

# Kumlu Tın Bünyeli Bir Toprağın C ve N-Dinamiği Üzerine Ham ve Arıtılmış Zeytin Karasuyunun Etkileri

**Onur BAYIZ** <sup>1</sup> , **Nur OKUR** <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, İzmir.

**Öz:** Zeytin karasuyu, yüksek kirlilik yükü ve içerdiği polifenollerden dolayı fitotoksik etkilere sahip fakat bununla beraber organik bileşikler ve bitki besin elementleri yönünden de zengin bir atık su özelliğindedir. Bu nedenle belli düzeyde bir arıtmadan geçtikten sonra toprak ıslah maddesi olarak kullanılabilir potansiyeli bulunmaktadır. Bu çalışmada; zeytinyağı üretimi sırasında ortaya çıkan ham karasu ve iki farklı yöntem (ekonomik ön arıtma ve ileri arıtma tekniği) ile arıtılmış karasu kumlu tın bünyeli bir toprağa 50, 100 ve 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> dozlarında uygulanmış ve toprağın C ve N-dinamiği ile bazı kimyasal özelliklerinde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. Deneme laboratuvar koşullarında 90 günlük bir inkübasyon denemesi olarak yürütülmüştür. Gerek arıtılmış ve gerekse arıtılmamış zeytin karasu uygulamaları toprağın toplam organik-C (TOC), toplam N (TON), çözünebilir-C (ÇÖZ-C), mikrobiyal biyokütle-C ve-N (MB-C ve MB-N), alınabilir P ve K miktarlarını artırmış fakat N-immobilizasyonundan dolayı inorganik-N (İNOR-N) havuzunu küçültmüştür. En yüksek MB-C/TOC, ÇÖZ-C/TOC ve MB-N/TON oranları karasu uygulamalarının ilk dozlarında, en yüksek İNOR-N/TON oranları ise, kontrol ve en yüksek ham karasu uygulamalarında saptanmıştır. Bu sonuçlar karasuyun 50 ve 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> uygulamalarında topraktaki mikrobiyal biyokütle arttığını fakat 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> karasu uygulamasında topraktaki C ve N-dinamiğinin olumsuz etkilendiğini ortaya çıkarmıştır. Fenol ve organik C yükünün azaltıldığı arıtılmış karasuların 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> geçmeyecek dozlardaki uygulamalarının bu atığın değerlendirilmesinde iyi bir geri dönüşüm stratejisi olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** mikrobiyal biyokütle, toprağın C ve N-dinamiği, zeytin karasuyu

## The Effects of Treated and Untreated Oil Mill Wastewater on C and N-Dynamics of a Sandy Loam Soil

**Abstract:** Olive mill wastewater (OMW) is characterized by high pollutant load and phytotoxic levels of polyphenols, but also a high amount of organic compounds and plant mineral nutrients. For this reason, there is a potential to be used as a material improving soil after treated. In this study, OMW treated with two different treatment processes (economic pre-treatment and advanced treatment process) and untreated OMW were applied to a sandy loam texture soil at the rates of 0, 50, 100, 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and the changes in C-and N-dynamics of soil and some chemical properties were determined. The experiment was carried out in total period of 90 days of incubation under laboratory conditions. Amendment with untreated and treated wastewaters increased the contents of total organic C (TOC), total N (TON), soluble- C (SOL-C), microbial biomass-C and N (MB-C and MB-N) and available P and K, but inorganic-N (INOR-N) pool decreased due to N-immobilization. The highest the ratios of MB-C/TOC, SOL-C/TOC and MB-N/TON were determined at the low OMW rates and the highest INOR-N/TON at the control and highest untreated OMW rate. These results showed that microbial biomass increased at 50 and 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> OMW rates but C-and N-dynamics of soil negatively were affected by 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> OMW applications. The fact that OMW that are minimized phenol and organic C load are applied to soils at not exceeding 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> rate may be considered to be a good strategy for recycling this waste.

**Keywords:** microbial biomass, C- and N dynamics of soil, olive mill wastewater

## GİRİŞ

Akdeniz ülkeleri yaklaşık 10 milyon ha dikili alanı ile dünya zeytin üretiminin %97'sini oluşturmaktadır. Zeytinyağı üretimi gerçekleştiren başlıca ülkeler İspanya (%41), İtalya (%13), Yunanistan (%9.8), Tunus (%6.9), Suriye (%6.1) ve Türkiye'dir (%5.8) (FAO, 2016). Ülkemizde yağlık zeytin üretimi 2006 ila 2010 yılları arasında %100'lük bir artışla 1,200,000 tona, zeytinyağı tüketimi de 2003–2010 yılları arasında %113'lük bir artışla 98,000 tona ulaşmıştır (Anonim, 2015). Bu büyüyen endüstri söz konusu ülkeleri, zeytinyağı üretimi sırasında ortaya çıkan atıkların pratik ve ekonomik olarak değerlendirilmesine yönelik ciddi çevre problemleri ile karşı karşıya bırakmaktadır. Türkiye'deki zeytinyağı tesislerinde, sezonda ortalama toplam 775.000 m<sup>3</sup> su kullanıldığı, buna karşın 923,000 m<sup>3</sup> atıksu oluştuğu tahmin edilmektedir (Hocaoğlu, 2015). Zeytin karasuyunun tarım toprakları açısından en büyük tehlikesi

yüksek organik yükü ve fitotoksik ve antibakteriyal özelliklere sahip fenol içeriğidir (Mekki ve ark., 2006). Bununla beraber diğer endüstriyel atık sulardan farklı olarak karasu sadece zeytin meyvesine ait bileşenler ile sudan oluşmakta ve herhangi bir sentetik madde içermemektedir. Ayrıca karasuyun organik madde, N, P, K ve Mg'ca zengin olması nedeniyle belli düzeyde bir arıtmadan geçtikten sonra yararlı bir gübre veya toprak ıslah maddesi özelliği kazanabilme potansiyeli bulunmaktadır (Tsagaraki ve ark., 2007). Bu atığın bir çevre sorunu olduğu ülkelerde arıtılmamış karasu uygulamalarının, toprak özellikleri ve bitki gelişimi

**Sorumlu Yazar:** [nur.okur@ege.edu.tr](mailto:nur.okur@ege.edu.tr)

Bu çalışma yüksek lisans tezi ürünü olup Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

**Geliş Tarihi:** 18 Ağustos 2017

**Kabul Tarihi:** 30 Mayıs 2018

üzerine etkilerini araştıran pek çok çalışma yapılmıştır (Piotrowska ve ark., 2006; Sierra ve ark., 2007; Mechri ve ark., 2009). Bu çalışmalar artırılmamış karasuyun toprağa uygulanmasında gerek bitki gelişimi ve gerekse toprak özellikleri açısından bir takım zararlı etkilerin ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Bununla beraber toprağın tamponlama kapasitesi ve mikrobiyal aktivitesine bağlı olarak karasuyun zararlı etkileri zaman içerisinde azalabilmektedir. Artırılmış zeytin karasuyunun tarım topraklarında kullanımı ile ilgili çalışmalarda ise genellikle en ucuz ve en kolay uygulanabilir yöntemler seçilmiştir. Moraetis ve ark. (2011); zeytin karasuyunu kireç ile karıştırıp ön-arıtma yaptıktan sonra 5 yıl süre ile normal su ile karıştırıp, sulama sezonu boyunca mısırdaki kullanmışlardır. Çalışma sonunda mısır bitkisinin çiftçi koşullarında uygulanan gübrelerle oranla azotu 6 kat ve potasyumu ise 50 kat daha fazla, fosforu ise 2 kat daha az aldığı belirlenmiştir. Brunetti ve ark. (2007); katalizör olarak  $MnO_2$  ilave edilerek artırılmış ve hiç artırılmamış karasuyu  $300$  ve  $600 m^3 ha^{-1}$  dozlarında topraklara uygulamışlar ve her iki uygulamanın da toprağın EC'sini, toplam organik ve ekstrakte edilebilir karbonunu, humifike olmuş ve olmamış C formlarını, yarıyıllı P ve K miktarlarını artırdığını saptamışlardır. Piotrowska ve ark. (2011); karasuyu defenolize ettikten sonra  $80 m^3 ha^{-1}$  düzeyinde bir toprağa uygulamışlardır. Karasu toprağın biyolojik özelliklerinde ilk 14 gün içerisinde ani değişimlere neden olmuş, fakat daha sonra kendini toparlayarak ilk değerlerine geri dönmüştür. Araştırma sonucunda; fenol bileşikleri uzaklaştırıldıktan sonra karasuyun organik maddece fakir ve yarı kurak bölge topraklarında restore edici bir katkı maddesi olarak uygulanabileceği vurgulanmıştır. Ülkemizde Atıksu

**Çizelge 1.** Ham karasu (H), ekonomik (E) ve ileri arıtma (İ) yöntemleri ile artırılmış zeytin karasularının kimyasal özellikleri

|                                   | H    | E     | İ     |
|-----------------------------------|------|-------|-------|
| pH                                | 4.93 | 10.51 | 4.44  |
| EC (dS m <sup>-1</sup> )          | 7.26 | 10.49 | 13.63 |
| Top. Org. C (g l <sup>-1</sup> )  | 27.0 | 16.0  | 18.3  |
| Toplam N (g l <sup>-1</sup> )     | 0.33 | 0.04  | 0.05  |
| Toplam P (g l <sup>-1</sup> )     | 0.63 | 0.02  | 0.04  |
| Toplam K (g l <sup>-1</sup> )     | 3.52 | 5.68  | 5.11  |
| C/N Oranı                         | 82   | 432   | 366   |
| Toplam Fenol (g l <sup>-1</sup> ) | 0.66 | 0.09  | 0.26  |

arıtılan suyun pH'sı (4.44) fazla değişmemiştir. Ham karasuyun elektriksel iletkenliği arıtmadan sonra yükselmiş, toplam organik C miktarı ise ortalama %36 azalmıştır. Toplam N ve P miktarları arıtmadan sonra ortalama %88 ve %95 oranında azalırken, toplam K içeriği ise ortalama %53 artmıştır. Arıtmadan sonra karasuların C/N oranları da artış göstermiştir. Toksik bir bileşik olan toplam fenol miktarı ham karasuya oranla

Kontrol Yönetmeliği'ne göre karasuyun doğrudan su kaynaklarına boşaltılması yasak olup, zeytinyağı üreticilerinden arıtma tesisi kurmaları veya buharlaştırma lagünleri oluşturmaları istenmektedir. Yapılan bir anket çalışmasına göre, 129 zeytinyağı üreticisinden sadece 3 tanesinin böyle bir tesise sahip olduğu belirlenmiştir (Yay ve ark., 2012). Yurdumuz topraklarının organik maddece fakir olması, çeşitli organik atıkların değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada; zeytinyağı üretimi sırasında ortaya çıkan ham karasu ile iki farklı yöntem (ekonomik ön arıtma ve ileri arıtma tekniği) ile artırılmış karasuyun hafif bünyeli (kumlu tın) bir toprağa  $50$ ,  $100$  ve  $150 m^3 ha^{-1}$  dozlarında uygulanması ile toprağın biyokimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve bu değişimlerin toprak verimliliği açısından etkileri değerlendirilmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

Proje materyali zeytin karasuyu, Aydın ilinde 3 fazlı sistem ile zeytinyağı ekstraksiyonu yapan bir işletmeden alınmıştır. Karasu arıtma işlemi Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde 2 farklı yöntem (ekonomik ön arıtma ve ileri arıtma) kullanılarak yapılmıştır. Ekonomik arıtmada 1 litre karasuya 40 gr  $Ca(OH)_2$  ilave edildikten sonra 2 dakika hızlı ve 15 dakika yavaş karıştırma yapılmış ve daha sonra 24 saatlik çökelmeye bırakılmıştır. İleri arıtmada ise karasu nano- $Fe_3O_4/SiO_2$  kullanılarak UV altında fotokatalitik oksidasyonla arıtılmıştır. Çalışmada kullanılan karasuların bazı kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Ekonomik yöntemle artırılmış suyun pH'sı  $Ca(OH)_2$  kullanılması nedeniyle 10.51'e çıkmış fakat ileri arıtma ile

ekonomik yolla artırılmış karasuda %86, ileri yöntemle artırılmış karasuda ise %60 oranında giderilmiştir.

Projede diğer deneme materyali olarak kullanılan toprak ise Menemen ovasında yer alan Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma, Uygulama ve Üretim Çiftliği'nden alınmıştır. Deneme toprağının bazı fiziko-kimyasal özellikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| pH                                  | 7.51      |
| EC (dS m <sup>-1</sup> )            | 0.57      |
| CaCO <sub>3</sub> (%)               | 4.36      |
| Kum (%)                             | 55.75     |
| Kil (%)                             | 18.83     |
| Mil (%)                             | 25.42     |
| Bünye                               | Kumlu Tın |
| Organik Madde (%)                   | 1.82      |
| Toplam C (g kg <sup>-1</sup> )      | 10.6      |
| Toplam N (g kg <sup>-1</sup> )      | 1.3       |
| Alınabilir P (mg kg <sup>-1</sup> ) | 12.24     |
| Alınabilir K (mg kg <sup>-1</sup> ) | 546.82    |

Hafif alkalin reaksiyon gösteren deneme toprağı, elektriksel geçirgenlik açısından tuzluluk tehlikesi bulundurmamaktadır. Kumlu tın bünyeye sahip olan toprak, organik maddece düşük ve kireçli olarak sınıflandırılmıştır. Bitki besin maddeleri açısından ele alındığında ise; toplam azotça zengin, alınabilir potasyum fazla, alınabilir fosfor açısından ise yeterli düzeydedir.

#### Yöntem

İnkübasyon denemesi olarak yürütülen çalışmada 24x25x20 cm boyutlarındaki plastik saksılara 1,250 gr toprak tartılmış ve 125 ml saf su ile nemlendirilmiştir. Daha sonra topraklara 50, 100 ve 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> dozunda karasu uygulaması yapılmıştır. Kontrol saksılarına ise aynı miktarda saf su uygulanmıştır. Deneme 3 tekerrürlü olarak toplam 36 saksıda yürütülmüştür. Uygulama konuları şu şekilde belirlenmiştir; Kontrol (K); 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ham, ekonomik ve ileri arıtma uygulamaları (H1, E1 ve İ1); 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ham, ekonomik ve ileri arıtma uygulamaları (H2, E2 ve İ2) ve 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ham, ekonomik ve ileri arıtma uygulamaları (H3, E3 ve İ3). Uygulamaları yapılan topraklar 25°C'de inkübatörde bırakılarak, su tutma kapasitesinin %55-60 arasındaki toprak nemi deneme boyunca sabit tutulmuştur. Toplam 3 ay sonra alınan nemli toprak örnekleri 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra mikrobiyolojik analizler tamamlanıncaya kadar +4 °C'de muhafaza edilmişlerdir. Mikrobiyolojik analizler nemli toprak örneklerinde, fiziko-kimyasal analizler ise hava kurusu hale getirilen ve 2 mm'lik elekten geçirilen örneklerde gerçekleştirilmiştir. Toprak örneklerinde bünye (Bouyoucos, 1992), pH (Jackson, 1967), elektriksel iletkenlik (Anonim, 1978), kireç (Schlichting ve Blume, 1966), organik madde ve toplam organik C (Rauterberg ve Kremkus, 1951) ve (Black, 1965), toplam azot (Bremner, 1965), alınabilir P ise Olsen ve Sommers (1982)'e göre belirlenmiştir. Çözünabilir organik C Jones ve Willett (2006)'e göre saptanmış, toprakların inorganik azot miktarları ise NH<sub>4</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N'u toplamından elde edilmiştir. Toprakların NH<sub>4</sub>-N' u 660 nm' de (Kandeler ve Gerber, 1988), NO<sub>3</sub>-N' u ise UV-absorbsiyon ile 210 nm' de kolorimetrik olarak belirlenmiştir (Scharpf ve Wehrmann, 1976). Toprakların alınabilir Ca, Na ve K miktarları 1 N NH<sub>4</sub>OAc (pH 7) ile çalkalanarak elde

edilen süzüklerde alev fotometrede (Pratt, 1965), alınabilir Fe, Cu, ve Zn miktarları ise DTPA+CaCl<sub>2</sub>+TEA (pH 7.3) ile ekstrakte edilen topraklarda atomik absorpsiyon spektrofotometre kullanılarak saptanmıştır (Lindsay ve Norvell, 1978). Mikrobiyal biyokütle C ve N analizleri fumigasyon-ekstraksiyon yöntemi ile (Vance ve ark., 1987) belirlenmiştir. Araştırmada elde edilen sonuçların değerlendirmelerinde SPSS 12.0 istatistik paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmış, oluşan farklılıklar Duncan testine göre belirlenmiştir.

#### BULGULAR ve TARTIŞMA

##### Zeytin Karasu Uygulamalarının Toprağın C – Dinamiği Üzerine Etkisi

Zeytin karasu uygulamaları toprakların toplam organik-C (TOC) içeriklerini kontrole oranla %2 ila %15 arasında artırmıştır (Çizelge 3). En yüksek TOC içerikleri H2, H3, E3 ve İ3 uygulamalarında saptanmıştır. En düşük TOC içeriği ise kontrol toprakta ortaya çıkmıştır. Karasu uygulamaları toprağın labil C kaynakları olan mikrobiyal biyokütle-C (MB-C) ve çözünbilir-C (ÇÖZ-C) miktarlarını da istatistiki anlamda etkilemiştir. En yüksek MB-C miktarları en düşük karasu uygulamalarında (H1, E1 ve İ1), en düşük MB-C miktarı ise kontrol örnekte saptanmıştır. Karasu dozlarının artışına bağlı olarak MB-C miktarlarında bir azalma kaydedilmiştir. ÇÖZ-C miktarları incelendiğinde de H1, H2, E1 ve İ1 uygulamalarının en yüksek ÇÖZ-C miktarlarına sahip olduğu görülmektedir. En düşük ÇÖZ-C miktarları ise K, E3 ve İ3 uygulamalarında belirlenmiştir.

Labil C kaynaklarının, toplam organik karbona oranları da hesaplanmış ve sonuçlar yine Çizelge 3'de verilmiştir. En yüksek MB-C/TOC ve ÇÖZ-C/TOC oranları karasu uygulamalarının ilk dozlarında, en düşük oranlar ise kontrol ve en yüksek karasu uygulamalarında saptanmıştır. MB-C/TOC oranları %1.08 ila %1.62 arasında, ÇÖZ-C/TOC oranları ise %0.09 ila %0.19 arasında değişmiştir.

Araştırma sonuçları, zeytin karasu uygulamalarının toprağın TOC içeriğini artırdığını ortaya çıkarmıştır. Benzer sonuçlar bazı araştırmacılar tarafından da bulunmuştur (Piotrowska ve ark., 2006; Mekki ve ark.,

**Çizelge 3.** Karasu uygulamalarının toplam organik-C (TOC), mikrobiyal biyokütle-C (MB-C) ve çözünebilir-C (ÇÖZ-C) ile MB-C/TOC ve ÇÖZ-C/TOC oranları üzerine etkisi

| Uyg. | TOC<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | MB-C<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | ÇÖZ-C<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | MB-C/TOC<br>(%) | ÇÖZ-C/TOC<br>(%) |
|------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|
| K    | 10.8 c*                      | 128 d*                         | 10.3 b*                         | 1.18 d*         | 0.09 c*          |
| H1   | 11.7 b                       | 186 a                          | 21.8 a                          | 1.59 a          | 0.19 a           |
| H2   | 12.0 a                       | 153 b                          | 20.4 a                          | 1.27 c          | 0.17 ab          |
| H3   | 12.5 a                       | 135 c                          | 16.1 ab                         | 1.08 d          | 0.13 b           |
| E1   | 11.6 b                       | 172 a                          | 18.3 a                          | 1.48 ab         | 0.16 a           |
| E2   | 11.8 b                       | 165 b                          | 12.5 ab                         | 1.39 b          | 0.11 b           |
| E3   | 12.2 a                       | 142 bc                         | 10.5 b                          | 1.16 d          | 0.09 c           |
| i1   | 11.2 b                       | 182 a                          | 19.3 a                          | 1.62 a          | 0.17 a           |
| i2   | 11.6 b                       | 169 b                          | 14.2 ab                         | 1.45 ab         | 0.12 b           |
| i3   | 12.2 a                       | 139 c                          | 10.6 b                          | 1.13 d          | 0.09 c           |

\*: Uygulamalar arasındaki farklar %1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur

2006). Artan uygulama miktarına bağlı olarak toprağa giren organik C miktarının arttığı anlaşılmaktadır. Daha fazla TOC içeriğine sahip olan ham karasu uygulamaları genelde toprakta da daha fazla TOC artışına neden olmuştur. Bununla beraber bu durum MB-C miktarlarına yansımamış ve en yüksek MB-C miktarları en düşük karasu uygulamalarında ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar, söz konusu uygulamalarda mikroorganizmaların daha yüksek bir aktiviteye sahip olduğu ve organik madde ile labil organik karbonun daha fazla dekompozisyona uğradığını göstermektedir. Benzer sonuçlar Demisie ve ark. (2014) tarafından da bulunmuş ve uygulanan biyokömür miktarlarının artışına bağlı olarak topraktaki TOC miktarlarının artmasına karşılık, en yüksek MB-C değerlerinin en düşük biyokömür uygulamalarında ortaya çıktığını saptamışlardır. MB-C dışında toprağın diğer bir labil fraksiyonu olan ÇÖZ-C, toprak mikroorganizmalarının ana enerji kaynağıdır (Huang ve Song, 2010). Bu parametreye ait sonuçlar da MB-C miktarlarına paralellik göstermiş ve en düşük karasu dozlarında daha yüksek ÇÖZ-C konsantrasyonları saptanmıştır. Toprak organik maddesinin labil fraksiyonlarını oluşturan MB-C ve ÇÖZ-C, kolaylıkla

**Çizelge 4.** Karasu uygulamalarının toplam N (TON), mikrobiyal biyokütle-N (MB-N) ve inorganik-N (iNOR-N) ile MB-N/TON ve iNOR-N/TON oranları üzerine etkisi

| Uyg. | TON<br>(g kg <sup>-1</sup> ) | MB-N<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | iNOR-N<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | MB-N/TON<br>(%) | iNOR-N/TON<br>(%) |
|------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------|
| K    | 1.31 c*                      | 66 b*                          | 5.19 a*                          | 5.03 b*         | 0.39 a*           |
| H1   | 1.34 bc                      | 141 a                          | 4.18 b                           | 10.52 a         | 0.31 b            |
| H2   | 1.38 b                       | 132 a                          | 4.37 b                           | 9.56 a          | 0.32 b            |
| H3   | 1.42 a                       | 75 ab                          | 4.83 ab                          | 5.28 b          | 0.34 ab           |
| E1   | 1.35 bc                      | 128 a                          | 4.12 b                           | 9.48 a          | 0.30 b            |
| E2   | 1.37 b                       | 123 a                          | 4.20 b                           | 8.97 a          | 0.31 b            |
| E3   | 1.39 b                       | 84 b                           | 4.22 b                           | 6.04 b          | 0.30 b            |
| i1   | 1.37 b                       | 115 a                          | 3.83 c                           | 8.39 a          | 0.28 b            |
| i2   | 1.37 b                       | 75 ab                          | 4.04 bc                          | 6.47 ab         | 0.29 b            |
| i3   | 1.39 b                       | 83 ab                          | 4.21 b                           | 5.97 b          | 0.30 b            |

\*: Uygulamalar arasındaki farklar %1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur

mineralize olabilir C havuzlarıdır ve toprağın toplam C-havuzundaki değişimlere hızlı tepki gösteren önemli indikatör C parametreleridir (Haynes, 2000). Bu labil C miktarlarının, toprağın toplam organik C içeriğindeki oranları da önemli olup topraklardaki C döngüsünün ve organik substratların kalitesi ve yarıyışlılığının göstergesidirler. Bu oranların daha yüksek olduğu H1, E1 ve i1 uygulamalarında (50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), karasu ile toprağa giren organik maddenin hızlı bir şekilde ayrıştığı, daha düşük oranlara sahip 100 ve 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> karasu uygulamalarında ise organik C havuzunun genişlediği belirlenmiştir. Böhme ve Böhme (2006)'e göre topraktaki organik materyallerin ayrışabilirliği ile bu oranın artışı arasında bir paralellik vardır. Buna göre araştırmada toprağa uygulanan karasu miktarı arttıkça, ayrışabilirliğinin azaldığı ve toprakta C-birikiminin meydana geldiği anlaşılmaktadır.

#### **Zeytin Karasu Uygulamalarının Toprağın N – Dinamiği Üzerine Etkisi**

Zeytin karasu uygulamaları toprakların toplam azot (TON) içeriklerini kontrole oranla %2 ila %8 arasında artırmıştır (Çizelge 4). En yüksek TON içeriği H3, en

düşük TON içeriği ise kontrol uygulamasında ortaya çıkmıştır. Zeytin karasu uygulamaları toprağın labil N kaynakları olan mikrobiyal biyokütle-N (MB-N) ve inorganik N (İNOR-N) miktarlarını da istatistiki anlamda etkilemiştir. En yüksek MB-N miktarları genelde 50 ve 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> uygulamalarında (H1, H2, E1, E2 ve İ1), en düşük MB-N miktarları ise kontrol ve E3 uygulamalarında saptanmıştır. 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> karasu uygulamasında MB-N miktarlarında bir azalma kaydedilmiştir. İnorganik N miktarları (İNOR-N) incelendiğinde ise kontrol toprağın en yüksek İNOR-N miktarlarına sahip olduğu ve karasu uygulamaları ile İNOR-N miktarlarının azaldığı görülmüştür. Labil N kaynaklarının, toplam azota oranları da hesaplanmış ve sonuçlar yine Çizelge 4'de verilmiştir. En yüksek MB-N/TON oranları karasu uygulamalarının 1. ve 2. dozlarında, en düşük oranlar ise kontrol ve en yüksek karasu uygulamalarında saptanmıştır. MB-N/TON oranları %5.03 ile %10.52 arasında değişmiştir. İNOR-N/TON oranlarında ise durum tamamen farklı çıkmıştır. En yüksek İNOR-N/TON oranları kontrol ve H3 uygulamalarında çıkarken diğer uygulamalar aynı istatistiki grup içerisinde yer almışlardır. Toprakların İNOR-N/TON oranları %0.28 ile %0.39 arasında yer almıştır.

Zeytin karasu uygulamaları ile toprakların TON içeriği kontrole oranla artmıştır. Fakat arıtılan karasuların toprağın azot kapsamı üzerine etkisi daha az olmuştur. Bunun nedeni arıtma ile azotun büyük bir kısmının giderilmesi olmasından kaynaklanmıştır. Toprağın toplam azot bütçesine en büyük katkıyı %8 ile H3 uygulaması yapmıştır. Piotrowska ve ark. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada ise 80 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> düzeyinde toprağa verilen defenolize karasuyun toprağın TON içeriğini kontrole oranla 1.4 kat daha fazla artırdığı saptanmıştır. Toprağın azot bilançosundaki artış toprak mikroorganizmalarını da uyarılmış ve MB-C sonuçlarına benzer şekilde MB-N miktarı da uygulamalardan etkilenmiştir. Bu parametre de düşük karasu uygulamalarında daha yüksek değerlere sahip olmuştur. Karasuyun 50 ve 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> uygulamalarının topraktaki mikrobiyal biyokütleyi ve buna bağlı olarak bu hücrelerdeki C ve N miktarlarını da artırdığı anlaşılmaktadır. Düşük karasu dozlarındaki mikrobiyal biyokütlenin artışı, bu toprakların diğerlerine oranla daha yüksek olan MB-C/TOC ve MB-N/TON oranları da teyit etmektedir (Çizelge 3 ve 4). Bu oranlar, toprakta herhangi bir müdahaleden sonra mikrobiyal biyokütle ve biyokimyasal aktivitelerde meydana gelen değişimlerin önemli göstergeleridir. Bir toprağı sağlıklı veya sağlıklı olarak nitelendirebilmek için referans değerler olmamasına karşın, yüksek MB-C/TOC ve MB-N/TON oranları, topraktaki mikroorganizmaların çoğunun iyi koşullar altında yaşadığını göstermektedir. Genellikle bu oranlar ne kadar düşük olursa, organik maddenin mineralize olma eğilimi de daha düşük olur (Sparling, 1992).

Karasu uygulanan topraklarda kontrol toprağa oranla TOC, TON, ÇÖZ-C, MB-C ve MB-N miktarları artmasına karşın, İNOR-N miktarları azalmıştır. Bu durum, yüksek C/N oranlarından dolayı (Çizelge 1)

karasu uygulaması ile toprakta N-immobilizasyonun meydana geldiğini ve toprağın inorganik azot havuzunun küçüldüğünü göstermektedir. C/N oranı 25'in üzerinde olan organik materyallerin toprakta ayrışabilmeleri için ihtiyaç duyulan azot, topraktaki inorganik N kaynaklarından karşılanmaktadır (Robertson ve Groffman, 2007). Karasu uygulanan topraklarda N-immobilizasyonunun meydana geldiği, bu topraklarda kontrole oranla daha düşük İNOR-N/TON oranlarının ortaya çıkmasından da anlaşılmaktadır (Çizelge 4). Ayrıca artan karasu dozlarına bağlı olarak İNOR-N miktarlarının da artmasının nedeni, azalan organik madde ayrışmasından dolayı havuzdan daha az inorganik azotun kullanılmasıdır. Yüksek karasu düzeylerinde topraktaki İNOR-N miktarının azalmasının bir diğer nedeni de, yüksek miktarda çözünebilir organik C içeren atıkların mineralizasyonu sırasında önemli miktarda CO<sub>2</sub>'in açığa çıkmasına bağlı olarak O<sub>2</sub> konsantrasyonunun azalmasıdır. Bu da ortaya çıkan indirgen koşullar nedeniyle nitrifikasyonun azalmasına neden olabilmektedir (Bernal ve ark., 1998).

### **Zeytin Karasu Uygulamalarının Toprağın Bazı Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi**

Zeytin karasu uygulamalarının toprağın pH'sı, elektriksel iletkenliği (EC) ve bazı bitki besin maddelerinin alınabilir miktarları üzerine etkisi Çizelge 5'de verilmiştir.

Araştırma topraklarının pH değerleri 7.06 ile 7.35 arasında değişiklik göstermiştir. Sadece H2 ve H3 uygulamalarında kontrole oranla daha yüksek pH değerleri saptanmış, tüm E ve İ uygulamalarında ise toprakların pH değerleri kontrol toprağınki ile aynı istatistiki grupta yer almıştır. Oldukça yüksek pH'ya (10.51) sahip olan ekonomik arıtılmış karasu, toprakların pH'sını yükseltmemiş, orta asit ve kuvvetli asit reaksiyondaki ham ve ileri arıtılmış karasu ise topraktaki karbonat alkaliliği tarafından nötralize edilerek toprak pH'sını düşürememiştir. Mechri ve ark.' da (2007) ortalama 5.5 pH'ya sahip zeytin karasu uygulaması ile toprakların pH'sının azalmamasını bu nedene bağlamışlardır. Sonuç olarak zeytin karasu uygulamalarının toprakların pH'sında meydana getirdiği hafif derecedeki değişimler, tüm toprakların pH derecelendirmesini değiştirmemiş ve kontrol dahil tüm topraklar nötr reaksiyonlu topraklar sınıfına girmişlerdir. Araştırma topraklarının EC değerleri 0.621 dS m<sup>-1</sup> ile 0.830 dS m<sup>-1</sup> arasında değişiklik göstermiştir. Karasu uygulamaları toprakların EC değerlerini kontrole oranla artırmıştır. En yüksek EC değerleri en yüksek karasu uygulamalarında (H3, E3 ve İ3) belirlenmiştir. Zeytin karasu uygulamalarından sonra toprak EC'sinde meydana gelen artışlar genellikle zeytin karasuyundaki yüksek tuz konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır. Mechri ve ark. (2007) söz konusu tuzluluğun kaynağının, zeytin karasuyunun temel iyonları olan Na<sup>+</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> olduğunu ileri sürmüşlerdir. Toprakların elektriksel iletkenlik değerlerinde karasu uygulamalarından sonra hafif bir artış

**Çizelge 5.** Zeytin karasu uygulamalarının toprağın pH'sı, elektriksel iletkenliği (EC) ve bazı bitki besin maddelerinin alınabilir miktarları üzerine etkisi

| Uyg. | pH      | EC (dS m <sup>-1</sup> ) | (mg kg <sup>-1</sup> ) |        |         |       |        |         |         |
|------|---------|--------------------------|------------------------|--------|---------|-------|--------|---------|---------|
|      |         |                          | P                      | K      | Ca      | Na    | Zn     | Fe      | Cu      |
| K    | 7.16 b* | 0.621 b*                 | 18.7 b*                | 533 d* | 2390 a* | 17 c* | 2.2 b* | 2.4 ab* | 0.68 b* |
| H1   | 7.17 b  | 0.713 ab                 | 21.9 ab                | 567 c  | 2058 b  | 19 bc | 2.1 b  | 2.9 ab  | 0.86 ab |
| H2   | 7.35 a  | 0.717 ab                 | 24.8 a                 | 627 b  | 2124 ab | 23 ab | 1.9 b  | 2.6 ab  | 0.78 ab |
| H3   | 7.25 ab | 0.822 a                  | 25.1 a                 | 722 a  | 2240 ab | 29 a  | 1.7 b  | 1.9 b   | 0.64 b  |
| E1   | 7.06 b  | 0.759 ab                 | 21.1 ab                | 578 c  | 2385 a  | 23 ab | 2.1 b  | 3.6 a   | 0.94 a  |
| E2   | 7.14 b  | 0.805 ab                 | 21.6 ab                | 644 b  | 2556 a  | 28 a  | 2.1 b  | 3.0 ab  | 0.87 ab |
| E3   | 7.12 b  | 0.822 a                  | 22.2 ab                | 710 a  | 2458 a  | 33 a  | 2.0 b  | 3.0 ab  | 0.84 ab |
| i1   | 7.08 b  | 0.704 ab                 | 20.2 ab                | 590 c  | 2423 a  | 21 b  | 2.7 ab | 2.9 ab  | 0.80 ab |
| i2   | 7.15 b  | 0.767ab                  | 20.1 ab                | 658 b  | 2307 a  | 30 a  | 3.4 a  | 3.4 ab  | 0.82 ab |
| i3   | 7.16 b  | 0.830 a                  | 20.3 ab                | 705 a  | 2323 a  | 37 a  | 3.8 a  | 3.1 ab  | 0.84 ab |

\*: Uygulamalar arasındaki farklar %1 seviyesinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur

saptansa da bu artış topraklarda herhangi bir tuzluluk tehlikesine yol açmamıştır.

Zeytin karasu uygulamaları, topraktaki alınabilir bitki besin maddelerinin birçoğu üzerinde de istatistik anlamda önemli değişikliklere neden olmuştur. En yüksek alınabilir P miktarları H2 ve H3, en yüksek alınabilir K miktarları ise H3, E3 ve i3 uygulamalarında belirlenmiştir. Ham karasuyun artırılmış karasulara oranla daha fazla olan toplam P içeriği, toprakların P miktarını da etkilemiş ve orta (100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) ve yüksek düzeyde (150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) ham karasu uygulamasının yapıldığı topraklarda daha fazla alınabilir P miktarlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Piotrowska ve ark.' da (2011) 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> düzeyinde verdikleri ham karasuyun, kontrole oranla toprakların alınabilir P miktarlarını yaklaşık 2 kat artırdığını bildirmişlerdir. Diğer önemli bir bitki besin maddesi olan potasyum ise artan tüm karasu dozlarına bağlı olarak doğrusal bir artış göstermiştir. Zeytin karasuyu uygulaması ile toprağın alınabilir K içeriğindeki artışlar birçok araştırmacı tarafından da saptanmıştır (Mechri ve ark., 2007; Magdich ve ark., 2013; Gargouri ve ark., 2014). Toprakların alınabilir Ca kapsamı ham karasu uygulanmış topraklarda kontrole oranla bir miktar azalırken diğer uygulamalarda artmıştır. En yüksek karasu uygulamaları toprakların alınabilir Na içeriklerini artırmıştır. Özellikle alkali toprakların oluşmasında etkili bir element olan sodyumun yüksek karasu düzeylerinde toprakta biriktiği anlaşılmaktadır. Zeytin karasuyu uygulamalarına bağlı olarak topraklarda meydana gelen alınabilir Na artışları Belağziz ve ark. (2016) tarafından da bildirilmiştir. Magdich ve ark. (2013) 3 yıl üst üste 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> zeytin karasuyu uyguladıkları toprakta, 3. uygulamadan sonra kontrole oranla yaklaşık 3 kat daha fazla Na konsantrasyonu saptamışlardır. Bu çalışmada da kontrole oranla karasu uygulanmış topraklarda ortalama 1.9 kat daha fazla Na konsantrasyonunun saptanması, devamlı uygulamalarda topraklarda Na birikimi açısından bir sorun oluşabileceğini göstermektedir. Diğer besin elementlerin miktarlarında ise karasu uygulamalarına bağlı

olarak çok önemli değişiklikler ortaya çıkmamış, toprakların önemli bir kısmı kontrol ile aynı istatistiki grup içerisinde yer almıştır.

### SONUÇ

Araştırmada sonuç olarak, kumlu tın bünyeli bir toprağa uygulanan zeytin karasu uygulamalarının toprağın C ve N dinamiği ile ilgili bazı kimyasal ve biyolojik parametreleri istatistiki anlamda etkilediği anlaşılmıştır. Gerek artırılmış ve gerekse artırılmamış zeytin karasu uygulamaları toprağın TOC, TON, ÇÖZ-C, MB-C, ve MB-N miktarlarını artırmış fakat İNOR-N havuzunu küçültmüştür. Artırılmamış ham zeytin karasu uygulamalarının, toprakların TOC, TON ve yarıyışlı P içeriklerini artırılmış karasulara oranla daha fazla artırdığı saptanmıştır. Bu durum, arıtma ile karasuyun kimyasal özelliklerinin önemli bir şekilde değişmesinden ve özellikle C, N ve P miktarlarının azalmasından kaynaklanmıştır. Toprakların alınabilir K kapsamı ise tüm karasu uygulamaları ile önemli miktarda artmıştır. Zeytin karasu uygulamaları toprağın MB-C ve MB-N miktarlarını da artırmış fakat karasu dozlarının artışına bağlı olarak miktarlarında bir azalma kaydedilmiştir. En yüksek MB-C/TOC, ÇÖZ-C/TOC, ve MB-N/TON oranları karasu uygulamalarının ilk dozlarında, en yüksek İNOR-N/TON oranları ise kontrol ve H3 uygulamalarında saptanmıştır. Bu sonuçlar karasuyun 50 ve 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> uygulamalarında topraktaki mikrobiyal biyokütlenin arttığını fakat 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> karasu uygulamasında topraktaki C ve N-dinamiğinin olumsuz etkilendiğini ortaya çıkarmıştır. Yine bu düzeylerdeki karasuyun uzun süreli kullanımlarında toprakta Na birikimine neden olabileceği ve tuz miktarını artırılabilirliği düşünülmektedir. Bu çalışmada herhangi bir bitki yetiştirilmediği için, artırılmamış karasuyun yüksek fenol içeriğinin bu toprak koşullarında tohum çimlenmesi ve bitki gelişimi açısından nasıl bir etkisinin olacağı bilinmemektedir. Bu açıdan zeytin karasuyunun tarım alanlarında kullanımında fenol içeriğinin ve yüksek organik C yükünün düşürüldüğü artırılmış karasuyun

tercih edilmesi gerekmektedir. Zeytin karasuyu ile yapılan çalışmalar ülkemizde yeterli olmayıp farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip topraklar ve farklı bitkiler için çeşitli bakış açılarına sahip çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ancak bu şekilde bu tür atıkların çok yönlü etkileri ile birlikte değerlendirilerek tarım topraklarında kullanılması ile ilgili tavsiyeler geliştirilebilir.

#### KAYNAKLAR

Anonim (1978) Torf für Gartenbau und Landwirtschaft (DIN 11542).

Anonim (2015) Türkiye İstatistik Yıllığı. Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara.

Belaqziz M, El-Abbassi A, Lakhel EK, Agrafioti E, Galanakis CM (2016) Agronomic Application of Olive Mill Wastewater: Effects on Maize Production and Soil Properties. *Journal of Environmental Management* 171:158-165.

Bernal MP, Paredes C, Sanchez-Monedero MA, Cegarra J (1998) Maturity and Stability Parameters of Composts Prepared With a Wide Range of Organic Wastes. *Bioresource Technology* 63:91-99.

Black C A (1965) *Methods of Soil Analysis, Part 1-2.*, American Society of Agronomy, Inc., Publisher. Madison Wisconsin.

Böhme L, Böhme F (2006) Soil Microbiological and Biochemical Properties Affected by Plant Growth and Different Long-Term Fertilization. *European Journal of Soil Biology* 42:1-12.

Bouyoucos GJ (1962) A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of the Soils. *Agronomy Journal* 4(9): 419-434.

Bremner, JM (1965) Total Nitrogen. In: Black CA (ed), *Methods of Soil Analysis. Part-2*, American Society of Agronomy Inc, Publisher Madison, Wisconsin, 1149-1178.

Brunetti G, Senesi N, Plaza C (2007) Effects of Amendment With Treated and Untreated Olive Oil Mill Wastewaters on Soil Properties, Soil Humic Substances and Wheat Yield. *Geoderma* 138:144-152.

Demisie W, Liu Z, Zhang M (2014) Effect of Biochar on Carbon Fractions and Enzyme Activity of Red Soil. *Catena* 121:214-221.

FAO (2016) Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Web: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QD> Erişim Tarihi: 27.04.2018.

Gargouri K, Rouina BB, Mechichi T, Kallel M (2014) Effects of Olive Mill Wastewater on Soil Nutrients Availability. *International Journal of Interdisciplinary and Multidisciplinary Studies (IJIMS)* 2(1):175-183.

Haynes RJ (2000) Labile Organic Matter as an Indicator of Organic Matter Quality in Arable and Pastoral Soils in New Zealand. *Soil Biology & Biochemistry* 32:211- 219.

Hocaoğlu SM (2015) Zeytin Sektörü Atıklarının Yönetimi Projesi. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Nihai Rapor, 335.

Huang JY, Song, CC (2010) Effects of Land Use on Soil Water Soluble Organic C and Microbial Biomass C

Concentration in the Sanjiang Plain in Northeast China. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil Plant* 60:182-188.

Jackson ML (1967) *Soil Chemical Analysis*, Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.

Jones DL, Willett, VB (2006) Experimental Evaluation of Methods to Quantify Dissolved Organic Nitrogen (DON) and Dissolved Organic Carbon (DOC) in Soil. *Soil Biology & Biochemistry* 38(5):991-999.

Kandeler E, Gerber H (1988) Short-term Assay of Soil Urease Activity Using Colorimetric Determination of Ammonium. *Biology and Fertility of Soils* 6(1):68-72.

Lindsay WL, Norvell WA (1978) Development of a DTPA Soil Test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Soil Science Society of America Journal* 42(3):421-428.

Magdich S, Ahmed CB, Jarbou R, Rouina BB, Boukhris M, Ammar E (2013) Dose and Frequency Dependent Effects of Olive Mill Wastewater Treatment on the Chemical and Microbial Properties of Soil. *Chemosphere* 93(9):1896-1903.

Mechri B, Ben Mariem F, Baham M, Ben Elhadj S, Hammami M (2009) Change in Soil Properties and the Soil Microbiological Community Following Land Spreading of Olive Mill Wastewater Affects Olive Trees Key Physiological Parameters and the Abundance of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Soil Biology & Biochemistry* 40:152-161.

Mechri B, Echbili A, Issaoui M, Braham M, Elhadj SB, Hammamia M (2007) Short-term Effects in Soil Microbial Community Following Agronomic Application of Olive Mill Wastewaters in a Field of Olive Trees. *Applied Soil Ecology* 36:216-223.

Mekki A, Dhoubi A, Sayadi S (2006) Changes in Microbial and Soil Properties Following Amendment With Treated and Untreated Olive Mill Wastewater. *Microbiological Research* 161:93-101.

Moraetis D, Stamati FE, Nikolaidis NP, Kalogerakis N (2011) Olive Mill Wastewater Irrigation of Maize: Impacts on Soil and Groundwater. *Agricultural Water Management* 98(7):1125-1132.

Olsen SR, Sommers EL (1982) Phosphorus Soluble in Sodium Bicarbonate. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Properties, Part 2*, American Society of Agronomy, Madison, 404-430.

Piotrowska A, Iamarino G, Rao MA, Gianfreda L (2006) Short-term Effects of Olive Mill Waste Water (OMW) on Chemical and Biochemical Properties of a Semi-arid Mediterranean Soil. *Soil Biology & Biochemistry* 38:600-610.

Piotrowska A, Antonietta Rao M, Scotti R, Gianfreda L (2011) Changes in Soil Chemical and Biochemical Properties Following Amendment With Crude and Dephenolized Olive Mill Waste Water (OMW). *Geoderma* 161:8-17.

Pratt PF (1965) *Chemical and Microbiological Properties*. In: Black CA (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2* American Society of Agronomy, Inc. Pub. Agron. Series, No. 9 Madison, Wisconsin.

- Rauterberg E, Kremkus F (1951) Bestimmung Von Gesamthumus und Alkalilöslichen Humusstoffen im Boden. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 54(3):240-249.
- Robertson GP, Groffman, PM (2007) Nitrogen Transformations. In: Paul EA (ed.), Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry, Burlington, Academic Press, Elsevier, 341-387.
- Scharpf HC, Wehrmann J (1976) Importance of Soil Mineral N Supply at the Start of the Growing Season for Assessing N Fertilizer Requirements of Winter Wheat. Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 32(1):100-114.
- Schlichting E, Blume HP (1966) Bodenkundliches Praktikum. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Sierra J, Martí E, Garau MA, Cruanas R (2007) Effects of the Agronomic Use of Olive Oil Mill Wastewater Field Experiment. Science of the Total Environment 378: 90–94.
- Sparling G (1992) Ratio of Microbial Biomass C to Soil Organic C as a Sensitive Indicator of Changes in Soil Organic Matter. Australian Journal of Soil Research 30:195-197.
- Tsagaraki E, Lazarides N, Petrotos KB (2007) Olive Mill Wastewater Treatment. In: Oreopoulou V, Russ W (Eds.), Utilization of By-products and Treatment of Waste in the Food Industry, LLC, NY, USA, Springer Science+Business Media, 132-157.
- Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS (1987) An Extraction Method for Measuring Soil Microbial Biomass C. Soil Biology & Biochemistry 19:703 – 707.
- Yay ASE, Oral HV, Onay TT, Yenigün O (2012) A Study on Olive Mill Wastewater Management in Turkey: A Questionnaire and Experimental Approach. Resources, Conservation and Recycling 60:64-71.