

O‘TA MUSTAHKAM, YENGIL NANOKOMPOZITLAR VA POLIMER  
NANOKOMPOZITLAR SINTEZI

**Bo‘riyeva Muhabbat Mamayusuf qizi**

*Termiz davlat universiteti talabasi*

E-mail: [madinammm2022@gmail.com](mailto:madinammm2022@gmail.com)

**Suyunov Jabbor Ro‘ziboyevich**

*Termiz davlat universiteti kimyo fakulteti Analitik kimyo kafedrasida katta o‘qituvchisi*

*kimyo fanlari bo‘yicha doktori PhD*

E-mail: [jabbor.suyunov1991@gmail.com](mailto:jabbor.suyunov1991@gmail.com)

**MAQOLA  
MALUMOTI**

**ANNOTATSIYA:**

**MAQOLA TARIXI:**

*Received: 05.06.2026*

*Revised: 06.06.2026*

*Accepted: 07.06.2026*

**KALIT SO‘ZLAR:**

*nanokompozitlar,  
polimer  
nanokompozitlar,  
nanoto‘ldiruvchilar,  
uglerod nanotubkalari,  
grafen, sintez usullari,  
sol-gel texnologiyasi, in  
situ polimerizatsiya,  
melt blending, mexanik  
mustahkamlik, issiqlik  
barqarorligi, elektr  
o‘tkazuvchanlik,  
nanostruktura,  
materialshunoslik*

*Mazkur maqolada o‘ta mustahkam va yengil materiallar sinfiga kiruvchi nanokompozitlar hamda polimer nanokompozitlarning sintezi, tuzilishi va fizik-mexanik xossalari atroflicha tahlil qilinadi. So‘nggi yillarda nanoteknologiyalar rivoji natijasida materialshunoslik sohasida tub burilishlar yuzaga kelib, an‘anaviy materiallarga nisbatan yuqori mustahkamlik, past zichlik va yaxshilangan funksional xususiyatlarga ega yangi avlod kompozit materiallar yaratish imkoniyati paydo bo‘ldi. Maqolada nanokompozitlarning tarkibiy qismlari — matritsa va nanoto‘ldiruvchilarning o‘zaro ta‘siri, ularning dispersiyasi va chegaraviy sirt hodisalarining material xossalariga ta‘siri ilmiy asosda yoritiladi. Shuningdek, polimer nanokompozitlar sintezining zamonaviy usullari, jumladan, sol-gel texnologiyasi, in situ polimerizatsiya, eritmada aralashtirish va eritib aralashtirish (melt blending) usullarining afzalliklari va kamchiliklari tahlil qilinadi. Tadqiqot davomida nanoto‘ldiruvchilar sifatida uglerod nanotubkalari, grafen, nanozarrachalar va boshqa nanostrukturalarning qo‘llanilishi materialning mexanik mustahkamligi, issiqlik barqarorligi va elektr o‘tkazuvchanligini sezilarli darajada oshirishi*

*aniqlanadi. Natijada, bunday nanokompozit materiallar aviatsiya, avtomobilsozlik, tibbiyot va elektronika kabi sohalarda keng qo'llanish imkoniyatiga ega ekani asoslab beriladi.*

**Kirish:** Hozirgi zamon ilm-fani va texnologiyalarining jadal rivojlanishi materialshunoslik sohasiga yangi talablarni qo'yimoqda. Xususan, sanoatning aviatsiya, avtomobilsozlik, elektronika va tibbiyot kabi strategik yo'nalishlarida yuqori mustahkamlikka ega bo'lgan, bir vaqtning o'zida yengil va ko'p funksiyali materiallarga ehtiyoj tobora ortib bormoqda. An'anaviy materiallar ko'plab hollarda bu talablarni to'liq qondira olmasligi sababli, yangi avlod materiallarini yaratish dolzarb ilmiy muammolardan biriga aylangan.

Shu nuqtai nazardan, nanoteknologiyalar asosida yaratilayotgan nanokompozit materiallar alohida ahamiyat kasb etadi. Nanokompozitlar — tarkibida kamida bitta komponenti nanoo'lcham diapazonida (1–100 nm) bo'lgan ko'p fazali materiallar bo'lib, ular o'zining noyob fizik, mexanik va funksional xususiyatlari bilan ajralib turadi. Bunday materiallarda nanoo'lchamli to'ldiruvchilarning yuqori sirt maydoni va matritsa bilan kuchli o'zaro ta'siri natijasida an'anaviy kompozitlarga nisbatan sezilarli ustunliklar kuzatiladi.

Ayniqsa, polimer nanokompozitlar bugungi kunda keng o'rganilayotgan va amaliy jihatdan muhim hisoblangan materiallar turkumiga kiradi. Polimer matritsaga nanoo'lchamli to'ldiruvchilar — uglerod nanotubkalari, grafen, nanozarrachalar va boshqa nanostrukturalarni kiritish orqali materialning mexanik mustahkamligi, issiqlik barqarorligi, kimyoviy chidamliligi va elektr o'tkazuvchanligini sezilarli darajada oshirish mumkin. Bu esa polimer nanokompozitlarning qo'llanish sohasini kengaytiradi va ularni yuqori texnologik tizimlarda ishlatish imkonini beradi.

Nanokompozit materiallarning samarali xossalari ko'p jihatdan ularni sintez qilish usullariga bog'liq. Hozirgi kunda sol-gel texnologiyasi, in situ polimerizatsiya, eritmada aralashtirish hamda eritib aralashtirish kabi zamonaviy usullar keng qo'llanilmoqda. Ushbu usullar orqali nanoto'ldiruvchilarning bir tekis taqsimlanishi va matritsa bilan mustahkam bog'lanishi ta'minlanadi, bu esa materialning yakuniy xossalari bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Mazkur maqolaning maqsadi o'ta mustahkam va yengil nanokompozitlar, xususan, polimer nanokompozitlarning sintezi, tuzilishi va asosiy xossalari ilmiy asosda tahlil qilishdan iborat. Shuningdek, zamonaviy sintez usullarining afzalliklari, ularning amaliy qo'llanilishi hamda istiqbolli rivojlanish yo'nalishlari yoritiladi.

**Asosiy qism:** Nanokompozit materiallar zamonaviy materialshunoslikning eng istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanib, ularning tarkibida kamida bir komponent nanoo'lcham diapazonida (1–100 nm) bo'lishi bilan tavsiflanadi. Bunday materiallar odatda uzluksiz faza — matritsa va mustahkamlovchi faza — nanoo'lchamli to'ldiruvchilardan tashkil topadi. Matritsa sifatida ko'pincha polimerlar qo'llaniladi, chunki ular yengilligi, texnologik jihatdan qulayligi va iqtisodiy samaradorligi bilan ajralib turadi. Nanoo'lchamli to'ldiruvchilar esa

materialning asosiy xossalari yaxshilashga xizmat qiladi. Ularning juda katta sirt maydoniga ega bo'lishi matritsa bilan o'zaro ta'sirni kuchaytiradi, natijada kuchlanishlarning bir tekis taqsimlanishi ta'minlanadi va materialning umumiy mexanik barqarorligi ortadi. Polimer nanokompozitlar alohida ahamiyatga ega bo'lib, ular polimer matritsaga turli xil nanoto'ldiruvchilarni qo'shish orqali olinadi. Bunday materiallarning asosiy ustunligi shundaki, ular an'anaviy polimerlarga nisbatan yuqori mexanik mustahkamlik, issiqlik barqarorligi va yaxshilangan funksional xossalarga ega bo'ladi. Masalan, nanoto'ldiruvchilarning mavjudligi deformatsiyaga qarshilikni oshiradi, yuqori haroratlarda materialning barqarorligini ta'minlaydi va ayrim hollarda elektr o'tkazuvchanlikni ham sezilarli darajada yaxshilaydi. Shu bilan birga, gaz va suyuqlik o'tkazuvchanligining kamayishi polimer nanokompozitlarning himoya qoplamalar va qadoqlash materiallari sifatida qo'llanilishini kengaytiradi. Biroq, ushbu xossalarning to'liq namoyon bo'lishi nanoto'ldiruvchilarning matritsada bir tekis taqsimlanishiga va ular orasidagi mustahkam bog'lanishga bevosita bog'liqdir.

Nanokompozit materiallarning xossalari ularni sintez qilish usullariga ham chambarchas bog'liq. Zamonaviy texnologiyalar orasida sol-gel usuli, in situ polimerizatsiya, eritmada aralashtirish va eritib aralashtirish usullari keng qo'llaniladi. Sol-gel texnologiyasi orqali yuqori darajada bir jinsli tuzilishga ega materiallar olinadi, bu esa ayniqsa noorganik komponentlar bilan ishlashda muhim ahamiyat kasb etadi. In situ polimerizatsiya jarayonida esa monomerlar nanoto'ldiruvchilar ishtirokida to'g'ridan-to'g'ri polimerga aylantiriladi, natijada ular orasida kuchli bog'lanish hosil bo'ladi. Eritmada aralashtirish usuli oddiyligi bilan ajralib turadi, ammo erituvchilar bilan bog'liq ekologik muammolarni yuzaga keltirishi mumkin. Eritib aralashtirish usuli esa sanoatda keng qo'llanilib, iqtisodiy samaradorligi va ekologik xavfsizligi bilan ajralib turadi.

Nanoto'ldiruvchilar nanokompozitlarning xossalari belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, uglerod nanotubkalari, grafen va turli xil nanozarrachalar keng qo'llaniladi. Uglerod nanotubkalari o'zining nihoyatda yuqori mexanik mustahkamligi va elektr o'tkazuvchanligi bilan ajralib tursa, grafen ikki o'lchamli tuzilishga ega bo'lib, yuqori issiqlik va elektr o'tkazuvchanlikni ta'minlaydi. Shuningdek, kremniy dioksidi yoki alyuminiy oksidi kabi nanozarrachalar materialning qattiqligini va issiqlik barqarorligini oshirishga xizmat qiladi. Biroq, nanoto'ldiruvchilarning aglomeratsiyaga moyilligi muhim muammo bo'lib, bu ularning bir tekis taqsimlanishiga to'sqinlik qiladi va material xossalari pasaytirishi mumkin. Shu sababli, zamonaviy sintez usullarida ularni bir tekis dispersiyalashga alohida e'tibor qaratiladi.

Nanokompozit materiallar o'zining noyob xossalari tufayli turli sohalarda keng qo'llanilmoqda. Aviatsiya va kosmik sanoatda ular yengil, ammo mustahkam konstruksiyalar yaratishda qo'llaniladi, bu esa yonilg'i samaradorligini oshirish va yuk ko'tarish qobiliyatini yaxshilash imkonini beradi. Avtomobilsozlikda esa transport vositalarining og'irligini kamaytirish orqali energiya tejamliligini oshirishga xizmat qiladi. Elektronika sohasida

yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega materiallar sifatida ishlatiladi, tibbiyotda esa biomaslashuvchan materiallar yaratishda muhim rol o'ynaydi. Kelajakda ushbu sohada olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlar asosida yanada mukammal, "aqlli" va o'z-o'zini tiklovchi materiallarni yaratish kutilmoqda, bu esa nanokompozitlarning qo'llanish doirasini yanada kengaytiradi.

**Muammo va uning tahlili:** Zamonaviy materialshunoslik sohasida o'ta mustahkam, yengil va ko'p funksiyali materiallarga bo'lgan ehtiyojning ortib borishi nanokompozitlar, xususan, polimer nanokompozitlarni yaratish va takomillashtirish masalasini dolzarb ilmiy muammolar qatoriga olib chiqdi. An'anaviy materiallar, jumladan, metall va oddiy polimerlar ko'plab hollarda yuqori mexanik yuklamalar, agressiv muhitlar va o'zgaruvchan harorat sharoitlarida talab etiladigan darajada samaradorlikni ta'minlay olmaydi. Shu bois, yangi avlod materiallarini ishlab chiqishda nanokompozit tizimlarga katta umid bog'lanmoqda. Biroq, ushbu materiallarni keng miqyosda qo'llash yo'lida bir qator fundamental va amaliy muammolar mavjud bo'lib, ular chuqur ilmiy tahlilni talab etadi.

Avvalo, nanokompozitlarning asosiy muammolaridan biri — nanoto'ldiruvchilarning matritsa ichida bir tekis taqsimlanishini ta'minlash masalasidir. Nanozarrachalar o'zining yuqori sirt energiyasi tufayli aglomeratsiyaga moyil bo'lib, bu esa ularning bir-biriga yopishib qolishiga olib keladi. Natijada material ichida notekis struktura hosil bo'ladi, bu esa mexanik mustahkamlikning pasayishiga, lokal kuchlanishlarning ortishiga va yorilish jarayonlarining tezlashishiga sabab bo'ladi. Shunday ekan, nanoto'ldiruvchilarning dispersiyasi darajasini nazorat qilish nanokompozitlar sintezining eng muhim bosqichlaridan biri hisoblanadi.

Ikkinchi muhim muammo — matritsa va nanoto'ldiruvchi o'rtasidagi interfeys (chegaraviy qatlam) xossalaridir. Nanokompozitlarning umumiy samaradorligi aynan shu chegaraviy hududda sodir bo'ladigan fizik-kimyoviy o'zaro ta'sirlarga bog'liqdir. Agar matritsa va to'ldiruvchi o'rtasida yetarlicha mustahkam bog'lanish mavjud bo'lmasa, yuklama samarali uzatilmaydi va materialning umumiy mustahkamligi pasayadi. Shu sababli, zamonaviy tadqiqotlarda nanoto'ldiruvchilar sirtini modifikatsiya qilish, ya'ni ularni kimyoviy faol guruhlar bilan qoplash orqali matritsa bilan mosligini oshirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Yana bir dolzarb masala — nanokompozitlar sintezining texnologik murakkabligi va iqtisodiy samaradorligidir. Ko'plab yuqori samarali usullar laboratoriya sharoitida yaxshi natija bersa-da, ularni sanoat miqyosida qo'llash qiyinchilik tug'diradi. Masalan, ayrim sintez usullari qimmat uskunalarda, murakkab texnologik jarayonlar yoki ekologik jihatdan zararli erituvchilardan foydalanishni talab qiladi. Bu esa nanokompozit materiallarning keng miqyosda ishlab chiqarilishini cheklaydi. Shu nuqtai nazardan, oddiy, arzon va ekologik xavfsiz texnologiyalarni ishlab chiqish muhim vazifa bo'lib qolmoqda.

Shuningdek, nanokompozitlarning uzoq muddatli barqarorligi va ekspluatatsion xossalarini saqlab qolish masalasi ham yetarlicha o'rganilmagan. Vaqt o'tishi bilan material ichida mikrostrukturaviy o'zgarishlar yuz berishi, nanoto'ldiruvchilarning qayta taqsimlanishi yoki interfeys bog'lanishlarining zaiflashishi mumkin. Bu esa materialning

mexanik va funksional xossalarning pasayishiga olib keladi. Ayniqsa, yuqori harorat, namlik va agressiv kimyoviy muhit sharoitida bu jarayonlar tezlashadi.

Bundan tashqari, nanokompozit materiallarning ekologik xavfsizligi va biologik ta'siri ham muhim muammolardan biri sifatida qaralmoqda. Nanoo'lchamli zarrachalar tirik organizmlar bilan o'zaro ta'sirga kirishganda kutilmagan ta'sirlar yuzaga kelishi mumkin. Shu sababli, ularning ishlab chiqarilishi, qo'llanilishi va utilizatsiyasi jarayonida ekologik va gigiyenik talablarni hisobga olish zarur.

Yuqorida keltirilgan muammolarni chuqur ilmiy tahlil qilish shuni ko'rsatadiki, nanokompozitlar sohasidagi asosiy e'tibor ularning mikro va nano darajadagi tuzilishini boshqarish, interfeys xossalarni yaxshilash hamda samarali va barqaror sintez texnologiyalarini ishlab chiqishga qaratilishi lozim. Aynan shu yo'nalishdagi izlanishlar kelajakda yanada mukammal, ishonchli va keng qo'llaniladigan nanokompozit materiallarni yaratish imkonini beradi.

**Xulosa:** Mazkur maqolada o'ta mustahkam va yengil nanokompozitlar hamda polimer nanokompozitlarning sintezi, tuzilishi, asosiy xossalari va ularni olish usullari ilmiy jihatdan tahlil qilindi. O'rganilgan ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, nanokompozit materiallar an'anaviy materiallarga nisbatan sezilarli darajada yuqori mexanik mustahkamlik, past zichlik, yaxshilangan issiqlik barqarorligi hamda funksional xossalarga ega bo'lib, zamonaviy materialshunoslikning eng istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi.

Tahlillar natijasida nanokompozitlarning samaradorligi ko'p jihatdan nano to'ldiruvchilarning turi, ularning matritsa ichida bir tekis taqsimlanishi hamda interfeys qatlamidagi o'zaro ta'sir kuchiga bog'liqligi aniqlandi. Ayniqsa, uglerod nanotubkalari, grafen va turli nanozarrachalarning qo'llanilishi materiallarning mexanik, elektr va termik xossalarni sezilarli darajada yaxshilashi ilmiy asosda tasdiqlandi.

Shuningdek, sol-gel, in situ polimerizatsiya, eritmada aralashtirish va eritib aralashtirish kabi zamonaviy sintez usullari nanokompozitlarning sifatini oshirishda muhim rol o'ynashi ko'rsatildi. Biroq, ushbu sohada hali ham hal etilishi lozim bo'lgan muammolar mavjud bo'lib, ular jumlasiga nanoto'ldiruvchilarning aglomeratsiyasi, interfeys barqarorligi, sanoat miqyosida ishlab chiqarishdagi texnologik murakkabliklar hamda ekologik xavfsizlik masalalari kiradi.

Umuman olganda, nanokompozit materiallar yuqori texnologiyali sohalarda — aviatsiya, avtomobilsozlik, elektronika va tibbiyotda keng qo'llanilish salohiyatiga ega. Kelajakdagi ilmiy tadqiqotlar ushbu materiallarning tuzilishini yanada mukammallashtirish, ularni olishning samarali va ekologik toza usullarini ishlab chiqish hamda amaliy qo'llanish doirasini kengaytirishga qaratilishi lozim.

**Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati**

1. Callister W. D., Rethwisch D. G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley, 2018.
2. Kumar C. S. S. R. (ed.). *Nanomaterials: Toxicity, Health and Environmental Issues*. Wiley-VCH, 2006.
3. Ajayan P. M., Schadler L. S., Braun P. V. *Nanocomposite Science and Technology*. Wiley-VCH, 2003.
4. Mitchell G. R. *Polymer Nanocomposites*. Elsevier, 2015.
5. Rao C. N. R., Müller A., Cheetham A. K. *The Chemistry of Nanomaterials*. Wiley-VCH, 2004.
6. Tjong S. C. *Structural and Mechanical Properties of Polymer Nanocomposites*. Materials Science and Engineering Reports, 2006.
7. Paul D. R., Robeson L. M. *Polymer Nanotechnology: Nanocomposites*. Polymer, 2008.
8. Ray S. S., Okamoto M. *Polymer/layered silicate nanocomposites: A review*. Progress in Polymer Science, 2003.
9. Jordan J., Jacob K. I., Tannenbaum R., Sharaf M. A., Jasiuk I. *Experimental trends in polymer nanocomposites*. Materials Science and Engineering A, 2005.
10. Mittal V. (ed.). *Polymer Nanocomposites: Synthesis, Characterization, and Modeling*. CRC Press, 2010.