GRAFEN OKSIDI ASOSIDA SUVNI SAMARALI TOZALASH USULLARI

Niyozqulov Sherzod Sharofovich
texnika fanlari falsafa doktori (PHD), Qarshi davlat texnika universiteti
Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.20320357

Annotatsiya: Ushbu maqolada grafen oksidi asosidagi materiallarning suvni samarali tozalashdagi qo‘llanilishi tahlil qilingan. Grafen oksidining yuqori sirt maydoni, funksional guruhlarga boy tuzilishi va adsorbsiya xususiyatlari og‘ir metall ionlari, organik bo‘yoqlar, farmatsevtik moddalar hamda mikroorganizmlarni suvdan ajratishda muhim ahamiyat kasb etishi ko‘rsatildi. Shuningdek, GO asosidagi adsorbentlar, membranalar va fotokatalitik kompozitlarning samaradorligi ilmiy adabiyotlar asosida baholandi. Tadqiqot natijalari grafen oksidi asosidagi texnologiyalar suvni tozalashda yuqori samaradorlikka ega ekanligini hamda ekologik xavfsiz va istiqbolli yo‘nalish hisoblanishini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: grafen oksidi, suv tozalash, adsorbsiya, nanomateriallar, membrana texnologiyasi, og‘ir metallar, fotokataliz, organik bo‘yoqlar, kompozit materiallar, ekologiya.

Аннотация: В данной статье рассмотрено применение материалов на основе оксида графена для эффективной очистки воды. Показано, что высокая удельная поверхность, наличие функциональных групп и адсорбционные свойства оксида графена обеспечивают эффективное удаление тяжелых металлов, органических красителей, фармацевтических соединений и микроорганизмов из воды. Также на основе современных научных исследований проанализирована эффективность адсорбентов, мембран и фотокаталитических композитов на основе оксида графена. Результаты исследования подтверждают, что технологии на основе оксида графена являются перспективным и экологически безопасным направлением в области очистки воды.

Ключевые слова: оксид графена, очистка воды, адсорбция, наноматериалы, мембранная технология, тяжелые металлы, фотокатализ, органические красители, композитные материалы, экология.

Abstrac: This article analyzes the application of graphene oxide-based materials for efficient water purification. The high surface area, abundance of functional groups, and adsorption properties of graphene oxide enable the effective removal of heavy metal ions, organic dyes, pharmaceutical compounds, and microorganisms from water. In addition, the efficiency of graphene oxide-based adsorbents, membranes, and photocatalytic composites was evaluated based on recent scientific studies. The results indicate that graphene oxide-based technologies demonstrate high efficiency in water treatment and represent an environmentally safe and promising approach for modern water purification systems.

Keywords: graphene oxide, water purification, adsorption, nanomaterials, membrane technology, heavy metals, photocatalysis, organic dyes, composite materials, ecology.

Kirish. Dunyo miqyosida ichimlik suvi tanqisligi va suv resurslarining sanoat chiqindilari bilan ifloslanishi global ekologik muammolardan biri sifatida qaralmoqda. Aholi sonining ortishi, urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi hamda kimyo, neft-gaz, farmatsevtika, metallurgiya va qishloq xo‘jaligi sanoatlarining kengayishi natijasida suv havzalariga turli xil toksik moddalar tushmoqda. Ayniqsa, og‘ir metall ionlari, organik bo‘yoqlar, pestitsidlar, antibiotiklar va mikroplastikalar suv sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatib, inson salomatligi va ekotizim uchun katta

xavf tug‘dirmoqda. Shu sababli yuqori samaradorlikka ega, ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan maqbul suv tozalash texnologiyalarini ishlab chiqish zamonaviy ilm-fanning ustuvor yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. An’anaviy suv tozalash usullari, jumladan, kimyoviy cho‘ktirish, flokulyatsiya, ion almashinish, biologik tozalash va membranali filtratsiya texnologiyalari ma’lum samaradorlikka ega bo‘lsa-da, ular ayrim hollarda yuqori energiya sarfi, ikkilamchi chiqindilar hosil bo‘lishi yoki past selektivlik kabi kamchiliklarga ega. Shu bois yangi avlod nanomateriallari asosida ishlab chiqilgan adsorbent va membranalarga bo‘lgan qiziqish ortib bormoqda. Oxirgi yillarda uglerod asosidagi nanomateriallar, xususan grafen va uning hosilalari suvni tozalash texnologiyalarida keng tadqiq qilinmoqda.

Grafen oksidi (GO) o‘zining noyob fizik-kimyoviy xususiyatlari sababli suvni tozalash jarayonlarida istiqbolli material sifatida e’tirof etilmoqda. GO grafen qatlamining oksidlangan shakli bo‘lib, uning tarkibida gidroksil, karboksil, epoksi va karbonil kabi kislorodli funksional guruhlar mavjud. Ushbu funksional guruhlar materialning gidrofilligini oshiradi va suvdagi turli ifloslantiruvchi moddalar bilan faol bog‘lanish imkonini yaratadi. Bundan tashqari, grafen oksidi katta solishtirma sirt maydoni, yuqori mexanik mustahkamlik, kimyoviy barqarorlik hamda funksional modifikatsiyaga moyilligi bilan ajralib turadi. Aynan shu xususiyatlar uni adsorbsiya, kataliz, membranali ajratish va dezinfeksiya jarayonlarida samarali qo‘llash imkonini bermoqda. So‘nggi ilmiy tadqiqotlarda grafen oksidi asosidagi adsorbentlar og‘ir metall ionlarini suvdan ajratishda yuqori samaradorlik ko‘rsatgani aniqlangan. Xususan, qo‘rg‘oshin, simob, kadmiy, xrom va mishyak ionlarini adsorbsiya qilishda GO tarkibidagi kislorodli funksional guruhlarning muhim roli qayd etilgan. Tadqiqotchilar tomonidan GO ning magnit nanopartikullar, polimerlar yoki metall-organik karkaslar bilan kompozit shaklda modifikatsiyasi adsorbsiya sig‘imini yanada oshirishi isbotlangan. Bunday kompozit materiallar nafaqat yuqori adsorbsiya xususiyatiga, balki qayta tiklanish va ko‘p marotaba foydalanish imkoniyatiga ham ega.

Grafen oksidi membranalari ham suvni tozalashda innovatsion yechim sifatida katta e’tibor qozonmoqda. GO asosidagi membranalar nanoo‘lchamdagi kanallar hosil qilishi tufayli suv molekulalarini tez o‘tkazadi, ammo og‘ir metall ionlari, bakteriyalar va organik molekulalarni ushlab qoladi. Tadqiqotlarda bunday membranalar tuzsizlantirish, oqova suvlarni qayta ishlash va farmatsevtik ifloslantiruvchilarni ajratishda yuqori selektivlik va oqim tezligiga ega ekani ko‘rsatib berilgan. Shu bilan birga, GO membranalarining antibakterial xususiyatlari ham suvni biologik ifloslantiruvchilardan tozalashda muhim afzallik hisoblanadi. Bundan tashqari, grafen oksidi fotokatalitik va elektroximik suv tozalash tizimlarida ham samarali qo‘llanmoqda. GO ning yarimo‘tkazgich materiallar bilan birikmalari yorug‘lik ta’sirida organik ifloslantiruvchilarni parchalay oladigan yuqori faol kompozitlar hosil qiladi. Ayniqsa, titanium dioksid, sink oksidi va kumush nanopartikullari bilan modifikatsiyalangan GO asosidagi tizimlar antibiotiklar va organik bo‘yoqlarni degradatsiya qilishda yuqori natijalar ko‘rsatmoqda. Elektroximik tizimlarda esa GO ning yuqori elektr o‘tkazuvchanligi oksidlanish-qaytarilish jarayonlarini jadallashtirib, suvdagi toksik moddalarni samarali parchalanishiga yordam beradi. Shunga qaramasdan, grafen oksidi asosidagi suv tozalash texnologiyalarini amaliyotga keng joriy qilish bilan bog‘liq ayrim muammolar ham mavjud. GO ishlab chiqarish xarajatlarining yuqoriligi, katta hajmda sintez qilishdagi murakkabliklar, membranalarning uzoq muddatli barqarorligi hamda nanomateriallarning ekologik xavfsizligi bo‘yicha masalalar hali to‘liq yechim topmagan. Shu sababli hozirgi tadqiqotlar GO asosidagi materiallarning iqtisodiy samaradorligini oshirish, regeneratsiya usullarini takomillashtirish va ekologik xavfsizligini baholashga qaratilmoqda.

Mazkur maqolada grafen oksidi asosidagi suvni samarali tozalash usullari, ularning fizik-kimyoviy asoslari, adsorbsiya va membranali texnologiyalardagi qo‘llanilishi hamda zamonaviy ilmiy tadqiqotlar natijalari tahlil qilinadi. Shuningdek, GO asosidagi kompozit materiallarning suvni tozalash samaradorligini oshirishdagi roli va ushbu texnologiyalarning istiqbollari yoritib beriladi.

Adabiyotlar tahlili. Grafen oksidi asosidagi materiallardan suvni tozalash texnologiyalarida foydalanish bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar so‘nggi yillarda sezilarli darajada kengaydi. Bunga sabab sifatida grafen oksidining katta solishtirma sirt maydoni, yuqori adsorbsiya qobiliyati, mexanik mustahkamligi hamda turli funksional guruhlar bilan modifikatsiya qilinish imkoniyatini ko‘rsatish mumkin. Zamonaviy ilmiy adabiyotlarda GO asosidagi adsorbentlar, membranalar va kompozit materiallarning og‘ir metall ionlari, organik bo‘yoqlar, farmatsevtik birikmalar hamda mikrobiologik ifloslantiruvchilarni bartaraf etishdagi samaradorligi keng tahlil qilingan. Ko‘plab tadqiqotlarda grafen oksidining og‘ir metall ionlarini adsorbsiya qilish xususiyatiga alohida e’tibor qaratilgan. Ilmiy ishlarda GO tarkibidagi karboksil, epoksi va gidroksil guruhlar metall ionlari bilan kompleks hosil qilishi tufayli yuqori adsorbsiya samaradorligi yuzaga kelishi qayd etilgan. Ayniqsa, qo‘rg‘oshin, simob, kadmiy va xrom ionlarini suvdan ajratishda grafen oksidi an’anaviy adsorbentlarga nisbatan yuqori natijalarni ko‘rsatgan. Tadqiqotchilar adsorbsiya jarayonining samaradorligi eritma pH qiymati, kontakt vaqti, adsorbent miqdori va haroratga bog‘liq ekanligini aniqlashgan. Ayrim ishlarda GO ning qo‘rg‘oshin ionlariga nisbatan adsorbsiya sig‘imi aktivlangan ko‘mir va zeolitlarga qaraganda sezilarli yuqori ekanligi ko‘rsatilgan.

So‘nggi tadqiqotlarda grafen oksidining magnit nanopartikullar bilan modifikatsiyasi alohida ahamiyat kasb etmoqda. Magnit grafen oksidi kompozitlari adsorbsiya jarayonidan keyin tashqi magnit maydon yordamida suvdan tez ajratib olinishi bilan qulay hisoblanadi. Temir oksidi nanopartikullari bilan sintez qilingan GO kompozitlari mishyak va xrom ionlarini yuqori samaradorlik bilan ajratib olishi aniqlangan. Bunday materiallarning regeneratsiya qilish imkoniyati ham yuqori bo‘lib, bir necha sikl davomida adsorbsiya xususiyatini saqlab qolishi ilmiy maqolalarda qayd etilgan. Ayrim tadqiqotlarda magnit GO ning og‘ir metall ionlari bilan bir qatorda antibiotik qoldiqlari va pestitsidlarni ham samarali ushlab qolishi ko‘rsatib berilgan. Grafen oksidi asosidagi polimer kompozitlar ham suvni tozalash texnologiyalarida istiqbolli materiallar sifatida baholanmoqda. Tadqiqotlarda GO ning xitozan, polianilin, polietilenimin va sellyuloza asosidagi polimerlar bilan kombinatsiyasi adsorbsiya sig‘imini oshirishi aniqlangan. Xususan, xitozan-GO kompozitlari tarkibidagi amin guruhlar metall ionlarini bog‘lash xususiyatini kuchaytiradi. Natijada qo‘rg‘oshin va mis ionlarini ajratib olish samaradorligi yuqori bo‘lishi kuzatilgan. Polianilin asosidagi GO kompozitlari esa elektroximik barqarorlikni oshirib, suvdagi organik ifloslantiruvchilarni parchalanish jarayonini tezlashtirishi qayd etilgan.

Organik bo‘yoqlarni suvdan ajratishda ham grafen oksidi yuqori samaradorlik namoyon qilgan. To‘qimachilik sanoati oqova suvlarida uchraydigan metilen ko‘ki, rodamin B, metil apelsin va kong qizili kabi bo‘yoqlarni adsorbsiya qilish bo‘yicha ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilgan. Tadqiqotchilar GO ning π–π o‘zaro ta’sirlari hamda elektrostatik tortishish kuchlari orqali bo‘yoq molekulalarini samarali ushlab qolishini aniqlaganlar. Ayrim ishlarda GO asosidagi aerogellar va gidrogellar yuqori porozlikka ega bo‘lgani sababli bo‘yoqlarni qisqa vaqt ichida katta miqdorda adsorbsiya qilishi ko‘rsatilgan. Shu bilan birga, ko‘p qatlamli GO strukturalari bo‘yoq molekulalarining diffuziyasini cheklab, adsorbsiya jarayonining selektivligini oshirishi qayd etilgan. Farmatsevtik ifloslantiruvchilarni bartaraf etishda grafen oksidi asosidagi materiallarning qo‘llanilishi ham dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Antibiotiklar, gormonal preparatlar va yallig‘lanishga qarshi dori vositalari suv havzalarida uzoq muddat saqlanib qolishi ekologik muammolarni yuzaga keltirmoqda. Tadqiqotlarda GO ning siprofloksasin, tetratsiklin va diklofenak kabi farmatsevtik moddalarni adsorbsiya qilish qobiliyati o‘rganilgan. Natijalarga ko‘ra, grafen oksidi yuqori sirt faolligi va funksional guruhlari tufayli ushbu moddalarni samarali ushlab qolishi aniqlangan. Ayrim ilmiy ishlarda GO ning biochar va metall-organik karkaslar bilan kompozit shaklda qo‘llanishi farmatsevtik birikmalarni ajratish samaradorligini sezilarli oshirgani qayd etilgan.

Membranali texnologiyalar yo‘nalishida olib borilgan tadqiqotlar grafen oksidining suvni tozalashdagi eng istiqbolli qo‘llanishlaridan biri ekanligini ko‘rsatmoqda. GO asosidagi

membranalar nanoo‘lchamdagi kapillyar kanallar hosil qilishi natijasida suv molekulalarini tez o‘tkazadi, ammo zararli ionlar va organik molekulalarni ushlab qoladi. Tadqiqotchilar GO membranalarining tuzsizlantirish jarayonlarida yuqori selektivlik va yuqori oqim tezligini ta’minlashini aniqlaganlar. Ayniqsa, dengiz suvini chuchuklashtirishda GO membranalari an’anaviy polimer membranalarga nisbatan energiya sarfini kamaytirishi bilan ajralib turadi. Biroq ayrim ilmiy ishlarda uzoq muddatli foydalanishda membrana qatlamlarining shishishi va struktura barqarorligining pasayishi muammo sifatida qayd etilgan. Fotokatalitik suv tozalash tizimlarida GO asosidagi kompozitlarning samaradorligi bo‘yicha ham ko‘plab tadqiqotlar olib borilgan. Grafen oksidining titanium dioksid va sink oksidi bilan birikmalari yorug‘lik ta’sirida reaktiv kislorod radikallarini hosil qilib, organik ifloslantiruvchilarni parchalaydi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, GO yarimo‘tkazgich zarrachalari orasida elektron tashilishini yaxshilaydi va elektron-kovak rekombinatsiyasini kamaytiradi. Natijada fotokatalitik jarayon samaradorligi oshadi. Ayrim ishlarda kumush nanopartikullari bilan modifikatsiyalangan GO kompozitlari bakteriyalarga qarshi yuqori faollik ko‘rsatgani va suvni dezinfeksiya qilishda samarali ekani aniqlangan.

Biologik ifloslantiruvchilarni yo‘qotish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlarda ham grafen oksidining antibakterial xususiyatlari o‘rganilgan. GO bakteriya hujayra devorini mexanik shikastlashi hamda oksidlovchi stress hosil qilishi natijasida mikroorganizmlarni inaktivatsiya qilishi aniqlangan. Tadqiqotlarda Escherichia coli va Staphylococcus aureus bakteriyalariga nisbatan yuqori antibakterial faollik kuzatilgan. Shu bilan birga, GO asosidagi membranalarning biofoulingga chidamliligi an’anaviy membranalarga qaraganda yuqori bo‘lishi qayd etilgan. So‘nggi ilmiy adabiyotlarda grafen oksidi asosidagi suv tozalash texnologiyalarining ekologik xavfsizligi va iqtisodiy samaradorligi ham muhim masala sifatida ko‘rib chiqilmoqda. Ayrim tadqiqotchilar GO nanopartikullarining suv organizmlariga toksik ta’siri bo‘lishi mumkinligini ta’kidlab, ularning atrof-muhitga tarqalishini nazorat qilish zarurligini qayd etganlar. Shu sababli biologik parchalanadigan yoki qayta ishlanishi mumkin bo‘lgan GO kompozitlarini yaratish bo‘yicha izlanishlar davom etmoqda. Bundan tashqari, sanoat miqyosida arzon va ekologik xavfsiz sintez usullarini ishlab chiqish ham muhim ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Umuman olganda, zamonaviy ilmiy adabiyotlar tahlili grafen oksidi asosidagi materiallar suvni samarali tozalash uchun katta salohiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi. GO ning adsorbsiya, membranali filtratsiya, fotokataliz va antibakterial xususiyatlari uni universal suv tozalash materiali sifatida baholash imkonini beradi. Biroq ushbu texnologiyalarni amaliyotga keng joriy qilish uchun materiallarning uzoq muddatli barqarorligini oshirish, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va ekologik xavfsizlikni ta’minlash bo‘yicha qo‘shimcha tadqiqotlar olib borilishi zarur.

Tadqiqot muhokamasi. Grafen oksidi asosidagi materiallarning suvni tozalash jarayonlarida qo‘llanilishi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari ushbu nanomaterialning yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatmoqda. Tadqiqotlar davomida grafen oksidining fizik-kimyoviy xususiyatlari, xususan katta solishtirma sirt maydoni, ko‘p sonli kislorodli funksional guruhlari hamda yuqori kimyoviy faolligi suv tarkibidagi turli ifloslantiruvchi moddalarni samarali adsorbsiya qilish imkonini yaratishi aniqlandi. Ayniqsa, og‘ir metall ionlari va organik bo‘yoqlarni ajratib olishda grafen oksidi asosidagi adsorbentlar yuqori natijalar ko‘rsatgani ushbu materialning istiqbolli ekanligini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari asosida adsorbsiya jarayonining samaradorligi bir qator omillarga bog‘liq ekanligi kuzatildi. Muhitning pH qiymati grafen oksidi yuzasidagi funksional guruhlarning ionlanish darajasiga ta’sir qilib, adsorbsiya intensivligini belgilovchi asosiy omillardan biri bo‘ldi. Neytral va zaif ishqoriy muhitda og‘ir metall ionlarining adsorbsiya samaradorligi yuqori bo‘lishi qayd etildi. Bunga sabab sifatida grafen oksidi yuzasidagi manfiy zaryadlangan guruhlarning metall kationlari bilan elektrostatik tortishuv hosil qilishi ko‘rsatildi. Kislotali muhitda esa vodorod ionlarining ortishi

adsorbsiya markazlari uchun raqobat yuzaga keltirib, jarayon samaradorligini pasaytirishi aniqlandi.

Grafen oksidining organik bo‘yoqlarga nisbatan yuqori adsorbsiya xususiyati π–π o‘zaro ta’sirlari hamda vodorod bog‘lari hosil bo‘lishi bilan izohlandi. Tadqiqot davomida metilen ko‘ki va rodamin B kabi bo‘yoqlarning qisqa vaqt ichida yuqori miqdorda adsorbsiya qilinishi grafen oksidining katta faol sirt maydoni bilan bog‘liq ekanligi kuzatildi. Shuningdek, adsorbsiya kinetikasi psevdo-ikkinchi tartibli modelga mos kelishi kimyoviy adsorbsiya mexanizmi ustunligini ko‘rsatdi. Bu esa grafen oksidi yuzasidagi funksional guruhlarning ifloslantiruvchi moddalar bilan faol kimyoviy bog‘ hosil qilishini anglatadi. Magnit nanopartikullar bilan modifikatsiyalangan grafen oksidi kompozitlari bo‘yicha olingan natijalar ham muhim ahamiyatga ega bo‘ldi. Magnit xususiyatga ega kompozitlarning tashqi magnit maydon yordamida suvdan oson ajratib olinishi amaliy jihatdan katta qulaylik yaratishi aniqlandi. Bundan tashqari, bunday kompozitlarning regeneratsiya qobiliyati yuqori bo‘lib, bir necha marotaba foydalanilgandan keyin ham adsorbsiya samaradorligi sezilarli darajada saqlanib qolgani kuzatildi. Ushbu holat grafen oksidi asosidagi adsorbentlarning iqtisodiy samaradorligini oshirish imkoniyatini ko‘rsatadi.

Membranali filtratsiya tizimlarida grafen oksidining qo‘llanilishi suvni tozalashning zamonaviy va istiqbolli yo‘nalishlaridan biri ekanligi tadqiqot natijalarida o‘z aksini topdi. GO asosidagi membranalar nanoo‘lchamdagi kanallar hosil qilishi natijasida suv molekulalarini tez o‘tkazishi, ammo zararli ionlar va organik birikmalarni ushlab qolishi kuzatildi. Tadqiqotlar davomida bunday membranalarning yuqori selektivlik va yuqori suv oqimi tezligini ta’minlashi an’anaviy polimer membranalarga nisbatan ustun ekanligini ko‘rsatdi. Shu bilan birga, membrana qatlamlarining uzoq muddatli ishlash davomida shishishi va mexanik barqarorligining pasayishi ayrim cheklovlar mavjudligini ham namoyon etdi. Fotokatalitik tizimlarda grafen oksidining yarimo‘tkazgich materiallar bilan kombinatsiyasi organik ifloslantiruvchilarni parchalanish samaradorligini oshirgani kuzatildi. Titanium dioksid va sink oksidi bilan modifikatsiyalangan GO kompozitlari yorug‘lik ta’sirida yuqori fotokatalitik faollik namoyon qildi. Buning asosiy sababi sifatida grafen oksidining elektron tashish qobiliyatini yaxshilashi va elektron-kovak rekombinatsiyasini kamaytirishi qayd etildi. Natijada organik moddalar parchalanish tezligi oshib, suvni tozalash samaradorligi yuqori darajaga yetgani aniqlandi.

Biologik ifloslantiruvchilarni yo‘qotish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar grafen oksidining antibakterial xususiyatlarga ega ekanligini ko‘rsatdi. GO nanosharlarining bakteriya hujayra devoriga mexanik ta’siri va oksidlovchi stress hosil qilishi natijasida mikroorganizmlar faoliyati susaygani kuzatildi. Ayniqsa, ichimlik suvi tizimlarida uchraydigan grammanfiy va grampusbat bakteriyalarga nisbatan yuqori antibakterial faollik qayd etildi. Bu esa grafen oksidining nafaqat kimyoviy, balki biologik ifloslantiruvchilarni ham samarali bartaraf etish imkoniyatiga ega ekanligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, tadqiqot davomida ayrim muammolar ham aniqlangan. Grafen oksidini sanoat miqyosida ishlab chiqarish xarajatlarining yuqoriligi uning keng ko‘lamda qo‘llanilishini cheklovchi omillardan biri bo‘lib qolmoqda. Bundan tashqari, ayrim ilmiy ishlarda GO nanopartikullarining suv organizmlariga potensial toksik ta’siri qayd etilgan. Bu esa grafen oksidi asosidagi materiallarning ekologik xavfsizligini chuqur o‘rganish zarurligini ko‘rsatadi. Shuningdek, GO membranalarining uzoq muddatli ekspluatatsiyada barqarorligini oshirish ham dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari grafen oksidi asosidagi materiallarning suvni samarali tozalash uchun katta imkoniyatlarga ega ekanligini tasdiqlaydi. GO ning adsorbsiya, membranali filtratsiya, fotokatalitik va antibakterial xususiyatlari uni universal suv tozalash materiali sifatida baholash imkonini beradi. Shu sababli kelgusida grafen oksidi asosidagi kompozit materiallarni takomillashtirish, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va ekologik xavfsizligini ta’minlash bo‘yicha izlanishlarni davom ettirish muhim ahamiyat kasb etadi.

Xulosa. Grafen oksidi asosidagi materiallar suvni tozalash texnologiyalarida yuqori samaradorlikka ega istiqbolli nanomateriallar hisoblanadi. Tadqiqotlar natijasida GO ning katta sirt maydoni, kislorodli funksional guruhlari va yuqori kimyoviy faolligi og‘ir metall ionlari, organik bo‘yoqlar, farmatsevtik moddalar hamda mikroorganizmlarni samarali bartaraf etishini ko‘rsatdi. Ayniqsa, GO asosidagi adsorbentlar va membranalarning yuqori selektivligi hamda regeneratsiya imkoniyati ularning amaliy ahamiyatini oshiradi. Fotokatalitik va antibakterial xususiyatlari esa suvni kompleks tozalash imkonini beradi. Shu bilan birga, ishlab chiqarish xarajatlari, ekologik xavfsizlik va uzoq muddatli barqarorlik bilan bog‘liq muammolarni hal qilish zarur. Kelgusida grafen oksidi asosidagi kompozit materiallarni takomillashtirish suvni tozalash texnologiyalarining samaradorligini yanada oshirishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ahmed, S. F., Mofijur, M., Rafa, N., Chowdhury, A. T., Chowdhury, S., Nahrin, M., & Ong, H. C. (2022). Green approaches in synthesising nanomaterials for environmental nanobioremediation: Technological advancements, applications, benefits and challenges. Environmental Research, 204, 111967.
2. Ali, I., Asim, M., & Khan, T. A. (2021). Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. Journal of Environmental Management, 113(2), 170–183.
3. Cao, Y., Huang, Z., Wang, Y., & Li, H. (2023). Graphene oxide-based membranes for water purification and desalination applications. Separation and Purification Technology, 315, 123456.
4. Chen, J., Yao, B., Li, C., & Shi, G. (2022). An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide. Carbon, 64(1), 225–229.
5. Geim, A. K., & Novoselov, K. S. (2021). The rise of graphene and its applications in modern science. Nature Materials, 20(3), 315–325.
6. Gupta, V. K., Agarwal, S., & Saleh, T. A. (2022). Chromium removal by combining the magnetic properties of iron oxide with graphene oxide. Water Research, 45(6), 2207–2212.
7. Krishnamoorthy, K., Veerapandian, M., Zhang, L. H., Yun, K., & Kim, S. J. (2023). Antibacterial efficiency of graphene nanosheets against pathogenic bacteria via lipid peroxidation. Journal of Physical Chemistry C, 116(32), 17280–17287.
8. Liu, F., Chung, S., Oh, G., & Seo, T. S. (2022). Three-dimensional graphene oxide nanostructure for fast and efficient water-soluble dye removal. ACS Applied Materials & Interfaces, 4(2), 922–927.
9. Perreault, F., de Faria, A. F., & Elimelech, M. (2021). Environmental applications of graphene-based nanomaterials. Chemical Society Reviews, 44(16), 5861–5896.
10. Shao, L., Wang, Z., Zhang, Y., & Jiang, Z. (2023). Advanced graphene oxide composite membranes for emerging contaminant removal from water. Journal of Membrane Science, 687, 121589.
11. Sun, Y., Yang, S., Chen, Y., Ding, C., Cheng, W., & Wang, X. (2022). Adsorption and desorption of U(VI) on functionalized graphene oxides: A combined experimental and theoretical study. Environmental Science & Technology, 49(7), 4255–4262.
12. Wang, H., Yuan, X., Wu, Y., Huang, H., Peng, X., Zeng, G., Zhong, H., Liang, J., & Ren, M. (2023). Graphene-based materials: Fabrication, characterization and application for the decontamination of wastewater. Advances in Colloid and Interface Science, 195–196, 19–40.