

Ham Kompost ve Ekstraksiyon İşlemine Tabi Tutulmuş Kompost Numunelerinin Karakterizasyonları ve Bitkiye Yararışlılıkları Açısından Karşılaştırılması

Emine ELMASLAR ÖZBAŞ^{1*}, Nilgün BALKAYA¹, Serkan EMİK²

¹ İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34320, İstanbul-TÜRKİYE

² İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Avcılar 34320, İstanbul-TÜRKİYE

*Corresponding author: elmaslar@istanbul.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, komposttan ağır metal giderimi için gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminin kompost yapısına ve bitki yetiştirme özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kompost numunelerinin (ham kompost, Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ karışımı ve melas hidrolizatıyla ekstrakte edilmiş kompost) çeşitli yöntemler ile karakterizasyonu yapılmış ve XRD, SEM ve IR analizleri ile yapısal incelemeleri gerçekleştirilmiştir. XRD ve FTIR analizleri ekstraksiyon deneyleri sonrasında kompost içerisinde kalan metal bileşiklerinin genellikle silikatlar formunda oldukları belirlenmiştir. SEM fotoğrafları incelendiğinde ham kompost numunesi ile çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri arasında morfolojik açıdan önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir. Bitkiye uygunluk deneylerinde melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinden iyi sonuç alınamamasının ortamdaki Ca fazlalığı ve P eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. En iyi gelişme 0,01 M Na₂EDTA ve 0,1 M Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost kullanıldığında, %25'lik kompost karışımı için %97 bitkiye uygunluk yüzdesi ile elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ karışımı ve melas hidrolizatıyla ekstraksiyon işleminin kompostun karakterizasyonunda önemli sayılabilecek değişikliklere neden olduğu ve bitkiye yararışlılığını da etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, ekstraksiyon, kompost, melas hidrolizatı, Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ karışımı.

The Comparison of Raw Compost and Extracted Compost Samples Depending on Characterization and Phytotoxicity

Abstract

In this study, the effect of extraction process on the compost structure and its plant growing characteristic was investigated. Compost samples (raw compost sample taken from compost production facility and compost samples extracted with Na₂EDTA and Na₂S₂O₅ mixture or molasses hydrolyzate) have been characterized and these samples structures were examined by XRD, SEM and IR analysis. The experiments of compliance with the plant (phytotoxicity experiments) have been conducted to determine the plant growing characteristic of the compost samples. When the results obtained from experimental studies were evaluated, it was determined that the best plant growing were achieved using 0.01 M Na₂EDTA-0.1 M Na₂S₂O₅ solution. The plant growing efficiency value was 97% for 25% compost:soil mixture. When the results obtained from studies were evaluated, it was determined that extraction processes caused both remarkable changes in compost characteristics and compliance with plant.

Keywords: Compost, extraction, heavy metal, molasses hydrolyzate, Na₂EDTA and Na₂S₂O₅ mixture

Özbaş EE, Balkaya N, Emik S (2011) Ham Kompost ve Ekstraksiyon İşlemine Tabi Tutulmuş Kompost Numunelerinin Karakterizasyonları ve Bitkiye Yararışlılıkları Açısından Karşılaştırılması . Ekoloji 20 (79): 45-56.

GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi, nüfusun ve buna bağlı olarak tüketimin artması nedeniyle günümüzde özellikle büyük şehirlerde kişi başına günlük olarak açığa çıkan katı atık miktarı da artmıştır. Türkiye'de yaygın olarak uygulanan katı atık bertaraf şekli

düzenli depolamadır. Ancak, nüfusun ve buna bağlı olarak şehirleşmenin artması nedeniyle düzenli depo sahası olarak kullanılabilecek alan miktarı özellikle düzensiz yapılaşmanın olduğu şehirlerde giderek azalmaktadır. Dünyanın birçok yerinde, benzer sebeplerle katı atıkların geri kazanımı önem

Geliş: 22.03.2010 / Kabul: 04.10.2010

kazanmıştır. Aynı zamanda atıkların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler uygulanarak dönüştürülmesi de yaygın bir uygulama haline gelmiştir. Atığın dönüştürülmesi genelde deponi kapasite ihtiyacının azaltılmasını da sağlamaktadır. Atığın dönüştürülmesi denince akla ilk olarak kompostlama işlemi gelmektedir (Pekşen ve Günay 2009, Achiba 2010, Yakupoğlu ve Pekşen 2011).

İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisinde ortaya çıkan katı atığın yaklaşık %10'luk kısmı, organik atıkların değerlendirilmesi amacıyla 2002 Mart ayından beri bir kompost tesisinde işlem görmektedir. Tesiste üretilen kompost ile ilgili başlıca sorunlar; üretilen kompost içerisinde bulunan cam kırıkları ve üretilen komposttaki ağır metal muhtevasının sınır değerlerin üzerine çıkmasıdır.

Kompost birçok ülkede tarım toprakları için etkili bir organik şartlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Kompost yüksek miktarda kararlı organik madde içermesinden ve nütrientlerin varlığından dolayı tercih edilmektedir. Kompost bu olumlu özelliklerinin yanında, çeşitli inorganik ve organik kirleticiler de içerebilmektedir (Pinamonti ve ark. 1997, Ciba ve ark. 2003, Veecken ve Hamelers 2003). Özellikle komposttaki ağır metal miktarlarının tarımsal kullanımını sınırlayıcı önemli bir faktör olduğu birçok çalışmada belirtilmiştir (Hseu 2004, Smith 2009). Kullanılan kompostun çevredeki ağır metal seviyelerine etkisinin toprağın tipine, bitki türlerine ve kompost kalitesine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda, kompost kullanımında kompostun ağır metal içeriğine bağlı olarak toprakta ve bitkide Zn, Mn, Cu ve Pb miktarlarının önemli ölçüde arttığı, Cd, Ni ve Cr gibi diğer ağır metallerin ise daha az da olsa arttığı gözlenmiştir (Pinamonti ve ark. 1997, Pichtel ve Anderson 1997, Walker ve ark. 2004, Smith 2009). Toprağın kompost ile şartlandırılmasının topraktaki Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin toplam konsantrasyonlarını arttırdığı görülmüştür (Pichtel ve Anderson 1997). Bu nedenlerle Avrupa Birliği'ne bağlı birçok ülkede komposttaki ağır metaller için sınır değerleri (mg/kg kuru ağırlık bazında) verilmektedir. Tablo 1'de çeşitli ülkeler için kompost içerisindeki ağır metallerin maksimum kabul edilebilir değerleri (mg/kg-kuru kompost) sunulmuştur.

Pichtel ve Anderson (1997) tarafından yapılan çalışmada arıtma çamuru kompostu ve evsel atık kompostu ile şartlandırılmış topraklardaki metal

Tablo 1. Çeşitli ülkeler için kompost içindeki ağır metallerin maksimum kabul edilebilir değerleri (mg/kg-kuru kompost) (Anonymous 2010).

Ağır metal	Almanya	Belçika	Kanada	Fransa	İsveç
Cu	150	100	100	-	150
Zn	400	1000	500	-	500
Mo	-	-	5	-	5
Co	-	-	34	-	25
Cd	2	5	3	8	3
Ni	50	50	62	200	50
Pb	200	600	150	800	150
Hg	1	-	0.8	8	3
Cr	150	150	210	-	150
As	-	-	13	-	-
Se	-	-	2	-	-

aktivitesi incelenmiş ve metallerin biyolojik olarak alınabilirliğinin yulaf bitkisinin büyümesine etkisi gözlenmiştir. Kompost-toprak karışımındaki metallerin inkübasyondan sonra katı fazdaki kimyasal formları ardışık ekstraksiyon işlemi ile belirlenmiş ve metal fraksiyonlarının (kısımlarının) bitkiler tarafından alınabilirlik miktarları değerlendirilmiştir. Bitkilerin hasatından sonra toplanan toprak numunelerindeki Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn fraksiyonlarına ayrılmıştır. Sonuçta, toprağın kompost ile şartlandırılmasının topraktaki Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin toplam konsantrasyonlarını arttırdığı, fakat asıl artışın daha dayanıklı olan NaOH (sodyum hidroksit), EDTA (etilendiamin-tetraasetik asit) ve HNO₃ (nitrik asit) fraksiyonlarında olduğu görülmüştür. Yulaf bitkisine geçen metal konsantrasyonlarının tahmin edilmesinde, kısımlarına (fraksiyonlarına) ayırma prosedürünün toplam toprak metali içeriğinin kullanılmasından daha başarılı olduğu saptanmıştır (Pichtel ve Anderson 1997).

Pinamonti ve ark. (1997) tarafından yapılan çalışmalarda, kompost kullanımıyla toprakta ve bitkide Zn, Cu ve Pb miktarlarının önemli ölçüde arttığı, Cd, Ni ve Cr gibi diğer ağır metallerin daha az da olsa arttığı gözlenmiştir. Uzun süreli arıtma çamuru kullanımının da Zn, Cu, Pb, Ni ve Cd konsantrasyonlarını toprakta ve bitkide önemli miktarda arttırdığı belirlenmiştir.

Zorpas ve ark. (2000) tarafından yapılan çalışmada, kompostlaşma süreci esnasında doğal zeolitlerin çamurlaştırma (bulking) materyali olarak kullanılarak metallerin tutulabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ham çamura ve 150 gün sonunda kompostlaşan çamura ardışık ekstraksiyon süreci uygulanmış ve böylece ağır metal içeriği 5 kısımda tanımlanmıştır; değiştirilebilir (exchangeable),

karbonat, indirgenebilir (reducible), organik ve kalıntı (residual). Değiştirilebilir kısmın, suyun iyonik kompozisyonundaki değişikliklerden etkilendiği; karbonat kısmın, pH değişikliklerinden etkilendiği; indirgenebilir kısmın, demir ve mangan oksitler (termodinamik olarak anoksik şartlarda stabil olmayan)'den oluştuğu; organik kısmın, oksidasyon şartlarında çözünür metaller açığa çıkardığı; kalıntı kısmında, metallerin bunların kristal yapılarında tutulmuş olduğu belirtilmiştir. Kalıntı kısmında bulunan ağır metallerin büyük bir kısmının zeolit tarafından tutulamadığı görülmüştür. Bu kısım inert form olarak düşünülmüştür. Sonuçta eklenen zeolit miktarının elde edilen kompostun toplam fosfor ve TKN (Toplam Kjelhdahl Azotu) miktarını etkilemediği görülmüştür. Zeolit miktarının artması, bütün ağır metal konsantrasyonlarını azaltırken sodyum ve potasyum miktarlarının artmasına neden olmuştur. Maksimum metal tutulması Cd için %100, Cu için %28-45, Cr için %10-15, Fe için %41-47, Mn için %9-24, Ni ve Pb için %50-55 ve Zn için %40-46 olarak belirlenmiştir. Klinoptilolit daha kolay bir şekilde değiştirilebilir ve karbonat kısımlarındaki metalleri tutabileceği belirtilmiştir (Zorpas ve ark. 2000).

Zorpas ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada kompostun, N, P ve K gibi ana bitki besinlerini içermesi, Cu, Fe ve Zn gibi mikro bitki nütrientlerini içermesi gibi özellikleri ve daha iyi toprak havalanması, daha iyi su tutma kapasitesi sağlaması gibi özelliklerinden dolayı bir toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Deneyler sırasında, başlangıçta klinoptilolit ve arıtma çamuru içindeki toplam ağır metal miktarları belirlenmiştir. Ağırlıkça %0-%25 oranında klinoptilolit ve arıtma çamuru karıştırılarak, partikül boyutu 0.160-4,0 mm arasında değişen kompost elde edilmiştir. Önce hangi karıştırma oranında en iyi verim sağlandığı araştırılmıştır. Ağırlıkça %25 zeolit eklenmesinin %12 Co, %27 Cu, %14 Cr, %30 Fe, %40 Zn, %55 Pb, %60 Ni giderimi sağladığı bulunmuştur. Daha sonra, farklı partikül boyutundaki klinoptilolitler ortama eklenerek ağır metal giderimi incelenmiştir. Partikül boyutu arttıkça, klinoptilolit tarafından tutulan ağır metal miktarının arttığı görülmüştür. Bu durumun yüzey tozlarının gözenekleri tıkanmasından ve küçük partiküllerde öğütmeden kaynaklanan yüzeysel hasardan kaynaklandığı düşünülmüştür (Zorpas ve ark. 2002).

Hollanda'da yapılan bir çalışmada da (Veeken ve Hamelers 2003), toprağa sık sık kompost uygulanmasının toprakta ağır metal birikimine yol açtığı vurgulanmıştır. Bu nedenle kompostun faydalı kullanımı için kompostun ağır metal içeriğinin sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Kompostlaştırma işlemi esnasında biyoatık içerisinde bulunan ağır metallerin kompostun yapısında biriktiği belirlenmiştir. Bu nedenle kompostlaştırmadan önce biyoatığın ağır metal içeriğinin azaltılması yoluna gidilmesi önerilmiştir. Ağır metallerin katı organik atıklardan uzaklaştırılması için iki yaklaşım olabileceği belirtilmiştir. Bu yöntemler fiziksel ayırma ve kimyasal ekstraksiyon'dur. Bu amaçla çalışmada öncelikle biyoatığın partikül boyutu ve partikül yoğunluğuna göre ağır metallerin (Cd, Cu, Pb ve Zn) dağılımı belirlenmiş, daha sonra seçici kimyasal maddeler kullanılarak çeşitli fraksiyonlar için ağır metallerin kimyasal formları ekstraksiyon işlemi ile belirlenmiştir. Biyoatığın kütleye %40'ının 1 mm'den büyük boyuta sahip olduğu ve bu değer kompostlaştırma sonrası kompostta istenen partikül boyutu olduğu belirtilmiştir. Biyoatığın %28'inin kumdan oluştuğu görülmüştür ve bu kısmın ağır metal içeriğinin çok az olduğu söylenmiştir. 0,05-1 mm boyutundaki parçacıklarda ve 0,05 mm'den küçük organomineral kısımda ise ağır metallerin yoğun bir şekilde bulunduğu belirlenmiştir. Yapılan ardışık kimyasal ekstraksiyonlar sonrası, sitrik asidin katı organik atıktan ağır metallerin giderilmesi için en uygun seçenek olduğu görülmüştür.

Hseu (2004) tarafından yapılan çalışmada, kompostların ağır metal içeriğini belirlemek için kullanılacak en uygun parçalama yöntemi belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı kaynaklardan alınan dokuz farklı kompost (domuz gübresi, kümes hayvanı atığı, yiyecek atığı, şehir kanalizasyon çamuru, soya fasulyesi atığı, ağaç artıkları, vücut kemiği tozu, balık kılçığı atığı ve guano) numunesi içindeki Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn miktarları 4 farklı parçalama yöntemiyle belirlenmiştir. Bu parçalama yöntemleri nitrik asit, kuru yakma, nitrik-perklorik asit ve sülfürik asit yöntemleridir. Analitik sonuçlar, nitrik asit ile muamele etmenin Cd, Mn ve Ni'nin kompost numunelerinden geri kazanılmasında en etkili yöntem olduğunu, sülfürik asit ile muamele etme işleminin ise en düşük Pb gideriminin sağlandığı yöntem olduğunu göstermiştir. Nitrik asidin kullanımı, maliyet ve zaman açısından da tavsiye

edilmektedir. Nitrik-perklorik asit kullanımı ise perklorik asitin parçalama esnasında tehlikeli olması ve göreceli olarak daha az ağır metalin geri kazanımını sağlaması nedeniyle tavsiye edilmemektedir.

Herwijken ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada, klinoptilolit veya bentonit ilave edilmiş olan iki kompost örneği kullanılarak (yeşil atık "green waste" ve evsel arıtma çamurundan elde edilmiş iki farklı kompost) toprakta metal kirliliğinin önlenebilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, kil mineralleri, zeolit gibi maddeler eklenerek kompostun şartlandırılmasıyla ilgili literatürde pek çok çalışma bulunduğu belirtilmiştir. Ancak şartlandırılmış kompostun eklenmesi başlangıçta bitki büyümesini arttırmasına (topraktaki nutrient miktarlarını arttırarak ve metallerin hareketliliğini azaltarak) rağmen, komposttaki organik maddelerin bozulmaya başlamasıyla birlikte kompostun şartlandırılmasında kullanılan maddeler tarafından adsorbe edilmiş olan metallerin serbest hale geçtiği ve bitkiler tarafından alınabilecek hale geldiği belirtilmiştir. Çalışmada, yüksek veya düşük seviyede metal kirliliği bulunan topraklara, farklı miktarlarda mineral eklenmiş kompostlar ilave edilerek *Lolium perenne* L. bitkisinin gelişimi ve bünyesinde metal birikimi incelenmiştir. Yeşil atıktan elde edilen kompost Cd ve Zn salınımını %48 azaltırken, evsel arıtma çamurundan elde edilen kompostun Zn konsantrasyonunu iki kat arttırdığı görülmüştür. Fakat, bitkiye geçen metal konsantrasyonlarına bakıldığında, evsel arıtma çamurundan elde edilen kompostun kullanılmasının bitkideki Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonlarını %80 azalttığı belirlenmiştir. Sonuçlara bakıldığında metallerin hareketsiz hale getirilmesinin ve bitkiler tarafından alınabilirliğinin, metaller ve organik kısım arasındaki komplekslerin yapısına bağlı olduğu ve minerallerle kompostun şartlandırılmasının çok sınırlı bir etkisinin olduğu belirtilmiştir.

Núñez ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada, PBET (physiologically extraction test) adı verilen bir ekstraksiyon yöntemi ile komposttaki ağır metallerin hayvanlara ve insanlara doğrudan oluşturacağı risk tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu test ile mide ortamının bir simülasyonu yapılmıştır. Bunun için pepsin, sitrik asit, asetik asit ve malik asidin pH 2 tamponu içerisinde çözeltisi hazırlanmış, bu çözelti ile katı:sıvı oranı 1:100 g/mL olmak

üzere 37°C'de kompost numunesi 1 saat ekstraksiyon işlemine maruz tutulmuştur. Sonuçta PBET yöntemi ile ağır metallerin ekstrakte edilebilirliklerinin sırasıyla $Zn > Cd > Pb > Cu = Ni > Cr$ olduğu görülmüştür.

Casado-Vela ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada; 3 farklı miktarda kompost (3, 6, 9 kg kompost/m² arıtma çamuru kompostu) uygulaması yapılarak kalkerli toprakta yeşil biber bitkisinin yetişmesine kompost ilavesinin etkisi incelenmiştir. Deneylerde, bitkiler açık havada ve serada olmak üzere iki farklı ortamda yetiştirilmişlerdir. 9 kg kompost/m² uygulamasının toprakta olumsuz etkilere (tuzlanma, elektrik iletkenliğinde artış ve ağır metallerde artış) neden olduğu belirlenmiştir. 6 kg kompost/m² uygulamasında ise bitki gelişiminin oldukça iyi olduğu görülmüştür. Sada büyüyen bitkilerin meyvelerinin, açık havada büyüyenlere oranla %60 daha fazla kütleye sahip oldukları belirlenmiştir.

Bu çalışmada, komposttaki (evsel atık kompostu) ağır metal içeriklerinin azaltılması için Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ karışımı, ve melas hidrolizati olmak üzere iki farklı çözelti kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyon işleminin kompostun yapısına ve bitki yetiştirme özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ karışımı, ve melas hidrolizati ile ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilen kompost numuneleri ile ham (işlem görmemiş) kompost numunelerinin toplam organik karbon (TOK), toplam kjeldahl azotu (TKN), pH gibi analizler ile karakterizasyonu yapılmıştır. Kompost numuneleri; taramalı elektron mikroskopu (SEM), X-ışını kırınım (X-Ray Diffraction, XRD) spektrometresi, FTIR (Fourier Transform Infrared Spektrophotometer) spektrofotometresi ile de incelenmiştir. Ham kompost ve ekstraksiyon işlemi uygulanmış (Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ karışımı, veya melas hidrolizati çözeltileri ile) kompost numuneleri ile bitkiye uygunluk deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Bitkiye uygunluk (fitotoksosite) deneyleri ile kompost numunelerinin bitkiye yararlılığının incelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada İstanbul Katı Atık Geri Kazanma ve Kompostlaştırma Tesisinde üretilen kompost (ham kompost) ile bu numunenin ağır metal giderimi için Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ karışımı ve melas hidrolizatiyle ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuş olan formu kullanılmıştır.

Kompost Numunelerinin Karakterizasyonun Belirlenmesi

Kompost numunelerinin pH'sının belirlenmesi için, numuneler üzerine 2/5 oranında (örneğin; 4 gram numune / 10 mL distile su) distile su eklenmiştir. 10 dakika magnetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra, pH metre (Jenway 3040 Ion Analyser) ile kompost numunesinin pH değeri ölçülmüştür. Kompostun nem içeriğinin belirlenmesi için, kompost numunesi etüvde 105°C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutma işleminden önce ve kurutma işleminden sonra kompost numunelerinin tartımı alınmış ve aşağıdaki formülden yararlanılarak nem içeriği hesaplanmıştır (Kubatoğlu 1994, Erdin 2010):

$$\%Nem = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100 \quad (1)$$

Burada;

M₁: Kurutulmadan önce kompostun ağırlığı (gram)

M₂: Kurutulduktan sonra kompostun ağırlığı (gram)'dır.

Kompost numuneleri içerisindeki ağır metal miktarlarının (Cu, Ni, Zn, Pb, Zn, Cd) ve bazı elementlerin (Ca, Na, Mg, K, P) tayini için, elenmiş taze kompost numunesi 105°C'de kurutulmuş ve 0.25 mm dane boyutuna öğütülmüştür. Öğütülmüş kompost örneğinden yaklaşık 1-2 gr tartılarak erlene alınmıştır. Numunenin üzerine 10 mL 1:1 (v/v) su ile nitrik asit ilave edilerek parçalama işlemi yapılmıştır. Numune soğutulmuş 5 mL hidrojen peroksit ilavesi sonrasında, 5 mL derişik hidroklorik asit ve 5 mL su ilavesi yapılarak tekrar ısıtılmıştır. Numune soğuduktan sonra damıtık su ile seyreltilerek, 0,45 µm membran filtreden süzülen çözeltide ICP-MS (Inductively Coupled Plasma- Mass Spektrometresi) cihazı kullanılarak element okumaları yapılmıştır (Kubatoğlu 1994, Anonymous 1995). ICP-MS ölçümleri, İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarı (İAL)'nda yaptırılmıştır. Numunedeki ağır metallerin ve diğer elementlerin (Ca, Na, Mg, K, P) miktarları (M), mg/kg (kuru ağırlık) olarak aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır:

$$M = (C \times V) / m \quad (2)$$

Bu denklemde;

C: Element konsantrasyonu (mg/L),

V: Numunenin son hacmi (L)

m: Numunenin kütlesi (kg)'dır.

Kompost numuneleri içerisindeki C, H, N, S yüzde (%)'leri, İstanbul Üniversitesi İleri Analizler

Laboratuvarı (İAL)'nda belirlenmiştir. Kompost numunelerindeki Toplam Organik Karbon (TOK) miktarlarının tayini TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Kimya ve Çevre Enstitüsü'nde yaptırılmıştır.

Kompost numunelerindeki iletkenlik, orto fosfat (PO₄-P) ve TKN (toplam kjeldahl azotu) parametreleri ise, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Analiz Laboratuvarlarında tayin ettirilmiştir.

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile kompost numunelerinin (ham ve ekstraksiyon işleminden geçirilmiş kompost numunelerinin) fotoğrafları İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde çekirilmişdir. Kompost numuneleri içerisindeki ağır metal bileşiklerinin türleri, İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarında bulunan XRD spektrometresi yardımıyla belirlenmiştir. Fourier Transform Infrared Spektrophotometer (FTIR) ile kompost numunelerinin (ham ve ekstraksiyon işleminden geçirilmiş kompost numunelerinin) yapı incelemesi İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde yapılmıştır.

Komposttan Ağır Metal Ekstraksiyonu

Deneyisel çalışmalarda iç çapı 4.5 cm, yüksekliği 45 cm olan bir cam kolon kullanılmıştır. Kolonun alt kısmında 0,45 µm cam yünüden filtre bulunmaktadır. Sıvının kolon içerisinde uniform dağılımını sağlamak amacıyla kompostun üst kısmına 4 cm yüksekliğinde bir tabaka halinde çapı 5 mm olan cam boncuklar yerleştirilmiş, cam yünü filtrenin kompost ile temas edip tıkanmasını önlemek amacıyla da kompost tabakasının alt kısmına 3 cm yüksekliğinde bir tabaka halinde yine çapı 5 mm olan cam boncuklar yerleştirilmiştir. Ekstraksiyon çözeltilerinin (Na₂EDTA+Na₂S₂O₅ veya melas hidrolizati) uniform dağılımı için kolonun üst kısmında bir miktar sıvı yüksekliğinin olmasına dikkat edilmiştir. Alt kısmı musluklu olan kolona çözeltiler üstten Watson Marlow 505 DI marka peristaltik pompa ile beslenmiştir.

Kolondan çıkışında toplanan çözelti 0,45 µm membran filtre kullanılarak süzölmüştür. Kompost ile temas ettikten sonra da filtratın pH'ları ölçülmüştür. Filtrasyon işleminden sonra, ağır metal tayini için filtrata 1:1 (v/v) HNO₃ eklenmiş ve pH ≥ 2,0'ye ayarlanmıştır. Filtrat içindeki metal

konsantrasyonlarının, komposttan giderilen metal konsantrasyonlarına eşdeğer olduğu kabul edilmiştir.

0,01 M Na₂EDTA ve 0,1 M Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile yapılan deneylerde 1:15 g/mL katı:sıvı oranında 361 mL çözelti hacmi kullanıldığında 162 dakika temas süresinde çalışılmıştır. Melas hidrolizati ile yapılan deneylerde 1:12,5 g/mL katı: sıvı oranında 200 mL çözelti hacmi kullanıldığında 90 dakika temas süresinde çalışılmıştır.

Bitkiye Uygunluk Deneyleri

Bitkiye uygunluk deneylerinde kompost numunesi sıfır birim (0BT) toprakla; %25 ve %50 oranlarında (hacimsel olarak) karıştırılmış ve bu karışımlardan 500 mL'lik saksılara 400'er mL doldurulmuştur. Tere tohumu (*Lepidium sativum*) sıfır birim toprakla beraber, iki ayrı oranda hazırlanan kompost örneklerine ekilmiş ve saksılar seraya yerleştirilmiştir. 7-10 gün sonunda büyümüş olan tere bitkisi hasat edilerek tartılmıştır. İki ayrı kompost karışım oranına göre bitkiye uygunluk yüzdeleri denklem 3 kullanılarak belirlenmiştir (Kubatoğlu 1994).

$$TK(\%25;\%50) = [TK(\%25;\%50)/TK_{0BT}] \times 100 \quad (3)$$

Bu denklemde;

TK_(%25;%50): Bitkiye uygunluk yüzdesi (%)

TK_{%25}: %25'lik kompost karışımında yetişen taze tere otunun ağırlığı (gr)

TK_{%50}: %50'lik kompost karışımında yetişen taze tere otunun ağırlığı (gr)

TK_{0BT}: Sıfır birim toprakta yetişen taze tere otunun ağırlığı (gr) olarak tanımlanmıştır.

BULGULAR

Kompost numunelerindeki ağır metal miktarları (Tablo 2'deki değerler), komposttaki ağır metaller için maksimum kabul edilebilir değerler (Tablo 1) ile karşılaştırıldığında (karşılaştırmada en düşük limit değerlere sahip olduğu için Almanya standartları kullanılmıştır) deneylerde kullanılan kompost numunelerinden; Cu'nun %66, Ni'nin %40, Zn'nun %56 oranında giderilmesi gerektiği görülmüştür. Pb ve Cd miktarlarının sınır değerlerin altında kaldığı (Pb<200 mg/kg, Cd<2 mg/kg) görülmüştür. Bunun sonucu olarak ham kompostun toprakta kullanılamayacağı düşünülmüş ve ekstraksiyon işlemi ile komposttan bu metallerin giderilmesine karar verilmiştir.

Ekstraksiyon işleminden geçirilmiş kompostun bitkiye uygunluğu konusunda bilgi sağlayacağı düşüncesiyle, ham kompost ve Na₂EDTA ve

Na₂S₂O₅ karışımından oluşan çözelti, ve melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin elementel analiz, toplam organik karbon tayini, TKN, ortofosfat gibi parametreler incelenerek karakterizasyonu yapılmıştır. Bu analizlerle elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, 0,01 M Na₂EDTA ve 0,1 M Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi haricinde diğer örneklerde kükürte (S) rastlanmadığı görülmektedir. Her iki çözelti ile ekstrakte edilmiş numunelerde, ham numunelere göre ekstraksiyondan sonra komposttaki C, H, N %'lerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu durumun, kompost numunelerinin bu asidik çözeltiler ile ekstaksiyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde, C/N oranı büyük olan bir kompost toprağa verilirse mikroorganizmaların çoğalmaları için gerekli azotu topraktan alarak onu azot yönünden fakirleştirdiği, C/N oranı küçük ise fazla azot amonyak halinde kaybolduğundan toprakta azot yönünden yine fakirleşme ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca azotun bol bulunması halinde topraktaki azot bakterilerinin topraktan azotu alıp bağlayabilme niteliklerini kayb ettikleri ve fazla azotun bitkiler üzerinde olumsuz etki yaptığı belirtilmiştir (Erdin 2008). Ayrıca literatürde, olgun kompost için istenen C/N oranının 10-15 arasında olduğu ifade edilmiştir (Bernal ve ark. 1996, Turan 2003).

Tablo 1 incelendiğinde bütün kompost numunelerinde C/N oranının 10 civarında olduğu gözlenmiştir. Ortofosfat kolay çözünen, bu nedenle gübre olarak kullanılan bir maddedir. Organik fosfatlar ve poli fosfatlar parçalanıp orto fosfatlara dönüşmektedirler (Şengül ve Müezzinoğlu 2005). Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ ile ekstrakte edilmiş olan kompost örneğinde toplam fosfor değerinin çok değişmediği ancak orto fosfat miktarının arttığı ve 22,6 mg/L'den 29,5 mg/L'ye yükseldiği görülmüştür. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş olan numunede ise; toplam fosfat miktarı oldukça azalmış ve 0.007 mg/kg'dan 0.003 mg/kg'a düşmüş, buna karşın ortofosfat miktarı 22,6 mg/L'den 47 mg/L'ye yükselmiştir. Bu durumun asidik özellikteki ekstraksiyon çözeltileri ile kompostun işlem görmesi sırasında organik fosfatlar ve polifosfatların ortofosfatlara dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kompost numuneleri içerisindeki Ca miktarlarının her iki çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinde başlangıca göre azaldığı, özellikle

Tablo 2. Çalışmada kullanılan kompost numunelerinin karakterizasyonu.

Parametreler	Ham kompost numunesi	Na ₂ EDTA ve Na ₂ S ₂ O ₅ karışımı ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi	Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi
pH	8	6	2
Nem (%)	17		
C (%)	19.75	13.6	12.95
H (%)	2.485	2.105	2.14
N (%)	1.84	1.41	1.29
S (%)	-	0.12	-
C/N	10.73	9.64	10.04
C/N/P	100/9.31/0.35	100/10.36/0.6	100/9.95/0.2
İletkenlik (ms/cm)	4.61	5.12	6.31
TKN (%)	1.34	1.10	0.3
Toplam P (mg/kg KM)	0.007	0.0081	0.0026
Ortofosfat (PO ₄ -P) (mg/l)	22.6	29.5	47
Ca (mg/kg KM)	0.088	0.0848	0.0181
Na (mg/kg KM)	0.004	0.021	0.0045
Mg (mg/kg KM)	0.007	0.0068	0.0039
K (mg/kg KM)	0.015	0.0076	0.0155
TOK (mg/kg KM)	197012	170598	85547
Cu (mg/kg KM)	440±35.118	132	40
Ni (mg/kg KM)	83.22±3.927	80	6
Zn (mg/kg KM)	907.5±6.672	300	5
Pb (mg/kg KM)	151.8±15.394	75	57.6
Cd (mg/kg KM)	0.695±0.0945	-	-

KM: kuru madde

melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş numunede önemli miktarda düşüş gösterdiği belirlenmiştir. Ekstraksiyon öncesi kompost numunesinde 0.088 mg/kg olan Ca miktarının, Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinde 0.085 mg/kg'a, melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş olan numunede ise 0.018 mg/kg'a düştüğü görülmüştür. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesindeki Ca miktarındaki belirgin azalmanın, melas hidrolizatının pH'sının çok düşük olması ve bu asidik çözelti ile ekstraksiyon sonrasında kolay çözünür Ca tuzlarının ortamdan uzaklaşması sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir. Na değerlerinin, Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinde başlangıca göre oldukça arttığı gözlenmiştir. Ham kompost numunesinde Na miktarı 0.004 mg/kg iken, Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinde bu değer 0.021 mg/kg'a yükselmiştir. Bu durumun çözeltideki yüksek miktardaki sodyumdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesindeki Mg, K ve TOK değerlerinin başlangıca göre azaldıkları, melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinde ise Mg ve TOK değerlerindeki azalmanın Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost numunesindeki azalmaya göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Mg ve TOK değerlerindeki azalmanın, melas hidrolizatının

asitliğinin yüksek olmasıyla bu maddelerin yıkanıp kompostun yapısından uzaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş numunede Na miktarının başlangıca göre çok değişmediği görülmüştür.

Kompost İçerisindeki Ağır Metal Bileşikleri

Kompost numuneleri içerisindeki ağır metal bileşiklerinin türlerinin belirlenmesi için XRD spektrometresinde yapılan analizlerin sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Kompost numunelerinin XRD analizi sonuçları incelendiğinde, ham kompost numunesinde ağır metallerin indirgenebilir (reducible) oksitler ve karbonatlar formlarında oldukları ve ekstraksiyon yöntemi için uygun numuneler oldukları görülmüştür. Çözeltilerle yıkama sonrasında kompost içerisinde kalan metallerin genellikle silisyum oksitler formunda oldukları belirlenmiştir (Tablo 2). Silisyum oksitli bileşikler, "residual" olarak tanımlanan ve ekstraksiyon işlemi ile giderilemeyen metal formlarıdır (Peters 1999, Mulligan ve ark. 2001).

Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Analizleri

Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile ham kompost, Na₂EDTA ve Na₂S₂O₅ çözeltileri karışımı ve melas hidrolizati ile işlem görmüş kompost numunelerinin fotoğrafları çekilmiştir. SEM ile elde edilen görüntüler Şekil 1, 2, ve 3'de verilmiştir.

SEM fotoğrafları incelendiğinde, ham kompost numunesi ile çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri arasında morfolojik açıdan önemli bir fark olmadığı görülmektedir.

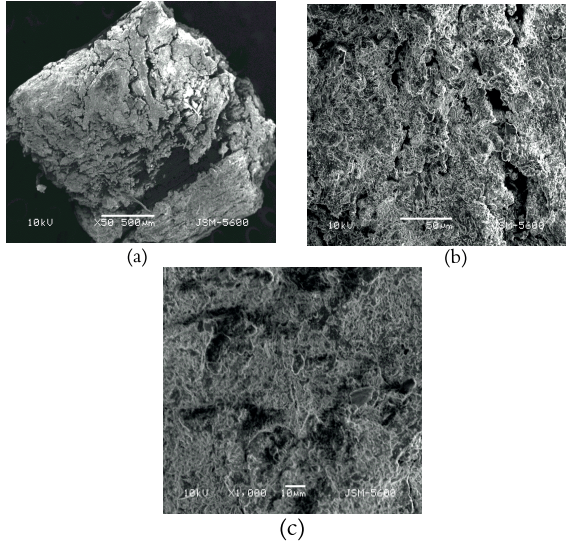
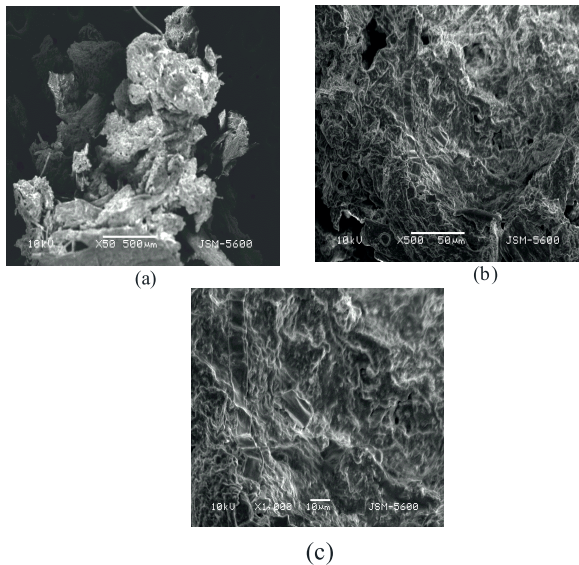
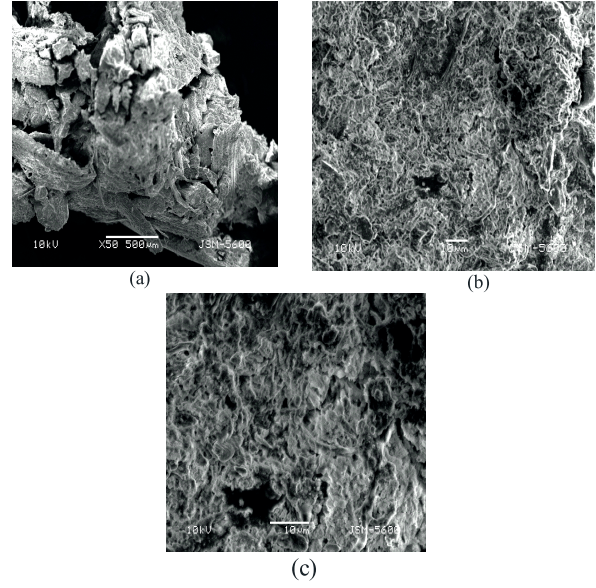
FTIR Sonuçlarının Değerlendirilmesi

FTIR (Fourier Transform Infrared) spektrofotometre ile; ham kompost, 0,01 M Na₂EDTA ve 0,1 M Na₂S₂O₅ içeren çözelti veya melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin yapı incelemesi yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 4'de verilmiştir.

Kompostun yapısında bulunan CO₃²⁻ grubuna ait 2 adet pik, 1425 ve 874 cm⁻¹, sırasıyla CO₃ asimetrik gerilme ve CO₃ düzlem dışı eğilme hareketlerinden kaynaklanmaktadır (Komadel ve ark. 1996). Yine kompost yapısında bulunan NO₃⁻ gruplarına ait titreşimler, 1629 cm⁻¹'de NO₂ asimetrik gerilme, ~1320 cm⁻¹'de NO₂ simetrik gerilme, 875 cm⁻¹'de N-O gerilmesi ve ~690 cm⁻¹'de NO₂ gerilmesi şeklindedir. 1386 ve 1035 cm⁻¹'deki pikler ise organik kökenli bileşenlerdeki CH₂ gruplarının düzlem içi eğilme ve C-O

Tablo 3. İşlem görmüş kompost numunelerinin XRD analiz sonuçları.

Kullanılan Ekstraksiyon Çözeltilisi	Kompost numunelerinde tespit edilen bileşikler
Ham kompost numunesi	CdPbO ₃ , Cu ₂ O, SiO ₂ , ZnO, NiCO ₃ , NiO
0.01 M Na ₂ EDTA ve 0.1 M Na ₂ S ₂ O ₅ çözeltileri karışımı ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi	Cu ₂ , 2Si ₁₀ O ₂₉ , 11H ₂ O, Cd ₂ SiO ₄ , PbZnSiO ₄ , Na ₂ Ni(SO ₄) ₂ , 4H ₂ O, SiO ₂ , Na ₂ CO ₃
Melas Hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesi	Cu ₂ , 2Si ₁₀ O ₂₉ , 11H ₂ O, Cd ₂ SiO ₄ , NiSO ₄ (H ₂ O) ₇ , PbZnSiO ₄ , CuO, Na ₂ Ni(SO ₄) ₂ , 4H ₂ O, NiO, PbSiO ₃ , Na ₂ CO ₃ , CaMg(SiO ₃) ₂

**Şekil 1.** Ham kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.**Şekil 2.** 0,01 M Na₂EDTA ve 0,1 M Na₂S₂O₅ çözeltileri karışımı ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme.**Şekil 3.** Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunesinin SEM fotoğrafları; (a) 50 kat büyütme, (b) 500 kat büyütme, (c) 1000 kat büyütme

gerilmelerinden kaynaklanmaktadır (Bellamy 1975, Erdik 1993, Yohannan Panicker ve ark. 2006). Kompost için yapılan TKN analizinin sonucunun %1,34 çıkması yapıda organik azot bileşiklerinin olduğunu göstermektedir ve bu sonuca bağlı olarak 2519 cm⁻¹'de görülen pikin amin kökenli bileşiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kompost yapısındaki diğer pikler incelendiğinde, 778 cm⁻¹'deki tepe SiO₂ gruplarının titreşimlerine, 714 cm⁻¹'deki pik ise ZnO moleküllerinin titreşimlerine atfedilmiştir. 605 cm⁻¹'deki pik ise Cu₂O moleküllerine aittir (Bentley ve ark. 1968). Kompostun melas hidrolizati ile ekstrakte edilmesiyle, nitrat formundaki azot türlerinin sulu ortamda çözünerek uzaklaşmış olması, amin v.b. organik azot türlerinin ise (FTIR pikleri NO₃ ve diğer organik bileşiklerle çakıştığından FTIR analizlerinde kesin olarak varlığı gösterilemeyen) düşük pH'larda suda çözünür forma dönüşerek ortamdaki ayrılmış olmaları nedeniyle melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş örnekte bu piklere rastlanmamıştır. Bu durum, XRD ve TKN sonuçları ile uyumludur. CO₃ yapısındaki türler oksit formuna dönmekte ve tuz yapıları değişmektedir. FTIR sonuçlarında da, CO₃ gruplarının yok olduğu 1425 ve 874 cm⁻¹ deki karakteristik piklerin kaybolmasıyla kolaylıkla izlenebilmektedir. Melas hidrolizatının organik bir yapı olmasından dolayı melas hidrolizati ile

ekstrakte edilmiş örneğin FTIR spektrumunda 1386 cm^{-1} 'deki pikte (CH_2 düzlem içi eğilme) belirgin bir şiddet (intensite) artışı izlenmiştir. Yine melas hidrolizatının yapısında bulunan $\text{C}=\text{O}$ gruplarından kaynaklanan titreşimlerin 1729 cm^{-1} 'de bir omuz olarak oluştuğu görülmektedir. Hem Zn ve Cu türlerinin çoğunun uzaklaştırılmış olması hem de kalan maddelerin ZnO ve Cu_2O yapılarının farklı tuz yapılarına dönmesinden dolayı 714 ve 605 cm^{-1} deki pikler yok olmuştur. Silikat yapısının form değiştirmesinden dolayı 778 cm^{-1} 'de görünen pikin dalga boyu az da olsa değişmiş ve maksimumları 780 ve 797 cm^{-1} olan ikili bir bant olarak izlenmiştir (Şekil 4). Kompostun Na_2EDTA ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti ile ekstrakte edilmesi durumunda ise, 2515, 1629, 1425 ve 875 cm^{-1} de bulunan NO_3^- , CO_3^{2-} ve organik azot içeren grupların varlığından kaynaklanan piklerde intensite düşüşü dışında bir değişiklik izlenmemiştir. TKN sonuçlarına göre organik azot miktarının çok az değişmiş olması da göz önüne alındığında NO_3^- ve organik azot içeren türlerin bu ekstraksiyon ile ortamda kaldığı fikri ağır basmaktadır. Ayrıca, 1077 cm^{-1} 'de oluşan yeni pikin yapıda kalmış kükürt türlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir ve bu durum elementel analiz sonuçları ile de uyum içindedir (Şekil 4).

Bitkiye Uygunluk (Fitotoksitite) Deneyi Sonuçları

Kompost numunelerinde yapılan fiziksel ve kimyasal analizler onun sadece kalite değerleri hakkında bir ön bilgiye sahip olmamıza sağlamakta ancak kompostun bitki yetiştirme özelliği hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Bu nedenle, üretilen kompostlarda bu konunun aydınlanması için, bitkiye uygunluk deneyleri de yapılmaktadır. Bu çalışmada, fiziksel ve kimyasal analizlere ek olarak ham kompost, Na_2EDTA ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş, melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinin bitkiye uygunluk deneyleri de yapılmıştır. %25 ve %50'lik kompost karışımları (Na_2EDTA ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti ve melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri) ile yapılan bitkiye uygunluk deneyi sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Bitkiye uygunluk deneyleri sonucunda kompost numunelerinin %25'lik karışımında bitkiye uygunluk yüzdelерinin %58-%97 arasında değiştiği, %50'lik kompost karışımlarında ise; bitkiye uygunluk oranının minimum %60, maksimum %67 olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3). 0,01 M Na_2EDTA

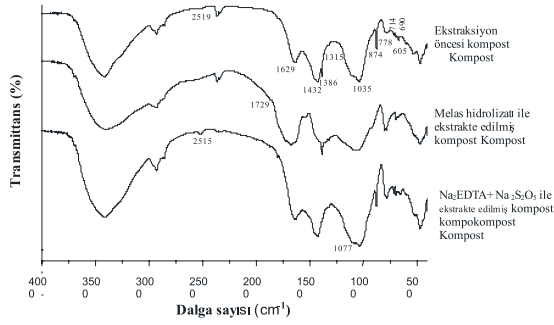
ve 0,1 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompostun %25'lik karışım oranında bitkiye uygunluğu %97 olarak tespit edilmiştir. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri için %25'lik karışım oranında bitkiye uygunluk değeri %58 olarak belirlenmiştir. Melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri için %50'lik karışım oranında ise bitkilerde bir gelişme gözlenmemiştir.

TARTIŞMA

Ekstraksiyon deneyleri sonrasında kompost içerisinde kalan metal bileşiklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen XRD analizleri sonucunda ekstraksiyon çözeltileri ile yıkama sonrası kompost içerisinde kalan metallerin genellikle silikatlar formunda oldukları belirlenmiştir. FTIR ile yapılan inceleme sonucunda da, Na_2EDTA ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti ve melas hidrolizati ile ekstraksiyon sonucunda başlangıçta oksitler ve karbonatlar halinde bulunan metal formlarının ekstraksiyon ile giderilemeyen (ortamda kalan) kısımlarının SiO_2 'li bileşikler haline dönüştükleri görülmüştür. Bu sonuçlar XRD ile elde edilen sonuçları desteklemektedir. SEM fotoğrafları incelendiğinde ise, ham kompost numunesi ile çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri arasında morfolojik açıdan önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir.

Ham kompost, Na_2EDTA ve $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ içeren çözelti veya melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş olan kompost numuneleri kullanılarak bitkiye uygunluk deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ham kompost numuneleri ve çeşitli çözeltiler ile ekstrakte edilmiş kompost numuneleri içerisindeki C, N, H, S yüzde (%)'leri, Ca, Na, Mg, K, P miktarları (mg/kg-kuru kompost) da belirlenmiştir.

Literatürde, bitkilerin topraktaki fosfordan yararlanmasının düşük olduğu, kuvvetli asit topraklarda demir ve alüminyum iyonlarının fosfat ile birleşerek suda zor çözünen alüminyum ve demir fosfatları meydana getirdikleri belirtilmiştir. Ayrıca, kirecin fazla olduğu yerlerde, yani yüksek pH'lı toprak koşullarında ise fosforun, kalsiyum fosfat şekline dönüşerek yeniden yarıyışsız fosfor haline geçtiği söylenmiştir (Toksöz 1998, Mechri ve ark. 2007, El-Tarabily ve ark. 2008, Nishanth ve Biswas 2008). Bitkiye uygunluk deneylerinde melas hidrolizati ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinden iyi sonuç alınamamasının ortamdaki Ca fazlalığı ve P eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ekstrakte edilmiş kompost numune-



Şekil 4. Ham kompost, Melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş kompost ve Na₂EDTA+Na₂S₂O₅ çözeltisi ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerine ait FTIR spektrumlarının karşılaştırılması

Tablo 4. Bitkiye uygunluk deneyi sonuçları.

Bitkiye Uygunluk Testi Yapılan Kompost Numuneleri	Bitkiye Uygunluk Yüzdesi	
	%25'lik kompost karışımı	%50'lik kompost karışımı
Ham kompost	77.1	67.3
Na ₂ EDTA ve Na ₂ S ₂ O ₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost	97.19	60.61
Melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş kompost	58	Büyüme gözlenmedi

lerinin karakterizasyonu incelendiğinde melas hidrolizatı ile ekstrakte edilen kompost numunelerinde fosfor miktarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. En iyi gelişmenin 0,01 M Na₂EDTA ve 0,1 M Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompost kullanıldığında elde edildiği belirlenmiştir. %25'lik kompost karışımı için %97 bitkiye uygunluk yüzdesi elde edilmiştir. Bu sonuç ise 0,01 M Na₂EDTA ve 0,1 M Na₂S₂O₅ içeren çözelti ile ekstrakte edilmiş kompostun çiçek toprağında veya kültür substratlarında karışım elemanı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş kompost numunelerinde %25'lik karışım oranı için bitkiye uygunluk değeri

%58 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş kompostun toprak düzenleyicisi olarak ve gübre amacıyla daha uygun olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Literatürde, fosfor içeriği düşük olan kompostlar organik tarımda kullanılacaksa, ticari gübrelerin kullanımı söz konusu olmadığından fosfor içeriği yüksek atıklarla, bitkilerin fosfor gereksiniminin karşılanmasının söz konusu olabileceği belirtilmiştir. Bazı organik atıkların fosfor (P₂O₅) içeriklerinin sırasıyla; işlenmemiş kemikte %20-25, balık ununda %3-9, tavuk gübresinde %2-9 düzeyinde olduğu bildirilmiştir (Toksöz 1998). Ayrıca özellikle organik veya ekolojik tarımda toprağa fosfor kazandırmanın bir diğer yolunun da ham fosfat kayalarının öğütülerek ortama ilave edilmesi olduğu belirtilmiştir (Toksöz 1998, Mechri ve ark. 2007, Nishanth ve Biswas 2008). Yine literatürde, elde edilen kompostun bitkilere uygun hale getirilmesi için son kompostta (kompost ürününe) kimyasal gübrelerin eklenebileceğinden bahsedilmektedir (Erdin 2008). Bu durumda, melas hidrolizatı ile ekstrakte edilmiş komposttan daha iyi verim alınabilmesi için tavuk gübresi gibi organik gübrelerle, ham fosfat kayasının öğütülerek kompostta ilavesi ile veya fosfat yönünden zengin yapay gübrelerle karıştırılarak kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Bu uygulama ile melas hidrolizatı ile işlem görmüş kompostun, çiçek toprağında veya kültür substratlarında karışım elemanı olarak da kullanılabileceği ifade edilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı olarak yürütülen "Toprak Şartlandırıcısı Olarak Kullanılan Komposttan Katı-Sıvı Ekstraksiyonu İle Ağır Metallerin Giderilmesi" başlıklı doktora tezinin ve İ.Ü. Araştırma Projeleri Birimi tarafından "T-458/25062004" numara ile desteklenen projenin bir bölümüdür.

KAYNAKLAR

- Achiba WB, Lakhdar A, Gabteni N, Laing GD, Verloo M, Boeckx P, Van Cleemput O, Jedidi N, Gallali T (2010) Accumulation and fractionation of trace metals in a Tunisian calcareous soil amended with farmyard manure and municipal solid waste compost. *Journal of Hazardous Materials* 176: 99-108.
- Anonymous (1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. AWWA, APHA, Washington.
- Anonymous (2010) European Compost Network (ECN) Data, Oelde, Germany.
- Bellamy LJ (1975) The Infra-red Spectra of Complex Molecules. Chapman and Hall, London.
- Bentley FF, Smithson LD, Rozek AL (1968) Infrared Spectra and Characteristic Frequencies ~700-300 cm⁻¹. John Wiley & Sons, Newyork, USA.

- Bernal MP, Navarro AF, Roig A, Cegarra J, Garcia D (1996) Carbon and nitrogen composting of Sweet Sorghum Bagasse. *Biology and Fertility of Soils* 22: 141-148.
- Casado-Vela J, Sellés S, Díaz-Crespo C, Navarro-Pedreño J, Mataix-Beneyto GI (2007) Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*Capsicum annuum* var. *annuum*) grown under two exploitation regimes. *Waste Management* 27: 1509-1518.
- Ciba J, Zolotajkin M, Kluczka J, Loska K, Cebula J (2003) Comparison of methods for leaching heavy metals from composts. *Waste Management* 23: 897-905.
- Erdin E (2010) Katı Atıklar Laboratuvarı El Kitabı-1, <http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc98-1.htm>, [Ziyaret tarihi: 06.09.2010].
- El-Tarabily KA, Nassar AH, Sivasithamparam K (2008) Promotion of growth of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in a calcareous soil by a phosphate-solubilizing, rhizosphere-compent isolate of *Micromonospora endolithica*. *Applied Soil Ecology* 39: 161-171.
- Erdik E (1993) Organik Kimyada Spektroskopik Yöntemler. Gazi Büro Kitabevi, Ankara.
- Erdin E (2008) Kompostlaştırma, Dokuz Eylül Üniversitesi, Katı Atık Web sitesi; http://web.deu.edu.tr/erdin/ders/kati_atik/ders_not/kompost.pdf; [Ziyaret tarihi: 08.04.2008].
- Herwijnen RV, Hutchings TR, Altabbaa A, Moffat AJ, Johns ML, Ouki SK (2007) Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. *Environmental Pollution* 150: 347-354.
- Hseu ZY (2004) Evaluating heavy metal contents in nine composts using four digestion methods. *Bioresource Technology* 95: 53-59.
- Komadel P, Madejova J, Janek M, Gates WP, Kirkpatrick RJ, Stuckl JW (1996) Dissolution of hectorite in inorganic acids. *Clays and Clay Minerals* 44 (2): 228-236.
- Mechri B, Attia F, Braham M, Elhadj SB, Hammami M (2007) Agronomic application of olive mill wastewaters with phosphate rock in a semi-arid Mediterranean soil modifies the soil properties and decreases the extractable soil phosphorus. *Journal of Environmental Management* 85: 1088-1093.
- Kubatoğlu (1994) Methodenbuch zur Analyse von Kompost, Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., (in Turkish) İSTAÇ AŞ, İstanbul.
- Mulligan CN, Yong RN, Gibbs BF (2001) An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments. *Journal of Hazardous Materials* 85: 145-163.
- Nishanth D, Biswas DR (2008) Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource Technology* 99: 3342-3353.
- Núñez RP, Rey RD, Menduña ABM, Silva MTB (2007) Physiologically based extraction of heavy metals in compost: Preliminary results. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 21 (1): 83-85.
- Pekşen A, Günay A (2009) Kültür Mantarı (*Agaricus bisporus* (L.) Sing.) Yetiştiriciliğinde Çay Atığı ve Buğday Sapı Karışımından Hazırlanan Kompostların Kullanımı. *Ekoloji* 19 (73): 48-54.
- Peters RW (1999) Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* 66: 151-210.
- Pichtel J, Anderson M (1997) Trace metal bioavailability in municipal solid waste and sewage sludge composts. *Bioresource Technology* 60: 223-229.
- Pinamonti F, Stringari G, Gasperi F, Zorzi G (1997) The Use of Compost: its effects on heavy metal levels in soil and plants. *Resources, Conservation and Recycling* 21: 129-143.
- Smith S R (2009) A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International* 35: 142-156.
- Şengül F, Müezzinoğlu A (2005) Çevre Kimyası. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 228, İzmir.
- Toksöz S (1998) Kompost kullanımının organik sera domates yetiştiriciliğinde toprak özellikleri, verim ve meyve kalitesi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, İzmir.

Turan NG (2003) Samsun kentsel katı atıklarının kompostlaştırılmasında genleştirilmiş perlit ve doğal zeolitin etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.

Walker DJ, Clemente R, Bernal MP (2004) Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyritic mine waste. Chemosphere 57: 215-224.

Veeken A, Hamelers B (2003) Assessment of heavy metal removal Technologies for biowaste by physico-chemical fractionation. Environmental Technology 24: 329-337.

Yakupoglu G, Pekşen A (2011) Çay Atığından Hazırlanan Farklı Kompost ve Partikül Büyüklüğünün *Ganoderma lucidum* Mantarının Verimi ve Bazı Morfolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. Ekoloji 20 (78): 41-47.

Yohannan Panicker C, Varghese HT, Philip D (2006) FT-IR, FT-Raman and SERS spectra of Vitamin C. Spectrochimica Acta Part A 65: 802-804.

Zorpas AA, Constantinides T, Vlyssides AG, Haralambous I, Loizidou M (2000) Heavy metal uptake by natural zeolite and metals partitioning in sewage sludge compost. Bioresource Technology 72: 113-119.

Zorpas AA, Vassilis I, Loizidou M, Grigoropoulou H (2002) Particle size effects on uptake of heavy metals from sewage sludge compost using natural zeolite clinoptilolite. Journal of Colloid and Interface Science 250: 1-4.