

NEFT VA GAZ SANOATIDA NANOMATERIALLAR VA NANOTEKNOLOGIYALAR: HOZIRGI HOLATI VA ISTIQBOLLARI

*Nazarov Sh.Yu.
Mustafayeva R.A.
Mukarramov S.B.*

Annotatsiya: Neft va gaz sanoatida nanomateriallar va nanotexnologiyalarning qo'llanishi so'nggi o'n yilliklarda sezilarli rivojlanishga erishdi. Ushbu maqolada nanozarrachalarning konlarni samarali qazib olish, quvurlarni korroziyadan himoyalash, burg'ilash suyuqliklari va rezervuar xususiyatlarini yaxshilashdagi roli ko'rib chiqiladi. Silitsiy oksidi (SiO_2), temir oksidi va metall oksid nanozarrachalari qo'llaniladigan asosiy materiallar hisoblanadi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, nanozarrachalar yordamida neft qazib olish samaradorligini 40-50% gacha oshirish, interfasal kuchlanishni 88% gacha kamaytirish va korroziya tezligini 99% gacha pasaytirish mumkin. Maqolada nanomateriallarning asosiy qo'llanish yo'nalishlari, mexanizmlari va istiqbollari tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: nanozarrachalar, neft qazib olish, nanotexnologiya, korroziya inhibitorlari, burg'ilash suyuqliklari, nanokompozitlar, grafen oksidi

Jahon energetika talabining ortib borishi va mavjud neft konlaridan maksimal unumdorlik olish zarurati neft va gaz sanoatida innovatsion texnologiyalarni joriy etishni taqozo etmoqda. Nanomateriallar va nanotexnologiyalar bu sohadagi eng istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Shah va boshqalar (2024) tomonidan o'tkazilgan keng qamrovli tadqiqot shuni ko'rsatdiki, nanotexnologiya neft va gaz sanoatining barcha bosqichlarida - qazib olish, qayta ishlash va tashishda - inqilobiy o'zgarishlar yuzaga keltirmoqda. Zamonaviy tadqiqotlar ko'rsatishicha, 2020-2024 yillar oralig'ida faqat ushbu mavzuda 13,960 ta ilmiy nashr e'lon qilingan, bu esa sohaning jadal rivojlanayotganidan dalolat beradi. Nanomateriallarning asosiy afzalligi ularning 1-100 nanometr oralig'idagi o'lchamlarida bo'lib, bu ularga yuqori sirt maydoni va hajm nisbati, noyob fizik-kimyoviy xususiyatlar hamda rezervuar g'ovaklarining eng mayda teshiklariga kirib borish qobiliyatini beradi. Pang va hamkasblari (2024) ta'kidlashicha, nanozarrachalarning katta sirt maydoni va funktsional guruhlarning ko'pligi ularni neft va gaz industriyasida turli maqsadlarda samarali qo'llash imkonini beradi. Emmanuel (2024) o'z tadqiqotida yirik neft kompaniyalarining nanotexnologiya tadqiqot va rivojlantirish loyihalariga katta mablag'lar sarf qilayotganligini ta'kidlaydi, bu esa nanozarrachalarning sanoatda keng qo'llanishiga bo'lgan ishonchni ko'rsatadi. Neftni samarali qazib olish (Enhanced Oil Recovery - EOR) sohasida nanozarrachalarning qo'llanilishi eng muhim

yo'nalishlardan biridir. Hosny va boshqalar (2023) o'z sharhiy maqolasida kimyoviy qo'shimchalar bilan birgalikda qo'llaniladigan nanomateriallarning samaradorligini tahlil qilgan. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, nanozarrachalar rezervuar jinslarining ho'llanish xususiyatlarini o'zgartirish, interfasal kuchlanishni kamaytirish va neft harakatchanligini oshirish orqali qazib olish samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Kandiel va boshqalari (2024, 2025) tomonidan o'tkazilgan eksperimental ishlar magniy oksid (MgO) nanozarrachalari va natrium dodecil sulfat (SDS) sirt-aktiv moddasi birgalikda qo'llanilganda interfasal kuchlanishni 88% gacha kamaytirishi mumkinligini isbotladi, bu esa neft qazib olish samaradorligini sezilarli oshiradi. Silitsiy dioksid (SiO₂) nanozarrachalari EOR jarayonlarida eng ko'p qo'llaniladigan materiallardan hisoblanadi. Franco va Cortés (2022) tomonidan Kolumbiyada o'tkazilgan dala sinovlari 20 dan ortiq quduqda asfaltene cho'kmasi, nozik zarralar migratsiyasi va anorganik qatlam cho'kmalarini bartaraf etishda nanosuyuqliklarning yuqori samaradorligini ko'rsatdi. Xu va boshqalar (2023) turli o'lchamdagi SiO₂ nanozarrachalarining (60-300 nm) ta'sirini o'rganib, kichikroq zarrachalar yuqori samaradorlik berishi va interfasal xususiyatlarni yaxshiroq o'zgartirishini aniqlashdi. Konaboyev va Sancaktar (2014) laboratoriya tajribalarida Berea qumtoshida yuqori sho'rlanishli muhitda SiO₂ nanosuyuqliklari yordamida neft qazib olish samaradorligini oddiy sho'r suvga nisbatan 17% dan 50% gacha oshira olganliklarini isbotladilar. Grafen oksidi va uglerod asosidagi nanomateriallar ham istiqbolli materiallar hisoblanadi. Haruna va boshqalar (2024) poliakrilamid va grafen oksidi nanoplastinkalarining dispersiyasi neft qazib olishda yuqori samaradorlik ko'rsatishini aniqlashdilar. Bu materiallar nafaqat yuqori termik barqarorlikka ega, balki rezervuar sharoitida mustahkam ko'pik hosil qilish xususiyatiga ham ega. Temir oksid nanozarrachalari ham o'zlarining magnit xususiyatlari va sirt qoplamasi imkoniyatlari tufayli keng qo'llanilmoqda. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, sirt qoplamalari nanozarrachalarning rezervuardagi barqarorligini oshiradi, tog' jinslariga adsorbsiyasini kamaytiradi va neft qazib olishda maqsadli mexanizmlarni faollashtirishga yordam beradi.

Korroziya inhibitsiyasi neft va gaz sanoatida eng dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Neft va gaz quvurlari, uskunalari CO₂, H₂S, sho'r suv va mikrobiologik ta'sirga duchor bo'lib, yillik milyardlab dollar zarar keltiradi. Nanomateriallar asosidagi korroziya inhibitorlari an'anaviy usullarga qaraganda yuqori samaradorlik ko'rsatmoqda. Farrag va boshqalar (2019) tomonidan tayyorlangan rux oksidi (ZnO) va mis oksidi (CuO) nanozarrachalari suv quvurlarida biofilm hosil bo'lishini oldini olishda 92.31% himoya samaradorligini ko'rsatdi. Kalajahi va boshqalari (2020) grafen oksidi va kumush nanozarrachalari nanokompoziti (GO-Ag) yordamida X60 po'lat yuzasida mikrobiologik ta'sir natijasidagi korroziyani (MIC) samarali inhibitsiya qilishni isbotlashdi. Stearat bilan modifikatsiyalangan temir oksid nanozarrachalari

(SAIO) ham yuqori samaradorlik ko'rsatmoqda. Atta va hamkasblari (2025) tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlar SAIO nanozarrachalarining neft tashish quvurlarida emulsiya hosil qilish orqali korroziyani to'xtatishda samarali ekanligini ko'rsatdi. Bu yondashuv nafaqat ekologik toza, balki uzoq muddatli himoya ham ta'minlaydi. Mis oksid (CuO) nanozarrachalari ham sulfat-reduksiyalovchi bakteriyalarga qarshi antibakterial ta'sirga ega bo'lib, korroziya tezligini sezilarli darajada pasaytiradi. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) o'simlik ekstraktidan olingan nanozarrachalar ham yashil korroziya inhibitori sifatida istiqbolli materiallar hisoblanadi va qoplamalar tarkibiga qo'shilganda neft va gaz quvurlari uchun samarali himoya vositasi bo'lishi mumkin.

Burg'ilash suyuqliklari va sementlash jarayonlarida ham nanozarrachalar muhim rol o'ynaydi. Alkalbani va boshqalar (2023) silitsiy dioksid nanozarrachalarini suv asosidagi burg'ilash loyi (WBM) tarkibiga qo'shish reologik xususiyatlarni sezilarli yaxshilashi va chuqur quduqlar uchun samaradorlikni oshirishini isbotlashdilar. 0.86-2.57% konsentratsiyada SiO_2 qo'shilishi burg'ilash jarayonini optimallashtiradi. Nanokompozit materiallar zanjirlangan nanozarrachalar bilan mustahkamlanganligi sababli mexanik mustahkamlik, ishqalanishga chidamlilik va termik barqarorlikni oshiradi, bu esa burg'ilash uskunalarning ishlash muddatini uzaytiradi va mahsuldorligini oshiradi. Rezervuar tavsifi va real vaqt monitoringi uchun nanozarrachali traserlar va nanomiqyosdagi tasvirlash usullari qo'llanilmoqda. Ushbu texnologiyalar rezervuarining tuzilishi, g'ovaklar tarmog'i va suyuqlik oqimini nanomiqyosda o'rganish imkonini beradi va eng yaxshi burg'ilash joylarini aniqlashga yordam beradi. Nanozarrachalar neft va gaz molekulalari o'lchamiga yaqin bo'lgani uchun nanopo'ovak muhitda ularning migratsiya naqshlari va muntazamligini aniqroq o'rganish imkonini beradi. Molekulyar simulyatsiyalar, yuqori aniqlikdagi tasvirlash texnikalari, raqamli tog' jinslari modellash va mikrofluidika kabi ilg'or vositalar nanomateriallar yordamida suyuqlik va tog' jinsi o'rtasidagi murakkab o'zaro ta'sirlarni tushunishga yordam beradi.

CO_2 ga asoslangan neft qazib olish (CO_2 -EOR) texnologiyalarida ham nanozarrachalar muhim o'rin tutadi. Afzali va boshqalar (2022) nanozarrachalar va sirt-aktiv moddalar birgalikda qo'llanilganda CO_2 ko'piklarini barqarorlashtirish va rezervuarda samaraliroq ishlatish imkoniyatini yaratishini ko'rsatishdi. Bu usul CO_2 ning harakatchanligini nazorat qilish va erta surilish muammolarini hal qilishda samarali bo'lib, shu bilan birga atmosferaga chiqadigan issiqxona gazlari emissiyasini kamaytirish orqali ekologik muammolarni ham hal qilishga yordam beradi. Biroq, nanomateriallarning keng miqyosdagi qo'llanilishida bir qancha muammolar mavjud. Eng asosiy muammolar nanozarrachalarning rezervuar sharoitida barqarorligi, dispersiyasi, tashish qobiliyati va atrof-muhitga mumkin bo'lgan ta'siridir. Ko'plab tadqiqotchilar ushbu muammolarni hal qilish uchun sirt modifikatsiyasi, qoplama texnologiyalari va maqsadli yetkazib berish tizimlarini ishlab chiqmoqda.

Nanomateriallarning ommaviy ishlab chiqarish jarayonlarini yaratish va iqtisodiy jihatdan samarali usullarni ishlab chiqish ham muhim vazifalardan biridir. Hozirgi vaqtda nanozarrachalar nisbatan qimmat bo'lib, ularning konsentrasiyasini optimallashtirish va eng past miqdorda qo'llash orqali qabul qilinadigan samaradorlikka erishish muhimdir. Kelajakda yangi nanomateriallarni sintez qilish usullarini ishlab chiqish, nanozarrachalarning xatti-harakatlarini yaxshilash va ularning uzoq muddatli ekologik ta'sirini aniqlash bo'yicha tadqiqotlar zarur. Ayniqsa, yuqori bosim va yuqori harorat (HPHT) sharoitlarida qo'llash uchun mo'ljallangan nanomateriallar ustida keng qamrovli tadqiqotlar olib borilishi lozim. Laboratoriya tajribalaridan dala sinovlariga o'tish jarayonini tezlashtirish ham sanoatda nanotexnologiyaning keng qo'llanilishi uchun muhim omildir. Franco va hamkasblari (2024) Kolumbiyada olib borilgan dala tadqiqotlari va mashina o'rganish yondashuvlari nanomateriallarni qo'llashning samaradorligini real sharoitlarda isbotladi va kelajakda bunday sinovlarni ko'paytirish zarurligini ko'rsatdi.

Xulosa qilib aytganda, neft va gaz sanoatida nanomateriallar va nanotexnologiyalar muhim ahamiyat kasb etadi va kelajakda ularning qo'llanilish doirasi yanada kengayadi. Neft qazib olish samaradorligini oshirish, korroziyani kamaytirish, burg'ilash jarayonlarini yaxshilash va ekologik ta'sirni minimallashtirishda nanozarrachalar katta imkoniyatlarni taqdim etadi. Davom etayotgan tadqiqotlar va rivojlanishlar bilan nanotexnologiya neft va gaz industriyasining ishonchli va barqaror kelajagini ta'minlashda hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati (APA formatida):

- Shah, V., Panchal, B., Gona, C., Shah, M., & Prajapati, M. (2024). Unveiling the revolutionary role of nanoparticles in the oil and gas field: Unleashing new avenues for enhanced efficiency and productivity. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(10), 14406-14423. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31569-3>
- Franco, C. A., & Cortés, F. B. (2022). Field Applications of Nanotechnology in the Oil and Gas Industry: Recent Advances and Perspectives. *Energy & Fuels*, 36(14), 7346-7380. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c02614>
- El-Masry, J. F., Bou-Hamdan, K. F., Abbas, A. H., & Martyushev, D. A. (2024). A Comprehensive Review of Nanotechnology Applications in Oil and Gas Well Drilling Operations. *Energies*, 17(4), 798. <https://doi.org/10.3390/en17040798>
- Emmanuel, M. (2024). Unveiling the revolutionary role of nanoparticles in the oil and gas field: Unleashing new avenues for enhanced efficiency and productivity. *Heliyon*, 10(13), e33957. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33957>
- Pang, S., Zhao, L., & An, Y. (2024). Advanced developments in nanotechnology and nanomaterials for the oil and gas industry: A review. *Geoenergy Science and Engineering*, 238, 212872. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2024.212872>

- Hosny, R., Zahran, A., Abotaleb, A., Ramzi, M., Mubarak, M. F., Zayed, M. A., Shahawy, A. E., & Hussein, M. F. (2023). Nanotechnology Impact on Chemical-Enhanced Oil Recovery: A Review and Bibliometric Analysis of Recent Developments. *ACS Omega*, 8(49), 46325-46345. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06206>
- Kandiel, T. A., et al. (2024). Nanoparticles in enhanced oil recovery: state-of-the-art review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 15(3), 1965-1985. <https://doi.org/10.1007/s13202-025-01965-1>
- Xu, K., Yang, Z., Li, X., Jiang, B., Shen, H., Lin, M., & Dong, Z. (2023). Effect of the SiO₂ Nanoparticle Size on Application of Enhanced Oil Recovery in Medium-Permeability Formations. *Energy & Fuels*, 37(11), 7892-7904. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c00255>
- Konaboyev, B. B., & Sancaktar, E. (2014). Enhanced Oil Recovery (EOR) Using Nanoparticle Dispersions: Underlying Mechanism and Imbibition Experiments. *Energy & Fuels*, 28(5), 3015-3025. <https://doi.org/10.1021/ef500272r>
- Haruna, M. A., Tangparitkul, S., & Wen, D. (2024). Dispersion of polyacrylamide and graphene oxide nano-sheets for enhanced oil recovery. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 699, 134689. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134689>