



Biyokütlelerden Karbon Bazlı Nanomalzemelerin Sentezi Üzerine Kısa Bir Bakış

Filiz Boran^{1*}, Ömer Çavuş², Erol Alver³

^{1*} Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4315-9949), filizbektas@hitit.edu.tr

² Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8086-8920), omercavus7171@gmail.com

³ Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6010-6910), erolalver@hitit.edu.tr

(2nd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, October 15 - 18, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1184035)

ATIF/REFERENCE: Boran, F., Çavuş, Ö. & Alver, E. (2022). Biyokütlelerden Karbon Bazlı Nanomalzemelerin Sentezi Üzerine Kısa Bir Bakış. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (42), 163-167.

Öz

Tarımsal atık kaynaklı biyokütleler, katma değerli karbonlu malzemelerin sentezi için bol, doğal ve uygun fiyatlı bir karbon kaynağı sunmaktadır. Bu tarımsal atıkların nano ölçekli ürünlere dönüştürülmesi, grafen tipi nanomalzemelerin ticari üretimi için çevre dostu, uygun fiyatlı, basit ve ölçeklenebilir yeni sentez yöntemlerinin geliştirilmesine dayanmaktadır. Bununla birlikte, tüm tarımsal atıklar, GO üretimi için gerekli olan karbonlu bir ürün görevi görmektedir. Buna dayanarak, bu çalışmada, GO hazırlamak için yeni biyokütle malzemeleri ve ekonomik yaklaşımlar önerilmektedir. Bununla beraber, grafen sentez yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları tartışılarak yeşil nanoteknoloji incelenmiştir. Biyokütlelerden karbon bazlı nanomalzemelerin sentezi üzerine yapılan bazı çalışmalar incelenerek grafenin sağlık uygulamalarındaki yeri araştırılmıştır. Lignoselülozik biyokütlelerin karbon temelli nanomalzemelere nasıl dönüştürüldüğü araştırılarak mekanizması tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarımsal atık, Yeşil sentez, Grafen oksit, Grafen, Nanomalzeme.

A Brief Overview of the Synthesis of Carbon-Based Nanomaterials from Biomass

Abstract

Biomass from agricultural waste offers an abundant, natural and affordable carbon source for the synthesis of value-added carbonaceous materials. The conversion of these agricultural wastes into nanoscale products relies on the development of environmentally friendly, affordable, simple and scalable new synthesis methods for commercial production of graphene-type nanomaterials. However, all agricultural waste acts as a carbonaceous product required for GO production. Based on this, in this study, new biomass materials and economical approaches were proposed to prepare GO. In addition, the advantages and disadvantages of graphene synthesis methods were discussed and green nanotechnology was examined. Some studies on the synthesis of carbon-based nanomaterials from biomass were examined and the place of graphene in health applications was investigated. How lignocellulosic biomass was converted into carbon-based nanomaterials was investigated and its mechanism was discussed.

Keywords: Agricultural waste, Green synthesis, Graphene oxide, Graphene, Nanomaterial.

* Sorumlu Yazar: filizbektas@hitit.edu.tr

1. Giriş

Biyokütle, genellikle biyolojik fotosentez yoluyla sentezlenebilen, doğadan türetilen bitkiler veya bitki bazlı materyaller olarak bilinir. Biyokütlenin enerji üretiminde ve başka bir kimyasal üretimde kullanılması, tarıma dayalı ülke için ekonomik büyümeye yardımcı olacaktır. Biokütlelerin değerlendirilmesi fosil yakıtta olan bağımlılığın azaltılmasına, tarım, orman yönetimi, petrol ve kimya endüstrisinde daha fazla iş fırsatı yaratılmasına yardımcı olur. Küresel enerji talebinin yaklaşık %25'i biyokütle atıkları tarafından oluşturulduğu için enerji arzında hayati bir rol oynamaktadır (Kamal, Othman, and Jabarullah 2020).

İçinde bulunduğumuz yüzyıl, biyokütle yönetiminde yerel ve ticari açıdan uygun katma değerli ürünlere yönelik artan zorluklara tanık olmuştur. Bu bağlamda, biyokömürün geliştirilmesi için biyokütlenin kullanımı, bitki korumada gübre, boyaların geliştirilmesinde dolgu maddeleri, yarı iletkenler, organik sentezde yeşil kataliz ve su arıtmada adsorban gibi uygulamalar için büyük ilgi görmüştür. Bununla birlikte, nanoyapıların sentezi için yenilenebilir kaynakların kullanımı son yıllarda ilgi odağı haline gelmiştir. Ham biyokütle ve tarımsal atık, katma değerli karbonlu malzemelerin sentezi için bol, doğal ve uygun fiyatlı bir karbon kaynağı sunar. Son zamanlarda, yüksek performanslı elektronik cihazlar, su arıtma ve enerji uygulamaları için biyokütlenin değerli nano ölçekli ürünlere dönüştürülmesi, grafen tipi malzemelerin ticari üretimi için uygun fiyatlı yeni öncülleri belirleme çabasıyla bilim adamları ve endüstriden küresel olarak büyük ilgi görmektedir. Tarımsal mahsullerin üretimi ve hasadı farklı alanlarda kullanılacak tarımsal atıklar üretir. Küresel yıllık biyokütle miktarı 1×10^{10} metrik tondur; bu miktar, 2050 yılına kadar öngörülen küresel ekili alan artışına bağlı olarak artmaya devam edecektir. Ancak tarım çöplüğünün büyük bolluğu ve kötü yönetimi doğaya sorun çıkarmaktadır. Bu nedenle onu alternatif bir şekilde kullanmak gerekir. Son yirmi yılda, fullerenler, grafen ve nanotüpleri içeren karbon araştırmalarında bir dizi atılıma ve ilginç bir şekilde, biyokütle veya tarımsal atıkların termokimyasal yöntemi kullanılarak grafen üretilebildiğine tanık olduk. Bu amaçla, pirinç samanı, pirinç kabuğu, talaş, çay atıkları, kenevir, şeker kamışı küspesi, muz kabuğu, karpuz kabuğu, portakal kabuğu ve ananas yaprağı gibi tarımsal atıkların karbon bazlı nanomalzemelerin hazırlanmasında kaynak olarak kullanımına artan bir ilgi vardır. Yerkabuğunda en bol bulunan 15. elementi olan karbon, güçlü ve ayarlanabilir bir lüminesansa sahiptir ve karbondaki kuantum etkisi hem temel hem de teknolojik olarak son derece önemlidir. Karbon nanotüpler, fullerenler ve grafen gibi karbon nanomalzemeler, yüksek gerilme mukavemeti, korozyona karşı olağanüstü direnç ile mükemmel elektriksel-termal iletkenlik ve kararlılık gibi üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir (Ahuja vd. 2022; Baweja and Jeet 2019; Kamal Ghadiri vd. 2020; Karna vd. 2017; Mohan, B, and Panicker 2019; Safian, Haron, and Mohamad Ibrahim 2020; Singhal vd. 2022; Tamilselvi vd. 2020). Karbon atıklarının geri dönüştürülmesi ve grafen ile grafen okside dönüştürülmesi birçok ekonomik ve çevresel fayda sağlayabilir ve birçok uygulamada kullanılabilir (Sahila Grace ve Littis Malar 2020). Ayrıca, biyokütle kaynaklarından grafenin sürekli geliştirilmesi ve başarılı bir şekilde uygulanması, yeni işlere ve gelecekteki ekonomiyi beslemek için potansiyel olarak büyük bir gelir kaynağına yol açabilir (Saha ve Dutta 2021).

2. Grafen, Sentez Yöntemleri Avantaj ve Dezavantajları

Günümüzde gözenekli karbon, karbon nanotüpler ve grafen gibi karbonlu malzemeler, yüksek yüzey alanı ve gözenek boyutu, işlevselleştirme kolaylığı ve kimyasal olarak kararlı yapıları nedeniyle büyük ilgi görmektedir (Arifin vd. 2020). Bunların arasından grafen ve türevleri, benzersiz yapıları ve fiziksel, kimyasal, termal ve diğer özellikleri nedeniyle son zamanlarda dikkat çekmektedir. Grafenin iki boyutlu (2D) altıgen kafesi, sp²-bağlı karbon atomlarından meydana gelen bir ağdan oluşur ve serbest formda kararlı olan "en ince malzemeyi" temsil eder. Sıra dışı mekanik özellikler ve iyi dağılım performansı ile birlikte mükemmel elektronik özellikler, termal iletkenlik ve yüksek yüzey alanı, grafeni kompozit malzemelerin yapısal modifikasyonu ve diğer birçok uygulama için umut verici bir aday yapmaktadır. Karbon bazlı bir diğer nanomalzeme olan grafen oksit (GO), fizik, kimya, biyoloji ve tıp dahil olmak üzere çeşitli bilimsel ve mühendislik alanlarında öngörülen geniş uygulama yelpazesi nedeniyle disiplinler arası büyük ilgi görmüştür. GO sentezlemenin orijinal yöntemi, dumanlı nitrik asit içindeki bir grafit karışımına potasyum kloratın eklenmesine dayanmaktadır. Bu sentetik protokol, konsantrasyon sülfürik asidin yanı sıra dumanlı nitrik asit kullanılarak ve reaksiyon boyunca birden fazla alikot halinde klorat eklenerek geliştirilebilir. Yaygın olarak kullanılan Hummers yönteminde grafit, konsantrasyon H₂SO₄ asidinde KMnO₄ ve NaNO₃'ün işlenmesi boyunca oksitlenir. Tüm bu prosedürler sırasında, aynı zamanda patlayıcı olan NO₂, N₂O₄ ve ClO₂ gibi çok sayıda toksik ve zararlı gaz yayılır. GO hazırlamada en önemli iki adım şunlardır: i) indirgeme (GO'dan oksijen gruplarının çıkarılması), ii) Kimyasal işlevselleştirme (GO'ya başka kimyasal işlevler ekleme). Son birkaç yılda, grafen ve grafen oksit malzemelerin sentezi için elektro-kimyasal, kimyasal, mekanik ve ultrasonik pul pul dökülme, epitaksiyel büyüme, mekanik eksfoliasyon teknikleri, kimyasal buhar biriktirme (CVD) teknikleri gibi çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bununla birlikte, bu tekniklerin çoğu oldukça karmaşık ve pahalıdır. Ticari olarak temin edilebilen GO örneklerinin çoğu, Hummers yöntemiyle veya bunun değiştirilmiş bir versiyonuyla sentezlenmiştir. Ticari olarak temin edilebilen grafen oksidin gram başına maliyeti yaklaşık 200 dolardır (Hashmi vd. 2020; Somanathan vd. 2015). Dünya grafen pazarının ise 2022 yılına kadar 150 milyon sterlini aşması beklenirken, grafenin potansiyelini gerçekleştirmek için bu endüstriyel zorlukların üstesinden gelinmesi gerektiği bildirilmiştir (Yan vd. 2020). Bununla birlikte, grafen üretimi için ölçeklenebilir bir yöntemin nasıl oluşturulacağı konusunda zorluklar ortaya çıkmaktadır (supriadi vd. 2017). Bu yöntemler ne ölçeklenebilir ne de ekonomiktir. Bu nedenle, süper kapasitörler ve piller gibi elektrik enerjisi depolama cihazları için elektrot malzemelerinin geliştirilmesine yönelik yüksek kaliteli grafen üretimi için ölçeklenebilir, yenilenebilir ve uygun maliyetli bir süreç geliştirmek son derece rağbet görmektedir (Purkait vd. 2017).

2.1. Yeşil Nanoteknoloji

Son zamanlarda, grafen oksidi büyük, düz ve bozulmamış grafen tabakalarına dönüştürme girişimleri sırasında karşılaşılan zorluklar ve problemler birçok teorik ve deneysel araştırmaya yol açmıştır (McDonald-Wharry, Manley-Harris, ve Pickering 2013). Yeşil bazlı nanomalzemelerin sentezine odaklanan dünya çapındaki mevcut araştırma ilgisi dikkate değer bir oranda artmaktadır. Yeşil nanoteknoloji, toplumumuzun karşı karşıya olduğu küresel sürdürülebilirlik anlaşmazlıklarına verimli, uygun

maliyetli, basit ve çevresel olarak tolere edilebilir çözümler sağlama yeteneğine sahip esnek bir platform olarak ortaya çıkmıştır. Mevcut eğilime dayalı olarak, nanomalzemelerin üretiminde hammadde olarak biyokütlenin kullanılması, yerel ve küresel kirliliklerle ilgili problemlerle başa çıkmak için biyotabanlı ekonomi ve yeşil seçenekler olarak kabul edilmiştir (Amir Faiz vd. 2020). Yukarıda bahsedilen yöntemlerin dezavantajları göz önüne alındığında, biyokütleden türetilen karbonlu malzemelerin üretilmesi sadece çevresel olarak sürdürülebilir ve ölçeklenebilir değil, aynı zamanda pahalı kimyasal reaktiflerin kullanılmasına gerek olmadığı için düşük maliyetlidir. GO'nun hazırlanması için biyokütle malzemesinin öncül olarak kullanıldığı, kontrol edilebilir katman aralığı ile elde edilen grafitizasyon karbonu kullanılır. Bu noktada piroliz, biyokütle atıklarından karbon bazlı malzeme üretmek için etkili bir yöntemdir. Biyokütle atıkları (örneğin, kitosan ve glikoz) yüksek potansiyelli bir karbon besleme stoğudur. Esas olarak piroliz teknikleri ile karbonlu malzemelere dönüştürülebilirler. Piroliz proseslerinde, başlangıç materyalini oluşturan karbon zincirleri, katalizörler veya şablonlar varlığında inert atmosfer altında termal ayrışmaya uğrayarak hidrokarbonlara, aktif karbona, CNT'ye ve grafene dönüştürülür. Her kaynağın kullanımının yanı sıra uygun üretim yollarının seçiminin, üretilen grafen ve grafen ile ilgili malzemelerin nihai özelliklerini doğrudan etkilediğine dikkat edilmelidir. Atık kirliliği her geçen gün arttığından, grafen ve türevlerinin üretimi konusunda gerekli araştırmaların yapılabilmesi için bilim camiasının atık yönetimi konusundaki son gelişmelere büyük önem vermesi gerekmektedir. Literatürde, karbon bazlı kuantum noktalarının sentezinde şeker kamışı küspesi gibi tarımsal atıkların toksik olmayan bir başlangıç malzemesi olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Baweja ve Jeet 2019; Berktaş vd. 2020; Zhu, Shi, ve Chen 2015).

2.2. Biyokütlerden Karbon Bazlı Nanomalzemelerin Sentezi Üzerine Yapılan Bazı Çalışmalar

Shams ve arkadaşları, nitrojen atmosferi altında 1200 °C'de kafur yapraklarının termal pirolizi ile grafen elde etti. Primo ve diğerleri, herhangi bir katalizör veya asit yardımı olmadan hazırlanan kitosan filmlerinin tavlama ve pirolizi yoluyla ilk spin kaplama kitosan çözeltisiyle mükemmel elektronik özelliklere sahip N-katkılı grafeni sentezledi. Ayrıca, Chen ve diğerleri, dünya çapındaki muazzam üretimi nedeniyle buğday samanını bir öncü olarak seçti ve hidrotermal ve grafitleştirme işlemlerini kullanarak mükemmel elektrokimyasal özelliklere sahip yüksek kaliteli birkaç katmanlı bozulmamış grafen levhalar elde etti. Ayrıca, Ding ve diğerleri, kağıt hamuru endüstrisi atığı olan siyah likörden iletken ve şeffaf ince grafen filmleri sentezlemek için yeşil, basit ve ölçeklenebilir bir yöntem bildirdi (Berktaş vd. 2020).

2.3. Grafenin Sağlık Uygulamalarındaki Yeri

Grafen özellikle sağlık sektöründe son zamanlarda önemli bir yere sahiptir. Grafen bazlı biyoyumlu malzemelerin toplu üretimine yönelik araştırmalar, biyosensörler, arıtma membranları, sıhhi maddeler vb. gibi geniş uygulama alanları nedeniyle hız kazanmıştır. Modern çağdaki tıp ve sanitasyon endüstrisindeki en büyük zorluklardan biri, çeşitli bakteri suşlarının evriminin ve adaptasyonunun sınırlandırılmasıdır. İlaçlara ve diğer antibiyotiklere karşı bakteriyel dirençteki tutarlı iyileşme, araştırmacıları daha iyi tarama ile yeni antibakteriyel ajanlar aramaya zorlamıştır. Grafen ve grafen türevleri,

mükemmel antibakteriyel ve antimikrobiyal özellikler sergiler, terapötik teslimatlar sırasında meydana gelebilecek bakteriyel ve mikrobiyal enfeksiyonları önlemek/en aza indirmek için temel bir husustur. Grafenin keskin kenarları aracılığıyla bakteri hücre zarlarını parçalayabildiği ve böylece onu bakterisidal uygulamalar için umut verici bir aday haline getirebildiği daha önceki araştırmalardan kanıtlanmıştır. İnorganik nanopartiküllerle gömülü grafenik yapılar, antibakteriyel performansları ve memeli hücrelerine karşı düşük sitotoksiteleri ile de iyi bilinmektedir (Baweja ve Jeet 2019; Valentini vd. 2018).

2.4. Lignoselülozik Biyokütleden Karbon Temelli Nanomalzemelere Dönüşüm

Lignoselülozik biyokütle, hücre duvarında bulunabilen karmaşık lifli bir malzemedir. Üç ana yapısal birim selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşur. Lignoselülozik biyokütle, çeşitli uygulamalarda potansiyel bir sürdürülebilir hammadde (Kamal vd. 2020). Lignin açısından zengin biyokütle, yüksek sabit karbon içeriğinin bir sonucu olarak yüksek termal stabiliteye ve düşük reaktiviteye sahip kömürler verir (Rajagopal, Komiyama, ve Borhan 2021). Literatürde "biyokarbonlar" olarak da adlandırılan lignoselülozik biyokütlerin sahip olduğu selüloz ((C₆H₁₀O₅)_n) ve hemiselüloz bileşenlerinin, grafenin altıgen kristal yapısıyla ilgili bağları olduğu ve dolayısıyla bu bileşenlerin tek tabakalı grafen tipi malzeme elde etmek için potansiyel olarak indirgenebileceği bildirilmiştir (Karami vd. 2022; McDonald-Wharry vd. 2013; Tamilselvi vd. 2020). Sentetik mekanizmada, grafen bazlı nanomalzemelerin oluşumu iki adımdan oluşmaktadır. İlk başta glikoz üretmek için selülozun hidrolizlenmesi ve grafen bazlı nanomalzemeleri elde etmek için glikozun takip eden döngüsel yoğunlaştırılmasıdır. Tüm süreç şu şekilde detaylandırılabilir: İlk olarak, deiyonize su, hidrotermal koşullar altında yüksek sıcaklık ve basınçta büyük miktarda H⁺ ve OH⁻ üretmektedir. Böylece, selülozun hidrolizi, herhangi bir asit veya selüloz yokluğunda, H⁺'nin etkisi altında art arda gerçekleşir. Daha sonra, selülozdan glikoz, selobiyoz ve levoglukozan gibi çeşitli bileşenler üretilir. Hidroliz reaksiyonunun ilerlemesiyle, glikozun ürün verimi giderek yükselir ve glikoz ana ürüne dönüşür. Sonuç olarak, glikozun hidroksil grupları, bitişik hidrojen atomları ile reaksiyona girerken, formil grupları hidroksil grupları ile reaksiyona girerek hidrotermal koşul altında glikozun dehidrasyonuna yol açar. Aynı zamanda, glikozların karbon atomları, grafen yapısının temel birimi olan aromatik halkaları oluşturmak için kovalent olarak birbirine bağlanır. Böylece, glikozlar, döngüsel yoğunlaşma yoluyla grafen kuantum noktalarına (GQD) dönüştürülür. Aynı zamanda, karbonizasyon ile karbonhidratların kalıntılarında karbür çökeltileri de oluşur. Sonunda, çökeltileri reaksiyon ürünlerinden ayırarak santrifüjleme yoluyla grafen bazlı nanomalzemeler elde edilir (Abhilash, Swetha, ve Meshram 2022).

4. Sonuç

Tüm tarımsal atıklar, GO üretimi için gerekli olan karbonlu bir ürün görevi görmektedir (Hashmi vd. 2020). Ayrıca, GO hazırlamak için yeni biyokütle malzemeleri ve ekonomik yaklaşımlar bulmak büyük bir zorluktur (Zhu vd. 2015). Çeşitli biyokütle malzemeleri arasında mısır koçanı, pirinç kabuğu, Ayçiçek sapı çalışmalarında GO'nun hazırlanması için kullanılan ucuz, çevre dostu ve yenilenebilir doğal bir malzemedir. Bu tarımsal atıklar arasından, pirinç tanelerinin koruyucu kaplaması olan pirinç kabuğu, pirinç ve yenilenebilir atıkların öğütülmesinin

bir yan üründür ve çeltik pirincinin kuru ağırlığının ağırlıkça %16-25'ini oluşturur. Dünyada yılda yaklaşık 120 milyon ton pirinç kabuğu üretilmektedir. Pirinç kabuğunun düşük yoğunluğu ve daha az ticari ilgisi nedeniyle, silika nanoparçacık sentezi dışında yüksek değerli uygulamaları genellikle fark edilmeden bırakılır. Pirinç kabuğu külü (ortam atmosferinde yanmış pirinç kabuğu yan ürünü); silika, aktif karbon, zeolitler, grafen vb. sentezinde geniş uygulamalara sahiptir. Pirinç kabuğu, evsel ve endüstriyel işlemede kullanımı sadece alternatif bir çözüm sağlamakla kalmaz bertaraf sorununa değil, aynı zamanda yakma veya depolama konularına ve bunların katma değerli ürünlere dönüştürülmesinde daha fazla faydaya değerir (Abhilash vd. 2022; Arifin vd. 2020).

5. Teşekkür

Bu çalışma, Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından finanse edilen ve Yüksek Öğretim Kurumu tarafından koordine edilen Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşması Programı kapsamında Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (Proje No: MUH19004.22.001) desteklenmiştir.

Kaynakça

- Abhilash, Vaidyanathan Swetha, and Pratima Meshram. 2022. "An Overview on Chemical Processes for Synthesis of Graphene from Waste Carbon Resources." *Carbon Letters* 32(3):653–69.
- Ahuja, Vishal, Arvind Kumar Bhatt, Sunita Varjani, Kwon Young Choi, Sang Hyoun Kim, Yung Hun Yang, and Shashi Kant Bhatia. 2022. "Quantum Dot Synthesis from Waste Biomass and Its Applications in Energy and Bioremediation." *Chemosphere* 293(September 2021):133564.
- Amir Faiz, M. S., C. A. Che Azurahaman, Y. Yazid, A. B. Suriani, and M. J. Siti Nurul Ain. 2020. "Preparation and Characterization of Graphene Oxide from Tea Waste and Its Photocatalytic Application of TiO₂/Graphene Nanocomposite." *Materials Research Express* 7(1).
- Arifin, Nur Fatimah Tajul, Norhaniza Yusof, Ahmad Fauzi Ismail, Juhana Jaafar, Farhana Aziz, and Wan Norhayati Wan Salleh. 2020. "Graphene from Waste and Bioprecursors Synthesis Method and Its Application: A Review." *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences* 16(3):342–50.
- Baweja, Himani, and Kiran Jeet. 2019. "Economical and Green Synthesis of Graphene and Carbon Quantum Dots from Agricultural Waste." *Materials Research Express* 6(8).
- Berktaş, İlayda, Marjan Hezarkhani, Leila Haghghi Poudeh, and Burcu Saner Okan. 2020. "Recent Developments in the Synthesis of Graphene and Graphene-like Structures from Waste Sources by Recycling and Upcycling Technologies: A Review." *Graphene Technology* 5(3–4):59–73.
- Hashmi, Ayesha, Ajaya K. Singh, Bhawana Jain, and Ambrish Singh. 2020. "Muffle Atmosphere Promoted Fabrication of Graphene Oxide Nanoparticle by Agricultural Waste." *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures* 28(8):627–36.
- Kamal, Afiqah Samsul, Rapidah Othman, and Noor H. Jabarullah. 2020. "Preparation and Synthesis of Synthetic Graphite from

Biomass Waste: A Review." *Systematic Reviews in Pharmacy* 11(2):881–94.

- Kamal Ghadiri, Seid, Hossein Alidadi, Nahid Tavakkoli Nezhad, Allahbakhsh Javid, Aliakbar Roudbari, Seyedeh Solmaz Talebi, Ali Akbar Mohammadi, Mahmoud Shams, and Shahabaldin Rezania. 2020. "Valorization of Biomass into Aminofunctionalized Bio Graphene for Efficient Ciprofloxacin Adsorption in Water-Modeling and Optimization Study." *PLoS ONE* 15(4):1–19.
- Karami, Maryam, Qahtan A. Yousif, Mojgan Ghanbari, Kamran Mahdavi, and Masoud Salavati-Niasari. 2022. "Green Fabrication of Graphene Quantum Dots from Cotton with CaSiO₃ Nanostructure and Enhanced Photocatalytic Performance for Water Treatment." *International Journal of Hydrogen Energy* 47(11):7228–41.
- Karna, Priya, Madhav Ghimire, Sanjay Mishra, and Sunil Karna. 2017. "Synthesis and Characterization of Carbon Nanospheres." *OALib* 04(05):1–7.
- McDonald-Wharry, John, Merilyn Manley-Harris, and Kim Pickering. 2013. "Carbonisation of Biomass-Derived Chars and the Thermal Reduction of a Graphene Oxide Sample Studied Using Raman Spectroscopy." *Carbon* 59:383–405.
- Mohan, Anu N., Manoj B, and Sandhya Panicker. 2019. "Facile Synthesis of Graphene-Tin Oxide Nanocomposite Derived from Agricultural Waste for Enhanced Antibacterial Activity against *Pseudomonas Aeruginosa*." *Scientific Reports* 9(1):1–12.
- Purkait, Taniya, Gunet Singh, Mandeep Singh, Dinesh Kumar, and Ramendra Sundar Dey. 2017. "Large Area Few-Layer Graphene with Scalable Preparation from Waste Biomass for High-Performance Supercapacitor." *Scientific Reports* 7(1):1–14.
- Rajagopal, Rajapandian, Masaharu Komiyama, and Azry Borhan. 2021. "Preparation of Graphene Oxide from Lignin by Gel Combustion Method and Its Performance as Supercapacitor." *E3S Web of Conferences* 287:04007.
- Safian, Muhammad Taqi-udeen, Umirah Syafiqah Haron, and Mohamad Nasir Mohamad Ibrahim. 2020. "A Review on Bio-Based Graphene Derived from Biomass Wastes." *BioResources* 15(4):9756–85.
- Saha, Jhantu Kumar, and Animesh Dutta. 2021. *A Review of Graphene: Material Synthesis from Biomass Sources*. Springer Netherlands.
- Sahila Grace, A., and G. S. Prabha Littis Malar. 2020. "Synthesis and Characterization of Graphene Oxide from Coconut Husk Ash." *Oriental Journal of Chemistry* 36(02):348–52.
- Singhal, Kavita, Sameena Mehtab, Minakshi Pandey, and M. G. H. Zaidi. 2022. "Sustainable Development of Graphene Oxide from Pine Leaves for Electrochemical Energy Storage and Corrosion Protection." *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* 5(September 2021):100266.
- Somanathan, Thirunavukkarasu, Karthika Prasad, Kostya Ostrikov, Arumugam Saravanan, and Vemula Krishna. 2015. "Graphene Oxide Synthesis from Agro Waste." *Nanomaterials* 5(2):826–34.

- supriadi, cipta panghegar, Evvy Kartini, Wagiyo Honggowiranto, and Kris Tri Basuki. 2017. "Synthesis and Characterization of Carbon Material Obtained from Coconut Coir Dust by Hydrothermal and Pyrolytic Processes." *International Journal of Technology* 8(8):1470.
- Tamilselvi, R., M. Ramesh, G. S. Lekshmi, Olha Bazaka, Igor Levchenko, Kateryna Bazaka, and M. Mandhakini. 2020. "Graphene Oxide-Based Supercapacitors from Agricultural Wastes: A Step to Mass Production of Highly Efficient Electrodes for Electrical Transportation Systems." *Renewable Energy* 151:731–39.
- Valentini, F., A. Calcaterra, V. Ruggiero, Di Giacobbe, and M. Botta. 2018. "Graphene as Nanocarrier in Drug Delivery." *JSM Nanotechnol Nanomed* 6(1):1060.
- Yan, Yuxin, Fathima Zahra Nashath, Sharon Chen, Sivakumar Manickam, Siew Shee Lim, Haitao Zhao, Edward Lester, Tao Wu, and Cheng Heng Pang. 2020. "Synthesis of Graphene: Potential Carbon Precursors and Approaches." *Nanotechnology Reviews* 9(1):1284–1314.
- Zhu, Linlin, Tiejun Shi, and Ying Chen. 2015. "Preparation and Characteristics of Graphene Oxide from the Biomass Carbon Material Using Fir Powder as Precursor." *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures* 23(11):961–67.