



Geleceğin Malzemesi Olarak Karbon Kuantum Noktacık Ve Uygulama Alanları

Seyithan Bingül¹, Yunus Önal², İncilay Gökbulut^{3*}

¹ İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-1288-6980), bseyit4@gmail.com

² İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6342-6816), yunus.onal@inonu.edu.tr

^{3*} İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4994-5788), incilay.gokbulut@inonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14 Eylül 2022 ve Kabul Tarihi 11 Aralık 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1175104)

ATIF/REFERENCE: Bingül, S., Önal, Y. & Gökbulut, İ. (2023). Geleceğin Malzemesi Olarak Karbon Kuantum Noktacık Ve Uygulama Alanları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (50), 23-29.

Öz

Son yıllarda, nano karbon kuantum noktaları (KKN'lar), küçük boyut, floresan emisyon, kimyasal kararlılık, suda çözünürlük, kolay sentez ve işlevselleştirme gibi özelliklerinden dolayı artan bir ilgi görmektedir. Karbon noktaları olarak da adlandırılan karbon kuantum noktacığı (QD), 1-10 nm boyut aralığında bir tür sıfır boyutlu, yarı iletken kristal bir nanomalzeme olup, floresans özellikli nanopartiküllerin en yeni sınıfını oluşturmaktadır. Özel boyut aralıkları bu yapılara, optik özellikler açısından önemli faydalar sağlamaktadır. Biyokütle, çok yıllık ot, organik ev çöğü, tarım kalıntıları, balıkçılık, kümes hayvanları, hayvancılık, ormancılık ve ilgili endüstriler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilen karmaşık, bol, heterojen, biyolojik olarak parçalanabilen ve biyo-organik bir maddedir. Biyokütle atığı, C-nokta üretimi için yenilenebilir, çevre dostu, bol miktarda bulunan ve zararsız bir karbon kaynağıdır. Kararlı fizikokimyasal özelliklere sahip olan karbon kuantum noktacıkların, su ortamında dağılıma, biyoyoumluluk, düşük toksisite, kimyasal inertlik, kolay fonksiyonelleştirme, çevre dostu ve çeşitli fotoluminesans özelliklerinden dolayı gelecekte pekçok uygulamalarda kullanılacağı öngörülmektedir

Anahtar Kelimeler: Karbon/Grafen, Kuantum noktacıık, Doğal, Uygulama alanları

Carbon Quantum Dots As The Material of the Future and Application Areas

Abstract

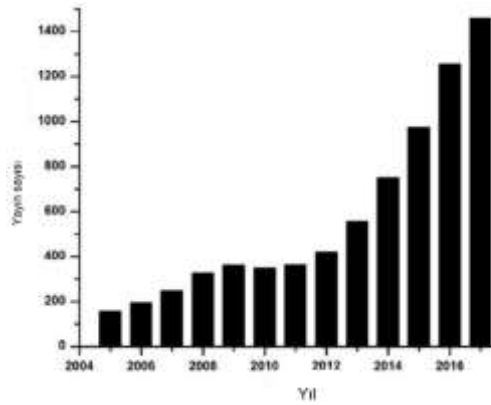
In recent years, nano carbon quantum dots (CQDs) have received increasing attention due to their small size, fluorescent emission, chemical stability, water solubility, easy synthesis and functionalization. Carbon quantum dot (QD), also called carbon dots, is a kind of zero-dimensional, semiconductor crystal nanomaterial in the size range of 1-10 nm, forming the newest class of fluorescent nanoparticles. Special size ranges provide these structures with significant benefits in terms of optical properties. Biomass is a complex, abundant, heterogeneous, biodegradable and bio-organic substance that may be obtained from diverse sources such as perennial grass, organic domestic garbage, residues of agriculture, fishery, poultry, animal husbandry, forestry and related industries. Biomass waste is a renewable, environmentally friendly, abundantly available and innocuous carbon source for C-dots production.

It is predicted that carbon quantum dots, which have stable physicochemical properties, will be used in many applications in the future due to their dispersion in the aquatic environment, biocompatibility, low toxicity, chemical inertness, easy functionalization, environmental friendliness and various photoluminescence properties.

Keywords: Carbon/Graphen, Quantum dot, Natural, Application area

1. Giriş

Son yıllarda grafen, kuantum noktalar ve grafen kuantum noktacıklar, oldukça ilgi çeken, yenilikçi ve üzerinde yoğun olarak çalışılmaya başlanan nanoyapıların başında gelmektedir. Karbon noktaları olarak da adlandırılan karbon kuantum noktacığı (KKN), 1-10 nm boyut aralığında bir tür sıfır boyutlu, yarı iletken kristal bir nanomalzeme olup, floresans özellikli nanopartiküllerin en yeni sınıfını oluşturmaktadır (Biçer ve Bilmişoğlu, 2020). Periyodik cetvelin II-VI, III-V grubu bileşiklerinden elde edilmekte olan kuantum noktacıklar, hemen hemen bütün yarı-iletken - metal bileşiklerinden elde edilebilmektedir (Öksel ve ark., 2018). Sözkonusu yapılar içerisinde bulunan ve çok geniş yüzey alanına sahip grafenin yüzey modifikasyonları kolaylıkla yapılabilen, ayrıca polimer yapılarla biyouyumlu hale getirilebilmekte ve yakın infrared ışınları (Near Infra Red, NIR) ile uyarılabilmektedirler. Özellikle üstün elektronik, kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip 2 boyutlu olan bu yapı süperkapasitörler, biyosensörler, görüntüleme ve ilaç salımı gibi çok farklı alanlarda kullanılabilir (Nurunnabi ve ark., 2015). İlk kez 2004 yılında elektroforez yoluyla tek duvarlı karbon nanotüplerin saflaştırılması sırasında elde edilen bu yapılar, daha sonra 2006 yılında grafit tozu ve çimentonun lazerle ablasyonu yoluyla elde edilmiştir (Xu ve ark., 2004). O günden bu yana kuantum noktacığ çalışmaları hız kazanarak, pek çok çalışma araştırmaya konu olmuştur. Şekil 1.1 'de 2004-2016 yılları arasında başlığında "karbon noktacıkları" geçen bilimsel yayınların sayısını göstermektedir (Atabaev, 2018).

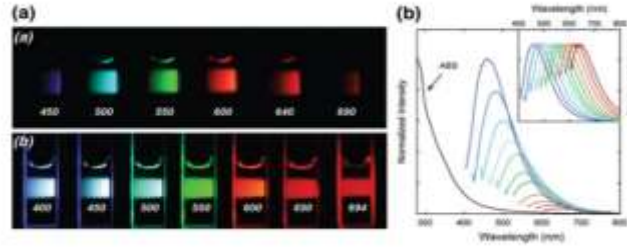


Şekil 1.1. 2004-2016 yılları arasında başlığında "karbon noktacıkları" geçen bilimsel yayınların sayısı (Atabaev, 2018).

(Figure 1.1. The number of scientific publications with "carbon dots" in their titles between 2004 and 2016)

Biyokütle, çok yıllık ot, organik ev çöpi, tarım kalıntıları, balıkçılık, kümes hayvanları, hayvancılık, ormancılık ve ilgili endüstriler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilen karmaşık, bol, heterojen, biyolojik olarak parçalanabilen ve biyo-organik bir maddedir. Biyokütle atığı, esas olarak selüloz, hemiselüloz, lignin, kül, proteinler ve diğer bazı bileşenlerden oluşan doğal bir organik karbon kaynağıdır. Biyokütle atığı, C-nokta üretimi için yenilenebilir, çevre dostu, bol miktarda bulunan ve zararsız bir karbon kaynağıdır (Kang ve ark., 2020). Bununla birlikte, biyokütle atıklarının çoğu şu anda atılmakta, depolanmakta veya açıkta yakılmakta olup, bu sadece kaynak israfına yol açmakla kalmayıp aynı zamanda insanları tehdit eden bazı çevre sorunlarına da neden olmaktadır. Son zamanlarda, biyokütle atıklarının C-nokta üretiminde hammadde olarak kullanılmasına yönelik bazı girişimler olmuştur.

Nano malzemeler, 100 nm altındaki boyutlarda kuantum mekaniği özelliklerini göstermeye başlarlar. Küçük boyutları nedeniyle, bu parçacıklardaki elektronlar küçük bir alan (kuantum kutusu) içinde hapsedilir ve yarı iletken nanokristalin yarıçapı, eksiton Bohr yarıçapından (eksiton Bohr yarıçapı, iletim bandındaki elektron ile değerlik bandında geride bıraktığı boşluk arasındaki ortalama mesafedir) daha küçük olduğunda, Pauli'nin dışlama ilkesine göre enerji seviyelerinin kuantizasyon ortaya çıkmaktadır (Reimann ve Manninen, 2002). Boyut küçüldükçe, en yüksek değerlik bandı ile en düşük iletim bandı arasındaki enerji farkı artmaktadır. Daha sonra noktayı uyarmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur ve daha fazla enerji salınır, bu da yayılan ışıktaki kırmızıdan maviye bir renk kaymasına neden olur. Bunun sonucunda nanomalzemeler, sadece nokta boyutunu değiştirerek aynı malzemeden herhangi bir renkte ışık yayabilmekte, ayrıca üretim sırasında herhangi bir renkte ışık yaymak üzere ayarlanabilmektedir (Pan ve ark., 2020). Karbon Noktalarının belki de en çarpıcı özelliği, genellikle uyarıma bağlı floresan emisyonu olarak adlandırılan uyarıma bağlı fotoluminesans (lümnesans) özelliğidir. Tipik uyarıma bağlı lümnesans spektrumları ve karşılık gelen renkler Şekil 1.4'te gösterilmektedir. Geniş spektral aralık ve emisyon piklerinin nispeten yüksek yoğunlukları, karbon noktacıklarının çok renkli özelliklerinin ortaya çıkarmaktadır. Karbon Noktacıklarının emisyon renginin uyarıma dalga boyuna göre ayarlanabilmesi, benzersiz özellikleri arasındadır (Jelinek, 2017).



Şekil 1.2. Karbon noktalarının uyarılmaya bağlı ışıltması.

(a) 400 nm'de uyarılan polietilen glikol (PEG)-pasifleştirilmiş Karbon Noktalarının fotoğrafları. (a) 400 nm'de uyarılmış (a) ve farklı bant geçiren emisyon filtrelerinde kaydedilmiş veya belirtilen dalga boylarında uyarılmış (b) polietilen glikol (PEG)-pasifleştirilmiş Karbon Noktalarının fotoğrafları.

(b) 20 nm artan artışlarla uyarılan Karbon Noktalarının floresan emisyon spektrumları (Jelinek, 2017).

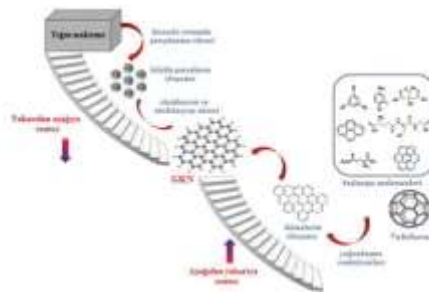
(Figure 1.2. Excitation-induced luminescence of carbon dots.

(a) Photographs of polyethylene glycol (PEG)-passivated Carbon Dots excited at 400 nm. (a) excited at 400 nm (a) and recorded in different bandpass emission filters or excited at specified wavelengths. (b) Photographs of polyethylene glycol (PEG)-passivated Carbon Dots.

(b) Fluorescent emission spectra of Carbon Spots excited in 20 nm increments).

Şekil 1.2'de gösterilen olağanüstü fenomen, hem temel fiziksel hem de pratik uygulamalar açısından büyük ilgi görmüştür. Yarı iletken kuantum noktalarının geniş çapta incelenen emisyon renkleri, kuantum hapsedme etkilerine tekabül ederken ve nanoparçacıkların boyutlarıyla (yani çaplar) ilişkiliyken, Karbon Noktalarının lüminesans özelliklerinden sorumlu olan temel özellikler farklıdır. Karbon Noktacıklarında gözlemlenen farklı renklerin kökeni, aslında, grafitik nanoparçacıklar üzerindeki yüzey kusurlarıyla ilişkili enerji durumlarına atfedilmiştir. Karbon kuantum noktalar, sahip oldukları farklı optik ve elektronik özellik ve ayarlanabilir boyutları ile ışık emisyonu, yüksek sinyal parlaklığı, uzun süreli foto kararlılık özellikleri sergilemektedirler.

Karbon kuantum noktalar üstün optik özellikleri yanısıra, hazırlama sürecinde toksik metal elementlerin katılımını azaltarak, çevre üzerindeki olumsuz etkiyi azaltmakta düşük -maliyet ve yeşil sentez ortamı sağlamaktadır (Wang ve ark., 2014). Sözkonusu yapılar, organik boyalarla kıyaslandığında, fotolüminesan karbon bazlı kuantum noktaları, yüksek (sulu) çözünürlük, kolay modifikasyon ve ışıkla ağartmaya karşı yüksek direnç göstermektedir. Düşük toksisite ve iyi biyoyumluluk gibi üstün biyolojik özellikleri, onları biyogörüntüleme, biyosensör ve biyomolekül/ilâç dağıtımında potansiyel uygulamalara alternatif oluşturmaktadır. Bütün yarı-iletken metal bileşiklerden kuantum noktacıkların elde edilmesinin yanı sıra en fazla kullanılan kuantum noktalar: CdSe, InAs, CdS, CdTe, ZnS, PbSe'dir (Özada, 2016). Kuantum noktalar, genel olarak nano malzemelerin üretiminde olduğu gibi aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya iki temel yaklaşımla üretilmektedir. Şekil 1.3 'te C noktalarının sentezlenmesi için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımların şematik gösterimi verilmiştir ((Iannazzo vd. 2017) .



Şekil 1.3. C noktalarının sentezlenmesi için yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya yaklaşımların şematik gösterimi. (Iannazzo vd. 2017).

(Figure 1.3. Schematic representation of top-down and bottom-up approaches for synthesizing carbon C dots from biomass waste)

2. Uygulama Alanları

Günümüzde kuantum noktacıklar ilgili araştırma ve çalışmalar ve bunlara yönelik uygulamalar giderek yoğunluk kazanmaktadır. Yüzeyinde çok fazla fonksiyonel gruplar bulunduran, karbonizasyon derecesi değiştirilebilen karbon materyaller olarak bildirilen karbon noktacıklar optik ve kimyasal özelliklerinden dolayı farklı alanlarda, biyo-görüntüleme, kimyasal-sensör, biyo-sensör, nanomedikal, biyomolekül/ilâç salınımı, ışık saçan diyetler, fotokatalizör ve optoelektronik araç uygulamalarında, fotodiyot, analitik kimya, elektronik gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Wang ve ark., 2014; Huang ve ark., 2013).

Kimyasal sensör olarak, pH tayini, iyon sensörleri ve organik maddelerin tespiti gibi farklı uygulamaları mevcuttur. Biyosensör olarak nükleik asitler, proteinler ve enzimler olmak üzere farklı biyolojik materyallerin tayininde kullanılmakta ve floresans rezonans

enerji transferi ile belirlenmektedir (Grigsby ve diğ., 2012). Yüksek floresans emisyon özelliklerinden dolayı biyogörüntüleme uygulamalarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Lim, 2015). Biyogörüntüleme, floresans mikroskobu ve konfokal mikroskobu ile gerçekleştirilmekte, ayrıca nanotıp alanında hem görüntüleme hem de fotodinamik terapi uygulamalarında kullanılmaktadır (Huang, 2012). Biyomedikal uygulamaları biyogörüntüleme, biyoalgılama ve ilaç dağıtımı gibi birçok alanda rapor edilmiştir (Qi ve diğ., 2019;; Shen ve diğ., 2017; Xue ve diğ., 2019; Du ve diğ., 2020; Hassan ve diğ., 2018). Fotokatalizör olarak organik sentezlere alternatif olarak, TiO₂ gibi UV bölgede uyarılmayan fotokatalizörleri hassaslaştırmak amacıyla kullanılmaktadır (Li, 2014). Temiz enerji üretiminde yakıt hücreleri ve temiz yakıt üretimi gibi uygulamalarda elektrokatalizör olarak kullanılmaktadır. Kuantum noktaların ayarlanabilir absorpsiyon spektrumu ve yüksek absorpsiyon katsayıları gibi özellikleri, fotovoltajik sistemlerdeki kullanımını öne çıkartmaktadır (Schaller ve Klimov, 2004). Doğal monokromatik ışık yayması nedeniyle, renk filtresi olan ışık kaynaklarından daha etkili olabilmekte, ve spesifik emisyon spektrumlarından dolayı görüntüleme sistemleri için kullanımı oldukça uygundur. Kuantum nokta görüntüleme sistemleri görünür bölgelerde parlak emisyon yaptıklarından daha keskin bir görüntü sergilemektedir (Freckler ve diğ., 2016). Sağlık alanında in vivo ve in vitro biyogörüntüleme, gen/ilaç dağıtımı, algılama ve kanser tedavisi gibi çok yönlü biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır (Wagner ve diğ., 2020; Panwar ve diğ., 2019).

Tablo 1. Biyokütle atıklarından elde edilen karbon noktalarının birçok uygulama alanına genel bir bakış

(Table 1. An overview of the many application areas of carbon dots from biomass waste)

Uygulama alanı	Biyokütle atığı	Metod	Uygulama
Algılama	Küspe atığı	Hidrotermal	Hg ⁺² tespiti
	Taç papatya yaprak atığı	Hidrotermal	Cu ⁺² tespiti
	Lignoselülüz atığı	Hidrotermal	Cu ⁺² tespiti
	<i>Sargassum fluitans</i>	Hidrotermal	DNA tespiti
	Mango kabukları	Hidrotermal	Mesotrione tespiti
	Palm kabuk atıkları	Ultrasonik	Nitrofenol tespiti
	Atık çay kalıntıları	Kimyasal oksidasyon	Tetrasiklin tespiti
	Mum kurumu kalıntıları	Kimyasal oksidasyon	Hg ⁺² ve Fe ⁺³ tespiti
Gazyağı yakıt kurumu	Kimyasal oksidasyon	Pikrik asit, Hg ⁺² ve Cu ⁺² tespiti	
Görüntüleme	Soğan atığı	Hidrotermal	Çok renkli görüntüleme ve Fe ⁺³ tespiti
	Buğday samanı ve bambu atıkları	Hidrotermal	Hücre görüntüleme ve in vivo biyogörüntüleme
	Muz kabuk atığı	Hidrotermal	in vivo biyogörüntüleme
	Lychee atığı	Solvent-termal	Çok renkli görüntüleme ve Fe ⁺³ tespiti
	Kavrulmuş nohut kabukları	Mikrodalga	in vivo biyogörüntüleme
	Gıda atıkları	Ultrasonik	in vivo biyogörüntüleme
	İnek gübresi	Kimyasal oksidasyon	Canlı hücre görüntüleme ve hücre seçiciliği
	Ceviz kabukları	Karbonizasyon ve kimyasal kesme	Hücreler arası biyogörüntüleme
<i>T. bispinosa</i> kabuğu	Gerilim akış	Hücrel görüntüleme	
İlaç taşıma	Buğday kepeği	Hidrotermal	İlaç taşıma
	Şeker pancarı küspesi	Yakma ve Hidrotermal	Asetaminofen için ilaç taşıma aracı
	Atık sago kabukları	Katalizsiz piroliz	Antikanser ilaç taşıma ve kanser hücre görüntüleme
	Yengeç kabukları	Mikrodalga	İlaç taşıma ve hedeflenmiş biyogörüntüleme
	Bambu yaprakları	Gerilim akış	İlaç taşıma ve tümör görüntüleme
Fotokataliz	Kızartma yağ atıkları	Hidrotermal	Fotokataliz
	Portakal kabukları	Hidrotermal	Fotokataliz
	Lignoselülozik atık	Piroliz	Kirletici kullanımına bağlı fotokataliz
	Acı elma kabukları	Piroliz	Fotokataliz
	Limon kabuğu atıkları	Hidrotermal	Fotokataliz ve algılama
Diğerleri	Atık gıdalar	Hidrotermal	Işık yayan diyot
	Söğüt yaprakları	Hidrotermal	Flüoresan mürekkep ve oksijen redüksiyon elektrokatalizi
	Ananas kabukları	Hidrotermal	Elektronik güvenlik cihazları ve hafıza elemanı
	Portakal kabuk atıkları	Hidrotermal	Lineer olmayan optik uygulamalar
	Çay ve fındık kabukları	Hidrotermal	Çay aşamalarını ayırıştırma
	Şekerpancarı küspesi	Gerilim akış ve Hidrotermal	Naftalin uzaklaştırma
	Durian kabukları	Piroliz	Enerji depolama aracı
	Soğan kabukları	Mikrodalga	Hızlandırılmış deri yaralarını iyileştirme ve canlı hücre görüntüleme

Kuantum noktaların en önemli özelliği olan boyutların kontrol edilebilirliği, farklı bir renk skalası ortaya çıkarmaktadır. En küçük noktaların mavi ışığa ve en büyük noktaların kırmızı ışığına sağlanarak, güneş enerjisi, LED teknolojisi ve tıbbi görüntüleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Kuantum noktaları; daha verimli çalışan güneş panelleri (Huang ve ark., 2013), daha az enerjiyle çalışan lazerler, LED aydınlatmalar, daha canlı renkler kazandırılmış plazma ve televizyon ekranları, biyo-ajanlar ve biyo-görüntüleme gibi farklı alanlarda uygulanabilmektedir (Pan ve ark., 2020).

Hastalıkların, doku ve organ fonksiyonlarındaki aksaklıkların tanısı için kuantum noktalarının kullanımı artmaktadır. Kuantum noktacılar, in vivo ve in vitro biyogörüntüleme, ilaç dağıtımı, gen dağıtımı ve kanser tedavisi gibi çok yönlü biyomedikal e-ISSN: 2148-2683

uygulamalarda son yıllarda daha fazla rağbet görmektedir (Pan ve ark., 2020). Kuantum noktalar, kanser araştırma çalışmalarında erken tanı, görüntüleme ve tedavide önem arz etmekte ve kanserli hücreleri teşhis etmek için potansiyel bir aday olarak tanımlanmaktadır. Kuantum noktaları tıbbi tanı ve görüntüleme amaçlı floresan problemleri olarak kullanılabilir. İlaç taşıma ve görüntüleme sistemlerini bir araya getirerek kuantum noktalar, tanı ve tedavinin eşzamanlı gerçekleşmesine olanak sağlamaktadırlar. Kuantum noktaları yüzeyine, tümör hedefleme peptitleri ve anti-tümör ilaçlar, bağlanarak kompozit yapılar tasarlanmaktadır. Yao ve ark., (2018) Panax ginseng bitkisinin ana etken maddesi olan ginsenosiddan çok işlevli KKN'lar geliştirmişlerdir. Bu KKNlerin, Reaktif Oksijen Türlerini (ROS) artırarak çeşitli kanser hücrelerini kesin olarak inhibe ettiğini rapor etmişlerdir. Bitki bazlı karbon kuantum noktaları, mükemmel fotostabilite, toksik olmama, yüksek fotoluminesans özellik ve suda çözünürlük göstermiştir. Li ve ark., (2014) zencefil suyundan KKN'lari sentezlemişler ve bunları herhangi bir ilaç eklenmeden teranostik (hem teşhis, hem tedavi) amaçlı kullanmışlardır. Benzer şekilde, He ve ark., (2021) yeşil çaydan biyoyumlu ve yüksek düzeyde fotoluminesans özellikli KKN'ların meme kanserinin inhibisyonu için mükemmel bir etkinlik gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca Arkan ve ark. (2018), meme kanseri hücrelerine karşı apoptotik aktivite gösteren ceviz yağından KKN'ler sentezlemişlerdir. Salva ve ark. (2011) yapmış olduğu çalışmada yumurtalık kanseri kemoterapisi için tümör hedef ajanı (mucin) ve kanser tedavi amaçlı kullanılan DOX ilacı kuantum noktalarını bir araya getirilerek KKN-MUC1-DOX konjugatı kullanmışlardır.

Kuantum noktaların biyolojik görüntüleme çeşitli uygulamaları vardır. Geleneksel floresan boya ve proteinlere kıyasla kuantum noktacılar çok daha geniş lüminesans spektrumlarına (ışın aralığı) sahiptirler. Vbu özellik KKN'ların foto kararlılığı sayesinde daha belirgin ve uzun süreli görüntüleme imkanı sunmaktadır (Nurunnabi ve ark., 2015). KKN'ların geliştirilmiş fotostabilitesi, yüksek çözünürlüklü üç boyutlu bir görüntüde yeniden yapılandırılabilen birçok ardışık odak düzlem görüntüsünün elde edilmesine izin vermektedir (Tokumasu ve ark., 2005). Ayrıca, KKN problemlerinin olağanüstü fotostabilitesinden yararlanılarak, moleküllerin ve hücrelerin çok uzun sürelerde, gerçek zamanlı olarak izlenmesi mümkün olabilmektedir (Dahan, 2003).

Kuantum noktaları, nanopartiküllere benzer antibakteriyel özelliklere sahip olabilmekte ve doza bağlı bir şekilde bakteriostatik etki gösterebilmektedirler (Zhisong ve ark., 2008). Kuantum noktalarının bakterileri inaktif hale getirmesi, hücrelerdeki antioksidatif sistemin işlevlerini bozması ve antioksidatif genleri düzenlemesi ve hücre duvarına doğrudan zarar vermesi şeklinde gerçekleşmektedir. Kuantum noktalarının hem gram pozitif hem de gram negatif bakterilere karşı etkili olduğu gösterilmiştir (Abdolmohammadi ve ark., 2017).

Gıda Biliminde KKN'lerin kullanımı özellikle gıda patojenlerinin (*E. coli*, *Salmonella* ve *Listeria*) saptanması ve izlenmesi konusunda olmuştur. *Escherichia coli* O157:H7 ve *Salmonella typhimurium*'un eşzamanlı tespiti için immünolojik testlerde floresan etiketleri olarak KKN'lerin kullanımını araştırdığı çalışmada sonuçlar, KKN-antikor konjugatlarının bakteri hücrelerinin yüzeyine başarılı bir şekilde eklenebileceğini göstermiştir (Yang & Li, 2006). Sözer ve Kokini (2014), mısırdaki zein ve ekmekte gluten ağının görüntülenmesinde KKN'ları kullanmışlardır. Başka bir çalışmada Ansari ve ark., (2015) farklı pişirme sürelerinde hazırlanan iki farklı mayasız pide örneğinde gliadinin moleküler dağılımını belirlemek için KKN kullanmışlardır. KKN'lerin anti-gliadin antikörlerine başarılı bağlanması ile KKN'lerin gıda matrislerindeki spesifik protein alt birimlerini hedeflemek için mükemmel prob olabileceği ni rapor etmişlerdir. Biyolojide uygulanan yöntemlerden ikisi olan biotin-avidin ve antikör-antijen, Gıda Biliminde başarıyla uygulanmıştır. *Listeria monocytogenes*, *E. coli* ve *Salmonella typhimurium*'un başarılı eş zamanlı tespiti, gluten ve zein gibi gıda proteinlerinin başarılı bir şekilde etiketlenmesi, sürekli geliştirmede bir yöntemin sadece başlangıcı gibi görünmekte ve gıda matrislerinin organizasyonunun daha iyi anlaşılmasını sağlamak için geniş bir yeni fırsatlar yelpazesi sunmaktadır. KKN'leri antikörlere ekleyerek hemen hemen her proteinin tespiti sağlanabilmektedir. Vainillin, melanin ve hidrojen peroksit gibi gıda bileşikleri ve pestisit olarak gıda dışı bileşikler için yüksek hassasiyetli gıda sensörlerinin geliştirilmesi KKN kullanımı ile gerçekleştirilmiştir

Enzim aracılı yöntem gibi KKN'leri antikora konjuge etmek için ortaya çıkan yöntemler, Gıda Bilimi alanında KKN'lerin nano-floresan belirteçleri olarak uygulanabilirliğini arttırmaktadır.

4. Sonuç

Geleceğin malzemesi olarak doğal biokütlelerden üretilen karbon kuantum noktacıların, gelecekte pek çok alanda öncülük yaratacağı öngörülmektedir. Kararlı fizikokimyasal özelliklere sahip olan karbon kuantum noktacılar özellikle, su ortamında dağılma, biyoyumluluk, düşük toksisite, kimyasal inertlik, kolay fonksiyonelleştirme, çeşitli fotoluminesans ve çevre dostu özelliklerinden dolayı tıp, biyoloji, elektronik, gıda, kimya gibi pek çok alanda olmak üzere hayatımızda yer almaya devam edecektir

Kaynakça

- Abdolmohammadi, M.H., Fallahian, F., Fakhroueian, Z., Kamalyan, M., Keyhanvar, P., M Harsini, F., Shafiekhani, A. 2017. Application of new ZnO nanof ormulation and Ag/Fe/ZnO nanocomposites as water-based nanofluids to consider in vitro cytotoxic effects against MCF-7 breast cancer cells. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 45 (8): 1769–1777.
- Ansari, S., Bozkurt, F., Yazar, G., Ryan, V., Bhunia, A., Kokini, J. 2015. Probing the distribution of gliadin proteins in dough and baked bread using conjugated quantum dots as a labeling tool. *Journal of Cereal Science*, 63, 41e48.
- Arkan, E., Barati, A., Rahmanpanah, M., Hosseinzadeh, L. 2018. Green Synthesis of Carbon Dots Derived from Walnut Oil and an Investigation of Their Cytotoxic and Apoptogenic Activities toward Cancer Cells. *Advanced Pharmaceutical Bulletin* 8(1):149-155
- Atabaev, T.S. 2018. Doped Carbon Dots for Sensing and Bioimaging Applications: A Minireview. *Nanomaterials*, 8(5), 342.
- Bıçer, A., Bilmişoğlu, K. 2020. Kırmızı soğandan karbon kuantum noktaların sentezi ve fotoluminesans özelliklerinin incelenmesi. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences*, 24(1), 48-56.

- Dahan, M. 2003. Diffusion dynamics of glycine receptors revealed by single-quantum dot tracking, *Science*, 302 (5644): 442–5, 2003.
- Du, F., Cheng, Z., Tan, W., Sun, L., Ruan, G. 2020. Development of sulfur doped carbon quantum dots for highly selective and sensitive fluorescent detection of Fe²⁺ and Fe³⁺ ions in oral ferrous gluconate samples. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular*, 226, 117602.
- Frecker, T., Bailey, D., Arzeta-Ferrer, X., Mc Bride, J., Rosenthal, S.J. 2016. Review—Quantum dots and their application in lighting, displays, and biology. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 5, 1, 3019-3031.
- Grigsby, C.L., Ho, Y.P., Leong, K.W. 2012. Understanding nonviral nucleic acid delivery with quantum dot-FRET nanosensors. *Nanomedicine*, 7,4.
- Hassan, M., Gomes, V.G., Dehghani, A., Ardekani, S.M. 2018. Engineering carbon quantum dots for photomediated theranostics. *Nano Research*, 11(1), 1–41.
- He, Z., Cheng, J., Yan, W., Long, W., Ouyang, H., Hu, X., et al. 2021. One-step preparation of green tea ash derived and polymer functionalized carbon quantum dots via the thiol-ene click chemistry. *Inorganic Chemistry Communications Journal*, 130, 108743.
- Huang, H., Lv, J. J., Zhou, D. L., Bao, N., Xu, Y., Wang, A. J., Feng, J. J. 2013. One-pot green synthesis of nitrogen-doped carbon nanoparticles as fluorescent probes for mercury ions. *RSC Advances*, 3 (44), 21691-21696.
- Huang, P., Lin, J., Wang, X. S., Wang, Z., Zhang, C. L., He, M., Wang, K., Chen, F., Li, Z.M., Shen, G.X., Cui, D.X., Chen, X.Y. 2012. Light-triggered theranostics based on photosensitizer-conjugated carbon dots for simultaneous enhanced-fluorescence imaging and photodynamic therapy. *Advanced Materials*, 24, 5104–5110.
- Iannazzo, D., Ziccarelli, I., Pistone, A. 2017. Graphene quantum dots: Multifunctional nanoplateforms for anticancer therapy. *Journal of Materials Chemistry B*, 5; 6471-6489.
- Jelinek Raz. 2017. *Carbon Quantum Dots Synthesis, Properties and Applications.*, Springer.
- Kang C., Huang Y., Yang H., Fang Yan X., Chen P. Z. A. 2020. Review of Carbon Dots Produced from Biomass Wastes, *Nanomaterials*, 10, 2316, 1-24.
- Li, Y., Zhong, X., Rider, A. E., Furman, S. A., and Ostrikov, K. 2014. Fast, energy efficient synthesis of luminescent carbon quantum dots. *Green Chemistry*, 16, 2566–2570.
- Li, Y., Zhong, X., Rider, A. E., Furman, S. A., and Ostrikov, K. 2014. Fast, energy efficient synthesis of luminescent carbon quantum dots. *Green Chemistry*, 16, 2566–2570.
- Lim, S.Y., Shen, W., Gao, Z. 2015. Carbon quantum dots and their applications. *Chemical Society Reviews Journal*, 44, 362—381.
- Nurunnabi, M. Parvez, K. Nafiujjaman M. Revuri, V. Khan, H. A. Feng, X. and Lee, Y. 2015. Bioapplication of graphene oxide derivatives: drug/gene delivery, imaging, polymeric modification, toxicology, therapeutic and challenges. *Royal Society Of Chemistry*, 5; 42141-42161.
- Öksel, C., Koç, Y., Yağlı, H., Koç, A. 2018. Kuantum noktalı güneş hücreleri. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2) 174-182, 2018.
- Özada Ç. 2016. Nükleer Görüntüleme Sistemlerinde Kuantum Noktaların Kullanılması. *Bilim, Mühendislik ve Teknoloji Yayınları*, 1(1), 1-11.
- Pan M., Xie X., Liu K., Yang J., Hong L., Wang S. 2020. Fluorescent Carbon Quantum Dots—Synthesis, Functionalization and Sensing Application in Food Analysis. *Nanomaterials*, 10, 930. 1-25.
- Panwar, N., Soehartono, A.M., Chan, K.K., Zeng, S., Xu, G., Qu, J., Coquet, P., Yong, K.T., Chen, X. 2019. Nanocarbons for biology and medicine: sensing, imaging, and drug delivery. *Chemical Reviews*, 119,16, 9559-9556.
- Qi, H., Teng, M., Liu, M., Liu, S., Li, J., Yu, H., Teng, C., Huang, Z., Liu, H., Shao, Q., et al. 2019. Biomass-derived nitrogen-doped carbon quantum dots: Highly selective fluorescent probe for detecting Fe³⁺ ions and tetracyclines. *Journal of Colloid and Interface Science*, 539, 332–341.
- Reimann SM, Manninen M. Electronic structure of quantum dots. 2002. *Reviews of Modern Physics* 74(4):1283-1342.
- Savla, R., Taratula, O., Garbuzenko, O., Minko T. 2011. Tumor targeted quantum dot-mucin 1 aptamer-doxorubicin conjugate for imaging and treatment of cancer. *Journal of Controlled Release*, 153, 1 (15), 16-22
- Schaller, R.D., Klimov, V.I. 2004. High efficiency carrier multiplication in pbse nanocrystals: implications for solar energy conversion. *Physical Review Letters*, 92, 186601.
- Shen, J., Shang, S., Chen, X., Wang, D., Cai, Y. 2017. Facile synthesis of fluorescence carbon dots from sweet potato for Fe³⁺ sensing and cell imaging. *Materials Science and Engineering: C*, 76, 856–864.
- Sozer, N., & Kokini, J. L. 2014. Use of quantum nanodot crystals as imaging probes for cereal proteins. *Food Research International*, 57, 142e151.
- Tokumasu, F., Fairhurst, R., Ostera, G., Brittain, N., Hwang, J., Wellems, T., Dvorak, J. 2005. Band 3 modifications in Plasmodium falciparum-infected AA and CC erythrocytes assayed by autocorrelation analysis using quantum dots. *Journal of Cell Science*, 118 (5): 1091–1098, 2005
- Wagner, A.M., Knipe, J.M., Orive, G., Peppas, N.A. 2020. Quantum dots in biomedical applications. *Acta Biomaterialia*, 94, 44–63.
- Wang, D., Chen, J.F., Dai, L. 2014. recent advances in graphene quantum dots for fluorescence bioimaging from cells through tissues to animals, Part. *Particle & Particle Systems Characterization*, 1-9.
- Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H. J., Gearheart, L., Raker, K., Scrivens, W. A. 2004. Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single walled carbon nanotube fragments. *Journal of the American Chemical Society*, 126 (40), 12736-12737.
- Xue, B., Yang, Y., Sun, Y., Fan, J., Li, X., and Zhang, Z. 2019. Photoluminescent lignin hybridized carbon quantum dots composites for bioimaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 954–961.
- Yao, H., Li, J., Song, Y., Zhao, H., Wei, Z., Li, X., et al. 2018. Synthesis of Ginsenoside re-based carbon dots applied for bioimaging and effective inhibition of cancer cells. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 6249–6264.

- Yang, L., & Li, Y. 2006. Simultaneous detection of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium using quantum dots as fluorescence labels. *Analyst*, 131, 394e401
- Zhisong, L., Chang Ming, L., Haifeng, B., Yan, Q., Yinghui, T., Xu, Y. 2008. Mechanism of antimicrobial activity of cdte quantum dots. *Langmuir*, 24 (10), 5445–5452.