

NANO KARBON YAPILAR VE KULLANIM ALANLARI: DERLEME

Şenay BALBAY

Dr. Öğr. Üyesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu
senay.balbay@bilecik.edu.tr

ÖZET:

Karbon, carbine, fulleren, nanotüpler, non-grafit karbon, grafit ve elmas olmak üzere beş allotropik modifikasyonda bulunur. Karbonun çeşitli allotroplarının keşfedilmesinden sonra karbon, bilim dünyasında büyük bir ilgi uyandırdı. Karbon esaslı nano malzemeler, yüksek mukavemet, korozyona karşı mükemmel direnç, olağanüstü elektriksel ve termal iletkenlik, kararlılık gibi benzeri görülmemiş fiziksel ve kimyasal özellikler gösterirler.

Farklı türlerde bulunan karbon esaslı malzemeler farklı alanlarda farklı amaçlar için kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan karbon esaslı malzemeler aktif karbon, CNTs türleri, karbon siyahı, karbon fiber, grafit, pirolitik karbon siyahı, fuller, grafen gibi malzemelerdir. Son zamanlarda karbon köpük ve karbon küre gibi malzemeler de üretilmiştir. Genel olarak karbonlu malzemelerin üretim yöntemleri zor ve karmaşıktır, ayrıca yüksek miktarda enerji gerekmektedir. Piroliz, karbonizasyon, kimyasal buhar biriktirme (CVD), aktivasyon, fırın prosesi gibi yöntemler karbon yapıları malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Nano karbon yapıları güneş hücreleri, hidrojen gazı depolama, metallerin güçlendirilmesi/sertleştirilmesi, optik uygulamaları, sensörler, moleküler dalgalar, tıbbi uygulamalar, ısı enerji depolama, su arıtım prosesleri, kompozit malzeme üretimi, yakıt pili, günlük kullanım pil elektrotları, ilaç, boya, lastik, uzay, havacılık, otomotiv (özellikle motor parçaları) sektörleri gibi pek çok alanda kendine yer bulmuştur. Dahası karbon esaslı malzemelerin kullanım alanları mükemmel özelliklerinden dolayı her geçen gün artmaya devam etmektedir. Karbon kaynağı hammaddesi ithal eden ülkemiz için nano karbon yapılarının üretimi ve geliştirilmesi ayrı bir önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nano karbon türleri, üretim yöntemleri, kullanım alanları

ABSTRACT:

It is available in five allotropic modifications: carbon, carbine, fulleren, nanotubes, non-graphite carbon, graphite and diamond. After the discovery of various allotropes of carbon, carbon aroused great interest in the world of science. Carbon-based nano materials exhibit unprecedented physical and chemical properties such as high strength, excellent corrosion resistance, outstanding electrical and thermal conductivity, and stability.

Carbon-based materials in different types are used for different purposes in different areas. The most commonly used carbon-based materials are activated carbon, CNTs types, carbon black, carbon fiber, graphite, pyrolytic carbon black, fuller, graphene. Recently, materials such as carbon foam and carbon sphere have also been produced. In general, the production methods of carbon materials are difficult and complex, and a high amount of energy is required. Methods

such as pyrolysis, carbonization, chemical vapor deposition (CVD), activation, and furnace process are used in the production of carbon structures. Solar cells, hydrogen gas storage, strengthening / hardening of metals, optical applications, sensors, molecular waves, medical applications, heat energy storage, water treatment processes, composite material production, fuel cell, daily use battery electrodes, medicine, paint, tire, space In many fields such as the aviation, automotive (especially engine parts) sectors, nano carbon structures have found their place. Moreover, the usage areas of carbon based materials continue to increase day by day due to their excellent properties. Production and development of nano carbon structures are of special importance for our country, which imports raw materials of carbon source.

Keywords: Nano carbon types, production methods, usage areas

1. GİRİŞ

Karbon, onlarca yıldır araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmektedir. Periyodik tablonun altıncı elementi olan Karbon (C), hem araştırmacılar hem de mühendisler için büyüleyici malzemelerden biridir. Dünyada en yaygın bulunan 4. elementtir. Yeryüzünde bulunan organik hayatın hepsi karbonun allotroplarından meydana gelmektedir. Karbon esasında 8 allotropdan oluşmaktadır. Bunlar; 1)Elmas, 2)Grafit, 3) Lonsdaliete, 4)C60 (Bucky küresi), 5)C540, 6)C70, 7)Amorf karbon, 8)Karbon nanotüpler (Karthik vd., 2014; Tucureanu vd., 2016).

Harika bir atom olan karbon, birçok açıdan melezlenebilen dört değerlik elektronu ([He] $2s^2 2p^2$) nedeniyle çok çeşitli kristalin ve düzensiz yapılar oluşturur. Hibridizasyon formları, karbonun doğrusal zincirler, düzlemsel tabakalar ve dört yüzlü yapılar oluşturmasına izin veren sp^3 , sp^2 ve sp olabilir. Amorf ve nanokristalin karbonda en yaygın kimyasal bağlar sp^3 ve sp^2 hibridizasyonlarıdır (Tucureanu vd., 2016).

Karbon, sanayi için çok önemli bir malzemedir ve birçok uygulamada kullanılmaktadır. İleri teknolojiye kullanılabilecek yeni karbon malzemelerinin sayısı yapılan çalışmalar sonucunda sürekli artış göstermektedir. Karbon teknolojisinin ilerlemesine bağlı olarak karbonun mevcut teknolojilerde kullanılabilirliğinin artmasından kaynaklı daha kolay ve iyi sonuçlar sağlanmaktadır. Yapılan ve devam eden çalışmalarda karbon malzemelerin yüksek dayanım, yüksek iletkenlik ve düşük yoğunluk gibi özelliklerinden dolayı aynı amaçla kullanılan diğer malzemelere göre daha avantajlı olduğu görülmektedir(Chung, 1994).

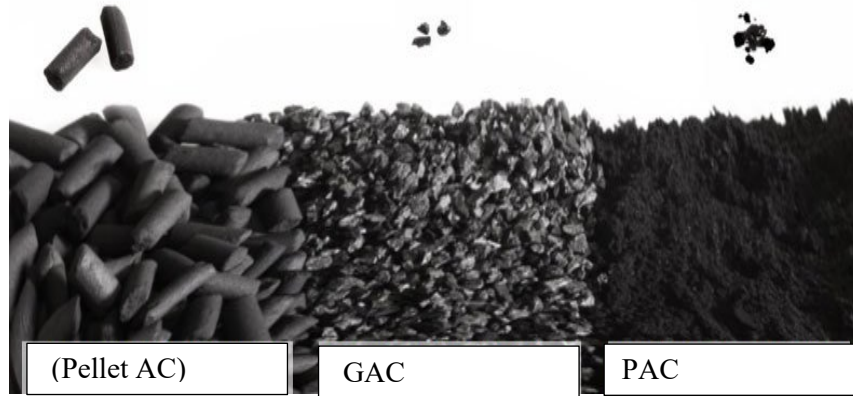
Çalışmanın amacı farklı karbon türlerinin özellikleri, üretim yöntemleri ve kullanım alanlarının belirlenmesidir. Aynı zamanda hayatımıza son yıllarda giren bazı karbon türlerinin (karbon köpük, karbon küre gibi) diğer karbonlu malzemeler içerisindeki yerinin vurgulanması çalışmanın diğer amacıdır ve literatüre bu yönüyle çalışmanın katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. KARBON TÜRLERİ

Farklı türlerde bulunan karbon esaslı malzemeler farklı alanlarda farklı amaçlar için kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan karbon esaslı malzemeler aktif karbon (Çeçen, 2014), CNTs türleri(Varshney, 2014), karbon siyahı(Carry Company Inc. 2014), pirolitik karbon

siyahı(Martí nez, vd., 2013), grafit(Azo Materials, 2002), fuller(Ulloa, 2013), karbon fiber(Unutmaz, 2009), grafen (Bedeloğlu ve Taş, 2016) gibi malzemelerdir. Son zamanlarda karbon köpük (Ekşilioğlu, 2004) ve karbon küre(Deshmukh vd., 2010) gibi malzemeler de üretilmiştir.

Yaygın bir şekilde adsorban olarak kullanılan aktif karbon, yüksek gözeneklilik ve geniş yüzey alanı özelliklere sahip ve >%90 karbon(C) içeren bir malzemedir. Kullanımı tarih öncesi çağlara dayanmaktadır. Etkin ve gelişmiş bir kömür türü olmasından dolayı diğer isimleri aktif kömür ve aktifleştirilmiş karbondur. Dünyada aktif karbonun üç farklı türü kullanılmaktadır. Toz Aktif Karbon (PAC), Granül Aktif Karbon (GAC) ve Pellet Aktif Karbon (Pellet AC)'dur (Şekil 1) (Çeçen, 2014).



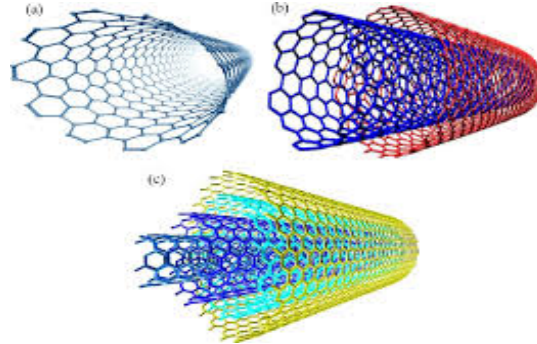
Şekil 1. Aktif karbon türleri (bescamo.com)

Karbon siyahı en eski üretilmiş karbonlu malzemelerden biridir. İçeriğinde >%95 karbon (C) bulunmaktadır. Özellikle malzemelerin fiziksel, elektriksel ve optik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılırlar. Karbon siyahı içersinde asitliğe neden olduğu için yüksek oranlarda kükürt bulunması istemez. Üretim sürecine bağlı olarak 100 nm-500 nm boyutlarında karbon siyahı mevcuttur. Yoğunluğu 1,7 g/cm³ – 1.9 g/cm³ arasındadır. Özellikle kauçuk ürünlerinde kullanılan karbon siyahı ASTM 1765'e göre 7 grupta (N100, N200, N300, N500, N600, N700, N900) sınıflandırılmıştır (Cary Company Inc. 2014).

Pirolitik karbon siyahı, oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda (>800 °C) özellikle organik içeriği yüksek biyokütlenin geri dönüştürülerek üretilen >%80 karbon içeriğine sahip bir malzemedir. Üretimi sürecinde yeniden polimerizasyon reaksiyonları sonucunda fazladan bazı karbonlu maddeler içermesinden dolayı ve çıkan organik buharların pirolitik karbon yüzeyine emilmesine bağlı olarak pirolitik karbon siyahı, orijinal karbon siyahından daha kaba parçacık boyutlarına sahiptir (Martí nez, vd., 2013).

Karbon nanotüpler(CNTs), nanometre(<1nm-50nm) boyutunda çapa sahip boru şeklinde ve duvarları petek yapısına benzeyen, sp² hibridizasyonunda bir malzemedir(Varshney, 2014). Karbonun tek atomlu allotroplarından oluşan olağanüstü malzeme özelliklerine sahip olmasından dolayı araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmüştür. CNTs ve kompozitlerinin olağanüstü fiziksel, kimyasal ve elektronik özellikleri nanometre ölçeğinde elektronik uygulamalar için heyecan verici olanaklar sunmaktadır (Khan vd. 2019). CNT'ler eşsiz atomik

düzenlemelere sahip olmasının yanı sıra geniş akım taşıma kapasitesi, uzun balistik taşıma, yüksek ısı iletkenliği ve mekanik mukavemet gibi özelliklere de sahiptir (Herrero-Latorre, vd., 2015; Allaedinia, vd., 2016). Karbon Nanotüpler, uzunluk, kalınlık, sarmallık türü ve kat sayısı bakımından farklı birçok yapıya sahiptir. En yaygın kullanılan CNT türleri; tek katmanlı karbon nanotüp (SWNT), çift katmanlı karbon nanotüp (DWNT), çok katmanlı karbon nanotüp (MWNT)'dür(Şekil 2). Diğer türler ise Nanotoru, Nano-bud, Nanohorn(Varshney, 2014).



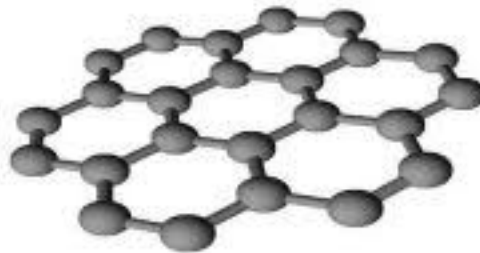
Şekil 2. Farklı CNTs görünümüleri (a: SWNT, b:DWNT, c:MWNT)(Rafique vd., 2015)

Koltuk, Şiral ve Zikzak olmak üzere SWNT'lerin üç farklı türü vardır. MWNT'ler, Rus Dol ve Parşömen modellerinden oluşmaktadır.

Nanotoruslar, bir simit halkası içine eğilmiş karbon nano tüplerdir. Manyetik moment, termal kararlılık gibi özelliklerinden dolayı nano fotonik uygulamalar için umut vaat etmektedir.

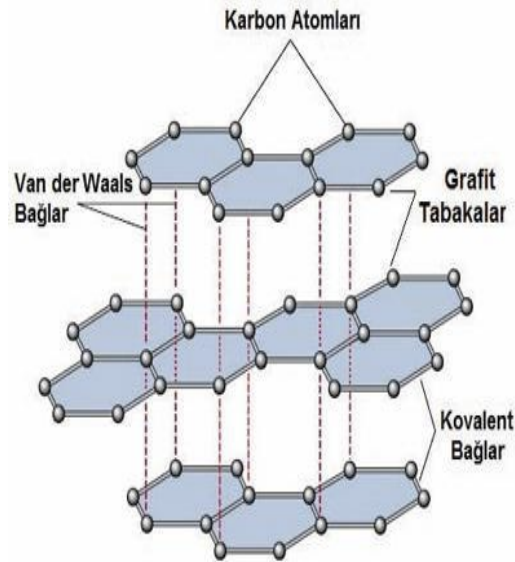
Karbon Nanobudlar, karbon nanotüp ve fullerenlerin karbon allotropları birleşiminden oluşan yeni bir malzemedir. Bu yeni malzemede fulleren benzeri tomurcuklar karbon nanotüpün dış yan duvarlarına kovalent olarak bağlanmaktadır(Varshney, 2014).

2010 yılında nobel fizik ödülünü aldıktan sonra grafen, pek çok çalışmada yer almış ve günümüzde ticari olarak birçok ürüne dahil edilmiştir. Grafen tek atom ve iki boyutlu kovalent bağ ile bağlı karbon atomlarının petek örgüsü şeklinde oluşmuş, üstün özelliklere sahip bir nano boyutlu malzemedir(Şekil 3). Karbon-karbon arası bağ uzunluğu 0,142 nm'dir. Grafen içindeki elektronlar oda sıcaklığında kütsüz rölativistik parçaçıklar gibi davranmasından dolayı grafen kuantum boşluğu etkisi gibi kendine has özellikler göstermektedir. Grafenin temel üstün özellikleri geniş yüzey alanı ($2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), yüksek elektron mobilitesi ($200000 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$), yüksek ısı iletkenliği ($5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) ve yüksek young modülü ($\sim 1100 \text{ Gpa}$)'dür (Bedeloğlu ve Taş, 2016). Grafenin en önemli özellikleri çelikten 100 - 300 kat arası daha sağlamdır ve çok iyi bir iletken, esnek, saydam ve bilinen en ince ve en hafif malzemedir (bilimfili.com).



Şekil 3. Grafen bağ yapısı görünümü (bilimfili.com)

Grafit, hekzagonal kristal yapısına sahip grafen tabakalarının paketlenerek van der Waals bağları ile birbirine bağlanmış halidir(Şekil 4) (Bedeloğlu ve Taş, 2016). Grafitin yoğunluğu $2,1-2,3 \text{ g/cm}^3$ 'dür((Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).



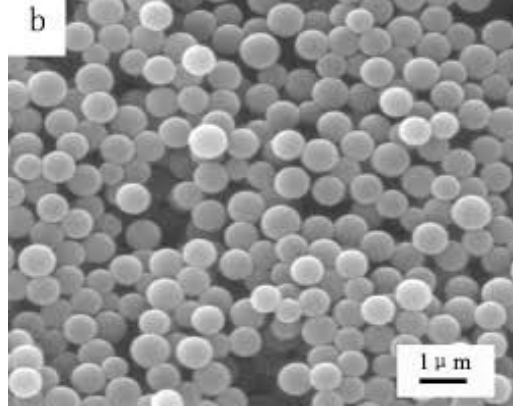
Şekil 4. Grafitin yapısı (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018)

Karbon levhalar birbirlerinin üzerinden kolayca kaydığından dolayı grafit, iyi bir yağlayıcıdır. Karbon atomlarından oluşan düzlemsel yapının bağları kuvvetlidir ve düzlemler arası bağlar ise zayıftır (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).

Grafit, hem metal hem de metal olmayan özelliklere sahip olduğundan dolayı benzersizdir. Sentetik ve doğal grafit olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal grafit üç sınıfa ayrılmıştır; Amorf, Flake, Yüksek Kristal(Bedeloğlu ve Taş, 2016; Azo Materials, 2002).

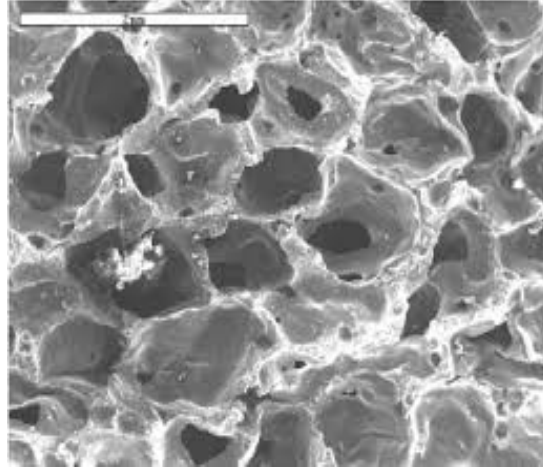
Karbon fiber (karbon elyaf), ipliksi tür bir teknoloji ürünüdür. Çelikten 4,5 kat daha hafif ve 3 kat daha dayanıklı olmalarından dolayı karbon fiberler geleceğin malzemelerinden biri olacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla hafifliği, sağlamlığı, esnekliği, enerji tüketimini azaltması gibi özelliklerinden dolayı birçok sektörün tercih ettiği malzemedir. Ancak çelikten 20 kat, alüminyumdan ise 10 kat daha pahalıdır (Unutmaz, 2009; chemlife.com.tr). Sürekli elyaf ve kırılmış elyaf olmak üzere piyasada iki türü bulunmaktadır(Yetim, 2015).

Karbon kürelerin(KK) yüzey alanları çok düşükten ($<2 \text{ m}^2/\text{g}$) çok yükseğe ($>1200 \text{ m}^2/\text{g}$) değişmektedir. KK'ler, van der Waals kuvvetleri tarafından birbirlerini çeker ve bu durumda KK'lerin kümelenmelerine yol açar. KK'ler 1000 nm'den küçük çaplara sahip olmaları(Şekil 5) ve aynı zamanda birbirine geçme eğilimi göstererek kolye veya boncuk benzeri yapıları oluşturmak için birbirlerine bağlanmaktadır. Böylelikle, KK'ler normal olarak ayrı gibi tartışılrsa da çoğunlukla bağlı genişletilmiş katı zincirler oluştururlar (Deshmukh vd., 2010).



Şekil 5. Karbon küre SEM görünümü (Deshmukh vd., 2010)

Karbon köpükler, ticari ve sanayi alanlarında çok geniş kullanım alanı potansiyele sahip yeni malzemelerden biridir. Bu yeni nesil malzeme tipinin sağlayacağı yararlar arasında düşük maliyet, düşük ağırlık, yanmaya dayanıklılık, enerji soğurmada etkinlik ve ısı yalıtım veya iletkenlik gibi önemli tasarım avantajlarının elde edilmesi amaçlanmaktadır(Liv d., 2003). Karbon köpüğünün yoğunluğu 30,2 g/cm ile 30,7 g/cm arasında değişmektedir. Karbon köpüğü yüksek gözenek oranına sahiptir ve gözenek büyüklüğünün dağılımı ortalama olarak 10 - 500 mikron arasında değişmektedir. Ayrıca hücrelerin an az %90'ı açık hücrelidir (Şekil 6) (Ekşilioğlu, 2004).



Şekil 6. Karbon köpük SEM görünümü (Ekşilioğlu, 2004).

3. ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Aktif karbon üretimi amacıyla yaygın olarak kullanılan hammaddeler yüksek sentetik polimerler, kömür (antrasit veya kahverengi kömür), turba, linyit, odun, fındık kabukları, petrol koku, hindistan cevizi kabuğu, çeşitli organik içerikli atıklardır. Dünya çapında yıllık 100.000 ton aktif karbon üretildiği tahmin edilmektedir(Çeçen, 2014).

Aktif karbon üretimi iki farklı yöntemle gerçekleştirilir. İlk olarak karbonizasyon işlemi uygulanır, ikinci olarak aktivasyon gerçekleştirilir. Karbonizasyon, 400-550 °C'de inert atmosfer ortamında uygulanır. Aktivasyon, fiziksel ve kimyasal olarak ikiye ayrılır. Fiziksel aktivasyon uygulaması karbonizasyona benzemektedir. Kimyasal aktivasyon uygulamasında

NaOH, KOH, sülfürik asit, fosforik asit gibi kimyasal maddeler kullanılarak karbonlu malzemenin gözeneklerinin açılması sağlanır(Çeçen, 2014).

Karbon siyahı üretimi amacıyla üç farklı proses uygulanmaktadır. Bunlar kanal proses, fırın proses, asetilen prosesdir. Dünyada karbon siyahı üretiminin %80'i fırın prosesi kullanılarak gerçekleştirilir. Üç proseste kontrollü atmosfer ortamında 800 °C – 1200 °C arasında yakıt yakarak karbon siyahı üretim esasına dayanmasına rağmen üretilen karbon siyahları birbirlerinden farklı ve eşsiz özelliklere sahiptir (Modern Dispersions Inc., 2011). Fırın prosesi üretiminde hammadde olarak yüksek miktarda aromatik hidrokarbon içeren ağır yağlar kullanılmaktadır. Aromatiklik oranı ne kadar yüksek ise prosesin verimliliği de o kadar yüksek olmaktadır (Cary Company Inc. 2014).

CNTs üretimi dört farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Bunlar ark boşalım, lazer buharlaştırma, kimyasal buhar birikimi ve buhar faz üretimidir(Yuca, 2010).

Grafen farklı pek çok yöntemle üretilebilmektedir. Grafenin üretim yöntemleri; mikromekaniksel olarak grafitin tabakalarının ayrılması (Eksfoliasyon), kimyasal buhar biriktirme, grafen oksitin indirgenmesi, epitaksiyel büyütmedir (Bedeloğlu ve Taş, 2016).

Sentetik grafit, doğal grafit kadar kristal olmamasına rağmen daha yüksek saflığa sahip olma eğilimindedir. Petrol, kok ve antrasitin elektrik ocaklarında 4000 °C'ye ısıtılması sonucu sentetik grafit elde edilmektedir (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).

Karbon fiberler, Poliakrilnitril (PAN), akrilik elyaf (orlon) ve naylon, kömür ve petrol esaslı katran, selüloz ve fenolik reçine prekürsörler, polivinildenklorür veya polivinildenklorür kopolimerleri ve polimidin gibi hammaddelerin stabilizasyon, karbonizasyon ve grafitizasyon gibi bir dizi işleme tabi tutularak üretilmektedir (chemlife.com.tr; Yaman vd., 2006).

Karbon küre üretimi amacıyla ark deşarjı, plazma tekniği, kimyasal buhar biriktirme, otoklav prosesi, hidrotermal proses, süper kritik akışkan yöntemleri uygulanmaktadır. Karbon kaynağı olarak sukroz, polistiren, fenol reçineleri, kömür, fulleren, CNT, MWCNT, nişasta, PET, toluen, asfalt, katran, glikoz, melamin/formaldehit, gliserin hammaddeleri kullanılmaktadır (Krishnamurthy vd., 2013; Deshmukh vd., 2010).

Literatürde sentetik mezofaz ziftleri, kömür katranı ve petrol zifti, kömür, poliüretan köpük, fenolik polimer, vinilidin klorid polimer, poli-akrilonitril ve şeker veya selüloz gibi organik bileşikler karbon köpük üretimi için hammadde olarak kullanılmıştır. Karbon köpük üretim aşamaları stabilizasyon, karbonizasyon ve grafitizasyondur (Ekşilioğlu, 2004).

4. KULLANIM ALANLARI

Aktif karbon çok yönlü bir adsorbandır. Su arıtma prosesleri, gazların temizlenmesi, geri kazanım işlemleri, ayırma prosesleri gibi pek çok çevresel ve endüstriyel uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Çeçen, 2014).

Karbon siyahının doğal kauçuğu takviye etmesine bağlı olarak lastiğin ömrünü uzattığından dolayı günümüze kadar gelmiş ve farklı alanlarda kullanım alanları belirlenmiştir. Özellikle pigment olarak kozmetik ürünleri, çeşitli sektörlerde kullanılan boyalar, mürekkepler, kaplamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kauçuk ürünlerinin iletkenlik, yırtılma, UV

koruma, esneklik gibi özelliklerini iyileştirmektedir. Kauçuk içerisinde en yaygın kullanılan karbon siyahı türleri HAF (N300-N330), ISAF (N200-N220), FEF (N500-N550) ve GPF (N600-N660)'dır (Carry Company Inc. 2014).

Pirolitik karbon siyahı, en yaygın adsorban olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda karbon siyahının kullanıldığı alanlarda karbon siyahı ile belirli oranlarda karıştırılarak da değerlendirilmektedir (Martínez, vd., 2013).

Karbon nanotüpler tekstil, polietilen, spor malzemeleri, köprüler, yangın malzemeleri, güneş hücreleri, iletkenler, termal iletkenler, yarıiletkenler ve izolatörler, su ve hava filtreleri, kimyasal nanoteller, katalizörler, seramikler, iletken plastikler, iletken yapıştırıcılar, sensörlerin üretimleri gibi daha pek çok alanda kullanılmaktadır (Herrero-Latorre vd., 2015; Allaedinia vd., 2016; cheaptubes.com).

Grafenin kullanım alanları; bataryaların ultra hızlı şarj edilmesi, radyoaktif atıkların daha kolay temizlenebilmesi, hızlı flash hafızalar, spor ekipmanları üretilmesi (tenis raketi gibi), güncellenebilen elektronik kağıtlar, küçük ve verimli biyosensör cihazlar, bataryaların yerini alabilecek süperkapasitörler, su geçirmeyen kıyafetler, daha sağlam ve hafif uçaklar ve koruma ekipmanları, doku yenilenmesi, su arıtma, doğrudan vücuttaki nöronlara bağlanabilen biyonik cihazlardır (bilimfili.com).

Grafit ise elektrod, motor fırçaları, pil çubukları ve elektronik aletleri, lastik, araba balataları, motor yağlarında katkı malzemesi, elektrik bataryaları, kuru piller, çelik sanayii ve elektro metalurji sanayi, elektrik cihazları elektrotları, kalem üretimi ve atomik grafit olarak reaktörlerde kullanılmaktadır. Saflığı az olan grafitler refrakter kaplamalar ve fırınlarda refrakter macunları yapımı, dökümcülük (demirçelik), boyacılık, grafitli gres yağları ve daha bir çok alanda tercih edilmektedir(Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).

Karbon fiberin üretiminin çok pahalı olması nedeniyle günümüzde otomotiv, uçak sanayi, tıbbi malzemeler ve spor gereçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yetim, 2015).

Karbon küreler konvansiyonel karbon materyallere kıyasla kütle difüzyonu ve taşınması açısından daha avantajlı olduğundan dolayı tıp, eczacılık, katalizör desteği, boya endüstrisi, yağlayıcı, su arıtma, enzim ve protein koruma, lityum pilleri için elektrot, süperkapasitör, adsorbent olarak pek çok farklı alanda kullanılmaktadır (Krishnamurthy vd., 2013; Deshmukh vd., 2010).

Günümüzde karbon köpüklerin en çok kullanıldığı alanlar uçak, uzay ve savunma endüstrileri (termal koruma sistemleri, ısı transfer sistemleri, uydu antenleri, düşük ağırlıklı zırh, radar gizleme malzemeleri, optik benç ve hafif aynalar), kompozit malzemeler, yakıt pili elektrotları, günlük hayatta kullanılan pil elektrotları, makine bileşenleri, katalitik konvertör, yüksek sıcaklık yalıtım, yapısal yalıtılmış paneller, fren balataları, yangına dayanıklı malzemeler, diş nakilleri, kemik protezleri, aşındırıcı aletler, enerji emici ve engelleyici bariyerler olarak sıralanabilir (Liv d., 2003; Ekşilioğlu, 2004).

5. SONUÇ

Karbonlu malzemeler kullanılan hammadde, üretim yöntemi ve kullanım amacına göre farklı özelliklerde üretilmektedir. Günümüzde özellikle atıklardan karbonlu malzeme üretilmesi hem karbonlu malzemelerin düşük maliyetli üretimine bağlı olarak ekonomik olması hem de atıkların çevreye zarar vermeden tekrar hammadde olarak değerlendirilmesinden dolayı büyük ilgi uyandırmaktadır. Eşsiz bir malzeme olan karbon, çağımızda en çok aranan ve kabul gören malzemeler arasındadır. Yapılan çalışmalar sonucunda her geçen gün karbonlu malzemelerin farklı özellikleri ve yeni kullanım alanları ortaya konmaktadır. Bu yönlerinden dolayı karbonlu malzemeler özellikle bilim insanlarını çok cezbetmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Karthik, P. S., Himaja, A. L., Singh, S.P. (2014), “Carbon-allotropes: synthesis methods, applications and future perspectives”, Carbon Letters, Vol. 15, No. 4, 219-237.
2. Tucureanu, V., Matei, A., Avram, A.M. (2016), “FTIR Spectroscopy for Carbon Family Study”, Critical Reviews In Analytical Chemistry, Vol. 46, No. 6, 502–520 <http://dx.doi.org/10.1080/10408347.2016.1157013>
3. Chung, D.L.D. (1994) “Carbon Fiber Compozites”, Butterworth-Heinemann, Boston.
4. Çeçen, F. (2014), “Activated Carbon”, Encyclopedia of Chemical Technology, DOI: 10.1002/0471238961.0103200902011105.a01.pub3.
5. Varshney, K. (2014), “Carbon Nanotubes: A Review on Synthesis, Properties and Applications”, International Journal of Engineering Research and General Science, 2(4).
6. Carry Company Inc. 2014. What is Carbon Black?. <https://www.thecarrycompany.com/media/pdf/specs/orion-what-is-carbon-black.pdf>
7. Azo Materials. 2002. “Graphite (C) - Classifications, Properties and Applications of Graphite”. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1630>
8. Ulloa, E. 2013. Fullerenes and their Applications in Science and Technology. <http://web.eng.fiu.edu/~vlassov/EEE-5425/Ulloa-Fullerenes.pdf>
9. Unutmaz, İ. (2009), “Türkiye Karbon Elyaf’ta Dünya ile Rekabette”, https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/biltek_arsiv/S-504-68.pdf
10. Bedeloğlu A., Taş, M. (2016), “Grafen ve Grafen Üretim Yöntemleri”, AKU J. Sci. Eng. 16, 031203 (544-554) DOI: 10.5578/fmbd.32173
11. Deshmukh, A.A., Mhlanga, S.D., Coville, N.J. (2010), “Carbon spheres”, Materials Science and Engineering R, 70, 1–28
12. Ekşilioğlu, A. (2004), “Sıcaklık, Çözücü ve Ek Karbon Malzemelerin Mezofaz Zift Bazlı Karbon Köpüğünün Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
13. <https://www.bescamo.com/aktif-karbon/>

14. Khan, A., Jawaid, M., Inamuddin, Asiri, A.M. (2019), "Preparation and properties of manipulated carbon nanotube composites and applications", Nanocarbon and its Composites, Woodhead Publishing, <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01980-8>
15. Rafique, I., Kausar, A., Anwar, Z., Muhammad, B. (2015), "Exploration of Epoxy Resins, Hardening Systems and Epoxy/Carbon Nanotube Composite Designed for High Performance Materials: A Review", Polymer-Plastics Technology and Engineering, 55(3), DOI: 10.1080/03602559.2015.1070874
16. cheaptubes.com, <https://www.cheaptubes.com/carbon-nanotubes-properties-and-applications/>
17. Yuca, N. (2010), "Karbon Nanotüplerin Çeşitli Yöntemlerle Saflaştırılması", İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul
18. Bedeloğlu A., Taş, M. (2016), "Grafen ve Grafen Üretim Yöntemleri", AKU J. Sci. Eng. 16, 031203 (544-554) DOI: 10.5578/fmbd.32173
19. <https://bilimfili.com/mucize-malzeme-grafen-nedir-neden-onemlidir>
20. Çuhadaroğlu, A.D., Kara, E. (2018), "Grafit: Bir Genel Değerlendirme", SDU Teknik Bilimler Dergisi, Cilt 8, Sayı1.
21. Azo Materials. 2002. Graphite (C) - Classifications, Properties and Applications of Graphite. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1630>
22. Unutmaz, İ. (2009), "Türkiye Karbon Elyaf'ta Dünya ile Rekabette", https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/biltek_arsiv/S-504-68.pdf
23. Kimya'nın Çözmeye Çalıştığı Problem "Karbon Fiber", <https://www.chemlife.com.tr/>
24. Yetim, E. (2015), "Karbon Elyaf Takviyeli Polimer Kompozitler", Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
25. Yaman, N., Öktem, T., Seventekin, N. (2006), "Karbon Liflerinin Üretimi", Tekstil Ve Konfeksiyon, 3/2006
26. Krişnamurthy, G., Namitha, R. (2013). Synthesis Of Structurally Novel Carbon Micro/ Nanospheres By Low Temperature-Hydrothermal Process, J. Chil. Chem. Soc., 58, No 3
27. Deshmukh, A.A., Mhlanga, S.D., Coville, N.J. (2010). Carbon spheres, Materials Science and Engineering R, 70, 1–28
28. Li, K., Gao, X.-L., Roy, A.K. (2003), "Micromechanics model for three-dimensional open-cell foams using a tetrakaidekahedral unit cell and Castigliano's second theorem", Compos. Sci. Tech., 63, 1769-1781.
29. Ekşilioğlu, A. (2004), "Sıcaklık, Çözücü ve Ek Karbon Malzemelerin Mezofaz Zift Bazlı Karbon Köpüğünün Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
30. Martí nez, J.D., Puy, N., Murillo, R., García, T., Navarro, M.V. and Mastral, A.M. (2013), "Waste tyre pyrolysis – A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23: 179-213.

31. Varshney, K. (2014), "Carbon Nanotubes: A Review on Synthesis, Properties and Applications", *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(4)
32. Herrero-Latorre, C., Álvarez-Méndez, J., Barciela-García, J., García-Martín, S. and Peña-Crecente, R.M. (2015), "Characterization of carbon nanotubes and analytical methods for their determination in environmental and biological samples: A review", *Analytica Chimica Acta*, 853: 77-94.
33. Allaedinia, G., Aminayib, P. and Tasirina, S.M. (2016), "Methane decomposition for carbon nanotubeproduction: Optimization of the reactionparameters using response surface methodology", *Chemical Engineering Research and Design*, 112: 163- 174.
34. Modern Dispersions Inc. 2011. *Insights On Carbon Black Fundamentals*, <http://moderndispersions.com> , (Ziyaret edilme tarihi; 30.05.2020).