkların tercih edilmesinin hem ekonomik hem de ekolojik açıdan daha yararlı olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Örneklem zamanları arasındaki ortalama değerler incelendiğinde, uygulamadan hemen sonraki ayda en yüksek değere ulaşıldığı, bundan sonra değerlerin yeniden gerilediği, ancak kontrole oranla hala pH artırma etkisinin devam ettiği görülmüştür. Toprak pH'sında belirlenen en yüksek değere 4.04 ile 300 derecede üretilen biyokömürün %0.5 dozunun uygulandığı ikinci örneklemede ulaşılmıştır. Toprağın tamponlama kapasitesi nedeniyle pH'daki artışların daha uzun süreli ölçümleri ile yıllara dair yinelemeli uygulamaların sonuçlarının araştırılmasında yarar vardır. Elde edilen bulgular ışığında biyokömür uygulamalarının toprak pH'sını artırmada ajan olarak kullanılabileceğini ve üretim sıcaklığı olarak daha düşük sıcaklıkların tercih edilmesinin daha doğru olacağını söylemek yanlış olmaz.

4. Sonuç

Deneme sonuçları CO₂ emisyonunun özellikle yüksek sıcaklıklarda elde edilen biyokömürden etkilendiğini göstermiştir. Düşük sıcaklıklarda üretilen biyokömürün CO₂ emisyonunu azaltması, uzun vadede küresel ısınmaya

olan katkıları azaltmak bakımından önerilebilecek bir uygulamadır. Belirlenen enzim aktivitelerinden üreaz aktivitesi üzerine biyokömür üretim sıcaklıkları ve biyokömür uygulama dozlarının olumlu etkisinin olmadığı, ortalama değerler itibarıyla biyokömür dozlarının üreaz enzimini azalttığı tespit edilmiştir. Uygulamaların proteaz ve amilaz enzimleri üzerindeki etkileri de sınırlı kalmıştır. Beta glükoziadaz enzimi biyokömür uygulamalarından kısmen etkilense de, net bir eğilimden söz etmek güçtür. Biyokömürün toprakra uzun yıllar kalıyor olması (Glaser ve ark., 2002; Schmidt ve Noack, 2000) biyokimyasal reaksiyonlara katılımının sınırlı olduğuna işaret etmektedir. Bu yönüyle mikroorganizmalar için bir substrat olmasından çok, toprağın uygun olmayan özelliklerini iyileştirerek biyolojik aktiviteye etkili olacağı hipotezinden hareketle yürütülen bu çalışmada sözü edilen önemli etkiye dair sınırlı bulgulara ulaşılabilmektedir. Bu yönüyle inkübasyon süresinin, biyokömürün toprakla yeterince etkileşime girmek için yeterince uzun tutulmamış olma ihtimali de akla gelmektedir. Biyokömür uygulamaları toprağın mineral azot içeriği üzerine etkili olmuş, etki 2. ayda oldukça belirgin duruma gelmiştir. Bu yönüyle biyokömürün azot transformasyonu üzerinde değişiklik yapmada kullanılabileceği belirlenmiştir. Diğer yandan yüksek nitrat oluşumuna neden olduğundan, katsayısı yüksek olan N₂O emisyonuna neden olunabileceği de akıldan çıkartılmamalıdır. Denemenin önemli bir sorusu olan pH artırmada biyokömür uygulamasının etkili olup olmayacağı konusunda, biyokömürün bu amaçla kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak budama artıklarından elde edilen biyokömürün asitli topraklara uygulanmasıyla birlikte toprağın kimyasal ve biyolojik süreçlerinin etkilenebileceği görülmüştür. Doğu Karadeniz bölgesinde çay bahçe topraklarının yüksek asidik olması, çay bitkisinin kalsifüj olması nedeniyle kireçlenmeden kaçınılması bir arada değerlendirildiğinde biyokömürün başarılı bir alternatif olabileceği ortaya konmuştur. Elde edilen

sonuçlar, çay budama artıklarının yakılarak imha edilmesi yerine biyokömür olarak kullanılmasının önerilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Sözü edilen etkilerin arazide yinelemeli uygulamalar ile ortaya konmasında yarar görülmektedir.

Teşekkür

Bu araştırma 2021 yılında Abdullah ARIN tarafından aynı başlıkla savunulan Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir.

Kaynaklar

- Alikılıç D (2016). Çay'ın Karadeniz bölgesi için önemi ve tarihi seyri. *Karadeniz İncelemeleri Dergisi*, 21: 269-280
- Anonim (2020). Beta-glukozidaz. <https://en.wikipedia.org/wiki/Beta-glucosidase> (erişim tarihi: 29 Temmuz 2020).
- Arcak S, Kütük AC, Haktanır K, Çaycı G (1997). Çay atıklarının toprakta enzim aktivitesi ve nitrifikasyon üzerine etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(1): 261-266.
- Bai SH, Reverchon F, Xu CY, Xu Z, Blumfield TJ, Zhao H, Van Zwieten L, Wallace HM (2015). Wood biochar increases nitrogen retention in field settings mainly through abiotic processes. *Soil Biology & Biochemistry*, 90: 232–240.
- Bernfeld P (1955). *Methods in Enzymology*. 1: 149-158.
- Bilen S, Sezen Y (1993). Toprak reaksiyonunun bitki besin elementleri elverişliliği üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 24(2): 156-166.1993.
- Cao Y, Ma Y, Guo D, Wang Q, Wang G (2017). Sürekli karpuz ekimi altında topraktaki biyokömür ve kompost değişikliklerine kimyasal özellikler ve mikrobiyal tepkiler. *Bitki Toprak Çevresi*, 63: 1-7.
- Chalk PM, Smith CJ, Freney JR, Simpson JR (1983). Gaseous Loss of Nitrogen From Plant-Soil Systems. *Developments in Plant and Soil Sciences*, 9: 65-89.
- Chapin FS, Matson PA, Mooney HA (2002). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer-Verlag, New York.
- Das SK, Ghosh GK, Mishra VK, Choudhury BU, Dutta SK, Hazarika S, Kalita H, Roy A, Singh NU, Gopi R, Devi EL, Mukherjee I, Balusamy A, Singh M, Yadav A, Kapoor C, Baruah K (2021). Utilizing dissimilar feedstocks derived biochar amendments to alter soil biological indicators in acidic soil of Northeast India. *Biomass Conversion and Biorefinery*. Springer Nature.
- DeLuca, TH, MacKenzie MD, Gundale MJ, Holben WE (2006). Wildfire-produced charcoal directly influences nitrogen cycling in ponderosa pine forests. *Soil Science Society of America Journal*, 70: 448–453.
- DEV (1983). *Deutsche Einheitsverfahren Zur Wasser-, Abwasser und Schlammuntersuchung (Standard Methods for Water, Wastewater and Sludge Analysis)*. Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker (eds.) Verlag Chemie, Weinheim / Bergstrasse (BRD).
- Durmuş ÖTK, Özdemir N, Durmuş M (2020). Organik atık uygulamalarının asit, nötr ve alkali toprakların üreaz enzim aktiviteleri üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(2): 223-231.
- Erdal İ, Memici M, Ekinci K, Sukuşu E (2019). Effects of tomato harvest residue derived biochars obtained from different pyrolysis temperature on periodical available nutrient concentrations of soils. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32(Özel Sayı): 75-78.
- Evans SE, Burke IC (2013). Carbon and nitrogen decoupling under an 11-year drought in the shortgrass steppe. *Ecosystems*, 16: 20-33.
- Eyüpoğlu F (1999). Türkiye topraklarının verimlilik durumu. T.C. başbakanlık köy hizmetleri genel müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel Yayın No: 220, Ankara.
- Fabig W, Ottow JCG, Muller F (1978). Mineralisation von 14C-markiertem benzoat mit Nitrat als wasserstoff-Akzeptor unter vollständig anaeroben Bedingungen sowie bei verminderten Sauerstoffpartialdruck. *Landwirtsch. Forsch*, 35: 441-453.
- Glaser B, Lehmann J, Zech W (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 219–230.
- Haddaway NR, Hedlund K, Jackson LE, Katterer T, Lugato E, Thomsen IK, Jorgensen HB, Isberg PE (2016). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 5(1): 1-8
- Haktanır K, Arcak S (1997). *Toprak Biyolojisi*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Hayano K (1973). A Method for the determination of beta glycosidase activity in soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19: 103-108.
- Hayano K, Takeuchi M, Ichishima E (1987). Characterization of a metalloproteinase

- component extracted from soil. *Biology and Fertility of Soils*, 4(4): 179-183.
- Hayano K, Watanabe K, Asakawa S (1995). Activity of protease extracted from rice-rhizosphere soils under double cropping of rice and wheat. *Soil Science and Plant Nutrition*, 41(3): 597-603.
- Hofmann E, Hoffmann, G (1966). Die bestimmung der biologischen tatigkeit in böden mit enzymethoden. Reprinted From *Advances in Enzymolgy and Related Subject of Biochemistry*, (28): 365-390.
- Isermeyer H (1952). Eine einfache methode zur bestimmung der bodenatmung und der karbonate im boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 56(1-3): 26-38.
- Kamimura Y, Hayano K (2000). Properties of protease extracted from tea-field soil. *Biology and Fertility of Soils*, 30: 351-355.
- Kızılkaya R, Arcak S, Horuz A, Karaca A (1998). Çeltik tarımı yapılan toprakların enzim aktiviteleri üzerine toprak özelliklerinin etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 4(3): 797-804.
- Kowalenko CG, Ivarson KC (1978). Effect of moisture content, temperature and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10(5): 417-423.
- Ladd JN, Butler JHA (1972). Properties of proteolytic enzymes extracted from soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 4: 227-237.
- Lee J, Hopmans JW, Van-Kessel C, King AP, Evatt KJ, Louie D, Rolston DE, Six J (2009). Tillage and seasonal emissions of CO₂, N₂O and NO across a seed bed and at the field scale in a Mediterranean climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(4): 378-390.
- Liu X, Li Q, Liang W, Jiang Y (2008). Distribution of soil enzyme activities and microbial biomass along a latitudinal gradient in farmlands of songliao plain, northeast China. *Soil Science Society of China Published by Elsevier Limited and Science Press*. 18(4): 431-440.
- Markosyan LV, Galstyan AH (1963). Optimum pH of some hydrolases of soil. *Isv. Akad. Nauk. Arm. SSR. Biol Nauki's*. 16: 45-52.
- May PB, Douglas LA (1976). Assay for soil urease activity. *Plant Soil* 45: 301-305.
- Mayaudon J, Batistic L, Sarkar J (1975). Propriétés des activités proteo-lytiques extraites des sols frais. *Soil Biology & Biochemistry*, 7: 281-286.
- Morril LG, Dowson JE (1962). Growth rates of nitrifying chemoautotrophs in soil. *Journal Bacteriologia*, 16: 418-428.
- Naseby DC, Lynch JM (1997). Rhizosphere soil enzymes as indicators of perturbations caused by enzyme substrate addition and inoculation of a genetically modified strain of *Pseudomonas fluorescens* on wheat seed. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(9-10): 1353-1362.
- Öğüş L (1970). Toprak bitki münasebetleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum.
- Özyazıcı MA, Dengiz O, Aydoğan M (2013). Çay yetiştirilen tarım topraklarının reaksiyon değişimleri ve alansal Dağılımları. *Toprak Su Dergisi*, 2(1): 23-29.
- Persson T, Wiren A (1989). Microbial activity in forest soils in relation to acid/base and carbon/nitrogen status. in: F. N. Braekke, K. Bjor and B. Halvorsen, (eds.), *Air Pollution as Stress Factor in Nordic Forests*, pp. 83-95.
- Pettit NM, Smith ARJ, Fredman RB, Burns RG (1976). Soil urease: activity, stability and kinetic properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 479-484.
- Prather RJ, Myamoto S (1974). Nitric oxide sorption by calcareous soils: III. Effect of temperature and lack of oxygen on capacity and rate. *Soil Science Society of America Proceedings* 38: 582-585.
- Rastogi M, Singh S, Pathak H (2002). Emission of carbon dioxide from soil. *Current science*, 82(5): 510-517.
- Ross DS, Hales HC (2003). Sampling-induced increases in net nitrification in the Brush Brook (Vermont) watershed. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 318-326.
- Samater AH, Van Cleemput O (1999). Formation of nitrous oxide in the presence of nitrite and organic plant residue in soil. *MededelingenFaculteit Landboukudige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent* 64: 11-24.
- Schmidt MWI, Noack AG (2000). Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles*, 14: 777-793.
- Sezen Y (1991). Toprak Kimyası. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 127, Erzurum.
- Sitaula BK, Bakken LR, Abrahamsen G (1995). N-fertilization and soil acidification effects on N₂O and CO₂ emission from temperate pine forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(11): 1401-1408.
- Smith CJ, Chalk PM (1979). Mineralization of nitrite fixed by soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry*, 11: 515-519.
- Smith CJ, Chalk PM (1980). Fixation and loss of nitrogen during transformations of nitrite in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 288-291.

- Sümer SK, Yasemin K, Gıyasettin Ç (2016). Türkiye'de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(4): 379-387.
- Takeuchi M, Hayano K (1994). Characterization of a protease component extracted from a paddy soil under monoculture of rice. *Soil Science and Plant Nutrition*, 40: 691-695.
- Torun E, Taluğ C (2005). Çay budama Projesi kapsamında üreticilerin kullandıkları bilgi kaynakları. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 11(1): 41- 49.
- Tosun F, Manga I, Altın M, Serin Y (1975). A research on arid rangeland improvement in Erzurum conditions. TUBITAK V. Science Congress. Agriculture and Forestry Group.
- Tsikis D (2007). Analysis of nitrite and nitrate in biological fluids by assays based on the Griess reaction: Appraisal of the Griess reaction in the L-arginine/nitric oxide area of research. *Journal of Chromatography B*, 851: 51-70.
- TUİK (2019). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (erişim Tarihi: 03 Mayıs 2020).
- Tuncer K (2016). Batı Karadeniz bölgesinde yayılış gösteren bazı orman Topluluklarının topraklarında azot mineralleşme potansiyelleri üzerinde araştırmalar. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Turner BL, Hopkins DW, Haygarth PM, Ostle N (2002). Beta-Glucosidase activity in pasture soils. *Applied Soil Ecology*, 20: 157-162.
- Ünal H, Başkaya, HS (1981). *Toprak: Kimyası*. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 759, Ankara.
- Wang X, Zhou W, Liang G, Song D, Zhang X (2015). Characteristics of maize biochar with different pyrolysis temperatures and its effects on organic carbon, nitrogen and enzymatic activities after addition to fluvo-aquic soil. *Science of the Total Environment*, 538: 137-144.
- Wang Z, Zong H, Zheng H, Liu G, Chen L, Xing B (2015). Reduced nitrification and abundance of ammonia-oxidizing bacteria in acidic soil amended with biochar. *Chemosphere* 138, 576e583.
- Watanabe K, Hayano K (1994). Source of soil protease based on the splitting sites of a polypeptide. *Soil Science and Plant Nutrition*, 40(4): 697-701.
- Watanabe K, Hayano K (1996). Seasonal variation in extracted proteases and relationship to overall soil protease and exchangeable ammonia in paddy soils. *Biology and Fertility of Soils*, 21: 89-94.
- Yao Y, Gao B, Zhang M, Inyang M, Zimmerman AR (2012). Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, 89(11): 1467-1471.
- Zhao X, Xing G (2009). Variation in the relationship between nitrification and acidification of subtropical soils as affected by the addition of urea or ammonium sulfate. *Soil Biology & Biochemistry*, 41: 2584-2587.