

Karbon Nanotüplerin Çevresel Uygulamaları

Mehmet Pişkin^{1,2}

¹Gıda İşleme Bölümü /Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye

² İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı/ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Türkiye

mehmetpiskin@comu.edu.tr Başlıca yazarın mail adresi

Özet –Tehlikeli organik ve inorganik kirleticilerin verimli bir şekilde ortadan kaldırılması, çevre ve canlı organizma üzerindeki zararlı etkilerinden dolayı ekolojik açıdan zor bir görev olmaya devam etmektedir. Dünyamız, suyun aromatik bileşikler veya ağır metal iyonları tarafından kirlenmesi gibi önemli çevresel sorunlarla karşı karşıyadır. Bu kirleticileri uzaklaştırmanın en popüler yöntemlerinden biri, eser miktarda istenmeyen kimyasalları giderebilen adsorpsiyondur. Mekanik dayanıklılık, elektriksel ve termal iletkenliğin yanı sıra kararlılık açısından üstün malzemeler arasında en üst sırada yer alır karbon nanotüplerin çevresel olarak zararlı veya endüstriyel olarak ilgili olan çok çeşitli gaz veya sıvı adsorpsiyonuna uygulanabilirliğini destekleyen spesifik aktif bölgeleri dahil etme konusunda doğal bir yeteneğe sahiptir. Bu özellikler, çevresel sistemlerde proaktiften (çevresel bozulmanın önlenmesi, enerji verimliliğinin optimize edilmesi) geriye dönük (atık suyun yeniden kullanımı, kirletici dönüşümü) kadar yakın ilerlemeler sunar. Bu çalışmada, çeşitli toksik kirleticileri gidererek çevreye katkısı için, çevreci malzemeler olan çeşitli modifiye edilmiş karbon nanotüplerin performansı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler –Çevre, Karbon Nanotüp, Atık Su Arıtma, Adsorpsiyon, Hava Kirliliği

I. GİRİŞ

Karbon nanotüp (CNT), benzersiz yapısal ve optoelektriksel özellikleri nedeniyle nanoteknolojide büyük ilgi gören karbon ailesinin çekici bir üyesidir [1-5]. CNT'ler, tek bir grafit levhanın boru şeklindeki bir formu olarak kabul edilir ve tek, çift ile bir tüp haline getirilmiş bir grafit tabakasının katman sayısına bağlı olarak tek duvarlı CNT'ler (SWCNT'ler) ve birden çok duvar veya çok duvarlı CNT'ler (MWCNT'ler) olarak sınıflandırılır [6]. CNT'ler genellikle 0,1 nm ila 10 nm arasında değişen bir çapa sahiptir ve uzunluk birkaç yüz santimetreye kadar değişebilir. CNT ağı genellikle sp^2 hibridize karbonlardan oluşan altıgen bir ağdan oluşur. CNT'ler, grafit tabakasının yuvarlanma yönüne bağlı olarak üç çeşit tübül yapısına (koltuk, zig zag ve kiral) sınıflandırılabilir [7]. Oryantasyondaki fark, CNT'lerin elektriksel özelliklerini kontrol eder ve elektriksel özellikleri üzerinde doğrudan etkiye sahiptir [1]. CNT'ler,

yüksek yüzey alanı, kimyasal kararlılık ve mükemmel stabilite nedeniyle mükemmel adsorpsiyon özellikleri nedeniyle oldukça çalışılmaktadır [8]. CNT'nin adsorpsiyonu, yüzey alanı, hidrofobik etkileşimler, bazal yapının işlevselleştirilmesi, π - π bağları, elektrostatik etkileşimler, yüzey ve kılcak yoğunlaşma gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Adsorbe edici türlerin polarite, boyut, molekülün yapısı, yük, pH ve çözeltinin iyonlaşma gücü gibi fiziko-kimyasal özellikleri de bunların CNT'ler üzerindeki adsorpsiyon kapsamını ve afinitesini etkileyebilir. Bozulmamış CNT, hidrofobik bir yapı sergilemesine rağmen, polar olmayan moleküllü iyi bir şekilde adsorbe edebilir. CNT'leri işlevselleştirerek hidrofilikliği ayarlamak, polar moleküller için adsorpsiyon kapasitesini artırabilir [9]. İşlevsellik temelinde polar ve polar olmayan moleküllerin adsorpsiyonu için CNT'nin afinitesinde değişir. CNT'ler, çok yönlü bir adsorban olarak kullanılmaları için onlara daha fazla avantaj sağlayan kontrollü oryantasyon ve

konfigurasyon ile farklı yapılar halinde tasarlanabilir [9]. Polar moleküllerin adsorpsiyonu, CNT'nin işlevselleşmesiyle artarken, polar olmayan moleküller için bozulmamış CNT'ler en iyi adsorbanlardı [10]. CNT'lerin hafif olmaları, yüksek boy oranlı küçük boyutları, ince gerilme mukavemeti ve iyi iletken özellikleri gibi önemli yönleri, onları biyomedikal, elektronik malzemeler, sensörler, alan emisyon cihazları, enerji depolama ve dönüşüm vb. gibi çeşitli uygulamalar için iyi bir aday haline getirir. CNT, küçük, eş merkezli, sarılmış grafen tabakalarından oluşan silindirlere, Duvarları grafitin taban düzlemi gibi davranırken, kenar düzlemleri ve boru uçları elektrokimyasal olarak aktif bölgelerdir [9]. CNT'nin yüksek uzaklaştırma kapasitelerine katkıda bulunan benzersiz özellikleri arasında yüksek en boy oranına sahip lifli şekil, geniş dış yüzey alanı ve iyi gelişmiş mezo gözenekler yer alır [9,10]. CNT agregaları, organik moleküller için yüksek adsorpsiyon enerji bölgeleri olan ara boşluklar ve oluklar nedeniyle organik kirleticilere karşı yüksek afiniteye sahiptir [9,10].

Bu çalışmada, çevreci uygulamalar için en ilginç ve sevilen malzemelerden olan CNT'lerin irdelenmesi hedeflenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

CNT'lerin çevresel uygulamalarıyla ilgili araştırmalar, meta veri analiz yöntemiyle sistematik inceleme metodu kullanılarak özetlenmiştir.

III. BULGULAR

A. CNTS ATIKSU ARITMA UYGULAMASI

CNT süngeri, öncü olarak ferrosen kullanılarak kimyasal buhar ayrıştırma yöntemleriyle geliştirilebilir. Bu teknikle yapılan bir CNT süngeri, rastgele dolaşık bir 3 boyutlu yapıya sahiptir ve minimum yoğunlukla yüksek gözeneklilik sergiler. Yağla kirlenmiş su, CNT süngeri ile temizlenebilir. Kirlenmiş yüzeyde yüzerler ve yağı emerek uzaklaştırırlar. Süngerler hidrofobik olduklarından, yağ filmi alanına hareket etme eğilimi gösterirler ve bu nedenle, dökülme temizliği için çok yararlı olan olağanüstü bir yüzme ve temizleme kapasitesine yol açarlar. Bu yağa doymuş CNT süngeri, mekanik sıkıştırma yoluyla, aynı anda önemli kaynakların yeniden canlandırılmasıyla veya sünger yapısını

bozmadan havada doğrudan yakılarak kolayca yeniden üretilir [11].

B. ADSORBENTLER

Adsorpsiyon, kirleticilerin giderilmesi için kullanılan bir yüzey olgusudur. Emilebilir çözünen ve katı adsorban arasındaki etkileşime dayanır. Diğer yöntemlere göre uygun maliyetli ve yüksek verimlidir. Atık suyun arıtılması için genel teknikler iyon değişimi, kimyasal çökeltme, ters ozmoz, elektroliz, pıhtılaşma/flokülasyon, ultra filtrasyon ve adsorpsiyondur [12].

Adsorpsiyon,

- Vander Waals kuvvetlerinin neden olduğu fizisorpsiyon,

- kimyasal soğurma, adsorbent ve adsorbat arasındaki kimyasal bağ ve

- Adsorbat ve yüzey arasındaki yük çekiminin neden olduğu değişim adsorpsiyonu olabilir.

Emici olmayan maddenin önemi, adsorbanın adsorpsiyon işleminin çok yönlülüğünü ve verimliliğini belirleyeceği adsorpsiyon sürecinde devreye girer [13]. Geniş bir yüzey alanına, çoklu sorpsiyon bölgelerine, ayarlanabilir gözenek boyutuna, düşük sıcaklık modifikasyonuna ve yüzey kimyasına sahip olmaları onları adsorpsiyon işlemi için uygun adaylar yapar. Bu nanomalzemeler nanoteller, nanotüpler, kuantum noktaları ve nanopartiküller olabilir. CNT'ler, yüksek adsorpsiyon bölgeleri ve ayarlanabilir yüzey kimyası nedeniyle atık su ıslahı için önemlidir. İdeal bir nano adsorban malzeme toksik olmamalı, yüksek sorpsiyon kapasitelerine sahip olmalı ve düşük konsantrasyonlarda bile kirleticileri gidermek için yüksek doğruluğa sahip olmalıdır. Yüzey kolayca yeniden etkinleştirilmelidir. Son zamanlarda, çevre dostu sentezlenmiş SnO₂-CNT nano hibrit, yerinde su ıslahı için verimli bir yeniden kullanılabilir malzeme olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, As (III)'ün SnO₂-CNT nanokompoziti üzerindeki oksidatif adsorpsiyonu sunulmuştur [14]. Biyolojik olarak parçalanamayan atıklar, doğrudan veya dolaylı olarak giderek artan bir şekilde suya salınmakta ve bu da ekosistemde ciddi toksik etkilere neden olmaktadır [15]. Bu tür kirleticilerin uzaklaştırılması sorpsiyon, membran filtrasyonu veya kimyasal çökeltme kullanılarak yapılabilir. Yağın sudan etkili adsorpsiyonu, süperhidrofobikliğe ve süperleofilikliğe sahip yeni gözenekli adsorbanlarla da elde edilebilir.

CNT'lerin süper hidrofobik ve süper leofilik hibrit köpüğü, iki aşamalı bir kimyasal buhar biriktirme tekniği kullanılarak üretilebilir. Organik çözücüleri ve yağları suyun yüzeyinden uzaklaştırmak için seçici olarak kullanılabilirler, bu da çevre kirliliğinin uzun vadeli etkilerine neden olur. Grafen CNT Airgel ayrıca adsorpsiyondan sonra mükemmel yeniden kullanılabilirlik ve stabilite gösterir. Organik boyalar bozulmaz ve kanserojen etkilere sahiptir. Bu nedenle, boyaların kaldırılması için yeni bir gelişme önemlidir. Ayrıca, CNTS-Grafen organik boyalar için iyi adsorpsiyon kapasitesine sahiptir. Bir çalışmada, CO-MWCNT NADS olarak adlandırılan MWCNT Absorban (NAD), insanlar ve suda yaşam yaşamları üzerinde kanserojen ve mutajenik etkilere neden olabilecek bir boyestuff olan metilen mavisini çıkarmak için kullanılır [16]. Fischer-tropsh (FT) sentezinin hidrokarbon ürünlerinin (doymuş ve doymamış) CNT destekli kobalt yüzeyi üzerinde fiziksel adsorpsiyonu, DFT (yoğunluk fonksiyonel teorisi) kullanılarak araştırılabilir. FT işleminde (4,4) CNT eş nanokatalizörünün ağır hidrokarbonlar oluşturmak için ışık tiplerinden daha fazla verimliliğe sahip olduğunu bulmuşlardır [17]. Çevre Mühendisliği'nde, CNT'ler aşağıdaki türlerin çeşitli adsorban uygulamaları için kullanılır [18].

- Ağır metaller
- Dezenfeksiyon yan ürünleri
- Endokrin bozucular
- Biyolojik kirletici maddeler
- Doğal organik madde vb.

C. CNT'NİN ATIK SU ARITMASINDA ROLÜ

Endüstriyel, yerli alanlardan veya tarımsal kaynaklardan gelen atık su, ağır metal iyonları gibi büyük miktarda kirletici maddeler ve sezyum ve strontium gibi bazı radyoaktif elemanlardan oluşur [19]. Bu kirleticiler yıkılmaz, oldukça toksik ve kanserojendir ve bu nedenle suyun kalitesini ve sağlığımızı kötü bir şekilde etkiler. Böylece iyi sorpsiyon kapasitesine ve yüksek sorpsiyon verimliliğine sahip sorbentler bu kirleticileri ortadan kaldırabilir. Yüksek yüzey aktif bölgeden hacim oranına ve kontrollü gözenek boyutu dağılımına sahip olan CNT'ler, atık su tedavileri için çok uyarlanabilir. Gelişmiş çalışmalar, CNT'lerin adsorpsiyon kapasitesinin hem yüzey fonksiyonel grubuna hem de sorbatın doğasına bağlı olduğunu keşfetti. Genel olarak, 7-10 pH aralığına sahip

CNT'ler adsorpsiyon için uygundur [20]. Mevcut teknolojilere göre, CNT'ler atık sudaki partikül konsantrasyonunu azaltmak için nanofilterler olarak da kullanılır [21]. CNT'ler, hidrofobik doğalarına bakılmaksızın suyun taşınmasında olağanüstü bir performans göstermiştir. Moleküler Dinamik Simülasyonları, CNTS gözeneklerinin hidrofobik doğasının su molekülleri ile zayıf etkileşimler oluşturduğunu ve böylece hızlı ve neredeyse sürtünmesiz bir su akışını kolaylaştırdığını göstermektedir. Son çalışmalar, CNT nanofilterinin protozoa, bakteriler, atık su arıtmasında bulunan virüsler gibi patojenik mikroorganizmaları giderebileceğini ve mikroorganizmaların derinlik filtrasyon mekanizmasına dayanarak CNT'nin cephesinde ayrıldığını göstermektedir [22]. Ayrıca E. coli bakterilerini SWCNT'ler kullanarak düşük basınçta çıkarabilir [22]. Ayrıca, CNT'lerin antimikrobiyal aktivitesi, kimyasal dezenfektanların mikrobiyal patojenleri kontrol etmek için yeni bir etkili yol olarak değiştirilmesine yardımcı olur [23]. Su dezenfektan tedavisinde CNT'lerin uygulanması, güçlü oksidan olmadıkları ve suda nispeten statik oldukları için trihalometan, haloasetik asitler ve aldehidler gibi zararlı dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşturulmasını önler.

D. HAVA KİRLİLİĞİNİ KONTROL ETMEK İÇİN CNT'LER

CNT'nin metalik ve yarı iletkenliği, benzersiz ve ayarlanabilir elektriksel özelliklere sahip olmalarına rağmen, boyut ve kiralite gibi tek boyutlu silindirik yapıları tarafından büyük ölçüde önyargılıdır. Düşük güç tüketimi, düşük çalışma sıcaklığı ve yüksek hassasiyet gibi avantajlar, CNT'leri diğer geleneksel metal oksit gaz sensörlerine baskın hale getirecektir [24]. Bazı araştırmacılar, oda sıcaklığında azot oksit (NO_x), azot dioksit (NO₂), amonyak (NH₃) ve kükürt dioksit (SO₂) gibi çeşitli zehirli gazların saptanması için CNT bazlı gaz sensörünü kullanmıştır [25].

E. CO₂ YAKALAMA İÇİN ADSORBAN OLARAK KARBON NANOTÜPLER

Enerji santrallerinde fosil yakıtların yanması, elektrik üretmek için en yaygın teknolojilerden biri olarak bilinir. Bu yanma nedeniyle büyük miktarda CO₂ üretilecektir. CO₂, sera gazlarından (GHG) biridir ve küresel ısınmaya neden olur ve bu da küresel iklim değişikliğine yol açar. Bu sorun için iyi bir çare, CO₂'nin yakalanması ve

depolanmasıdır. Aminlerin katı malzemelere empenye işlemi, CO₂'nin adsorpsiyonu için uygundur. Bunlar arasında, CNT'ler aminlerin empenye edilmesi için uygun bir malzeme olarak kabul edilir. İki CNT sınıfı arasında, SWCNT'ler MWCNT'lerin daha yüksek CO₂ adsorpsiyon kapasitesi gösterir [26].

F. ANTİBİYOTİK MATERYALLERİ ÇIKARMAK İÇİN ÇOK DUVARLI KARBON NANOTÜPLERLE KAPLANMIŞ AKTİF KARBON

Antibiyotikler insan vücudunda kısmen metabolize edilir ve atılımdan sonra aktif kalırlar. Bu malzemeler içme suyu, yüzey suyu, kanalizasyon ve atık su kaynaklarında çeşitli miktarlarda görülebilir. İlaç endüstrisinden ve hastanelerden farmasötik atıklar su kaynaklarıyla temas edebilir. Bu hem insanlar hem de tüm canlı organizmalar için bir tehdittir. Bu, uzun vadede yüksek antibiyotik direncine neden olabilir. En yaygın antibiyotiklerden biri siprofloksasin (CIP). Çevrede, özellikle atık suda büyük miktarda bulunur. Sulu çözeltilerdeki CIP, MWCNTS/AC ile desteklenen AC ile çıkarılabilir. CIP'lerin çıkarılmasını etkileyen faktörler, CIP, adsorban dozajının, çözeltinin pH'ının ilk konsantrasyonu, sıcaklık ve temas süresidir [27]. %73'lük bir çıkarma etkinliğine sahiptirler ve bu, MWCNT/AC'yi antibiyotik çıkarma için potansiyel bir araç olarak yaptı.

IV. TARTIŞMA

Büyük ölçekli çevre uygulamaları için CNT'lerin büyük ölçekli üretimleri, laboratuvar sentezine kıyasla üretim maliyetleri ve tehlikeli saflık seviyeleri ile sınırlıdır. Bununla birlikte, özellikle katalitik kimyasal buhar biriktirme (CCVD) teknikleri yoluyla CNT'lerin minimum maliyetle üretimi için yeni çalışmalar mevcuttur. Düşük maliyetli üretim tekniği, CNT'lerin büyük ölçekli üretimine ve ticarileştirilmesine olan ilgiyi öngörüyordu [25]. Maliyet ve saflık dışında en önemli endişe, insan sağlığına ve çevreye olan toksisitesidir. CNT'lerin büyük ölçekli kullanımı, çevrede CNT'lerin birikmesine neden olabilir ve bu da insanların besin döngüsüne girebilir. In-vivo çalışmalar, CNT'lerin kimyasal ve fiziksel yapıları nedeniyle hayvan hücreleri ve organları üzerindeki

sitotoksik etkisini göstermektedir [26] KNT'lerin sitotoksik etkisini çeşitli işlevselleştirme ve dağıtma yöntemleriyle en aza indirmek için birçok araştırma devam etmektedir. [26, 27] CNT'lerin toksik etkisinden kaçınmanın en iyi yollarının yakında keşfedileceği ve önümüzdeki günlerde CNT'lerin çok daha kapsamlı kullanımının yapılabileceği önerilmektedir.

V. SONUÇLAR

Günümüzde, modern toplum çevre kirliliği sonucunda çeşitli halk sağlığı sonuçlarıyla karşı karşıyadır. WHO'ya göre, küresel ortam hava kalitesi veritabanı, solunum enfeksiyonları, kalp hastalığı, inme, akciğer kanseri ve kronik obstrüktif akciğer hastalıkları gibi hastalıklara yol açan kirli havadaki ince parçacıklara maruz kalma nedeniyle her yıl 7 milyon kişinin öldüğünü tahmin ediyor. Bu çevre kirliticileri biyoakümülatörlü ve biyomagnifiye edilebilir ve ekosistem üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Bu nedenle, çevre kirliliği yönetimi için verimli malzemelere acil bir ihtiyaç vardır. CNT tabanlı materyaller çevre uygulamaları için umut verici adaylardır. CNT'nin çevre mühendisliğindeki pratik uygulamalarındaki gelişmelerle, insan yaşamının ufku genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Menezes, B.R.C.d., Rodrigues, K.F., Fonseca, B.C.d.S., Ribas, R.G., Montanheiro, T.L.d.A., Thim, G.P., Recent advances in the use of carbon nanotubes as smart biomaterials. *J. Mater. Chem. B*, 7, 1343–1360, 2019.
- [2] Ren, X., Chen, C., Nagatsu, M., Wang, X., Carbon nanotubes as adsorbents in environmental pollution management: A review. *Chem. Eng. J.*, 170, 395–410, 2011.
- [3] Kumar, M., Shanmuga Priya, N., Kanagaraj, S., Pugazhenthii, G., Melt rheological behavior of PMMA nanocomposites reinforced with modified nanoclay. *Nanocomposites*, 2, 109–116, 2016.
- [4] Tripathi, K.M., Begum, A., Sonkar, S.K., Sarkar, S., Nanospheres of copper(III) 1,2-dicarbomethoxy-1,2-dithiolate and its composite with water-soluble carbon nanotubes. *New J. Chem.*, 37, 2708–2715, 2013.
- [5] Dubey, P., Sonkar, S.K., Majumder, S., Tripathi, K.M., Sarkar, S., Isolation of water-soluble carbon nanotubes with network structure possessing multipodal junctions and its magnetic property. *RSC Adv.*, 3, 7306–7312, 2013.
- [6] Esteves, L.M., Oliveira, H.A., Passos, F.B., Carbon nanotubes as catalyst support in chemical vapor

- deposition reaction: A review. *J. Ind. Eng. Chem.*, 65, 1–12, 2018.
- [7] He, H., Pham-Huy, L.A., Dramou, P., Xiao, D., Zuo, P., Pham-Huy, C., Carbon Nanotubes: Applications in Pharmacy and Medicine. *Biomed. Res. Int.*, 2013, 12, 2013.
- [8] Li, Y.H., Zhao, Y.M., Hu, W.B., Ahmad, I., Zhu, Y.Q., Peng, X.J., Luan, Z.K., Carbon nanotubes - the promising adsorbent in wastewater treatment. *J. Phys. Conf. Ser.*, 61, 698–702, 2007.
- [9] Pan, B. and Xing, B., Adsorption Mechanisms of Organic Chemicals on Carbon Nanotubes. *Environ. Sci. Technol.*, 42, 9005–9013, 2008.
- [10] Gui, X., Wei, J., Wang, K., Cao, A., Zhu, H., Jia, Y., Shu, Q., Wu, D., Carbon Nanotube Sponges. *Adv. Mater.*, 22, 617–621, 2010.
- [11] Bhanuse, U. M., Babar, A. B., Ranveer, A. C. *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology. Jecet* 2016, 5, 10–18.
- [12] El-sayed, M. E. A. Science of the Total Environment Nanoadsorbents for Water and Wastewater Remediation. *Sci. Total Environ.* 2020, 739, 139903.
- [13] Oliveira, S., Forster, S. P., Seeger, S. *Nanocatalysis: Academic Discipline and Industrial Realities.* 2014.
- [14] Mohanta, D., Nath, A. Environmentally Benign Fabrication of SnO₂-CNT Nanohybrids and Their Multifunctional Efficiency as an Adsorbent, Catalyst, and Antimicrobial Agent for Water Decontamination. *Sci. Rep.* August 2019, 1–19.
- [15] Rocha, R. P., Pereira, M. F. R. Tuning CNT Properties for Metal-Free Environmental Catalytic Applications. 2016.
- [16] Çalimli, M. H. Magnetic Nanocomposite Cobalt—Multiwalled Carbon Nanotube and Adsorption Kinetics of Methylene Blue Using an Ultrasonic Batch. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2020, No. 0123456789.
- [17] Shariatnia, Z., Abdollahi-moghadam, M. Original Article DFT Computations on Surface Physical Adsorption of Hydrocarbons Produced in the Fischer-Tropsch Synthesis on a CNT/Co Nanocatalyst. *J. Saudi Chem. Soc.* 2018, 22 (7), 786–808.
- [18] Upadhyayula, V. K. K., Gadhamshetty, V. Appreciating the Role of Carbon Nanotube Composites in Preventing Biofouling and Promoting Biofilms on Material Surfaces in Environmental Engineering : A Review. 2010, 28, 802–816.
- [19] Wang, Y., Pan, C., Chu, W., Vipin, A. K., Sun, L. Environmental Remediation Applications of Carbon Nanotubes and Graphene Oxide: Adsorption and Catalysis. *Nanomaterials* 2019, 9.
- [20] Rao, G., Lu, C., Su, F. Sorption of Divalent Metal Ions from Aqueous Solution by Carbon Nanotubes: A Review. *Sep. Purif. Technol.* 2007, 58, 224–231.
- [21] Srivastava, A., Srivastava, O. N., Talapatra, S., Vajtai, R., Ajayan, P. M. Carbon Nanotube Filters. *Nat. Mater.* 2004, 3, 610–614.
- [22] Bohonak, D. M., Zydney, A. L. Compaction and Permeability Effects with Virus Filtration Membranes. *J. Memb. Sci.* 2005, 254, 71–79.
- [23] Savage, N., Diallo, M. S. *Nanomaterials and Water Purification: Opportunities and Challenges. J. Nanopart. Res.* 2005, 7, 331–342.
- [24] Endo, M., Strano, M., Ajayan, P. Potential Applications of Carbon Nanotubes. *Topics Appl. Phys.* 2007, 111, 13–61.
- [25] Wang, Y., Yeow, J. T. W. A Review of Carbon Nanotubes-Based Gas Sensors. *J. Sensors* 2009, 2009, 493904.
- [26] Osler, K.; Dheda, D.; Ngoy, J.; Wagner, N.; Daramola, M. O. Synthesis and Evaluation of Carbon Nanotubes Composite Adsorbent for CO₂ Capture: A Comparative Study of CO₂ Adsorption Capacity of Single-Walled and Multi-Walled Carbon Nanotubes. *Int. J. Coal Sci. Technol.* 2017, 4, 41–49.
- [27] Sharifpour, N.; Moghaddam, F. M.; Mardani, G.; Malakootian, M. Evaluation of the Activated Carbon Coated with Multiwalled Carbon Nanotubes in Removal of Ciprofloxacin from Aqueous Solutions. *Appl. Water Sci.* 2020, 10, 1–17.