

Coating of 15-15-15 Fertilizer with Chitosan and Characterization of the Obtained Powder Materials

Bektas Ayik^{1,3}, Yavuz Selim Cakmak^{2,3}, Murat Kaya^{2,3,*}

¹Aksaray University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Park and Garden Plants, Aksaray, 68100, Turkey

²Aksaray University, Faculty of Science and Arts, Department of Biotechnology, Aksaray, 68100, Turkey

³Aksaray University, Scientific and Technological Application and Research Center (ASÜBTAM), Aksaray, 68100, Turkey

*Received Date: Nov 16, 2021

*Revised Date: Dec 02, 2021

*Accepted Date: Dec 03, 2021

*Published Online: Dec 09, 2021

Abstract

The slower and longer release of fertilizers by coating them with polymers is extremely important in terms of both economic and prevention of environmental pollution. Chitosan produced from waste crayfish shells was preferred in the current study because of its biological origin and environmental friendliness, and was used for the coating of 15-15-15 fertilizer. Glutaraldehyde was used as a crosslinker for the coating of 15-15-15 fertilizer with chitosan. In the study, the coating of fertilizers at different concentrations was tried and the carrying capacity of chitosan for 15-15-15 fertilizer was determined. Powder samples produced after coating were characterized using Fourier transform infrared spectrometry (FT-IR), thermogravimetric analysis (TGA) and scanning electron microscopy (SEM) techniques. Then, the degradation rates of the coated fertilizers in the soil were determined depending on the days. Considering all the obtained results, it has been revealed that chitosan–15-15-15 fertilizer formulation crosslinked with glutaraldehyde can be used practically in agricultural and horticultural applications.

Keywords

Chitosan, Fertilizer, Controlled releasing, Biodegradation.

*Corresponding Author: Murat Kaya, muratkaya3806@gmail.com,  [0000-0001-6954-2703](https://orcid.org/0000-0001-6954-2703)

15-15-15 Gübresinin Kitosan ile Kaplanması ve Elde Edilen Toz Malzemelerin Karakterizasyonu

Bektaş Ayık^{1,3}, Yavuz Selim Çakmak^{2,3}, Murat Kaya^{2,3,*}

¹Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Aksaray, 68100, Türkiye

²Aksaray Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Aksaray, 68100, Türkiye

³Aksaray Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi (ASÜBTAM), Aksaray, 68100, Türkiye

•Gönderi Tarihi: 16 Kas 2021

•Düzeltilme Tarihi: 02 Ara 2021

•Kabul Tarihi: 03 Ara 2021

•Çevrimiçi Yayın Tarihi: 09 Ara 2021

Özet

Gübrelerin polimerler ile kaplanarak daha yavaş ve uzun süre salınımı hem ekonomik hem de çevre kirliliğinin önüne geçilmesi açısından son derece önemlidir. Atık kerevit kabuklarından üretilen kitosanın biyolojik orijinli ve çevre dostu olması nedeniyle mevcut çalışmada tercih edilmiş ve 15-15-15 gübresinin kaplanması amaçlı kullanılmıştır. Kitosan ile 15-15-15 gübresinin kaplanması için çapraz bağlayıcı olarak glutaraldehit kullanılmıştır. Çalışmada farklı konsantrasyonlarda gübrelerin kaplanması denenmiş ve bu sayede kitosanın 15-15-15 gübresini taşıma kapasitesi belirlenmiştir. Kaplama sonrası üretilen toz örnekler fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi (FT-IR), termogravimetrik analiz (TGA) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Ardından kaplama yapılan gübrelerin toprakta günlere bağlı olarak bozunma yüzdeleri belirlenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, glutaraldehit ile çapraz bağlanmış kitosan-15-15-15 gübre formülasyonunun tarım ve bahçecilik uygulamalarında pratik olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler

Kitosan, Gübre, Kontrollü salınım, Biyobozunurluk

*Sorumlu Yazar: Murat Kaya, muratkaya3806@gmail.com,  [0000-0001-6954-2703](https://orcid.org/0000-0001-6954-2703)

1. GİRİŞ

Tarımsal üretim içerisindeki en önemli girdilerden biri gübrelerdir. Tarımsal üretimde maliyet olarak %10-15 oranında bir payı olan gübreler, tarımsal ürün verimini %50'den daha fazla oranda artırmaktadır. Gübrelerin yeterli miktarda kullanımı ciddi ürün artışına sebep olurken, yetersiz ve yanlış kullanımı da önemli kayıplara sebep olmaktadır. Gübrelerin fazla kullanımı taban suları ile yüzey sularının kirlenmesine ve hava kirliliğine sebep olmaktadır. Azotlu gübreler ile yapılan çalışmalar bitkilerin bu gübrelerden %40-50 oranında faydalanabildiğini göstermiştir. Geri kalan kısmının ise kayba uğradığı veya toprakta formunu koruyarak kaldığı belirlenmiştir [1].

Su ve gübre, tarımsal üretime sınırlamalar getiren iki ana işletme faktörüdür [2, 3]. Tarımda kullanılan kimyasalların gıda üretimini artırmak için aşırı uygulanması, sadece büyük ekonomik ve kaynak kayıplarına neden olmakla kalmaz, aynı zamanda ciddi çevre kirliliğine de neden olur [4]. Bununla birlikte yaygın kullanılan agrokimyasalların canlılar üzerinde fizyolojik bozukluklar ve kanser gibi ciddi sağlık sorunlarına sebep olabilmektedir. Agrokimyasalların bu istenmeyen etkilerinin sınırlandırılması amacıyla, tarım uygulamalarında kontrollü salınım teknolojisi geliştirilmiştir [5]. Sürdürülebilir tarım açısından geleneksel gübrelere kıyasla kontrollü salınım yapan gübreler, bitkinin ihtiyacı olan besin elementini bir vejetasyon periyodu sürecinde vermesi, tohum için toksisiteye sebep olmaması, bitkinin ihtiyacı olan besinlerin kaybını önlemesi ve dolayısıyla verimli bir gübre kullanımına olanak sağlaması açısından oldukça önemlidir. Bunun yanında kontrollü salınım yapan gübrelerin önemli dezavantajları arasında üretim maliyetlerinin yüksek olması ve topraktaki parçalanma hızlarının istenenden daha düşük veya yüksek olması sayılabilir. Bu durumlar kontrollü salınım yapan gübrelerin olumsuz yönleri olarak karşımıza çıkmaktadır [6, 7]. Bu konular göz önüne alındığında, yüksek seçicilik ve etkinliğe sahip kontrollü salınımlı gübre formülasyonları bulma çabası, bilim insanlarının ciddi zorluklarından biridir [8, 9].

Kontrollü salınım yapan gübreler genellikle geleneksel gübrelerin kaplanması ile elde edilir. Polietilen, polistiren, poliakrilamid ve polisülfon gibi polimerler zaman içerisinde gübrenin sürekli salınım yapmasını sağlarlar. Ticari kontrollü salınım yapan gübreler biyobozunur değildir. Bu nedenle de kaplama malzemeler topraklar için kirlilik kaynağıdır [10]. Gübrelerin; kitosan, nişasta ve türevleri, aljinatlar, ksantan, selüloz ve türevleri gibi biyobozunur polimerlerle elde edilen malzemelere (film, tablet, toz vs.) katılması tarımda verimliliğin artırılması ve agrokimyasalların kullanımının azaltılması noktasında umut verici bir yaklaşım olabilir [11].

15-15-15 gübresi kompoze gübre olarak adlandırılır. Kompoze gübreler bünyelerinde iki veya daha fazla bitki besin maddesini içerirler. 15-15-15 gübresi içeriğindeki azot, fosfor ve potasyum ile çiftçilerin bitkisel üretim için ihtiyaç duyduğu besin maddelerini bir arada karşılamaktadır. 15-15-15 gübresi içeriğindeki bu bileşenler ile bitkisel üretimde tek seferde kompleks bir besin takviyesi sunmaktadır. Karışım bir gübre olduğu için ilgili elementlerin ayrı ayrı kullanıma göre tasarruf ve kolaylık sağlamaktadır.

Tarımsal alanda aktif bileşiklere sahip biyobozunur malzemeler ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Bunlar da esas olarak gübrelerin kapsüllenmesi şeklindedir. Biyopolimer olan kitosandan üretilen biyo-bozunabilir ve biyo-uyumlu malzemeler tarım, biyomedikal, biyoteknoloji ve gıda endüstrisi vs. olmak üzere petrol bazlı plastiklerin yerini almaya başlamıştır. Kitinin deasetillenmiş türevi olan kitosan, doğada bol bulunması nedeniyle birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [12]. Ayrıca tamamen bozunmaları sonucunda toprakta bitkiler için ayrıca bir besin kaynağı olarak önemli işlev görebileceği düşünülmektedir.

Mevcut çalışmada sentetik polimerlere alternatif olarak kitosan temelli biyobozunur gübre üretimi ve karakterizasyonu yapılarak tarımsal açıdan kullanılabilme potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmış ve kitosanın gübre ile bağlanma olanağı ortaya konarak kontrollü salınım özellikleri araştırılmıştır. Bu yönüyle çalışmadan elde edilecek veriler; bu alanda yeni teknoloji ve ürünlerin geliştirilmesine katkı sağlaması yanında sürdürülebilir çevre ve doğal kaynakların kullanımını açısından oldukça önemlidir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kitosan

Kitosan elde etmek için gerekli olan kitin ticari olarak satılan bir kerevit türünden elde edildi. Çalışmada kullanılan ve kurutulan kerevit örneklerin üzerine 2M HCl çözeltisi eklenerek oda sıcaklığında 1 saat bekletilerek yapıdaki minerallerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Ardından saf su ile pH nötr oluncaya kadar yıkama yapılmıştır. Demineralize olan örneklerin yapısından proteinleri uzaklaştırmak için 2M NaOH çözeltisi 100 °C de 20 saat boyunca reflux edildi. Ardından, saf su ile yıkama yapıldı. Elde edilen örnekler oda sıcaklığında kurutuldu. Elde edilen kitin örneklerinin üzerine % 60 lık NaOH çözeltisi eklenerek 150°C de 2 saat boyunca kitinin deasetilenmesiyle kitosan üretildi. Elde edilen kitosan örnekleri oda sıcaklığında kurutuldu. Ardından, saf su ile yıkama yapıldı ve örnekler oda sıcaklığında kurutuldu [13]. Kitosan örneklerinden 10 gram alınarak %1 lik (490 ml su + 10 ml asetik asit) kitosan jel yapıldı. Elde edilen kitosan jel, toz malzemenin hazırlanmasında belirli oranlarda kullanıldı.

2.2. Gübre

Kitosan ile karışımı yapılan 15-15-15 gübresi ticari olarak alınmıştır.

2.3. Kitosan–15-15-15 Malzemesinin Hazırlanması

Toz halinde elde edilecek malzeme için önce ticari gübreler homojen bir karışım olması için blender yardımı ile toz haline getirildi ve elekten geçirildi. Hazırlanan 15-15-15 gübrelere; 50 ml kitosan jel + 25 gr 15-15-15 (15-15-15-(1)), 50 ml kitosan jel + 50 gr 15-15-15 (15-15-15-(2)), 50 ml kitosan jel + 100 gr 15-15-15 (15-15-15-(3)) şeklinde karıştırıldı. Oluşan kitosan jel ve 15-15-15 karışımlarının her biri için de 5 ml çapraz bağlayıcı (Glutaraldehit) kullanılmıştır.

2.4. Kitosan–15-15-15 Malzemesinin Karakterizasyonu

2.4.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopu (FT-IR)

Kitosan–15-15-15 malzemesinin yapısal değişimlerinin belirlenmesi için FT-IR analizi 600–4000 cm⁻¹ çözünürlükte Perkin Elmer Spektrum FT-IR Spektrometre (Universal Attenuated Total Reflectance) spektrometresi kullanılarak kaydedildi.

2.4.2. Termogravimetrik analiz (TGA)

Kitosan–15-15-15 malzemesinin termal özellikleri bir TGA / SDTA 851 Mettler Toledo cihazı kullanılarak termogravimetrik analiz ile belirlenmiştir.

2.4.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Yüzey morfolojisi ve kesitleri SEM (Zeiss, Evo 40, Almanya) kullanılarak belirlendi. Fotoğraf çekmeden önce altın-paladyum kaplama yapıldı.

2.4.4. Kitosan–15-15-15 malzemesinin biyobozunurluğu

Biyobozunurluk deneyleri toprak koşullarında bozunma kinetiği üzerine bilgi verir. Beherler içerisinde karakterize edilmiş toprak konuldu. Kitosan kompozitler plastik bir ağ içerisinde yüzeyden 3 cm derine gömüldü, beherler düzenli olarak sulandı ve toprak %30 su tutma kapasitesinde tutuldu. Numuneler 1, 3, 5, 10, 20 ve 30. günlerde topraktan çıkarıldı ve numunelerin zarar görmemesi için dikkatlice temizlendi. Deneyler üç kez tekrarlanmış ve ağırlık kaybı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır [14].

$$\% \text{ WL} = ((W_i - W_f) / W_i) \times 100$$

WL = ağırlık kaybı, W_i = başlangıç ağırlığı ve W_f = son ağırlık

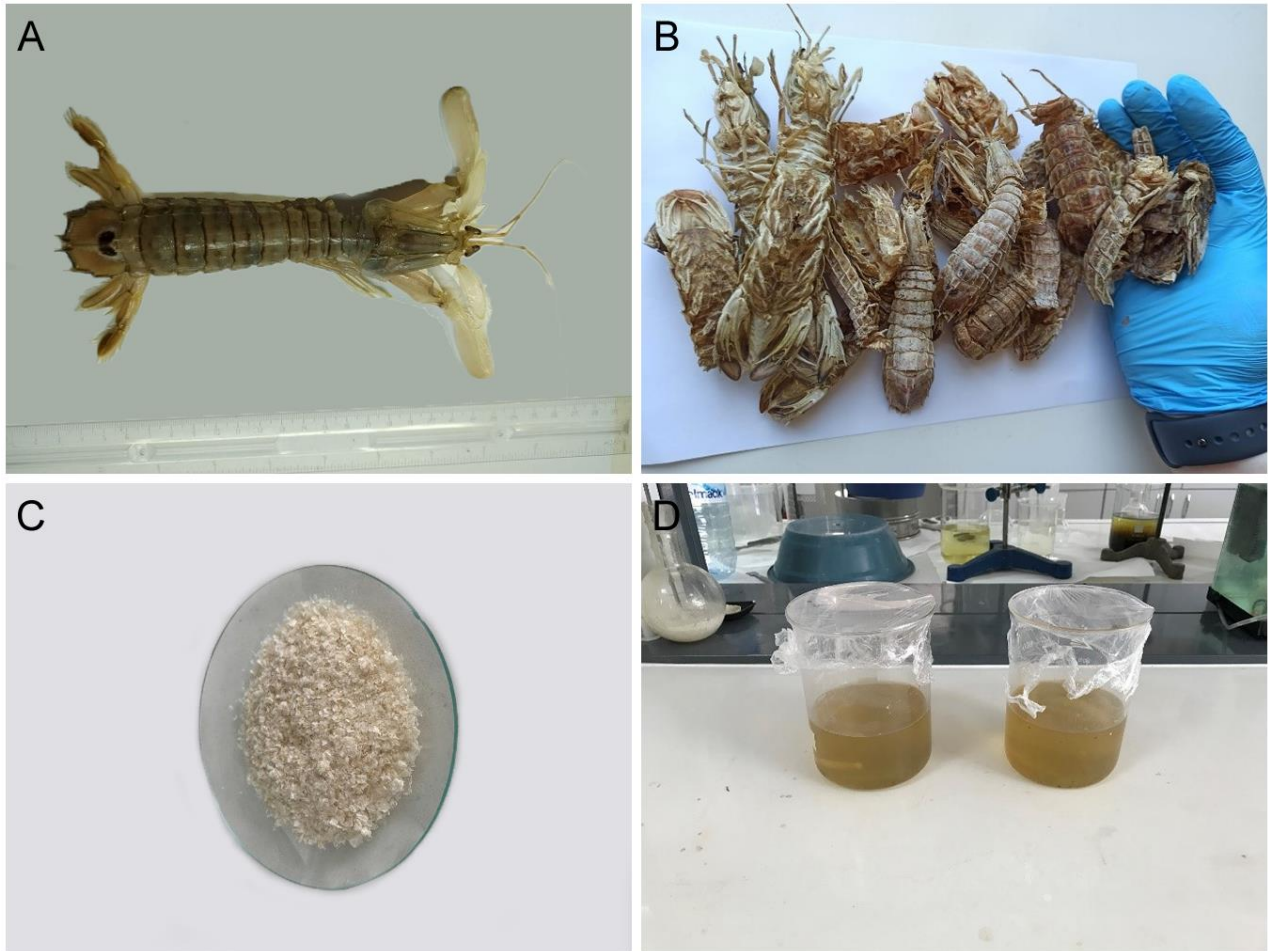
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu makalede, kitosan–15-15-15 malzemeleri hazırlanmış ve belirli orandaki kitosan ile bağlanma çalışması yapılmıştır. Malzemelerin Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi

(FTIR), termogravimetrik analiz (TGA), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile karakterizasyonu yapılmış ve toprakta bozunma davranışlarına bakılmıştır.

3.1. Kitosan Üretimi ve 15-15-15 Gübresi ile Oluşturduğu Kompozitle

Ticari olarak satılan kerevitten elde edilen kitosan ve kitosanın jel formu Şekil 1’de gösterilmiştir. Kerevitten elde edilen kitin belirtildiği gibi bir dizi kimyasal işlem sonrası kitosana dönüştürülmüş ve 15-15-15 gübre kompozitleri hazırlanması öncesinde jel haline getirilmiştir. Elde edilen kitosan jele belirlenen oranlarda 15-15-15 gübresi karıştırılmasıyla oluşan yeni ürünlerin görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir. 50 ml kitosan jele artan oranlarda eklenerek oluşturulan 15-15-15 gübre kompozitleri ticari 15-15-15 e göre farklılıklar göstermiştir. Kitosanın gübre bağlama kapasitesine göre 50 ml kitosan jel + 100 gr 15-15-15 kompoziti ticari 15-15-15 e daha yakın bir görüntü vermiştir.

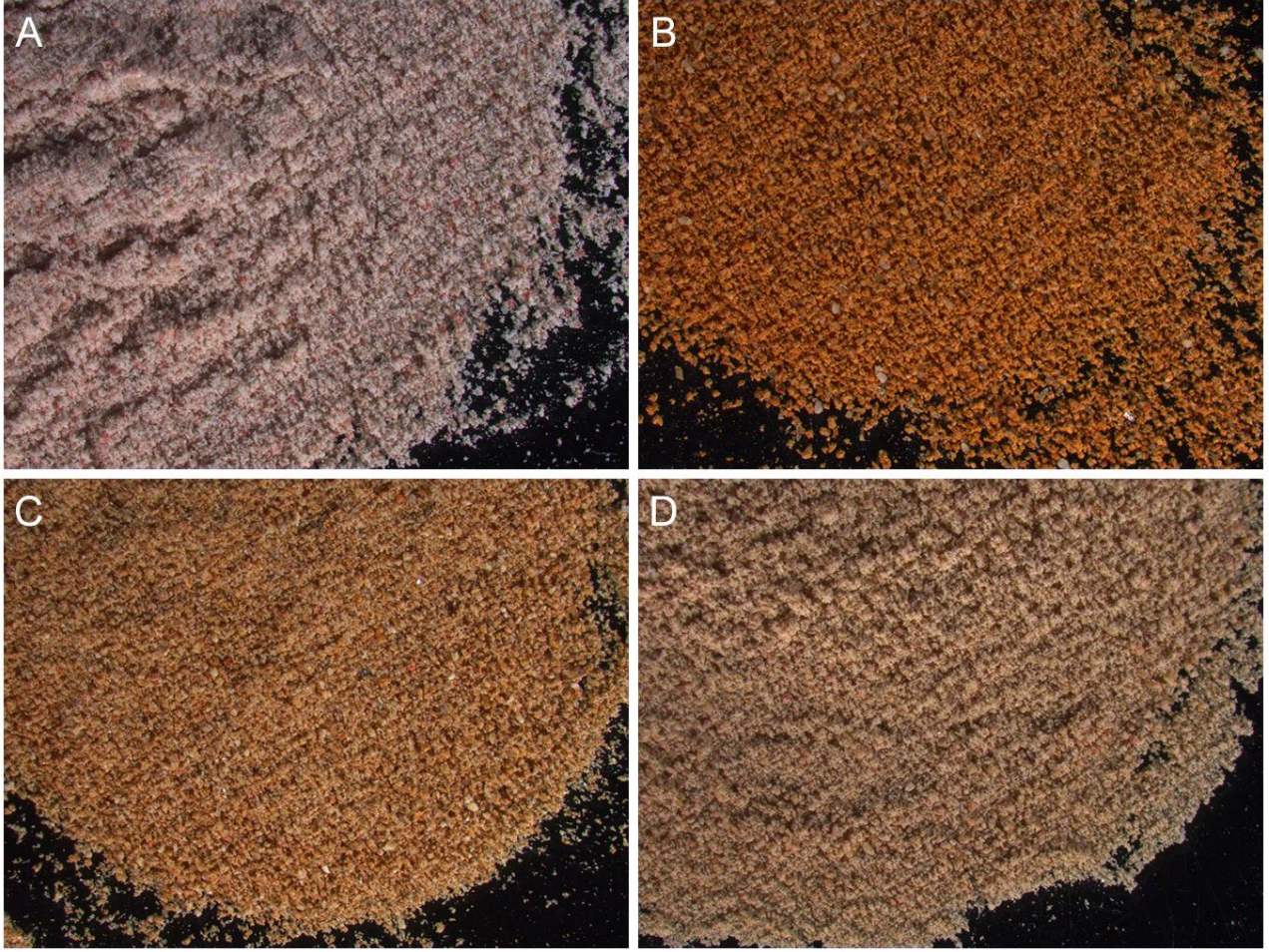


Şekil 1. Çalışmada kullanılan A) kerevit canlısı, B) kurutulmuş kerevit kabukları C) kitosan D) kitosan jel

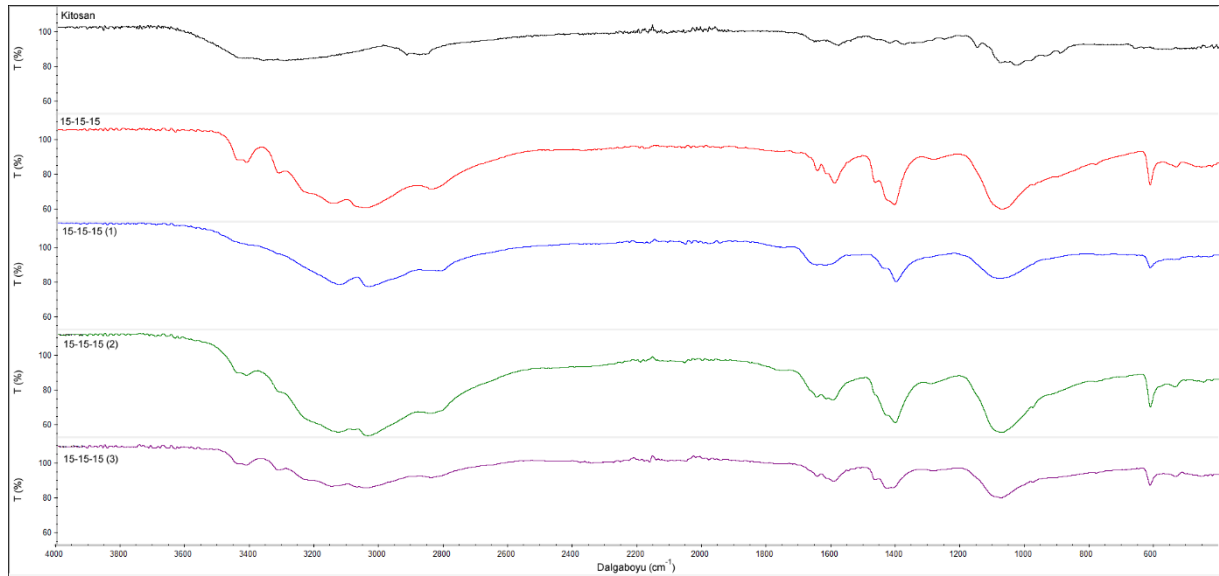
3.2. FT-IR

Kitosanın, kitosan-15-15-15 malzemelerinin FTIR spektrumları Şekil 3’de verilmiştir. Kitosan spektrumunda alifatik C-H gerilme titreşimlerine (2875.55 cm^{-1}) ve $-\text{OH}$ bağlarına (3285.27 cm^{-1}) karşılık gelen karakteristik zirveler görüldü. 1653.94 , 1578.17 , 1375.37 ve 1028.96 cm^{-1}

deki zirveler sırasıyla amid I (C=O gerilmesi), amid II (N-H eğilme), amid III (C=N gerilmesi) ve kitosanın C=O gerilme titreşimine karşılık gelmektedir.



Şekil 2. A) ticari 15-15-15, B) 15-15-15 (1) kompoziti, C) 15-15-15 (2) kompoziti D) 15-15-15 (3) kompoziti



Şekil 3. Kitosan, 15-15-15 gübresi ve 15-15-15 (1), 15-15-15 (2) ve 15-15-15 (3) kompozitlerinin FT-IR spektrumları

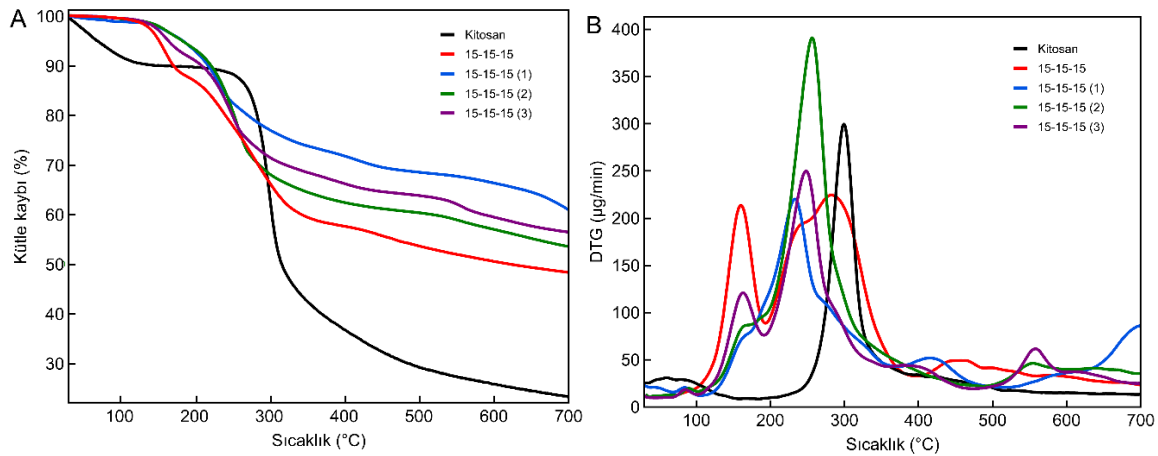
15-15-15'in kızılötesi spektrumunda 3411.23 cm^{-1} ve 3311.19 cm^{-1} bir çift amid $-\text{NH}_2$ gerilme bandı gözlemlenmiştir. C-N gerilmesinden dolayı 1464.54 cm^{-1} 'de keskin bir tepe noktası oluşmuş, amid C = O 1644.68 cm^{-1} 'de germe 1590.70 , 1071.71 ve 533.18 cm^{-1} de N-H bükülme bantları gözlemlenmiştir.

Kitosan - 15-15-15 kompozitlerinin spektrumlarında N-H titreşim bandına atfedilen kitosanın 1578 cm^{-1} 'deki tepe noktası 15-15-15 (1), 15-15-15 (2) ve 15-15-15 (3) de sırasıyla 1621.57 , 1595.76 ve 1593.72 cm^{-1} olarak gerçekleşmiş ve bu kayma kitosan ile gübreler arasındaki elektrostatik etkileşimi doğrulamaktadır [8].

3.3. TGA

Saf kitosan ve kitosan-15-15-15 kompozitlerinin TGA sonuçları Şekil 4'de gösterilmiştir. Saf kitosanda ilk basamakta $150\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar gözlenen bozulma yapıdan buharlaşarak uzaklaşan suya atfedilir. İkinci basamakta ve özellikle $297.2\text{ }^\circ\text{C}$ 'de maksimum pik yapan bozulma ise kitosanın bozulmasına atfedilir ve bu polimerin deasetilasyon-depolimerizasyonu ve polisakkarit kalıntılarının bozunması yoluyla olur [15].

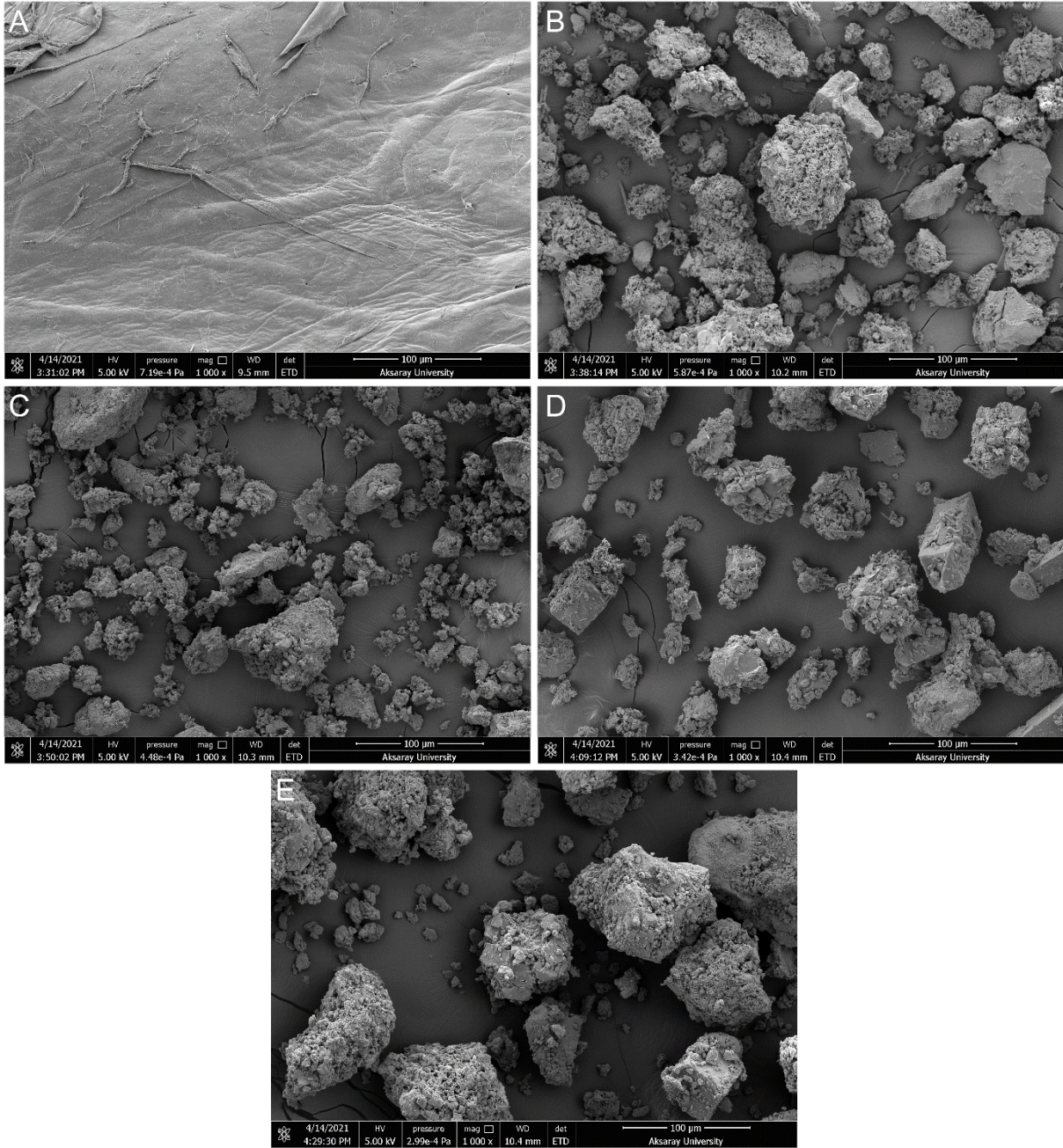
Saf kitosan ile 15-15-15 gübresi ve 15-15-15 kompozitleri karşılaştırıldığında; kitosan-15-15-15 kompozitleri saf kitosan ve 15-15-15 gübresine göre daha iyi bir termal stabilite sağladığı görülmüştür. En iyi termal stabiliteyi 15-15-15 (1) kompoziti gösterirken, gübre yoğunluğu ve çapraz bağlayıcı varlığının termal bozunmayı etkilediği görülmektedir.



Şekil 4. A) Kitosan, 15-15-15 gübresi ve 15-15-15 (1), 15-15-15 (2) ve 15-15-15 (3) kompozitlerinin kütle kaybı, B) TGA eğrisi

3.4. SEM

Kitosana 15-15-15 gübrelerinin dahil edilmesi ile oluşan 15-15-15 (1), 15-15-15 (2) ve 15-15-15 (3) kompozitlerin yüzey morfolojisinin SEM görüntüleri Şekil 5'de görülmektedir. Görüntüler, kitosan ve gübrenin uygun şekilde kompozitleri oluşturduğunu göstermektedir. Bileşen maddeler arasındaki etkileşimler kompozitlerde morfolojik değişikliklere neden olabilir [16].

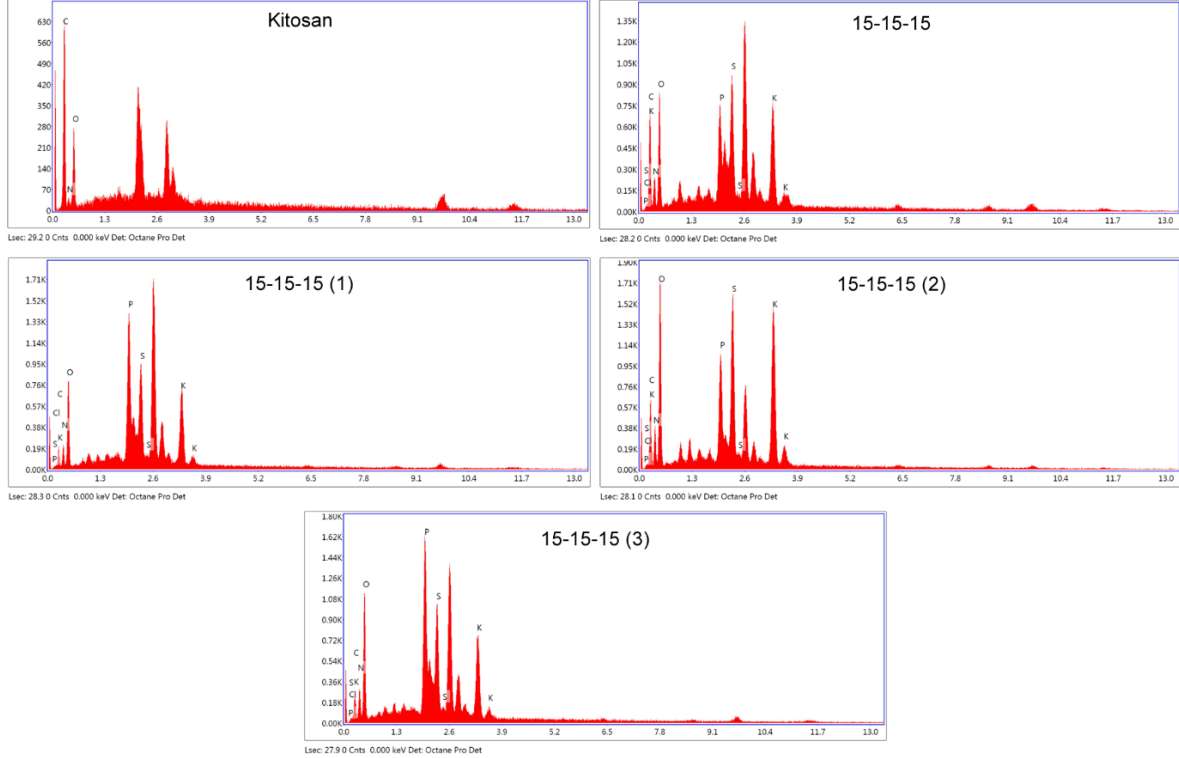


Şekil 5. A) Kitosan, B) 15-15-15 gübresi, C) 15-15-15 (1), D) 15-15-15 (2) ve E) 15-15-15 (3) elektron mikroskobu görüntüleri.

Kitosan parçacıklarının görüntüsü pürüzsüz yüzeyler ve nispeten düzgün katmanlar gösterirken, kompozitlerin yüzeyleri engebeli ve sağlam yüzey alanı göstermektedir. Morfolojik olarak gübre konsantrasyonları arttıkça kompozitler üzerindeki pürüzlülük de artmaktadır. Kompozitlerin yüzeyi 15-15-15 ile yüklendiğinde değiştiği görülmüştür. Fiziksel çapraz bağlayıcının da rolü ile kitosanın homojenliği azalırken, gübrelerin de yüzey alanına tutunduğu gözlemlenmiştir. SEM görüntülerinden de anlaşılacağı üzere çapraz bağlayıcı hazırlanmış gübrelerin çözünme hızını azaltmak için bariyer görevi görebilir.

Kitosan-15-15-15 kompozitlerin EDS spektrumu Şekil 6'da gösterilmiştir. Elde edilen

kompozitlerin 6 içeriği vardır; C, N, O, P, K ve S kompozitlerin kimyasal yapısı gereği C ve O yüksek oranda bulunan elementlerdir. 15-15-15 temelli kompozitlerdeki N, P, K elementleri varlığı gübrenin ve kitosanın kimyasal içeriği ile alakalıdır. S varlığı gübrenin formülasyonunda bulunan katkı maddesini ifade eder.



Şekil 6. A) Kitosan, B) 15-15-15 gübresi, C) 15-15-15 (1), D) 15-15-15 (2) ve E) 15-15-15 (3) EDS spektrumu.

3.5. Biyobozunurluk Çalışması

Hazırlanan kitosan kompozitlerinin biyobozunurluk çalışması kitosan ile farklı oranlarda kaplanan 15-15-15 gübresinin bozunma kinetiği hakkında fikir verir. Tablo 1’de, bozunmaların karşılaştırılmasında önemli kilo kaybı farklılıkları gözlemlendi. Glikozitler ve amid bağları içeren kitosan, toprakta enzim varlığında parçalanabilir ve bu da nihai kütle kaybını indükleyen parçalanmalarına neden olabilir [17, 18]. 15-15-15 gübresinin 30 günlük inkübasyon sonunda %89.25’lik kısmı bozunurken bu oran 15-15-15 (1) kompozitinde %77.57, 15-15-15 (2) ve 15-15-15 (3) kompozitlerinde ise %80.79 ve %87.04 olarak gözlenmiştir. Kitosan kompozitlerinin 15-15-15 gübresine göre daha düşük bozunma oranları göstermesi, kitosan ile çapraz bağlı gübrelerin tutunumuna işaretler. Diğer taraftan kitosan kompozitlerin içeriklerindeki 15-15-15 gübre oranları arttıkça kontrole yakın bir değer vermeleri belirtilen orandaki kitosanın gübre taşıma kapasitesi ve çapraz bağlayıcı oranı ile ilgilidir. Kitosan gübre karışımlarından 15-15-15 (1) kompoziti en ideal oranı sunmaktadır.

Tablo 1. 15-15-15 gübresi ve kitosan–15-15-15 kompozitlerinin toprakta biyobozunurluk çalışması

	Ticari 15-15-15 (%)	15-15-15 (1) (%)	15-15-15 (2) (%)	15-15-15 (3) (%)
1. gün	59.85	31.51	46.81	41.77
3. gün	63.50	57.76	64.75	66.08
5. gün	70.60	65.39	73.82	74.35
10. gün	86.02	71.81	78.03	77.84
20. gün	88.57	73.18	78.56	86.89
30. gün	89.25	77.57	80.79	87.04

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, 15-15-15 gübre kaplaması için kitosan bazlı sürdürülebilir bir kaplama malzemesi hazırlamada kolay ve çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Kitosan-15-15-15 kompoziti, saf 15-15-15 gübresine kıyasla termal ve mekanik özelliklerde önemli bir gelişme göstermiştir. Kitosan gübre kombinasyonları ile kitosanın gübreyi taşıyabilme potansiyeli ortaya konmuş, toprak ortamında çözünme hızındaki yavaşlama gösterilmiştir. FT-IR sonuçları, kitosan ve gübre kombinasyonlarının başarıyla gerçekleştirildiğini doğrulamıştır. SEM görüntüleri kitosan ile 15-15-15 gübresinin çapraz bağlayıcı varlığında iyi bir bağlanma gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Çapraz bağlayıcının varlığı bozunma kinetiğini geciktirmektedir. Bu etki topraktaki bozunma süreci için oldukça faydalı görünmektedir. Hazırlanan formülasyonların biyobozunması üzerine yapılan çalışma, bunların yavaş bozunma davranışını desteklemiştir. Bu gözlemler, hazırlanan kitosan–15-15-15 formülasyonunun tarım ve bahçecilik uygulamalarında gübre kullanımını konusunda doğal bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma doktora tezinin bir bölümün içermekte ve ASÜBAP tarafından 2020-017 nolu bilimsel araştırma projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı ASÜBAP birimine teşekkürü borç bilirim. Ayrıca figürlerin tasarımı konusundaki yardımları için Dr. İsmail Bilican'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] F. Azam, K. A. Malik, M. I. Sajjad, *Plant and Soil*, 86 (1985) 3-13.
- [2] H. Kaşgöz, A. Durmuş, A. Kaşgöz, *Polymers for Advanced Technologies*, 19:3 (2008) 213-220.
- [3] S. Khan, M.A. Hanjra, *Food Policy*, 34:2 (2009) 130-140.

- [4] M. Guo, M. Liu, Z. Hu, F. Zhan, L. Wu, *Journal of Applied Polymer Science*, 96:6 (2005) 2132-2138.
- [5] A.J. Bajpai, A. Giri, *Reactive and Functional Polymers*, 53:2-3 (2002) 125-141.
- [6] D. Davidson, F. X. Gu, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 60:4 (2012) 870-876.
- [7] S. I. Sempeho, H. T. Kim, E. Mubofu, A. Hilonga, *Advances in Chemistry*, 2014 (2014) 363071.
- [8] B.R. Araújo, L.P. Romão, M.E. Doumer, A.S. Mangrich, *Journal of Environmental Management*, 190 (2017) 122-131.
- [9] X. Xiao, L. Yu, F. Xie, X. Bao, H. Liu, Z. Ji, L. Chen, *Chemical Engineering Journal*, 309 (2017) 607-616.
- [10] S. Shoji, H. Kanno, *Fertilizer Research*, 39 (1994) 147-152.
- [11] P. Rychter, M. Kot, K. Bajer, D. Rogacz, A. Siskova, J. Kapusniak, *Carbohydrate Polymers*. 137 (2016) 127-138.
- [12] M.N.R. Kumar, *Reactive and Functional Polymers*, 46:1 (2000) 1-27.
- [13] B. Akyüz, Diplopod Vücut Segmentlerinden 3 Boyutlu Kitosan Üretimi ve Biyoteknolojik Uygulamaları, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoteknoloji ve Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, (2017).
- [14] S. Rivero, M.A. García, A. Pinotti, *Journal of Materials Physics Chemistry*, 1:3 (2013) 51–57.
- [15] K. Lewandowska, A. Sionkowska, B. Kaczmarek, G. Furtos, *International Journal of Biological Macromolecules*, 65 (2014) 534-541.
- [16] A.S. Giroto, G.G.F. Guimarães, M. Foschini, C. Ribeiro, *Scientific Reports*, 7 (2017) 46032.
- [17] L.R. Krupp, W.J. Jewel, *American Chemical Society*, 26 (1992) 193-198.
- [18] Y. Yu, C. Zhu, Y. Liu, E. Zhang, Y. Kong, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50:5 (2011) 525-529.