



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8(1): 56-65 (2017)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 8(1): 56-65 (2017)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Polifosfazen Yapılı Kurkumin Mikrokürelerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Spektroskopik Özellikleri

Simge METİNOĞLU^{1,2}, Yasemin SÜZEN^{2*}

¹Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Burdur
²Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Eskişehir

Geliş Tarihi (Received): 14.12.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 28.03.2017

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author)*: ysuzen@anadolu.edu.tr

☎ +90 222 3350580 📠 +90 222 3204910

ÖZ

Bu çalışmada, heksaklorosiklotrifosfazen ($N_3P_3Cl_6$, trimer) ile kurkumin molekülünün polikondenzasyon reaksiyonu sonucu siklomatriks polifosfazen yapılı mikroküreler ultrasonik güç kullanılarak, hızlı ve etkili bir yöntem ile elde edilmiştir. Sentezlenen kurkumin mikrokürelerin karakterizasyonu SEM-EDX, FTIR ve XRD teknikleri ile yapılmıştır. Mikrokürelerin partikül boyutu yaklaşık 2,318 μm olarak ölçülmüştür. Ayrıca elde edilen mikrokürelerin UV-vis ve Floresans özellikleri incelenmiş olup, 453 nm'de UV-vis absorpsiyon verdiği ve 425 nm dalga boyunda uyarıldığında 529 nm'de floresans emisyonu yaptığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heksaklorosiklotrifosfazen, Kurkumin, Polifosfazen, Mikroküre

Synthesis, Characterization and Spectroscopic Properties of Polyphosphazene Based Curcumin Microspheres

ABSTRACT

In this study, cyclomatrix polyphosphazene microspheres were obtained from polycondensation reaction of hexachlorocyclotriphosphazene ($N_3P_3Cl_6$, trimer) and curcumin using ultrasonic power by a rapid and effective technique. The characterization of synthesized curcumin microspheres was performed by SEM-EDX, FTIR and XRD techniques. The particle size of microspheres was measured approximately as 2,318 μm . Besides, UV-vis and Fluorescence properties of obtained microspheres were investigated. It was determined that microspheres have UV-vis absorption at 453 nm and fluorescence emission was 529 nm when excited at 425 nm.

Keywords: Hexachlorocyclotriphosphazene, Curcumin, Polyphosphazene, Microsphere

GİRİŞ

Kurkumin, 1,7-bis(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadien-3,5-dion, tropikal Güney Asya'ya ait zencefil ailesinin (Zingiberaceae) çok yıllık bir bitkisi olan zerdeçalın (*Curcuma longa*), sarı renkli biyoaktif bileşenidir (Patra ve Barakat, 2011). Genellikle besinleri koruma amaçlı, baharat ve renklendirici olarak kullanılmaktadır. Çok geniş biyolojik uygulamaları olan ve toksik olma-

yan bir maddedir. Kurkumin, antioksidant (Zhenga ve ark., 2016), anti-inflamatuar (Perrone ve ark., 2015), anti-tümör (Niedzwiecki ve ark., 2016) ve anti-HIV (Ali ve Banerjea, 2016) gibi farmakolojik aktivitelere sahip olmasından dolayı son zamanlarda oldukça ilgi çekmektedir. Kurkuminin yakın gelecekte, inflammatuar bozukluklar, kanser gelişimi ve hastalıkları uyarıcı oksidatif stres gibi çeşitli hastalıkların kontrolünü sağlayan

yeni bir doğal ilaç olacağı düşünölmektedir (Wu ve ark., 2010; Mondal ve ark., 2016).

Fosfazen bileşikleri yapılarında tekrarlayan $-P(Cl_2)=N-$ grubu içeren lineer, halkalı veya polimerik yapılı inorganik bileşiklerdir. Fosfor atomlarına bağlı klor atomlarının amin veya hidroksil türevli organik gruplarla yer değiştirmesi sonucunda değişik özelliklerde fosfazen bileşikleri sentezlenebilmektedir (Gudasi ve ark., 2007). Son yıllarda, siklomatriks yapılı polifosfazen mikroküreler termal (Pan ve ark., 2012), UV-vis ve floresans özellikleri (Liu ve ark., 2011), biyoyumlulukları ve biyobozunabilir olmalarının yanı sıra kontrollü ilaç salımı ve taşınımı (Ozay ve Ozay, 2014; Sun ve ark., 2015), adsorpsiyon (Wei ve ark., 2015), enzim immobilizasyonu (Chen ve ark., 2016) gibi pek çok uygulamaya sahip olmalarından dolayı oldukça ilgi çekmektedirler.

Wei ve ark. (2015) tarafından çapraz bağlayıcı olarak heksaklorosiklotrifosfazen ($N_3P_3Cl_6$, trimer) ile monomer olarak kullanılan kurkumin reaksiyona sokularak polifosfazen mikroküreler sentezlenmiştir. Bu çalışmada, kurkumin mikrokürelerin sentezine yönelik daha etkili ve basit bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde daha az miktarda reaktif ve çözücü kullanılmış, mikroküreler daha kısa sürede sentezlenmiş ve morfolojik olarak daha iyi mikroküreler elde edilmiştir. Kürelerin karakterizasyonu SEM-EDX, FTIR, XRD ile yapılmış, UV-vis ve floresans özellikleri araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Kimyasal Maddeler ve Reaktifler

Sentezler sırasında kullanılan heksaklorosiklotrifosfazen ($N_3P_3Cl_6$, trimer; Alfa Aesar, % 98) n-hekzandan yeniden kristallendirilerek kullanılmıştır. Kurkumin (Sigma-Aldrich, $\geq\%90$), trietilamin (Sigma-Aldrich,

$\geq\%99.5$) ile çözücü olarak kullanılan aseton (Sigma-Aldrich, $\geq\%99.8$) ve etanol (Sigma-Aldrich, $\geq\%99.8$) herhangi bir ön saflaştırma işlemine tabi tutulmadan kullanılmıştır.

Cihazlar

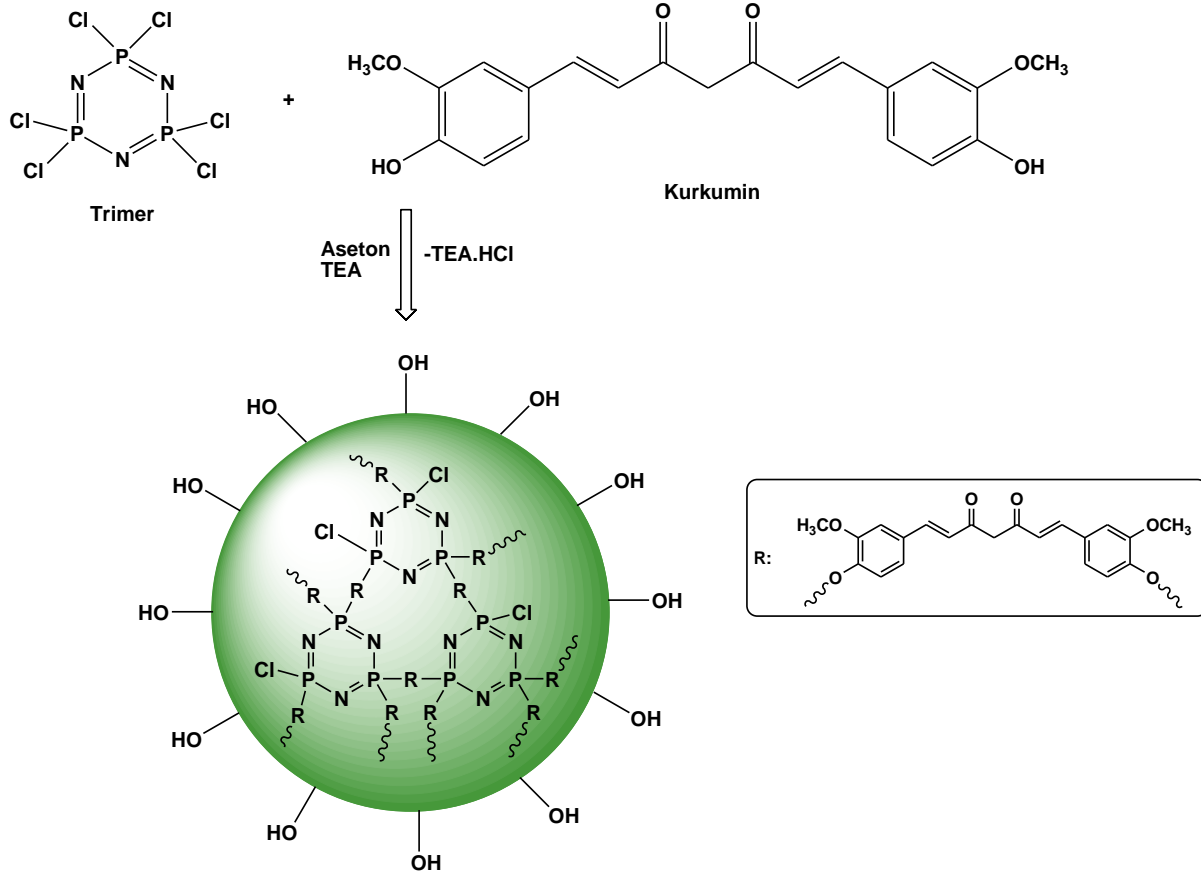
Sentezlenen mikrokürelerin yüzey morfolojileri ve EDX analizleri, ZEISS Ultra Plus (ZEISS ULTRA 55, APOLLO XP3) taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Mikrokürelerin infrared spektrumları (FTIR), Perkin Elmer Spectrum 100 spektrometre kullanılarak elde edilmiştir. UV-vis absorpsiyon ölçümleri, Shimadzu UV-3150 spektrometre ile yapılmıştır. Floresans analizleri ise Varian Cary Eclipse Floresans spektrofotometresi ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen mikrokürelerin partikül boyutu ölçümleri, Malvern ZEN 3600 cihazı ile ölçülmüştür. XRD analizleri ise Bruker AXS, S8 TIGER Advance cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Kurkumin Mikrokürelerin Sentezi

Trimer (0,094 g; 0,27 mmol) 100 mL'lik balonda 15 mL asetonda çözülmüştür. Kurkumin (0,10 g; 0,27 mmol) 15 mL asetonda çözümlenerek trimer çözeltisine eklenmiştir. Ardından reaksiyon ortamına tuz tutucu olarak kullanılan TEA (1,89 mL; 13,5 mmol) ilave edilmiştir. Ultrasonik banyoda 3 saat tutulduktan sonra elde edilen sarı renkli çökelek santrifüjlenerek (4000 rpm, 30 dakika) ayrılmıştır. Ardından sırasıyla aseton, saf su ve etanol ile yıkanmıştır. Vakum etüvünde $45^\circ C$ 'de kurutulmuştur. Tablo 1'deki miktarlar ile farklı mol oranlarında aynı deneysel prosedür kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır. Elde edilen mikrokürelerin sentez reaksiyonu Şekil 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Mol oranı değişimi için kullanılan çözücü ve reaktiflerin miktarları

(Trimer:Kurkumin)	Trimer (g)	Kurkumin (g)	TEA (mL)	Aseton (mL)
1:1	0,094	0,1	1,89	30
1:2	0,094	0,2	1,89	30
1:3	0,094	0,3	1,89	30
1:4	0,094	0,4	1,89	30



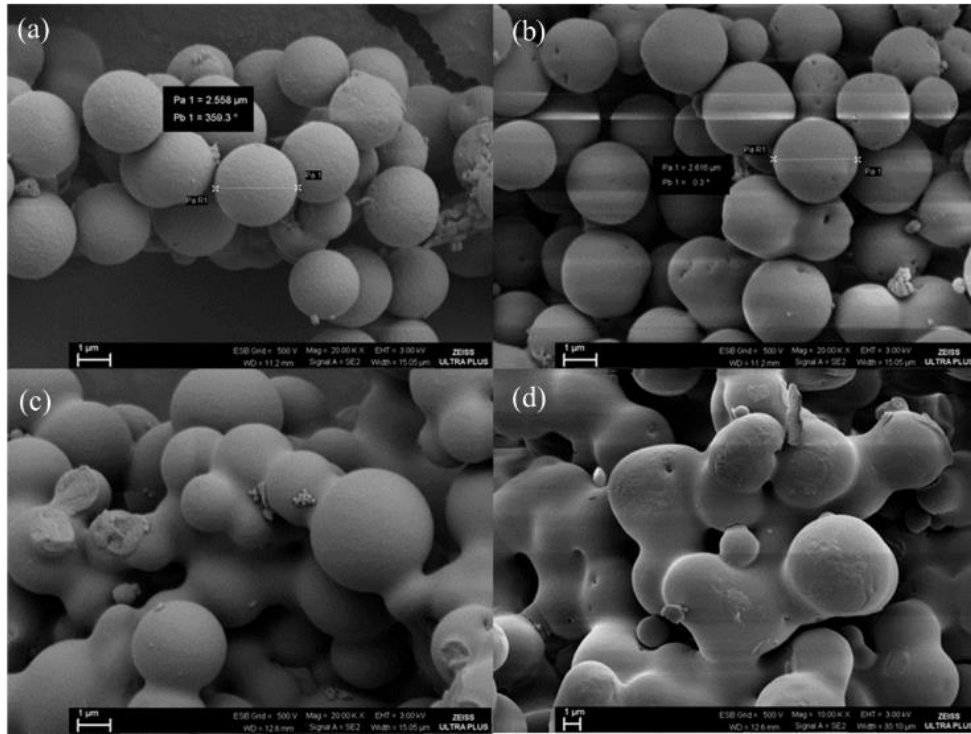
Şekil 1. Kurkumin mikrokürelerin sentez reaksiyonu

BULGULAR VE TARTIŞMALAR

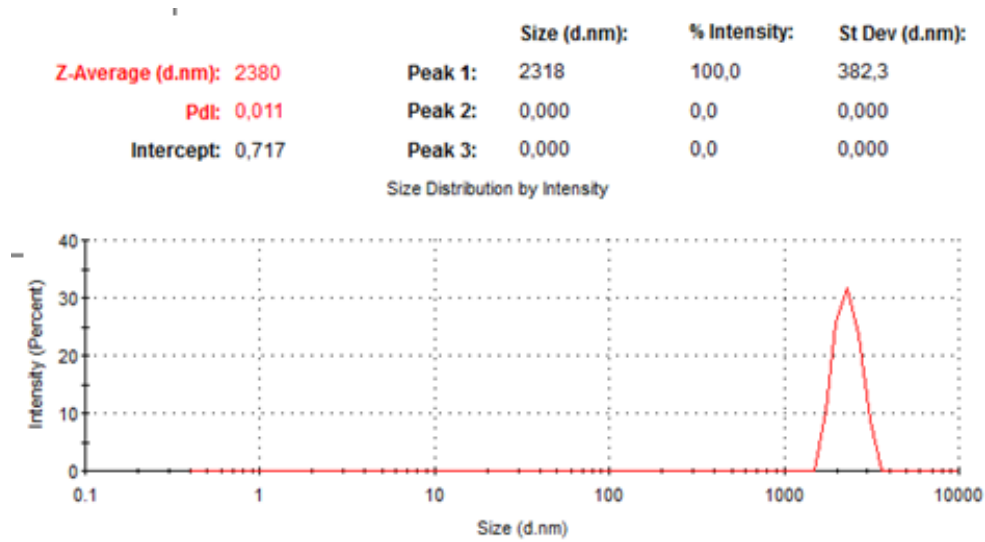
Kurkumin Mikrokürelerin Karakterizasyonu

Wei ve ark. (2015) tarafından polifosfazen kurkumin mikroküreler 1:3 (trimer:kurkumin) mol oranı ile, çözücü olarak 50 mL asetonitril kullanılarak, 7 saatte elde edilmiştir. Bu çalışmada ise 1:1 (trimer:kurkumin) mol oranı ile, çözücü olarak 30 mL aseton kullanılarak, 3 saatlik reaksiyon süresiyle kurkumin mikroküreler sentezlenmiştir.

Öncelikle en iyi mol oranını belirlemek amacıyla, 1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4 (trimer:kurkumin) mol oranlarında reaksiyonlar gerçekleştirilmiş ve elde edilen toz maddelerin SEM görüntüleri alınmıştır. En iyi mol oranının 1:1 olduğu Şekil 2'de verilen SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Sentezlenen partiküllerin tamamen küresel olduğu, yüzeylerinin pürüzlü olduğu belirlenmiştir. Karakterizasyon amaçlı yapılan bütün çalışmalarda 1:1 (trimer:kurkumin) mol oranıyla sentezlenen mikroküreler kullanılmıştır. Mikrokürelerin partikül boyutu Şekil 3'de verilen partikül boyutu dağılım grafiğinden de görüleceği gibi yaklaşık 2,318 µm olarak belirlenmiştir.



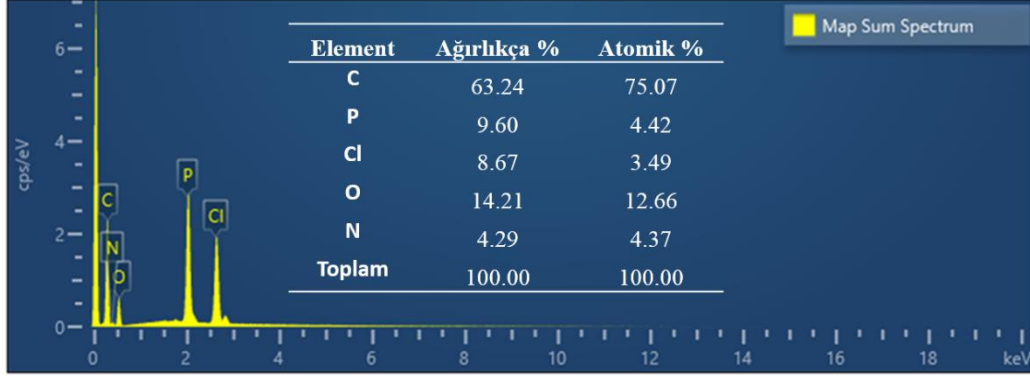
Őekil 2. a) 1:1, b) 1:2, c) 1:3 d) 1:4 (trimer: kurkumin) oranlarında sentezlenen kurkumin mikrokűrelerin SEM gűrűntűleri.



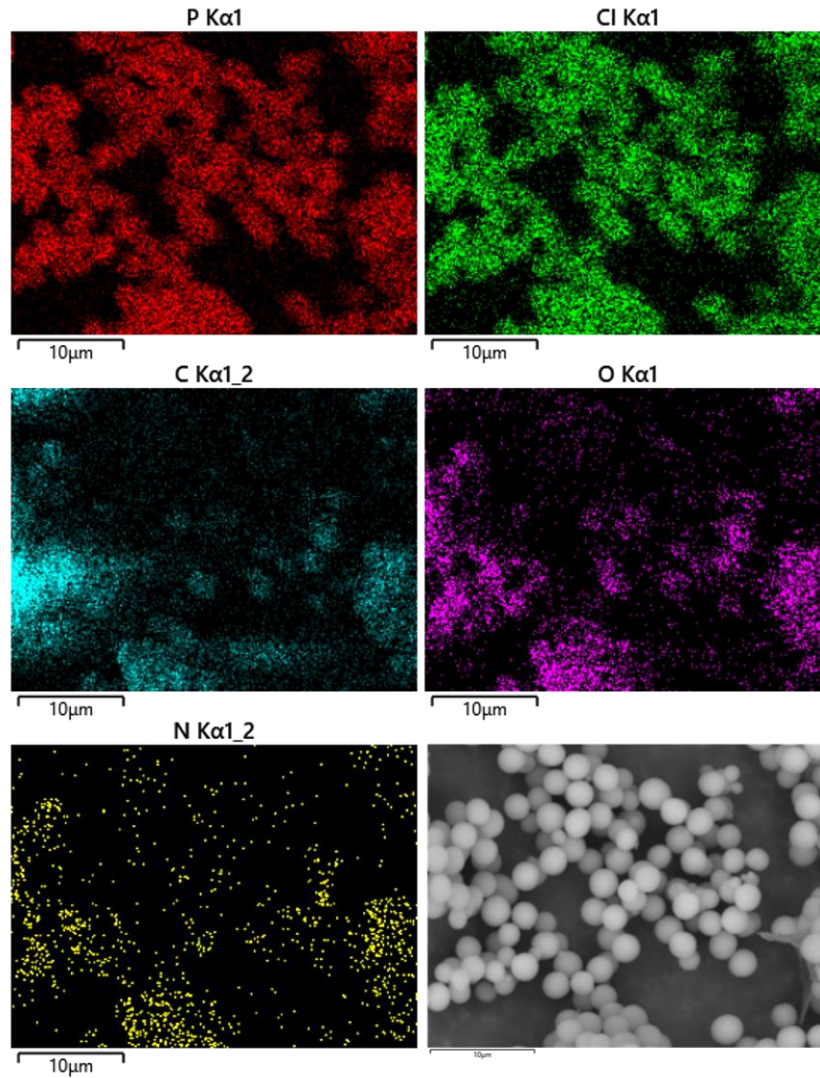
Őekil 3. Kurkumin mikrokűrelerin partikűl boyutu dađılım grafiđi

Sentezlenen kurkumin mikrokűrelerin EDX analizi yapılmıŐ ve Őekil 4'de gűrűlen EDX spektrumuna gűre atomik olarak % 75,07 C; % 12,66 O; % 4,42 P; % 4,37 N ve % 3,49 Cl atomu içerdiđi belirlenmiŐtir. Azot ve fosfor atomunun yűzdece yakın olması trimer halkasının eŐit sayıda azot ve fosfor atomu içermesi sebebiyle

mantıklı gűrűlműŐtűr. Klor miktarının sadece % 3,49 olması ise sterik engelden dolayı reaksiyona girememiŐ olan klor miktarının az olduđunu ve çapraz bađlanmanın bűyűk oranda gerçekleŐtiđini gűstermektedir. Ayrıca Őekil 5'de EDX haritalama gűrűntűleri gűsterilmektedir.



Şekil 4. Kurkumin mikrokürelere ait EDX spektrumu.



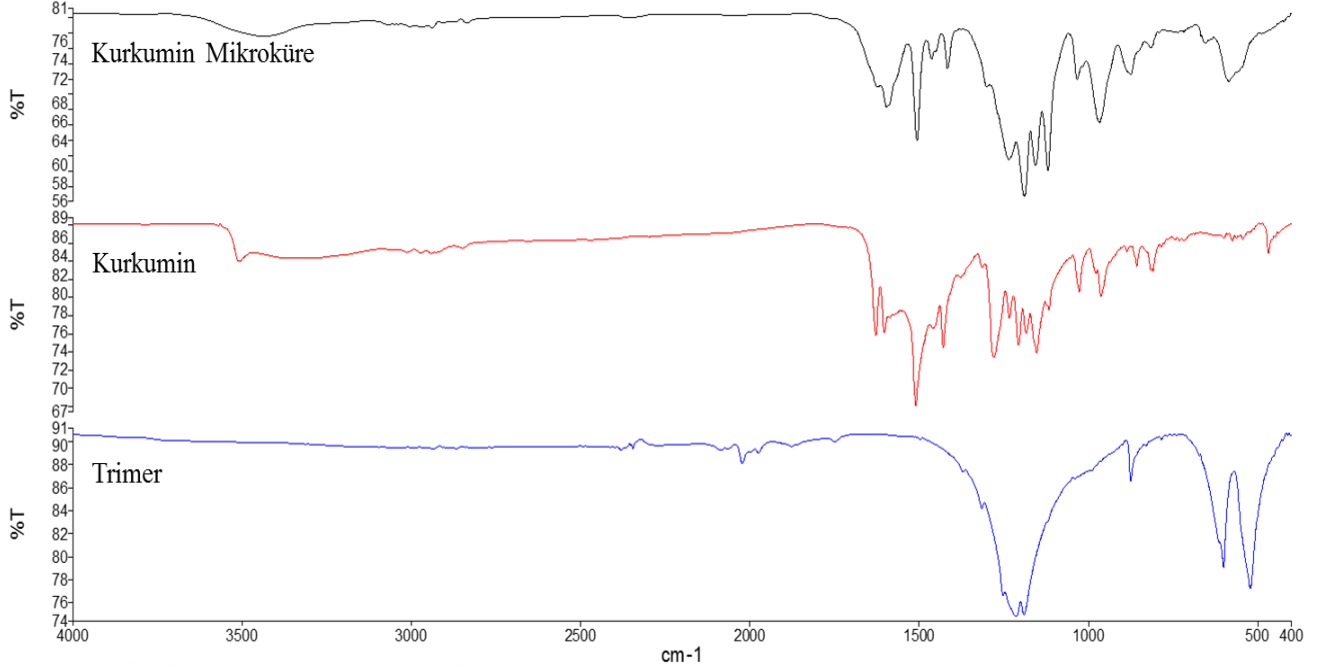
Şekil 5. Kurkumin mikrokürelere ait EDX haritalama görüntüleri

Kurkumin, kurkumin mikrokürelere ve trimere ait FTIR spektrumları Şekil 6'da, titreşim frekans değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen kurkumin mikrokürelere

lerin FTIR spektrumu incelendiğinde, 3448 cm^{-1} 'de -OH'e ait titreşim bandı görülmektedir. Kurkumin molekülünde ise 3510 cm^{-1} 'de serbest hidroksil grubuna ait

şiddetli, 3327 cm^{-1} 'de ise hidrojen bağı yapmış hidroksil grubuna ait yayvan bir bant görölmektedir. 3510 cm^{-1} 'de gözlenen pikin mikrokürelerde görölmemesi yapıda serbest hidroksil grubunun bulunmadığını göstermektedir. Mikrokürelerde 3073 ve 3006 cm^{-1} frekanslarında aromatik -CH gruplarına ait bantlar görölmektedir. Alifatik -CH gruplarına ait bantlar ise 2970 , 2941 cm^{-1} frekanslarında gözlenmektedir. Karbonil grubunun mikrokürede 1505 , kurkumin molekülünde ise 1509 cm^{-1} 'de şiddetli bir bant verdiği belirlenmiştir. 1234 ile 1183 cm^{-1}

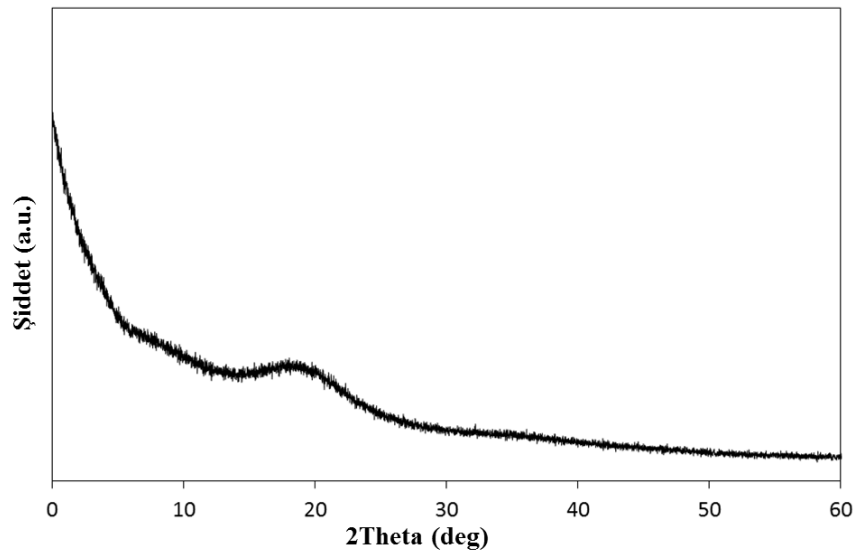
1 , 874 cm^{-1} ve 1118 cm^{-1} 'de gözlenen, sırasıyla P=N, P-N ve P-O gruplarına ait bantlar kurkumin molekülü ile trimerin bağ yaptığını, fosfazen yapısının olduğunu göstermektedir. Trimer halkasında bulunan P-Cl grubuna ait olan 600 ve 520 cm^{-1} 'de gözlenen bantların mikrokürelerde şiddetinin azaldığı görölmektedir. Bu da trimerin fosfor atomlarına büyük oranda kurkuminin bağlandığını ortaya koymaktadır (Wei ve ark., 2015; Mohan ve ark., 2012).



Şekil 6. Kurkumin mikroküreler, kurkumin ve trimerin FTIR spektrumları

Tablo 2. Trimer, kurkumin ve mikrokürelerin titreşim frekansları

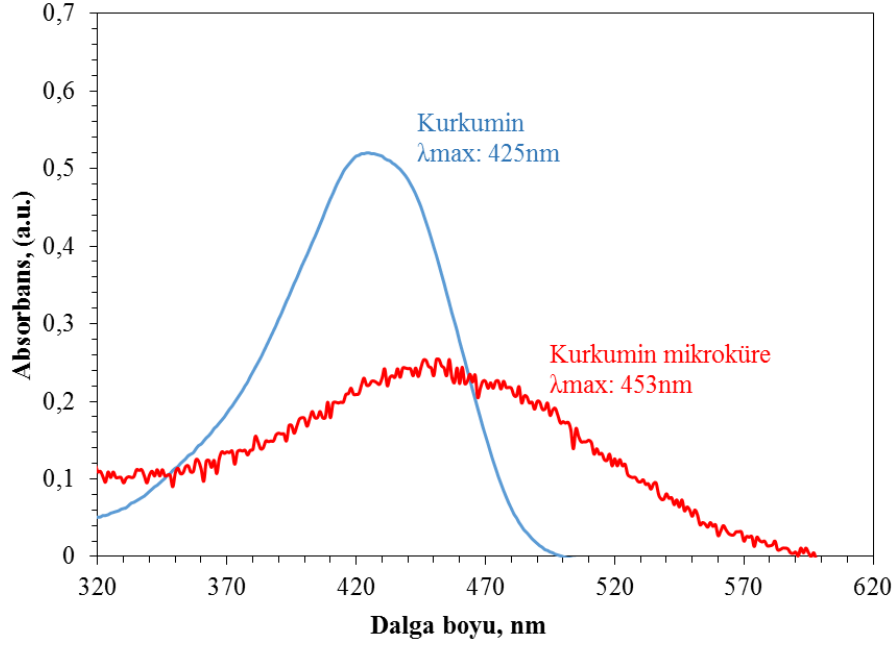
Frekans (cm ⁻¹)	Kurkumin Mikroküre	Kurkumin	Trimer
V _{O-H}	3448	3510, 3327	-
V _{C-H (aromatik)}	3073, 3006	3015	-
V _{C-H (alifatik)}	2970, 2941	2974, 2945	-
V _{C=C}	1596	1627, 1602	-
V _{C=O}	1505	1509	-
V _{P=N}	1234, 1183	-	1212, 1189
V _{C-O (O-CH₃)}	1155	1152	-
V _{P-O}	1118	-	-
V _{C-O-C}	1032	1026	-
V _{P-O-Ar}	967	-	-
V _{P-N}	874	-	874
V _{P-Cl}	584	-	600, 520

**Şekil 7.** Kurkumin mikrokürelerin XRD spektrumu

Sentezlenen kurkumin mikrokürelerin XRD spektrumu Şekil 7'de görülmektedir. Kurkumin mikrokürelere ait karakteristik bant, $2\theta=19^\circ$ 'da gözlenmiştir. Bu geniş bant kurkumin mikrokürelerin kristal yapıda değil amorf yapıda olduğunu göstermektedir. Ayrıca reaksiyon sırasında oluşan TEA.HCl tuzuna ait herhangi bir pikin gözlenmemesi mikrokürelerin tuzdan tamamen arındırılmış olduğunu göstermektedir.

Sentezlenen kurkumin mikrokürelerin UV-vis absorbanz özelliği kurkumin ile karşılaştırılmıştır. Kurkumin ve kurkumin mikrokürelerin UV-vis spektrumları alınırken çözücü olarak etanol kullanılmıştır. Şekil 8'de görülen UV-vis spektrumları incelendiğinde, kurkumin molekü-

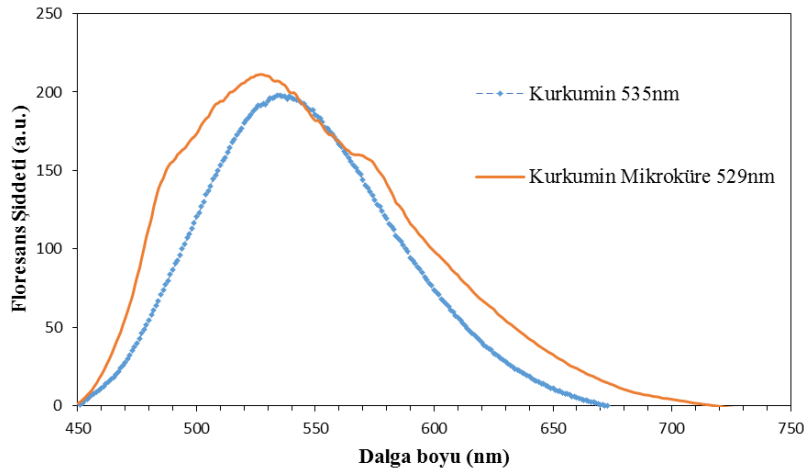
lünün 425 nm'de absorbanz verdiği, kurkumin mikrokürelerin absorbanzının ise 453 nm'ye kaydığı ve UV-vis bandının genişlediği belirlenmiştir. Kurkuminin 425 nm'de verdiği absorbanz moleküldeki $\pi-\pi^*$ geçişleri sebebiyledir. Kurkumin trimer ile polimerizasyon reaksiyonuna girerek küreselleştiğinde çapraz bağlanmanın oluşmasıyla $\pi-\pi^*$ geçişleri artmaktadır. Ayrıca kurkumin molekülü kendi içerisinde konjugasyona sahiptir. Kurkuminin trimer halkasına çapraz bağlanmasıyla elektronların konjugasyonu da artmaktadır. Sonuç olarak, çapraz bağlanma batokromik etki yaratmış ve UV-vis bandında kırmızıya kaymaya sebep olmuştur (Pan ve ark., 2012; Priyadarsini ve ark., 2009; Erdik, 2007; Yıldız, 1997).



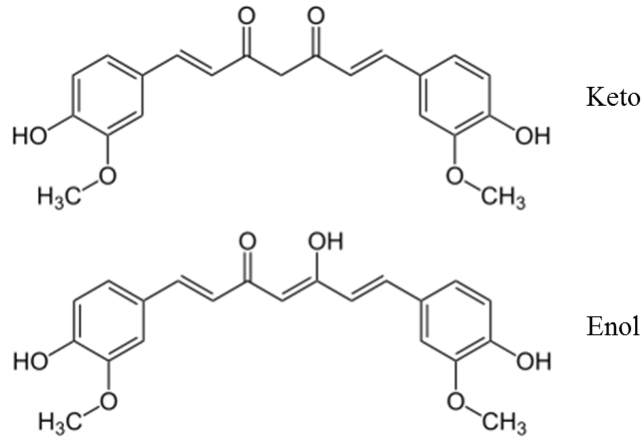
Şekil 8. Kurkumin ve kurkumin mikrokürelerin UV-vis spektrumları

Ayrıca, kurkumin mikrokürelerin floresans özelliği incelenmiştir. Şekil 9'da kurkumin ve kurkumin mikrokürelerin floresans emisyon spektrumları görölmektedir. Floresans ölçümlerinde çözücü olarak polar bir çözücü olan etanol kullanılmıştır. Hidrojen bağı yapabilen polar çözücüler kullanıldığında, floresans dalga boyu kırmızıya kayma gösterir ve emisyon bantları yayvan olarak gözlenir. Kurkumin molekülü Şekil 10'da da göröldüğü üzere keto ve enol formunda bulunabilir. Hem hidrojen bağı vericisi hem de alıcısı olan etanol gibi alkollerde kurkuminin enol formu daha kararlıdır. Kurkumin hem molekül içi hem de diğer kurkumin molekülleri ve çözücü olarak kullanılan etanol ile moleküller arası hidrojen bağı yapabilme özelliğine sahiptir. Kurkumin 425 nm'de

uyarıldığında 535 nm'de emisyon yaptığı görölmüştür. Kurkumin trimer ile reaksiyona girip mikroküreleri oluşturduğunda hidrojen bağı yapabilecek hidroksil gruplarından trimerin fosfor atomlarına bağlandığı için molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağı yapabilme kapasitesi azalmaktadır. Ancak oluşan yapının üç boyutlu konumu sebebiyle oluşan sterik engelden dolayı reaksiyona giremeyen hidroksil grupları hidrojen bağı yapabilir. Bu sebeple kurkumin mikrokürelerin floresans spektrumunda az da olsa maviye kayma gözlenmiş ve kürelerin 529 nm'de emisyon yaptığı belirlenmiştir (Priyadarsini ve ark., 2009; Nardo ve ark., 2008; Khopde ve ark., 2000; Allcock, 1972).



Şekil 9. Kurkumin ve kurkumin mikrokürelerin floresans emisyon spektrumları



Şekil 10. Kurkumin molekülünün keto ve enol yapıları

SONUÇLAR

Çapraz bağlı siklomatriks yapıları polifosfazen kurkumin mikroküreler sadece 3 saatlik kısa bir reaksiyon süresi, 1:1 (trimer:kurkumin) mol oranı ve 30 mL gibi az miktarda çözücü kullanımıyla sadece ultrasonik güç kullanılarak sentezlenmiştir. Bu sentez yöntemi kısa reaksiyon süresi ve daha az kimyasal kullanımı ile literatürde daha önce Wei ve ark. (2015) tarafından uygulanan yöntem alternatif ve daha etkili bir yöntemdir. Elde edilen kurkumin mikrokürelerin 453 nm'de UV-vis absorpsiyon vermesi ve 425 nm dalga boyunda uyarıldığında 529 nm'de floresans emisyonu yapması, kurkuminin trimer ile siklomatriks yapıları polifosfazen yapısını oluşturduğunda da UV-vis ve floresans özelliğinin devam ettiğini göstermiştir. Elde edilen mikrokürelerin kontrollü ilaç salımı ve taşınımı, bazı spesifik moleküllerin adsorpsiyonu gibi alanlarda uygulama bulabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi, 1506F536 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Ali, A., Banerjee, A.C. (2016). Curcumin inhibits HIV-1 by promoting Tat protein degradation. *Sci. Rep.*, 6: 1-9.
- Allcock, H. R. (1972). Recent advances in phosphazene (phosphonitrilic) chemistry. *Chem. Rev.*, 72:4, 315-356.
- Chen, C., Zhu, X.Y., Gao, Q.L., Fang, F., Wang, L.W., Huang, X.J. (2016). Immobilization of lipase onto functional cyclomatrix polyphosphazene microspheres. *J. Mol. Catal. B: Enzym.*, 132:67-74.

- Erdik, E. (1993) Elektronik Geçiş Türleri ve Konjugasyonun Etkisi, *Organik Kimyada Spektroskopik Yöntemler içinde* (s. 15-24). Ankara: Gazi Kitabevi.
- Gudasi, K.B., Vadavi, R.S., Sreedhar, B., Sairam, M., Shelke, N.B., Mallikarjuna, N.N., Kulkarni, P.V., Aminahbavi, T.M. (2007). Synthesis and characterization of some organopolyposphazenes and their controlled-release characteristics. *Des. Monomers. Polym.*, 10: 3, 235-251.
- Khopde, S. M., Priyadarsini, K. I., Palit, D. K., Mukherjee, T. (2000). Effect of Solvent on the excited-state photophysical properties of curcumin. *Photochem. Photobiol.*, 72:5, 625-631.
- Liu, W., Huang, X., Wei, H., Tang, X., Zhu, L. (2011). Intrinsically fluorescent nanoparticles with excellent stability based on a highly crosslinked organic-inorganic hybrid polyphosphazene material. *Chem. Commun.*, 47: 11447-11449.
- Mohan, P.R.K., Sreelakshmi, G., Muraleedharan, C.V., Joseph, R. (2012). Water soluble complexes of curcumin with cyclodextrins: Characterization by FT-Raman spectroscopy. *Vib. Spectrosc.*, 62: 77-84.
- Mondal, S., Ghosh, S., Moulik, S.P. (2016). Stability of curcumin in different solvent and solution media: UV-visible and steady-state fluorescence spectral study. *J. Photochem. Photobiol. B.*, 158: 212-218.
- Nardo, L., Paderno, R., Andreoni, A., Másson, M., Haukvik, T., Tønnesen, H. H. (2008). Role of H-bond formation in the photoreactivity of curcumin. *Spectroscopy.*, 22: 187-198.
- Niedzwiecki, A., Roomi, M.W., Kalinovsky, T., Rath, M. (2016). Anticancer efficacy of polyphenols and their combinations. *Nutrients.*, 8: 552.
- Ozay, H., Ozay, O. (2014). Synthesis and characterization of drug microspheres containing phosphazene for biomedical applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.*, 450: 99-105.
- Pan, T., Huang, X., Wei, H., Wei, W., Tang, X. (2012). Intrinsically fluorescent microspheres with superior thermal stability and broad ultraviolet-visible absorption

- based on hybrid polyphosphazene material. *Macromol. Chem. Phys.*, 213: 1590–1595.
- Patra, D., Barakat, C. (2011). Synchronous fluorescence spectroscopic study of solvatochromic curcumin dye. *Spectrochim. Acta Mol. Biomol. Spectrosc.*, 79: 1034–1041.
- Perrone, D., Ardito, F., Giannatempo, G., Dioguardi, M., Troiano, G., Russo, L., Lillo, A.D., Laino, L., Muzio, L.L. (2015). Biological and therapeutic activities, and anticancer properties of curcumin. *Exp. Ther. Med.*, 10: 1615-1623.
- Priyadarsini, K.I. (2009). Photophysics, photochemistry and photobiology of curcumin: Studies from organic solutions, bio-mimetics and living cells. *J. Photochem. Photobiol. C.*, 10: 81–95.
- Sun, L., Liu, T., Li, H., Yang, L., Meng, L., Lu, Q., Long, J. (2015). Fluorescent and cross-linked organic–inorganic hybrid nanoshells for monitoring drug delivery. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 7:4990–4997.
- Wei, W., Lu, R., Tang, S., Liu, X. (2015). Highly cross-linked fluorescent poly(cyclotriphosphazene-co-curcumin) microspheres for the selective detection of picric acid in solution phase. *J. Mater. Chem. A.*, 3: 4604-4611.
- Wei, W., Lu, R., Xie, H., Zhang, Y., Bai, X., Gu, L., Da, R., Liu, X. (2015). Selective adsorption and separation of dyes from an aqueous solution on organic–inorganic hybrid cyclomatrix polyphosphazene submicro-spheres. *J. Mater. Chem. A.*, 3: 4314–4322.
- Wu, F.Y., Sun, M.Z., Xiang, Y.L., Wu, Y.M., Tong, D.Q. (2010). Curcumin as a colorimetric and fluorescent chemosensor for selective recognition of fluoride ion. *J. Lumin.*, 130: 304–308.
- Yıldız, A., Genç, Ö., Bektaş S. (1997). Ultraviole ve Görünür Bölge Moleküler Absorpsiyon Spektroskopisi, Enstrümantal Analiz Yöntemleri içinde (s. 33-40). Ankara: Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Zhenga, Q.T., Yanga, Z.H., Yua, L.Y., Rena, Y.Y., Huang, Q.X., Liua, Q., Maa, X.Y., Chena, Z.K., Wanga, Z.B., Zhenga, X. (2016). Synthesis and antioxidant activity of curcumin analogs. *J. Asian. Nat. Prod. Res.*, 1-15.
-