ELMİ TƏDQİQAT Oktyabr 2026, Cild: 6, Sayı: 10, s. 198–203
SCIENTIFIC RESEARCH October 2026, Volume: 6, Issue: 10, pp. 198–203
DOI: https://doi.org/10.36719/2789-6919/64/198-203

TƏBİƏT ELMLƏRİ

NATURAL SCIENCES

İçməli suyun təmizlənməsində nanotexnologiyalarin rolu

(İcmal)

Ağasəmid İsayev[1], Sevinc Sadiqova[2], İradə Nağıyeva[2], İradə Zərbəliyeva[2*]

Xülasə. *Təqdim olunan icmal məqalədə içməli suyun təmizlənməsində istifadə olunan müxtəlif nanomaterialların, o cümlədən qrafen və onun törəmələri, çirkləndiricilərin adsorbsiyası üçün adsorbentlərin, karbon nanotübləri (CNT), titan dioksidin (TiO_2), sink oksidin (ZnO), gümüş (Ag NP) nanohissəciklərinin, dəmir əsaslı (Fe) nanomaterialların və membran texnologiyalarının tətbiqi hərtərəfli araşdırılmışdır. Tədqiqatın məqsədi nanomaterialların ağır metallar, üzvi çirkləndiricilər və patogenlər daxil olmaqla, geniş spektrli su çirkləndiricilərinin kənarlaşdırılmasındakı effektivliyini qiymətləndirməkdir.Araşdırma nəticəsində məlum o lmuşdur ki, təhlil edilən hər bir material özünəməxsus xüsusiyyətlərə malikdir. Belə ki, qrafen və onun törəmələri (qrafen oksidi (GO) və reduksiya olunmuş qrafen oksidi (rGO)) yüksək səth sahəsi, mexaniki möhkəmliyi və çoxyönlü səth kimyası sayəsində suyun təmizlənməsində, karbon nanotübləri (CNT) və dəmir nanohissəcikləri (Fe NP) üzvi çirkləndiricilərin və ağır metalların sudan adsorbsiyasında yüksək performans göstərir. Sink oksidi nanopartikulları (ZnO NP) və gümüş nanohissəcikləri (Ag NP) yüksək antimikrob xüsusiyyətləri nümayiş etdirməklə bakteriya, virus və göbələklər kimi geniş spektrli patogenləri təsirsiz hala gətirə bilir. Membran nanomateriallar isə filtrasiya texnologiyalarının performansını əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır. TiO_2, ZnO və ya qrafen əsaslı nanomaterialların membranlara inteqrasiyası membranın çirklənməyə qarşı müqavimətini, mexaniki möhkəmliyini və çirkləndiricilərə qarşı selektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.*

Açar sözlər: *içməli su, karbon nanotübləri, adsorbent, nanotexnologiya, membran texnologiyaları*

[1]V. Y. Axundov adına Elmi-Tədqiqat Tibbi Profilaktika İnstitutu, tibb elmləri doktoru, Bakı, Azərbaycan
[2]V. Y. Axundov adına Elmi-Tədqiqat Tibbi Profilaktika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan
[*]Məsul müəllif. E-poçt: iradezerbelili@gmail.com
Daxil oldu: 19 İyun 2026; Qəbul edildi: 25 Sentyabr 2026; Onlayn dərc edildi: 30 Oktyabr 2026
© Müəllif(lər) 2026. Bu açıq girişli məqalə Creative Commons Attribution–NonCommercial 4.0 Beynəlxalq Lisenziyasının (CC BY-NC 4.0) şərtlərinə uyğun olaraq yayımlanmışdır.

The Role of Nanotechnologies in Drinking Water Purification (Review)

Aghasamid Isayev[1], Sevinj Sadigova[2], Irada Naghieva[2], and Irada Zarbaliyeva[2*]

Abstract. *The presented review article comprehensively examines the application of various nanomaterials in drinking water purification — including graphene and its derivatives, adsorbents for pollutant adsorption, carbon nanotubes (CNTs), titanium dioxide (TiO_2), zinc oxide (ZnO), silver nanoparticles (Ag NPs), iron-based (Fe) nanomaterials, and membrane technologies. The aim of the study is to evaluate the effectiveness of nanomaterials in removing a wide range of water pollutants, including heavy metals, organic pollutants, and pathogens. The research revealed that each material analyzed possesses unique characteristics. Specifically, graphene and its derivatives (graphene oxide (GO) and reduced graphene oxide (rGO)) demonstrate high performance in water purification due to their high surface area, mechanical strength, and versatile surface chemistry, while carbon nanotubes (CNTs) and iron nanoparticles (Fe NPs) excel in the adsorption of organic pollutants and heavy metals from water. Zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) and silver nanoparticles (Ag NPs) exhibit strong antimicrobial properties, enabling them to neutralize a broad spectrum of pathogens such as bacteria, viruses, and fungi. Membrane nanomaterials significantly improve the performance of filtration technologies. Integrating TiO_2, ZnO, or graphene-based nanomaterials into membranes substantially enhances their fouling resistance, mechanical strength, and selectivity toward contaminants.*

Keywords: *drinking water, carbon nanotubes, adsorbent, nanotechnology, membrane technologies*

[1]V. Y. Akhundov Scientific Research Institute of Medical Prevention, Doctor of medical sciences, Baku, Azerbaijan
[2]V. Y. Akhundov Scientific Research Institute of Medical Prevention, Baku, Azerbaijan
[*]Corresponding author. E-mail: iradezerbelili@gmail.com
Received: 19 June 2026; Accepted: 25 September 2026; Published online: 30 October 2026
© The Author(s) 2026. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

1. Giriş

Yer kürəsinin səthinin üçdə ikisinin su ilə örtülü olmasına baxmayaraq, sayı 8 milyarddan artıq olan dünya əhalisi üçün həmin suyun yalnız 0,3%-i şirin sudur (Sadigov, 2022; Stephens, 2020). Qlobal miqyasda şirin su ehtiyatlarının azalması fonunda suya, xüsusilə də içməli suya olan tələbat getdikcə artır və bu hal dövrümüzün ən ciddi çağırışlarından birinə çevrilir. Mövcud sutəmizləmə sistemləri artan tələbatı ödəyə bilmir, 2 milyard insan təhlükəsiz sudan məhrumdur və 1,2 milyard insan yalnız əsas su xidmətlərindən istifadə edir (Alemayehu et al., 2023).

Hələ 2014-cü ildə Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatı (ÜST) 2025-ci ilə qədər dünya əhalisinin yarısının su çatışmazlığı olan ərazilərdə yaşayacağını proqnozlaşdırmışdı (Ungureanu et al., 2020). Hazırda dünya əhalisinin 40%-ə qədəri su qıtlığı ilə üzləşib. Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının (ÜST) proqnozlarına əsasən, 2050-ci ildə inkişaf etmiş dövlətlərdə baş verən sürətli əhali artımı sözügedən problemi daha da dərinləşdirəcək. Təmiz içməli su qıtlığı artdıqca suyun təmizlənməsi texnologiyaları qlobal xarakter daşıyır, xərclərə və enerjiyə qənaət edən davamlı innovasiyalara (nanotexnologiyalara) ehtiyac artır (Anjum, 2023; Bhardwaj, 2021; He et al., 2022).

Oxşar mənzərə Azərbaycan üçün də tamamilə xarakterikdir. Belə ki, Cənubi Qafqaz regionunda içməli su ehtiyatları baxımından ən çətin vəziyyət məhz ölkəmizdədir – bölgənin ümumi şirin su ehtiyatının yalnız 10%-i respublikamızın payına düşür.

Bu baxımdan Azərbaycanda da nanotexnologiyalar suyun təmizlənməsi prosesində, xüsusilə də nanofiltrasiya və ağır metalların, sənaye çirkablarının təmizlənməsi istiqamətində tətbiq olunur. Azərbaycan elmi mühitində nanoölçülü hissəciklərin (məsələn, TiO_2 nanohissəcikləri) tullantı sularından fenol kimi zərərli kimyəvi maddələrin təmizlənməsində rolu araşdırılır. Neft-qaz sənayesində çıxan lay sularının təmizlənməsi və təkrar istifadəsi üçün alüminium nanohissəcikləri tərkibli xüsusi kompozisiyalar sınaqdan keçirilir. Bu üsul həm suyun təmizlənməsini təmin edir, həm də avadanlıqlarda korroziyanın qarşısını alır.

2. Material və metodlar

Tədqiqatın məqsədi: İçməli suyun təmizlənməsində istifadə olunan qrafen və onun törəmələri, su çirkləndiricilərinin adsorbentləri, karbon nanotüpləri (CNT), titan dioksidi (TiO_2 NP), sink oksidi (ZnO NP), gümüş (Ag NP) və dəmir əsaslı (Fe NP) nanopartikulların, həmçinin membran texnologiyalarının ağır metallar, üzvi çirkləndiricilər və patogenlər də daxil olmaqla geniş spektrli çirkləndiricilərin təmizlənməsində effektivliyini ədəbiyyat məlumatları əsasında araşdırmaqdan ibarət olmuşdur.

3. Nəticələr

İçməli suyun təmizlənməsində istifadə olunan karbon əsaslı nanomateriallardan biri – qrafen və onun törəmələri – əhəmiyyətli fiziki-kimyəvi, hidrofob və oleofil xüsusiyyətlərinə görə bir sıra tədqiqat sahələrində geniş şəkildə istifadə olunur (Liu et al., 2015). Geim və Novoselovun də qeyd etdiyi kimi (Geim & Novoselov, 2007) bütün qrafit karbon materiallarının "anası" kimi təsvir edilən qrafen qrafit və karbon nanotubları (CNT) üçün əsas blokdur. Qrafen olduqca cəlbedici optik, istilik, elektron, geniş səth sahəsinə və mexaniki xüsusiyyətlərə malikdir. Hazırda qrafen həm nəzəri, həm də təcrübi olaraq suyun təmizlənməsi texnologiyaları üçün adsorbent kimi dünya miqyasında öyrənilir (Elgengehi et al., 2020).

Hazırda yeni adsorbentlər və içməli su filtrasiya sistemləri üçün texnologiyaların və strukturların hazırlanmasında tətbiq oluna bilən ən səmərəli maddələrdən biri də qrafen oksididir (GO). Dünyanın bir çox bölgələrində içməli suda yüksək miqdarda flüorid ionlarının (F) olması insanların rifahına təsir edən ciddi bir problemdir. Bununla əlaqədar Prathibha və digərləri (Prathibha et al., 2020) içməli suyun deflüoridləşdirilməsi üçün sirkonium (Zr) ilə hopdurulmuş qrafen oksid örtüklü qumun tətbiqini araşdıraraq belə qənaətə gəldilər ki, həmin materialın 6,12 mq/q-a çatan yüksək flüorid adsorbsiya qabiliyyəti var ki, bu da içməli sudan deflüoridasiya üçün istifadə olunan digər karbon əsaslı adsorbentlərlə müqayisədə ən yüksək deflüoridləşmə dəyəri hesab olunur.

Majdoub və digərləri (Majdoub et al., 2021) içməli suda olan Cd (II), Cu (II) və Pb (II) daxil olmaqla ağır metallara qarşı qrafen oksidinin (GO) adsorbsiya qabiliyyətini araşdırmışdır. Müəlliflərin tədqiqatının nəticələri göstərmişdir ki, əldə edilən adsorbsiya nisbətləri Pb (II) üçün 100%, Cu (II) üçün 98,18% və Cd (II) üçün 95,19% təşkil edir.

Ətraf mühitdə və sənaye müəssisələrində təhlükəli kimyəvi maddələrin nəzarətsiz istifadəsi su ehtiyatlarının çirklənməsinə və nəticədə ciddi sağlamlıq problemlərinə səbəb olur. Kumar və başqaları (Kumar et al., 2021) içməli suda olan arsen (III)/(V), xrom (III)/(VI), qurğuşun (II) və selenin (IV)/(VI) kimi ağır metalların adsorbsiyasında maqnit qrafen əsaslı kompozitlərin istifadəsini öyrənərək müəyyən etmişlər ki, həmin kompozitlər içməli sudan göstərilən ağır metalları effektiv şəkildə adsorbsiya edir.

Tədqiqatlar göstərir ki, içməli suyun təmizlənməsində mühəndislik nanomateriallarının, o cümlədən TiO_2 nanopartikullarının (TiO_2-NP) tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir (Xu et al., 2022). Ultrabənövşəyi (UB) işığın təsiri altında baş verən fotokataliz nəticəsində TiO_2 NP-ləri içməli suda üzvi çirkləndiriciləri, mikroorqanizmləri və qeyri-üzvi çirkləndiriciləri parçalaya bilən yüksək reaktiv sərbəst radikallar əmələ gətirir və bu yolla bakteriyaları (Salmonella, Mycobacteria və Shigella) və ibtidailəri (Giardia duodenalis və Entamoeba histolytica) zərərsizləşdirə bilir.

Tədqiqatlar göstərir ki, sink oksidi nanopartikulları (ZnO NP) yüksək antimikrob aktivliyi, fotokatalitik parçalanma və adsorbsiya qabiliyyəti, böyük səth sahəsinin olmasına görə içməli suda çirkləndirici maddələri təmizləmək üçün səmərəli və perspektivli bir materialdır. Antimikrob nanoölçülü sink oksidi (ZnO) materialları qeyd olunan xüsusiyyətlərinə görə içməli suyun təmizlənməsi üçün ekoloji cəhətdən təmiz nanokompozitlər kimi istifadə edilməkdədir (Atta et al., 2017).

Yüksək antibakterial, yüksək və uzunmüddətli fotokatalitik, o cümlədən antibakterial xüsusiyyətləri olan gümüş nanopartikulları da (AgNP) içməli suyun təmizlənməsi proseslərində geniş şəkildə istifadə olunmaqdadır.

Hazırda gümüş NP-ləri unikal xüsusiyyətlərinə görə içməli sudan patogen mikroorqanizmlərin, ağır metalların və üzvi çirkləndiricilərin təmizlənməsində geniş tətbiq olunur. Əl-Ravajfeh və digərlərinin (Al-Rawajfeh et al., 2024), sudan bromid ionları üçün adsorbent kimi gümüş nanopartikulunun (Ag-NP)-seolit kompozitinin istifadəsinin öyrənilməsi istiqamətində apardıqları araşdırmaların nəticələri qeyd olunanları bir daha sübut edir. Müəyyən olunmuşdur ki, gümüş nanohissəciklərlə (Ag NP) bəzədilmiş aktivləşdirilmiş karbonun (AC) Escherichia coli və Staphylococci bakteriyalarına qarşı müstəsna antibakterial təsiri vardır, həmçinin Ag ilə yüklənmiş AC, xlorat, yodat, xlorit və bromat da daxil olmaqla bir sıra qeyri-üzvi çirkləndiriciləri də içməli sudan kənarlaşdıra bilir (Soliman et al., 2022).

Dəmir nanopartikulları (Fe NP) içməli suyun təmizlənməsi prosesini tamamilə dəyişdirə bilən qabaqcıl nanotexnologiyadır. Onlar geniş səth sahəsi, yüksək reaktivlik və maqnit xüsusiyyətləri ilə xarakterizə olunur ki, bu da onları içməli sudan geniş çeşiddə çirkləndiricilərin, o cümlədən qurğuşun, civə, arsen, boyalar və antibiotiklər kimi sağlamlığa son dərəcə zərərli təsir göstərən ağır metalların çıxarılması üçün çox səmərəli material halına gətirir (Mahlaule-Glory et al., 2022).

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, içməli suyun təmizlənməsində nanomaterial əsaslı membranların da əvəzolunmaz rolu vardır. Bu halda, membran materialının seçilməsi içməli suyun təmizlənməsi prosesinin səmərəliliyi üçün çox vacibdir. İçməli suyun təmizlənməsi proseslərində istifadə edilə bilən membranlara mikrofiltrasiya (MF), ultrafiltrasiya (UF), nanofiltrasiya (NF), tərs osmoz (RO) və elektrodializ (ED) membranlarını aid etmək olar.

Digər müəlliflər qrupu (Alsalme, 2023) axın-keçid yanaşması ilə qrafen oksid təbəqələrinə qarışan Fe_3O_4 @amiloid fibril nanoklasterlərindən istifadə edərək çoxqatlı qrafen oksid hibrid membran sintez etmiş və içməli sudan ağır metalların çıxarılmasında həmin membranın tətbiqini araşdırmışlar. Tədqiqatın nəticələri göstərmişdir ki, qrafen əsaslı hibrid membran içməli sudan ağır metal ionlarını çıxarmaq üçün 99,9% dəyərə malikdir.

4. Müzakirə

Nanomaterialların suyun təmizlənməsində tətbiqinin ümidverici nəticələrinə baxmayaraq, onların genişmiqyaslı tətbiqində hələ də çətinliklər qalmaqdadır. Nanohissəciklərin ətraf mühitə buraxılması, yüksək istehsal xərcləri və nanomaterialların uzunmüddətli sabitliyi də daxil olmaqla bir sıra məsələlər aradan qaldırılmalıdır. Ətraf mühitə və ya insan sağlamlığına təsir göstərə biləcək hər hansı potensial zərərin qarşısını almaq üçün nanomaterialların ətraf mühitə buraxılması üçün icazə verilən hədlər hərtərəfli qiymətləndirilməlidir.

5. Nəticə

Beləliklə, əldə etdiyimiz ədəbiyyat mənbələrinin təhlili göstərdi ki, suyun təmizlənməsində nanomaterialların istifadəsi qlobal su çirklənməsi böhranının qarşısını almaq üçün innovativ üsullar təklif edir və ənənəvi su təmizlənməsi metodlarından daha yüksək səmərəliliyə və spesifikliyə malikdir. Belə ki, bu məqalədə araşdırılmış hər bir nanomaterialın özünəməxsus fərqli xüsusiyyətləri vardır. Qrafen və onun törəmələri (qrafen oksidi - GO) və reduksiya olunmuş qrafen oksidi (rGO) yüksək səth sahəsi, mexaniki möhkəmliyi və çoxyönlü səth kimyası sayəsində suyun çirkləndiricilərdən təmizlənməsində böyük perspektivlər yaradır. Karbon nanotüpləri (CNT) üzvi çirkləndiricilərin və ağır metalların sudan adsorbsiyasında yüksək performans göstərir. İncə fotokatalitik xüsusiyyətlərinə malik titan dioksid nanopartikulları (TiO_2 NP) üzvi çirkləndiriciləri UB və ya görünən işıq şüalanması altında parçalaya bilir. Sink oksidi nanopartikulları (ZnO NP) yüksək fotokatalitik və antimikrob xüsusiyyətləri nümayiş etdirir. Eyni zamanda, gümüş nanopartikulları (Ag NP) güclü antimikrob xüsusiyyətləri nümayiş etdirir və bu da onları bakteriya, virus və göbələklər də daxil olmaqla geniş spektrli patogenləri təsirsiz hala gətirməyə imkan verir. Dəmir nanopartikulları (Fe NP) adsorbsiya və reduksiya reaksiyaları vasitəsilə sudan ağır metalların və üzvi çirkləndiricilərin təmizlənməsində geniş tətbiq edilir. Membran nanomateriallar filtrasiya texnologiyalarının performansını əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır. TiO_2, ZnO və ya qrafen əsaslı nanomaterialların membranlara inteqrasiyası membranın çirklənməsinə qarşı müqavimətini, mexaniki möhkəmliyini və çirkləndiricilərə qarşı selektivliyini xeyli artırmışdır.

Ədəbiyyat

Alemayehu, M. A., Agimas, M. C., Shewaye, D. A., Derseh, N. M., & Aragaw, F. M. (2023). Spatial distribution and determinants of limited access to improved drinking water service among households in Ethiopia based on the 2019 Ethiopian Mini Demographic and Health Survey: Spatial and multilevel analyses. *Frontiers in Water, 5*, Article 1166733. https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1166733

Al-Rawajfeh, A. E., Alrawashdeh, A. I., Etiwi, M. T., Alnawaiseh, A., Shahid, M. K., Masad, M. H. M., Oran, S. O., & Alshahateet, S. F. (2024). Silver nanoparticles (Ag-NPs) embedded in zeolite framework: A comprehensive study on bromide removal from water, including characterization, antibacterial properties, and adsorption mechanisms. *Desalination and Water Treatment, 317*, Article 100139. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100139

Alsalme, A. (2023). Organic–inorganic hybrid membrane for simultaneous heavy metal removal at drinking water pollution concentration levels. *Microchemical Journal, 195*, Article 109447. https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109447

Atta, A. M., Al-Lohedan, H. A., Ezzat, A. O., Tawfik, A. M., & Hashem, A. I. (2017). Synthesis of zinc oxide nanocomposites using poly (ionic liquids) based on quaternary ammonium acrylamidomethyl propane sulfonate for water treatment. *Journal of Molecular Liquids, 236*, 38–47. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.04.012

Elgengehi, S. M., El-Taher, S., Ibrahim, M. A. A., Desmarais, J. K., & El-Kelany, K. E. (2020). Graphene and graphene oxide as adsorbents for cadmium and lead heavy metals: A theoretical investigation. *Applied Surface Science, 507*, Article 145038. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.145038

Geim, A. K., & Novoselov, K. S. (2007). The rise of graphene. *Nature Materials, 6*, 183–191. https://doi.org/10.1038/nmat1849

He, J., Hong, M., Xie, W., Chen, Z., Chen, D., & Xie, S. (2022). Progress and prospects of nanomaterials against resistant bacteria. *Journal of Controlled Release, 351*, 301–323. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2022.09.030

Kumar, R., Bhattacharya, S., & Sharma, P. (2021). Novel insights into adsorption of heavy metal ions using magnetic graphene composites. *Journal of Environmental Chemical Engineering, 9*(5), Article 106212. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106212

Liang, Y., Huang, G., Li, Y., Yao, Y., Xin, X., Li, X., Yin, J., Gao, S., Wu, Y., Chen, X., & Feng, R. (2022). Photocatalytic disinfection for point-of-use water treatment using Ti3+ self-doping TiO_2 nanoparticle decorated ceramic disk filter. *Environmental Research, 212*, Article 113602. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113602

Liu, C., Yang, J., Tang, Y., Yin, L., Tang, H., & Li, C. (2015). Versatile fabrication of the magnetic polymer-based graphene foam and applications for oil-water separation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 468*, 10–16.

Mahlaule-Glory, L. M., Mapetla, S., Makofane, A., Mathipa, M. M., & Hintsho-Mbita, N. C. (2022). Biosynthesis of iron oxide nanoparticles for the degradation of methylene blue dye, sulfisoxazole antibiotic and removal of bacteria from real water. *Heliyon, 8*(9), Article e10536. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10536

Majdoub, M., Amedlous, A., Anfar, Z., Jada, A., & El Alem, N. (2021). Engineering of amine-based binding chemistry on functionalized graphene oxide/alginate hybrids for simultaneous and efficient removal of trace heavy metals: Towards drinking water. *Journal of Colloid and Interface Science, 589*, 511–524. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.01.029

Prathibha, C., Biswas, A., Chunduri, L. A. A., Reddy, S. K., Loganathan, P., Kalaruban, M., & Venkatarmaniah, K. (2020). Zr(IV) functionalized graphene oxide anchored sand as potential and economic adsorbent for fluoride removal from water. *Diamond and Related Materials, 109*, Article 108081. https://doi.org/10.1016/j.diamond.2020.108081

Soliman, A. M., Elshorbagy, W., Maraqa, M. A., Al-Issai, L. M., El Sheikh, E. S., Elhaty, I. A., Ayesh, A. I., & Pál, T. (2022). In-situ, facile and green preparation of nanoscale silver supported on activated carbon: Disinfection properties and removal of inorganic DBPs from drinking water. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 17*, Article 100621.

Ungureanu, N., Vlăduț, V., & Voicu, G. (2020). Water scarcity and wastewater reuse in crop irrigation. *Sustainability, 12*(21), Article 9055. https://doi.org/10.3390/su12219055

Xu, Y., Wu, H., Lv, Z., & Cao, Y. (2022). Synthesis of Sr@TiO_2 nanomaterials rapidly by microwave induced combustion method and measure its photocatalytic degradation properties of methyl orange wastewater. *Desalination and Water Treatment, 245*, 297–305. https://doi.org/10.5004/dwt.2022.27963