

**CO<sub>2</sub> NI USHLASH VA KATALITIK QAYTA ISHLASHDA MOF VA GRAFEN ASOSIDAGI NANOKOMPOZITLARNING SAMARADORLIGI****Orolova Gulsevar Mengniqul qizi**E-mail: [gulsevarorolova77@gmail.com](mailto:gulsevarorolova77@gmail.com)

Termiz davlat universiteti talabasi

**ANNOTATSIYA:** Ushbu ilmiy maqolada CO<sub>2</sub> ni ushlash va katalitik qayta ishlash jarayonlarida MOF (metall-organik karkaslar) va grafen asosidagi nanokompozitlarning samaradorligi o'rganilgan. Atmosferadagi karbon dioksid miqdorining ortishi global iqlim o'zgarishining asosiy sabablaridan biri bo'lib, uni kamaytirish va qayta ishlash dolzarb ilmiy muammo hisoblanadi. Tadqiqotda MOF va grafen asosidagi materiallarning adsorbsiya xususiyatlari, katalitik faolligi hamda CO<sub>2</sub> ni foydali kimyoviy mahsulotlarga aylantirishdagi roli tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, ushbu nanokompozitlar yuqori selektivlik, katta sirt maydoni va barqarorlikka ega bo'lib, CO<sub>2</sub> ni samarali ushlash va qayta ishlashda istiqbolli materiallar hisoblanadi.

**KALIT SO'ZLAR:** CO<sub>2</sub>, MOF, grafen, nanokompozitlar, kataliz, adsorbsiya, yashil kimyo.

**ABSTRACT:** This scientific article investigates the efficiency of MOF (metal-organic frameworks) and graphene-based nanocomposites in CO<sub>2</sub> capture and catalytic conversion processes. The increasing concentration of carbon dioxide in the atmosphere is one of the main drivers of global climate change, making its capture and utilization a critical scientific challenge. The study analyzes the adsorption properties, catalytic activity, and role of MOF- and graphene-based materials in converting CO<sub>2</sub> into valuable chemical products. The results show that these nanocomposites possess high selectivity, large surface area, and excellent stability, making them promising materials for efficient CO<sub>2</sub> capture and utilization.

**KEYWORDS:** CO<sub>2</sub>, MOF, graphene, nanocomposites, catalysis, adsorption, green chemistry.

**АННОТАЦИЯ:** В данной научной статье исследуется эффективность нанокomпозитов на основе MOF (металлоорганических каркасов) и графена в процессах улавливания и каталитической переработки CO<sub>2</sub>. Увеличение концентрации диоксида углерода в атмосфере является одной из основных причин глобального изменения климата, поэтому его улавливание и переработка представляют собой актуальную научную задачу. В работе проанализированы

адсорбционные свойства, каталитическая активность и роль материалов на основе МОФ и графена в превращении  $\text{CO}_2$  в полезные химические продукты. Полученные результаты показывают, что данные нанокomпозиты обладают высокой селективностью, большой удельной поверхностью и стабильностью, что делает их перспективными материалами для эффективного улавливания и переработки  $\text{CO}_2$ .

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**  $\text{CO}_2$ , МОФ, графен, нанокomпозиты, катализ, адсорбция, зелёная химия.

### ASOSIY QISM

$\text{CO}_2$  ni ushlab va uni foydali kimyoviy mahsulotlarga aylantirish bugungi kunda yashil kimyo va ekologik texnologiyalarning eng muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Atmosferadagi karbon dioksid miqdorining ortishi global isish, iqlim o'zgarishi va ekologik muvozanatning buzilishiga olib kelmoqda. Shu sababli  $\text{CO}_2$  ni faqat zararli gaz sifatida emas, balki kimyoviy xomashyo sifatida qayta ishlash g'oyasi ilmiy tadqiqotlarning markazida turibdi. Bu jarayonda nanomateriallar, xususan MOF (metall-organik karkaslar) va grafen asosidagi nanokompozitlar yuqori samaradorligi bilan ajralib turadi.

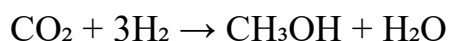
MOF materiallari kristall tuzilishga ega bo'lib, metall ionlari va organik ligandlar o'zaro bog'lanishi natijasida hosil bo'ladi. Ularning eng muhim xususiyati — juda katta sirt maydoni va boshqariladigan g'ovak strukturasi. Bu esa  $\text{CO}_2$  molekulalarini selektiv ravishda yutib olish imkonini beradi. MOFlarning ba'zi turlari 1000–7000  $\text{m}^2/\text{g}$  gacha bo'lgan sirt maydoniga ega bo'lib, bu ularni eng samarali adsorbentlar qatoriga qo'shadi. Bundan tashqari, MOFlarning kimyoviy tarkibini o'zgartirish orqali ularning  $\text{CO}_2$  ga nisbatan selektivligini yanada oshirish mumkin.

Grafen va uning hosilalari esa ikki o'lchamli nanostruktura bo'lib, uglerod atomlarining geksagonal panjarasidan tashkil topgan. Grafen juda yuqori elektr o'tkazuvchanlik, mexanik mustahkamlik va katta sirt maydoniga ega. Grafen oksidi (GO) va kamaytirilgan grafen oksidi (rGO)  $\text{CO}_2$  ni adsorbsiya qilishda faol rol o'ynaydi, chunki ularning yuzasida mavjud kislorodli funksional guruhlar  $\text{CO}_2$  molekulalari bilan o'zaro ta'sirlashadi. Shu sababli grafen asosidagi materiallar nafaqat adsorbent, balki katalitik platforma sifatida ham ishlatiladi.

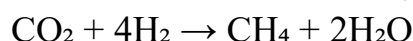
MOF va grafening kombinatsiyasi — nanokompozit materiallar —  $\text{CO}_2$  ni ushlab va qayta ishlashda yanada yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Bunday nanokompozitlarda MOF yuqori adsorbsion sig'imni ta'minlasa, grafen esa elektr va issiqlik o'tkazuvchanligini oshiradi hamda katalitik jarayonlarni tezlashtiradi. Natijada  $\text{CO}_2$  ni ushlab va uni kimyoviy o'zgartirish jarayoni bir tizimda amalga oshiriladi.

CO<sub>2</sub> ni adsorbsiya qilish jarayoni ikki asosiy mexanizmga ega: fizik adsorbsiya va kimyoviy adsorbsiya. Fizik adsorbsiya van-der-Vaals kuchlari asosida sodir bo‘lib, past haroratlarda samarali hisoblanadi. Kimyoviy adsorbsiya esa CO<sub>2</sub> ning sorbent yuzasidagi faol markazlar bilan kimyoviy bog‘ hosil qilishi orqali amalga oshadi. MOF materiallarida bu jarayon ko‘pincha metall markazlar va amin funksional guruhlar orqali sodir bo‘ladi.

Nanokompozitlarning yana bir muhim jihati ularning katalitik faolligidir. CO<sub>2</sub> ni foydali mahsulotlarga aylantirish jarayonlari orasida eng muhimlari metanol, metan va karbonatlar sintezidir. Masalan, CO<sub>2</sub> ning vodorod bilan reaksiyasi natijasida metanol hosil bo‘ladi:



Bu jarayonda MOF yoki grafen asosidagi nanokatalizatorlar reaksiyaning faollanish energiyasini kamaytiradi va mahsulot chiqishini oshiradi. Shu bilan birga, Sabatye reaksiyasi orqali CO<sub>2</sub> dan metan olish ham keng o‘rganilgan:



Bu jarayon energiya saqlash va qayta tiklanuvchi yoqilg‘i ishlab chiqarish nuqtai nazaridan katta ahamiyatga ega.

Fotokatalitik jarayonlar ham CO<sub>2</sub> ni qayta ishlashda muhim rol o‘ynaydi. Grafen bilan modifikatsiyalangan TiO<sub>2</sub> yoki boshqa yarim o‘tkazgichlar yorug‘lik ta‘sirida CO<sub>2</sub> ni organik moddalarga aylantiradi. Bu jarayon quyosh energiyasidan foydalanishga asoslangan bo‘lib, ekologik jihatdan juda toza texnologiya hisoblanadi.

### MUAMMOLAR VA ULARNING TAHLILI

CO<sub>2</sub> ni ushlab va uni katalitik qayta ishlashda MOF hamda grafen asosidagi nanokompozitlar istiqbolli materiallar bo‘lishiga qaramasdan, ushbu yo‘nalishda bir qator chuqur ilmiy va texnologik muammolar saqlanib qolmoqda. Bu muammolar nafaqat materiallar xossalari, balki jarayonlarning kinetikasi, termodinamikasi va tizimli integratsiyasi bilan ham bog‘liq.

Birinchi muammo — CO<sub>2</sub> molekulasining juda past reaktivlikka ega ekanligidir. CO<sub>2</sub> termodinamik jihatdan barqaror molekula bo‘lib, uning C=O bog‘lari yuqori energiyaga ega. Shu sababli uni aktivlashtirish uchun kuchli katalitik markazlar yoki yuqori energiya manbalari talab qilinadi. MOF va grafen asosidagi tizimlar bu jarayonni yengillashtirsa-da, CO<sub>2</sub> ni to‘liq aktiv holatga o‘tkazish har doim ham samarali kechmaydi. Natijada reaksiya tezligi past bo‘lib qoladi.

Ikkinchi muammo — elektron uzatish jarayonlarining cheklanganligi. CO<sub>2</sub> ni katalitik qayta ishlashda elektronlar uzatilishi muhim rol o‘ynaydi. Grafen yuqori elektr o‘tkazuvchanlikka ega bo‘lsa-da, MOF strukturalarining aksariyati dielektrik

xususiyatga ega. Bu esa nanokompozit ichida elektron transportini cheklab, katalitik samaradorlikni pasaytiradi. Shu sababli interfeys muhandisligi va elektron o'tkazuvchi fazalarni optimallashtirish zarur bo'ladi.

Uchinchi muammo — material yuzasida faol markazlarning notekis taqsimlanishidir. Nanokompozitlarda CO<sub>2</sub> adsorbsiya va reaksiyasi asosan faol markazlarda sodir bo'ladi. Biroq sintez jarayonlarida bu markazlar bir xil taqsimlanmasligi mumkin, bu esa lokal faollik farqlarini keltirib chiqaradi. Natijada umumiy katalitik samaradorlik nazariy imkoniyatdan past bo'lib qoladi.

To'rtinchi muammo — CO<sub>2</sub> konversiya jarayonlarida energiya balansining salbiyligi. Ko'plab katalitik reaksiyalar tashqi energiya (yorug'lik, elektr yoki issiqlik) talab qiladi. Agar bu energiya qayta tiklanuvchi manbalardan olinmasa, jarayonning ekologik foydasi kamayadi. Shu sababli CO<sub>2</sub> ni qayta ishlash texnologiyalari "energiya jihatdan neytral" bo'lishi kerakligi katta ilmiy muammo hisoblanadi.

Beshinchi muammo — mahsulot selektivligining pastligi. CO<sub>2</sub> ni qayta ishlash jarayonlarida ko'pincha bir nechta parallel reaksiyalar sodir bo'ladi. Bu esa asosiy mahsulot o'rniga yon mahsulotlar hosil bo'lishiga olib keladi. Masalan, metanol sintezi jarayonida CO yoki boshqa uglerod oksidlari hosil bo'lishi mumkin. Bu holat katalizator dizaynini yanada murakkablashtiradi.

Oltinchi muammo — nanokompozitlar sintezida strukturaviy nazoratning yetarli darajada emasligidir. MOF va grafen birikmalarining interfeysini aniq boshqarish juda murakkab jarayon hisoblanadi. Agar interfeys noto'g'ri shakllansa, elektron va massa almashinuvi yomonlashadi, bu esa butun tizim samaradorligini pasaytiradi.

### XULOSA

Ushbu ilmiy ishda CO<sub>2</sub> ni ushlash va katalitik qayta ishlash jarayonlarida MOF va grafen asosidagi nanokompozitlarning samaradorligi tahlil qilindi. Olib borilgan nazariy va ilmiy tahlillar shuni ko'rsatadiki, ushbu nanomateriallar yuqori sirt maydoni, boshqariladigan g'ovak tuzilma hamda funksional sirt xususiyatlari tufayli CO<sub>2</sub> ni samarali adsorbsiya qilish va uni kimyoviy jihatdan qayta o'zgartirishda katta imkoniyatlarga ega.

MOF materiallari CO<sub>2</sub> molekularini selektiv ushlashda yuqori sig'imga ega bo'lib, ularning tuzilishini modifikatsiya qilish orqali adsorbsion xossalarni yanada yaxshilash mumkinligi aniqlandi. Grafen asosidagi materiallar esa yuqori elektr va issiqlik o'tkazuvchanligi bilan katalitik jarayonlarni tezlashtirishda muhim rol o'ynaydi. Ushbu ikki materialning kombinatsiyasi — nanokompozitlar — CO<sub>2</sub> ni ushlash va uni foydali kimyoviy mahsulotlarga aylantirish jarayonlarida sinergetik samarani ta'minlaydi.

Tahlillar natijasida CO<sub>2</sub> ning kimyoviy inertligi, mahsulot selektivligining pastligi, elektron transport cheklovlari hamda sanoat miqyosida masshtablash muammolari mavjudligi aniqlandi. Shu bilan birga, energiya samaradorligini oshirish va barqaror katalitik tizimlar yaratish zarurligi ham qayd etildi.

Umuman olganda, MOF va grafen asosidagi nanokompozitlar CO<sub>2</sub> ni qayta ishlash texnologiyalarida istiqbolli materiallar bo'lib, ular kelajakda yashil kimyo, ekologik xavfsizlik va uglerod neytrallik maqsadlariga erishishda muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu yo'nalishda ilmiy izlanishlarni davom ettirish yangi, samarali va iqtisodiy jihatdan qulay texnologiyalar yaratishga xizmat qiladi.

#### **FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR**

1. O'. Yaghi, M. O'Keeffe. "Metall-organik karkaslar: tuzilishi va funksional xususiyatlari." *Ilmiy sharh maqolalari*, 2019.
2. H. Furukava, K. E. Kordova, M. O'Keeffe, O. M. Yaghi. "Metall-organik karkaslarning kimyosi va qo'llanilishi." *Science jurnali*, 2013.
3. J. R. Li, R. J. Kuppler, H. C. Chjou. "MOFlarda gaz adsorbsiyasi va ajratish jarayonlari." *Chemical Society Reviews*, 2009.
4. A. K. Geim. "Grafen: holati va istiqbollari." *Science jurnali*, 2009.
5. K. S. Novoselov va boshqalar. "Ikki o'lchamli materiallar va grafen asosidagi tizimlar." *Nature jurnali*, 2012.
6. K. Sumida va boshqalar. "MOFlarda CO<sub>2</sub> ni ushlab jarayonlari." *Chemical Reviews*, 2012.
7. Q. Vang, J. Luo, Z. Chjung, A. Borgna. "CO<sub>2</sub> ni ushlab va qayta ishlash texnologiyalari." *Energy & Environmental Science*, 2011.
8. S. Choy va boshqalar. "CO<sub>2</sub> adsorbsiya materiallari." *ChemSusChem jurnali*, 2009.
9. A. Perpiyev. *Umumiy va analitik kimyo asoslari*. Toshkent, 2020.
10. P. Atkins, J. de Paula. *Fizik kimyo asoslari*. Oksford universiteti nashriyoti, 2014.
11. J. M. Smit, H. C. Van Ness. *Kimyoviy muhandislik termodinamikasi*. McGraw-Hill, 2018.